

Développer les véhicules de demain

Le secteur des transports est fortement consommateur d'énergie et il dépend essentiellement du pétrole, dont les ressources sont limitées. La réduction de la consommation en carburant et la diversification des sources d'énergie sont donc des enjeux majeurs. Pour y répondre, IFP Energies nouvelles (IFPEN) travaille à l'amélioration des motorisations thermiques, à l'électrification des chaînes de traction et à l'évaluation du potentiel des carburants alternatifs.

Pour développer les véhicules de demain, IFPEN s'appuie sur de solides compétences en technologies moteur, modélisation, simulation et contrôle. Il développe également des outils lui permettant d'améliorer sa compréhension fine des phénomènes et d'obtenir des données pour ses modèles. Il met au point et exploite, par exemple, des techniques de diagnostic optique avancées.

IFPEN travaille en étroite collaboration avec d'autres instituts de recherche, notamment dans le cadre de l'association des Instituts Carnot. Ses relations avec les industriels sont également très fortes au travers de projets portés par l'Ademe ou de partenariats stratégiques. Enfin, IFPEN s'associe avec les acteurs européens à travers plusieurs projets du 7^e Programme-cadre de recherche et développement (PCRD).

VERS DES MOTORISATIONS À HAUT RENDEMENT

Si les moteurs thermiques restent aujourd'hui incontournables, l'amélioration de leurs performances environnementales et le recours aux carburants bas carbone sont une nécessité. Les réglementations en matière d'émissions de CO₂ et de polluants se durcissent. L'Union européenne s'est fixé un objectif d'émission moyenne de CO₂ de 130 g/km pour les véhicules automobiles commercialisés en 2015 et de 95 g/km pour ceux commercialisés en 2020. De son côté, la nouvelle norme antipollution Euro 6 commencera à s'appliquer en 2014 pour les véhicules particuliers. IFPEN travaille à la mise au point de solutions innovantes permettant de rendre les moteurs thermiques plus performants, plus propres et plus économes.

En motorisation essence, les efforts portent principalement sur la réduction de la consommation pour limiter les émissions de CO₂. Les solutions étudiées sont l'optimisation de la combustion – en examinant par exemple le potentiel de forts recyclages de gaz brûlés –, la réduction de la cylindrée couplée à la suralimentation (*downsizing*), la distribution variable ou encore l'injection directe de carburant. Une approche plus en rupture est également évaluée à travers une modification profonde de l'architecture moteur (cinématique), avec un impact direct sur le rendement thermodynamique.

En motorisation diesel, les recherches portent à la fois sur les émissions polluantes et sur la réduction de la consommation. Les technologies développées par IFPEN concernent en particulier l'amélioration de la combustion, l'architecture de la boucle d'air ou encore les systèmes de post-traitement. En matière de compromis consommation/dépollution, IFPEN a pu confirmer tout le potentiel de l'approche consistant à réduire le régime de rotation nominal du moteur (*downspeeding*). IFPEN développe aussi des capteurs pour le contrôle et la gestion des systèmes de dépollution. Il a notamment poursuivi en 2012 le développement d'un capteur de suie réalisé en partenariat avec EFI, avec la réalisation des premiers algorithmes de diagnostic de filtration. IFPEN étudie également les systèmes déNOx, en particulier les systèmes prometteurs "SCR sur FAP", couplant réduction catalytique sélective (SCR) et filtre à particules.

Des normes antipollution de plus en plus sévères

Avec le durcissement des normes antipollution à l'horizon Euro 6 et Euro 7, l'ensemble des motorisations optimisées pour la réduction des émissions de CO₂ va nécessiter la mise en œuvre de systèmes de post-traitement complexes, particulièrement pour le diesel. IFPEN apporte une aide à la conception et à la gestion de ces systèmes, en intégrant les contraintes d'efficacité, de durabilité et de coût. Ses travaux portent principalement sur le traitement des NOx et des particules.

Enfin, dans le domaine des motorisations diesel industrielles, IFPEN met en œuvre son savoir-faire en conception de systèmes de combustion pour optimiser des moteurs destinés à des applications *off-road* (véhicules agricoles, engins de chantier, etc.).

