

CONCOURS GENERAL DES LYCEES

Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable

Session 2016

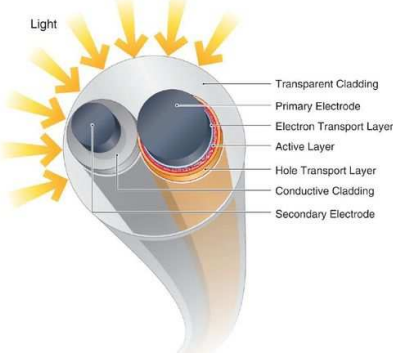
CORRECTION

Durée 4 heures

Aucun document autorisé

Calculatrice autorisée

Constitution du sujet

		
Partie 1 : Le voilier	Partie 2 : Photovoltaïque innovant	Partie 3 : Catway d'amarrage

- **Sujet** (*mise en situation et questions à traiter par le candidat*)
 - o **partie 1** pages 2 à 10
 - o **partie 2** pages 11 à 19
 - o **partie 3** pages 20 à 22
- **Documents techniques** pages 23 à 41
- **Documents réponses** pages 42 à 49

Les documents réponses DR1 à DR11 (pages 42 à 49) seront à rendre agrafés aux copies.

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

Ce client est exigeant : il faut 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. **Il faut maintenant 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 nouveaux catways.

Partie 1 : Le voilier

Etude de la motorisation et de son autonomie - (Questions 1.1 à 1.7)

Le voilier spécifié est notamment 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 2 moteurs est indépendante ; elle s'effectue depuis le poste de pilotage par 2 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	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).
voir DT1	Diagramme d'exigences : Le voilier doit pouvoir naviguer sans vent - Autonomie de 600 milles nautiques sans vent - Autonomie de 2h en propulsion motorisée

☞ 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.

Concours général - CORRECTION	2016
Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable STI2D	Page 2 / 53

- Mode 3 : « Moteurs » en fonctionnement générateur, lorsque la propulsion à voile permet d'entraîner les hélices pour charger les batteries.

Question 1.2 | 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.
voir DR1
CF DR1

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

☞ Identification des constituants de la propulsion motorisée

Question 1.4 | **Indiquer** sur le schéma du DR2 les repères de nomenclature (indiqués sur DR2) des constituants de la propulsion motorisée.
voir DR1 et DR2
CF DR2

☞ Vérification de la puissance transmissible de la propulsion motorisée

Question 1.5 | → A l'aide des caractéristiques des constituants (voir DT2 à DT5), **vérifier** que la tension de fonctionnement du pack de batterie est compatible avec la tension de sortie du groupe électrogène ainsi qu'avec la tension d'alimentation des moteurs et des variateurs de vitesse.
Le pack de batterie fonctionne avec une tension de 144Vdc.
- **Le groupe électrogène fournit une tension qui est compatible : entre 48 et 144Vdc**
- **La tension d'alimentation des moteurs est de 144Vdc et la gamme de tension du variateur est compatible : de 40 à 175Vdc**
→ **Vérifier** qu'un variateur de vitesse AVB125A200 peut fournir le courant nominal d'un moteur ST 74.
voir DT2 à DT5
Le courant max permanent du variateur est de 80A, il est supérieur au courant nominal de 64A du moteur.
→ **Déterminer** le courant maximum que peut fournir le pack de batterie (voir DT3 et notamment le courant de décharge maximum – sans «active cooling»).
Le courant maxi de décharge continue est de 160A.
→ **Vérifier** que le pack de batterie peut fournir le courant nominal pour alimenter les 2 moteurs ST 74.
Les 2 moteurs, à leur puissance nominale, consomment au total $2 \times 64 = 128A$; les batteries peuvent fournir jusqu'à 160A, elles peuvent donc alimenter les 2 moteurs à leur puissance nominale.

☞ Détermination de la puissance consommée par les moteurs pour propulser le voilier à 2,5 m/s (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 l'avancement du voilier) lorsque celui-ci se déplace à $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.
voir DT6
voir DT7
En **déduire** la force que doit exercer une hélice.
L'effort de trainée à 2,5 m/s est de 500N
Chaque hélice doit donc fournir 250N
→ A l'aide de la caractéristique d'une hélice (voir DT7), **déduire** :

- la vitesse de rotation N ,
- puis, le couple résistant C sur l'arbre d'une hélice à cette vitesse.

L'hélice fournit 250N lorsqu'elle tourne à

$N = 470 \text{ tr/min}$

A cette vitesse, le couple résistant sur l'arbre est :

$C = 18 \text{ Nm}$

→ **Exprimer** la puissance mécanique en fonction du couple et de la vitesse de rotation. **Calculer** ensuite cette puissance.

$P = 18 \times 470 \times 2 \times 3,14 / 60 = 885 \text{ W}$

→ Le rendement des moteurs étant de 87%, **vérifier** que la puissance consommée par les 2 moteurs dans ces conditions est de l'ordre de 2000W.

Les 2 moteurs consomment $2 \times 885 / 0,87 \sim 2000 \text{ W}$

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

Question 1.7

→ **Vérifier** 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 $2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, le pack de batteries doit fournir 2100W).

Les batteries doivent fournir 2100W pendant 2h, soit 4,2kWh. Elles ont une capacité de 23kWh ce qui est largement suffisant

→ Le tableau (DT8) présente les caractéristiques de différents types de batteries. **Classer** selon 3 niveaux (prioritaire, moyennement prioritaire, secondaire) ces caractéristiques (Energie massique, Nombre de cyclage, Prix, Sécurité) qui ont amené à choisir le modèle Lithium-Fer-Phosphate.

voir DT3
voir DT8

Parmi les batteries proposées, le choix d'une batterie **Li-ion Phosphate** se base sur :

- Le critère prioritaire de sécurité :
- Les critères moyennement prioritaires :
 - énergie massique :
 - durée de vie : Le critère économique a été secondaire, elle fait partie des plus chères.

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. De plus, ces informations sont nécessaires pour optimiser la position de la quille pendulaire.

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
voir DR1

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

Direction et vitesse du vent ainsi que la profondeur.

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
voir DR3*

→ **Compléter** les caractéristiques du capteur WSM dans le tableau du DR3.

CF DR3

→ **Vérifier** 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.

CF DR3

→ **Indiquer** le capteur qui répond le mieux aux exigences ; **argumenter**.

Le capteur répondant le mieux aux exigences est le CV7SF puisque le seul critère ne répondant pas aux exigences est la température basse -10°C au lieu de -20°C exigés. Le capteur GWS a 4 exigences non respectées.

L'ingénieur choisit le capteur CV7SF.

Question 1.10
voir DR3

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

CV7SF -10°C < θ

La température inférieure du capteur n'est pas adaptée aux croisières prévues pour le voilier.

☞ 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 5mA et la tension ne doit pas être inférieure à 5V.

Question 1.11
voir DT11

→ **Indiquer** le composant qui n'est pas adapté à la gamme de températures désirée.

Cellule solaire.

→ **Expliquer** pourquoi le CV7SF ne fonctionnera pas correctement.

Le courant sera insuffisant pour alimenter le système.

☞ 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 (voir DR3), les fréquences de rafraîchissement de sortie en mode jour, lever et coucher du soleil puis en nuit.

Organigramme

1 fois par sec. de jour, 1 fois tous les 3 secs. au lever et coucher du soleil, 1 fois tous les 13 secs. la nuit

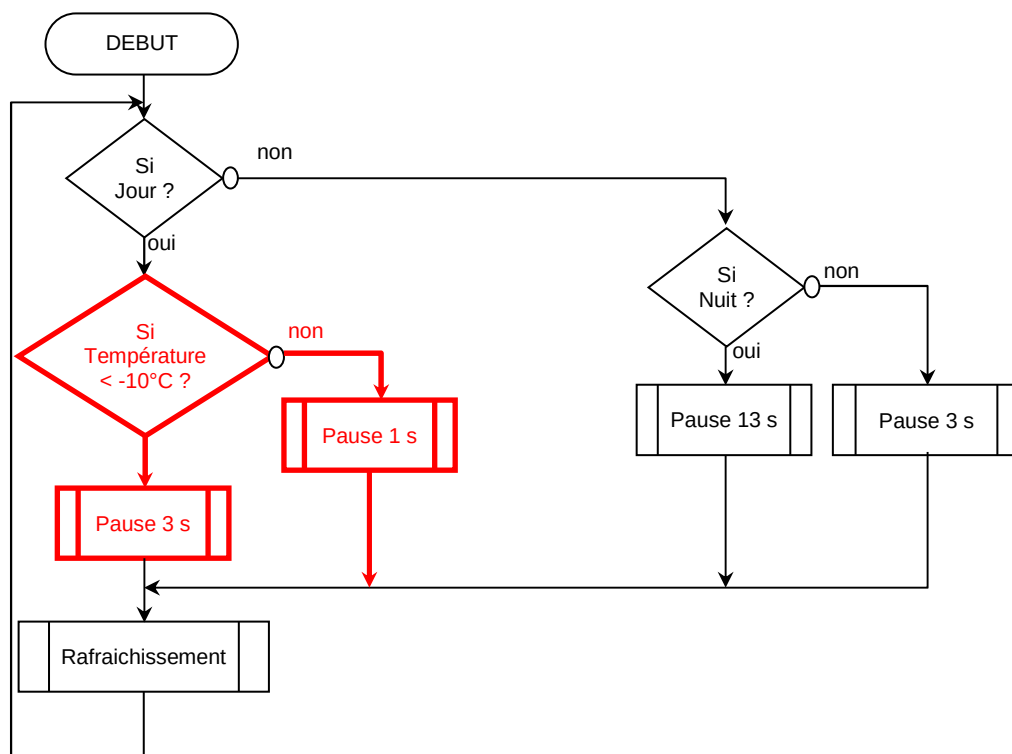
voir DR3

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

Si « température $< -10^{\circ}\text{C}$ » 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 ».

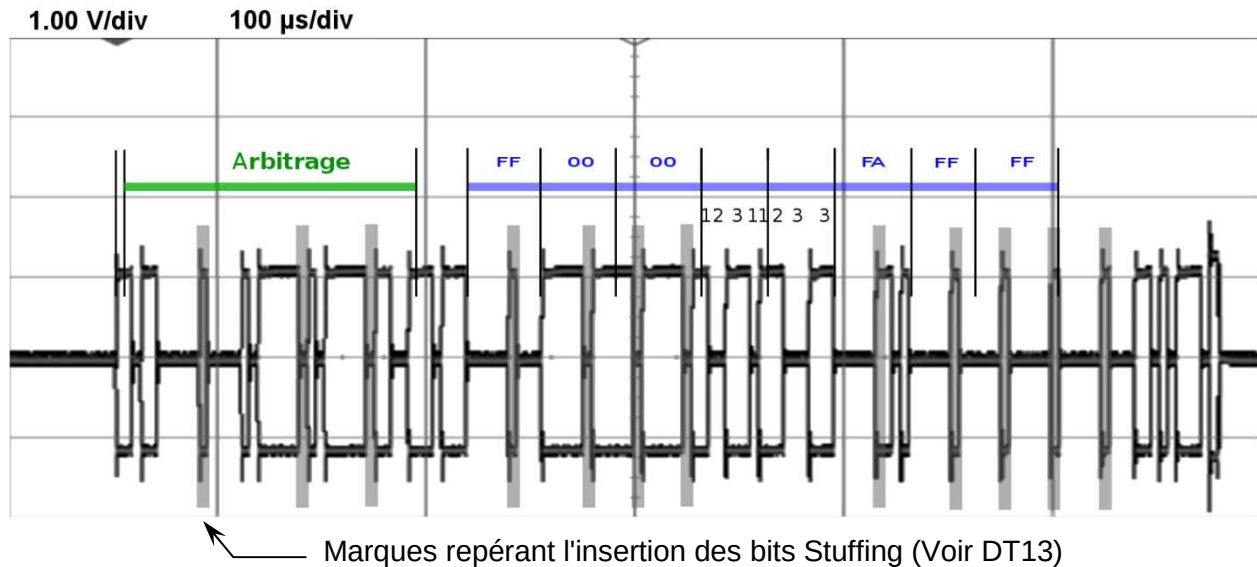


☞ Test du capteur à -20°C

Le capteur CV7SF doit être vérifié dans la nouvelle gamme de températures. L'ingénieur propose de comparer deux mesures d'une même direction du vent pour 2 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
~525µs
- **Calculer** le nombre de bits contenus dans une trame (voir DT13),
128 bits
- **En déduire** la vitesse de transmission de cette liaison
244 kbauds ~250kbauds

☞ Décodage de la trame.

Question 1.14

- En vous aidant du chronogramme précédent, ainsi que de la norme NMEA (DT13), **retrouver** les valeurs hexadécimales des octets manquants (les chiffres au dessus indiquent le nombre de bits consécutifs d'un état donné).
Octet1(a gauche) : (01100010)₂ <=> (62)₁₆
Octet2 (a droite) : (00111000)₂ <=> (38)₁₆
- **Indiquer** à quoi font référence ces octets dans la trame (voir DT13)
A la direction du vent
- **Calculer** la grandeur du vent correspondante.
D'après la documentation (FFFF)₁₆ <=> (65535)₁₀ <=> 360°
donc (3862)₁₆ <=> (14434)₁₀ <=> 79,29°

☞ Synthèse

Question 1.15

- La seconde mesure à -20°C donne un angle de 78,92°.
- **Vérifier** si la différence reste inférieure à 1° (tolérance du constructeur).
79.38° - 78.92° = 0.46° donc < 1°.
- **Conclure et argumenter** sur le choix du capteur.
Le seul critère qui ne respecte pas les exigences peut être corrigé. Le prix est élevé à cause des technologies mises en œuvres.
L'alimentation par panneau solaire et la transmission des données par FM permettent l'absence de câble dans le mât, l'utilisation des ultra-sons évite les pièces en mouvement ce qui permet de répondre aux exigences de niveau « F0 » dans le diagramme d'exigence.

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:

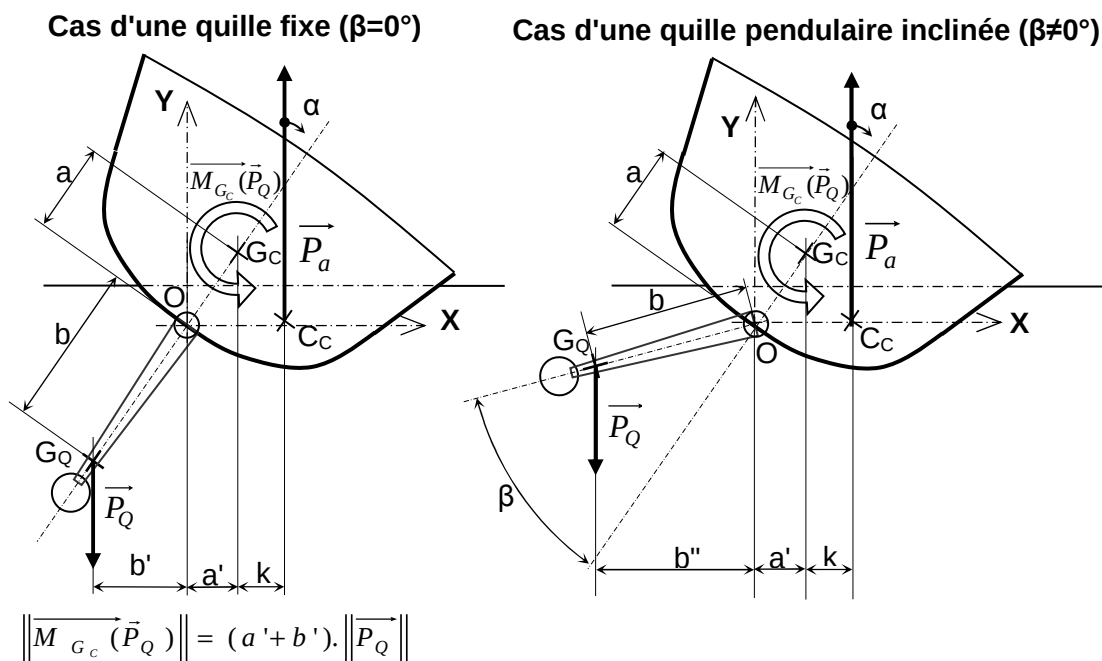
- d'évaluer les bénéfices apportés par l'inclinaison de la quille,
- de dimensionner les éléments de la chaîne de transformation et transmission d'énergie,
- de vérifier, dans les conditions critiques, la résistance aux efforts de l'élément le plus sollicité.

☞ 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 α 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).

$\overrightarrow{M_{G_c}}(\vec{P}_Q)$: Couple de redressement dû au poids de la quille autour de l'axe $(G_c, \vec{z})$

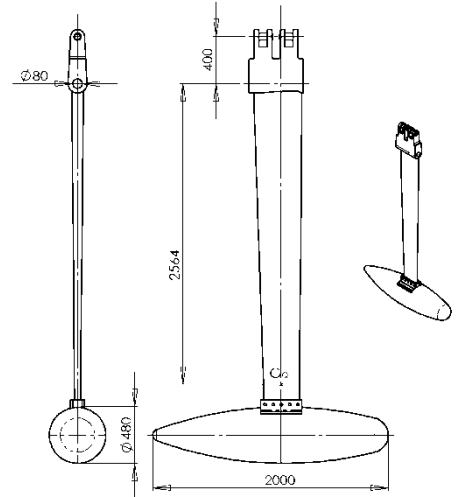
Question 1.16

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

Bras de levier ($a'+b''$) / Augmentation du bras de levier ($a'+b''$).

A partir des caractéristiques du bateau (dimensions, poids, hauteur de mât, surface de la voilure), 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 α et de l'angle d'inclinaison β de la quille par rapport au plan médian du bateau.

Question 1.17

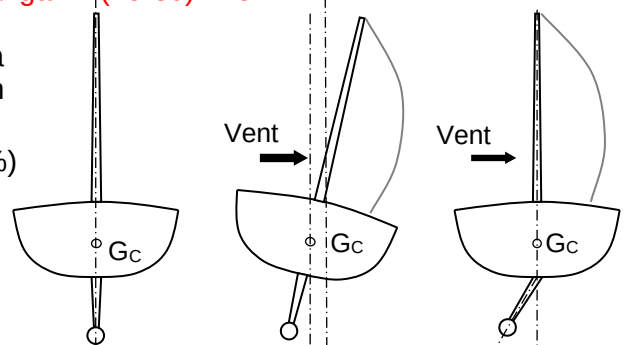
voir DT15

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 voilure installée). **Déterminer**, à partir du DT15, le gain obtenu sur le couple de redressement lorsqu'on incline la quille pendulaire au maximum ($\beta=40^\circ$).

$C_R \text{ Maxi} = 70 \text{ kNm}$ $C_R \text{ mini} = 30 \text{ kNm} \Rightarrow \text{gain} = (75-30) = 45 \text{ kNm}$.

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%) 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

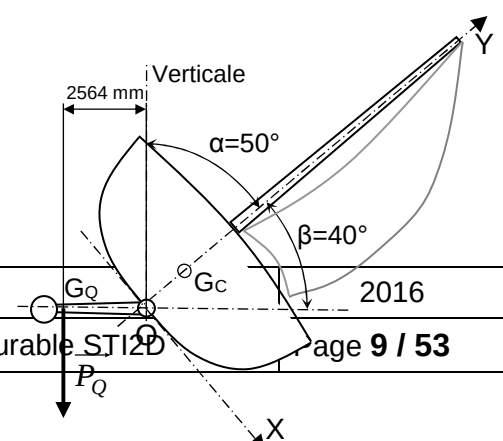
En utilisant le schéma et les explications ci-dessus, **expliquer** en quoi la diminution du poids de la quille, par rapport à un même bateau à quille fixe, va permettre d'augmenter les performances du voilier.

diminution du tirant d'eau, meilleure efficacité de la voilure ...

☞ 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 $(O, \vec{z})$, $M_{PQ/Oz}$ (On prendra $\|\vec{g}\|=10 \text{ m/s}^2$).

$P_Q = m_Q \cdot g \approx 30640 \text{ N}$ et $M_{PQ/Oz} = 2.564 \cdot 30640 \approx 78561 \text{ Nm}$.

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 :

$$\|\vec{M}_{O_z}(\text{Vérin}_1 + \text{Vérin}_2) / \text{quille}\| \geq \|\vec{M}_{O_z}(\vec{P}_Q)\| = 80 \text{ k} \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

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 β de la quille et de la pression d'alimentation en huile (exprimée en Mpa).

Question 1.20

voir DT16

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

$P_{\text{mini}} = 21 \text{ MPa}$.

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

voir DT14
voir DR4

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 $T_{A \in 2/1}$).

Arc de cercle de centre O et de rayon OA.

