

Les Savanturiers

20

AVRIL 2017

En mission avec les scientifiques du CEA

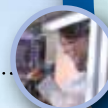


p. 2-3

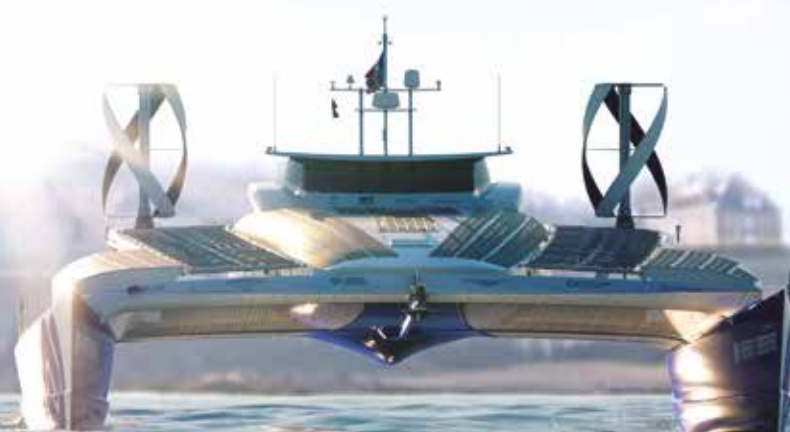


> Un tour
du monde écolo

p. 4-7



> Un catamaran
plein d'énergie(s)



Energy Observer largue les amarres

Ce catamaran de légende est prêt pour battre un nouveau record : naviguer grâce au couplage des énergies renouvelables. Pendant 6 ans, il accomplira une odyssée pour le développement durable, véritable exploit technologique pour la transition énergétique en milieu extrême.

Un tour du monde écolo

Faire le tour du monde sur un catamaran uniquement propulsé par des énergies renouvelables, c'est le défi que se sont lancés les membres des équipes d'Energy Observer et du CEA Liten, ses architectes énergétiques. Tout est prêt pour cette odysée, prévue pour durer jusqu'en 2023 !

Un duo aux commandes



Victorien Erussard (à gauche) est le capitaine du bateau et co-leader de l'expédition. Coureur au large au palmarès bien rempli : des Transats transatlantiques, la Route du rhum, une

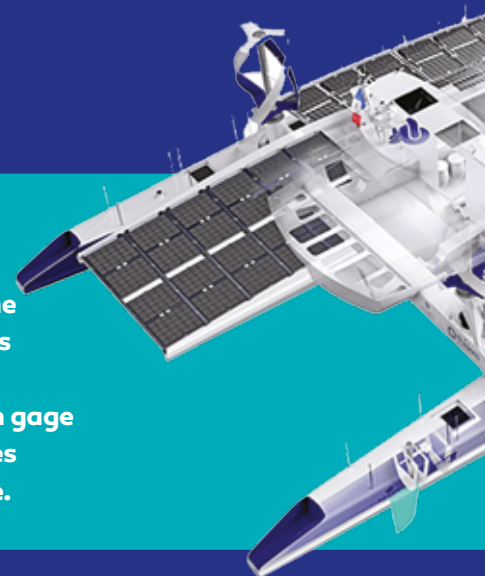
expédition au pôle Sud... il prend fait et cause pour ce challenge écologique. Jérôme Delafosse (à droite) est un explorateur réalisateur habitué des grands fonds qui a déjà réalisé de nom-

breux documentaires sous les mers. Co-leader de l'expédition, il se lance un nouveau défi : participer à la protection de la planète en faisant connaître des solutions concrètes pour la préserver.

“ Leur leitmotiv : réduire notre impact sur la planète sans réduire notre confort !

Pourquoi un catamaran ?

