



**HAL**  
open science

## La filière captage et stockage du CO<sub>2</sub>

Olivier Bour, Régis Farret, Philippe Gombert, Corinne Hulot, Alain Thoraval

► **To cite this version:**

Olivier Bour, Régis Farret, Philippe Gombert, Corinne Hulot, Alain Thoraval. La filière captage et stockage du CO<sub>2</sub>. Rapport Scientifique INERIS, 2011, 2010-2011, pp.12-14. ineris-01869380

**HAL Id: ineris-01869380**

**<https://ineris.hal.science/ineris-01869380>**

Submitted on 6 Sep 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



## Contributeurs



Olivier  
Bour



Régis  
Farret



Philippe  
Gombert



Corinne  
Hulot



Alain  
Thoraval

# La filière captage et stockage du CO<sub>2</sub>

## Références

[1] Celia M.A., Bachu S., Nordbotten J.M., Gasda S.E., Dahle H.K., *Quantitative estimation of CO<sub>2</sub> leakage from geological storage: analytical models, numerical models and data needs*, In Proceedings of 7th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, Volume 1: Peer-Reviewed Papers and Plenary Presentations (E.S. Rubin, D.W. Keith and C.F. Gilboy, ed.), 2004, IEA Greenhouse Gas Programme, Cheltenham, UK.

[2] Damen K., van Troost M., Faaij A., Turkenburg W., *A comparison of electricity and hydrogen production systems with CO<sub>2</sub> capture and storage, Part A: "Review and selection of promising conversion and capture technologies"*, Progress in Energy and Combustion Science 32 (2006), pp. 215-246.

[3] Farret R., Gombert P., Salmon R., Toulhoat P., *Definition and application of a method for risk analysis of CCS combining CO<sub>2</sub> and impurities, long-term and short-term issues. Sustainable Fossil Fuel for Future Energy*, Rome, 6-9 July 2009.

[4] Farret R., Bour O., Hulot C., Gombert P., *État de l'art et analyse des risques pour un stockage de CO<sub>2</sub> en aquifère salin*, rapport INERIS-DRS-10-100887-12619A, pgr 190 EVARISTE, publié en janvier 2011.

[5] Gombert P., Farret R., Lahaie F., *Adaptation des outils d'analyse de risques aux futurs complexes de stockage géologique de CO<sub>2</sub>. Tunnels et ouvrages souterrains*, 2009, n° 213, pp. 142-154.

La filière captage et stockage du CO<sub>2</sub> (CSC) figure parmi le panel de solutions envisagées pour réduire la teneur de l'atmosphère en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), principal gaz contribuant à l'effet de serre. L'objectif est de le piéger dans le sous-sol de manière sûre et permanente comme l'exigent les réglementations française et européenne, la période de temps concernée étant de l'ordre de plusieurs centaines à plusieurs milliers d'années.

Sans préjuger du développement de la filière CSC par rapport aux autres options pour lutter contre l'effet de serre, l'INERIS étudie les risques liés à l'ensemble de la filière, incluant captage, transport et stockage – et donc à la fois les risques à court et à long terme. En ce qui concerne le stockage, nous nous sommes en priorité attachés à l'impact de l'injection de CO<sub>2</sub> à l'état supercritique en aquifère salin profond. Toutefois, certains phénomènes étudiés dans ce cadre sont également pertinents dans le cas des gisements d'hydrocarbures déplétés (ou en fin de vie). Le travail présenté ici se situe dans le cadre du programme de recherche EVARISTE de l'INERIS, que vient compléter un état de l'art sur les risques réalisé en collaboration avec l'Ademe (étude Eureka). D'autres actions ont lieu par ailleurs dans le cadre de projets menés en collaboration avec d'autres partenaires (financement Ademe, ANR, ou Union européenne).

En premier lieu, le travail réalisé par l'INERIS permet d'exposer les principes d'une méthode d'analyse des risques applicable à l'ensemble de la filière CSC: elle se fonde à la fois sur les pratiques en analyse des risques industriels, sur la connaissance des processus ayant lieu dans le

