



This paper is a part of the hereunder thematic dossier published in OGST Journal, Vol. 69, No. 3, pp. 379-499 and available online [here](#)

Cet article fait partie du dossier thématique ci-dessous publié dans la revue OGST, Vol. 69, n°3 pp. 379-499 et téléchargeable [ici](#)

DOSSIER Edited by/Sous la direction de : **J.-F. Argillier**

IFP Energies nouvelles International Conference / Les Rencontres Scientifiques d'IFP Energies nouvelles
Colloids 2012 – Colloids and Complex Fluids: Challenges and Opportunities
Colloids 2012 – Colloïdes et fluides complexes : défis et opportunités

Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP Energies nouvelles, Vol. 69 (2014), No. 3, pp. 379-499

Copyright © 2014, IFP Energies nouvelles

- | | |
|--|--|
| <p>379 >Editorial
H. Van Damme, M. Moan and J.-F. Argillier</p> <p>387 >Formation of Soft Nanoparticles via Polyelectrolyte Complexation: A Viscometric Study
Formation de nanoparticules molles par complexation de polyélectrolytes : une étude viscosimétrique
C. Rondon, J.-F. Argillier, M. Moan and F. Leal Calderon</p> <p>397 >How to Reduce the Crack Density in Drying Colloidal Material? Comment réduire la densité de fractures dans des gels colloïdaux ?
F. Boulogne, F. Giorgiutti-Dauphiné and L. Pauchard</p> <p>405 >Adsorption and Removal of Organic Dye at Quartz Sand-Water Interface Adsorption et désorption d'un colorant organique à l'interface sable de quartz-eau
A. Jada and R. Ait Akbour</p> <p>415 >Freezing Within Emulsions: Theoretical Aspects and Engineering Applications
Congélation dans les émulsions : aspects théoriques et applications techniques
D. Clausse and C. Dalmazzone</p> <p>435 >Effect of Surfactants on the Deformation and Detachment of Oil Droplets in a Model Laminar Flow Cell
Étude de l'effet de tensioactifs sur la déformation et le détachement de gouttes d'huiles modèles à l'aide d'une cellule à flux laminaire
V. Fréville, E. van Hecke, C. Ernenwein, A.-V. Salsac and I. Pezron</p> | <p>445 > Investigation of Interfacial Phenomena During Condensation of Humid Air on a Horizontal Substrate
Investigation de phénomènes interfaciaux au cours de la condensation d'air humide sur un substrat horizontal
A. Tiwari, J.-P. Fontaine, A. Kondjoyan, J.-B. Gros, C. Vial and C.-G. Dussap</p> <p>457 > Microfluidic Study of Foams Flow for Enhanced Oil Recovery (EOR)
Étude en microfluidique de l'écoulement de mousses pour la récupération assistée
N. Quennouz, M. Ryba, J.-F. Argillier, B. Herzhaft, Y. Peysson and N. Pannacci</p> <p>467 > Non-Aqueous and Crude Oil Foams
Mousses non aqueuses et mousses pétrolières
C. Blázquez, É. Emond, S. Schneider, C. Dalmazzone and V. Bergeron</p> <p>481 > Development of a Model Foamy Viscous Fluid
Développement d'un modèle de dispersion gaz-liquide de type mousse liquide visqueuse
C. Vial and I. Narchi</p> <p>499 > Erratum
D.A. Saldana, B. Creton, P. Mougín, N. Jeuland, B. Rousseau and L. Starck</p> |
|--|--|

Éditorial

RENCONTRE SCIENTIFIQUE IFP ENERGIES NOUVELLES COLLOIDS 2012 - COLLOÏDES ET FLUIDES COMPLEXES : DÉFIS ET OPPORTUNITÉS

Les progrès dans le domaine des colloïdes et sciences des fluides complexes joueront un rôle essentiel dans le développement de nouvelles solutions efficaces et respectueuses de l'environnement visant à répondre à certains des défis énergétiques et liés à l'environnement du 21^e siècle. La science des colloïdes et des fluides complexes est en effet une culture et un domaine florissant où des progrès significatifs ont été réalisés en termes de conception, de caractérisation, de compréhension et de modélisation des systèmes colloïdaux et de leurs propriétés d'écoulement.

