

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2022

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Ingénierie, innovation et développement durable ARCHITECTURE ET CONSTRUCTION

Durée de l'épreuve : 4 heures

*L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collègue » est autorisé.*

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 33 pages numérotées de 1/33 à 33/33.

Constitution du sujet :

Partie commune (durée indicative 2h30)	12 points
Partie spécifique (durée indicative 1h30)	8 points

❖ La partie commune comporte 5 parties dont 2 au choix.

À traiter obligatoirement	À traiter au choix
Partie commune : <ul style="list-style-type: none">• partie 1• partie 2• partie 3	Partie commune : <ul style="list-style-type: none">• soit la partie 4• soit la partie 5 <p>Une seule de ces 2 parties doit être traitée.</p>

❖ La partie spécifique comporte 4 parties qui sont toutes à traiter obligatoirement.

Tous les documents réponses sont à rendre avec la copie.

PARTIE COMMUNE (12 points)

Energy Observer



- **Présentation de l'étude et questionnement**..... pages 3 à 9
- **Documents techniques**..... pages 10 à 18
- **Documents réponses** pages 19 à 22

Mise en situation

« Energy Observer » est le premier navire à hydrogène visant l'autonomie énergétique. Il ne dégage aucune émission de gaz à effet de serre ni particule fine lors de ses trajets. Cet ancien bateau de course a été reconditionné en navire du futur à propulsion électrique fonctionnant grâce à un mix d'énergies renouvelables (eau, vent, soleil) et un système de production d'hydrogène décarboné à partir de l'eau de mer.

L'étude et la conception des technologies embarquées ont été réalisées par le Centre d'Étude Atomique (CEA) de Grenoble. Le centre CEA de Grenoble consacre l'essentiel de ses recherches au développement des nouvelles technologies, dans les domaines de l'énergie, de la santé, de l'information et de la communication.

Ce navire permet d'éprouver et optimiser les nouvelles technologies à bord de son laboratoire flottant en milieu extrême. Les expériences sur le terrain doivent permettre de concevoir des applications futures et à grande échelle dans le domaine de la navigation maritime.

Les nouveaux enjeux écologiques pour le transport maritime

Le transport maritime achemine plus de 90% des marchandises dans le monde et plusieurs millions de personnes chaque année. Les gaz d'échappement des navires sont une source importante d'émission de gaz à effet de serre et de particules fines.

L'Organisation Maritime Internationale a approuvé en avril 2018 une stratégie de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) produites par les activités du transport maritime. L'objectif est de réduire les émissions annuelles totales de GES d'au moins 50 % d'ici à 2050.

L'hydrogène comme vecteur d'énergie propre ?

Actuellement dans le monde, 95% de l'hydrogène est produit à partir d'énergies fossiles.

Le défi : développer une production d'hydrogène propre, à partir de l'électrolyse de l'eau ou grâce aux énergies renouvelables. On parle alors d'hydrogène « vert ». L'hydrogène permet de stocker à long terme les surplus d'énergies renouvelables pour pouvoir les réutiliser plus tard.

L'hydrogène « vert » peut être un moyen de répondre à un nouvel enjeu environnemental et de santé publique lors des liaisons fluviales et maritimes. Il permet de réduire les émissions de CO₂ et de diminuer le niveau sonore des navires en circulation.

Pour les liaisons fluviales et maritimes, le passage à un mode hybride batterie / hydrogène permet d'accroître les performances et d'assurer la continuité du service public rendu, tout en préservant la réduction sonore et l'absence de polluants atmosphériques.

Travail demandé

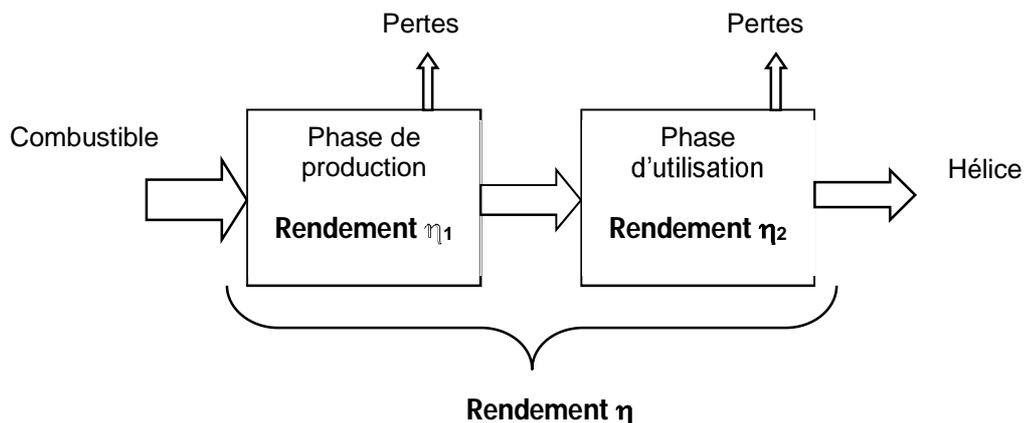
Partie 1 : quel est l'intérêt environnemental d'un navire à hydrogène ?

- Question 1.1 | **Indiquer** au moins deux raisons qui justifient l'intérêt environnemental de ce projet.
- Question 1.2 | **Expliquer** en quoi l'hydrogène « vert » pourrait être une solution d'avenir pour réduire l'impact environnemental du transport maritime.
- Question 1.3 | À partir du **DT1**, **indiquer** les quatre éléments techniques à bord du bateau permettant de produire de l'énergie électrique.
DT1
- Question 1.4 | On donne les différents éléments technologiques qui participent à la chaîne de production d'hydrogène:
DT1, DT2
DR1
- purificateur
 - électrolyseur
 - dessalinisateur
 - réservoirs
 - compresseur
- Compléter**, sur le document réponse **DR1**, les noms de ces éléments en fonction de leur rôle dans la chaîne de production d'hydrogène.
- Question 1.5 | **Conclure** sur la capacité de ce bateau à naviguer sans émission de gaz à effet de serre.

Partie 2 : quel est le meilleur combustible pour propulser le bateau ?

On s'intéresse ici au bilan carbone et au bilan énergétique de plusieurs combustibles sur une phase de cycles de vie (production jusqu'à l'utilisation).

La chaîne énergétique pour un combustible peut être schématisée de la manière suivante :



Question 2.1 | **Calculer** dans le DR2 le rendement global (production et utilisation) pour l'hydrogène obtenu par électrolyse.

DR2

Question 2.2 | **Montrer** en quoi l'hydrogène obtenu à partir de la technique de l'électrolyse est actuellement une solution d'avenir, à partir du DT3 et du calcul précédent.

DT3

Partie 3 : la capacité de stockage d'hydrogène du bateau est-elle suffisante pour assurer deux jours de navigation ?

L'étude précédente a montré que l'hydrogène vert est un combustible intéressant pour la propulsion du fret maritime. Pour utiliser une pile à combustible en tant que source d'énergie, il est nécessaire d'utiliser un système de propulsion électrique pour les navires.

Pour effectuer un voyage, il faut vérifier l'exigence 1.1 du document **DT4**.

Energy Observer part pour un voyage d'essais entre St Tropez et Minorque, décrit dans le document **DT5**.

La première phase de fonctionnement (jusqu'au coucher de soleil) se déroule de jour et il n'y a aucun vent. Le bateau fonctionne sur ses batteries avec l'apport d'énergie extérieure due à l'ensoleillement. Il s'agit du fonctionnement « éco » pendant lequel le système ne produit pas d'hydrogène.

Question 3.1 | **Repérer**, en entourant les flèches correspondantes, les flux d'énergie en jeu lors de cette phase de fonctionnement sur le document réponse **DR3**.
DR3

Question 3.2 | **Compléter** sur le **DR4** le tableau descriptif de cette chaîne de puissance à l'aide des éléments de la question précédente.
DT2
DR4

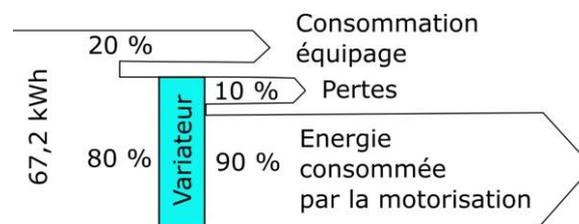
Après le coucher du soleil et jusqu'à 3 heures du matin, le bateau est propulsé uniquement à l'aide de l'énergie des batteries. Il s'agit de la deuxième phase de fonctionnement décrite dans **DR5**.

Question 3.3 | **Repérer**, en entourant les flèches correspondantes, les flux d'énergie en jeu lors de cette phase de fonctionnement sur le document réponse **DR5**.
DR5

Nous rappelons que la capacité de la batterie est de 112 kW·h.

Question 3.4 | **Calculer** la quantité d'énergie en kW·h cédée par les batteries.
DT5

Les besoins en énergie pour l'activité du navire et la vie à bord (consommation de l'équipage) correspondent à 20% de l'énergie produite par les batteries.



Question 3.5 | À partir du diagramme précédent, **calculer** l'énergie effectivement utilisée par la motorisation pour la propulsion.

Question 3.6 | **Calculer** en heure la durée de cette deuxième phase de navigation.
DT5 | **En déduire** la puissance moyenne dissipée utilisée par le moteur pour maintenir cette allure.

Question 3.7 | À partir du **DT2** et **DT4**, **justifier** l'exigence « Mode Eco ».
DT4

La puissance moyenne dissipée en mode « éco » est de 10,8 kW.

Question 3.8 | **Calculer**, sur une durée de 2 jours, l'énergie totale consommée par le bateau.

Question 3.9 | **Relever** sur le **DT5** l'énergie totale consommée lors de la navigation de St Tropez à Minorque.
DT5 | **Commenter** le résultat.

La quantité d'énergie stockée dans 1 kg de H₂ est de 33 kW·h.

Question 3.10 | **Calculer** la masse en kg d'hydrogène nécessaire pour alimenter en énergie un trajet de deux jours sans vent et sans ensoleillement (le bateau est uniquement propulsé par l'hydrogène).
DT6

Question 3.11 | **Lire** sur le diagramme de définition des blocs (bdd) du DT2 la capacité et le nombre de réservoirs à hydrogène sur le bateau. **En déduire** la masse totale d'hydrogène embarquée.
DT2

Question 3.12 | **Conclure** sur la faisabilité du trajet en deux jours uniquement avec un apport d'hydrogène.

Partie 4 : comment stocker l'hydrogène sur le bateau ?

L'hydrogène est stocké dans des réservoirs sous haute pression (35 MPa ou 350 bars).

Question 4.1 | **Indiquer** la raison pratique qui justifie le stockage sous haute pression.
DT7

Question 4.2 | **Justifier** le choix qui a été fait pour le détendeur (module inox) sachant que la pression d'utilisation est de 2 bars.
DT6 et DT8

Afin de choisir un réservoir pour stocker cette quantité d'hydrogène trois simulations ont été réalisées. Une simulation avec un réservoir en acier allié de 6 mm d'épaisseur, une autre avec de l'acier allié de 11 mm et une dernière avec un composite époxy / fibre de carbone de 8 mm. Les résultats de ces simulations sont donnés **DT9**.

Question 4.3

DT9

Parmi les trois réservoirs, **indiquer** en justifiant ceux qui peuvent convenir.

Parmi les réservoirs qui conviennent, le réservoir le plus léger est retenu. Ces réservoirs ont un volume extérieur identique.

Question 4.4

DT9

Choisir en justifiant le réservoir le mieux adapté.

Partie 5 : comment maintenir le cap du bateau malgré les éléments extérieurs ?

Naviguer consiste à déterminer une route pour aller d'un point à un autre, en évitant les dangers et en tenant compte de l'environnement météorologique (les vents) et océanographique (les courants).

Question 5.1

À l'aide du texte précédent, **identifier** les deux paramètres extérieurs au bateau qui peuvent modifier sa position en navigation.

L'étude suivante porte sur le parcours d'Energy Observer entre Saint Tropez et Minorque.

D'après les lois de l'hydrodynamique, on peut approximer la force due à l'eau qui s'oppose au déplacement du bateau par la formule : $F = k \cdot v^2$

- k une constante liée aux caractéristiques du bateau ;
- v la vitesse du bateau.

Question 5.2

En analysant la formule précédente, **expliquer** l'intérêt pour Energy Observer de naviguer à une vitesse faible ($10 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$).

*Étude de l'influence du courant et du vent sur le déplacement du bateau (voir **DT10**).*

On considère que \vec{V}_{B1} représente le vecteur cap du bateau. Pour simplifier, on considère que les courants et le vent ont la même direction et le même sens, ils sont présentés par le vecteur « dérive » : \vec{D} .

On donne, dans le **DT10**, deux cas de figure représentant deux caps différents suivis par le bateau, et ce pour une dérive identique.

Question 5.3

DT10

Justifier dans quel cas le bateau pourrait atteindre Minorque, en tenant compte des représentations des vecteurs \vec{D} et \vec{V}_{B1} .

Afin d'assister le skipper dans le contrôle de la navigation, le bateau est équipé d'un pilote automatique. Il permet de diriger automatiquement le bateau afin que ce dernier suive la route (cap) préalablement définie.

Le système est composé de :

- un compas : mémorise le cap (direction) souhaité et mesure le cap suivi par le bateau ;
- une unité de commande électronique : calcule la différence entre le cap suivi et le cap mémorisé afin d'envoyer une consigne à l'actionneur ;
- un actionneur (vérin) : agit sur la barre pour repositionner le bateau sur sa route.

L'unité électronique fonctionne suivant l'algorithme fourni sur le **DR6**.

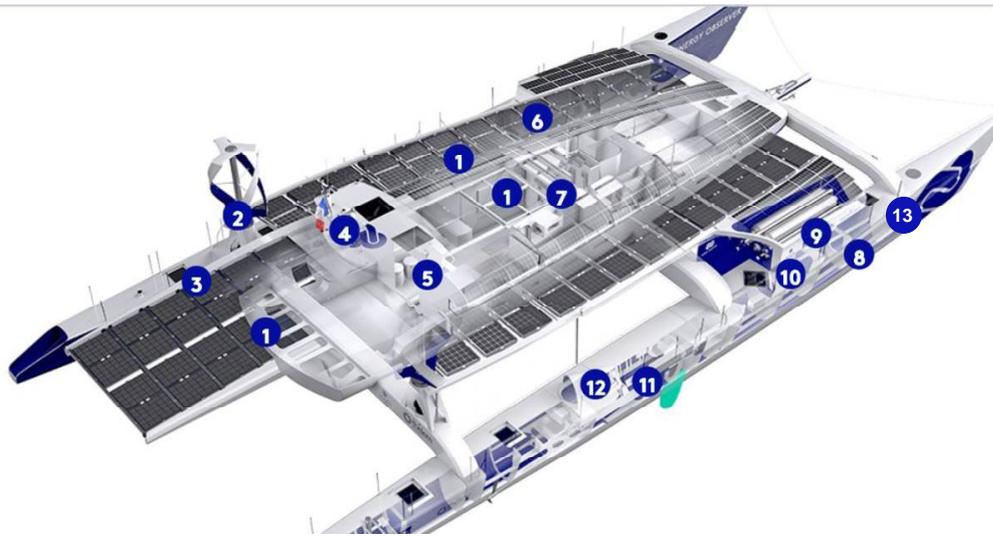
Question 5.4

DR6

Compléter l'algorithme, présent sur le **DR6**, avec les trois fonctions suivantes :

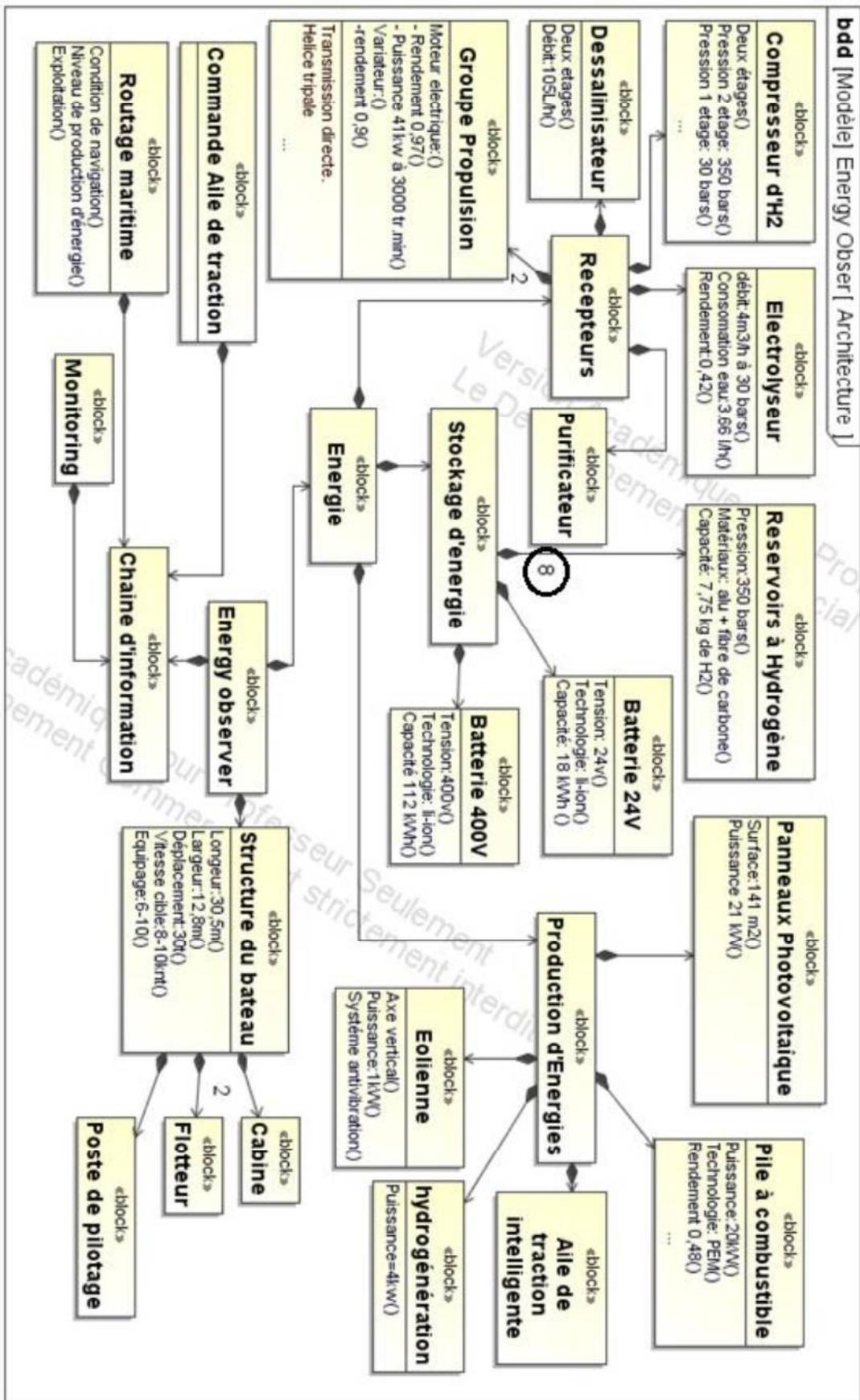
- Actionner le vérin du gouvernail pour tourner dans le sens horaire
- Différence = « Cap_souhaité » – « Cap_mesuré »
- Différence > 0

DT1 : caractéristiques techniques principales de « l'Energy Observer »



