

RAPPORT D'ACTIVITÉ

2019

INNOVER  
LA MOBILITÉ



# CARNOT

IFPEN TRANSPORTS ENERGIE



# SOMMAIRE



## LE MOT DU DIRECTEUR

### IFP ENERGIES NOUVELLES

- Mission d'IFPEN

### LE CARNOT IFPEN TRANSPORTS ENERGIE EN BREF

#### ACTIVITÉS ET FAITS MARQUANTS DE L'ANNÉE

- Accompagner l'électrification des véhicules
- Au service de la mobilité connectée
- Améliorer les motorisations thermiques

#### LES PROJETS CARNOT FILIÈRES : CARNAUTO ET AIRCAR

- Carnauto : 127 entreprises accompagnées en 2019
- Aircar : au service des TPE et PME de l'aéronautique

#### GRAND ANGLE - MESURER LES ÉMISSIONS POLLUANTES DES VÉHICULES EN CONDITION DE CIRCULATION AVEC REAL-E

- L'innovation
- Le besoin
- Le partenariat

#### RESSOURCEMENT SCIENTIFIQUE

#### PROFESSIONNALISATION ET DÉVELOPPEMENT DE PARTENARIATS SOCIO-ÉCONOMIQUES

#### ENCOURAGER ET SOUTENIR L'INNOVATION : L'APPEL À PROJETS INTERNE PORTE SES FRUITS

- GPUR : dépolluer l'air dans les espaces semi-confinés
- EasyMOV' : l'application des savoir-faire du Carnot IFPEN Transports Energie à la mobilité dans les hôpitaux

#### UNE IMPLICATION FORTE AU NIVEAU EUROPÉEN

#### SALONS ET MANIFESTATIONS 2019

#### SÉLECTION DE PUBLICATIONS

## LE MOT DU DIRECTEUR



À l'heure où le risque climatique se fait de plus en plus pressant et où la qualité de l'air est une préoccupation importante des citoyens, le Carnot IFPEN Transports Energie s'attache à relever les défis associés aux importantes mutations que connaît le monde de la mobilité : transition énergétique, lutte contre le réchauffement climatique, amélioration de la qualité de l'air en zone urbaine, digitalisation, évolution des usages. 2019 marque le troisième renouvellement de la labellisation Carnot des activités d'IFPEN dans le domaine des transports. Je suis fier de cette reconnaissance, qui réaffirme les capacités du Carnot IFPEN Transports Energie à accompagner ses partenaires industriels (grands groupes, ETI, PME, TPE et start-up) dans le cadre d'activités de recherche collaboratives ou contractuelles, et à développer des produits et logiciels en s'appuyant sur un écosystème d'entreprises partenaires innovantes.

L'année a été marquée par des réussites dans chacun des trois axes sur lesquels le Carnot IFPEN Transports Energie concentre ses travaux.

Concernant la mobilité électrifiée, les équipes du Carnot se sont entre autres attachées à travailler sur l'amélioration globale de l'efficacité énergétique des moteurs électriques en poursuivant le développement de machines innovantes basées sur la technologie synchro-réductante, en partenariat avec un équipementier européen. Dans le cadre de son partenariat avec la PME Enogia, des solutions de récupération des énergies perdues basées sur le cycle de Rankine (ORC) et adaptées au domaine du transport ont été développées. Par ailleurs, en tant que leader du projet européen H2020 Modalis<sup>2</sup>, le Carnot IFPEN Transports Energie s'est associé avec des acteurs de l'Alliance européenne des batteries pour étudier et modéliser de nouvelles générations de cellules de batteries. Il s'agit d'une vraie reconnaissance du niveau scientifique et technique de nos travaux, fruit de nos efforts de visibilité au niveau européen. La politique active de soutien aux PME et aux ETI conduite depuis quelques années a permis de renforcer notre positionnement comme acteur de l'innovation au service de la mobilité douce. En 2019, nous nous sommes associés à la PME K-Ryole qui propose une solution pour le transport de charges lourdes sans aucun effort.

En ce qui concerne la mobilité connectée, les chercheurs du Carnot exploitent depuis plusieurs années le potentiel offert par la digitalisation pour réduire l'impact énergétique et environnemental des transports. Différentes expérimentations sont en cours pour mesurer et comprendre l'impact des aménagements urbains sur la pollution automobile, qui s'appuient sur l'application Geco air<sup>TM</sup> que nous avons développée, mais également sur des développements très récents comme REAL-e, analyseur embarqué intelligent et connecté qui mesure en temps réel les émissions de polluants à l'échappement des véhicules légers. Ce dernier a reçu en 2019 un prix « Coups de cœur » lors du Grand Prix de l'innovation au salon Equip Auto à Paris.

Enfin, concernant la mobilité à faible impact environnemental, les équipes du Carnot poursuivent les travaux sur les moteurs à combustion interne dans le but d'en réduire la consommation et de diminuer les émissions de polluants. En tant qu'experts dans ce domaine, nous avons ainsi lancé en 2019 avec le ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES) une étude d'évaluation des émissions polluantes et des gaz à effet de serre (GES) des véhicules récents en usage réel. Le MTES a également lancé cette année la plateforme [jechangemavoiture.gouv.fr](http://jechangemavoiture.gouv.fr), dont le cœur de calcul a été développé par les équipes du Carnot.

Je vous invite à découvrir, dans ce bilan de l'année 2019, les avancées majeures du Carnot IFPEN Transports Energie. Ensemble, innovons pour une mobilité plus durable.

Bonne lecture !

**Gaëtan Monnier**

Directeur du Carnot IFPEN Transports Energie

## IFP ENERGIES NOUVELLES

IFPEN est un acteur majeur de la recherche et de la formation dans les domaines de l'énergie, du transport et de l'environnement. L'ensemble de ses travaux dans le domaine du transport est couvert par le Carnot IFPEN Transports Energie. Créé en 1944, IFPEN est un établissement public à caractère industriel et commercial (Epic).



### MISSION D'IFPEN

De la recherche à l'industrie, l'innovation technologique est au cœur de son action, articulée autour de trois priorités stratégiques : mobilité durable (portée par le Carnot IFPEN Transports Energie), énergies nouvelles et hydrocarbures responsables.

Dans le cadre de la mission d'intérêt général confiée par les pouvoirs publics, IFPEN concentre ses efforts sur :

- **Le développement d'innovations pour répondre aux défis de l'énergie et du climat.**

L'engagement d'IFPEN en faveur d'un mix énergétique durable se traduit par des actions visant à la fois à gagner en efficacité énergétique, à réduire les émissions de CO<sub>2</sub> et à améliorer l'empreinte environnementale de l'industrie et des transports, tout en répondant à la demande mondiale en mobilité, en énergie et en produits pour la chimie. Dans cet objectif, la R&I d'IFPEN est structurée autour de ses trois priorités stratégiques, et soutenue par un programme de recherche fondamentale, qui apporte un socle de connaissances indispensable au développement d'innovations.

- **La création de richesse et d'emplois**

Le modèle économique d'IFPEN repose sur la valorisation industrielle des technologies développées par ses chercheurs. Ce transfert technologique vers l'industrie est générateur d'emplois et d'activité en favorisant le développement des filières liées aux secteurs de la mobilité, de l'énergie et des éco-industries.

La mise sur le marché des innovations d'IFPEN se fait au travers de partenariats étroits avec des industriels et les filiales de son groupe. Sur des marchés émergents ou matures, IFPEN crée des sociétés ou prend des participations dans des entreprises prometteuses, que ce soit directement ou par le biais de structures de capital investissement.

Par ailleurs, IFPEN accompagne le développement de TPE, PME et ETI dans le cadre d'accords de collaboration leur permettant de bénéficier de son savoir-faire technique et juridique.

Constitué d'acteurs industriels de référence à l'échelle mondiale et de start-up, PME et ETI à fort potentiel, le groupe IFPEN illustre cette politique de valorisation.

Partie intégrante d'IFPEN, l'école d'ingénieurs IFP School prépare les générations futures à relever ces défis.





## LE CARNOT IFPEN TRANSPORTS ENERGIE EN BREF

Le Carnot IFPEN Transports Energie apporte à ses partenaires industriels des produits et services innovants et compétitifs dans trois domaines : mobilité électrifiée, mobilité connectée et mobilité à faible impact environnemental.

Au sein d'IFPEN, il répond aux défis actuels de la mobilité : évolution des usages appuyée par la digitalisation, amélioration de l'efficacité énergétique, diversification des énergies et réduction des nuisances.



### Innover grâce à :

- des solutions répondant aux besoins du marché : systèmes de motorisations électrifiées, services web, systèmes de motorisations thermiques intégrant les carburants bas carbone, systèmes mobiles ou stationnaires de production et de stockage d'énergie et de récupération d'énergie perdue pour le transport ou les installations de petite puissance ;
- des moyens expérimentaux et des outils numériques performants permettant de proposer des innovations à coûts et temps de développement réduits ;
- une politique volontariste de protection industrielle.

### Valoriser à travers :

- un accompagnement des filières industrielles sur un champ très large de niveaux de maturités technologiques (TRL 2 à 9) ;
- un transfert de ses résultats R&D via des codéveloppements de produits avec cession de licence d'exploitation, des partenariats stratégiques ou des contrats de recherche collaborative ;
- une politique de soutien de l'innovation, particulièrement auprès des TPE, PME et ETI.

### Collaborer avec :

- des start-up, TPE, PME, ETI jusqu'aux grands groupes industriels français et internationaux ;
- les pôles de compétitivité (Mov'eo, Cara, ASTech, etc.) ;
- les projets « filières industrielles » Carnot : le Carnot IFPEN Transports Energie est coordinateur de Carnauto pour l'automobile et partenaire d'Aircar pour l'aéronautique ;
- des réseaux de partenaires académiques et des laboratoires de R&D au rayonnement international ;
- les instances européennes représentatives de la recherche et de l'industrie (EARPA, ERTRAC, EGVA, POLIS).

### Des expertises et compétences de pointe parmi lesquelles :

- modélisation 3D, diagnostics avancés et compréhension de la combustion ;
- nouvelles technologies de motorisations thermiques et intégration véhicule ;
- stratégies de contrôle, contrôle embarqué et simulation temps réel ;
- aide à la conduite et gestion de flottes de véhicules ;
- traitement du signal ;
- algorithmes d'optimisation, science des données ;
- systèmes de stockage d'électricité ;
- etc.

