

## CONCOURS GÉNÉRAL DES LYCÉES

—  
SESSION 2016  
—**SCIENCES ET TECHNOLOGIES INDUSTRIELLES  
ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE**

(Classes de terminale STI2D)

PREMIERE PARTIE

Durée : 5 heures  
—*L'usage de la calculatrice est autorisé***Consignes aux candidats**

- Ne pas utiliser d'encre claire
- N'utiliser ni colle, ni agrafe
- Numéroté chaque page en bas à droite (numéro de page / nombre total de pages)
- Sur chaque copie, renseigner l'en-tête + l'identification du concours selon l'option choisie :

**1. Option Architecture et construction :**

Concours

C G L

Section/Option

S A R C O

Epreuve

0 0 1 0 1

Matière

A R C O

**2. Option Energies et environnement :**

Concours

C G L

Section/Option

S E N E N

Epreuve

0 0 1 0 1

Matière

E N E N

**3. Option Innovation technologique et éco-conception :**

Concours

C G L

Section/Option

S I T E C

Epreuve

0 0 1 0 1

Matière

I T E C

**4. Option Systèmes d'information et numérique :**

Concours

C G L

Section/Option

S S I N U

Epreuve

0 0 1 0 1

Matière

S I N U







# CONCOURS GENERAL DES LYCEES

## Sciences et technologies de l'industrie et du développement durable


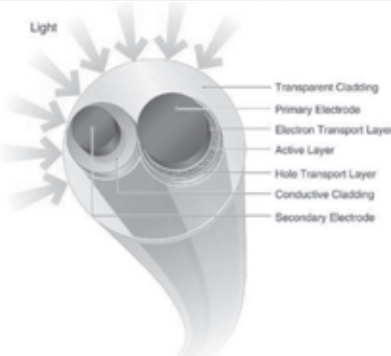

### Session 2016

Durée 5 heures

Aucun document autorisé

Calculatrice autorisée

### Constitution du sujet

		
<p><b>Partie 1 : le voilier</b></p>	<p><b>Partie 2 : photovoltaïque innovant</b></p>	<p><b>Partie 3 : catway d'amarrage</b></p>

- **Sujet** (*mise en situation et questions à traiter par le candidat*)
  - **partie 1** ..... pages 2 à 10
  - **partie 2** ..... pages 11 à 19
  - **partie 3** ..... pages 20 à 22
- **Documents techniques** ..... pages 23 à 42
- **Documents réponses** ..... pages 43 à 49

**Les documents réponses DR1 à DR11 (pages 43 à 49) seront à rendre agrafés aux copies.**

Concours général des lycées	2016
Sciences et technologies de l'industrie et du développement durable STI2D	Page <b>1 / 49</b>

Un skippeur amateur désire acquérir un voilier afin d'effectuer essentiellement des croisières mais aussi des compétitions.

Ce client est exigeant : il veut non seulement être vigilant à la sécurité à bord, au confort mais aussi aux performances techniques du voilier.

Le propriétaire désire adhérer à la charte des plaisanciers « pavillon bleu » c'est à dire s'inscrire dans une démarche écologique et responsable.

Lors de ses recherches, l'ingénieur chargé de l'étude, a retenu un constructeur de voiliers. **L'étude proposée consiste à vérifier si les exigences du cahier des charges sont remplies et éventuellement proposer des modifications au constructeur.**



La partie 1 permettra de valider différents points du cahier des charges du voilier : la propulsion et son autonomie, la mesure de la direction et de la vitesse du vent, puis la quille pendulaire.

La partie 2 déterminera une solution d'alimentation d'énergie électrique d'origine renouvelable pour les organes de servitudes.

D'autre part, le skippeur désire louer un anneau (lieu d'amarrage des bateaux). Actuellement, la capacité d'accueil des ports est limitée, les ports mettent donc en place de nouveaux appontements flottants appelés catways.

Dans la partie 3, nous étudierons les éléments constitutifs de ces catways.

## Partie 1 : le voilier

### **Étude de la motorisation et de son autonomie (questions 1.1 à 1.7)**

Le voilier spécifié est équipé d'une propulsion hybride. Cette propulsion repose sur deux moteurs électriques actionnant chacun une hélice; les moteurs sont alimentés en énergie par des batteries et/ou par un groupe électrogène. Les moteurs permettent également un fonctionnement générateur pour recharger les batteries.

La commande des deux moteurs est indépendante ; elle s'effectue depuis le poste de pilotage par deux manettes de commandes.

**Il s'agit de vérifier certaines caractéristiques de la propulsion motorisée du voilier et de justifier les critères de choix des batteries.**

Question 1.1  
*voir DT1* | Le voilier étudié doit pouvoir être propulsé autrement que par ses voiles. **Citer** la raison et **préciser** les exigences d'autonomie en termes de distance et de durée de fonctionnement motorisé (voir diagramme d'exigence sur la propulsion motorisée DT1).

☞ Identification des flux d'énergie et des fonctions relatives à la propulsion motorisée

Les moteurs peuvent être utilisés selon 3 modes :

- mode 1 : moteurs alimentés par l'énergie des batteries seulement ;
- mode 2 : moteurs alimentés par le groupe électrogène ;
- mode 3 : « moteurs » en fonctionnement générateur, lorsque la propulsion à voile permet d'entraîner les hélices pour charger les batteries.

Question 1.2  
*sur DR1* | Sur le DR1, **surligner** (en précisant le sens du flux), le flux d'énergie correspondant au mode 1 en bleu, le flux d'énergie correspondant au mode 2 en trait interrompu bleu et le flux d'énergie correspondant au mode 3 en vert.

Question 1.3 | **Compléter** les fonctions proposées sur le DR1 (F1 à F6) sous les blocs  
sur DR1 correspondants.

☞ Identification des constituants de la propulsion motorisée

Question 1.4 | **Indiquer** sur le schéma du DR2 les repères de nomenclature des constituants  
sur DR2 de la propulsion motorisée.

☞ Vérification de la puissance transmissible de la propulsion motorisée

Question 1.5 | → A l'aide des caractéristiques des constituants (voir DT2 à DT5), **justifier**  
voir DT2 à DT5 → que la tension de fonctionnement du pack de batteries est compatible  
avec la tension de sortie du groupe électrogène ainsi qu'avec la tension  
d'alimentation des moteurs et des variateurs de vitesse.  
→ **Justifier** qu'un variateur de vitesse AVB125A200 peut fournir le courant  
nominal d'un moteur ST 74.  
→ **Déterminer** le courant maximum que peut fournir le pack de batteries  
(voir DT3 et notamment le courant de décharge maximum – sans «active  
cooling»)  
→ **Justifier** que le pack de batteries peut fournir le courant nominal pour  
alimenter les deux moteurs ST 74.

☞ Détermination de la puissance consommée par les moteurs pour propulser le voilier à  
2,5 m.s<sup>-1</sup> (en propulsion motorisée, c'est-à-dire sans voile)

*Remarque : L'étude considère que le déplacement du voilier est rectiligne, à vitesse établie.*

Question 1.6 | → Sur le DT6, **relever** l'effort de traînée du voilier (force de résistance à  
voir DT6 l'avancement du voilier) lorsque celui-ci se déplace à 2,5 m.s<sup>-1</sup>.  
voir DT7 En **déduire** la force que doit exercer une hélice.  
→ A l'aide de la caractéristique d'une hélice (voir DT7), **déduire** :  
▪ la vitesse de rotation N de l'hélice,  
▪ puis, le couple résistant C sur l'arbre d'une hélice à cette vitesse.  
→ **Exprimer** la puissance mécanique développée par une hélice en fonction  
du couple et de la vitesse de rotation. **Calculer** ensuite cette puissance.  
→ Le rendement d'un ensemble "variateur + moteur" étant de 87%, **justifier**  
que la puissance consommée par les deux ensembles "variateur +  
moteur" dans ces conditions est de l'ordre de 2000 W.

