



This paper is a part of the hereunder thematic dossier published in OGST Journal, Vol. 67, No. 6, pp. 883-1039 and available online [here](#)

Cet article fait partie du dossier thématique ci-dessous publié dans la revue OGST, Vol. 67, n°6, pp. 883-1039 et téléchargeable [ici](#)

DOSSIER Edited by/Sous la direction de : **B. Bazin**

## Challenges and New Approaches in EOR

### Défis et nouvelles approches en EOR

Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP Energies nouvelles, Vol. 67 (2012), No. 6, pp. 883-1039

Copyright © 2012, IFP Energies nouvelles

- 883 > Editorial
- 887 > *Some Key Features to Consider When Studying Acrylamide-Based Polymers for Chemical Enhanced Oil Recovery*  
Quelques caractéristiques clés à considérer lors de l'étude des polymères à base d'acrylamide en vue de leur utilisation pour la récupération assistée chimique du pétrole  
A. Thomas, N. Gaillard and C. Favero
- 903 > *Hydrophobically Modified Sulfonated Polyacrylamides for IOR: Correlations between Associative Behavior and Injectivity in the Diluted Regime*  
Polyacrylamides sulfonés modifiés hydrophobes pour la RAH : corrélations entre le caractère associatif et l'injectivité en régime dilué  
G. Dupuis, D. Rousseau, R. Tabary, J.-F. Argillier and B. Grassl
- 921 > *Normal Stresses and Interface Displacement: Influence of Viscoelasticity on Enhanced Oil Recovery Efficiency*  
Contraintes normales et déplacement d'interface : influence de la viscoélasticité sur l'efficacité de la récupération assistée  
J. Avendano, N. Pannacci, B. Herzhaft, P. Gateau and P. Coussot
- 931 > *Mechanical Degradation Onset of Polyethylene Oxide Used as a Hydrosoluble Model Polymer for Enhanced Oil Recovery*  
Seuil de dégradation mécanique de solutions de polymères utilisés en récupération assistée des hydrocarbures  
A. Dupas, I. Hénaut, J.-F. Argillier and T. Aubry
- 941 > *Injecting Large Volumes of Preformed Particle Gel for Water Conformance Control*  
Injection d'importants volumes de gel de type GPP (gel à particules préformées) pour le contrôle du balayage en injection d'eau dans les réservoirs matures  
Baojun Bai, Mingzhen Wei and Yuzhang Liu
- 953 > *Axisymmetric Drainage in Hydrophobic Porous Media Micromodels*  
Drainage en géométrie axisymétrique dans des milieux poreux hydrophobes à deux dimensions  
A. Cuenca, M. Chabert, M. Morvan and H. Bodiguel
- 963 > *Effect of Added Surfactants on the Dynamic Interfacial Tension Behaviour of Alkaline/Diluted Heavy Crude Oil System*  
Effet de l'ajout de tensioactifs sur le comportement dynamique de la tension interfaciale du système solution alcaline/brut dilué  
S. Trabelsi, A. Hutin, J.-F. Argillier, C. Dalmazzone, B. Bazin and D. Langevin
- 969 > *Prediction of Surfactants' Properties using Multiscale Molecular Modeling Tools: A Review*  
Prédiction de propriétés des tensioactifs à l'aide d'outils de modélisation moléculaire : une revue  
B. Creton, C. Nieto-Draghi and N. Pannacci
- 983 > *Modeling Chemical EOR Processes: Some Illustrations from Lab to Reservoir Scale*  
Modélisation des procédés EOR chimiques : du laboratoire au réservoir  
F. Douarache, D. Rousseau, B. Bazin, R. Tabary, P. Moreau and M. Morvan
- 999 > *Analysis of Heavy Oil Recovery by Thermal EOR in a Meander Belt: From Geological to Reservoir Modeling*  
Analyse de la récupération d'huile lourde par procédé thermique dans une barre de méandre : du modèle géologique à la modélisation de réservoir  
R. Deschamps, N. Guy, C. Preux and O. Lerat
- 1019 > *Numerical Modeling of Thermal EOR: Comprehensive Coupling of an AMR-Based Model of Thermal Fluid Flow and Geomechanics*  
Modélisation numérique d'EOR thermique : couplage complet entre un modèle d'écoulement thermique basé sur une discrétisation adaptative et la géomécanique  
N. Guy, G. Enchéry and G. Renard
- 1029 > *Evolution of Seismic Velocities in Heavy Oil Sand Reservoirs during Thermal Recovery Process*  
Évolution des vitesses sismiques dans les réservoirs de sables bitumineux au cours des procédés de récupération thermique  
J.-F. Nauroy, D.H. Doan, N. Guy, A. Baroni, P. Delage and M. Mainguy

