

2018

INNOVER
LES TRANSPORTS



RAPPORT CARNOT



SOMMAIRE



03

LE MOT DU DIRECTEUR

04

IFP ENERGIES NOUVELLES, TUTELLE DU CARNOT IFPEN TRANSPORTS ENERGIE : L'ESSENTIEL

- MISSION D'IFPEN
- DÉVELOPPER LES INNOVATIONS D'AUJOURD'HUI ET DE DEMAIN
- CRÉER DE LA RICHESSE ET DES EMPLOIS

06

PRÉSENTATION DES ACTIVITÉS, FAITS MARQUANTS ET CHIFFRES CLÉS 2018

- LE CARNOT IFPEN TE AU CŒUR DE L'INNOVATION
- DÉVELOPPER LES INNOVATIONS D'AUJOURD'HUI ET DE DEMAIN

16

GRAND ANGLE : ÉTUDE E4T

- QU'A-T-ON ANALYSÉ ?
- ENSEIGNEMENTS DE L'ÉTUDE
- DE NOUVELLES TECHNOLOGIES DE TRANSPORT AU SERVICE DE LA NÉCESSAIRE ÉVOLUTION DES USAGES : UNE NOUVELLE ÉTUDE POUR 2019

18

ACTIONS DE RESSOURCEMENT SCIENTIFIQUE

26

ACTIONS DE PROFESSIONNALISATION ET DE DÉVELOPPEMENT DE PARTENARIATS SOCIO-ÉCONOMIQUES

31

APPEL À PROJETS INTERNE POUR LE RENFORCEMENT DE LA DÉMARCHÉ D'INNOVATION

- ENERGINA : UN CHALLENGE D'ENVERGURE
- PROJETS RETENUS ET AVANCEMENTS
- LANCEMENT D'UNE DÉMARCHÉ DE « CRÉATIVITÉ BLANCHE » POUR LAISSER LIBRE COURS À LA CRÉATIVITÉ

32

LES PROJETS CARNOT FILIÈRES : CARNAUTO ET AIRCAR

- CARNAUTO : UNE OFFRE ADAPTÉE POUR RÉPONDRE AUX BESOINS DES PETITES STRUCTURES DE LA FILIÈRE AUTOMOBILE ET MOBILITÉ
- AIRCAR : UNE OFFRE POUR PLUS D'INNOVATIONS DES TPE, PME ET ETI DE L'AÉRONAUTIQUE

36

PROJETS COLLABORATIFS À L'INTERNATIONAL

- IMPLICATION DANS LES INSTANCES EUROPÉENNES
- SÉLECTION DE PROJETS DU PROGRAMME HORIZON 2020 : FAITS MARQUANTS DE L'ANNÉE
- LANCEMENT D'UN PROJET PARTENARIAL RÉGIONAL FRANCE-ALLEMAGNE : INNOTHERMS

39

MANIFESTATIONS CIBLÉES, ACTUALITÉS ET COMMUNIQUÉS DE PRESSE POUR UNE VISIBILITÉ MAXIMALE

- PARTICIPATIONS À CONGRÈS ET MANIFESTATIONS
- COMMUNICATIONS CIBLÉES : ACTUALITÉS WEB ET COMMUNIQUÉS DE PRESSE

41

QUELQUES PUBLICATIONS

45

LE RÉSEAU DES CARNOT : L'ESSENTIEL

- ASSOCIATION DES INSTITUTS CARNOT
- VISION STRATÉGIQUE CARNOT 2018-2021

LE MOT DU DIRECTEUR



Le monde de la mobilité, tout comme le monde actuel, est en pleine transformation : transition énergétique et écologique, évolution des modes de déplacement, prise de conscience environnementale de la part de chaque citoyen. Le Carnot IFPEN Transports Energie (Carnot IFPEN TE) œuvre ainsi depuis 2006 à relever les nouveaux défis de la mobilité durable : réduction des émissions de CO₂ et de polluants, diversification des sources d'énergie, prise en compte des nouvelles technologies de connexion.

Pour y répondre, le Carnot IFPEN TE focalise ses actions sur trois axes : l'électrification des véhicules, le développement de services et d'applications pour le véhicule connecté, l'amélioration des moteurs thermiques.

Fier de ses succès passés, le Carnot IFPEN TE se tourne aujourd'hui résolument vers l'avenir et conçoit des solutions technologiques et logicielles innovantes, en collaboration avec des partenaires industriels, de la TPE au grand groupe. L'année 2018 a ainsi été marquée par des succès notoires.

Citons, dans le domaine de la mobilité électrifiée, la mise au point d'un prototype de machine électrique pour le segment B automobile et le lancement du consortium COMUTES², à l'initiative du Carnot IFPEN TE, pour la mutualisation de tests électriques sur les systèmes de stockage. Concernant le domaine de la mobilité connectée et des nouveaux modes de déplacements, deux jeunes start-up, Galanck et Geovelo, ont rejoint le groupe IFPEN, tutelle du Carnot IFPEN TE.

Je suis fier de la capacité des équipes du Carnot IFPEN TE à détecter et faire émerger de nouveaux acteurs de la transition énergétique. J'espère que ces start-up connaîtront une belle dynamique, à l'instar de DriveQuant que nous avons créée en 2017. Geco air, notre application smartphone dédiée à l'écoconduite et à l'estimation de l'empreinte environnementale, connaît également un succès grandissant, avec par exemple 350 000 km parcourus pendant le challenge d'écoconduite interentreprises national ! Pour ce qui a trait aux motorisations thermiques, le durcissement des réglementations ainsi que l'interdiction croissante de certains véhicules en ville obligent les industriels à se réinventer. En partenariat avec de grands groupes ou des PME, les équipes du Carnot IFPEN TE ont abouti à des innovations de rupture telles que l'adaptation d'un véhicule à motorisation Diesel à un carburant de type naphta ou le lancement d'un appareil pour la mesure de la stabilité des carburants aéronautiques. Notre expertise sur l'évolution du secteur des transports et de la mobilité s'est également traduite en 2018 par la réalisation de l'étude E4T (Étude économique, énergétique et environnementale pour les technologies du transport routier français) menée avec l'Ademe sur l'électrification des véhicules.

Par ailleurs, notre politique de diversification se poursuit pour faire face à l'évolution inhérente des besoins du marché de la mobilité. Dans le prolongement de certaines actions lancées en 2017, les équipes du Carnot IFPEN TE ont collaboré sur des actions de ressourcement ciblées sur chaque défi énergétique : développement de nouvelles approches de moteurs électriques et de l'hybridation de la boucle d'air des groupes motopropulseurs pour la mobilité électrifiée, apport de la digitalisation pour la mobilité connectée et enfin développement de systèmes de combustion en rupture pour améliorer les motorisations thermiques.

Enfin, en complément de sa démarche volontariste auprès des industriels, le Carnot IFPEN TE a poursuivi ses actions de professionnalisation et de développement de partenariats socio-économiques sur deux domaines : l'écomobilité en s'appuyant sur son application smartphone Geco air et la récupération d'énergie pour le transport avec son partenaire Enogia.

Après cet aperçu des travaux menés par les chercheurs du Carnot IFPEN Transports Energie, je vous laisse découvrir nos avancées majeures dans les domaines de l'électrification du véhicule, de la mobilité connectée et des motorisations thermiques.

Bonne lecture !

Gaëtan Monnier

Directeur du Carnot IFPEN Transports Energie

IFP ENERGIES NOUVELLES, TUTELLE DU CARNOT IFPEN TRANSPORTS ENERGIE : L'ESSENTIEL

Le Carnot IFPEN Transports Energie (Carnot IFPEN TE) dispose d'une organisation lui permettant d'assurer une réelle gouvernance de ses activités de recherche partenariale dans le domaine de la mobilité durable, avec à sa tête un directeur bénéficiant des prérogatives et délégations associées. Son engagement est régi par une convention signée entre l'ANR et son organisme de tutelle, IFP Energies nouvelles (IFPEN), d'où le Carnot IFPEN TE tire son nom.

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 TE. 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 TE), énergies nouvelles et hydrocarbures responsables.

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

- l'apport de solutions aux défis sociétaux de l'énergie et du climat, en favorisant la transition vers une mobilité durable et l'émergence d'un mix énergétique plus diversifié ;
- la création de richesse et d'emplois, en soutenant l'activité économique française et européenne et la compétitivité des filières industrielles associées.

Constitué d'acteurs industriels de référence à l'échelle mondiale et de start-up, PME et ETI à fort potentiel, le portefeuille de filiales et de participations du 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.





DÉVELOPPER LES INNOVATIONS D'AUJOURD'HUI ET DE DEMAIN

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 CO₂ 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.

CRÉER DE LA RICHESSE ET DES 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 économique 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 petites structures (TPE, PME et ETI) dans le cadre d'accords de collaboration leur permettant de bénéficier de son savoir-faire technique et juridique.

PRÉSENTATION DES ACTIVITÉS, FAITS MARQUANTS ET CHIFFRES CLÉS 2018

Réduire les émissions de CO₂ et de polluants, diversifier les sources d'énergie et prendre en compte l'évolution des modes de déplacement : tels sont les enjeux de la mobilité durable.

Le Carnot IFPEN Transports Energie (Carnot IFPEN TE) met son expertise au service de ce triple défi pour parvenir à des innovations valorisables par l'industrie, compétitives sur les plans économique et énergétique. Le Carnot IFPEN TE explore aujourd'hui trois pistes technologiques complémentaires que sont :

- l'électrification des véhicules (de l'hybride au véhicule électrique),
- le développement de services et d'applications pour le véhicule connecté,
- l'amélioration des moteurs thermiques sur les axes efficacité énergétique, réduction des émissions et optimisation de l'utilisation des carburants, notamment bas carbone.

LE CARNOT IFPEN TE AU CŒUR DE L'INNOVATION

Le Carnot IFPEN TE conduit une recherche ouverte pour ses partenaires et clients, à toutes les étapes du cycle de l'innovation. Le Carnot IFPEN TE veille ainsi en permanence à renforcer son intégration, en France et en Europe, au sein de l'écosystème d'innovation. Pour cela, il participe à des structures collaboratives tournées vers la recherche technologique et l'innovation, associant les industriels. Le Carnot IFPEN TE est ainsi membre fondateur de deux pôles de compétitivité : Cara (mobilité urbaine et systèmes de transports de personnes et de marchandises) et Mov'eo (automobile et transports collectifs respectueux de l'environnement), et membre actif du pôle Astech (aéronautique et spatial). Il est également acteur de l'institut pour la transition énergétique Vedecom (mobilité).

Fait marquant

L'ensemble des pôles de compétitivité auxquels le Carnot IFPEN TE participe ont de nouveau été labellisés en février 2019 par le Premier ministre pour la période 2019-2022. Cette nouvelle labellisation vise à permettre à ces pôles de compétitivité d'atteindre l'excellence dans des secteurs clés d'avenir et de rayonner au niveau européen.



Marc Charlet, directeur général de Mov'eo

IFPEN est fortement impliqué au sein de Mov'eo depuis sa création en 2006, notamment par la présence de ses experts dans nos communautés Chaîne de traction et gestion d'énergie, Stockage d'énergie et Solutions de mobilité intelligente. Le rôle de ces communautés est essentiel, puisqu'elles définissent la vision stratégique de chaque thématique, favorisent l'émergence de projets et en accompagnent les porteurs. Initialement très axés sur la motorisation, les projets s'orientent aujourd'hui davantage vers les batteries et la gestion de l'énergie, thématiques sur lesquelles IFPEN dispose d'un savoir-faire reconnu.





Marc Gohlke, directeur général de Cara

IFPEN est un partenaire historique de Cara et s'est toujours fortement investi dans sa gouvernance et ses activités. Son représentant assure ainsi la vice-présidence de l'axe Innover, qui est l'un des volets de l'accompagnement que nous proposons à nos adhérents, et dirige notre programme de recherche Motorisation et chaîne cinématique. Nous pouvons aussi compter sur l'expertise d'IFPEN dans différentes thématiques, comme les batteries ou les moteurs thermiques, lors du montage de projets collaboratifs. À travers cette participation active, IFPEN nous apporte non seulement son savoir-faire, mais également l'attractivité de son site de Lyon, sur lequel nous accueillons régulièrement des think tank et des délégations internationales.

Le Carnot IFPEN TE noue également des relations avec des start-up, PME et ETI des filières automobile et mobilité, lors d'événements qu'il organise ou auxquels il participe. L'objectif : permettre à ces entreprises de trouver un accompagnement R&D en réponse à leur besoin d'innovation.



Signature d'une convention-cadre avec la ville de Rueil et Pold

IFPEN, tutelle du Carnot IFPEN TE, s'est engagé aux côtés de la ville de Rueil-Malmaison et de l'établissement public territorial Paris Ouest La Défense (Pold) avec la signature, fin 2018, d'une convention-cadre de partenariat pour le développement et l'innovation. Cet accord conforte les collaborations existantes et définit les axes stratégiques de développement pour faire du territoire un pionnier de l'innovation, notamment dans le domaine de la mobilité durable.

Fait marquant

Le Carnot IFPEN TE a notamment participé :

- au salon Global Industrie, qui a rassemblé plus de 50 000 visiteurs et 2 700 exposants en mars à Paris. Sur le pavillon Carnot, le Carnot IFPEN TE a présenté ses dernières innovations dans le domaine automobile, ainsi que son savoir-faire applicable en aéronautique ;
- au rendez-vous annuel « 17-20 Carnot » en juillet à Paris, sur le thème « Carnot : une ambition à l'international ». Ce fut l'occasion de présenter la stratégie du Carnot IFPEN TE à l'international et d'échanger sur le sujet avec les entreprises, organismes et institutionnels présents ;
- à la 11^e édition des Rendez-vous Carnot en octobre à Lyon, où il a rencontré sur son stand de nombreux porteurs de projets intéressés par les offres proposées dans le domaine de la mobilité durable. Le Carnot IFPEN TE était également présent sur l'espace dédié à l'action filière Carnauto, dont il est le leader, où plusieurs de ses réalisations étaient exposées.