Dans le cadre d'une de ses rencontres scientifiques, IFP Energies nouvelles a organisé en octobre 2012 à Rueil-Malmaison, une conférence internationale intitulée « *Colloïdes et fluides complexes : défis et opportunités* » (Colloids 2012). Les objectifs de cette conférence étaient de partager les avancées dans ce domaine et de discuter de leur potentiel pour relever les défis scientifiques dans les secteurs du pétrole, du gaz et des énergies nouvelles. Parmi les applications évoquées figuraient la récupération du pétrole, la gestion des systèmes de production, la gestion de l'eau, la catalyse, les cellules solaires et la synthèse de nanoparticules, le captage et le stockage du CO₂, les moteurs propres et efficaces, la transformation de la biomasse et d'autres applications dédiées au développement de nouvelles énergies.

Les thèmes scientifiques qui ont été largement discutés pendant ces 3 journées furent divisés en trois sessions : systèmes intelligents, phénomènes d'interfaces dynamiques, rhéologie et écoulements dans les systèmes fermés :

- la session 1 sur les systèmes intelligents a traité de la conception des colloïdes réactifs, de la synthèse et de la caractérisation des nanoparticules *in situ*. Les conférenciers invités étaient **S. Magdassi** (Université hébraïque de Jérusalem, Israël) « *Nanomatériaux pour les revêtements fonctionnels, les systèmes d'impression et la vectorisation* », et **C. Sanchez** (Université Pierre et Marie Curie, France) sur « *les matériaux inorganiques et hybrides nanostructurés : un domaine scientifique intégrateur où la chimie, la physique, les sciences de la vie et de l'ingénierie se rencontrent* » ;
- la session 2 concernait les phénomènes d'interfaces dynamiques des bulles et des gouttes, les phénomènes capillaires et les simulations multiéchelles concernées. Les conférenciers invités étaient **D. Langevin** (Université de Paris Sud, France) sur « *les propriétés rhéologiques des interfaces liquides et leur influence sur le comportement d'émulsions de pétrole brut* », et **B. Smit** (UC Berkeley, États-Unis) sur « *des monocouches aux membranes : simulations mésoscopiques d'auto-assemblages* » ;
- la session 3 sur la rhéologie et les écoulements dans les systèmes confinés, a traité des milieux poreux, de la microfluidique et des colloïdes dans des géométries complexes. Les conférenciers invités étaient **G.J. Hirasaki** (Rice University, États-Unis) sur « *les défis*

pour l'EOE chimique » et **A. Colin** (Université de Bordeaux I, France) sur « *la microfluidique et la mouillabilité* ».

Le programme de cette conférence internationale, qui a réuni 120 participants de plus de 20 pays, a été structuré de façon à encourager l'interaction et à stimuler les échanges d'idées entre les acteurs du monde de la recherche universitaire, de la recherche appliquée et de l'industrie. Plus de 25 papiers – en plus des conférences plénières – ont été présentés. Ce dossier thématique de la revue OGST rassemble certains d'entre eux, illustrant les tendances actuelles de la recherche et développement dans le domaine de la science des colloïdes et des fluides complexes. Neuf articles ont été sélectionnés, sur des sujets allant de la synthèse de nanoparticules à l'écoulement de la mousse dans des dispositifs microfluidiques. Alors que la plupart des documents sont dans les thématiques privilégiées d'OGST, d'autres domaines sont également représentés, comme les produits agrochimiques, les sciences du domaine alimentaire et la pollution des sols.

Afin de présenter brièvement le contenu de ce numéro, trois thèmes peuvent être considérés comme intimement liés aux sessions de la Conférence.

