

## Dossier

### Suivre une thèse à l'IFP : un label de qualité pour les industriels

*Une double culture académique et technique et l'accès à des moyens exceptionnels*

*(lire pages 2 et 3)*

## 100

Cent, c'est le nombre des diplômés délivrés en 2005 dans le cadre des opérations d'essaimage mises en place par l'École du pétrole et des moteurs, partie intégrante de l'IFP.

Sur un total de 500 élèves diplômés l'année dernière, une centaine ont en effet suivi leur scolarité dans leur pays d'origine. Depuis 2002, l'École offre ainsi chaque année la possibilité à des groupes de 20 ou 30 étudiants étrangers de suivre à demeure certains programmes diplômants.

Ces cursus de seize mois, financés par l'industrie, ont pour objectif de répondre aux demandes d'industriels (entreprises nationales ou filiales de groupes internationaux) à la recherche de jeunes talents. Souvent réalisés en partenariat avec des universités locales, les programmes portent sur l'une ou l'autre des spécialités proposées aux élèves de Rueil-Malmaison : Exploration-Production, Raffinage-Pétro-chimie-Gaz, Moteurs à combustion ou Économie et gestion de l'énergie.

Après l'Algérie, l'Angola, l'Iran et le Nigeria, une nouvelle opération est en démarrage en Malaisie. ■

*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 XXI<sup>e</sup> siècle. ■ [www.ifp.fr](http://www.ifp.fr)*

## Du pétrole au bâtiment

La climatisation de la maison du futur sera-t-elle en partie assurée par des matériaux issus des techniques pétrolières ? L'équipe de Jacques Jarrin, Directeur de la Direction Chimie et Physico-chimie appliquées, vient de mettre au point un isolant utilisé dans les conduites pétrolières marines. Le procédé permet de combattre les chutes de température dans ces conduites en restituant la chaleur emmagasinée pendant les périodes de fonctionnement normal. Installés au fond des mers, les oléoducs où circulent les hydrocarbures chauds baignent dans des eaux à 4 °C. En cas d'arrêt de la production, la température de ces conduites chute rapidement ; un problème grave car le risque est grand que les hydrocarbures produisent en se refroidissant des bouchons de paraffines ou d'hydrates de gaz. D'où l'idée de retarder au maximum cette échéance en apportant

de la chaleur au moment où les conduites refroidissent. C'est dans ce sens qu'ont travaillé les chercheurs de l'IFP en utilisant une propriété générale de la matière : sa capacité à restituer de la chaleur lorsqu'elle passe de l'état liquide à l'état solide. Les scientifiques ont formulé une substance sous forme d'un gel, liquide au contact des hydrocarbures chauds. Ce gel cristallise en dessous d'une température voisine de 23 °C. Ce changement de phase permet une libération de chaleur qui retarde le refroidissement des hydrocarbures. L'arrêt du pompage peut ainsi durer plus de trois jours contre une dizaine d'heures auparavant ! Ce résultat fait l'objet d'une évaluation dans le cadre d'un programme de recherche consacré à la climatisation des bâtiments, financé par l'ADEME et associant notamment le CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment) et l'IFP. ■

## ■ ■ ■ EN BREF

### L'IFP labellisé Carnot

Le "Label Carnot" du Ministère délégué à l'Enseignement supérieur et à la Recherche a été attribué le 16 mars dernier aux activités de recherche de l'IFP relatives à la thématique "Systèmes moteurs-carburants" pour le transport. Remise cette année à 20 groupements de laboratoires de recherche publique s'étant distingués dans leur capacité à diffuser l'innovation scientifique et technique vers l'industrie, la labellisation doit mener à terme à la création de la Fédération Carnot, chargée de faciliter les échanges entre les laboratoires labellisés et les entreprises. ■