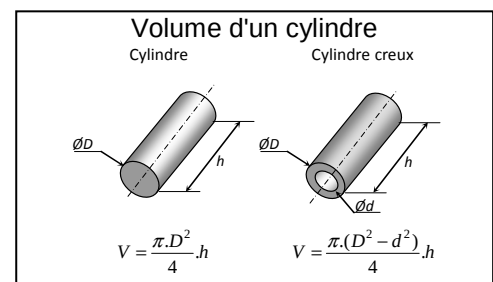
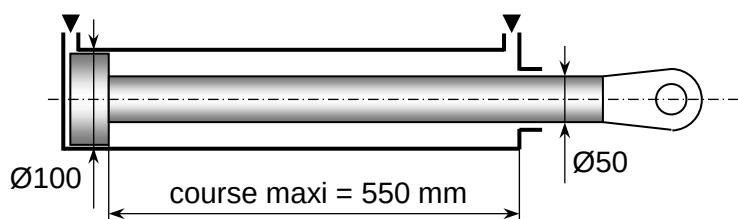
→ Sur le schéma cinématique à l'échelle 1:10 (sur DR4), **dessiner** cette trajectoire et **repérer** les positions de fins de course correspondant aux positions $\beta = +40^\circ$ et $\beta = -40^\circ$ de la quille/coque.

CF DR4 position extrêmes A_{+40° et A_{-40° à repérer.

→ **Déterminer** graphiquement (sur DR4) la course utile des vérins.

Mesuré sur DR4 : $DA_{-40} - DA_{+40} \approx 510 \text{ mm}$.

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.

(pour $c=510\text{mm}$) 7009 cm^3 (pour $c=550\text{mm}$) 7560 cm^3

En **déduire** le débit minimum de la pompe (on rappelle que le basculement complet doit être effectué en 10s maximum).

(pour $c=510\text{mm}$) 42l/min (pour $c=550\text{mm}$) 45.3l/min

Choix de la pompe hydraulique

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

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

Modèle 3x6000 : 47.8l/min , $P_{\text{maxi}} = 300\text{ bar} = 30\text{ Mpa}$

☞ 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 ($\sigma_{ee} / \sigma_{\text{Maxi}} \geq 5$),
- 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.

$\sigma_{\text{Maxi}}=263\text{Mpa} \Rightarrow \sigma_{ee}/\sigma_{\text{Maxi}} \approx 5.24 > 5 \Rightarrow \text{résistance OK}$

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, le reste étant consommé par l'électronique (incluant le PC du 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.

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
voir DR5

A l'aide des documents DT19 et DT20, **compléter** DR5 en cochant les cases qui caractérisent une batterie de servitude.

→ Voir DR5

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.

→ AGM ou Gel

→ Gel

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.

→ $C_{théo} = 40Ah / 0,8 = 50Ah$

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.

→ Cause : effet de la température ; si t° diminue, Capacité diminue

→ Choisir $C = C_{théo}/K_T = 50Ah / 0,8 = 62,5 Ah$

Générateur 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

- Encombrement de l'éolienne, sécurité non respectée (page2 du sujet)
dû à la hauteur de l'éolienne/personne.

- Masse de l'ensemble

- Montage, vibrations et perturbations électriques et mécaniques lors du fonctionnement

☞ 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 du tableau TRIZ, (DT23) **donner** les contradictions correspondantes.

A améliorer : 35 Adaptabilité ; A conserver : 1 masse objet mobile

→ **Indiquer** ensuite les principes associés au croisement de ces deux contradictions.

1 segmentation ; 6 universalité ; 15 mobilité ; 8 contrepoids

→ **En déduire** le principe le plus adapté.

6 universalité : Faire qu'un objet remplisse plusieurs fonctions ; éliminant le besoin d'autres objets.

• Siège enfant de voiture qui sert de poussette

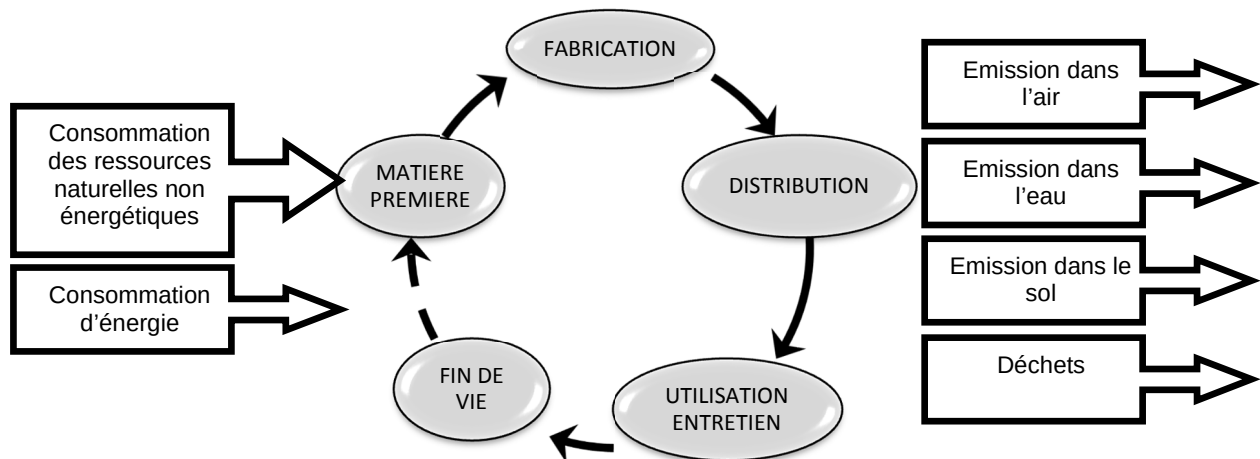
→ **Conclure** sur les spécificités qu'auront les panneaux photovoltaïques.

Les panneaux devront être très souples pour pouvoir remplacer la voile afin que celle-ci soit une voile photovoltaïque

Etude 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 DR6 et DR7

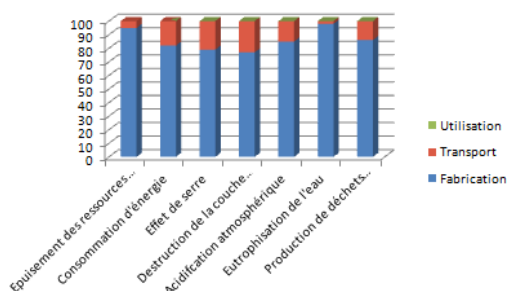
→ cf DR6

A l'aide des documents DT24 et DR7, **compléter** les diagrammes des différentes étapes du cycle de vie du produit (DR6).

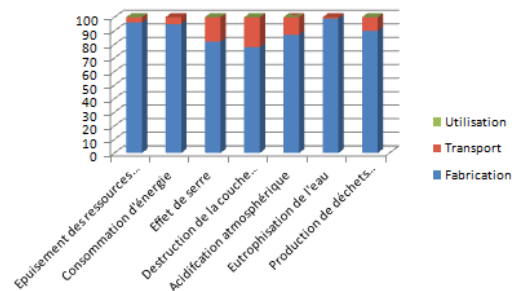
Question 2.8

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

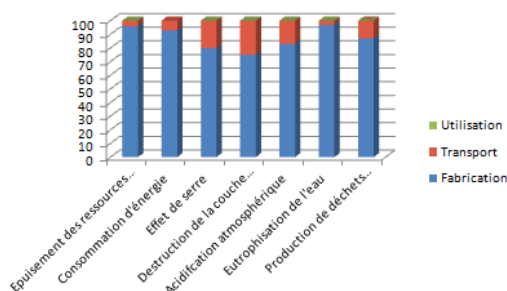
→ L'étape à étudier principalement pour une étude ACV Est l'étape de fabrication. Elle représente à elle seule environ 90% des effets néfastes sur l'environnement.



Panneau rigide au silicium monocristallin



Panneau en couche mince au silicium amorphe



Toile en tissu polymère

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

Voir 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.

Cf DR7

Question 2.10

Voir DR7

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

Cf DR7

Question 2.11

Voir DR7

Conclure sur le système de production électrique le moins impactant.

La voile tissu polymère est la moins impactante au regard de tous les critères énumérés dans le tableau DR7

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 40Ah 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 1m^2 . Elle s'exprime donc en kWh/m^2 et par jour.

Question 2.12
Voir DT25

A l'aide du document DT25 :

- **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.

→ Irradiation quotidienne mini en France : 3 kWh/m^2 (région Lille)
Irradiation quotidienne maxi en France : $5,2 \text{ kWh/m}^2$ (région Toulon)

→ $\text{Ecart} = (5,2 - 3) / 5,2 = 42\%$ de la valeur maxi

→ Mois où l'irradiation est mini sur Brest : Décembre → 1220 kWh/m^2
Mois où l'irradiation est maxi sur Brest : Juin → 5440 kWh/m^2

→ $\text{Ecart} = (5440 - 1220) / 5440 = 77\%$ de la valeur maxi de Juin

→ Facteur prépondérant sur les variations d'irradiation en France est 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^{er} Mars au 1^{er} 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 DT25

A l'aide des documents DT25, **donner** la valeur de l'énergie solaire E_{SOL} à prendre en compte, dans le cas le plus défavorable, pour le dimensionnement des panneaux.

→ Irradiation la moins bonne → Calais, en Octobre : $E_{\text{SOL}} = 2550 \text{ Wh/m}^2$ soit $2,5 \text{ kWh/m}^2$ par jour

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 .

→ $T_e = 2,5 \text{ h}$

Concours général - CORRECTION	2016
Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable STI2D	Page 16 / 53

Quand un panneau photovoltaïque reçoit une puissance de rayonnement solaire de 1000W/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 1000W/m^2 .

→ $E_{\text{ELEC}} = P_c * T_e$

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

→ $E_j = 40\text{Ah} * 12\text{V} = 480\text{Wh} = 0,48 \text{ kWh}$

Question 2.17 | A 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.

→ le panneau doit produire l'énergie électrique nécessaire au besoin → $E_{\text{ELEC}} = E_j$ soit

$P_{c_théo} * T_e = E_j \quad \Rightarrow \quad P_{c_théo} = E_j / T_e = 480\text{Wh} / 2,5 \text{ h} = 192 \text{ W}$

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.

→ $P_c = P_{c_théo} / CP = 192\text{W} / 0,9 = 213 \text{ W}$

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

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

→ Choix convenable car $220\text{W} >$ puissance crête calculée

Question 2.20
voir DT26 | → A l'aide de la documentation du panneau photovoltaïque, **déterminer** :

- la tension à vide délivrée par le panneau (pour un éclairement de 1000W/m^2);
- le courant de court-circuit (pour un éclairement de 1000W/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.

→ Tension à vide du panneau : $U_0 = 21 \text{ V}$;

→ Courant de court-circuit $I_{CC} = 14\text{A}$ environ;

→ Lorsque l'éclairement diminue : U_0 diminue très peu, I_{CC} diminue proportionnellement à l'éclairement ;

→ Lorsque la température augmente : U_0 diminue sensiblement, I_{CC} reste presque constant ;

→ Les conditions idéales de fonctionnement d'un panneau photovoltaïque sont : forte luminosité et faible température ;

Question 2.21
voir DT26 | → A l'aide de la documentation du panneau photovoltaïque, **estimer** le rendement η_e de la conversion d'énergie lumineuse en énergie électrique en

supposant que le panneau délivre la puissance maximum. On supposera un éclairement $E = 1000\text{W/m}^2$.
→ **Conclure.**

→ $\eta_e = P_{\text{elec}} / P_{\text{eclairement}} = P_c / (E * \text{Aire du panneau}) =$
 $= 220\text{W} / [1000\text{W/m}^2 * 6,06 \text{ m}^2] = 3,6\%$

→ le rendement est faible, cependant la surface disponible du panneau est grande (spi du bateau) ce qui permet d'atteindre la puissance souhaitée.

Etude des conditions optimales de fonctionnement du GPV (Générateur PhotoVoltaïque) - (Questions 2.23 à 2.37)

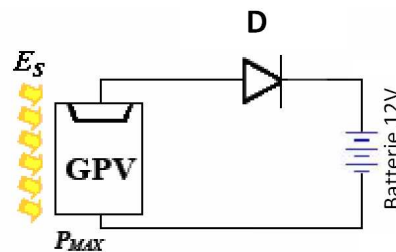
Hypothèse d'étude :

Sauf mention contraire, par défaut, les Conditions Standards de Test (STC) sont remplies, c'est-à-dire :

- AM=1.5
- $t=25^{\circ}\text{C}$
- Eclairement : 1000W/m^2

☞ Branchement directe 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 10V (décharge importante) à 15V (bien chargée).



Montage en connexion directe.

Question 2.22

voir DT26
voir DR8

A l'aide de la documentation du GPV (DT26), **compléter** la ligne "I(A)" du tableau sur DR8 en y reportant la valeur de l'intensité du courant en ampères généré par le panneau solaire pour chacune des tensions de batterie U_{Bat} mentionnées.

→ Voir DR8

Question 2.23

voir DT26

En déduire le type de générateur que représente le panneau solaire lorsque la batterie se charge. **Justifier**.

→ Générateur de courant ; le courant reste quasi-constant malgré une variation de tension de 5 V.

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 14,7V.

Indiquer si cette contrainte sera respectée. **Justifier** votre réponse.

→ Non car si l'éclairement est suffisant, le panneau continue de charger la batterie. Ce qui est réduit son espérance de vie.

Question 2.25

Indiquer le rôle de la diode et **préciser** dans quelles circonstances elle intervient.

→ Evite qu'un courant ne circule de la batterie vers le panneau (ou protège le panneau) si la tension de panneau devient inférieure à celle de la batterie.

→ Cela intervient la nuit notamment (ou lors d'une baisse de luminosité)

Question 2.26

voir DR8

Compléter la ligne "P(W)" du tableau sur DR8 en y reportant la puissance en Watt transmise du GPV vers la batterie pour chacune des tensions mentionnées.

→ CF DR8

Question 2.27

voir DR8

Compléter la ligne " $\eta_{\text{transfert}}(\%)$ " du tableau sur DR8 en y reportant le rendement du transfert énergétique calculé de la manière suivante :

$\eta_{\text{transfert}} = P/P_c \times 100$ 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.

→ On ne travaille jamais à 100%. ; pire : quand la batterie est déchargée, on est très loin des performances optimales du panneau.

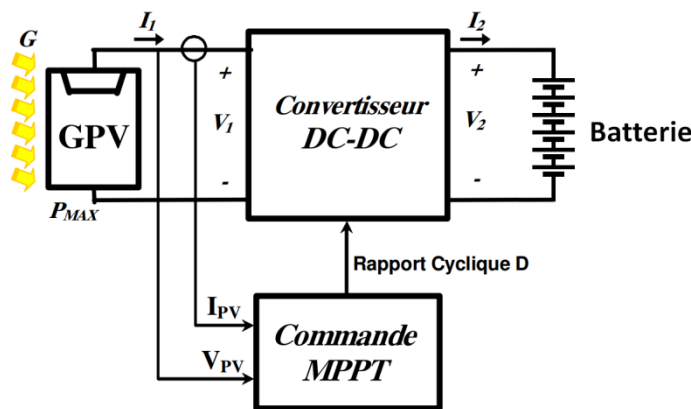
☞ Branchement de la batterie au GPV (Générateur PhotoVoltaïque) avec un régulateur MPPT (Maximum Power Point Tracking)

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 .

- $V_{MPP} : 17V$
- $I_{MPP} : 13A$

Question 2.30 | En supposant que la tension V_2 aux bornes de la batterie soit de 12V, **en déduire** la valeur du coefficient K .

- $K = V_2/V_1 = 12V/17V = 0,7$

Concours général - CORRECTION	2016
Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable STI2D	Page 20 / 53

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 .

→ $P_1 = V_1.I_1$

→ $P_2 = V_2.I_2$

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.

→ $P_1 = P_2 \Rightarrow V_1.I_1 = V_2.I_2$

→ $I_2 = V_1/V_2 * I_1 = I_1 / K$

→ $I_2 = 13A / 0,7 = 18,5 A$

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_{Bat} mentionnées :

voir DR9

→ 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_{MPP} ;

→ la ligne $I_{bat}(A)$ en y reportant la valeur de l'intensité du courant de batterie ;

→ la $P_{bat}(W)$ en y reportant la puissance reçue par la batterie calculée à partir de U_{bat} et I_{bat} ;

→ voir DR9

Question 2.34

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

voir DR9

$\eta_{transfert} = P_{bat}/P_c \times 100$ où P_c représente la puissance crête, c'est-à-dire la puissance maximale que peut délivrer le panneau.

→ voir DR9 ; (rappel : $P_c = 220W$)

Question 2.35

voir DT26
voir DR9

A partir du tableau DR9 et du document DT26, 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.

→ La valeur de K sera différente selon :

o la tension de la batterie

o les conditions d'ensoleillement → modifie légèrement V_{MPP}

o la température → modifie V_{MPP} de manière substantielle

Question 2.36

Conclure quant à l'intérêt de ce dispositif de transfert d'énergie.

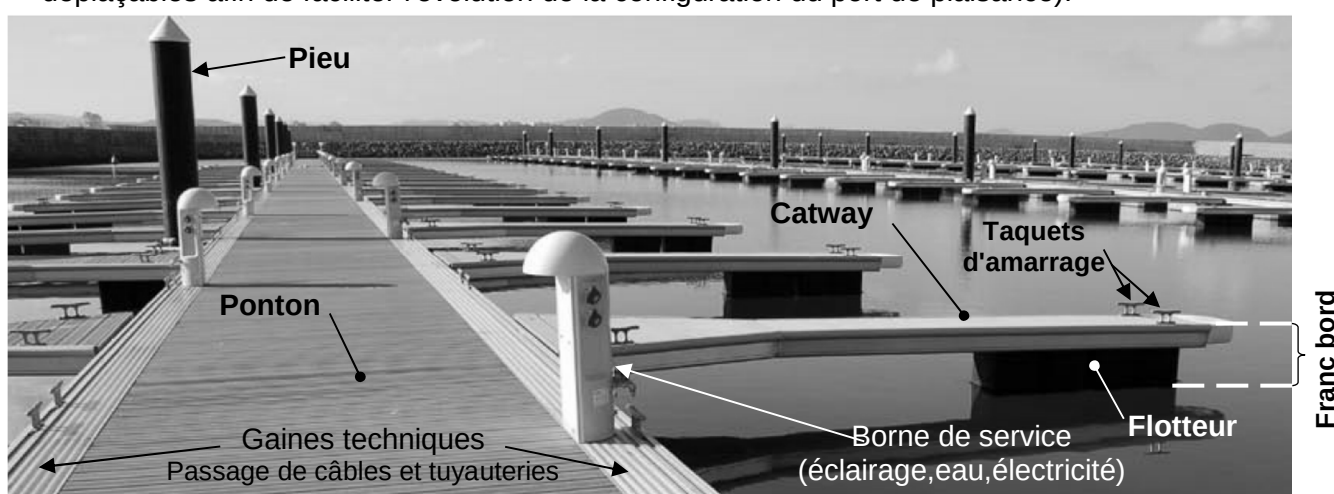
→ Il améliore le transfert énergétique : il permet de récupérer l'intégralité de la puissance que le panneau est capable de fournir, indépendamment de la charge.

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 existant sont conservés, les nouveaux qui seront installés auront les mêmes caractéristiques : franc bord lège de 500 à 550 mm (*hauteur au-dessus de la ligne de flottaison à vide*) et capacité de charge 200 kg/m² (2 à 3 personnes/m²),
- 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 DT27) 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.

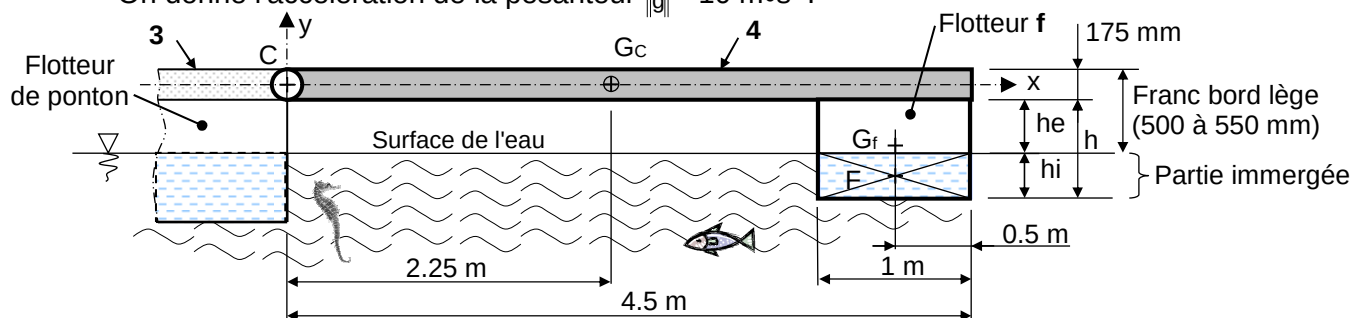
Hypothèse d'étude :

On se limitera à l'étude du catway (voir DT27) le plus court (L=4.5m) qui, équipé d'un seul flotteur semble être le plus sensible à la charge.

