

ÉDITORIAL

Mesdames, Mesdemoiselles, Messieurs,

Chers Collègues,

Je voudrais en premier lieu vous souhaiter la bienvenue à Rueil-Malmaison au nom de la Direction Générale de l'*IFP* et des membres du Comité d'organisation de cette conférence internationale, consacrée à la production des fluides de gisements en conditions extrêmes.

La plupart des scientifiques et ingénieurs français qui assistent à ce séminaire aujourd'hui connaissent les activités de l'*IFP*. Néanmoins et afin de compléter l'information de certains de nos collègues européens et américains, je souhaiterais profiter de cette opportunité pour vous rappeler brièvement les traits marquants de notre organisation.

L'*IFP* est un organisme professionnel créé il y a plus de 50 ans. Ses trois missions principales figurant dans ses statuts sont la Recherche et le Développement (R&D), la Formation et la Documentation. L'*IFP* compte près de 1800 personnes, dont plus des deux tiers sont des scientifiques, ingénieurs et techniciens de toutes spécialités, et son budget annuel s'élève à 1,6 milliard de francs français dont plus de 70 % sont consacrés à la R&D.

Les principales installations de l'*IFP* sont localisées à Rueil-Malmaison, où se concentrent les travaux à l'échelle du laboratoire ; à Solaize, dans la banlieue de Lyon, notamment pour les activités de développement industriel en génie des procédés et, enfin, à Pau, dans le sud-ouest de la France, où ont été implantées depuis quelques années des équipes travaillant en traitement des données géophysiques et en modélisation des réservoirs.

La mission de Recherche et Développement de l'*IFP*, intégrée depuis la recherche fondamentale jusqu'à l'industrialisation des résultats, couvre l'ensemble des domaines techniques liés à l'industrie des hydrocarbures, depuis le puits jusqu'au pot d'échappement, sans oublier bien entendu les aspects de la protection de l'environnement qui leur sont associés. Cette mission est conduite en étroite collaboration avec les sociétés du secteur pétrolier et parapétrolier, ainsi qu'avec les constructeurs automobiles. La mission R&D de l'*IFP* présente une dimension européenne et internationale marquée par la participation active de l'*IFP* aux programmes scientifiques et techniques de l'Union européenne ainsi que par l'existence de nombreux accords de collaboration et contrats de recherche avec des universités, des centres de recherche ou des industriels étrangers.

Les connaissances scientifiques et le savoir-faire technique mais aussi les nouveaux procédés, produits, équipements, logiciels issus de ces activités de R&D sont ensuite valorisés, soit à travers des **contrats avec des partenaires industriels**, soit par **cession de licences** sur le marché international des technologies et services.

Pour soutenir ce programme de recherche appliquée, l'*IFP* doit réaliser des travaux de nature plus fondamentale, qui visent à améliorer les connaissances dans des domaines et sur des sujets clés qui gouvernent l'innovation technique. C'est ainsi que pour accroître l'impact des équipes internes dédiées à la recherche de base, l'*IFP* accueille

chaque année, dans ses Divisions de recherche, des étudiants préparant une thèse de doctorat, de jeunes chercheurs confirmés effectuant un stage postdoctoral, des universitaires en congé sabbatique et des ingénieurs de l'industrie en détachement dans le cadre de projets conduits en partenariat. De même, l'IFP entretient des relations étroites avec de nombreux laboratoires universitaires et organismes de recherche, localisés en France et à l'étranger, à travers un réseau scientifique diversifié qui compte plusieurs centaines de contrats de collaboration et accords-cadre.

Cette manifestation d'aujourd'hui s'intègre dans le cadre des “**Rencontres scientifiques de l'IFP**”. Créées en 1989, elles cherchent à définir, au cours de journées de réflexion et d'échanges, l'impact d'avancées scientifiques marquantes sur les méthodes de travail des industries pétrolières et gazières, comme sur la réduction des verrous technologiques auxquels elles se heurtent. En rassemblant un certain nombre d'experts internationaux reconnus et en se prêtant à des présentations et discussions informelles, les “Rencontres scientifiques de l'IFP” s'efforcent donc de cerner les grandes tendances de la recherche et de définir les priorités pour des actions futures dans un champ d'application donné.

