



Science@ifpen

N° 8 - Novembre 2011



La lettre Science@ifpen permet à la communauté scientifique d'avoir accès à une sélection des résultats obtenus

et publiés au meilleur niveau par nos chercheurs. Depuis quelques années, afin de mieux valoriser son excellence scientifique, IFP Energies nouvelles (IFPEN) a mis en place une filière d'expertise R&D, qui regroupe aujourd'hui une quinzaine d'experts et directeurs experts. Nous souhaitons vous proposer régulièrement des numéros de Science@ifpen consacrés aux travaux de notre communauté d'experts.

C'est le cas de ce numéro 8, où vous découvrirez des sujets aussi variés que la modélisation pour une meilleure vision du comportement des zones de piémont, les résultats de la mise en œuvre de techniques d'éco-conduite appliquées à la voiture électrique, ou encore le développement de méthodes innovantes de suivi de la corrosion.

Nous sommes heureux de pouvoir vous donner un aperçu de cette diversité et nous vous souhaitons bonne lecture.

Xavier Montagne,
Directeur adjoint de la direction scientifique

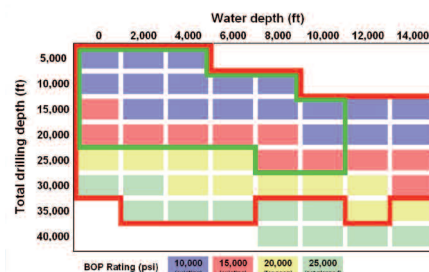
Plongée en profondeur pour les risers

Le riser est un composant clé du système de forage en mer, qui établit une liaison entre le support flottant et la tête de puits. Il est constitué d'un faisceau de tubes comportant une conduite principale prolongeant le puits et 5 lignes de sécurité et de service, intégrés en éléments de 23 m et assemblés les uns aux autres. Ce dispositif a montré son efficacité jusqu'à 3 000 m de profondeur d'eau. Le riser est soit connecté à la tête de puits pendant la production, soit non connecté lorsqu'il est manipulé. Or ces deux situations sont antagonistes, et le dimensionnement du riser doit les prendre en compte. On montre en effet que le poids nécessaire du riser pour assurer sa stabilité quand il est libre en pied devient un lourd handicap quand il est connecté. Cette difficulté peut être surmontée en intégrant les lignes périphériques de manière hyperstatique, c'est-à-dire en liant rigidement leurs extrémités au tube principal. Le partage des efforts qui s'ensuit entre les tubes permet un allègement important de l'ensemble et confère au riser une grande raideur axiale, bénéfique à son comportement dynamique.

Une étude paramétrique a permis de quantifier ces effets et d'évaluer l'élargissement du domaine opérationnel du riser en termes de profondeur d'eau et de

forage. On estime notamment que le nouveau concept permettrait d'atteindre une profondeur d'eau de 4 200 m.

La technologie du riser hyperstatique, brevetée par IFPEN, est en cours de développement. L'étude de conception détaillée du riser a été réalisée pour répondre à un cahier des charges particulier et un programme d'essais de qualification de prototypes est prévu. ■



Accroissement du domaine opérationnel des risers exploitant l'intégration hyperstatique. Le domaine en vert est celui des risers conventionnels, en rouge celui des hyperstatiques.

E. Persent, J. Guesnon, S. Heitz and D. Averbuch, New Riser Design and Technologies for Greater Water Depth and Deeper Drilling Operations, Paper SPE/IADC 119519 (2009)

J. Guesnon, C. Gaillard, Method of dimensioning a drilling riser, US Patent 7,630,866 (2009)

Contacts :

jean.guesnon@ifpen.fr (Directeur Expert)
emmanuel.persent@ifpen.fr

IFP Energies nouvelles est un organisme public de recherche, d'innovation et de formation dont la mission est de développer des technologies performantes, économiques, propres et durables dans les domaines de l'énergie, du transport et de l'environnement.



Les zones de piémont livrent leurs secrets

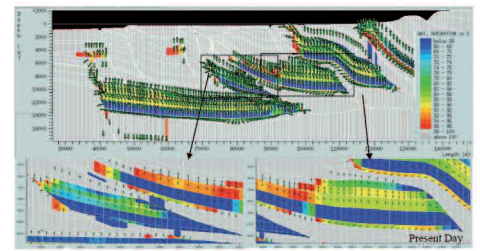
Les techniques d'acquisition et de traitement en 2D et 3D de la sismique par réflexion permettent aujourd'hui d'optimiser l'imagerie, verrou essentiel pour l'exploration des zones de piémont.