Fait marquant

IFP School, école d'IFPEN, a lancé en novembre 2018 un nouveau Moot gratuit, réalisé en collaboration avec les chercheurs du Carnot IFPEN TE, IFP Training et Vedecom. Intitulé *Mobilité de demain : technologies durables pour le secteur automobile*, ce cours en ligne a permis aux participants d'acquérir des connaissances sur le cadre législatif et environnemental qui régit les évolutions technologiques à venir, mais aussi sur les avantages et les limitations des différentes motorisations électriques et hybrides, grâce notamment à la réalité virtuelle et à des *serious games*. Le Moot a rencontré un véritable succès, rassemblant près de 5 000 inscrits, dont 65% d'internationaux issus de 106 pays.

DÉVELOPPER LES INNOVATIONS D'AUJOURD'HUI ET DE DEMAIN



Électrification des véhicules

L'électrification des véhicules est un élément clé pour réduire significativement les émissions de CO₂ des transports et améliorer la qualité de l'air à l'échelle locale. Déjà en forte croissance, elle s'appuiera dans un premier temps sur différentes solutions d'hybridation adaptées aux usages. Les travaux du Carnot IFPEN TE visent à mettre au point des systèmes électriques performants et énergétiquement efficaces.

Ils portent principalement sur :

- le développement de machines électriques et systèmes hybrides innovants,
- l'électrification de fonctions du groupe motopropulseur,
- des technologies de récupération de l'énergie thermique perdue,
- la compréhension et l'amélioration du comportement des systèmes de batteries.

Le Carnot IFPEN TE a pour ambition de proposer une technologie de machines électriques, couvrant les besoins de tous les segments de marché du véhicule hybride au véhicule électrique, avec des tensions de batterie allant de 48V jusque 800V.



Après une version pour de petits véhicules sans permis, aujourd'hui équipant la gamme de véhicules e-Aixam, et une autre pour le segment A, nous avons mis au point en 2018 un prototype de machine électrique pour le segment B (nécessitant des puissances plus élevées, allant jusqu'à 140 kW) de type synchro-réductant, qui offre le meilleur compromis coût/performance/rendement. Nous avons innové sur les parties actives de la machine ainsi que sur l'intégration mécanique du système, avec un onduleur et un convertisseur DC/DC directement intégrés au moteur. En parallèle, nous travaillons sur une solution moteur avec une tension de batterie plus faible (48 V), notamment destinée aux véhicules hybrides.



Wissam Dib, chef du projet Motorisations électriques au Carnot IFPEN TE



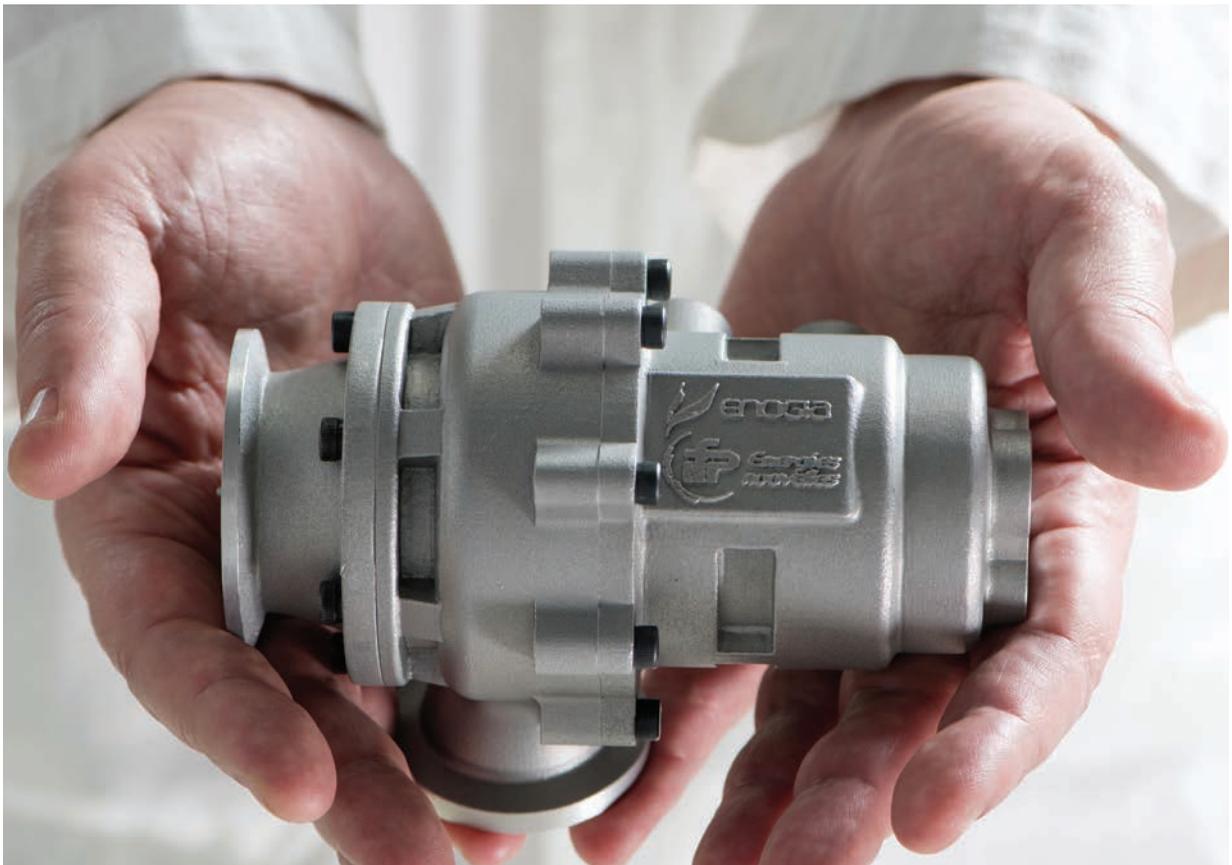


Au démarrage de notre activité, nous avons privilégié des applications stationnaires, principalement dans le domaine des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique. Dans le cadre de notre partenariat avec le Carnot IFPEN TE, nous élargissons notre périmètre au secteur du transport. Nos approches de la récupération de chaleur sont complémentaires et les moyens d'essais du Carnot IFPEN TE nous permettront d'accélérer la mise sur le marché de nos produits. Nous avons déjà plusieurs projets à l'étude pour l'automobile, les transports routier et maritime.

Arthur Leroux, Président d'Enogia

En ce qui concerne l'électrification de fonctions du groupe motopropulseur, le Carnot IFPEN TE a développé plusieurs solutions originales telles que :

- un turbocompresseur à assistance électrique permettant de récupérer davantage d'énergie à l'échappement par rapport à un système classique ;
- des solutions de récupération d'énergie à basse température basées sur des cycles de Rankine (ORC pour *Organic Rankine Cycle*), capables de valoriser en électricité l'énergie thermique du circuit de refroidissement des moteurs. Développées en collaboration avec la PME Enogia, ces solutions sont adaptables aux poids lourds comme aux véhicules légers.



Afin de répondre au besoin de génération d'électricité à bord de véhicules électriques (fonction prolongateur d'autonomie par exemple), le Carnot IFPEN TE a porté ses efforts sur une technologie de microturbine de faible puissance (inférieure à 35 kWe). Une microturbine est un générateur d'électricité dont la turbine tourne à haute vitesse et peut fournir des puissances allant jusqu'à 100 kWe, système adapté pour les véhicules et d'autres segments de marché tels que le nautisme.

Dans le domaine des batteries, le Carnot IFPEN TE s'intéresse au comportement des systèmes ainsi qu'aux mécanismes de vieillissement et d'emballage thermique, notamment dans le cadre du projet H2020 Demobase (voir la partie dédiée aux projets collaboratifs à l'international).



De plus, le Carnot IFPEN TE est aujourd'hui reconnu comme acteur de la modélisation et de la simulation des batteries. Preuve de ce positionnement réussi, ses équipes codéveloppent des modèles intégrés à la bibliothèque Electric Storage de la plateforme de simulation système Simcenter Amesim™ de Siemens PLM Software. Cette bibliothèque rencontre un succès croissant auprès des acteurs industriels, notamment pour le dimensionnement de packs batterie. Sans cesse enrichis et mis à jour, ces modèles sont capables de représenter aussi bien le comportement électrothermique des batteries que leur vieillissement, ainsi que les phénomènes d'emballage thermique des batteries lithium-ion.

Faits marquants

En 2018, le Carnot IFPEN TE a développé et mis en service un démonstrateur dans le but de tester un système complet de génération d'électricité intégrant une microturbine entièrement conçue en interne (chambre de combustion et échangeurs), ciblant dans un premier temps des applications faible puissance (< 8 kWe) et basse tension (48 V).

À l'initiative du Carnot IFPEN TE, le consortium COMUTES² « Consortium pour la mutualisation de tests électriques sur systèmes de stockage » a été lancé fin 2018 pour prédire la durée de vie des batteries. Ce consortium réunit également le CEA-Liten (du Carnot Energies du Futur), l'Ifsttar, le Laboratoire de l'intégration du matériau au système, l'EIGSI La Rochelle (école d'ingénieurs généralistes) et l'université de technologie de Compiègne. L'objectif des partenaires est d'organiser des campagnes d'essais sur le vieillissement des batteries, en mutualisant les données et les moyens de tests, ainsi qu'en partageant les coûts et la propriété des résultats avec des adhérents extérieurs.



Le Carnot IFPEN TE, en collaboration avec l'Ademe, a réalisé en 2018 une Étude économique, énergétique et environnementale pour les technologies du transport routier français (E4T). Elle analyse les grandes tendances de l'électrification des véhicules – particuliers, utilitaires, poids lourds et bus – son efficacité et sa capacité à réduire les impacts environnementaux du transport. En savoir plus sur les résultats de cette étude dans la partie « Grand Angle ».



Développement de services et d'applications pour le véhicule connecté



Le Carnot IFPEN TE exploite depuis plusieurs années le potentiel offert par la digitalisation pour réduire l'impact environnemental des transports, en proposant des *webservices* et applications pour véhicules connectés, de l'écoconduite à l'évaluation des émissions de polluants, en passant par l'analyse énergétique. Pour une mobilité toujours plus propre et plus sûre, le Carnot IFPEN TE renforce aujourd'hui ses actions dans les domaines de la qualité de l'air, avec la création de nouveaux outils et services logiciels pour le monitoring des émissions polluantes, et des mobilités douces, dont il accompagne le développement.

À titre d'exemple, Geco air, l'application smartphone développée par le Carnot IFPEN TE en partenariat avec l'Ademe, qui estime en temps réel les émissions polluantes et de CO₂ d'un véhicule, continue de s'enrichir et suscite un intérêt grandissant auprès des particuliers, des collectivités locales et des acteurs de la qualité de l'air.

DriveQuant, filiale d'IFPEN (tutelle du Carnot IFPEN TE), est une structure lancée en février 2017 au service de la mobilité connectée. En 2018, DriveQuant a notamment développé, en partenariat avec Altima, la première application au monde permettant d'assurer les véhicules à la minute de circulation. Cette application détecte automatiquement les trajets effectués et ajuste le coût au temps réel de circulation, c'est-à-dire les minutes passées au volant et la couverture du véhicule à l'arrêt. Dans le cadre de ce partenariat, DriveQuant remonte les besoins du marché et les équipes du Carnot IFPEN TE développent les briques de R&I nécessaires pour y répondre.

Faits marquants

Geco air intègre depuis 2018 de nouveaux algorithmes permettant d'estimer la totalité des émissions de particules fines d'un trajet, y compris hors échappement, telles que celles liées à l'usure des pneumatiques et des plaquettes de frein.

En 2018, deux expérimentations ont également été lancées pour visualiser et comprendre l'impact des aménagements urbains sur la pollution automobile :

- en région Auvergne-Rhône-Alpes, au sein du projet Airmap, retenu par la métropole de Lyon dans le cadre de son [R]Challenge ;
- en région Provence-Alpes-Côte d'Azur, au sein du projet Airmes, lauréat de l'appel à projets Primequal (Programme de recherche interorganisme pour une meilleure qualité de l'air, mis en œuvre par le ministère de la Transition écologique et solidaire et l'Ademe).

Geco air pourrait ainsi apporter une aide à la décision aux collectivités locales en matière d'urbanisme, d'aménagement routier et de gestion du trafic.

Le challenge d'écoconduite interentreprises du Carnot IFPEN TE a également pris une dimension nationale après quatre éditions organisées sur le territoire de la métropole du Grand Lyon. Cette année, plus de 120 établissements étaient inscrits avec près de 1 000 participants et plus de 350 000 km parcourus. À travers ce challenge, chacun a pu contribuer à réduire les émissions liées à ses déplacements, grâce à l'application Geco air, en adoptant un style de conduite plus souple et en privilégiant les modes de transport doux.



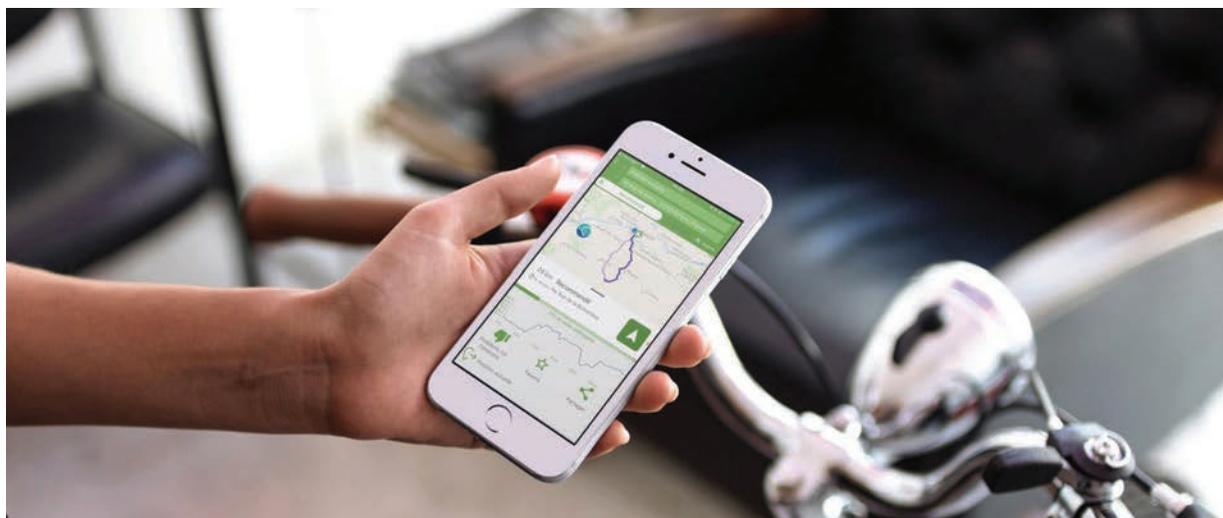
Étant une structure toute jeune de moins de deux ans, ma satisfaction est de voir que des briques technologiques développées par le Carnot IFPEN TE peuvent devenir, après intégration par DriveQuant, des applications pour smartphones et qu'elles soient aujourd'hui sur le marché. Je suis fier que certaines soient déjà déployées chez des acteurs de l'automobile (assureurs et loueurs notamment) et utilisées par leurs clients.

