

Préambule

LE STOCKAGE DU CO₂ AU SERVICE DE LA LUTTE CONTRE LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Étude de sites géologiques dans le bassin Parisien, France

Lorsque John Lynch m'a demandé de présenter ce volume double de *Oil & Gas Science and Technology – Revue de l'IFP* consacré aux résultats scientifiques et techniques obtenus par les premiers projets du programme ANR portant sur la capture et au stockage du CO₂, j'ai accepté avec grand plaisir ; je savais que, comme chaque fois que j'ai eu la chance de travailler avec John au cours de ma carrière, la préparation de cette préface serait l'occasion d'échanges scientifiques riches et fructueux dans un climat chaleureux, à son image. Sa très grande culture scientifique et sa volonté de contribuer à l'élaboration de solutions concrètes et efficaces face à un problème qu'il jugeait primordial pour l'avenir donnait à sa vision des questions à résoudre et des stratégies de R&D à mettre en place une remarquable pertinence. La très grande qualité de ce volume en témoigne. Le vide qu'il laisse dans notre communauté est immense.

Parmi les actions amenées à jouer un rôle dans la lutte contre le changement climatique, le stockage géologique du dioxyde de carbone est considéré aujourd'hui comme l'une des options qui deviendront disponibles dans un futur proche. Un certain nombre de projets pilotes et de projets de démonstration sont nés des efforts conjugués de l'industrie et des équipes de recherche au cours des quinze dernières années, et plusieurs dizaines d'installations de démonstration de stockage devraient voir le jour au cours des cinq prochaines années dans le monde entier. La technologie pourrait ainsi être prête pour un déploiement à partir de 2015.

Le stockage géologique du CO₂ s'inscrit dans la chaîne complète de réduction des émissions de gaz carbonique dite *CCS* (pour *Carbon Capture & Storage*, captage et stockage du carbone), qui s'intéresse aux émissions importantes provenant en majeure partie des centrales électriques utilisatrices de combustibles fossiles, mais également d'une variété d'autres sources industrielles. Les gisements d'hydrocarbures matures et les aquifères salins profonds sont, comme réservoirs, des cibles privilégiées, et les technologies envisagées correspondent dans une large mesure à une adaptation de celles utilisées dans l'industrie du pétrole et du gaz. Il existe toutefois des particularités, inhérentes au confinement et au monitoring des stockages de CO₂, notamment, qui requièrent des travaux de recherche additionnels.

L'Europe a occupé une position de leader dans les premiers projets de *CCS*. Dans ce domaine, la recherche européenne a été particulièrement impliquée, active et organisée depuis plus de dix ans. Après les projets *SACS* (I & II) et *CO2STORE* qui accompagnaient les opérations de démonstration entreprises dès 1996 par *STATOIL-HYDRO* à Sleipner, de nombreux autres projets de recherche ont été coordonnés au niveau européen pour traiter une série de problèmes relatifs aux technologies de *CCS*. Le projet *CASTOR* (2004-2008) peut être cité comme l'un des plus importants projets intégrés dans le domaine du captage et du stockage de CO₂ qui ait été mené à bien dans ce cadre.

Les entreprises et les instituts de recherche français ont participé aux projets européens de *CCS* dès les premières heures de cette activité. En France, des projets nationaux de R&D ont été lancés en 2001, à la faveur de programmes cofinancés par le *Ministère de l'Industrie*. En 2004-2005, dans le cadre du premier Plan Climat français où des engagements importants ont été pris au niveau gouvernemental, un objectif clair de sélection de site pour le stockage géologique avait été défini et des travaux avaient commencé dans le bassin de Paris. Cet effort a été renforcé en 2005 et poursuivi en 2006 comme l'un des programmes majeurs de la nouvelle *Agence Nationale de la Recherche* (ANR).

C'est pour moi un plaisir de présenter un volume double de *Oil & Gas Science and Technology – Revue de l'IFP* consacré aux résultats scientifiques et techniques obtenus par les premiers projets de ce programme. Ces projets, qui ont été réalisés entre 2006 et 2008 et ont reçu le label GéoCarbone, avaient en commun de porter sur les problèmes particuliers et délicats soulevés par le stockage de CO₂ dans le bassin de Paris. Ils couvrent les principaux thèmes qui font aujourd'hui l'objet de recherches dans ce domaine, depuis l'élaboration de work-flows adaptés à l'identification et à la caractérisation des sites géologiques, qui utilisent des méthodologies relativement éprouvées, jusqu'aux tests d'outils sophistiqués pour le monitoring ou la modélisation, à la pointe de l'instrumentation ou de la compréhension des phénomènes souterrains.

