




Texte et photos François-Xavier Ricardou.

## Motorisation électrique


# 3 essais à transformer



**1** Outremer 42, le diesel-électrique. Juste sous le groupe électrogène, le moteur électrique refroidi par eau vient s'adapter à l'horizontale sur le Saildrive.

Loin de se généraliser, la propulsion électrique des voiliers est néanmoins dans le vent. Plusieurs projets ont été commercialisés cette année. Nous avons testé trois versions, séduisantes, différentes techniquement, mais pas encore totalement satisfaisantes.

propulsé par un moteur électrique qui trouve son énergie dans un gros parc de batteries. Le moyen de charge de ces batteries s'appuie sur la régénération depuis l'hélice ou depuis un chargeur branché sur le quai.



**2** Bi-Loup 36, le tout électrique. Installé à la place d'un réservoir d'eau, le parc batteries reste la seule source d'énergie pour le moteur électrique.

**S**ans un bruit, le Bi-Loup 36 quitte le ponton. Curieux, je dépose les marches de la descente pour voir ce qui se cache dessous. Rien, la cale est vide ! Non, au fond, j'aperçois, en bout de ligne d'arbre, un moteur qui prend à peine plus de place qu'une boîte à chaussures. Bienvenue dans le monde de la propulsion électrique.

d'une propulsion électrique, mais ayant retenu des solutions différentes pour alimenter les moteurs.


L'Outremer 42 et le «diesel-électrique». Installée sur un 42 pieds, il s'agit d'une propulsion alimentée, directement et exclusi-

**Nous avons eu l'opportunité d'essayer trois bateaux, chacun équipé d'une propulsion électrique, mais ayant retenu des solutions différentes pour alimenter les moteurs.**

Le Lagoon 420 et l'hybride. Lagoon mise sur la propulsion hybride développée sur le Lagoon 420. A savoir deux systèmes différents d'alimentation : le voilier peut être propulsé par l'électricité contenue dans les batteries ou au besoin créée par un groupe électrogène Diesel. Depuis son lancement l'année dernière, 50 catamarans Lagoon 420 naviguent avec ce type d'installation (voir notamment VV n° 427 pour une présentation complète).

Un monde merveilleux a priori : silence presque total, pas de pollution, variation de vitesse souple (accélération ou décélération), absence de mécanique (pas de boîte de vitesses ou d'inverseur), longévité des moteurs, absence quasi totale de maintenance, coût d'installation et d'entretien faible. Reste une ombre dans ce concert de louanges : le stockage de l'énergie électrique. En l'état actuel de la technologie, elle passe forcément par les fameuses batteries. Trop lourdes et trop peu performantes, ces dernières forment le principal frein au développement de masse de la propulsion électrique.

vement, par un groupe électrogène Diesel. Ici, l'usage du moteur électrique passe nécessairement par la mise en route du générateur.



**3** Lagoon 420, l'hybride. Une carte électronique gère le fonctionnement des moteurs : propulsion ou recharge, ainsi que la mise en route du générateur.

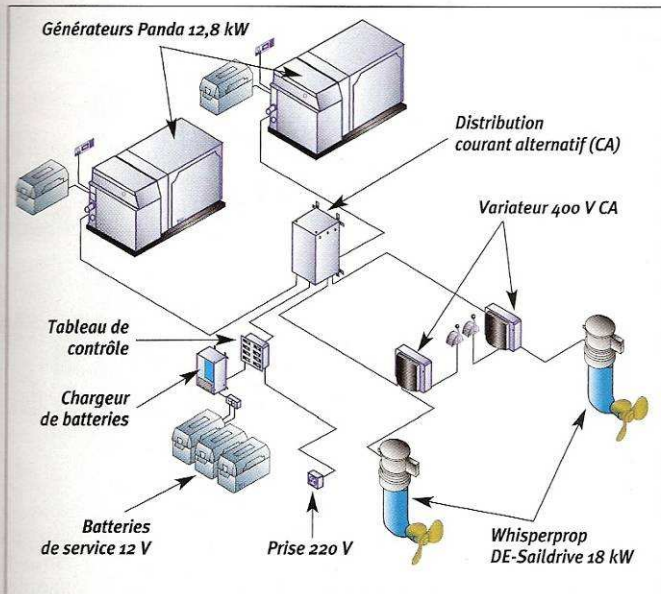
En attendant qu'émergent d'autres solutions (voir notamment l'encadré sur les piles à combustible), les chantiers tentent de répondre à une demande de plus en plus pressante de la part des propriétaires. Nous avons eu l'opportunité d'essayer trois bateaux, chacun équipé

