




# Les technologies pour réduire les émissions de gaz à effet de serre

## L'action de l'IFP

[Contact presse](#)

Anne-Laure de Marignan – 01 47 52 67 21 - [presse@ifp.fr](mailto:presse@ifp.fr)



La prise de conscience de la communauté internationale et la convergence des données scientifiques autour du réchauffement climatique rendent urgent le déploiement, dans le monde entier, des technologies favorisant la réduction des émissions de gaz à effet de serre. En effet, les émissions mondiales de CO<sub>2</sub> liées aux activités humaines atteignent 30 milliards de tonnes (Gt) par an, et 3,5 Gt de carbone viennent s'accumuler dans l'atmosphère et perturber le climat.

Face à la croissance de la demande énergétique mondiale, il est impossible de s'affranchir rapidement du recours aux énergies fossiles que sont le pétrole, le gaz naturel et le charbon et dont la combustion dégage beaucoup de CO<sub>2</sub>. Il est donc indispensable de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'utilisation de ces énergies pendant la transition énergétique – entre la période actuelle où les énergies fossiles occupent une place prépondérante et l'avènement d'un système énergétique durable avec l'utilisation généralisée des énergies renouvelables et non carbonées –, soit pendant un à deux siècles.

Deux secteurs sont particulièrement en cause : l'industrie lourde et les transports responsables de près des ¾ des émissions de CO<sub>2</sub> dans le monde.

Centre de recherche public dans les domaines de l'énergie, des transports et de l'environnement, l'IFP inscrit la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> au coeur de sa stratégie au travers de quatre priorités : capter et stocker le CO<sub>2</sub>, diversifier les sources de carburants, développer des véhicules propres et économes en carburant, et améliorer l'efficacité énergétique dans l'industrie, en particulier dans l'industrie du raffinage et de la pétrochimie.

## Capter et stocker le CO<sub>2</sub>

La voie du captage et du stockage géologique du CO<sub>2</sub> apparaît comme la plus prometteuse pour réduire à grande échelle les émissions de CO<sub>2</sub> des grosses installations industrielles. Il s'agit de capter le CO<sub>2</sub> émis par les industries lourdes (centrales thermiques, aciéries, cimenteries, raffineries, etc.) puis de le stocker dans des formations géologiques profondes, à au moins 800 mètres.


Le captage et le stockage du CO<sub>2</sub> permettraient de réduire d'environ 90 % les émissions de CO<sub>2</sub> de l'industrie. Cette technologie, encore confidentielle il y a 10 ans, est désormais étudiée un peu partout dans le monde. L'objectif est de l'industrialiser d'ici 2020.

L'IFP est fortement engagé dans la recherche de technologies nouvelles sur l'ensemble de la filière – captage, transport et stockage du CO<sub>2</sub> –, les compétences nécessaires à leur développement recoupant largement celles mises en oeuvre dans le cadre de l'exploitation pétrolière.

### • Point économique clé : le captage du CO<sub>2</sub>

Pour capter le CO<sub>2</sub> issu de la combustion industrielle, il y a plusieurs technologies possibles :

- Le captage dans les fumées en "post-combustion" consiste à récupérer le CO<sub>2</sub> en lavant par solvant les fumées émises par la combustion. Dans le cas d'un lavage des fumées, les procédés existants issus du traitement de gaz naturel sont très coûteux et consomment des quantités importantes d'énergie. Des solutions innovantes sont à l'étude à l'IFP en vue de minimiser la consommation énergétique



du captage du CO<sub>2</sub> dans les fumées (nouveaux solvants) et de réduire la taille des installations et donc les investissements.