### Le gaz naturel sur la ligne de départ

Le gaz naturel est un carburant séduisant pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub> dans les transports. Après le projet Smart Gaz naturel qui a abouti à un premier prototype urbain doté d'un moteur "downsized" (de cylindrée réduite et suralimenté) fonctionnant uniquement grâce au gaz naturel, les chercheurs de l'IFP s'intéressent à la technologie hybride/gaz naturel, encore plus prometteuse. Deux prototypes de véhicule hybride au gaz naturel sont mis au point avec Gaz de France sur bases Smart et Prius GNV, laquelle a participé au dernier Challenge Bibendum. ■

## EN BREF

### Castor capte le CO<sub>2</sub>...

Le 15 mars dernier, les responsables de Castor, projet européen coordonné par l'IFP, ont inauguré leur pilote de captage du CO<sub>2</sub>. Installé sur le site de la centrale au charbon d'Esbjerg (Danemark), cet équipement permet un captage post-combustion du CO<sub>2</sub> dans les fumées de l'usine. Sa capacité est d'une tonne de CO<sub>2</sub> par heure et doit permettre aux chercheurs d'améliorer l'efficacité du procédé afin d'en diviser le coût de moitié. Une première mondiale ! ■

### ... et Picoref le piège !

Stocker dans le sous-sol français le CO<sub>2</sub> rejeté par les grandes installations émettrices ? Les scientifiques et les industriels s'y préparent. Lancé le 7 mars dernier, le projet Picoref (Pilote pour l'injection du CO<sub>2</sub> dans les réservoirs géologiques en France), coordonné par l'IFP avec un financement de l'ANR, vise à définir les sites géologiques français (réservoirs d'hydrocarbures en fin d'exploitation ou aquifères salins profonds) susceptibles d'accueillir des pilotes de stockage de CO<sub>2</sub>. Dans un premier temps, la région du bassin de Paris a été retenue car elle est bien connue sur le plan géologique. ■

### École d'Hiver

Pour sa seconde édition, l'École "Énergies et recherches" a réuni, courant mars 2006 à Fréjus, 70 doctorants venus de toute la France. Organisée conjointement par l'IFP, le CEA, le CNRS, l'ADEME et le Ministère délégué à l'Enseignement supérieur et à la Recherche, cette manifestation, ouverte notamment aux étudiants du Collège doctoral IFP, avait pour objet d'approfondir les connaissances des participants grâce à des cours relatifs à l'énergie.

<http://eer2006.in2p3.fr/> ■

### Mobilité durable

Né de la fusion des pôles Normandy Motor Valley et Vestapolis, le pôle de compétitivité à vocation mondiale Mov'eo a été labellisé le 6 mars dernier. Son enjeu est de taille : maîtriser, dans le respect de l'environnement, l'énergie et la sécurité dans les transports. Un objectif stratégique dans un contexte de hausse continue du prix des hydrocarbures. Associé à 700 entreprises industrielles impliquées dans le pôle et à d'autres centres de recherche, l'IFP mettra à la disposition de Mov'eo ses équipements et son expertise dans le domaine des moteurs. ■

## Dossier

### Suivre une thèse à l'IFP : un label de qualité pour les industriels

**1100 chercheurs et 172 doctorants. Pas de doute, le thésard fait partie de la vie de l'IFP qui pratique depuis des années une politique dynamique en direction des futurs chercheurs. En 2005, ils étaient ainsi 55 à commencer une thèse à l'IFP.**

Dans certains domaines, comme celui de Slavik Kasztelan, Directeur adjoint du Centre de Résultats Raffinage-Pétrochimie, ces étudiants de troisième cycle se sont même rendus indispensables : "Sans les 36 doctorants qui travaillent aux côtés de nos 45 chercheurs permanents, il est certain que la production scientifique et technique du laboratoire de la Direction Catalyse et Séparation ne pourrait être aussi soutenue".

