

Éditorial

SYSTÈMES COLLOÏDAUX COMPLEXES

Les fluides et systèmes colloïdaux qualifiés de complexes représentent en fait la majorité des fluides manipulés dans les milieux industriels ou intervenant dans notre vie quotidienne et notre environnement naturel. Le fluide “simple” homogène, de viscosité constante, stable et non évolutif est plus un objet théorique qu’une réalité pratique. Les systèmes réels sont complexes tout d’abord de par leurs propriétés : rhéologie non-Newtonienne, thixotropie et vieillissement, inhomogénéités et structuration, réactivité et changements de phases, ainsi que tous les couplages inhérents sont des difficultés fréquemment rencontrées dans les applications mettant en œuvre ces systèmes. Cette variété de comportement provient généralement d’une complexité de composition : ces fluides sont, dans la plupart des cas, constitués de plusieurs phases (généralement une phase continue avec une ou plusieurs phases dispersées) formant des émulsions, suspensions, mousses ou autres dispersions colloïdales. La présence de ces “objets” (gouttes, bulles, particules, etc.) dispersés dans une phase continue conduit à ces propriétés singulières en terme d’écoulement, de rhéologie, de réactivité, de structuration, etc., particulièrement dans le cas de systèmes concentrés, comme on en trouve fréquemment dans les applications industrielles concrètes.

L’industrie de l’énergie, et particulièrement l’industrie pétrolière, ajoute à ces difficultés des conditions d’environnement souvent ardues (haute pression et température, écoulements complexes, forte salinité) pour des fluides présentant généralement un caractère opaque, concentré, si bien que les instruments et techniques classiquement utilisés pour leur étude se révèlent inopérants pour ces conditions d’usage.

La compréhension fine des propriétés de ces fluides complexes est cependant un point essentiel pour mieux maîtriser leur formulation ainsi que pour contrôler et assurer le succès des applications qui les mettent en œuvre. Elle passe forcément par une approche couplant une caractérisation adaptée de ces systèmes concentrés, opaques, et une démarche structure/propriétés de modélisation physique à l’échelle mésoscopique pertinente.

Il est ainsi souvent nécessaire de définir et d’étudier des fluides “modèles” permettant l’identification et la quantification des interactions et mécanismes dominants dans les systèmes d’intérêt en parallèle de la caractérisation fine des systèmes réels, avant d’aboutir à une description et une maîtrise valide du comportement de ces systèmes.

Cette démarche couplée se retrouve de manière récurrente dans les publications réunies dans ce numéro d’*Oil & Gas Science and Technology*. Ce dossier a pour ambition de brosser un tableau de quelques problématiques liées aux fluides complexes étudiées à l’IFP ces dernières années.

Les systèmes colloïdaux complexes se retrouvent d’un bout à l’autre de la chaîne pétrolière : depuis le forage des puits (matériaux de cimentation), en passant par les opérations de récupération assistée (EOR), la production des effluents (bruts, émulsions, paraffines, hydrates, etc.), la gestion des effluents (séparation en fond et en surface, réinjection des eaux de production, etc.), le traitement thermique ou catalytique des résidus et bruts lourds riches en résines et asphaltènes mais également dans les nouvelles technologies de l’énergie comme dans les procédés de captage du CO₂ (procédé hydrates) ou l’étanchéité des stockages du CO₂ (cimentation primaire, abandon des puits). Toutes ces opérations impliquent le contrôle des propriétés, et parfois la maîtrise des formulations, de ces fluides complexes dans des conditions de pression, température et écoulement souvent difficiles.

Comme cité plus haut, le caractère opaque et concentré des systèmes réels implique fréquemment la mise au point de méthodes de caractérisation adaptées permettant d'obtenir des informations de structure pertinentes pour la modélisation. Un exemple en est donné dans le premier article avec l'application de méthodes calorimétriques aux émulsions pétrolières réelles.

Les conditions de pression et de température souvent difficiles rencontrées dans les applications peuvent conduire à des systèmes physico-chimiques très complexes, comme les huiles moussantes en production où sous l'effet de la dépressurisation lors de la production, des bulles de gaz apparaissent dans une phase huile visqueuse. Le deuxième article montre toute la richesse du comportement rhéologique de tels systèmes mais aussi la difficulté de leur caractérisation.

