



Axe de
recherche

Stockage géologique du CO₂

CO₂ geological storage



Contexte

La séquestration géologique du CO₂ est une des voies prometteuses envisagées pour limiter les rejets anthropiques de gaz à effet de serre et de fait leur participation au réchauffement climatique. Le Centre de Géosciences s'intéresse à cette question depuis l'an 2000.

Les outils de modélisation numérique du transport réactif, développés au Centre de Géosciences, permettent de simuler l'évolution d'un panache de CO₂ dans différents types d'aquifères, et ses interactions avec l'eau des formations rencontrées ainsi qu'avec la roche : équilibre eau-sel-gaz, dissolutions/précipitations éventuelles de minéraux secondaires.

Les modèles ont été préalablement vérifiés, sur de courtes durées, par des expériences réalisées au Centre lui-même, au Centre de Thermodynamique des Procédés ou dans des laboratoires partenaires.

Des simulations à l'échelle des sites de stockage ont également été réalisées.

Étanchéité des couvertures

L'évolution à long terme (plusieurs milliers d'années) de l'étanchéité des couvertures a été particulièrement étudiée : il s'agit d'un des points faibles du système. À l'aide des outils de modélisation, couplant écoulement, transport, chimie et rétroaction sur l'hydrodynamique, il est possible d'étudier l'évolution normale de certaines barrières (couverture argileuse, puits d'accès) et de tester des scénarii dégradés (fracturation).

Des modélisations ont été appliquées par exemple à des couvertures argileuses du Bassin de Paris, ou aux ciments de scellement des puits d'accès.

Co-stockage CO₂ + impuretés

Dans les conditions du stockage, sous l'effet de la pression et de la température, le comportement du gaz tend à s'écarter de l'idéalité.

De plus, lors des opérations de captage, d'autres gaz sont co-capturés souvent sous forme de traces.

Fort de ces constats, le Centre s'est intéressé à la prise en compte de mélanges de gaz non-idéaux, plus réalistes, (i.e. CO₂ et les impuretés co-capturées N₂, O₂, ...) : longtemps négligé, cet aspect peut pourtant fortement changer notre compréhension des systèmes et de leur évolution, notamment en terme d'évaluation des quantités stockées et des risques de fuites.

D'importants efforts de développement des outils numériques (équations d'état, module d'écoulement-transport bi-phasique) ont été menés en ce sens.

Background

The geological storage of CO₂ is one of the promising approaches studied to limit anthropogenic emissions of greenhouse effect gases and consequently their contribution to global warming. The Geosciences Department has been working on this issue since 2000.

Reactive-transport numerical modeling tools, developed in the Geosciences Department, enable simulating the evolution of a CO₂ plume into various types of aquifers, and its interactions with formation waters and reservoir rocks: water-salt-gas equilibria, minerals dissolutions/precipitations. Models were first verified, over short periods of time, by experiments conducted at the department, at the Centre of Thermodynamics of Processes, or in partner laboratories. Simulations at the storage sites scale have also been realized.

Caprock integrity

The long-term evolution (several thousands of years) of the integrity of the caprocks has been particularly studied, as it is one of the weak points of the system. Using the modeling tools that couple flow, transport, chemistry, including its feedback on hydrodynamics, it is possible to study the normal evolution of certain barriers (clayey caprock, wellbore) and to test degraded scenarios (fracturing).

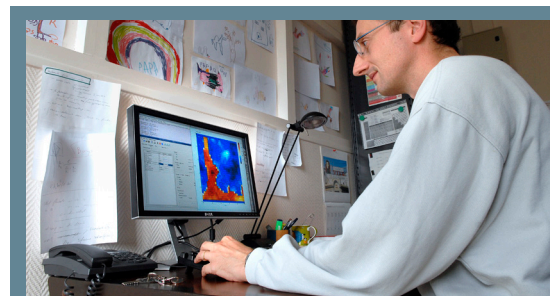
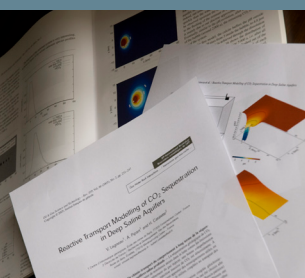
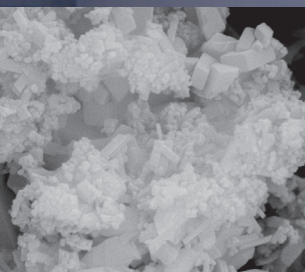
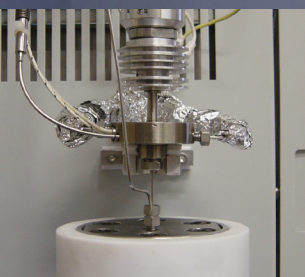
For example, some models have been applied to clayey caprocks of the Paris Basin or to wellbore sealing cement.

CO₂ + impurities co-storage

Under storage sites conditions, pressure and temperature, the gas behavior tend to deviate from ideality. Moreover, during capture operations, other gases are co-captured as traces.

On the strength of these findings, the department focused on the consideration of non-ideal gas mixtures, more realistic, (i.e. CO₂ and co-captured impurities N₂, O₂, ...): this aspect has been long neglected but it may yet significantly change our understanding of the systems and their evolution, particularly in terms of the assessment of stored quantities and leakage risks.

Major efforts were made to develop numerical tools (equations of state, two-phase flow and transport module).





