Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV©

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :
www.formav.co/explorer

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 collège » 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 : • partie 1 • partie 2 • partie 3	**Partie commune :** • soit la partie 4 • soit la partie 5 **Une seule de ces 2 parties doit être traitée.**

- **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 CO_2 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

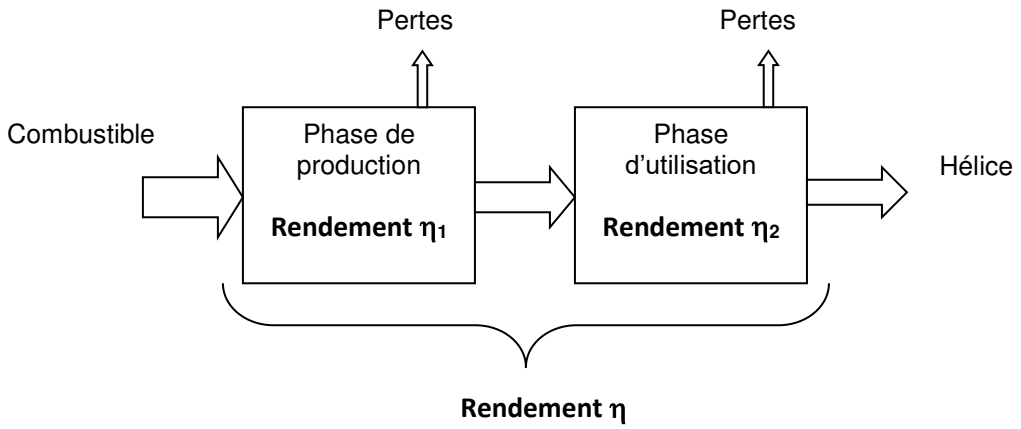
Compléter, sur le document réponse **DR1**, les noms de ces éléments en fonction de leur rôle dans la chaîne de production d'hydrogène.

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

Question 2.2 **DT3**	**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.

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

DR3

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

Question 3.2

DT2
DR4

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

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

DR5

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

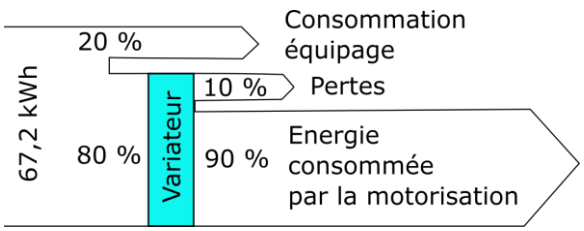
Nous rappelons que la capacité de la batterie est de 112 kW·h.

Question 3.4

DT5

Calculer la quantité d'énergie en kW·h cédée par les batteries.

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

DT5

Calculer en heure la durée de cette deuxième phase de navigation.

En déduire la puissance moyenne dissipée utilisée par le moteur pour maintenir cette allure.

Question 3.7

DT4

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

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

La quantité d'énergie stockée dans 1 kg de H_2 est de 33 kW·h.

Question 3.10 **DT6**	**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).

Question 3.11 **DT2**	**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.

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

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

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 : $\boxed{F = k \cdot v^2}$

- 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 $km \cdot h^{-1}$).

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

On considère que $\overrightarrow{V_{B1}}$ 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 $\overrightarrow{D}$ et $\overrightarrow{V_{B1}}$.

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.

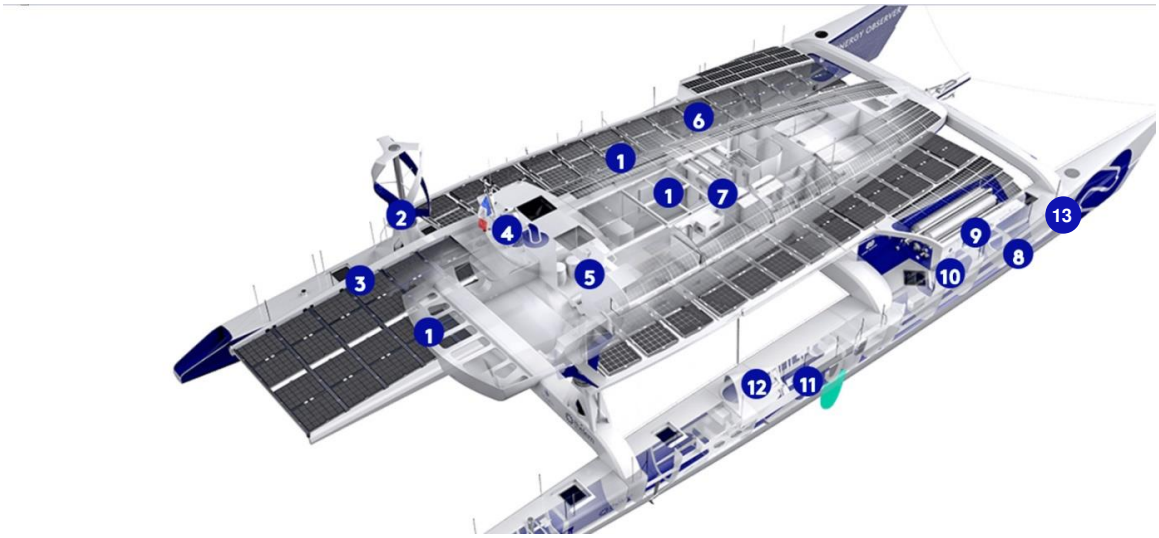
Le système est composé de :

- 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'algorigramme fourni sur le **DR6.**