Le Bi-Loup 36 et le «tout électrique». Point de moteur Diesel sur ce Bi-Loup 36 entièrement

Trois axes de développement, trois options techniques, trois résultats, mais pour aucun d'eux une réelle satisfaction. A chaque rencontre avec les concepteurs, après chaque essai, nous avions le sentiment d'avoir fait un pas en avant, mais pas suffisant sur l'ensemble des critères - autonomie, performances, prix, agrément - pour mettre au rancard le bon vieux diesel. Il est d'ailleurs, dans chacune des solutions suivantes, un élément à ne pas négliger : les amateurs de simplicité constateront amèrement qu'ouvrir les panneaux de contrôle de ces motorisations électriques, c'est un peu soulever le capot d'une voiture moderne. Il n'est plus vraiment question d'intervenir sans faire appel aux techniciens du chantier. Autres techniques, autres mœurs aussi...

# Testé sur l'Outremer 42

## LE «DIESEL-ÉLECTRIQUE»



**Un montage réfléchi.** Un groupe électrogène pour chaque moteur, mais un branchement électrique qui autorise le fonctionnement des deux moteurs sur un seul générateur. Avantages : sécurité et économie de gasoil.

Pas question pour une petite structure comme Outremer, qui produit six catamarans par an, de financer une étude complète sans l'assurance d'un résultat immédiat. C'est pourquoi, devant la demande insistante des clients, le bureau d'études, et plus particulièrement Stéphane Vaillant, a suivi la voie du «diesel-électrique» en s'appuyant sur la société allemande Fisher Panda qui offre un montage clés en main. Le lancement en catimini d'un Outremer 42 ainsi équipé a permis de valider le concept. Mais la solution retenue, comme le choix de Fisher Panda, n'est en aucun cas figée. Aujourd'hui, un catamaran navigue, mais les investigations d'Outremer continuent, vers l'Américain Glacier Bay en particulier...

### TECHNIQUE Une installation maîtrisée

L'Outremer 42 est propulsé par deux moteurs électriques de 18 kilowatts (400 volts triphasés) accouplés à des Saildrive, eux-mêmes

alimentés par deux groupes électrogènes délivrant chacun 12,8 kilovoltampères en courant alternatif (400 volts triphasés). Sans surprise, moteurs et générateurs (sous cocon) sont placés dans les cales moteur à la place des habituels moteurs Diesel. Le choix de deux petits générateurs plutôt qu'un seul gros (capable de fournir assez de courant aux deux moteurs électriques) a d'ailleurs été dicté par une contrainte de place, mais aussi par une considération de sécurité (même avec une génératrice arrêtée, les deux moteurs sont toujours alimentés).

Un électrofrein, sur les moteurs électriques, bloque les hélices dès que le courant est coupé. Cela permet d'installer des hélices tripales repliables pendant les navigations sous voiles (gain de performance). Le variateur (une sorte d'ordinateur «intelligent» qui pilote toute l'installation) est installé dans la cabine arrière sous la couchette. Il est refroidi par le même circuit que celui des moteurs électriques. Ainsi, le système électrique (moteur et variateur) reste toujours à température constante quelle que soit la température extérieure. Pour compléter ce système, un tableau de bord installé à la table à cartes avec un écran LCD (un pour chaque moteur) fournit des renseignements sur l'état du système. Il comporte aussi un interrupteur on/off pour la mise en route du système. Sur le pont, à la barre, un simple commutateur met en route les groupes et des manettes «électroniques» commandent les moteurs.

### FONCTIONNEMENT Si proche d'un diesel...

Le fonctionnement est on ne peut plus simple. Appuyez sur «on» à la table à cartes pour initialiser le système. Quand vous avez besoin du moteur, lancez les groupes à l'aide des deux interrupteurs placés près de la barre. La puissance des moteurs électriques est immédiatement disponible. L'utilisation ressemble à celle d'un diesel classique. Impossible en effet de faire tourner les moteurs électriques à des régimes très lents. Pour permettre aux hélices de se déplier et d'être actives, ils démarrent à un seuil minimum. On ressent alors le petit choc dû au déploiement des pales que l'on assimile, à tort, à un bruit d'inverseur qui s'enclenche. Contrairement à l'utilisation d'un diesel, on peut sans souci mettre la manette à fond. Dans ce cas, le groupe électrogène régule de lui-même pour



**Le variateur.** Installé dans la cabine arrière, le variateur est refroidi par le même circuit d'eau que le moteur.



**La simplicité.** Une brève pression sur l'interrupteur rouge suffit pour lancer le générateur. Toute la puissance des moteurs électriques est alors disponible, pilotée par les commandes électriques.