Un premier thème pourrait être celui des nanoparticules et des phénomènes d'adsorption ou de complexation. Dans ce champ, trois documents ont été soumis, traitant de la synthèse de nanoparticules molles *via* une complexation de polyélectrolytes, du craquage de films de nanoparticules lors de leur séchage, et pour le dernier document de l'adsorption et la désorption de molécules de colorant sur du quartz :

- **C. Rondon, J.-F. Argillier, M. Moan et F. Leal Calderon** « *Formation de nanoparticules molles par complexation de polyélectrolytes : une étude viscosimétrique* » décrivent un processus de complexation électrostatique conduisant à la formation de nanoparticules molles : ce processus a lieu quand un polyanion fort est mélangé avec un excès de polycation faible. En utilisant une panoplie de techniques, y compris des mesures de viscosité, les auteurs sont capables de déterminer la fraction complexée de l'excès de polyions et la fraction en volume de nanoparticules. Leurs résultats montrent que l'accessibilité de charge est un paramètre clé pour le degré de compaction du polymère dans les nanoparticules ;
- **F. Boulogne, F. Giorgiutti-Dauphiné et L. Pauchard** « *Comment réduire la densité de fractures dans des gels colloïdaux ?* » s'intéressent aux différents facteurs qui contrôlent la formation de fissures dans un dépôt mince de particules colloïdales sur un substrat. La fissuration se produit du fait de la compétition entre le rétrécissement capillaire à la surface d'évaporation et l'adhérence sur le substrat. Les auteurs montrent que les trois paramètres de procédé ou du matériau (respectivement la vitesse de séchage, la nature du solvant et les propriétés mécaniques des particules) ont une influence décisive sur la densité de fissures, et ils expliquent pourquoi ;
- **A. Jada et R. Ait Akbour** « *Adsorption et désorption d'un colorant organique à l'interface sable de quartz - eau* » étudient l'adsorption du bleu de méthylène sur le sable de quartz, en milieu aqueux. En examinant l'influence du pH de la solution et la présence de cations divalents qui sont en compétition pour l'adsorption, ils arrivent à la conclusion que l'adsorption est principalement due à des interactions électrostatiques.

Un second thème recouvre trois articles concernant respectivement la congélation d'émulsions, le détachement de gouttelettes d'huile d'une surface solide et la condensation d'air humide sur des substrats solides. Dans ces différents processus, les caractéristiques des interfaces liquide/liquide, liquide/solide ou gaz/liquide ont un effet significatif sur les phénomènes observés :

- **D. Claussé et C. Dalmazzone** « *Congélation dans les émulsions : aspects théoriques et applications techniques* » ont étudié la solidification et la fusion d'émulsions simples, multiples ou mixtes. Sur la base de corrélations entre la température de solidification des gouttelettes et leur taille, les auteurs ont montré que la calorimétrie différentielle à balayage (DSC, *Differential Scanning Calorimetry*) est particulièrement pertinente pour obtenir des informations sur l'évolution de la morphologie au cours du temps en termes de stabilité et de transfert de masse. Ces phénomènes sont illustrés par des applications dans les domaines

de transfert de masse et de séparation liquide/liquide, certaines concernant plus particulièrement la production de pétrole brut ;

- **V. Fréville, E. van Hecke, C. Ernenwein, A.-V. Salsac et I. Pezron** « *Étude de l'effet de tensioactifs sur la déformation et le détachement de gouttes d'huiles modèles à l'aide d'une cellule à flux laminaire* » ont étudié le comportement de gouttelettes d'huile déposées sur une surface solide et soumises à un écoulement de solutions de nouveaux tensioactifs “verts”, afin d'évaluer leur pouvoir détergent. La déformation, la fragmentation ou le détachement spontané de la gouttelette d'huile, observés quand un débit critique est atteint, s'avèrent dépendre des caractéristiques interfaciales initiales et des conditions d'écoulement. Les résultats obtenus mettent en évidence le potentiel des AlkylPolyPentosides (APP) pour la formulation de détergents ;
- **A. Tiwari, J.-P. Fontaine, A. Kondjoyan, J.-B. Gros, C. Vial et C.-G. Dussap** « *Investigation de phénomènes interfaciaux au cours de la condensation d'air humide sur un substrat horizontal* » ont étudié le couplage entre la ventilation et la condensation afin de modéliser des écosystèmes clos et contrôlés (CELSS, *Controlled Ecological Life Support Systems*). Ce couplage joue un rôle important, par exemple, sur la croissance des plantes supérieures dans des serres. Les auteurs ont développé un dispositif expérimental pour caractériser, en écoulements turbulents à faible nombre de Reynolds, la condensation goutte à goutte sur une plaque plane horizontale placée dans une soufflerie. Les mesures des coefficients de transfert de masse montrent que ces coefficients augmentent avec les gradients de température et de pression, ainsi qu'avec l'intensité de l'écoulement moyen dans des conditions environnementales identiques.