- Le captage en "oxy-combustion" consiste à réaliser la combustion de l'énergie fossile en présence d'oxygène pur au lieu d'air, ce qui permet d'obtenir des fumées plus concentrées en CO<sub>2</sub> (de l'ordre de 90%) qu'on peut alors traiter, sous pression à moindre coût. Mais la séparation de l'oxygène de l'air, en général obtenue par distillation cryogénique, est coûteuse et consommatrice d'énergie. L'IFP envisage également le recours aux oxydes métalliques pour réaliser une combustion en l'absence d'air. L'oxyde métallique permet le transport de l'oxygène dans la zone de combustion sans l'associer à l'azote de l'air. Il s'agit du procédé de "Chemical Looping Combustion" qui devrait permettre de réduire fortement les coûts de captage si les verrous technologiques associés sont levés.
- Le captage du CO<sub>2</sub>, en amont, en "pré-combustion" : le combustible fossile est converti, préalablement en entrée d'installation, en gaz de synthèse, mélange de CO (monoxyde de carbone) et d'eau. Puis lors d'une étape de conversion, le CO réagit avec l'eau pour former du CO<sub>2</sub> et de l'hydrogène qui sont ensuite séparés. L'hydrogène peut être alors employé pour produire de l'électricité. Cette voie très prometteuse permet de faire d'"une pierre, deux coups" : produire de l'hydrogène tout en captant efficacement le CO<sub>2</sub>. Mais elle nécessite encore de nombreux progrès technologiques.

Le captage représente environ 70 % du coût total de la filière. L'industrialisation de ces différentes technologies plus ou moins matures est donc liée à la réduction des coûts. Les chercheurs de l'IFP étudient des solutions innovantes permettant d'améliorer la compétitivité économique de ces technologies, notamment dans le cadre de programmes de recherche européens : HypoGen (captage en précombustion), Cachet (production d'hydrogène à partir de gaz naturel avec captage du CO<sub>2</sub>), Castor et Cesar (captage post-combustion), etc.


#### • Assurer la sécurité et la pérennité du stockage géologique de CO<sub>2</sub>

Une fois capté, le CO<sub>2</sub> va être transporté jusqu'au site de stockage pour être injecté dans des roches poreuses souterraines, à des profondeurs comprises entre 800 et 5000 mètres. Deux types de formations géologiques sont aujourd'hui privilégiés :

- des gisements de pétrole et de gaz naturel épuisés ou en phase de déclin : capacité de stockage de 1000 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub>.
- des aquifères profonds remplis d'eau salée impropre à la consommation ou à l'agriculture : capacité de stockage de l'ordre de 10 000 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub>, soit de quoi stocker la totalité des émissions mondiales pendant des siècles.

La présence de formations étanches (argile, sel, etc.) au-dessus de ces sites de stockage évite toute remontée de CO<sub>2</sub> en surface.

En ce qui concerne le stockage, l'enjeu prioritaire est de garantir la fiabilité et la sécurité. Le stockage de gaz dans des formations géologiques se pratique déjà à l'échelle industrielle. Mais dans le cas du CO<sub>2</sub>, il faut s'assurer de la capacité des sites de stockage à confiner le CO<sub>2</sub> injecté sur le long terme, sans causer aucun dommage à l'environnement local. Pour ce faire, il faut qualifier les sites avant injection, c'est-à-dire bien comprendre les processus chimiques et physiques en jeu dans les formations géologiques susceptibles de



recevoir le CO<sub>2</sub>, prédire, avec des outils de modélisation, les déplacements et le comportement du CO<sub>2</sub> dans le milieu poreux, étudier l'impact du CO<sub>2</sub> sur le réservoir et son environnement et, enfin, mettre en œuvre des techniques de contrôle et de surveillance.

Il faut rappeler qu'il existe des gisements géologiques naturels de CO<sub>2</sub> en place depuis des milliers d'années, notamment en France, dont l'étude aide à mieux comprendre le comportement du CO<sub>2</sub> à long terme dans le sous-sol. Ces études doivent aussi porter sur les puits qui relient le réservoir à la surface.