### Le Carnot IFPEN Transports Energie en 2019, c'est :

**52** contrats en cours pour un panel de 24 entreprises

**28** projets de recherche collaborative auxquels contribuent **120** entreprises partenaires

Un personnel de **310** ETP

Plus de **30** doctorants, dont **2** en thèses Cifre

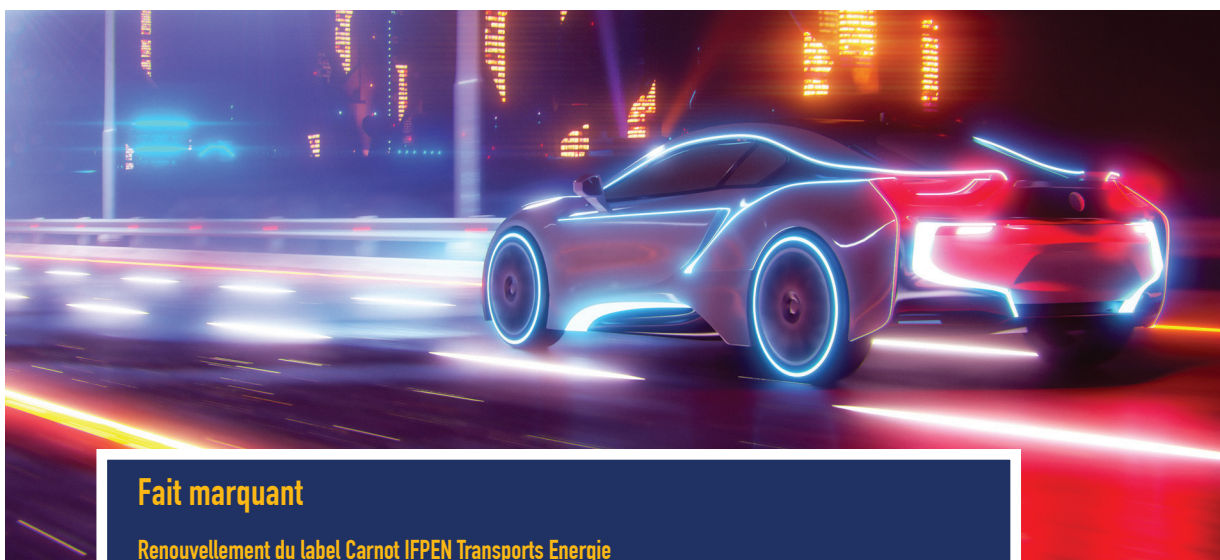
**36** brevets déposés dans l'année et **275** détenus dans le portefeuille de brevets

Près de **25** publications de rang A

## ACTIVITÉS ET FAITS MARQUANTS DE L'ANNÉE

Prendre en compte l'évolution des modes de déplacement, répondre aux défis de l'efficacité énergétique des transports et diversifier les sources d'énergie sont les enjeux de la mobilité durable. Le Carnot IFPEN Transports Energie met son expertise au service de ces objectifs pour proposer des innovations (produits et services) qui soient valorisables par l'industrie, compétitives sur les plans économique, énergétique et environnemental, et servent – entre autres – la collectivité et le citoyen. Trois thématiques complémentaires sont explorées :

- la mobilité électrifiée, du véhicule hybride au tout électrique ;
- la mobilité connectée, avec le développement de services et d'applications ;
- la mobilité à faible impact environnemental, avec l'amélioration des moteurs thermiques dans un contexte d'hybridation et l'optimisation de l'utilisation des carburants, notamment bas carbone.



### Fait marquant

#### Renouvellement du label Carnot IFPEN Transports Energie

Les activités d'IFPEN dans le domaine du transport s'inscrivent, depuis 2006, dans le cadre du Carnot IFPEN Transports Energie. Cette labellisation, renouvelée en 2020 pour quatre ans par l'ANR, est une reconnaissance de la capacité du Carnot IFPEN Transports Energie à accompagner ses partenaires industriels (grand groupe, ETI, PME, TPE et start-up) dans le cadre d'activités de recherche collaborative ou de prestations, et à développer des produits et logiciels en s'appuyant sur un écosystème d'entreprises partenaires innovantes.



## Accompagner l'électrification des véhicules

Pour accompagner l'accélération de l'électrification des transports et mettre au point des systèmes électriques performants et énergétiquement efficaces, les équipes du Carnot IFPEN Transports Energie travaillent sur plusieurs axes :

- les batteries : compréhension du vieillissement et des dysfonctionnements, amélioration du comportement des systèmes, nouvelles générations et recyclage ;
- les machines électriques et les systèmes hybrides innovants, ainsi que leur électronique de puissance et de contrôle ;
- le transport de charges sans effort.

Des solutions de récupération des énergies perdues, basées sur le cycle de Rankine (ORC), ont également été développées – notamment dans le cadre d'un partenariat avec la PME Enogia – et contribuent à l'amélioration globale de l'efficacité énergétique des motorisations.

Grâce à une expérience de plus de dix ans dans l'étude, la caractérisation et la modélisation des systèmes de stockage électrochimique pour les transports, IFPEN est aujourd'hui reconnu comme un acteur incontournable du domaine. Preuve de ce positionnement réussi, le Carnot IFPEN Transports Energie a su s'associer avec des acteurs de l'Alliance européenne des batteries pour étudier et modéliser de nouvelles générations de cellules de batterie, au travers du projet européen H2020 Modalis<sup>2</sup> (voir page 26). Ces travaux sur la modélisation des batteries permettent également d'innover sur des thématiques d'actualité comme la charge rapide ou la seconde vie des batteries.

En 2019, les équipes du Carnot IFPEN Transports Energie ont également poursuivi leurs travaux sur le comportement des systèmes, ainsi que sur les mécanismes de vieillissement et d'emballement thermique des batteries, enjeu important en termes de sécurité et de maintien des performances des véhicules électrifiés (projet H2020 Demobase). Rappelons que leurs modèles sont disponibles dans la librairie Electric Storage de la plateforme Simcenter Amesim commercialisée par Siemens Digital Industries Software.

Le Carnot IFPEN Transports Energie propose également une technologie de machines électriques, couvrant les besoins de tous les segments de marché, du véhicule hybride au véhicule électrique.

Le Carnot IFPEN Transports Energie s'est par ailleurs doté d'un nouveau banc d'essais véhicules électrifiés et d'un nouveau banc d'essais moteurs électriques afin de renforcer ses offres de R&I et de services sur la mobilité électrifiée.



## Fait marquant

### Recyclage des batteries de vélo à assistance électrique (VAE)



Le Carnot IFPEN Transports Energie collabore avec la start-up Doctibike sur le recyclage des batteries des VAE, dans le cadre du projet Energyk financé par la région Auvergne-Rhône-Alpes.

Ce projet a pour objectif de développer des packs batterie de VAE démontables, communicants et facilement réutilisables.

## Fait marquant

### Lancement du projet Modalis<sup>2</sup> pour la modélisation des futures générations de batteries

En 2019, le Carnot IFPEN Transports Energie a porté le projet Modalis<sup>2</sup> pour l'appel à propositions « Batteries de nouvelle génération » du programme Horizon 2020. Ce projet fédère Saft, Siemens Digital Industries Software, Siemens Corporate Technologies, Umicore, Solvay, K&S, CRF, Gemmate Technologies et l'université de Turin, autour d'IFPEN. Modalis<sup>2</sup> vise à développer une chaîne d'outils numériques afin de modéliser et de concevoir des systèmes de batteries mettant en œuvre de nouveaux matériaux. Ces travaux permettront d'accompagner le développement des nouvelles générations de cellules de batterie tout en optimisant les coûts de développement et production.





### **L'application des savoir-faire du Carnot IFPEN Transports Energie à d'autres domaines comme la mobilité dans les hôpitaux**

Lors du précédent challenge d'innovation interne, j'avais proposé une solution d'assistance amovible au déplacement des charges lourdes roulantes pour soulager les brancardiers dans les hôpitaux.



De la genèse à la preuve de concept, l'ensemble des acteurs concernés à IFPEN a su se mobiliser pour poursuivre la dynamique d'agilité et de pragmatisme initiée par ce challenge. La solution proposée a vu le jour grâce à la combinaison des savoir-faire en mécanique et des compétences en contrôle des motorisations électriques adaptées à l'effacement de charge. Ce projet a également permis, en s'appuyant sur les compétences multiples présentes à IFPEN, de s'ouvrir à de nouveaux marchés dans le domaine hospitalier, en s'interrogeant sur les modes de valorisation appropriés. Lauréat mi-2018, une preuve de concept aboutie en 2019, 2020 devrait être l'année de l'industrialisation. »

**Bertrand Lecoite**, chef de projet à IFPEN

En 2019, les équipes du Carnot IFPEN Transports Energie ont également développé leurs savoir-faire et compétences sur les machines électriques au service d'autres applications telles que le déplacement de charges sans effort. IFPEN s'est ainsi associé à la PME K-Ryole pour le transport de charges lourdes, jusqu'à 250 kg, à vélo ou à pied, sans aucun effort. IFPEN pilote également le projet « Convertissons la mobilité des Franciliens vers le vélo » de la région Île-de-France dans lequel des tests grandeur nature de ces remorques ont été réalisés.



## **Au service de la mobilité connectée**

Les chercheurs du Carnot IFPEN Transports Energie exploitent depuis plusieurs années le potentiel offert par la digitalisation pour réduire l'impact environnemental des transports, en proposant des services web et applications pour véhicules connectés, de l'écoconduite à l'évaluation des émissions de polluants, en passant par l'analyse énergétique, au service du citoyen, des collectivités et des entreprises.

S'appuyant sur l'application Gecoair™, différentes expérimentations sont en cours pour mesurer et comprendre l'impact des aménagements urbains sur la pollution automobile, dans le cadre de plusieurs projets régionaux tels que Airmap (Grand Est), Airmes (Provence-Alpes-Côte d'Azur) ou Reveal (Auvergne-Rhône-Alpes). Gecoair™ apporte ainsi aux collectivités locales une aide à la décision en matière d'urbanisme, d'aménagement routier et de gestion du trafic. La nouvelle version de Gecoair™ permet aujourd'hui d'accompagner les entreprises dans l'élaboration de leurs plans de mobilité.

Les équipes du Carnot IFPEN Transports Energie apportent également leur expertise en contrôle et en développement

## **Fait marquant**

**Une valise embarquée pour la mesure des polluants en temps réel**

Depuis 2018, le Carnot IFPEN Transports Energie développe, avec la PME Capelec, REAL-e, analyseur embarqué intelligent et connecté, qui mesure en temps réel les émissions de polluants à l'échappement des véhicules légers (voir Grand angle p.11). REAL-e est un système plus simple, plus économique et plus rapide que ceux employés aujourd'hui. En 2019, REAL-e a reçu un des trois prix « Coups de cœur » du Grand Prix de l'innovation au salon Equip Auto à Paris.



d'algorithmes, dans plusieurs projets européens, en soutien au développement de services connectés d'*eco-routing*, pour trouver la route la plus rapide et la moins énergivore, et d'*eco-driving*, pour amplifier la réduction d'énergie consommée. À titre d'exemple, dans le projet Optemus qui s'est terminé en 2019, des essais en usage réel urbain ont montré un gain de plus de 10 % sur la consommation énergétique associée à une réduction du temps de parcours. Des actions similaires sont menées dans le cadre du projet H2020 Cevolver (voir détails p.26) ou seront conduites dans le cadre du projet H2020 LongRun dédié aux poids lourds, accepté fin 2019 et lancé début 2020.