Depuis une vingtaine d'années, IFPEN développe des outils de simulation des systèmes pétroliers en zones tectoniquement complexes. Les outils de modélisation cinématique 2D (Thrustpack et Ceres) ont été développés pour simuler la mise en place progressive d'un prisme tectonique. La prise en compte en 2D par Ceres des processus de compaction, d'expulsion et de migration des hydrocarbures, permet aujourd'hui de comprendre la distribution des surpressions et prédire la charge des prospectus sur des transects régionaux aussi complexes que celui des Albanides (voir figure). Toutefois, l'inversion des données de maturité de la matière organique (T_{max} et R_o) est insuffisante ici, car elle ne permet pas de résoudre de façon simultanée les incertitudes sur l'épaisseur des séries érodées et les valeurs du paléo-flux de

chaleur. Plusieurs techniques analytiques permettent de réduire ces incertitudes, notamment l'utilisation de paléo-thermo-baromètres tels que les inclusions fluides, la coexistence d'inclusions aqueuses et d'inclusions à hydrocarbures dans un même ciment diagénétique permettant d'obtenir la paléo-température et le paléo-enfouissement (paléo-pression) de points de référence.

Même si la complexité de leurs structures limitera l'utilisation des outils 3D en cours de développement, les zones de *foothills* sont encore sous-explorées et susceptibles de fournir de nouveaux gisements d'hydrocarbures. Elles constitueront aussi pour longtemps un laboratoire naturel de prédilection pour l'étude des propriétés hydrodynamiques des failles et la validation des nouveaux outils de transport réactif. ■

Contact :
francois.roure@ifpen.fr (Expert)

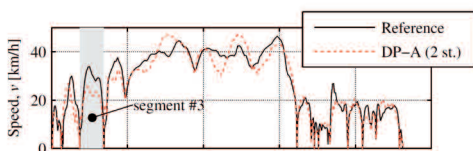


Modélisation Ceres des Albanides, montrant le cloisonnement des fluides au sein des différentes unités tectoniques. La taille des flèches est proportionnelle aux vitesses de migration, qui varient de 0,04 à 4,5 m par million d'années (Vilasi et al., 2009).

N. Vilasi, J. Malandain, L. Barrier, J.P. Callot, N. Guilhaumou, O. Lacombe, K. Muska, F. Roure and R. Swennen, From outcrop and petrographic studies to basin-scale fluid flow modeling: the use of the Albanian natural laboratory for carbonate reservoir characterization, *Tectonophysics*, 474 (1-2), 367-392. DOI: 10.1016/j.tecto.2009.01.033

F. Roure, P. Andriessen, J.P. Callot, H. Ferket, E. Gonzales, N. Guilhaumou, N. Hardebol, O. Lacombe, J. Malandain, P. Mougou, K. Muska, S. Ortuño, W. Sassi, R. Swennen and N. Vilasi, The use of paleo-thermo-barometers and coupled thermal, fluid flow and pore fluid pressure modelling for hydrocarbon and reservoir prediction in fold and thrust belts, In G.P. Goffey, J. Craig, T. Needham and R. Scott., eds., *Hydrocarbons in contractional belts*, Geological Society, London, Spec. Pub., 348, 87-114. DOI: 10.1144/SP348.6 (2010)

La voiture électrique a aussi son éco-conduite



Profil de vitesse réel mesuré et optimisé sous les mêmes contraintes de distance et temps.

L'éco-conduite est une composante à part entière de la réduction de consommation de l'automobile. Des outils, basés sur les technologies de l'information et de la communication (GPS, capteurs de détection, communication avec une infrastructure centralisée, etc.), apparaissent pour aider le conducteur à réaliser une conduite relativement peu énergivore.

Disposer de ces informations permet d'avoir une estimation du trajet à accomplir dans le futur immédiat, et des contraintes associées (distance, vitesse

moyenne et maximum, trafic, etc.). Un calcul du profil de conduite qui minimise la consommation d'énergie sous ces contraintes est alors possible de façon systématique, grâce à des méthodes de commande optimale.