Choisir un catamaran, c'est disposer d'un observatoire énergétique qui naviguera aux 4 coins du monde. Il permettra de valider la chaîne hydrogène dans son ensemble : production – stockage – utilisation, couplée aux autres énergies renouvelables comme le solaire, l'éolien et les piles à combustible. Réussir malgré les conditions extrêmes liées à l'environnement marin est un gage supplémentaire de la faisabilité du mix énergétique à terre ; les technologies développées sur le bateau seraient adaptables pour des hôtels par exemple.



Seconde vie pour un géant des mers

Construit en 1983, c'est le premier multicoque à franchir la barre des 500 **milles** en 24 h, avant de participer avec brio à de nombreuses courses. Différents navigateurs le transforment... pour battre des records du tour du monde et de traversée de la Manche et de l'Atlantique Nord.

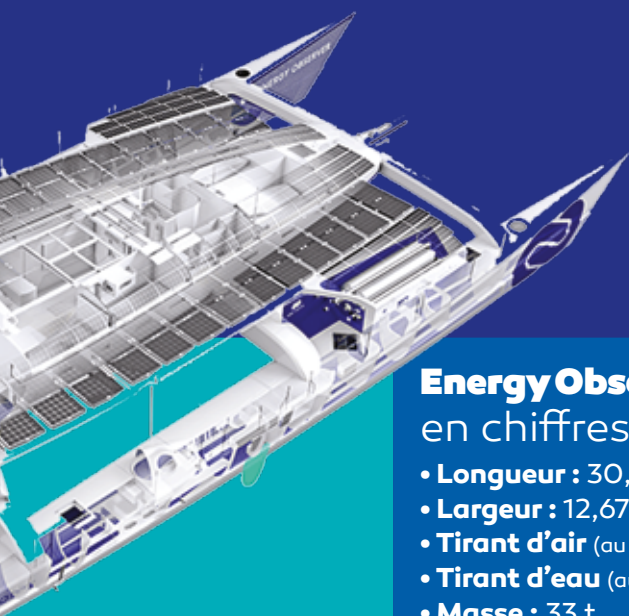
Après ses multiples succès, une seconde vie s'offre à lui en 2015. Il devient le premier catamaran électro-éolien français, sous l'égide de l'Unesco et avec le soutien de deux parrains prestigieux : Nicolas Hulot, président de la Fondation pour la Nature et l'Homme, et Florence Lambert, directrice du Laboratoire d'innovation pour les technologies des énergies nouvelles et les nanomatériaux du CEA.

De nouvelles missions

En imaginant ce tour du monde de 6 ans et 101 escales, navigateurs, architectes navals, chercheurs, ingénieurs... souhaitent faire la preuve que le concept de la transition énergétique est possible. Grâce au mix énergétique couplant l'hydrogène et les autres énergies renouvelables, le catamaran sera entièrement autonome et n'émettra aucun gaz à effet de serre.

Véritable plateforme expérimentale, Energy Observer leur permettra aussi de tester, éprouver et optimiser des solutions énergétiques innovantes, en conditions réelles, et non plus en laboratoire. A chaque étape, ils dresseront le bilan des énergies employées, et la répartition la mieux adaptée à la zone traversée.

Enfin, l'équipe, et plus particulièrement les navigateurs Victorien Erussard et Jérôme Delafosse, sensibilisera le grand-public, les collectivités locales et les entreprises au développement durable, via de multiples supports multimédia révélés au fil de l'eau.



Energy Observer en chiffres

- **Longueur** : 30,33 m
- **Largeur** : 12,67 m
- **Tirant d'air** (au dessus de l'eau) : 6,7 m
- **Tirant d'eau** (au dessous de l'eau) : 2,1 m
- **Masse** : 33 t
- **Vitesse max** : 10 noeuds
- **Moteurs** : 2 x 45 kW

Comment avez-vous été embarquée dans cette aventure ?

L'aventure a commencé dans la continuité du voilier Zéro CO₂, par une rencontre entre Victorien Erussard et notre ingénieur spécialiste des questions navales, Didier Bouix, dans un salon.