## Améliorer les motorisations thermiques

Dans un contexte de durcissement des réglementations et d'une hybridation croissante des véhicules, l'amélioration des motorisations thermiques reste indispensable. Les équipes du Carnot IFPEN Transports Energie mènent ainsi des travaux sur les moteurs à combustion interne, dans le but d'en réduire la consommation et les émissions de polluants. L'utilisation optimisée de carburants bas carbone permet d'améliorer encore le bénéfice environnemental de ces technologies en rupture. Sur cette thématique, le Carnot IFPEN Transports Energie est acteur de plusieurs projets menés dans le cadre du programme Horizon 2020. Ainsi, le projet Eagle, porté par le Carnot IFPEN Transports Energie, a pour objectif de développer une motorisation essence pour un véhicule hybride avec un rendement pic de 50%. Le projet LongRun, lancé début janvier 2020, vise, quant à lui, un ensemble complet de chaînes de traction pour poids lourds et autocars plus respectueux de l'environnement, avec l'intégration de systèmes de combustion adaptés aux carburants à faible impact CO<sub>2</sub> (hydrogène, *dual-fuel* ou biocarburants).

De plus, des recherches ont été menées, en partenariat avec un industriel, pour développer des systèmes innovants de dépollution des gaz d'échappement permettant de réduire drastiquement les émissions des véhicules équipés d'un moteur thermique et particulièrement en usage urbain.

Enfin, le Carnot IFPEN Transports Energie poursuit des travaux avec PSA et Renault sur la recherche précompétitive dans le domaine des motorisations au sein du Groupement scientifique moteurs (GSM).

### Fait marquant

Le projet Horizon 2020 Sureal-23 « *Understanding, measuring and regulating sub-23 nm particle emissions from direct injection engines including real driving conditions* » a permis de développer de nouveaux appareils embarqués capables de mesurer l'émission des particules ultrafines (jusqu'à un diamètre de 10 nm) par les moteurs essence et Diesel, en conditions réelles d'usage. Ceci fournit au législateur européen une base scientifique pour un possible abaissement du seuil réglementaire de mesure de particules de 23 nm à 10 nm.

### Fait marquant

**L'expertise du Carnot IFPEN Transports Energie en mesure des émissions des véhicules reconnue**

Le Carnot IFPEN Transports Energie, en tant qu'expert en caractérisation des émissions polluantes des véhicules, et le ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES) ont lancé en 2019 une étude d'évaluation des émissions polluantes et de gaz à effet de serre (GES) en usage réel pour les véhicules respectant la norme Euro 6d-TEMP. Cette étude, dont les résultats seront rendus publics au dernier trimestre 2020, permettra d'établir les performances environnementales de l'offre actuelle de véhicules essence, Diesel et hybrides en toute transparence au service des citoyens.





## LES PROJETS CARNOT FILIÈRES : CARNAUTO ET AIRCAR

Le Carnot IFPEN Transports Energie poursuit sa mobilisation pour accompagner les TPE, PME et ETI dans leur démarche d'innovation dans le cadre de deux actions Carnot filières menées en collaboration avec d'autres Carnot du domaine :

- Carnauto, dédiée à la filière automobile et mobilité, en tant que coordinateur ;
- AirCar, dédiée à la filière aéronautique, en tant que partenaire.



### CARNAUTO : 127 ENTREPRISES ACCOMPAGNÉES EN 2019

Grâce à l'offre de services personnalisée bâtie en 2018 autour des trois programmes Improve, Realize et Explore, les neuf Carnot partenaires ont pu, en 2019, accompagner 127 entreprises dans leurs démarches d'innovation autour des trois défis d'avenir :

- les motorisations et vecteurs énergétiques ;
- les matériaux et architectures ;
- les TIC et la mobilité.

La mise à disposition du réseau d'experts des Carnot à travers des *webinars* et des *challenges flash* s'est poursuivie en 2019, avec pour objectif de permettre aux entreprises de comprendre les grandes tendances et évolutions technologiques

de la filière automobile et mobilité, de décrypter facilement les innovations, d'anticiper les ruptures et de trouver des pistes pour leurs propres développements de R&I. Sur l'année, quatre événements ont ainsi été organisés. Ils ont porté sur les procédés innovants et leur optimisation, l'IA et le *big data* pour la mobilité intelligente, le confort acoustique des véhicules et sur les contrôles non destructifs innovants.

Carnauto a également organisé une conférence sur la mécatronique lors des Rendez-vous Carnot en octobre à Paris, où la filière était également présente avec un stand exposant des innovations des neuf Carnot partenaires.

En outre, pour coller au mieux à l'évolution de la mobilité et répondre aux besoins futurs, Carnauto poursuit l'évolution de ses plateformes expérimentales. Ainsi, en 2019, le Carnot IFPEN Transports Energie a complété son offre grâce à une nouvelle plateforme de test de moteurs électriques, en collaboration avec une PME.



### AIRCAR : AU SERVICE DES TPE ET PME DE L'AÉRONAUTIQUE

Le Carnot IFPEN Transports Energie poursuit son engagement pour les TPE, PME et ETI du secteur aéronautique au sein de la filière AirCar, portée par l'Onera avec sept autres Carnot.

Il est plus particulièrement présent sur le développement de systèmes et composants hybrides et électriques ainsi que sur les filières de carburants alternatifs. Dans ce dernier domaine, 2019 lui a permis de compléter son offre de services en se dotant de nouveaux moyens de caractérisation des biocarburants pour l'aéronautique.

## GRAND ANGLE – MESURER LES ÉMISSIONS POLLUANTES DES VÉHICULES EN CONDITION DE CIRCULATION AVEC REAL-E

REAL-e : l'analyseur de gaz d'échappement embarqué, intelligent et connecté pour mesurer les émissions polluantes des véhicules en condition réelle de circulation.

REAL-e est le résultat d'une synergie entre les compétences en analyse de gaz de Capelec et les modèles d'émissions de polluants du Carnot IFPEN Transports Energie. REAL-e permet de faciliter et de rendre massive la quantification des polluants émis sur des flottes de véhicules avec des mesures exhaustives, fiables et indépendantes des constructeurs.



### L'INNOVATION

Le contrôle technique des véhicules particuliers en France s'appuie sur des analyseurs de gaz d'échappement qui interviennent sur le véhicule à l'arrêt. Ils ne mesurent de ce fait que très partiellement leurs émissions de gaz et ne permettent pas d'évaluer les émissions réelles de polluants, car elles dépendent des conditions de circulation, du type de conduite ou encore du type d'itinéraire.

Le dispositif REAL-e se présente sous la forme d'une mallette contenant un analyseur de gaz d'échappement (CO, CO<sub>2</sub>, NOx, PN, NH<sub>3</sub>) connecté à un *dongle* EOBD qui recueille les paramètres du véhicule, le géolocalise, centralise les données puis les envoie dans un *cloud*.

Les données du véhicule sont ensuite fusionnées avec celles de modèles numériques d'émissions, ce qui permet de les enrichir, de les contextualiser et de les comparer avec les émissions d'un jumeau numérique nominal. Les résultats de la comparaison sanctionnent la conformité du véhicule ou concluent à la nécessité de mener des analyses complémentaires.

Solution économique pour la mesure des émissions des véhicules en conditions réelles, REAL-e cible les services de mise au point des véhicules, la surveillance de marché ou encore les tests de conformité en service aux normes d'émission définies dans la réglementation RDE (*Real Driving Emissions*).

REAL-e a l'avantage de pouvoir se positionner entre deux offres déjà présentes sur le marché : d'une part, la solution du radar de pollution (rapide, simple mais ponctuel et peu précis) et, d'autre part, l'équipement portable de mesure des émissions utilisé pour l'homologation (PEMS : *Portable Emissions Measurement System*).

## LE BESOIN

Depuis 1989, Capelec fournit les centres de contrôles techniques automobiles en instruments de mesure et bancs d'essai. Reconnue pour la qualité de ses analyseurs de gaz d'échappement, la PME s'intéresse dorénavant à la mesure en situation réelle des émissions de polluants imposée par les réglementations les plus récentes.

Les mesures brutes de telles émissions ne sont exploitables qu'à la condition d'être préalablement recontextualisées, complétées et finalement comparées à des mesures de référence. Le Carnot IFPEN Transports Energie est intervenu pour assurer le traitement numérique de ces mesures en développant des algorithmes de calcul des émissions de polluants avec trace GPS capables de déterminer la conformité d'un véhicule.

Outre le fait que le test est de courte durée et n'est pas contraint par un parcours défini, l'équipement est très facilement transférable d'un véhicule sur un autre. Il permet ainsi de détecter rapidement les véhicules gros pollueurs ou non conformes, ce qui lui a valu d'être distingué lors du Grand Prix de l'innovation d'Equip Auto.

## LE PARTENARIAT

Le Carnot IFPEN Transports Energie intervient depuis 2006 auprès d'opérateurs de toutes tailles au service des enjeux de mobilité durable. Il propose notamment au grand public l'application mobile gratuite Geco air™. Développée avec l'Ademe, cette dernière met à disposition des automobilistes une base de profils d'émissions polluantes récoltés au gré de leurs propres trajets.

À partir des caractéristiques du véhicule et des paramètres du déplacement, les modèles mathématiques permettent d'estimer les émissions de gaz, de particules, et de consommation de carburant. L'application délivre alors un score sur 100 accompagné de conseils pour réduire l'empreinte environnementale du conducteur. Anonymisées, ces données servent également à améliorer les infrastructures et la réglementation routière.

Dans le cadre du partenariat, les algorithmes de Geco air™ et l'analyseur de Capelec ont été adaptés pour co-développer REAL-e, un système plus simple, plus économique et plus rapide que les systèmes qui servent actuellement à identifier des véhicules gros pollueurs en conditions réelles.

Ce produit confère à la PME montpelliéraine une nette avance sur le marché émergent de la surveillance de marché et la conformité en service et laisse présager de belles perspectives de développement.

Retrouvez la vidéo de présentation de REAL-e :

<https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/innovation-et-industrie/nos-expertises/mobilite-durable/vehicule-connecte/nos-solutions>



## RESSOURCEMENT SCIENTIFIQUE

Afin de répondre aux besoins identifiés auprès des partenaires dans le domaine de la mobilité durable, la politique de diversification Carnot IPEN Transports Energie s'est poursuivie en 2019. L'abondement Carnot offre au Carnot IPEN Transports Energie l'opportunité d'accélérer le développement ou l'adaptation de ses compétences pour faire face à l'évolution des besoins du marché.

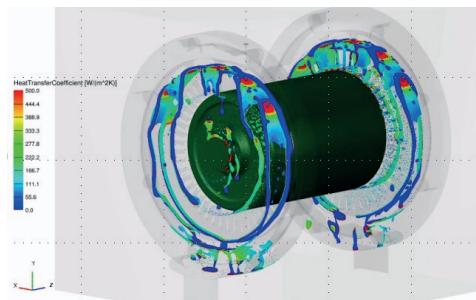


## La gestion thermique des machines électriques améliorée

### Les résultats obtenus

#### Des machines environ 30 % moins coûteuses

Le Carnot IPEN Transports Energie a poursuivi le développement de machines électriques synchro-réductantes assistées par aimants sans terres rares. L'optimisation des circuits magnétiques ainsi que la prise en compte non seulement des contraintes de tenue mécanique (fonctionnement jusqu'à ~20000 tr/min), mais aussi de démagnétisation des aimants à bas coût (à base de ferrites), ont permis de concevoir des machines avec une densité de puissance supérieure à 3 kW/kg et environ 30% moins coûteuses que les machines de référence (moteur synchrone à aimants permanents avec terres rares).