### **Modéliser pour prédire le comportement du CO<sub>2</sub>**

L'IFP s'appuie sur sa forte expérience pétrolière en modélisation de bassin et en ingénierie de réservoir pour développer des outils adaptés au stockage du CO<sub>2</sub>. L'IFP a ainsi développé le logiciel Coores qui permet de simuler l'interaction du CO<sub>2</sub> injecté avec les fluides en place et les roches. Cet outil très innovant est capable de modéliser ce qui se passe aux abords des puits mais aussi à l'échelle régionale, et ceci sur de très longues échelles de temps. Couplé à des méthodologies d'évaluation des risques, il permettra d'évaluer les risques associés à un site de stockage et de tester l'efficacité de solutions préventives à une migration éventuelle du CO<sub>2</sub>.

Enfin l'IFP développe des systèmes de détection très pointus qui permettront de suivre l'évolution du CO<sub>2</sub> dans le sous-sol et de détecter toute migration du CO<sub>2</sub> vers la surface.

#### **• Vers une mise en œuvre industrielle**

De nombreux industriels - Air Liquide, Alstom, EDF, GDF SUEZ, Total, Veolia en France, EON, RWE, Vattenfall en Allemagne - s'engagent dans des projets d'installations pilotes pour valider les technologies à échelle industrielle. A ce rythme, le captage et le stockage du CO<sub>2</sub> pourraient se développer, à une échelle industrielle, d'ici 10 à 15 ans. Par ailleurs, le tissu des sociétés de services nécessaires à cette industrialisation se met en place, avec Prosernat pour le captage du CO<sub>2</sub> ou Geogreen pour la gestion des sites de stockage.


### **Collaboration Total-IFP pour le projet de stockage de CO<sub>2</sub> de Lacq**

Le pilote Total à Lacq sera la première opération en France de démonstration de la chaîne complète, du processus de captage du CO<sub>2</sub> par oxycombustion jusqu'au stockage souterrain dans l'ancien gisement de gaz de Rousse à une profondeur de 4500 mètres. A partir de début 2009, 150000 tonnes de CO<sub>2</sub> seront ainsi injectées sur une période de 2 ans. Dans le cadre de la collaboration avec Total, démarrée en avril 2008, l'IFP participe à la préparation et au suivi des opérations de stockage, ainsi qu'à la compréhension des différents processus physico-chimiques mis en jeu.

### **Diversifier les sources de carburants**

Pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub> dans le transport, le développement de carburants à moindre teneur en carbone constitue un enjeu majeur. L'IFP met au point ces nouveaux carburants et optimise leur utilisation dans les moteurs en vue de réduire la consommation, les émissions de CO<sub>2</sub> et de polluants.

#### **• Les biocarburants**



Directement utilisables dans les moteurs traditionnels, les biocarburants constituent la première diversification pouvant être mise en œuvre dans les transports. Exploitée de façon raisonnée, c'est-à-dire avec des bilans énergie et gaz à effet de serre positifs, la biomasse utilisée à des fins d'agrocarburants permet de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> - dans des proportions variant selon les filières et les modes de production; les gains escomptés se situent entre 20 % et 90 %) -.

L'IFP conduit depuis plus de 20 ans des travaux de R&D dans ce domaine, tant sur le développement de procédés de production de biocarburants que sur l'étude de l'impact de leur utilisation dans les moteurs (performances, encrassement, bilans, etc.). L'IFP a notamment développé un procédé de transestérification des huiles végétales en catalyse hétérogène très performant sur le plan environnemental. En 2006, la première unité industrielle du procédé IFP démarrait à Sète.

Parallèlement à ces travaux d'amélioration des biocarburants de 1<sup>ère</sup> génération, l'IFP participe au développement de nouvelles voies de valorisation de la biomasse par l'utilisation de la matière première lignocellulosique d'origine forestière et agricole.