sous-sol, et sur l'état de l'art en analyse des risques sanitaires pour les substances chimiques. Cela nous a permis d'identifier, de manière générique, l'ensemble des scénarios possibles concernant le stockage souterrain. À ce jour, peu de travaux considèrent les scénarios de risque dans leur globalité, depuis les causes jusqu'aux impacts (santé humaine, enjeux vulnérables), et aucun ne tente de les hiérarchiser. L'INERIS a ainsi défini une typologie exhaustive en huit familles de « phénomènes impactants », c'est-à-dire susceptibles de causer des impacts sanitaires ou environnementaux: phénomènes de type hydraulique (montée en pression des fluides et modification des écoulements); mécaniques (fissuration, montée des terrains, voire sismicité induite); migration (ou fuites) de CO<sub>2</sub> vers les aquifères sus-jacents (pollution) et vers la surface (émanation), voire émission massive en surface; phénomènes de migration impliquant d'autres substances que le CO<sub>2</sub> (impuretés). Précisons qu'en complétant avec incendies et explosion/éclatement, qui sont exclusivement liés aux installations de surface, on obtient les dix « phénomènes impactants » pour l'ensemble de la filière, établis dans le cadre du projet iNTeg-Risk.

Les évolutions – normale et altérée – du stockage devront être considérées dans l'analyse des risques potentiels. Une situation « altérée » diffère de la situation « normale » en ce que l'évolution du site ne correspond pas aux prévisions. Cela peut être dû soit à des défaillances ou événements spécifiques (séisme exogène, défaut de cimentation d'un puits, atteinte d'une faille non détectée), soit aux cas où des paramètres du stock-

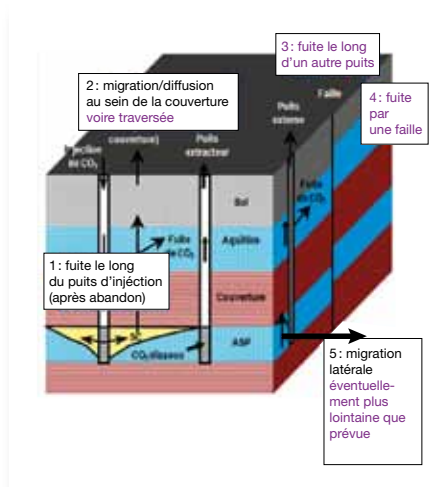


Figure 1

Les principaux chemins de fuites à partir du stockage. En violet: scénarios n'apparaissant qu'en évolution «altérée».

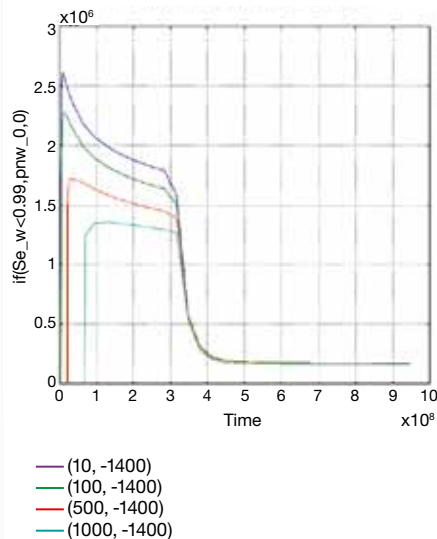
Évolution temporelle de la surpression de CO<sub>2</sub>

Figure 2

Évolution de la surpression de CO<sub>2</sub> en fonction du temps (chaque courbe est un point différent, au toit du réservoir) – modélisation INERIS avec le code COMSOL.

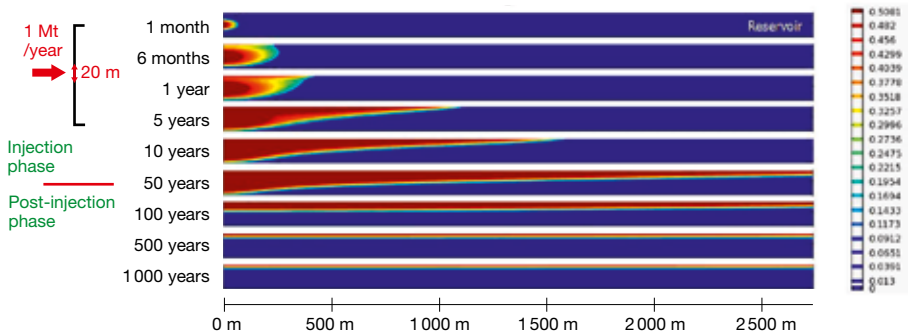
Iso-values of CO<sub>2</sub> effective saturation

Figure 3

Évolution du panache de CO<sub>2</sub> au sein du réservoir en évolution normale – modélisation INERIS avec le code COMSOL.

kage ne posséderaient pas les valeurs prises en compte lors de la conception du projet: couverture plus perméable que prévu, surpression plus importante suite à l'injection, etc.