Estimation des coefficients de transfert thermique pour une configuration d'injection d'huile (*dripping*)

à la fois d'estimer avec précision les flux thermiques captés par les différents sous-systèmes et d'identifier les paramètres ayant un impact important sur la réponse thermique. Les premiers résultats ont montré une réduction moyenne de la température au niveau des têtes de bobines d'environ 20% sur les points de fonctionnement ciblés.

#### Des modèles d'estimation opérationnels

Enfin, des modèles capables d'estimer en temps réel et de manière robuste le couple électromagnétique et la température des points chauds (têtes de bobines et aimants dans le rotor) ont été développés de manière à piloter la machine électrique au plus près de ses limites de fonctionnement.

### La problématique traitée

La construction de nouvelles générations de groupes motopropulseurs électrifiés à haute efficacité nécessite au préalable la mise au point de briques technologiques innovantes. Afin d'obtenir le meilleur compromis entre coût et performance, le Carnot IPEN Transports Energie travaille à l'optimisation de ses machines électriques et électroniques associées. Il concentre pour ce faire ses recherches sur l'utilisation de nouveaux matériaux et de nouvelles solutions.

**Objectif : améliorer la gestion thermique de systèmes caractérisés par des pertes massives élevées.**

Les travaux de recherche menés en 2019 ont porté sur les axes suivants :

- la conception de machines synchrones sans terres rares à forte composante réductante ;
- l'étude de la thermique des machines à forte densité de puissance ;
- le développement d'algorithmes pour le pilotage robuste de machines haute vitesse.

### La température au niveau des têtes de bobines réduite en moyenne d'environ 20%

Le Carnot a également conçu et intégré plusieurs systèmes d'injection d'huile (*spray*, multijet et *dripping*) au sein d'un même support expérimental pour le refroidissement des parties actives. La nouvelle méthodologie expérimentale mise au point permet, par ailleurs,



# De nouvelles topologies de machines électriques et électroniques associées

## Les résultats obtenus

### Un premier niveau de couplage propice à l'optimisation des parties actives

La complexité grandissante des topologies de machines électriques et la multiplication des critères de dimensionnement ont conduit le Carnot IFPEN Transports Energie à coupler des outils de calculs électromagnétiques et de gestion de plans d'expérience afin de rationaliser la conception des parties actives. Ce premier niveau de couplage a permis non seulement de concevoir les parties actives d'une machine suivant des contraintes multicritères, mais également d'optimiser des formes existantes de rotor et de stator sur la base de cibles de dimensionnement régies par des compromis (ex. performances en couple/rendement, etc.). Il a vocation à être enrichi de manière à compléter les méthodologies visant à proposer de nouvelles conceptions de machines.

### Une densité de puissance doublée

La conception de nouvelles architectures d'électronique de puissance s'est concrétisée en 2019 par le développement d'une électronique à base de composants Wide Band Gap de type MOSFET SiC (carbure de silicium). Son objectif — le doublement de la densité de puissance par rapport à la technologie IGBT — a été atteint d'une part, grâce à l'augmentation de la tension du bus continu à 750 V, et d'autre part, grâce à l'accroissement de la fréquence de pilotage des MOSFET, qui est notamment à l'origine de la miniaturisation des condensateurs de découplage. Le premier niveau de validation de cette électronique a pu être mené en laboratoire.



Électronique haute tension à base de composants MOSFET SiC (carbure de silicium)

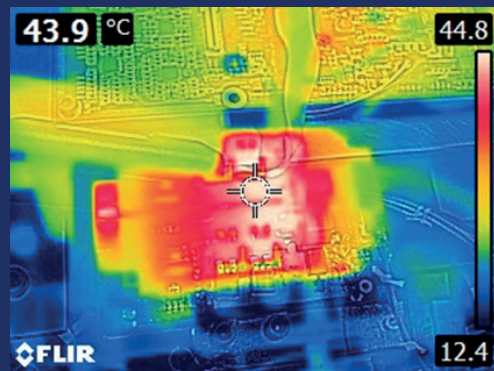
## La problématique traitée

La prise de conscience générale de l'impact de la mobilité sur l'environnement incite à la diversification des sources d'énergie et des systèmes de conversion. Dans ce contexte, le moteur électrique s'impose comme étant le transformateur final d'énergie privilégié par les usagers, les constructeurs et les autorités pour les véhicules.

Ses bénéfices : son rendement élevé, sa simplicité et sa facilité d'utilisation. L'action menée au sein du Carnot IFPEN Transports Energie en 2019 a porté sur le développement de méthodes de conception de machines optimales et sur l'élaboration d'électroniques de puissance haute tension plus compactes.

Les axes de recherche ont été les suivants :

- l'élaboration d'outils d'optimisation des parties actives de machines électriques ;
- le développement d'une électronique haute tension à forte densité de puissance.



Évaluation thermique de la carte drivers





## Des machines haute vitesse pour accroître le rendement des moteurs thermiques

### Les résultats obtenus

#### 4 g/km de CO<sub>2</sub> en moins

La caractérisation du système, intégré à un moteur au banc d'essais et variant les sous-systèmes (rotor nominal et miniaturisé, grade de l'aimant, turbines, etc.), a donné des résultats prometteurs pour la capacité de récupération comme pour l'assistance de la boucle d'air. Dans la projection d'usage sur véhicule, l'énergie autrement perdue permettrait d'économiser 4 g/km de CO<sub>2</sub> tout en offrant une dynamique de couple 300% plus efficace à faible vitesse moteur.

#### Une perte de fer divisée par 2

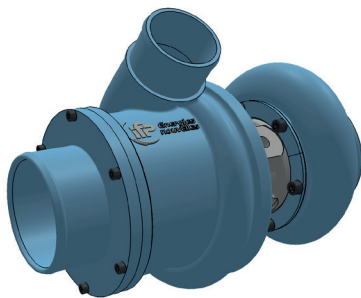
Différents paramètres liés au matériau magnétique et à la forme du stator ont été étudiés grâce à un principe expérimental destiné aux caractérisations fines. Les résultats indiquent des pertes de fer divisées par 2, ce qui augmente le rendement de la machine de 2 points.

#### Identifier les limites de la machine

La machine électrique étant très peu sensible thermiquement, une électronique à plus forte capacité en courant (300% supplémentaires) a été conçue de manière à en exploiter les caractéristiques, en accroître les performances dynamiques et en identifier les limites.

#### Une innovation : l'aimantation du rotor

Enfin, le Carnot IFPEN Transports Energie a prototypé et testé un concept d'aimantation du rotor *in situ* par son électronique. Ce concept innovant s'appuie sur l'association de matériaux magnétiques et électroniques de puissance à forte capacité en courant.



### La problématique traitée

La réduction des émissions de CO<sub>2</sub> via l'électrification de la chaîne de traction des véhicules thermiques ouvre la voie à des synergies entre les sources électrique et thermique de puissance. Le moteur thermique étant la source principale d'énergie, son rendement a un impact direct sur les émissions. Le Carnot IFPEN Transports Energie a développé un système électrique très haute vitesse pour turbocompresseur dédié à la boucle d'air, qui permet de récupérer une partie de l'énergie perdue à l'échappement, d'optimiser le système de suralimentation dédié à l'efficacité du moteur, et d'assister le propulseur thermique en transitoire.

Quatre axes de recherche ont été identifiés :

- la caractérisation des performances du système complet sur un moteur au banc d'essais ;
- l'étude de sensibilité de la machine aux matériaux et la séparation des pertes expérimentales ;
- la conception d'une électronique de puissance avec la montée en courant ;
- la mise en œuvre du système électrique à aimantation modulaire/temporaire.





## Des logiciels de simulation plus accessibles

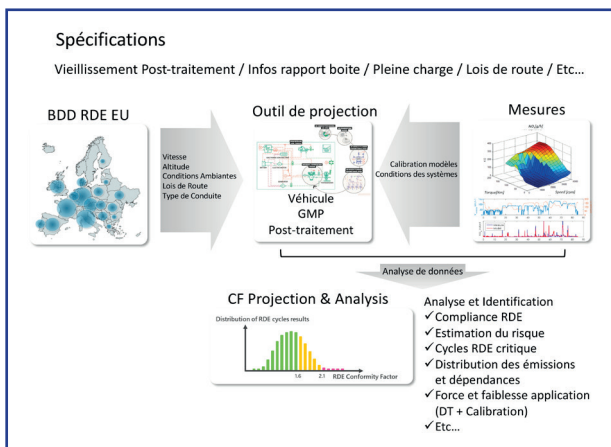
### Les résultats obtenus

Les deux activités menées en 2019 s'inscrivent dans la continuité des actions entreprises en 2018.

### Un service web plus exhaustif

Le Carnot IFPEN Transports Energie a enrichi le service web développé en 2018 qui s'appuyait sur des travaux de l'étude E4T « Étude économique, énergétique et environnementale pour les technologies du transport routier français » réalisée avec l'Ademe. Ce service comparait les différents GMP, sur la base d'un usage défini par l'utilisateur, en fonction de deux critères : le coût total de possession (TCO) et les émissions de CO<sub>2</sub>. Il couvre désormais un nombre plus important de segments, des citadines aux SUV, ainsi qu'une multitude de GMP, y compris ceux basés sur des piles à combustible.

Il servira de base à diverses applications, notamment celles d'aide à la décision pour le particulier ou les pouvoirs publics.



### La problématique traitée

En 2019, le Carnot IFPEN Transports Energie a fait évoluer ses logiciels de simulation dans le but d'encourager leur utilisation plus massive, notamment par des ingénieurs non spécialistes et dans des structures de petite taille.

Les travaux ont porté sur les bibliothèques de modélisation du véhicule et de ses organes, dont le groupe motopropulseur (GMP), que le Carnot développe avec ses partenaires.

Ces outils de modélisation sont multi-échelles, depuis la modélisation 3D LES (*Large-Eddy Simulation*) jusqu'à la modélisation système (OD).

Deux axes de recherche ont été identifiés :

- l'évolution des outils afin de proposer des services de simulation accessibles dans le *cloud* plutôt que d'utiliser un logiciel propriétaire ;
- l'intégration des données liées à l'usage du véhicule en conditions réelles au sein de la modélisation système de ce dernier.

### Une simulation de la couverture RDE (*Real Driving Emissions*) pour un véhicule donné

La mise en place du protocole RDE pour le contrôle des émissions polluantes en usage réel représente un véritable challenge pour les constructeurs. Ils sont tenus en effet de respecter les seuils réglementaires fixés pour l'ensemble des scénarios de conduite.

L'approche *cloud computing* permet de générer des traces RDE représentatives et de les coupler à la simulation des émissions pour un véhicule donné. Initialement développée pour les véhicules Diesel, elle a commencé à être étendue en 2019 aux véhicules essence, hybridés ou non.



# Des algorithmes d'intelligence artificielle plus performants

## Les résultats obtenus

### Un *data-lake* Mobilité

Au cours de cette première année, le Carnot IFPEN Transports Energie a concentré ses actions sur la mise en place du *data-lake* « mob-data », à savoir les données de mobilité remontées via les applications Geco air™ (qui inclut tous les modes de transport) et Geovelo (trajets vélo uniquement), ainsi que la construction d'outils permettant d'y accéder.