**La cale moteur.** Si le moteur électrique apparaît au fond de la cale, le groupe électrogène est dissimulé sous un cocon d'insonorisation.

fournir le surplus d'énergie demandé. Il consommera plus de gasoil (pour supporter la charge) mais ne fatiguera pas plus. Le niveau sonore à bord ne changera pas puisque le groupe tourne toujours de façon constante à 3 000 tours/minute. Un ronronnement très confortable, largement inférieur à un diesel classique, tant il est étouffé par le caisson et la cale moteur.

### BILAN A réserver aux amateurs de 220 volts

Dans ce système sans régénération possible, tourner la clé du moteur électrique, c'est tourner aussi la clé du diesel. La première question qui vient à l'esprit est donc celle de l'opportunité ! Il faut entrer dans les chiffres pour la trouver. Avec le «diesel-électrique», chaque élément de la chaîne, principalement le groupe électrogène, tourne en effet à son plein rendement. Les chiffres parlent : à la vitesse moyenne de 7 nœuds, le «diesel-électrique» consomme 2 litres/heure de moins qu'un diesel classique. En revanche, le diesel classique va 1,4 nœud plus vite à fond (9,2 nœuds contre 7,8 nœuds). A noter aussi un surpoids de 160 kilos pour le «diesel-électrique» par rapport à une solution classique. L'économie de gasoil comme la perte de vitesse ne sont donc pas énormes. En revanche, cette solution donne accès à du courant 220 volts offrant un grand confort à bord. On le comprend, une telle installation ne sera envisagée que si des besoins en 220 volts se font sentir (machine à laver, climatisation...). Elle n'est à comparer qu'avec un catamaran qui envisage, en plus de ses deux moteurs Diesel, d'embarquer un groupe électrogène. Bien que ce système soit aujourd'hui applicable sur l'ensemble de la gamme, les clients ne se ruent pas dessus, vu les résultats tempérés et surtout le surcoût de plus de 20 000 euros...

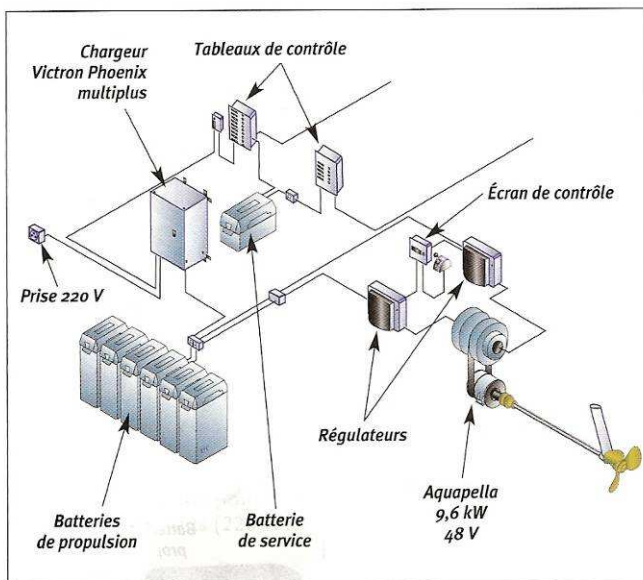
#### AVANTAGES

- Pas de parc batteries.
- 220 volts en grande capacité.
- Performances au moteur.
- Pas de perte de performance sous voiles.
- Sécurité des deux générateurs.

#### INCONVÉNIENTS

- Bruit relatif mais permanent.
- Surcoût (20 000 euros = 5 % du prix standard du bateau).
- Surpoids.

## Testé sur le Bi-Loup 36



**Un montage simple pour un fonctionnement silencieux.**  
Seule source d'énergie, l'électricité contenue dans le parc batteries.  
D'où son importance car il est le seul garant de l'autonomie.