Dimensionnement du flotteur - (Questions 3.1 à 3.7)

Données et hypothèses :

- Le schéma ci-dessous représente un catway de 4.5x0.75m lège (sans charge d'exploitation) ; le catway **4** est alors horizontal en prolongement du ponton **3**.
- Le catway, assimilé à une poutre, est articulé en C sur le ponton **3** (considéré fixe) ; on définit un repère supposé fixe (C,x,y,z) lié au ponton 3.
- La charge d'exploitation maximale admissible sur le catway est de **100 kg·m⁻²**.
- La masse d'un flotteur est de **25 kg** ; son centre de gravité est noté G_f.
- La masse du catway sans flotteur est supposée répartie de façon homogène le long de la ligne moyenne (**40 kg/mètre linéaire**) ; son centre de gravité est noté G_c.
- On donne l'accélération de la pesanteur $\|g\| = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.



🔧 Etude à vide (lège)

Une étude statique lège (sans charge d'exploitation) montre que :

- l'eau exerce sur le flotteur **f** une action mécanique (appelée portance) modélisable par une force verticale (poussée d'Archimède) appliquée au centre de carène **F** du flotteur (centre géométrique de la partie immergée) et d'intensité $\|\vec{F}_{\text{eau/f}}\| = \mathbf{1265 \text{ N}}$,
- l'action de contact du ponton 3 sur le catway 4 (dans l'articulation d'axe $(C, \vec{z})$) est modélisable en C par une force notée $\vec{C}_{3/4}$ verticale de **785 N** d'intensité.

L'ensemble catway avec flotteur est isolé (voir DR10), les charges agissant sur celui-ci en situation lège (sans charge d'exploitation) sont définies par l'inventaire suivant :

- l'effort résultant correspondant au poids du catway,
- la résultante du poids du flotteur,
- la résultante de la poussée d'Archimède sur le flotteur,
- l'action de contact du ponton **3** sur le catway **4**.

Question 3.1
voir DR10

Sur DR5, **représenter**, avec l'échelle indiquée, l'ensemble de ces actions (échelle de représentation des forces : **1mm → 40N**).

Cf DR10

Question 3.2
voir DT28
voir DR10

Sachant qu'un flotteur a une portance de **65 N par cm d'enfoncement** dans l'eau, **déterminer** la hauteur **hi** de la partie immergée du flotteur lorsque le catway n'est pas chargé. **Choisir** le flotteur (voir DT28) permettant de satisfaire l'exigence de franc bord compris entre 500 et 550 mm.

$$h_i = \|\vec{F}_{\text{eau/f}}\| / \text{portance} = 1265 / 65 \approx 19.5 \text{ cm} = 195 \text{ mm}$$

$$h = h_e + h_i \text{ avec } h_e = \text{franc bord} - 175$$

$$h = h_i + h_e - 175 = 195 + (500 \text{ à } 550) - 175 = 520 \text{ à } 570$$

On choisit **h=550mm**

🔧 ETUDE EN CHARGE

Sous l'action de la charge d'exploitation maximale admissible par le catway ($100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$), l'effort en F exercé par l'eau sur le flotteur f augmente en intensité et vaut $\|\overline{F_{\text{eau/f}}}\| = 3160 \text{ N}$.

Question 3.3 **Déterminer** la nouvelle valeur h_i de la hauteur immergée et **vérifier** qu'avec le flotteur choisi précédemment le catway n'est pas submergé. **Conclure** quant à la pertinence du choix du flotteur.

voir DR5

$h_i = \|F_{\text{eau/f}}\| / \text{portance} = 3160/65 \approx 48.6 \text{ cm} = 486 \text{ mm}$
 $< h \Rightarrow$ le flotteur n'est pas submergé.

Vérification de la résistance des profilés

Données et hypothèses :

- Le catway est constitué de deux profilés principaux de section constante en alliage d'aluminium 6005 T6 dont la limite élastique à l'extension est $\sigma_{ee} = 230 \text{ MPa}$ (voir DT29).
- Ces deux profilés assurent ensemble la reprise des efforts agissant sur le catway.
- Le module de flexion de l'ensemble de ces deux profilés vaut $(I_{Gz/v}) = 132\,700 \text{ mm}^3$.
- La figure du document DR11 modélise les charges s'appliquant sur le catway (sans flotteur) : le poids propre du catway et la charge d'exploitation sont modélisés par des charges uniformément réparties sur la ligne moyenne ; la poussée du flotteur est modélisée par une charge uniformément répartie sur la zone de contact.

Question 3.4

voir DT29

voir DR11

Indiquer, sur les diagrammes (DR11) de l'effort tranchant et moment fléchissant, les valeurs limites

Cf DR11

Question 3.5

voir DR11

Identifier la nature des sollicitations agissant sur les profilés.

Déterminer l'abscisse x de la section la plus sollicitée.

Flexion simple.

Section la plus sollicitée = section droite située à l'abscisse $x=2\text{m}$ où M_{fz} est maximum.

Question 3.6

voir DT29

voir DR11

Calculer la contrainte normale maximale dans cette section (voir DT29), en choisissant l'une des valeurs limites proposées :

$T_y = -2265 \text{ N}$ à $x=0$

$T_y = 1760 \text{ N}$ à $x=3.5\text{m}$

$M_{fz} = 2230 \text{ Nm}$ à $x=2\text{m}$

$\sigma_{\text{Maxi}} = M_{f\text{Maxi}} / (I_{Gz/v}) = 2230000/132700 \approx 16.8 \text{ Mpa}$.

Pour la question suivante on considérera que $\sigma_M=20$ MPa

Question 3.7
voir DT29
voir DR10 et DR11

- **Justifier** l'écart constaté entre σ_{ee} et σ_M en identifiant, sans les évaluer, les charges qui n'ont pas été prises en compte dans cette étude mais qui sont susceptibles d'agir sur les catways.
- **Conclure** quant au choix des profilés.

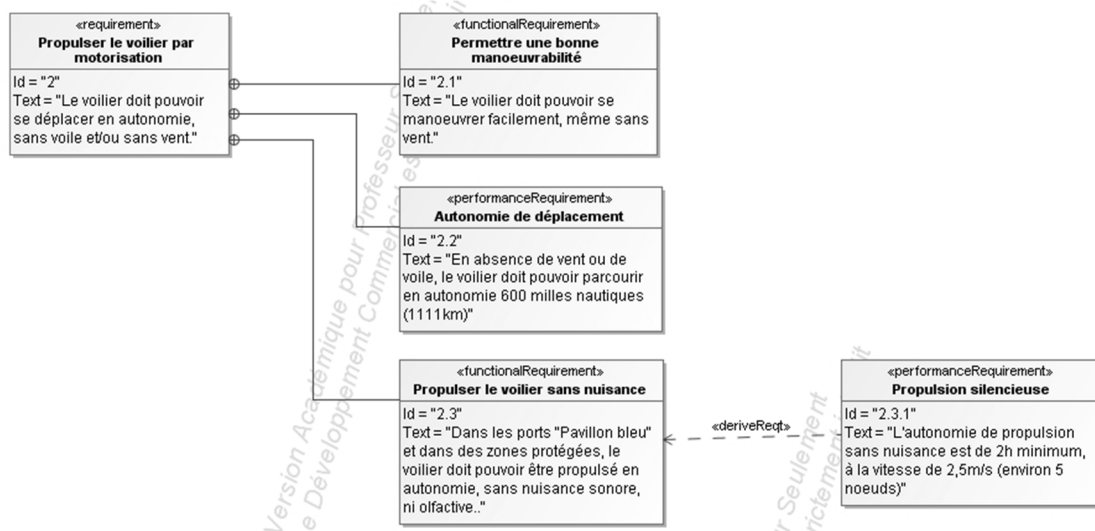
$$\sigma_{ee}/\sigma_{Maxi} = 230/16.8 \approx 13.7 \text{ (} \rightarrow \text{sécurité élevée)}$$

Autres charges non prises en compte :

- Charges dues à la houle (faible dans un port)
- Chocs lors des accostages
- Efforts variables d'amarrage des bateaux :
 - o faibles par temps calme
 - o importants et difficiles à évaluer par grand vent (prise au vent des bateaux amarrés + effet de houle $\Rightarrow$ efforts dynamiques sur les taquets d'amarrage)

Les profilés choisis ont des caractéristiques mécaniques élevées au regard des contraintes de charge, le choix est donc correct.

DT1 : Diagramme d'exigences « propulser le voilier par motorisation »



DT2 : Moteur électrique type ST 74

Moteur ST 74	
Type	Brushless
Puissance de sortie	9 kW
Vitesse nominale	860 tr•min ⁻¹
Couple nominal	100 N•m
Tension	144 Vdc
Courant nominal	64 A
Masse	65 kg

DT3: Pack de batterie

Caractéristiques du Pack de batteries	
Tension nominale	144 Volts
Capacité nominale	23kWh

Le pack est constitué de 45 cellules LiFePO4 Lithium-Fer-Phosphate type **IB-B-FHE-160**, associées en série. Un circuit électronique gère la charge et la décharge en surveillant l'état de chaque cellule.

LiFePO4 Packaged Cells		
Specification	Condition	IB-B-FHE-160
Nominal Voltage	(C/3)	3.2 Volts
Nominal Capacity	(C/3)	160 Ah
Nominal Energy	(C/3)	512 Wh
Specific Energy	(C/3)	94 Wh/Kg
Self-Discharge Rate	Monthly, RT	<3%
Cycle Life @ 25 °C	100% DOD	>2000 Cycles
Cycle Life @ 55 °C	100% DOD, 1C, Active Cooling	>1000 Cycles
Cell Weight	Integrated Cell	5.4 Kg
Recommended Cutoff Voltages	Charge	3.6 Volts
	Discharge	2.5 Volts
Max Continuous Charge Current	100% DOD	80 A (C/2)
Max Continuous Charge Current	100% DOD, Active Cooling	160 A (C)
Max Continuous Discharge Current	10% to 90% DOD	160 A (C)
Max Continuous Discharge Current	10% to 90% DOD, Active Cooling	480 A (3C)
Charging Efficiency	100% DOC @ C/3	90%
(Ratio of charge/discharge time)	10% to 90% DOC @ C/3	98%
Operating Temperature	Charge	0°C to 50°C
	Discharge	-20°C to 55°C

DT4: Variateur de vitesse**AVB125A200**

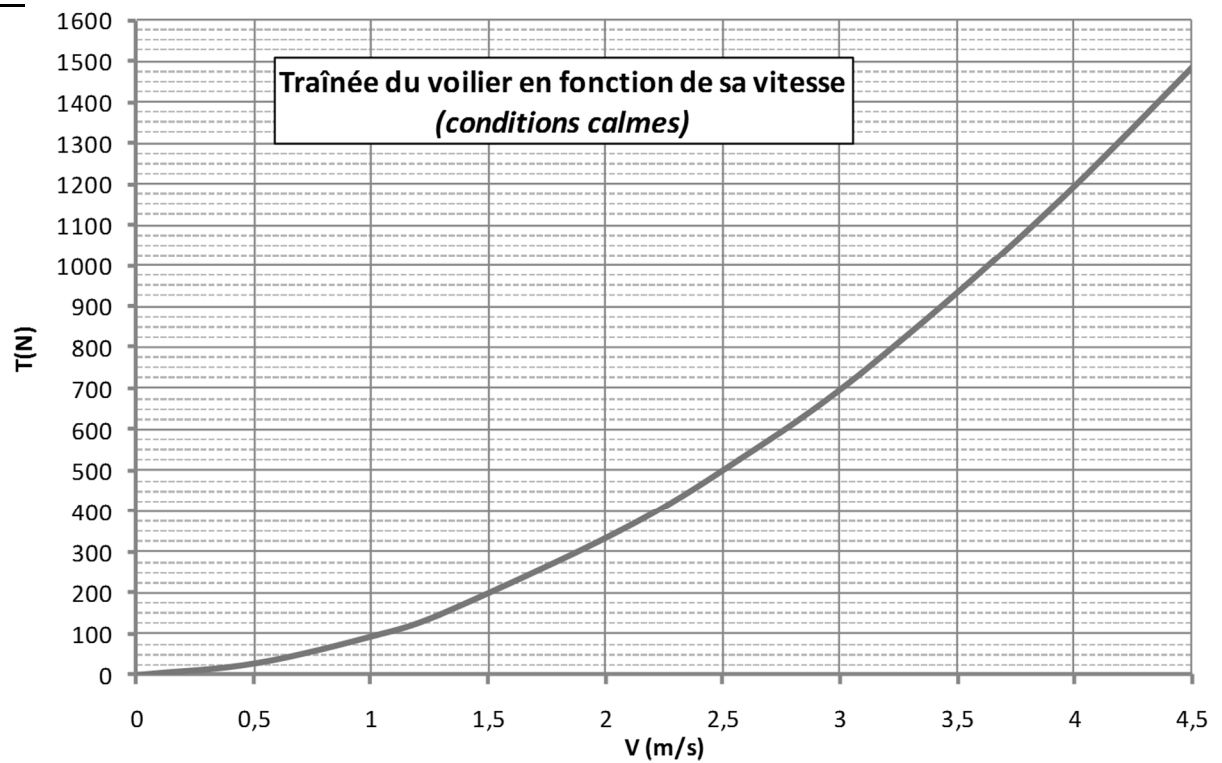
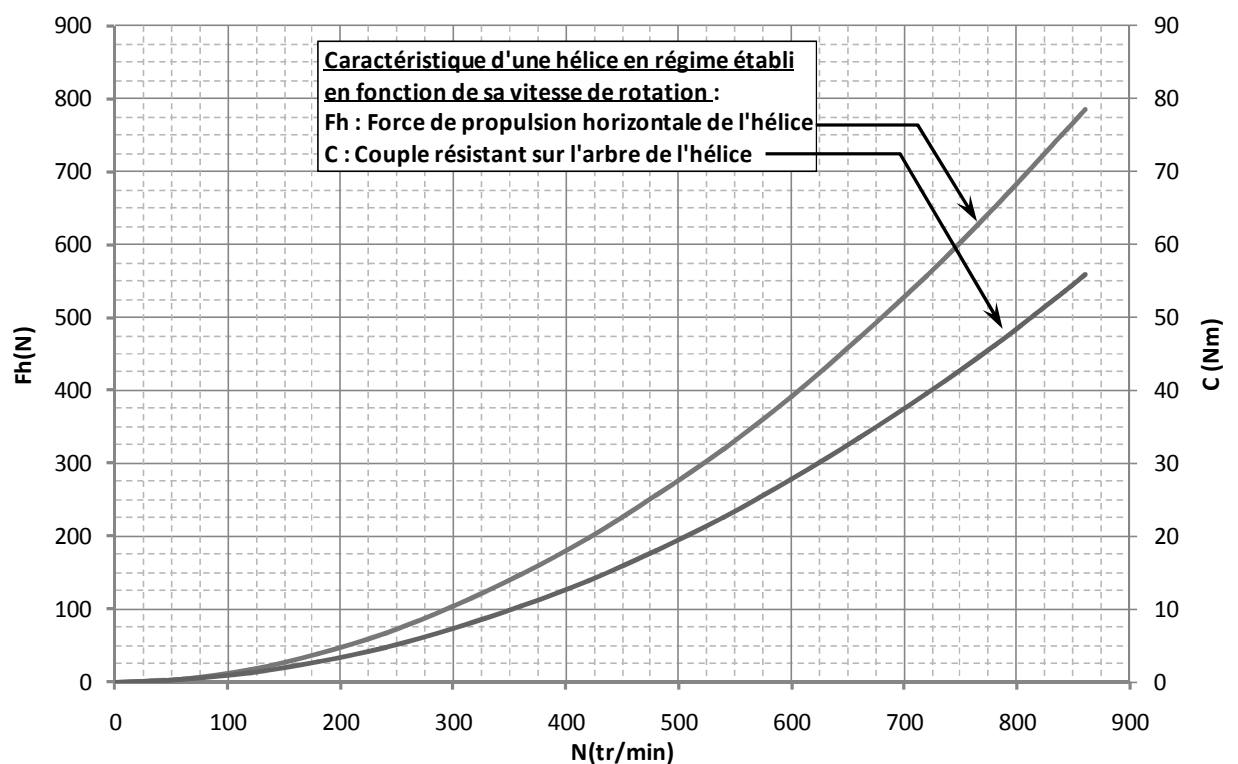
Contrôleur réversible 4 quadrants pour moteur brushless.



Caractéristiques de puissance	
Gamme de tension d'alimentation	40 – 175 Vdc
Seuil de surtension	190 V
Seuil de sous-tension	36 V
Courant max en crête	125 A
Courant max permanent	80 A
Caractéristiques de commande	
Information de commande	0 – 5 V ou 0 - 5 kΩ

DT5 : Le groupe électrogène PDC 8220VP-30

PDC 8220VP-30	
Ratings kW (continuous)	14kw
Output DC Voltage	48 - 144V
Engine RPM	2900
Cylinders	3
Cylinder Volume	1.13 Liters
Weight	153kg/337lbs
Operating Temperature	-20°C to 72°C
Fuel Consumption	0.34L/kWhr (calculated)
Hard Enclosure Dimensions	Length: 700mm/27.6" Width: 535mm/21" Height: 650mm/25.6"

DT6 :**DT7**

DT8 : Caractéristiques pour différents types de batteries

Type de batterie	Plomb (Pb)	NiMH	Li-ion	
			Cobalt LiCoO ₂	Phosphate LiFePO ₄
Energie massique (Wh/kg)	30 - 50	60 - 120	150 - 190	90-120
Nombre de cycle charge/décharge	100 – 1000 (selon profondeur de décharge)	300 - 800	1000	2000
Coût	< 100 €/kWh	~ 1000 €/kWh	500 – 1000 €/kWh	500 – 1000 €/kWh
Sécurité (risque d'emballement thermique)	Version AGM : Pas de risque de fuite ou d'explosion	Pas de risque	Risque potentiel d'emballement thermique	Pas de risque

DT9 : Documentation du WSM : Marine Wind Sensor

Le WSM utilise une girouette très sensible pour la direction du vent de l'ordre de 5° ainsi qu'un anémomètre précis pour la vitesse du vent de 1,5 à 99 nœuds avec une précision de 0.5 nœuds. Il recalcule des données du vent 10 fois par seconde. Le WSM a été conçu pour fonctionner avec tout appareil compatible NMEA2000. Livré avec 30m de câble NMEA2000.



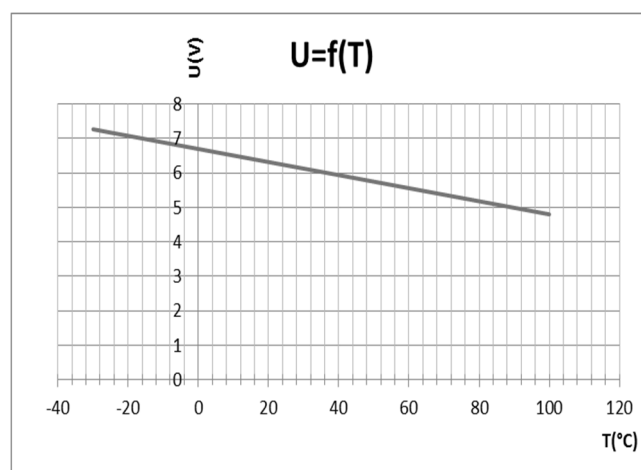
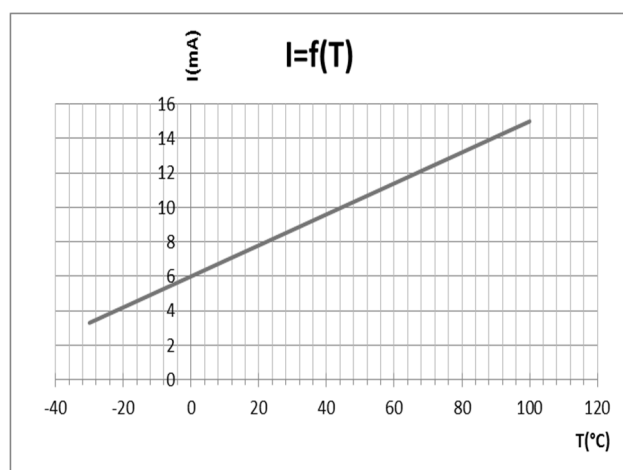
DT10 : Documentation du CV7SF

Sur les navires, il supprime le poids du câble dans le mât. CV7SF allie les technologies de pointe : mesures ultrasons, alimentation par cellules solaires (XOB17), transmissions numériques sans fil, stockage électrique à super condensateur.