☞ Analyse des critères de choix du pack de batteries de la motorisation

Question 1.7 | → **Justifier** que le pack de batteries permet les 2 heures de fonctionnement  
spécifiées au cahier des charges (on considérera que pour la propulsion  
motorisée sans voile à une vitesse de 2,5 m.s<sup>-1</sup>, le pack de batteries doit  
fournir 2100 W).

*Remarque : par mesure de sécurité, il a été prévu un surdimensionnement  
(d'ordre de 5) de la capacité des batteries pour faire face aux éventuelles  
intempéries (houle, vent, etc...)*

voir DT3  
voir DT8

→ Le tableau (DT8) présente les caractéristiques de différents types de  
batteries. **Classer** selon trois niveaux (prioritaire, moyennement prioritaire,  
secondaire) ces caractéristiques (énergie massique, nombre de cyclages,  
prix, sécurité) qui ont amené à choisir le modèle Lithium-Fer-Phosphate.

Concours général des lycées	2016
Sciences et technologies de l'industrie et du développement durable STI2D	Page 3 / 49

## L'anémomètre girouette (questions 1.8 à 1.15)

La précision des mesures de la direction et de la vitesse du vent est primordiale pour le type de voilier qui sera construit. En effet, elles permettent de border au mieux les voiles et ainsi de gagner en vitesse sans dépasser les limites et donc de prévenir les risques de chavirage.

**Il faut donc choisir l'anémomètre girouette et vérifier qu'il satisfasse aux exigences ainsi qu'aux conditions de croisière décrites et éventuellement proposer des améliorations.**

Question 1.8  
sur DR1

**Relever**, dans le diagramme IBD « chaînes d'énergie et d'information » (diagramme de blocs internes DR1), les informations indispensables lors de la propulsion à voile.

L'ingénieur chargé de l'étude a le choix pour l'anémomètre girouette entre le WSM (voir DT9) et le CV7SF à ultrason (voir DT10).

☞ Analyse des critères de choix des capteurs

Question 1.9  
voir DT9  
voir DT10  
voir DT12  
sur DR3

→ **Compléter** les caractéristiques du capteur WSM dans le tableau du DR3.  
→ **Indiquer** si les caractéristiques des **deux** capteurs correspondent aux exigences (voir DT12). Pour cela, **mettre** en évidence les caractéristiques non satisfaisantes en barrant soigneusement (sans gêner la lecture) les cases correspondantes dans le tableau du DR3.  
→ **Indiquer** le capteur qui répond le mieux aux exigences ; **argumenter**.

**L'ingénieur choisit le capteur CV7SF.**

Question 1.10  
sur DR3

Compte tenu des itinéraires possibles du voilier et des conditions météorologiques extrêmes, la température minimale peut atteindre  $-20\text{ °C}$ .  
**Préciser** si cette valeur est compatible avec les caractéristiques de l'anémomètre girouette que l'ingénieur a sélectionné. **Conclure**.

☞ Recherche du composant dont la gamme de températures n'est pas adaptée  
Après des recherches et avec les éléments donnés par le constructeur (voir DT11), l'ingénieur doit trouver le composant responsable du problème afin de proposer une solution.  
Pour un bon fonctionnement du capteur CV7SF, le courant minimum fourni par les cellules solaires (XOB17) ne doit pas être inférieur à 5 mA et la tension ne doit pas être inférieure à 5 V.

Question 1.11  
voir DT11

→ **Indiquer** le composant qui n'est pas adapté à la gamme de températures désirée.  
→ **Expliquer** pourquoi le CV7SF ne fonctionnera pas correctement.



☞ Analyse d'une solution pour remédier au problème de température

Pour remédier au problème, l'ingénieur propose à la société LCV, dans la gamme de températures problématique, de limiter le nombre de transferts entre l'émetteur en haut du mât et le récepteur afin de laisser du temps pour la recharge du supercondensateur.

Question 1.12

→ **Relever** dans la documentation (sur DR3), les fréquences de rafraîchissement de sortie en mode jour, lever et coucher du soleil puis en nuit.

Le nouveau programme sera modifié, pour le mode jour seulement, de la façon suivante :

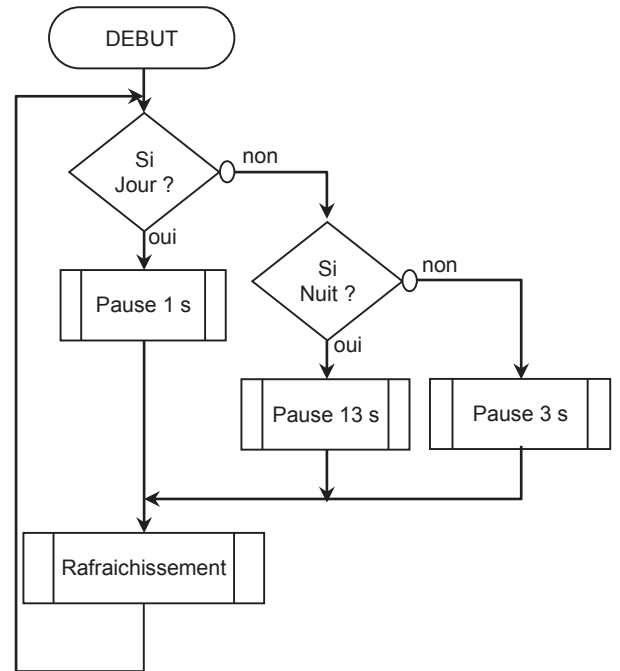
sur DR3

**Si** « température < -10 °C » l'appel à la macro « rafraîchissement » se fera toutes les 3 secondes,

**Sinon** pas de changement.

→ **Transformer** et **retracer** à main levée (sur votre copie) le nouveau programme afin qu'il réponde à la nouvelle contrainte de température « mode jour ».

