



**HAL**  
open science

# Évaluation de l'impact mécanique d'un stockage de CO<sub>2</sub> dans un aquifère du bassin parisien

Alain Thoraval

► **To cite this version:**

Alain Thoraval. Évaluation de l'impact mécanique d'un stockage de CO<sub>2</sub> dans un aquifère du bassin parisien. Rapport Scientifique INERIS, 2009, 2008-2009, pp.107-108. ineris-01869260

**HAL Id: ineris-01869260**

**<https://ineris.hal.science/ineris-01869260>**

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.

# Évaluation de l'impact mécanique d'un stockage de CO<sub>2</sub> dans un aquifère du bassin parisien

{ A. Thoraval }

Le projet GéoCarbone-PICOREF avait pour objectif de mener les études nécessaires pour sélectionner des sites adaptés au premier stockage géologique de CO<sub>2</sub> en France. Financé par l'ANR et coordonné par l'Institut Français du Pétrole (IFP), il s'est déroulé de 2006 à 2008 et a réuni 9 partenaires. Il a traité deux voies potentiellement favorables au stockage que sont l'injection de CO<sub>2</sub> en gisement d'hydrocarbures déplété et l'injection en aquifère.

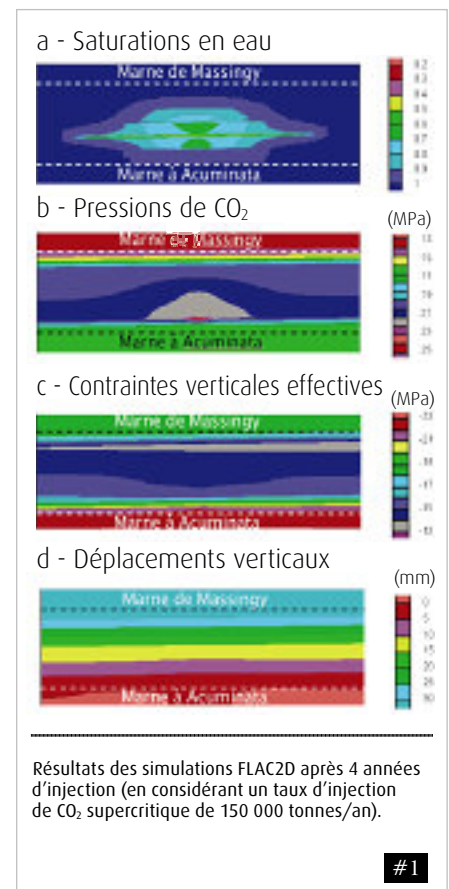
Le programme de travail prévu dans le cadre du volet « aquifère » comprend : la construction du modèle géologique ; des simulations de l'injection dans le réservoir ; des simulations de type « transport réactif » rendant compte des phénomènes d'interaction gaz-eau-minéraux dans le réservoir ; des simulations de l'impact mécanique des variations de pressions dans le réservoir ; l'identification des risques liés à l'injection de CO<sub>2</sub>, qu'ils concernent la couverture, les puits, les installations de surface ou l'environnement.

Les travaux présentés se concentrent sur l'évaluation de l'impact mécanique de l'injection de CO<sub>2</sub> au sein d'un aquifère profond du bassin de Paris. Il s'agit plus précisément de quantifier les changements du champ de contrainte induits par les variations de pression de pore, ainsi que la déformation associée du réservoir et du recouvrement (ou couverture). Ces variations des contraintes pourraient induire des ruptures dans le réservoir ou son recouvrement, ainsi que le rejou de discontinuités rocheuses présentes.

## Simulations réalisées à l'aide d'un modèle 2D biphasique avec le code FLAC2D

La géométrie du modèle correspond à un log simplifié de 11 couches homogènes s'étalant verticalement des marnes de Massingy jusqu'aux marnes à Acuminata. On simule une injection dans la couche d'oolithe blanche en imposant un débit de 150 000 tonnes de CO<sub>2</sub> supercritique par an pendant 4 ans. La simulation se poursuit ensuite, jusqu'à 10 ans après avoir interrompu l'injection. Le modèle permet de quantifier les variations de saturation et de pressions de pore (eau et CO<sub>2</sub>), les changements du champ de contrainte induits par cette variation, ainsi que la déformation associée du réservoir (figure 1).

La démarche mise en œuvre pour évaluer l'impact mécanique de l'injection ne se limite pas au calcul classiquement réalisé d'une succession d'équilibres mécaniques consécutivement à la modification des pressions interstitielles dont les variations sont calculées par un autre modèle (dit « réservoir »). Il s'agit ici d'une modélisation couplant véritablement hydraulique et mécanique. Toutefois, les limites de l'outil utilisé nous ont contraints à opter pour une approche bidimensionnelle 2D (en déformations planes) et, par la suite, à estimer la valeur d'un débit équivalent à imposer dans le modèle permettant de retrouver, dans le plan 2D, une évolution des pressions des fluides et des degrés de saturation comparables à ceux obtenus avec un modèle 3D.



### RÉFÉRENCES

Thoraval A., 2008. *Évaluation de l'impact d'un stockage de CO<sub>2</sub> dans un aquifère du bassin parisien sur l'intégrité mécanique des formations hôtes et du recouvrement, une contribution au programme ANR GEOCARBONE PICOREF*. Séance technique CFMR *Géomécanique et stockage de CO<sub>2</sub>*. 23 octobre 2008, Paris.

