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

ÉNERGIES ET ENVIRONNEMENT

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 32 pages numérotées de 1/32 à 32/32.

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

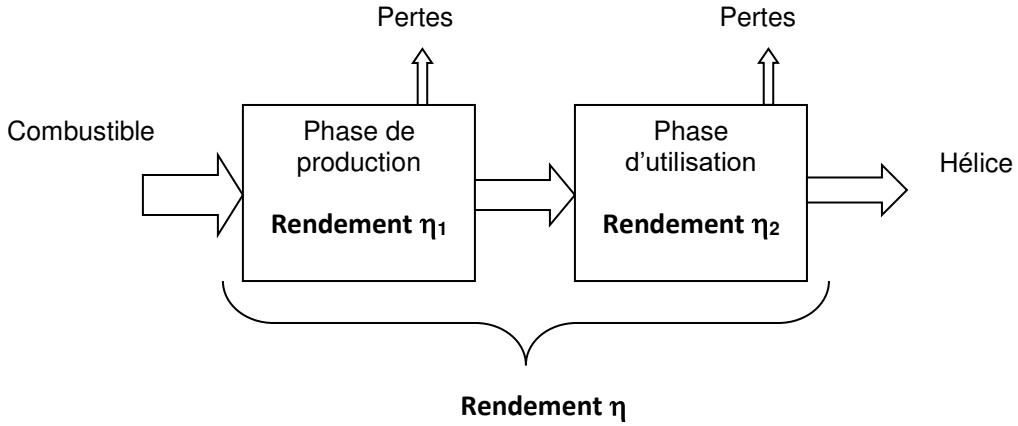
Compléter, sur le document réponse **DR1**, les noms de ces éléments en fonction de leur rôle dans la chaîne de production d'hydrogène.

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.

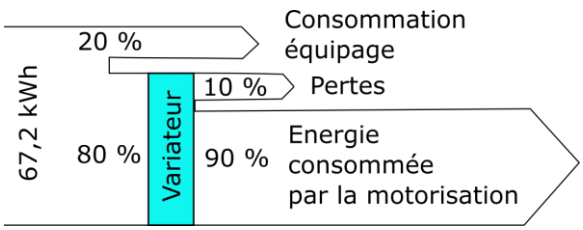
Après le coucher du soleil et jusqu'à 3 heures du matin, le bateau est propulsé uniquement à l'aide de l'énergie des batteries. Il s'agit de la deuxième phase de fonctionnement décrite dans **DR5.**

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.

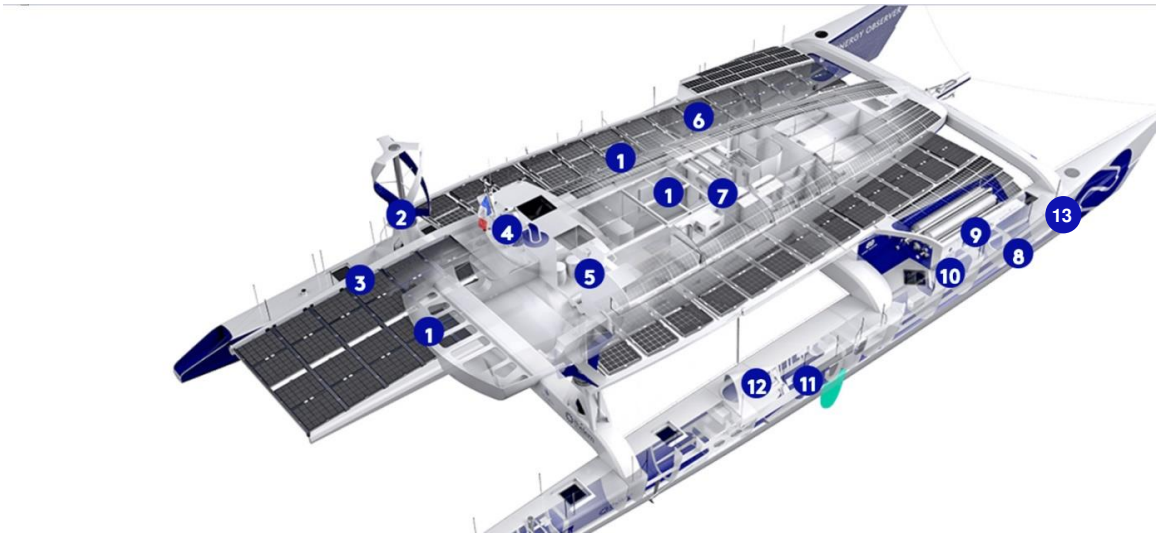
Le système est composé de :

- 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.**

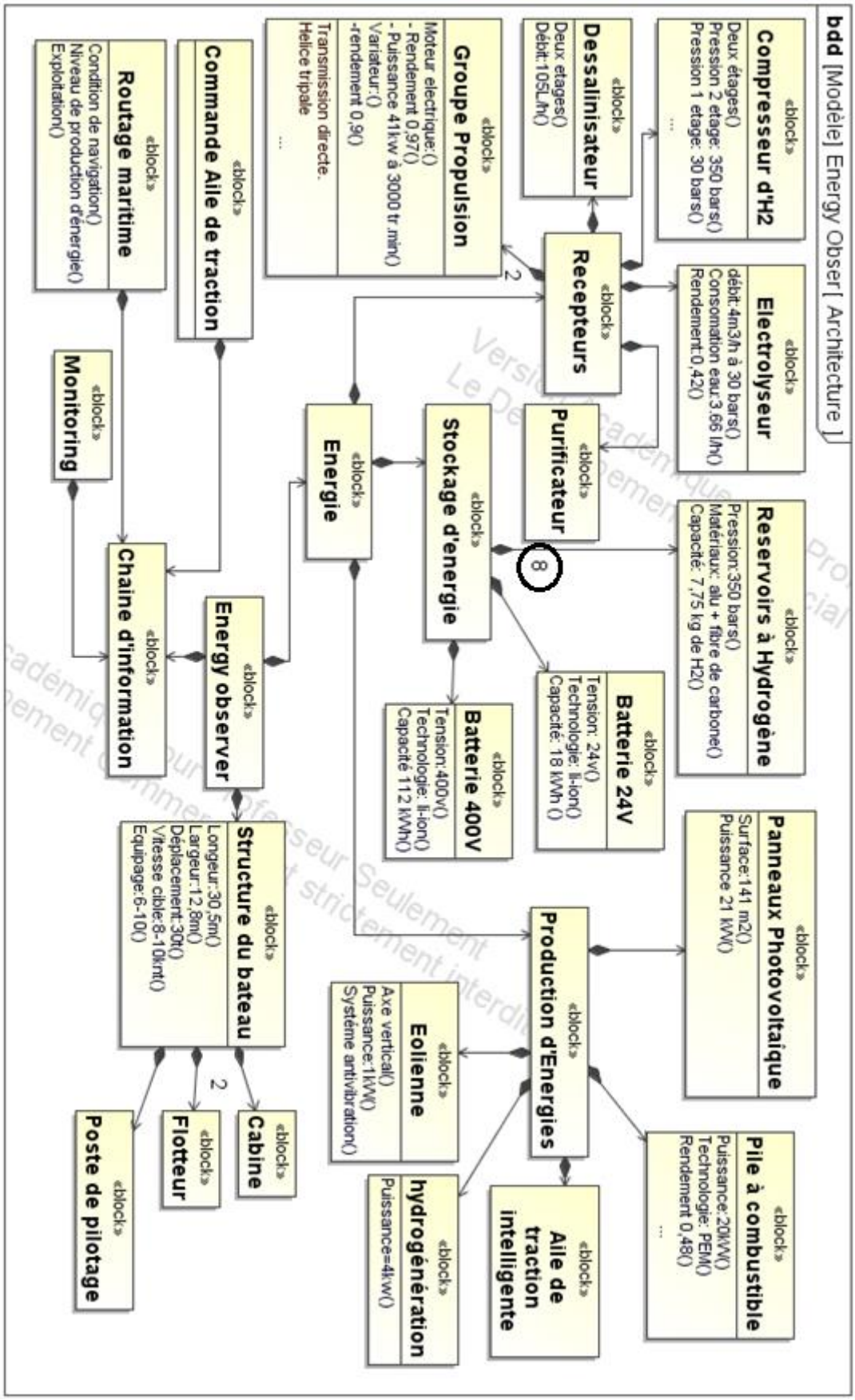
Question 5.4 **DR6**	**Compléter** l'algorigramme, présent sur le **DR6,** avec les trois fonctions suivantes : - Actionner le vérin du gouvernail pour tourner dans le sens horaire - Différence = « Cap_souhaité » – « Cap_mesuré » - Différence > 0