#### ○ **Produire des biocarburants de 2<sup>e</sup> génération**

Les biocarburants dits de 2<sup>e</sup> génération utilisent la plante entière et valorisent les différents constituants qui ne sont pas utilisés par ailleurs, de manière à accéder à une ressource moins limitée et qui n'entre pas en concurrence avec l'alimentaire. Ainsi, à surface cultivée équivalente, la disponibilité en biocarburant augmente et les bilans seront améliorés, y compris sur le plan environnemental.

L'Union européenne a fixé un objectif d'incorporation de 10 % de biocarburants dans le pool essence-gazole en 2020. Cet objectif ne sera accessible, sans menace pour les besoins alimentaires, qu'en s'appuyant à la fois sur les filières actuelles et sur celles de 2<sup>e</sup> génération en cours de développement.

L'IFP étudie les deux filières de production possibles de biocarburants de 2<sup>e</sup> génération :

#### *. La voie biochimique : l'éthanol de 2<sup>e</sup> génération pour les moteurs à essence*

La voie biochimique s'effectue en 3 grandes étapes. Des 3 constituants majeurs de la biomasse lignocellulosique - cellulose, hémicellulose et lignine - seule la cellulose est aujourd'hui transformable en éthanol. Une première étape consiste donc à extraire la cellulose puis à la transformer en glucose par hydrolyse à l'aide d'enzymes\*. Les étapes suivantes correspondent à celles de la filière actuelle de production d'éthanol à partir de sucre ou d'amidon. Le glucose est fermenté et transformé en éthanol par des levures. Enfin l'éthanol est purifié par distillation et déshydratation.

Pour améliorer le rendement global de la filière qui reste relativement faible et réduire les coûts de production (l'objectif est de rejoindre les coûts de la filière éthanol de 1<sup>ère</sup> génération), les recherches de l'IFP portent sur le prétraitement d'extraction de la cellulose, la productivité des enzymes, la valorisation des coproduits (notamment la lignine et l'hémicellulose), et l'optimisation de l'intégration des procédés.

\* Les enzymes produits dans des réacteurs à partir de micro-organismes (par exemple le champignon *trichoderma reesei*) sont capables de dégrader naturellement la cellulose en glucose.



## Un procédé industriel français de production d'éthanol cellulosique pour 2015

Futurool a pour objectif de mettre sur le marché un procédé industriel français de production d'éthanol cellulosique pour 2015. Il mobilise toutes les compétences françaises de R&D dans ce domaine : l'Inra pour la ressource et la fermentation alcoolique, l'ARD pour le prétraitement et la gestion des coproduits, et l'IFP pour l'hydrolyse enzymatique et l'intégration du procédé. Les partenaires\* sont réunis dans un consortium, baptisé Procethol 2G, pour mettre au point la filière complète, breveter et commercialiser les procédés et les produits (enzymes et levures). La construction d'un pilote (traitement d'une tonne de biomasse par jour) dans la Marne est prévu d'ici à 2010, avant celle d'un prototype industriel (100 tonnes de biomasse par jour), 3 ans plus tard. L'objectif est de développer un procédé comparable du point de vue économique à l'éthanol européen de 1<sup>ère</sup> génération.

\*Les partenaires du projet Futurool : Agro industrie recherche et développement (ARD), Confédération générale des betteraviers (CGB), Champagne céréales, IFP, Institut national de la recherche agronomique (Inra), Lesaffre Group, Office national des forêts (ONF), Tereos, Total, Unigrains et le Crédit agricole du Nord-Est.

### . La voie thermochimique : le BtL (Biomass to Liquid) pour les moteurs diesel

Pour la voie thermochimique, la biomasse lignocellulosique est d'abord conditionnée par pyrolyse ou torréfaction. Ensuite elle est gazéifiée à plus de 1 000°C en présence de vapeur d'eau et d'oxygène. On obtient ainsi un "gaz de synthèse", constitué principalement de monoxyde de carbone (CO) et d'hydrogène (H<sub>2</sub>) mais également d'autres composés considérés comme des polluants pour les étapes suivantes. Il est donc indispensable de disposer de technologies de purification. Une fois purifié et après rééquilibrage des proportions d'hydrogène et de monoxyde de carbone, le gaz de synthèse est traité *via* le procédé "Fischer-Tropsch".