Pourquoi la trouvez-vous passionnante ?

Elle est passionnante car elle permet de relier plusieurs mondes, celui de la recherche que nous portons, celui de la mer, avec un marin exceptionnel, et l'univers des sponsors, avec le groupe ACCOR qui a aussi des besoins en matière d'optimisation d'énergie.

Quelles sont vos relations avec le parrain Nicolas Hulot ?

Nicolas est un parrain extraordinaire car il porte la transition énergétique. Je me retrouve aussi dans sa vision passionnée et engagée du monde de l'énergie, chacun étant dans un rôle différent. Nous nous sommes vus à plusieurs reprises et le temps fort a été sa visite des laboratoires de recherche du CEA Liten*, avec sa rencontre des équipes techniques. Aujourd'hui, plus d'une vingtaine de chercheurs et de techniciens du laboratoire sont impliqués dans le projet.

Enfin, quel message principal voulez-vous transmettre aux jeunes ?

Cette **Calypso** des temps modernes montre aux jeunes ce que seront les réseaux énergétiques de demain : faits de plusieurs vecteurs (électricité, chaleur et hydrogène). Les challenges seront non seulement de disposer des bonnes technologies, performantes, mais aussi des contrôle-commandes agiles qui permettront de les mettre en musique.

**Liten : Laboratoire d'innovation pour les technologies des énergies nouvelles et les nanomatériaux.*

“ Une vision passionnée et engagée du monde de l'énergie ”



Florence Lambert

Directrice du Liten et marraine du projet

YHLEXIQUETGXTKLFDG

Calypso : Célèbre navire, dédié à l'exploration scientifique maritime, du commandant Cousteau. De 1951 à 1996, il voyagea, avec son équipe, sur toutes les mers et océans du globe. Le navire fut baptisé Calypso, comme la nymphe de la mer de la mythologie grecque.

Milles : Unité de distance en mer. 1 mille = 1,852 km, 1 nœud = 1 mille/h.

Un catamaran plein d'énergie(s)

Interview

Quel est le rôle du CEA sur le projet Energy Observer ?

Nous sommes les architectes énergétiques du catamaran ; notre équipe a pour mission de combiner les éléments du mix énergétique. Nous allons, à partir de l'énergie solaire, créer comme des vases communicants entre des batteries et des réservoirs d'hydrogène.

Racontez-nous cette aventure...

Contactés en mars 2015, nous avons conçu, élaboré et fabriqué l'ensemble des sous-systèmes énergétiques courant 2016. Depuis début 2017, nous testons chaque brique avant leur intégration à bord. L'objectif, pour chaque mode de fonctionnement, sera de valoriser les surplus d'énergie en les stockant dans des batteries puis sous forme d'hydrogène, pour une autonomie totale. Un catamaran c'est deux bateaux en un ; Energy Observer c'est quasiment huit projets en un !

Va-t-elle continuer après la mise à l'eau ?

Nous serons aussi impliqués dans les premières phases de navigation, avec l'équipage, pour optimiser le couplage en conditions réelles. Par la suite, nous recevrons au laboratoire un reporting quotidien des données ; et, ponctuellement, des équipes partiront sur le bateau pour affiner les réglages.

Que vous a apporté cette expérience ?

Energy Observer est un défi humain, nous avons croisé les compétences d'un navigateur et de scientifiques. C'est aussi un défi technique, une première mondiale pour intégrer une chaîne énergétique complète, avec de nombreuses technologies nouvelles, sur un catamaran.

Nous allons faire la démonstration qu'un mix énergétique permet de proposer des solutions dans la vie de tous les jours, d'envisager des transpositions dans les domaines de l'habitat, du transport...