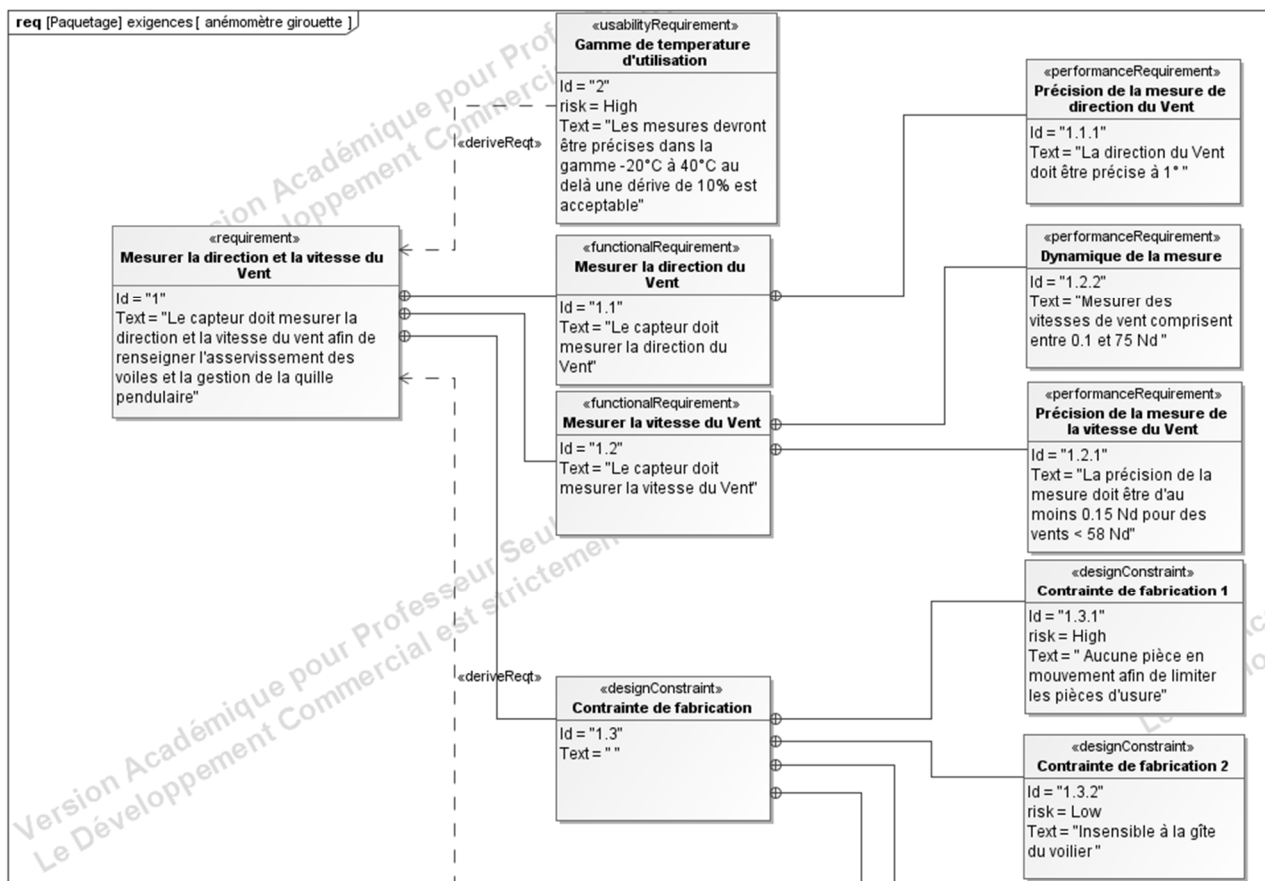


DT11 : Gamme de températures des composants

- Composants électroniques : série I "Industriel" -40°C à +85°C,
- Supercondensateurs -30°C à +60°C,
- Emetteur récepteur ultrason -40°C à 85°C,
- Support en matière plastique : Grande rigidité, solidité et dureté - faible absorption de l'humidité et très bonne tenue dimensionnelle dans la gamme de températures -100°C à +80°C ; de plus, le traitement anti-UV permet une bonne tenue dans le temps,
- Les cellules solaires (XOB17 de IXYS) intégrées au capteur ont les caractéristiques suivantes :
Tension et courant délivrés par les cellules photoélectriques en fonction de la température



DT12 : Diagramme d'exigences (partiel)



DT13 : Norme NMEA Tableaux des champs d'une trame

Start of frame	Champ d'arbitrage	Champ de contrôle	Champ de données	Champ CRC	Champ d'acquittement	End of frame
1 bit	32 bits	6 bits	8 octets	16 bits	2 bits	7 bits

Poids fort de l'identificateur	SRR	IDE	Poids faible de l'identificateur	RTR
11 bits	1 bit	1 bit	18 bits	1 bit

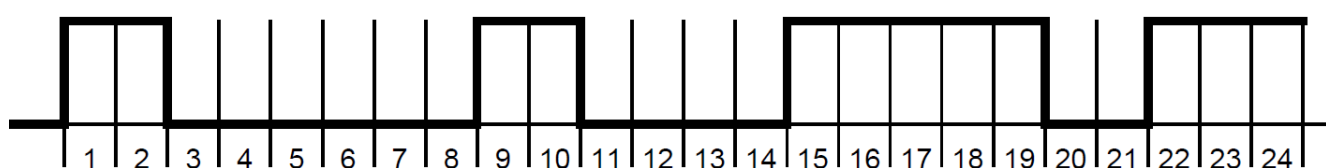
DATA8	DATA7	DATA6	DATA5	DATA4	DATA3	DATA2	DATA1
FFh	Vitesse du vent (octet de poids faible)	Vitesse du vent (octet de poids fort)	Angle de vent (octet de poids faible)	Angle de vent (octet de poids fort)	Drapeaux de référence	FFh	FFh

- Vitesse du vent : La résolution est de $0,01 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.
- Angle de vent : La résolution est de $5,493 \times 10^{-3}$ degrés. La gamme utilisée s'étend de 0° (0000h) à 360° (ffffh).
- Drapeaux de référence : Indiquent si le vent mesuré est réel ou relatif (DATA3 = FAh pour un vent relatif. DATA3 = FBh pour un vent réel).

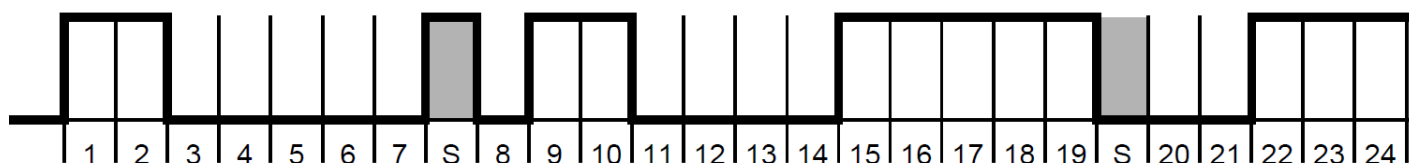
Particularité d'une trame NMEA

Une des caractéristiques du codage NRZ (Non Retour à Zéro), comme celui utilisé dans la trame NMEA, est que le niveau du bit est maintenu pendant toute sa durée. Cela pose des problèmes de fiabilité si un grand nombre de bits identiques se succèdent. La technique du Bit Stuffing impose au transmetteur d'ajouter automatiquement un bit de valeur opposée lorsqu'il détecte 5 bits consécutifs dans les valeurs à transmettre.

Trame à l'émission avant la mise en place des bits de stuffing



Trame avec bits de stuffing (S)



DT14 : Eclaté et schéma cinématique en perspective du mécanisme de quille pendulaire

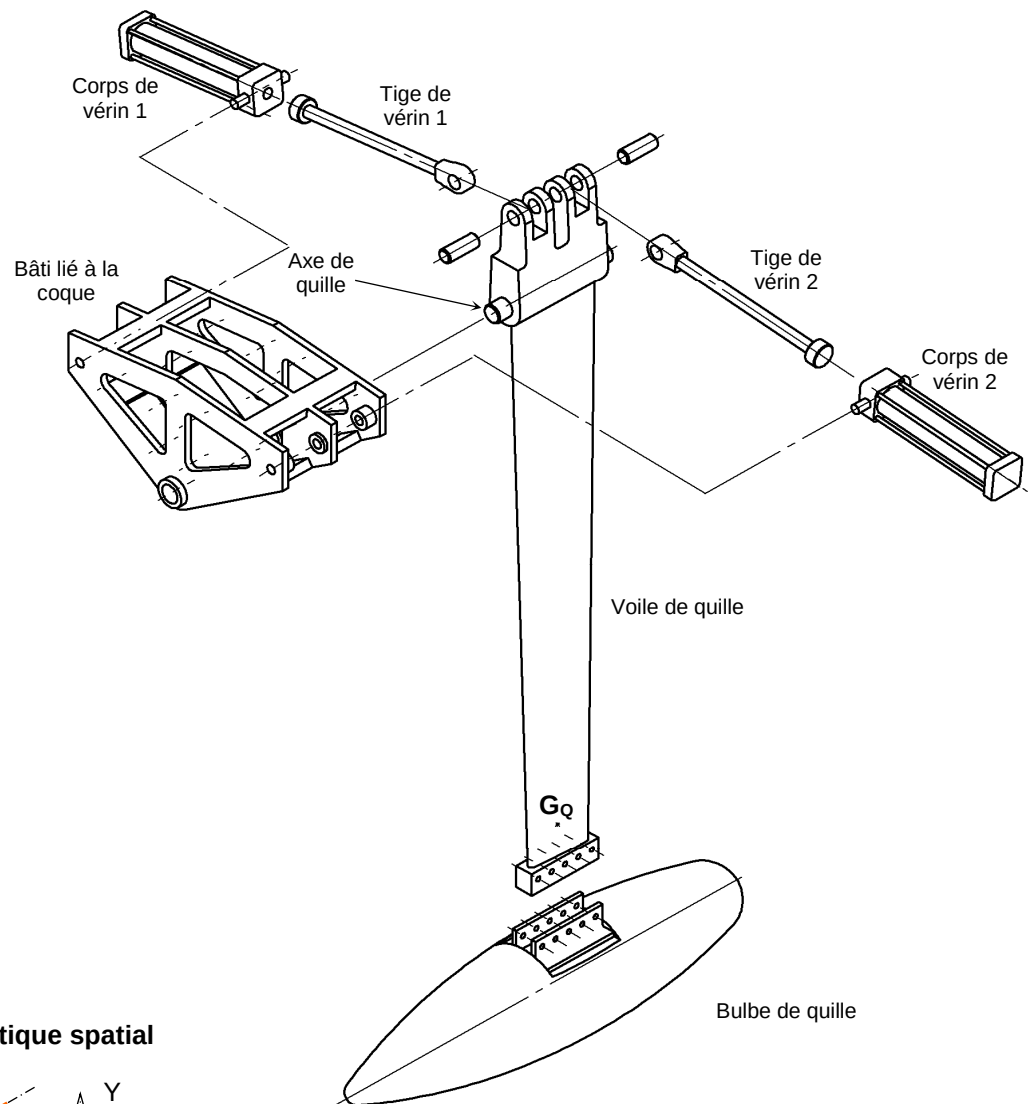
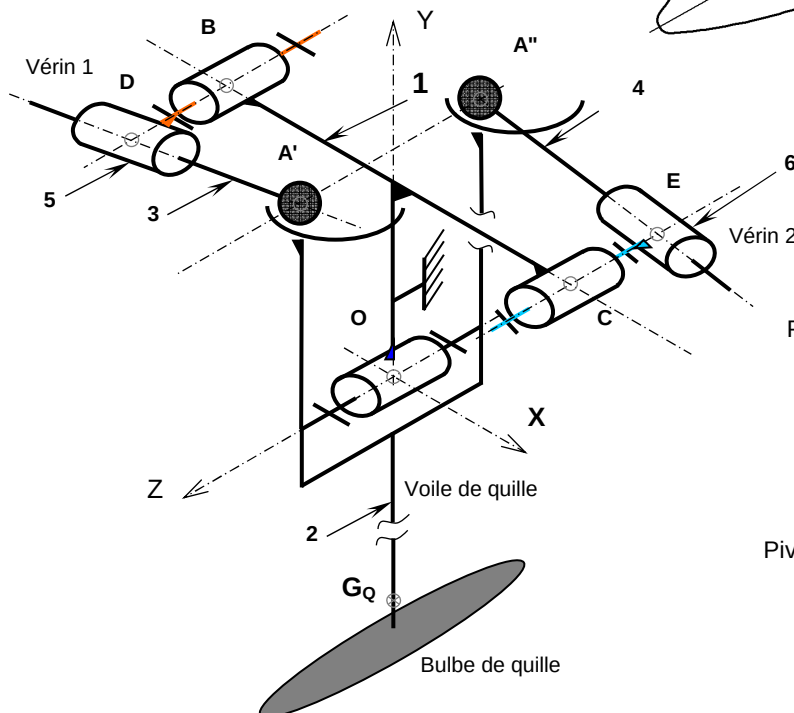
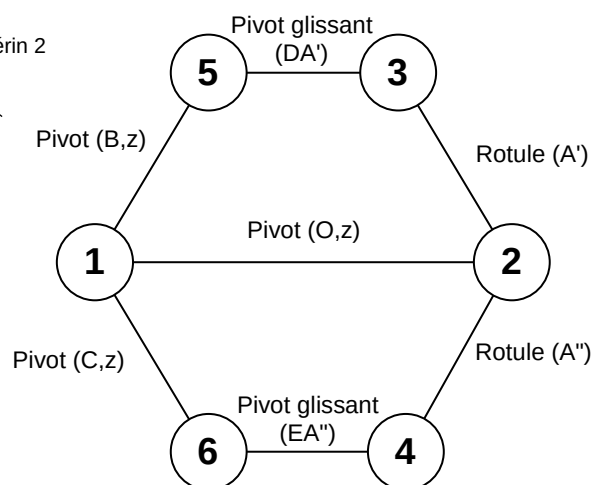


Schéma cinématique spatial



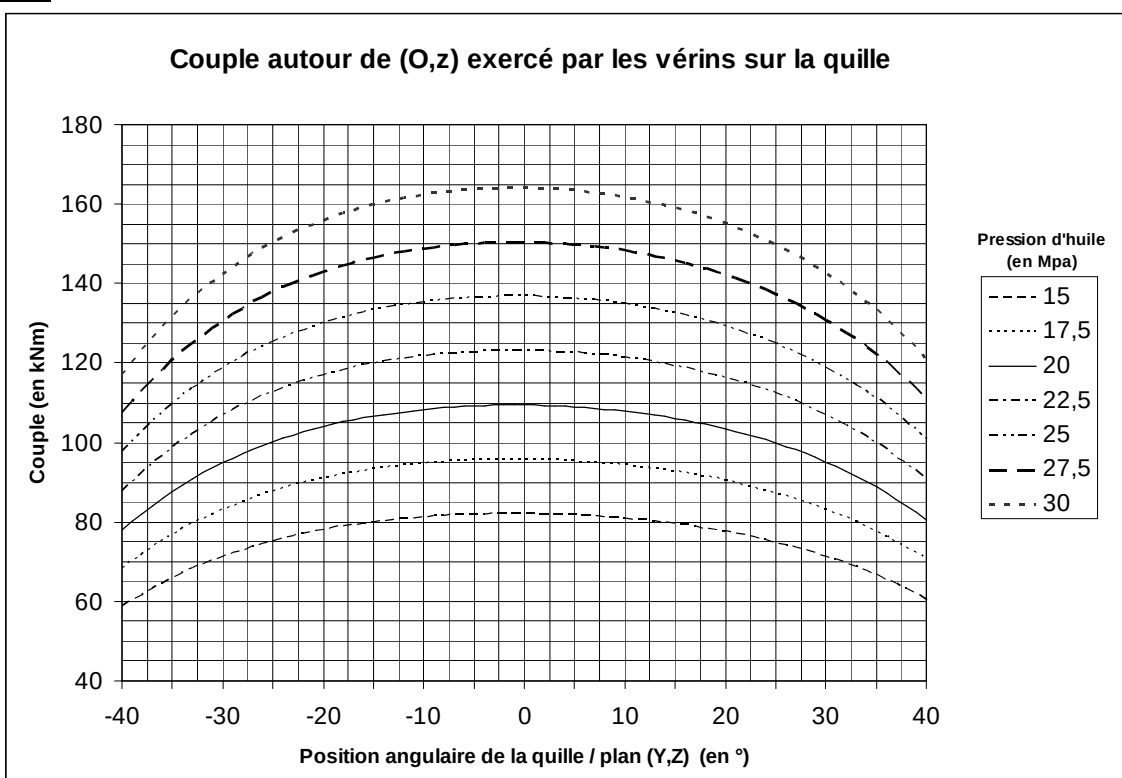
Graphe de structure



DT15 :



DT16 :



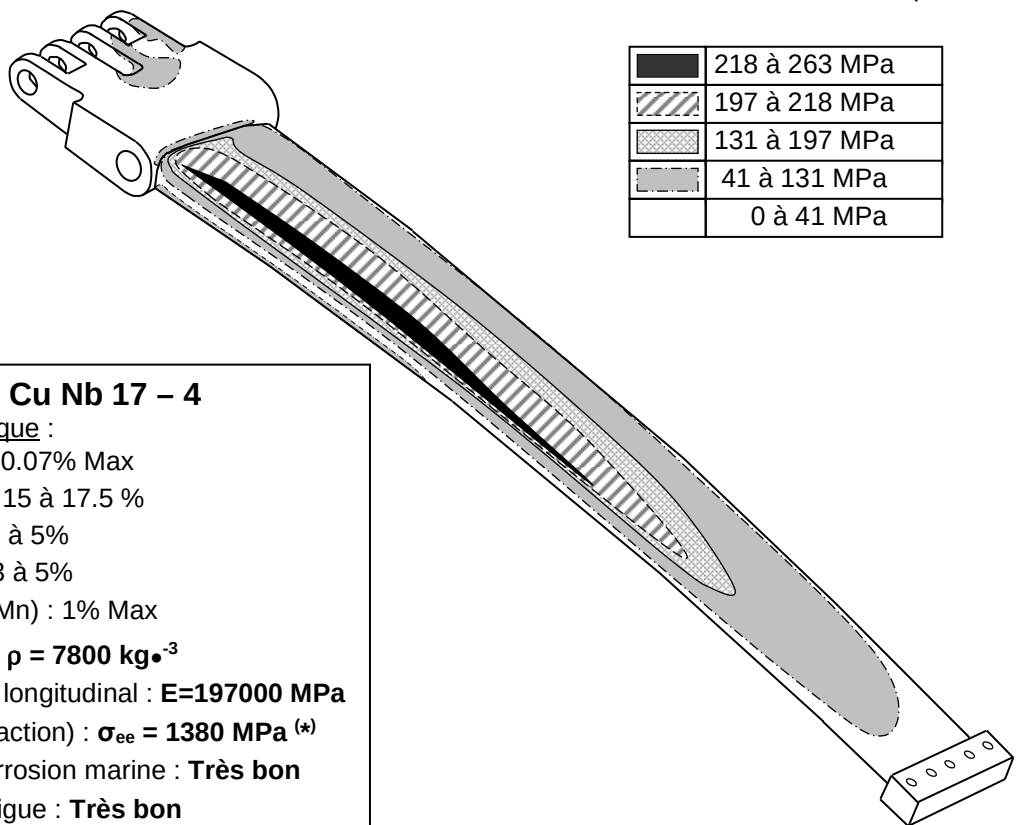
DT17 : Caractéristiques des pompes hydrauliques

Modèle	Puis. (*)	Tension	Débit Maxi		Pression Maxi		Dimensions	Poids
	Watt	Volt	cm³/s	l/min	Mpa	psi	(hors tout)	kg
1x2000	2000	24	60	3.6	28	4000	314x128	10
1x2500	2500	12	38.3	2.3	28	4000	130x342	13
2x2500	2500	12	140	8.4	30	4285	130x424	13.8
1x3000	3000	24	100	6	30	4285	130x342	13
2x3000	3000	24	205	12.3	30	4285	130x424	14.5
1x4500	4500	24	16.7	10	28	4000	161x472	27.5
2x4500	4500	24	287	17.2	30	4285	161x472	29
3x4500	4500	24	437	26.2	30	4285	161x572	33
3x6000	6000	24	797	47.8	30	4285	191x672	53
1x6000	6000	24	560	33.6	35	5000	191x858	60

(*) Puissance du moteur électrique

DT18 : Répartition des contraintes (simulation informatique) dans le voile de quille

Contrainte normale en Mpa



Acier X 5 Cr Ni Cu Nb 17 – 4

Composition chimique :

- carbone (C) : 0.07% Max
- chrome (Cr) : 15 à 17.5 %
- nickel (Ni) : 3 à 5%
- cuivre (Cu) : 3 à 5%
- manganèse (Mn) : 1% Max

Masse volumique : $\rho = 7800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Module d'élasticité longitudinal : $E = 197000 \text{ MPa}$

Limite élastique (traction) : $\sigma_{ee} = 1380 \text{ MPa}$ (*)

Résistance à la corrosion marine : **Très bon**

Résistance à la fatigue : **Très bon**

(*) après traitement thermique (4h à 925°C suivi d'un refroidissement à l'air).

DT19 : Batterie Marine, servitude, traction ou démarrage

Batterie de démarrage:

Ce type de batterie privilégie le rapport intensité maximale disponible par rapport au volume. Une batterie de démarrage comme celles vendues pour les voitures est conçue pour délivrer un courant important pendant un court instant (Le CCA est calculé pendant une durée de 30s, durée considérée comme maximale pour démarrer un moteur). Lorsqu'il s'agit d'une batterie à électrolyte liquide, elle ne peut pas être déchargée de plus de 20% au risque de déformer les plaques minces de façon irréversible.