Ces premières études sur le terrain en France et les programmes ANR sur le captage et le stockage ont autorisé le lancement de 33 projets entre 2005 et 2008, traitant des enjeux et des grands thèmes de R&D, relatifs notamment à la sûreté des stockages, à la minimisation de leur impact environnemental et à la réduction du coût des diverses opérations de CCS. Les trois principaux axes de recherche des programmes de l'ANR étaient les suivants :

- procédés innovants pour le captage et le transport du CO₂, plusieurs projets ayant trait à de nouveaux matériaux pour le captage ;
- ingénierie du stockage, techniques de monitoring pour le suivi et la vérification des sites, et procédés permettant d'assurer le confinement à long terme (tels que de nouvelles formules de ciment pour garantir l'étanchéité des puits) ;
- analyse des risques et de la sécurité, et notamment la modélisation du comportement du CO₂ dans des formations géologiques.

Les articles présentés dans ces numéros spéciaux illustrent également deux aspects majeurs des programmes de l'ANR. En premier lieu, le très large éventail des équipes de recherche représentées - qui comptent des auteurs issus de l'université, du CNRS, de centres de recherche nationaux et de compagnies industrielles - témoigne de la contribution de l'ANR à la formation de réseaux de recherche multidisciplinaires pour traiter les problèmes complexes en jeu. En second lieu, les résultats publiés ici sur un cas concret démontrent l'état de développement des technologies sous-jacentes que l'on peut faire progresser pour garantir le succès de projets de démonstration à grande échelle. En particulier, *TOTAL* et *GDF-SUEZ* ont été des partenaires très actifs des projets GéoCarbone, ceux-ci offrant une occasion précieuse d'instaurer un dialogue entre pratique industrielle et activités de R&D. Ce dialogue est absolument essentiel pour le succès des procédés de captage & stockage, et en particulier pour que la technologie soit admise par le grand public. En 2007-2008, *TOTAL* a démarré un projet pilote de CCS à Rousse, dans le sud-ouest de la France. En 2009, les résultats de R&D obtenus par les projets GéoCarbone dans le bassin de Paris ont servi à élaborer les bases d'une installation de démonstration future pour le stockage de CO₂ dans ce bassin. *TOTAL* et *GDF-SUEZ* sont les partenaires leaders de ce nouveau projet, à vocation plus industrielle.

À la suite du "*Grenelle de l'environnement*", plusieurs opérations pilotes de CCS ont été planifiées ; elles seront financées par l'ADEME (*Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie*). En collaboration étroite avec l'ADEME, le Comité de programme de l'ANR analysera les résultats de ces opérations pilotes, et des programmes de R&D seront lancés pour traiter les problèmes techniques soulevés par les démonstrateurs déjà actifs ou qui deviendront une réalité au cours des quelques prochaines années.

Dans les années qui viennent, il nous faudra collectivement intensifier nos efforts sur ces sujets de R&D que John Lynch a si bien su illustrer dans ce volume double de *Oil & Gas Science and Technology – Revue de l'IFP*. Il souhaitait également insister sur un autre défi important à relever qui consistera à garantir l'acceptabilité sociale des technologies de captage et de stockage du CO₂ et qui nécessitera pour ce faire un effort considérable de communication et de dialogue avec le grand public. Face à ces multiples défis, nous aurions tellement eu besoin de la chaleureuse présence de John à nos côtés et de son efficacité pour avancer mieux et plus vite.

J. Lecourtier
Directeur Général de l'ANR

Preface

CO₂ STORAGE IN THE STRUGGLE AGAINST CLIMATE CHANGE

Investigation of Geological Sites in the Paris Basin, France

When John Lynch asked me to introduce this volume of *Oil & Gas Science and Technology – Revue de l'IFP* dedicated to the results obtained by the very first projects on CO₂ capture and storage funded by ANR, I enthusiastically accepted. Because I knew that each time I collaborated with John during my career, this piece of writing with him would be again a great opportunity for scientific and fruitful exchanges together with pleasure and warmth, as John was. His tremendous knowledge and his will to contribute to bring efficient solutions to this very problem of great importance for future generations, gave to his actions some ground and foundations for R&D strategies, as well as a great relevance. The high standard quality of this volume is a true evidence of his involvement and vision for this field. It is a great loss for our scientific community, and I am deeply sad when I see the empty chair John has left behind.

In the portfolio of actions likely to play a role in the struggle against climate change, the geological storage of carbon dioxide is today considered as one of the technologies that should become available in a near future. A few early pilot-scale and demonstration projects were born from combined efforts of industry and research teams in the past fifteen years, and several tens of demonstration storage installations should be created in the five coming years throughout the world, in order for the technology to be ready for deployment after 2015.