“ Ce sont des challenges techniques et humains qui font la force de la science ! ”

Didier Bouix

Ingénieur - Chef de projet Energy Observer au CEA

Un couplage énergétique

Sur Energy Observer, le Soleil et le vent sont les principales sources d'énergie. Le surplus produit est stocké pour une utilisation à court terme dans des batteries ou, à plus long terme, transformé en hydrogène grâce à un électrolyseur. L'hydrogène alimentera ensuite la pile à combustible pour produire de l'électricité et chauffer l'eau sanitaire.

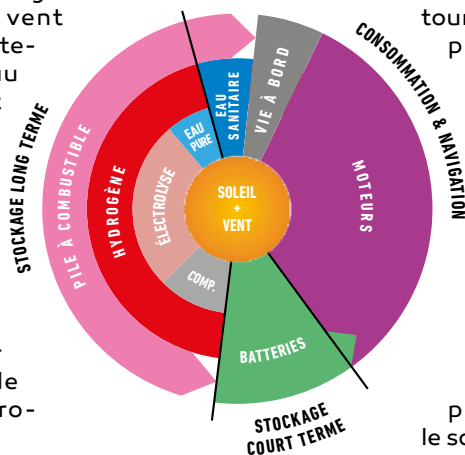
Le bateau fonctionne selon trois modes.

1/ A quai ou au mouillage, il ne consomme pas d'énergie hormis celle nécessaire à la vie à bord. L'énergie produite grâce au Soleil et au vent recharge ses batteries. Connecté au réseau, il pourrait même y injecter de l'électricité, suivant le principe des **smart-grids**. Tout le surplus est valorisé en démarant la chaîne de production par électrolyse et de stockage d'hydrogène.

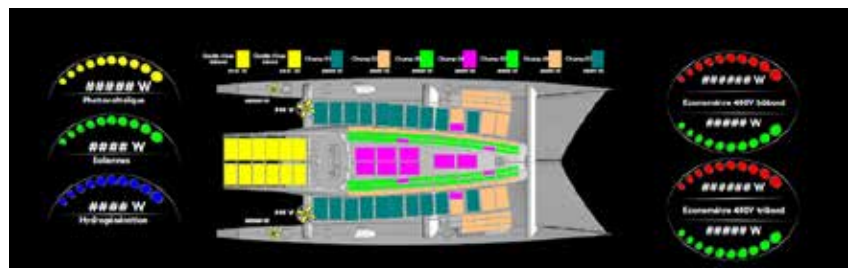
2/ Lorsque les conditions de navigation sont favorables, production et consommation sont à l'équilibre.

Les batteries servent pour les appels de puissance et la gestion des intermittences des différentes sources d'énergies. Alors que le kite intelligent assure une assistance pour de longues traversées, l'hélice continue de tourner et se comporte comme une dynamo, elle devient un hydrogénérateur. Les panneaux solaires et les éoliennes convertissent aussi de l'énergie.

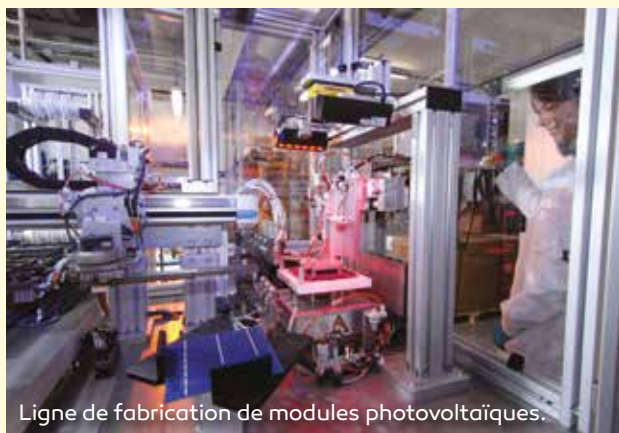
3/ Lorsque la production par le solaire et l'éolien est insuffisante pour couvrir la consommation, la pile à combustible, via l'hydrogène stocké, prolonge l'autonomie du bateau.