Par ailleurs, IFPEN conduit des recherches sur les motorisations deux temps (2T) en vue de quantifier leur potentiel, notamment pour des applications hybrides, en raison de leur compacité et de leur faible coût. Il développe ainsi, dans le cadre du GSM, un moteur 2T expérimenté sur une base monocylindre. Au sein du projet européen POWERFUL, piloté par Renault, il contribue également au développement et à l'évaluation expérimentale d'un moteur 2T bicylindre diesel. Dans ce cadre, il a notamment mis au point une boucle d'air combinant une suralimentation par turbocompresseur et par compresseur mécanique.

IFPEN s'intéresse aussi aux motorisations gaz, qui apparaissent comme une alternative prometteuse (ressources importantes, émissions de CO₂ réduites, etc.). Il travaille en particulier à optimiser les performances des moteurs à gaz, à améliorer la compréhension de ce type de combustion et à implémenter les spécificités des carburants gazeux dans ses outils de modélisation et de conception.

IFPEN mène enfin des travaux de R&D pour évaluer le potentiel des approches de type dual-fuel (alimentation du moteur avec deux carburants différents) en termes de consommation et de besoins en dépollution. Ses recherches portent sur la compréhension des phénomènes propres à ce mode de combustion et sur le développement de nouveaux concepts. En 2012, les actions sur la combustion dual-fuel gazole/gaz se sont ainsi poursuivies par l'identification des paramètres clés du système de combustion. De premiers travaux ont également permis d'évaluer le potentiel et les principaux verrous de la combustion dual-fuel gazole/essence pour une application poids lourd. En 2013, IFPEN poursuivra cette démarche, notamment en collaboration avec des industriels du domaine.

Le dual-fuel, une technologie à fort potentiel

IFPEN travaille sur le concept du dual-fuel, consistant à faire fonctionner un moteur thermique avec deux carburants différents, afin de réduire les émissions de CO₂ et de polluants. Si de nombreuses applications existent déjà avec la combinaison gazole/gaz, IFPEN mise également sur les couples gazole/essence et gazole/éthanol. Il a développé et breveté le système Dual-Fuel ICFB™ pour les véhicules légers et s'intéresse à l'application de ce concept aux poids lourds.

En ce qui concerne les carburants alternatifs aux énergies fossiles, IFPEN est fortement engagé dans leur développement depuis de nombreuses années. Les travaux portent également sur la formulation et la validation de ces carburants dans une approche d'adéquation moteur-carburant, y compris vis-à-vis de leur compatibilité avec les matériaux des différents composants.

Vers le véhicule aux 2 l/100 km

IFPEN se mobilise pour atteindre l'objectif fixé par le gouvernement de disposer d'ici à 10 ans de véhicules consommant 2 l/100 km. Pour relever ce défi, IFPEN conduit des travaux visant à poursuivre l'amélioration des performances énergétiques des motorisations thermiques, à intégrer progressivement les technologies d'électrification du véhicule et à développer des motorisations dédiées aux carburants bas carbone. Pour IFPEN, un gain de l'ordre de 40 à 50 % sur la consommation des véhicules essence et diesel est encore possible.

DÉVELOPPER L'ELECTRIFICATION DES VEHICULES

L'électrification des véhicules présente un potentiel important pour réduire la consommation de carburant, limiter l'impact sur l'environnement et diversifier les sources d'énergie. Mais elle se heurte encore à de nombreux obstacles techniques. La voiture 100 % électrique est pour l'instant réservée aux courtes distances, à cause de sa faible autonomie et du coût élevé des batteries. Le véhicule hybride offre quant à lui une plus grande autonomie, grâce à l'association d'un moteur thermique et d'un système électrique (motorisation, électronique de puissance, batterie). Il permet notamment d'adopter un mode de fonctionnement optimal (thermique, électrique ou combiné) en fonction du trajet.

En s'appuyant sur l'expérience qu'il a acquis dans les motorisations conventionnelles, IFPEN met au point les briques technologiques qui permettront aux acteurs de l'industrie automobile de développer le véhicule – ou plutôt les véhicules – hybrides de demain. En effet, différents niveaux d'hybridation sont possibles, du *stop&start* à l'hybride rechargeable *plug-in*, en passant par la récupération de l'énergie au freinage. Suite à

une analyse technico-économique, IFPEN a choisi d'orienter ses efforts de R&D de façon privilégiée vers la technologie hybride rechargeable. Ses travaux couvrent néanmoins l'ensemble des problématiques d'électrification d'un véhicule, y compris celles relatives aux motorisations 100 % électriques.