Philippe Moulin, Président et cofondateur de DriveQuant

Cependant, le Carnot IFPEN TE ne souhaite pas limiter ses développements aux seuls véhicules et se tourne également vers la mobilité douce. C'est pour cela qu'IFPEN, tutelle du Carnot IFPEN TE, s'est tourné vers des start-up, PME et ETI pour identifier et développer de nouveaux services pouvant faire l'objet d'une mise sur le marché.

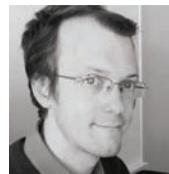


Ainsi, en janvier 2018, IFPEN est devenu actionnaire à 20% de la Compagnie des Mobilités. Pionnière dans le calcul d'itinéraires à vélo, la Compagnie des Mobilités propose une application GPS, baptisée Geovelo, dédiée aux cyclistes et personnalisable. Les équipes du Carnot IFPEN TE développent des modules pour l'application Geovelo permettant d'évaluer la dépense énergétique associée à un trajet ou de qualifier l'état des pistes cyclables en temps réel. L'objectif : favoriser l'utilisation du vélo, en toute sécurité, dans les zones urbaines.





Avec l'appui financier et R&D d'IFPEN, nous allons accélérer le développement des services Geovelo destinés aux collectivités locales et à différents acteurs fournissant des calculs d'itinéraires, et proposer ainsi de nouveaux services facilitant l'usage du vélo au quotidien. Nous allons d'ailleurs collaborer au projet « Convertissons la mobilité des Franciliens vers le vélo », porté par le Carnot IFPEN TE, qui a été accepté début 2019 à l'appel à projets de la région Île-de-France pour son plan vélo.



Gaël Sauvagnet, cofondateur et directeur technique de La Compagnie des Mobilités



En octobre 2018, IFPEN est devenu actionnaire à 23 % de Galanck. Lauréate du prix Techinnov 2018, Galanck conçoit, développe et commercialise des accessoires intelligents permettant d'accroître la sécurité du cycliste et plus largement de tout utilisateur de mobilité douce. Le premier produit est un sac à dos intelligent, connecté à une application GPS, avec une signalisation intégrée (clignotants, freins) guidant et sécurisant le porteur lors de son parcours. Les équipes du Carnot IFPEN TE travaillent avec Galanck sur plusieurs développements de R&I.



Amélioration des motorisations thermiques



Dans un contexte de durcissement des réglementations à l'échelle mondiale et d'interdiction croissante de la circulation des véhicules thermiques dans les villes, l'offre des industriels est en pleine mutation. Pour atteindre les objectifs ambitieux en matière d'émissions polluantes et de CO₂ d'ici 2030, l'amélioration des motorisations thermiques est indispensable. En phase avec ces prévisions, le Carnot IFPEN TE mène des recherches afin d'identifier, analyser et optimiser des concepts innovants de motorisations thermiques ; le but est d'en augmenter le rendement, de réduire les émissions de polluants, d'identifier des carburants bas carbone et d'optimiser leur utilisation dans les moteurs et ce, sur toute la plage de fonctionnement des moteurs, tant sur cycles d'homologation qu'en usage réel client.

À titre d'exemple, pour améliorer le rendement thermodynamique des motorisations essence en fonctionnement stœchiométrique, les équipes du Carnot IFPEN TE ont développé une nouvelle génération de systèmes de combustion optimisés par une approche originale d'aérodynamique interne de type *swumble*TM. Après avoir été appliquée en 2017 sur une motorisation 1 litre / 3 cylindres / 2 soupapes par cylindre, cette approche a été transposée avec succès en 2018 sur un moteur 4 soupapes par cylindre, en collaboration avec un industriel. Un rendement effectif maximum de 43 % et des rendements supérieurs à 37 % sur une très large plage de fonctionnement ont été atteints, tout en réduisant significativement les émissions de particules sur tout le spectre d'émission.

De plus, sur cette thématique de l'amélioration des motorisations thermiques, le Carnot IFPEN TE est un acteur de nombreux projets menés dans le cadre d'Horizon 2020 (voir la partie dédiée aux projets collaboratifs à l'international).

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



Concernant l'adaptation des motorisations aux carburants de rupture, le Carnot IFPEN TE a notamment finalisé en 2018, en collaboration avec un industriel, la mise au point d'un véhicule à motorisation Diesel fonctionnant avec un carburant de type naphtha, coupe intermédiaire généralement intégrée dans les essences ou utilisée comme base en pétrochimie. Ce véhicule atteint les objectifs fixés en termes d'émissions de CO₂ (léger gain en CO₂ relativement au Diesel et gain de plus de 15% relativement à une motorisation essence équivalente), respecte les dernières normes Euro 6 et présente un bon niveau d'agrément de conduite.

De plus, en partenariat avec un industriel, le Carnot IFPEN TE a lancé fin 2018 une étude pour le développement de nouveaux systèmes de dépollution des gaz d'échappement permettant de réduire drastiquement les émissions des véhicules urbains équipés d'un moteur thermique.

Le Carnot IFPEN TE mène également des travaux pour développer des outils adaptés à la mesure des produits pétroliers ou des émissions.

Faits marquants

Le Carnot IFPEN TE et AD Systems, PME spécialisée dans les appareils de mesure des produits pétroliers, ont codéveloppé un appareil permettant de caractériser la stabilité thermique des carburants pour l'aéronautique, problématique majeure du fait de l'usage de nouveaux systèmes de combustion et de la diversification du carburant (introduction de biocarburants par exemple). Baptisé TO10 et commercialisé par AD Systems, cet appareil a été homologué par l'ASTM en 2018. Il intègre des modèles mis au point par le Carnot IFPEN TE décrivant la stabilité thermique des carburéacteurs.

En 2018, le Carnot IFPEN TE a développé, en partenariat avec la PME Capelec, un outil pour le contrôle des émissions gazeuses des véhicules en conditions d'usage. Ce dispositif a même été retenu comme finaliste pour un *Innovation Award* dans la catégorie *Repair & Diagnostics* au salon Automechanika de Francfort (11-15 septembre 2018).

Le Carnot IFPEN Transports Energie en 2018, c'est :

48 contrats en cours pour un panel de 23 entreprises

30 projets de recherche collaborative auxquels contribuent 101 entreprises partenaires

Un personnel de 257 ETP

Plus de 30 doctorants, dont 2 en thèses Cifre

38 brevets déposés dans l'année et 276 détenus dans le portefeuille de brevets

Près de 30 publications de rang A

GRAND ANGLE - ÉTUDE E4T

Le Carnot IFPEN TE, en collaboration avec l'Ademe, a publié en 2018 une « Étude économique, énergétique et environnementale pour les technologies du transport routier français » (E4T). Elle analyse les grandes tendances de l'électrification des véhicules - particuliers, utilitaires, poids lourds et bus - son efficacité et sa capacité à réduire les impacts environnementaux du transport.

QU'A-T-ON ANALYSÉ ?

Plusieurs typologies de véhicules ont été étudiées :

- véhicules particuliers, véhicules utilitaires, poids lourds et bus,
- groupes motopropulseurs thermiques, hybrides, hybrides rechargeables et électriques (à batterie).

Pour chaque catégorie de véhicule, ont été évalués :

- la consommation énergétique,
- la viabilité économique (coût total de possession),
- les impacts environnementaux sur l'ensemble du cycle de vie (incluant la production de l'énergie nécessaire au véhicule mais également sa fabrication).



ENSEIGNEMENTS DE L'ÉTUDE

Depuis les annonces du plan Climat, la France a des objectifs ambitieux pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre. De plus, l'Union européenne impose aux constructeurs des seuils d'émissions de plus en plus contraignants. Dans ce contexte, l'électrification devient une nécessité pour pouvoir répondre aux enjeux climatiques et de santé publique.

Globalement, cette étude montre :

- le fort ralentissement à prévoir de la diffusion des véhicules essence et Diesel d'ici 2030, en dehors des poids lourds routiers pour lesquels l'électrification semble une solution plus difficile à déployer. En effet, cette filière sera fortement concurrencée en 2030, que ce soit du point de vue de son coût total de possession (TCO) ou de son impact environnemental (émissions de gaz à effet de serre (GES) et polluants).
- la pertinence, d'un point de vue écologique, des véhicules hybrides rechargeables, pour les particuliers à moyen terme et pour les utilitaires professionnels. Ces véhicules doivent cependant être utilisés très régulièrement de façon à amortir l'impact de la fabrication de la batterie. Celle-ci doit être rechargée quotidiennement pour maximiser l'utilisation du véhicule en mode électrique. Sur des trajets quotidiens (inférieurs à 50 km), cette technologie améliore l'impact environnemental par rapport aux autres véhicules étudiés, grâce à la taille de la batterie, plus petite que celle d'un véhicule tout électrique. Actuellement, le déploiement de cette technologie en grande série est limité du fait d'une incitation à l'achat réduite et du coût élevé de fabrication des batteries, qui vient s'ajouter à celui d'une motorisation conventionnelle. Ce coût devrait baisser d'ici 2030, permettant ainsi de démocratiser cet usage et le rendre véritablement concurrentiel.
- l'efficacité des véhicules électriques pour réduire la pollution locale et les émissions de CO₂, d'autant plus s'ils sont très utilisés, à l'instar des bus. Cependant, la tendance actuelle à l'accroissement de la taille des batteries, pour augmenter l'autonomie des véhicules électriques particuliers, est préjudiciable à l'impact environnemental. Parmi les véhicules étudiés, pour se déplacer en ville, le bus électrique est la solution qui présente l'impact environnemental le plus faible. En effet, s'agissant d'un mode de transport en commun sur un grand nombre de kilomètres (en moyenne 40000 km/an), les impacts relatifs à la fabrication de la batterie sont amortis.

En bref

- **Fort ralentissement à prévoir de la diffusion des véhicules essence et Diesel d'ici 2030.**
- **Pertinence d'un point de vue écologique des véhicules hybrides rechargeables, pour les particuliers à moyen terme et pour les utilitaires professionnels.**
- **Pour se déplacer en ville, le bus électrique est la solution qui présente l'impact environnemental le plus faible.**

DE NOUVELLES TECHNOLOGIES DE TRANSPORT AU SERVICE DE LA NÉCESSAIRE ÉVOLUTION DES USAGES : UNE NOUVELLE ÉTUDE POUR 2019

Avant tout, c'est le changement plus global des habitudes et le déploiement de services de mobilité adaptés aux besoins des utilisateurs qui permettront de répondre aux défis environnementaux du transport. Pour transiter vers de nouveaux modes de mobilité, plus fortement liés à l'usage qu'à la possession, de nouvelles technologies doivent voir le jour, auxquelles pourront s'ajouter des carburants alternatifs.

Le Carnot IPEN TE, en collaboration avec l'Ademe, a lancé début 2019 une suite de l'étude E4T, focalisée sur l'horizon 2040, pour évaluer d'autres systèmes énergétiques, notamment à base d'hydrogène, de biocarburants ou de GNV. Cette suite proposera une approche plus large avec une analyse prospective de l'ensemble du parc routier (véhicules légers, poids lourds et bus).

ACTIONS DE RESSOURCEMENT SCIENTIFIQUE

Afin de répondre aux besoins identifiés auprès des partenaires dans le domaine de la mobilité durable, notre politique de diversification se poursuit en s'appuyant fortement sur nos socles de compétences. Dans ce cadre, l'abondement Carnot nous offre l'opportunité d'accélérer le développement ou l'adaptation de nos compétences pour faire face à l'évolution des besoins du marché.

Ainsi, pour 2018, les projets de R&D de ressourcement scientifique portaient sur les trois approches suivantes :

- électrification des chaînes de traction, notamment par le développement de moteurs électriques et d'onduleurs à haut rendement, ainsi que l'électrification de la boucle d'air ;
- digitalisation pour la mobilité connectée ;
- développements de systèmes de combustion de rupture.



Nouvelles approches de moteurs électriques et d'onduleurs à haut rendement pour le transport

Les résultats obtenus

La diminution du recours aux terres rares (principalement néodyme et dysprosium) est traitée par la conception de machines à base de ferrites. Celles-ci présentent cependant une dégradation des performances qu'il est nécessaire de pallier par un design spécifique au niveau des barrières de flux (angles, épaisseur des ponts magnétiques, etc.) du rotor de la machine synchro-réductante. En particulier, il est nécessaire de prendre en compte le risque de démagnétisation irréversible en cas de court-circuit ainsi que les contraintes mécaniques dues à la force centrifuge à la vitesse maximale. Afin de maximiser les différents critères de performance (couple moyen et niveau d'oscillation, niveau de pertes) tout en respectant les contraintes imposées par les applications haute vitesse avec ferrites (niveau de démagnétisation, tenue mécanique), la géométrie a été définie en utilisant des procédures automatiques d'optimisation, couplées avec des modèles à éléments finis de la machine.