Batterie de servitude (ou décharge lente):

Ce type de batterie alimente des systèmes électriques soumis à des sollicitations répétées, et est donc conçue pour une utilisation en décharge profonde (80%) et un nombre de cycles de charge décharge important (jusque 1200 cycles pour une batterie de qualité en fonction de la profondeur de décharge).

Ce sont les batteries à électrolyte AGM ou gélifié qui sont le mieux adaptées même si certaines batteries liquides répondent à ce besoin.

Batterie de traction:

C'est une batterie capable de délivrer de fortes intensités pendant une longue durée. Elle est utilisée par exemple pour des chariots élévateurs. Les batteries AGM et gel répondent à ce besoin, des batteries liquides à entretien (possibilité de rajouter de l'eau) sont aussi conçues pour cet usage.

Batterie marine:

Une batterie marine est conçue pour prendre en compte toutes les contraintes de la navigation. C'est une batterie de servitude qui peut être aussi utilisée pour le démarrage (même si pour des raisons de sécurité, il est préférable de dédier une batterie au démarrage). Une batterie marine doit de plus être étanche et avoir un niveau d'électrolyte suffisant pour que les électrodes soient toujours immergées, ceci quelle que soit la gîte du bateau. Elle doit de plus avoir une bonne résistance mécanique et être conçue pour limiter les dégagements gazeux pour des raisons de sécurité et de longévité.

Les batteries à électrolyte gélifié (AGM ou gel) sont par leur technologie les mieux adaptées à une utilisation marine.

DT20 : Performance typique en fonction de la technologie de batterie

Technologie		Utilisation				
Types de plaques	Types d'électrolyte	Servitude	Démarrage	Décharge profonde (50%)	Décharge profonde (80%)	Décharge complète (100%)
Plaques minces	Liquide	---	+++	---	---	---
Plaques épaisses	Liquide	++	+-	350 cycles	---	---
Plaques épaisses	AGM	+++	++	450 cycles	275 cycles	200
Plaques épaisses	Gel	+++	+	650 cycles	420 cycles	350

nota: la décharge complète à 100% est à éviter. Les cas positifs apparaissant dans ce tableau signifient qu'en cas de décharge totale de la batterie celle-ci est récupérable. La décharge à 80% est tolérée sans détérioration de la batterie mais le nombre de cycles s'en trouve réduit

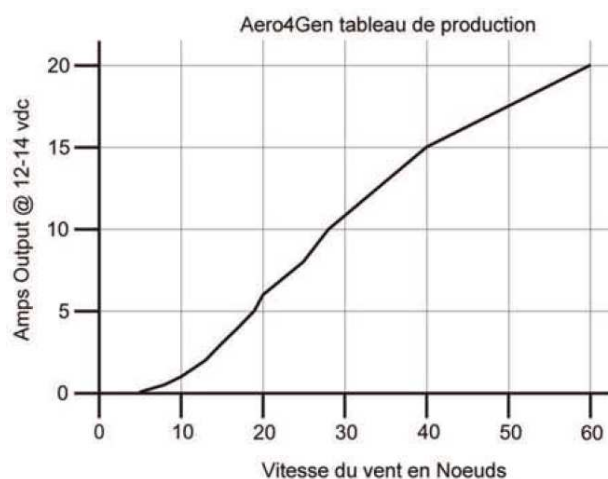
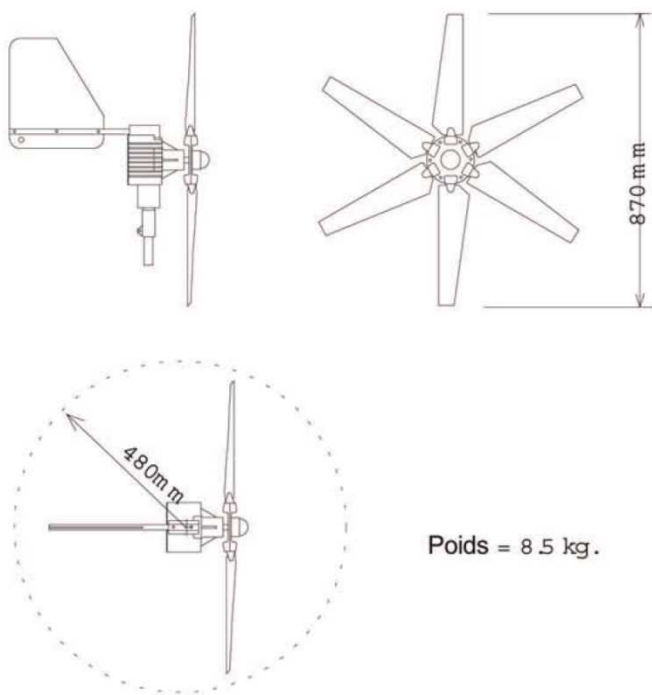
DT21 : Effet de la température sur la capacité d'une batterie au plomb

La température est un catalyseur des réactions chimiques : une augmentation de 10°C double les cinétiques des réactions. Ainsi, l'augmentation de la température permet une amélioration de la capacité réelle de la batterie. On introduit donc un coefficient de température $K_T(C)$ lié à l'évolution de la capacité réelle en fonction de la température de la batterie. Comme les fabricants indiquent la capacité pour une température de 20°C, le coefficient $K_T(C)$ est pris égal à 1 pour cette température. Les valeurs des coefficients de température de la capacité sont données ci-dessous à titre indicatif :

Température :	-20 °C	-10 °C	0 °C	10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C
Coefficient K_T (appliqué à C_{20})	0.8	0.85	0.85	0.95	1	1.04	1.1	1.13

$$C_{\text{réel}} = C_{20} * K_T$$

DT22 : Caractéristiques de l'éolienne et conditions de montage



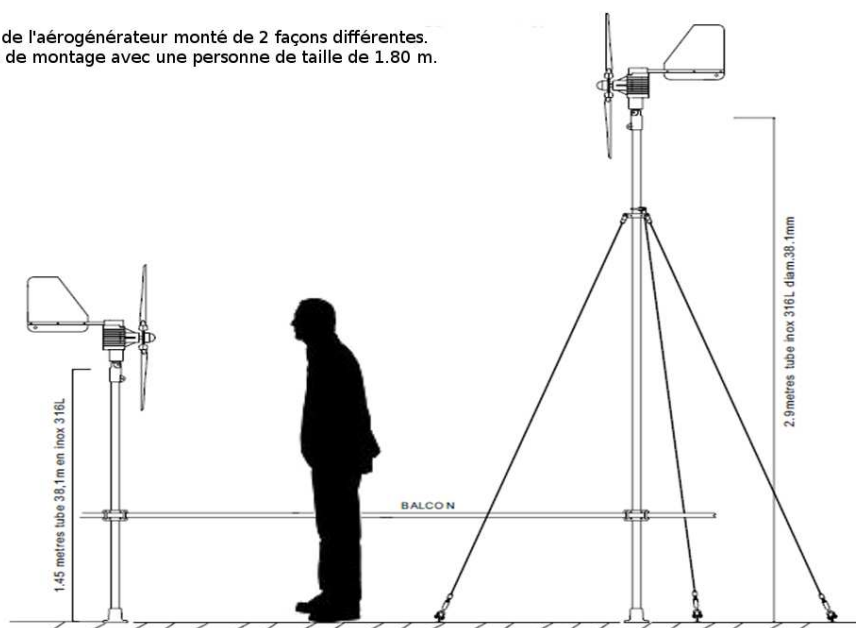
La position de l'éolienne est déterminante pour éviter tout risque de blessures graves dues à la rotation des pales. Lors de la conception du système de fixation, celui-ci doit être prévu pour accepter le poids de l'éolienne additionnée avec la force du vent telle que décrit dans le tableau ci-dessous.

Type des vents	Petite brise	Brise modéré	Bonne brise	Forte brise	Coup de vent	Bon coup de vent	Fort coup de vent	Tempête	Forte tempête
Vitesse (Noeuds)	9	13	19	24	30	37	44	52	60
Force (Kg)	0,6	1,4	3,0	5,0	7,5	11,2	16,0	22,0	29,0

Des précautions supplémentaires doivent être observées pour limiter les vibrations magnétiques et électriques lors de la rotation et de la charge de l'éolienne. Le bruit et les vibrations seront amplifiés dans le cas d'un montage sur un tube de faible diamètre ou sur une structure du bateau de faible section. Si le montage est effectué au dessus des couchettes, il pourrait être nécessaire de stopper l'éolienne pour la nuit.

Pour éviter des interférences avec les appareils de navigation, l'aérogénérateur doit être placé à moins des 2 mètres de ces matériels. Les câbles de raccordements doivent être placés à plus d'un mètre des câbles des appareils de navigation.

Présentation de l'aérogénérateur monté de 2 façons différentes. Comparaison de montage avec une personne de taille de 1.80 m.



DT23 : Tableau TRIZ : contradictions et principes (Folio 1/2)

Matrice des Contradictions TRIZ - Technology effet positif à préserver effet négatif à améliorer		Poids d'un Objet Mobile	Poids d'un Objet Fixe	Longueur d'un Objet Mobile	Longueur d'un Objet Fixe	Surface d'un Objet Mobile	Surface d'un Objet Fixe	Volume d'un Objet Mobile	Volume d'un Objet Fixe	Vitesse	Force - Intensité	Tension - Pression	Forme	Stabilité (de la composition) de l'Objet	Force - Résistance	Stabilité (de la composition) de l'Objet	Durabilité - Durée d'Action d'un Objet Immobilie	Température	Clarté - Illumination - Brilliance	Utilisation d'Energie par un Objet Mobile - en Mouvement	Puissance	Puissance	Perte d'Energie	Perte de Matière - Substance	Perte d'Information	Perte de Temps	Quantité de Matière - Substance	Fiabilité	Précision de Mesure	Précision de Fabrication - Réalisation	Effet ou Facteur Nocif - Négatif affectant l'objet	Effet ou Facteur Nocif - Négatif affectant l'objet	Facilité de Fabrication - Réalisation	Facilité d'Opération - Usage	Facilité de Réparation	Adaptabilité - Polyvalence	Complexité (de l'objet)	Difficulté de Détection et de Mesure (contrôle)	Degré d'Automatisation	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
1	Poids d'un Objet Mobile			15, 8, 29, 34		29, 17, 38, 34		29, 2, 40, 28		2, 8, 15, 38	8, 10, 18, 37	10, 36, 37, 40	10, 14, 35, 40	1, 35, 19, 39	28, 27, 18, 40	5, 34, 31, 35		6, 29, 4, 38	19, 1, 32	35, 12, 34, 31		12, 36, 18, 31	6, 2, 34, 19	5, 35, 3, 31	10, 24, 35	10, 35, 20, 28	3, 26, 18, 31	1, 3, 11, 27	28, 27, 35, 26	28, 35, 26, 18	22, 21, 18, 27	22, 35, 31, 39	27, 28, 1, 36	35, 3, 2, 24	2, 27, 28, 11	29, 5, 15, 8	26, 30, 36, 34	28, 29, 26, 32	26, 35, 18, 19	35, 3, 24, 37
2	Poids d'un Objet Fixe			10, 1, 29, 35		35, 30, 13, 2		5, 35, 14, 2			8, 10, 13, 29, 19, 35	13, 10, 29, 14	26, 39, 1, 40	28, 2, 10, 27		2, 27, 19, 6	28, 19, 32, 22	19, 32, 35		18, 19, 28, 1	15, 19, 18, 22	18, 19, 5, 8, 13, 30	10, 15, 35, 26	10, 20, 19, 6, 18, 26	10, 28, 8, 3	18, 26, 28	10, 1, 35, 17	2, 19, 22, 37	35, 22, 1, 39	28, 1, 9	6, 13, 1, 32	2, 27, 28, 11	19, 15, 29	1, 10, 26, 39	25, 28, 17, 15	2, 26, 35	1, 28, 15, 35			
3	Longueur d'un Objet Mobile	8, 15, 29, 34				15, 17, 4		7, 17, 4, 35		13, 4, 8	1, 8, 35, 10, 29	1, 8, 15, 34	19	10, 15, 19	32	8, 35, 24					1, 35, 35, 39	10, 28, 24, 35	1, 24	29, 35		15, 2, 29	29, 35		15, 29, 17, 24	17, 15	1, 29, 17	15, 29, 35, 4	1, 28, 10	14, 15, 1, 16	1, 19, 26, 24	35, 1, 26, 24	17, 24, 26, 16	14, 4, 28, 29		
4	Longueur d'un Objet Fixe			35, 28, 40, 29				17, 7, 10, 40		35, 8, 2, 14	28, 10	1, 14, 35	39, 37, 35	15, 14, 28, 26		1, 10, 35	3, 35, 38, 18	3, 25			12, 8	6, 28	10, 28, 24, 35	24, 26, 14		29, 30, 6, 13	29, 9	26, 28, 32, 3	2, 32, 10	1, 18		15, 17, 27	2, 25	3	1, 35	1, 26	26		30, 14, 7, 26	
5	Surface d'un Objet Mobile	2, 17, 29, 4		14, 15, 18, 4				7, 14, 17, 4		29, 30, 4, 34	19, 30, 36, 28	10, 15, 29, 4	5, 34, 29, 4	11, 2, 13, 39	3, 15, 15, 7	6, 3		2, 15, 16	15, 32, 19, 13	19, 32		19, 10, 32, 18	15, 17, 2, 39	10, 35, 2, 39	30, 26	26, 4	29, 30, 6, 13	29, 9	26, 28, 32, 3	2, 32, 10	22, 33, 18, 39	13, 1, 26, 24	15, 17, 13, 16	15, 13, 10, 1	15, 30	14, 1, 13	2, 36, 26, 18	14, 30, 28, 23	10, 26, 34, 2	
6	Surface d'un Objet Fixe			30, 2, 14, 18		26, 7, 9, 39					1, 18, 35, 36	10, 15, 36, 37	2, 38	40		2, 10, 19, 30	35, 39, 38				17, 32	17, 7, 30	10, 14, 18, 39	30, 16	10, 35, 4, 18	2, 18, 40, 4	32, 35, 18, 36	26, 28, 32, 3	2, 29, 18, 36	27, 2, 39, 35	22, 1, 40	40, 16	16, 4	16	15, 16	1, 18, 36	2, 35, 30, 18	23	10, 15, 17, 7	
7	Volume d'un Objet Mobile	2, 26, 29, 40		1, 7, 4, 35		1, 7, 4, 17				29, 4, 38, 34	15, 35, 36, 37	6, 35, 29, 4	1, 15, 1, 39	28, 10, 9, 14	6, 35, 4		34, 39, 10, 18	2, 13, 10	35		35, 6, 7, 15, 13, 16	36, 39, 34, 10	2, 22	2, 6, 29, 30, 7	14, 1, 26, 40, 11	25, 28, 2, 16	22, 21, 27, 35	17, 2, 40, 1	29, 1, 40	15, 13, 30, 12	10	15, 29	26, 1	29, 28, 4	35, 34, 16, 24	10, 6, 2, 34				
8	Volume d'un Objet Fixe			35, 10, 19, 14		35, 8, 2, 14					2, 18, 37	24, 35	7, 2, 35	34, 28, 35, 40	9, 14, 17, 15	35, 34, 38	35, 6, 4				30, 6	10, 39, 35, 4		35, 16, 32, 18	35, 3	2, 35, 16	35, 10, 25	34, 39, 19, 27	30, 18, 35, 4	35		1		1, 31	2, 17, 26	35, 37, 10, 2				
9	Vitesse	2, 28, 13, 38		13, 14, 8		29, 30, 34		7, 29, 34			13, 28, 15, 19	6, 18, 38, 40	35, 15, 18, 34	28, 33, 1, 18	8, 3, 26, 14	3, 19, 35, 5		28, 30, 36, 2	10, 13, 19	8, 15, 35, 38		19, 35, 38, 2	14, 20, 19, 35	10, 13, 29, 38	13, 26	10, 19, 29, 38	11, 35, 27, 28	28, 32, 1, 24	10, 28, 32, 25	1, 28, 35, 23	2, 24, 35, 21	35, 13, 8, 1	32, 28, 13, 12	34, 2, 28, 27	15, 10, 26, 4	10, 28, 4, 34	3, 34, 27, 16	10, 18		
10	Force - Intensité	8, 1, 37, 18	18, 13, 1, 28	17, 19, 9, 36	28, 10	19, 10, 15	1, 18, 36, 37	15, 9, 12, 37	2, 36, 18, 37	13, 28, 15, 12	6, 35, 15, 36	36, 35, 21		35, 10, 21	35, 10, 14, 27	19, 2	35, 10, 21			19, 17, 1, 36, 37	1, 16, 36, 37	19, 35, 18, 37	14, 15, 40, 5		10, 37, 36	14, 29, 18, 36	3, 35, 13, 21	35, 10, 28, 29	1, 35, 13, 3	15, 37, 18, 1	1, 28, 3, 26	15, 1, 18, 20	15, 17, 10, 18	26, 35, 10, 19	36, 37, 10, 19	2, 35, 3, 28	3, 28, 35, 37			
11	Tension - Pression	10, 36, 37, 40	13, 29, 35, 10	35, 10, 36	35, 1, 14, 16	10, 15, 36, 28	36, 37	35, 24	36	35, 15, 21	35, 10, 34, 15	34, 15, 10, 14		33, 1, 18, 4	30, 14, 10, 40	14, 26, 9, 25		22, 14, 13, 15, 32	2, 6, 34, 14		10, 35, 14	2, 36, 25	35, 29, 3, 5	14, 10, 34, 17	36, 22	10, 40, 16	22, 1, 40	22, 1, 35	35, 1, 17, 28	1, 32, 11, 28	32, 15, 2, 13	1, 15, 29	1, 28, 1, 28	15, 13, 1, 28	15, 13, 1, 28	15, 1, 32	15, 1, 32			
12	Forme	8, 10, 29, 40	15, 10, 26, 3	29, 34, 5, 4	13, 14, 10, 7	5, 34, 4, 10		14, 4, 15, 22	7, 2, 35	35, 15, 34, 18	35, 10, 37, 40	34, 15, 10, 14		33, 1, 18, 4	30, 14, 10, 40	14, 26, 9, 25		22, 14, 13, 15, 32	2, 6, 34, 14		10, 35, 14	2, 36, 25	35, 29, 3, 5	14, 10, 34, 17	36, 22	10, 40, 16	22, 1, 40	22, 1, 35	35, 1, 17, 28	1, 32, 11, 28	32, 15, 2, 13	1, 15, 29	1, 28, 1, 28	15, 13, 1, 28	15, 1, 32	15, 1, 32				
13	Stabilité (de la composition) de l'Objet	21, 35, 2, 39	28, 39, 1, 40	13, 15, 1, 28	37	2, 11, 13	39	28, 10, 19, 39	34, 28, 35, 40	33, 15, 28, 18	10, 35, 21, 16	2, 35, 40	22, 1, 18, 4		17, 9, 15	13, 27, 10, 35	39, 3, 35, 23	32, 3, 32	32, 3, 32	13, 19	27, 4, 29, 18	32, 35, 14, 2, 39, 6	14, 2, 30, 40		35, 27	15, 32, 35		13	18	35, 24, 30, 18	35, 40, 27, 39	35, 19	32, 35, 10, 16	2, 35, 30, 18	35, 30, 34, 2	2, 35, 22, 26	35, 22, 39, 23	1, 8, 35	23, 35, 40, 3	
14	Force - Résistance	1, 8, 40, 15	40, 26, 27, 1	1, 15, 27, 1	15, 14, 28, 26	3, 34, 40, 29	9, 28	10, 15, 14, 7	9, 14, 17, 15	8, 13, 3, 14	10, 18, 18, 40	10, 30, 35, 40	13, 17, 35		27, 3, 26		30, 10, 40	35, 19	19, 35, 10	35		10, 26, 35, 28	35		29, 3, 28, 10	29, 10, 27	11, 3, 3	3, 27, 16	18, 35, 37, 1	15, 35, 22, 2	11, 3, 32	32, 40, 26, 2	27, 11, 3	15, 3, 32	2, 13, 25, 28	27, 3, 15, 40	15	29, 35, 10, 14		
15	Durabilité - Durée d'Action d'un Objet Mobile	19, 5, 34, 31		2, 19, 9		3, 17, 19		10, 2, 19, 30		3, 35, 5	19, 2, 16	19, 3, 27	14, 26, 28, 25	13, 3, 35	27, 3, 10		19, 35, 39	2, 19, 4, 35	28, 6, 35, 18		19, 10, 28, 18	28, 27, 3, 18	10	20, 10, 28, 18	3, 35, 10, 40	11, 2, 13	3	3, 27, 16, 40	22, 15, 33, 28	21, 39, 16, 22	27, 1, 4	12, 27	29, 10, 27	1, 35, 13	10, 4, 29, 15	19, 29, 39, 35	6, 10	35, 17, 14, 19		
16	Durabilité - Durée d'Action d'un Objet Immobilie		6, 27, 19, 16		1, 40, 35			35, 34, 38					39, 3, 35, 23				19, 18, 36, 40				16		27, 16, 18, 38	10	28, 20, 10, 16	3, 35, 34, 6, 40	34, 27, 10, 26	17, 1, 40, 33	22	35, 10	1	1	2		25, 34, 6, 35	1	20, 10, 18, 38			
17	Température	36, 22, 6, 38	22, 35, 32	15, 19, 9	15, 19, 9	3, 35, 39, 18	35, 38	34, 39, 40, 18	35, 6, 4	2, 28, 36, 30	35, 10, 3, 21	35, 39, 19, 2	14, 22, 19, 32	1, 35, 32	10, 30, 22, 40	19, 13, 39	19, 18, 36, 40		32, 30, 21, 16	19, 15, 3, 17		2, 14, 17, 25	21, 17, 35, 38	21, 36, 29, 31		35, 28, 21, 18	3, 17, 30, 39	19, 35, 3, 10	32, 19, 24	24	22, 33, 35, 2	22, 35, 2, 24	26, 27	26, 27	4, 10, 16	2, 18, 27	2, 17, 16	3, 27, 35, 31	26, 2, 15, 28	
18	Clarté - Illumination - Brilliance	19, 1, 32	2, 35, 32	19, 32, 16		19, 32, 26		2, 13, 10			10, 13, 19	26, 19, 6	32, 30	32, 3, 27	35, 19, 2, 19, 6		32, 35, 19		32, 1, 19	32, 35, 1, 15		32, 3, 17	13, 1, 1, 6	1, 6	19, 1, 26, 17	1, 19	19, 1, 26, 17	11, 15, 32	3, 32	15, 19	35, 19, 32, 39	19, 35, 28, 26	28, 26, 19	15, 17, 13, 16	15, 1, 13	6, 32, 13	32, 15	2, 25, 10		
19	Utilisation d'Energie par un Objet Mobile - en Mouvement	12, 18, 8, 31		12, 28		15, 19, 25		35, 13, 18		8, 35, 35	16, 26, 21, 2	23, 14, 25	12, 2, 29	19, 13, 17, 24	5, 19, 9, 35	28, 35, 6, 18	-	19, 24, 3, 14	2, 15, 19		6, 19, 37, 18	12, 22, 15, 24	35, 24, 18, 5	35, 38, 19, 18	34, 23, 16, 18	19, 21, 11, 27	3, 1, 32	1, 35, 6, 27	2, 35, 6	30	19, 35	28, 26, 17, 28	1, 15, 13, 16	2, 29, 27, 28	35, 38	32, 2	12, 28, 35			
20	Utilisation d'Energie par un Objet Stationnaire - Fixe		19, 9, 6, 27							36, 37	27, 4, 29, 18	35		27, 4, 29, 18	35			19, 2, 35, 32	-			28, 27, 18, 31		3, 35, 31	10, 36, 23			10, 2, 22, 37	19, 22, 18	1, 4						19, 35, 16, 25		1, 6		
21	Puissance	8, 36, 38, 31	19, 26, 17, 27	1, 10, 35, 37		17, 32, 13, 38		35, 6, 38	30, 6, 25	15, 35, 2	26, 2, 36, 35	22, 10, 35	29, 14, 2, 40	35, 32, 15, 31	26, 10, 28	19, 35, 10, 38	16	2, 14, 17, 25	16, 6, 19, 37		10, 35, 38	28, 27, 18, 38	10, 19	35, 20, 10, 6	4, 34, 19	19, 24, 26, 31	32, 15, 2	32, 2	19, 22, 31, 2	2, 35, 18	26, 10, 34	35, 2, 10, 34	19, 17, 34	20, 19, 30, 34	19, 35, 16	28, 2, 17	28, 35, 34			
22	Perte d'Energie	15, 6, 19, 28	19, 6, 18, 9	7, 2, 6, 13	6, 38, 7	15, 26, 17, 7	17, 30	7, 18, 23	7	16, 35, 38	36, 38		14, 2, 39, 6	26		19, 38, 7	1, 13, 32, 15			3, 38		35, 27, 2, 37	19, 10	10, 18, 32, 7	7, 18, 35	11, 10, 35	32		21, 22, 35, 2	21, 35, 2, 22	35, 32, 1	2, 19		7, 23	35, 3, 15, 23	2	28, 10, 29, 35			
23	Perte de Matière - Substance	35, 6, 23, 40	35, 6, 22, 32	14, 29, 10, 31	28, 24	35, 2, 10, 31	10, 18, 10, 31	1, 29, 39, 31	3, 39, 30, 36	10, 13, 28, 38	14, 15, 37, 10	3, 36, 37, 10	29, 35, 3, 5	2, 14, 30, 40	35, 28, 31, 18	28, 27, 3, 18	21, 36,																							