Stockage géologique du CO₂ CO₂ geological storage



Monitoring

Les simulations numériques peuvent naturellement servir d'aide à la surveillance des sites de stockage en anticipant la migration du CO₂ et en prévoyant d'éventuelles fuites. Des études dans cette voie ont également été réalisées pour le monitoring des sites de stockages à l'aide des isotopes, et plus particulièrement la détection des fuites et leur impact hydrogéologique à grande échelle. Des développements couplés dans nos logiciels et au laboratoire ont été entrepris sur ce sujet.

Aujourd'hui encore, la détection des gaz, au sens large, et la compréhension de leur migration combinée à leur réactivité des gaz sont un thème porteur dans le Centre.

Perspectives

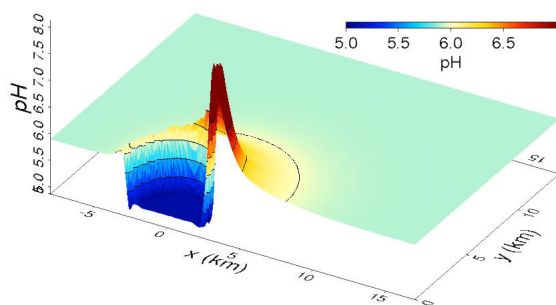
Sur ces dernières années, le contexte du stockage du CO₂ a évolué principalement pour des raisons économiques et la priorité est allée vers des projets de valorisation du CO₂ plus que vers son stockage géologique définitif. Suivant ce mouvement, d'autres projets sur le stockage de gaz en cavité saline dans le contexte des énergies renouvelables voient le jour.

Projets

Outre ses collaborations scientifiques avec les principaux partenaires académiques sur le sujet, le Centre participe à de nombreux projets nationaux (6 projets ANR : 2005 géocarbonate intégrité, 2006 gaz annexes et crisCO₂, 2008 CarbFix, 2013 SIGARRR, 2016 FluidStory), locaux (réseau R2DS, pôle de compétitivité Advancity – ville et mobilité durable), et industriels (Total, EDF).

Le Centre dispense également des enseignements sur le sujet (enseignements spécialisés pour les élèves, masters), et a encadré 7 thèses et post-doc sur le sujet depuis 2000.

MINES ParisTech a également géré une chaire Captage Transport et Stockage du CO₂ de 2009 à 2014, qui a renforcé la position du Centre, en lui apportant des moyens additionnels pour l'enseignement et en générant de nouvelles opportunités de recherche.



Impact d'une injection massive de CO₂ dans un aquifère silicaté : pH
Impact of a massive CO₂ injection into a silicated aquifer: pH.

Monitoring

Numerical simulations can naturally serve as an aid to the monitoring of storage sites by anticipating the migration of CO₂ and by predicting possible leaks. Studies in this area have also been carried out for the monitoring of storage sites using isotopes, and more particularly for the detection of leaks and their large-scale hydrogeological impact. Coupled developments in our software and in the laboratory have been undertaken on this subject.

Even today, the detection of gases, in the broad sense, and the understanding of their migration combined with their reactivity of gases are a promising theme in the department.

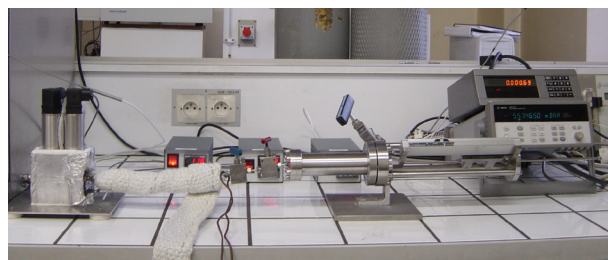
Prospect

Over the past few years, the context of CO₂ storage has evolved mainly for economic reasons and priority has been given to CO₂ valorization projects rather than to its final geological storage. Following this trend, other projects on the storage of gas in salt caverns within the context of renewable energies are emerging.

Projects

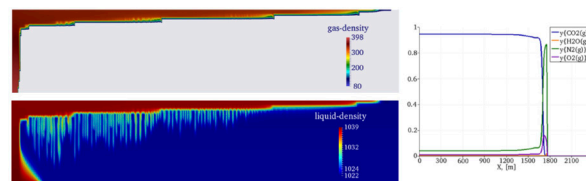
Besides its scientific collaborations with the major academic partners on the topic, the Geosciences Department takes part in many national projects (six ANR projects: 2005: geocarbon integrity; 2006: annex gases and crisCO₂; 2008: CarbFix; 2013 SIGARRR; 2016 FluidStory), local projects (R2DS network, competitive cluster Advancity - city and sustainable mobility) and industrial projects (Total, EDF).

The Geosciences Department also provides teaching on the topic (specialized courses for students, masters), and has supervised seven PhD theses and post-PhD studies on this topic since 2000. MINES ParisTech also managed a CO₂ Capture, Transport and Storage chair from 2009 to 2014, which strengthened the position of the department by providing additional resources for teaching and generating new research opportunities.



Cellule instrumentée d'étude des réactions entre le CO₂ supercritique et des minéraux purs.

Instrumented cell for studying the reactions between supercritical CO₂ and pure minerals.



Simulation of the injection of CO₂ and impurities (O₂, N₂) in a radial reservoir (gas and liquid densities after 10 years) and demonstration of a chromatographic effect related to the greater solubility of CO₂.