La problématique traitée

Afin d'augmenter la part de marché des véhicules électriques dans les années à venir, les composants du groupe motopropulseur (GMP) électrique devront répondre à des niveaux de performance de plus en plus exigeants tout en respectant des contraintes d'intégration et d'industrialisation assez sévères. Pour les motorisations électriques, cela se traduit par la nécessité de concevoir des machines plus compactes et efficaces, mais en même temps capables de garantir des performances élevées à des coûts de production faibles.

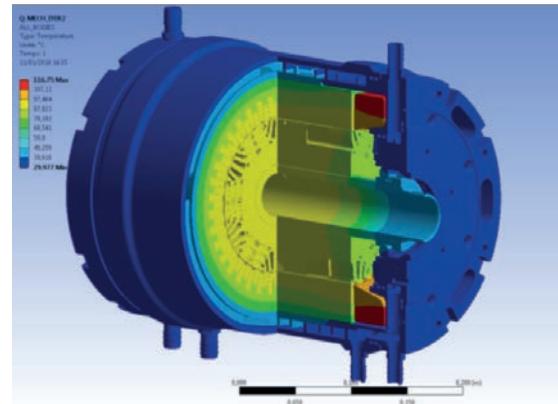
Le Carnot IFPEN TE a identifié la technologie des machines synchro-réductantes comme l'une des solutions les plus prometteuses pour des applications de traction électrique, faisant un recours limité aux terres rares.

Les travaux de recherche menés en 2018 ont ainsi porté sur l'optimisation de ces machines synchro-réductantes et de leur pilotage, avec une focalisation sur les aspects suivants :

- conception des parties actives des machines avec une forte composante réductante ;
- conception d'électronique de commande basée sur des composants de type *Wide Bandgap* ;
- étude de systèmes de refroidissement à base d'huile ;
- développement d'algorithmes de contrôle pour améliorer la robustesse et la précision du pilotage des machines.

Ces machines seront, par la suite, prototypées et pilotées par un nouveau concept d'électronique de puissance (onduleur) directement intégré dans le GMP, permettant l'optimisation des connexions électriques, de l'architecture du système de refroidissement et du dimensionnement du carter. Ce concept utilise des composants innovants de type *Wide Bandgap* (technologie SiC, carbure de silicium), adaptés au fonctionnement à haute fréquence et réduisant ainsi les coûts associés aux composants passifs tels que les condensateurs et les inductances (- 50%).

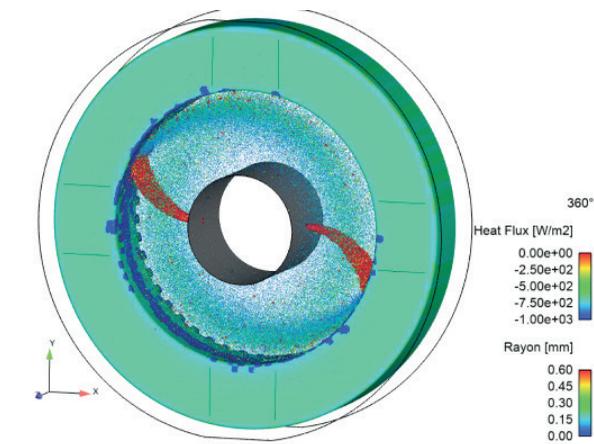
« Le concept utilisé permet de réduire les coûts associés aux composants passifs de l'ordre de 50%. »



Modélisation 3D pour l'étude de tenue thermique d'une machine synchro-réductante

Le Carnot IFPEN TE a également poursuivi la conception et le prototypage de machines électriques de traction à forte densité de puissance (> 3 kW/kg). Ces machines sont caractérisées par des densités de courant élevées (> 16 A/mm²) et des cavités à géométrie complexe, avec formation de points chauds. Afin d'améliorer la tenue thermique de ces machines électriques en fonctionnement continu, les équipes du Carnot IFPEN TE ont étudié en 2018 des solutions de refroidissement par contact direct ou indirect d'un fluide (huile) avec les parties actives, pour pouvoir évacuer les calories des points chauds, notamment les têtes de bobines et l'intérieur du rotor qui intègre des aimants permanents. Ces architectures ont été étudiées en simulation pour prédimensionner les systèmes d'injection (spray, jet et *dripping*).

L'estimation des coefficients d'échange thermique en fonction de différents paramètres (débit et température du fluide, emplacement et distance des orifices ou gicleurs par rapport à la surface à refroidir, etc.) a permis d'optimiser la définition de la géométrie et d'identifier le débit nécessaire pour l'injection d'huile des différentes configurations. Un prototype intégrant plusieurs technologies d'injections d'huile a été conçu et fera l'objet d'une campagne de tests, qui permettront d'évaluer l'apport de ce type de systèmes à l'amélioration des performances, en prenant aussi en compte l'impact sur le rendement et le coût global du GMP.



Modélisation 3D de l'impact d'un spray d'huile sur les parties actives d'une machine électrique

Pour le volet contrôle, afin d'exploiter le potentiel des machines synchro-réductantes sur l'ensemble de la plage de fonctionnement, de nouveaux algorithmes ont été développés pour maximiser l'utilisation de la batterie du véhicule. L'amélioration de la stabilité du contrôle a permis d'augmenter le niveau de puissance atteignable dans les zones limites de fonctionnement (notamment dans la région où il est nécessaire d'affaiblir le flux des aimants), avec un gain d'environ 5%.



Système électrique très haute vitesse pour l'hybridation de la boucle d'air des GMP hybrides

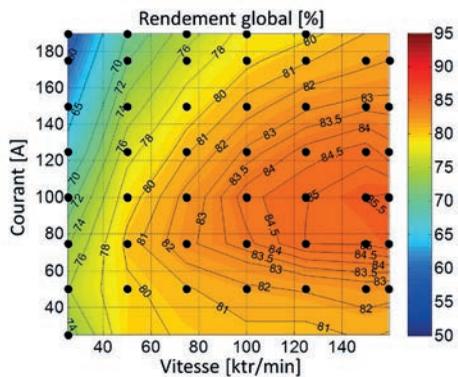
Les résultats obtenus

La technologie développée de machine électrique à grille statorique a pour objectifs :

- un rendement du système électrique (moteur et onduleur) supérieur à 80% au global et supérieur à 90% sur chaque organe ;
- un refroidissement simple, sans circuit et sans actionneur externe, permettant de réduire le coût de la solution ;
- une fiabilité mécanique à très haute vitesse (>150000tr/min) permettant la validation de l'intégration proposée.

Le premier axe de travail menant à la caractérisation électromagnétique et thermique à haute vitesse a été abordé avec une approche couplée entre la simulation et l'expérimentation sur un banc moteur/générateur (ou *back to back*) sur lequel deux machines identiques sont assemblées avec un arbre commun. Chaque poste de pertes sur le système a pu être quantifié. Le rendement du concept a pu être ainsi confirmé et la capacité de pilotage d'une telle machine être affinée.

Les mesures et les résultats ont également permis des optimisations ciblées de l'architecture et l'alimentation des modèles de simulation pour compléter leur domaine de validité.



Rendement expérimental du système global

La problématique traitée

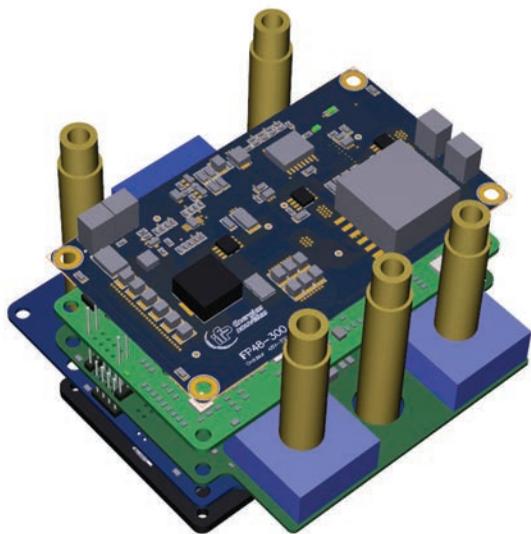
L'électrification de la chaîne de traction des véhicules thermiques ouvre la voie à des systèmes plus respectueux de l'environnement. L'hybridation des groupes motopropulseurs (GMP) est une première étape qui permet d'exploiter les sources de puissance à bord (thermique et électrique) en synergie l'une de l'autre, afin de réduire la consommation de carburants et les émissions associées.

Le système électrique innovant très haute vitesse pour turbocompresseur, développé par le Carnot IFPEN TE, s'inscrit dans ce cadre de recherche de synergies entre l'efficacité du moteur thermique et l'opportunité offerte par le réseau électrique 48 V présent à bord.



Les axes de recherches suivants ont été menés sur la période 2017-2018 :

- le développement et l'évaluation du concept innovant de machine électrique dit à grille statorique et de son électronique de puissance associée, fonctionnant à très haute vitesse, au travers d'une approche couplant expérimentation et simulation ;
- le développement d'une stratégie de contrôle permettant la maîtrise du couple électrique sous 48 V jusqu'à 200 000 tr/min sur un processeur standard, et de l'électronique de puissance 48 V très haut régime ;
- l'optimisation architecturale de la machine à grille statorique et son intégration sur le turbocompresseur ;
- la démonstration des apports d'une telle technologie sur banc d'organe puis sur moteur thermique au banc d'essai.



Cartes électroniques de l'onduleur

Le deuxième axe de travail a porté sur l'onduleur et le contrôle associé. Piloter efficacement un moteur électrique 48 V au-delà de 100 000 tr/min et utiliser des composants à bas coût constituent à la fois un défi et un atout différenciant quant à l'acceptation sur le marché automobile. En 2018, une électronique de puissance 48 V permettant le pilotage d'une machine jusqu'à 185 000 tr/min a été conçue et mise au point par les équipes du Carnot IFPEN TE pour répondre au cahier des charges de 4,5 kW de puissance maximale. La mise au point de la stratégie de pilotage par platitude et la caractérisation de l'onduleur ont été faites sur le banc *back to back* jusqu'à 165 000 tr/min et le banc d'essais turbocompresseur jusqu'à 185 000 tr/min. Ces essais ont permis d'atteindre un rendement maximal à 97 % et 90 % sur une très large zone de fonctionnement, contribuant ainsi au bon rendement du système complet. De plus, grâce à la boucle vertueuse entre l'efficacité et la capacité de refroidissement offerte par le turbocompresseur, le système moteur et onduleur est refroidi sans circuit complémentaire et sans actionneur externe. Cette première phase expérimentale a permis d'identifier différents leviers d'optimisation du système électrique dans son ensemble.

Le troisième axe de travail a consisté en l'intégration d'un tel système sur un turbocompresseur. Le verrou principal d'un turbocompresseur électrifié avec rotor en bout d'arbre reste la dynamique de la ligne d'arbre et l'impact du stator sur l'aérodynamique du compresseur. Des essais ont été menés jusqu'à 185 000 tr/min et la qualification de l'impact aérodynamique du stator sur le rendement du compresseur a mis en évidence différents compromis offerts par la technologie, entre le rendement du système global et le rendement électrique. La qualité de refroidissement a également été confirmée sur le système intégré au turbocompresseur, conforme à la prédiction avec la température des bobines tenue sous 65 °C.

« Deux points de rendement moteur peuvent être gagnés tout en améliorant les prestations dynamiques. »

Enfin, le turbocompresseur électrifié a été intégré sur un moteur thermique à allumage commandé de 200 kW et testé au banc moteur. Les premiers résultats montrent une capacité de récupération de 150 à 450 W à la batterie (toute la chaîne de rendement considérée) dans les zones de roulage à 70/90 km/h et à 130 km/h, soit lorsque la machine électrique de traction ne récupère pas d'énergie. La récupération maximale est de 4 kW sur des points de fonctionnement plus chargés.

Le levier offert par cette puissance électrique sur turbocompresseur permet de gagner directement jusqu'à deux points de rendement moteur, tout en améliorant les prestations dynamiques par rapport à la référence, notamment à très bas régime.



Système électrique intégré au banc moteur

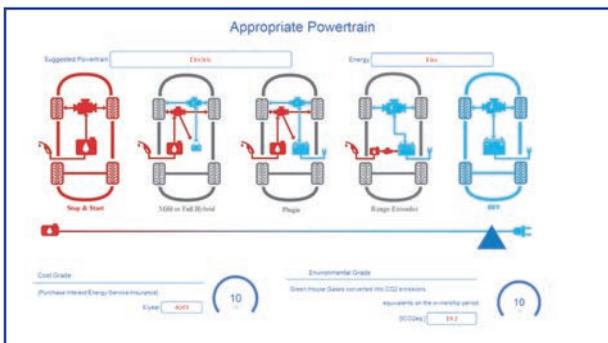


Apports de la digitalisation pour la mobilité connectée

Les résultats obtenus

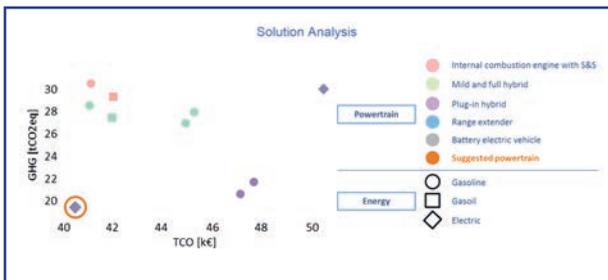
Deux activités ont été lancées, chacune pour répondre à l'un des axes de recherche.

Concernant l'axe 1, l'objectif était de faciliter le choix d'un véhicule en créant un *webservice* permettant de changer à l'envi les paramètres d'entrée tels que l'usage, la taille du véhicule, le coût des carburants, et d'en voir immédiatement les effets.



Cela permet à l'utilisateur d'élaborer un grand nombre de scénarios et d'analyser leur sensibilité et leur robustesse en fonction des variations des données d'entrée.

Pour cela, une partie des travaux de l'étude E4T, réalisée en collaboration avec l'Ademe (voir la partie « Grand Angle » de ce rapport), a été digitalisée. Un *webservice*, appelé directement par une page web, a ainsi pu être créé et permet l'analyse de différents GMP en fonction de critères liés au coût total de possession (TCO), aux émissions de CO₂ et à l'autonomie sur un usage défini par l'utilisateur. Voir les deux figures illustrant la maquette mise en place.