Un troisième thème est celui des mousses et des liquides moussants. Comme les émulsions, c'est un sujet particulièrement important en vue du renouvellement de la recherche liée à l'EOR. Trois documents ont été collectés traitant soit des systèmes modèles (fluides moussants), soit des dispositifs (microfluidique), soit des problèmes rencontrés sur le terrain (mousses de pétrole brut) :

- **N. Quennouz, M. Ryba, J.-F. Argillier, B. Herzhaft, Y. Peysson et N. Pannaci** « *Étude en microfluidique de l'écoulement de mousses pour la récupération assistée du pétrole* » montrent la pertinence des études microfluidiques dans des géométries simples ou complexes, pour la compréhension de la formation et du comportement des mousses. Une partie particulièrement intéressante de l'étude est la section consacrée aux milieux poreux bimodaux, modélisés par des micromodèles en forme de peigne. Les résultats sont une belle démonstration de l'utilité de mousses dans les réservoirs fracturés ;
- **C. Blázquez, E. Emond, S. Schneider, C. Dalmazzone et V. Bergeron** « *Mousses non aqueuses et mousses pétrolières* » présentent une vue d'ensemble des principaux mécanismes impliqués dans la formation, la stabilité et la destruction des mousses à base d'huile. La différence fondamentale entre les mousses à base d'eau et celles à base d'huile est plutôt la faible tension superficielle de l'interface liquide-gaz dans le premier cas, ce qui limite l'adsorption de tensioactifs à l'interface. À partir de là, les auteurs passent en revue les principaux mécanismes de stabilisation, y compris l'adsorption de particules. Dans une deuxième partie, ils abordent le cas particulier des mousses à base de pétrole et les huiles moussantes, ouvrant la voie à un meilleur contrôle de la mousse par injection d'additifs antimousse ou desémulsionnant ;
- **C. Vial et I. Narchi** « *Développement d'un modèle de dispersion gaz-liquide de type mousse liquide visqueuse* » concentrent leur attention sur les mousses liquides, dans lesquelles la fraction de gaz est inférieure à la limite d'humidité. Les mousses liquides sont rencontrées dans les industries des huiles, dans l'alimentaire et dans la construction : elles sont beaucoup moins étudiées que les mousses. Dans leur article, les auteurs décrivent une méthode simple pour la préparation de mousses liquides stables avec une fraction de gaz réglable entre 25 et 50 %, permettant une étude pratique de leur comportement rhéologique.

Inutile de dire que cette collection de documents est loin de couvrir l'ensemble du champ de la recherche sur les colloïdes, même si nous limitons notre horizon à la science et à la technologie du pétrole et du gaz. Pourtant ce dossier thématique offre une excellente indication des domaines où les efforts se concentrent actuellement. Nous vous en souhaitons une bonne et intéressante lecture.

Henri Van Damme
*Institut Français des Sciences et Technologies des Transports,
de l'Aménagement et des Réseaux*

Michel Moan
Université de Brest

Jean-François Argillier
IFP Energies nouvelles

Editorial

IFP ENERGIES NOUVELLES INTERNATIONAL CONFERENCE COLLOIDS 2012 - COLLOIDS AND COMPLEX FLUIDS: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES

Advances in the field of colloid and complex fluid sciences will play an essential role in the development of new efficient and eco-friendly solutions designed to address some of the energy and environment-related challenges of the 21st century. Colloids and complex fluids science is indeed a growing and flourishing field and significant progresses have been made in terms of designing, characterizing, understanding and modeling colloidal systems and their flow properties.

Within the framework of its *Rencontres Scientifiques*, IFP Energies nouvelles organized an international conference in October 2012 entitled “Colloids and Complex Fluids: Challenges and Opportunities” (Colloids 2012), in Rueil-Malmaison, France. The objectives of this conference were to share advances in this field and discuss their potential to address scientific challenges in the oil and gas and new energies sectors. Among discussed applications are enhanced oil recovery, flow assurance, water management, catalysis, solar cells and nanoparticle synthesis, CO₂ capture and storage, clean and efficient engines, biomass transformation and other applications dedicated to the development of new energies.