Les premières éditions ont été consacrées à des sujets aussi variés que la thermodynamique des gaz naturels, les écoulements en milieux poreux, les réacteurs chimiques polyphasiques, la caractérisation des réservoirs pétroliers, les moteurs deux-temps, les matériaux composites, les applications de la modélisation moléculaire, pour aboutir aujourd'hui à cette douzième édition dédiée à la **production des fluides de gisements en conditions extrêmes**.

L'industrie pétrolière reste tributaire de risques techniques importants lors de l'exploitation de nombreux gisements en raison de conditions de réservoir difficiles : gaz à condensat, fluides critiques, haute pression, haute température, bruts asphalténiques. Ces risques ont en commun de concerner à la fois les propriétés des fluides et les écoulements en milieu poreux, dans des conditions rendues extrêmes par la pression, la température, la composition du fluide ou la nature de la roche-réservoir.

Dans beaucoup de bassins, **les gaz à condensat** prennent une part croissante. Mais leur production est difficile. L'accumulation du condensat autour des puits de production peut en effet réduire fortement leur productivité. Ce risque est actuellement difficile à prévoir du fait d'une connaissance trop approximative des écoulements triphasiques, que ce soit à l'échelle de la carotte ou, plus encore, à l'échelle du gisement où se posent des problèmes supplémentaires d'hétérogénéité du réservoir et de distribution initiale des fluides. La pratique croissante de l'injection de gaz est un autre facteur qui justifie un intérêt accru au problème des écoulements polyphasiques. Ce procédé permet d'optimiser la production du gisement par maintien de pression ou, mieux encore, par balayage. Pour éviter les phénomènes d'instabilité qui aboutissent à la percée trop rapide du gaz, il est aussi envisagé d'injecter alternativement de l'eau et du gaz (procédé WAG). Dans ce cas, le caractère triphasique des écoulements est particulièrement marqué et il est donc important d'en maîtriser la physique.

Ces phénomènes d'écoulements en milieux poreux intéressent un très large domaine de conditions de réservoir. Les gisements très profonds où l'on rencontre de très hautes pressions (plus de 500 bar) ou de fortes températures (plus de 150°C) constituent un cas à part.

L'aventure des gisements haute pression/haute température a démarré dans les années 1960 sur quelques gisements d'exception qui ont permis à certaines compagnies de commencer à développer des technologies spécifiques. J'aimerais citer,

à cet égard, le cas du gisement de Lacq (800 bar) qui est à l'origine de l'histoire de la compagnie *Elf Aquitaine*, ou le gisement de Malossa (1010 bar, 156°C) dans la plaine du Pô découvert par *Agip*. Depuis le début des années 1990, le nombre de gisements HP-HT en cours de développement a notablement augmenté. Nous pouvons citer par exemple quelques grands projets en mer du Nord, aujourd'hui très avancés, tels que Elgin-Franklin (1100 bar, 190°C, 5300 m) qui sera opéré par *Elf*, le projet Etap de *Shell*, ou Erskine de *Texaco*. Bien entendu d'autres projets existent ailleurs de par le monde, en particulier dans le golfe du Mexique et au Brésil. *Petrobras* a découvert des accumulations d'hydrocarbures jusqu'à 1200 bar et 163°C dans le bassin offshore de Santos. Ceci étant, la proportion de gisements HP-HT aujourd'hui en production dans le monde reste encore très faible.

Cette situation est appelée à évoluer. Pour renouveler leurs réserves, les compagnies pétrolières explorent les zones profondes et très profondes, qui conduisent plus souvent à des découvertes de gisements de gaz à condensat, parfois en conditions HP-HT. L'exploitation de ces réserves est rendue possible par l'amélioration des méthodes de géophysique, en particulier l'emploi généralisé de la sismique 3D qui permet de mieux identifier les pièges profonds qui restaient autrefois indiscernables, et par les progrès extraordinaires réalisés dans le domaine du forage et la baisse générale des coûts en exploration-production.

