

Étude expérimentale et numérique du transfert de CO₂ à travers un milieu poreux humide : Application à l'évaluation des conséquences de fuites accidentelle provenant d'un site de stockage géologique

H. Davarzani^a, J. Auvray^a, M. Marcoux^b, L. De Lary De Latour^a, A. Loschetter^a, O. Bouc^a

^aBRGM, Direction Eau, Environnement et Ecotechnologies, Orléans, 45100

^bIMFT, Groupe d'Etude des Milieux Poreux, Toulouse, 31400

h.davarzani@brgm.fr, manuel.marcoux@imft.fr

Keywords : Stockage géologique, CO₂, risques, phénomènes de transfert, coefficients effectifs

1 Introduction

Le captage et stockage géologique du dioxyde de carbone (CSC) est reconnu comme une solution prometteuse pour limiter les effets néfastes sur le climat des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES). L'une des questions clés pour permettre ce développement est d'être en mesure d'assurer que le stockage géologique de CO₂ est réalisé en toute sécurité pour l'homme et l'environnement. En cas de fuites imprévues, les risques d'exposition à des teneurs dangereuses en CO₂ concernent principalement les zones insuffisamment ventilées où le CO₂ peut s'accumuler (cave, bâtiment, habitation). Pour évaluer l'exposition au CO₂ d'une zone habitée, la compréhension et la description des phénomènes ayant lieu dans les derniers mètres en proche surface, en zone non saturée en eau, sont déterminants, car ces phénomènes conditionnent la façon dont le gaz va atteindre la zone habitée. Les principaux processus de transfert du CO₂ dans cette zone sont la diffusion et la convection [1]. D'autres phénomènes peuvent aussi retarder le transfert du CO₂ dans le sol, tels que la dissolution du CO₂ dans l'eau et son adsorption sur les matrices poreuses [2]. Le but de cette étude est de déterminer le comportement du CO₂ dans la zone non saturée, en caractérisant le transfert de ce gaz. L'influence de paramètres comme le débit de gaz, la gravité ou encore la teneur en eau du milieu sur le transfert de CO₂ ont été étudiés. Pour ce faire, des expérimentations sont menées en laboratoire, à l'aide d'une colonne de diffusion remplie de gravier fin qui vise à simuler la zone non saturée et dans lequel un transfert de CO₂ peut être effectué et analysé.

2 Dispositif et protocole expérimental

Le sol étudié est classé dans la catégorie des graviers fins et bien homogènes (porosité de 0,43 et perméabilité intrinsèque de $1,88 \times 10^{-9}$ m²). Une colonne cylindrique en verre a été fabriquée en double enveloppe afin d'étudier les transferts de CO₂ dans un système isotherme. La colonne expérimentale mesure 90 cm de hauteur et 6 cm de diamètre. A chaque extrémité de la colonne se trouvent des cavités dans lesquelles sont installés des capteurs de CO₂. Les capteurs installés tout au long de la colonne enregistrent en continu l'humidité relative des gaz du sol, la teneur en eau et la température du milieu. Le CO₂ gazeux pur est injecté en bas de la colonne sous forme d'un pulse, traverse le sol humide, et atteint la cavité supérieure de la colonne. L'impact de la vitesse de l'injection du gaz, de la teneur en eau et de la gravité (l'orientation de la colonne) ont été étudiés. Le facteur de retard ainsi que coefficient de dispersion du milieu poreux sont également évalués en utilisant la théorie relative aux mesures de sorption lors de l'injection d'un pulse de CO₂.

3 Résultats et discussions

Les expérimentations ont permis d'établir différentes courbes de percée représentant l'arrivée dans la cavité aval de la colonne (Figure 1). Les résultats montrent que le débit d'injection du CO₂ a un impact important sur le transfert du gaz : lorsque le débit d'injection augmente, le coefficient de diffusion effectif augmente, semble-t-il de manière exponentielle (Figure 1a). L'orientation de la colonne (l'effet gravitaire) et le sens d'injection du CO₂ (influence de densité du mélange gazeux) ont une influence négligeable sur le transfert, pour les débits 3 L/h et 4,5 L/h (Figure 1 b).

