



Science@ifpen

N° 21 - Juin 2015

NUMÉRO SPÉCIAL
Technologies
bas carbone



PARIS2015
UN CLIMATE CHANGE CONFERENCE
COP21-CMP11

IFPEN,
des innovations
pour relever
les défis
du changement
climatique



Les émissions toujours croissantes de gaz à effet de serre réduisent de manière rapide la marge d'action dont dispose l'humanité pour faire face au changement climatique. Le dernier rapport du GIEC indique qu'une stabilisation sous la barre des 2 °C de réchauffement global de la planète (comparés aux valeurs préindustrielles) nécessite de réduire les émissions de 40 à 70 % d'ici à 2050, afin d'atteindre avant la fin du siècle un état où toutes les émissions seront compensées par des techniques de capture et séquestration du carbone. Il s'agit là d'un effort absolument énorme, dont l'importance a sans doute été insuffisamment relevée.

Mettre fin à un gaspillage d'énergie qui reste important, tout en faisant croître la part des énergies renouvelables, peut aider à initier une diminution des émissions de gaz à effet de serre durant les prochaines décennies. Mais en milieu de siècle, le plus facile aura été fait et pour poursuivre efficacement l'effort initié, il faudra s'appuyer sur des solutions énergétiques innovantes. Les incitations financières liées au prix du carbone ne peuvent suffire à faire surgir des technologies et des procédés nouveaux : un effort de recherche important est également nécessaire, et ce, dès maintenant.

Hervé Le Treut
Directeur de l'Institut Pierre-Simon Laplace
(Université Pierre et Marie Curie)
Membre de l'Académie des sciences

Les éoliennes sous contrôle avancé

Un des enjeux majeurs du développement de la filière éolienne est la réduction du coût de l'énergie produite. La mise en œuvre de systèmes de contrôle avancé constitue un des leviers pour optimiser la performance des éoliennes et générer des gains de production.

Le déploiement de capteurs, tels que les Lidar (*Light detection and ranging*), permettant de mesurer les variations de la vitesse du vent avant qu'il n'atteigne l'éolienne, est une avancée importante. Pour faire de ces systèmes des éléments de contrôle avancé, il reste d'une part à tirer de la mesure une estimation du vent qui arrive réellement sur le rotor, et d'autre part, à savoir utiliser cette information pour contrôler l'éolienne⁽¹⁾.

Un premier logiciel développé par IFPEN fournit une estimation en temps réel du champ de vent qui atteint les pales, à partir des mesures effectuées en amont. Il permet de faire le lien entre les données fournies par le capteur et l'information utile pour le système de commande de l'éolienne.

Un deuxième logiciel concerne les stratégies programmées de commande d'orientation des pales. Ces stratégies se décomposent en trois niveaux séquentiels, chacun agissant sur la stabilité et la sollicitation mécanique d'un composant de l'éolienne (rotor, mât, pales).

Au final, l'ensemble permet de faire le lien complet entre la réponse brute

du capteur et le fonctionnement de l'éolienne, conduisant à réduire les efforts mécaniques dus au vent⁽²⁾. Ceci permet de limiter la maintenance et d'augmenter la durée de vie des systèmes, d'où un effet bénéfique sur le coût de l'énergie.

À court terme, cette innovation sera testée en grandeur nature sur deux sites d'essais situés en France (projet ANR SmartEole) et au Canada, afin de consolider expérimentalement, et dans la durée, l'ensemble de ces développements. ■



Capteur Lidar sur une nacelle : Wind Iris d'Avent Lidar Technology.

(1) J. Chauvin and Y. Creff, Nonlinear two-stage control strategy of a wind turbine for mechanical load and extreme moment reduction. OMAE 2011.

(2) B. Bayon and J. Chauvin, Investigating Lidar sensing errors for wind turbine loads reduction. OMAE 2014.

Contact scientifique :
jonathan.chauvin@ifpen.fr

IFP Energies nouvelles est un acteur public de la recherche et de la formation. Son champ d'action est international et couvre les domaines de l'énergie, du transport et de l'environnement. De la recherche à l'industrie, l'innovation technologique est au cœur de son action.

L'environnement épargné pour bonne conduite

Pour réduire la consommation, et donc les émissions de CO₂ des véhicules routiers, une des méthodes consiste à adopter des modes de conduite les moins énergivores possibles.