DT23 : Tableau TRIZ : contradictions et principes (Folio 2/2)

1) Segmentation

- Diviser un objet en parties indépendantes (ex : Remplacer un gros ordinateur par plusieurs PCs.)
- Réaliser un objet démontable (faciliter le démontage) (ex : Meuble modulaire)
- Accroître le degré de segmentation (fragmentation) (ex : Remplacer des stores par des stores vénitiens)

4) Asymétrie

- Remplacer la forme symétrique d'un objet en une forme asymétrique
- Si l'objet est déjà asymétrique, renforcer son asymétrie

6) Multifonctions

- Rendre apte une partie de l'objet à réaliser plusieurs fonctions pour remplacer les fonctions des autres parties de l'objet (ex : Siège enfant de voiture qui sert de poussette)

7) Inclusion (poupées russes)

- Placer successivement les objets les uns dans les autres
- Emboîter une partie de l'objet dans une partie creuse de l'autre

8) Contrepoids

- Compenser la masse d'un objet par combinaison avec un ou d'autres objets possédant une force ascensionnelle (ex : Utiliser un ballon d'hélium pour supporter un panneau publicitaire)
- Compenser la masse d'un objet grâce à des interactions avec l'environnement (force aérodynamique, hydrodynamique, de flottabilité...)(ex : Hydrofoils qui soulèvent le bateau de l'eau pour réduire le tirant)

13) Inversion

- Inverser l'action utilisée normalement pour résoudre le problème
- Retourner l'objet ou inverser le processus

15) Dynamisme

- Permettre ou prévoir l'ajustement des caractéristiques d'un objet (d'un processus, ou de l'environnement) pour rendre son action optimale ou pour se placer dans les meilleures conditions opératoires (ex : Volant réglable ou rétroviseur.)
- Diviser un objet en éléments pouvant se déplacer les uns par rapport aux autres (ex : Le camion et sa remorque)
- Rendre flexible ou adaptable l'objet (ou le process) rigide ou non flexible

17) Autre dimension

- Utiliser une autre face que celle utilisée
- Utiliser des flux optiques dirigés sur une surface voisine ou sur la face opposée à celle utilisée

20) Continuité

- Travailler en continu, privilégier les actions ou toutes les parties de l'objet travaillent à plein régime en permanence

21) Vitesse élevée

- Conduire le procédé ou certaines de ses étapes (celles néfastes, dangereuses, hasardeuses) à grande vitesse

22) Conversion

- Utiliser les effets nuisibles (notamment ceux de l'environnement) pour obtenir une action positive
- Éliminer un facteur nuisible en le combinant avec d'autres effets néfastes
- Amplifier un effet nuisible jusqu'à ce qu'il cesse d'être néfaste

27) Ephémère et bon marché

- Remplacer un objet cher par de nombreux objets bon marché, en renonçant à certaines propriétés (comme la durée de vie)

29) Fluide

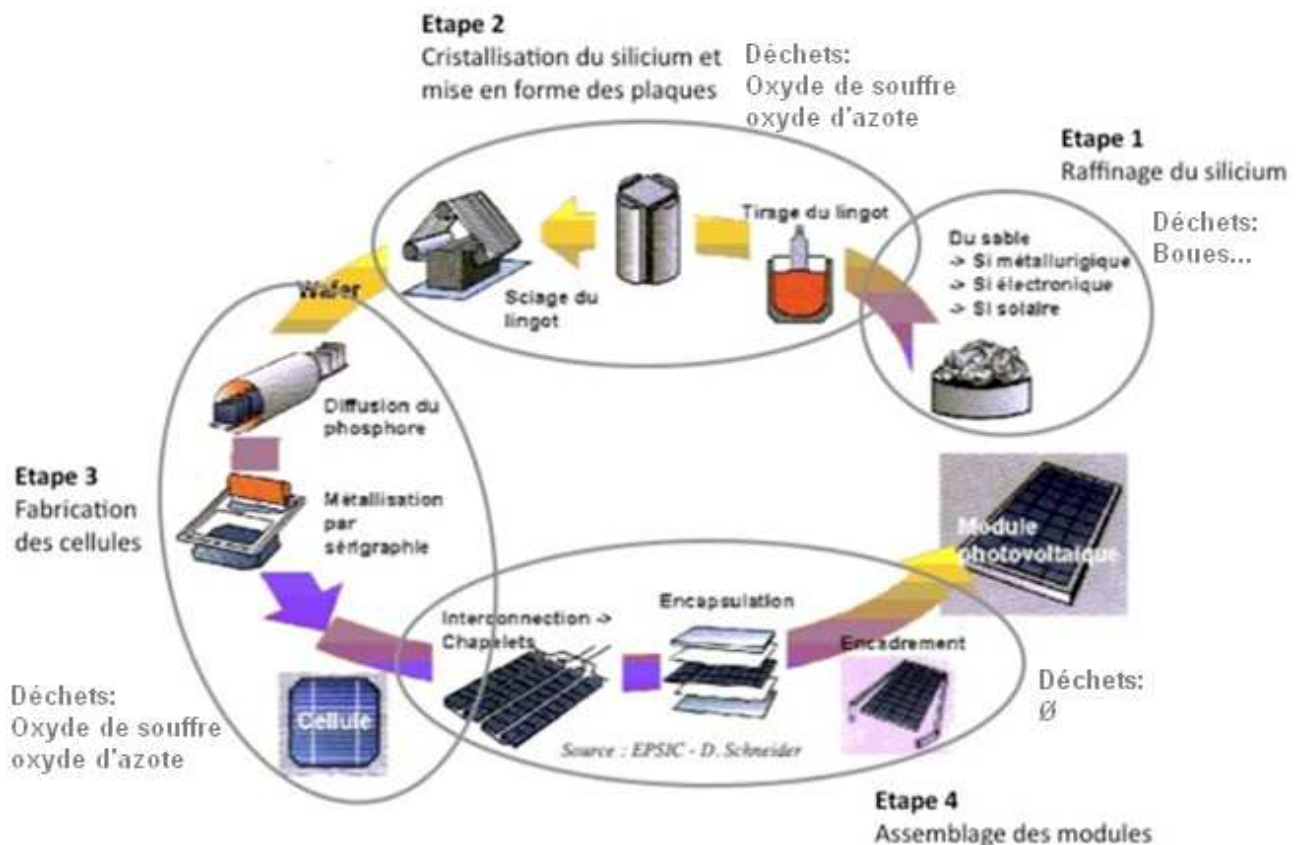
- Remplacer les parties solides d'un objet par du gaz ou du liquide : objets gonflables (à air ou eau), coussin d'air, hydrostatiques et hydroréactif.

30) Membrane flexible

- Isoler l'objet de son environnement en utilisant des membranes souples ou des films minces

Concours général - CORRECTION	2016
Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable STI2D	Page 39 / 53

DT24 : Procédés de fabrication panneaux photovoltaïques (Folio 1/2)



Fabrication cellules souples

Pour la fabrication de ce type de cellules photovoltaïques, on utilise **des cristaux de silicium sous forme monocristalline ou polycristalline**. Les processus de fabrication de ces cellules photovoltaïques sont similaires. Cependant, les procédés d'obtention des matériaux de base (silicium monocristallin ou polycristallin) sont différents.



DT24 : Procédés de fabrication panneaux photovoltaïques (Folio 2/2)

Procédé de fabrication d'une fibre photovoltaïque polymère extrait de brevet n° WO 2007/047190 A2

La figure 11 montre un procédé (1100) de fabrication de fibre photovoltaïque en utilisant une méthode de fabrication en continu.

En se référant à la figure 11, une bobine d'alimentation délivre la fibre (1101) en continu (1102); La fibre 1101 peut être une fibre électriquement isolante recouverte d'un conducteur électrique, une fibre électriquement conductrice, ou une combinaison des deux. Selon l'exemple de réalisation, la fibre (1101) est revêtue d'une suspension de nanoparticules de dioxyde de titane et le poly (titanate n-butyl) (servant d'agent de liaison polymère réactif) en le faisant passer dans une suspension fluide contenue dans un récipient (1104) avec un petit trou dans sa partie inférieure. À la sortie du récipient (1104), la fibre revêtue de nanoparticules interconnectées (1105) entre dans un four (1106) pour éliminer l'excès d'élément en suspension (par exemple, eau ou autre solvant).

La fibre enroulée de nanoparticules interconnectées (1105) entre dans un bain de colorants (1108) pour être photo-sensibiliser. La fibre photo-sensibilisée (1109) entre alors un four de séchage (1110) et/ou d'un bain de lavage pour éliminer l'excès de solvant. Ensuite, la fibre revêtue de nanoparticules photosensibles (1109) passe à travers une solution (1111) qui comprend un électrolyte, de préférence, à l'état solide, l'électrolyte polymère. Le solvant de cette solution de polymère (1111) peut être un solvant non réactif, dans ce cas, il peut être éliminé par chauffage dans une étape ultérieure, ou il peut être un solvant réactif tel un monomère. Si le solvant pour le poly électrolyte est un monomère, il est de préférence choisi de telle sorte qu'il peut être photo-polymérisé et de telle sorte que la structure du polymère résultant ne diminue pas les propriétés électriques du poly-électrolyte. Ainsi, dans l'exemple de réalisation où le solvant comprend un monomère, le matériau de fibre revêtue de photo-conversion (1112) est passée à travers une chambre contenant les lampes UV (1114), qui initie la photo-polymérisation du monomère.



La fibre résultante (1115) est ensuite revêtue avec le matériau de photo-conversion comprenant un électrolyte à l'état solide, et peut être aisément enroulée sur une bobine d'enroulement (1116).

La fibre recouverte d'un matériau photo-conversion (1115) passe ensuite à travers ou est placée dans une chambre à vide (1118) où une couche de platine très mince, suivie d'une couche transparente conductrice revêtue d'ITO (Oxyde d'étain-indium), sont déposées sur la fibre.

Le platine peut être, d'une épaisseur d'environ 15 Å à 50 Å . L'ITO sert transmettre la lumière importante au conducteur électrique. La fibre photovoltaïque terminée (1119) peut être ensuite passée à travers une solution de polymère (1120) pour former un revêtement transparent, protecteur.

Enfin, le matériau photovoltaïque flexible (1121) est enroulé sur une bobine finale (1122). Il est ainsi prêt pour une utilisation ultérieure, par exemple, dans une opération de tissage.

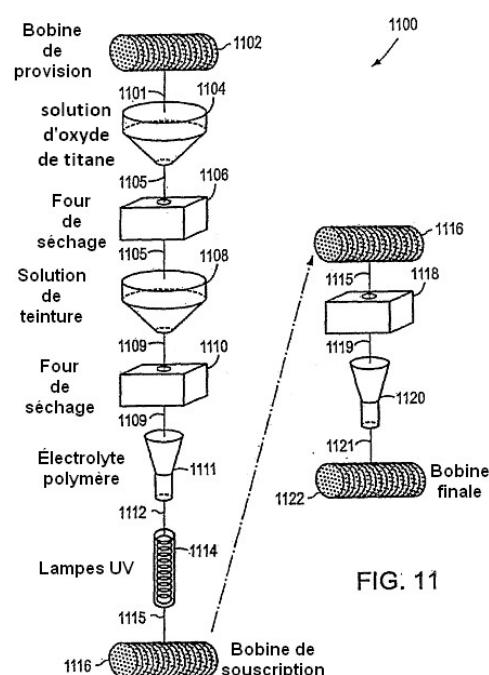
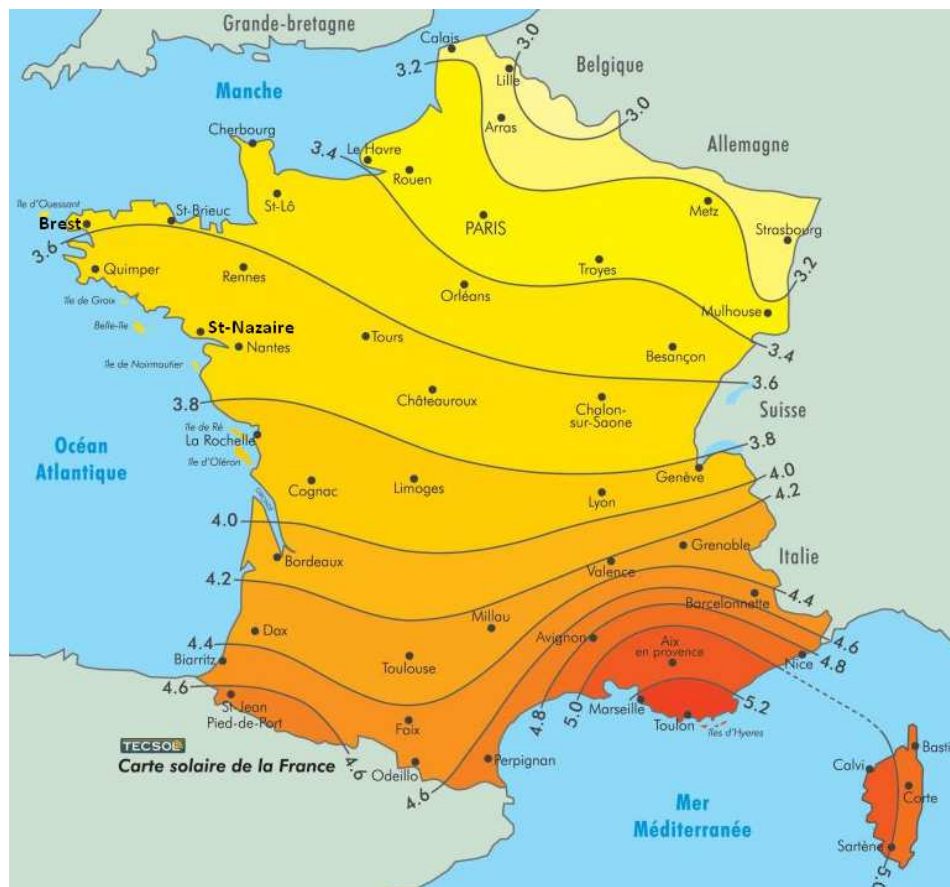


FIG. 11

DT25 : Données d'irradiation solaires en France

Concours général - CORRECTION	2016
Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable STI2D	Page 41 / 53

Carte irradiation solaire en France (source : TecSol.fr) :



Valeurs moyennes annuelles en kWh/m² par jour

Irradiations mensuelles moyennes sur quelques villes (en Wh/m² par jour) :

Brest		Calais		La Rochelle	
Mois	H_h	Mois	H_h	Mois	H_h
Jan	1370	Jan	1150	Jan	1290
Fev	2370	Fev	2140	Fev	2320
Mar	3490	Mar	2880	Mar	3890
Avr	4860	Avr	4230	Avr	5320
Mai	5230	Mai	4680	Mai	6130
Juin	5430	Juin	4790	Juin	6860
Jui	5440	Jui	5000	Jui	6790
Aug	4950	Aug	4600	Aug	5840
Sep	4220	Sep	3570	Sep	4580
Oct	2780	Oct	2550	Oct	2750
Nov	1950	Nov	1560	Nov	1590
Dec	1220	Dec	896	Dec	1150
Année	3620	Année	3180	Année	4050