Par rapport aux premières applications existantes, IFPEN s'intéresse à utiliser cette approche optimisée en usage réel urbain. Pour ce faire, IFPEN collabore avec la société VULog, spécialiste de l'algorithmie et de l'électronique embarquée au service de l'autopartage. Le projet VME, financé par l'Ademe, met en œuvre une flotte de véhicules électriques en libre-service à Rueil-Malmaison et à Nice. Les véhicules sont équipés d'un Superviseur Énergétique Embarqué qui fournit au conducteur des conseils de conduite économe basés sur la localisation GPS, des cartographies

détaillées de la ville et des calculs d'optimisation en ligne. Une préétude, réalisée avec le support de VULog, a montré que l'autonomie des véhicules peut être supérieure de 20 % par rapport à celle mesurée dans des conditions réelles de conduite. Ces résultats sont calculés grâce à une formalisation du problème en termes mathématiques et à l'utilisation d'une technique de commande optimale, la programmation dynamique. L'approche optimisée est en cours de validation sur la flotte de Rueil. ■

A. Sciarretta, L. Guzzella, *at-Automatisierungstechnik* 53 (2005), 244-250

E. Hellström, M. Ivarsson, J. Aslund, L. Nielsen, *Control Engineering Practice*, 17 (2009), 245-254

Contacts :
antonio.sciarretta@ifpen.fr (Expert)
philippe.moulin@ifpen.fr

Mieux comprendre les propriétés des produits lourds

Les bruts lourds et les résidus pétroliers issus de distillations successives ont la particularité d'être concentrés en molécules lourdes et aromatiques, les asphaltènes. Leurs propriétés d'agrégation, complexes à modéliser, sont à l'origine de leur viscosité élevée et de leur faible mobilité dans les réseaux catalytiques.

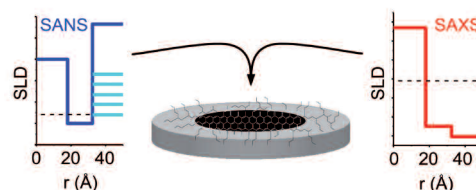
Des mécanismes d'agrégation hiérarchisés régissent l'association des molécules d'asphaltènes. Les étapes de transport et de raffinage pourraient être mieux appréhendées par une description fine de ces mécanismes, notamment à l'échelle nanométrique.

À cette fin, IFPEN utilise la diffusion de rayonnement aux petits angles (neutrons, SANS et rayons X, SAXS), qui permet une observation des systèmes colloïdaux sur une échelle de taille étendue, allant du nanomètre au micron. En outre, chaque

type de rayonnement "voit" la matière différemment, ce qui rend les techniques complémentaires. Ainsi, la combinaison de mesures SANS et SAXS sur les grands instruments (LLB, ILL, ESRF), associée à une variation des conditions expérimentales, ont permis d'identifier une organisation fine de la matière au travers de régions de compositions chimiques distinctes. Ces nanoagrégats d'asphaltènes sont représentés au mieux par une structure de disque fait d'un cœur dense, aromatique, entouré d'une couronne aliphatique. La taille moyenne avoisine les 32 Å de rayon, et l'agrégat s'apparente à un petit empilement de trois molécules aromatiques.

La connaissance de la structure à petite échelle de ces matériaux est la base de la description et de la modélisation de leurs fonctions. À partir de cette caractérisation, les mécanismes régissant la viscosité, le comportement en tempé-

rature et les propriétés de diffusion peuvent être expliqués. ■



Représentation schématique d'un nanoagrégat d'asphaltènes décrit par variation de contraste SANS et par SAXS.

L. Barre, S. Simon, T. Palermo, Solution properties of asphaltenes, *Langmuir*, 24 (2008), p.3709-3717. DOI: 10.1021/la702611s

J. Eyssautier, P. Levitz, D. Espinat, J. Jestin, J. Gummel, I. Grillo, L. Barré, Insight into Asphaltene Nano-aggregate Structure Inferred by Small Angle Neutron and X-ray Scattering, *J. Phys. Chem. B*, 115 (2011), p.6827-6837. DOI: 10.1021/jp111468d

Contacts :

didier.espinat@ifpen.fr (Directeur Expert)
loic.barre@ifpen.fr

La cinétique des dépôts colloïdaux en milieux poreux

Les fluides colloïdaux sont très fréquents dans les systèmes naturels et industriels. Ils sont notamment présents à différents stades du système pétrolier. Générés in situ, ou introduits pour les besoins de la production, ils induisent d'importantes réductions de perméabilité et altèrent les propriétés d'écoulement des fluides. La maîtrise du comportement de ces systèmes en milieux poreux est donc un enjeu majeur pour l'industrie pétrolière et fait partie intégrante de la récupération assistée (IOR ou *Improved Oil Recovery*).