Organigramme

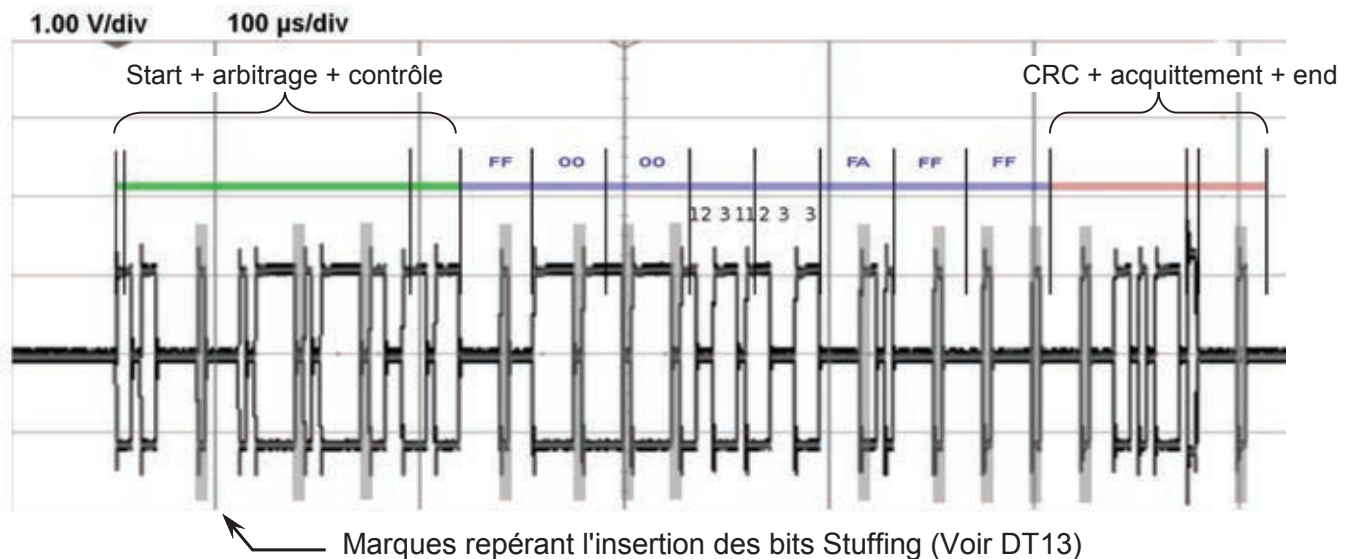


☞ Test du capteur à -20 °C

Le capteur CV7SF ainsi modifié doit être vérifié dans la nouvelle gamme de températures. L'ingénieur propose de comparer deux mesures d'une même direction du vent pour deux températures différentes (-20 °C et +20 °C). La mesure doit être précise, d'où l'utilisation d'un oscilloscope qui capture les trames sur le bus NMEA2000@.

Le document technique DT13 regroupe les renseignements obtenus sur le site NMEA.org.

Le premier relevé à +20 °C fournit le chronogramme ci-dessous et permet de calculer le taux de transfert en baud.



Question 1.13

voir DT13

- **Mesurer** la durée de cette trame sur le chronogramme.
- **Calculer** le nombre de bits contenus dans cette trame en vous aidant du DT13, et en tenant compte des bits de Stuffing.
- **En déduire** la vitesse de transmission de cette liaison.

☞ Décodage de la trame.

Question 1.14

- En vous aidant du DT13, **justifier** si la mesure relevée par cette trame est en vent réel ou relatif.
- En vous aidant du chronogramme précédent, ainsi que de la norme NMEA (DT13), **retrouver** les valeurs hexadécimales des octets manquants, sachant que lors de la transmission d'un octet, c'est le bit de poids fort qui est transmis en premier (les chiffres au dessus indiquent le nombre de bits consécutifs d'un état donné).
- **Indiquer** à quoi font référence ces octets dans la trame (voir DT13)
- **Calculer** la grandeur du vent correspondante.

☞ Synthèse

Question 1.15

- La seconde mesure à -20 °C donne un angle de 78,92°.
- **Indiquer** si la différence reste inférieure à 1° (tolérance du constructeur).
  - **Conclure et argumenter** sur le choix du capteur avec la modification logicielle.

## La quille pendulaire (questions 1.16 à 1.24)

Afin de répondre aux critères du cahier des charges stipulant que le niveau de performance doit être digne d'un bateau de course tout en préservant des conditions optimales de confort, le bureau d'étude a été amené à envisager l'installation d'une quille pendulaire capable de s'incliner sur commande par rapport au plan médian du bateau.

Il est toutefois nécessaire:

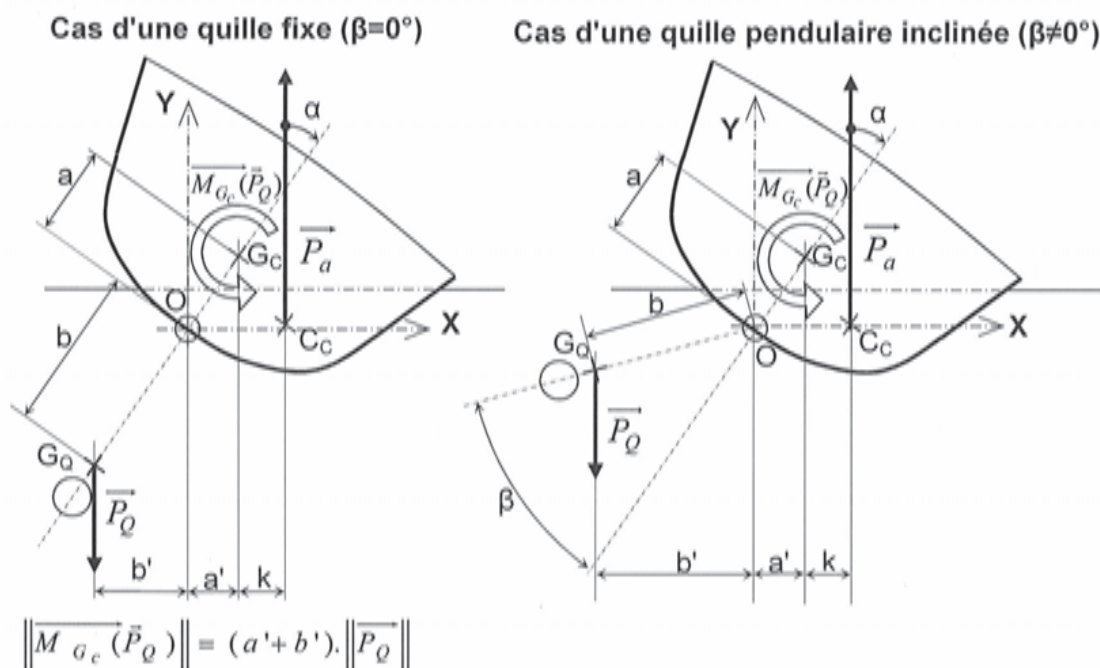
- d'évaluer les bénéfices apportés par l'inclinaison de la quille;
- de dimensionner les éléments de la chaîne de transformation et transmission d'énergie;
- de vérifier, dans les conditions critiques, la résistance aux efforts de l'élément le plus sollicité.

☞ Bénéfices apportés par une quille pendulaire.

L'ingénieur doit vérifier que cette technologie innovante est susceptible d'apporter un gain substantiel sur les performances globales.

Sur un bateau traditionnel à quille fixe, les efforts exercés par le vent sur les voiles provoquent la gîte du bateau (inclinaison  $\alpha$  par rapport à l'axe vertical : voir figure ci-dessous). Les conséquences sont une perte de confort pour les passagers et une diminution de prise au vent.

Le rôle de la quille, du fait de cette inclinaison, de son poids et de la position basse de son centre de gravité, est de créer un couple de redressement tendant à remettre le bateau droit.



$\vec{P}_Q$  : Poids de l'ensemble de la quille (bulbe + voile de quille).

$\vec{P}_a$  : Poussée d'Archimède (force verticale de poussée exercée par l'eau sur la coque, appliquée au centre de carène  $C_c$  = centre géométrique de la partie immergée).

