

Les carburants alternatifs pour les transports

Les travaux de recherche de l'IFP

L'IFP est un organisme public de recherche et de formation, à l'expertise internationalement reconnue, dont la mission est de développer les technologies et matériaux du futur dans les domaines de l'énergie, du transport et de l'environnement. Il apporte aux acteurs publics et à l'industrie des solutions innovantes pour une transition maîtrisée vers les énergies et matériaux de demain, plus performants, plus économiques, plus propres et durables.

Pour remplir sa mission, l'IFP travaille sur plusieurs priorités stratégiques, parmi lesquelles :

■ ■ Diversifier les sources de carburants

Parce que le pétrole est une matière première non renouvelable, amenée à se raréfier progressivement, l'IFP a très tôt investi le champ des nouveaux carburants. Il travaille depuis plusieurs années déjà à la production de carburants de synthèse, développés à partir de biomasse, gaz ou charbon. L'IFP possède dans ces domaines des compétences solides et une expertise pointue, lui permettant de mettre au point de nouveaux carburants aux propriétés toujours plus performantes.



Les enjeux

Le secteur des transports est très consommateur d'énergie et dépend aujourd'hui essentiellement de la ressource pétrolière, non renouvelable. Il répond à un besoin universel de mobilité des personnes et des marchandises. Le développement économique d'un certain nombre de pays à forte population conduit ainsi à une croissance importante de la consommation de carburants dans le monde.

Sur le plan environnemental, la combustion des carburants contribue fortement aux émissions de gaz à effet de serre (GES), en particulier le CO₂. Dans un contexte de changement climatique et de dépendance pétrolière, il est donc nécessaire de diversifier les carburants dans le transport en général, et routier en particulier.

Les alternatives à l'utilisation du pétrole sont potentiellement nombreuses : gaz naturel, charbon, biomasse, énergies hydraulique, éolienne, solaire, marine ou nucléaire. Toutes peuvent produire de l'électricité et éventuellement de l'hydrogène. À partir de ces

ressources, plusieurs carburants alternatifs peuvent être obtenus et utilisés dans des véhicules de différents types : véhicules équipés de moteurs à combustion interne — les plus répandus à l'heure actuelle —, véhicules hybrides, véhicules électriques, voire à plus long terme, véhicules équipés de piles à combustible.



L'IFP étudie des solutions alternatives aux carburants pétroliers, en particulier dans les domaines de la transformation de la biomasse, du gaz et du charbon pour la production de carburants liquides et d'hydrogène. Ces travaux visent à maximiser l'efficacité énergétique et à limiter les émissions de GES, notamment de CO₂, de ces filières. Ces dernières doivent être évaluées aux niveaux technique, économique et environnemental, notamment à partir d'analyses dites de cycle de vie, dont l'IFP s'est fait une spécialité.

Pour mener ses recherches, l'IFP s'appuie sur un capital d'expertises, tant en recherche qu'en développement technologique. La mise au point de ces filières nécessite, en effet, de lever de nombreux verrous, ce qui passe par une approche pluridisciplinaire, mobilisant de nombreuses compétences, notamment en catalyse et séparation, génie des procédés, physique et analyse, physico-chimie et économie.

Carburants alternatifs déjà disponibles : les solutions de l'IFP

Biodiesel à base d'huile végétale (EMHV)

Les huiles végétales et graisses animales sont des ressources renouvelables dont la structure chimique des chaînes grasses est similaire à celle des hydrocarbures des coupes gazoles issues du pétrole. Outre l'huile de colza, de palme ou de tournesol, il est possible d'utiliser, pour fabriquer du biodiesel, des huiles n'entrant pas en concurrence directe avec l'usage alimentaire, comme par exemple les huiles de jatropha ou, à plus long terme, les huiles issues de la culture d'algues.



L'usine Diester Industries de Sète a été la première en France à utiliser, dès 2007, le procédé de production de biodiesel Esterfip-H™. Aujourd'hui, plus de 10 % du biodiesel produit dans le monde vient d'un Esterfip/Esterfip-H™.

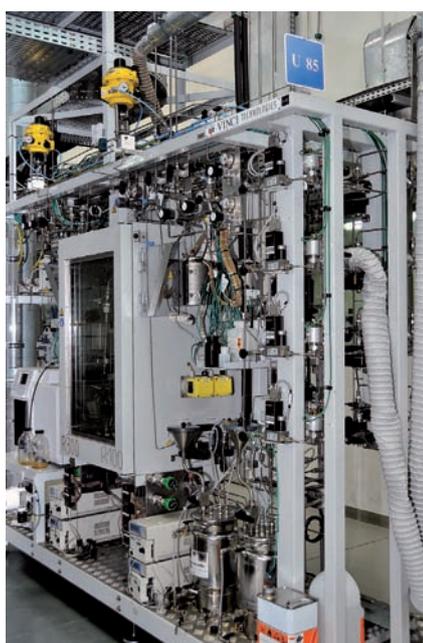
L'IFP a mis au point, dans les années 80, une première technologie de production de biodiesel de type ester méthylique d'huile végétale utilisant un catalyseur soluble (procédé *Esterfip™*).