La problématique traitée

Le Carnot IFPEN TE développe avec ses partenaires des bibliothèques de modélisation du véhicule et de ses organes, tels que le groupe motopropulseur (GMP). Les outils de modélisation sont multi-échelles, depuis la modélisation 3D LES (*Large Eddy Simulation*) jusqu'à la modélisation système (OD). Cette action de ressourcement porte sur l'évolution de ces logiciels de simulation pour une utilisation plus massive, notamment par des ingénieurs non spécialistes ou dans des structures de petite taille.

Deux axes de recherche ont ainsi été identifiés :

- l'évolution dans l'utilisation du logiciel : il s'agit d'une véritable refonte car elle s'appuie sur l'utilisation de services de simulation, hébergés sur *le cloud*, au lieu d'utiliser un logiciel propriétaire. Il faut alors repenser le logiciel et y associer les technologies informatiques adéquates : parallélisation du calcul, interface web, etc. ;
- la modification de la vocation même du logiciel, principalement de modélisation OD : jusqu'à aujourd'hui, la modélisation système est une pièce centrale dans la chaîne de conception des véhicules, du design des motorisations à la calibration des fonctions. Or l'usage du véhicule en conditions réelles doit désormais être intégré dans la simulation, notamment pour répondre à la nouvelle réglementation *Real Driving Emissions* (RDE). Cela implique de mettre en place des simulations à plus grande échelle (le type de parcours, les contextes routiers, le trafic, etc.) et d'être connecté plus facilement à des systèmes d'information cartographiques (SIG).

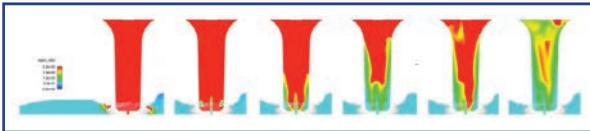


Les systèmes de combustion en rupture

Les résultats obtenus

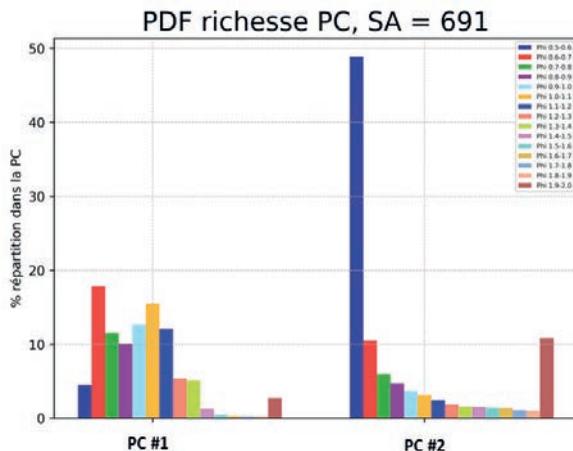
Pour l'axe 1, l'orientation vers la préchambre active a été poursuivie, dans la continuité des résultats de l'année 2017, par une étude bibliographique, et des premiers calculs mettant en avant les verrous principaux. De premières investigations ont été menées permettant de mettre en lumière les paramètres clés contrôlant le comportement de la préchambre active.

La combustion dans une préchambre active est contrôlée par la capacité à homogénéiser le mélange air/carburant de la préchambre avec celui qui remonte de la chambre principale.



Répartition de richesse au sein de la préchambre active pendant le cycle

Le graphe ci-dessous présente la répartition du mélange dans la préchambre au moment de l'allumage. Si la préchambre de gauche montre une distribution de type gaussienne démontrant une bonne capacité d'homogénéisation, celle de droite présente deux singularités : un pic riche lié à l'injection de carburant et un pic à richesse 0,5 provenant de la chambre principale et où le carburant ne s'est pas bien mélangé.



Répartition du mélange dans la préchambre au moment de l'allumage

La problématique traitée

Les industriels doivent relever de nombreux défis technologiques pour réduire la consommation (CO_2) et les émissions de polluants, préparer l'évolution des modes de mobilité et s'inscrire dans la diversification des sources d'énergie. Cependant, la plupart des études prospectives confirment que le moteur à combustion interne restera la technologie de propulsion dominante, pour les applications domestiques et industrielles, dans le futur marché mondial.

Dans ce contexte, l'approche R&I du Carnot IFPEN TE vise à augmenter significativement le rendement thermodynamique des motorisations thermiques par l'optimisation des technologies existantes ou émergentes ainsi que par l'introduction de solutions en rupture, tout en veillant à conserver un système de dépollution simple et efficace sur toute leur plage de fonctionnement. L'objectif de ces travaux est d'identifier des procédés de combustion en rupture permettant d'atteindre, dans certaines conditions de fonctionnement, des rendements très élevés (> 50%). Pour répondre à une forte demande économique et sociétale, et devant la diversité des solutions à investiguer ainsi que des verrous scientifiques et technologiques à lever, le Carnot IFPEN TE a décidé d'investir cette thématique sur le moyen terme.

Pour ce faire, deux grands axes de recherche ont été définis :

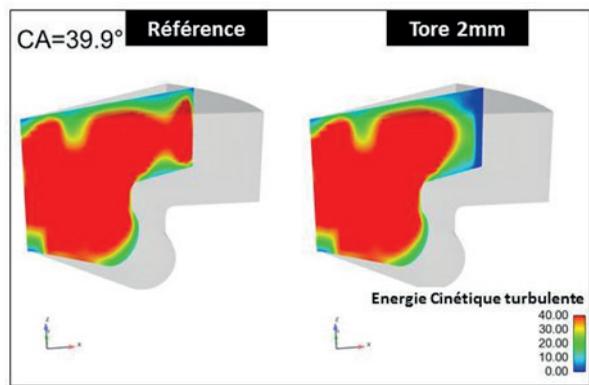
- l'identification de voies alternatives pour améliorer significativement le rendement des moteurs à pistons, en levant des verrous associés, telles que l'injection d'espèces chimiquement actives pour mieux contrôler la combustion ou le contrôle actif de l'aérodynamique complexe dans la chambre ;
- l'étude de systèmes de combustion basés sur des cycles thermodynamiques permettant un rendement théorique significativement plus élevé qu'un cycle Beau de Rochas classique.

L'utilisation d' H_2 a également été étudiée comme booster de la combustion à l'instar de l'ozone en 2017. Il apparaît que les nouveaux systèmes de combustion, qui maximisent l'aérodynamique interne pour accélérer les combustions, nécessitent un ajout d' H_2 important avant d'observer un gain sur les vitesses de dégagement d'énergie significatif. Cela semble aujourd'hui difficilement compatible avec les capacités offertes par les générateurs d' H_2 embarqués.

En complément et de manière plus conceptuelle, cette année, la modification de turbulence dans la chambre de combustion a été investiguée pour quantifier les gains potentiels de rendement. L'énergie cinétique de turbulence est ainsi modifiée temporellement et spatialement afin de déterminer les paramètres permettant une augmentation de rendement. Cette étude se focalise sur les gains éventuels obtenus et les conséquences de ces nouveaux champs sur les performances globales et les polluants, sans aborder la question de la réalisation technique de ces champs de turbulence.

Dans l'approche temporelle, l'énergie cinétique de turbulence moyenne est augmentée globalement dans la chambre et les effets sur la vitesse de combustion sont étudiés. La seconde approche vise à contrôler spatialement la turbulence pour réduire les pertes par transfert thermique durant le cycle, en supprimant la turbulence en proche paroi.

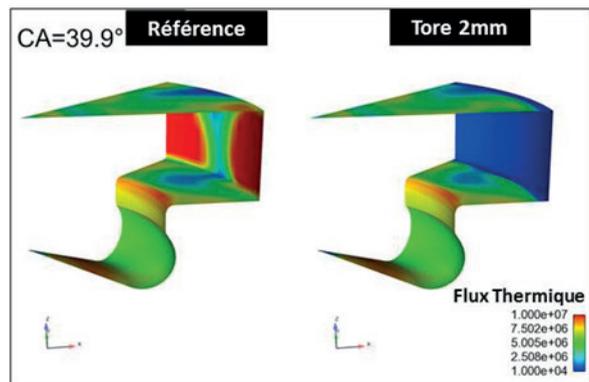
L'étude des champs d'énergie cinétique turbulente, 1^{re} figure ci-contre, permet de vérifier le fonctionnement du tore proche de la chemise : une absence de turbulence sur une distance de 2mm proche paroi et une modification de la structure turbulente à proximité du tore. Les pertes thermiques aux parois sont présentées sur la 2^e figure ci-contre. On constate que la suppression de la turbulence près de la chemise permet une réduction importante des pertes thermiques. Cependant, ces différentes approches n'ont pas permis d'augmenter de façon significative le rendement global des architectures étudiées. L'augmentation de la turbulence moyenne dans la chambre a un effet négligeable sur la vitesse de combustion et les polluants. L'étude des mouvements d'ensemble de type *swirl* permettrait néanmoins de conclure sur l'influence de l'aérodynamique sur la vitesse de combustion.



Champ d'énergie cinétique turbulente dans une coupe de secteur

La diminution des pertes thermiques aux parois par suppression de la turbulence a permis des gains de rendement importants dans les deux architectures (Diesel et essence), de l'ordre de deux points pour le moteur essence. Ces gains s'accompagnent cependant d'une dégradation de la combustion et d'une augmentation du cliquetis, problématique pour le cas étudié. Ces pertes compensent les gains à iso-avance et les surpassent quand le calage est réalisé à iso-limite cliquetis.

Pour l'axe2, suite à l'étude sur les cycles externes réalisée en 2016 et 2017, l'évaluation du potentiel d'une cinématique variable a été lancée. Des calculs OD ont montré le potentiel pour atteindre 50% de rendement à richesse 1 et sans utiliser de recirculation des gaz brûlés, mais ces éléments doivent être consolidés par une analyse plus approfondie en calcul 3D. Cette étude se poursuit en 2019.



Champ du flux thermique au niveau de la chemise

ACTIONS DE PROFESSIONNALISATION ET DE DÉVELOPPEMENT DE PARTENARIATS SOCIO-ÉCONOMIQUES

Dans le cadre des actions de professionnalisation, le Carnot IFPEN TE propose de renforcer ses démarches en matière de marketing stratégique et de promotion de l'innovation. Le Carnot IFPEN TE mène notamment une démarche volontariste vers les petits acteurs industriels (TPE, PME et ETI), soit pour les accompagner dans leurs développements R&D, soit pour des partenariats orientés vers le codéveloppement de produits et services répondant aux besoins de la mobilité durable.

Ainsi en 2018, les projets de R&D de professionnalisation ont été focalisés sur deux domaines :

- l'écomobilité, avec pour objectif de porter des « références industrielles » à travers deux actions : l'extension de l'application smartphone Geco air vers l'estimation des émissions de polluants locaux et l'optimisation de la gestion des véhicules électriques, aussi bien pour le particulier que pour le gestionnaire de flottes ;
- la récupération d'énergie pour le transport, avec le développement de solutions en partenariat avec Enogia, PME française.



Estimation des émissions polluantes des véhicules : des algorithmes pour permettre aux citoyens et aux villes d'agir pour la qualité de l'air

Quelle action pour le Carnot IFPEN TE ?

La pollution de l'air est responsable chaque année d'un demi-million de décès prématurés en Europe (selon l'Agence européenne pour l'environnement). En cause: le secteur des transports, principal émetteur de particules (14% des émissions urbaines en France, 28% en Île-de-France) et de NO_x (61%). La réduction des émissions polluantes des véhicules particuliers est ainsi un enjeu majeur de notre époque.

L'apparition de nouvelles technologies moteur et de post-traitement a permis d'ores et déjà de les diminuer, mais les niveaux de pollution de l'air restent encore aujourd'hui au-dessus des seuils sanitaires et il est important de trouver de nouveaux leviers pour agir. Comme le style de conduite et le type de trajet ont également un impact sur les niveaux d'émissions, il devient important d'aider le conducteur à mieux utiliser son véhicule afin de réduire l'empreinte environnementale de ses déplacements. Le Carnot IFPEN TE a ainsi travaillé ces dernières années au développement d'un ensemble de services et également à l'application smartphone Geco air visant à aider les particuliers dans cette démarche.

Les résultats obtenus

Agir pour une mobilité responsable

Le Carnot IFPEN TE a lancé en 2017 l'application Geco air, avec le soutien de l'Ademe, en s'appuyant sur sa précédente application d'écoconduite. Capable d'estimer les émissions d'un véhicule en termes de NO_x, CO et particules au cours d'un trajet à l'aide de modèles numériques, Geco air propose des conseils simples, pratiques et personnalisés pour les réduire et compte aujourd'hui plus de 26 000 utilisateurs.

Les entreprises, un vecteur de diffusion

En 2018, s'est tenue la 5^e édition du challenge d'écoconduite interentreprises organisé par le Carnot IFPEN TE à l'échelle nationale, qui a rencontré un grand succès. Plus de 120 entreprises ont participé, avec pour objectif de réduire au maximum la pollution liée à la mobilité de leurs salariés. En 2019, le Carnot IFPEN TE prépare une solution dédiée qui permettra aux gestionnaires de flotte d'organiser leurs propres challenges et événements tout au long de l'année et de réduire l'empreinte polluante de leurs flottes, tout en garantissant la confidentialité des données de mobilité des salariés.

« Plus de 120 entreprises ont participé au 5^e challenge d'écoconduite interentreprises pour réduire la pollution liée à la mobilité de leurs salariés. »

Les villes passent à l'action

Aujourd'hui, la qualité de l'air est peu prise en compte par les villes lors de décisions liées à l'infrastructure routière. Pourtant, il est possible d'améliorer la qualité de l'air significativement, notamment grâce à l'optimisation des aménagements de voirie et de signalisation (modification de la vitesse maximale autorisée, implantation de carrefours à feux ou de ralentisseurs) qui a, en effet, un impact direct et significatif sur l'accélération des véhicules et donc sur leurs émissions polluantes. Cependant, il n'existe pas aujourd'hui d'outil permettant de connaître et de prendre en compte cet impact, et ce, principalement en raison de difficultés à collecter des données réelles représentatives.