1	Panneaux photovoltaïques	Fournir de l'énergie électrique à partir du soleil
2	Éoliennes	Fournir de l'énergie électrique à partir du vent
3	Dessalinisateur	Produire de l'eau douce à partir de l'eau de mer
4	Logiciel de routage	Optimisation du plan de route liée aux différents paramètres de navigation (vent, vague, ensoleillement...) mais aussi aux différentes productions d'énergie à bord (ensoleillement, nébulosité, niveau d'hydrogène ...).
5	Monitoring	IHM (Interface Homme Machine) pour le suivi en temps réel des performances, gestion et optimisation des flux énergétiques, à bord et à distance.
6	Compresseur d'hydrogène	Compresser l'hydrogène pour le stocker dans des réservoirs.
7	Kit de traction intelligent	Cerf-volant automatisé destiné à augmenter la vitesse du bateau et réduire ses dépenses énergétiques.
8	Électrolyseur	Produire de l'hydrogène à partir de l'énergie électrique et de l'eau.
9	Réservoirs d'hydrogène	Stocker de l'énergie à long terme.
10	Pile à combustible	Générer de l'électricité à partir de l'hydrogène stocké
11	Batteries Lithium-Ion	Stocker de l'énergie à court terme
12	Propulseur	2 moteurs électriques à haut rendement (97%), réversibles en hydrogénérateurs lors des navigations sous kite.
13	Purificateur	système de filtration qui vise à séparer l'eau des particules solides (résidus) en la faisant passer travers d'un milieu poreux

DT2 : diagramme de définition des blocs (BDD)



DT3 : bilan carbone de différents combustibles

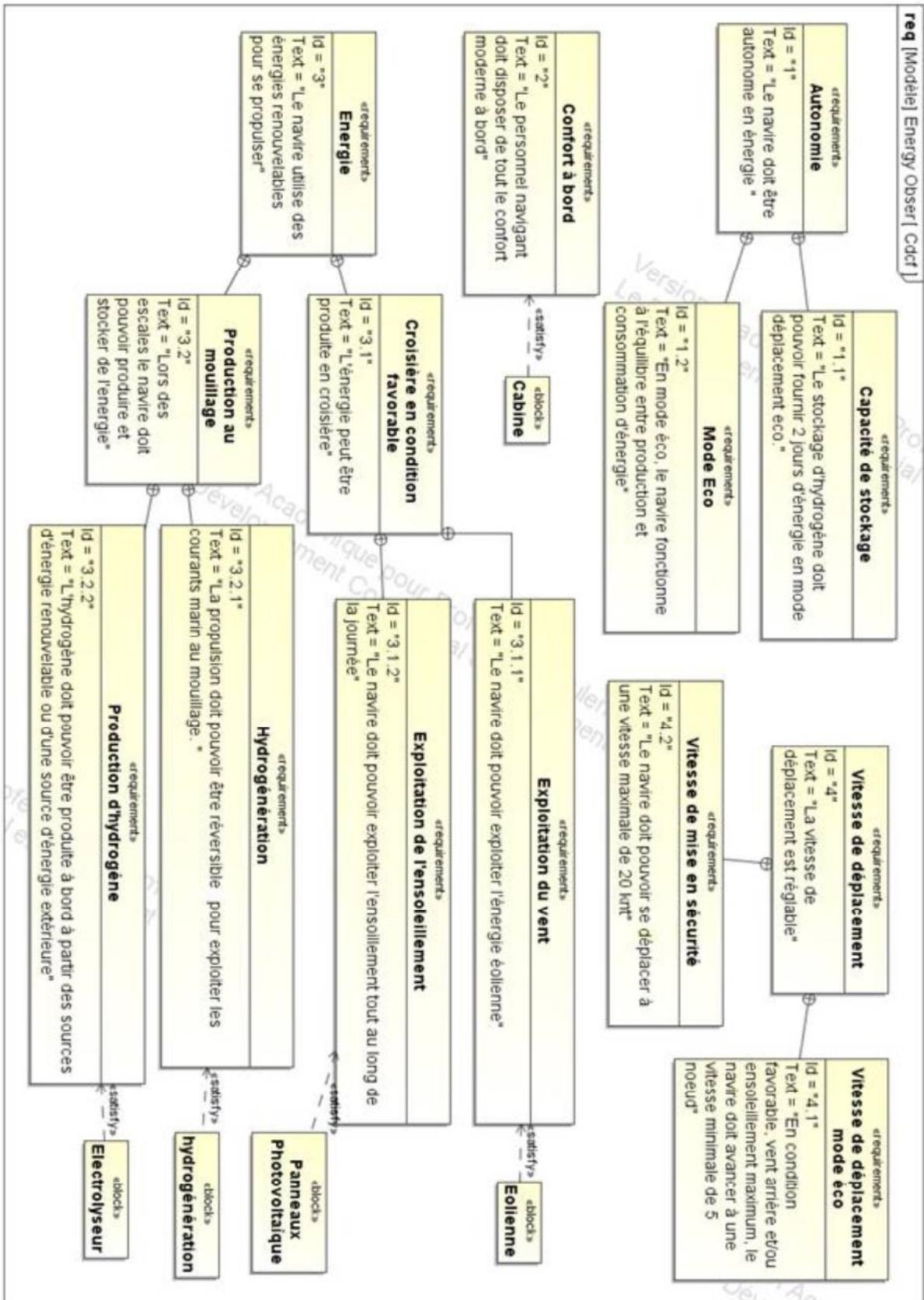
Combustible	Cycle de vie (Production jusqu'à l'utilisation)	Bilan CO ₂ (g CO ₂ /kW·h)		
		Production	Utilisation	Global
Fuel	Extraction puis raffinage	55	270	325
Gaz naturel	Extraction puis raffinage, gazéification et compression	40	200	240
Hydrogène	Reformage* du gaz naturel puis compression à 35 MPa	330	0	330
Hydrogène	Électrolyse** (électricité d'origine renouvelable) puis compression à 35 MPa	9	0	9

Source : « la pile à combustible – l'hydrogène et ses applications », Meziane Boudellal, Dunod et données internes CEA

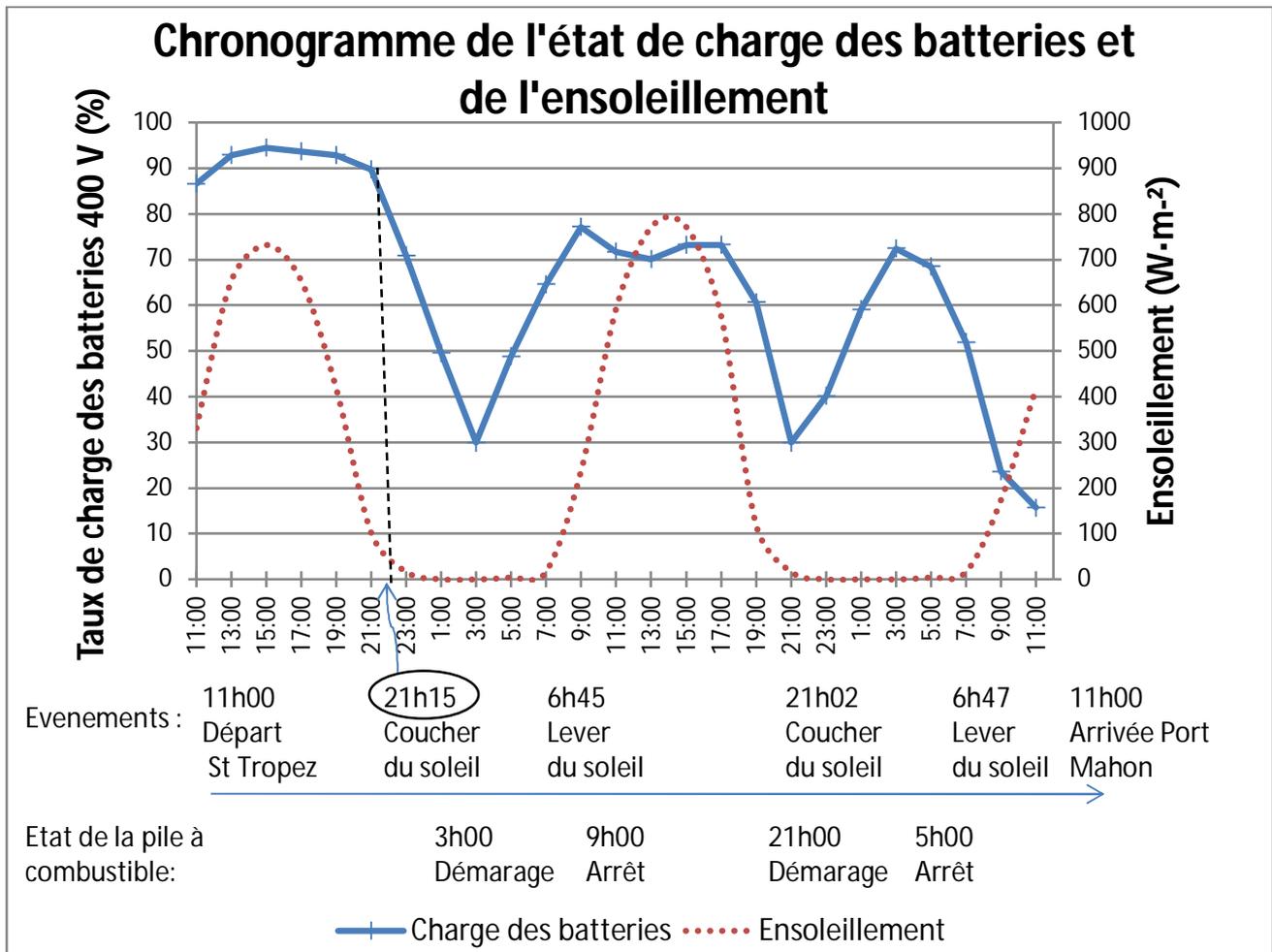
* Le **reformage** est une réaction chimique qui consiste à produire de l'hydrogène (H₂) à partir du méthane (CH₄) présent dans le gaz naturel.

** L'**électrolyse de l'eau** est un procédé **électrolytique** qui décompose l'eau en dioxygène (O₂) et hydrogène (H₂) avec l'aide d'un courant électrique.

DT4 : diagramme des exigences (partiel)



DT5 : bilan énergétique de la navigation St Tropez - Minorque



Bilan énergétique

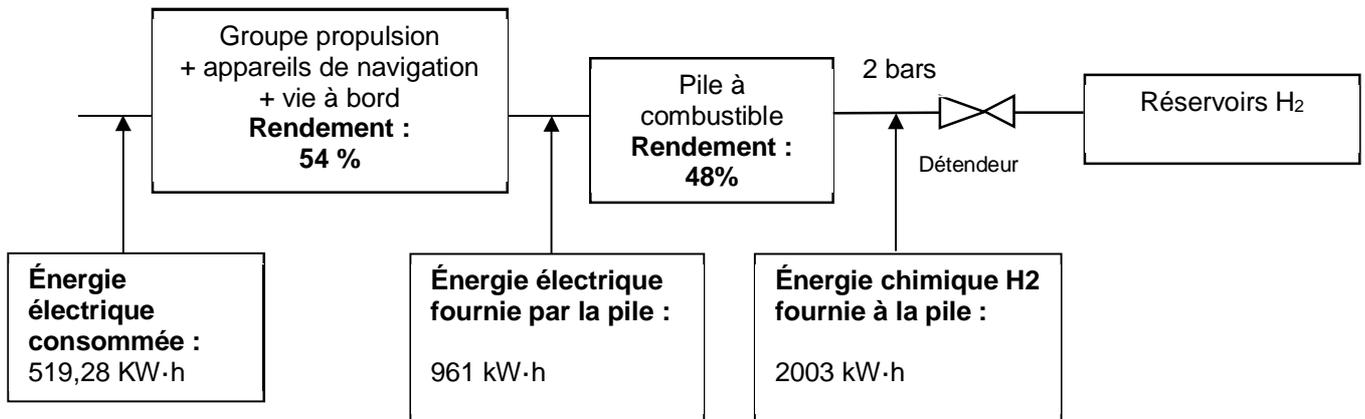
Production	
Panneaux photovoltaïques	198,6 kW·h
Éoliennes	0
Moteurs électriques réversibles	0
Apport Batteries	95,2 kW·h
Apport pile à combustible	277,43 kW·h
Total	519,29 kW·h

Consommation	
Propulsion électrique	474,14 kW·h
Vie à bord, instrument de navigation, etc...	97,15 kW·h
Chaîne de production d'hydrogène	0 kW·h
Total	519,28 kW·h

État de charge	
Taux de charge des batteries 400 V au départ	100 %
Taux de charge des batteries 400 V à l'arrivée	15 %
Taux de charge des réservoirs d'hydrogène au départ	88 %
Taux de charge des réservoirs d'hydrogène à l'arrivée	61 %

Performances	
Puissance solaire maximale atteinte	18 423 W
Puissance éolienne maximale atteinte	0 kW
Puissance hydrolienne maximale atteinte	0 kW

DT6 : chaîne d'énergie de la production d'hydrogène



DT7 : le stockage haute pression de l'hydrogène

L'hydrogène est le gaz le plus léger de tout l'univers: un litre de ce gaz ne pèse que 90 mg à pression atmosphérique, il est donc environ 11 fois plus léger que l'air que nous respirons.

Il faut un volume d'environ 11 m³, c'est-à-dire le volume du coffre d'un grand utilitaire, pour seulement stocker 1 kg d'hydrogène. Il est donc indispensable d'augmenter sa densité ou masse volumique.

La méthode la plus simple permettant de diminuer le volume d'un gaz, à température constante, est d'augmenter sa pression.

Ainsi à 20 MPa on obtient une densité de 14 kg·m⁻³ et à 70 MPa une densité de 42 kg·m⁻³ contre 0,090 kg·m⁻³ à pression et température normales.

À 70 MPa on peut alors stocker 5 litres.

Spécifications

❑ Caractéristiques techniques

Classe de pression selon critères ANSI/ASME

B31.3

Pression d'entrée maxi:

Inox:415 bar

Laiton, aluminium:345 bar

Plages de réglage:0-3.5 / 0-10 /

..... 0-17 bar

Pression d'épreuve:150% de la pression

..... d'entrée maxi

Niveau d'étanchéité:Sans bulle

Plage de température (ambiance et fluide):.....

..... -55 °C à +74 °C

Capacité de débit:Cv = 0.08

Couple de manoeuvre maxi:2.26 Nm

❑ Pièces en contact avec le fluide

Corps:Inox 316, laiton, aluminium

Capot:Inox 300

Filtre 40 microns:Inox 316

Siège:CTFE

Joint o-ring:Buna-N

Membrane:Buna-N

Autres pièces:Inox 300

Pour tous autres matériaux ou modifications, nous contacter.

❑ Propreté:CGA 4.1 & ASTM G93

.....(niveau intermédiaire)

❑ Poids (sans manomètres):

Inox, laiton.....1.4 kgs

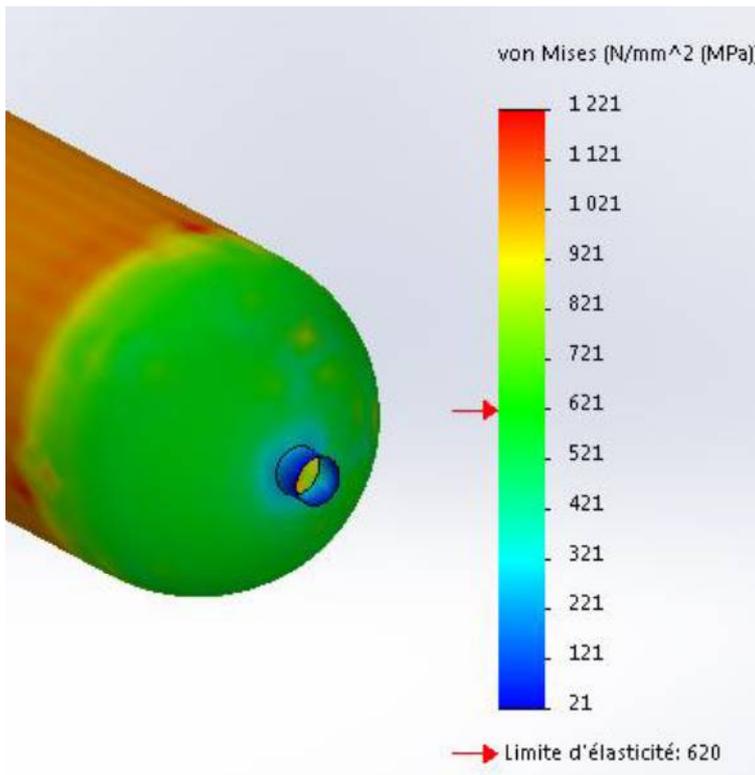
Téflon®, Viton® and Vespel® est une marque déposée de Du Pont.