# Éditorial

## DÉFIS ET NOUVELLES APPROCHES EN EOR

Comme chacun le sait les méthodes de récupération du pétrole ont beaucoup évolué durant ces dernières décennies. Longtemps, cependant, les techniques de récupération sur les gisements restaient relativement simples : pompage, injection d'eau, voire réinjection de gaz. Les quantités produites à partir de gisements relativement faciles à exploiter, parce que constitués de roches relativement perméables et contenant des pétroles relativement fluides, permettaient de satisfaire la demande.

Dès le début des années 60, on a vu apparaître des travaux de laboratoires et des expériences sur champs correspondant à des cas moins favorables : pétroles « lourds » donc très visqueux, roches à faible perméabilité. Si les premiers brevets concernant les méthodes plus élaborées de production sont très anciens (1920, par exemple, pour certaines méthodes thermiques), les choses n'ont pris une tournure différente que lorsque la demande mondiale est devenue plus importante. Cette évolution a fait suite au développement des transports et à l'augmentation du prix du pétrole après le premier choc pétrolier, en 1973, puis tous ceux qui ont suivi.

C'est au cours des années 60-70, que le concept de récupération assistée du pétrole a progressivement émergé.

Parmi les méthodes de récupération assistée du pétrole (*Enhanced Oil Recovery*, EOR en anglais), on distingue plusieurs classes de méthodes, dont on peut d'ailleurs imaginer qu'elles soient mises en place ensemble sur tel ou tel gisement :

- l'injection de fluides « classiques » qui intervient au tout début de la vie du gisement : injection d'eau, réinjection de gaz, injection de gaz carbonique, etc. ;
  - l'injection d'eau éventuellement chargée de polymères et/ou de tensio-actifs, voire l'injection de mousses ;
  - les méthodes thermiques de récupération, dont la plus pratiquée est l'injection de vapeur d'eau.
- Toutes ces méthodes connaissent un renouveau important associé à l'évolution du prix du pétrole et au souci de diversification qui conduit à entreprendre l'exploitation de pétrole de plus en plus « lourd » et à l'extraire de gisements de moins en moins perméables. Dans ces nouvelles perspectives, le développement des techniques de forage permettant de réaliser des puits horizontaux a joué un rôle important.

C'est dans ce contexte général que le Comité éditorial de la revue a proposé de publier un numéro spécial sur l'EOR.

Consacré à certains des défis et des nouvelles approches en récupération assistée du pétrole, ce numéro présente un ensemble de travaux relativement représentatif de l'ensemble des démarches actuellement étudiées. On peut distinguer ainsi :

### Les méthodes faisant appel à l'injection de solutions aqueuses de polymères

- le premier article « *Some key features to consider when studying acrylamide-based polymers for chemical enhanced oil recovery* », par A. Thomas, N. Gaillard et C. Favero passe en revue les différents aspects de l'EOR avec injection de polymère ;
- le suivant « *Hydrophobically modified sulfonated polyacrylamides for IOR: correlations between associative behavior and injectivity in the diluted regime* », par G. Dupuis, D. Rousseau, R. Tabary, J.-F. Argillier et B. Grassl, décrit l'étude d'une catégorie particulière de polymères,

les polymères associatifs, dont l'usage pourrait être avantageux mais requiert encore des études complémentaires ;

- l'article « *Normal stresses and interface displacement: influence of viscoelasticity on enhanced oil recovery efficiency* », par J. Avendano, N. Pannacci, B. Herzhaft, P. Gateau et P. Coussot, va au-delà du concept de viscosité et examine l'effet de la viscoélasticité des solutions injectées sur le déplacement d'huile ;
- l'article « *Mechanical degradation onset of polyethylene oxide used as a hydrosoluble model polymer for enhanced oil recovery* », par A. Dupas, I. Hénaut, J.-F. Argillier et T. Aubry, présente certains aspects de l'important problème de la dégradation des polymères injectés au cours du procédé ;
- enfin, B. Bai, M. Wei et Y. Liu, sous le titre « *Injecting large volumes of preformed particle gel for water conformance control* », proposent l'injection de microgels pour réduire la production d'eau lors de l'exploitation de gisements matures.