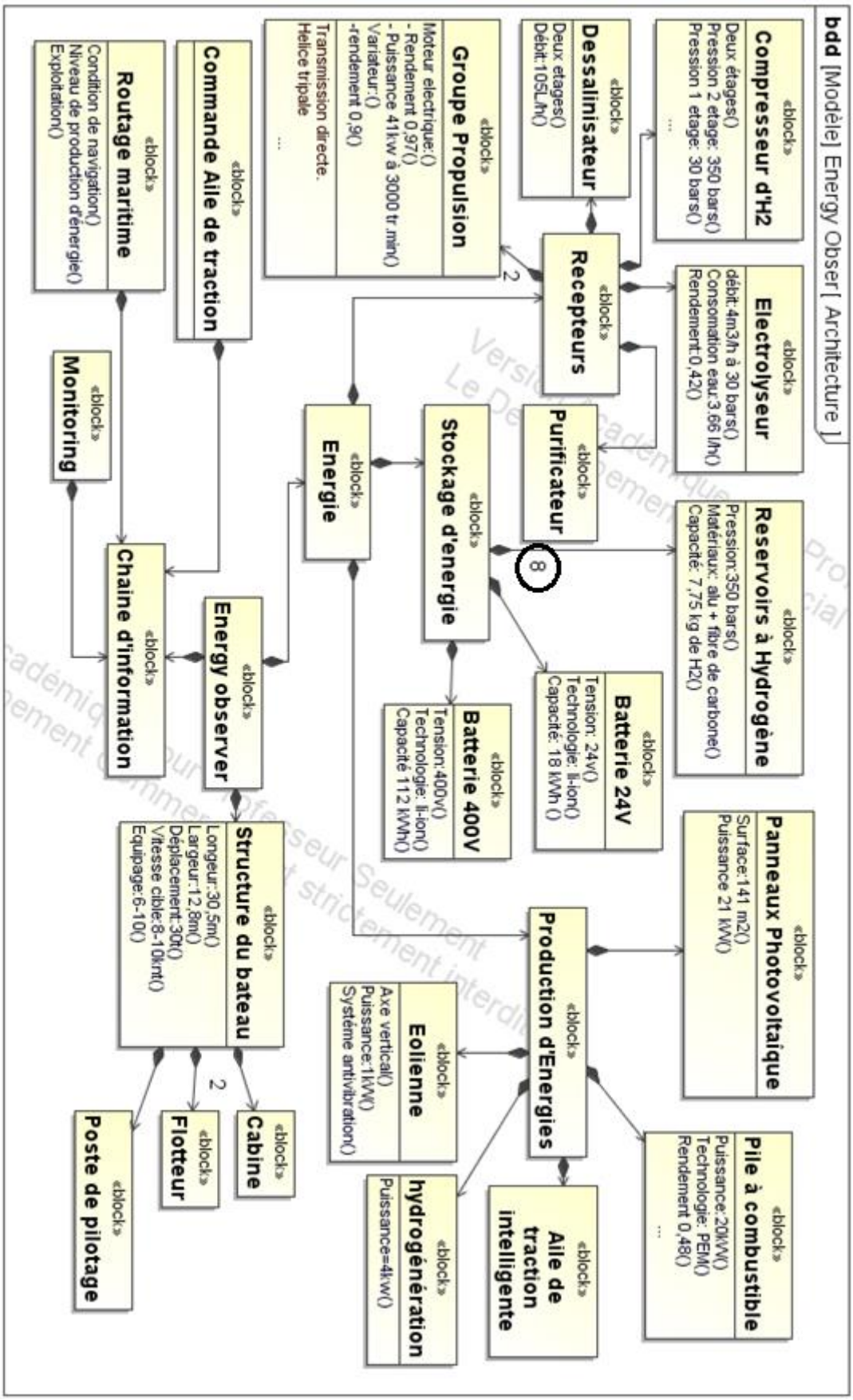
Question 5.4 **DR6**	**Compléter** l'algorigramme, présent sur le **DR6,** avec les trois fonctions suivantes : - Actionner le vérin du gouvernail pour tourner dans le sens horaire - Différence = « Cap_souhaité » – « Cap_mesuré » - Différence > 0

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

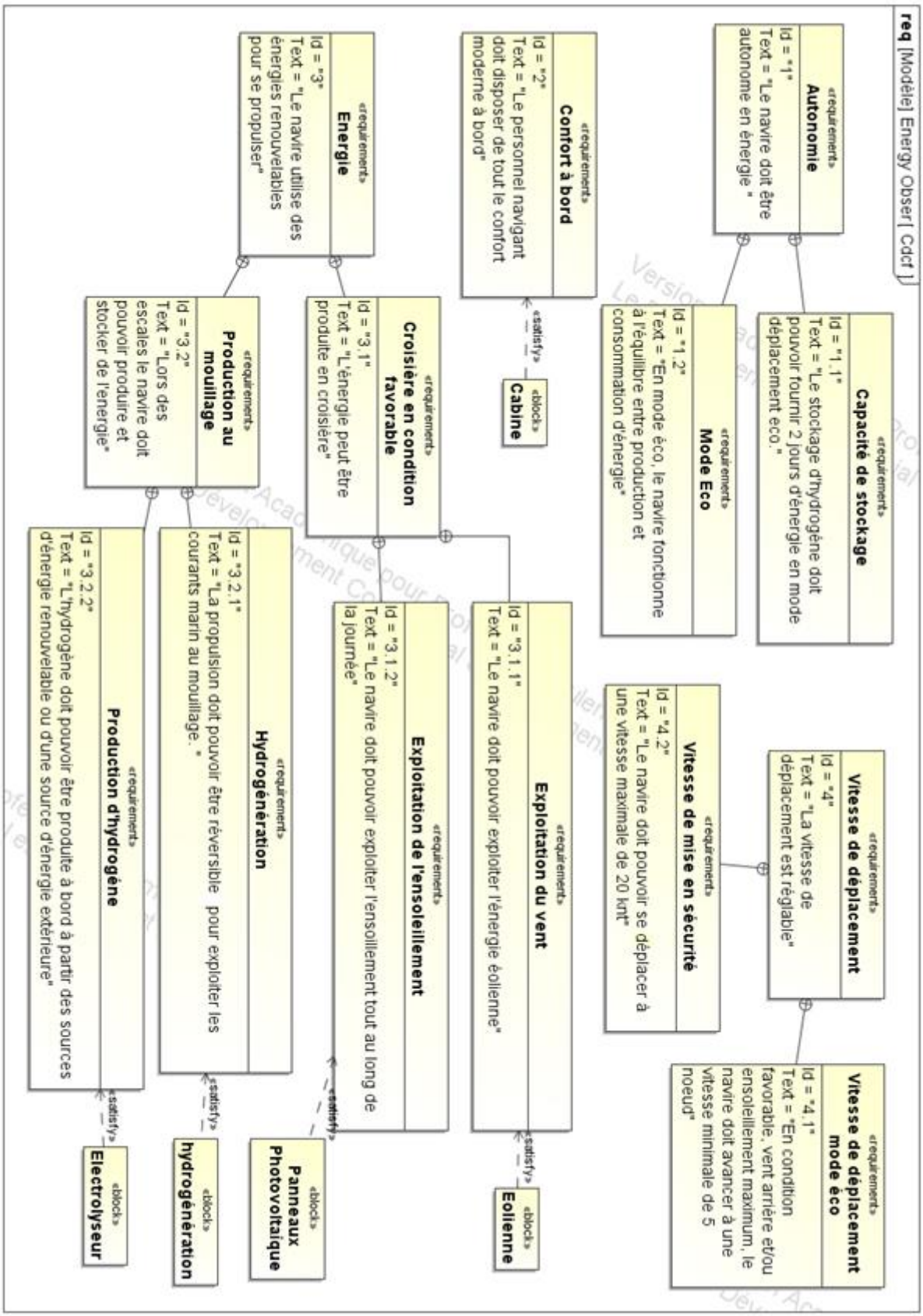
Combustible	**Cycle de vie** (Production jusqu'à l'utilisation)	**Bilan CO_2 (g CO_2/kW·h)**		
		Production	Utilisation	**Global**
Fuel	Extraction puis raffinage	55	270	**325**
Gaz naturel	Extraction puis raffinage, gazéification et compression	40	200	**240**
Hydrogène	Reformage* du gaz naturel puis 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