Pour ce faire, le Carnot a travaillé à la définition d'une architecture informatique adaptée pour la manipulation de ces données et leur stockage sur des serveurs IFPEN.

### Des algorithmes pour traiter et standardiser les données

La donnée en tant que telle étant souvent non exploitable directement, le travail principal consiste à la traiter, c'est-à-dire à la nettoyer et la contextualiser via l'ajout de métadonnées.

Les algorithmes développés ont précisément permis de post-traiter ces données (via la suppression des trajets incohérents, la gestion des données manquantes au cours d'un trajet, etc.) et de leur attribuer un format standard. Ces travaux ont été menés séparément pour les deux applications et leurs données respectives, chaque type de mobilité possédant sa spécificité.



Mise en place du *data-lake* « mob-data »

## La problématique traitée

Les données remontées par les applications de mobilité comprennent des traces GPS exploitables à l'échelle du trajet. Agréger l'ensemble de ces données nécessite de pouvoir les rapporter à l'infrastructure routière sous la forme d'une représentation référentielle commune. Le Carnot IFPEN Transports Energie a configuré le stockage des données via un *data-lake* pour en faciliter l'accès et la mise en forme.

**Objectif :** pouvoir sélectionner des données associées à une portion de route et récupérer des informations extérieures nécessaires à leur contextualisation. Optimiser leur accès aura pour conséquence d'améliorer les performances des algorithmes d'analyse et d'apprentissage.

Les axes de recherche de la première étape de mise en place du *data-lake* portent principalement sur :

- les solutions technologiques de stockage des données ;
- le traitement des enregistrements GPS remontés par les applications mobiles afin que ces données soient exploitables par la suite.

## Agréger les données à l'échelle d'un référentiel commun

Enfin, le Carnot a procédé à l'ajout d'un service de *map-matching*, ou projection des coordonnées géographiques sur l'infrastructure routière, afin de pouvoir agréger les données à l'échelle du système d'information géographique (SIG).

La réalisation de cette première étape de développement et l'accès à ces données de mobilité rendent désormais possible l'application d'algorithmes de *data-mining* / *data-learning* pour l'élaboration de nouveaux services.



# Des systèmes de combustion en rupture à haut rendement

## Les résultats obtenus

### Utiliser l'hydrogène dans un système de combustion à préchambre ultra diluée

Dans la continuité des travaux précédents, l'intérêt de systèmes de combustion à préchambre a été confirmé, notamment dans le cadre de combustions diluées. L'adéquation entre la préchambre et le système de combustion a été largement investiguée, nos codes et méthodologies de calculs ont été adaptés et des essais réalisés pour valider les développements.

Suite à l'étude sur l'utilisation de l'hydrogène comme booster de combustion, son potentiel en tant que carburant unique a été instruit. Il devrait en effet théoriquement se comporter comme un système de combustion à préchambre ultra diluée, autorisant le maintien de vitesses de combustion élevées même à des taux de dilution importants et hors présence de cliquetis.

### Une cinématique variable pour augmenter le rendement des systèmes de combustion

Dans la continuité de travaux sur les cycles externes, le potentiel d'une cinématique variable a été étudié. Des calculs 3D ont confirmé son intérêt puisque le taux de détente a été porté à plus de 23:1 pour un ratio RVD/RVC de 1,7. Les calculs 0D réalisés en 2018 ont montré qu'elle permettait d'atteindre 50% de rendement à richesse 1 sans recirculation des gaz brûlés.

Pour ce type de cinématique à RVC et RVD différenciés, associer une durée à chacune des phases variables (de 150°V à 240°V) bénéficie à l'aérodynamique interne en renforçant les vitesses de flamme, tandis que prolonger la détente permet d'accroître la récupération d'énergie.

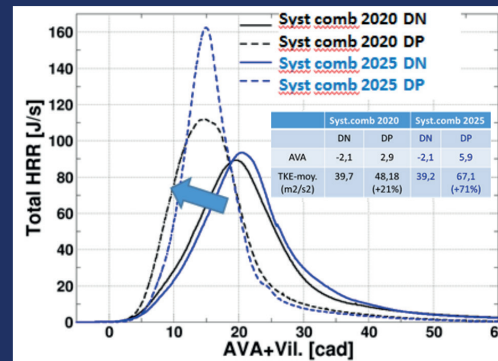
Les conséquences sur les échanges thermiques sont en cours d'étude, mais les premiers résultats concluent à des gains en rendement de 7 à 9 points. Au regard des résultats validés sur moteur, on peut s'attendre à dépasser largement les 50% de rendement indiqué et approcher la cible de 50% de rendement effectif si une telle cinématique arrive à être mise en œuvre.

## La problématique traitée

Dans un contexte d'hybridation de plus en plus poussée des véhicules, un moteur à combustion interne à très haut rendement reste déterminant pour réduire la consommation et les émissions de polluants. L'approche du Carnot IFPEN Transports Energie vise à tirer parti de l'électrification croissante des groupes motopropulseurs (GMP), avec un moteur thermique de plus en plus convertisseur d'énergie. En 2019, des procédés de combustion en rupture permettant d'atteindre, dans certaines conditions de fonctionnement, des rendements très élevés (> 50 %) ont été identifiés.

Deux grands axes de recherche ont été définis :

- l'identification de voies alternatives parmi lesquelles l'injection d'espèces chimiquement actives pour mieux contrôler la combustion ou encore le contrôle actif de l'aérodynamique complexe dans la chambre ;
- l'étude de systèmes de combustion basés sur des cycles thermodynamiques permettant un rendement théorique significativement plus élevé qu'un cycle Beau de Rochas classique.



Évolution de l'énergie cinétique turbulente (TKE) en fonction du système de combustion et de la cinématique utilisée (DN : détente normale - DP : détente prolongée) / Impact sur le dégagement d'énergie (total HRR)

# PROFESSIONNALISATION ET DÉVELOPPEMENT DE PARTENARIATS SOCIO-ÉCONOMIQUES

En 2019, le Carnot IFPEN Transports Energie a renforcé ses démarches en matière de marketing stratégique et de promotion de l'innovation. Il est notamment engagé auprès des petits acteurs industriels (TPE, PME et ETI) pour les accompagner dans leurs développements R&D ou pour développer en partenariat des produits et des services répondant aux besoins de la mobilité durable.

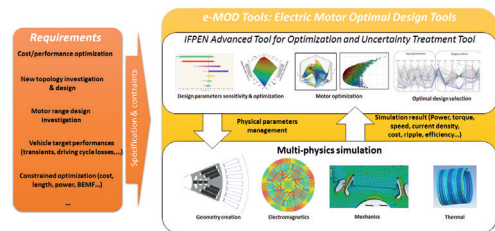


## Conception de moteurs électriques destinés aux applications automobiles

Afin de trouver le meilleur compromis entre la performance et le coût d'un moteur électrique pour des applications automobiles, le Carnot IFPEN Transports Energie a mené des études paramétriques avancées dédiées à la conception de ces moteurs. Plusieurs prototypes ont été réalisés et testés afin de valider leur performance et deux applications industrielles ont été envisagées. La première concerne un moteur électrique pour une chaîne de traction haute tension et forte puissance d'un véhicule électrique (VE). La seconde application vise un moteur électrique de faible tension et faible puissance pour un véhicule hybride (VEH).

### Moyens mis en place : simulation, prototypes et banc d'essais

Les outils de simulation ont d'abord été exploités dans le but de parvenir à la topologie présentant le meilleur compromis coût/performance pour les applications ciblées. Différents prototypes ont ensuite été réalisés. Enfin, un nouveau banc d'essais dédié aux tests de l'endurance de tôles de rotor a été mis en place.



Outil d'optimisation du design de machines électriques

### Résultats obtenus

#### La conception de plusieurs configurations de moteurs sur les deux applications ciblées VE et VEH

Les travaux réalisés permettent de disposer d'une base de données de simulations riche et exploitable pour différentes applications industrielles.

#### La réalisation de prototypes de moteurs et d'onduleurs

Les validations de performance moteur et d'endurance de la tôle rotor au moyen de tests présentent un double intérêt :

- valider la technologie de moteur proposée par le Carnot IFPEN Transports Energie ;
- constituer une base de données expérimentales précieuse pour les nombreux partenaires industriels du Carnot sur de nombreux sujets techniques : évaluation expérimentale de plusieurs paramètres de conception, performance, comportement thermique, tenue mécanique de la tôle rotor, etc.

Ces prototypes illustrent par ailleurs le savoir-faire du Carnot IFPEN Transports Energie dans le domaine des machines électriques, depuis leur conception jusqu'à leur prototypage.

#### La capitalisation des informations

Les documents de travail ont été regroupés à destination du partenaire industriel. Il s'agit, entre autres, des plans de conception qui mettent en lumière la prise en compte des contraintes industrielles à ce stade, des méthodes d'essai montrant la prise en compte des exigences normatives de l'automobile et des rapports d'essai présentés sous une forme compatible avec les exigences des acteurs industriels concernés. À l'avenir, ces éléments pourront potentiellement être exploités avec d'autres partenaires.





## Récupération d'énergie appliquée au transport

Le Carnot IFPEN Transports Energie est partenaire depuis 2014 d'Enogja, PME spécialisée dans la récupération de chaleur qui commercialise depuis plusieurs années des systèmes ORC (*Organic Rankine Cycle*) pour des moteurs stationnaires. Cette technologie, basée sur la récupération de l'énergie perdue dans l'eau de refroidissement des moteurs thermiques, a été adaptée au transport routier pour une application automobile.

### Moyens mis en place : prototypage et simulation

Les travaux s'appuient sur la complémentarité entre expérimentations et simulations numériques. Plusieurs prototypes sont réalisés, d'abord en CAO, puis en réel, afin d'être testés sur un banc d'essais conçu spécifiquement pour le projet. Les résultats obtenus alimentent ensuite les outils de simulation qui, une fois validés, sont utilisés pour la conception du meilleur système possible, c'est-à-dire permettant de récupérer une énergie satisfaisante pour un coût maîtrisé.

### Résultats obtenus

#### 2 à 3 % de consommation de moins pour un VUL

En 2019, un nouveau démonstrateur d'un système de récupération d'énergie pour une application automobile (ORC-VL) a été réalisé. Lors de sa conception, les contraintes d'encombrement et donc de miniaturisation du système, ainsi que les procédés de fabrication nécessaires pour obtenir un coût de production de grande série, compatible avec le domaine de l'automobile, ont été pris en compte. Les résultats expérimentaux obtenus ont permis d'atteindre des niveaux de puissances électriques récupérées sur un véhicule léger allant de 270 W pour un point représentatif d'un fonctionnement à 70 km/h, à 530 W sur un point à 130 km/h. Ces résultats expérimentaux retranscrits dans les simulateurs permettent d'obtenir des gains équivalents à une réduction des émissions de CO<sub>2</sub> de l'ordre de 3 g/km sur cycle WLTC et de l'ordre de 2 à 3 % de réduction de consommation sur autoroute sur un véhicule utilitaire.