Plus récemment, l'IFP a développé une technologie plus performante, *Esterfip-H™*, qui représente une innovation majeure car elle permet une production d'EMHV supérieure en quantité et en qualité, et génère un sous-produit, la glycérine, d'une pureté inégalée à ce jour. Le cœur de la technologie *Esterfip-H™* réside dans un catalyseur solide spécifique, qui supprime les rejets inhérents aux procédés utilisant un catalyseur soluble. Aujourd'hui, plus de 10 % des EMHV produits dans le monde sont issus des technologies *Esterfip™* ou *Esterfip-H™*, commercialisées par Axens. L'IFP poursuit les travaux d'amélioration de cette technologie, et plus particulièrement du catalyseur solide, afin d'optimiser l'efficacité énergétique globale du procédé.

Diesel et kérosène synthétiques issus d'huile végétale

Une autre approche permet d'utiliser les huiles végétales pour produire des hydrocarbures : il s'agit de procéder à leur hydrogénation pour enlever l'oxygène (*Hydrotreated vegetable oil* ou HVO). Les hydrocarbures issus de cette technologie ont d'excellentes qualités pour les gazoles : cétane élevé, absence de soufre et d'hydrocarbures aromatiques, propriétés à froid ajustables. Ces bases gazoles sont totalement compatibles avec le *pool* gazole actuel. Selon les sources d'huiles végétales, ce procédé convient également pour produire une base pour kérosène (biokérosène).

L'objectif de l'IFP est d'optimiser les conditions opératoires des unités de production de ces hydrocarbures et d'en réduire les coûts. Ses travaux portent notamment sur l'étude de l'influence de la teneur en différents contaminants présents dans les huiles, sur la gestion de l'exothermie



L'IFP dispose, sur son site de Lyon, d'une unité pilote de production d'huile végétale hydrotraitée (HVO) destinée à développer et optimiser le procédé de production.

des réactions mises en jeu, sur la recherche d'une activité et d'une stabilité accrues du catalyseur, et enfin, sur la maîtrise des phénomènes de corrosion.

Ethyl tertio butyl ether (ETBE) : base pour essence

L'ethyl tertio butyl ether est une base pour essence issue de la réaction de l'isobutène de la raffinerie ou du vapocraqueur avec le bioéthanol

(produit à partir de betterave ou de blé principalement). L'ETBE permet l'introduction de carbone renouvelable dans l'essence, sans en altérer les propriétés de tension de vapeur et en inhibant la démixion par temps froid. L'IFP a développé un procédé intensifié de production d'ETBE à l'aide d'une technologie originale de distillation catalytique (procédé *Catacol™*). Il permet d'atteindre des conversions élevées de l'isobutène en mettant en œuvre un catalyseur couplé à une distillation.

Gaz naturel véhicule (GNV)

Le gaz naturel véhicule se distingue des autres carburants fossiles par un bilan environnemental particulièrement favorable. La teneur modérée en carbone du GNV, associée à une mise au point de moteurs dédiés permet, en effet, une réduction des émissions de CO₂ pouvant atteindre plus de 30 % par rapport à un moteur équivalent alimenté à l'essence.

L'IFP développe des technologies en motorisation GNV qui s'appliquent aussi bien aux petits véhicules urbains qu'aux véhicules poids lourds.



La Smart Vehgan, développée par l'IFP en partenariat avec l'ADEME, GDF Suez, l'Inrets et Valeo, cumule les avantages de l'hybridation à ceux de l'utilisation d'un carburant à faible teneur en carbone, le gaz naturel.

Les solutions innovantes proposées par l'IFP portent notamment sur des systèmes de combustion bas-NOx qui permettent de faire face au durcissement des normes d'émission, sur des systèmes d'injection et de distribution avancés, sur l'utilisation de nouveaux mélanges carburants, ou bien encore sur le post-traitement. Ces développements passent par la réalisation de démonstrateurs véhicules : démonstrateur GNV Vehgan hybride réalisé sur la base d'une Smart, développé en partenariat avec GDF Suez, l'Inrets et Valeo et avec le soutien financier de l'ADEME, démonstrateur *full hybrid* GNV développé en partenariat avec GDF Suez sur la base d'une Toyota Prius.

Enfin, dans le cadre d'un projet soutenu par le pôle de compétitivité Mov'eo, l'IFP accompagne la société DJP pour le développement de réservoirs composites polymorphes haute pression, avec l'objectif d'en faciliter l'implantation à bord et d'accroître très significativement l'autonomie du véhicule GNV.