Thoraval A., 2008. *Impact mécanique d'un stockage de CO<sub>2</sub> dans un aquifère du bassin parisien*. Contribution au programme ANR GEOCARBONE PICOREF. Rapport d'étude INERIS DRS-08-71084-04295A, 35 p. + 3 annexes.

Brosse É., Badinier G., Blanchard F., Caspard E., Collin P.-Y., Delmas J., Dezayes C., Dufournet A., Durst P., Fillacier S., Garcia D., Grataloup S., Hanot F., Hasanov V., Houel P., Kervévan C., Lansiaert M., Lescanne M., Menjot A., Monnet M., Mouglin P., Nedelec B., Poutrel A., Rachez X., Renoux P., Rigollet C., Ruffier-Meray V., Thimon I., Thoraval A., Vidal-Gilbert S., 2009. *Selection and characterization of geological sites able to host a pilot-scale CO<sub>2</sub> storage in the Paris Basin (PICOREF)*. À paraître prochainement dans la revue Oil & Gas Science and Technology.

Les principaux résultats obtenus dans le cas de la modalité de calcul représentant une injection de 150 000 tonnes/an de CO<sub>2</sub> montrent que les surpressions maximales de CO<sub>2</sub> et d'eau dans le réservoir atteignent respectivement 6 MPa et 5,5 MPa (après 4 ans d'injection). Les surpressions maximales dans le recouvrement marne de Massingy sont 2 fois plus faibles.

L'injection induit par ailleurs dans le réservoir une diminution maximale (après 4 ans d'injection) des contraintes effectives horizontales de 2,5 MPa et des contraintes effectives verticales de 6 MPa. Les variations sont 2 fois plus faibles dans le recouvrement. Compte tenu des estimations faites pour les valeurs de résistance des roches en traction et en cisaillement, aucune rupture n'est mise en évidence par le modèle dans le réservoir ou dans le recouvrement ni durant la phase d'injection de CO<sub>2</sub> ni postérieurement à celle-ci. Le risque de cisaillement des discontinuités rocheuses est également exclu, même si l'on suppose qu'elles ont une cohésion nulle et un angle de frottement de 30°.

On constate que les pressions, les variations de contraintes effectives et les déplacements augmentent logiquement lorsque l'on double le débit d'injection. Toutefois même dans ce cas, le modèle ne révèle aucune rupture dans la matrice rocheuse et aucun cisaille-

ment des discontinuités présentes, quelle que soit leur orientation. Une augmentation encore plus importante du débit d'injection (de l'ordre de 600 000 tonnes/an) pourrait toutefois induire un cisaillement des discontinuités orientées défavorablement (de 20° à 40° avec la verticale) et dont l'angle de frottement serait réduit du fait, par exemple, d'un remplissage argileux.

Ces résultats sont rassurants quant à la faisabilité du stockage sur le site étudié, et suggèrent des conditions à respecter en termes de pression et de débit pour éviter le risque de fracture et de cisaillement tant dans la roche hôte que dans le recouvrement.

Il faut toutefois souligner que les simulations réalisées se basent sur un certain nombre de simplifications, à commencer par celles déjà signalées conduisant à supposer que le site puisse être représenté par un modèle 2D à 11 couches homogènes. Par ailleurs, les interactions chimiques des fluides entre eux (l'eau et le CO<sub>2</sub>, contrairement à la réalité, sont supposés non miscibles) et avec la matrice rocheuse ont été négligées. Dans les faits, le CO<sub>2</sub> dissous, acide, est susceptible de modifier non seulement la composition chimique de la saumure mais également la porosité matricielle des roches calcaires ou ses propriétés mécaniques.

### ABSTRACT

#### **Evaluation of the impact of CO<sub>2</sub> storage in an aquifer of the Paris Basin on the mechanical integrity of the reservoir and caprock formations.**

The objective of PICOREF project was to select and characterize geological sites where CO<sub>2</sub> storage in permeable reservoir could be tested at pilot scale. INERIS has contributed to that project by evaluating the mechanical impact of CO<sub>2</sub> injection (about 150 kt per year) into a deep saline aquifer (Dogger). As the modelling work was achieved before the results of the reservoir-engineering model were available, it was decided to test a full-coupled approach where effective stresses, total strains and pore pressure are resolved in the same set of «hydro-mechanical» equations. The two-dimensional mechanical FLAC2D code, and especially the two-phase flow option, was used for these simulations. Due to the 2-D nature of the model, an equivalent flow rate had to be calculated in order to return the same pressure and saturation values as those obtained in 3-D. No chemical interaction between fluid and mineral phases was taken into account in the simulation. The main results are the following, after the 4-years period of injection: 66 MPa and 5,5 MPa are the maximum overpressure values reached in the reservoir, respectively for CO<sub>2</sub> and water phase; horizontal and vertical effective stress variations are respectively 2,5 MPa and 6 MPa; the maximum induced vertical displacement reaches 3 cm, at the top of the reservoir ; no rock-mass failure is computed either for the reservoir or for the caprocks during the injection period and after ; the risk of fractures shearing is null, if one assumes that their friction angle is larger than 30°.