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

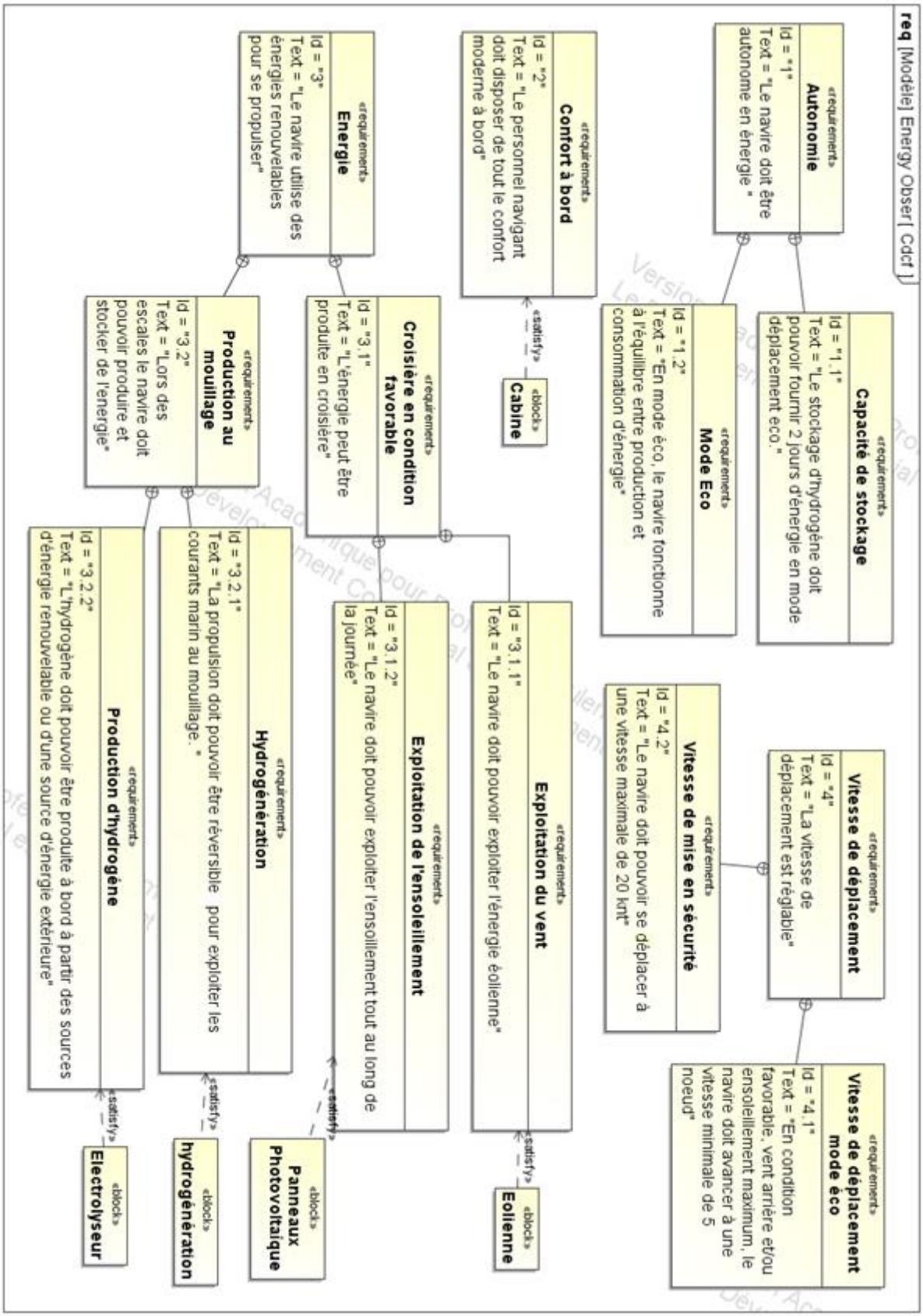
Combustible	Cycle de vie (Production jusqu'à l'utilisation)	Bilan CO_2 (g CO_2/kW·h)		
		Production	Utilisation	**Global**
Fuel	Extraction puis raffinage	55	270	**325**
Gaz naturel	Extraction puis raffinage, gazéification et compression	40	200	**240**
Hydrogène	Reformage* du gaz naturel puis compression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