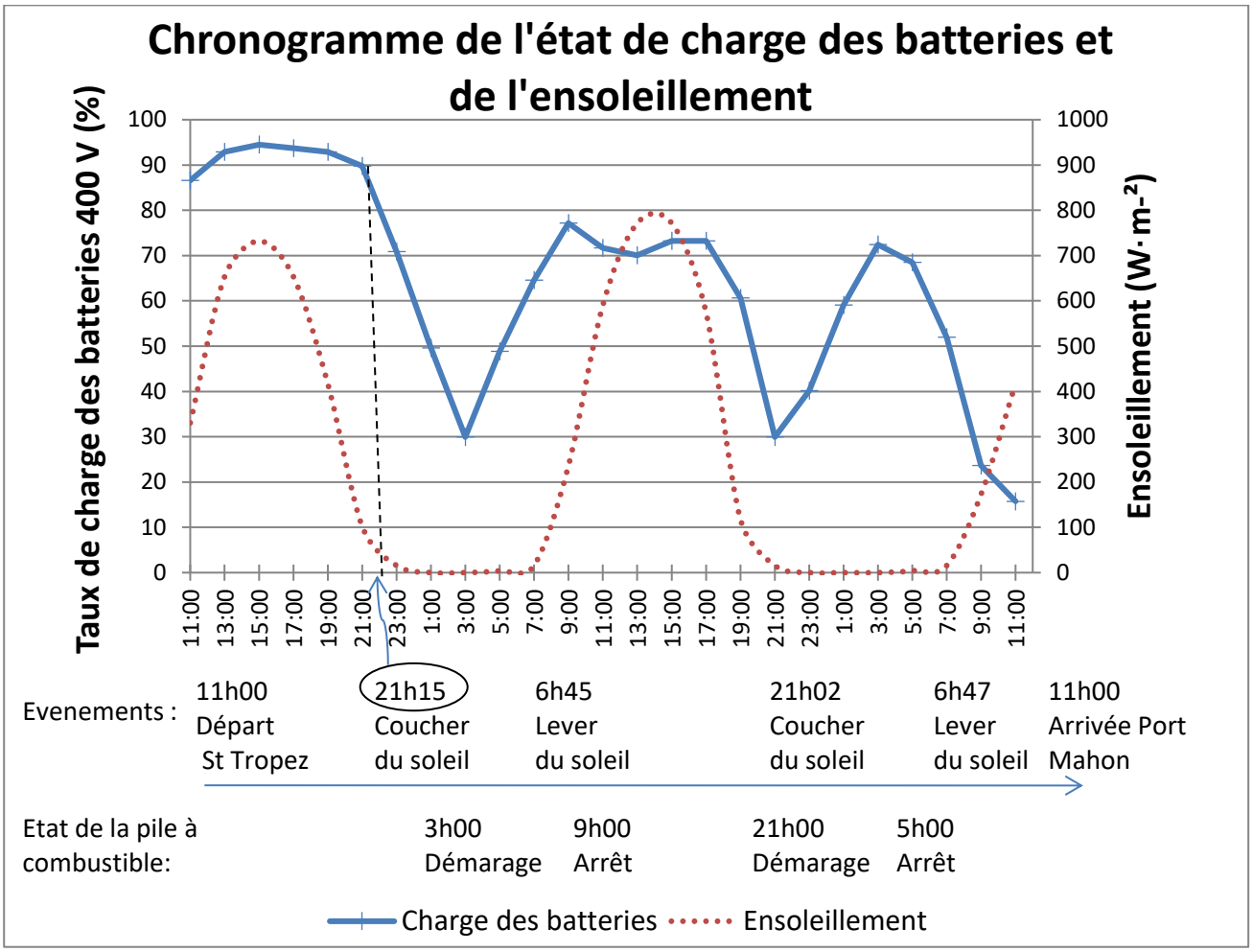
* Le **reformage** est une réaction chimique qui consiste à produire de l'hydrogène (H_2) à partir du méthane (CH_4) présent dans le gaz naturel.

** L'**électrolyse de l'eau** est un procédé **électrolytique** qui décompose l'**eau** en dioxygène (O_2) et hydrogène (H_2) avec l'aide d'un courant électrique.

DT4 : diagramme des exigences (partiel)



DT5 : bilan énergétique de la navigation St Tropez - Minorque



Bilan énergétique

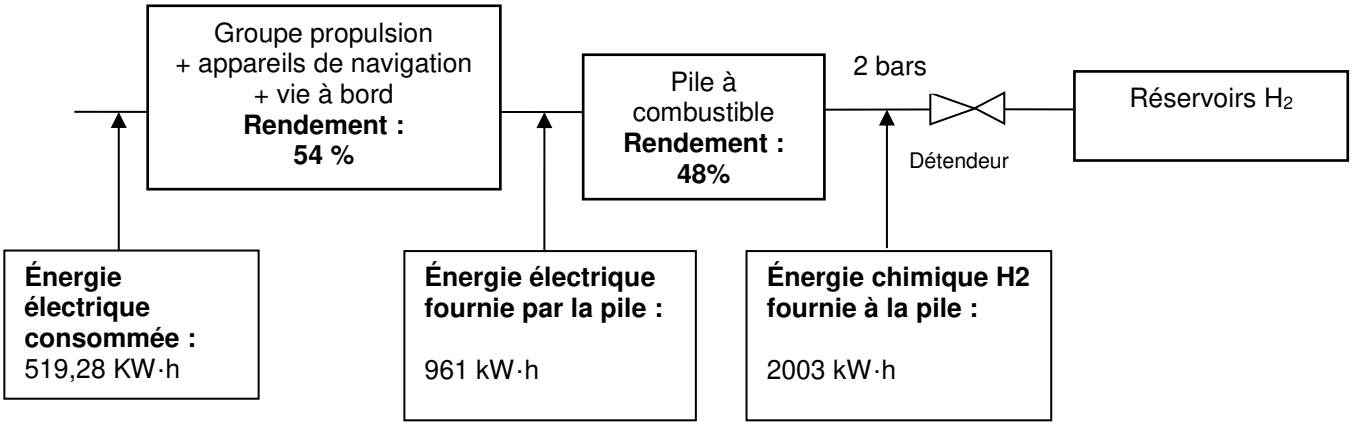
Production	
Panneaux photovoltaïques	198,6 kW·h
Éoliennes	0
Moteurs électriques réversibles	0
Apport Batteries	95,2 kW·h
Apport pile à combustible	277,43 kW·h
Total	519,29 kW·h

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 m^3, 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 $kg \cdot m^{-3}$ et à 70 MPa une densité de 42 $kg \cdot m^{-3}$ contre 0,090 $kg \cdot m^{-3}$ à pression et température normales.