#### Un nouvel ORC-VL plus compact

Le développement d'un cinquième démonstrateur, intégrant une pompe dans l'application turbo-génératrice VL, a démarré cette année et sera finalisé en 2020. Il s'agit, dans ce nouvel ORC-VL, de développer un système plus compact et plus performant, profitant de l'intégration turbo-génératrice et pompe dans un seul composant compact et le moins onéreux possible.





## Estimation des émissions polluantes des véhicules à chaque trajet

L'impact des conditions de conduite sur les émissions polluantes des véhicules est significatif mais méconnu du grand public. Ce levier — qui pourrait aider à réduire l'empreinte environnementale des déplacements — est donc peu utilisé. Le Carnot IFPEN Transports Energie a développé une application smartphone, Geco air™, téléchargeable gratuitement. Elle calcule automatiquement les émissions de polluants et de gaz à effet de serre de chaque trajet. L'objectif est double : sensibiliser les conducteurs et collecter des données pour améliorer les connaissances sur les usages réels.

### Moyens mis en place : modélisation et recueil de données

Les émissions polluantes sont estimées grâce à l'acquisition du signal GPS à 1 Hz couplée à une modélisation fine du véhicule, du moteur et du système de post-traitement sous forme de services web. Des algorithmes de détection automatique des trajets à l'aide des capteurs du smartphone ont également été développés. Les données d'usage réel de chaque trajet sont stockées sur une base de données sécurisée. Elles sont rendues anonymes en cas d'utilisation pour la recherche.



Cartographie de la qualité de l'air calculée à partir des émissions du trafic issues de Gecoair™

### Résultats obtenus

#### Des services web

Les services web de calcul des émissions polluantes sont opérationnels sur les serveurs Carnot IFPEN Transports Energie. Ils permettent aux utilisateurs de l'application Gecoair™ de bénéficier d'une estimation fine de leur empreinte environnementale après chaque trajet, ainsi que de conseils personnalisés pour s'améliorer. Les modèles ont pu être validés sur près de 300 véhicules par comparaison avec des données expérimentales.

#### Une application smartphone

L'application smartphone Gecoair™ est téléchargeable gratuitement à la fois pour les téléphones Apple et Android. Elle détecte automatiquement les trajets réalisés et a déjà permis de sensibiliser plus de 25 000 conducteurs à l'écoconduite intégrant la qualité de l'air. L'application est très bien évaluée par les utilisateurs avec une note supérieure à 4 (sur 5) pour 700 votes.

#### Une base de données

Grâce à Geco air™, une base de données d'usage réel a été constituée. Les données recueillies permettent de construire des cartographies haute résolution des émissions polluantes ainsi que de caractériser l'impact des aménagements de voirie et leur réglementation. Pour les villes et les exploitants de réseaux routiers, cela représente un nouvel outil d'aide à la décision. Deux collaborations sont en cours, avec les métropoles de Lyon et Marseille. Ces méthodologies sont également utilisées pour améliorer la chaîne de modélisation de la qualité de l'air en collaboration avec les associations de surveillance de la qualité de l'air (ASQAA). Deux projets sont en cours avec ATMO AURA et ATMO Sud.



## Prédiction de l'usage des véhicules électriques en autopartage

Dans le cadre des flottes en autopartage, on constate une sous-utilisation des véhicules électriques, généralement réservés une fois par jour pour de courts trajets. Pour cette raison, le Carnot IFPEN Transports Energie développe un nouveau service permettant de réduire le coût global de possession d'un véhicule électrique (TCO) en augmentant son usage. L'objectif est de prédire la faisabilité d'un trajet à venir ainsi que l'heure à laquelle le véhicule sera disponible après sa recharge.

### Moyens mis en place : des algorithmes de prédiction

Plusieurs briques logicielles ont été développées. Le premier algorithme, embarqué dans un boîtier connecté branché sur le véhicule, permet de communiquer l'état de charge de la batterie vers un serveur. Ce serveur héberge, quant à lui, trois algorithmes permettant respectivement de prédire la faisabilité d'un trajet, de prédire le temps nécessaire pour recharger la batterie et enfin de noter le niveau d'utilisation du freinage régénératif par le conducteur.



### Résultats obtenus

Les différents algorithmes ont été déployés sous forme de services web. La fonction de collecte de l'état de charge a été testée sur plusieurs Renault ZOE. La fonction de prédiction de la dépense énergétique a été validée expérimentalement sur plusieurs trajets. Cette estimation a été comparée avec la valeur référence de consommation énergétique mesurée sur le bus CAN et une méthode d'estimation correspondant à l'état de l'art et ne tenant pas compte de l'impact des accélérations.

### Une prédiction de la dépense énergétique précise à 96 %

L'erreur moyenne constatée est de 4 %, contre 21 % avec l'état de l'art. Cela signifie qu'avec la seule connaissance de l'origine et de la destination du trajet, ce service permet de prédire la dépense énergétique avec une précision de 96 %. Ce service de prédiction de la recharge a été validé par comparaison aux données constructeur de la Renault ZOE. Quels que soient l'état de charge initial et la puissance de charge, la précision observée donne de très bons résultats.

### Prédiction du freinage : des tests concluants

L'algorithme de caractérisation de la conduite a ensuite été testé sur plusieurs trajets répétés par un conducteur professionnel utilisant le même véhicule et ayant des consignes de conduites différentes. La corrélation manifeste entre la mesure du freinage mécanique et l'obtention de notes d'écoconduite faibles permet de confirmer la validité de l'algorithme proposé. Le modèle de freinage mécanique a été validé sur la base de données expérimentales, illustrant ainsi qu'à partir de la seule information GPS, il est possible d'identifier très précisément l'utilisation du freinage mécanique et donc les possibilités de recharge.

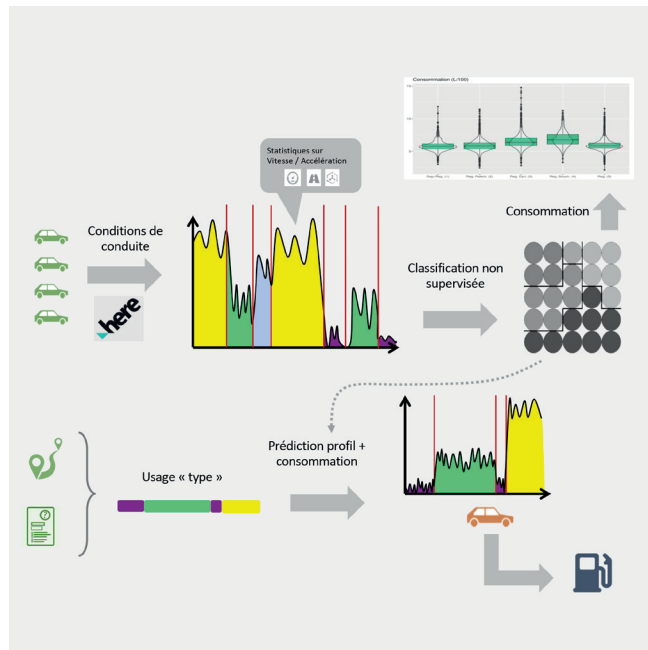


# Classification des données de mobilité grâce au *deep learning*

Le cœur des applications de mobilité repose sur les capacités d'apprentissage du système. Certaines représentations des données et une bonne capacité d'analyse automatique de leurs différenciations rendent la tâche d'apprentissage plus efficace. L'objectif du Carnot IFPEN Transports Energie est d'associer l'apport des connaissances métiers spécifiques à une problématique aux méthodes classiques de *deep learning*, afin d'établir une méthodologie de classification des données de mobilité.

## Moyens mis en place : descripteurs et évaluation

En 2019, la méthodologie a consisté dans un premier temps à définir une liste de descripteurs de comportement et d'usage à partir des données de mobilité. Ces dernières sont enrichies à l'aide de modèles physiques et de données extérieures de contextualisation. Suite à cette première étape, les travaux de recherche ont reposé sur l'évaluation des méthodes de *deep learning* de manière à pouvoir classifier ces données à l'aide des descripteurs proposés précédemment.



Prédiction de la consommation d'un nouveau véhicule à partir de la connaissance de son usage.

## Résultats obtenus

### Enrichissement des données recueillies

Tout d'abord, les données de mobilité provenant de Geco air™ ont été enrichies avec des modèles physiques du système. Des algorithmes de qualification de l'utilisation du mode de transport utilisé ont été exploités afin de pouvoir évaluer les informations supplémentaires nécessaires à la classification. Un algorithme permettant de contextualiser les usages à l'aide de l'historique d'un individu a été développé.

Ces travaux ont permis d'obtenir un ensemble d'informations supplémentaires par rapport aux données GPS brutes : consommation énergétique, qualification énergétique de la conduite, estimation des émissions polluantes, glissement du pneumatique, limitation de vitesse de la route, pente de route, niveau de congestion, etc.

### Classification des comportements

La seconde étape a consisté à réunir les informations recueillies chaque seconde, pour en faire un ensemble de données agrégées par tronçon de route sur chaque trajet individuel et à l'échelle de la communauté. Ce découpage a été complété par l'identification et le calcul de descripteurs spécifiques, qui différencient l'ensemble des données. Une méthode de classification non supervisée K-prototype a été appliquée aux données de mobilité réalisées en conditions réelles. Ainsi, un ensemble de profils de vitesse-type par famille de comportements de conduite et de types de route a été créé. Enfin, des classifications supplémentaires ont été réalisées afin de préciser les caractéristiques de la base de données en termes d'usage et de parc automobile.



## Déploiement de la plateforme SaaS xDash

xCloud est une plateforme *Software-as-a-Service* qui offre aux ingénieurs métier la possibilité d'agréger de façon intuitive et indépendante les services web et les données de mobilité, ainsi que de construire facilement et de façon autonome des tableaux de bord d'analyse, de paramétrage, de simulation et de supervision. Les équipes du Carnot IFPEN Transports Energie ont développé la plateforme en tant que produit accessible au public grâce à sa brique de visualisation, xDash.

### Moyens mis en place : **Cloud computing** et visualisation

La mise à disposition de la plateforme a nécessité :

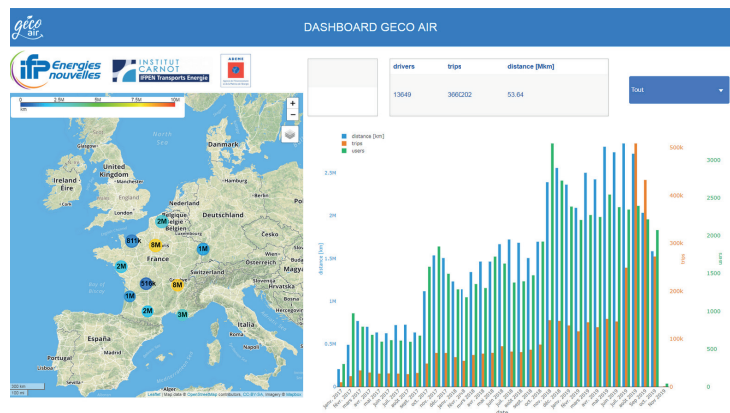
- l'intégration du langage Python, via la technologie Docker, qui permet l'utilisation en *cloud computing* de toutes ses bibliothèques de calcul scientifique et d'intelligence artificielle ;
- la mise en place de nouveaux outils nécessaires à la visualisation performante de données géospatiales sur des cartes, ainsi que des données de type séries temporelles ;
- un déploiement efficient et performant sur Microsoft Azure.