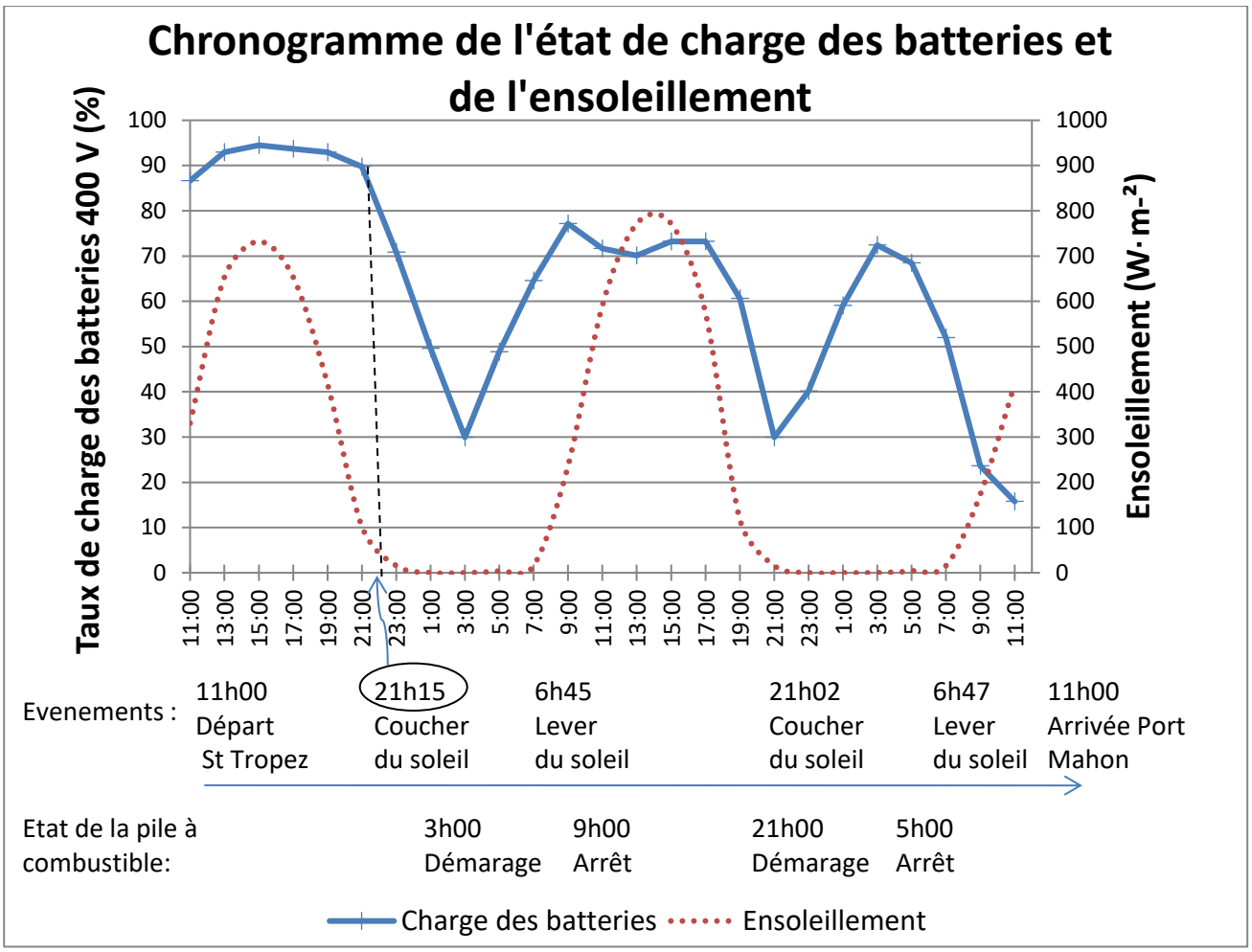
* Le **reformage** est une réaction chimique qui consiste à produire de l'hydrogène (H_2) à partir du méthane (CH_4) présent dans le gaz naturel.

** 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

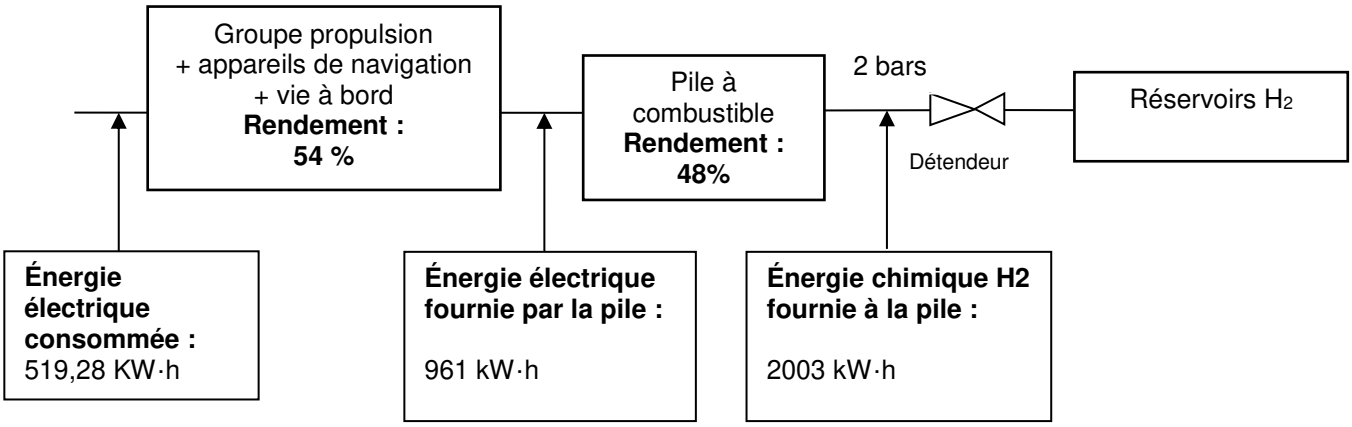
Production	
Panneaux photovoltaïques	198,6 kW·h
Éoliennes	0
Moteurs électriques réversibles	0
Apport Batteries	95,2 kW·h
Apport pile à combustible	277,43 kW·h
Total	519,29 kW·h

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

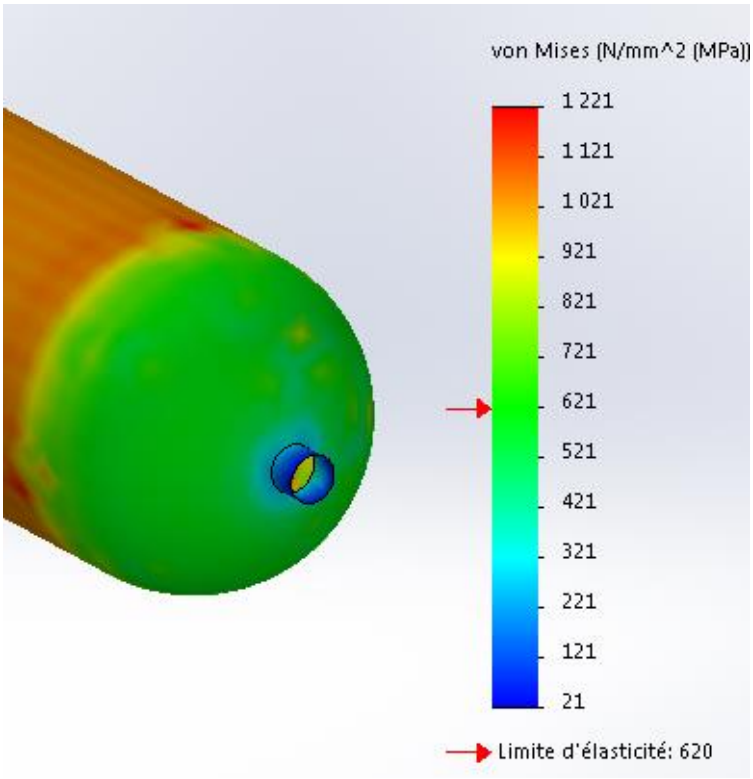
Téflon®, Viton® and Vespel® *est une marque déposée de Du Pont.*