Une étude très récente réalisée par *IFP* dans le cadre d'un projet européen Thermie a fait le point sur la production pétrolière et gazière de la mer du Nord. Il apparaît que dans cette zone, seules 10 % des réserves aujourd'hui en production sont situées à plus de 3500 m de profondeur. Par contre, un tiers de l'ensemble des réserves identifiées, mais qui ne sont pas encore développées, se trouve à plus de 3500 m de profondeur et présentera donc certainement des conditions d'exploitation sévères en pression et en température. Cette proportion est encore plus élevée pour les gisements de gaz. On conçoit donc l'importance qu'il y a à développer des technologies appropriées qui seules permettront demain d'accéder à des coûts raisonnables à ces ressources d'hydrocarbures.

La plupart des gisements HP-HT découverts attendent cependant encore une décision de mise en production, sinon un projet de développement. L'exploitation de ces gisements se heurte en effet à de nombreux problèmes auxquels la R&D doit apporter des solutions :

- pour les gaz à condensat et l'injection de gaz, il est difficile de prédire correctement les écoulements triphasiques, les conditions de miscibilité et les propriétés des fluides au voisinage des conditions critiques ;
- pour les gisements HP-HT, il est nécessaire de mieux maîtriser le comportement des fluides à haute pression, les risques de cristallisation de paraffines en surface, ou les problèmes de corrosion ;
- dans le cas de bruts asphalténiques, il faut maîtriser les risques de diminution de la productivité des puits à cause du colmatage du milieu poreux, la précipitation des asphaltènes ainsi que la viscosité de ces bruts.

J'aimerais également évoquer la question des **bruts lourds et extralourds**, dont certains aspects seront traités ici. L'ampleur de ces réserves est considérable et dépasse celle des huiles conventionnelles. Les ressources totales en place (1200 Gbl) sont du même ordre de grandeur que les réserves prouvées mondiales et constituent des alternatives à la dépendance énergétique vis-à-vis des réserves du Moyen-Orient. Les enjeux économiques et stratégiques sont donc considérables. Aujourd'hui

pourtant, seul un faible pourcentage des ressources en place est considéré comme “techniquement récupérable”, et un taux de moins de 4 % est jugé comme économiquement exploitable. Il ne fait cependant pas de doute, sur un plus long terme, que le savoir-faire dans la production des huiles lourdes et extralourdes sera une part essentielle du métier de pétrolier.

Bien entendu, *l'IFP* est actif depuis de nombreuses années dans tous les domaines concernés par l'exploitation des gisements en conditions extrêmes.

Dans ces domaines *l'IFP* a réalisé plusieurs dispositifs spécifiques pouvant opérer en conditions sévères :

- les équipements Hercule et Vulcain, conçus pour opérer à plus de 1000 bar et 200°C, permettant de mesurer les propriétés volumétriques, la viscosité, et les équilibres de phase des hydrocarbures en présence de saumure ;
- une cellule de mesure des saturations pendant des tests d'écoulement sur carottes en conditions de réservoir ;
- un matériel appelé Gaia qui permet d'étudier les équilibres d'adsorption en conditions HP-HT.

Un grand nombre de défis scientifiques et technologiques restent à relever. Permettez-moi d'en citer quelques-uns qui seront très certainement évoqués au cours des communications scientifiques qui suivront :

- la mesure et la prédiction de la viscosité des fluides réels en condition HP-HT ;
- la détermination des coefficients de Joule/Thomson ;
- l'élaboration de modèles satisfaisants de la floculation des asphaltènes et de la viscosité des bruts asphalténiques ;
- la mise au point d'une méthode permettant de prédire la réduction de perméabilité ou la modification de mouillabilité d'une roche-réservoir lors de l'écoulement d'un brut ;
- les mesures de saturations *in situ* pendant l'écoulement en conditions HP-HT ;
- la définition de procédés de recyclage optimisé des gaz, et en particulier des gaz acides ;
- l'application à des fluides pétroliers réalistes des techniques de modélisation moléculaire ;
- la mise au point de composants électroniques supportant les hautes températures.

On le voit, l'ampleur de la tâche est considérable et *l'IFP* souhaite continuer à apporter sa contribution aux défis scientifiques et technologiques qui sont posés. Les réponses à ces questions seront apportées par **la mise en commun de travaux théoriques, de moyens d'expérimentation et de moyens de calcul très importants**. La coopération entre les centres de recherche et l'industrie sera un élément clé du succès, et contribuera ainsi au maintien des approvisionnements énergétiques dans les années à venir.