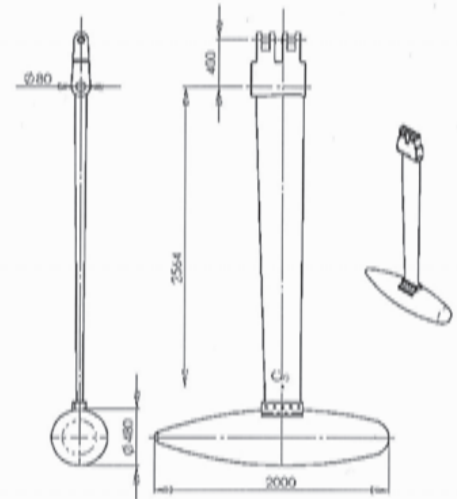
$\vec{M}_{G_c}(\vec{P}_Q)$  : Moment de redressement dû au poids de la quille autour de l'axe  $(G_c, \vec{z})$ .

Question 1.16

Dans le cas d'une quille pendulaire, identifier le paramètre dimensionnel qui varie lors du basculement d'un angle  $\beta$  de la quille et justifier sans calcul que la norme  $\|\vec{M}_{G_c}(\vec{P}_Q)\|$  du moment de redressement dû au poids de la quille autour de  $(G_c, \vec{z})$  est plus importante que pour une quille fixe.

A partir des caractéristiques du bateau (dimensions, poids, hauteur de mât et surface de la voile), un avant-projet du mécanisme de quille pendulaire (voir DT14) établi par le bureau d'étude a permis d'aboutir aux caractéristiques principales de quille suivantes :

- Masse du bulbe (en plomb) : **2410 kg.**
- Masse du voile de quille (en acier Inox) : **654 kg.**
- Distance du centre de gravité de l'ensemble mobile de la quille (bulbe + voile de quille) / axe de rotation de quille : **2564 mm.**



Le graphe DT15 exprime le couple de redressement exercé par le poids de la quille autour de l'axe  $(G_c, \vec{z})$  en fonction de l'angle de gîte  $\alpha$  et de l'angle d'inclinaison  $\beta$  de la quille par rapport au plan médian du bateau.

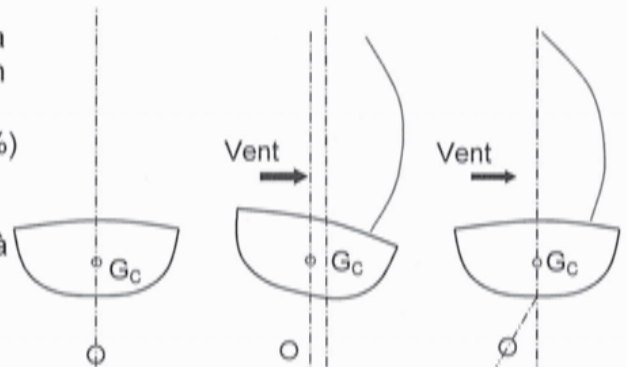
Question 1.17

voir DT15

Dans des conditions moyennes de vents de travers, le voilier à quille fixe ( $\beta=0^\circ$ ) prend une gîte naturelle  $\alpha \approx 15^\circ$  (selon la voile installée). **Déterminer**, à partir du DT15, le gain obtenu sur le couple de redressement lorsqu'on incline la quille pendulaire au maximum ( $\beta=40^\circ$ ).

Sur un bateau à quille pendulaire, le réglage de la position de la quille engendre une augmentation importante du couple de redressement et permet :

- une réduction du poids de la quille (de l'ordre de 40%) comparativement à une quille fixe, entraînant une réduction de l'enfoncement de la coque dans l'eau (tirant d'eau) et donc une réduction de la résistance à l'avancement ;
- une diminution de l'angle de gîte dans la plupart des conditions de vent.



Question 1.18

En utilisant le schéma et les explications ci-dessus, **expliquer** en quoi la diminution du poids de la quille, par rapport à un même bateau à quille fixe, va permettre d'augmenter les performances du voilier.

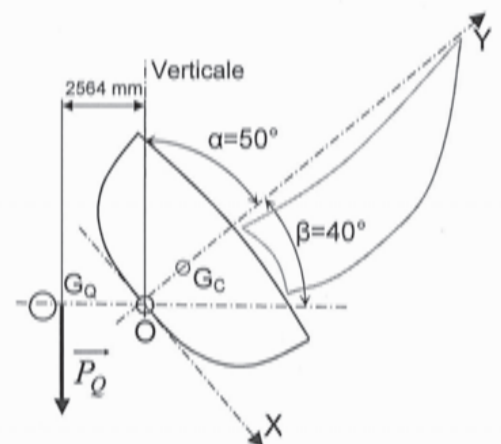
### ☞ Choix du convertisseur d'énergie

L'ingénieur doit maintenant dimensionner et choisir le convertisseur d'énergie permettant d'actionner la quille.

Le mécanisme de manœuvre de la quille pendulaire est défini (voir DT14) par un éclaté et un schéma cinématique en perspective.

Le cahier des charges fonctionnelles impose que le basculement complet de la quille entre deux positions extrêmes soit effectué en moins de 10 s (lors d'un changement de bord).

De plus, le dispositif de manœuvre de la quille doit être capable de supporter les efforts dans la situation extrême correspondant à une gîte du bateau amenant la quille pendulaire à l'horizontale comme sur la figure ci-contre.





### Détermination de la pression d'huile

Question 1.19 Dans la situation extrême du schéma précédent, **calculer** le poids total de la quille={voile de quille + bulbe}  $P_Q$  et **déterminer** la norme du moment exercé par le poids de la quille autour de son axe d'articulation  $(O, \vec{z})$ ,  $\|\overrightarrow{M}_{O_z}(\vec{P}_Q)\|$  (on prendra  $\|\vec{g}\|=10 \text{ m.s}^{-2}$ ).

Le théorème du moment statique, relatif à l'équilibre de l'ensemble quille+bulbe, en projection sur l'axe  $(O, \vec{z})$  impose aux vérins de produire autour de l'axe de rotation  $(O, \vec{z})$  de la quille :

$$\|\overrightarrow{M}_{O_z}(\vec{F}_{\text{vérin1} \rightarrow \text{quille}}) + \overrightarrow{M}_{O_z}(\vec{F}_{\text{vérin2} \rightarrow \text{quille}})\| \geq \|\overrightarrow{M}_{O_z}(\vec{P}_Q)\| = 80 \text{ kN.m}$$

Une simulation informatique permet d'établir le graphe (DT16) représentant le couple total exercé par les **deux** vérins autour de l'axe  $(O, \vec{z})$  en fonction de la position angulaire  $\beta$  de la quille et de la pression d'alimentation en huile (exprimée en MPa).

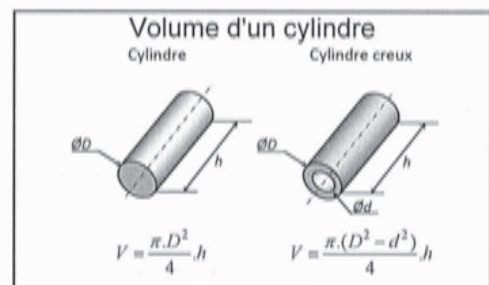
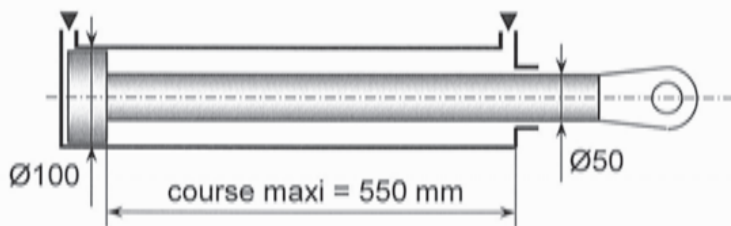
Question 1.20 **Déterminer** la pression d'huile minimum pour actionner la quille (voir DT16) dans la situation extrême définie précédemment.  
voir DT16

### Détermination du débit de la pompe

Le schéma cinématique plan fourni sur le DR4 modélise, à l'échelle 1:10, le mécanisme de quille pendulaire en position droite ( $\beta = 0^\circ$ ).