Extrapolation du réacteur Fischer-Tropsch : maquette froide de grande taille (diamètre 3 m, hauteur 15 m) mise en œuvre pour les études et la validation hydrodynamiques.

6

Carburants de synthèse à partir de gaz naturel

Le gaz naturel peut être transformé chimiquement en carburant diesel et en kérosène pour l'aviation d'excellente qualité *via* la synthèse Fischer-Tropsch (FT). L'objectif de l'IFP dans ce domaine est de développer une chaîne *Gas to Liquid* (GtL) complète. Celle-ci est constituée de quatre étapes :

- l'extraction, le conditionnement et la purification du gaz naturel brut,
- la transformation en gaz de synthèse,
- la synthèse FT conduisant à des hydrocarbures à longue chaîne,
- l'hydrocraquage isomérisant des hydrocarbures en carburant diesel et kérosène.

Dans le cadre d'un partenariat avec la société ENI, l'IFP conduit des travaux sur le développement de la technologie FT, ainsi que sur l'adaptation de sa technologie d'hydrocraquage et sur l'intégration de l'ensemble des maillons.

Les développements sur la synthèse FT ont abouti à la mise au point de

catalyseurs spécifiques à base de cobalt et d'un réacteur opérant en phase liquide, permettant l'extrapolation à la taille requise pour l'exploitation industrielle du procédé. Divers outils comme des pilotes de laboratoires, un pilote de grande taille (20 barils par jour) et des maquettes froides ont été utilisés pour valider le procédé.



Une installation pilote Fischer-Tropsch (capacité de 20 barils de carburant par jour) fonctionne à la raffinerie de Sannazaro de Burgondi en Italie dans le cadre d'un projet conjoint entre l'IFP, Axens et le pétrolier italien ENI.

Carburants de synthèse à partir de charbon

La liquéfaction directe du charbon suivie d'une transformation des liquéfiats par hydrogénation permet de produire des bases carburants synthétiques répondant aux spécifications les plus sévères. En cours de démarrage en Chine, une première chaîne industrielle de liquéfaction du charbon produit plus de cinq barils de bases carburants par tonne de charbon traité. Cette chaîne comporte de nombreuses étapes, dont une unité d'hydrogénation des liquéfiats en lit bouillonnant commercialisée par Axens. Néanmoins, pour répondre aux défis énergétique, économique, environnemental actuels et futurs, la filière *Coal to Liquid* (CtL) exige certaines améliorations. C'est dans ce contexte que l'IFP mène un ensemble de travaux de R&D pour réduire les coûts d'investissements et l'impact sur l'environnement, et en particulier les émissions de CO₂ : minimisation de la consommation énergétique et intégration du captage du CO₂ en vue de son transport et de son stockage souterrain.

Carburants alternatifs de demain : les recherches à l'IFP

Nouveaux carburants à partir de matières renouvelables

Aujourd'hui, le bioéthanol et le biodiesel sont produits à partir de matières premières agricoles entrant dans l'alimentation. Au-delà d'un certain seuil, leur développement se heurte donc à la concurrence avec l'alimentaire. Pour atteindre l'objectif d'incorporation fixé par l'Union européenne (10 % de carburants renouvelables en 2020), il faut donc compléter l'offre actuelle de biocarburants. L'idée est de transformer l'intégralité de la plante, et en particulier la lignocellulose, principal constituant de la paroi des végétaux et disponible en grande quantité sous diverses formes : paille, foin, bois, etc.

Conversion thermochimique de la biomasse

La transformation thermochimique de la biomasse lignocellulosique en carburants gazole et kérosène met en œuvre des procédés à hautes températures. On distingue plusieurs voies de transformation :

- les voies directes par pyrolyse flash ou par hydroliquéfaction. La pyrolyse flash est un traitement purement thermique qui permet d'obtenir une biohuile, des composés volatiles (gaz) et des goudrons. L'hydroliquéfaction consiste à transformer la biomasse dans l'eau, dans des conditions proches de son point critique (374 °C et 221 bar), pour obtenir un *biocrude*. Dans les deux

Les carburants alternatifs pour l'aviation

Les acteurs européens du transport aérien se sont fixé des objectifs extrêmement ambitieux de réduction des émissions de CO₂ (50 %), du bruit (50 %) et des émissions de NO_x (80 %) en 2020 (par rapport à 2000). Ils cherchent en particulier à réduire la consommation des appareils et étudient des carburants alternatifs au pétrole. Parmi eux, les carburants de synthèse (CtL, GtL et BtL), les huiles végétales hydrotraitées, mais aussi à plus long terme des alcools, des esters ou d'autres molécules spécifiquement formulées.

