

Vers une méthode d'analyse des risques globale de la filière CSC, intégrant plusieurs échelles de temps

Régis Farret, Dominique Gombert, Franz Lahaie, Pierre Roux

▶ **To cite this version:**

Régis Farret, Dominique Gombert, Franz Lahaie, Pierre Roux. Vers une méthode d'analyse des risques globale de la filière CSC, intégrant plusieurs échelles de temps. Rapport Scientifique INERIS, 2009, 2008-2009, pp.100-103. ineris-01869258

HAL Id: ineris-01869258
https://ineris.hal.science/ineris-01869258

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.

Vers une méthode d'analyse des risques globale de la filière CSC, intégrant plusieurs échelles de temps

{ R. Farret, P. Gombert, F. Lahaie, P. Roux }

Issus de publications récentes, les éléments rapportés ici reflètent la réflexion globale engagée par l'INERIS sur l'analyse des risques de la filière CSC, au sein de plusieurs programmes de recherche – associant divers organismes et experts français – et d'un programme d'appui aux pouvoirs publics.

Spécificités de l'analyse de risque sur la chaîne CSC

La filière « CSC » (captage et stockage du carbone) est en fait une chaîne d'activités qui comprend quatre maillons principaux :

- le captage du CO_2 à son lieu d'émission ;
- le transport jusqu'au site d'injection, par exemple à l'état supercritique dans une canalisation ;
- l'injection dans le réservoir souterrain ;
- le stockage à long terme.

Chacun de ces maillons est défini par une fonction, c'est pourquoi nous pouvons les qualifier de « systèmes fonctionnels ». Bien que distincts dans l'espace dans le plan horizontal (sites de captage, de transport et d'injection) ou vertical (installations de surface, puits d'injection, réservoir de stockage), ces quatre systèmes fonctionnels sont interdépendants, et l'analyse des risques doit impérativement considérer l'ensemble de la chaîne : par exemple le taux d'impuretés, qui se gère au niveau du captage, est susceptible de causer des risques sur les autres maillons, à court comme à long terme.

Sur certains maillons, des enjeux spécifiques vont apparaître, liés à la problématique de long terme et à notre manque de connaissances, c'est pourquoi lors des analyses de risques il convient d'être prudent, et parfois inventif dans les solutions retenues. Ainsi, le maillon « stockage » est le moins bien connu, le seul qui ne sera pas construit par l'homme et pour lequel l'accès à l'information ne peut être qu'indirect (surveillance géochimique et géophysique). En outre, le retour d'expérience est assez faible puisque le plus ancien site de stockage géologique du CO_2, celui de Sleipner en Norvège, n'est en fonctionnement que depuis 1996.

L'analyse des risques du maillon « injection » est particulièrement sensible puisque les puits, même colmatés après fermeture du site constitueront des voies de fuite préférentielles du fait de leur jonction directe avec le réservoir de stockage. Ces vecteurs peuvent de plus être affectés à long terme par l'action du CO_2 comme des impuretés injectées, avec des aléas tels que l'altération du cuvelage métallique, de la cimentation annulaire et de l'anneau de roche endommagée entourant le puits (EDZ).

Première structuration d'une démarche d'analyse de risques

L'objet de « l'analyse des risques » est d'identifier les scénarios possibles puis de les caractériser ou de les mesurer, classiquement, en probabilité et en gravité (selon le guide ISO/CEI 73, le risque résulte de la « combinaison de la probabilité d'un événement et de ses conséquences »). Afin de caractériser la gravité, on utilise le plus souvent un modèle numérique, aussi modélisation et analyse des risques constituent généralement deux démarches complémentaires.