La démarche adoptée par IFPEN repose sur l'approche dite "colloïdale", associée à l'analyse adimensionnelle. Cette démarche a permis d'identifier les régimes de dépôt et d'en établir des lois cinétiques de type lois d'échelle avec des exposants universels et indépendants du système, car dictés par le caractère colloïdal commun aux colloïdes. Ainsi, en régime de convection/diffusion, le dépôt a lieu au sein de la couche de diffusion

δ_D selon une réaction d'ordre 1 de constante k.

La loi cinétique du dépôt s'écrit alors :

$$\eta = \frac{1}{UC_0} \frac{\partial \Gamma}{\partial t} = Cte \cdot \frac{Da}{1+Da} P_{eg}^{-2/3}$$

Avec deux nombres adimensionnels :

$$Da = (k \cdot \delta_D / D_\infty) \quad \text{et} \quad P_{eg} = (U \cdot d_g / D_\infty)$$

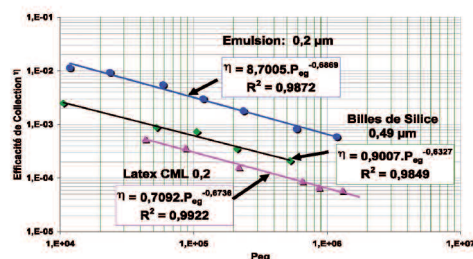
D_a : Damkohler (réaction/diffusion) et P_{eg} : Peclet grain (convection/diffusion) avec Γ : densité du dépôt (mg/m^2), U : vitesse du fluide, d_g : taille des grains et D_∞ : coefficient de diffusion.

On distingue deux régimes limites :

D_a	s (P_{eg}^{-s})	Régime limite
$\rightarrow \infty$	2/3	DLD (Diffusion)
$\rightarrow 0$	1	RLD (Réaction)

La figure illustre la validité de cette loi pour les solides et les émulsions en régime DLD ($s \sim 0,66$).

Ainsi, cette approche colloïdale associée à l'analyse adimensionnelle, permet l'élaboration d'une vision unifiée utilisant des nombres adimensionnels pour modéliser la cinétique du dépôt des colloïdes en milieux poreux. ■



Cinétique de dépôt pour différents colloïdes.

L. Nabzar and M.E. Aguilera, *OGST- Rev. IFP Energies nouvelles*, Vol. 63 (2008), 21-35. DOI: 10.251/ogst/2007083

S. Buret, L. Nabzar, and A. Jada, *SPE J.*, 15 (2), June 2010: 557-568. DOI: 10.2118/122060-PA

Contact :

lahcen.nabzar@ifpen.fr (Expert)

La corrosion fait parler les aciers

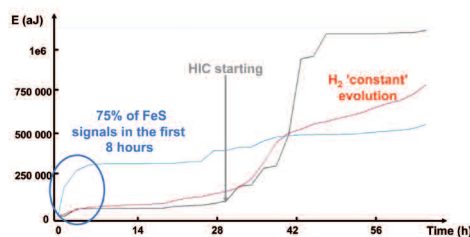
Afin d'accroître la fiabilité des équipements, le suivi in situ de la dégradation des matériaux métalliques a conduit à une énorme avancée. De nombreuses technologies ont été développées à cette fin, parmi lesquelles l'utilisation des phénomènes électrochimiques, de la conductivité électrique ainsi que celle des émissions acoustiques. Cette dernière repose sur l'émission, engendrée par la corrosion active, de signaux acoustiques dont les ondes sont de différentes natures (volumiques, surfaciques, de Lamb) et fréquences (50 Hz-1,5 MHz). Grâce à la mise en place de capteurs, de guides d'ondes et d'amplificateurs adaptés, il est possible de suivre de façon non intrusive et permanente des corrosions actives.

