



Mobilité durable

Mobilité électrifiée



## MOBILITÉ ÉLECTRIFIÉE

### NOS SOLUTIONS

L'électrification des transports s'accélère. Pour accompagner ce mouvement IFPEN travaille sur différentes briques de la chaîne de traction en s'appuyant sur **des moyens expérimentaux spécifiques** :

- Les machines électriques et leur pilotage (électronique de puissance et contrôle)
- Les batteries : modélisation et simulation
- La pile à combustible
- L'électrification de la boucle d'air

### LES MACHINES ÉLECTRIQUES ET LEUR PILOTAGE

Les véhicules électriques sont une solution privilégiée afin de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> liées au transport routier. IFPEN travaille sur **la conception de motorisations à haut rendement**. Ses travaux ont permis de retenir la technologie du moteur synchro-réductant, qui possède un triple avantage :

- il utilise moins d'aimants, et donc de terres rares, que le moteur synchrone à aimants permanents,
- son coût de production est donc réduit,
- il offre un haut rendement par rapport aux moteurs du marché.

## e-Mod-Tools : un outil en rupture pour une conception optimale de machines électriques

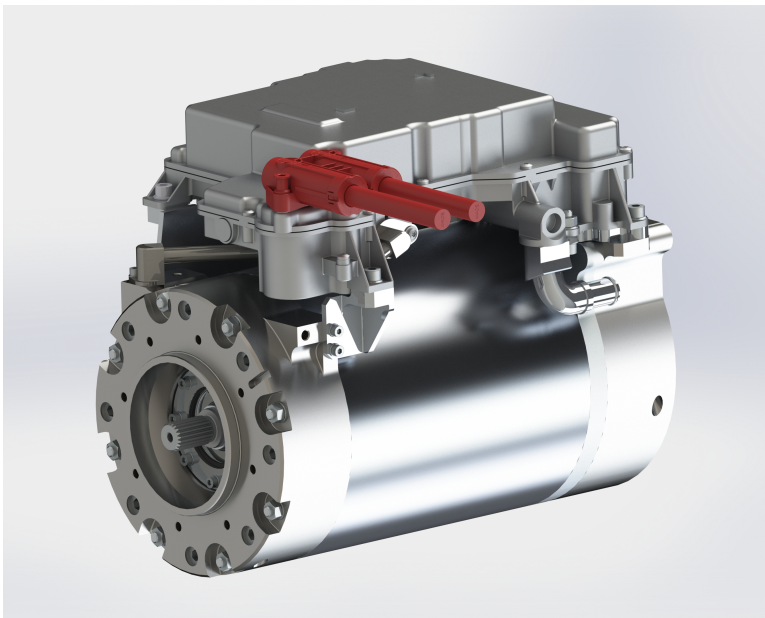
« IFPEN a développé e-Mod Tools (electric Motors Optimal Design Tools), une suite logicielle d'optimisation de conception des machines électriques. L'outil permet de générer un grand nombre de solutions virtuelles en exploitant les capacités du supercalculateur d'IFPEN, puis de proposer un concept conciliant des contraintes multiples (rendement en usage, faisabilité industrielle, usage des terres rares, coût ...). Sa finalité est de parvenir au dessin de parties actives (stator et rotor) optimal et robuste pour répondre aux contraintes d'une application industrielle ciblée.

Ainsi, la durée nécessaire à la conception d'un nouveau moteur électrique s'en trouve largement optimisée : quelques jours suffisent pour avoir un concept bien avancé !»

**Misa Milosavljevic, chef de projet Motorisations électriques, IFPEN**

## Un moteur synchro-réductant pour des applications de petite puissance

IFPEN et la PME française [EREM](#) travaillent sur le développement et l'industrialisation d'une gamme de moteurs synchro-réductant à aimant permanent et à haut rendement destinée à **des applications de rétrofit de hautes performances**.