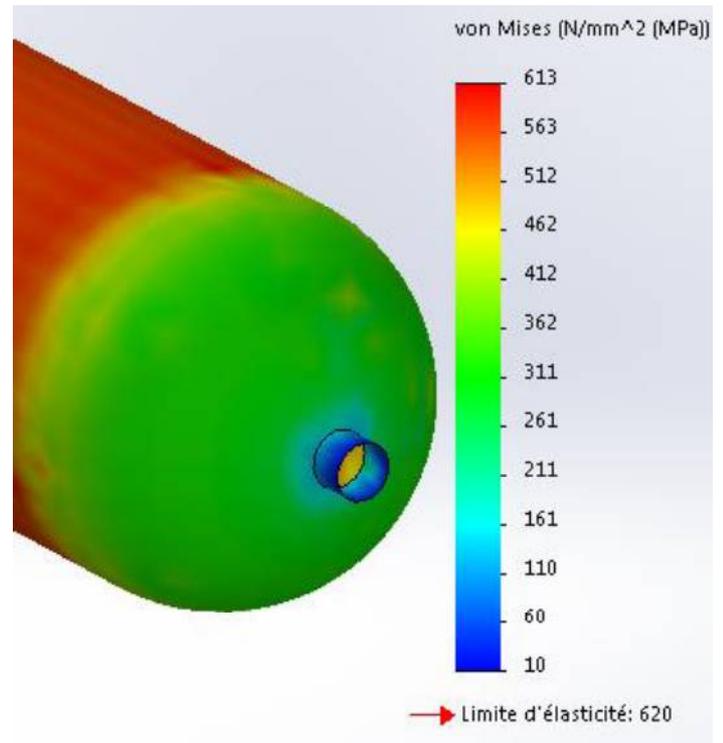
Caractéristiques & Avantages

- Régulation précise - technologie à membrane
- Nombreuses options en terme de raccords mécaniques et choix de pièces non métalliques
- Excellente répétabilité
- Poignée à faible couple de manoeuvre
- Montage panneau (collier inclus)
- Construction inox, laiton ou aluminium
- Ports manomètres disponibles
- Version fort débit, Cv = 0.24 (pour une pression d'entrée maximum de 207 bar)

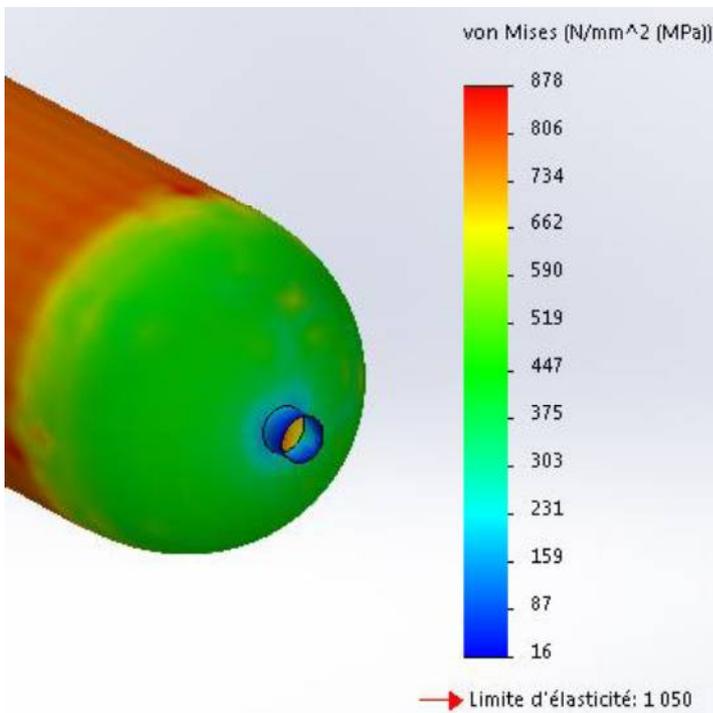
DT9 : choix du détendeur



6 mm Acier



11 mm Acier



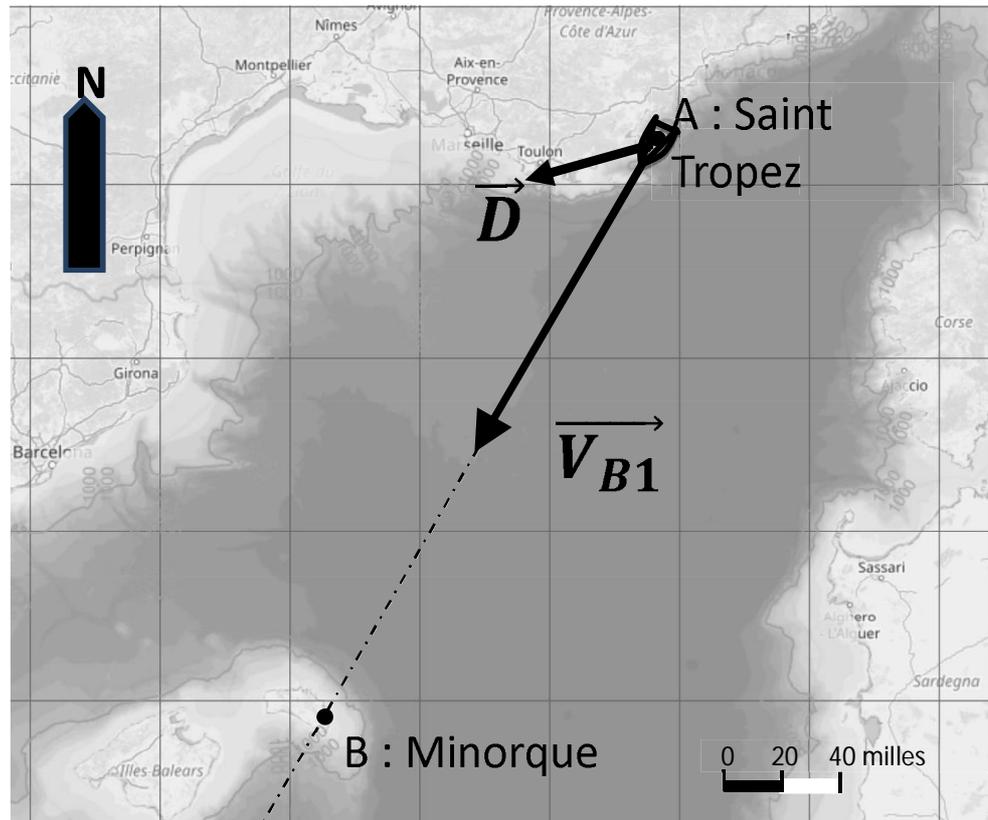
8 mm Composite Epoxy / fibre de carbone

Masse volumique acier :
7800 kg·m⁻³

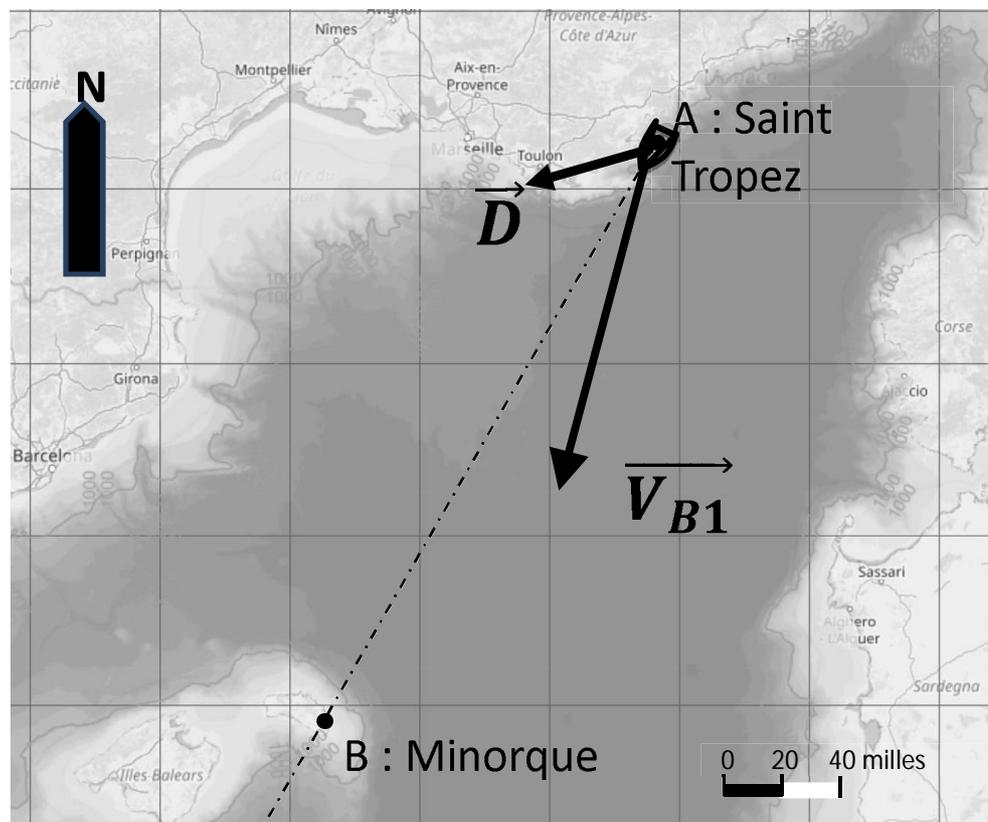
Masse Volumique Composite
Epoxy / fibre de carbone :
1600 kg·m⁻³

DT10 : déplacement du bateau

Cas de figure 1



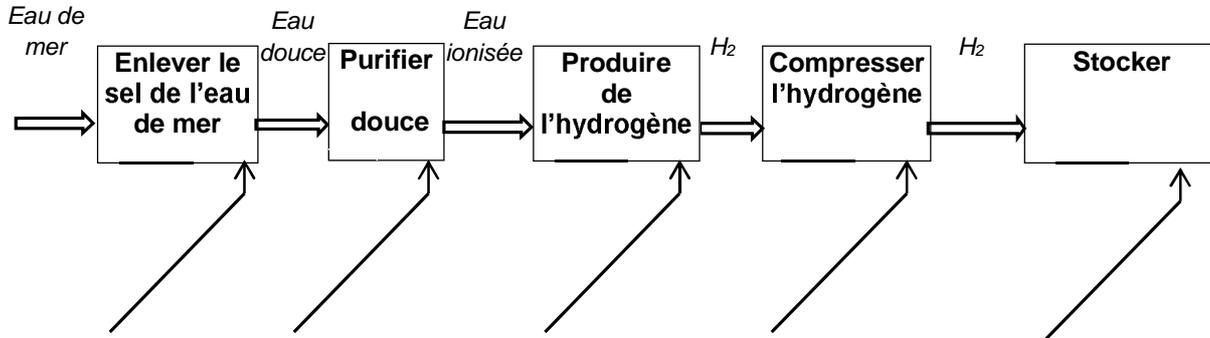
Cas de figure 2



DOCUMENT RÉPONSE DR1

Compléter, les noms des éléments technologiques en fonction de leur rôle dans la chaîne de production d'hydrogène

Chaîne de production d'hydrogène à bord de « Energy Observer »



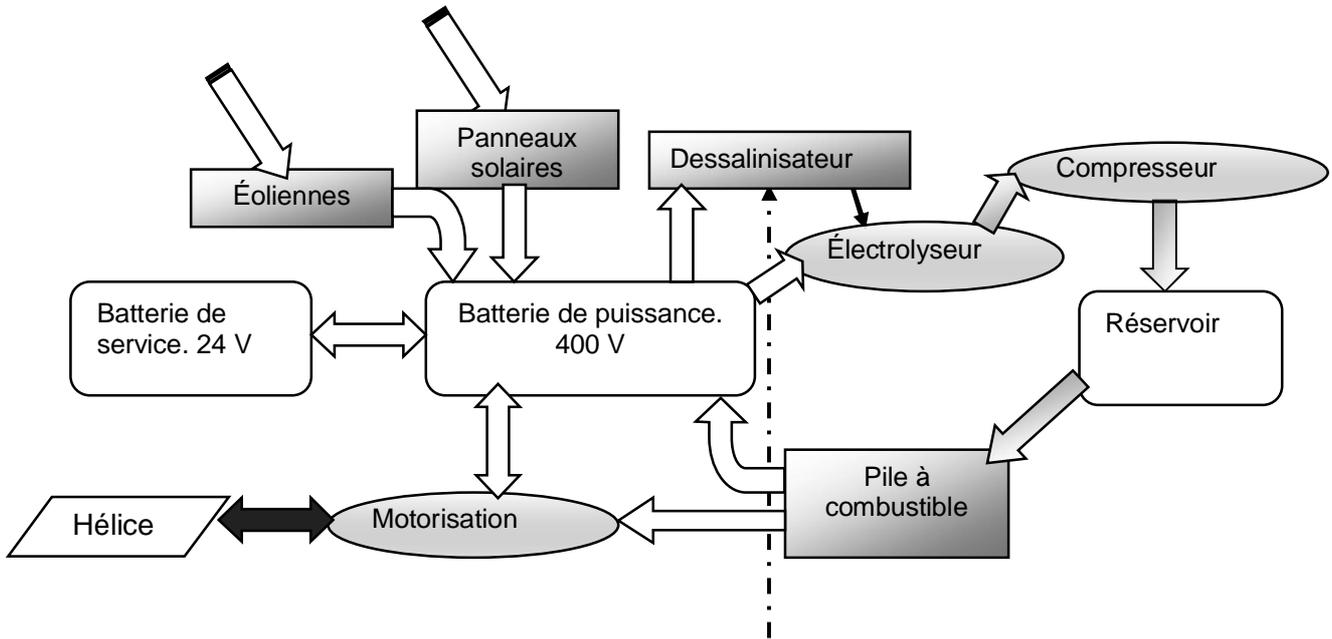
DOCUMENT RÉPONSE DR2

Combustible	Cycles de vie (Production jusqu'à l'utilisation)	Bilan net énergie		
		Production η_1	Utilisation η_2	Global η
Fuel	Extraction puis raffinage			24%
Gaz naturel	Extraction puis raffinage, gazéification et compression			16,4%
Hydrogène	Reformage du gaz naturel puis compression à 35MPa			25%
Hydrogène	Électrolyse (électricité d'origine renouvelable) puis compression à 35 MPa	65%	44%	

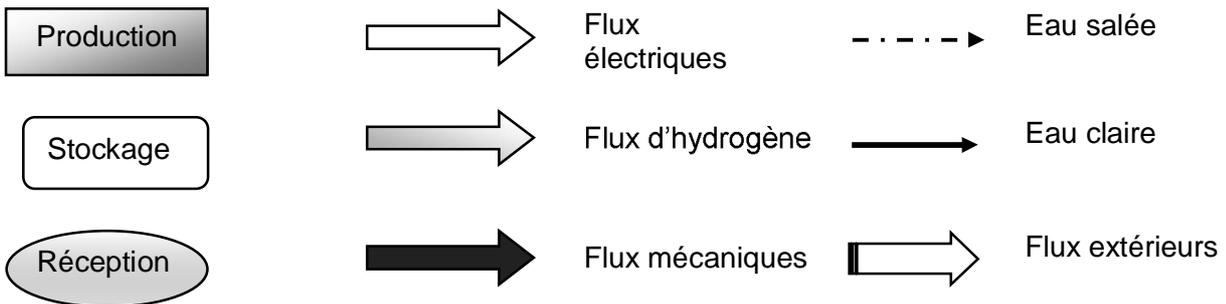
Source : « la pile à combustible – l'hydrogène et ses applications », Meziane Boudellal, Dunod et données internes CEA

DOCUMENT RÉPONSE DR3

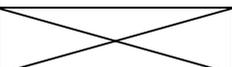
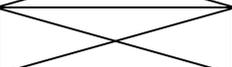
Flux d'énergie lors d'un déplacement sur panneau solaire.



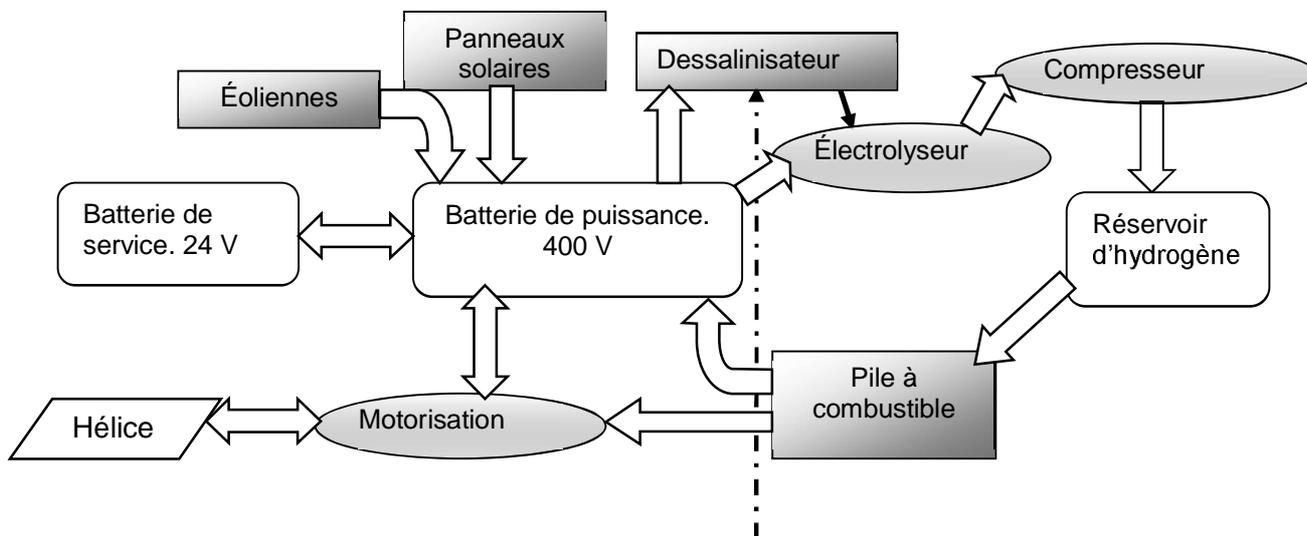
Légendes :

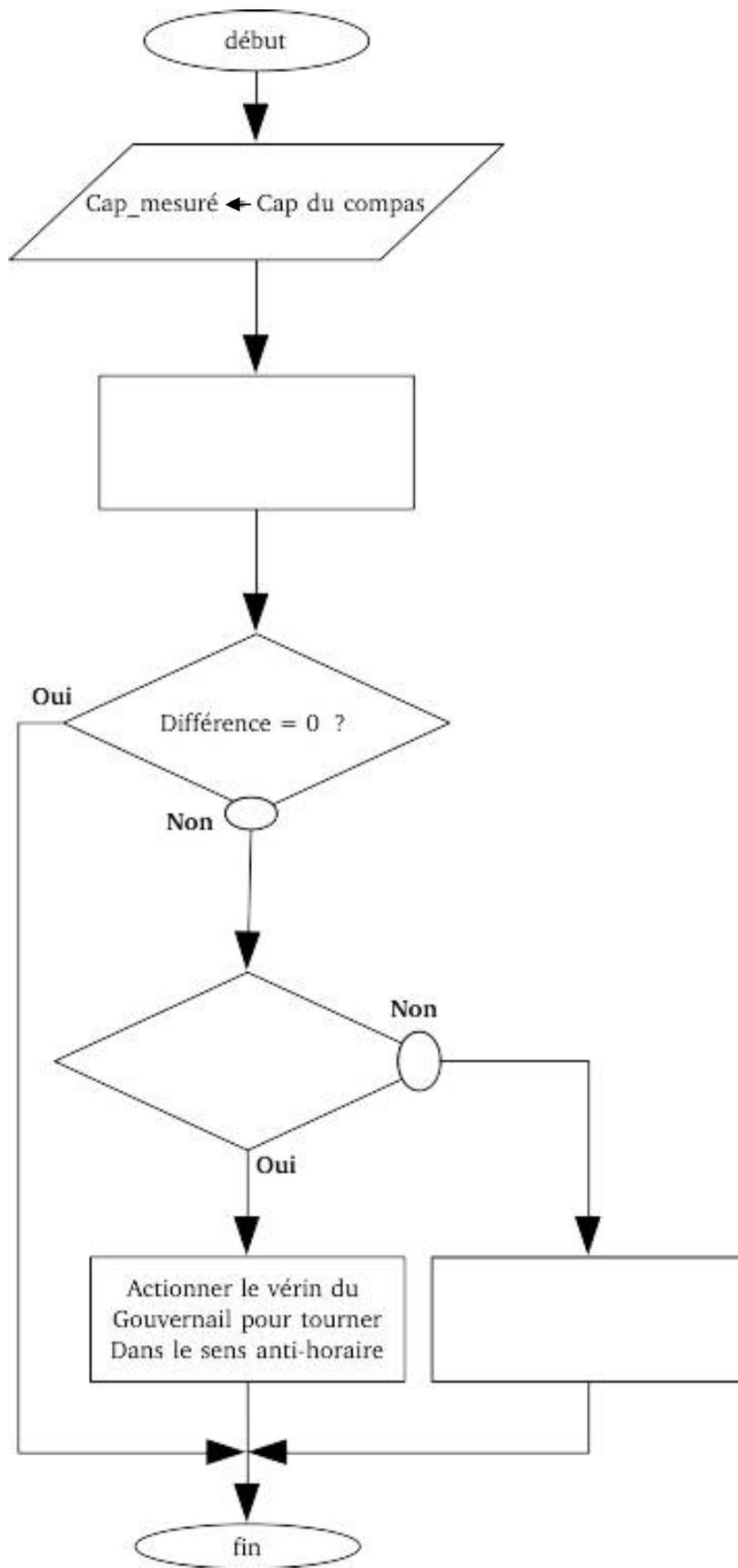


DOCUMENT RÉPONSE DR4

Fonction	Sous système	Type d'énergie en entrée	Type d'énergie en sortie	Rendement
Produire		Rayonnement solaire		
Alimenter		Chimique		
Distribuer	Variateur	Électrique	Électrique	0,9
Convertir		Électrique		
Agir		Mécanique	Hydraulique	0,6

déplacement sur batterie (fonctionnement normal).