Cependant, pour accueillir un doctorant, fournir un thème de recherche et du matériel ne suffit pas ; encore faut-il que le jeune scientifique soit accompagné au cours de ses travaux. Et que son sujet soit suffisamment porteur pour qu'il puisse s'en servir comme tremplin lorsqu'il commencera sa recherche d'emploi. Aussi, l'IFP a mis en place depuis quelques années un dispositif destiné à faciliter l'intégration et l'accompagnement des jeunes diplômés.

**“ Le doctorant sera doté d'une double culture, à la fois académique et technique, qui contribue à le rendre séduisant aux yeux des industriels ”**

Premier élément de cette politique : le choix du sujet. Le directeur de thèse est habituellement un universitaire ayant une Habilitation à diriger des recherches (HDR). Il travaille en binôme avec un promoteur de l'IFP, lui-même de plus en plus souvent titulaire d'une HDR. Après discussion avec son partenaire universitaire, c'est le promoteur IFP qui propose le thème de la thèse, qui sera examiné par le Conseil scientifique de l'IFP — composé d'éminents spécialistes du monde de la recherche — et soumis à son accord. La thèse s'inscrit ainsi dans un projet intégré au programme de l'IFP, même si elle porte généralement sur de la recherche de base. Elle fait donc le lien entre les questions fondamentales et appliquées. "Le doctorant sera doté d'une double culture, à la fois académique et

technique, qui contribue à le rendre séduisant aux yeux des industriels", juge Xavier Montagne, Chef du Département Carburants, lubrifiants, émissions. Et ce scientifique sait de quoi il parle : dans sa spécialité, aucun étudiant n'est resté sans emploi après sa thèse.

Seconde mesure : une sélection forte et un suivi assidu. Les étudiants candidats à une thèse à l'IFP participent en effet à plusieurs entretiens individuels, dont le dernier se déroule devant un jury comprenant le directeur universitaire et des représentants de la Direction scientifique de l'IFP. Une fois embauché (le plus souvent dans le cadre d'un contrat CIFRE), le thésard n'est pas pour autant livré à lui-même : il reste en contact tout au long de ses trois ans de doctorat avec des membres du Conseil scientifique de l'IFP.

Enfin, l'IFP dispose depuis sept ans d'un collège doctoral particulièrement actif. "Il s'agit de doter les étudiants d'une culture pétrolière qui viendra s'ajouter à ce qu'ils ont appris au cours de leur thèse", explique Hervé Toulhoat, Directeur des formations doctorales et Adjoint au Directeur scientifique. Ainsi, des stages d'une durée d'une semaine par an sont proposés, à choisir parmi cinq thèmes : brut-raffinage-produits, exploration-gisements, forage-production, moteurs-lubrifiants-carburants et économie pétrolière. À ceci s'ajoute un cycle de 12 conférences de haut niveau sur des questions relatives à l'énergie et au développement durable. Le futur docteur peut également, s'il le désire, bénéficier d'une formation à la recherche d'emploi en troisième année, participer au Forum rencontres-entreprises organisé par l'École du pétrole et des moteurs, ou encore faire appel au réseau des anciens docteurs de l'IFP<sup>(1)</sup>. Enfin, le thésard gagnera en reconnaissance s'il est lauréat du Prix de thèse IFP. Rebaptisé l'année dernière Prix Yves Chauvin et remis par le nouveau prix Nobel de Chimie, il récompense tous les ans à hauteur de 2 000 euros la meilleure des thèses préparées à l'IFP.

<sup>1</sup> <http://www.adifp.net/>



## Des laboratoires de l'IFP au monde industriel : exemple d'un parcours réussi

*Juliette Beaulieu a préparé sa thèse à l'IFP entre 2000 et 2003.*

*Aujourd'hui ingénieur de recherche chez Renault, elle revient sur cette expérience.*

### **Comment en êtes-vous venue à faire une thèse à l'IFP ?**

Dans le cadre de ma cinquième année à l'INSA (Institut national des sciences appliquées) de Rouen, j'ai suivi un DEA dont le stage s'est déroulé à l'IFP. C'est à son issue que le sujet de doctorat m'a été proposé.