Depuis 2018, les données collectées par l'application Geco air offrent la possibilité de résoudre ce problème. L'application permet en effet de collecter les trajets quotidiens de plusieurs milliers de conducteurs non professionnels et d'évaluer les émissions associées. Le Carnot IFPEN TE collabore actuellement avec plusieurs grandes métropoles françaises, telles que Marseille ou le Grand Lyon, pour prendre en compte et réduire l'impact des aménagements de voirie sur les émissions polluantes.





Gestion optimisée pour véhicule électrique : algorithmes pour simplifier et améliorer son usage

Quelle action pour le Carnot IFPEN TE ?

L'objectif de l'action est de développer de nouveaux services permettant de simplifier et d'améliorer l'usage des véhicules électriques. En effet, celui-ci est limité par un certain nombre de contraintes induites :

- pour les utilisateurs habitués aux véhicules conventionnels, le caractère anxiogène d'une autonomie plus réduite, notamment en cas d'imprévu, ;
- pour le gestionnaire de flotte, l'immobilisation du véhicule, la logistique liée au temps de charge et la valeur d'achat du véhicule.

Dans le cadre des flottes d'entreprise, ces contraintes conduisent à une sous-utilisation des véhicules électriques qui sont réservés à de courts trajets et, en général, à un seul trajet par jour. En conséquence, le coût global de possession d'un véhicule électrique (TCO) s'en trouve augmenté, ce qui limite leur diffusion sur le marché. Pour dépasser ces contraintes sans augmenter la capacité de la batterie et le coût de ces véhicules, le Carnot IFPEN TE a développé des algorithmes permettant à l'utilisateur et au gestionnaire de prédire et maîtriser le rayon d'action du véhicule et le temps nécessaire pour la recharge. Pour des flottes en autopartage, le bénéfice est d'autant plus important puisque la réallocation d'un véhicule se fera plus rapidement.

Les résultats obtenus

Prédire la dépense énergétique et la faisabilité d'un trajet

Les services développés par le Carnot IFPEN TE permettent de connaître a priori la faisabilité d'un trajet futur et l'état de charge final à destination, en prenant en compte certaines caractéristiques du véhicule, du trafic et du réseau routier (vitesse et pente sur chaque segment de route). Pour le gestionnaire, c'est l'opportunité d'allouer le bon véhicule en fonction du besoin, voire même d'allouer des véhicules sans attendre une recharge complète. Pour l'utilisateur, c'est la garantie d'arriver à destination sans encombre.

Connaître en temps réel le rayon d'action restant

Les algorithmes développés par le Carnot IFPEN TE permettent également de calculer en temps réel une projection cartographique de l'autonomie du véhicule. L'état de charge restant du véhicule est connu en temps réel via un boîtier connecté au véhicule. Cette fonctionnalité permet à l'utilisateur de savoir s'il est en mesure d'atteindre une nouvelle destination.

Adapter son style de conduite

En adaptant son utilisation aux spécificités du véhicule électrique, il est possible d'augmenter son rayon d'action de plus de 10 %. Par exemple, lors des phases de freinage, il est possible de recharger plus ou moins la batterie en fonction du style de conduite. Pour permettre aux conducteurs et aux gestionnaires de flotte d'utiliser ce levier, le Carnot IFPEN TE a développé un algorithme qui évalue l'impact du comportement du conducteur sur l'autonomie de la batterie et le potentiel d'amélioration.



Prédire le temps de recharge

Le Carnot IFPEN TE a développé un service permettant de connaître a priori le temps nécessaire pour recharger un véhicule en fonction de son état de charge initial, des caractéristiques de la batterie, du chargeur et de la borne. Ce service permet à la fois d'optimiser le taux d'utilisation de l'infrastructure et des véhicules et d'informer les usagers de l'heure de mise à disposition de ceux-ci. Couplé au service de prédiction de la dépense énergétique, il offre une solution complète pour l'optimisation de l'allocation des véhicules électriques en fonction des missions.



Solutions de récupération d'énergie pour les applications transports

Quelle action pour le Carnot IFPEN TE ?

La récupération des énergies thermiques perdues (sur les circuits de refroidissement des moteurs thermiques ou sur les lignes d'échappement) est une voie intéressante d'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules. Le Carnot IFPEN TE s'est engagé depuis 2014 dans un partenariat industriel avec la PME Enogia, autour des systèmes de récupération d'énergie thermique sur la base d'un cycle de Rankine organique (ORC).

Enogia commercialise des systèmes ORC sur les moteurs stationnaires depuis plus de six ans et dispose ainsi d'un retour d'expérience solide concernant cette utilisation de la technologie ORC.

S'inspirant de cette expérience, le Carnot IFPEN TE et Enogia travaillent à l'adaptation de cette technologie à la récupération de la chaleur perdue dans l'eau de refroidissement des moteurs de véhicules légers et de poids lourds. Par rapport à la récupération « haute température » dans les gaz d'échappement ou à l'EGR (recirculation de gaz d'échappement), cette technologie « basse température » présente de nombreux avantages, conduisant à des systèmes ORC plus sûrs, plus fiables, plus compacts, moins lourds et finalement moins chers.



Les avantages de la récupération de chaleur « basse température » dans le circuit de refroidissement des moteurs

Les résultats obtenus

Pour l'application véhicules légers, un premier prototype de turbogénératrice ORC a été fabriqué en 2018 par Enogia. Le Carnot IFPEN TE y a intégré un « étage de pompe » permettant d'assurer la circulation du fluide de travail dans le système ORC. Le composant prototype, qui intègre sur un même arbre une turbine, la génératrice électrique et une pompe, pèse 1,5 kg et mesure 160 mm de long. La compacité du système ORC, paramètre primordial en vue d'une intégration dans un véhicule, est ainsi encore améliorée. Les prototypes ont fait l'objet d'une première campagne de tests sur un banc d'essais du Carnot IFPEN TE.

Pour la partie électrique, l'électronique haute fréquence développée dans le cadre du projet e-turbo (voir la partie « Action de ressourcement scientifique ») est également utilisée par le projet ORC pour piloter la génératrice électrique. L'ensemble a fait l'objet d'une optimisation ayant conduit à une modification du bobinage statorique de la génératrice après une campagne d'essais au banc de moteurs électriques du Carnot IFPEN TE. L'énergie électrique générée à partir de la chaleur récupérée est délivrée sous 48V, ce qui permet de soulager l'alternateur du véhicule.



Turbopompe-génératrice ORC (48 V) pour application véhicules légers

Lors de ces premiers essais, la turbogénératrice a délivré une puissance électrique de 350W, pour un point de fonctionnement représentatif d'un véhicule circulant à 90km/h. Plusieurs pistes d'amélioration de la turbogénératrice ont été identifiées afin d'augmenter ces performances. Pour ce qui est de l'étage pompe, les objectifs en termes de débit et de pression sont atteints. Une optimisation du système est en cours afin d'en accroître encore le rendement.

Pour l'application poids lourd, un prototype de turbo-pompe ORC a été réalisé. L'énergie générée sera réinjectée dans la courroie d'accessoires du moteur, afin de réduire la consommation de carburant de ce dernier. Pour permettre un régime de rotation de la poulie de sortie compatible avec celui du moteur, l'architecture du composant intègre un train épicycloïdal réduisant le régime de rotation entre la turbine et la pompe. Le train épicycloïdal a fait l'objet d'un développement particulier, avec l'assistance du Carnot Cetim. Des essais préliminaires de l'étage turbine seul ont permis de mesurer au banc d'essais une production d'énergie de 2,3kW pour un fonctionnement représentatif d'un poids lourd sur autoroute (85 km/h).

« Deux prototypes ont été réalisés : un pour une application véhicules légers et un pour une application poids lourd. »



Turbopompe ORC à sortie de puissance mécanique pour application poids lourd

APPEL À PROJETS INTERNE POUR LE RENFORCEMENT DE LA DÉMARCHE D'INNOVATION

ENERGINA : UN CHALLENGE D'ENVERGURE

Afin de renforcer ses activités dans le domaine des nouvelles technologies de l'énergie, et suite au succès des appels à projets internes précédents du Carnot IFPEN Transports Energie, la tutelle IFPEN a lancé en 2017-2018 un challenge innovation de grande envergure. Nommé *ENERGINA, secouez les énergies !*, ce challenge a pour but de faire émerger de nouveaux projets et de stimuler la créativité dans les domaines de la transition énergétique. Six défis ont été proposés à l'ensemble des salariés d'IFPEN, dont deux ont été formulés par le Carnot IFPEN TE :

- *Bougeons avec l'électricité !* ;
- *J'agis pour la qualité de l'air.*

La procédure de l'appel à projets interne, simple et accessible, a suscité un grand nombre de participations et 167 idées ont été proposées par plus de 200 collègues d'IFPEN.

Un jury d'experts a présélectionné 15 propositions qui ont ensuite été approfondies, notamment par des rencontres avec les clients potentiels, pour clarifier le besoin, estimer le marché et améliorer la solution technique. *In fine*, ces 15 idées ont été présentées au directeur général adjoint d'IFPEN chargé de la recherche et de l'innovation, aux directeurs des centres de résultats et au directeur scientifique d'IFPEN, avant sélection finale.



PROJETS RETENUS ET AVANCEMENTS

En avril 2018, six projets ont été retenus à l'issue de la sélection, dont deux instruits par le Carnot IFPEN TE : l'un sur la dépollution de l'air et l'autre sur l'électrification de la mobilité.

Au cours de l'année 2018, ces projets ont fait l'objet d'instructions et d'analyses marché plus poussées, tout en s'inscrivant dans un dialogue avec les prescripteurs, partenaires et clients potentiels. Les projets devraient déboucher sur de premières démonstrations en 2019.

LANCEMENT D'UNE DÉMARCHE DE « CRÉATIVITÉ BLANCHE » POUR LAISSER LIBRE COURS À LA CRÉATIVITÉ

Favoriser la créativité de ses chercheurs pour alimenter l'innovation, telle est la vocation de la démarche de « créativité blanche » lancée par IFPEN. Le principe : sélectionner des initiatives centrées sur le développement de compétences, de méthodologies et d'outils nouveaux. Une expérimentation a démarré en septembre 2018 dans une direction de recherche pilote du Carnot IFPEN TE. Sur les 29 initiatives, 10 ont été retenues en novembre pour intégrer la programmation 2019 du Carnot IFPEN TE. Les chercheurs ont 400 jours pour développer leurs idées !

LES PROJETS CARNOT FILIÈRES : CARNAUTO ET AIRCAR

Dans le cadre des actions Carnot filières, les Carnot d'un même secteur d'activité s'organisent et mutualisent leurs moyens pour soutenir les TPE, PME et ETI dans le développement et/ou le transfert des innovations. Cette action collective permet à ces petites structures de bénéficier d'une offre lisible, structurée et adaptée aux enjeux d'avenir et aux besoins R&D d'une filière économique.

Les Carnot se mobilisent ainsi pour :

- faciliter l'accès des entreprises – TPE, PME et ETI – à leurs compétences et moyens technologiques ;
- être en capacité de répondre aussi bien à des besoins proches du marché qu'à une recherche très amont pour accompagner les entreprises dans leur démarche d'innovation.

Le Carnot IFPEN Transports Energie contribue à deux actions Carnot filières :

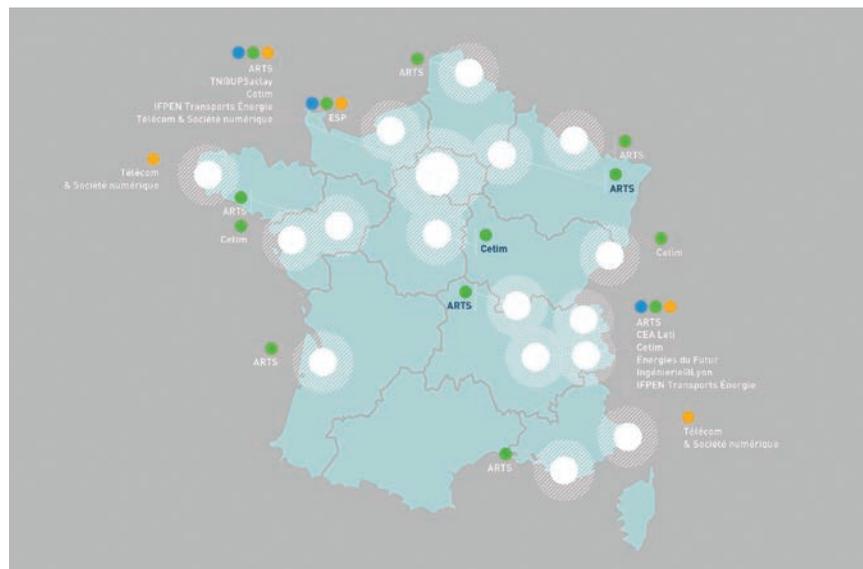
- Carnauto, dédiée à la filière automobile et mobilité, en tant que coordinateur ;
- AirCar, dédiée à la filière aéronautique, en tant que partenaire.

CARNAUTO : UNE OFFRE ADAPTÉE POUR RÉPONDRE AUX BESOINS DES PETITES STRUCTURES DE LA FILIÈRE AUTOMOBILE ET MOBILITÉ



Lancé fin 2015 pour une période de six ans, Carnauto regroupe neuf Carnot : ARTS, CEA-Leti, Cetim, Energies du Futur, ESP, IFPEN TE, Ingénierie@Lyon, TN@UPSaclay (CEA-List), Télécom & Société numérique (TSN). Cette action est coordonnée par le Carnot IFPEN TE et une gouvernance resserrée est assurée par trois Carnot (IFPEN TE, Ingénierie@Lyon et TN@UPSaclay).

Sans création de nouvelle structure, Carnauto propose une approche originale, en s'appuyant sur ses 8 000 chercheurs et ses 48 plateformes technologiques, et donne ainsi accès à une gamme inédite de compétences scientifiques et de moyens techniques.