En conclusion, je voudrais vous remercier d'assister à cette conférence. Nous nous sentons particulièrement honorés d'accueillir à *l'IFP* d'éminents spécialistes du domaine qui sont aussi, pour beaucoup d'entre vous, d'excellents amis et correspondants des équipes de recherche *IFP*. Nous voudrions que les participants à ces deux journées en retirent des idées plus claires sur ce que l'on peut réellement espérer des différentes technologies mises en œuvre dans ce domaine, mais aussi sur les moyens humains et matériels qu'il est nécessaire d'investir à cette fin. Je suis certain que ces deux journées seront l'occasion d'échanges fructueux pour progresser encore plus avant dans la connaissance et la maîtrise des phénomènes complexes que j'ai brièvement évoqués.

Je suis heureux de constater que cette manifestation a attiré un nombre appréciable de spécialistes, puisque nous avons compté plus de 90 inscrits. Il est aussi satisfaisant de remarquer un bon équilibre entre les participants français et étrangers, les uns et les autres constituant 50 % des participants. Les représentants de l'industrie et des centres de recherche académiques sont représentés à parts égales, ce qui devrait permettre les échanges fructueux que nous recherchons au cours de ces "Rencontres scientifiques".

Je tiens aussi à remercier en votre nom les conférenciers pour le temps investi dans la préparation de leur intervention. Étant donné leur faible disponibilité, je suis particulièrement reconnaissant aux spécialistes des compagnies *Elf*, *Total*, *BP* et *Shell* du temps qu'ils y ont consacré. Enfin, mes remerciements vont aux efforts des auteurs qui ont assuré la rédaction d'un article pour les actes de ce séminaire. Je salue pour finir tous les membres de l'équipe organisatrice, notamment Philippe Ungerer, Marie-France Baltus et Caroline André qui ont assumé leur lourde tâche avec efficacité et dynamisme et, enfin, tous les Services de l'*IFP* qui ont contribué, par leur professionnalisme, à la réussite de cette conférence.

Je vous remercie de votre attention.

Olivier Appert

EDITORIAL

Ladies, Gentlemen and Colleagues:

First of all, on behalf of the management of *IFP* and the members of the Organizing Committee of this international conference on the production of reservoir fluids under extreme conditions, I should like to welcome you to Rueil-Malmaison.

Most of the scientists and engineers attending the conference today are familiar with the activities of *IFP*. Nonetheless, for the benefit of our American and European colleagues, I should like to take this opportunity to briefly mention the important features of the Institute.

IFP is a professional organization founded over 50 years ago. As laid down in its statutes, the Institute's main areas of activity are Research and Development (R&D), Education and Training, and Information. *IFP* employs around 1800 persons, two-thirds of whom are scientists, engineers and technicians working in all the different specialties. Its annual budget is 1.6 billion French francs, over 70% of which is devoted to R&D.

IFP's main facilities are located at Rueil-Malmaison, where laboratory-scale work is carried out, at Solaize near Lyon, where the specialty is the industrial development of process engineering, and at Pau in southwestern France, where geophysical data processing and reservoir modeling teams have been working for the last few years.

Research and Development at *IFP* ranges from fundamental research to the industrial development of results, and spans all technical areas related to the oil and gas industry, from the well to the vehicle exhaust pipe, including all associated aspects of environmental protection. *IFP*'s R&D activity is conducted in close collaboration with companies in the oil and gas and supply and service sectors, and with automobile manufacturers. *IFP* is European and international in scope, and takes an active part in the European Union's scientific and technical programs. The Institute has signed a number of collaborative agreements and research contracts with universities, research centers and companies outside France.

Scientific knowledge and technical know-how, and the new processes, products, equipment and software that are the fruit of R&D activities, are subsequently exploited through **contracts with industrial partners**, and **licenses sold** on the international technology and service market.