À 70 MPa on peut alors stocker 5 kg d'hydrogène dans un réservoir de 125 litres.

TESCOM

Détendeur

Entrée Maximum 415 bar / Plages de Sortie jusqu'à 17 bar
Technologie à membrane / Trés Haute Sensibilité

Série 26-1500

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

Joints 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

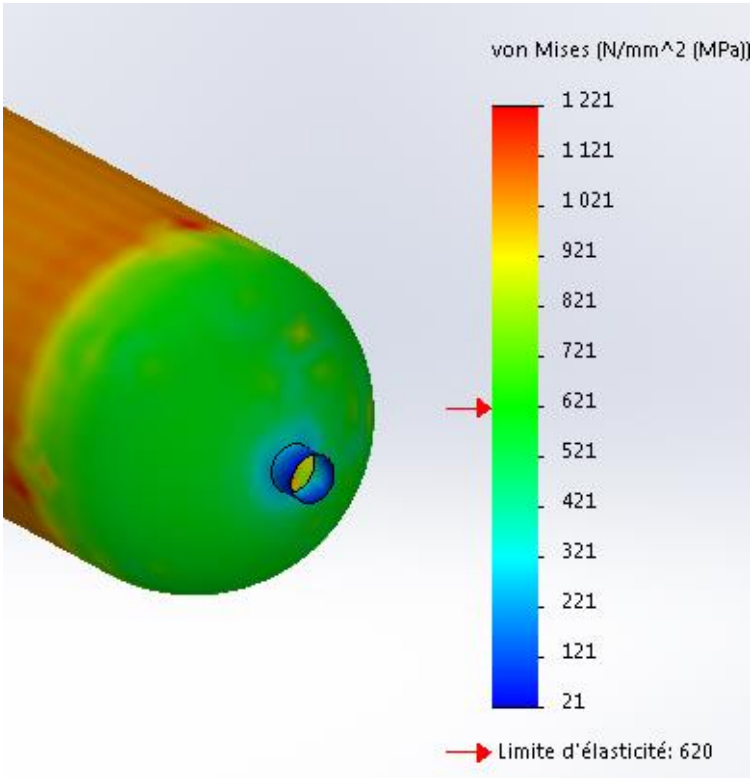
Téflon®, Viton® and Vespel® *est une marque déposée de Du Pont.*



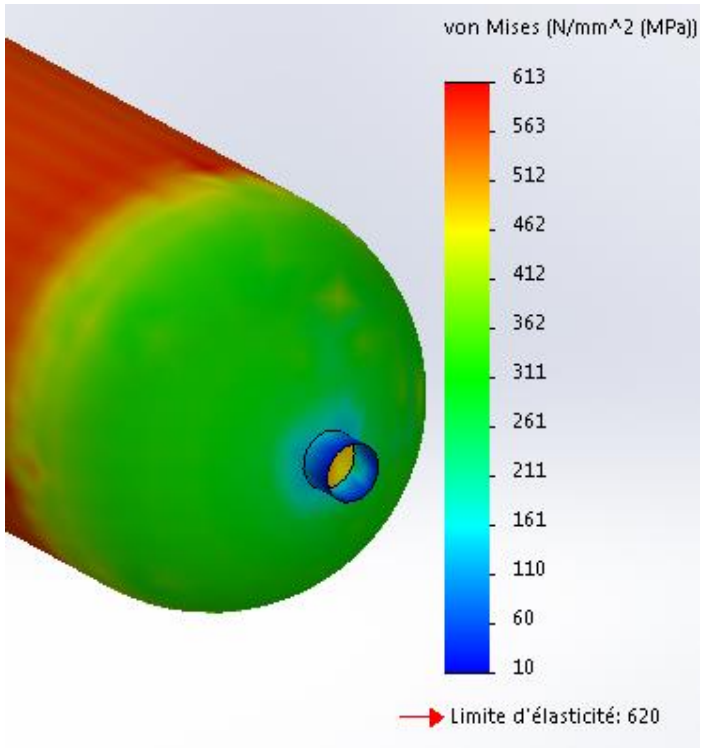
Caractéristiques & Avantages

- Régulation précise - technologie à membrane
- Nombreuses options en terme de raccordements 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)

