

# Les rendez-vous de l'innovation

N°4 - Juillet 2007

27

## ■ En bref

*C'est le nombre de conventions qu'a conclues l'IFP avec des PME en 2006.*

*Avec ces derniers accords, le nombre de contrats de partenariat signés en vingt ans par l'IFP avec des petites et moyennes entreprises atteint désormais les 600.*

*En effet, depuis 1986, l'IFP a développé une politique de soutien aux PME. Il s'agit essentiellement de transférer un savoir-faire scientifique et technique ; cette collaboration prend souvent la forme d'une aide à la R&D.*

*En validant par des simulations numériques les technologies développées, en réalisant des tests sur des prototypes ou en aidant à la construction de pilotes dans les domaines de l'environnement, des matériaux ou de l'instrumentation, l'IFP répond ainsi à sa mission d'intérêt général de création de richesses et d'emplois : toutes spécialités confondues, plus des deux tiers des PME ayant établi de telles conventions ont, au terme de l'opération, dégagé des profits !*

### Du biocarburant pour les avions.

L'IFP et l'Onera ont signé fin janvier 2007 une convention de collaboration d'un genre inédit dans le domaine des carburants pour les réacteurs des avions. Portant sur trois ans, cette coopération a pour objectif de mettre au point des procédés et des technologies permettant l'utilisation par le transport aérien de carburants issus de la biomasse. Ce projet consiste à développer des formulations de carburants, puis à les valider sur des systèmes d'injection (travaux réalisés à l'IFP) et à les tester sur des chambres de combustion prototypes (tests effectués à l'Onera). ■

**IFP supporter de l'ANR.** L'IFP a été désigné comme structure support de l'ANR pour deux programmes lancés en 2007 : Stockage de l'énergie (Stock-E) et Chimie et procédés pour le développement durable, consacré à la chimie verte. L'IFP reçoit ainsi délégation de l'ANR pour exécuter, en son nom, une part des tâches correspondant à la mise en œuvre des programmes : lancement de l'appel à projets, constitution des comités stratégiques et d'évaluation, sélection et suivi des projets. Cette désignation souligne l'engagement de l'IFP parmi les acteurs de la recherche scientifique en France. ■

## L'IFP dans le top 20 des déposants de brevets en France

Avec 145 nouveaux brevets en 2006, dont 39 dans le domaine des NTE (Nouvelles technologies de l'énergie), l'IFP porte son portefeuille de brevets vivants à plus de 12 600. Selon le dernier classement 2006 de l'INPI (Institut national de la propriété industrielle), l'IFP est le 14<sup>e</sup> déposant français pour le nombre de brevets publiés. Loin de procéder du hasard, ce succès est le fruit d'une politique active de valorisation de la recherche menée depuis des décennies par l'IFP. Depuis le dépôt du premier d'entre eux à la fin des années 40, puis la création en 1953 d'un département *ad hoc*, l'IFP a constamment encouragé ses chercheurs à déposer des brevets. Outre qu'ils les accompagnent sur un plan administratif et leur assurent au besoin des formations concernant la protection industrielle, les ingénieurs-brevets de l'IFP collaborent en permanence avec les chercheurs : présents à toutes les réunions de réflexion sur le lancement des projets ainsi qu'aux assemblées semestrielles de suivi, ils repèrent ainsi facilement les travaux valorisables. Et avec succès ! Ce sont en moyenne 120 à 150 brevets déposés chaque année, qui donnent lieu à l'ouverture de centaines de droits à l'étranger (777 pour la seule année 2006) et qui gonflent aujourd'hui le portefeuille de l'IFP. Une politique qui a par ailleurs fait de l'IFP le sixième déposant français aux États-Unis. ■

L'IFP est un organisme public de recherche et de formation, à l'expertise internationalement reconnue, dont la mission est de développer les énergies du transport du 21<sup>e</sup> siècle.