Un système de monitoring et de régulation entre consommation et production d'énergie permet de développer une stratégie énergétique en temps réel, pour un couplage optimum permettant de maintenir l'équilibre.



Les énergies renouvelables sont par nature intermittentes. Pour que le bateau dispose en permanence d'une énergie adaptée à sa consommation, chacune sera utilisée au mieux et de manière complémentaire. Partant de technologies existantes, tous les sous-systèmes énergétiques ont dû être adaptés à l'environnement marin, l'architecture du catamaran et la place disponible. Ceux destinés à produire ou stocker l'énergie ont fait l'objet de développements particuliers. Autre contrainte de taille, l'importance de conserver une structure légère (plus c'est lourd, plus ça demande de l'énergie). Et tout cela sans gêner la vie à bord !



Ligne de fabrication de modules photovoltaïques.

LE SOLAIRE

130 m² de panneaux solaires recouvrent les flotteurs, le « pont » et la verrière de l'espace de supervision. Objectif : maximiser la production d'énergie solaire au mètre carré.

A l'Institut national de l'énergie solaire, les panneaux ont été développés spécifiquement pour répondre aux contraintes du bateau. Ils ont été réalisés sur mesure, galbés selon un rayon suffisant pour épouser la forme de la coque. Près des flotteurs et à l'arrière, des ailes ont été ajoutées et équipées de panneaux bifaces qui utilisent la technologie **hétérojonction** pour recueillir les rayons solaires directs et indirects, par réverbération sur la coque et les flots. Comme toute cette surface doit rester compatible avec le passage des équipiers, elle est recouverte d'un revêtement antidérapant. Les ingénieurs ont aussi adopté la basse tension et toute une connectique spéciale leur permettant de travailler sans risque électrique.

LE VENT

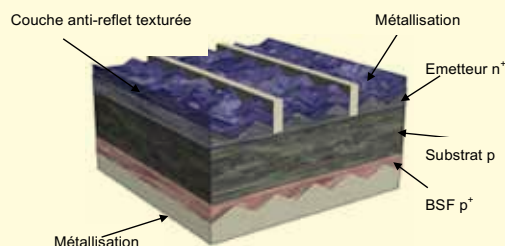
Le bateau est équipé de 2 éoliennes à axe vertical et d'un kite de traction intelligent. Les éoliennes génèrent de l'électricité à bord ; elles peuvent fonctionner au mouillage ou en navigation, de jour comme de nuit. En tractant le catamaran, le kite sert d'assistance à la navigation pour les grandes traversées. Cette voile de 50 m², reliée à la nacelle centrale par des lignes de 80 m, est gérée par un pilote automatique.

Au près elle volera en statique mais, **au portant**, elle décrira des 8 de façon dynamique, pour augmenter la force de traction et générer indirectement de l'électricité. En effet, l'hélice du moteur, qui tourne en permanence, fonctionne alors comme un hydrogénérateur et recharge les batteries.



Architecture d'une cellule photovoltaïque monoface

Les cellules sont architecturées autour d'un substrat de silicium dopé au bore (p). Sa surface est texturée et recouverte d'un anti-reflet afin d'augmenter sa capacité d'absorption des photons. Des éléments phosphore sont diffusés sur la partie supérieure pour créer un dipôle magnétique. Une couche d'aluminium (BSF p⁺) est déposée sur la face arrière afin d'augmenter la différence de potentiel électrique. Des métallisations à base d'argent sont réalisées sur les faces avant et arrière afin de pouvoir connecter les cellules.



“ Tous les panneaux ont été fabriqués, caractérisés et leur fiabilité dans le temps testée au laboratoire. Nous verrons comment ils tiennent en environnement marin, extrême.

Rémi De Bettignies



“ Nous avons conçu les architectures électriques pour interfacer les énergies entrantes : le Soleil, le vent et l'hydrogénération et les énergies sortantes servant au moteur et toute la vie à bord.