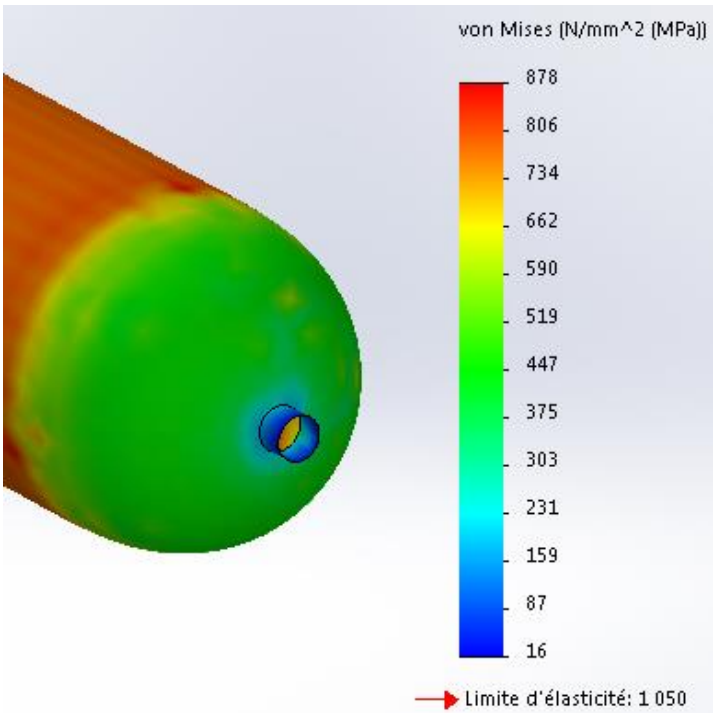
DT9 : choix du détendeur



6 mm Acier



11 mm Acier



8 mm Composite Epoxy / fibre de carbone

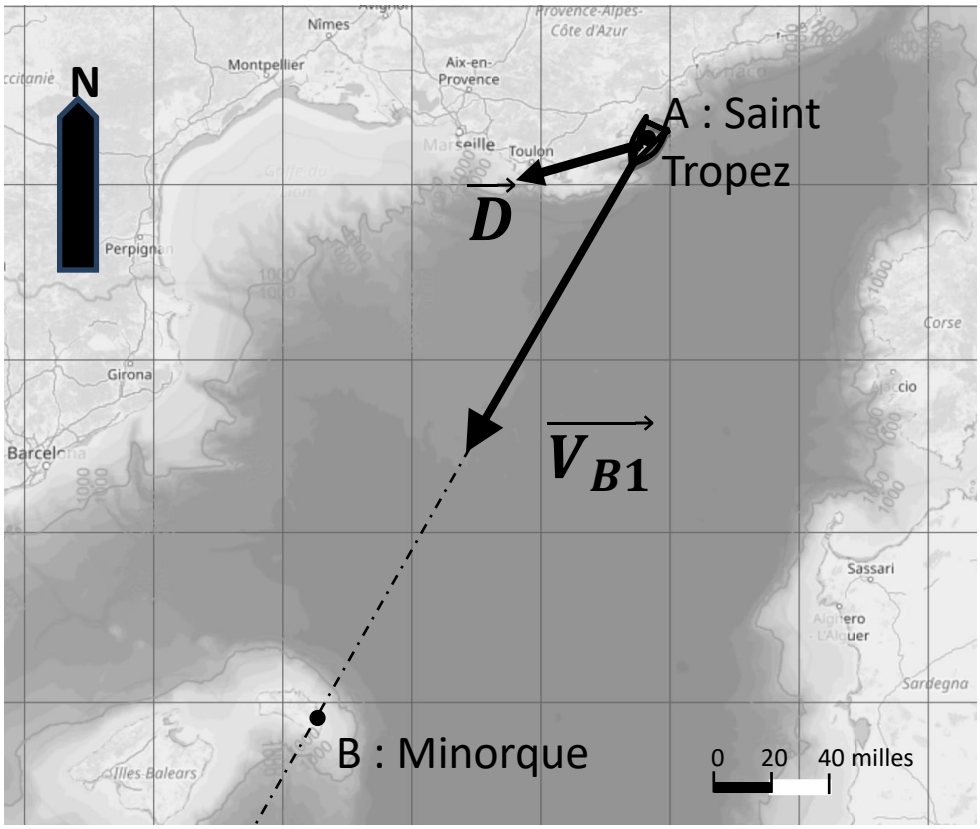
Masse volumique acier :
7800 $kg \cdot m^{-3}$

Masse Volumique Composite Epoxy / fibre de carbone :

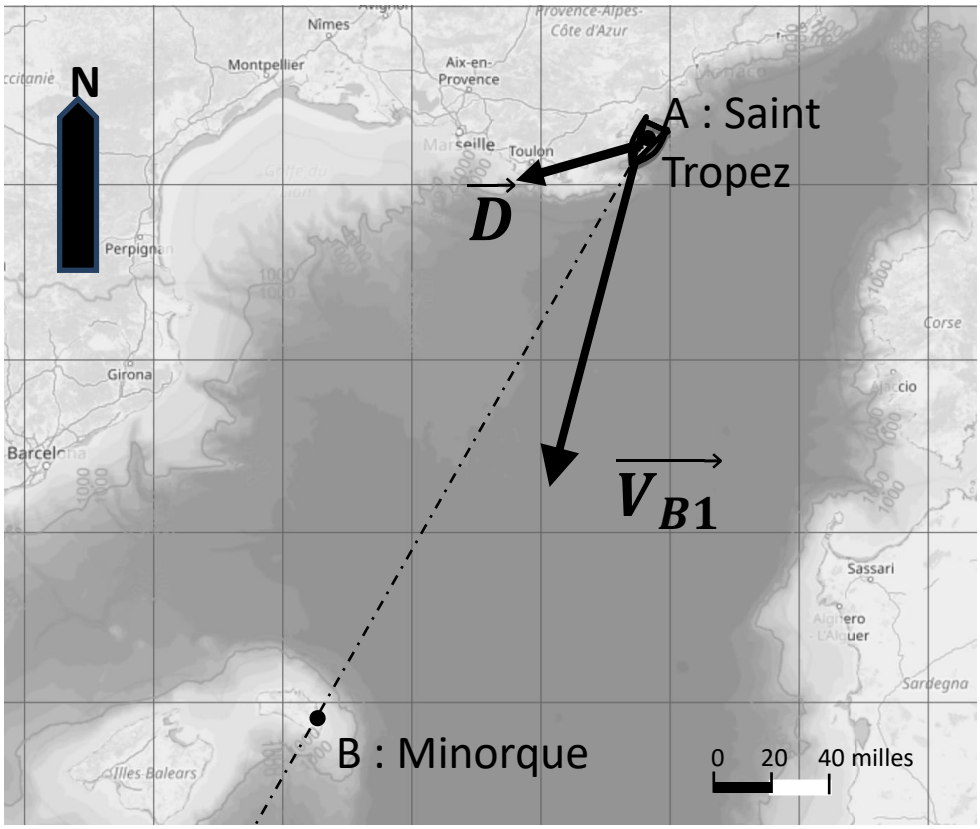
1600 $kg \cdot m^{-3}$

DT10 : déplacement du bateau

Cas de figure 1



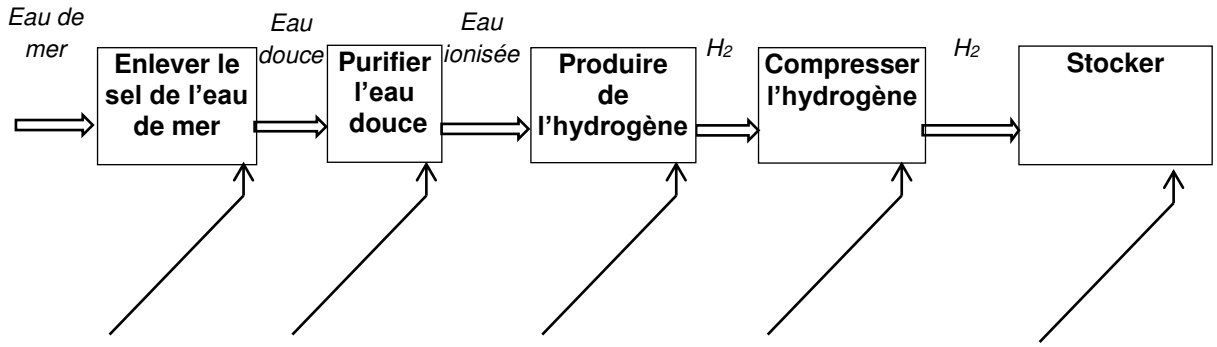
Cas de figure 2



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

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.)