### Les méthodes faisant appel à des solutions aqueuses de tensio-actifs

- dans leur article, « *Axisymmetric drainage in hydrophobic porous media micromodels* », A. Cuenca, M. Chabert, M. Morvan et H. Bodiguel proposent des études en micromodèles pour améliorer la compréhension de certains aspects de la mouillabilité dans les réservoirs ;
- l'article « *Effect of added surfactants on the dynamic interfacial tension behaviour of alkaline/diluted heavy crude oil system* », par S. Trabelsi, A. Hutin, J.-F. Argillier, C. Dalmazzone, B. Bazin et D. Langevin, examine les interactions entre les tensioactifs utilisés pour l'EOR et les composants des huiles lourdes ;
- dans « *Prediction of surfactants' properties using multiscale molecular modeling tools: a review* », B. Creton, C. Nieto-Draghi et N. Pannacci présentent une revue des démarches de prédiction des propriétés des interfaces eau-huile à partir de simulations à l'échelle moléculaire ;
- l'article « *Modeling chemical EOR processes: some illustrations from lab to reservoir scale* », par F. Douarche, D. Rousseau, B. Bazin, R. Tabary, P. Moreau et M. Morvan, présente certaines approches développées à IFP Energies nouvelles, pour les tensio-actifs certes, mais aussi pour les polymères et l'influence des pH basiques.

### Les méthodes thermiques, et tout particulièrement l'injection de vapeur

- l'article « *Analysis of heavy oil recovery by thermal EOR in a meander belt: from geological to reservoir modeling* », par R. Deschamps, N. Guy, C. Preux et O. Lerat, discute le rôle des hétérogénéités du réservoir sur la récupération ;
- dans « *Numerical modeling of thermal EOR: comprehensive coupling of an AMR-based model of thermal fluid flow and geomechanics* », N. Guy, G. Enchéry et G. Renard précisent l'impact de l'injection de vapeur sur le comportement géomécanique du gisement et ses conséquences sur la récupération ;
- enfin, dans l'article « *Evolution of seismic velocities in heavy oil sand reservoirs during thermal recovery process* », J.-F. Nauroy, D.H. Doan, N. Guy, A. Baroni, P. Delage et M. Mainguy utilisent la même approche pour évaluer les données sismiques permettant de localiser les « poches » de vapeur.

En conclusion, nous espérons que ce numéro permettra au lecteur un intéressant parcours dans le vaste champ des défis et approches nouvelles rencontrés dans la mise en œuvre des méthodes de récupération assistée du pétrole (EOR).

Les travaux réalisés dans les années 80 ont, certes, constitué un socle solide pour bien des développements mais beaucoup restait et reste à faire dès lors que l'on aborde des situations de plus en plus complexes, correspondant, par exemple, à des gisements de moins en moins perméables contenant des pétroles de plus en plus lourds.

Nul doute que les progrès réalisés en matière d'observation, d'analyses physico-chimiques fines, en amont des moyens de plus en plus performants en matière de modélisation et simulation numériques, permettront dans un futur proche des avancées significatives.

Dominique Langevin et Michel Combarnous  
Membres du Comité éditorial d'OGST

# Editorial

## CHALLENGES AND NEW APPROACHES IN EOR

It is common knowledge that oil recovery methods have significantly evolved during the years. In the early times, oil recovery techniques from the reservoirs used to be relatively simple: pumping, water injection or even gas reinjection. The demand could be met with the quantities produced from oil fields that were relatively easy to exploit, because they were made up of rather permeable rock containing fluid oils.

In the early 1960s, laboratories started research and experiments on fields that presented less favourable conditions: “heavy” oils, therefore very viscous, low permeability rocks. Although the first patents concerning the most elaborate production methods are very old (1920 for instance, for certain thermal methods), the situation began to change when the global demand started growing. The increasing demand arised from the development of transportation and the rise in oil prices after the first oil crisis in 1973 and all those that followed.

It was in the 1960s and 1970s that the concept of Enhanced Oil Recovery (EOR) gradually emerged.

EOR methods include different classes of procedures, which can eventually be implemented together on a particular field:

- injection of “conventional” fluids, a method used at the beginning of the oil field’s life cycle: water injection, reinjection of gas, injection of carbon dioxide;
- injection of water containing polymers and/or surfactants or even injection of foams;
- thermal recovery methods, the most widely-used being steam flooding.