ARCHITECTURE ET CONSTRUCTION

Études thermique de l'espace vie du bateau et de la structure du portique arrière



- **Présentation de l'étude** page 24
- **Questionnement, partie A à partie D** pages 25 à 29
- **Documents techniques spécifiques DTS1 à DTS3**..... pages 30 à 32
- **Documents réponses** page 33

Mise en situation

Après deux années de navigation et d'optimisation, Energy Observer s'apprête à accomplir une navigation historique, la plus longue depuis son départ de Saint-Malo en 2017. Il va devenir le premier navire au monde à rejoindre le cercle polaire arctique uniquement propulsé par des énergies renouvelables et de l'hydrogène : 2 400 milles à parcourir entre Saint-Pétersbourg et Longyearbyen au Spitzberg en longeant la côte ouest de la Norvège.

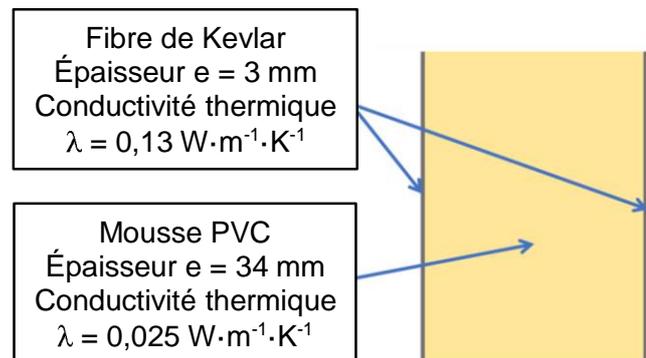
Travail demandé

Ce travail se décompose en deux études :

- 1^{ère} étude consacrée au confort thermique dans la base vie.
- 2^{ème} étude consacrée à la structure du portique qui supporte les panneaux photovoltaïques.

Dans un premier temps nous allons étudier les performances énergétiques de l'espace de vie du bateau, la « Nacelle ». Pour cela, il faut déterminer les besoins en chauffage pour maintenir une température convenable à l'intérieur du bateau.

Pour la construction navale, les parois sont faites en composite à structure sandwich. Ce matériau est adapté pour sa légèreté et sa rigidité. Il est composé d'une âme en mousse PVC prise entre deux plaques de kevlar.



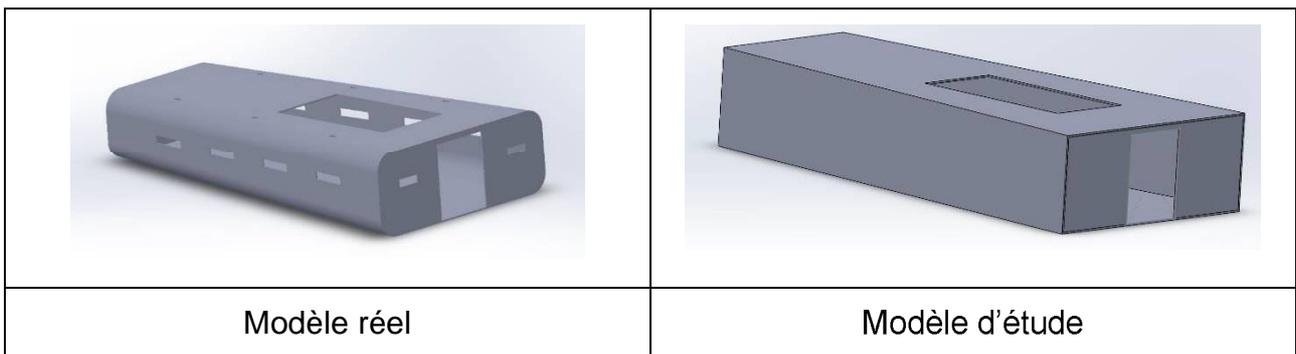
Les parois vitrées sont en plexiglass d'une **épaisseur de 7mm** et la conductivité thermique (λ) est de **$0,19 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$** .

Partie A : comment vérifier la résistance thermique de matériaux ?

- Question A.1 | **Indiquer**, à partir de la mise en situation, la distance que devra parcourir Energy - Observer pour relier Longyearbyen depuis Saint-Pétersbourg ?
- Question A.2 | **Calculer**, grâce aux documents **DT S1** et **DT S2**, la résistance thermique R_{paroi} et le coefficient de transmission thermique U de chaque matériau en complétant le document **DR S1**.
DT S1, DT S2
DR S1 | **En déduire** la résistance thermique R_{paroi} et le coefficient de transmission thermique U de chaque paroi (opaque et vitrée).

Partie B : comment garantir un bon confort thermique durant une traversée ?

Modèle numérique de la « nacelle »



Pour faciliter l'étude thermique, nous allons simplifier la forme de la « Nacelle » selon le modèle d'étude représenté ci-dessus.

Descriptif des parois vitrées de la « nacelle »

Parois	Type	Nombre	Dimensions (m)
Verticale	Porte Vitrée	1	2,00 x 1,50
Horizontale	Toit vitrée	1	4,00 x 2,00

- Question B.1 | **Calculer** la surface totale des parois (S_p) en contact avec l'air extérieur.
DT S2 | **Calculer** la surface totale des parois vitrées (S_v) et en **déduire** la surface des parois opaques (S_o), à partir du document **DT S2**.

Pour la suite de l'étude nous utiliserons les valeurs de surface et les coefficients de transmission thermique (U) données dans le tableau **DR S2**. On considèrera que durant la navigation vers le cercle polaire, le bateau devra affronter une température minimale (T_{ext}) de -5°C et une température de consigne (T_{int}) de 19°C .

Question B.2	Calculer la puissance de déperditions des parois (P_{dp}), en complétant le document DR S2 , à partir du document DT S1 .
DT S1	Déduire , du tableau précédent, la part des déperditions dues aux parois vitrées par rapport aux déperditions totales. Commenter ce résultat.
DR S2	

On sait qu'une puissance de chauffage de 2000W sera fournie en récupérant la chaleur des appareils du navire (pile à combustible, électrolyseur, convertisseur).

Question B.3	Calculer si un chauffage additionnel est nécessaire pour maintenir la température intérieure à 19°C .
	Indiquer la puissance à fournir par le chauffage.

Question B.4	Conclure quant au bon déroulement de la traversée suite à cette étude?
--------------	---

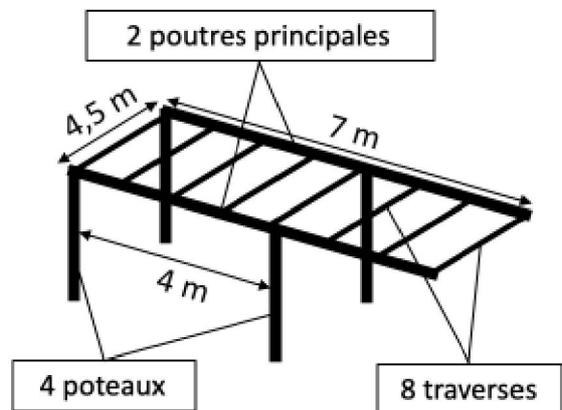
Partie C : quel est l'intérêt de choisir une structure tubulaire pour la structure porteuse ?



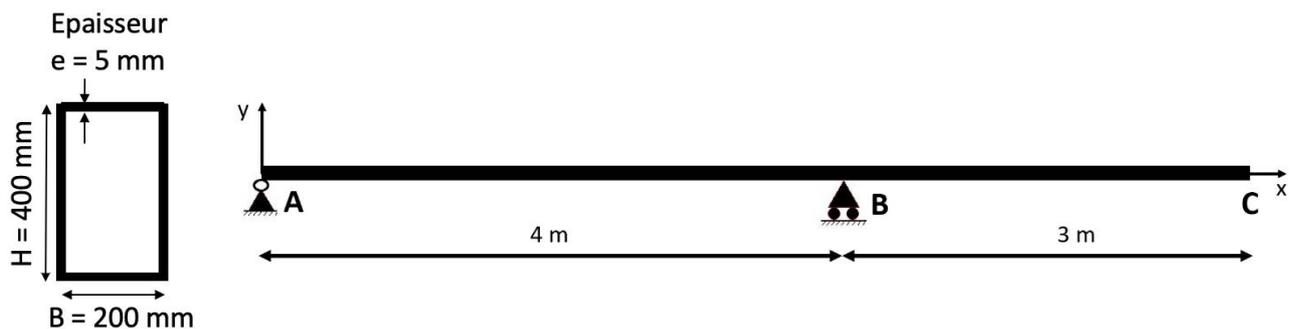
En raison d'un ensoleillement moins important et d'un soleil plus bas, la perspective d'une navigation en Europe du Nord, laisse craindre aux ingénieurs une production réduite de 75% avec les équipements actuels.

Pour compenser ces pertes, un portique à l'arrière de la base vie a été installé afin d'augmenter de 20% la surface de panneaux photovoltaïques disponible.

Le portique se compose de 2 poutres principales, 8 traverses et 4 poteaux. Nous allons vérifier le dimensionnement des poutres de cette structure.



Dimensions d'une poutre creuse principale :



Hypothèses simplificatrices de l'étude en résistance des matériaux :

- le matériau est homogène, isotrope et continu ;
- la section est constante ;
- la poutre est définie par une ligne moyenne ;
- les sections planes, normales aux fibres avant déformation restent planes et normales aux fibres après déformation.

La structure doit supporter :

- 27 m² de panneaux photovoltaïques (charge permanente) ;
- son propre poids (charge permanente) ;
- l'action d'une vague d'eau (charge variable) ;
- la charge liée à la maintenance (charge variable).

On considère que les charges sont uniformément réparties sur toute la surface de la structure et les actions sont toutes verticales et orientées vers le bas.

Données :

- *masse des panneaux à 6 kg·m⁻² ;*
- *masse surfacique de la structure (sans les poteaux) à 10 kg·m⁻² ;*
- *pression exercée par le vent sur la structure de 500 N·m⁻² ;*
- *charge d'exploitation (maintenance) est de 1 kN·m⁻² ;*
- *accélération de la pesanteur à la surface de la terre $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$.*

- | | |
|------------------------------|--|
| Question C.1
DT S3 | Calculer les charges permanentes (G) et variables (Q) qui s'appliquent sur toute la surface du portique à partir du document DT S3 . |
| Question C.2 | \| En déduire la charge totale qui s'applique sur une seule poutre à l'état limite ultime (ELU). |
| Question C.3 | \| Expliquer l'intérêt d'une structure porteuse tubulaire par rapport à une structure pleine. |

Partie D : comment vérifier le critère de déformation d'une poutre ?

Pour la suite de l'étude, on prendra comme valeur de $I_G = 1.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$.

Grace à un logiciel de simulation, on a modélisé le comportement de la poutre à l'ELU. On obtient le diagramme du moment fléchissant du document technique DT S4.

Question D.1 | **Calculer** la contrainte maximale (σ_{\max}) dans la poutre à partir des documents **DT S3** et **DT S4**.

DT S3

DT S4

Calculer le coefficient de sécurité (k_s) qui a été utilisé pour le dimensionnement.

La déformation maximale admissible (f_{\max}) est donnée par la formule : $f_{\max} = L/200$ et se détermine à l'état limite de service (ELS).

Sachant que L est la longueur du porte à faux [BC].

Question D.2 | **Relever** la valeur maximale de la flèche (f_{\max}) à l'état limite de service (ELS) sur le document **DT S5**.

DT S5

Vérifier par calcul si le critère de déformation est respecté.

Question D.3 | **Conclure** sur les dimensions de cette poutre par rapport aux exigences vu précédemment.

DT S1 : formulaire de calcul des déperditions thermiques

Résistance thermique d'un matériau :

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

$$[R] = \text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1} ; [e] = \text{m} ; [\lambda] = \text{W} \cdot \text{M}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Résistance d'une paroi :

$$R_{\text{Totale}} = R_1 + R_2 + R_3 + R_{si} + R_{se}$$

Coefficient de transmission thermique :

$$U_{\text{parois}} = \frac{1}{R_{\text{Totale}}}$$

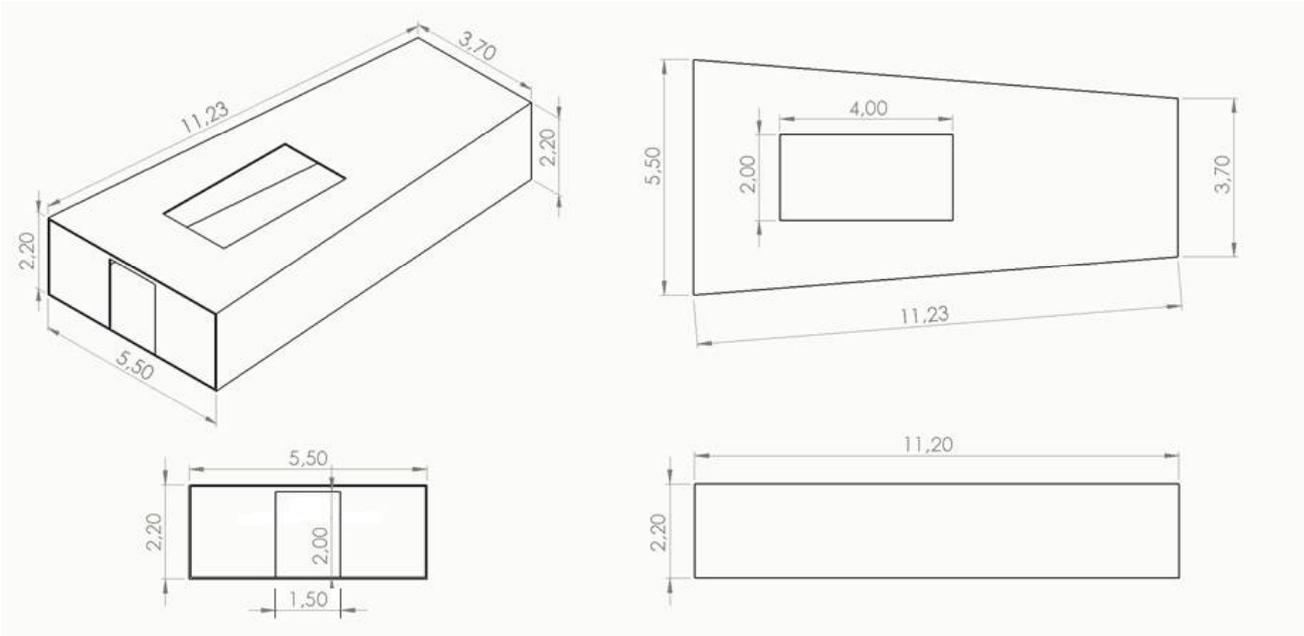
$$[U_{\text{parois}}] = \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

Puissance de déperdition d'une paroi :

$$P_{\text{paroi}} = U_{\text{paroi}} \cdot S_{\text{paroi}} \cdot (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}})$$

$$[P_{\text{paroi}}] = \text{W} ; [S_{\text{paroi}}] = \text{m}^2 ; [T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}] = ^\circ\text{C}$$

DT S2 : plans de l'espace vie d'Energie Observer



DT S3 : formulaire de calcul de structure

Charges à l'ELU (État limite Ultime) : $P = 1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q$
Avec G : Charges permanentes et Q : Charges variables

Moment quadratique I_{Gz} d'une poutre creuse de section rectangulaire :

Avec $b = (B - 2e)$ et $h = (H - 2e)$
$$I_{Gz} = \frac{B \cdot H^3}{12} - \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$[I_{Gz}] = m^4$; $[b] = m$; $[h] = m$

Contrainte maximale σ_{max} :

$$\sigma_{max} = \frac{(-Mf_z \cdot y)}{I_{Gz}}$$

Avec Mf_z le moment fléchissant maximal de la poutre ;

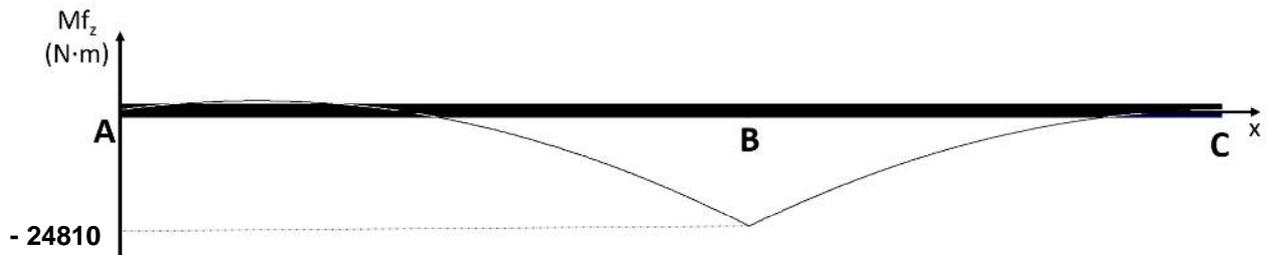
y la distance à la fibre neutre, ici $y = 0,2 \text{ m}$;

I_{Gz} moment quadratique de la poutre : $[I_{Gz}] = m^4$.

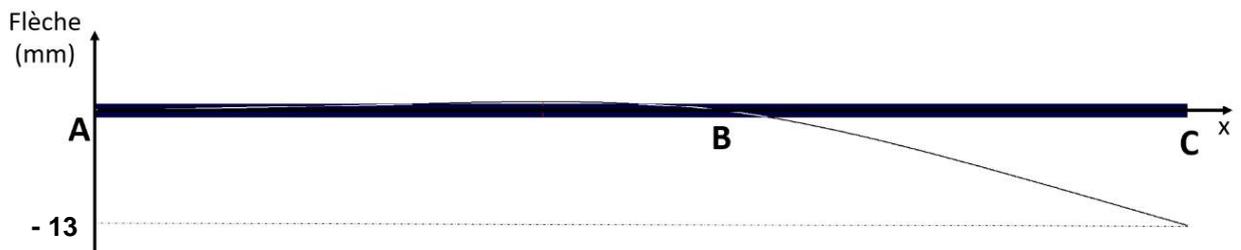
La condition de résistance du matériau est défini par : $\sigma_{max} < \frac{R_e}{k_s}$

Avec la résistance élastique (R_e) du composite $R_e = 150 \text{ Mpa}$.

DT S4 : diagramme moment fléchissant à l'ELU



DT S5 : diagramme de la déformée à l'ELS



DR S1 : résistances thermiques des parois

Parois	Kevlar			PVC			Kevlar			Résistance superficielle (m ² ·K·W ⁻¹)	R _{paroi} (m ² ·K·W ⁻¹)	U (W·m ² ·K ⁻¹)
	e (m)	λ (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	R (m ² ·K·W ⁻¹)	e (m)	λ (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	R (m ² ·K·W ⁻¹)	e (m)	λ (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	R (m ² ·K·W ⁻¹)			
Opaque	0,003	0,13	.....	.....	.....	1,36	0,003	0,13	.....	0,19	.....	.....

Parois	Plexiglass			Résistance superficielle (m ² ·K·W ⁻¹)	R _{paroi} (m ² ·K·W ⁻¹)	U (W·m ² ·K ⁻¹)
	e (m)	λ (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	R (m ² ·K·W ⁻¹)			
Vitrée	0,007	0,19	.....	0,15	.....	.....

DR S2 : déperditions des parois

Parois	Surface (m ²)	U (W·m ² ·K ⁻¹)	ΔT (K)	Puissance Déperdition (W)	Puissance Déperdition Totale (W)
Opaque	110	0,63	24	.....	.....
Vitrée	11	5,35		.....