Question 1.21 Lors d'un réglage de quille :  
→ **Définir** la nature géométrique de la trajectoire du point A appartenant à la quille 2 par rapport au bâti 1 (notée  $T_{A \in 2/1}$ ).  
voir DT14 sur DR4  
→ Sur le schéma cinématique à l'échelle 1:10 (sur DR4), **dessiner** cette trajectoire et **repérer** les positions de fins de course correspondant aux positions  $\beta = +40^\circ$  et  $\beta = -40^\circ$  de la quille/coque.  
→ **Déterminer** graphiquement (sur DR4) la course utile des vérins.

Un prédimensionnement des vérins par le bureau d'étude a abouti aux caractéristiques dimensionnelles définies sur le schéma ci-dessous :



Question 1.22 **Déterminer** le volume d'huile nécessaire pour assurer un basculement complet de la quille. En **déduire** le débit minimum de la pompe en litres/minute (on rappelle que le basculement complet doit être effectué en 10 s maximum).

### Choix de la pompe hydraulique

On prendra une pression d'huile de 25 MPa et un débit de  $47 \text{ l.min}^{-1}$ .

Question 1.23 **Choisir** une pompe correspondant aux critères de pression et de débit dans l'extrait de catalogue fourni dans le dossier technique (voir DT17).  
voir DT17

## ☞ Vérification de la résistance du voile de quille

Le voile de quille constitue l'élément clé du mécanisme de quille pendulaire ; plusieurs contraintes de conception essentielles se dégagent :

- transmettre les efforts dus au poids du bulbe jusqu'à la coque du bateau, mais également résister aux chocs avec d'éventuels objets flottants ( $\frac{\sigma_{ee}}{\sigma_{Maxi}} > 5$ ) ;
- résister à l'ambiance marine particulièrement corrosive ;
- opposer un minimum de résistances hydrodynamiques ;
- présenter une rigidité suffisante afin de limiter les vibrations et la fatigue du matériau ;
- être recyclable.

Parmi les matériaux susceptibles de répondre à ces critères de conception, le choix de l'architecte s'est orienté vers un acier inoxydable à haute limite élastique (*X 5 Cr Ni Cu Nb 17-4*) permettant l'obtention d'un voile de quille monobloc par forgeage suivi des usinages de finition nécessaires.

L'avant projet de dessin du voile de quille permet une simulation informatique (voir DT18) visualisant les contraintes dans la situation extrême définie précédemment.

Question 1.24  
voir DT18

**Relever** le niveau de contrainte normale maximum et **conclure** quant à la capacité de résistance de la quille.

## Partie 2 : photovoltaïque innovant

L'électricité joue un rôle de plus en plus important à bord des bateaux de plaisance : indispensable au niveau de la navigation et des instruments de communication, et nécessaire aussi au nombre croissant d'appareils de confort.

Durant une course transatlantique, la bonne gestion de l'énergie électrique est primordiale pour naviguer de façon efficace et dans de bonnes conditions de sécurité. En l'absence d'éléments de confort à bord, le consommateur d'énergie le plus important est sans conteste le pilote automatique, le reste étant consommé par l'électronique (incluant le PC de bord).

Tous ces équipements sont alimentés par un pack de batteries de servitude, distinct du pack de batteries d'alimentation des moteurs. En effet, les caractéristiques et profils d'utilisation sont tout à fait différents.

Le propriétaire souhaite que la recharge de la batterie de servitude se fasse à l'aide d'énergies douces (photovoltaïques et/ou éoliennes).

Cependant, une solution de secours est envisagée : la batterie de servitude pourra être rechargée, de manière exceptionnelle, à partir du pack de batteries moteurs à l'aide d'un chargeur batterie à batterie.



### Choix des batteries (questions 2.1 à 2.4)

L'ingénieur chargé d'étude doit choisir la technologie de la batterie de servitude et dimensionner sa capacité.

**Hypothèse d'étude : consommation journalière de 40 Ah sous 12 V.**

- Question 2.1  
voir DT19 et DT20  
sur DR5
- A l'aide des documents DT19 et DT20, **compléter** le DR5 en cochant les cases qui caractérisent une batterie de servitude.
- Question 2.2  
voir DT19 et DT20
- A l'aide des documents DT19 et DT20 :  
→ **Citer** les deux technologies les plus appropriées pour une batterie de servitude parmi les batteries Plomb-Acide proposées.  
→ **Indiquer** la technologie la plus adaptée aux décharges profondes.
- Question 2.3
- En s'autorisant une profondeur de décharge de batterie de 80%, et compte tenu de la consommation journalière, **calculer** la capacité théorique  $C_{théo}$  en Ah que doit avoir la batterie pour avoir une autonomie d'une journée.

Lors d'essais en simulation pour différents scénarios de parcours de skippeur, l'ingénieur a pu se rendre compte que les performances de la batterie en termes de capacité n'étaient pas celles attendues.

Question 2.4  
voir DT21

A l'aide du document DT21 :  
→ **Indiquer** la cause la plus probable de cette anomalie, et **expliquer** ;  
→ **Proposer** une solution afin de résoudre le problème et permettant de naviguer partout.

### Choix d'une source d'énergie d'origine renouvelable (questions 2.5 à 2.6)

Il s'agit de sélectionner la source d'énergie d'origine renouvelable respectant le plus les spécifications exigées par le client et par la structure du bateau.

☞ Source d'énergie de type éolien

Dans cette étude, nous allons déterminer si cette solution d'énergie renouvelable répond aux critères d'exigences de performance de navigation et de sécurité du voilier.

Question 2.5  
voir DT22

Au regard des spécifications de l'armateur et en analysant la documentation de l'éolienne (DT22), **justifier** pourquoi cette solution n'est pas viable.

☞ Source d'énergie de type photovoltaïque

Cette source d'énergie doit être placée sur une surface. Pour trouver le type de panneaux photovoltaïques adaptés, nous utiliserons un outil d'aide à la résolution de solution : la matrice TRIZ (DT23).

La principale contrainte rencontrée pour l'implantation de panneaux photovoltaïques est liée à la surface. En effet, le rendement faible des panneaux photovoltaïques impose souvent de grandes surfaces pour répondre aux besoins en énergie, nécessaires pour recharger les batteries dans le temps imparti. En conséquence, par rapport à la structure du voilier, les panneaux doivent pouvoir **s'adapter** parfaitement aux surfaces. Ils doivent aussi ne pas changer **la masse du voilier, surtout lorsqu'il navigue**, et ils doivent être posés de manière contigüe et ne pas être ombragés.