L'IFP a développé un procédé de synthèse Fischer-Tropsch en collaboration avec la société ENI dans le cadre de la transformation de gaz naturel en gazole moteur (technologie dite Gas to Liquid).

Les recherches menées à l'IFP sur cette voie concernent chacune des étapes et visent à optimiser leurs performances techniques, économiques et environnementales puis à rendre leur intégration extrapolable à l'échelle industrielle : adaptation du pré-traitement à la gazéification, purification du gaz de synthèse et intégration optimisée des différentes technologies.

La disponibilité de la ressource fait également l'objet d'études car c'est l'un des points limitants majeurs. L'IFP s'intéresse, dans ce cadre, aux technologies permettant le "co-traitement" ou "co-processing", c'est à dire le traitement conjoint de biomasse et de ressources fossiles qui sécuriserait l'approvisionnement des installations à venir et assurerait une transition énergétique et industrielle progressive.

Les méthodologies d'évaluation des bilans environnementaux (ACV) et économiques de la chaîne font aussi partie des compétences de l'IFP. Elles sont déterminantes quant aux choix des filières et quant à la définition de normes et de spécifications pertinentes.

Un partenariat comprenant en particulier Sofiprotéol, Axens, l'IFP et le CEA est en cours de constitution ; il vise à développer et mettre sur le marché une chaîne complète de procédés de conversion thermochimique de la biomasse en biogazole de synthèse. De manière analogue à la démarche Futurool, ce projet vise à démontrer la faisabilité industrielle, économique et environnementale de la filière.



- **Optimiser l'utilisation des biocarburants dans les moteurs**

Les biocarburants actuels sont utilisés soit de façon banalisée via une incorporation de l'ordre de 5 à 10 % dans les carburants actuels, soit dans des flottes captives avec une incorporation plus importante qui nécessite une adaptation du moteur. Une autre voie consiste également à mettre en œuvre des véhicules dits Flex-Fuel capables de fonctionner avec des quantités variables d'éthanol dans l'essence (de 0 à 85 % en Europe). Dans ces différents cas, les gains en émissions de CO<sub>2</sub> viennent naturellement s'ajouter aux gains provenant de l'amélioration des motorisations conventionnelles ou hybrides.

Les travaux effectués par l'IFP visent notamment à s'assurer de l'innocuité des biocarburants sur le comportement des moteurs et de leurs équipements. Des évaluations de flottes de véhicules de type FFV sont réalisées. L'IFP étudie par ailleurs la possibilité d'incorporer de l'éthanol dans le pool gazole via une formulation innovante du carburant. Cette approche, qui présente l'intérêt d'accroître les volumes de biocarburant destinés au parc diesel, a été mise en œuvre avec succès sur un démonstrateur véhicule Citroen C4.

La problématique de l'utilisation des biocarburants est aussi analysée dans le domaine du transport aérien. L'IFP collabore notamment avec Airbus, le CNRS, l'Onera et Safran à la réalisation du projet Fui Calin dont le but est d'étudier les filières alternatives envisageables pour le jet fuel.

- **Le Gaz Naturel Véhicule**

L'utilisation du Gaz Naturel Véhicule (GNV) présente également un intérêt significatif vis à vis des émissions de CO<sub>2</sub> en raison de sa faible teneur en carbone et de ses propriétés intrinsèques en matière de combustion. Ainsi, suivant le niveau d'adaptation du moteur (adaptation légère ou moteur dédié), le gain potentiel se situe entre 20 et 30 %. Le couplage entre hybridation et utilisation du GNV permet de cumuler leurs avantages en termes d'impact sur les émissions de CO<sub>2</sub>. L'IFP étudie la combustion du GNV et l'optimisation de l'architecture moteur.