The scientific topics that were extensively discussed during 3 days were divided into 3 sessions: smart system, dynamic interfacial phenomena and rheology and flow in confined systems.

- session 1 on smart systems dealt with responsive colloids design, nanoparticle synthesis and *in situ* characterization. Keynotes lecturers were **S. Magdassi** (The Hebrew University of Jerusalem, Israel) on “*Nanomaterials for functional coatings, printing and delivery systems*”, and **C. Sanchez** (Université Pierre and Marie Curie, France) on “*Nanostructured inorganic and hybrid materials: An integrative scientific domain where chemistry, physics, life sciences and engineering meet*”;
- session 2 on dynamic interfacial phenomena concerned bubbles and drops, capillary phenomena and multi-scale simulation. Keynotes lecturers were **D. Langevin** (Université de Paris Sud, France) on “*Rheological properties of liquid interfaces, influence on crude oil emulsion behavior*”, and **B. Smit** (UC Berkeley, USA) on “*From monolayers to membranes: mesoscopic simulations of self-assemblies*”;
- session 3 on rheology and flow in confined systems dealt with porous media, micro fluidics and colloids in complex geometries. Keynotes lecturers were **G.J. Hirasaki** (Rice University, USA) on “*Challenges for chemical EOR*” and **A. Colin** (Université Bordeaux I, France) on “*Microfluidics and wettability*”.

The program of this international conference, which gathered 120 participants from more than 20 countries, was structured to encourage interaction and stimulate the exchange of ideas between players from the worlds of academic research, applied research and industry. More than 25 papers – in addition to the keynote lectures – were presented. This thematic

issue of the OGST magazine gathers some of them, illustrating the current trends of research and development in the field of colloids and complex fluids sciences. Nine papers were selected, on topics going from nanoparticle synthesis to foam flow in microfluidic devices. While most papers are ultimately related to OGST applications, other fields are also represented, such as agrochemicals, food science and soil pollution.

In order to present briefly the content of this issue, three topics may be considered, intimately related to the sessions of the Conference.

A first topic could be that of nanoparticles and adsorption or complexation phenomena. In this field, three papers were submitted dealing with the synthesis of soft nanoparticles *via* polyelectrolyte complexation, the cracking of drying nanoparticles films, and the adsorption-desorption of dye molecules on quartz, respectively:

- **C. Rondon, J.-F. Argillier, M. Moan and F. Leal Calderon** “*Formation of Soft Nanoparticles via Polyelectrolyte Complexation: A Viscometric Study*” describe the electrostatically driven complexation process, leading to the formation of soft nanoparticles, which takes place when a strong polyanion is mixed with an excess of weak polycation. Using a variety of techniques including viscosity measurements, they are able to determine the complexed fraction of the excess polyion and the effective volume fraction of nanoparticles. Their results show that the charge accessibility is a key parameter for the degree of polymer compaction within the nanoparticles;
- **F. Boulogne, F. Giorgiutti-Dauphiné and L. Pauchard** “*How to Reduce the Crack Density in Drying Colloidal Material?*” address the different factors which control the formation of cracks in a thin deposit of colloidal particles on a substrate. Cracking occurs through the competition of capillary shrinkage at the evaporation surface and adhesion on the substrate. The authors show that three process or material parameters have a decisive influence on the crack density: the drying rate, the nature of the solvent, and the mechanical properties of the particles, respectively, and they explain why;
- **A. Jada and R. Ait Akbour** “*Adsorption and Removal of Organic Dye at the Quartz Sand-Water Interface*” investigate the adsorption of methylene blue on quartz sand, in aqueous medium. By looking at the influence of the solution pH and the presence of divalent cations competing for adsorption, they come to the conclusion that adsorption is mainly driven by electrostatic interactions.