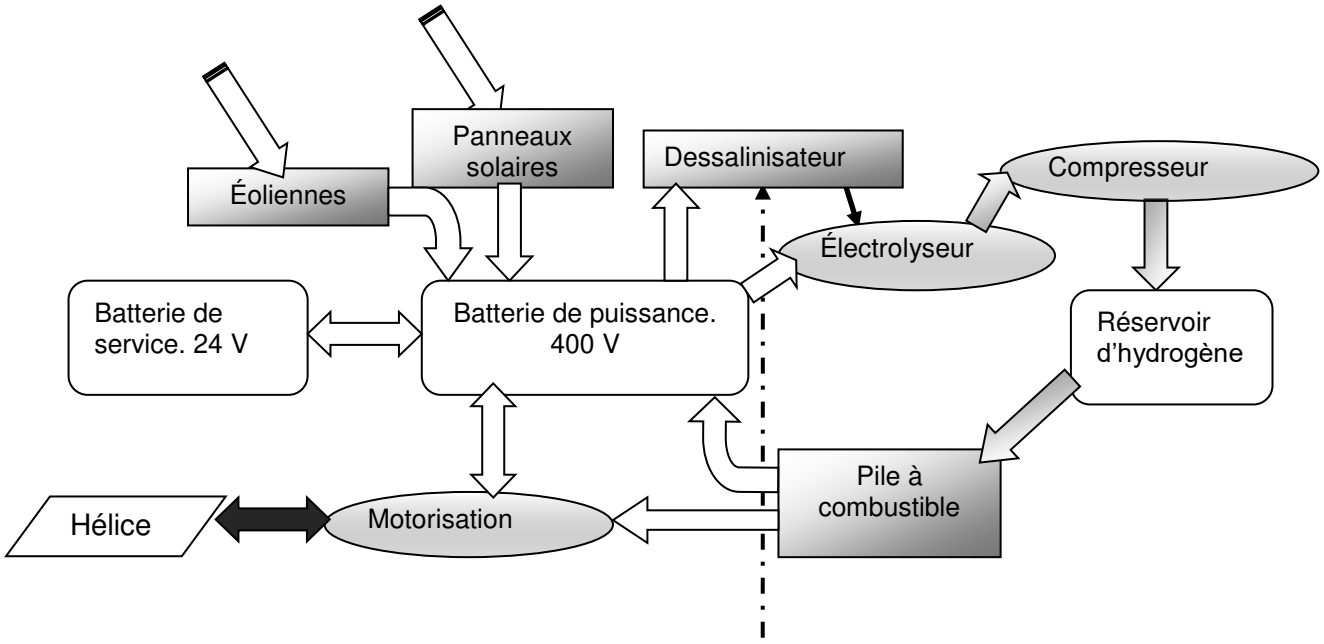
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

DOCUMENT RÉPONSE DR3

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



Légendes :

Production	Flux électriques		Eau salée
Stockage	Flux d'hydrogène		Eau claire
Réception	Flux mécaniques		Flux extérieurs

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**

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.)

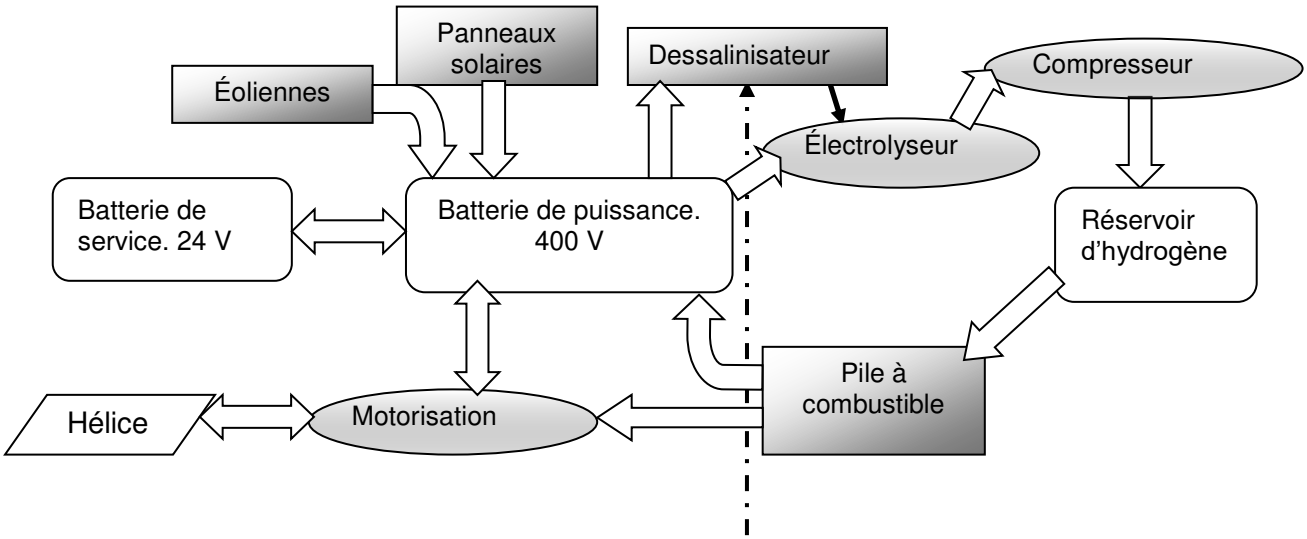
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

DOCUMENT RÉPONSE DR5

Flux d'énergie lors d'un déplacement sur batterie (fonctionnement normal).



Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) :
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