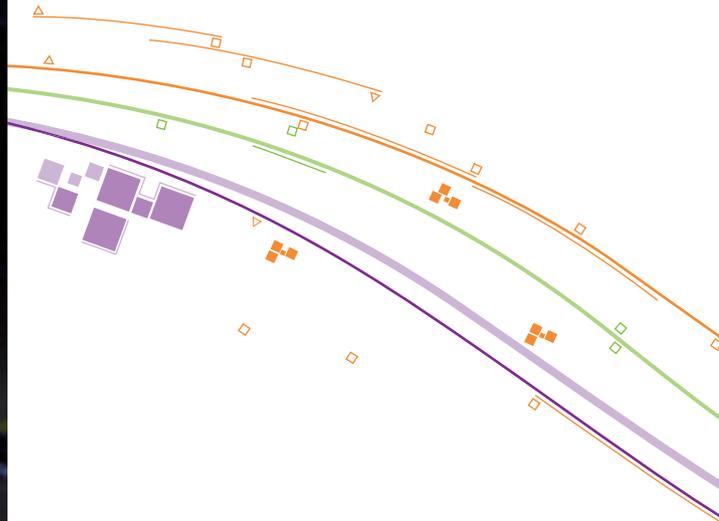
Quelle que soit la solution privilégiée, il faut des quantités importantes de biocarburants pour

remplacer une part significative du kérosène ; il est donc impératif que les nouveaux carburants puissent se mélanger en toute proportion au carburéacteur standard sans en perturber les propriétés (*drop-in fuels*).

L'IFP participe à de nombreux programmes de recherche dans le domaine des carburants alternatifs pour l'aéronautique. Il contribue notamment au programme français Calin, qui vise à étudier les carburants alternatifs permettant un fonctionnement optimal de nouveaux systèmes d'injection de type bas-NO_x. Il est également membre des projets européens Alfa-Bird et Swafea, auxquels sont associés un grand nombre d'acteurs, industriels et laboratoires de recherche.



Avec deux milliards de passagers par an, le transport aérien représente 2 à 3 % des émissions globales de CO₂ et 8 % de la consommation de pétrole. On prévoit une augmentation de 90 % du trafic d'ici 2020.



L'IFP s'est doté sur son site de Lyon d'un pilote de torréfaction de la biomasse de grande capacité. Il permet de torréfier jusqu'à 20 kg de bois par batch, un équipement rare en France.

cas, les propriétés de la fraction liquide peuvent être améliorées par des traitements sous pression d'hydrogène,

- la voie indirecte *Biomass to Liquid* (BtL) est un enchaînement d'étapes unitaires : gazéification de la biomasse, purification du gaz de synthèse produit, synthèse Fischer-Tropsch (FT) et hydroisomérisation pour produire des hydrocarbures. Pour ces différentes étapes, les technologies existent mais elles présentent des degrés de maturité inégaux et ne sont utilisées en général que pour traiter des charges fossiles. Il faut donc, d'une part, les adapter à la biomasse et d'autre part, lever les verrous technologiques existants pour qu'elles atteignent l'échelle industrielle. Cette voie BtL exige, pour des raisons de rentabilité, des unités de grande taille dont l'approvisionnement est un des

enjeux importants. De ce point de vue, la flexibilité de la chaîne de procédés vis-à-vis des charges à traiter constituera un atout majeur.

L'IFP travaille en particulier sur la possibilité de traiter, dans une même installation de type BtL, à la fois des charges d'origine végétale et des charges fossiles ; on parle de *coprocessing* (filiale B-XtL). C'est l'objet d'un projet collaboratif réunissant des industriels et des centres de recherche, qui ambitionne de mettre au point une licence de procédés pour une valorisation, par voie thermochimique, de biomasse d'origine lignocellulosique et de charges fossiles en vue de l'obtention de biogazole et de biokérosène. Le procédé prendra en compte l'ensemble de la chaîne de gazéification de la biomasse : séchage et broyage de la biomasse, torréfaction, gazéification, train d'épuration des gaz, synthèse FT.

Conversion biotechnologique de la biomasse

Éthanol lignocellulosique

La lignocellulose, principal constituant des parties non alimentaires des végétaux, consiste en un assemblage complexe de deux polymères de sucres, la cellulose et l'hémicellulose, et d'un polymère essentiellement composé de motifs aromatiques : la lignine. La principale difficulté pour transformer cette matière première est de rendre les sucres fermentescibles sans dégradation excessive.

Les travaux de l'IFP visent à résoudre cette problématique et à développer de nouveaux procédés pour chacune des étapes de la filière éthanol lignocellulosique :

- le conditionnement de la biomasse en poudre pour en augmenter la réactivité,



Laboratoire de biotechnologies à l'IFP où sont menés les travaux sur la transformation de la biomasse cellulosique en biocarburants.