A second topic is that of emulsions and droplets. In this field, three papers have been collected concerning the freezing of emulsions, the detachment of liquid droplets from solid surfaces and the condensation of humid air on solid substrates, respectively. In these various processes, the characteristics of liquid/liquid, liquid/solid or gas/liquid interfaces have a significant effect on the observed phenomena:

- **D. Claussé and C. Dalmazzone** “*Freezing Within Emulsions: Theoretical Aspects and Engineering Applications*” investigated the solidification and the melting of simple, multiple or mixed emulsions. Using correlation between the solidification temperature of droplets and their size, the authors showed that Differential Scanning Calorimetry (DSC) is particularly relevant to get informations about the time morphology evolution in terms of stability and mass transfer. These phenomena are illustrated by applications in the fields of mass transfer and liquid/liquid separation, some of them concerning more particularly the crude oil production;
- **V. Fréville, E. van Hecke, C. Ernenwein, A.-V. Salsac and I. Pezron** “*Effect of Surfactants on the Deformation and Detachment of Oil Droplets in a Model Laminar Flow Cell*” studied the behavior of oil droplets deposited on a hard surface and subjected to the action of a flow of new green agrosurfactant solutions, in order to assess their degreasing performance. The deformation and the fragmentation or spontaneous detachment of the oil droplet observed when a critical flow rate was reached, were shown to depend on the initial interfacial characteristics of the droplet and flow conditions. The results obtained highlight the potential of AlkylPolyPentosides (APP) for detergent formulations;

- **A. Tiwari, J.-P. Fontaine, A. Kondjoyan, J.-B. Gros, C. Vial and C.-G. Dussap** “*Investigation of Interfacial Phenomena During Condensation of Humid Air on a Horizontal Substrate*” investigated the coupling between ventilation and condensation to model Controlled Ecological Life Support Systems (CELSS). This coupling plays an important role, for example, for higher plants growth in greenhouses. The authors developed an experimental set-up to characterize the dropwise condensation on a horizontal flat plate in a wind tunnel at low Reynolds number turbulent flows. The measurements of mass transfer coefficients show that these coefficients increase with thermal or pressure gradients and, in similar environmental conditions, with the mean flow strength.

A third topic is that of foams and foamy fluids. Like emulsions, this is a particularly important topic in view of the renewal of EOR-related research. Three papers were collected dealing either with model systems (foamy fluids), devices (microfluidics), or with real field problems (crude oil foams):

- **N. Quennouz, M. Ryba, J.-F. Argillier, B. Herzhaft, Y. Peysson and N. Pannaci** “*Micro-Fluidic Study of Foams Flow for Enhanced Oil Recovery (EOR)*” show how relevant microfluidic studies are for understanding the formation and behaviour of foams in simple or complex geometries. A particularly interesting part of the study is the section devoted to bimodal porous media, modeled by comb-like micromodels. The results are a beautiful demonstration of the usefulness of foams in fractured reservoirs;
- **C. Blázquez, E. Emond, S. Schneider, C. Dalmazzone and V. Bergeron** “*Non-Aqueous and Crude Oil Foams*” present an extensive overview of the major mechanisms involved in the formation, stability and destruction of oil-based foams. The basic difference between oil-based and water-based foams is the rather low surface tension of the liquid-gas interface in the former case, which limits adsorption of surfactants at this interface. Starting from there, the authors review the main stabilization mechanisms, including particle adsorption. In a second section, they address the particular case of petroleum-based foams and foamy oils, paving the way for better foam control by antifoaming or defoaming additives;
- **C. Vial and I. Narchi** “*Development of a Model Foamy Viscous Fluid*” focus their attention on the so-called foamy liquids, in which the gas fraction is below the very wet limit. Foamy liquids are encountered in the oil, food, and construction industries and are much less studied than foams. In their paper, the authors report a simple method for preparation of stable foamy liquids with a tunable gas fraction between 25 and 50%, enabling for a convenient study of their rheological behaviour.

Needless to say, this collection of papers is far from covering comprehensively the whole field of colloid research, even if we restrict our horizon to the oil and gas science and technology. Yet, it provides an excellent indication of where the efforts are currently focusing. We wish you a good and interesting reading.

Henri Van Damme
*Institut Français des Sciences et Technologies des Transports,
de l'Aménagement et des Réseaux*

Michel Moan
Université de Brest

Jean-François Argillier
IFP Energies nouvelles