La pleine exploitation du potentiel de l'écoconduite, par rapport à l'application de préconisations simples, passe par l'optimisation des actions du conducteur. Cela signifie la résolution en ligne d'un problème mathématique, ce qui s'avère une tâche complexe du fait des ressources de calcul limitées qui sont communément embarquées à bord d'un véhicule (ex. smartphone).

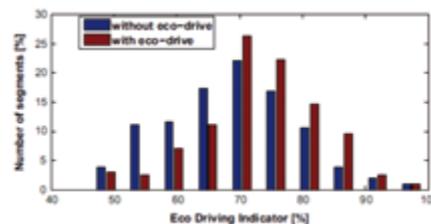
Pour contourner cet obstacle, IFPEN a développé des méthodes semi-analytiques qui permettent le calcul des profils de vitesse optimaux, sans modifier le trajet ni le temps de parcours. Elles utilisent des modèles simplifiés du véhicule et de son système de propulsion. Ces méthodes ont été appliquées à des véhicules électriques et thermiques. Aujourd'hui, les algorithmes correspondants sont implémentés dans

le logiciel de qualification de la conduite en temps réel GECO™, proposé par IFPEN au grand public sous forme d'une application smartphone gratuite (www.geco-drive.fr).

Les résultats des campagnes de test préliminaires de GECO™, ainsi que les données relatives à l'utilisation de ce service par le grand public (cf. figure), montrent des réductions sensibles de la consommation énergétique, sans affecter les temps de parcours.

Des travaux en cours visent à élargir le service proposé en intégrant une fonction *éco-routing* (sélection du meilleur itinéraire) utilisant des cartographies énergétiques, du contrôle coopératif multi-agents ainsi que du dialogue avec l'infrastructure routière.

Ces algorithmes, opérés à distance sur serveur, sont la base de nouveaux services web autour de l'efficacité énergétique dans les transports. ■



Effet de l'utilisation d'un optimiseur de conduite en ligne pour plusieurs segments de route.

[1] W. Dib, A. Chasse, P. Moulin, A. Sciarretta, G. Corde, *Control Engineering Practice*, 2014, 29, 299-307.
DOI : 10.1016/j.conengprac.2014.01.005

[2] W. Dib, A. Chasse, D. Di Domenico, P. Moulin, A. Sciarretta, *OGST - Revue d'IFP Energies nouvelles*, 67(4), 589-600.
DOI : 10.2516/ogst/2012023

Contact scientifique :
antonio.sciarretta@ifpen.fr

H₂ : du vecteur énergétique vers l'énergie primaire ?

L'hydrogène pourrait-il être une des sources d'énergie propre et durable de l'avenir ? Aujourd'hui, le di-hydrogène (H₂) n'est qu'un produit intermédiaire, obtenu essentiellement par réformage des hydrocarbures, et utilisé principalement pour la chimie. C'est par ailleurs un vecteur énergétique de plus en plus envisagé pour certains usages (transport, stockage des énergies renouvelables intermittentes) mais pour lesquels il conserve un coût élevé, y compris au plan environnemental.

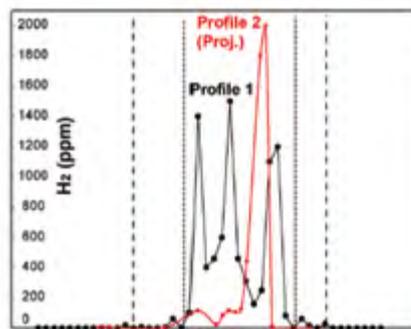
Qu'en serait-il si H₂ existait à l'état naturel sous une forme exploitable ? S'il était une source d'énergie primaire à l'image des hydrocarbures ? Cela constituerait un réel changement de paradigme !

H₂ était considéré, jusqu'à très récemment, comme inexistant à l'état natif, en raison des conditions oxydantes régnant sur les enveloppes superficielles de la planète. Les exceptions confirmant la règle, des conditions géologiques particulières existent où le contact avec de l'eau météorique de roches présentant des éléments réducteurs, principalement le fer ferreux, produit du H₂ natif. Ces

environnements sont inaccessibles (dorsales médio-océaniques) ou peu représentés (massifs terrestres de péridotite).

La découverte en Russie occidentale, au centre du craton Volga-Oural, de dépressions circulaires émettant du di-hydrogène vient nourrir l'espoir d'un H₂ natif dont l'intérêt économique pourrait être avéré^[1]. Les cratons sont la partie ancienne et stable de la lithosphère continentale, situés au centre des continents, et représentent plus de 50 % de la surface terrestre : une mine ! H₂ a aussi été détecté au cœur d'autres cratons, en Amérique du Nord et du Sud, ainsi qu'en Afrique.

