

Synthèse du rapport expérimental de l'expédition **Kahuna** **Le voilier hybride est-il meilleur que le voilier thermique ?**

Entre mars et juillet 2022, en tant qu'élèves-ingénieurs à CentraleSupélec, nous avons réalisé des relevés de consommation énergétique sur le voilier hybride *Kahuna*. **L'objectif était de déterminer s'il est intéressant de développer l'électrification dans le nautisme.** Ce document est la synthèse du rapport scientifique détaillant nos expériences.

Nous avons parcouru 6500 nm (12000km) au cours de cette expédition entre Lorient et le Svalbard (80°N). 4500 nm étaient au large et 2000 nm dans des fjords norvégiens.

Les critères de comparaison que nous avons retenus sont :

- Les **performances** (confort, autonomie, puissance disponible)
- Le **coût économique** (gains et investissements)
- L'**impact environnemental** (économie de carburant et empreinte des batteries)

1. Description de Kahuna

Kahuna est un **JPK 45 FC**, construit en mars 2022. C'est l'un des 10 premiers voiliers (>12m) en France à être équipé d'une propulsion électrique.

Il y a eu 2150 voiliers >12m [produits en France en 2016](#) (dont $\frac{3}{4}$ destinés à l'export). L'écrasante majorité est équipée d'un moteur diesel (puissance de 35 à 75ch).

Sur un voilier, il y a besoin de moteur pour manœuvrer dans les ports ou avancer lorsqu'il n'y a pas de vent.

Sur *Kahuna*, le moteur diesel a été remplacé par **30,4 kWh de batteries** Lithium NMC et **2 moteurs électriques de 15 kW** (30kW=41ch). En comparaison les batteries de Renault Zoé font 52kWh soit 1,7 fois plus que *Kahuna*.

Kahuna est un **hybride-rechargeable**. Il possède un réservoir de 190 L de diesel pour le chauffage et un groupe électrogène de 11kW qui permet de recharger les batteries en dehors du port. Il y a également 435 Wc de panneaux solaires. Les hélices de propulsion permettent d'hydrogénéraler de l'énergie mais ces productions sont négligeables devant la consommation du moteur.

2. Performances

Autonomie : **24 nm** (44 km) à **4,8 kts** (9 km/h) soit 5h à puissance moteurs 2+2=4kW, sur mer plate, sans vent, sans courant, parfaitement caréné.

Puissance maximale : 30 kW est un minimum pour les manœuvres dans le vent fort sur un 45 pieds. En rythme de croisière, la puissance nécessaire ne dépasse jamais 10 kW.

Manœuvrabilité : le fait d'avoir les 2 hélices alignées avec les safrans (bi-safran) augmente la manœuvrabilité. La distance entre les 2 moteurs n'est pas suffisante pour assurer le rôle d'un propulseur d'étrave.

Entretien : **Pas de gain**. Les moteurs électriques n'ont presque pas d'entretien. Le groupe électrogène a un entretien équivalent à un moteur diesel. L'augmentation du nombre de composants électriques sur le bateau est un vecteur de panne supplémentaire.

Impact sonore : **Amélioré**. Les moteurs électriques ne font quasiment pas de bruit, le groupe électrogène en fait moins qu'un moteur. L'hydro-généraler fait autant de bruit que le moteur électrique en fonctionnement normal.

Recharge : 7h pour 80%. Limite 16A dans les ports (3,3kW) → **la recharge est plus lente que la décharge**. Il y a beaucoup de ports sans électricité, où les prises sont occupées ou cassées.

3. Impact carbone

Avoir une propulsion électrique sur son voilier incite à réduire sa vitesse de croisière au moteur (sobriété intentionnelle pour avoir une autonomie prolongée) à de 6kts à 4,8kts. Du fait de cette incitation, les gains par réduction de vitesse ont été pris en compte dans l'étude.

Facteurs clés :

- 1) Une batterie Lithium NMC émet 160 kgCO₂eq/kWh construction + recyclage + fin de vie. Pour nos 30,4kWh cela donne 4864 kgCO₂eq. L'impact à la construction d'un moteur thermique est similaire à celui d'un groupe électrogène. Il n'y a donc pas de gain en carbone en supprimant le moteur. D'autre part, 1L de diesel émet 3,1 kgCO₂eq (combustion + raffinage + transport).
⇒ Il faut donc que la propulsion électrique fasse économiser au moins 1570 litres sur sa durée de vie (estimée à 15 ans) pour devenir rentable.
- 2) Si on met en place une démarche de sobriété, le mode de production de l'électricité du pays visité n'a pas une influence importante (<15%) par rapport à l'économie de carburant. Sans sobriété sur la vitesse, l'influence devient significative et peut atteindre 45%.

Aux vu de nos relevés : il faut utiliser **au minimum 1 mois/an pendant 15 ans son voilier pour atteindre la rentabilité carbone des batteries** (2 mois/an sans la sobriété sur la vitesse).

4. Rentabilité économique

Sur *Kahuna*, le surcoût était de 10 à 15% (50 à 75k€) du prix d'achat neuf du voilier. Il n'est actuellement pas possible d'amortir cela avec les économies futures de carburant. En effet, même avec les hypothèses de 10% d'augmentation annuelle du prix du diesel et 4 mois d'utilisation du voilier par an, il faut **plus de 20 ans pour amortir l'investissement**.

On peut toutefois espérer une diminution des coûts avec **l'industrialisation de la filière** autour de la propulsion électrique.

5. Conclusion

Les voiliers hybrides-rechargeables sont à privilégier seulement si :

- 1) Le voilier a de bonnes performances à la voile, pour ne pas utiliser trop souvent le moteur
- 2) Le voilier est utilisé au moins 1 mois par an.
- 3) On accepte de faire des efforts d'économie d'énergie (réduction de la vitesse au moteur)

Par ailleurs, le groupe électrogène est indispensable sur un voilier >12m car les longues périodes sans vent sont fréquentes.

La solution hybride est intéressante sauf sur l'aspect financier. Le manque de rentabilité s'améliorera avec l'industrialisation de la filière.