Question 2.6  
voir DT23

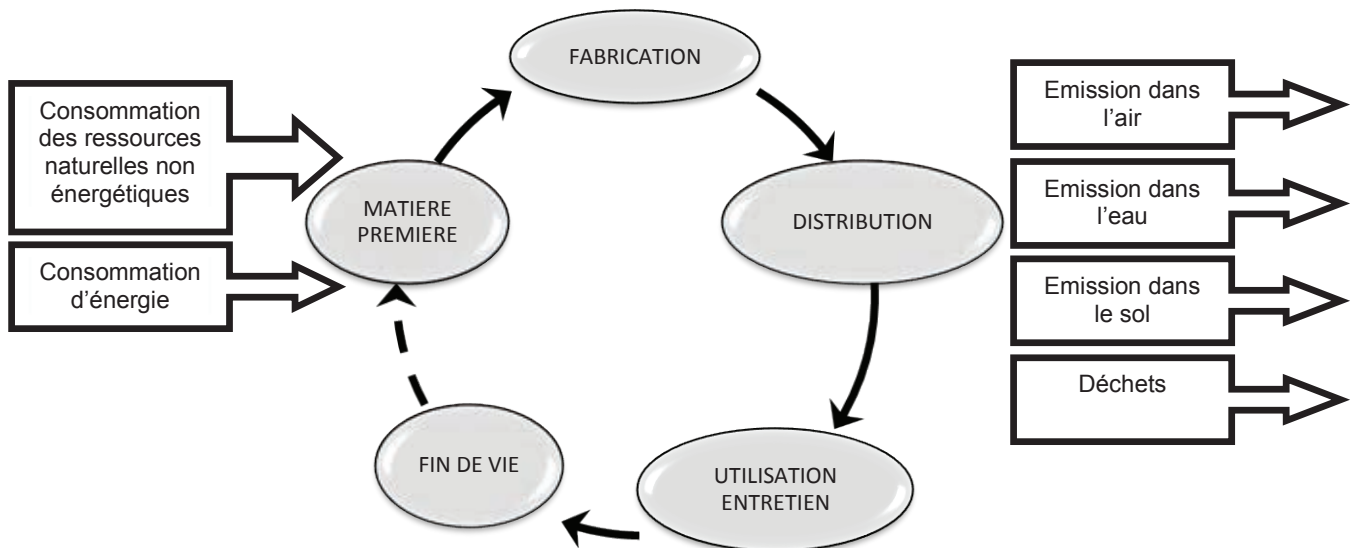
→ A partir de l'extrait du tableau TRIZ, (DT23) **donner** les contradictions correspondantes.  
→ **Indiquer** ensuite les principes associés au croisement de ces deux contradictions.  
→ **En déduire** le principe le plus adapté.  
→ **Conclure** sur les spécificités que devront avoir les panneaux photovoltaïques ainsi que sur l'implantation la plus appropriée de ceux-ci sur le voilier pour répondre au principe retenu.



## Étude de l'impact environnemental des solutions photovoltaïques (questions 2.7 à 2.11)

L'équipe d'ingénieurs souhaite maintenant choisir la technologie photovoltaïque. Pour répondre à la charte pavillon bleu (voir page 2), le choix se fera après une étude d'impact environnemental de différents panneaux solaires :

- un panneau rigide au silicium monocristallin ;
- un panneau en couche mince au silicium amorphe ;
- une toile en tissu polymère.

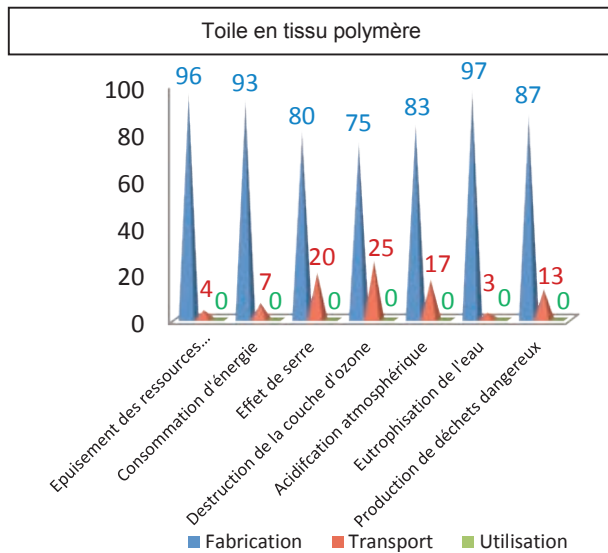
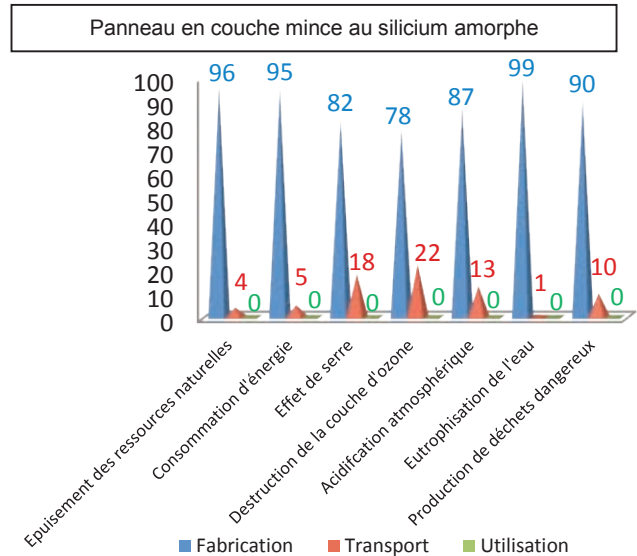
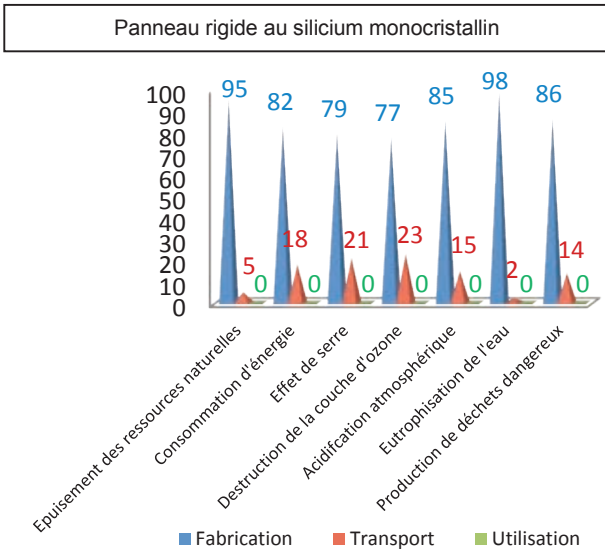


Question 2.7  
voir DT24  
voir DT25  
sur DR6 et DR7

A l'aide des documents DT24 et DT25 et en vous aidant des informations insérées dans le DR7, **compléter** les diagrammes des différentes étapes du cycle de vie du produit (DR6).

Question 2.8

Au regard des résultats précédents et des graphes ci-dessous, **citer** l'étape la plus appropriée pour mener l'étude comparative. **Justifier** votre réponse.



Afin d'estimer les impacts environnementaux liés à la fabrication des systèmes de production électrique d'origine photovoltaïque, il est nécessaire d'utiliser une unité comparable.

Question 2.9

Sur DR7

En vous appuyant sur les valeurs du document réponse DR7, **proposer** une unité équivalente permettant de réaliser une ACV sur les systèmes de production électrique d'origine photovoltaïque.

Question 2.10

Sur DR7

**Reformuler** les valeurs du DR7 en utilisant l'unité fonctionnelle proposée dans la question précédente.

Question 2.11

Sur DR7

**Conclure** sur le système de production électrique le moins impactant.

## Détermination de la puissance des panneaux photovoltaïques (questions 2.12 à 2.21)

Nous allons à présent nous intéresser à la recharge de la batterie de servitude par panneau photovoltaïque.