DT26 : Documentation technique de la toile photovoltaïque

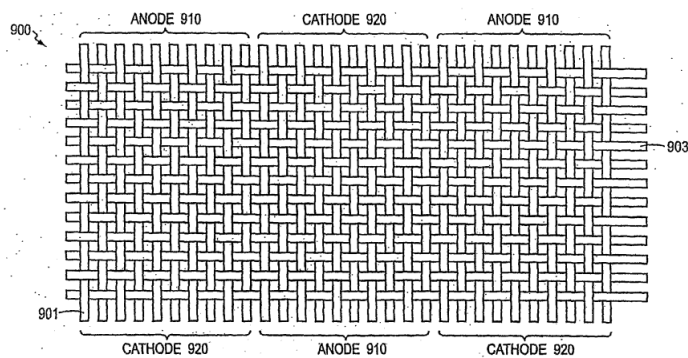


Figure : cellules photovoltaïques tissées

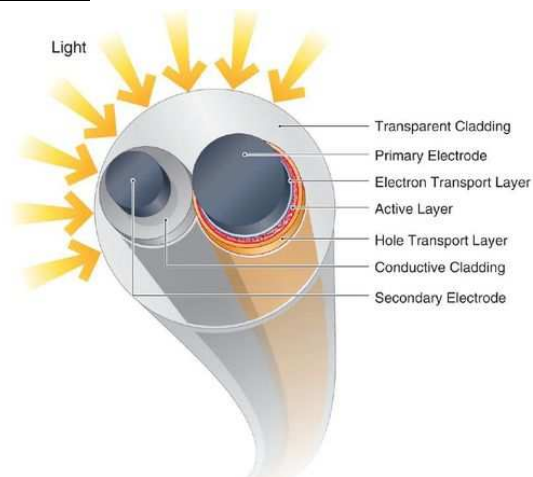
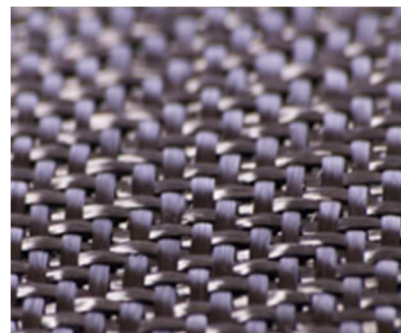
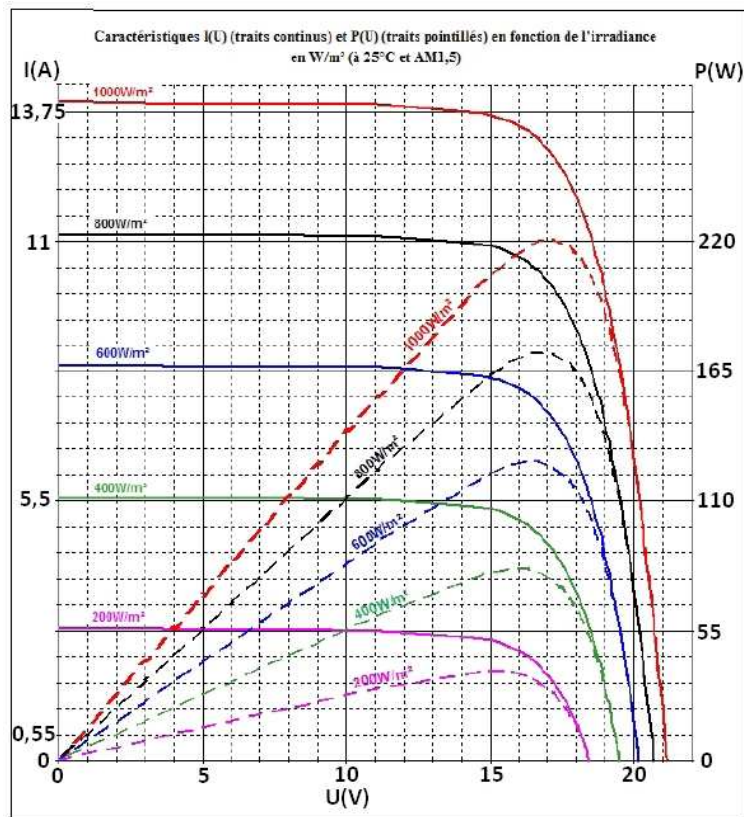


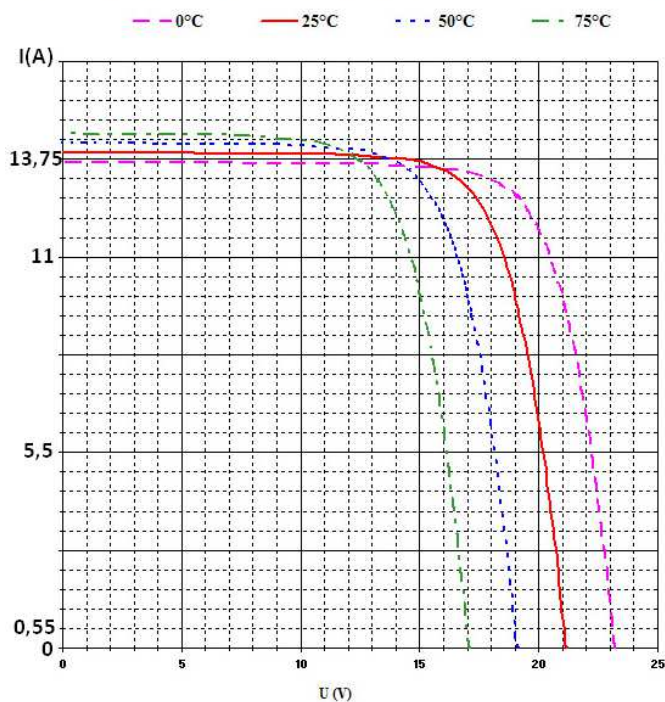
Image : fibre photovoltaïque



Spécifications	$V_{MPP}(V)$	$I_{MPP}(A)$	$P_c(W)$	Area (m^2)
	17	13	220	6,06

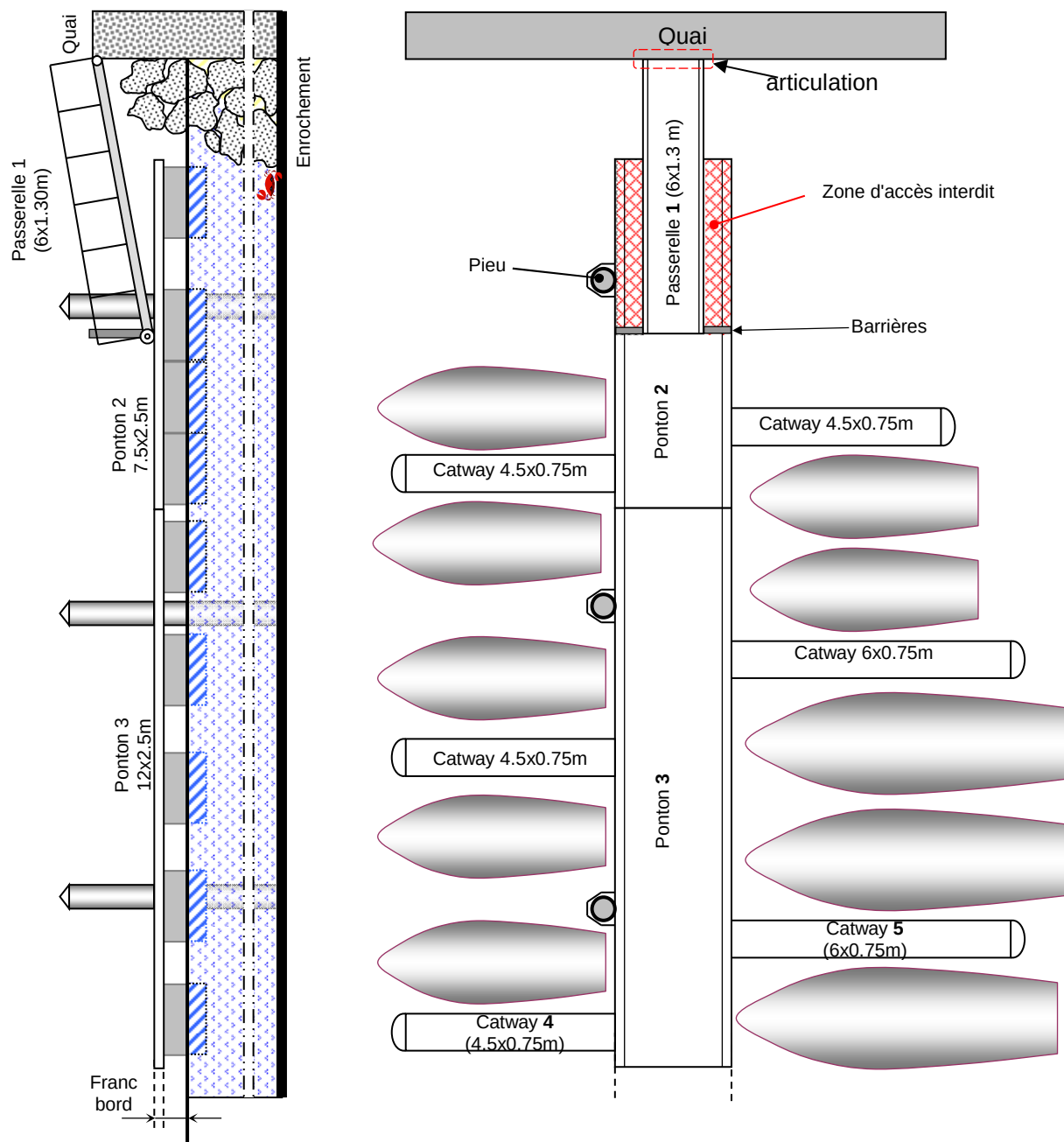


Caractéristiques $I(U)$ en fonction de la température (puissance rayonnée $1000W/m^2$)

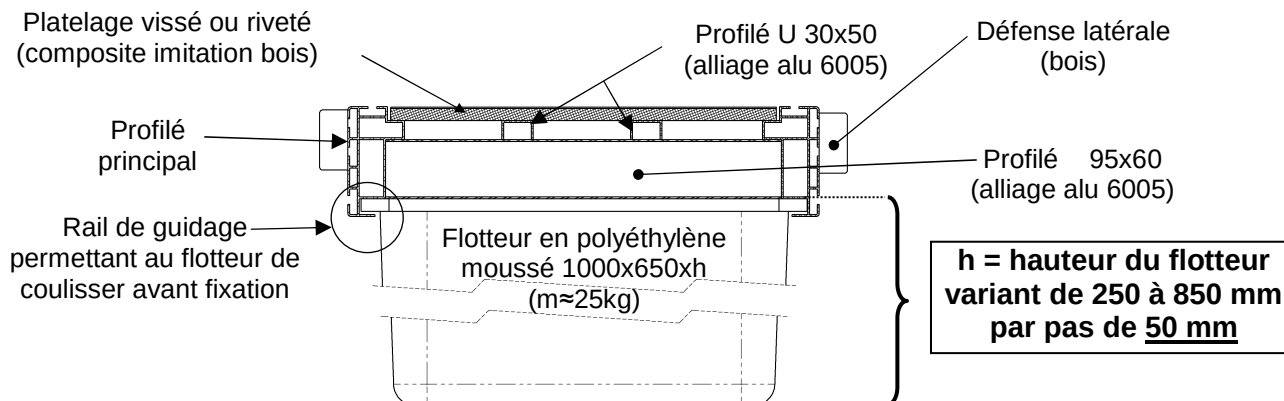


DT27 : Accès aux pontons d'amarrage

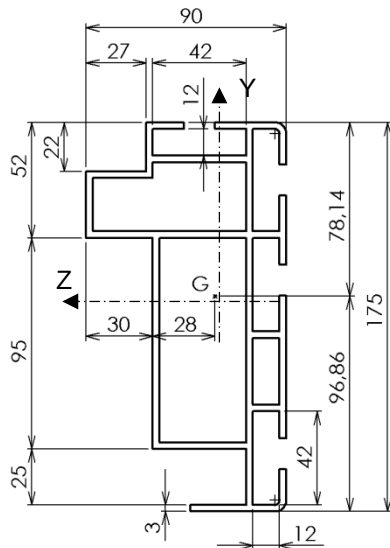
Echelle : 7:100



DT28 : Coupe transversale d'un catway



DT29 : Caractéristiques du profilé principal



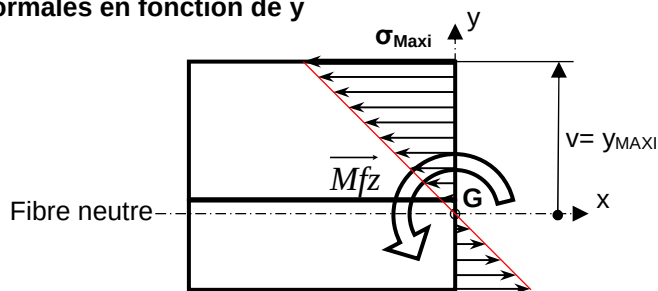
Matière : Alliage Al-Si-Mg 6005 T6
 Limite élastique (*mini*) : $\sigma_{ee} = 230 \text{ MPa}$
 Limite de rupture : $\sigma_{re} \text{ (mini)} = 260 \text{ MPa}$
 Masse linéique : $6 \text{ kg}\cdot\text{m}$
 Section : 2226 mm^2
 Module de flexion (I_{Gz}/v) = 66350 mm^3

Rainure permettant le logement d'écrous rectangulaires pour la fixation des accessoires (défenses, taquets d'amarrage...)

Contrainte normale maximale en flexion simple :

La contrainte normale maxi se situe sur la fibre située à la distance maximale de la fibre neutre ($Y = v = Y_{\text{Maxi}}$)

Répartition des contraintes normales en fonction de y



$$\|\sigma_{\text{Maxi}}\| = \frac{\left\| \frac{Mfz}{IGz} \right\|}{\left(\frac{v}{v} \right)} \quad \text{en MPa}$$

σ_{Maxi} : Contrainte normale maximale en MPa

Mfz : Moment fléchissant sur $(G, \vec{z})$ en $\text{N}\cdot\text{mm}$

IGz : Moment quadratique par rapport à l'axe $(G, \vec{z})$ en mm^4

$v = Y_{\text{Maxi}}$: Distance maximale à la fibre moyenne en mm

$\left(\frac{IGz}{v} \right)$: Module de flexion en mm^3

Remarque : pour les poutres et profilés du commerce, le constructeur fournit le module de flexion (en mm^3).

Condition de résistance à la contrainte normale :

$$k_t \cdot \sigma_{\text{max}} \leq \sigma_{pe}$$

$$\sigma_{pe} = \frac{\sigma_{ee}}{s}$$

σ_{pe} : contrainte pratique maximale admissible (MPa),

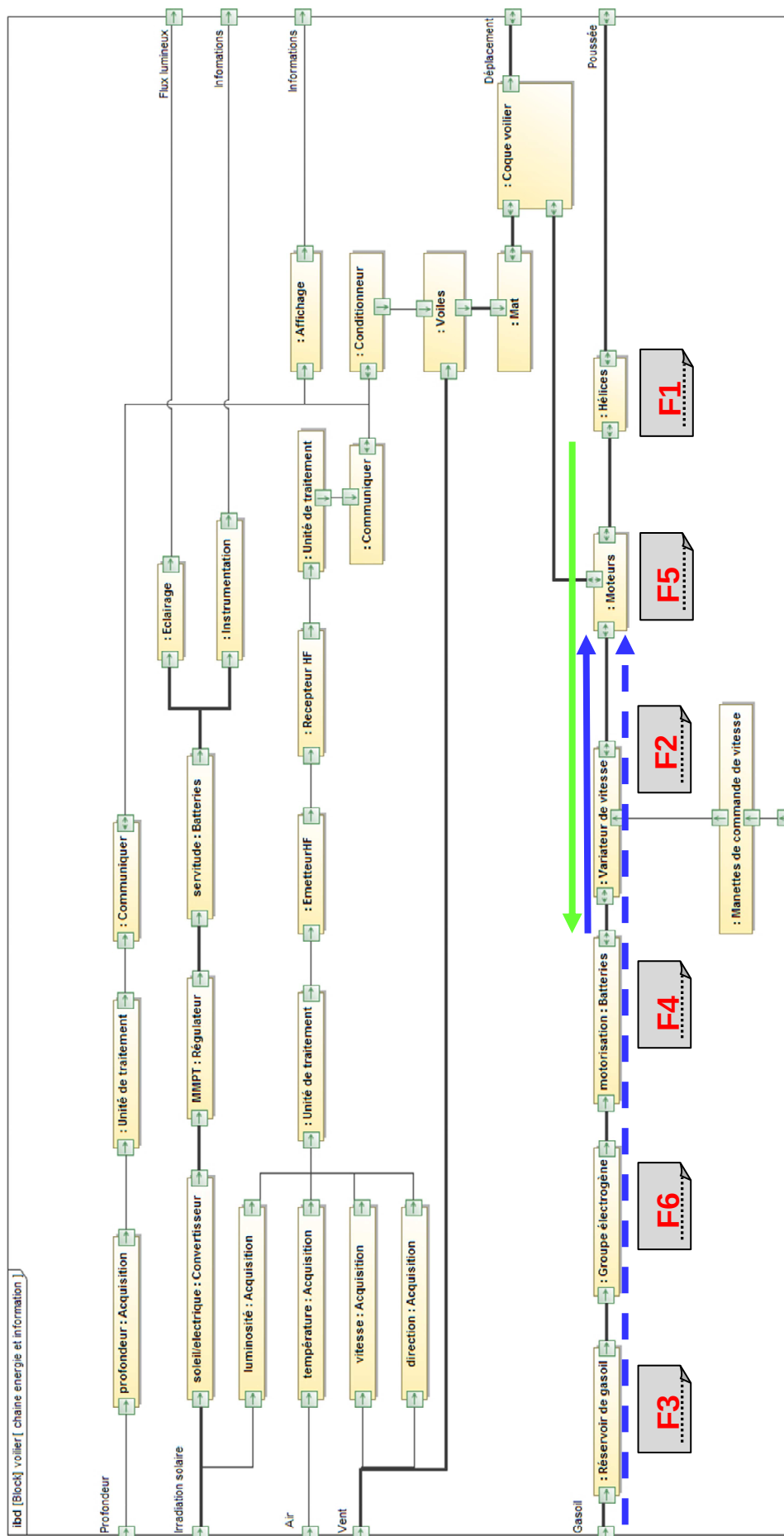
σ_{ee} : contrainte de limite élastique (MPa),

s : coefficient de sécurité,

σ_{max} : contrainte normale maximale dans la section (MPa),

k_t : coefficient de concentration de contrainte qui dépend de la nature et de l'importance de l'accident dans la poutre (si la section de la poutre est constante $K_t=1$).

DR1 : IBD flux d'information et flux d'énergie



Fonctions proposées pour la question 1.2 :

F1 : Convertir de l'énergie mécanique de rotation, en énergie mécanique de translation

F2 : Moduler l'énergie électrique

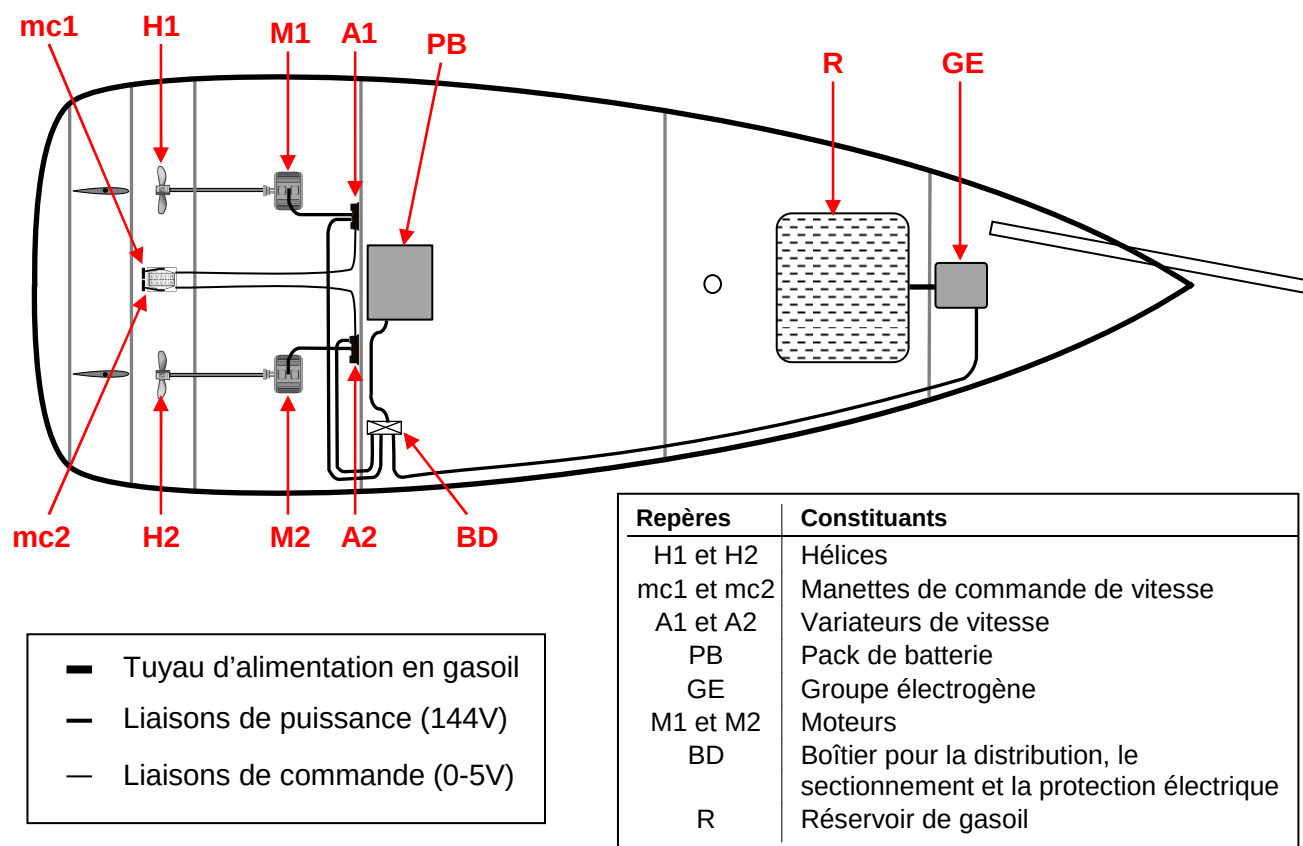
F3 : Stocker de l'énergie chimique

F4 : Stocker de l'énergie électrochimique

F5 : Convertir de l'énergie électrique en énergie mécanique

F6 : Convertir de l'énergie chimique en énergie électrique.