**Un variateur pour chaque moteur.**  
A côté du chargeur de batterie, les variateurs gèrent les moteurs.



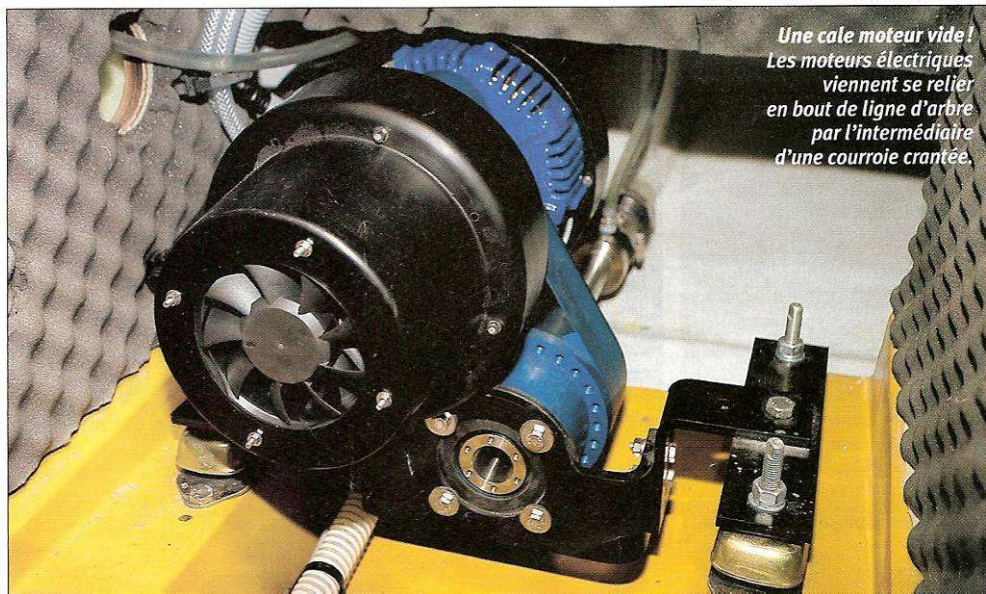
**Des informations complètes.** L'écran affiche tension des batteries, autonomie, consommation et charge.

## LE TOUT ÉLECTRIQUE

Pas de moteur à faire chauffer. On tourne la clé, aucun bruit ne s'entend, mais la puissance est là, disponible. Nous essayons un Bi-Loup 36 uniquement motorisé par un moteur électrique. Ou, plus exactement, deux moteurs électriques accouplés pour offrir suffisamment de puissance. Ces moteurs sont alimentés par un gros parc batteries. La conception et l'installation ont été réalisées par la société hollandaise Bell Mann et son importateur en France, Ametz Bateau. Dans la configuration testée encore à l'état de prototype, la seule solution de charge passe par la prise de quai. Après une phase de mise au point, un régulateur capable de régénérer les batteries en laissant tourner l'hélice sera installé et associé probablement à une éolienne pour entretenir la charge des batteries pendant les périodes d'immobilisation. Nous n'avons malheureusement pas pu la tester au moment de notre essai.

### TECHNIQUE La simplicité

Les deux moteurs, de 4,8 kilowatts chacun, sont accouplés à la ligne d'arbre par deux courroies crantées. Ils sont refroidis par air par deux ventilateurs déclenchés par une sonde de température. Petits, ces moteurs installés dans la cale moteur laissent de la place et permettent au besoin d'installer un groupe électrogène devant. Les batteries, six modèles de 6 volts de la marque Trojan, procurent les 48 volts de fonctionnement des



**Une cale moteur vide!**  
Les moteurs électriques viennent se relier en bout de ligne d'arbre par l'intermédiaire d'une courroie crantée.

moteurs. Elles ont été disposées sous le plancher du carré (pour ne pas élever le centre de gravité) à la place d'un réservoir d'eau qui prendra la place du réservoir de gasoil désormais inutile. Dans le local technique arrière, on trouve les deux contrôleurs qui gèrent le fonctionnement de l'ensemble ainsi que le chargeur de batterie. Ce sont d'ailleurs ces deux contrôleurs qui, demain, s'occuperont de la régénération au travers de l'hélice pendant les navigations sous voiles, espérons-le avec succès. A la barre, à côté de la manette type joystick, un écran de contrôle LCD affiche la consommation instantanée, la tension et la capacité en pourcentage des batteries, et surtout l'autonomie restante.

