

ÉNERGIES ET ENVIRONNEMENT

Étude de la chaîne de puissance du groupe propulsion



- **Présentation de l'étude et questionnaire**..... 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.

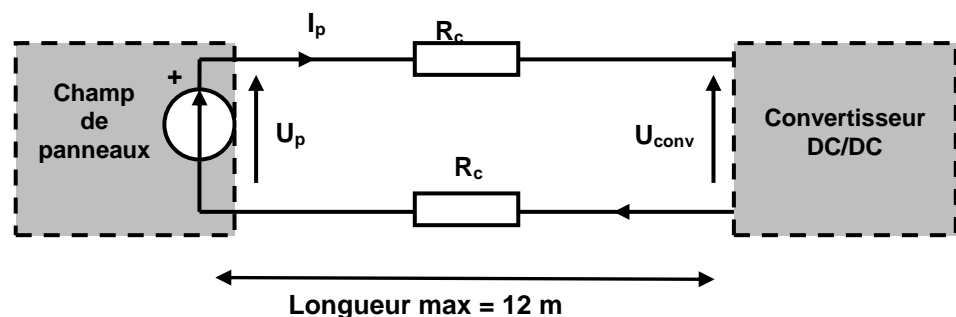
Question B.1

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

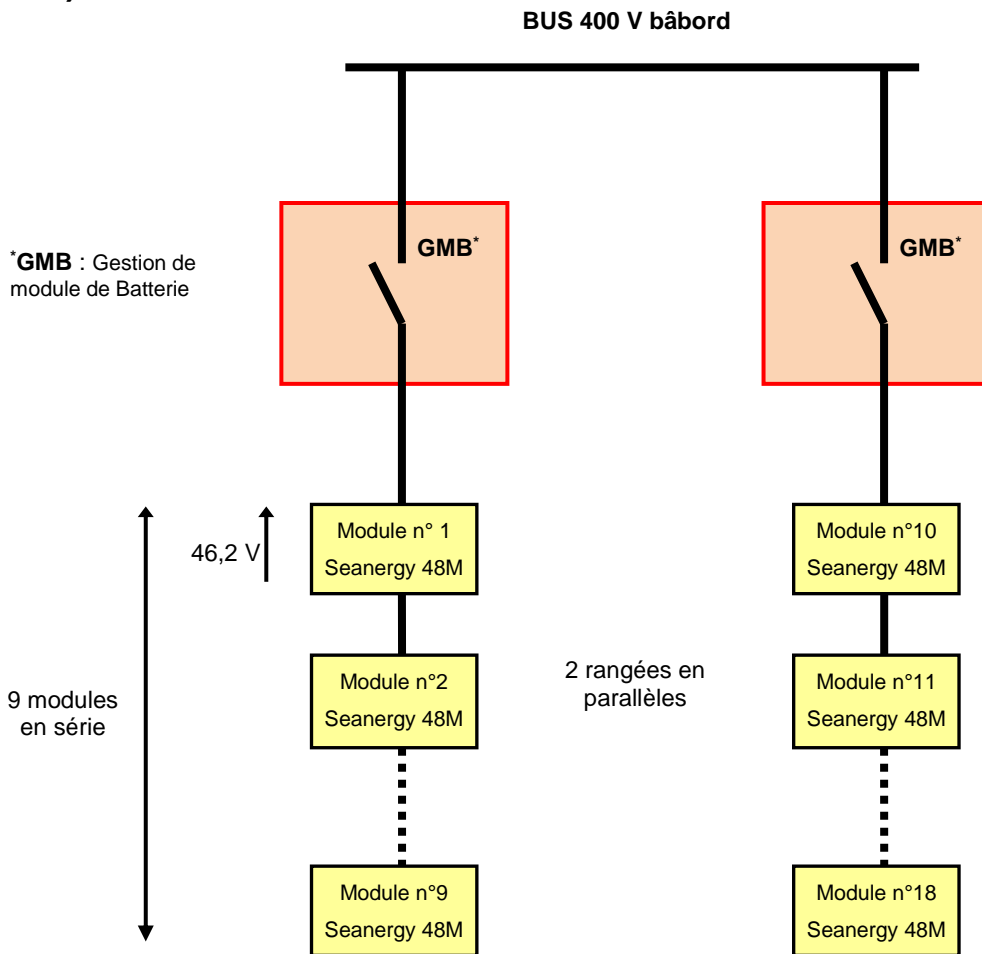
Question C.4 | À l'aide du diagramme de définition des blocs (BDD), **valider** le choix des moteurs sur l'aspect rendement.