En phase de stockage à long terme, même en évolution normale, des processus géochimiques verront le jour, non seulement au niveau du puits (corrosion ou altération des ciments) mais surtout au sein du réservoir: l'INERIS a ainsi montré que le CO<sub>2</sub> joue un rôle significatif dans la mise en solution de certains éléments métalliques: il est toutefois difficile d'estimer, à ce jour, la cinétique de ces processus, et donc de savoir si un impact significatif est prévisible à long terme. Nos travaux sur ce thème se poursuivent.

Nous avons ensuite sélectionné quatre scénarios de fuite: en évolution normale, la fuite au travers d'un puits d'injection après abandon et le flux diffus par la couverture et, en évolution altérée, la fuite par un ancien puits non colmaté, ou par une faille supposée perméable (figure 1). Ils ont ensuite été quantifiés à l'aide de modèles numériques, de façon à estimer les transferts de CO<sub>2</sub> (figures 2 et 3). Selon une approche volontairement simplifiée, les impuretés susceptibles d'accompagner le CO<sub>2</sub> injecté sont prises en compte, dans la mesure où certaines (gaz annexes, métaux, composés organiques) peuvent être toxiques (figure 4): en cas de fuite, elles sont alors susceptibles soit de contaminer un aquifère sus-jacent, soit de rejoindre la surface et →

## Références

[6] Gombert P., Farret R., *Definition of a risk analysis method combining long-term and short-term issues*, CO<sub>2</sub>NET Annual Seminar 2009, Trondheim (N), 18-19 June 2009 [Poster].

[7] Iding M., Ringrose P., *Evaluating the impact of fractures on the long-term performance of the In Salah CO<sub>2</sub> storage site*, Energy Procedia 00/2008, 8 p.

[8] Kharaka Y. K., Thordsen J. J., Hovorka S. D., Nance H. S., Cole D. R., Phelps T. J., Knauss K. G., *Potential environmental issues of CO<sub>2</sub>-storage in deep saline aquifers: geochemical results from the Frio-1 brine pilot test*, Texas, USA. App. Geochemistry 24 (6), 2009, pp. 1106-1112.

[9] Kirchsteiger C., *On the use of probabilistic and deterministic methods in risk analysis*, Journal of Loss Prevention in the Process Industries 12, 1999, pp. 399-419.

[10] Nordbotten J., Vetski D., Celia M., Bachu S., *Model for CO<sub>2</sub> Leakage Including Multiple Geological Layers and Multiple Leaky Wells*, Environmental Science & Technology, 43 (3), pp. 743-749, Dec. 2008.

[11] Savage D., Maul P. R., Benbow S., Walke, R. C., *A generic FEP database for the assessment of long-term performance and safety of the geological storage of CO<sub>2</sub>*, Quintessa Report QRS-1060A-1, 2004.

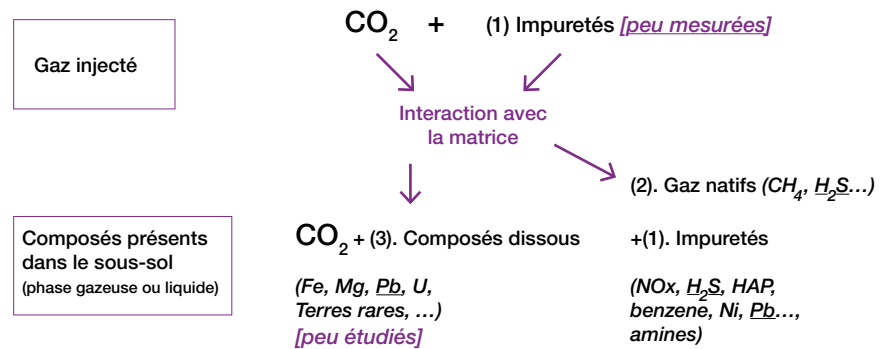
[12] Thoraval A., Farret R., Cherkaoui A. and Gombert P., *Evaluation of CO<sub>2</sub> Leakages from an Aquifer Storage*, COMSOL Conference, 17-19 Nov. 2010, Paris.

[13] Thoraval A., Farret R., Houdu E., Le Guen Y., Le Meur R., *Evaluation of CO<sub>2</sub> leakage to aquifers and the surface from a multiscale approach combining flow along the wellbore and the overburden*, 6th conference on CO<sub>2</sub> Capture, Transport and Storage TCCS-6, Trondheim, June 14-16, 2011.

[14] Toulhoat P., Gombert P., Farret R., Thoraval A., Senfaute G., "Long-term safety issues in geological storage of CO<sub>2</sub>", *Deep Saline Aquifers for Geological Storage of CO<sub>2</sub> and Energy*, 27-29 May 2009, Rueil-Malmaison (France).