Les recherches d'IFPEN sur ce sujet se concentrent aujourd'hui sur les mécanismes de production et de transport de ce gaz^[2], afin d'évaluer comment cette ressource pourrait participer au mix énergétique du futur. ■



Profil de concentration de l'H₂ du sol. Lac de Podovoye, Russie.

[1] N. Larin, V. Zgonnik, S. Rodina, E. Deville, A. Prinzhofer and V.N. Larin, *Natural Resources Research*, 2015.
DOI : 10.1007/s11053-014-9257-5

[2] J. Guelard, Origine et dynamique des flux d'hydrogène en milieu continental: système roche/eau/gaz. Exemple du Kansas. *Travail de doctorat en cours*.

Contacts scientifiques :
valerie.beaumont@ifpen.fr
eric.deville@ifpen.fr

Biocarburants : quoi de neuf ?

Dans la recherche d'alternatives durables aux carburants d'origine fossile, l'utilisation de la biomasse lignocellulosique est une stratégie prometteuse qui valorise une ressource non alimentaire.

Dans le cadre de la production de biocarburants et bioproduits, une première étape consiste à obtenir le sorbitol, sucre-alcool du glucose, par hydrolyse/hydrogénation de la cellulose. Ensuite, le sorbitol est transformé en alcanes légers, par catalyse hétérogène en phase aqueuse.

Le système catalytique de référence pour cette réaction, à base de nanoparticules de platine déposées sur un support acide de type silice-alumine, présente un manque de stabilité et d'activité. Un autre problème concerne la production non souhaitée d'une multitude de produits autres que ceux recherchés.

La recherche de catalyseurs améliorés par IFPEN a conduit à la mise en œuvre originale d'une réaction modèle – la déshydratation du cyclohexanol – pour comparer l'acidité en phase aqueuse de

divers oxydes. Ainsi, des solides à base d'oxyde de titane dopés avec du tungstène se sont révélés particulièrement stables et actifs. En les associant avec du platine, identifié comme la phase métallique la plus performante, on obtient des catalyseurs qui améliorent la sélectivité en alcanes C_3/C_4 à partir du sorbitol^[1].

Un schéma réactionnel général permettant d'expliquer la formation des divers produits intermédiaires observés sur ce nouveau catalyseur a par ailleurs été proposé^[2].

Les rendements finaux en alcanes obtenus étant encore insuffisants à ce stade pour une application industrielle, une amélioration est recherchée par l'ajout de promoteurs métalliques. En parallèle, les méthodologies développées sont d'ores et déjà utilisées dans d'autres projets visant la conversion de biomasse en bioproduits. ■

Contact scientifique :
amandine.cabiac@ifpen.fr

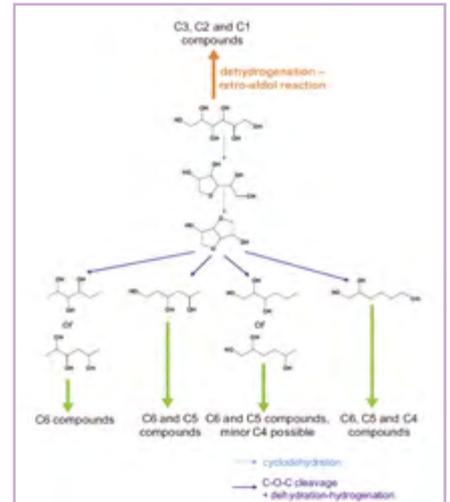


Schéma réactionnel général pour la transformation du sorbitol sur catalyseur Pt/ZrO₂+TiO₂-WO_x.

[1] L. Vilcocq, R. Koerin, A. Cabiac, C. Espedel, S. Lacombe, D. Duprez, *Appl. Catal. B-Environ.*, 2014, 148, 499.
DOI : 10.1016/j.apcatb.2013.11.016

[2] L. Vilcocq, R. Koerin, A. Cabiac, C. Espedel, S. Lacombe, D. Duprez, *Appl. Catal. B-Environ.*, 2014, 148, 499.
DOI : 10.1016/j.apcatb.2013.11.016

Cliquetis des moteurs : l'auto-inflammation mise en LES

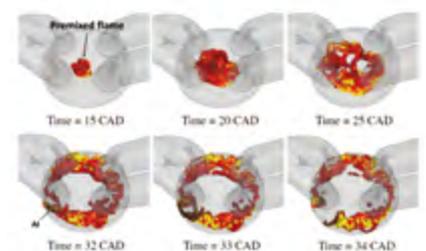
Une solution envisagée pour respecter les normes sur les émissions de polluants des moteurs thermiques à essence, tout en diminuant leur consommation et en améliorant leurs performances, est le *downsizing*. Cette technologie, qui combine la diminution de la cylindrée avec l'ajout d'une suralimentation en air élevée, permet d'augmenter le rendement et de réduire les émissions de CO₂.