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :

(en majuscules)

PRENOM :

(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le :

ÉNERGIES ET ENVIRONNEMENT

Étude de la chaîne de puissance du groupe propulsion



- **Présentation de l'étude et questionnement**..... pages 24 à 27
- **Documents techniques**..... pages 28 à 32

Mise en situation

L'énergie solaire est la première source de production énergétique à bord du catamaran « Energy Observer ». Les divers essais de navigation ont permis de valider tout le potentiel des panneaux photovoltaïques couvrants : flotteurs, nacelle et ailes solaires.

Un stockage d'énergie est cependant nécessaire si les conditions météorologiques deviennent défavorables (absence de soleil, navigation nocturne). Un parc de batteries a donc été prévu à cet effet.

Enfin le groupe de propulsion électrique fait appel à une chaîne d'énergie à haut rendement.

Travail demandé

Comment concevoir un système de propulsion électrique performant tout en garantissant la sécurité électrique de l'équipage ?

Partie A : comment stocker l'énergie électrique dans le bateau ?

Le stockage de l'énergie électrique pour la propulsion est nécessaire lors des navigations sans soleil et durant la nuit. Les ingénieurs ont réparti les accumulateurs dans les 2 flotteurs (bâbord et tribord).

La répartition par flotteur est la suivante :

18 modules Li-ion (référence SAFT : Seanergy 48M) raccordé en 2 branches parallèles, chaque branche comportant 9 modules raccordés en série (voir DTS1).

Question A.1 | **Justifier** la mise en série des 9 modules.

DTS1
DTS2

Question A.2 | **Calculer** l'énergie nominale stockée dans un flotteur.

DTS1
DTS2

Question A.3 | **En déduire** l'énergie totale stockée dans les 2 flotteurs.

Question A.4 | **Conclure** sur l'énergie électrique stockée prévue en se référant au diagramme de définition des blocs (BDD).

DTS3

Partie B : comment produire et distribuer l'énergie électrique avec un rendement optimum ?

Les panneaux photovoltaïques sont divisés en 11 champs (DTS4). Chaque champ est composé de 15 panneaux raccordés en dérivation. Chaque champ délivre une tension à vide d'environ 30 VDC afin de garantir la sécurité de l'équipage contre les risques électriques.

Les sections des câbles de raccordement des champs photovoltaïques sont dimensionnées pour limiter les chutes de tension et récupérer le maximum d'énergie électrique sur les bus 400 V (DTS4).

L'inconvénient de travailler en TBT (Très Basse Tension) est la chute de tension générée dans les câbles. Afin de minimiser ces chutes de tension, les ingénieurs ont dimensionné les câbles électriques reliant les champs et les convertisseurs DC/DC avec des sections de 68 mm².

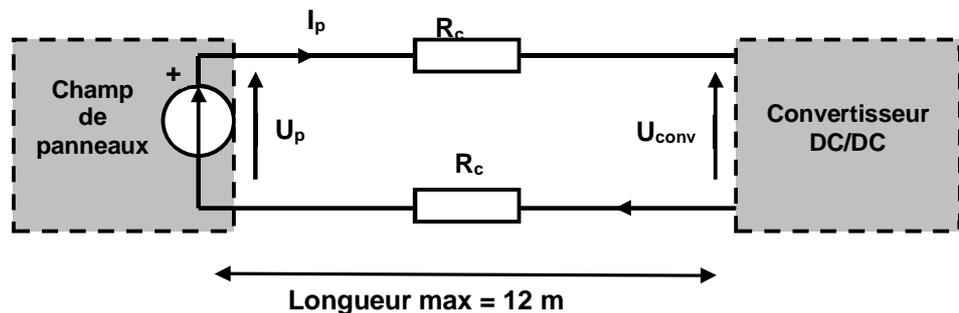
Question B.1

DTS4

DTS5

Justifier le choix des ingénieurs concernant la section des conducteurs, sachant que la chute de tension maximum autorisée est de 3 %.

On pourra modéliser une liaison Champ-Convertisseur de la manière suivante :



Avec : $I_p = 80$ A (courant maximum délivré par un champ) ;

$U_p = 30$ V (tension délivrée par un champ) ;

U_c : tension en entrée du convertisseur DC/DC ;

R_c : résistance d'un câble de longueur 12 m

Compte tenu de la faible chute de tension dans les câbles et du rendement élevé des convertisseurs DC/DC, on considère que toute l'énergie électrique produite par les champs de panneaux se retrouve sur les bus 400 V (DTS4).

Question B.2 | **Justifier** l'utilisation des deux technologies de panneaux photovoltaïques.
DTS6

Avant le départ de St Tropez le 8 mai 2020, il est nécessaire de déterminer le temps de charge des batteries 400 V.

Question B.3 | **Indiquer** la valeur de l'irradiance solaire mensuelle reçue par le bateau au port de St Tropez au cours du mois de mai.
DTS7
En déduire la valeur de l'irradiance reçue par jour durant ce mois.

Le rendement global des deux technologies de panneaux utilisées est estimé à 14,8 %.

Question B.4 | **Calculer** la production totale d'énergie électrique durant un jour.
DTS3

On considère que les batteries 400 V sont chargées à 20 %.

Question B.5 | **Calculer** le temps nécessaire (en jour), pour recharger à 100 % les batteries.
DTS3

Partie C : comment obtenir une chaîne de propulsion performante ?

Le catamaran est équipé de deux ensembles **variateur-moteur** à haut rendement (DTS5). Les questions suivantes portent sur le choix des moteurs afin de vérifier le diagramme des exigences.

Les deux moteurs de propulsion sont de type Brushless (appelés aussi moteurs MSAP).

Question C.1 | **Indiquer** le critère principal qui justifie ce choix.

DTS8

Question C.2 | **Citer** l'inconvénient majeur avec ce type de moteur.

DTS8

Question C.3 | **Calculer** le rendement des moteurs utilisés (référence U313 F10, vitesse nominale 3000 tr/mn).

DTS9

On rappelle que : $\eta = P_u/P_a = P_u/(P_u + P_{ertes})$

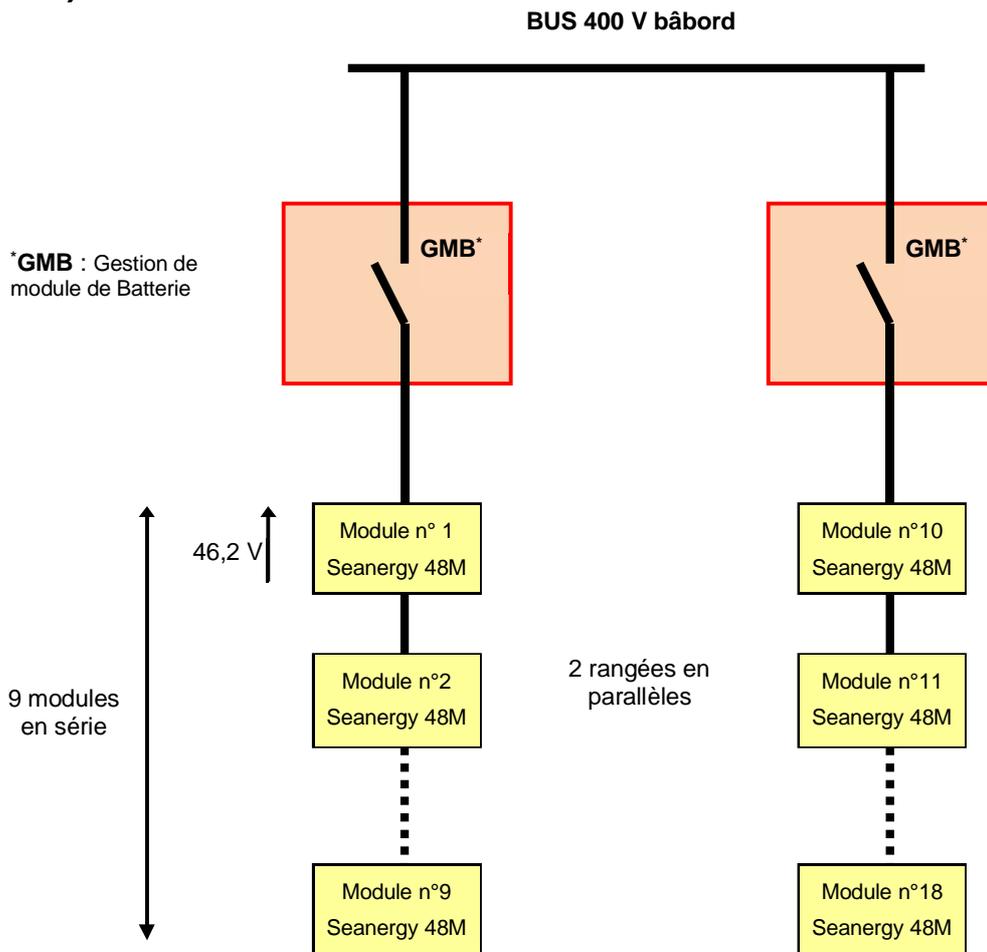
Question C.4 | À l'aide du diagramme de définition des blocs (BDD), **valider** le choix des moteurs sur l'aspect rendement.

DTS3

Partie D : conclusion

Question D.1 | À la vue des différentes analyses menées dans cette partie et des choix des ingénieurs, **conclure** sur la performance de la chaîne de puissance dans le respect des contraintes imposées.

DTS1 : raccordement électrique des accumulateurs pour 1 flotteur (bâbord)



DTS2 : modules Seanergy

Seanergy® modules

High energy and high power Li-ion Super-Iron Phosphate

Saft's Seanergy® modules are the ideal choice for local energy management, particularly in conjunction with hybrid propulsion, photovoltaic and other renewable energy generators.

Built with proven Saft Li-ion Super-Iron Phosphate® (LiFePO₄) technology, the Seanergy® module provides maintenance-free energy storage in a reduced volume, combining high operational reliability over thousands of cycles with outstanding energy efficiency. Its modular design allows adaptation of the battery configuration to various energy and voltage levels.

Saft always supplies Li-ion 3U module with an associated Battery Management System (BMS).

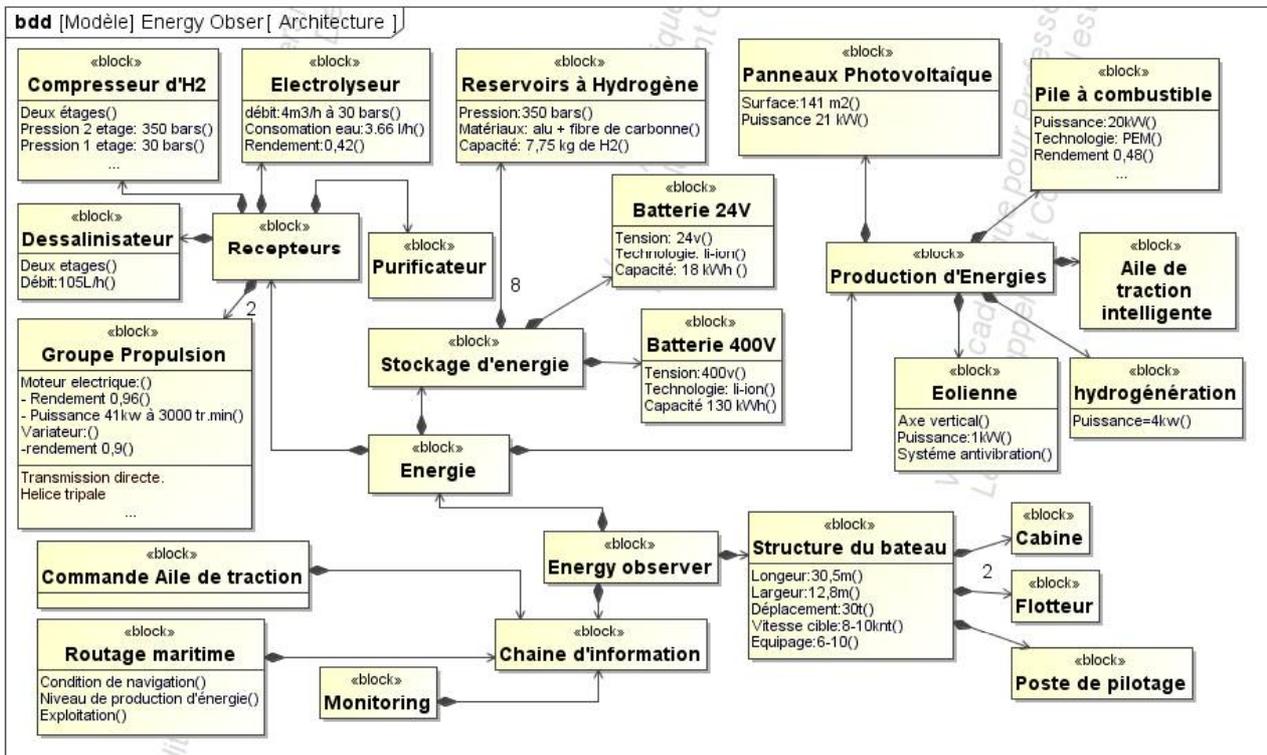


Applications

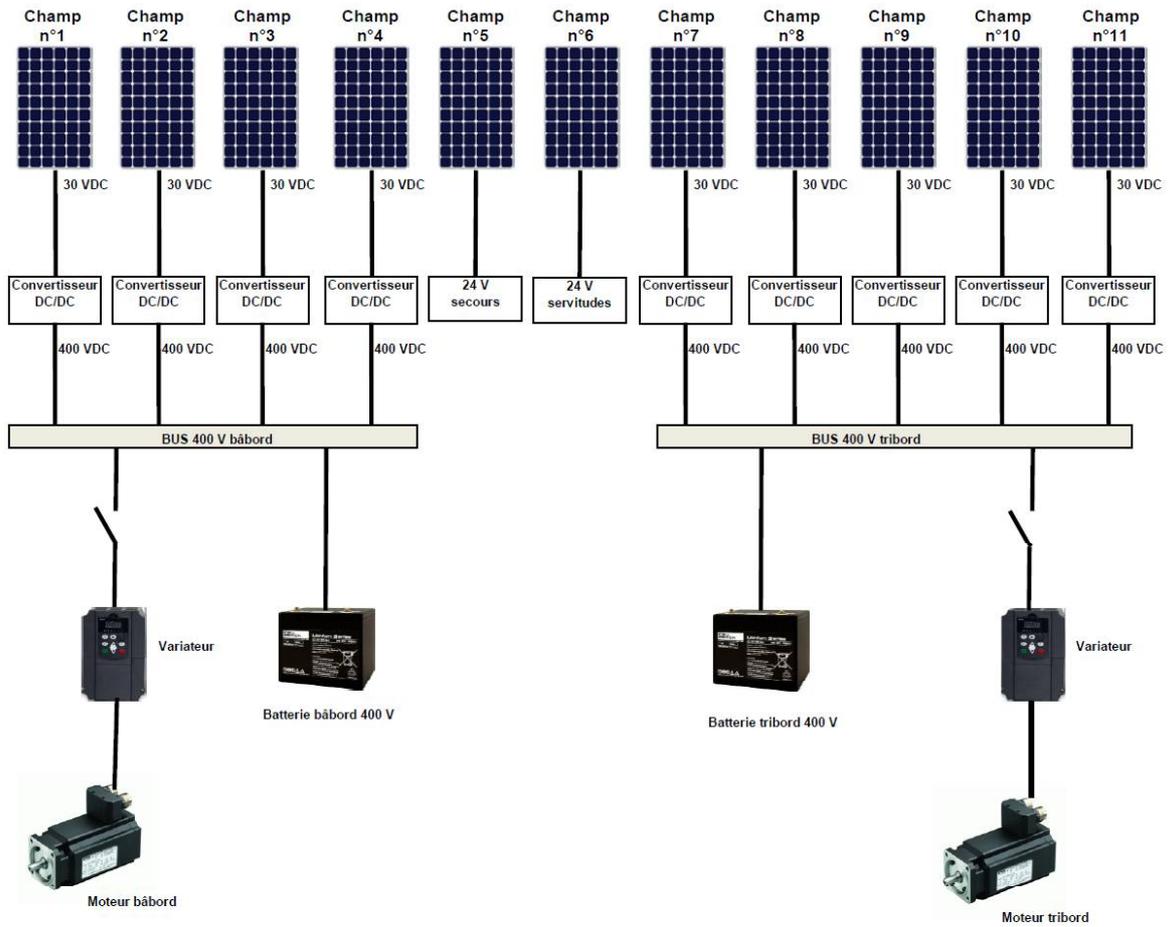
- Hybrid-electric and/or full electric propulsion
- Auxiliary systems, hotel load
- Emergency back-up
- Actuators

Nominal characteristics	Seanergy® 48P (Power)	Seanergy® 48M (Energy)
Nominal voltage (V)	46.2	46.2
Minimum capacity (C/5) (Ah)	56	78
Nominal capacity (C/5) (Ah)	60	82
Minimum energy (C/5) (Wh)	2500	3600
Nominal energy (C/5) (Wh)	2600	3800
Nominal energy density (Wh/l)	76	106
Nominal specific energy (Wh/kg)	69	96

DTS3 : diagramme de Définition des Blocs (BDD)



DTS4 : synoptique du groupe propulsion



DTS5 : câble aluminium



Single wire AZ
UV laser markable

Data Sheet
EN 4681-005 xxxx



Item	Designation	Component details	Characteristics
1	Stranded conductor	Alu Ni according to EN 3719	
2	Insulation	Composite	Polyimide/ PTFE

CONSTRUCTION :

Draka Designation	AWG	Section (mm ²)	Construction of conductor	Diameter of conductor (mm)		Linear Ohmic resistance at 20 °C (Ω/km)	Cable Diameter (1) (mm)		Mass (1) (g/m)	Cable bend radius (mm)	Cable breaking load (N)
				min.	max.		min.	max.			
EN4681-005A280	3	28	7 x 19 AluNi x 0.51 mm	6.5	7.1	1.18	7.5	8.4	109	tbd	tbd
EN4681-005A340	2	34	7 x 24 AluNi x 0.51 mm	7.4	8.0	0.94	tbd (2)	9.3	144	tbd	tbd
EN4681-005A420	1	42	7 x 30 AluNi x 0.51 mm	8.3	8.9	0.75	9.3	10.2	175	tbd	tbd
EN4681-005A530	0	53	19 x 14 AluNi x 0.51 mm	9.7	10.3	0.6	tbd (2)	11.6	217	tbd	tbd
EN4681-005A680	00	68	19 x 18 AluNi x 0.51 mm	11.1	11.7	0.43	12.1	13.0	271	tbd	tbd
EN4681-005A850	000	85	19 x 22 AluNi x 0.51 mm	12.4	13.0	0.36	tbd (2)	14.3	326	tbd	tbd

DTS6 : les panneaux photovoltaïques du catamaran

Deux technologies différentes équipent le catamaran, afin d'optimiser au maximum la surface utilisable : des panneaux conformables et des panneaux bifaciaux.

LES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES CONFORMABLES

Leur souplesse permet d'épouser les formes courbes de la nacelle centrale, là où des panneaux rigides traditionnels auraient couvert bien moins d'espace.

Certains ont été équipés d'un revêtement anti-dérapant, afin de permettre à l'équipage de marcher dessus en toute sécurité, notamment sur les flotteurs. Il apparaît que les panneaux équipés de ce revêtement ont montré un meilleur rendement que ceux qui ne l'étaient pas lorsque le soleil était bas.