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).

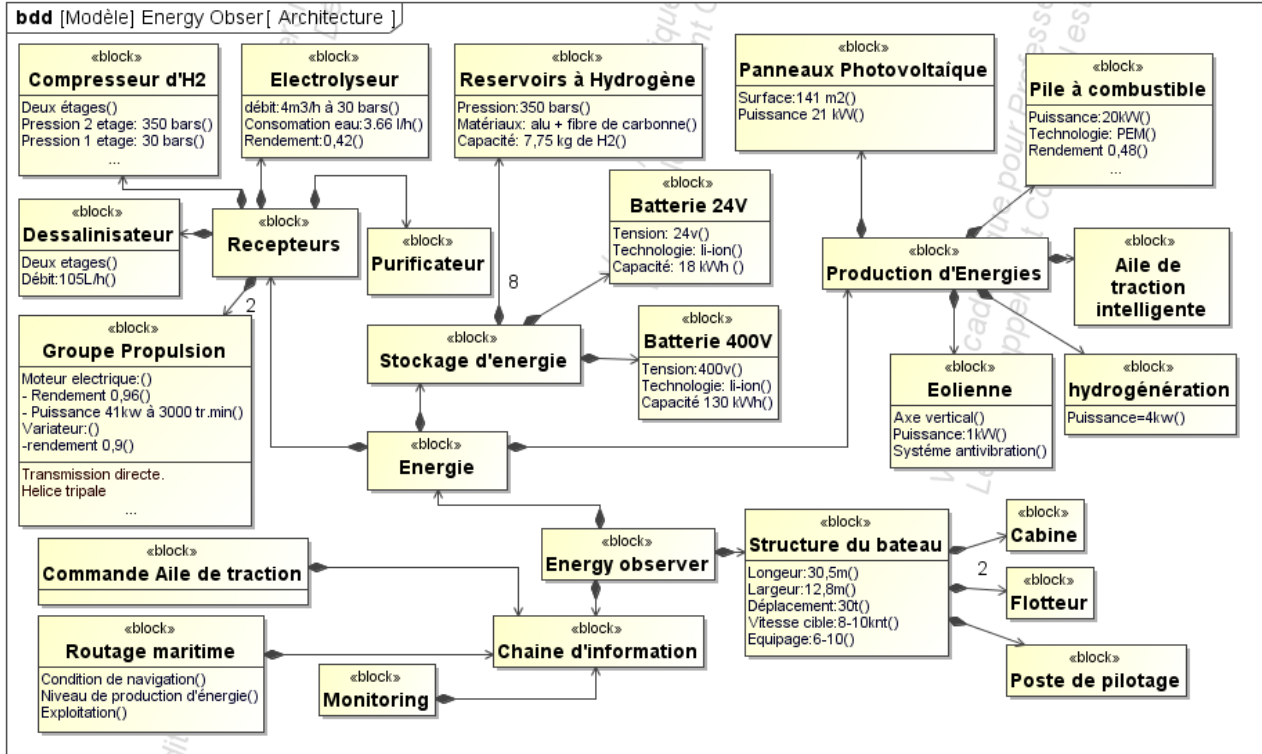


Applications

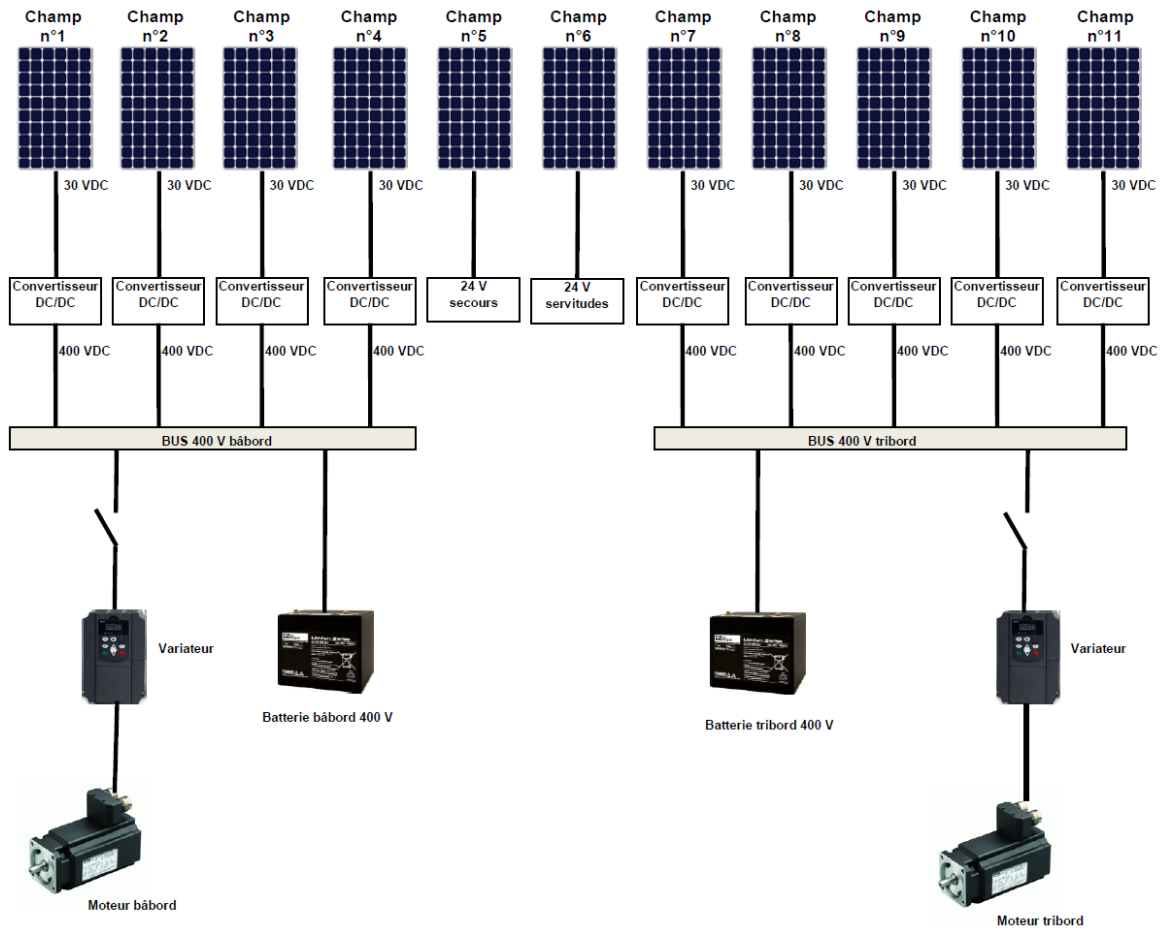
- Hybrid-electric and/or full electric propulsion
- Auxiliary systems, hotel load
- Emergency back-up
- Actuators