Roland Reynaud



YHLEXIQUETGTKJDFSPÙ

Au portant : Un voilier est au portant lorsque le vent vient de l'arrière.

Au près : Allure d'un voilier lorsqu'il remonte au vent.

Hétérojonction : Jonction formée de deux semi-conducteurs différents ou d'un métal et un semi-conducteur.

Smart-grid : Réseau électrique intelligent, optimisant production, distribution et consommation (et éventuellement stockage) de l'énergie, en temps réel.

L'objectif est de valoriser les surplus d'énergie produits par le vent ou le Soleil en les stockant dans des batteries puis en générant de l'hydrogène à partir d'eau de mer, pour une autonomie totale.



Test de batteries en enceinte sécurisée.

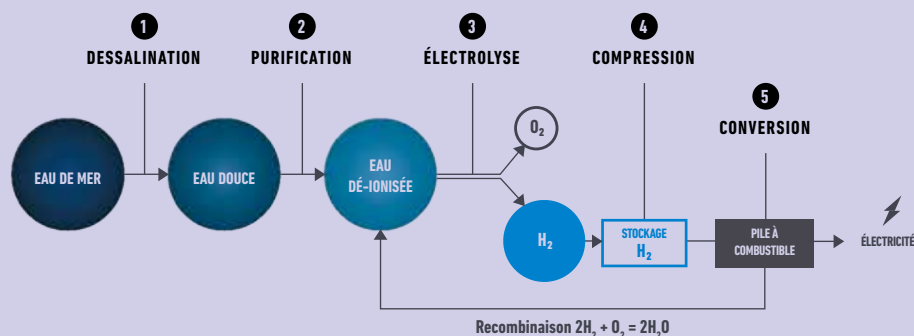
LES BATTERIES

Les batteries stockent l'énergie à court-terme et alimentent deux réseaux distincts : l'un de 400 V et l'autre de 24 V. Le premier est utilisé pour la gestion des appels de puissance, la propulsion, l'électrolyse et la compression de l'hydrogène ; le second pour la vie à bord et les équipements de contrôle-commande et de sécurité. Les batteries lithium-ion développées au CEA ont été choisies car elles présentent un bon rendement, peuvent se décharger complètement et se recharger rapidement en restituant 90 % de leur énergie.

LA CHAÎNE HYDROGÈNE

Sur Energy Observer, utiliser l'hydrogène comme **vecteur** d'énergie a demandé plusieurs développements spécifiques. Il a fallu adapter un dessalinisateur, pour produire de l'eau douce et pure pour l'électrolyse. L'électrolyseur a été conçu pour l'environnement marin et la vie à bord ; cela nécessite une technologie robuste et tolérant différents régimes de fonctionnement et de nombreux marche/arrêt. Compte tenu du volume limité pour le stockage, des compresseurs

adaptés mettront sous pression les 60 kg d'hydrogène produits dans 8 réservoirs de 3 m de long montés en 2 grappes. Dès la conception, le risque de fuite a été pris en compte. L'hydrogène est complémentaire aux batteries ; il permet d'embarquer 20 fois plus d'énergie à masse égale, avec un temps de remplissage du réservoir plus rapide. Il sert de stockage d'énergie à long terme avant d'être utilisé comme carburant de la pile.



Pourquoi l'hydrogène ?

C'est l'élément le plus abondant, quasiment inépuisable, sur Terre. Par contre, il n'existe pas à l'état naturel, il faut donc le produire, notamment par électrolyse des molécules d'eau. Comme c'est aussi la plus petite molécule, il faut concevoir des réservoirs adaptés (étanches et supportant de fortes pressions) pour le stocker. La chaîne hydrogène : électrolyse, compression, stockage et utilisation n'émet pas de gaz à effet de serre, à condition d'utiliser des méthodes à base d'énergies renouvelables !

“ Il faut dessaliniser et dé-ioniser l'eau de mer pour pouvoir l'utiliser dans l'électrolyseur.