En conformité avec le contexte des études de

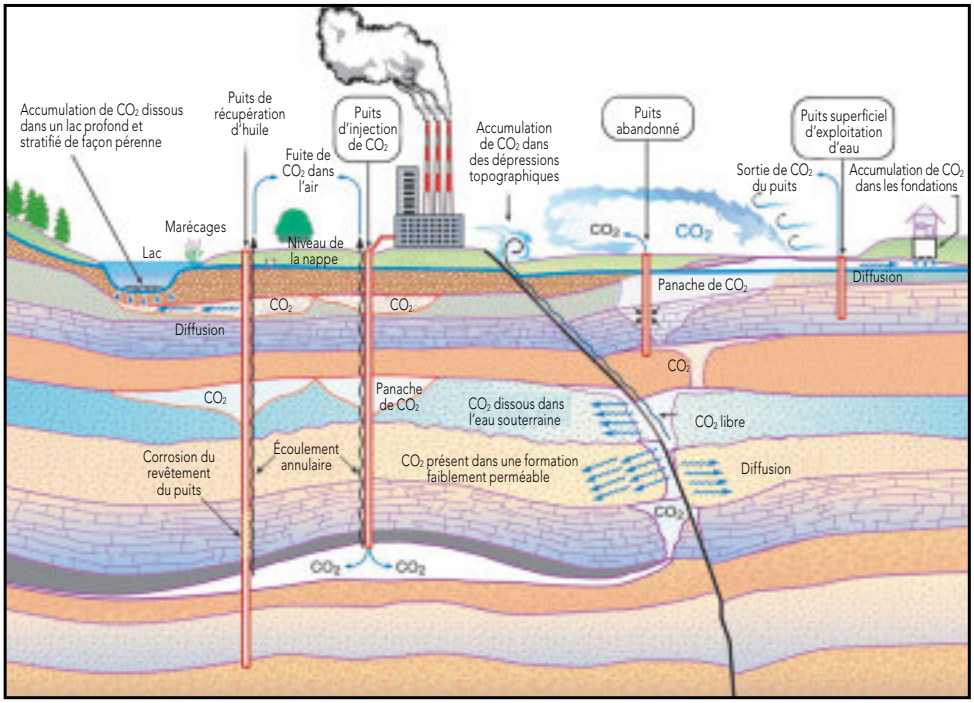


Schéma (inspiré de Zhang, Oldenburg, Benson, 2004), illustrant la problématique du stockage géologique du CO_2 et la plupart des aléas qui sont à étudier.

#1

dangers en France en 2005, nous considérons les « phénomènes » susceptibles de causer des dommages (ou conséquences) sur les cibles en jeu : pollution, blessure, mort. Afin de structurer la réflexion, nous avons proposé de regrouper l'ensemble des phénomènes susceptibles de se produire en plusieurs familles principales, alliant aussi bien des phénomènes de nature accidentelle (explosion ou nuage de gaz toxique par exemple) que ceux qui se réalisent de manière continue ou chronique (contamination d'un compartiment de l'environnement, effets mécaniques et hydrauliques, etc.).

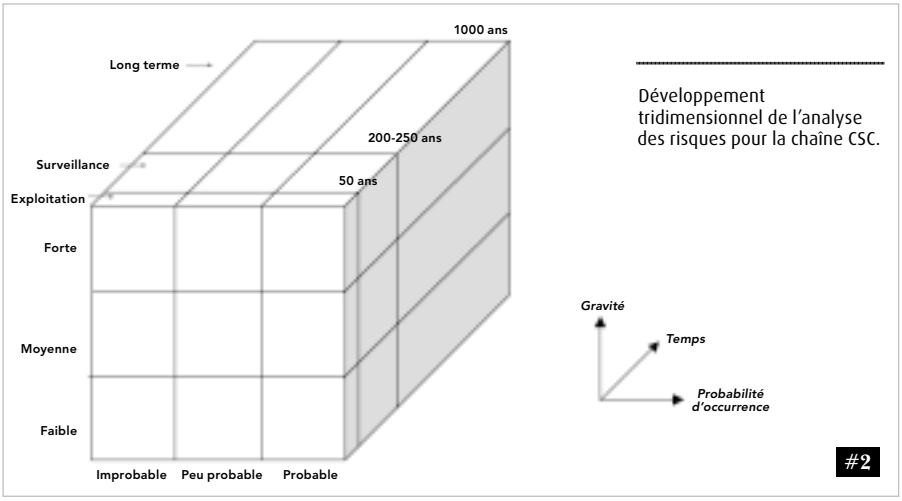
Au sein de chaque famille, des sous-catégories d'événements permettent de systématiser les analyses de risques à mener et de capitaliser les résultats obtenus. Ils regroupent les mécanismes liés aux transferts de fluides, aux transferts de chaleur, à l'évolution des contraintes hydrauliques ou mécaniques, et aux perturbations chimiques en solution comme sur les matériaux.