Il s'agissait d'étudier une famille de composés présents dans un gazole et de quantifier leur impact sur la formation de particules. La proximité du thème avec celui de mon stage ainsi que la connaissance préalable de l'équipe m'ont convaincue de poursuivre ce travail à l'IFP.

J'ai donc entamé une thèse cofinancée IFP-ADEME, placée sous la tutelle du Laboratoire de combustion et systèmes réactifs (LCSR) de l'université d'Orléans. L'équipe IFP Carburants, lubrifiants, moteurs à Rueil-Malmaison, et plus particulièrement Xavier Montagne, ont encadré ce travail.

### **Que vous a apporté ce passage par l'IFP ?**

Lorsqu'on effectue une thèse à l'IFP, on est entouré de gens qui connaissent parfaitement le milieu industriel, en raison des partenariats multiples mis en place entre l'organisme et les acteurs majeurs du monde automobile et pétrolier. On n'est donc pas limité à une approche académique du sujet. On dispose également de moyens exceptionnels. Dans mon domaine, l'accès aux bancs d'essais (bancs moteurs, bancs à rouleaux, etc.) était un avantage non négligeable compte tenu des difficultés de mise en œuvre qui peuvent intervenir au cours d'une thèse. Il est probable qu'à l'université il aurait été plus difficile de disposer d'un tel matériel.

### **Que pensez-vous de la formation doctorale dispensée à l'IFP ?**

Faire une thèse est assez prenant. Le Collège doctoral de l'IFP offre la possibilité de prendre du recul ; ses formations préparent efficacement à l'après-doctorat. Cela permet à l'étu-

diant de mieux définir ses souhaits, d'apprendre comment et où chercher un emploi. Et de se faire une meilleure idée de la partie de la thèse qu'il a intérêt à valoriser auprès des industriels.

### **Comment votre thèse a-t-elle été appréciée par l'industrie ?**

J'ai fait une thèse sur les moteurs et je suis actuellement chez Renault. Je suis donc restée dans le milieu de l'automobile. D'ailleurs lorsque j'ai été embauchée, l'équipe dans laquelle je suis entrée chez Renault ne recherchait pas particulièrement un doctorant, mais le fait que j'ai fait ma thèse à l'IFP a été un plus. L'aspect appliqué a été l'argument le plus vendeur de cette expérience professionnelle de trois ans. Je pense que si je n'avais pas fait ma thèse à l'IFP, je n'aurais peut-être pas été embauchée pour le poste que j'occupe actuellement. ■

## ■ ■ ■ ZOOM

### **L'amine lave le gaz plus propre**

Réduire plus efficacement l'acidité des gaz : l'IFP y travaille. Sur le site d'IFP-Lyon des scientifiques cherchent à améliorer les techniques de lavage aux amines aujourd'hui utilisées par les industriels. Julia Magné-Drisch, responsable du projet Traitement de gaz, indique que ces nouveaux procédés sont plus performants, moins coûteux et peuvent être sélectifs.

Même les non-spécialistes s'en doutent : le gaz naturel issu d'un gisement n'est jamais pur. En dehors du méthane, les fluides produits contiennent des produits acides : 5 % d'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S) et 15 % de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) par exemple. Comment s'en débarrasser ? En pratique, les exploitants procèdent à un lavage du gaz brut en le faisant circuler sur les plateaux d'une colonne où il traverse un liquide chargé d'absorber les produits indésirables : un solvant riche en molécules azotées basiques appartenant à la famille des amines.

Bien que répondant largement aux besoins actuels, l'efficacité de ce lavage peut quelquefois être insuffisante pour respecter les normes sur l'H<sub>2</sub>S et coller aux contraintes des gaziers sur les émissions de soufre total. De plus, le traitement classique permet de ramener la teneur en CO<sub>2</sub> du gaz à 2 % alors que certaines applications nécessitent des valeurs de moins de 0,005 %. Il faut ajouter que les fluides très acides seront les ressources à exploiter dans le futur et qu'ils doivent faire l'objet de traitements particuliers.