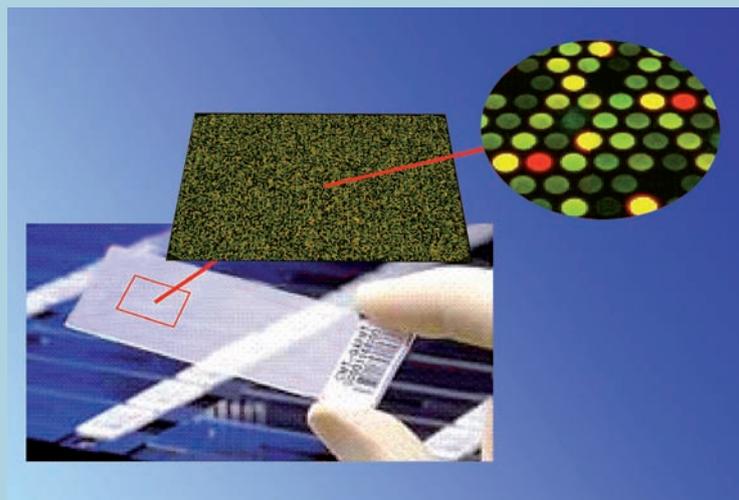
- le prétraitement pour libérer les sucres complexes,
- l'hydrolyse enzymatique pour transformer les sucres complexes en sucres simples facilement fermentescibles,
- la fermentation par micro-organisme (levures) pour transformer les sucres simples en éthanol,
- la séparation, *via* une première étape de distillation et une étape finale de déshydratation, pour atteindre les spécifications de pureté requises de l'éthanol en usage biocarburant.

L'économie de ces procédés repose sur l'optimisation des conditions opératoires de l'ensemble de ces étapes, et en particulier, pour l'étape d'hydrolyse, sur une augmentation de l'activité et la baisse des coûts de production des enzymes. La valorisation des coproduits est aussi prise en compte avec, par exemple, l'utilisation des sucres non fermentescibles comme source de carbone pour la production d'enzymes et la combustion de la lignine pour produire de l'énergie. Ces travaux sont en particulier menés par l'IFP dans les projets Nile et Futurool.

Projet européen Nile

Le projet européen Nile (*New Improvements for Lignocellulosic Ethanol*), coordonné par l'IFP, vise à développer un procédé de production d'éthanol à partir de biomasse lignocellulosique, et en particulier de paille de blé et d'épicéa. Rassemblant 22 partenaires, ce projet a déjà permis la mise en forme de la biomasse (granules), la mise au point de nouveaux mélanges enzymatiques

dégradant la cellulose (à l'aide de puces à ADN) et de souches de levure modifiées capables de convertir les sucres à cinq atomes de carbone en éthanol. Ces nouvelles technologies sont à l'heure actuelle testées dans une installation pilote située en Suède, afin de les valider et d'obtenir les données nécessaires à une évaluation technico-économique et environnementale du procédé.



Puce à ADN. Chaque point de couleur correspond à l'expression d'un gène.



Au sein du projet Futurol, l'IFP mène des recherches sur le prétraitement de la biomasse et étudie différentes options afin d'identifier la plus prometteuse.

Futurol

Le projet Futurol a pour objectif le développement et la commercialisation d'un procédé complet de production de bioéthanol de deuxième génération à partir de plantes entières (biomasse lignocellulosique). Labellisé par le pôle de compétitivité Industries et Agro-Ressources et financé par Oseo, Futurol est porté par le consortium Procethol 2G qui rassemble Agro-industrie Recherches et Développement, la Confédération générale des betteraviers, Champagne Céréales, le Crédit Agricole du Nord-Est, l'IFP, l'Institut national de la recherche agronomique, Lesaffre, l'Office national des forêts, Tereos, Total et Unigrains.

La particularité de ce projet est de développer un procédé capable

de traiter une grande variété de matières premières en fonction de la zone géographique où il sera mis en œuvre. Il vise la mise sur le marché d'un procédé, de technologies et de produits (enzymes et levures) optimisés sur le plan de l'efficacité énergétique, permettant de produire du bioéthanol à un prix compétitif et dans une logique de développement durable.

L'IFP est l'un des acteurs majeurs du projet Futurol. Il apporte ses connaissances et son expérience pour l'évaluation de la ressource disponible (gisements et accès), le prétraitement, l'hydrolyse enzymatique et la production d'enzymes, et le développement de procédés industriels.

Biobutanol

Certaines propriétés du butanol — pouvoir calorifique supérieur, tension de vapeur plus faible et moindre miscibilité à l'eau — le rendent plus intéressant que l'éthanol pour une incorporation dans les essences.

Depuis quelques années, le butanol synthétisé par voie biologique connaît un fort regain d'intérêt car il peut être obtenu à partir de biomasse, y compris lignocellulosique. Le procédé suit les mêmes étapes que celles destinées à la production d'éthanol cellulosique. En revanche, le rendement et la productivité de la fermentation sont plus faibles et le coût de la distillation beaucoup plus élevé.