- **L'hydrogène**

L'utilisation de l'hydrogène pourrait constituer, à long terme, une alternative aux carburants d'origine fossile. Son développement se heurte encore à des défis scientifiques, technologiques et économiques majeurs. Par ailleurs, il existe un besoin industriel croissant en hydrogène dans les secteurs du raffinage et de la production d'énergie, notamment la production de biocarburants.

Deux voies sont explorées par l'IFP pour produire de l'hydrogène :

- **Production d'hydrogène propre en limitant les rejets de CO<sub>2</sub>**

Les travaux de l'IFP visent le développement de procédés de production centralisée d'hydrogène à partir de combustibles fossiles, avec captage et stockage du CO<sub>2</sub>. Dans le cadre du projet européen Cachet, l'IFP développe un procédé de vaporeformage de gaz naturel de grande capacité, compact et à efficacité énergétique élevée, ainsi que des procédés de purification poussée, couplés à une récupération du CO<sub>2</sub>.



- **Développement de solutions de production décentralisée d'hydrogène**

Le développement commercial des technologies de production d'hydrogène de petite taille est fortement conditionné par le développement des piles à combustible et notamment par la fiabilisation et la réduction des coûts de ces dernières. Les applications immédiates concernent, soit des applications de niches (mini-cogénération électricité chaleur, groupes de secours, etc.), soit des industries déjà consommatrices d'hydrogène (hydrogénation d'huiles végétales, métallurgie, etc.).

L'IFP travaille à la mise au point de technologies décentralisées de production d'hydrogène à partir, d'une part, d'essence ou de gazole et, d'autre part, de bioéthanol notamment pour l'alimentation de piles à combustible.

➤ *Biopac2* : l'IFP coordonne le projet *Biopac2* - co-financé par l'ADEME et conduit en partenariat avec Lacco, Ircelyon et Hélion - qui vise le développement de systèmes stationnaires de mini-cogénération d'électricité (5 à 200 kWe) et de chaleur à partir de bio-éthanol en utilisant des piles à combustible de type PEM haute température.

➤ L'IFP collabore avec la société américaine *HyRadix* en vue d'étendre à l'éthanol les technologies de production d'hydrogène par reformage autotherme du gaz naturel, développées par HyRadix. A terme les marchés visés sont ceux de l'hydrogène industriel, mais également les stations-service à hydrogène.


Globalement, en ce qui concerne le développement des systèmes de production d'hydrogène de petite taille à partir de charge liquide, la purification par adsorption de la charge liquide constitue un verrou technique à lever. Il s'agit d'un axe de recherche transverse à l'IFP, dont les résultats devraient mettre l'IFP en position d'acteur majeur de la purification par adsorption des charges liquides pour les applications liées à la production d'hydrogène.

## **Développer des véhicules propres et économes en carburant : vers un véhicule "décarboné"**

Au delà des multiples contraintes qui pèsent déjà sur l'industrie automobile comme la hausse du prix des matières premières, la concurrence internationale ou le renforcement des normes antipollution, la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> est devenue un enjeu stratégique majeur. La Commission européenne a proposé une directive prévoyant un plafonnement des émissions de CO<sub>2</sub> des véhicules à 120 g/km, dès 2012. Dans le cadre du Grenelle de l'Environnement, la France s'engage à défendre cet objectif communautaire de 120 g/km d'ici 2012 pour les véhicules particuliers neufs.

Dans un contexte où le secteur des transports dépend à plus de 97 % du pétrole et où il n'existe pas de solutions alternatives pouvant être rapidement et massivement mise en œuvre, ces objectifs ne pourront être atteints que par la mise en place d'un "bouquet" de solutions technologiques conduisant à des gains en émissions de CO<sub>2</sub> de plus en plus importants.