Cependant, les conditions thermodynamiques plus sévères rencontrées dans ces moteurs favorisent l'apparition de combustions anormales (cliquetis et super-cliquetis). Ces dernières, dues à des zones d'auto-inflammation de gaz frais en amont du front de flamme, génèrent des risques graves de casse mécanique et rendent d'autant plus difficile leur étude expérimentale.

IFPEN a récemment étudié ce phénomène par simulation numérique^[1,2] au moyen du code 3D AVBP¹, développé en partenariat avec le Cerfacs². Ces travaux ont montré la représentativité de cette simulation par

rapport à des résultats expérimentaux également obtenus à IFPEN, aussi bien en termes de variabilité « cycle à cycle » qu'en termes de fréquence du cliquetis, de son intensité et de son instant d'apparition dans le cycle.

De plus, la simulation LES permet d'analyser en détail les phénomènes physiques se déroulant dans la chambre de combustion. Il est ainsi possible de localiser les principales zones de déclenchement de l'auto-inflammation. Elle permet aussi de suivre, pour chaque cycle moteur et à chaque instant, la position de la flamme et celle de l'auto-inflammation non contrôlée (cf. figure). La mise en place d'une transition vers la détonation a ainsi pu être confirmée durant certains cycles et semble être la cause des très fortes intensités de cliquetis, souvent destructrices. La LES se révèle un outil puissant pour aider les motoristes à mieux comprendre les phénomènes dans les chambres de combustion, en vue d'améliorer leurs produits. ■



Localisation de la flamme (rouge) et de l'auto-inflammation (noir) au cours d'un cycle moteur.

1 - Code de calcul par simulation aux grandes échelles (LES)
2 - Centre européen de recherche et de formation avancée en calcul scientifique

[1] A. Robert, S. Richard, O. Colin, L. Martinez, L. De Francqueville, *Proc. Combust. Inst.*, 2014, 35 (3), 2941-2948.
DOI : 10.1016/j.proci.2014.05.154

[2] A. Robert, S. Richard, O. Colin, T. Poinot, *Combustion And Flame*, In press, 2015.

Contact scientifique :
anthony.robert@ifpen.fr

Une plateforme d'optimisation des écosystèmes industriels

Réduire la consommation énergétique du secteur industriel est facteur de gains en compétitivité mais aussi de réduction de son impact environnemental. Les approches d'optimisation énergétique intégratives et multi-échelles permettent d'aller plus loin que des interventions juxtaposées sur un ou plusieurs composant(s) du système concerné.

Les méthodologies et outils de conception classiques fonctionnent à l'échelle du procédé. Toutefois, à l'échelle de l'usine et plus encore du territoire industriel, le système devient si complexe qu'ils trouvent leurs limites.

Ce constat fait par l'alliance Ancre¹ a conduit IFPEN à coordonner un programme de R&I visant à concevoir et développer un outil numérique d'optimisation des flux « énergies et matières » à l'échelle de l'usine et du territoire : Plate-form(E)3.

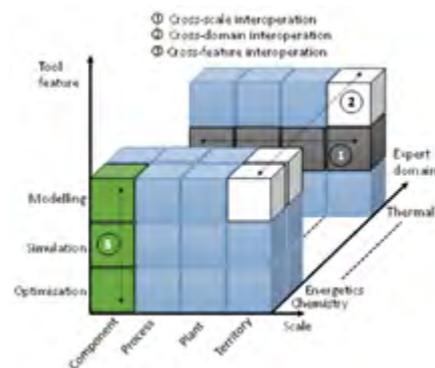
Un prototype de cet outil est en cours de développement avec le soutien de l'ANR⁽¹⁾. IFPEN, coordinateur du projet, intervient dans la définition de l'architecture globale

du système, la modélisation des données d'entrée et l'intégration des différents éléments.