En outre, certains sucres contenus dans les hémicelluloses peuvent être transformés en butanol. Ce dernier aspect est étudié par l'IFP dans le cadre du projet européen Biosynergy, qui recherche les meilleures valorisations possibles des coproduits, s'inscrivant ainsi dans un concept de bioraffinerie.

La compatibilité des matériaux automobiles avec les carburants alternatifs

L'IFP participe à de nombreuses études sur la compatibilité des matériaux polymères pour l'automobile avec les carburants alternatifs, en particulier les biocarburants. Menés en collaboration avec les industriels, ces travaux visent à améliorer la connaissance de l'agressivité de ces carburants, des effets des températures élevées et de la durabilité des matériaux (vieillessement et corrosion). Ils veillent aussi à garantir le respect des réglementations limitant les émissions de composés organiques volatiles.

Dans le cas particulier de l'hydrogène, l'IFP mène des études sur les matériaux pour les réseaux de distribution dans le cadre des projets Naturalhy (projet européen) et Polythube (projet ANR).



Installation permettant de mesurer la perméabilité aux gaz de tubes polymères (hydrogène, mélange méthane/hydrogène).

Le potentiel des huiles algales

Certaines microalgues sont capables de synthétiser des lipides ou des hydrocarbures à partir du CO₂ avec une productivité potentiellement supérieure à celle des productions oléagineuses terrestres. Ce sont des "usines chimiques" utilisant l'énergie solaire, dont la maîtrise et l'amélioration du potentiel nécessite, au-delà de la sélection biologique et de l'étude des cultures, une optimisation des étapes de séparation et de transformation des huiles et hydrocarbures. L'IFP participe à des travaux d'analyse de cycle de vie et d'évaluation des impacts environnementaux de cette filière en devenir.

Hydrogène

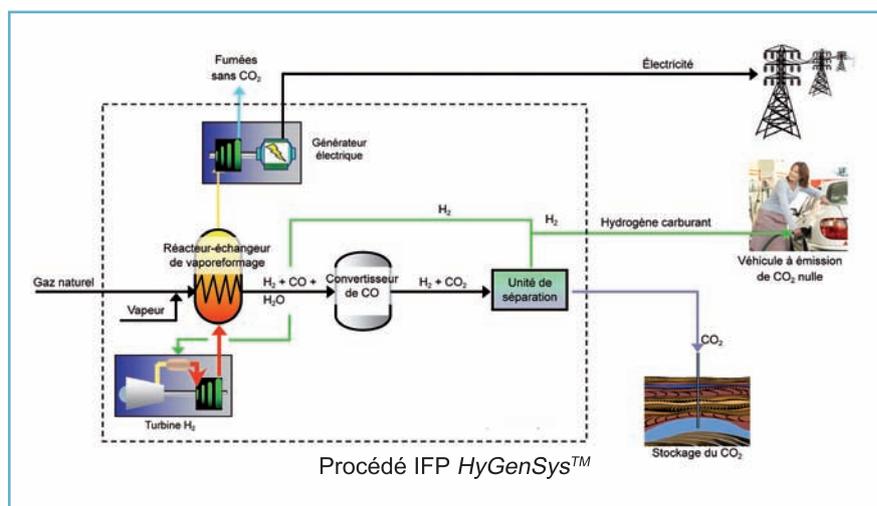
L'IFP développe des procédés et technologies de production d'hydrogène pour des applications et des échelles très différentes :

- des systèmes de production centralisée d'hydrogène et d'électricité, en grande capacité avec captage du CO₂ (procédé HyGenSys™), pour l'approvision-

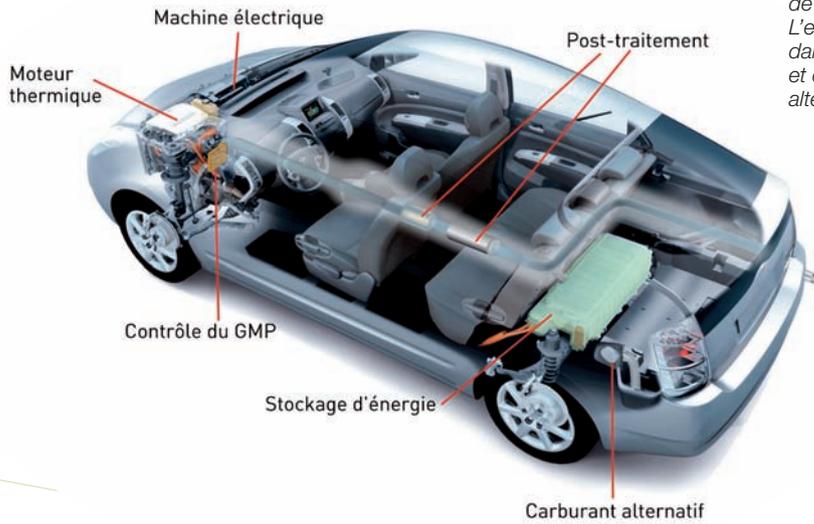
nement en hydrogène des secteurs du raffinage et de la chimie et, dans le futur, en carburant,

- des systèmes de production décentralisée à partir de matière première liquide (par exemple bioéthanol) pour les besoins industriels de la sidérurgie, la verrerie, l'agroalimentaire ou l'électronique, voire, à plus long terme, pour les futures stations-service à hydrogène.