L'une des missions prioritaires de l'IFP est d'apporter aux industriels des technologies innovantes pour des véhicules plus propres et avec un meilleur rendement, et de mettre au point des carburants alternatifs. Les compétences croisées de l'IFP en technologies moteurs et en élaboration de carburants lui donnent une position-clé pour rechercher la meilleure adéquation possible aussi bien avec les carburants d'origine pétrolière qu'avec les



carburants alternatifs, et ceci dans le but de réduire la consommation et les émissions de CO<sub>2</sub>.

Si des évolutions technologiques majeures sont nécessaires pour mettre en place des transports durables, il ne faut pas négliger cependant le rôle des changements de comportement des usagers et l'optimisation des réseaux de transport.

- *Optimiser les motorisations conventionnelles*

Contrairement à une idée répandue, le potentiel de progrès des motorisations thermiques conventionnelles reste très important. On vise un objectif de réduction de 10 à 30 % de la consommation et des émissions de CO<sub>2</sub> par rapport aux motorisations actuelles, avec de surcroît un excellent rapport coût / efficacité et des émissions de polluants ultra basses.

Les travaux conduits par l'IFP dans ce domaine s'articulent autour de 3 axes :

- Le développement de nouvelles architectures (3 cylindres, 2-temps, etc.).
- La réduction des pertes (downsizing, modes de combustion, "camless", turbo suralimentation, frottements, etc.).
- La montée en puissance du contrôle électronique (calculateurs haute performance, modèles embarqués, capteurs, etc.).

Si des efforts importants de R&D sont aujourd'hui consacrés aux moteurs thermiques c'est également parce qu'ils pourront bénéficier au développement du véhicule hybride.

- *Mettre en place une hybridation progressive*

A côté des moteurs classiques essence et diesel, l'hybridation thermique/électrique, qui présente le potentiel le plus élevé en termes de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, va connaître un essor sans précédent dans les prochaines décennies.


On va d'abord assister à l'introduction massive du système d'hybridation légère Stop & Start (coupure et redémarrage automatiques du moteur thermique pendant les phases d'arrêt momentané du véhicule), à faible surcoût. Le gain de consommation escompté est de l'ordre de 10%.

Le taux d'hybridation (c'est à dire la puissance électrique disponible à bord du véhicule) va ensuite être augmenté : récupération de l'énergie de freinage, accroissement du couple moteur, hybridation rechargeable. Ces technologies devraient permettre d'atteindre des niveaux très faibles d'émissions de CO<sub>2</sub> (gains supplémentaires de l'ordre de 30 à 40 %). Autre atout de l'hybridation : elle n'est pas limitée à l'essence, puisque l'on pourra marier l'électricité avec le diesel, les biocarburants, le gaz naturel, voire même l'hydrogène.

Mais pour rendre ces technologies compétitives, il reste des enjeux majeurs relatifs aux coûts des équipements électriques (moteur, électronique de puissance, stockage d'énergie) ainsi qu'à leurs performances et à leur durabilité.

Pour répondre à ces enjeux, les travaux de l'IFP s'articulent autour de 5 axes :

- L'optimisation des performances du moteur thermique dédié au véhicule hybride : l'IFP s'appuie sur une solide connaissance des moteurs thermiques pour proposer des solutions innovantes et adaptées à chaque type de véhicule hybride

- 
- La mise au point de stratégies de contrôle pour optimiser la gestion de l'énergie à bord et opérer le choix, en fonction de l'usage du véhicule et de la répartition de puissance nécessaire à la traction du véhicule entre le moteur thermique et la machine électrique.
  - L'adaptation des architectures de motorisation en fonction du degré d'hybridation et de l'usage du véhicule (véhicule familial, véhicule de livraison, etc.).
  - Le développement de transmissions innovantes.
  - La gestion du stockage d'énergie électrique et notamment l'amélioration de la simulation et du diagnostic de l'état de charge des batteries.