Manipuler des fluides complexes dans un environnement industriel impose souvent de disposer de lois de comportement, que l'on détermine par des essais rhéométriques. L'hypothèse de base de la rhéométrie est la continuité de la déformation et l'homogénéité de l'échantillon dans la géométrie utilisée. Ce postulat implicite peut être remis en cause dans le cas de certains systèmes, et des couplages imagerie/rhéométrie sont alors nécessaires pour mettre en évidence et modéliser les structures hétérogènes et dynamiques qui apparaissent. Un exemple concret en est donné dans le troisième article.

Le ciment est un exemple de système complexe, dont la structure et les propriétés rhéologiques à l'état liquide (laitier) sont déterminantes pour la durabilité future du matériau. Complexifier le système en ajoutant des particules de latex peut aider à améliorer les propriétés de la pâte de ciment. Le quatrième article nous présente comment la rhéologie, la spectroscopie RMN et la calorimétrie peuvent être utilisées pour mieux comprendre les relations entre la composition du coulis, son comportement rhéologique et les propriétés du matériau durci.

Le comportement des fluides complexes est souvent régi par les propriétés des multiples interfaces présentes dans le système. Dans une démarche de formulation comme décrite dans le cinquième article, les interactions entre composés tensioactifs et polymères chargés peuvent ainsi être mises à profit pour formuler des émulsions ou mousses très stables. De même, la stabilité et les propriétés des émulsions pétrolières dépendent largement des molécules absorbées aux interfaces, et des cinétiques correspondantes. La viscoélasticité de l'interface devient une propriété importante pour comprendre et modéliser ces systèmes réels, comme le montre le sixième article de ce dossier.

La structure des "objets" dispersés, qui donnent toute leur richesse aux propriétés des fluides complexes, doit souvent être décrite dynamiquement à plusieurs échelles pour comprendre l'origine de certaines propriétés particulières. Le septième article en est une illustration concrète, où des expériences de diffusions de rayonnement ont permis de valider des modèles d'agrégation rendant compte des propriétés de bruts asphalténiques. De la même manière, le huitième article montre comment des modèles d'agrégation dynamiques peuvent décrire avec une bonne précision le bouchage progressif des conduites dans le cas de formation d'hydrates de gaz dans des émulsions pétrolières.

À l'heure où l'on doit préparer la transition énergétique, la problématique des fluides complexes se trouve impliquée dans de nouveaux défis industriels et sociétaux qui produiront de nouvelles applications. Dans la continuité des études décrites dans ce numéro, la compréhension et la maîtrise de ces systèmes physico-chimiques continuent à progresser en couplant toutes les échelles de description.

B. Herzhaft

*Chef de Département Physico-chimie des fluides complexes
IFP*

Editorial

COMPLEX COLLOIDAL SYSTEMS

Colloidal systems and fluids qualified as complex represent in fact the majority of fluids handled in industrial processes or occurring in our daily life and our natural environment. A “simple” homogeneous fluid, of constant viscosity, stable and with properties that are constant over time, is indeed more a theoretical concept than a practical reality. Real systems are primarily complex due to their properties: non-Newtonian rheology, thixotropy and aging, inhomogeneities and internal structures, reactivity and changes of phase, as well as all the inherent interactions, are some of the difficulties that are frequently encountered in applications which make use of these systems. This variety of behaviour generally arises from a complexity of composition: these fluids are, in the majority of cases, comprised of several phases (generally one continuous phase with one or more dispersed phases) forming emulsions, suspensions, foams or other colloidal dispersions. The presence of these “objects” (drops, bubbles, particles, etc.) dispersed in a continuous phase leads to unique properties in terms of flow, rheology, reactivity, internal structure, etc., particularly in the case of concentrated systems, as are frequently found in actual industrial applications.

The energy industry, and particularly the oil industry, adds severe environmental conditions (high pressure and temperature, complex flows, high salinity) to these difficulties for fluids which are generally opaque and concentrated, to such an extent that the instruments and techniques traditionally used for their study prove to be ineffective in these conditions of use.