# ■ Dossier

## Prévoir, simuler, piloter et contrôler :

l'apport essentiel de l'informatique et des mathématiques dans la recherche industrielle

*Production de pétroles technologiques, augmentation des rendements des raffineries, optimisation des moteurs, multiplication des contraintes environnementales : le secteur énergétique exige la prise en compte de paramètres toujours plus nombreux, dont la mise en commun nécessite un recours croissant aux mathématiques et à l'informatique.*

“ Pour avancer dans la connaissance scientifique, le chercheur a de plus en plus recours aux outils mathématiques. ”

L'IFP accompagne cette évolution de l'industrie en accordant à ces disciplines une place importante dans ses projets de recherche : il dispose ainsi d'une gamme complète de produits innovants sur le sujet.

### Premier usage de ces techniques mathématiques pointues : la prévision.

Profitant de l'expérience acquise depuis les années 60, les chercheurs de l'IFP travaillent à simuler, grâce à des outils informatiques, l'évolution des réservoirs pétroliers au cours de leur exploitation. Baptisé Puma<sup>Flow</sup> et commercialisé par Beicip-Franlab, le logiciel qu'ils ont mis au point

modélise ce qui se passe dans le sous-sol sous forme de mailles. Les chercheurs déterminent, grâce à des campagnes menées sur le terrain, la nature et les caractéristiques des roches et des fluides qu'elles contiennent. Ils calculent ensuite, grâce aux techniques mathématiques et informatiques les plus récentes, la façon dont les fluides (pétrole, gaz et eau) devraient se déplacer dès lors que le gisement sera en production. Et donc la manière dont le réservoir pétrolier devrait se vider au cours du temps. Une information particulièrement précieuse car elle est directement liée à la capacité de production des puits !

### Deuxième utilisation croissante des mathématiques appliquées : le pilotage.

Et en particulier, le pilotage des moteurs thermiques. Ainsi, dans le cadre d'un projet du Prédit (Programme national de recherche et d'innovation dans les transports terrestres) baptisé VDH (Véhicule diesel homogène), des ingénieurs de la direction Technologie, Informatique et Mathématiques appliquées de l'IFP mettent au point les stratégies de contrôle qui pilotent les moteurs diesel automobiles dans le but d'assurer une combustion aussi propre et économique que possible.

Au terme de ces travaux, le calculateur embarqué dans le véhicule est en mesure de contrôler en temps réel l'activité du moteur : il adapte, d'une fraction de seconde à l'autre, le fonctionnement des différents actionneurs (injecteur, papillon d'admission d'air, vanne de décharge, etc.) en fonction des conditions de marche. La conséquence en est une réduction considérable de la quantité de polluants émis : CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> et particules. Et au bout du compte, une voiture capable de répondre aux futures normes antipollution !

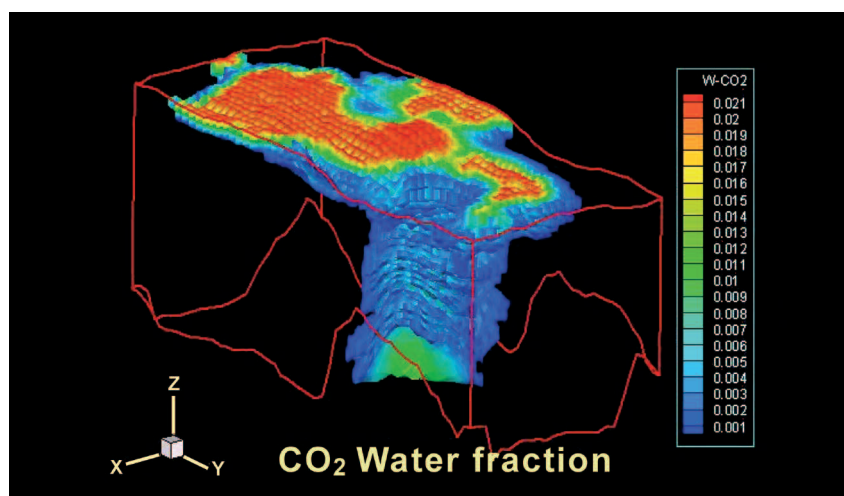
### Troisième cas d'utilisation des mathématiques : l'aide à l'expérimentation.

Pour avancer dans la connaissance scientifique – choisir les paramètres d'une expérience, extraire des résultats pertinents – le chercheur a de plus en plus recours aux outils mathématiques.