Cette approche est déclinée sur différents types de motorisations afin d'en évaluer le potentiel. Pour les applications essence, grâce à son expertise dans le domaine de l'écosuralimentation, l'IFP a développé un moteur prototype de 1,8 litres de cylindrée à très haut rendement fonctionnant suivant le cycle de Miller. Les performances atteintes en consommation spécifique (220 g/kWh) sont très proches de celles d'un moteur diesel conventionnel.

L'IFP a également développé un prototype de véhicule hybride au gaz naturel avec GDF SUEZ et Valeo dans le cadre du projet ANR-Predit Vehgan. Installé sur une Smart, il repose sur l'association d'un moteur "downsized" – taille du moteur réduite avec suralimentation adaptée – avec récupération de l'énergie au freinage et assistance électrique. En cumulant les avantages de l'hybridation et de l'utilisation d'un carburant à faible teneur en carbone, il émet moins de 80 g de CO<sub>2</sub> par km sur cycle, soit 32 % de moins qu'une Smart essence.

• *Lever les verrous technologiques de solutions comme le véhicule électrique ou à pile alimentée à l'hydrogène*

- *Le véhicule tout électrique* présente des avantages indéniables notamment en termes d'impact sur l'environnement (absence d'émissions de polluants locaux et de bruit). Les émissions de CO<sub>2</sub> liées à ce mode de propulsion dépendent bien entendu de la filière de production d'électricité. Si cette motorisation est encore pénalisée par les performances des batteries en termes de stockage d'énergie, de durabilité et de temps de rechargement, nul doute que ces performances, qui ont connu des améliorations importantes ces dernières années, continueront à l'avenir de progresser. De nombreux projets de déploiement du véhicule électrique sont lancés, en particulier pour des applications en zone urbaine et/ou en flottes captives. La France va engager un vaste plan de recherche et de soutien aux véhicules électriques.

- Enfin, à plus longue échéance (2030 et au delà), *des véhicules à motorisation électrique équipés d'une pile à combustible alimentée à l'hydrogène* pourront apparaître sur le marché. L'avantage de cette technologie est lié d'une part à son rendement élevé en théorie et à la nature non polluante des rejets à l'échappement constitués de vapeur d'eau. Mais l'industrialisation en masse de ce type de véhicule est encore lointaine en raison des défis technologiques que posent la production d'hydrogène, son transport, son stockage à bord du véhicule, et des coûts très élevés qui y sont associés. Des verrous technologiques importants sont également liés aux performances et au coût de la pile à combustible pour une application dans le domaine des transports. L'IFP conduit des recherches pour lever ces verrous.



## Améliorer l'efficacité énergétique dans l'industrie

Pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub> l'efficacité énergétique doit être au cœur des efforts d'innovation. Cela nécessite de développer des processus industriels toujours plus performants pour dépenser moins d'énergie lors de la production d'un bien de consommation.

Pour l'industrie des hydrocarbures, l'enjeu est de tirer le maximum de chaque baril produit, c'est-à-dire de fabriquer, à partir de moins de matières premières, toujours plus de carburants pour les industries du transport et plus de bases pour la pétrochimie, tout en réduisant les impacts sur l'environnement.

Les rejets générés lors des étapes de production doivent être réduits ou traités et des produits toujours plus propres doivent être mis à la disposition des consommateurs aux meilleurs coûts.

En outre, l'augmentation des besoins énergétiques mondiaux fait évoluer fortement l'activité de raffinage en raison de la nécessaire augmentation de la capacité des usines, de la valorisation des pétroles non conventionnels, ou bien encore de la transformation d'autres matières premières (biomasse, gaz et charbon) en carburants propres.

Les contraintes de rendement, de respect des normes environnementales et de diminution des coûts (donc des consommations énergétiques) sont au cœur des recherches de l'IFP. Fort d'une expertise unique en raffinage et pétrochimie, l'IFP développe les procédés permettant de respecter ces différentes contraintes et de limiter les émissions de CO<sub>2</sub> des raffineries.