Le principal verrou au développement de cette technique concerne l'identification des signaux spécifiques liés aux phénomènes de corrosion étudiés. Des travaux de recherche ont été menés à IFPEN, en collaboration avec Total et l'Insa de Lyon (Laboratoire MATEIS), pour étudier la fragilisation par l'hydrogène des aciers en milieux aqueux contenant de l'H₂S. Dans de tels milieux en effet, la forte

pénétration d'hydrogène atomique dans l'acier peut conduire à la formation de blisters internes ainsi qu'à des fissurations, et même à des ruptures prématurées. Une méthodologie d'étude spécifique a été développée en laboratoire, permettant, à l'aide de capteurs adaptés, d'une part, de localiser les zones spécifiques d'endommagement, et d'autre part, d'identifier les signatures acoustiques liées aux différents mécanismes possibles de fragilisation par l'hydrogène. Comme l'illustre la figure, des signaux spécifiquement liés à la fissuration induite par l'hydrogène (HIC – Hydrogen Induced Cracking) ont été discriminés par rapport aux autres signaux engendrés, d'une part, par la corrosion de surface associée à la formation de sulfures de fer, et d'autre part, via le dégagement d'hydrogène gazeux dans le milieu liquide où intervient cette corrosion.

Un suivi quantitatif du mode de fissuration induite par l'hydrogène a ainsi pu être réalisé de façon non destructive et non intrusive. Des informations importantes comme le temps de latence

avant formation des premières fissures puis des estimations de leur vitesse de propagation sont ainsi accessibles. ■



Discrimination, en fonction de leur énergie, des signaux d'émission acoustique selon les différents mécanismes d'endommagement d'un acier au carbone immergé en milieu aqueux sous 1 bar d'H₂S à 20 °C.

V. Smanio, M. Fregonese, J. Kittel, T. Cassagne, F. Ropital, B. Normand, Wet Hydrogen Sulfide Cracking (HSC) monitoring by Acoustic Emission: discrimination of AE sources, *Journal of Materials Science*, 45 (2010), 5534-5542. DOI: 10.1007/s10853-010-4613-2

V. Smanio, M. Fregonese, J. Kittel, T. Cassagne, F. Ropital, B. Normand, Acoustic emission monitoring of H₂S cracking of linepipe steels: application to HIC and SOHC, *Corrosion*, 67 (2010) 6, 065001-12. DOI: 10.5006/1.3595097

Contacts :

francois.ropital@ifpen.fr (Expert)
jean.kittel@ifpen.fr

Prochains événements scientifiques

• Les Rencontres scientifiques d'IFP Energies nouvelles – **International Scientific Conference on Hybrid and Electric Vehicles (RHEVE 2011)** – 6-7 décembre 2011, IFPEN Rueil-Malmaison

• Les Rencontres scientifiques d'IFP Energies nouvelles – **Multiscale Approaches for Process Innovation** – 25-27 janvier 2012, IFPEN-Lyon.

• Les Rencontres scientifiques d'IFP Energies nouvelles – **Colloids and Complex Fluids** – 17-19 octobre 2012, IFPEN Rueil-Malmaison.

• Les Rencontres scientifiques d'IFP Energies nouvelles – **IFAC Workshop on Engine and Powertrain Control, Simulation and Modeling, E-COSM'12** – 23-25 octobre 2012, IFPEN Rueil-Malmaison.

Nomination

• **Sébastien Candell**, professeur à l'École centrale Paris, responsable de l'option Mécanique, Aéronautique, Espace et animateur de l'équipe Combustion du Laboratoire EM2C, membre de l'Académie des sciences, a été nommé Président du Conseil scientifique d'IFPEN, en remplacement de Bruno Chaudret (1^{er} juillet 2011).

HDR

• **Jean-Marc Schweitzer**, HDR de l'université Claude Bernard Lyon 1 : "Les réacteurs chimiques : de l'extrapolation à la stabilité thermique" (24 mars 2011).

• **Bernard Bourbiaux**, HDR de l'Institut national polytechnique de Toulouse (INPT) : "Dynamique des doubles milieux" (10 mai 2011).

INDEED lauréat de l'appel à projets IEED

L'Institut de l'Usine du futur INDEED (Institut national pour le développement des éco-technologies et des énergies décarbonées), soutenu activement par IFPEN, a été sélectionné le 1^{er} juin 2011 dans le cadre de l'appel à projets IEED (Instituts d'excellence en énergies décarbonées) du Programme Investissements d'avenir. Son ambition est de bâtir un leadership international dans le domaine des procédés éco-efficaces, en particulier dans les secteurs de l'énergie, de la chimie et du recyclage.

Directeur de la publication : Marco De Michelis

Rédacteur en chef : Sophie Jullian

Comité éditorial : Xavier Montagne,

Emmanuelle Hutin

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 59 00 - Fax : +33 1 47 52 70 96 - 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 : K. Ragli - Tél. : 01 47 52 58 75

Science@ifpen

Numéro 8 • Novembre 2011

www.ifpenergiesnouvelles.fr