**Hypothèse d'étude : consommation journalière de 40 Ah sous 12 V.**

La production d'énergie électrique des panneaux variera en fonction de l'ensoleillement, due à la situation géographique et à la période de l'année. Il faut donc appréhender ces variations d'ensoleillement.

Une surface exposée au soleil reçoit, à un instant donné, un rayonnement solaire en  $W.m^{-2}$ .

L'irradiation désigne la quantité d'énergie reçue du soleil en une journée sur une surface de  $1 m^2$ . Elle s'exprime donc en  $kWh.m^{-2}$  et par jour.

Question 2.12

Voir DT26

A l'aide du document DT26 :

→ **Indiquer** l'énergie solaire quotidienne minimale et maximale en  $kWh.m^{-2}$  reçue sur la France.

→ **Calculer**, en pourcentage de la valeur maximale, l'écart entre ces deux valeurs.

→ Pour la ville de Brest, **indiquer** les valeurs d'énergie solaire quotidienne minimale et maximale ainsi que les mois correspondants.

→ **Calculer** l'écart entre ces valeurs d'énergie solaire, en pourcentage de la valeur maximale.

→ **Déduire** si le facteur prépondérant sur les variations d'énergie solaire reçue en France est l'emplacement géographique ou le mois de l'année.

Parmi les spécifications du cahier des charges, et afin de limiter les surcoûts inutiles, le propriétaire habitant Brest a précisé que :

→ le bateau ne serait amené à sortir que sur la période du 1<sup>er</sup> mars au 1<sup>er</sup> novembre.

→ la référence d'ensoleillement pour assurer l'autonomie de la batterie de servitude doit être l'ensemble du littoral français.

Question 2.13

voir DT26

A l'aide du document DT26, **donner** la valeur de l'énergie solaire  $E_{SOL}$  à prendre en compte, dans le cas le plus défavorable, pour le dimensionnement des panneaux.

Question 2.14

L'énergie solaire  $E_{SOL}$  reçue au bout d'une journée est l'équivalent d'une puissance de rayonnement de  $1000 W.m^{-2}$  reçue pendant un temps  $T_e$ . A partir de la valeur trouvée à la question précédente, **déterminer** ce temps  $T_e$  en heures, durant lequel le panneau photovoltaïque sera soumis à une puissance de  $1000 W.m^{-2}$ .

Quand un panneau photovoltaïque reçoit une puissance de rayonnement solaire de  $1000 W.m^{-2}$ , il produit une puissance électrique  $P_c$  (W).

Cette puissance électrique, appelée puissance crête est donnée par le fabricant du panneau.

Question 2.15

**Déterminer** l'expression littérale de l'énergie électrique  $E_{ELEC}$  produite au bout d'un temps  $T_e$  (h) par un panneau photovoltaïque de puissance électrique  $P_c$ , et exposé à un rayonnement solaire de  $1000 W.m^{-2}$ .

Question 2.16 | À partir de la consommation journalière en Ah, **calculer** le besoin journalier d'énergie électrique  $E_J$  (en kWh).

Question 2.17 | À partir du besoin journalier en énergie électrique  $E_J$ , et de l'expression de l'énergie électrique  $E_{ELEC}$  produite quotidiennement par le panneau photovoltaïque, **déterminer** la puissance électrique crête théorique  $P_{c\_théo}(W)$  que doit avoir le panneau photovoltaïque.

La voile ne permet pas un angle d'incidence optimum du rayonnement solaire et le panneau photovoltaïque doit donc être surdimensionné. Des simulations, à travers différents scénarios, ont permis de mettre en évidence que globalement, il existe un coefficient de performance (CP) de 0,9.

Question 2.18 | **En déduire** la puissance électrique crête  $P_c(W)$  que doit avoir le panneau photovoltaïque en tenant compte du coefficient de performance.

L'ingénieur choisit une toile photovoltaïque de puissance crête  $P_c = 220 W$ .

Question 2.19 | **Justifier** si ce choix est convenable.

Question 2.20  
*voir DT27* | → A l'aide de la documentation du panneau photovoltaïque, **déterminer** :  
- la tension à vide délivrée par le panneau (pour un éclairement de  $1000 W.m^{-2}$ ) ;  
- le courant de court-circuit (pour un éclairement de  $1000 W.m^{-2}$ ) ;  
- comment évoluent ces valeurs lorsque l'éclairement diminue ;  
- comment évoluent ces valeurs lorsque la température augmente ;  
→ **En déduire** les conditions idéales de fonctionnement d'un panneau photovoltaïque.

Question 2.21  
*voir DT27* | → A l'aide de la documentation du panneau photovoltaïque, **estimer** le rendement  $\eta_e$  de la conversion d'énergie lumineuse en énergie électrique en supposant que le panneau délivre la puissance maximum. On supposera un éclairement  $E = 1000 W.m^{-2}$ .  
→ **Conclure**.

## Étude des conditions optimales de fonctionnement du GPV (Générateur PhotoVoltaïque) (questions 2.22 à 2.36)

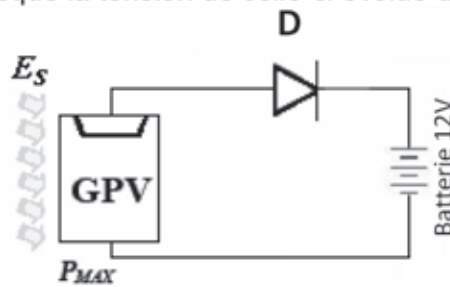
Hypothèse d'étude :

Sauf mention contraire, par défaut, les conditions standards de test (STC) sont remplies, c'est-à-dire :

- AM = 1.5
- température de 25 °C
- éclairement de 1000 W.m<sup>-2</sup>

### ☞ Branchement direct de la batterie au GPV

La batterie est supposée être connectée directement au panneau photovoltaïque comme l'indique le schéma ci-dessous. Nous allons nous intéresser à la puissance que transmet le panneau photovoltaïque à la batterie lorsque la tension de celle-ci évolue de 10 V à 15 V.



- Question 2.22  
*voir DT27 sur DR8* | A l'aide de la documentation du GPV (DT27), **compléter** la ligne " $I_{\text{Bat}}$  (A)" du tableau sur DR8 en y reportant la valeur de l'intensité du courant en Ampère généré par le panneau solaire pour chacune des tensions de batterie  $U_{\text{Bat}}$  mentionnées.
- Question 2.23  
*voir DT27* | **En déduire** le type de générateur que représente le panneau solaire lorsque la batterie se charge. **Justifier**.
- Question 2.24 | Afin de prolonger la durée de vie de la batterie, le constructeur recommande de stopper la charge dès lors que la tension dépasse 14,7 V.  
**Indiquer** si cette contrainte sera respectée. **Justifier** votre réponse.
- Question 2.25 | **Indiquer** le rôle de la diode (du schéma ci-dessus) et **préciser** dans quelles circonstances elle intervient.
- Question 2.26  
*sur DR8* | **Compléter** la ligne " $P_{\text{Bat}}$  (W)" du tableau sur DR8 en y reportant la puissance en Watt transmise du GPV vers la batterie pour chacune des tensions mentionnées.
- Question 2.27  
*sur DR8* | **Compléter** la ligne " $\eta_{\text{transfert}}$  (%)" du tableau sur DR8 en y reportant le rendement du transfert énergétique calculé de la manière suivante :  
$$\eta_{\text{transfert}} = \frac{P_{\text{Bat}}}{P_c} \times 100$$
 où  $P_c$  représente la puissance crête, c'est-à-dire la puissance maximum que peut délivrer le panneau.
- Question 2.28 | **Conclure** quant à l'efficacité énergétique de ce dispositif de transfert d'énergie.