Le procédé HyGenSys™ développé par l'IFP met en œuvre la réaction de vaporeformage du gaz naturel dans un réacteur-échangeur compact chauffé par convection avec des gaz chauds en pression sortant d'une turbine à gaz. Ce nouveau concept permet une forte intégration thermique et conduit à des rendements élevés, tout en facilitant le captage du CO₂.



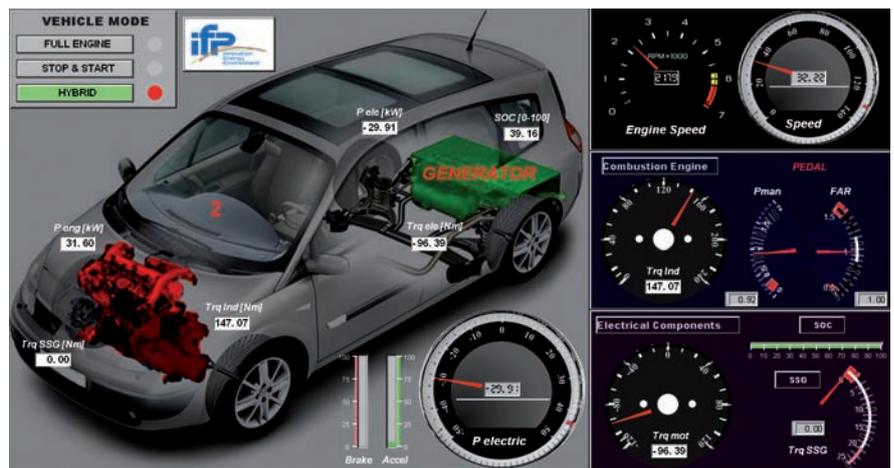
Les domaines d'excellence de l'IFP interviennent tout au long de la chaîne de conception du groupe motopropulseur. L'effort de R&D est particulièrement intense dans le domaine de l'hybridation des véhicules et de la mise en œuvre de carburants alternatifs.



Électrification des véhicules

L'électrification du véhicule selon différents modes — hybride simple, hybride *plug-in*, c'est-à-dire connectable au réseau électrique pour une recharge des batteries, ou véhicule entièrement électrique — permet de réduire les émissions de CO₂, à condition d'utiliser de l'électricité produite à partir d'une ressource renouvelable ou nucléaire. D'importants progrès restent nécessaires au niveau du stockage de l'électricité pour diminuer le poids et le volume des batteries embarquées et réduire leur coût. Ces solutions présentent l'avantage de s'intégrer, moyennant des investissements, à un système de production et de distribution électrique déjà largement existant.

Les travaux réalisés par l'IFP portent en particulier sur la conception de moteurs thermiques dédiés, sur le stockage de l'énergie électrique, sur le contrôle/commande du groupe motopropulseur et sur l'optimisation de la gestion de l'énergie à bord.



Le banc transitoire HIL (Hardware in the Loop) permet d'accélérer les phases de conception et de développement des systèmes de motorisation hybrides par l'apport d'un environnement virtuel.



L'IFP dispose d'une grande diversité d'équipements et de moyens d'essais ; parmi eux, des unités pilotes sont destinées à tester, avant leur extrapolation industrielle, les procédés permettant de produire carburants et biocarburants.

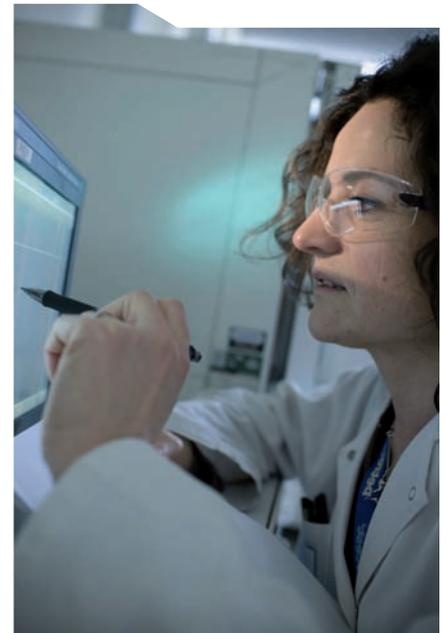
L'IFP : un savoir-faire au service de l'innovation

L'innovation nécessite une étape indispensable d'expérimentation dans le processus qui conduit à l'industrialisation : l'IFP conçoit, développe et met en œuvre en permanence des équipements permettant l'expérimentation, en s'appuyant sur ses compétences en chimie, physique, mathématiques, mécanique, automatique, etc. Chaque année, de nouveaux équipements sont développés afin d'accompagner, en particulier, la recherche dans le domaine des carburants alternatifs.