CO₂ geological storage (CGS) is part of a full chain of carbon-emission reduction, Carbon dioxide Capture and Storage (CCS), that concerns large emissions from the power plants based on fossil fuel combustion, and from a variety of other industrial sources. Depleted hydrocarbon fields and deep saline aquifers are the main targets as host reservoirs, and the technologies envisioned are to a large extent adapted from those of the oil and gas industry, but with the requirement of new research to adapt them to the specific case of CO₂ containment.

Europe has been leader in the early CCS projects. European research has been particularly concerned, active and organized in this field since more than ten years. After the SACS (I & II) and CO2STORE projects that accompanied the demonstration operation undertaken as early as 1996 by STATOIL-HYDRO at Sleipner, many other research projects were coordinated at the European level to address a series of issues linked to CCS technologies. The CASTOR project (2004-2008) can be cited as one of the large integrated projects on CCS that were achieved in this framework.

French companies and research institutes have been working in European projects on CCS since the very beginning of this activity. Inside France, national R&D projects were launched in 2001, in the framework of R&D programs co-funded by the *Ministry of Industry*. In 2004-2005, with the background of first French *Plan Climat* in which strong commitments were taken at the government level, a clear objective of selecting sites for pilot-scale CGS operations was defined and work began on the Paris Basin. This effort was reinforced in 2005 and continued in 2006 as one of the first large programs of the newly created *Agence Nationale de la Recherche (ANR)*.

It is a pleasure for me to introduce here a double issue of *Oil & Gas Science and Technology – Revue de l'IFP*, specially dedicated to the scientific and technical results obtained by the first projects of this program. Labelled *GéoCarbone*, and operated between 2006 and 2008, these projects had in common to focus on the specific and challenging problems raised by CGS in the Paris Basin. They covered the main issues discussed today in this field of research, from the elaboration of work-flows for site screening and characterization, combining relatively well proven methodology, to the testing of sophisticated monitoring or modelling tools, at the cutting edge of instrumentation or understanding of sub-surface phenomena.

These first field studies in France and the ANR program on CCS enabled 33 projects to be launched in the period 2005 to 2008, dealing with R&D challenges for ensuring security, low

environmental impact and reduction of costs for CCS operations. The three main research priorities of the ANR program were:

- innovative processes for CO₂ capture and transportation, with several projects on new materials for CO₂ capture;
- storage engineering and monitoring techniques for control and verification, and processes to ensure well integrity, including for instance new cement formulations;
- risk analysis and security, incorporating modelling of CO₂ behaviour in geological formations.

The articles presented in these special issues also illustrate two major aspects of ANR programs. Firstly, the large range of research teams represented, with authors from universities, the CNRS (*Centre National de la Recherche Scientifique*), national research centres, and industrial partners, witness the contribution of the ANR to the formation of multidisciplinary research networks to address the complex problems involved. Secondly, the results published here on a realistic field case demonstrate the development of enabling technologies that can be carried forward to ensure the success of large scale demonstration projects. In particular, TOTAL and GDF-SUEZ have been very active partners of the *GéoCarbone* projects, which were considered as important opportunities for dialogue between industrial practice and R&D activity. This dialogue is absolutely essential for the success of CCS, in particular with respect to public acceptance of the technology. In 2007-2008, TOTAL started a pilot-scale integrated CCS project in Rouse, in the southwest of France. In 2009, the R&D results obtained by *GéoCarbone* on the Paris Basin were used to build the plans of a future CO₂ storage in this basin, at the scale of a demonstration site. TOTAL and GDF-SUEZ are the leading partners of this new project.

Following the “*Grenelle de l’environnement*”, several CCS pilot operations are planned and will be financed by the ADEME (*Agence de l’Environnement et de la Maîtrise de l’Énergie*). In close cooperation with ADEME, the ANR program committee will analyse the results of these pilot operations and R&D programs will be launched to address the technical problems raised by the demonstrators already active or that should become a reality in the next few years.

In the near future, altogether we have to strengthen our effort on these R&D topics that John Lynch discussed throughout this double volume of *Oil & Gas Science and Technology – Revue de l’IFP*. Moreover, his wish was to really emphasize another very important challenge which is the social acceptance of CO₂ capture and storage; this acceptance will need a strong communication and honest dialogue towards the public. To face these multiple challenges, we would have so much wished the warmful presence of John by our side and his efficiency, to move forward more efficiently and quicker.

J. Lecourtier
ANR Chief Executive