Les chercheurs de l'IFP se sont attaqués à ces obstacles. Pour prendre en compte les fortes acidités, l'IFP a développé le procédé Sprex® qui, associé à la technologie classique de lavage, permet de gagner en efficacité et diminue le coût global de l'opération. Dans le cadre d'un accord signé en 2003 entre Total et l'IFP, des travaux ont également repris sur le développement des techniques de lavage aux amines initialement brevetées par Elf. Les travaux des scientifiques ont notamment

porté sur les phénomènes mis en jeu lorsque les composés acides sont absorbés par les amines dans la colonne de lavage. Le résultat de ces recherches leur permet aujourd'hui de proposer aux industriels non seulement des modèles pour calculer la géométrie de colonne la plus efficace pour traiter le gaz naturel qu'ils souhaitent exploiter, mais également de choisir le solvant répondant spécifiquement à leurs besoins. C'est ainsi qu'en fonction du type d'amine utilisée, il est possible de débarrasser le gaz brut sélectivement de l'hydrogène sulfuré et/ou du CO<sub>2</sub>. Ou au contraire, d'en retirer un troisième composé susceptible de rejeter du soufre dans l'atmosphère : le sulfure de carbone (COS).

Des solutions aujourd'hui commercialisées, qui pourraient à terme avoir des retombées dans un tout autre domaine que celui de l'exploitation : la séparation du CO<sub>2</sub> des fumées de combustion visant à stocker ce gaz par réinjection dans le sous-sol. ■

## AGENDA

### Rencontres scientifiques de l'IFP

Rueil, 2 et 3 octobre 2006

*New Trends on Engine Control Simulation and Modelling*

Contact : [bettina.caruso@ifp.fr](mailto:bettina.caruso@ifp.fr)

### Fête de la Science

Paris, 9 au 15 octobre 2006

Participation de l'IFP à la 15<sup>ème</sup> édition de la Fête de la Science

Contact : [a-laure.de-marignan@ifp.fr](mailto:a-laure.de-marignan@ifp.fr)

### Pollutec

Lyon, 28 novembre au 1<sup>er</sup> décembre 2006

L'IFP au salon Pollutec 2006.

Contact : [martine.briard@ifp.fr](mailto:martine.briard@ifp.fr)

## PUBLICATIONS

### Les pics pétrolier et gazier : enjeux et conséquences

Le 11 mai dernier, l'Association des techniciens et professionnels du pétrole (AFTP), le Conseil français de l'énergie (CFE) et l'IFP ont organisé une conférence sur le niveau des réserves mondiales et les conséquences des pics pétrolier et gazier.

Compte-rendu disponible : <http://www.ifp.fr>

Rubrique : Dossier - Les Réserves

### L'énergie, à quel prix ? Les marchés de l'énergie

Éditions Technip (206 pages)

Auteur : Jean-Pierre Favennec

Contact : [www.editionstechnip.com](http://www.editionstechnip.com)

### Numéro spécial - Évolutions et contrôle des systèmes de combustion

OGST (Oil and Gas Science and Technology)

- La revue de l'IFP - N°1/2006

<http://ogst.ifp.fr/>

### Numéro spécial : Énergie - Environnement - Économie et Thermodynamique

OGST (Oil and Gas Science and Technology)

- La revue de l'IFP - N°2/2006

<http://ogst.ifp.fr/>

## ZOOM

### Hydrogène : et si les voitures roulaient d'abord à l'Hythane...

L'hydrogène, carburant propre par excellence pour les transports routiers – sa combustion ne rejette pas de gaz à effet de serre – est un vecteur énergétique alternatif de choix. Mais cette "économie de l'hydrogène" qui pourrait succéder à l'ère du pétrole mettra plusieurs dizaines d'années à se mettre en place.