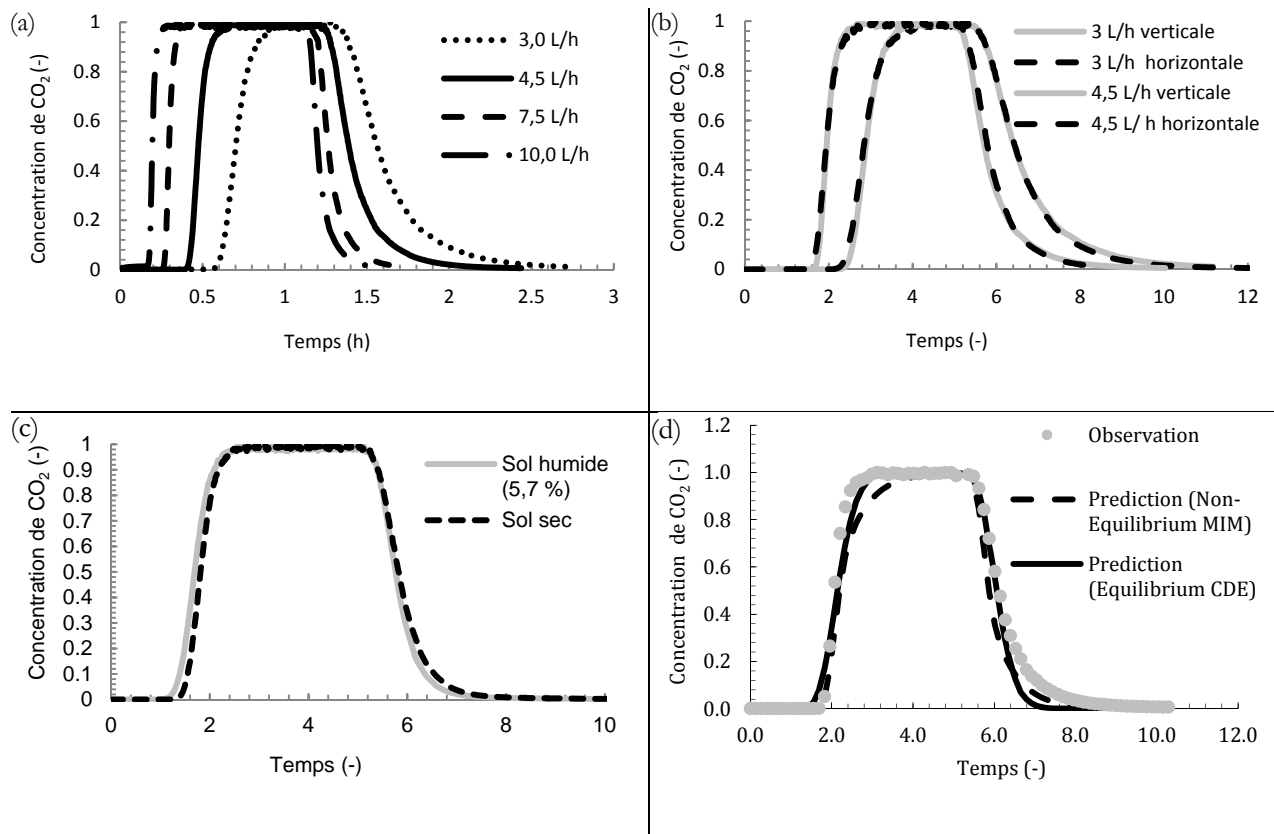


Figure 1: Courbes de percées (a) impact de la vitesse d'injection, (b) impact de l'orientation de la colonne (c) impact de la teneur en eau, et (d) calage des données sur les modèles analytiques.

La teneur en eau influence peu le transfert de CO₂ dans le gravier fin (Figure 1 c) lorsqu'elle est proche de la teneur en eau résiduelle (manipulation de teneur en eau 5,7 %). En résumé, seule la vitesse d'injection semble avoir un effet important sur le transfert de CO₂ dans les graviers.

La solution analytique proposée par CXTFIT [3, 4] pour le modèle équilibre local de convection et dispersion (CDE) et le modèle de l'équation non-équilibre local (MIM) [3, 4] sont présentés dans La Figure 1 d. Les résultats montrent que CXTFIT ne prédit pas correctement la réponse à un pulse de CO₂ dans cette étude. Cet écart peut être expliqué par la présence de chemins préférentiels dans la colonne. Des simulations numériques plus poussées sont en cours de réalisation afin de mieux comprendre l'origine de cette différence entre les données et les modèles simplifiés analytiques.

References

- [1] Oldenburg, C.M., C. Doughty, C.A. Peters, and P.F. Dobson. Simulations of upward leakage of CO₂ in long-column flow experiments: Effect of lateral boundary condition. *Energy Procedia*, 37(0):3486 – 3494 (2013).
- [2] Plampin, M., T. Illangasekare, T. Sakaki, and R. Pawar. Experimental study of gas evolution in heterogeneous shallow subsurface formations during leakage of stored CO₂. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 22(0):47 – 62 (2014).
- [3] Tang, G., M.A. Mayes, J.C. Parker and P.M. Jardine. CXTFIT/Excel-a modular adaptable code for parameter estimation, sensitivity analysis, and uncertainty analysis for laboratory and field tracer experiments. *Computers & Geosciences*. 36(9): 1200-1209 (2010).
- [4] Tang, G., M.A. Mayes, J.C. Parker, X.L. Yin, D.B. Watson and P.M. Jardine. Improving parameter estimation for column experiments by multi-model evaluation and comparison. *Journal of Hydrology* 376(3-4): 567-578 (2009).