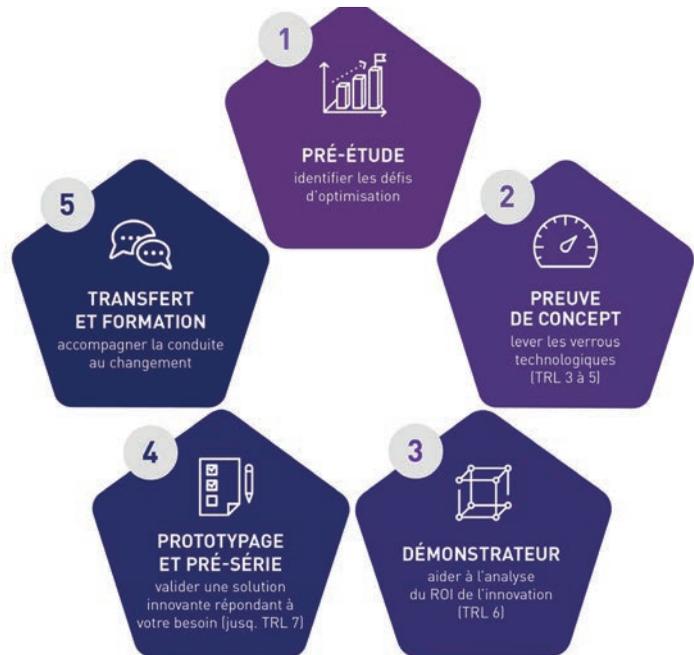
- Motorisations et vecteurs énergétiques
- Matériaux et structures
- TIC et mobilité

Les années précédentes ont permis de faire une analyse poussée des contrats réalisés par les partenaires avec les TPE, PME et ETI ainsi que de la segmentation de leurs demandes. Forts de cette analyse, les partenaires du Carnauto ont décidé en 2018 de renforcer leur offre et la mutualisation de leurs moyens et compétences pour pouvoir répondre aux entreprises dans les meilleures conditions de délais et de coûts. Cette nouvelle offre prend notamment en compte les problématiques spécifiques des TPE et des primo-accédants (entreprises non encore présentes dans l'écosystème de l'innovation et non forcément tournées vers la recherche).

Un accompagnement personnalisé des TPE, PME et ETI

En 2018, les partenaires se sont attachés à bâtir une stratégie marketing et une offre de services. Cette offre, centrée sur le transfert d'innovations technologiques, se veut progressive et ajustable aux besoins de l'entreprise, en déclinant une approche structurée en trois programmes :

- le programme Improve pour aider les entreprises à renforcer leur compétitivité, grâce à l'amélioration de leurs produits, services et procédés technologiques ;
- le programme Realize pour valider les idées des entreprises et les accompagner dans la concrétisation de leurs projets d'innovation ;
- le programme Explore pour aider les entreprises dans la création de nouveaux business, l'anticipation des ruptures du marché et leur diversification.



Programme Improve



Programme Realize

Cette approche en trois programmes se concentre sur les trois défis d'avenir de cette filière :

- les motorisations et vecteurs énergétiques (thermique, hybride, électrique, pile à combustible et systèmes de stockage associés) ;
- les matériaux et architectures (allègement, fonctionnalisation intelligente et sécurité) ;
- les TIC et la mobilité (aide à la conduite, gestion de la mobilité ainsi qu'architecture logicielle et système).

De plus, les partenaires du Carnauto ont poursuivi en 2018 leurs actions engagées en 2017 pour déployer cette offre, notamment à travers :

- une visibilité, une identité et un point d'entrée unique pour les entreprises ;
- des contacts ou prospects partagés ;
- la garantie d'une réponse rapide à toute sollicitation ;
- l'aboutissement vers des contrats de prestation entre les équipes des partenaires et les entreprises ;
- la mise à profit de leur réseau pour proposer aux entreprises des contractualisations impliquant plusieurs membres du projet sur des thématiques complémentaires.

Par ailleurs, l'action Carnauto a lancé son nouveau site web début 2018 (www.carnauto.fr), outil indispensable pour présenter cette nouvelle offre. Au sein de ce site, sont également disponibles des visites virtuelles, dont celles d'un banc machine électrique et d'un banc à rouleaux du Carnot IFPEN TE.



Programme Explore

Un réseau d'experts à disposition

Les partenaires du Carnauto mettent à disposition leur réseau d'experts, reconnus par les acteurs de la filière automobile et mobilité. Pour faciliter la rencontre entre les entreprises et ces experts, l'action Carnauto a mis en place deux formats de rencontre, spontanés et originaux : les webinars et les challenges flash. Les premiers permettent aux entreprises de découvrir l'expertise des chercheurs de l'action Carnauto sur les grandes tendances et évolutions technologiques de la filière automobile et mobilité, de décrypter facilement les innovations, d'anticiper les ruptures du marché et d'échanger avec un expert !

Les challenges flash, quant à eux, permettent aux entreprises de défier les experts sur des projets d'innovation afin de trouver des pistes pour leurs propres développements de R&I.



AIRCAR : UNE OFFRE POUR PLUS D'INNOVATIONS DES TPE, PME ET ETI DE L'AÉRONAUTIQUE



Lancée fin 2015 pour une durée de six ans, l'action filière AirCar est portée par l'Onera qui fédère autour de lui huit Carnot : ARTS, CEA-Leti, Cetim, ESP, IFPEN TE, Ingénierie@Lyon, MICA et M.I.N.E.S.

L'action AirCar rassemble 9000 chercheurs qui travaillent dans le domaine de l'aéronautique, répartis sur 50 plateformes technologiques et bénéficiant de plus de 200 équipements de pointe. AirCar accompagne les TPE, PME et ETI françaises afin de les aider à monter en gamme avec les grands donneurs d'ordre et à bénéficier de la forte croissance du marché aéronautique.

L'action AirCar se concentre sur quatre thématiques d'avenir pour cette filière :

- les matériaux et procédés, pour fournir à la *supply-chain* de l'industrie aéronautique des matériaux et procédés innovants, développer des pièces et composants avec de nouvelles fonctionnalités en répondant à l'équation performance – gain de masse – coût maîtrisé et temps de cycle réduit ;
- les systèmes et composants hybrides et électriques, pour préparer la filière aéronautique à la rupture technologique de l'avion électrifié afin de répondre au défi environnemental, en s'appuyant sur cette expérience dans le secteur de l'automobile ;
- les systèmes embarqués, pour rendre l'avion plus numérique afin d'obtenir de meilleures performances, plus de fiabilité et une exploitation optimisée ;
- les drones et les nouveaux services associés, pour anticiper les nouveaux usages dans un marché peu mature et foisonnant, dont la nécessité d'encadrement ne doit pas entraver le développement.

Pour relever ces quatre défis d'avenir, l'action AirCar met alors à disposition ses chercheurs et moyens d'essais pour :

- caractériser, développer et fabriquer des matériaux métalliques et composites innovants ;
- inventer, développer et mettre au point les composants des futurs avions électriques (trains roulants, remplacement des actuateurs hydrauliques, capteurs de cellule, composants moteurs hautes températures, forte aérodynamique) ;
- inventer et participer au développement et à la mise en place des processus avioniques de demain ;
- inventer et accompagner les nouveaux services proposés par l'usage des drones et autres mobiles volants.

PROJETS COLLABORATIFS À L'INTERNATIONAL



IMPLICATION DANS LES INSTANCES EUROPÉENNES

De longue date, le Carnot IFPEN Transport 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).

Dans le cadre de leurs travaux de recherche, les équipes du Carnot IFPEN TE participent à, voire coordonnent, plusieurs projets soutenus par l'Union européenne, notamment dans le cadre du programme Horizon 2020. Le Carnot IFPEN TE contribue à la définition de visions stratégiques et de roadmaps, ainsi qu'au développement de la R&I européenne pour une mobilité durable.

SÉLECTION DE PROJETS DU PROGRAMME HORIZON 2020 : FAITS MARQUANTS DE L'ANNÉE

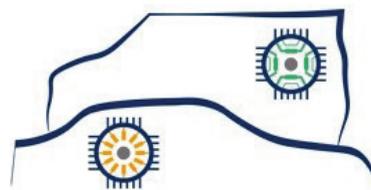


Électrification des véhicules

ReFreeDrive : vers des moteurs électriques sans terres rares

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 et d'une nouvelle génération d'onduleurs intégrés aux moteurs. Au sein de ce projet lancé en 2017, les équipes du Carnot IFPEN TE sont en charge du design de la machine électrique, de l'onduleur et de la stratégie de contrôle. Une première version d'une machine électrique synchro-réductante à base de ferrites a ainsi été développée en 2018 pour des applications de traction électrique de puissances moyenne (75 kW) et forte (200 kW).

En savoir plus sur le projet : www.refreedrive.eu



ReFreeDrive

Demobase : modéliser l'emballage thermique des batteries

La maîtrise des mécanismes de vieillissement et d'emballage thermique des batteries lithium-ion constitue un enjeu important en termes de sécurité et de maintien des performances des véhicules électrifiés. Lancé en 2017, 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 TE 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 pack batterie prenant en compte les aspects sécurité.

En savoir plus sur le projet : www.demobase-project.eu



Développement de services et d'applications pour le véhicule connecté

Advice : accroître l'efficacité énergétique des véhicules hybrides

Afin d'accroître le nombre de véhicules hybrides vendus, il est important d'en réduire le coût et d'en accroître le rendement. Le projet *Advice (ADvancing user acceptance of general purpose hybridized Vehicles by Improved Cost and Efficiency)*, lancé en 2016, vise ainsi à développer trois versions d'un véhicule hybride à coût réduit et avec une efficacité énergétique accrue. Les équipes du Carnot IFPEN TE ont développé un système d'*ecorouting* 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. Les réductions de consommation, validées dans des situations de trafic simulées, peuvent atteindre 10 %.

En savoir plus sur le projet : www.project-advice.eu



CEVOLVER : services pour véhicules électriques

L'autonomie des véhicules électriques est un frein pour leur déploiement au regard de l'usage actuel des véhicules particuliers. C'est pourquoi le projet *CEVOLVER (Connected Electric Vehicle Optimized for Life, Value, Efficiency and Range)*, qui vise à rendre plus simple l'usage des véhicules électriques aux particuliers, a été lancé fin 2018. Piloté par FEV et mené avec neuf partenaires européens pour une durée de trois ans et demi, ce projet a notamment pour objectif d'augmenter l'efficacité énergétique de ces véhicules via la mise au point d'algorithmes (écoconduite, optimisation des parcours, optimisation des plans de recharge) et le développement de services web. Les équipes du Carnot IFPEN TE apporteront leur expertise en contrôle et en développement d'algorithmes.

En savoir plus sur le projet : www.cevolver.eu/project/





Amélioration des motorisations thermiques

Eagle : vers un moteur essence à très haut rendement

Le projet Eagle (*Efficient Additivated Gasoline Lean Engine*), coordonné par IFPEN et mené avec huit partenaires, vise à développer un moteur à allumage commandé essence pour une application hybride permettant des pics de rendement de 50% tout en réduisant les émissions. Ce concept combine plusieurs technologies, dont l'utilisation d'hydrogène comme booster de combustion, d'un système d'allumage innovant à préchambre active ou encore d'une suralimentation électrifiée. L'année 2018 s'est concrétisée par la préparation du démonstrateur moteur multicylindre final. Les équipes du Carnot IFPEN TE ont apporté leur savoir-faire en développement de systèmes de combustion innovants grâce à leurs moyens expérimentaux et de modélisation.

En savoir plus sur le projet : www.h2020-eagle.eu



Sureal-23 : mesurer et comprendre les émissions de polluants non réglementés

Les équipes du Carnot IFPEN TE poursuivent leurs travaux sur la qualification des émissions de particules ultrafines et de polluants ne faisant pas encore l'objet d'une réglementation au niveau européen. L'enjeu est double : d'une part, être capable d'identifier des axes de développement pour la conception de futurs systèmes de dépollution et, d'autre part, fournir au législateur une aide à la définition de meilleurs dispositifs de réduction des émissions. Le projet Sureal-23 (*Understanding,*



measuring and regulating sub-23nm particle emissions from direct injection engines including real driving conditions), lancé en 2016, vise le développement de nouveaux appareils embarqués de mesure des particules ultrafines. Chargées de tester différentes technologies, les équipes du Carnot IFPEN TE ont réalisé en 2018 des mesures au banc moteur de particules ultrafines issues de la combustion d'un moteur essence à injection directe.

En savoir plus sur le projet : <http://sureal-23.cperi.certh.gr/>

LANCEMENT D'UN PROJET PARTENARIAL RÉGIONAL FRANCE-ALLEMAGNE : INNOTHERMS

Dans le cadre de l'Alliance AllFraTech* entre les régions Auvergne-Rhône-Alpes et Bade-Wurtemberg (Allemagne) pour approfondir les relations et les échanges entre les deux pays, le nouveau projet InnoTherMS (*Innovative predictive high efficient Thermal Management Systems*) a été lancé fin 2018. Rassemblant 10 partenaires de ces deux régions (équipementiers, sociétés d'ingénierie, centres de recherche et laboratoires académiques), ce projet vise la conception et le contrôle des flux de chaleur des véhicules électriques (gestion thermique des composants et de l'habitacle). Le Carnot IFPEN TE est responsable du *workpackage* dédié à l'optimisation et au contrôle prédictif du thermo-management.