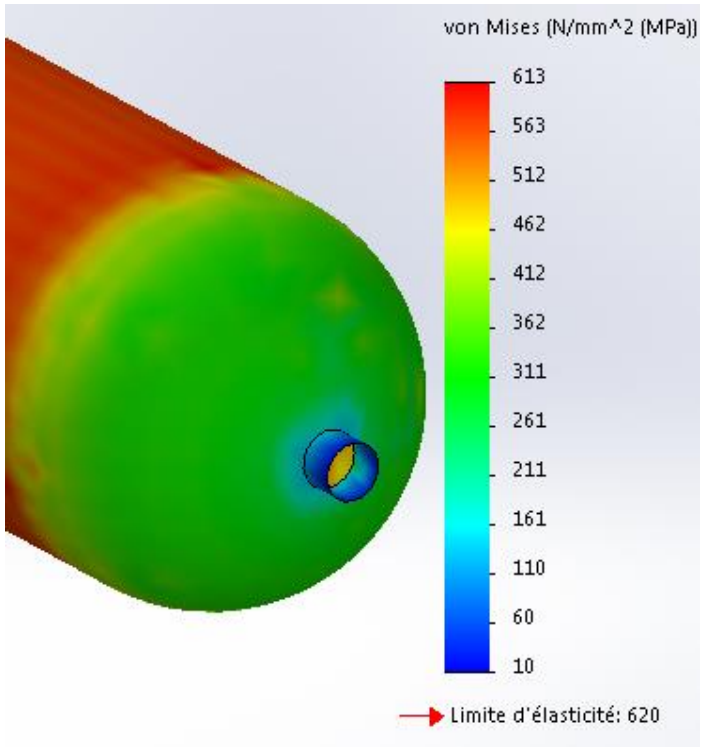
Caractéristiques & Avantages

- 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)

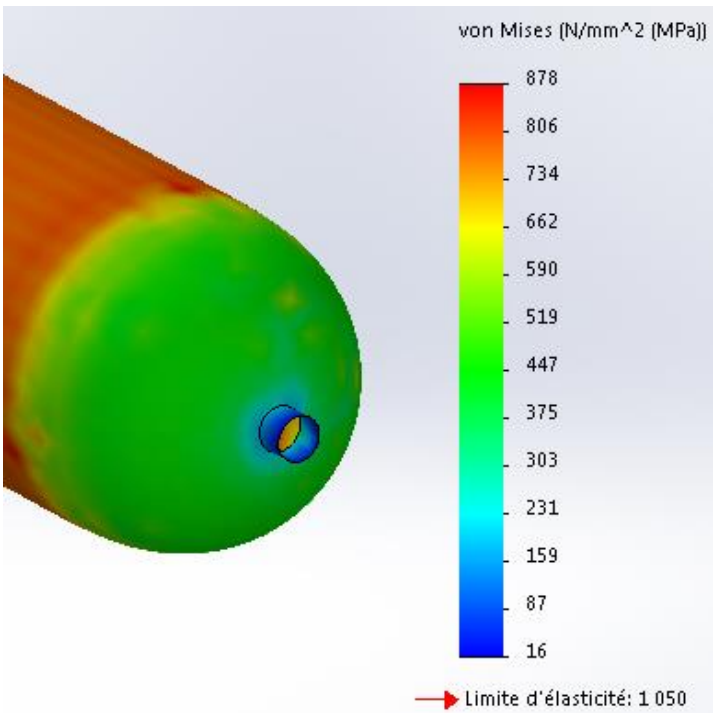
DT9 : choix du détendeur



6 mm Acier



11 mm Acier



8 mm Composite Epoxy / fibre de carbone

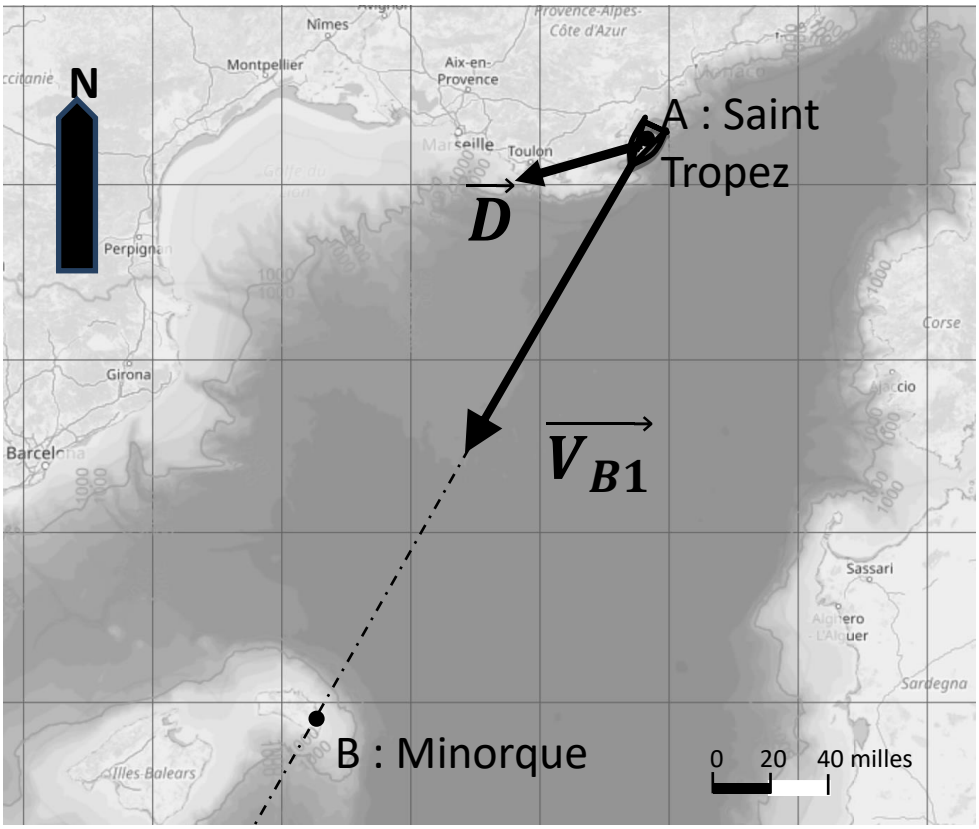
Masse volumique acier :
7800 $kg \cdot m^{-3}$

Masse Volumique Composite Epoxy / fibre de carbone :