### FONCTIONNEMENT Une autonomie trop limitée

Le moteur électrique réagit dès la première sollicitation de la manette. Dans l'absolu, il est possible de le faire tourner à 1 tour/minute! En manœuvre de port, on ne voit pas la différence avec un moteur Diesel, si ce n'est que le bateau, du fait du couple important du moteur électrique, réagit rapidement aux sollicitations. La puissance s'avère suffisante pour naviguer à 6 nœuds contre une mer belle et un vent médium. Actuellement, des essais sont faits afin de déterminer la bonne hélice et, d'après les calculs, la vitesse de 8 nœuds doit pouvoir être atteinte. Reste le problème de l'autonomie. A fond, sans vider les batteries à plus de 50 %, l'autonomie se limite à 1 heure 30, soit environ 9 milles. C'est suffisant pour entrer dans un port, beaucoup moins si l'on se retrouve coincé par un calme plat, ou au vent d'une côte...

### BILAN La solution idéale... sur le papier

Le choix du tout électrique est séduisant. Pollution nulle, confort d'utilisation, entretien zéro. Et cela fonctionne, comme nous avons pu le constater. Mais avec une contrainte de taille: l'autonomie vraiment limitée due à la capacité des batteries. Cette solution semble bien adaptée à un bateau qui regagne le port et sa prise de quai tous les soirs, beaucoup moins à qui entreprend une croisière plus longue. Reste à découvrir la capacité du système à régénérer du courant sous voiles (prévu pour cet hiver). Sans lui,

nous ne pouvons aujourd'hui conseiller ce montage. Côté financier, le bilan est aussi attrayant puisque l'installation du système électrique revient au même prix qu'un moteur Diesel. Sans le parc batteries! Car celui-ci coûte 2 000 euros en plus. Un prix assimilable à environ 400 heures de fonctionnement au diesel, soit les 1 000 cycles de charge et décharge des batteries. Statu quo, donc, de ce côté-là.

#### AVANTAGES

- Silence total au moteur.
- Performances au moteur.
- Pas de surcoût.

#### INCONVÉNIENTS

- Autonomie.
- Régénération pas encore validée.

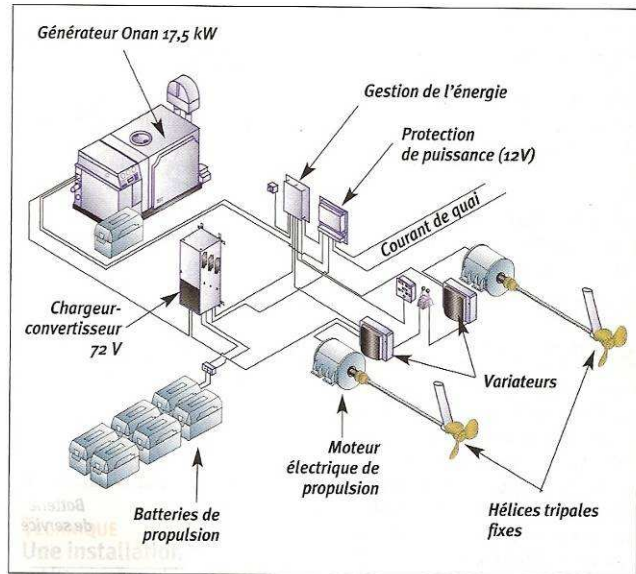
### Les batteries du futur

La technologie lithium-ion semble la plus à même de remplacer nos traditionnelles batteries au plomb. Elle tient mieux la charge et supporte la décharge. Hélas, elle est aujourd'hui trop difficile à recharger et surtout beaucoup trop chère.

### La pile à combustible

La pile à combustible pourrait à terme remplacer le générateur Diesel. Très présente dans les médias, cette solution semble idéale sur le papier. Il s'agit d'une pile où la fabrication de l'électricité se fait grâce à une réaction chimique entre un combustible réducteur (par exemple l'hydrogène) et un oxydant, tel que l'oxygène de l'air. Le fonctionnement d'une pile hydrogène-oxygène est particulièrement propre puisqu'il ne produit que de l'eau et consomme uniquement des gaz. Mais sa fabrication est très coûteuse, notamment à cause de la quantité non négligeable de platine (métal rare) nécessaire. De plus, même si l'hydrogène se trouve en grande quantité dans la nature (c'est un des éléments de l'eau), «l'extraire» demande beaucoup d'énergie et son stockage présente des dangers (c'est un puissant explosif). Le potentiel de la pile à hydrogène reste très élevé, mais ni la technologie ni son coût économique ne permettent d'envisager une large diffusion à moyen ou long terme.