Pour mener à bien ces travaux, l'IFP fait appel à des compétences scientifiques pluridisciplinaires dans différents domaines :

- la catalyse : chimie, synthèse organique, synthèse minérale, catalyse homogène, catalyse hétérogène et techniques de séparation,

- le génie des procédés : études de procédés, optimisation et simulation des procédés industriels, unités pilotes (120 unités semi-industrielles en fonctionnement sur le site d'IFP-Lyon), génie chimique et hydrodynamique des réacteurs catalytiques, génie thermique et génie catalytique,
- l'analyse : sciences séparatives et analytiques, identification moléculaire, caractérisation physico-chimique des solides,
- la chimie : chimie et physico-chimie des fluides complexes et des matériaux, biotechnologie, thermodynamique et modélisation moléculaire,
- l'économie : macroéconomie, microéconomie et économétrie, évaluations technico-économique et environnementale des systèmes énergétiques et des technologies de transport.



L'IFP fait appel à des compétences scientifiques pluridisciplinaires dans différents domaines : de la catalyse à l'économie, en passant par le génie des procédés, l'analyse et la chimie.

Acteur fédérateur de la recherche française et européenne dans le domaine des carburants alternatifs, l'IFP participe à de nombreux projets menés en partenariat étroit avec les industriels du secteur.



L'IFP, acteur fédérateur

14 de la R&D dans le domaine des carburants alternatifs

Un acteur français et européen

Pour conduire ses travaux, l'IFP s'appuie sur de nombreuses coopérations nationales, au travers notamment des programmes de l'Agence nationale de la recherche (ANR), des projets des pôles de compétitivité comme Axelera et Mov'eo, et des projets financés par le fonds démonstrateurs recherche de l'ADEME ou Oseo. L'IFP est membre du projet Futurool, qui fédère les acteurs clés de la future filière d'éthanol lignocellulosique française, et est impliqué dans un projet collaboratif visant à développer la future filière de biodiesel de deuxième génération par voie thermochimique.

L'IFP est aussi fortement engagé dans la recherche européenne dans le domaine des carburants alternatifs. Il est notamment impliqué dans la plate-forme

technologique européenne sur les biocarburants (*European Biofuels Technology Platform*) qui représente, auprès de la Commission et des États membres, le secteur industriel des biocarburants.

De la recherche à l'industrie

La société Axens, filiale de l'IFP, commercialise depuis 2003 le procédé *Esterfip-H™* de production de biodiesel à partir d'huiles végétales par catalyse hétérogène développé à l'IFP. *Esterfip-H™* permet d'améliorer sensiblement les performances environnementales par rapport aux procédés traditionnels faisant appel à la catalyse homogène. Avec plusieurs unités construites dans le monde (États-Unis, France, Malaisie, Suède), la mise en œuvre d'*Esterfip-H™* constitue une première mondiale.

La mise sur le marché par Axens de la technologie Fischer-Tropsch développée par l'IFP avec le pétrolier ENI constitue, par ailleurs, une carte maîtresse pour le développement d'une filière biocarburant de deuxième génération, peu de sociétés maîtrisant cette technologie dans le monde.



Centre de résultats Raffinage-Pétrochimie

Dans le domaine du raffinage et de la pétrochimie, l'IFP a pour objectif de mettre au point de nouveaux procédés plus économes, plus propres et sûrs pour la production des combustibles, des carburants et de bases pétrochimiques à partir de toutes les sources de carbone disponibles (pétrole, gaz, charbon et biomasse). Pour les carburants, il s'agit non seulement d'apporter des solutions innovantes pour le moyen terme — carburants exempts de soufre, plus riches en hydrogène et comportant une fraction significative de composants d'origine non fossile — mais aussi de préparer la transition vers l'utilisation de l'hydrogène.

Les programmes de recherche sont ainsi centrés sur :

- la conversion des bruts lourds, des résidus et distillats,
- la production de carburants et biocarburants,
- la production de bases pétrochimiques,
- la production d'hydrogène.



Innovater les énergies

Refin-petrochem@ifp.fr

IFP - Centre de résultats Raffinage-Pétrochimie
1 et 4, avenue de Bois-Préau - 92852 Rueil-Malmaison Cedex - France
Tél. : +33 1 47 52 67 29 - Fax : +33 1 47 52 70 71

IFP (Siège social)
1 et 4, avenue de Bois-Préau - 92852 Rueil-Malmaison Cedex - France
Tél. : +33 1 47 52 60 00 - Fax : +33 1 47 52 70 00

IFP-Lyon
Rond-point de l'échangeur de Solaize - BP 3 - 69360 Solaize - France
Tél. : +33 4 78 02 20 20

www.ifp.fr