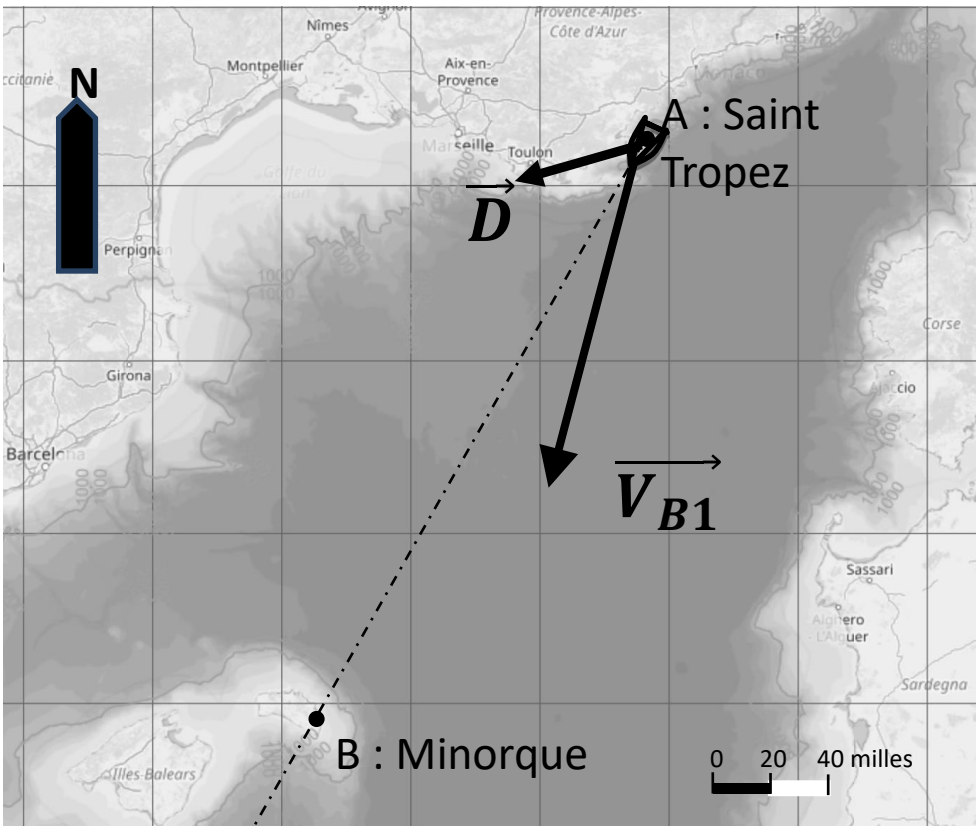
1600 $kg \cdot m^{-3}$

DT10 : déplacement du bateau

Cas de figure 1



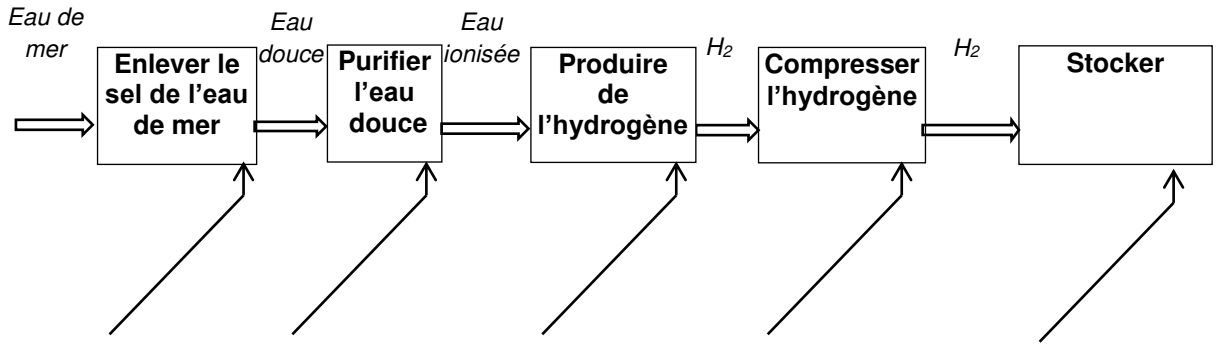
Cas de figure 2



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.)

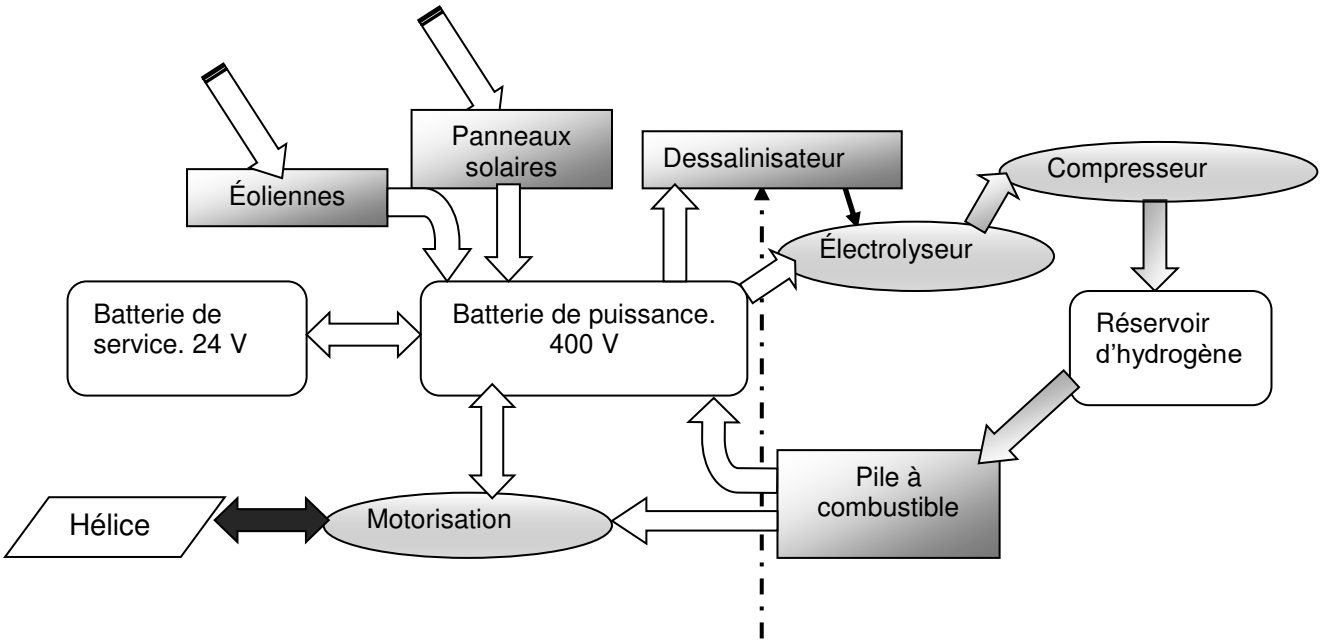
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : ☐☐ / ☐☐ / ☐☐☐☐

1.2

DOCUMENT RÉPONSE DR3

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



Légendes :

Production

Stockage

Réception

Flux électriques

Flux d'hydrogène

Flux mécaniques

Eau salée

Eau claire

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.)