L'IFP s'est ainsi équipé d'un parc informatique conséquent : des grappes

“ Les ingénieurs de l'IFP mettent au point les stratégies de contrôle qui pilotent les moteurs. ”

de PC qui à eux tous peuvent réaliser plus de deux mille milliards d'opérations par seconde ! Sur le site de Lyon, une équipe a mis au point un dispositif expérimental destiné à la recherche de catalyseurs performants. Baptisée EHD (Expérimentation haut-débit), cette machine complexe est constituée de plusieurs réacteurs où sont fabriqués en parallèle les catalyseurs. L'EHD fixe avec le maximum de rapidité les valeurs des paramètres de fabrication qui détermineront les caractéristiques du catalyseur. C'est une opération d'une haute complexité qui nécessite des comparaisons permanentes entre les échantillons et des centaines de tests, dont chacun dure plusieurs jours. Heureusement les mathématiques appliquées apportent ici aussi leur aide en limitant le temps d'expérimentation. ■



Modélisation de la migration du CO<sub>2</sub> dans une structure géologique à l'aide du logiciel IFP Coores

## « Simuler le stockage du CO<sub>2</sub> sur un millier d'années. »

À la direction Technologie, Informatique et Mathématiques appliquées de l'IFP, Laurent Trenty travaille à la mise au point de Coores, premier logiciel français permettant de simuler les effets à long terme de l'injection du CO<sub>2</sub> dans le sous-sol.

### Pourquoi réaliser un modèle de stockage du CO<sub>2</sub> ?

Aujourd'hui, les expériences en laboratoire ou les logiciels existants ne nous permettent pas d'avoir toutes les informations sur les phénomènes physiques qui interagissent lorsqu'on injecte du CO<sub>2</sub> dans des formations géologiques, ni sur la manière dont la roche va se transformer à son contact. Nous n'avons pas une idée précise de l'évolution sur le long terme du gaz stocké dans le sous-sol.

### En quoi consiste le projet que vous pilotez ?

Ce projet a été mis en place il y a trois ans. Il vise à construire un modèle numérique, destiné aux compagnies pétrolières ou à des sociétés d'ingénierie, prenant en compte les principaux phénomènes physiques et capable de répondre à plusieurs questions : la capacité de stockage d'une région, l'évolution au cours du temps du volume de gaz injecté dans



le sous-sol, les meilleurs emplacements des puits, etc. Pour atteindre cet objectif, notre logiciel effectue des modélisations à l'échelle de la zone de stockage elle

même, qui fait quelques kilomètres, mais aussi à celle du bassin dont la taille peut atteindre plusieurs centaines de kilomètres. En termes de simulation, nous résolvons un grand nombre d'équations et d'inconnues – leur chiffre peut atteindre des millions – afin de décrire au mieux les phénomènes physiques. Tout ceci nécessite des moyens de calcul très importants (supercalculateurs) et des technologies logicielles pour les exploiter de façon optimale.

## « Prédire le futur et agir sur le présent. »

À la direction Technologie, Informatique et Mathématiques appliquées de l'IFP, Yann Creff développe les logiciels de commande de future génération.

### Quelle est la place de l'automatique dans le raffinage ?

S'il y a encore quinze ans, il s'agissait de piloter un actionneur (système manuel ou électronique commandé à distance) pour ouvrir une vanne et réguler un débit, on utilise aujourd'hui la "commande avancée". Actuellement en Europe, près de 75 % des unités de raffinage en sont équipées. Il s'agit de piloter plusieurs actionneurs simultanément, avec un double objectif : s'assurer que la production réponde en permanence aux spécifications tout en dépensant le minimum d'énergie. Pour faire face à cette problématique et effectuer les corrections dans des temps relativement courts, on fait calculer les valeurs des actionneurs par des logiciels fondés le plus souvent sur des commandes prédictives. À partir des informations qu'ils reçoivent, en temps réel, de l'unité de raffinage, ces logiciels évaluent en continu les paramètres de chaque actionneur. En sachant prédire quelles sont les combinaisons de valeurs



les plus intéressantes pour respecter les contraintes de production, on peut ainsi choisir les critères à appliquer à chaque actionneur.