« Nous avons choisi de développer la technologie de motorisation électrique synchro-réductante avec notre partenaire EREM pour répondre principalement à deux objectifs :

-Développer un moteur très performant, modulaire et robuste vis-à-vis des conditions d'utilisation extrêmes. Cela impliquait :

- De maximiser la densité de couple et de puissance massiques tout en tenant compte des contraintes imposées par l'application.
- De réaliser une conception mécanique compacte, robuste et modulaire
- D'optimiser le refroidissement du moteur tout en limitant au maximum les pertes

-Identifier le compromis performance / coût / fabricabilité le plus attractif pour ce type de marché. La technologie synchro-réductante offre le meilleur compromis coût / performance / rendement : c'est celle que nous avons retenue. Elle nécessite toutefois un contrôle électronique avancé et un pilotage en couple du moteur plus complexe pour compenser la faible quantité d'aimants : nous avons donc développé des lois de commande adaptées. »

**Wissam DIB, chef de projet Motorisation électriques, IFPEN**

La première sortie sur le marché de ces travaux concerne une application de retrofit dont les machines sont produites par EREM. Ces moteurs développent un couple maximal de l'ordre de 350 Nm et une puissance de 150 kW sous 350 V.

A terme, l'ambition est de proposer avec la même technologie, **une gamme de moteurs plus étendue en termes de puissance et de tension** (de 40 kW à 48 V jusqu'à 300 kW à 700 V) afin de répondre à un marché des véhicules électriques et hybrides en pleine croissance, dont le marché du retrofit électrique.

## Grande densité de puissance à basse tension

Pour répondre au besoin d'électrification du parc automobile, IFPEN a développé des moteurs en rupture, intégrant une électronique compacte et pouvant atteindre 40kW. Ces motorisations, alimentées en basse tension (36 à 60V), apportent **un niveau de puissance suffisamment élevé tout en restant sur une architecture électrique simple** (basse tension), ce qui représente une solution de traction électrique pertinente pour les véhicules légers urbains. Par ailleurs, cette solution permet d'ajouter une part plus importante d'électrique dans les véhicules hybrides (extension du ZEV).

## Le pilotage des machines électriques

« IFPEN a conçu un environnement de développement dédié à la conception et à la validation des lois de commande pour le pilotage des machines électriques, capable de générer de manière automatique le code qui sera intégré dans les électroniques de pilotage (onduleurs). Cet environnement permet de **concevoir et calibrer les algorithmes nécessaires au pilotage précis des machines électriques tournant à haute vitesse, caractérisées par une fréquence électrique élevée**. Les logiciels ainsi

mis au point sont embarqués dans une carte de contrôle, intégrée dans tous les onduleurs développés et réalisés par IFPEN. Ces onduleurs adressent une large gamme d'applications, depuis des machines basse tension 3 ou 6 phases (onduleurs 48V à base de Mosfet) jusqu'aux machines à haute tension (onduleurs 400V à base de IGBT ou 800V à base de SiC). L'association d'algorithmes performants et de systèmes électroniques compacts caractérisés par des faibles pertes, permet d'exploiter le potentiel des machines électriques de nouvelle génération conçues par IFPEN ou celles de ses partenaires industriels. IFPEN poursuit ses efforts dans ce domaine avec la prise en main de composants de puissance à base de GaN afin de maîtriser leur mise en œuvre dans les onduleurs et leurs spécificités de pilotage. »

**Gianluca Zito, chef de projet Motorisations électriques, IFPEN**

## LES BATTERIES : MODÉLISATION ET SIMULATION

Grâce à une expérience de plus de dix ans dans l'étude, la caractérisation et la modélisation des systèmes de stockage électrochimique (SSE), IFPEN est aujourd'hui reconnu comme un acteur incontournable de la modélisation et de la simulation des batteries en France. En complément des travaux originaux destinés aux applications transports, ses travaux s'élargissent désormais aux [applications stationnaires](#), un domaine en pleine mutation avec la volonté de développer des batteries de plus en plus performantes.

« La modélisation des batteries est au cœur de nos travaux dans le domaine des SSE. Nos modèles sont sans cesse enrichis et sont capables de représenter le comportement électrothermique des SSE, leur vieillissement, voire même leur fonctionnement abusif, grâce notamment à la modélisation fine du phénomène d'emballement thermique pour les batteries Li-ion.

Grâce à une veille active et à notre participation à des réseaux comme le [RS2E](#) en France, nous maintenons nos modèles à jour pour les technologies de batteries commerciales et prototypes les plus récentes.

Modéliser des batteries, cela veut dire être capable de :

- mettre en place des approches mathématiques qui peuvent être simples (empiriques par analogie électrique) ou très complexes (modèles physiques, méthodes ab-initio) en fonction des besoins des utilisateurs finaux,
- disposer de moyens d'essais et d'outils associés (traitements mathématiques, gestion des données, analyses de sensibilité, etc.) permettant la calibration efficace des paramètres associés aux modèles et leur validation.