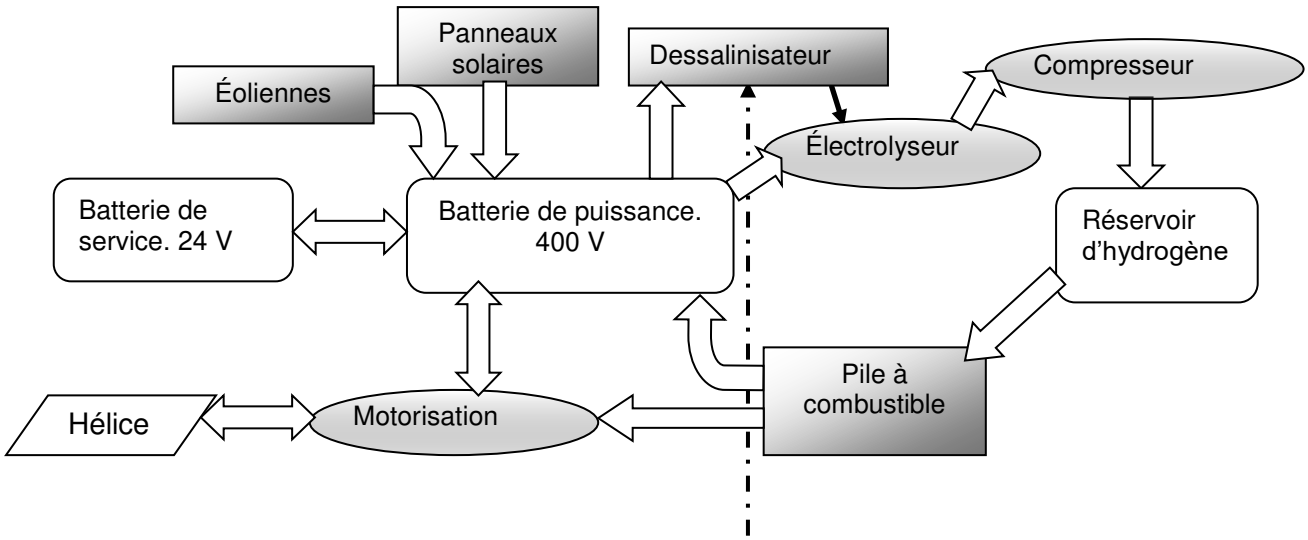
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

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 :

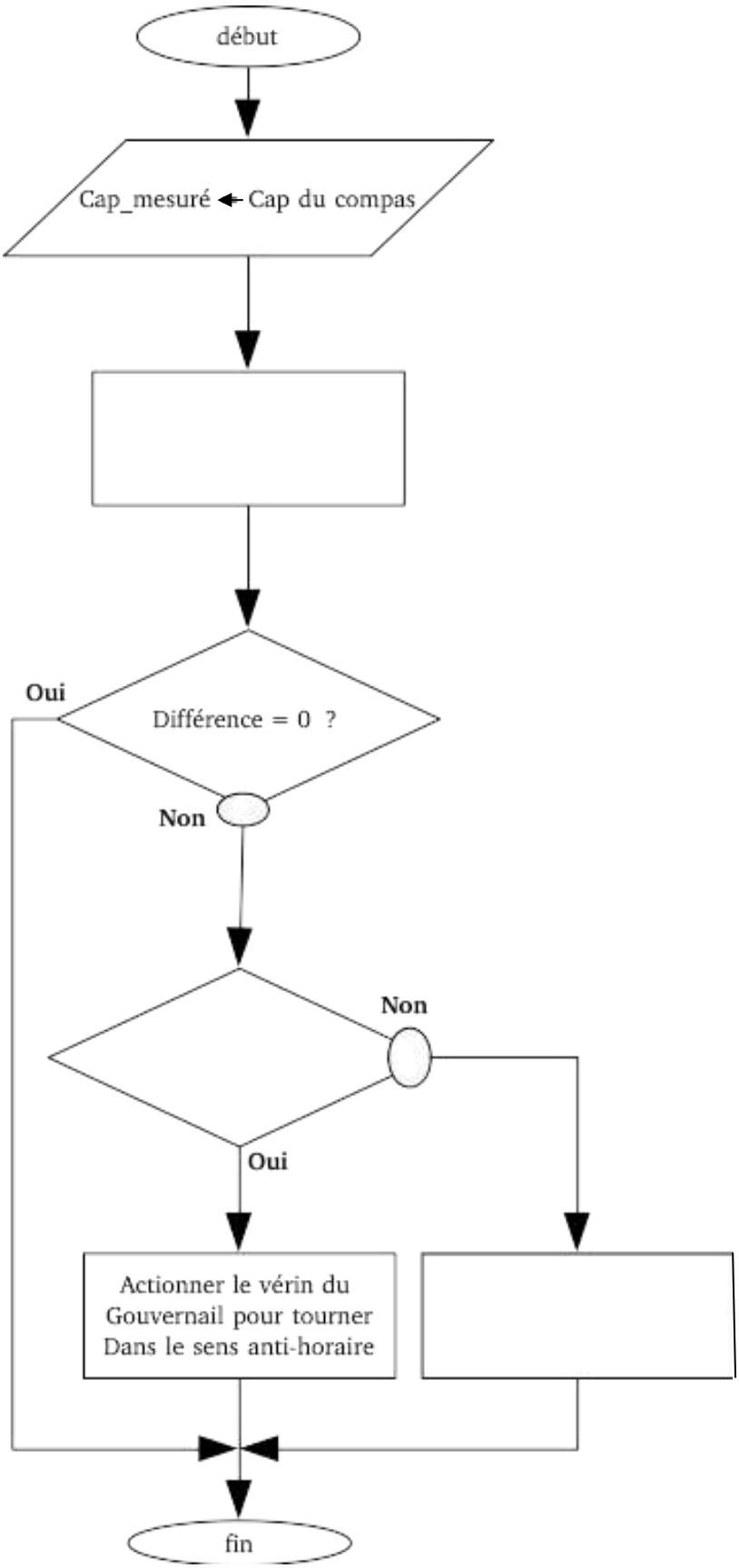
(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

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

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 DTS1 DTS2	**Justifier** la mise en série des 9 modules.
Question A.2 DTS1 DTS2	**Calculer** l'énergie nominale stockée dans un flotteur.
Question A.3	**En déduire** l'énergie totale stockée dans les 2 flotteurs.
Question A.4 DTS3	**Conclure** sur l'énergie électrique stockée prévue en se référant au diagramme de définition des blocs (BDD).

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).

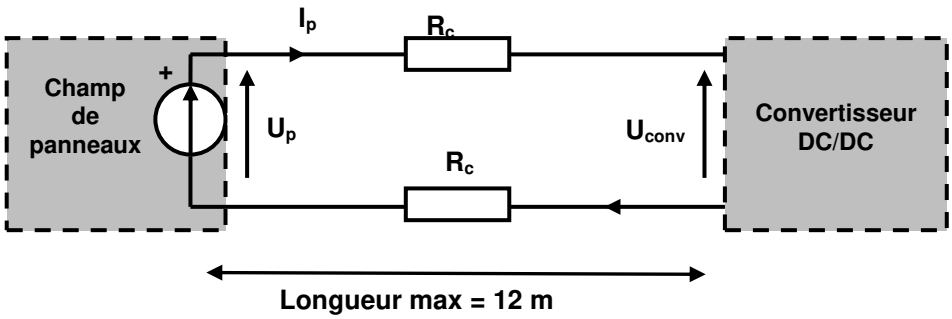
L'inconvénient de travailler en TBT (Très Basse Tension) est la chute de tension générée dans les câbles. Afin de minimiser ces chutes de tension, les ingénieurs ont dimensionné les câbles électriques reliant les champs et les convertisseurs DC/DC avec des sections de 68 mm².