These methods are nowadays the object of a renewed interest due to trends in oil prices and to the concerns for diversification, which are driving oil companies to produce increasingly “heavier” oils from increasingly complex reservoirs. It should be noted that the development of drilling techniques enabling horizontal wells to be achieved has played and should continue to play an important role.

It is in this context that the editorial board of the journal has decided to publish a special issue on EOR.

Devoted to some of the challenges and new approaches in enhanced oil recovery, this issue presents a series of papers fairly representative of the approaches currently under study. They can be distinguished as follows:

### **Methods based on injection of aqueous polymer solutions**

- the first article entitled “Some key features to consider when studying acrylamide-based polymers for chemical enhanced oil recovery”, by A. Thomas, N. Gaillard and C. Favero, reviews the various aspects of EOR utilizing polymer injection;
- the next one, “Hydrophobically modified sulfonated polyacrylamides for IOR: correlations between associative behavior and injectivity in the diluted regime”, by G. Dupuis, D. Rousseau, R. Tabary, J.-F. Argillier and B. Grassl, describes the study of a particular class of polymers (associative polymers), that could be advantageous but still requires further studies;

- the article entitled “Normal stresses and interface displacement: influence of viscoelasticity on enhanced oil recovery efficiency”, by J. Avendano, N. Pannacci, B. Herzhaft, P. Gateau and P. Coussot, goes beyond the concept of viscosity to examine how the viscoelasticity of injected solutions influences the displacement of oil;
- the article entitled “Mechanical degradation onset of polyethylene oxide used as a hydrosoluble model polymer for enhanced oil recovery”, by A. Dupas, I. Hénaut, J.-F. Argillier and T. Aubry, presents certain aspects of the important problem of degradation of polymers during injection;
- lastly, B. Bai, M. Wei and Y. Liu, in their paper entitled “Injecting large volumes of preformed particle gel for water conformance control”, suggest injecting microgels to reduce water production when operating mature reservoirs.

### **Methods based on aqueous surfactant solutions**

- in their article “Axisymmetric drainage in hydrophobic porous media micromodels”, A. Cuenca, M. Chabert, M. Morvan and H. Bodiguel propose micromodel studies for a better understanding of certain aspects of wettability in reservoirs;
- the article entitled “Effect of added surfactants on the dynamic interfacial tension behaviour of alkaline/diluted heavy crude oil system”, by S. Trabelsi, A. Hutin, J.-F. Argillier, C. Dalmazzone, B. Bazin and D. Langevin, examines the interactions between surfactants used for EOR and the components of heavy oils;
- in “Prediction of surfactants’ properties using multiscale molecular modeling tools: a review”, B. Creton, C. Nieto-Draghi, and N. Pannacci review approaches to predict the properties of water/oil interfaces, based on simulations at a molecular scale;
- the article “Modeling chemical EOR processes: some illustrations from lab to reservoir scale”, by F. Douarache, D. Rousseau, B. Bazin, R. Tabary, P. Moreau and M. Morvan, presents new simplifying approaches developed at IFP Energies nouvelles, validated by experiments for polymers and alkaline pH.

### **Thermal methods, and especially steam flooding**

- the article entitled “Analysis of heavy oil recovery by thermal EOR in a meander belt: from geological to reservoir modeling”, by R. Deschamps, N. Guy, C. Preux and O. Lerat, discusses how the heterogeneity of the reservoir influences recovery;
- in “Numerical modeling of thermal EOR: comprehensive coupling of an AMR-based model of thermal fluid flow and geomechanics”, N. Guy, G. Enchéry and G. Renard specify the impact of steam flooding on the geomechanical behaviour of the reservoir and its effects on recovery;
- finally, in “Evolution of seismic velocities in heavy oil sand reservoirs during thermal recovery process”, J.-F. Nauroy, D.H. Doan, N. Guy, A. Baroni, P. Delage and M. Mainguy use the same approach to evaluate seismic data in order to pinpoint “pockets” of steam.

In conclusion, we hope that this issue will give the reader an interesting insight into the vast field of challenges and new approaches emerging in the implementation of enhanced oil recovery methods.

The works carried out in the 1980s admittedly formed a solid foundation for many developments but there was and still there is a lot to do whenever facing with increasingly complex situations, for instance, less permeable reservoirs containing increasingly heavy oils.

No doubt that, combining increasingly efficient modeling and numerical simulation techniques, with deeper insights into the physicochemical aspects will enable significant advances in the near future.

Dominique Langevin and Michel Combarnous  
*Members of the Editorial Board of OGST*