Les essais de vieillissement pour calibrer les modèles de durabilité étant particulièrement coûteux en temps et en moyens, nous avons été à l'initiative de la création du [consortium COMUTES<sup>2</sup>](#), monté avec 5 autres laboratoires de recherche, afin d'organiser des campagnes d'essais mutualisées et ouvertes à tous».

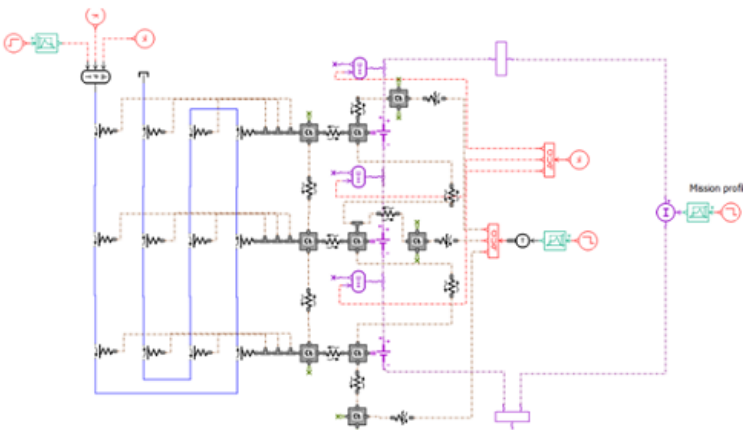


### A retenir

Les modèles de batteries d'IFPEN sont disponibles dans la librairie Electric Storage de la [plateforme Simcenter Amesim](#) (voir ci-dessous).

Ils sont utilisés :

- Pour les travaux qu'IFPEN mène dans l'accompagnement industriel : choix de technologie, dimensionnement pour une application.
- Dans le cadre de [projets collaboratifs](#) pour accélérer le développement des filières électriques.
- Pour innover sur des thématiques d'actualité comme la charge rapide, la seconde vie des batteries, les nouvelles générations de batteries tout solide, etc.



« La librairie Electric Storage que nous développons avec notre partenaire Siemens Digital Industries Software, intégrée à la plate-forme [Simcenter Amesim™](#), propose notamment aux utilisateurs de les aider :

- au pré-dimensionnement du pack batterie, grâce à l'utilisation d'un outil permettant de générer un premier design de batterie Li-ion et son modèle associé à partir de quelques données macroscopiques
- à la calibration automatique de leurs modèles de batterie, en se basant sur des mesures expérimentales
- et à l'évaluation de phénomènes complexes, tels que le vieillissement ou l'emballement thermique. »

**Grégory Font, chef de projet Modélisation système GMP, IFPEN**

## LA PILE À COMBUSTIBLE

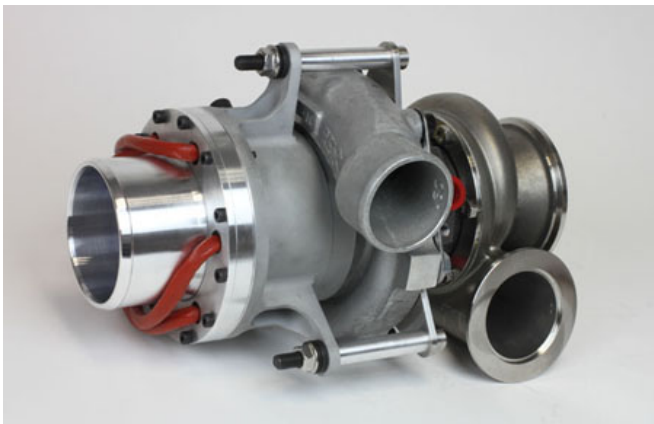
La **pile à combustible** (PaC) constitue une alternative aux batteries pour l'alimentation en énergie des machines électriques, associé à une autonomie des véhicules plus importantes et un temps de recharge beaucoup plus rapide. IFPEN et ses partenaires travaillent sur une approche du système pile à combustible dans l'environnement véhicule et notamment sur l'optimisation de la gestion de l'énergie du système et la réduction des coûts, en se basant notamment sur des moyens numériques et expérimentaux uniques. **Un nouveau banc d'essais capable de tester des systèmes PaC jusqu'à des puissances de 210 kW est opérationnel** sur le site de Lyon depuis l'automne 2021.