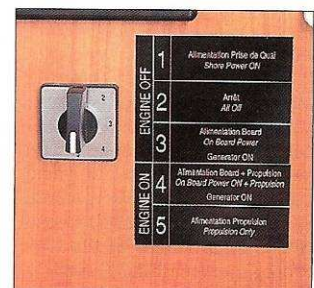
## Testé sur le Lagoon 420



**Une installation complexe. La force du système tient dans sa gestion électronique renfermée dans l'armoire du carré. C'est aussi le maillon faible au moment de gérer une panne.**



**Générateur. Caché dans un coffre du cockpit, le groupe électrogène recharge les parcs batteries.**



**Commutateur. La gestion électrique est automatique, l'utilisateur a juste cinq choix suivant l'usage.**



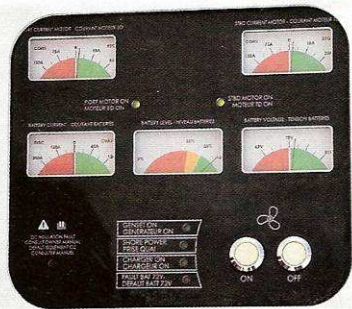
## LA PROPULSION HYBRIDE MADE IN LAGOON

L'année dernière, Lagoon, premier producteur de catamarans du monde, lançait en fanfare son Lagoon 420, nouveau modèle uniquement proposé avec une motorisation hybride. Depuis un an, cinquante bateaux ont été livrés et, si des mises au point ont été nécessaires, le système arrive à maturité. Imaginé il y a dix ans, il est le fruit d'un partenariat entre Lagoon, entité du groupe Bénéteau, Leroy Summer fabricant de moteurs électriques industriels, ENAG, une PME bretonne spécialisée en électronique embarquée, et Onan fabricant de groupes électrogènes. Chacun ayant apporté sa pierre à l'édifice pour constituer aujourd'hui la première solution hybride nautique de grande série. Les deux moteurs électriques refroidis par air et montés en ligne d'arbre assurent la propulsion. Ils sont alimentés par un parc batteries qui permet de fonctionner «tout électrique» en autonomie. Ces batteries sont rechargées par un unique groupe électrogène capable d'alimenter aussi le moteur en direct. La force du système tient dans son automatisme. Par exemple, vous quittez le port. Vos moteurs fonctionnent silencieusement sur le parc batteries. Si ce parc se décharge trop, le générateur se met en route automatiquement pour suppléer les batteries. Si vous arrêtez de solliciter le moteur pour naviguer à la voile, les

hélices, en tournant avec la vitesse, régénèrent les batteries. Là encore, des automatismes évitent qu'elles freinent trop aux petites vitesses (en dessous de 4,5 nœuds) ou ne chargent trop (au-dessus de 9 nœuds). Un système long à échafauder mais à mettre aujourd'hui entre toutes les mains.

### TECHNIQUE L'intelligence et la complexité

Les deux moteurs électriques développent 10 kilowatts chacun (environ 15 chevaux). A titre de comparaison, il est prévu d'installer des 40 chevaux en version diesel. Les moteurs sont alimentés par des batteries au plomb standard. Le générateur Onan développe 17,5 kilowatts à 1500 tours/minute (220 volts, 50 hertz). Il est possible de le «forcer» à 1800 tours/minute pour délivrer alors 21 kilowatts (220 volts,



**Tableau de commande. Les nombreux vumètres et la finesse de l'affichage compliquent la lecture et l'interprétation des informations.**

60 hertz). A 100 % de charge, il consomme 6 litres/heure. Côté répartition des poids (la solution hybride affiche un surpoids de 400 kilos), les six batteries sont installées en place des moteurs Diesel à l'arrière de chaque coque. Le groupe trouve sa place dans un coffre du cockpit. C'est la gestion électronique qui est la plus impressionnante sur ce catamaran. Les variateurs se cachent sous les couchages des cabines arrière. Ils sont, comme les moteurs électriques, refroidis par air. Dans le carré, un placard renferme un véritable ordinateur, garant des automatismes de l'ensemble.