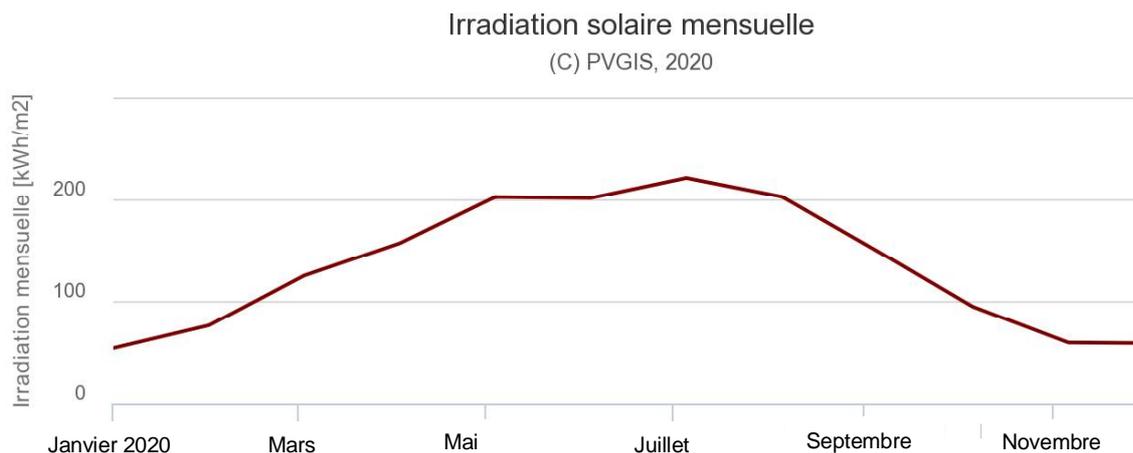
LES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES BIFACIAUX

Ils sont installés sur les ailes latérales et arrière, ainsi que sur la verrière de la nacelle centrale, pour permettre à l'équipage de profiter de la lumière du jour tout en continuant à produire de l'énergie. Ces panneaux ont été spécialement développés par l'Institut National de l'Énergie Solaire à Chambéry et comme leur nom l'indique, ils sont capables de récolter les rayons solaires par le dessus, mais également le dessous grâce à la réverbération de la lumière sur les surfaces blanches du navire et de la mer.

Autre avantage : les cellules encapsulées dans un polycarbonate fin, souple et léger, bénéficient d'un refroidissement naturel grâce à la circulation de l'air qui augmente le rendement des cellules... Avec à la clé une production d'énergie jusqu'à 30% supérieure à celle d'un panneau « monoface » traditionnel.



DTS7 : irradiance mensuelle à Saint-Tropez



DTS8 : tableau comparatif

MCC : Machine à courant continu
MAS : Machine asynchrone
MSAP : Machine synchrone à aimant permanent (Brushless)
MRV : Machine à réluctance variable

Critère	MCC	MAS	MSAP	MRV
Couple	++	-	++	+
Rendement	-	-	+++	+
Possibilité de vitesse élevée	-	+/-	+/-	+
Facilité du refroidissement	-	-	+	+
Robustesse	-	++	+	+
Facilité de contrôle	++	+	-	-
Coût	+	++	--	+

DTS9 : moteurs U313 F**

** : compléter par le type 10, ou 20

Type de moteur	10			20			
Vitesse nominale	tr/mn	1000	2000	3000	1000	2000	3000
Couple nominal	N/m	145	135	130	270	260	240
Courant nominal	A	31	57	82	59	127	156
Puissance nominale	kW	15	28	41	28	54	75
Tension nominale	V	416	407	392	398	351	386
Pertes	kW	1,72	1,72	1,75	2,4	2,36	2,36

INNOVATION TECHNOLOGIQUE ET ÉCO-CONCEPTION

Étude de l'implantation des ailes rigides OceanWings



- **Présentation de l'étude et questionnaire.....** pages 24 à 26
- **Documents techniques.....** pages 27 à 31
- **Documents réponses** pages 32 à 34

Mise en situation

Alors qu'il constitue une ressource inépuisable en mer, le vent reste encore difficile à exploiter pour le transport maritime à grande échelle.

Energy Observer, en tant que navire expérimental, s'est fixé pour mission de tester toutes les solutions disponibles et prometteuses. Ainsi en 2019, le navire a testé un tout nouveau système : des propulseurs éoliens appelés OceanWings® (voir **DT.S1**). Ces propulseurs éoliens sont des voiles rigides escamotables semblables à des ailes d'avion. Elles sont installées, comme représentée sur la photo page précédente, sur les deux flotteurs du navire. Elles vont démultiplier les performances du navire en permettant :

- d'accroître la vitesse, en complément des moteurs électriques ;
- de réduire les dépenses énergétiques, lorsqu'elles viendront soulager les moteurs électriques ;
- d'augmenter la production d'énergie pendant les navigations grâce à la production d'énergie hydrolienne (inversion des moteurs électriques en hydrogénérateurs).

Deux propulseurs éoliens sont implantés, un sur chaque flotteur. La liaison entre le flotteur et le propulseur doit :

- supporter les efforts ;
- permettre la rotation des propulseurs autour de leur axe vertical ;
- permettre l'implantation des chaînes de puissance (rotation du propulseur éolien autour de son axe, affalage et réglage de sa courbure).

Travail demandé

Partie A : quels sont les efforts engendrés par le vent sur un propulseur éolien ?

Question A.1 | Les **DT.S1** et **DT.S2** présentent les propulseurs éoliens. **Relever** les caractéristiques de hauteur et de surface de la voile.
DT.S1,
DT.S2 | **En déduire** la largeur de cette voile qui est assimilée à un rectangle.

Le propulseur éolien utilise le principe des ailes d'avions. L'écoulement de l'air autour d'une forme d'aile génère deux actions mécaniques : une portance et une trainée (voir **DT.S3**). La somme de ces deux vecteurs s'appelle la résultante aérodynamique.

Pour connaître l'intensité maximale de cette résultante aérodynamique, une simulation de l'écoulement de l'air autour de celle-ci est réalisée. Les résultats sont donnés document **DT.S3**.

La vitesse maximale d'utilisation du propulseur éolien est de $61 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$

Question A.2 | **Calculer** la vitesse maximale d'utilisation en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. **Trouver** l'incidence de la voile qui permet d'obtenir la résultante aérodynamique la plus grande. **Relever** sur le graphique, l'intensité maximale de cet effort.
DT.S3

Partie B : quels sont les efforts supportés par la liaison entre un propulseur éolien et un flotteur ?

Le **DT.S2** représente une étude préliminaire de l'implantation du mât 1 d'un propulseur éolien dans un flotteur latéral du bateau :

- le flotteur 7 et son bras de fixation 1 sont percés pour laisser passer le mât 4 ;
- le support supérieur 2 et le support inférieur 3 servent à guider le mât dans le flotteur respectivement en A et B ;
- un chapeau 8 permet de bloquer la translation verticale du mât ;
- les supports 2 et 3 sont encastrés sur le flotteur par un collage adapté aux matériaux du navire (composite en fibre de carbone).

Afin de déterminer l'effort supporté par les pièces 2 et 3, la liaison est modélisée comme indiqué sur le **DR.S1** par une liaison linéaire annulaire en A et une liaison rotule en B.

Rappel : un guidage est considéré comme court si le rapport entre la longueur du guidage L et le diamètre D est inférieur à 1,5.

$L/D > 1,5 \Rightarrow$ guidage long $L/D < 1,5 \Rightarrow$ guidage court

Question B.1	Justifier la modélisation de chacune des deux parties de la liaison représentée sur le DR.S1 .
DT.S2	
DR.S1	Compléter le tableau du bilan des actions mécaniques extérieures du DR.S1 pour l'action entre le support 3 et le mât 4.

La masse de l'ensemble {voile + mât} est de 200 kg, l'accélération de la pesanteur est de $9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Question B.2	Calculer le poids de l'ensemble {voile + mât} et compléter dans le tableau DR.S1 , la modélisation de l'action mécanique de la pesanteur.
DR.S1	Tracer ensuite le vecteur correspondant à cette action.

L'incidence de l'aile par rapport au vent est prise dans le cas le plus favorable

Question B.3	À partir des données fournies dans le bilan des actions mécaniques sur DR.S1 , tracer le vecteur correspondant à l'action mécanique de l'air sur l'aile dans la vue correspondant au plan Oxy.
DR.S1	

La simulation donne les résultats suivants pour les composantes des actions décrites en **DR.S1** :

$$Y_A = -39000 \text{ N}, Z_A = 1137 \text{ N}, X_B = 2000 \text{ N}, Y_B = 31000 \text{ N}, Z_B = -1137 \text{ N}, C_m = 3680 \text{ N}\cdot\text{m},$$

Question B.4	À l'aide des résultats de simulation, calculer l'intensité de la résultante entre la pièce support supérieur 2 et le mât 4. Préciser si c'est le poids de l'ensemble {voile + mât} ou l'action de l'air sur l'aile qui a le plus d'incidence sur cette intensité, justifier votre réponse.
--------------	---

Partie C : quelle solution constructive mettre en œuvre pour la liaison entre le support supérieur 2 et le mât 4 ?

Afin de vérifier la tenue aux efforts de la pièce support supérieur 2, une simulation à l'aide d'un logiciel adapté a été faite.

Question C.1 | **Compléter** le tableau du **DR.S2**, en désignant la nature des surfaces S2 et S3. **Justifier** les conditions aux limites appliquées aux surfaces S1, S2 et S3.
DR.S2

Les résultats de la simulation sont donnés **DT.S4**. Le matériau utilisé pour cette pièce est un composite de résine époxy et de fibre de verre non tressé. Le matériau est considéré comme isotrope. Le coefficient de sécurité utilisé sur ce type de pièce dans la marine est de 4.

Question C.2 | **Calculer** le coefficient de sécurité de la pièce support supérieure 2. **Conclure** sur la validation de cette pièce.
DT.S4

La liaison entre le mât 4 et la pièce support supérieure 2 ne peut pas être à contact direct, car le matériau composite risque de s'user rapidement. Le choix est fait d'intercaler un coussinet à collerette métallique. Un extrait de catalogue constructeur et la méthode de choix d'un coussinet est donnée dans le **DT.S5**.

- L'intensité de l'effort radial du mât 4 sur la pièce support supérieur 2 retenue pour cette étude est de 40000 N.
- Le cas de charge est dynamique.
- Le coefficient de sécurité est de 4.

Question C.3 | À l'aide du plan d'ensemble **DT.S2** et du catalogue **DT.S4**, **choisir** la référence du coussinet à utiliser. **Expliquer** votre démarche.
DT.S2,
DT.S4

Le document réponse **DR.S3** montre une vue en coupe de la pièce 2 et du mât 4.

Question C.4 | Sur le document **DR.S3**, **dessiner** à main levée le coussinet tel qu'il doit être assemblé. **Spécifier** sur cette esquisse les cotes manquantes pour la définition complète du coussinet.
DR.S3

DT.S1 : OceanWings

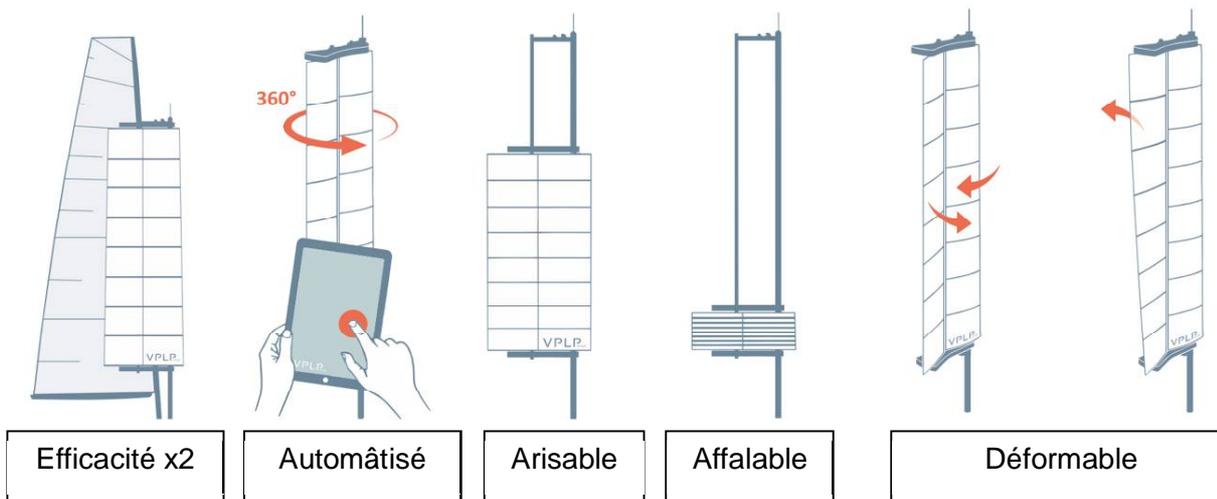
Les Oceanwings® sont le fruit d'un concept breveté par **VPLP design** co-développé en partenariat avec **CNIM** où elles sont assemblées.

VPLP Design puise son inspiration et son expérience des ailes rigides de l'America's Cup dont l'efficacité aérodynamique est bien supérieure aux voiles traditionnelles. Une raison fondamentale a néanmoins limité leur développement : leur rigidité. Une nouvelle architecture de ces ailes (système breveté) permet maintenant de passer au-delà de cette limite.

Ces voiles rigides sont construites sur le même principe que les ailes d'avion et exploitent les effets de l'écoulement d'air autour d'un solide (principe de Bernoulli). La portance et la traînée générées par cet écoulement permettent de propulser le navire. L'intensité de ces deux actions mécaniques dépend de la courbure de l'aile et de son orientation de l'aile face au vent.

Les principales caractéristiques de ces voiles sont les suivantes :

- Il est possible de les ariser (réduire la surface au vent) et même de les affaler (ranger complètement).
- Afin d'être facilement utilisable par un marin novice, l'aile est complètement automatisée.
- Ces ailes rigides ont une bien meilleure efficacité que les voiles traditionnelles puisqu'à performance égale elles nécessitent deux fois moins de surfaces.
- Elles sont orientables à 360° pour profiter de toutes les directions de vent relatif possibles.
- Il est possible de les vriller verticalement pour affiner leurs performances.

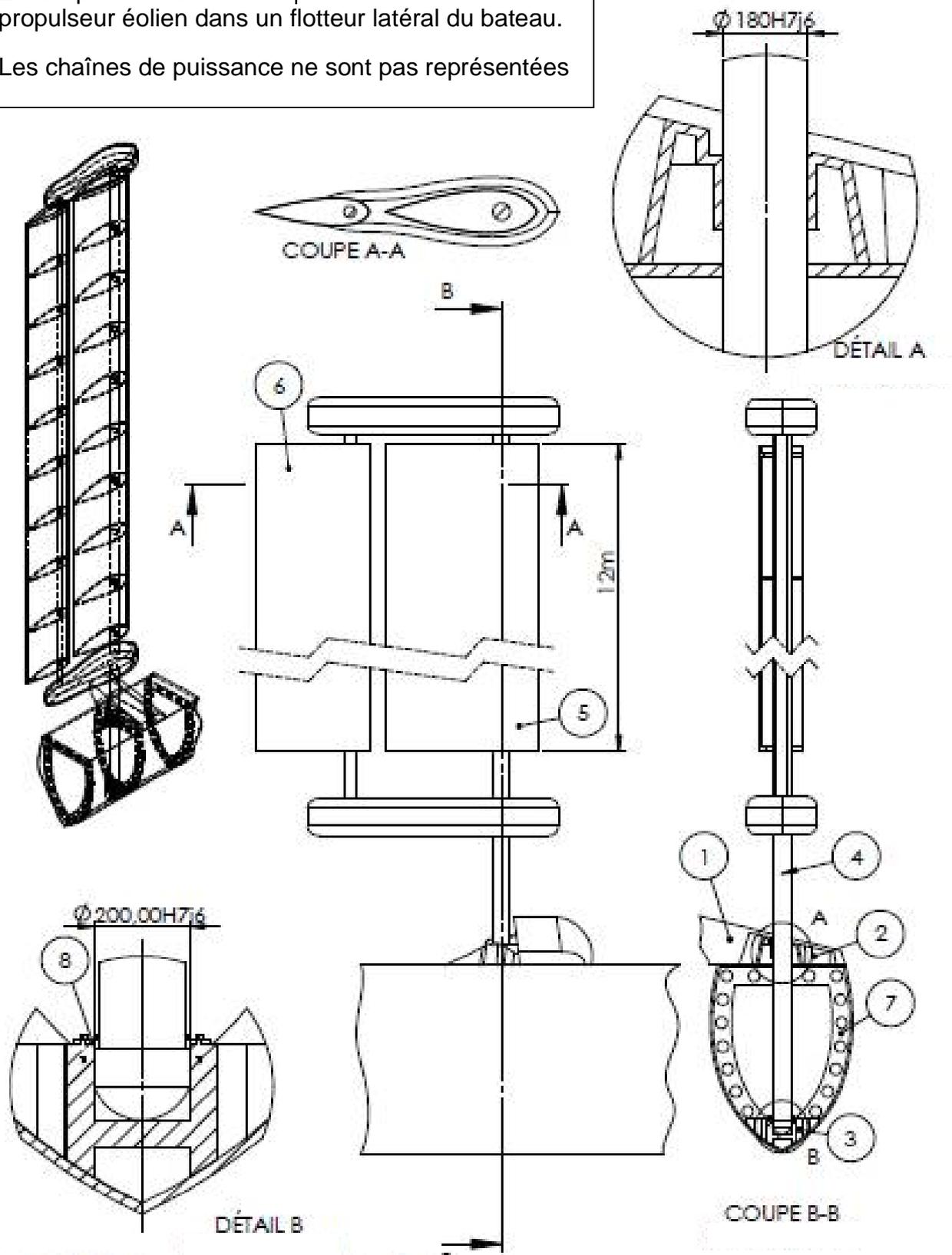


Sur Energy Observer ces ailes auront une surface de 31,5 m² chacune.

La voile doit être affalée si le vent dépasse 61 km·h⁻¹

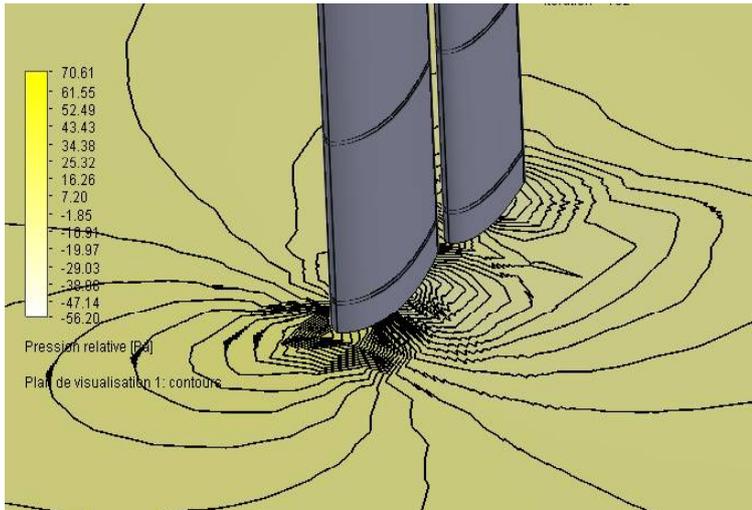
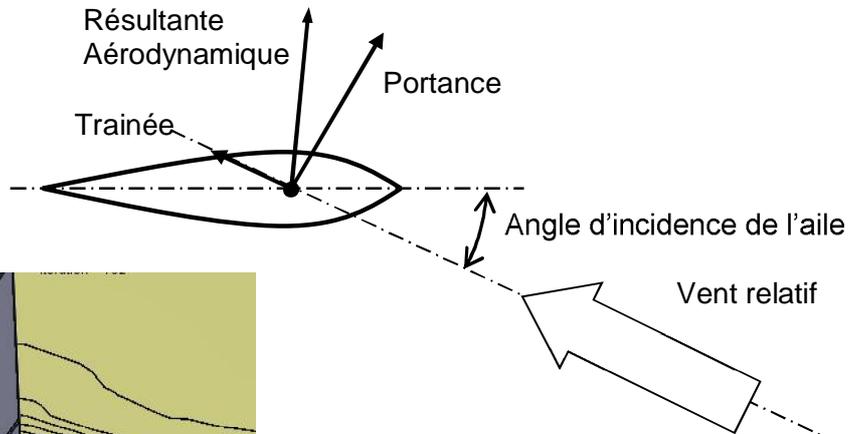
DT.S2 : implantation des mâts.