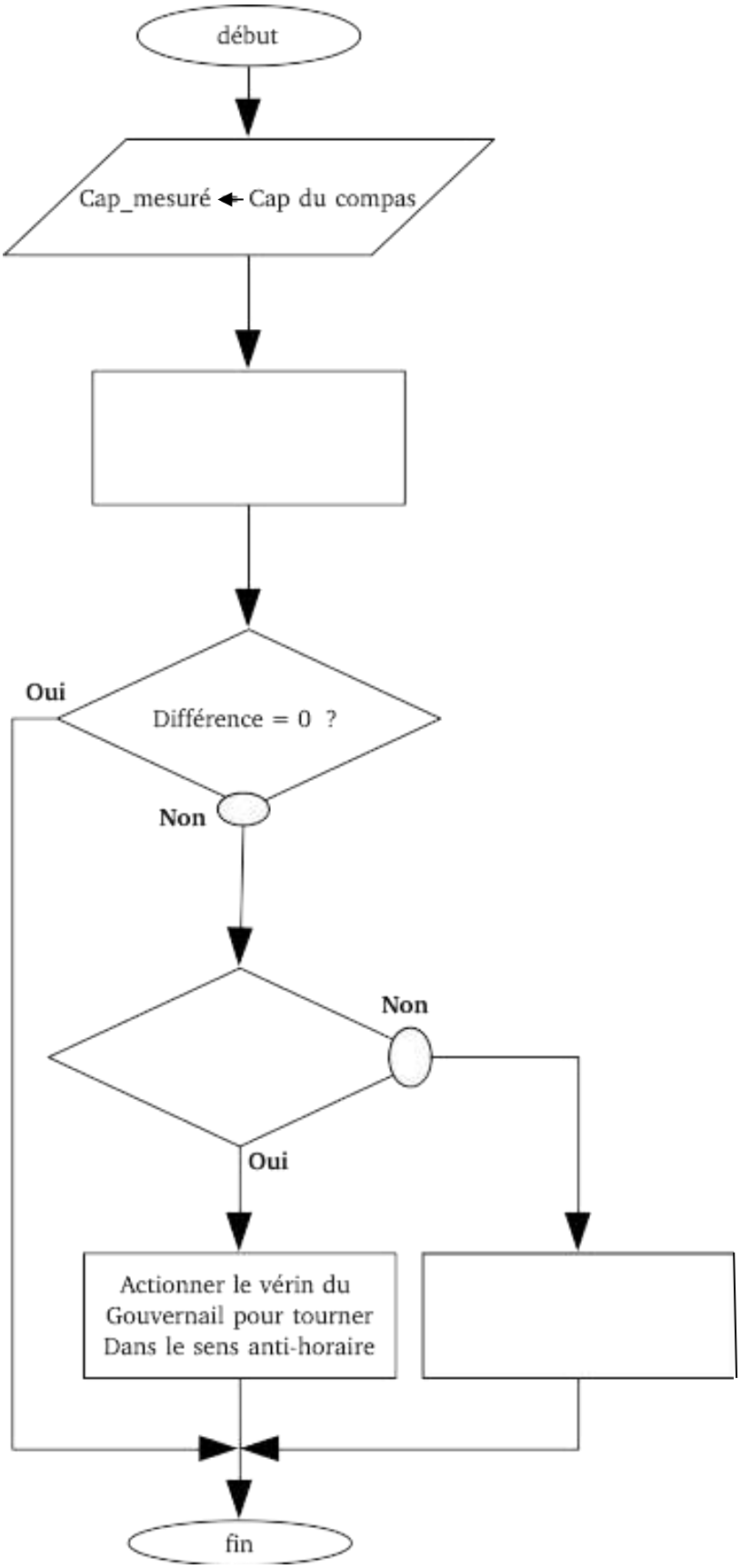
(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

DOCUMENT RÉPONSE DR6



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 : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

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.

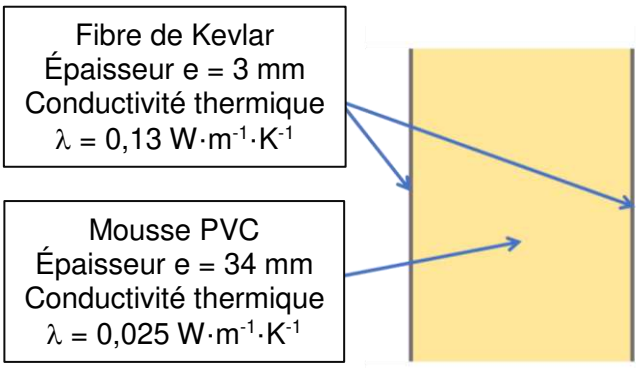
Travail demandé

Ce travail se décompose en deux études :

- 1ère étude consacrée au confort thermique dans la base vie.
- 2ème 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.



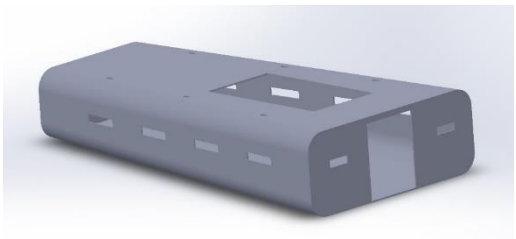
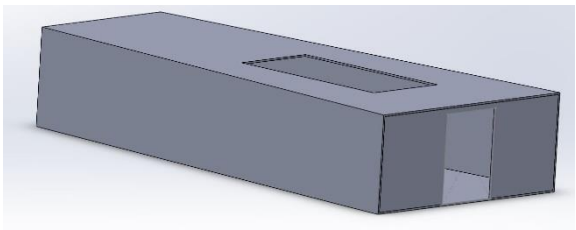
Les parois vitrées sont en plexiglass d'une **épaisseur de 7mm** et la conductivité thermique **(λ) est de 0,19 W·m^{-1}·K^{-1}.**

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 **DT S1, DT S2** **DR S1**	**Calculer,** grâce aux documents **DT S1** et **DT S2**, la résistance thermique $\mathbf{R_{paroi}}$ et le coefficient de transmission thermique **U** de chaque matériau en complétant le document **DR S1**. **En déduire** la résistance thermique $\mathbf{R_{paroi}}$ 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 »

	
Modèle réel	Modèle d'étude

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 **DT S2**	**Calculer** la surface totale des parois (S_p) en contact avec l'air extérieur. **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 **DT S1** **DR S2**	**Calculer** la puissance de déperditions des parois (P_{dp}), en complétant le document **DR S2**, à partir du document **DT S1**. **Déduire,** du tableau précédent, la part des déperditions dues aux parois vitrées par rapport aux déperditions totales. **Commenter** ce résultat.

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

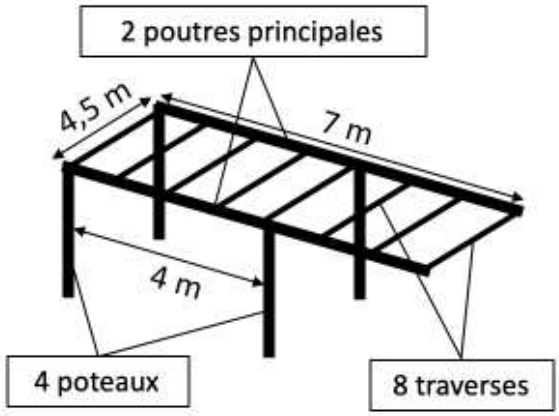
Question B.3	**Calculer** si un chauffage additionnel est nécessaire pour maintenir la température intérieure à 19°C. **Indiquer** la puissance à fournir par le chauffage.