### Concrètement à quoi cela sert-il ?

Un exemple parlant est celui des unités d'hydrodésulfuration à l'intérieur desquelles on met en contact un gaz chargé d'hydrogène avec un fluide pétrolier afin de débarrasser ce fluide d'un polluant : le soufre. Beaucoup de variables interviennent dans ces dispositifs : le débit des fluides à l'entrée de l'unité, leurs teneurs en soufre ou le taux d'hydrogène dans le gaz. Le rôle du logiciel de commande prédictive est de piloter les actionneurs afin de garantir à la sortie une quantité en soufre dans les carburants conforme aux normes en vigueur,

### Sur quelles expériences vous appuyez-vous ?

L'IFP a acquis une forte expérience dans le domaine de la simulation des réservoirs pétroliers à travers son logiciel commercial Puma<sup>Flow</sup>, qui permet de simuler et d'optimiser leur production. L'IFP a également mis sur le marché un logiciel de modélisation de bassins sédimentaires appelé Temis<sup>Flow</sup>. C'est sur ces savoir-faire que nous nous appuyons pour constituer un outil qui soit adapté aux besoins du stockage du CO<sub>2</sub>. Au stade de développement actuel, le logiciel que nous avons réalisé – l'un des trois seuls existants au monde – peut simuler la phase d'injection du CO<sub>2</sub> dans le sous-sol et étudier sur le long terme (un millier d'années) la stabilité du stockage. Cependant, même si le premier test que nous avons effectué sur le site de Sleipner en mer du Nord a été un succès, la tâche n'est pas achevée. Nous travaillons pour prendre en compte plus précisément encore et en plus grand nombre les phénomènes physiques étudiés, notamment dans le cadre de collaborations avec des universitaires et le BRGM. ■

tout en évitant une trop grande dépense en énergie. Plus compliqué encore, les débits et les compositions des fluides pétroliers et du gaz à traiter peuvent varier de manière brutale. Cela impose que le logiciel soit en mesure de fournir un nouveau jeu de commandes toutes les minutes.

### Quelles sont les compétences dont dispose l'IFP dans ce domaine ?

L'IFP a développé un logiciel de commande prédictive au début des années 2000. Baptisé MVAC (Multi Variable Advanced Controller), il est commercialisé par la société Axens et est déjà déployé dans plusieurs raffineries dans le monde. Nous consacrons une partie de nos efforts actuels à l'amélioration de cet outil pour faciliter son utilisation. Nous créons à cette fin des modules informatiques appelés capteurs logiciels qui permettront, à partir de modèles physiques développés à l'IFP, de prendre en compte des paramètres essentiels, comme par exemple la consommation d'oléfines, dont la mesure n'est pas possible sur site ou trop coûteuse. ■



## Zoom

### L'IFP en "Pôle" position

Parmi les six pôles de compétitivité auxquels participe l'IFP, Lyon Urban Truck & Bus 2015 (LUTB) figure en bonne place. Fondé par six partenaires (Renault Trucks, Irisbus, Inrets, IFP, Grand Lyon et CCI de Lyon), il associe aujourd'hui 50 adhérents, entreprises (dont 23 PME et TPE) et laboratoires de la région Rhône-Alpes et compte déjà une trentaine de projets de R&D pour un budget total de 55 millions d'euros. Son objectif : trouver les solutions de transports urbains de personnes et de marchandises adaptées à la ville de demain !



Les activités de LUTB concernent l'ensemble de la chaîne allant du véhicule (poids lourd, camionnette, bus, trolley bus) à son intégration dans la ville. Les projets de recherche sont menés autour de quatre thématiques : la sécurité, l'architecture des véhicules (poids lourd et bus), l'amélioration des systèmes de transport (bruit, pollution, congestion, consommation, etc.), et enfin, le développement de moteurs thermiques et hybrides respectueux de l'environnement. Ce dernier thème est traité dans le programme Motorisation et chaîne cinématique animé par l'IFP. Dirigé par Brigitte Martin, chef du département Moteurs de la direction Techniques d'applications énergétiques de l'IFP, il regroupe près de la moitié des projets labellisés LUTB. L'objectif est d'apporter des réponses innovantes aux défis que doivent relever

les véhicules industriels : baisse des consommations, association de l'électrique au thermique, utilisation des carburants alternatifs, diminution de la pollution atmosphérique ou des nuisances sonores.