Dans le domaine du stockage de l'énergie, les travaux d'IFPEN ont notamment porté en 2012 sur l'étude du vieillissement des batteries et la modélisation de leur comportement électrothermique. IFPEN a ainsi participé au projet ANR SIMCAL, qui s'est terminé en 2012, et dont les travaux ont permis de construire une base de données conséquente sur le vieillissement calendaire de batteries lithium-ion et d'identifier les mécanismes en jeu suivant les technologies. Il investit également d'autres axes de recherche, tels que l'architecture des groupes motopropulseurs hybrides et leur intégration au sein du véhicule, la simulation numérique et le contrôle électronique des systèmes, la récupération d'énergie et la supervision de l'énergie à bord. IFPEN a conçu un laboratoire roulant hybride rechargeable, baptisé FlexHybrid. Des essais de caractérisation du véhicule en mode 100 % électrique ont été menés en 2012 et la mise au point du mode de fonctionnement hybride est en cours.

Essais grandeur nature d'un pack batterie complet

En 2012, les équipes d'IFPEN ont testé pour la première fois des batteries grandeur réelle, en mettant en œuvre une approche HIL (*Hardware in the Loop*). Ces tests innovants ont été réalisés dans le cadre du projet HYDOLE, piloté par PSA Peugeot Citroën et soutenu par le fonds démonstrateur de l'Ademe, visant à développer la voie de l'hybride rechargeable bi-mode (électrique pur et hybride). Les essais menés par IFPEN ont permis d'évaluer les performances du pack batterie complet développé par PSA, ainsi que les estimateurs d'état du pack (charge, puissance et énergie) développés par IFPEN.

Dans un véhicule routier, environ 70 % de l'énergie contenue dans le carburant est perdue sous forme de chaleur, notamment à travers les gaz d'échappement. IFPEN développe des solutions performantes de récupération de l'énergie thermique perdue à l'échappement, par cycle de Rankine et par turbocompound, pour la transformer en énergie mécanique ou électrique.

Récupérer l'énergie thermique à l'échappement

IFPEN conduit des travaux de recherche sur le cycle de Rankine pour récupérer la chaleur perdue à l'échappement et la transformer en énergie mécanique ou électrique. Cette technologie offre en effet des perspectives intéressantes en termes de réduction de la consommation de carburant. Au sein du projet TIGRE (réalisation d'un poids lourd prototype économe en carburant), soutenu par le fonds démonstrateur de l'Ademe et piloté par Renault Trucks, IFPEN a mené en 2011 et 2012 une première campagne d'essais sur banc moteur afin de valider un système de récupération d'énergie Rankine et développé des stratégies de contrôle du système. IFPEN étudie également les perspectives d'applications de Rankine pour les transports routier, ferroviaire et fluvial.

IFPEN travaille aussi à l'amélioration de la consommation via le développement d'outils d'aide à la conduite et d'exploitation de flottes, qui intègrent la dimension énergétique grâce aux technologies de l'information et de la communication. Au sein du projet Melodys (conception d'un véhicule poids lourd 100 % électrique, projet piloté par Renault Trucks et soutenu par le fonds démonstrateur de l'Ademe), IFPEN a travaillé en 2012 à la réalisation d'un système d'information et à l'optimisation de l'utilisation de l'énergie à bord via l'intégration d'un superviseur énergétique dans le système de contrôle embarqué du véhicule. IFPEN a également poursuivi le développement de la gestion d'énergie d'un véhicule poids lourd hybride. Enfin, dans le cadre du projet VME, coordonné par la PME VU Log, un premier système d'éco-conduite embarqué à bord de véhicules électriques d'une flotte captive, basé sur des algorithmes développés par IFPEN, a été mis au point et sera évalué expérimentalement.

Par ailleurs, le coût des véhicules hybrides – et plus encore celui des véhicules électriques – reste un obstacle à leur diffusion sur le marché. Dans ce contexte, IFPEN participe au projet ANR e-Meca, lancé en 2011 et porté par Valeo, visant à développer des machines électriques innovantes pour véhicules hybrides, ultracompactes et à forte puissance massique. Ce type de machine présente a priori un fort potentiel de déploiement industriel en grande série à des prix abordables.