



**Étude d'un système de valorisation d'énergie fatale  
d'un moteur de propulsion d'un bateau fluvial  
Synthèse (mai 2023)**

**Partenaires techniques**



**Partenaire financier**



## 1 Les objectifs et enjeux initiaux du projet

En 2021, Voies navigables de France a démarré le projet d'accompagner la mise au point d'un dispositif innovant de récupération d'énergie fatale sur un bateau du bassin Rhône Saône.

**L'objectif était de concevoir un prototype d'un système de récupération de chaleur pour la filière fluviale : la chaleur des eaux de refroidissement et des gaz d'échappement du moteur thermique de propulsion du bateau transformées en électricité devait alimenter en énergie la propulsion, ou les besoins de bord en navigation par le biais d'une turbo-génératrice.**

L'enjeu visait à optimiser, sans modification existante de la propulsion, le rendement énergétique du bateau en générant une réduction de la consommation de carburant et de fait de ses émissions polluantes.

**Sous le pilotage de VNF, un consortium de plusieurs spécialistes s'est alors constitué :** Enogia en tant que constructeur de systèmes ORC, l'organisme de recherche IFPEN pour les simulations, Naviwatt comme intégrateur et architecte naval, et l'Eridan, bateau de transport de matières dangereuses de 110 m, utilisé comme testeur du dispositif.

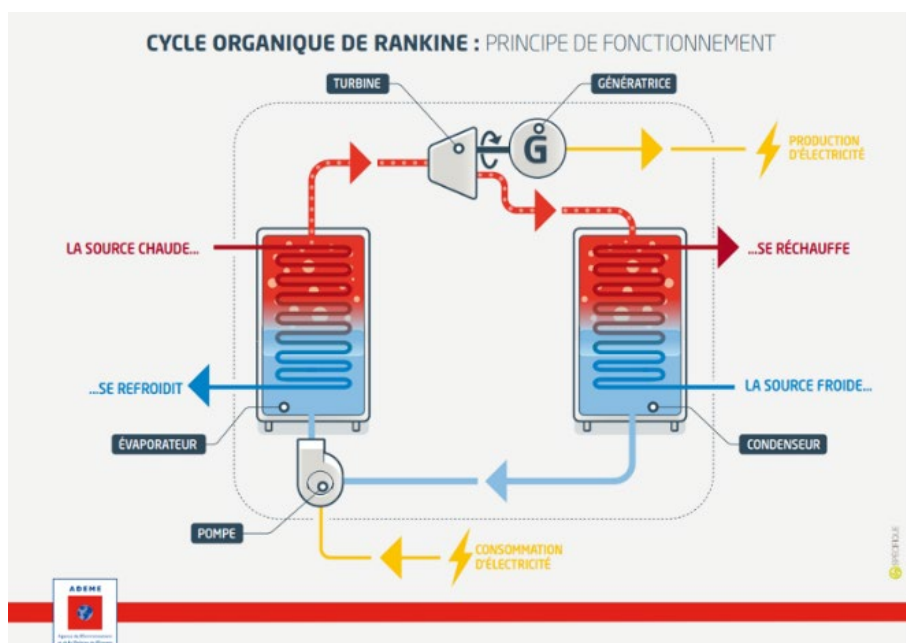
**Le projet initial prévoyait deux phases :**

- **Phase 1 d'avant-projet d'études** : dimensionnement du système ORC, modélisation de sa production d'électricité, étude d'intégration et calculs économiques ;
- **Phase 2 de Proof of Concept** : Conception, intégration, test et suivi du système à bord si la phase 1 était concluante.

La phase 1 a été financée par VNF dans le cadre du PAMI (Plan d'aide à la modernisation et à l'innovation de la flotte fluviale) et par l'Union européenne (Fonds FEDER instruits par la Région Auvergne-Rhône Alpes).

**Pour rappel, le rendement d'un moteur thermique est de l'ordre de 40%, les 60% restants sont des énergies dissipées ou piégées, appelées énergies fatales (chaleur dégagée par le moteur et gaz d'échappement).**

Un système ORC (Organic rankine cycle, Cycle Organique de Rankine en français) permet de revaloriser les énergies fatales en électricité. Selon les conditions de fonctionnement, il peut transformer en électricité entre 6 et 10% de l'énergie thermique récupérée. Une application sur un bateau permettrait, en outre, d'utiliser la rivière ou le canal de circulation comme source froide de l'ORC, optimisant son rendement.