Comme dans l'ensemble des pôles, l'accent est mis sur la coopération : les chercheurs de l'IFP impliqués dans ce programme collaborent étroitement avec d'autres laboratoires et des industriels. Les 8 projets (sur 16 labellisés) auxquels ils participent – ou vont participer, car tous n'ont pas démarré – recouvrent les principaux domaines de compétences de l'IFP sur les moteurs : les systèmes de combustion diesel, notamment les nouveaux modes de combustion homogène, le GNV (Gaz naturel véhicule), l'hybridation, le post-traitement des émissions polluantes par la catalyse et, enfin, les motorisations adaptées aux biocarburants. L'IFP met aussi ses compétences de motoriste au service d'un projet qui traite du bruit et des vibrations. Deux de ces projets, consacrés au développement d'un capteur de suies à l'échappement et à l'optimisation de la catalyse pour les moteurs GNV, pourraient déboucher sur des applications intéressantes également pour les véhicules particuliers.

Le pôle comprend en outre trois programmes transversaux prioritaires : un groupe de réflexion favorisant la créativité et l'émergence de projets, un autre consacré à la communication avec notamment l'organisation d'une conférence internationale, et un dernier portant sur la mise en place de moyens d'essais mutualisés. Ces réflexions pourraient être à l'origine de l'installation, dans les prochaines années sur le site de l'IFP à Lyon, d'un nouveau banc moteur transitoire\* pour poids lourd. ■

\*Banc transitoire : permet de faire fonctionner le moteur en accélération et décélération et donc de simuler le fonctionnement réel sur véhicule.

## En bref

**Nomination.** Par arrêté du ministre de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, en date du 25 janvier dernier, le directeur scientifique de l'IFP, Philippe Ungerer, devient membre du Conseil scientifique de l'INRA. Cette nomination illustre l'importance de la collaboration entre les deux organismes pour améliorer les filières de production des biocarburants. ■

### Transformer le CO<sub>2</sub> en euros.

L'IFP présentera lors des Journées d'électrochimie à Lyon, en juillet 2007, les premiers résultats de son projet exploratoire sur la valorisation du CO<sub>2</sub> par voies électrochimiques. Lancé il y a trois ans, ce projet original vise à étudier s'il est possible et rentable de transformer le CO<sub>2</sub> – après sa séparation des fumées des usines – par des procédés électrochimiques, en substances commercialisables dans l'industrie chimique : acide oxalique ou acide formique. Ce dernier pourrait servir au stockage de l'énergie dans une pile à combustible. ■

### Évaluer les usages énergétiques de la biomasse.

Le projet ANR 2005 Anabio vient d'achever avec succès sa première phase. Impliquant sept partenaires et coordonné par l'IFP, cet ambitieux programme de recherche vise à développer une méthodologie – à l'usage des pouvoirs publics, des collectivités locales et des entreprises – pour évaluer à l'échelle d'une région ou d'un domaine industriel l'intérêt de développer une filière de production d'énergie à partir de biomasse. Au terme de la première année d'activité, cinq thèmes (économique, technique, environnemental, sociétal et risques) ont été retenus. Ils seront testés sur deux premiers cas, courant 2007. ■

Les rendez-vous de l'innovation est une publication de l'IFP.  
Direction de la communication - 1 et 4 avenue de Bois-Préau - 92852 Rueil-Malmaison Cedex - France  
Directeur de la publication : Marco De Michellis  
Abonnement gratuit sur [www.ifp.fr/sciences-actualites/abonnement](http://www.ifp.fr/sciences-actualites/abonnement) - N° ISSN 1779-2622

Pour toute information : Anne-Laure de Marnignan - Tél. : 01 47 52 62 07 - [a-laure.de-marnignan@ifp.fr](mailto:a-laure.de-marnignan@ifp.fr)