To support its applied research program, *IFP* performs research of a more fundamental nature aimed at enhancing knowledge in key areas that govern technical innovation. Furthermore, to strengthen the impact of in-house teams working on fundamental research, every year, *IFP* Research Divisions host doctoral students writing theses, post-doctoral researchers, academics on sabbatical leave and engineers seconded by their companies to work on projects in partnership with *IFP*. The Institute is also in close contact with many university laboratories and research organizations located in France and abroad, through a diverse scientific network that involves several hundred cooperation contracts and framework agreements.

Today's conference forms part of the "**Rencontres scientifiques de l'IFP**". Initiated in 1989 to provide a forum for the exchange of ideas, these meetings aim to define the

impact that major scientific breakthroughs have on work methods in the oil and gas industry, and on the technological obstacles that exist, and that must be overcome. By bringing together a number of acknowledged international experts in an atmosphere conducive to informal presentations and discussions, the purpose of this series is to identify major research trends, and to define priorities for future actions in a given field of application.

The first conferences were devoted to subjects as varied as the thermodynamics of natural gas, flow in porous media, multiphase chemical reactors, oil and gas reservoir characterization, two-stroke engines, composite materials, and molecular modeling applications. This brings us today to the twelfth conference, devoted to **the production of reservoir fluids in frontier conditions**.

The oil and gas industry still has to face significant technical risks when developing a number of fields, due to difficult reservoir conditions, such as the presence of condensate gas, critical state fluids, high pressure, high temperature and asphaltenic crudes. The common denominator of these risks is that they concern fluid properties and flow in porous media, under conditions made extreme by pressure, temperature, fluid composition and the nature of the reservoir rock.

In many sedimentary basins, **condensate gases** represent an increasing proportion of the hydrocarbons in place, but they are difficult to produce. The accumulation of condensate around the production well can significantly reduce productivity. This risk is currently difficult to foresee because knowledge of three-phase flow is still incomplete, both on the core scale and even more so on the reservoir scale, because it involves further problems of reservoir heterogeneity and initial fluid distribution. The increasing use of gas injection is another factor that explains the growing interest in the problem of multiphase flow. Gas flooding makes it possible to optimize production from the reservoir by maintaining pressure, or better still, by sweeping the reservoir. To avoid instability phenomena that lead to the excessively rapid breakthrough of gas, the alternate injection of water and gas (the WAG process) is also being contemplated. In this case, the three-phase nature of the flow is particularly pronounced, and it is therefore important to grasp the physical mechanisms involved.

The phenomena of flow in porous media involve a very wide range of reservoir conditions. Very deep reservoirs in which very high pressures (over 500 bar) or temperatures (over 150°C) are encountered are a case apart.

The adventure of high-pressure/high temperature reservoirs began in the 1960s with a few exceptional reservoirs that allowed some companies to start developing specific technologies. In this respect, I should like to mention the Lacq field (800 bar), the opening chapter in the story of *Elf Aquitaine*, and the Malossa field (1010 bar, 156°C) in the Po valley discovered by *Agip*. Since the start of the 1990s, the number of HP-HT reservoirs being developed has increased considerably. Take, for example, a few of the major North Sea projects which are today well advanced, such as Elgin-Franklin (1100 bar, 190°C, 5300 m) to be operated by *Elf, Shell's* Etap project or *Texaco's* Erskine project. Of course, projects also exist in other parts of the world, especially in the Gulf of Mexico and Brazil. *Petrobras* has discovered hydrocarbon deposits at 1200 bar and 163°C off the coast of Santos. However, the number of HP-HT fields worldwide in production today is still very small.

This situation is bound to change. To renew their reserves, oil companies are exploring deep, and very deep areas, which often lead to the discovery of condensate gas fields, often under HP-HT conditions. Production of these reserves is made possible by the

use of improved geophysical methods, particularly the generalized use of 3D seismic which enables identification of deep traps that used to remain undetected. Production is also aided by extraordinary advances in the field of drilling, and a general reduction in exploration/production costs.

A very recent study carried out by *IFP* within the framework of the European Thermie project has reviewed oil and gas production in the North Sea. It appears that in this area only 10% of the reserves being produced today are located at depths of over 3500 m. On the other hand, one third of all the identified but as yet undeveloped reserves are located at depths of over 3500 m and undoubtedly involve severe production conditions where pressure and temperature are concerned. The percentage is even higher in the case of gas fields. Hence the importance of developing the required technologies that alone will provide access tomorrow to these oil and gas resources at reasonable costs.