### Résultats obtenus

#### Développer des web-applications de manière autonome

xDash est désormais accessible en ligne. La plateforme permet aux ingénieurs des métiers de la mobilité désireux de valoriser leurs algorithmes de bâtir leurs propres *web-applications* facilement. Ces derniers peuvent partager leur travail en trois étapes seulement :

- intégration des données via Python et déploiement du service *web cloud* ;
- construction d'un tableau de bord de visualisation sur mesure à l'aide d'un glisser-déposer ;
- déploiement sur le web.



#### La visualisation des données simplifiée pour d'autres projets du Carnot

Au sein du Carnot IFPEN Transports Energie, xDash a été utilisé pour de nombreuses applications et a permis :

- la réalisation et le déploiement de la visualisation sur carte de l'estimation par Geco air™ de l'empreinte de pollution d'un trajet automobile en conduite réelle ;
- la réalisation et le déploiement de la visualisation, à l'échelle d'un quartier ou d'une ville, de l'estimation de la qualité de l'air rue par rue, en fonction de l'historique des données de Geco air™ ou des collectivités partenaires ;
- la réalisation et le déploiement du logiciel de pilotage et de supervision du système REAL-e, s'exécutant sur une tablette Android.

Enfin, xCloud a également permis le prototypage rapide du site gouvernemental <https://jechangemavoiture.gouv.fr> : des tableaux de bord xDash ont été échangés entre différents acteurs (motoristes, spécialistes de la dynamique du véhicule ou simples automobilistes) pour évaluer la pertinence des données, des questionnaires ou des différents algorithmes utilisés.



## ENCOURAGER ET SOUTENIR L'INNOVATION : L'APPEL À PROJETS INTERNE PORTE SES FRUITS

Afin de stimuler la culture d'innovation au sein de l'entreprise et suite au succès des appels à projets internes lancés par le Carnot IFPEN Transports Energie, IFPEN a lancé en 2018 un challenge d'innovation interne de grande envergure. Deux projets issus de ce challenge ont été instruits par le Carnot IFPEN Transports Energie en 2019.

### GPUR : DÉPOLLUER L'AIR DANS DES ESPACES SEMI-CONFINÉS

GPUR a consisté à étudier la pertinence d'une solution innovante pour la dépollution de l'air dans des espaces semi-confinés. En parallèle des développements techniques, des segments prioritaires ont été identifiés tels que les tunnels routiers, les tunnels ferroviaires ou les parkings souterrains. Des rencontres ont été organisées avec des acteurs comme le Centre d'études des tunnels, le Groupement d'intérêt économique du tunnel du Mont Blanc, Lyon Parc Auto, etc. Aujourd'hui, les perspectives de marché sont trop incertaines pour poursuivre le développement initialement envisagé, mais d'autres pistes de dépollution des espaces semi-confinés sont à l'étude.

Colonne de tests de garnissages pour les unités de lavage  
(1 m de diamètre)



### EASYMOV' : L'APPLICATION DES SAVOIR-FAIRE DU CARNOT IFPEN TRANSPORTS ENERGIE À LA MOBILITÉ DANS LES HÔPITAUX



Le projet EasyMOV' vise à proposer une solution d'assistance électrique aux déplacements de charges lourdes, avec une première application pour traiter le problème des troubles musculo-squelettiques du brancardage en milieu hospitalier. La solution proposée, adaptée à l'effacement de charge, a vu le jour grâce à la combinaison des savoir-faire des équipes en système mécanique et des compétences en contrôle des motorisations électriques.

Après avoir précisément identifié le marché et mené, en parallèle, des développements du produit allant jusqu'à la réalisation de plusieurs prototypes, un accent particulier a été mis sur la recherche de partenaires. Cela a conduit IFPEN à étudier la création d'une start-up et à construire un réseau de sous-traitants afin de proposer un produit industrialisable et à coût maîtrisé, le plus rapidement possible. Lauréat du challenge d'innovation mi-2018, une preuve de concept aboutie en 2019, 2020 devrait être l'année de l'industrialisation.

## UNE IMPLICATION FORTE AU NIVEAU EUROPÉEN

Dans le cadre de leurs travaux de recherche, les équipes du Carnot IFPEN Transports Energie sont engagées dans plusieurs projets soutenus par l'Union européenne, notamment dans le cadre du programme Horizon 2020. Elles contribuent ainsi au développement de la R&I européenne pour une mobilité durable.

Le Carnot IFPEN Transports Energie est engagé aux côtés de l'industrie et de la recherche académique au sein de l'Alliance européenne sur la recherche en énergie (EERA). Il assure également une présence active au sein d'instances européennes représentatives de la recherche et de l'industrie (EARPA, ERTRAC, EGVIA).



### Électrification des véhicules



#### Modalis<sup>2</sup> : modéliser les futures générations de batteries

MODALIS<sup>2</sup>

Le projet Modalis<sup>2</sup> (*MODelling of Advanced LI Storage Systems*) a été lancé en 2019.

Porté par le Carnot IFPEN Transports Energie et neuf partenaires, Modalis<sup>2</sup> a pour objectif de développer une chaîne d'outils numériques permettant de modéliser et de concevoir des systèmes de batteries mettant en œuvre de nouveaux matériaux tels que les alliages avec du silicium pour les électrodes négatives et des électrolytes solides. Modalis<sup>2</sup> accompagnera le développement des nouvelles générations de cellules de batterie en se basant sur la modélisation et la simulation.

#### ReFreeDrive : des moteurs électriques sans terres rares et des onduleurs intégrés

L'utilisation de terres rares pour les aimants constitue un frein majeur au développement des motorisations électriques. Le projet ReFreeDrive vise ainsi la mise au point d'un concept de machine électrique capable de fonctionner sans terres rares ainsi que d'une nouvelle génération d'onduleurs intégrés aux moteurs. Au sein de ce projet, les équipes du Carnot IFPEN Transports Energie sont en charge du design de la machine électrique, de l'onduleur et de la stratégie de contrôle.

En savoir plus : [www.refreedrive.eu](http://www.refreedrive.eu)



#### Demobase : améliorer l'efficacité et la sécurité des batteries

Le projet Demobase (*Design and MODelling for improved BATTERY Safety and Efficiency*) rassemble 11 partenaires autour de travaux visant à réduire les efforts de conception des chaînes de traction électriques et à améliorer l'efficacité et la sécurité des batteries. Les équipes du Carnot IFPEN Transports Energie sont en charge du développement de modèles d'emballage thermique de différentes cellules de batteries lithium-ion, ainsi que de l'évaluation de l'intérêt de ces modèles pour le prédimensionnement de packs batterie prenant en compte les aspects sécurité.

En savoir plus : [www.demobase-project.eu](http://www.demobase-project.eu)

#### Augmentation du kilométrage des VE : InnoTherMS, un projet partenarial régional

Le projet InnoTherMS (*Innovative predictive high efficient Thermal Management Systems*) a été lancé fin 2018 entre les régions Auvergne-Rhône-Alpes et Bade-Wurtemberg (Allemagne). Rassemblant dix partenaires de ces deux régions, le projet vise la conception et le contrôle des flux de chaleur des véhicules électriques dans le but d'accroître de 10 % le kilométrage parcouru entre chaque recharge. Le Carnot IFPEN Transports Energie est responsable du *workpackage* dédié à l'optimisation et au contrôle prédictif du thermo-management.



## Développement de services et d'applications pour le véhicule connecté

### Advice : améliorer l'efficacité énergétique des véhicules hybrides

Le projet Advice (*ADvancing user acceptance of general purpose hybridized Vehicles by Improved Cost and Efficiency*) développe trois versions d'un véhicule hybride à coût réduit et avec une efficacité énergétique accrue. Les équipes du Carnot IFPEN

Transports Energie ont développé un système d'*eco-routing* conduisant à minimiser la consommation de carburant pour un niveau imposé de la charge de la batterie à destination, tout en prenant en compte l'état du trafic en temps réel.

En savoir plus : [www.project-advice.eu](http://www.project-advice.eu)



### Cevolver : simplifier l'accès des véhicules électriques aux particuliers

Le projet Cevolver (*Connected Electric Vehicle Optimized for Life, Value, Efficiency and Range*) veut simplifier l'usage des véhicules électriques aux particuliers. Piloté par FEV et mené avec neuf partenaires européens, il a notamment pour objectif d'augmenter l'efficacité énergétique de ces véhicules via la mise au point d'algorithmes et le développement des services web. Les équipes du Carnot IFPEN Transports Energie apportent leur expertise en contrôle et en développement d'algorithmes.

En savoir plus : [www.cevolver.eu/project/](http://www.cevolver.eu/project/)



### Optemus : optimisation de l'usage de l'énergie dans les véhicules électrifiés

Le projet Optemus (*Optimized Energy Management and Use*) mené avec 14 partenaires européens visait à améliorer l'autonomie restreinte des véhicules électriques. Les travaux du Carnot IFPEN Transports Energie ont consisté à optimiser des algorithmes d'*eco-routing* et d'écoconduite. Un logiciel pour optimiser le fonctionnement d'un système de gestion thermique de l'habitacle a également été mis au point.

En savoir plus : [www.optemus.eu](http://www.optemus.eu)



## Amélioration des motorisations thermiques

### Eagle : finalisation du démonstrateur du moteur essence à très haut rendement

Le projet Eagle (*Efficient Additivated Gasoline Lean Engine*), coordonné par IFPEN et mené avec huit partenaires, visait à développer un moteur à allumage commandé essence pour une application hybride permettant des pics de rendement de 50% tout en réduisant les émissions. Un démonstrateur moteur multicylindre a été réalisé. Les équipes du Carnot IFPEN Transports Energie ont développé des systèmes de combustion innovants.

En savoir plus : [www.h2020-eagle.eu](http://www.h2020-eagle.eu)



### Sureal-23 : mesurer les émissions de particules ultrafines via des appareils embarqués

Le projet Sureal-23 (*Understanding, measuring and regulating sub-23 nm particle emissions from direct injection engines including real driving conditions*) s'est clôturé en 2019. Il a permis de développer de nouveaux appareils embarqués capables de mesurer l'émission des particules ultrafines par les moteurs essence et Diesel dans des conditions réelles d'usage. Chargées de tester différentes technologies, les équipes du Carnot IFPEN Transports Energie ont réalisé des mesures au banc moteur.