### FONCTIONNEMENT Pour un usage à la portée de tous

De prime abord, naviguer au moteur sur un Lagoon 420 n'est

pas aussi simple que sur les deux autres solutions testées. Les cinq positions du commutateur et leurs usages doivent être bien intégrés avant de prendre la barre. Un temps de formation est d'ailleurs prévu par le chantier à chaque livraison de bateau. Une fois franchi ce cap, le fonctionnement est simple puisque l'automatisme prend tout en charge en fonction des sollicitations du moteur. A côté de la barre, le tableau de bord aux nombreux cadrans finit par s'approprier et il semble difficile de le prendre à défaut et, par exemple, de vider involontairement le parc batteries. Même la fonction de régénération, avec un frein variable en fonction de la vitesse sous voiles, fonctionne très bien (pas plus de 1 nœud de frein).

### BILAN Automatique, mais pas assez puissant

Indiscutablement, le système est abouti. Les automatismes fonctionnent. Mais, comme nous avons pu nous en rendre compte lors de notre sortie aux Sables-d'Olonne par 25 nœuds de vent réel, la puissance motrice est trop faible pour un catamaran de cette taille. Même avec le groupe électrogène dans la position «puissance maximale», nous ne remontions pas à plus de 3,5 nœuds face au vent et à la mer. C'est insuffisant. A l'inverse, avec ce vent fort qui nous faisait atteindre des vitesses sous voiles de 10 nœuds en pointe, nous avons pu juger de l'intérêt de la régénération, les aiguilles de l'ampèremètre dépassant régulièrement 15 ampères. On imagine sur une transat au portant que ce système peut affranchir l'équipage de toute mise en route du générateur en fournissant assez de courant pour l'ensemble des éléments de confort. Lagoon propose depuis cet automne une version diesel du 420, en conservant toujours au catalogue la version hybride (avec un surcoût de 24 000 euros pour ce dernier).

Selon Lagoon, l'hybride serait plutôt destiné aux candidats au voyage qui acceptent de naviguer longtemps sous voiles, tolèrent des moyennes plus faibles au moteur et apprécient l'intérêt de la régénération qui leur fournit un gros potentiel électrique sans consommer ni polluer. On ne peut en

effet qu'applaudir une solution de motorisation qui pousse à naviguer à la voile. Car on ne cache pas son plaisir à bien régler son bateau pour voir décoller l'ampèremètre dans le vert, signe d'une recharge gratuite, silencieuse et non polluante des batteries... F.X.R. ●

#### AVANTAGES

- Solution automatisée.
- Régénération efficace.
- 220 volts disponibles en grande capacité.

#### INCONVÉNIENTS

- Trop faible puissance des moteurs.
- Surcoût (24 000 euros : 7 % du prix du bateau standard).
- Léger frein des hélices.

### Les autres projets

D'autres constructeurs, que nous n'avons pu visiter pour ce sujet, se sont lancés sur la voie du moteur électrique. Nous connaissons deux exemples sud-africains, Leopard et African Cats, qui travaillent en ce moment sur des dossiers similaires. Leopard a choisi une solution «diesel-électrique» ressemblant à celle d'Outremer, en s'appuyant sur le fabricant Glacier Bay. Après avoir sorti un catamaran entièrement électrique (comme le Bi-Loup), African Cats réfléchit aujourd'hui sur des moteurs de type «pod», montés sur des bras articulés extérieurs aux coques qui pourraient se relever pour ne pas freiner sous voiles.

### En quelques mots

**Régénération.** Faculté de produire de l'électricité en laissant tourner son hélice lorsqu'on navigue à la voile. Le moteur électrique se transforme alors en une sorte d'alternateur.  
**Contrôleur.** Carte électronique contenant l'intelligence du système. C'est notamment le contrôleur qui s'occupe de la régénération.  
**Variateur.** Boîte noire contenant de l'électronique permettant de gérer les moteurs électriques. Elle reçoit les informations émanant de la manette de gaz pour les transmettre aux moteurs.  
**Générateur.** Se dit aussi groupe électrogène. Moteur Diesel qui permet de produire de l'électricité.  
**Couple.** Effort en rotation appliqué à un axe. Il est donc le produit d'une masse par une distance. Constant quel que soit le régime du moteur sur une propulsion électrique, il est variable sur un moteur thermique.

**Moteur et électronique.**  
Sous la couchette de la cabine arrière se cachent le moteur électrique et son variateur. Ils sont tous les deux refroidis par air.