Most of the HP-HT fields discovered are nevertheless still awaiting a decision on their production, or on a development project. The development of these fields involves a number of problems to which R&D must provide the solutions:

- Concerning condensate gas and gas injection, it is difficult to accurately forecast three-phase flow, miscibility conditions and the properties of fluids under near critical conditions.
- In the case of HP-HT fields, it is necessary to gain a better understanding of fluid behavior at high pressure, the risk of paraffin crystallization at the surface, and corrosion problems.
- In the case of asphaltenic crudes, a means has to be found of controlling the risk of reduced well productivity due to the plugging of the porous medium, the precipitation of asphaltenes and the viscosity of these crudes.

I should also like to mention **heavy and extra heavy crudes**. Some of the aspects will be covered in the third session. Reserves of these crudes are particularly abundant and exceed those of conventional crudes. Total reserves in place (1200 billion barrels) are of the same order of magnitude as proven world reserves and provide an alternative to energy dependency on Middle Eastern resources. The economic and strategic stakes are therefore considerable. Today, however, only a small percentage of the reserves in place is considered “technically recoverable”, and less than 4% is considered economically producible. Nonetheless, there is no doubt that in the long term, expertise in the production of heavy and extra heavy oils will form an essential part of the petroleum engineer's work.

IFP has of course been actively involved for many years in all the fields concerned by the development of reservoirs under extreme conditions.

The Institute has developed several specific devices capable of operating under severe conditions:

- The Hercule and Vulcain systems designed to operate at over 1000 bar and 200°C and able to measure the volumetric properties, viscosity and phase equilibria of hydrocarbons in the presence of brine;
- A cell for measuring saturations during flow tests on cores under reservoir conditions;
- *IFP* also possesses an apparatus called Gaia for studying adsorption equilibria under HP-HT conditions.

There are still a great many scientific and technological challenges to be met. I should like to mention a few that will certainly be discussed in the scientific papers that are to follow:

- Measurement and prediction of the viscosity of real fluids under HP-HT conditions;
- Determination of Joule/Thomson coefficients;
- The development of satisfactory models for asphaltene flocculation and asphaltenic crude viscosity;
- The development of a method for predicting reduction in permeability or the modification in wettability of a reservoir rock during crude flow;
- In situ saturation measurement during flow under HP-HT conditions;
- The determination of optimized gas (particularly sour gas) recycling processes;
- The application of molecular modeling techniques to realistic petroleum fluids;
- The development of electronic components capable of withstanding high temperatures.

As you can see, the task is a sizable one and *IFP* wants to continue making its contribution to meeting the scientific and technological challenges. The answers to these questions will be provided by **pooling theoretical research, experimental facilities and powerful computing resources**. Cooperation between research centers and industry will be a key factor for success and will thus help to maintain energy supplies in the years to come.

In conclusion, I should like to thank you for attending this conference. We are particularly honored to have eminent specialists in the field here with us at *IFP*. For many of you, they are also good friends and correspondents of *IFP* research teams. After these two days, we would like you to leave with clearer ideas on what we can really expect of the different technologies used in this field, and also on the human and material resources required. I am sure that these two days will provide the opportunity for fruitful exchange that will enable us to further our knowledge and understanding of the complex phenomena that I have briefly outlined.

I am happy to note that this conference has attracted a significant number of specialists, as there have been more than 90 inscriptions. The mix between French and Foreign participants, approximately equal numbers in each category, is also satisfying. Furthermore, the fact that industry and academic research are equally well represented should permit the kind of fruitful exchanges that we seek to establish during these “Rencontres scientifiques”.

I would like to thank the speakers, on your behalf, for the time they have given to preparing their presentations. Considering how little time they do have, I would particularly like to mention the specialists from *Elf*, *Total*, *BP* and *Shell* for their efforts. Many thanks are also due to the authors who have prepared articles for the seminar proceedings. Finally, I would like to thank the members of the organizing committee, in particular Philippe Ungerer, Marie-France Baltus and Caroline André, who have efficiently and dynamically taken on this heavy responsibility, as well as all the *IFP* departments, who have made this conference the success that it is.

Thank you.

Olivier Appert