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

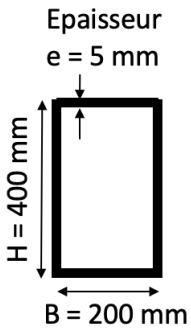
Partie C : *quel est l'intérêt de choisir une structure tubulaire pour la structure porteuse ?*

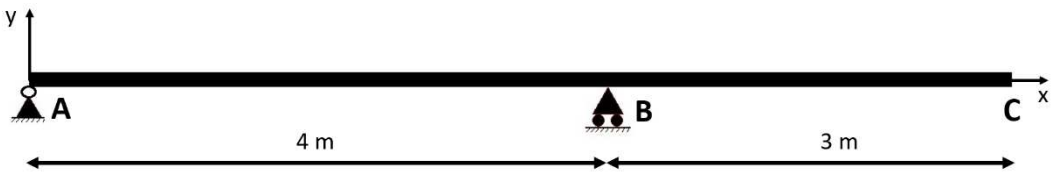


En raison d'un ensoleillement moins important et d'un soleil plus bas, la perspective d'une navigation en Europe du Nord, laisse craindre aux ingénieurs une production réduite de 75% avec les équipements actuels.
Pour compenser ces pertes, un portique à l'arrière de la base vie a été installé afin d'augmenter 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 reparties 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 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 $I_G = 1.5 \cdot 10^{-4}$ m⁴.
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 **DT S3** **DT S4**	**Calculer** la contrainte maximale (σ_{max}) dans la poutre à partir des documents **DT S3** et **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 **DT S5**	**Relever** la valeur maximale de la flèche (f_{max}) à l'état limite de service (ELS) sur le document **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 :

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

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

Résistance d'une paroi :

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

Coefficient de transmission thermique :

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

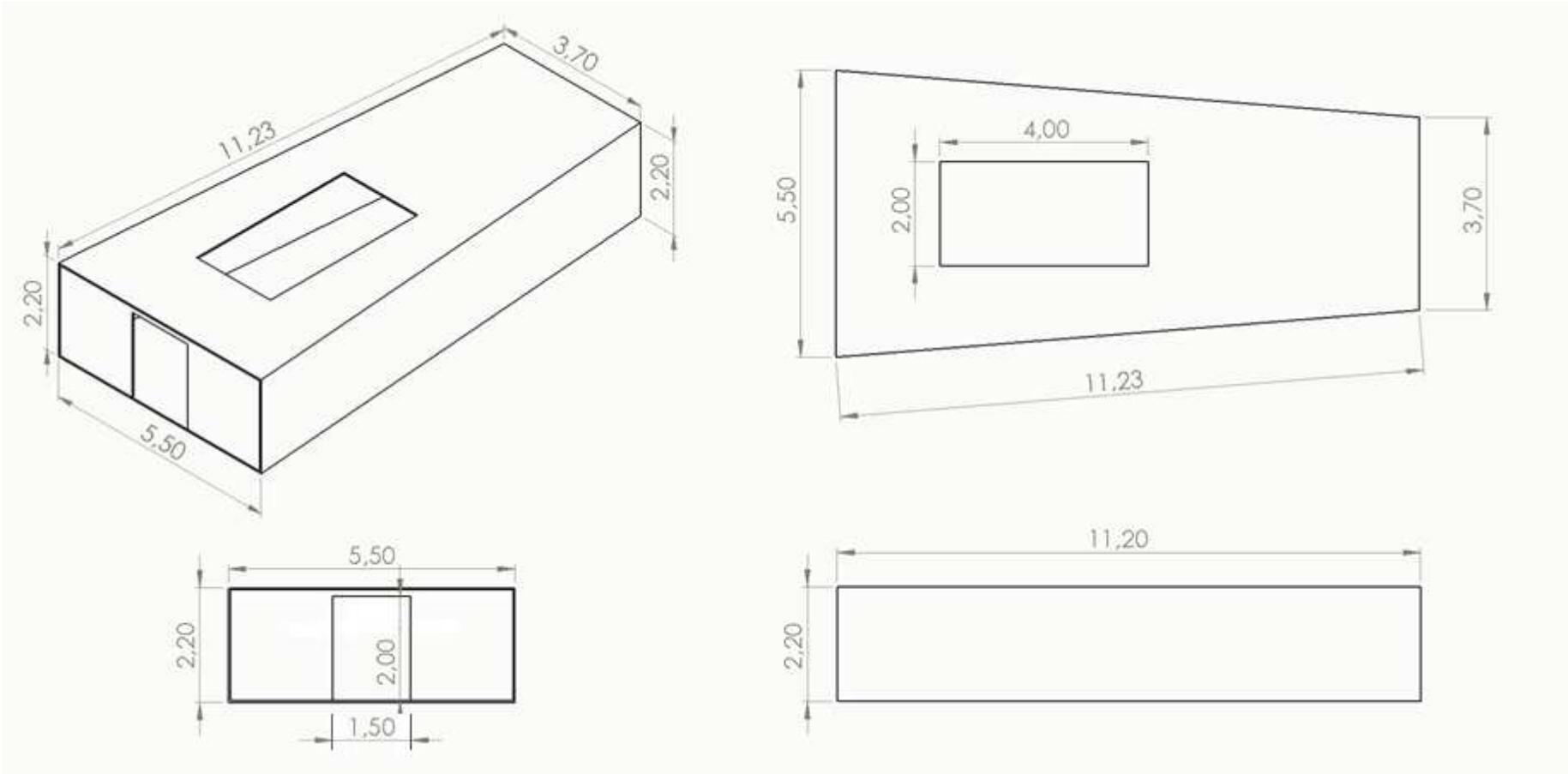
$[U_{parois}] = W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$

Puissance de déperdition d'une paroi :

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

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

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

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

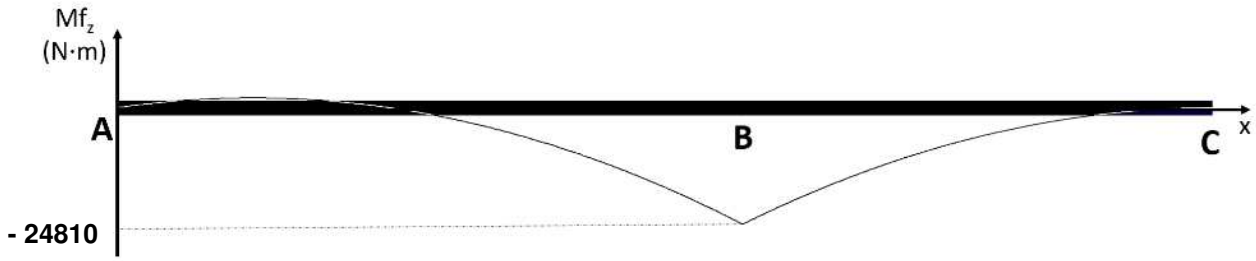
y la distance à la fibre neutre, ici y = 0,2 m ;

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

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

Avec la résistance élastique (R_e) du composite $R_e = 150$ 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 ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)	R_{paroi} ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)	**U ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)**
	e (m)	λ ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	R ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)	e (m)	λ ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	R ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)	e (m)	λ ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	R ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)			
Opaque	**0,003**	**0,13**	**……**	**……**	**……**	**1,36**	**0,003**	**0,13**	**……**	**0,19**	**……**	**……**

Parois	Plexiglass			Résistance superficielle ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)	R_{paroi} ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)	**U ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)**
	e (m)	λ ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	R ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)			
Vitrée	**0,007**	**0,19**	**……**	**0,15**	**……**	**……**

DR S2 : déperditions des parois

Parois	Surface (m^2)	U ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$)	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 : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV© avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV©, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV© se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.