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 : Ip = 80 A (courant maximum délivré par un champ) ;
Up = 30 V (tension délivrée par un champ) ;
Uc : tension en entrée du convertisseur DC/DC ;
Rc : 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 DTS6	**Justifier** l'utilisation des deux technologies de panneaux photovoltaïques.

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 DTS7	**Indiquer** la valeur de l'irradiance solaire mensuelle reçue par le bateau au port de St Tropez au cours du mois de mai. **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 DTS3	**Calculer** la production totale d'énergie électrique durant un jour.

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

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

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.

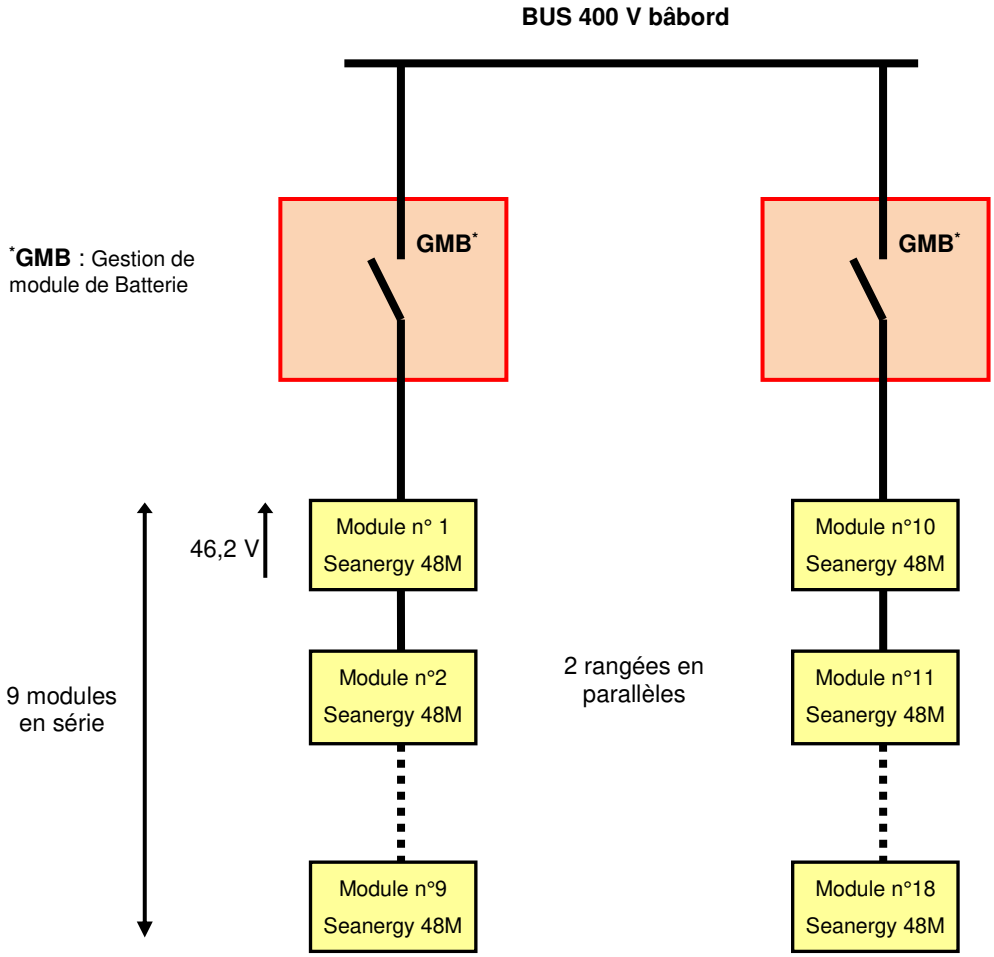
Les deux moteurs de propulsion sont de type Brushless (appelés aussi moteurs MSAP).

Question C.1 DTS8	**Indiquer** le critère principal qui justifie ce choix.
Question C.2 DTS8	**Citer** l'inconvénient majeur avec ce type de moteur.
Question C.3 DTS9	**Calculer** le rendement des moteurs utilisés (référence U313 F10, vitesse nominale 3000 tr/mn). On rappelle que : $\eta = Pu/Pa = Pu/(Pu+P_{ertes})$
Question C.4 DTS3	À l'aide du diagramme de définition des blocs (BDD), **valider** le choix des moteurs sur l'aspect rendement.

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® ($LiFePO_4$) 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).