> [En savoir plus](#)

## L'ÉLECTRIFICATION DE LA BOUCLE D'AIR

### Un turbocompresseur électrifié pour les véhicules hybrides

Pour augmenter davantage les performances des véhicules et **améliorer leur sobriété énergétique**, IFPEN a développé une solution originale d'électrification de turbocompresseur (4kW sous 48V) qui pourra équiper les futures véhicules hybrides.



« L'électrification du turbocompresseur offre deux principaux avantages :

- améliorer l'agrément de conduite en augmentant les performances dynamiques du moteur,
- baisser la consommation du carburant ( $CO_2$ ) et accroître l'autonomie électrique en récupérant l'énergie perdue à l'échappement en usage stabilisé (usage route ou autoroute).

Grâce à un développement mené sur l'ensemble du système électrique (moteur, contrôle haute vitesse sensorless et onduleur), nous pouvons proposer une solution originale et innovante de système d'électrification qui s'adapte à différents turbocompresseurs du marché.»



**Fabrice Le Berr, chef du département Systèmes électrifiés, IFPEN**

## La turbine ORC

### Récupération d'énergie stationnaire

IFPEN et [Enogia](#), PME française spécialisée dans les systèmes de récupération d'énergie thermique par cycle Rankine (ORC – Organic Rankine Cycle), ont développé ensemble le système ORC-100 (100 kWe). Ce dernier permet de valoriser la chaleur perdue par de grosses installations stationnaires (2 MWth) en la transformant en électricité. Ce système a permis de compléter la gamme d'Enogia couvrant les puissances de 10 à 200 kWe.

### Récupération d'énergie thermique des moteurs de poids lourds

Dans la continuité des travaux précédents, IFPEN et la PME française Enogia développent **une version pour poids lourds hybridés petite puissance** (4-5 kWe) de ces systèmes ORC, afin d'adapter la technologie pour le marché du transport.

« Les systèmes ORC permettent de **récupérer des flux de chaleur perdus et de les valoriser sous la forme d'énergie électrique**. Utilisés depuis de nombreuses années pour des applications stationnaires, nous les adaptons au secteur du transport, en particulier pour les poids lourds. Avec l'avènement de l'hybridation des poids lourds, la production électrique permettra de recharger la batterie et de fournir un degré de liberté de plus à la loi de gestion d'énergie pour réduire la consommation de carburant et les émissions de CO<sub>2</sub>. Nous visons des gains de l'ordre de 1.5 à 3 % sur un profil d'usage long routier. L'originalité de notre approche est que la chaleur sera récupérée non pas dans les gaz d'échappement, mais dans le circuit de refroidissement des moteurs, bien que la température y soit plus basse. Cela permettra de rendre le système plus léger et plus compact, moins coûteux, plus fiable et plus facile à intégrer tout en profitant des

acquis issus de nos travaux passés sur l'ORC pour véhicules légers, qui du fait des évolutions de réglementation et perspective d'arrêt des motorisations thermiques pour véhicules légers en 2035, n'est plus une solution pertinente. »

**Benjamin Réveillé, chef de projet, IFPEN**

IFPEN travaille également avec Enogia, VNF, NaviWatts et Malcuit Transport Fluvial à la mise en place d'un **démonstrateur sur navire fluvial automoteur de 110 m**. L'objectif est l'hybridation du bateau avec les solutions ENR suivantes : ORC 40kWe, panneaux solaires et batteries afin de réduire le recours au générateur électrique embarqué et donc les émissions de CO<sub>2</sub>. Un des avantages du fluvial pour l'ORC est l'accès à une source froide abondante : l'eau de navigation.

## CONTACTS



### **Gaetano de Paola**

Responsable du programme « Propulsion électrique »

[gaetano.de-paola@ifpen.fr](mailto:gaetano.de-paola@ifpen.fr)



### **Stéphane Henriot**

Responsable du programme « Systèmes électrochimiques et gestion d'énergie »

[stephane.henriot@ifpen.fr](mailto:stephane.henriot@ifpen.fr)



Innovation et industrie

Actualités

décembre 2022

**Mobilité électrique : IFPEN et CGD s'associent pour développer des onduleurs de dernière génération**



Communiqués de presse



Innovation et industrie

Actualités

octobre 2021

## Mobilité hydrogène : IFPEN se dote du banc d'essai de piles à combustible le plus puissant de France

Communiqués de presse



Innovation et industrie

Actualités

octobre 2021

## Propulsion hydrogène : IFPEN donne un coup d'accélérateur

Énergies renouvelables

Hydrogène

Mobilité durable

Mobilité électrifiée

Nos solutions

Lien vers la page web :