Sébastien Germe



Zéro CO₂

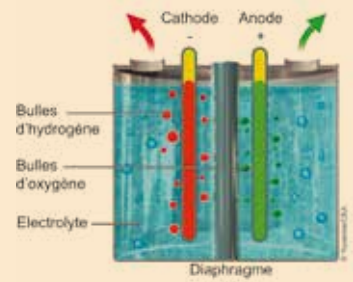
C'est le nom du premier voilier dont le moteur électrique est alimenté par une pile à combustible à hydrogène développée par le CEA. Parti à l'été 2010, il a participé, en Méditerranée, à plusieurs missions scientifiques sur le climat et l'étude de matériaux pour piles à combustible.

Mise au point du couplage hydrogène-pile à combustible.



L'électrolyse est une méthode qui permet de réaliser des réactions chimiques grâce à une activation électrique. C'est un processus de conversion de l'énergie électrique en énergie chimique. Une cellule d'électrolyse est constituée de 2 électrodes (anode et cathode) plongées dans un électrolyte (solution conductrice d'ions) et reliées à un générateur de courant.

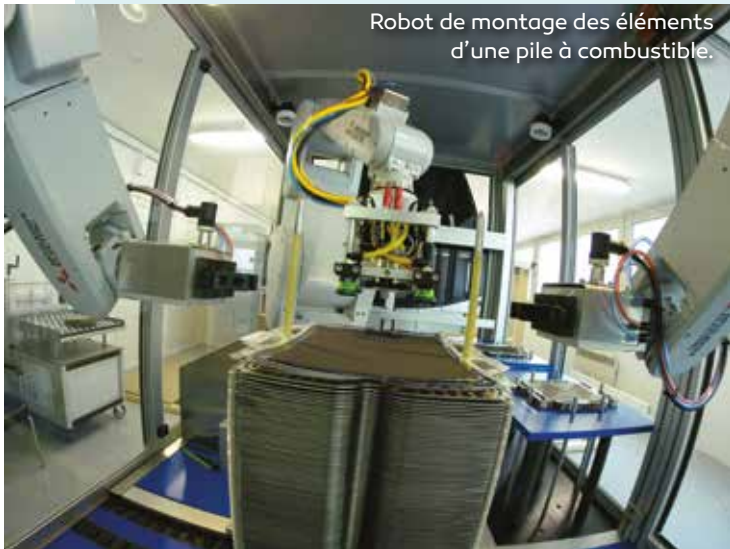
En faisant circuler un courant, l'eau est décomposée en dihydrogène et dioxygène : $2 \text{H}_2\text{O}$ (liquide) $\rightarrow 2 \text{H}_2$ (gaz) + O_2 (gaz)



“ Les normes de sécurité de l'industrie ont été appliquées sur ce bateau, avec une intégration sur mesure.

Julien Bonnard

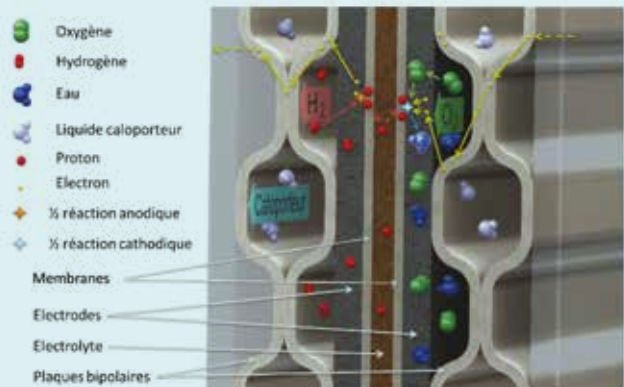
Robot de montage des éléments d'une pile à combustible.