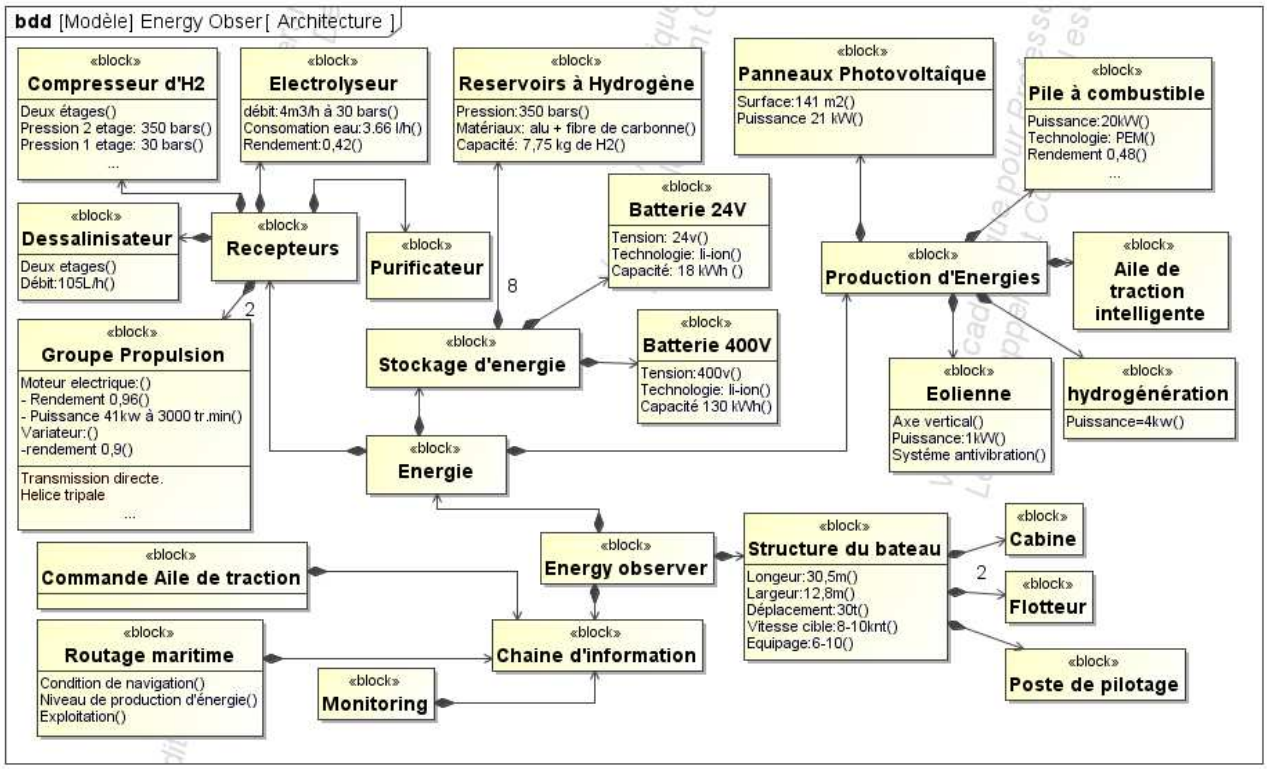


Applications

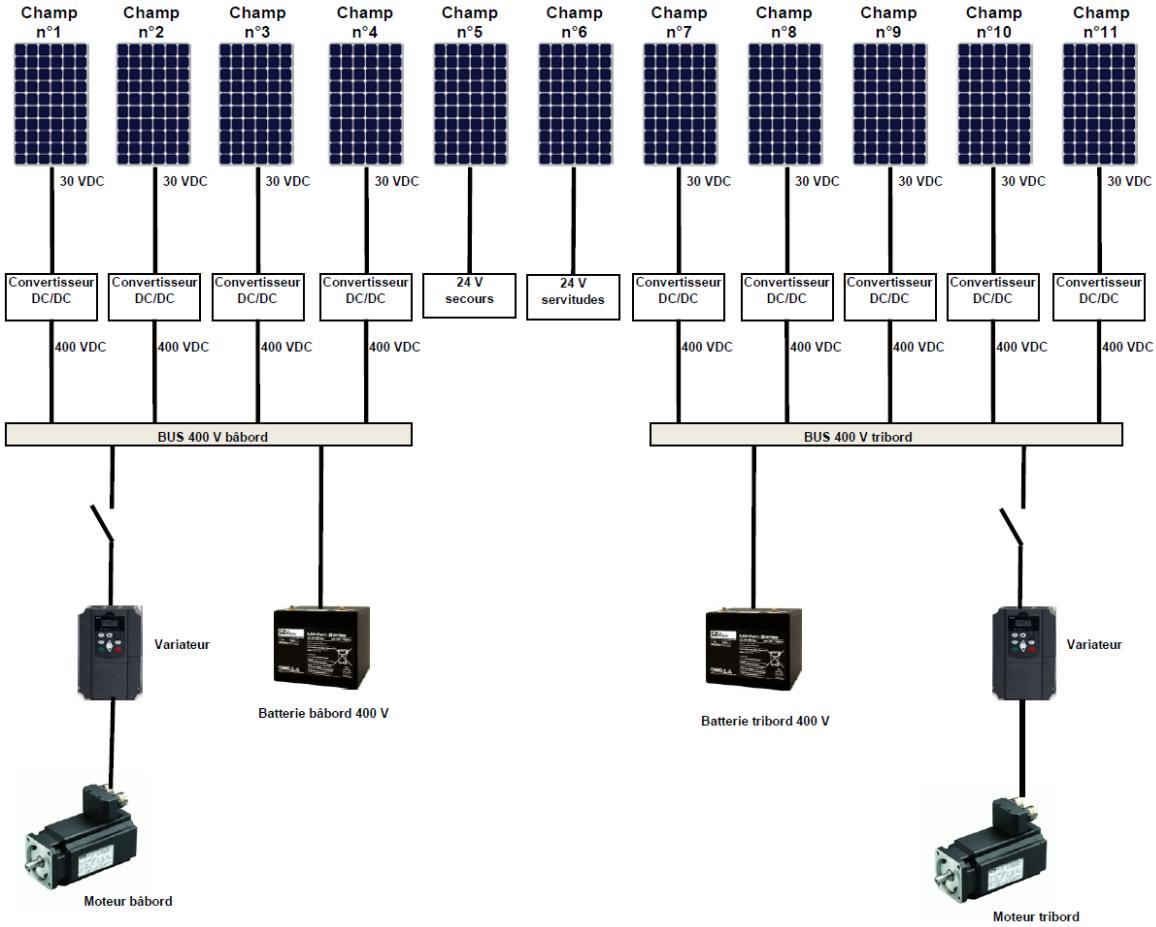
- Hybrid-electric and/or full electric propulsion
- Auxiliary systems, hotel load
- Emergency back-up
- Actuators

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

Draka Automotive & Aviation

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 (mm2)	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.	max.	min	max	max.	min.	min.
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.

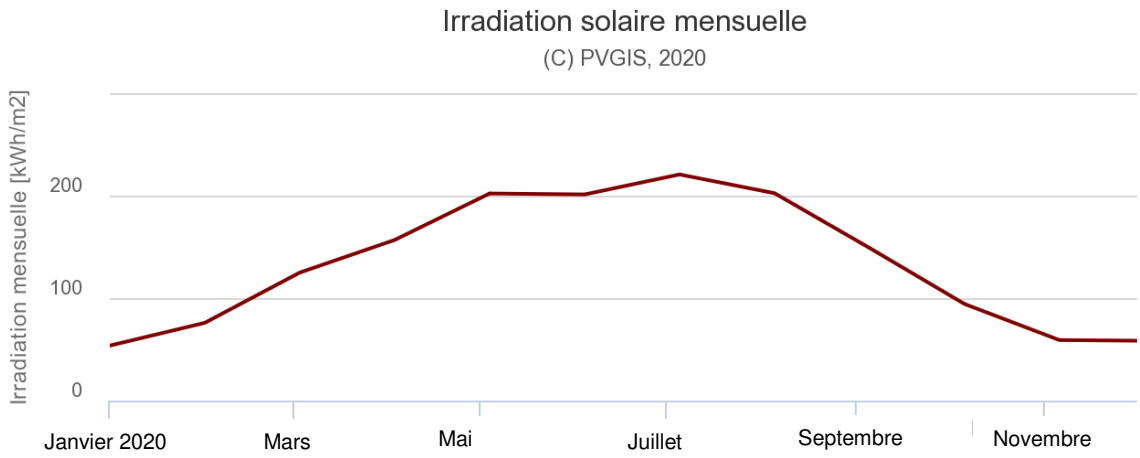
Certains ont été équipés d'un revêtement anti-dérapant, afin de permettre à l'équipage de marcher dessus en toute sécurité, notamment sur les flotteurs. Il apparaît que les panneaux équipés de ce revêtement ont montré un meilleur rendement que ceux qui ne l'étaient pas lorsque le soleil était bas.

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 : moteursU313 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

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.