Des centaines de milliards d'euros d'investissements seront nécessaires pour pouvoir produire proprement ce gaz qui n'existe pas à l'état naturel, installer les nouveaux réseaux pour le transporter, le stocker de façon sécurisée dans des stations-service puis dans les réservoirs des véhicules et, bien sûr préalablement à cela, concevoir des moteurs *ad hoc*, à piles à combustible ou à combustion interne.

Dès lors, des solutions transitoires sont envisagées, comme l'utilisation de l'hydrogène dilué dans du gaz naturel, un mélange baptisé Hythane (jusqu'à 20 % d'hydrogène et 80 % de gaz naturel). Ce mélange constitue d'ores et déjà une solution pour réduire les émissions de gaz à effet de serre par rapport au gaz naturel pur et, en quelque sorte, pour "amorcer la pompe" à moindre coût. Le système permet en effet d'utiliser les canalisations existantes du réseau de transport et de distribution du gaz naturel et de limiter les évolutions des véhicules à une adaptation des moteurs actuels fonctionnant au gaz naturel. Autre avantage : l'Hythane est stocké à bord de façon classique sous forme de gaz comprimé à 250 bar (pour l'hydrogène pur, les industriels visent 700 bar).

Reste qu'il faut résoudre les difficultés technologiques liées au transport et à la distribution du carburant, un enjeu majeur pour garantir le succès de l'Hythane. Le sujet est au cœur de recherches tant au niveau natio-

nal (plan d'action PAN-H financé par l'ANR<sup>1</sup>) qu'à l'échelle européenne (projet NaturalHy dont l'IFP est partenaire). Les canalisations de gaz naturel sont de gros tubes en acier où le gaz circule à environ 80 bar. Ils pourraient accepter jusqu'à 20 % d'hydrogène mais, au-delà, les coûts liés à la recompression du mélange deviendraient prohibitifs.

L'hydrogène est en effet trois fois moins énergétique que le gaz naturel. Pour combler cet écart, il faut donc un débit trois fois plus important. À cette fin, on peut soit augmenter la pression – solution très coûteuse –, soit améliorer la vitesse dans les conduites en réduisant les phénomènes de frottement (dits "pertes de charge"). L'IFP étudie ces frottements afin de mieux les caractériser et de proposer des revêtements de canalisation susceptibles de les diminuer.

D'autres sujets de recherche sont à l'étude, parmi lesquels la fragilisation des aciers

“ Ce mélange constitue d'ores et déjà une solution pour réduire les émissions de gaz à effet de serre ”

des conduites de transport de gaz en présence d'hydrogène et la perméabilité à l'hydrogène des réseaux de distribution

en polymère qui acheminent le gaz jusqu'au consommateur. Il s'agit de proposer des solutions économiques et d'évaluer le coût de déploiement de ces réseaux du futur.

Les premières expérimentations d'utilisation de l'Hythane ont eu lieu en 1996 à Montréal puis aux États-Unis, au Canada et en Suède. En France, deux opérations pilotes sont prévues à Toulouse et Dunkerque dans le cadre du projet Alt-hy-tude (projet Predit<sup>2</sup>) : trois bus seront mis en service entre juin 2006 et 2007. ■

<sup>1</sup> Agence nationale de la recherche.

<sup>2</sup> Programme national de recherche et d'innovation dans les transports terrestres

■ ■ ■ Pour toute information :

Anne-Laure de Marignan ■ Tél. : 01 47 52 62 07 ■ [a-laure.de-marignan@ifp.fr](mailto:a-laure.de-marignan@ifp.fr)



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 Michelis

abonnement gratuit sur [www.ifp.fr/sciences-actualites/abonnement](http://www.ifp.fr/sciences-actualites/abonnement) ■ N° ISSN en cours