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.



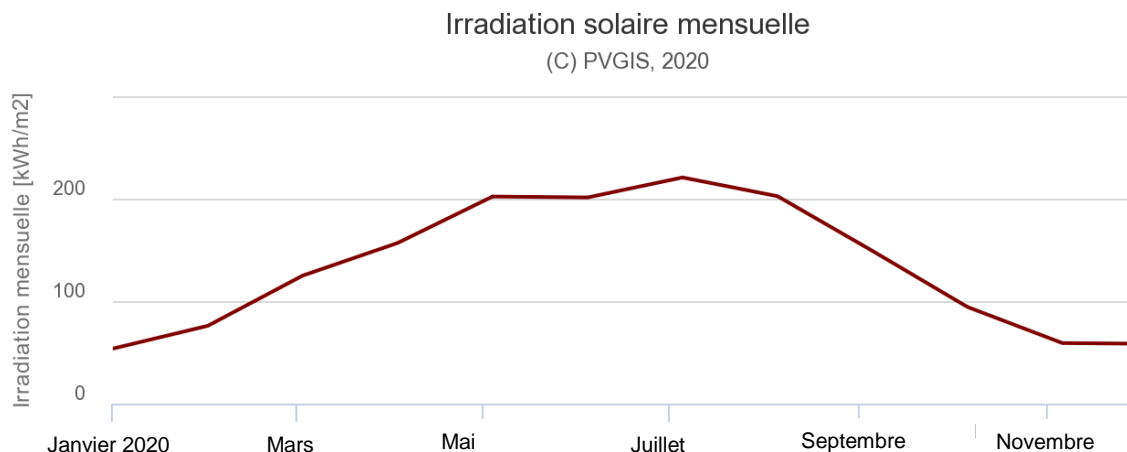
LES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES BIFACIAUX

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			
	tr/mn	1000	2000	3000	1000	2000	3000
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