Nevertheless, a detailed understanding of the properties of these complex fluids is an essential point in better mastering their formulation as well as in controlling and ensuring the success of the applications which make practical use of them. This understanding relies strongly on an approach coupling an appropriate characterisation of these concentrated and opaque systems and modelling of structure and physical properties at the relevant mesoscopic scale.

Thus, it is often necessary to define and study “model” fluids permitting the identification and quantification of the dominant interactions and mechanisms in the systems of interest in parallel with the detailed characterisation of real systems, before obtaining a description and a valid mastery of the behaviour of these systems.

This coupled approach is repeatedly found in the publications grouped together in this issue of *Oil & Gas Science and Technology*. The aim of this issue is to give an overall view of certain problems linked to the complex fluids studied at the IFP over the last few years.

Complex colloidal systems are found throughout oil production process: from well drilling (cementation materials), through to Enhanced Oil Recovery (EOR) operations, the production of effluents (crudes, emulsions, paraffins, hydrates, etc.), the management of effluents (separation at the bottom and the surface, reinjection of production water, etc.), heat or catalytic treatment of the residues of heavy crudes rich in resins and asphaltenes but likewise in the new energy technologies such as CO₂ capture processes (hydrate process) or the long-term tightness of sealed wells in CO₂ storage (primary cementation, well abandonment). All these operations imply control of properties, and at times control of the formulations of these complex fluids under pressure, temperature and flow conditions which are often difficult.

As cited above, the opaque and concentrated character of these real systems frequently implies the adaptation of characterisation methods permitting structural information relevant for modelling to be obtained. An example of this is given in the first article with the application of calorimetric methods to oil emulsions found in industrial processes.

The frequently difficult pressure and temperature conditions which are encountered in the applications may lead to highly complex physical-chemistry systems, such as foamy oil during production where, under the effect of depressurisation during production, gas bubbles appear in a viscous oil phase. The second article demonstrates the wealth of rheological behaviour of such systems but also the difficulty involved in their characterisation.

Handling of complex fluids in an industrial environment, frequently requires the availability of constitutive laws which are determined from rheometric tests. The basic hypothesis of rheometry is the continuity of the deformation and the homogeneity of the sample in the geometry used. This implicit premise can be called into question within certain systems and imaging/rheometric coupling is therefore necessary to provide evidence and model the heterogeneous and dynamic structures which arise. A practical example is provided in the third article.

Cement is an example of a complex system of which the structure and the rheological properties in the liquid state (slurry) are decisive for the future durability of the material. Complexification of the system by addition of latex particles can help in improving the properties of the cement paste. The fourth article shows how rheology, NMR spectroscopy and calorimetry can be used to better understand the relationships between the composition of the liquid cement, its rheological behaviour and the properties of the hardened material.

The behaviour of complex fluids is often governed by the properties of the multiple interfaces present in the system. In a formulation approach as described in the fifth article, the interactions between surface active components and charged polymers may thus be useful in forming highly stable emulsions or foams. Moreover, the stability of the properties of oil emulsions is largely dependent on the molecules absorbed at the interfaces and the corresponding kinetics. The viscoelasticity of the interface becomes a significant characteristic property in understanding and modelling these real systems, as is demonstrated in the sixth article in this issue.

The structure of dispersed “objects”, which give immense variety to the properties of complex fluids, must often be described dynamically at several different scales to understand the origin of certain particular properties. The seventh article is an illustration of this, where experiments using scattered radiation have allowed validation of the aggregation models which represent the properties of asphaltenic crudes. In the same way, the eighth article shows how dynamic aggregation models can accurately describe the progressive blocking of pipes in the case of the formation of gas hydrates in oil emulsions.

Currently, as society is faced with preparing for a transition in energy sources, the problems associated with complex fluids are implicit in the new industrial and social challenges which will produce new applications. Through studies such as those described in this issue, the understanding and mastering of these physical chemistry systems continues to progress by coupling the different description scales.

B. Herzhaft

*Head of Physical Chemistry of Complex Fluids Department
IFP*