LES PILES À COMBUSTIBLE

Une pile à combustible fonctionne à l'inverse d'un électrolyseur. C'est un convertisseur d'énergie qui associe de l'hydrogène (carburant) et de l'oxygène (comburant) pour former des molécules d'eau ; cette réaction électrochimique génère de l'énergie électrique et thermique. Les équipes ont travaillé sur le design des plaques bipolaires et des assemblages membranes électrodes. Un système innovant et complet : filtres, pompes et éjecteur, a été développé pour protéger la pile du sel et du soufre

Zoom sur le cœur de pile



Une pile à combustible est composée d'un assemblage de membranes et de plaques bipolaires qui ont pour fonction d'alimenter en gaz le cœur de pile.

“ On part d'un schéma explicatif pour concevoir la pile avant de la fabriquer.

François Sauzedde



YHLEXIQUETGKJDFSPÛJHDFCVBXN

Vecteur d'énergie : Ce n'est pas une source d'énergie, mais une méthode permettant de stocker et transporter de l'énergie d'un endroit à un autre.

L'expédition Energy Observer 2017-2023



Le catamaran a été mis à l'eau, dans le port de Saint-Malo, en avril 2017.

Prêt à partir ?

Vous aimeriez embarquer pour une étape à bord de ce catamaran. Pour cela, il vous faut tout connaître de sa mission ; alors testez-vous !

1. Le mix énergétique du catamaran comprend :

- a. Vent, Soleil, Hydrogène
- b. Eolien, Solaire, Batterie
- c. Eolien, Solaire, Pétrole

2. 130 m² de la surface du bateau sont recouverts de :

- a. Tapis de course
- b. Récupérateurs d'eau de pluie
- c. Panneaux solaires

3. A masse égale, par rapport aux batteries, l'hydrogène permet d'embarquer :

- a. 10 fois plus d'énergie
- b. 50 % d'énergie en plus
- c. 20 fois plus d'énergie

4. Production et consommation d'énergie sont régulées :

- a. Manuellement par l'équipage
- b. Depuis un poste de commande à terre via un satellite
- c. Grâce à un système de monitoring automatique sur le bateau

5. Lorsque l'équilibre entre les énergies est atteint, l'hélice continue de tourner.

- a. Vrai
- b. Faux

6. Est-ce qu'une pile à combustible permet de stocker de l'énergie ?

- a. Oui
- b. Non

Réponses : 1a et b - 2c - 3c - 4c - 5a - 6b

Sites

- **CEA** : www.cea.fr
- **CEA jeunes** : www.cea.fr/jeunes
- **Liten** : liten.cea.fr/cea-tech/liten
- **Energy Observer** : www.energy-observer.org/
- **Retrouvez les Savanturiers en version web, les vidéos et les interviews** : <http://cea.fr/go/savanturiers>



Éditeur : Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, RCS Paris B 775 685 019

Directeur de la publication : Xavier Clément

Conseiller scientifique : Didier Bouix

Ont participé à ce numéro : Julien Bonnard, Didier Bouix, Hélène Burlet, Rémi de Bettignies, Sébastien Germe, Florence Klotz, Florence Lambert, Lucia Le Clech, Roland Reynaud, François Sauzedde.

Crédits photos : O. Borde / Energy Observer - Kadeg Boucher - Didier Bouix - Quentin Chiche - JS. Evrard / Energy Observer - C. Dupont / CEA - DR

Création, réalisation et impression : FILcom www.filcom.fr - Mai 2017 - ISSN 2271-6262

Nous remercions Fabienne Chauvière d'avoir accepté que nous empruntions le titre de son émission.



Ne peut être vendu

@ Les recherches du CEA sur...
Energy Observer
depuis www.cea.fr/Pages/domaines-recherche/energies/energies-renouvelables/

@ Des animations pour comprendre chaque technologie liée aux énergies renouvelables



Les livrets pédagogiques
n° 19 « Énergies du XXI^e siècle »
et n° 12 « L'hydrogène »
dans la Médiathèque
du site www.cea.fr