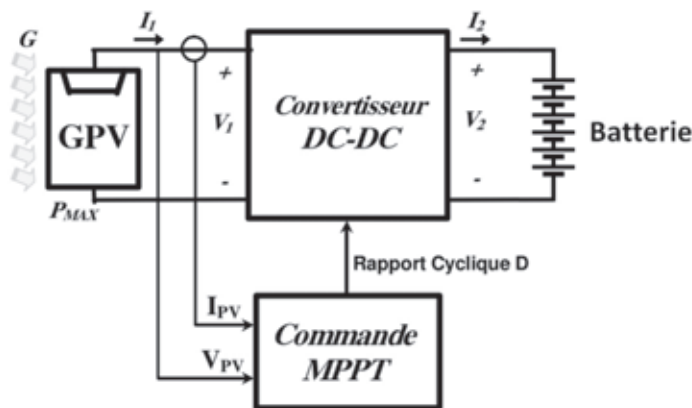
### ☞ Branchement de la batterie au GPV (Générateur PhotoVoltaire) avec un régulateur MPPT (Maximum Power Point Tracking)

Un panneau solaire est capable de fournir une puissance qui dépend directement de l'ensoleillement mais aussi pour une part non négligeable, de la tension qui se trouve à sa sortie, comme constatée précédemment.

Ainsi, la puissance crête  $P_c$  ne peut être obtenue que pour un seul point donné de la courbe  $I=f(U)$  caractérisé par :

- $V_{MPP}$  : tension lorsque le GPV produit le maximum de puissance
- $I_{MPP}$  : intensité du courant lorsque le GPV produit le maximum de puissance

La tension de la batterie, variable en fonction de son état, ne correspondant pas à la tension  $V_{MPP}$ , il convient d'insérer un étage d'adaptation entre les deux éléments permettant d'extraire à chaque instant le maximum de puissance disponible aux bornes du GPV. La figure suivante illustre le principe :



Montage en connexion à travers un régulateur MPPT.

L'étage d'adaptation, appelé régulateur MPPT, applique un coefficient  $K$  d'amplification ou de réduction entre la tension  $V_1$  aux bornes du GPV et la tension  $V_2$  aux bornes de la batterie de façon à ce que la puissance délivrée par le panneau soit optimale. La méthode de détermination du coefficient  $K$  est appelée MPPT (Maximum Power Point Tracking) et sera abordée ultérieurement.

$$K = \frac{V_2}{V_1}$$

Nous allons tout d'abord nous intéresser au comportement énergétique du système.

- Question 2.29 | **Indiquer** les valeurs de tension  $V_{MPP}$  et de courant  $I_{MPP}$  nécessaires en sortie du GPV pour délivrer la puissance maximale  $P_c$ .  
*voir DT27*
- Question 2.30 | En supposant que la tension  $V_2$  aux bornes de la batterie soit de 12 V, en **déduire** la valeur du coefficient  $K$ .
- Question 2.31 | **Déterminer** l'expression littérale de :  
→ la puissance  $P_1$  délivrée par le GPV en fonction  $V_1, I_1$  ;  
→ la puissance  $P_2$  reçue par la batterie en fonction  $V_2, I_2$ .

Question 2.32 | En supposant qu'il n'y ait aucune perte de puissance dans le convertisseur :  
 → **Ecrire** la relation liant  $V_1, I_1, V_2, I_2$  ;  
 → **Déduire** l'expression du courant  $I_2$  en fonction de  $I_1$  et de  $K$ .  
 → **Calculer** alors la valeur de  $I_2$  pour la valeur de  $K$  trouvée précédemment lorsque le panneau travaille à son maximum de puissance.

Nous allons à présent nous intéresser au transfert de puissance au cours de la charge de la batterie.

Question 2.33 | **Compléter** sur le tableau du document DR9, pour chacune des tensions de batterie  $U_{\text{Bat}}$  mentionnées :  
 → la ligne  $K$  en y reportant la valeur à donner au coefficient  $K$  pour que le GPV travaille à puissance maximale, c'est-à-dire avec une tension à ses bornes égale à  $V_{\text{MPP}}$  ;  
 → la ligne  $I_{\text{Bat}}$  (A) en y reportant la valeur de l'intensité du courant de batterie ;  
 → la  $P_{\text{Bat}}$  (W) en y reportant la puissance reçue par la batterie calculée à partir de  $U_{\text{Bat}}$  et  $I_{\text{Bat}}$ .  
*voir DR9*

Question 2.34 | **Compléter** la ligne  $\eta_{\text{transfert}}$  (%) du tableau DR9 en y reportant le rendement du transfert énergétique calculé de la manière suivante :  

$$\eta_{\text{transfert}} = \frac{P_{\text{Bat}}}{P_c} \times 100$$
 où  $P_c$  représente la puissance crête, c'est-à-dire la puissance maximale que peut délivrer le panneau.  
*sur DR9*

Question 2.35 | A partir du tableau DR9 et du document DT27, et en se situant dans des conditions qui ne sont pas nécessairement les conditions standards de test, **citer** trois facteurs qui vont influencer sur la valeur de  $K$  au cours du processus de charge de la batterie.  
*voir DT27 sur DR9*

Question 2.36 | **Conclure** quant à l'intérêt de ce dispositif de transfert d'énergie.

## Partie 3 : structure d'amarrage d'un port de plaisance

Le marché de la plaisance et de la navigation de loisir connaît une croissance importante depuis plusieurs années. La forte augmentation du nombre des plaisanciers et les exigences en matière d'accueil et de confort obligent les communes maritimes ayant un fort potentiel touristique à s'équiper en infrastructures portuaires adaptées.

C'est dans ce cadre qu'une commune du Finistère prévoit :

- d'étendre son port de plaisance pour accueillir des bateaux plus grands, (ne sera pas abordé dans cette étude) : les pontons flottants existants sont conservés, les nouveaux qui seront installés auront les mêmes caractéristiques : franc bord léger de 500 à 550 mm (*hauteur au-dessus de la ligne de flottaison à vide*) et capacité de charge  $200 \text{ kg.m}^{-2}$  (2 à 3 personnes par  $\text{m}^2$ ) ;
- de remplacer l'ancienne passerelle vétuste par une passerelle d'accès aux pontons flottants permettant une charge d'exploitation plus importante ;
- de revoir l'aménagement (voir DT28) afin d'optimiser le nombre d'anneaux d'amarrage ;
- d'installer des catways articulés en épi sur des pontons flottants afin de rationaliser l'amarrage et améliorer le confort d'accès aux bateaux (ces catways doivent être légers et facilement déplaçables afin de faciliter l'évolution de la configuration du port de plaisance).



### **Objectif de l'étude :**

Avant de passer commande du matériel nécessaire au déploiement de catways de 4,5 et 6 m de long, il convient de choisir précisément les flotteurs et de vérifier la résistance des structures porteuses.

### **Hypothèse d'étude :**

On se limitera à l'étude du catway (voir DT27) le plus court ( $L=4,5 \text{ m}$ ) qui, équipé d'un seul flotteur semble être le plus sensible à la charge.

Concours général des lycées	2016
Sciences et technologies de l'industrie et du développement durable STI2D	Page 20 / 49