Étude préliminaire de l'implantation du mât 4 d'un propulseur éolien dans un flotteur latéral du bateau.
Les chaînes de puissance ne sont pas représentées



DT.S3 : résultat de la simulation d'écoulement de l'air sur la voile

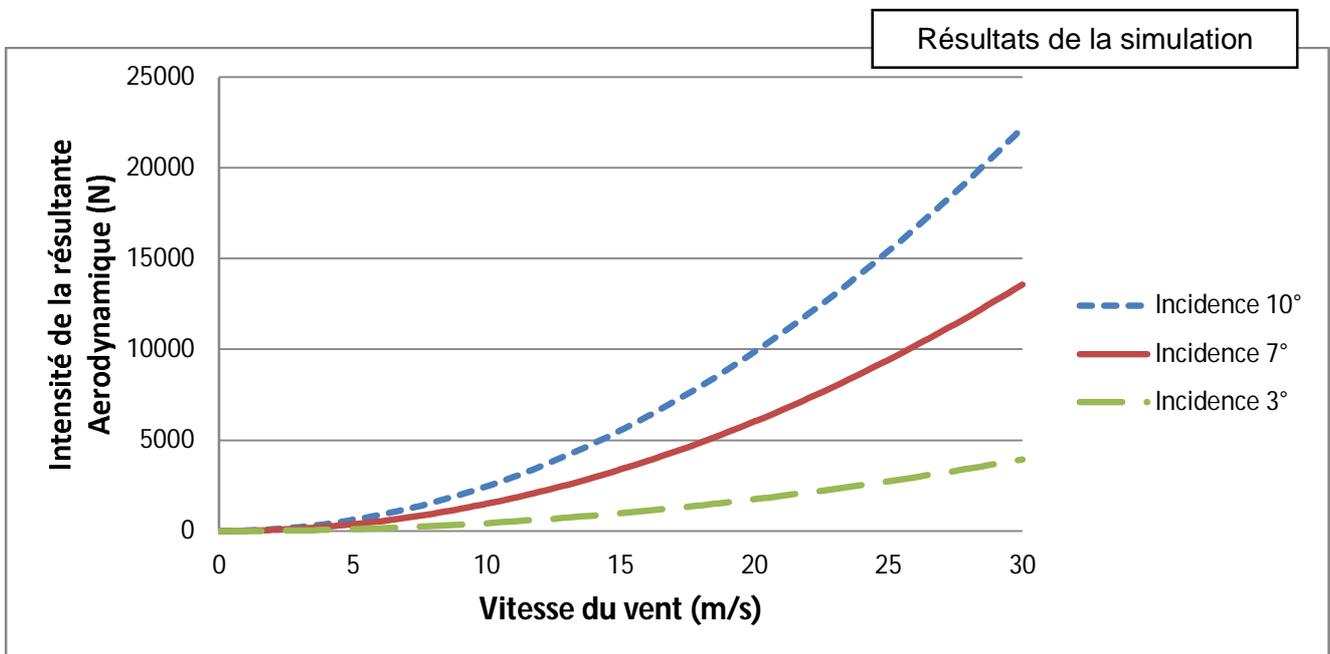
Le théorème de Bernoulli montre qu'un fluide qui s'écoule autour d'un solide génère sur celui-ci une résultante aérodynamique. L'intensité de cette résultante dépend de la vitesse du fluide, mais aussi de l'incidence du profil par rapport à la direction de l'écoulement. L'angle d'incidence est l'angle formé entre la corde de l'aile et la direction du vent relatif comme indiqué sur la figure ci-dessous.



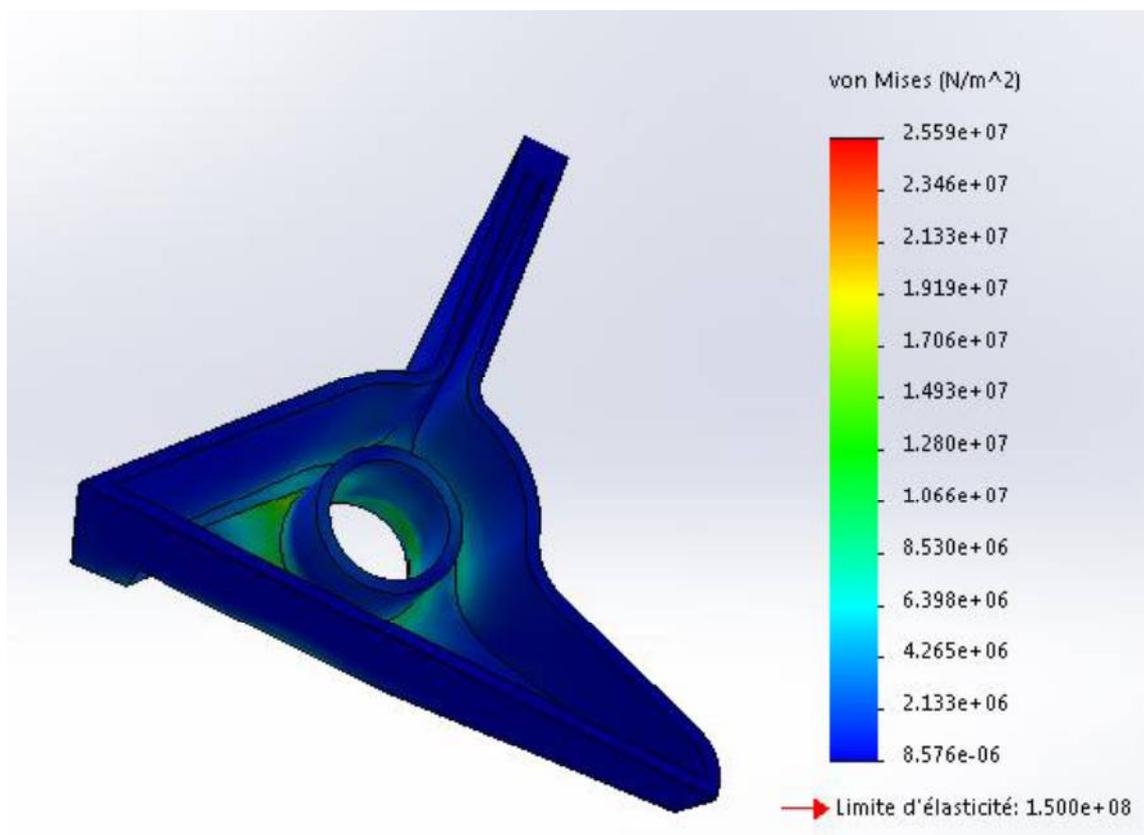
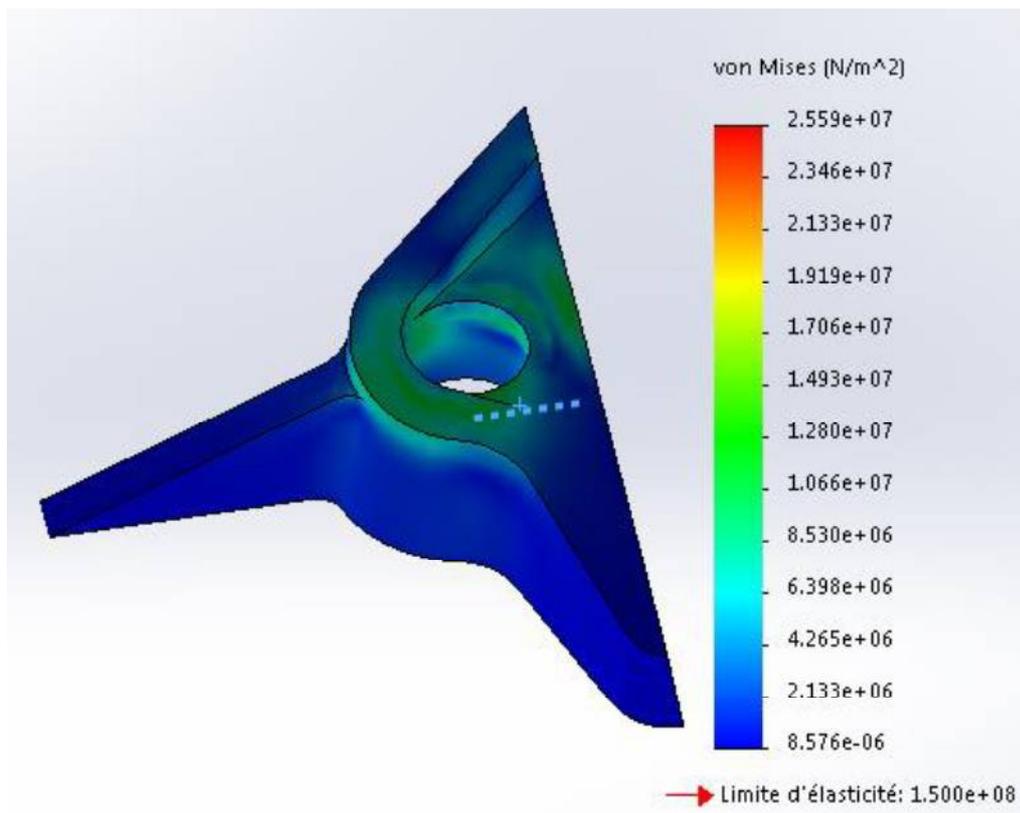
Simulation de l'écoulement du fluide autour du propulseur éolien.

La vitesse du vent est variée entre 0 et 30 m/s.

Trois incidences de voile sont testées : 10°, 7° et 3°.



DT.S4 : résultats de simulation de la pièce 2



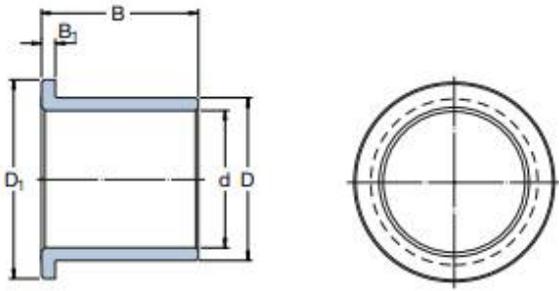
DT.S5 : extrait de catalogue de coussinets à collerette

SKF bronze massif – Coussinets à collerette					
Charge dynamique admissible, N·mm ⁻²	25				
Charge statique admissible, N·mm ⁻²	45				
Vitesse de glissement admissible, m·s ⁻¹	0,5				
Coefficient de frottement	0,08 < μ < 0,15				



Système de désignation

PBMF	20	28	16
	|d	|D	|B
	Avec collerette		
	Métrique		
	Bronze massif		
	Coussinet		



Désignation	d mm	D mm	B mm	D ₁ mm	B ₁ mm
PBMF 15017070 M1G1	150	170	70	185	10
PBMF 150170100 M1G1	150	170	100	185	10
PBMF 16018070 M1G1	160	180	70	195	10
PBMF 160180100 M1G1	160	180	100	195	10
PBMF 17019070 M1G1	170	190	70	205	10
PBMF 170190100 M1G1	170	190	100	205	10
PBMF 18020070 M1G1	180	200	70	215	10
PBMF 180200100 M1G1	180	200	100	215	10
PBMF 19021080 M1G1	190	210	80	225	10
PBMF 190210120 M1G1	190	210	120	225	10
PBMF 20022080 M1G1	200	220	80	235	10
PBMF 200220120 M1G1	200	220	120	235	10
PBMF 21023080 M1G1	210	230	80	245	10
PBMF 210230120 M1G1	210	230	120	245	10
PBMF 220240100 M1G1	220	240	100	255	10
PBMF 220240140 M1G1	220	240	140	255	10
PBMF 230250100 M1G1	230	250	100	265	10
PBMF 230250140 M1G1	230	250	140	265	10
PBMF 240260100 M1G1	240	260	100	275	10
PBMF 240260140 M1G1	240	260	140	275	10
PBMF 250270100 M1G1	250	270	100	285	10
PBMF 250270140 M1G1	250	270	140	285	10

Tolérances de l'arbre	e7-e8
Tolérances du logement	H7
Rugosité de l'arbre (μm)	0 < Ra < 1,0
Dureté de l'arbre, HB	165 - 400

Choix d'un coussinet à collerette :
 Surface projetée : $S = B \times d$

Pression diamétrale : $P = F / S$
 F = Effort radial

Condition de résistance dynamique :
 $P \times s < \text{charge dynamique}$

Condition de résistance statique :
 $P \times s < \text{charge statique}$

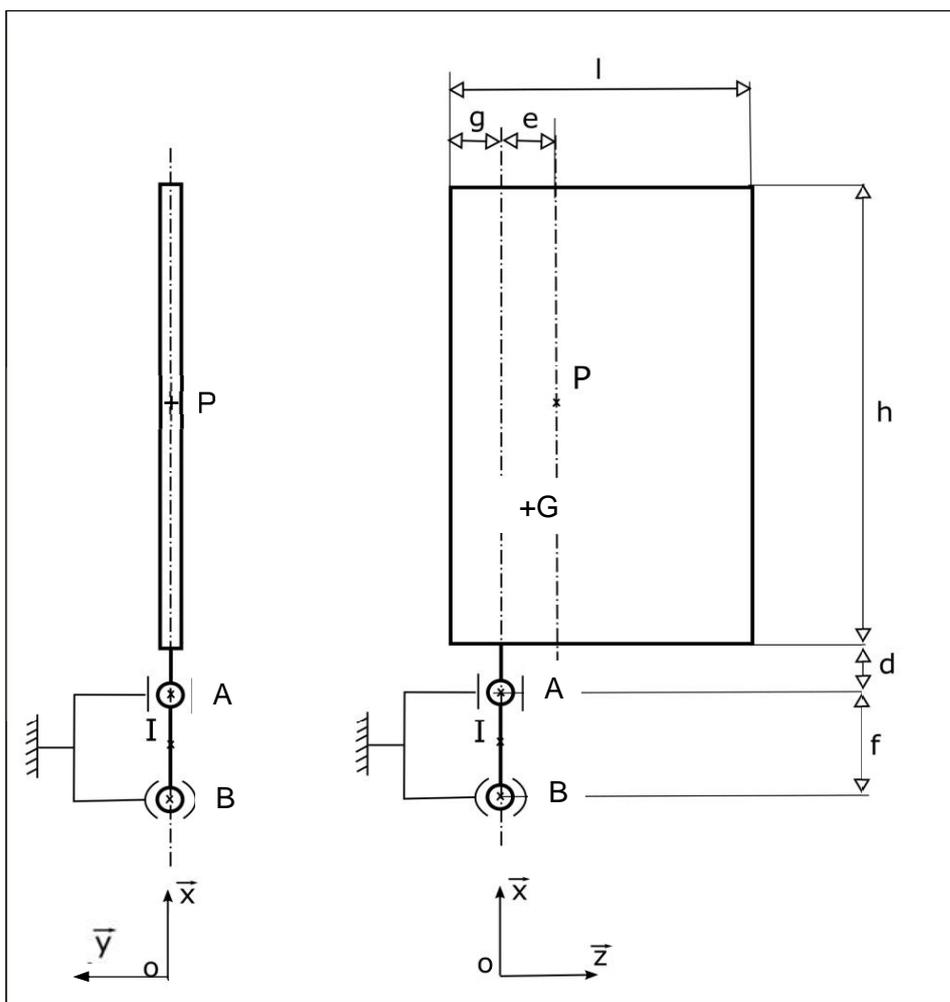
s = coefficient de sécurité

DOCUMENT RÉPONSES DR.S1

Dimensions (m)	
l	2,625
h	12
e	0,46
g	0,4
f	1,6
d	1

Échelle :

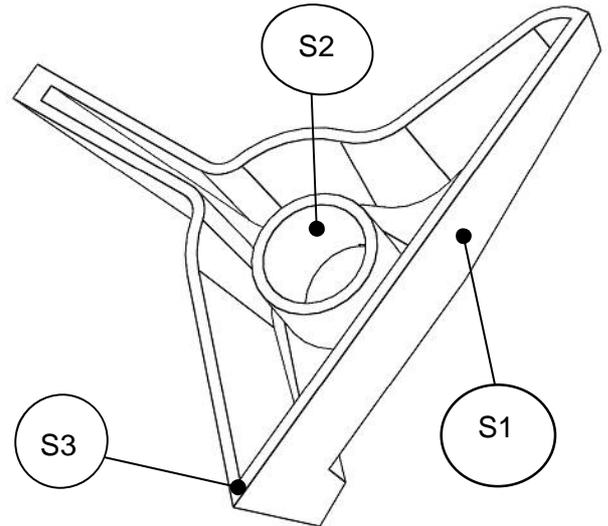
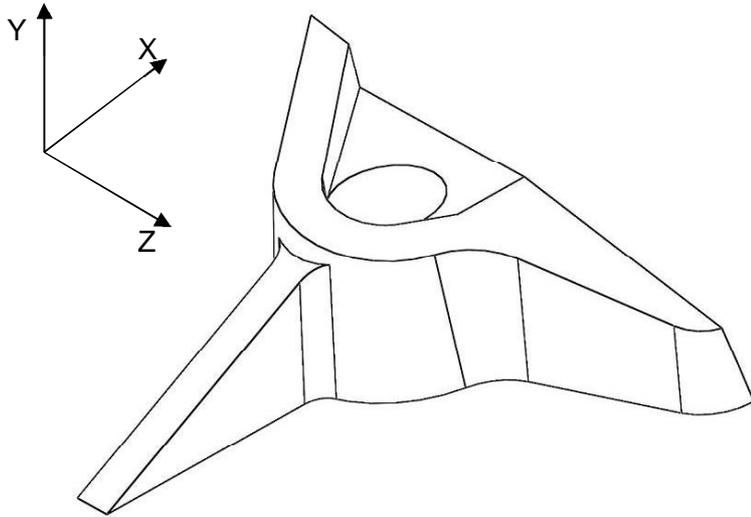
1cm = 2000 N