DR2 : Agencement des constituants de la propulsion motorisée

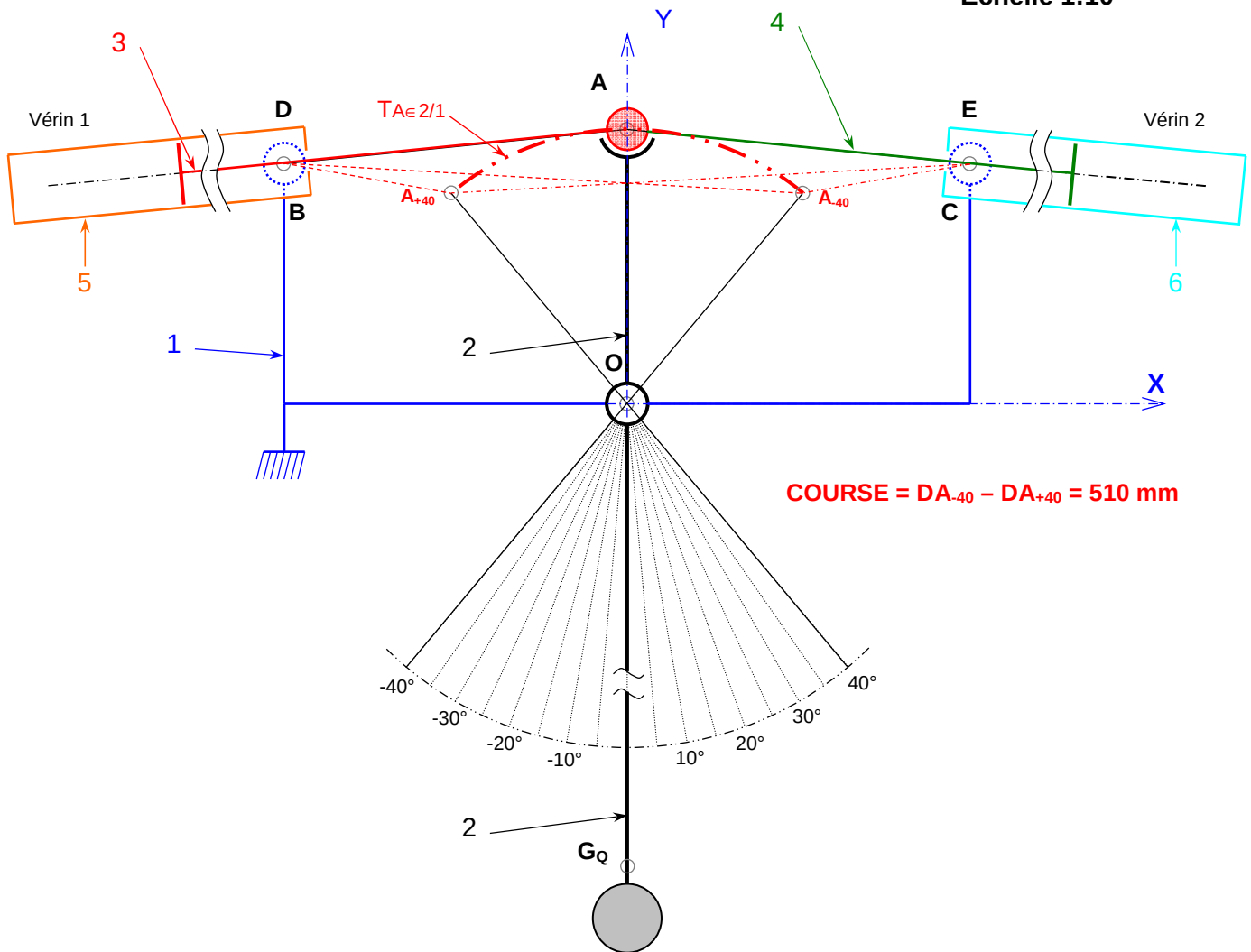


DR 3 : Tableau comparatif des anémomètres

	CV7SF	WSM
Signaux numériques de sortie	NMEA©	NMEA©
Rafraîchissement de sortie	1 fois par sec. De jour, 1 fois toutes les 3 sec. au lever et coucher du soleil, 1 fois toutes les 13 sec. la nuit	10 fois par seconde
Résolution du module du vent	0,1 Nd	0.5 Nd
Dynamique du module du vent	0,25 à 80 Nds	1.5 à 99 Nds
Sensibilité de la direction	+/- 1°	
Résolution de la direction	1°	5°
Alimentation	Panneau solaire pour le capteur, 5 à 12 VDC pour le récepteur	
Gamme de températures Hors givre	-10°C/55°C	
Type de liaison en sortie du capteur	Émetteur radio 433 MHz Puissance : 10 dbm Durée d'un message : 25 ms	
Pièces en mouvements (oui/non)	non	oui
Prix	679€	499€

DR4 : Détermination de la course des vérins

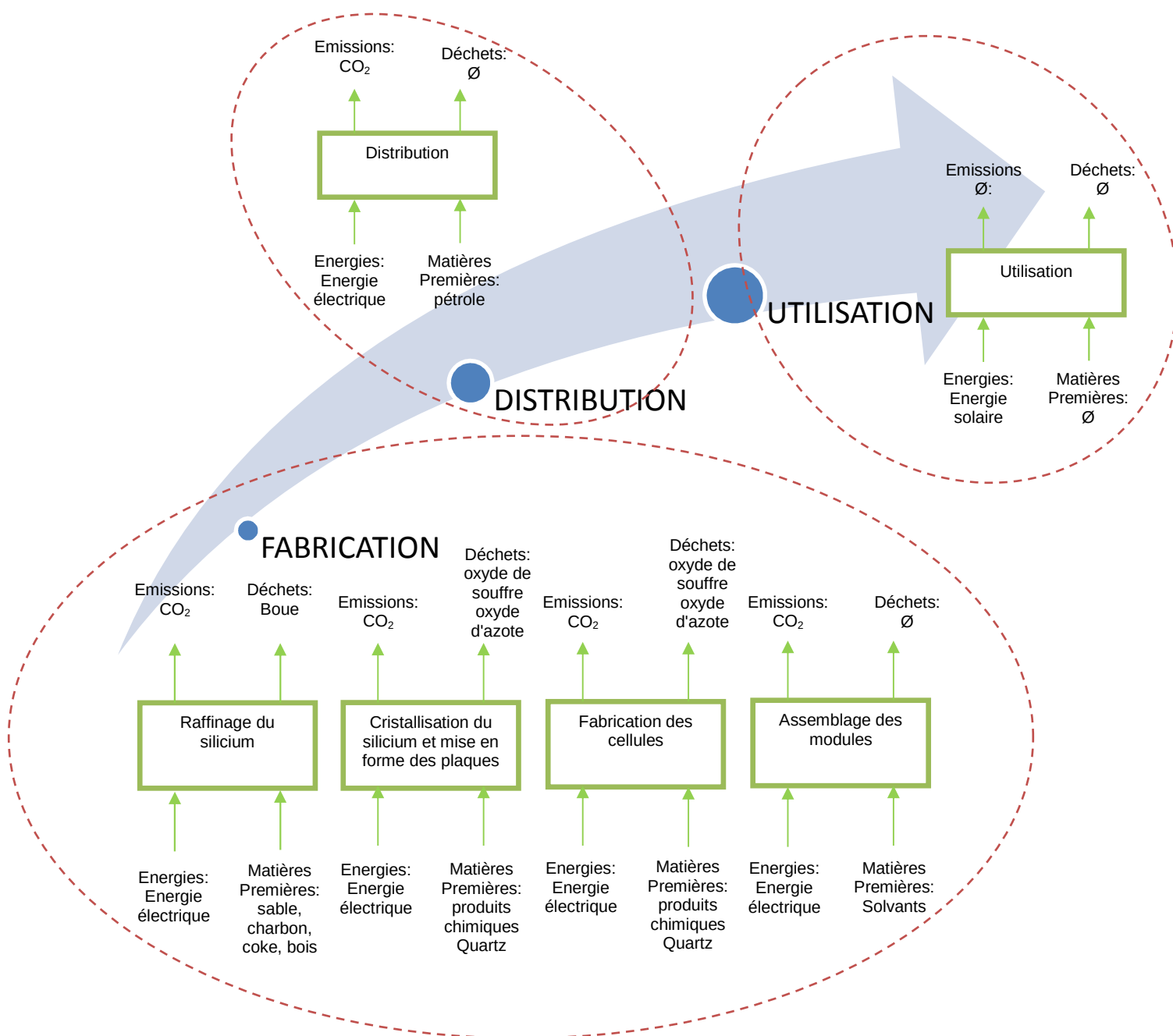
Schéma Cinématique plan (position 0°) Echelle 1:10



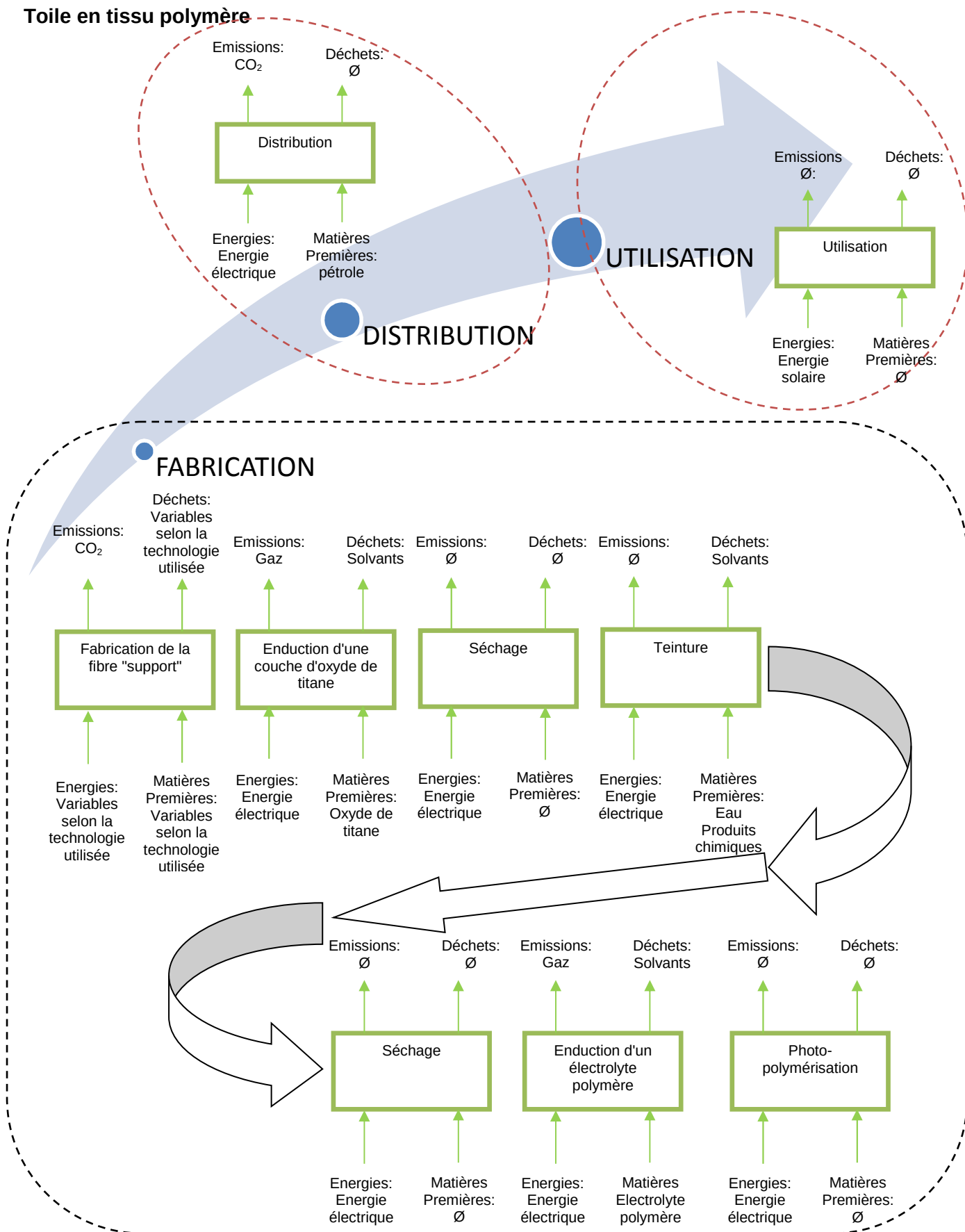
DR5 : Caractéristiques d'une batterie de servitude :

	Débite une intensité de courant très forte	Délivre du courant de manière ponctuelle	Support des décharges profondes	Recharge très rapide dans le cas du voilier étudié
Oui				
Non				

Panneau rigide au silicium monocristallin / Panneau en couche mince au silicium amorphe



Toile en tissu polymère



ont des ressources non renouvelables	Unité équivalente de Qté de matière première /production attendue.	Consommation énergétique	Unité équivalente d'énergie consommée /production attendue	Consommation d'eau	Unité équivalente de consommation d'eau /production attendue.	Potentiel de réchauffement climatique		Acidification de l'air
our 1kg de Si (eq 95Wc)	0.031 Kg/Wc	150kWh pour 1 kg Si	1.57 kWh/Wc	65l par m² de plaque	0.46 l/Wc	35g CO ₂ -eq/kWh Correspondant à la quantité de gaz à effet de serre émis lors de la fabrication du système sur sa production électrique pendant 30 ans	35g CO ₂ -eq/kWh	Rejets d'oxyde de soufre et d'oxyde d'azote
coke bois pour 1kg de Si	0.027 Kg/Wc	30 kWh pour 1m² de plaque	0.21 kWh/Wc	27l par cellule	7.5 l/Wc			
ts chimiques et gaz pour 1m² (40Wc)	0.026 Kg/Wc	0.74kWh par cellule	0.205 kWh/Wc	34l par module de 60 cellules	0.15 l/Wc			
pour 1m² de plaque	0.0028 Kg/Wc	10.7kWh par module de 60 cellules	0.048 kWh/Wc					
chimique et gaz par cellule (m) (eq 3.6Wc)	0.016 Kg/Wc							
ants organiques par module (eq 220Wc)	1.59.10 ⁻⁴ Kg/Wc							
our 1kg de Si (eq 52Wc)	0.038 Kg/Wc	210kWh pour 1kg de Si	4.03 kWh/Wc	80l par m² de plaque	1.05 l/Wc	305g CO ₂ -eq/kWh Correspondant à la quantité de gaz à effet de serre émis lors de la fabrication du système sur sa production électrique pendant 30 ans	305g CO ₂ -eq/kWh	Rejets d'oxyde de soufre et d'oxyde d'azote
coke bois pour 1kg de Si	0.067 Kg/Wc	30 kWh pour 1m² de plaque	0.39 kWh/Wc	29l par cellule	14.5 l/Wc			
ts chimiques et gaz pour 1m² (6Wc)	0.048 Kg/Wc			30l par module de 20 cellules	0.75 l/Wc			
pour 1m² de plaque	0.005 Kg/Wc							
chimique et gaz par cellule	0.03 Kg/Wc							
ants organiques par module (eq 120Wc)	4.6.10 ⁻⁴ Kg/Wc							
himiques pour 1m² de tissu	0.23 g/Wc	90 kWh pour la fabrication du fil	5.29 kWh/Wc	1.26l par m² de tissu	0.074 l/Wc	25g CO ₂ -eq/kWh	25g CO ₂ -eq/kWh	
pour 1m² de tissu	0.035 g/Wc	+ 4.5kWh par m² pour le tissage	0.26 kWh/Wc			Correspondant à la quantité de gaz à effet de serre émis lors de la fabrication du système sur sa production électrique pendant 30 ans		
ts pour 1m² de tissu	7.05 g/Wc							

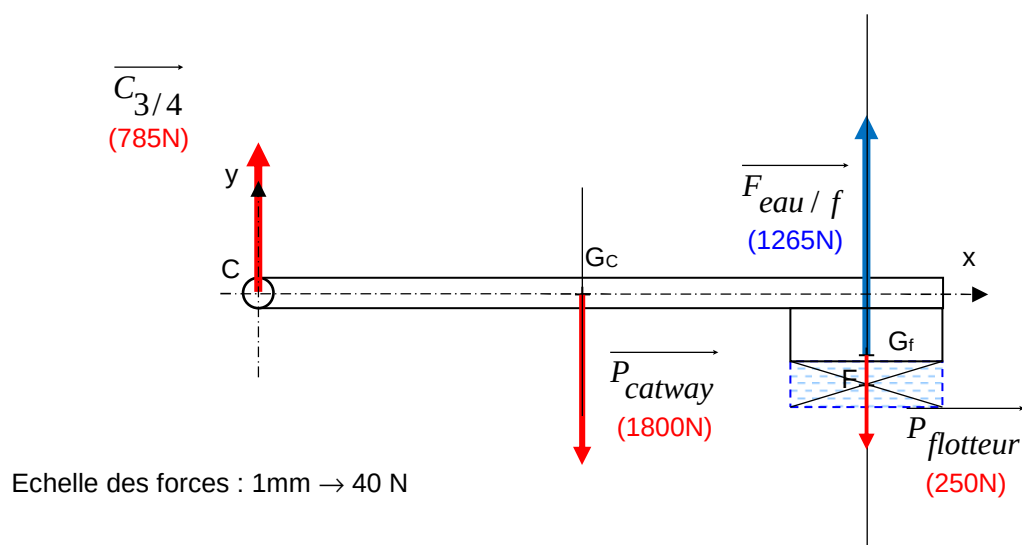
DR8 : Puissance transmise à la batterie branchement direct :

UBat(V)	10	11	12	13	14	15
I(A)	14	14	13,91	13,83	13,75	13,67
P(W)	140	154	167	180	192,5	205
$\eta_{\text{transfert}} (\%)$	63	70	76	81,8	87,5	93

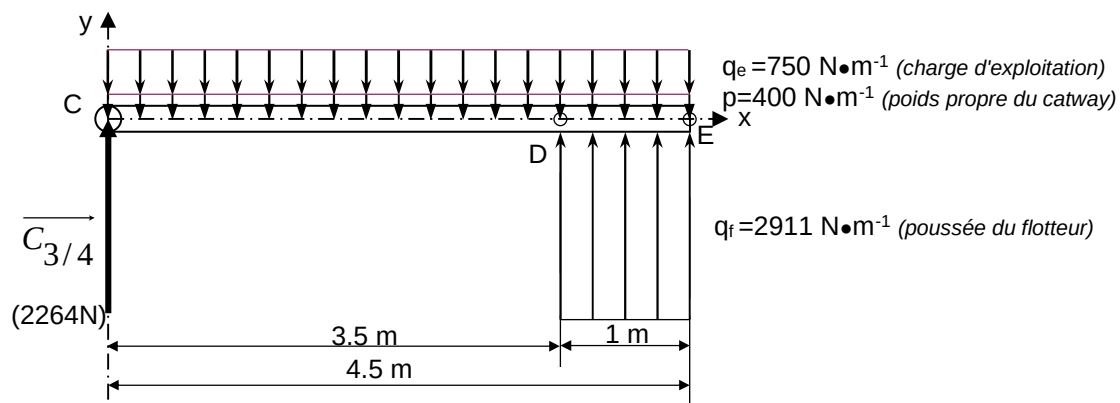
DR9 : Puissance transmise à la batterie branchement régulateur MPPT :

UBat(V)	10	11	12	13	14	15
$K = \frac{V_2}{V_1}$	0,59	0,65	0,71	0,76	0,82	0,88
Ibat(A)	22	20	18,3	17,1	15,85	14,78
Pbat(W)	220	220	219,6	222,3	221,9	221,8
$\eta_{\text{transfert}} (\%)$	100	100	99,9	99,9	100,8	100,8

Remarque : compte tenu des erreurs d'arrondis lors des calculs, il est possible de trouver une valeur $\eta_{\text{transfert}}$ supérieure à 100% !! Le calcul exact donne une valeur de 100%

DR10 : Equilibre du catway léger (sans charge d'exploitation)

DR11 : Diagrammes des efforts tranchants et moments fléchissants



L'étude des efforts de cohésion du catway en charge donne les diagrammes d'effort tranchant T_y et moment fléchissant M_{fz} en fonction de l'abscisse x :