[15] Wilday J., Farret R., Hebrard J., Breedveld L., Paltrieli N., *Methodology and models for assessing the emerging risk related to the CO<sub>2</sub> capture and storage technology*, Summary report, SP1, P 1.2, INTEg-Risk project, 2011.

**Figure 4**  
Les trois principaux types de substances annexes, incluant les impuretés co-injectées (1). Quelques substances sont mentionnées à titre indicatif : lorsqu'une même substance intervient dans différents types (1), (2) ou (3), elle est soulignée.



→ d'avoir des impacts en cas d'émanation au sein d'un local non ventilé (de type cave).

Nous avons alors réalisé une première estimation des impacts sanitaires de ces scénarios, en comparant les valeurs de concentrations ainsi obtenues avec les valeurs limites de gestion dans l'eau potable ou dans l'air (aussi appelées concentrations critiques). Pour les impacts dans les aquifères, on en déduit que les substances les plus préoccupantes sont le plomb, le nickel et le mercure, et que, selon les hypothèses prises, c'est en cas de fuite le long d'un puits externe (mal colmaté) que l'impact des impuretés sera le plus préoccupant – et, dans une moindre mesure, en cas de fuite le long d'une faille initialement non détectée : il s'agit de deux scénarios d'évolution altérée.

Pour l'impact sanitaire par inhalation, une simple approche comparative entre les diffé-

rentes substances a été menée, permettant de montrer, par exemple, qu'en cas d'émanation importante en surface, les composés chlorés (tri- et tetra-chloroéthylène) ainsi que le naphthalène et le benzène sont potentiellement plus préoccupants que le  $\text{CO}_2$  lui-même.

Il faut signaler que, pour simplifier, certaines hypothèses ont été adoptées : d'une part, il existe très peu d'informations sur les teneurs en substances polluantes dans le  $\text{CO}_2$  en sortie de procédé de captage, et nous avons pris comme base les concentrations dans les fumées de combustion, après avoir mené une recherche spécifique sur les émissions atmosphériques industrielles ; d'autre part, une éventuelle filtration ou absorption de ces substances lors de la traversée des couches géologiques n'a pas été prise en compte. Ces premiers résultats sont à compléter, en affinant les hypothèses de modélisation des scénarios

retenus, en étudiant d'autres scénarios, et en intégrant l'impact environnemental, pour lequel le calcul quantitatif n'a pas encore été mené à bien. Ces travaux se poursuivent dans le cadre du programme de recherche EVARISTE, mais également au travers d'autres projets menés en partenariat avec industriels et organismes de recherche.

L'INERIS constate que dans une optique de maîtrise des risques, deux éléments semblent des prérequis indispensables avant toute décision sur un stockage éventuel. Le premier élément consiste à préciser les critères de choix d'un site de stockage : la structure géologique et les propriétés mécaniques du réservoir, la forme et l'épaisseur de la roche-couverture ainsi que sa perméabilité, l'absence d'hétérogénéité, seront autant de facteurs essentiels pour la sécurité de l'homme et la protection de l'environnement. Le deuxième élément consiste à cumuler, dès le stade de la conception, les mesures de maîtrise du risque (ou barrières de sécurité) pour limiter les fuites et les perturbations, à court comme à long terme. En outre, un souci émergent, et transverse à l'ensemble de la filière, est celui de la gestion des impuretés : il nous faut absolument mieux connaître les impuretés collectées avec le  $\text{CO}_2$  au niveau des installations de captage, limiter leur concentration et enfin les intégrer dans les mesures de surveillance à long terme.

## ABSTRACT

INERIS is carrying out a research programme –named EVARISTE– devoted to the long-term effects of  $\text{CO}_2$  geological storage.

The first issue that was highlighted in 2010 activities is the complete definition of risk scenarios. They include the different migration pathways within the underground system, but also mechanical or hydraulic effects and massive leakages at surface level, since the objective of INERIS is to harmonise risk assessment methods between surface and underground equipment (alike in the iNTeg-Risk project, devoted to new technologies). A specific care was given to the distinction between scenarios of "normal evolution" and scenarios of "altered evolution".

The second main issue was the study of 4 specific migration pathways and their possible impacts, both on overlying aquifers and at surface level (health effects in case of emanation and accumulation). A specific care was given in the study of impurities that are likely to be present in the injected  $\text{CO}_2$ , such as trace metals or organic compounds. Given the specific assumptions that were made for this generic study, these impurities may have an impact superior to the impact of  $\text{CO}_2$  itself.