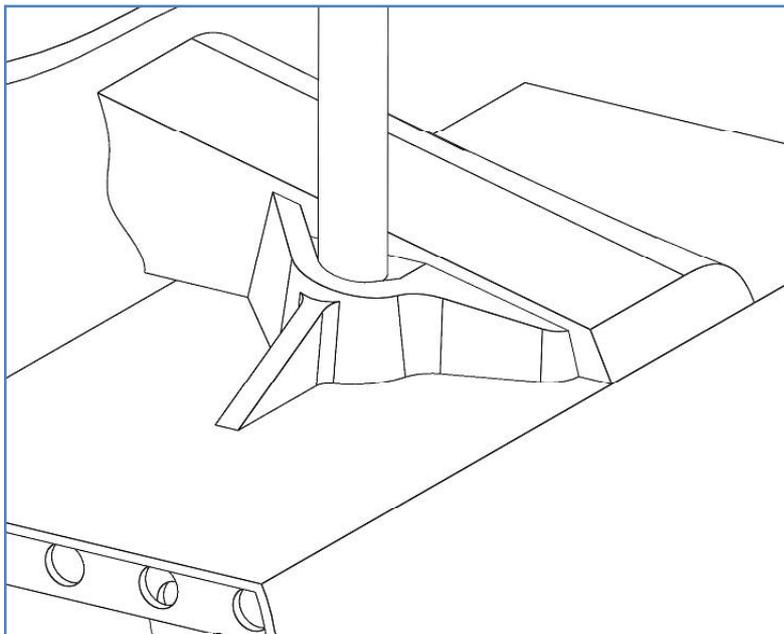
Dans le tableau ci-dessous, les inconnues statiques sont données sous la forme X, Y ou Z avec pour indice la lettre du point d'application de l'action mécanique (exemple : Y_A et Z_A pour l'action en A entre 2 et 4)

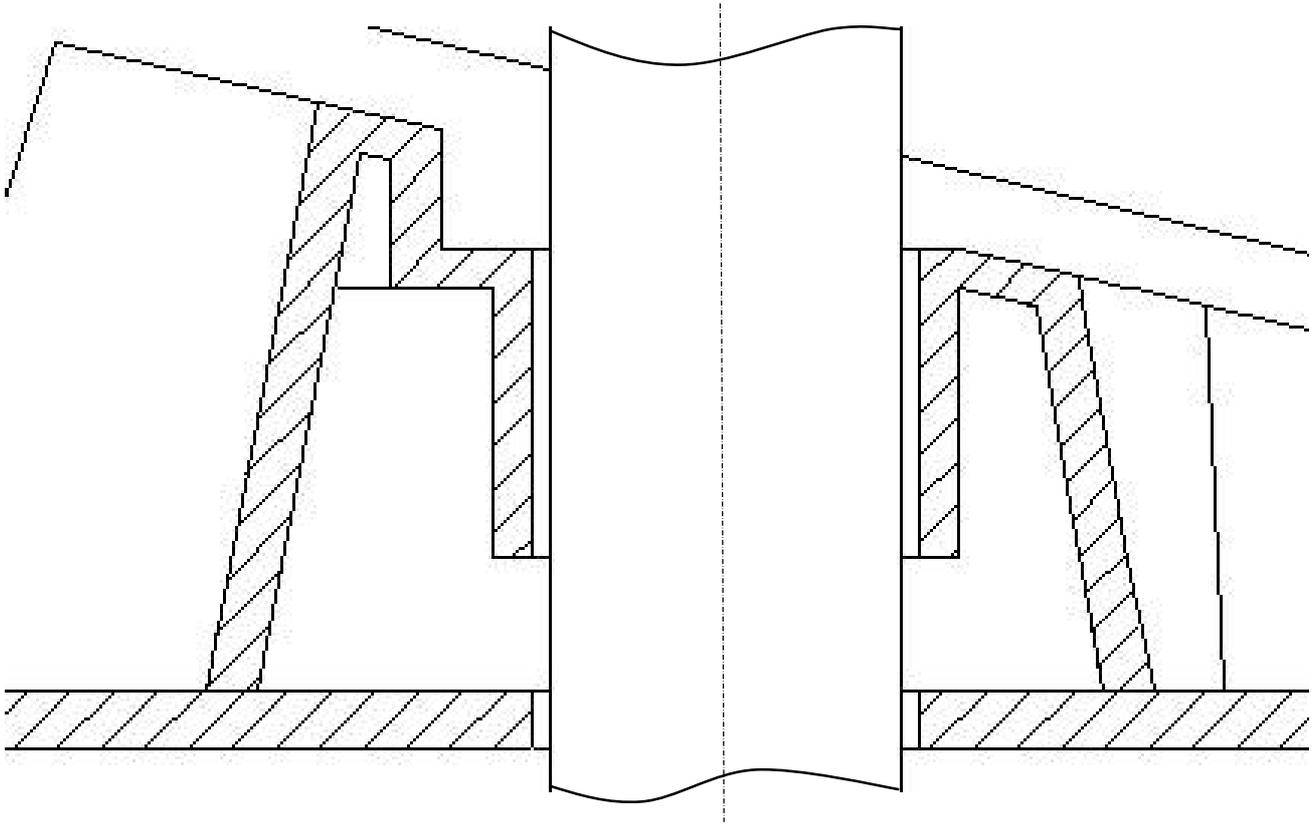
Bilan des actions mécaniques extérieures							
Nom	Point	Résultante			Moment		
		x	y	z	x	y	z
Action de la pièce 2 sur 4	A	0	Y_A	Z_A	0	0	0
Action de la pièce 3 sur 4	B						
Air sur aile	P	0	8000 N	0	0	0	0
Motorisation sur 4	I	0	0	0	Cm	0	0
Pesanteur	G						

DOCUMENT RÉPONSES DR.S2



Surface	Nature des surfaces	Conditions aux limites
S1	Plan	Fixe
S2		Force intensité 39016 N
S3		Fixe





SYSTÈMES D'INFORMATION ET NUMÉRIQUE

Étude des données de vitesse et de direction du vent



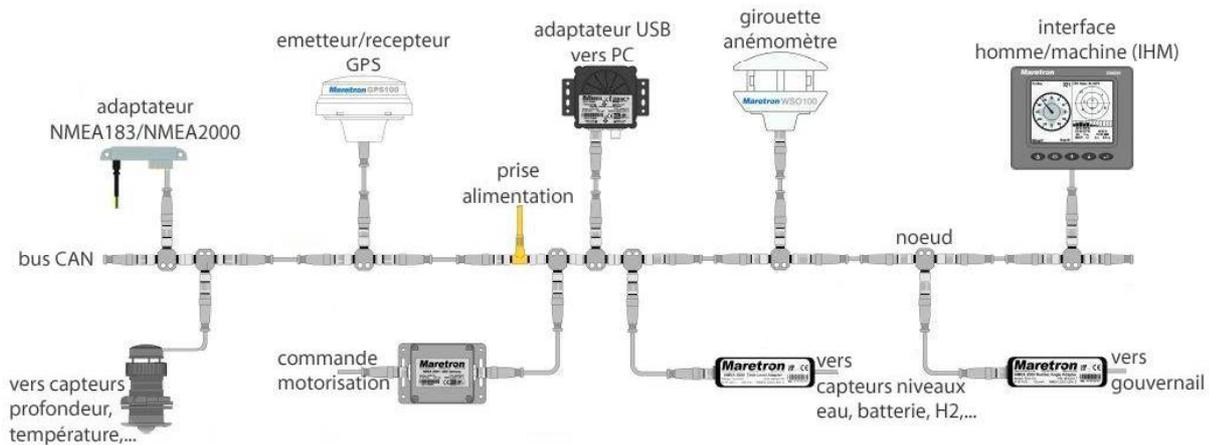
- **Présentation de l'étude page 24**
- **Questionnement..... pages 24 à 26**
- **Documents techniques DT S1 à DT S3 pages 27 à 29**
- **Document réponses DR S1 à DR S3 page 30**

Mise en situation

Le bateau Energy Observer, destiné à naviguer dans les mers polaires, doit pouvoir mesurer des données climatiques dans des conditions extrêmes.

Les grandeurs physiques de vitesse de vent et direction de vent sont données par un capteur girouette-anémomètre fixé en haut de la cabine de pilotage.

La National Marine Electronics Association (NMEA), association américaine de fabricants d'appareils électroniques maritimes, a défini une norme de communication NMEA2000 entre le capteur et les autres équipements marins. Les échanges de données sont transportés par un bus série à la norme Bus CAN (Controller Area Network).



Architecture par bus de données CAN (Controller Area Network) des équipements du bateau

Comment vérifier que les informations provenant de l'anémomètre-girouette sont correctement traitées ?

Partie A : quel capteur choisir pour mesurer la vitesse et la direction du vent ?

Le capteur anémomètre-girouette AIRMAR 220W est le modèle qui a été choisi. Le document technique **DT S1** propose les principales caractéristiques de trois modèles d'anémomètres-girouettes.

Question A.1 | **Justifier** à l'aise d'au moins deux arguments le choix du modèle
DT S1 | AIRMAX 220W.

Sur le document réponse **DR S1**, on donne un extrait d'une trame prélevée sur le réseau bus CAN à la sortie de l'anémomètre girouette.

Question A.2 | **Indiquer** les états logiques (0 ou 1) envoyés en complétant le **DR S1**
DT S2 | à partir du **DT S2**.
DR S1

Question A.3 | **Citer** au moins deux avantages qu'apporte l'utilisation d'un bus CAN
DT S2 | sur ce bateau.

Partie B : comment décoder les informations numériques de la vitesse du vent ?

Chaque équipement marin est défini par un identifiant PGN respectant le protocole NMEA2000.

Question B.1 | **Exprimer** la valeur décimale de l'identifiant PGN du capteur Girouette-
DT S3 | Anémomètre à partir du **DT S3**.

Question B.2 | **Convertir** la valeur décimale de l'identifiant PGN déterminé
DT S3 | précédemment en une valeur hexadécimale.
DR S2 | **Compléter** le champ ID de la trame du **DR S2**.

Les données provenant du capteur girouette-anémomètre sont composées de 8 octets répartis en 5 champs (field). Le champ n°2 (field 2) indique la vitesse du vent. Lors d'une capture du message CAN on relève les valeurs suivantes concernant la vitesse du vent : MSB=\$0D et LSB=\$A2

Question B.3 | **Calculer** la valeur de la vitesse du vent en $m \cdot s^{-1}$.
DT S3

Partie C : à quelle vitesse transmettre les données ?

On estime, dans le cas le plus défavorable, que l'envoi d'une trame sur le bus CAN est constitué de **64 bits maximum**.

Question C.1 | **Déterminer** le débit de la transmission en $Kbits \cdot s^{-1}$ dans le cas le plus
DT S2 | défavorable, à partir du **DT S2**.

Question C.2 | **Calculer**, le temps de transmission d'une trame T_{trans} provenant de la
DT S2 | girouette-anémomètre, dans le cas le plus défavorable, à partir du
DT S2.

Un premier algorithme simple a été codé avec le langage Python (voir DR S3). La valeur de la vitesse du vent est consignée dans une variable « vitesse_vent ».

- Si la vitesse du vent est comprise entre 1 et 20 m·s⁻¹, une variable « gestion-cap » passe à 1. Elle autorisera la gestion automatique du cap en fonction de la direction du vent.
- Si la vitesse du vent est inférieure à 1 m·s⁻¹, la variable « gestion_cap » passe à 0. Elle n'autorisera plus la gestion automatique du cap en fonction de la direction du vent.
- Si le vent dépasse la vitesse de 20 m·s⁻¹, la variable « gestion_cap » passe à 0 et une variable « consigne_urgence » passe à 1. La gestion de la barre de direction se fera en mode d'urgence.

Question C.3 | **Compléter** l'algorithme sur le **DR S3** en ajoutant les signes (=, >, <) et les valeurs adaptées au fonctionnement souhaité.

Question C.4 | **Indiquer** le message que doit afficher l'algorithme de calcul pour une vitesse de vent de 35 m·s⁻¹.

Question C.5 | **Conclure** quant à la capacité de la chaîne d'information à traiter correctement la vitesse du vent.

DT S1 : caractéristiques de plusieurs anémomètres-girouettes

	WINDSONIC1	DNA921	AIRMAR 220WX
			
Technologie	Ultrason	Couppelles-hélice	Ultrason
Caractéristiques	<p>Pas de pièces mobiles</p> <p>Minimise les coûts de maintenance de routine</p> <p>Insensibilité à l'effet gyroscopique</p> <p>Stabilité de la sensibilité aux vents faibles</p> <p>Prise au vent minimisée</p>	<p>Mesure de la vitesse et de la direction du vent combinée avec des signaux de sortie directe pour la vitesse du vent (Hz) et la direction du vent (0-1 Vdc). Son utilisation simplifie les exigences d'installation, en plus d'être de taille réduite, il est léger et peu onéreux.</p> <p>Très faible consommation électrique.</p>	<p>Ce modèle comprend des sorties de données numériques configurables NMEA 0183 et NMEA2000®, offrant une polyvalence pour tous les besoins de surveillance météorologique.</p> <p>Contrairement aux anémomètres mécaniques, le modèle 220WX n'est pas confronté à l'usure de roulement, l'accumulation de sel ou de saleté pouvant entraîner une défaillance ou une imprécision des données</p>
Vitesse du vent	De 0 à 60 m/s Précision $\pm 2\%$ Résolution 0,01 m/s	De 0 m/s à 60 m/s Incertitude 0 à 3 m/s=1,5%, >3 m/s= 1% Seuil de démarrage 0,26 m/s Résolution 0,07 m/s	De 0 m/s à 40 m/s Précision 1 m/s ou 5% Résolution: 0.1 m/s
Direction du vent	0° à 360° Précision $\pm 3^\circ$ Résolution 1°	0 à 360° Incertitude 1% Seuil de démarrage 0,15 m/s Résolution 0,3°	0° à 360° Précision 1% résolution: 0,1°
Température de fonctionnement	-35°C à +70°C	-30°C à +70°C	-40°C à 55°C
Protocole	SDI-12	Modbus RTU® ou TTY-ASCII	NMEA183 OU NMEA2000
Type de liaison	RS-232	RS-485	RS422 ou CAN Bus
Vitesse de transmission	270 Mbits/s	9600 bits/s	125 Kbits/s

DT S2 : le bus de données CAN

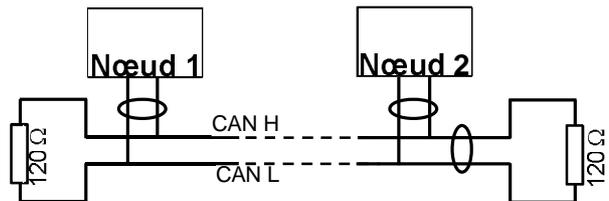
Le bus de données CAN (Controller Area Network) est un bus système série respectant la norme ISO 118987. Il consiste à raccorder à un même câble (un bus) un grand nombre d'équipements marins.

La norme bus CAN est définie par :

- le bus CAN en mode étendu (CAN 2.0B)
- le nombre de nœuds est limité à 50
- la longueur jusqu'à 200 m
- débit entre 125Kbits·s⁻¹ et 1Mbits·s⁻¹

La transmission des données est effectuée sur deux fils :

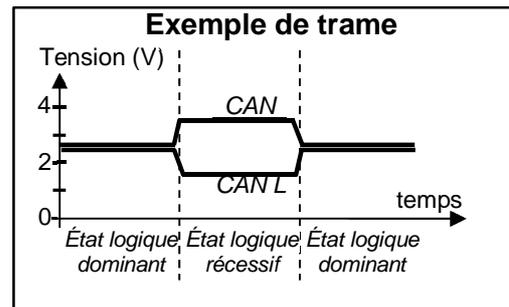
- CAN L (CAN LOW),
- CAN H (CAN HIGH).



Les deux extrémités du bus sont rebouclées par des résistances de 120 Ω

Correspondance entre les niveaux électriques et les états logiques transportés sur le bus CAN high-speed (norme ISO118987):

État logique	V _{CANH-GND}	V _{CANL-GND}	V _{CANH-CANL}
Récessif ou « 1 »	2,5 V	2,5 V	de 0 à 0,5 V
Dominant ou « 0 »	3,5 V	1,5 V	de 0,9 à 2 V



DT S3 : Le protocole NMEA2000

Chaque équipement connecté sur le bus CAN possède une adresse PGN pour émettre, et une adresse source pour recevoir

La structure des identifiants étendus (29 bits) des messages au protocole NMEA 2000 est la suivante :

- 3 bits priorité
- 18 bits adresse PGN (2 bits libres + 16 bits pour l'adresse de l'émetteur)
- 8 bits adresse de la source

28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
Priority			MSB ID (pgn)														LSB ID (pgn)				Source Address *								
			■	■																									

Chaque équipement marin doit posséder une adresse source sur 8 bits. Les adresses 0 à 251 sont réservées à cet usage. L'adresse 255 est une adresse globale qui spécifie un envoi à tous les nœuds du réseau (broadcast).

PGN	Equipement
127250	Cap du bateau
128259	Vitesse du bateau
128267	Profondeur de l'eau
129029	Position GPS
129284	Données de navigation
130306	Données sur les vents
130312	Température

Identification PGN en fonction des données envoyées par l'équipement

L'adresse PGN de l'équipement est codée sur 2 octets (MSB et LSB) sous forme binaire à partir de la valeur hexadécimale de l'adresse.

Exemple de codage PGN dans le champ ID

Pour le capteur détectant la température, l'adresse décimale PGN est 130312

Après conversion hexadécimale, la valeur est 1FD08

On code en binaire les 4 caractères hexadécimaux de poids faible dans le champ ID : FD08

28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
Priorité			MSB ID (PGN)														LSB ID (PGN)				Adresse source									
			1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0										
				F				D				0				8														

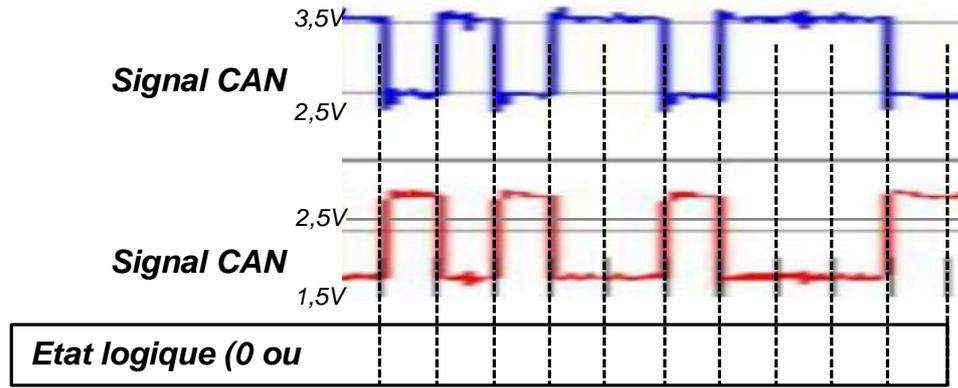
Codage du champ de données du capteur girouette-anémomètre

Décodage du message Id 0x09FD02xx (PGN 130306) : Wind Data

28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
Priority			MSB ID (pgn)														LSB ID (pgn)				Source Address *								
0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0									

Field 1	Field 2		Field 3		Field 4	Field 5
FF	05	3D	33	50	02	1FFFFFF
SID	Wind speed (10 mm/s)		Wind direction (0,0001 rad)		Wind Reference 02 → apparent	Reserved (21 bits)
[0]	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6] [7]

DOCUMENT RÉPONSE DR S1 (Question A.2)



DOCUMENT RÉPONSES DR S2 (Question B.2)

	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8
	MSB ID (PGN)								LSB ID (PGN)							
Valeur binaire																
Valeur Hexadécimale																

DOCUMENT RÉPONSE DR S3 (Question C.3)

```

if vi_tesse_vent > [ ]
    gestion_cap = [ ]
    consigne_urgence = [ ]
    print("vent trop fort")
elif vi_tesse_vent < [ ]
    gestion_cap = [ ]
    consigne_urgence = [ ]
    print("vent trop faible")
else:
    direction_vent = [ ]
    consigne_urgence = [ ]
    print("vent de force = "; vi_tesse_vent ; "m/s")
    
```

Extrait du programme sous le langage Python