L'outil d'aide à la conception et à la décision Plate-form(E)3 permettra à terme de modéliser d'un point de vue énergétique, aux différentes échelles, les entités recensées ou planifiées, puis de minimiser globalement les coûts et les impacts environnementaux tout en satisfaisant les besoins en matières. L'outil combinera un moteur de simulation et d'optimisation avec un environnement graphique de création, d'édition des projets et d'analyse des résultats. Il assurera également l'interopérabilité avec les simulateurs de procédés industriels du marché⁽²⁾.

Cette plateforme sera utilisée par des acteurs industriels, des bureaux d'études mais aussi par des collectivités, dans un contexte d'aménagement du territoire et d'écologie industrielle. ■

1 - Alliance nationale de coordination de la recherche pour l'énergie



Représentation des interopérabilités prises en compte dans la plateforme.

(1) A. Aubry, J. Noel, D. Rahon, H. Panetto, Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2013, 8186, 57-61.

(2) E. Lemaire, D. Rahon, Y. Creff, A. Gomez. Congrès de la SFGP 2013.

Contact scientifique :
eric.lemaire@ifpen.fr

Nomination

Didier Houssin a succédé à Olivier Appert comme Président d'IFPEN le 8 avril 2015. Diplômé de l'IEP de Paris (1977) et de l'ENA (1983), il a exercé des fonctions internationales au ministère de l'Industrie de 1983 à 1987, puis a été détaché auprès de Total jusqu'en 1990. Il a été ensuite sous-directeur des Affaires économiques et financières au ministère de l'Industrie puis directeur des Ressources énergétiques et minérales de 1997 à 2004, avant de devenir directeur général délégué du BRGM. De 2007 à 2012, il était directeur des Marchés et de la Sécurité énergétiques à l'AIE. Depuis décembre 2012, il était directeur des Politiques et des Technologies énergétiques durables à l'AIE.

HDR

• **Fadi Nader**, HDR de l'université Pierre et Marie Curie (Paris VI), pour ses travaux sur la diagenèse multi-échelle et ses impacts sur les hétérogénéités des roches réservoirs (19 mars 2015).

Récompenses

• **Alain Méthivier** a fait partie des trois finalistes du prix Marius Lavet pour ses travaux sur le développement de l'adsorbant et du procédé Eluxyl entre 1992 et 2014. Il a travaillé sur ce projet successivement comme ingénieur de recherche, puis chef de projet, et enfin comme chef de département. Ce prix récompense un ingénieur au parcours remarquable. (23 mars 2015)

• **Claire Derlot**, doctorante au sein du département Biotechnologie, a reçu le prix du meilleur poster au 37th Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals de San Diego (États-Unis). Elle y présentait ses travaux de thèse sur l'ingénierie de gènes permettant la régulation de la production des enzymes utilisées pour la décomposition de la biomasse. (avril 2015)

• **Cécile Plennevaux**, ancienne doctorante IFPEN, a reçu le diplôme d'honneur du Cefracor 2014 (Centre français de la corrosion et de l'anticorrosion), pour son travail de thèse intitulé « Étude des risques de corrosion et de rupture différée des aciers en présence d'H₂S dans les conditions d'exploration de pétrole et de gaz à haute pression et haute température ». (8 juin 2015)

Prochains événements scientifiques

- Les Rencontres scientifiques d'IFP Energies nouvelles – **Microfluidics** – 4-5 novembre 2015, IFPEN Rueil-Malmaison - www.rs-microfluidics2015.com
- Les Rencontres scientifiques d'IFP Energies nouvelles – **SimRace** – 8-10 décembre 2015, IFPEN Rueil-Malmaison - www.rs-simrace.com

Publication

- OGST – Revue d'IFP Energies nouvelles – Numéro 2, volume 70 (2015). Numéro consacré aux interactions fluides-polymères : perméabilité, durabilité (<http://ogst.ifpenergiesnouvelles.fr>).

Directeur de la publication : Marco De Michelis
Rédacteur en chef : Éric Heintzé
Comité éditorial : Xavier Longaygue, Laurent Forti, Françoise Brucy
Conception graphique : Esquif
N° ISSN : 1957-3537

Pour prendre contact avec IFP Energies nouvelles ou pour recevoir Science@ifpen :

Direction des Relations Institutionnelles et de la Communication

Tél. : +33 1 47 52 51 34 - Science@ifpen.fr

1 et 4, avenue de Bois-Préau - 92852 Rueil-Malmaison Cedex - France

Contact presse : A.-L. de Marignan - Tél. : 01 47 52 62 07 – Contact institutionnel : A. Sanière - Tél. : 01 47 52 69 19

Science@ifpen Numéro 21 • Juin 2015

www.ifpenergiesnouvelles.fr