* Alliance ciblée sur l'innovation dans le domaine de la mobilité, qui s'appuie sur le pôle de compétitivité Cara et son homologue le Cluster e-mobil^{bw}

MANIFESTATIONS CIBLÉES, ACTUALITÉS ET COMMUNIQUÉS DE PRESSE POUR UNE VISIBILITÉ MAXIMALE

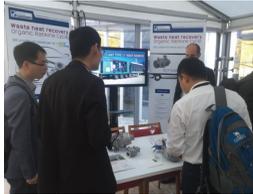
PARTICIPATIONS À CONGRÈS ET MANIFESTATIONS

27-30 mars 2018 – Paris
Salon Global Industrie

16-17 mai 2018 – Rouen
30th edition of SIA Powertrain Conference

4 juillet 2018 – Paris
17-20 Carnot

17-21 septembre 2018 – Copenhague
(Danemark)
25th ITS World Congress



26-28 septembre 2018 – IFPEN-Lyon
Accueil de la 5^e édition
du workshop annuel de l'EORCC
(Engine Organic Rankine Cycle
Consortium)



8-10 octobre 2018 – Aix la Chapelle
(Allemagne)
27th Aachen Colloquium Automobile
and Engine Technology

17 octobre 2018 – Bruxelles (Belgique)
2^e édition de l'EARPA FORM Forum



17-18 octobre 2018 – Lyon
Les Rendez-Vous Carnot



19-20 novembre 2018 – Lyon
Automotive Techdays in Auvergne-Rhône-Alpes



20-22 novembre 2018 – Paris
Salon des maires et des collectivités
locales

COMMUNICATIONS CIBLÉES : ACTUALITÉS WEB ET COMMUNIQUÉS DE PRESSE

1^{er} janvier 2018

- La réduction des émissions de soufre dans le transport maritime : un défi économique et technologique
- Le marché automobile

22 janvier 2018

- IFPEN entre au capital de la start-up La Compagnie des Mobilités

1^{er} février 2018

- Accalmie en janvier, après un mois de décembre record pour les ventes de véhicules électriques

1^{er} mars 2018

- Forte baisse des ventes de véhicules électriques en janvier, mais la tendance reste soutenue. Les mesures restrictives anti-Diesel

1^{er} avril 2018

- Record des ventes de véhicules électriques en mars aux États-Unis, en Allemagne et en France. Le marché du bus électrique en plein essor

1^{er} mai 2018

- 300 000 véhicules électriques (VE) immatriculés au 1^{er} trimestre 2018 dans le monde (+60 % par rapport à 2017)

3 mai 2018

- Pollution de l'air : Geco air, la première application qui aide à réduire les émissions de particules liées à l'usure des pneus et des freins

7 mai 2018

- Succès du 1^{er} concours d'innovation interne lancé par IFP énergies nouvelles dans le domaine des nouvelles technologies de l'énergie

7 juin 2018

- Pollution de l'air : Diesel, essence ou électrique, tous les véhicules émettent des particules fines

27 juin 2018

- Quelles solutions bas carbone pour le transport ? Focus sur les véhicules particuliers

1^{er} juillet 2018

- Quelle criticité du lithium dans un contexte d'électrification du parc automobile mondial ?
- Depuis le début de l'année, 592 000 VE vendus dans le monde – 1,5 % des ventes

5 juillet 2018

- L'électrification des véhicules : une solution efficace pour réduire l'empreinte environnementale des transports

27 septembre 2018

- Mobilité de demain - nouveau Mooc d'IFP School

1^{er} octobre 2018

- Record de ventes de VE aux États-Unis – plus d'un million de VE vendus dans le monde cette année

11 octobre 2018

- Lancement du 1^{er} challenge national écoconduite interentreprises

13 novembre 2018

- Étude Ademe/IFPEN : approvisionnement en lithium et développement de l'électrification du parc automobile

22 novembre 2018

- Le projet Airmap : une nouvelle forme de monitoring de la qualité de l'air au service des territoires

29 novembre 2018

- Véhicules électriques et numérique : comment aider le particulier à optimiser son usage ?

QUELQUES PUBLICATIONS



Électrification des véhicules

Stockage de l'énergie

Combined experimental and modeling approaches of the thermal runaway of fresh and aged Lithium-ion batteries

Abada Sara (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Marlair Guy (Ineris), Huet Francois (université Pierre et Marie Curie Paris 6), Lecocq Amandine (Ineris), Sauvart-Moynot Valérie (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Petit Martin (IFPEN, Carnot IFPEN TE)
Journal of Power Sources, Vol. 399, 30 septembre 2018, pp. 264-273

Électrification du véhicule

Impact of model simplification on optimal control of combustion engine and electric vehicles considering control input constraints

Vahidi Ardan (Clemson University), Han Jihun (Ornil laboratory), Sciarretta Antonio (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Rios Torres Jackeline (Ornil laboratory)
VPPC Vehicle Power And Propulsion Conference, Chicago, USA, 27-30 août 2018

Synchronous reluctance motor: design, optimization and validation

Abdelli Abdenour (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Fabri Giuseppe (Università degli Studi dell'Aquila), Tursini Marco (Università degli Studi dell'Aquila), Credo Andrea (Università degli Studi dell'Aquila), Villani Marco (Università degli Studi dell'Aquila), Parasiliti Francesco (Università degli Studi dell'Aquila)
SPEEDAM International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, Amalfi, Italie, 20-22 juin 2018

Very high speed permanent magnet synchronous motor control with maximum DC-link voltage utilization

Kefsi Laid (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Sarabi Siyamak (IFPEN, Carnot IFPEN TE)
ICEMS International Conference On Electrical Machines And Systems, Jeju, Corée, 7-10 octobre 2018

ORC

Development of an ORC turbine for waste heat recovery in the coolant of automotive engines

Leduc Pierre (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Holaind Norman (Enogia), Levêque Gaël (Enogia), Pagnier Philippe (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Henry Gabriel (Enogia), Mintsa André-Charles (Enogia), Smague Pascal (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Leroux Arthur (Enogia)
SIA Powertrain, Rouen, France, 16-17 mai 2018



Développement de services et d'applications pour le véhicule connecté

Gestion énergétique

Energy saving potentials of connected and automated vehicles

Vahidi Ardalan (Clemson University), Sciarretta Antonio (IFPEN, Carnot IFPEN TE)
Transportation Research Part C - Emerging Technologies, Vol. 95, octobre 2018, pp. 822-843

A unified approach for electric vehicles range maximization via eco-routing, eco-driving, and energy consumption prediction

Thibault Laurent (IFPEN, Carnot IFPEN TE), De Nunzio Giovanni (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Sciarretta Antonio (IFPEN, Carnot IFPEN TE)
IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, Vol. 3, No 4, 2018, pp. 463-475

Safe- and eco-driving control for connected and automated electric vehicles using analytical state-constrained optimal solution

Leon Ojeda Luis (IFPEN, Carnot IFPEN TE), De Nunzio Giovanni (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Thibault Laurent (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Han Jihun (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Sciarretta Antonio (IFPEN, Carnot IFPEN TE)
IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, Vol. 3, No. 2, 2018, pp. 163-172

Qualité de l'air

Real-time air pollution exposure and vehicle emissions estimation using IoT, GNSS measurements and web-based simulation models

Voise Luc (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Degeilh Philippe (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Sabiron Guillaume (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Pognant-Gros Philippe (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Thibault Laurent (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Thanabalasingam Kusan (Infotem)
IEEE CAVS Connected and Automated Vehicles Summit, Chicago, États-Unis, 27 août 2018

Pollutant emissions estimation framework for real-driving emissions at microscopic scale and environmental footprint calculation

Corde Gilles (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Degeilh Philippe (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Sabiron Guillaume (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Thibault Laurent (IFPEN, Carnot IFPEN TE)
IEEE Intelligent Vehicle Symposium, 4th, Suzhou, Chine, 26-30 juin 2018



Amélioration des motorisations thermiques

Combustion

LES study on mixing and combustion in a direct injection spark ignition engine

Colin Olivier (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Angelberger Christian (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Lafrate Nicolas (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Michel Jean-Baptiste (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Robert Anthony (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Cuenot Bénédicte (Cerfacs)
Oil & Gas Science and Technology - Revue d'IFP Energies nouvelles, Vol. 73, 2018, n° 32

Combustion and soot modelling of a high-pressure and high-temperature dodecane spray

Colin Olivier (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Darabiha Nasser (École Centrale Paris), Aubagnac-Karkar Damien (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Michel Jean-Baptiste (IFPEN, Carnot IFPEN TE)
International Journal of Engine Research, Vol. 19, No 4, 2018, pp. 434-448

Analysis of mixture structure and of its influence on combustion in a CAI engine

Knop Vincent (IFPEN, Carnot IFPEN TE)
International Journal of Engine Research, Vol.19, No 4, 2018, pp. 393-410

Aéronautique

Development of a comprehensive OD phenomenological combustion model based on detailed LES results analysis for industrial aeronautical combustors

Colin Olivier (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Dulbecco Alessio (IFPEN, Carnot IFPEN TE), De Keratem Antoine (IFPEN, Carnot IFPEN TE)
AIAA Propulsion And Energy Forum, Cincinnati, États-Unis, 9-11 juillet 2018

Carburants

Impact of Fischer-Tropsch biodiesel on atmospheric emissions

Matrat Mickael (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Heraud Jean-Philippe (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Bouter Anne (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Starck Laurie (IFPEN, Carnot IFPEN TE)
Syngas Convention, 3rd, Cape Town, Afrique du Sud, 25-28 mars 2018

Critical analysis of PM index and other fuel indices: impact of gasoline fuel volatility and chemical composition

Iida Yutaka (Toyota Motor), Ben Amara Arij (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Starck Laurie (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Koji Nagata (Toyota Motor), Moriya Hidenori (Toyota Motor), Ubrich Elisabeth (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Tahtouh Toni (IFPEN, Carnot IFPEN TE)
SAE International Powertrains Fuels & Lubricants Meeting, Heidelberg, Allemagne, 17-19 septembre 2018 (SAE 2018-01-1741)

Pollution atmosphérique

Experimental assessment of the sources of regulated and unregulated nanoparticles in GDI engines

Gautrot Xavier (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Pilla Guillaume (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Bardi Michele (IFPEN, Carnot IFPEN TE)
THIESEL Thermo and Fluid Dynamic Processes In Direct Injection Engines, 10th, Valencia, Espagne, 11-14 septembre 2018

NOx emission estimation using global in-cylinder pressure signal for Diesel engines

Lippens Frédéric (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Jean Maxime (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Leroy Thomas (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Rudloff Jordan (IFPEN, Carnot IFPEN TE)
SCC Symposium for Combustion Control, Aix-la-Chapelle, Allemagne, 27-28 juin 2018

Generation of soot basic structural units with ReaxFF

Matrat Mickael (IFPEN, Carnot IFPEN TE), De Bruin Theodorus (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Catoire Laurent (Ensta), Keller Michel (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Nicolle André (Ensta)
International Symposium on Combustion, 37th, Dublin, Irlande, 29 juillet-3 août 2018

Pollution de l'air : Diesel, essence ou électrique, tous les véhicules émettent des particules fines

Degeilh Philippe (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Corde Gilles (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Thibault Laurent (IFPEN, Carnot IFPEN TE)
The Conversation, 27 mai 2018

Système de mesure des émissions

Étude de la réponse d'un capteur de suie résistif en fonction de la taille des particules

Zinola Stéphane (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Breuil Philippe (École des Mines de Saint-Étienne), Leblanc Mickaël (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Reynaud Adrien (IFPEN, Carnot IFPEN TE), Viricelle Jean-Paul (École des Mines de Saint-Étienne)
GDR Suie, Lille, France, 3-5 décembre 2018

Elements®: the embeddable emission measurement system

Schiffmann Philipp (IFPEN, Carnot IFPEN TE)
International CTI Conference SCR Systems, 14th, Munich, Allemagne, 6-7 juillet 2018

LE RÉSEAU DES CARNOT : L'ESSENTIEL

Créé en 2006, le label Carnot a vocation à développer la recherche partenariale, c'est-à-dire la conduite de travaux de recherche menés par des laboratoires publics en partenariat avec des entreprises en réponse à leurs besoins. La recherche partenariale constitue un levier important pour l'économie en favorisant l'innovation des entreprises, gage de compétitivité et de croissance.



Le label Carnot est attribué à des professionnels de la recherche qui mènent simultanément des activités de recherche amont, propres à renouveler leurs compétences scientifiques et technologiques, et une politique volontariste en matière de recherche partenariale au profit du monde socio-économique.

Un fonctionnement en réseau permet de donner une meilleure visibilité à l'offre, d'en augmenter la lisibilité pour les entreprises et de mobiliser les expertises pluridisciplinaires afin de répondre à leurs besoins.



VISION STRATÉGIQUE CARNOT 2018-2021

Les orientations stratégiques du réseau des Carnot pour 2018-2021 mettent l'accent sur les axes suivants :

- guider les activités des Carnot en s'appuyant sur une démarche de marketing stratégique ;
- affiner et affirmer la communication des Carnot, interne et externe ;
- apporter un soutien au développement des entreprises et des territoires grâce à un maillage renforcé.

ASSOCIATION DES INSTITUTS CARNOT

L'ensemble des Carnot sont membres de l'Association des instituts Carnot afin de constituer un réseau et de créer une véritable dynamique de fonctionnement, faire jouer les synergies et tirer pleinement parti de leur engagement commun.

Pour promouvoir le réseau auprès des entreprises, valoriser et défendre le dispositif vis-à-vis des décideurs et des tutelles, stimuler le réseau pour démontrer et exploiter la force du collectif, l'Association des instituts Carnot articule son action autour de cinq grands axes :

- marketing stratégique ;
- international ;
- présence et reconnaissance en régions ;
- fonctionnement collectif ;
- communication.

Chiffres clés du réseau Carnot :

38 Carnot

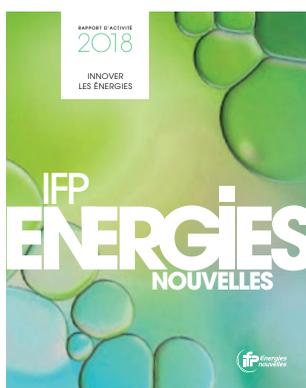
18% de l'effectif de la recherche publique

31 000 professionnels de la recherche

25 000 publications de rang A

1 000 brevets déposés chaque année

710 M€ de recettes contractuelles directes avec les partenaires



Maquette : IFPEN

Mise en page : Esquif Communication

Photos : © Adobe Stock, AD Systems S.A.S., Data, EARPA, IFPEN, ©IFPEN - Cyrille DUPONT, IFPEN - Fotolia, Peter Allan Sabine Serrad / IFPEN, Synox, X. - 0151910

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