En savoir plus : [sural-23.cperi.certh.gr](http://sural-23.cperi.certh.gr)

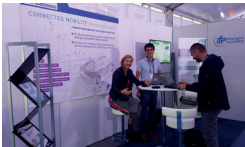
## SALONS ET MANIFESTATIONS 2019

4 avril 2019 – Bruxelles (Belgique)  
Conférence annuelle Ertrac



19-22 mai 2019 – Lyon  
32<sup>e</sup> International Electric Vehicle  
Symposium (EVS 32)

3-6 juin 2019 – Eindhoven (Pays-Bas)  
13<sup>e</sup> congrès européen ITS



12-13 juin 2019 – Le Port-Marly  
Congrès SIA Powertrain & Electronics



17-23 juin 2019 – Le Bourget  
Salon international de l'aéronautique  
et de l'espace

30 septembre - 1<sup>er</sup> octobre 2019 – Rueil-Malmaison  
Workshop Scienc'Innov e3CAV (*Connected  
and Automated Vehicles for Energy Efficiency  
and Environmental Impact*)

26 septembre 2019 - Sophia Antipolis  
20<sup>e</sup> congrès OSE

16-17 octobre 2019 - Lyon  
Les Rendez-vous Carnot



7-9 octobre 2019 – Aix-la-Chapelle (Allemagne)  
28<sup>e</sup> Aachen Colloquium Automobile and Engine  
Technology



19-23 novembre 2019 - Lyon  
Salon international des solutions de  
transport routier et urbain (Solutrans)

# SÉLECTION DE PUBLICATIONS

## Électrification du véhicule

### Machines électriques

*Towards high speed and high efficiency compact electric system for future 48V automotive on board electricity generation.*

Milosavljevic M., Doreau S., Chareyron B., Michel J-B., Le Berr F., Thiriot J., Dufresnes C., Loszka M., Kassa M., Battiston A., Gaussens B., Haje Obeid N., Abdelli A. (IFPEN, Carnot IFPEN TE)  
SIA Powertrain & electronics, Le Port-Marly (France), 12-13 juin 2019

*Novel control method for three phase inverter of permanent magnet synchronous motor in over-modulation operation.*

Sarabi S. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Kefsi L. (IFPEN, Carnot IFPEN TE)  
VPPC Vehicle power and propulsion conference, Hanoi (Vietnam), 14-17 octobre 2019, doi.org/10.1109/VPPC46532.2019.8952495

*Very high speed passivity-based control for a permanent magnet synchronous motor.*

Domingues De Sousa F. (Universidade Federal de Minas Gerais - Brésil), Battiston A. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Haje Obeid N. (IFPEN, Carnot IFPEN TE)  
EPE ECCE European conference on power electronics and applications, 21<sup>st</sup>, Gênes (Italie), 2-5 septembre 2019, doi.org/10.23919/EPE.2019.8915461

### ORC

*Development of a 48V ORC Turbo-Pump for waste heat recovery in the coolant of light duty and commercial vehicles.*

Smague P. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Leduc P. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Leveque G. (Enogia - France), Leroux A. (Enogia - France)  
ORC International seminar on ORC power systems, 5<sup>th</sup>, Athènes (Grèce), 9-11 septembre 2019

### Stockage de l'énergie

*Lithium-ion capacitors, from electric characterization to the model.*

Mingant R., Jacquinet P., Bernard J., Petit M., Abada S. (IFPEN, Carnot IFPEN TE)  
BATTERIES The international energy and power supply conference and exhibition, Nice (France), 22-24 octobre 2019

*Demobase project: numerical simulation for seamless integration of battery pack in light electric vehicle.*

Petit M., Abada S., Mingant R., Bernard J. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Desprez P. (Saft - France), Perlo P. (I-FEVS - Italie), Biasiotto M. (I-FEVS - Italie), Introzzi R. (I-FEVS - Italie), Lecocq A. (Ineris - France), Marlair G. (Ineris - France), EVS Electric vehicle symposium and exhibition, 32<sup>th</sup>, Lyon (France), 19-22 mai 2019

## Développement de services et d'applications pour le véhicule connecté

*A method for parallel scheduling of multi-rate co-simulation on multi-core platforms.*

Saidi S-E. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Pernet N. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Sorel Y. (Inria Paris - France)  
Oil & Gas Science and Technology - Revue d'IFP Energies nouvelles, Vol. 74, article n° 49, doi.org/10.2516/ogst/2019009

### Gestion énergétique

*Fundamentals of energy efficient driving for combustion engine and electric vehicles: an optimal control perspective.*

Han J. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Vahidi A. (Clemson University - États-Unis), Sciarretta A. (IFPEN, Carnot IFPEN TE)  
Automatica, Vol. 103, pp. 558-572, doi.org/10.1016/j.automatica.2019.02.031

*Road roughness crowd-sensing with smartphone apps.*

Jean M. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Chasse A. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Beng W. (IFPEN, Carnot IFPEN TE)  
IEEE ISTC Intelligent transportation systems conference, Auckland (Nouvelle-Zélande), 27-30 octobre 2019, doi.org/10.1109/ITSC.2019.8917307

*Ecological traffic management: a review of the modeling and control strategies for improving environmental sustainability of road transportation.*

Othman B. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), De Nunzio G. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Di Domenico D. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Canudas De Wit C. (Inria Grenoble - France)  
Annual Reviews in Control, Vol. 48, 2019, pp. 292-311, doi.org/10.1016/j.arcontrol.2019.09.003

### Qualité de l'air

*REAL-e: robust and affordable IoT solution for market surveillance.*

Dégeilh P. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Kermani J. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Rodriguez Rodriguez S-S. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Thibault L. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Frobert A. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Corde G. (IFPEN, Carnot IFPEN TE)  
TAP International transport and air pollution conference, 23<sup>rd</sup>, Thessalonique (Grèce), 15-17 mai 2019



*Real driving emissions at the crossroad between precision and massification.*

Frobert A. (IFPEN, Carnot IFPEN TE)

Real driving emissions forum, 3<sup>rd</sup>, Berlin (Allemagne), 24-25 septembre 2019

*Ensuring vehicle full RDE coverage using an advanced cloud-computing simulation solution.*

Cheimariotis I. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Bordet N. (Ose Engineering - France), Heitz T. (Ose Engineering - France), Volut M. (Ose Engineering - France), Font G. (IFPEN, Carnot IFPEN TE)

SIA Simulation numérique, Saclay (France), 3-4 avril 2019

## Amélioration des motorisations thermiques

### Technologies moteurs

*Swumble™ in-cylinder fluid motion: a pathway to high efficiency gasoline SI engines.*

Anselmi P. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Gautrot X. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Laget O. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Ritter M. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Lechard C. (IFPEN, Carnot IFPEN TE)

SIA Powertrain & electronics, Port-Marly (France), 12-13 juin 2019

*Ultra-lean pre-chamber gasoline engine for future hybrid powertrains.*

Serrano D. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Zaccardi J.-M. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Müller C. (RWTH Aachen Univ. - Allemagne), Libert C. (Renault - France), Habermann K. (FEV Europe - Allemagne)

ICE International conference on engines and vehicles, 14<sup>th</sup>, Capri (Italie), 15-19 septembre 2019, SAE 2019-24-0104, doi.org/10.4271/2019-24-0104

*Experimental assessment of the sources of regulated and unregulated nanoparticles in gasoline direct-injection engines.*

Bardi M. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Pilla G. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Gautrot X. (IFPEN, Carnot IFPEN TE)

International Journal of Engine Research, Vol. 20, n° 1, 2019, pp. 128-140, doi.org/10.1177/1468087418817448

*Statistical modeling of the gas-liquid interface using geometrical variables: toward a unified description of the disperse and separated phase flows.*

Essadki M. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Druif F. (École centrale - France), De Chaisemartin S. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Larat A. (École centrale - France), Ménard T. (Univ. Rouen - France), Massot M. (École centrale - France)

International Journal of Multiphase Flow, Vol. 120, 2019, n° 103084, doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2019.103084

### Carburants et additifs

*Using RON synergistic effects to formulate fuels for better fuel economy and lower CO<sub>2</sub> emissions.*

Dauphin R. (Total - France), Obiols J. (Total - France), Serrano D. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Fenard Y. (Univ. Sciences Technologies - France), Comandini A. (Icare - France), Starck L. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Vanhove G. (Univ. Sciences Technologies - France), Chaumeix N. (Icare - France) JSAE/SAE Powertrains, fuels & lubricants international meeting, Kyoto (Japon), 26-29 août 2019, SAE 2019-01-2155, doi.org/10.4271/2019-01-2155

*Numerical investigations on hydrogen-enhanced combustion in ultra-lean gasoline spark-ignition engines.*

Iafrate N. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Matrat M. (IFPEN, Carnot IFPEN TE),

Zaccardi J.-M. (IFPEN, Carnot IFPEN TE)

International Journal of Engine Research, doi.org/10.1177/1468087419870688

### Aéronautique

*Highlighting the impact of the jet fuel chemical composition on thermal stability behaviour.*

Blakey S. (Univ. Birmingham - Royaume-Uni), Sicard M. (Onera - France), Alves Fortunato M. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Alborzi E. (Univ. Sheffield - Royaume-Uni), Sadat S.-Y. (Univ. Sheffield - Royaume-Uni), Dwyer M. (Univ. Sheffield - Royaume-Uni), Parks C. (Univ. Sheffield - Royaume-Uni), Starck L. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Veyrat B. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Neocel L. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Baroni A. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Raepsaet B. (Onera - France), Ancelle J. (Onera - France), Ser F. (Onera - France)

IASH International conference on stability, handling and use of liquid fuels, 16<sup>th</sup>, Long Beach (États-Unis), 8-12 septembre 2019

### Mesure des émissions

*Measurement of Sub-23 nm particles emitted by gasoline direct injection engine with new advanced instrumentation*

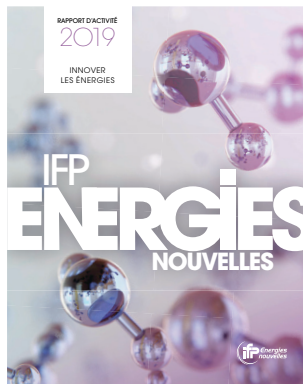
Zinola S. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Leblanc M. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Rouleau L. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Dunand X. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Baltzopoulou P. (Certh - Grèce), Chasapidis L. (Certh - Grèce), Deloglou D. (Certh - Grèce), Melas Anastasios D. (Certh - Grèce), Konstandopoulos Athanasios G. (Certh - Grèce), Rüggeberg T. (FHNW - Suisse), Fierz M. (FHNW - Suisse), Burtscher H. (FHNW - Suisse), Tejero A. (SEADM - Espagne), Amo M. (SEADM - Espagne), Zamora D. (SEADM - Espagne)

JSAE/SAE Powertrains, fuels & lubricants international meeting, Kyoto (Japon), 26-29 août 2019, SAE 2019-01-2195, doi.org/10.4271/2019-01-2195

*Responses of a resistive soot sensor to different mono-disperse soot aerosols.*

Reynaud A. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Leblanc M. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Zinola S. (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Breuil P. (École mines Saint-Étienne - France), Viricelle J.-P. (École mines Saint-Étienne - France)

Sensors, Vol. 19 (3), 2019, article n° 705, doi.org/10.3390/s19030705



**Maquette :** IFPEN

**Mise en page :** Esquif Communication

**Photos :** © Adobe Stock, IFPEN, X. - 0152009



## NOS ÉTABLISSEMENTS

### RUEIL-MALMAISON

1 et 4, avenue de Bois-Préau  
92852 Rueil-Malmaison Cedex - France

### LYON

Rond-point de l'échangeur de Solaize  
BP 3 - 69360 Solaize - France

**Contact : Gaëtan Monnier**  
+33 1 47 52 69 16 - [gaetan.monnier@ifpen.fr](mailto:gaetan.monnier@ifpen.fr)