## 2 Le déroulé de l'avant-projet d'étude

Le consortium a lancé la phase 1 du projet, qui s'est déroulée de septembre 2021 à mai 2023.

Il s'est agi tout d'abord de **réaliser l'instrumentation du bateau l'Eridan pour mesurer sa consommation en électricité liée aux besoins à bord, et à d'établir des relevés moteur sur ses cycles de navigation**, de son chargement jusqu'à son déchargement, suivi en temps réel par GPS.

Par la suite, **un simulateur a été développé et utilisé avec les mesures effectuées**, permettant d'estimer les puissances thermiques effectivement disponibles et la production d'électricité associée d'un système ORC sur les cycles de navigation du bateau.

**Une fois le système ORC dimensionné et modélisé et les besoins en électricité mesurés, il a été possible de déterminer la capacité du pack batterie** nécessaire à la bonne alimentation du bateau en navigation, ainsi que de réaliser une modélisation du système avec l'ensemble des composants associés.

L'intégration du système a été analysée au regard de l'espace disponible, de la réglementation applicable et de l'impact sur la charge du bateau, puis détaillée sous forme de plans.

## 3 Les principaux enseignements

Les simulations ont permis d'estimer un potentiel de production de 35 kW avec les sources de chaleur identifiées, ce qui correspond au dimensionnement d'un ORC de 40 kW.

**La solution d'injection directe de l'énergie produite sur la propulsion a été étudiée en premier**

- Aucun système existant adapté n'a cependant été trouvé : les réducteurs actuels sont prévus pour un minimum de 20% d'injection de la puissance totale, alors que les 35kW évoqués représentent environ 3% des 1 MW de l'Eridan ;
- Le déplacement engendré du moteur de propulsion implique de nombreuses modifications et des coûts importants.

**Les études se sont alors orientées vers une injection de l'électricité produite sur batteries, mais les coûts d'installation en retrofit sur l'Eridan se sont avérés excessifs :**

- Les batteries augmentent les frais d'investissement ;
- Les gains de consommation se révèlent insuffisants : les facteurs d'utilisation et de charge sont faibles sur un tanker de ce type, effectuant en moyenne 30 000 km/an ;
- Le retour sur investissement évalué est supérieur à 20 ans, pour un investissement initial de 600 à 750 k€

Aussi, le consortium a recherché des bateaux test mieux adaptés à cette expérimentation. Les études ont concerné un bateau porte-conteneurs de la société CFT aux dimensions similaires à celles de l'Eridan mais réalisant une distance annuelle supérieure (50 000 km/an en moyenne sur le bassin de la Seine).

Toutefois, ce type de bateaux comportant 2 moteurs, il convient de prévoir un tuyautage pour récupérer la chaleur, ce qui s'avère complexe et coûteux : les retours sur investissements restent compris entre 12 et 20 ans pour un investissement initial de 400 à 500 k€.

## 4 Les conclusions et pistes de réflexions

**L'intégration d'un système ORC sur le retrofit de bateaux fluviaux existants ne semble pas pertinente au regard des coûts engendrés.** De surcroît, les solutions d'injection directe sur arbre ne sont pas disponibles sur le marché à ce jour. Trouver uniquement des solutions de remplacement des groupes électrogènes de bord alors que l'électrification à quai est en déploiement apporterait peu d'intérêt.

**Seule, l'intégration d'un système ORC sur un bateau neuf hybride électrique aurait du sens.** Si l'injection directe de l'énergie sur l'arbre moteur ou pour la recharge de ses batteries est prévue dès l'origine, les coûts d'intégration peuvent être intégrés dans la construction globale du bateau. Malheureusement, il n'existe pas sur le territoire national de projet de construction de bateau hybride électrique, qui aurait permis mener des études d'intégration d'un système ORC.

**De façon générale, la diminution des coûts dépendra également du cycle de navigation et du taux de charge de l'embarcation : plus le bateau naviguera, plus le système sera pertinent.** Le profil des transports de conteneurs semble plus approprié, à la condition que le nombre de moteurs soit réduit de manière à limiter les coûts d'investissement. Enfin, les économies pour un système industrialisé de série seront faibles sur des bateaux fluviaux, dont les configurations d'installation sont très disparates.

**D'un commun accord, lors de la réunion du 30 mars 2023, les partenaires ont décidé de ne pas poursuivre l'expérimentation et donc de ne pas lancer la Phase 2 (Proof of Concept).**



Voies navigables de France  
175, rue Ludovic Boutleux – CS30820  
62408 Béthune cedex Tél : 03 21 63 24 24