Pour de nombreux acteurs les phénomènes les plus redoutés *a priori* sont les pertes de confinement, brutales ou lentes, concernant le CO_2 lui-même. Les émanations brutales en surface sont *a priori* susceptibles d'apparaître principalement en période d'exploitation seulement, mais peuvent concerner tous les maillons de la chaîne. Les migrations plus lentes sont susceptibles d'atteindre différents compartiments sensibles (pollutions), voire d'atteindre la surface (émanations) ; elles peuvent survenir en évolution normale comme en évolution dégradée du système, et résulteront principalement de perturbations au sein du réservoir et lors de la traversée des recouvrements (puits, failles).

D'autres phénomènes doivent être étudiés. On citera, à titre d'exemple, les impacts liés aux impuretés ou à la mise en solution d'éléments-traces potentiellement toxiques, ou la modification des écoulements hydrauliques à longue distance liés à la poussée du fluide injecté qui reste supercritique longtemps avant de se dissoudre.

La troisième dimension : prise en compte du paramètre « Temps »

La probabilité d'occurrence s'estime par rapport à une période de temps de référence. Ainsi, une crue centennale (ce qui, par définition, signifie que sa fréquence



Développement tridimensionnel de l'analyse des risques pour la chaîne CSC.

#2

PRINCIPALES DIFFÉRENCES AVEC LES STOCKAGES SOUTERRAINS D'HYDROCARBURES

L'INERIS mène pour le ministère chargé de l'Environnement un programme d'appui DRS07 concernant l'étude des risques pour différents types de stockages souterrains : les hydrocarbures d'une part, le CO_2 d'autre part. L'analyse des risques de la filière CSC ne repose, à ce jour, que sur un retour d'expérience limité à une dizaine d'années d'exploitation sur quelques sites dans le monde. Elle devra donc s'appuyer aussi sur l'expérience acquise avec d'autres stockages souterrains tels que les stockages d'hydrocarbures, tout en étant adaptée aux spécificités du produit stocké et aux finalités du système. Ainsi on peut mettre en exergue les différences suivantes :

- le CO_2 sera injecté en continu, à l'état supercritique, avec abandon du site de stockage sous une pression maximale ;
- pour être efficace vis-à-vis du cycle du carbone, la durée de vie d'un stockage géologique de CO_2 devra être de l'ordre de grandeur d'un millier d'années contre quelques dizaines d'années pour un stockage souterrain d'hydrocarbures ; en ce sens, on se rapproche ici du mode de gestion des risques à long terme tel qu'il est envisagé dans les centres de stockage de déchets radioactifs ;
- le CO_2 est soluble dans l'eau d'où une réversibilité très difficile du stockage souterrain après un certain laps de temps ; la dissolution dans l'eau produit de l'acide carbonique susceptible de corroder les éléments constitutifs du puits (ciment, acier) ainsi que certaines roches-réservoirs (notamment carbonatées) ;
- le CO_2 supercritique ayant un fort pouvoir solvant sur la matière organique, il risque d'interagir avec les hydrocarbures résiduels présents dans les gisements d'hydrocarbures déplétés et d'en extraire certains composants toxiques (HAP) qui pourront passer en solution dans l'eau de formation ;
- dans les aquifères salins profonds, l'acidité produite par la dissolution du CO_2 pourra conduire à la remobilisation de certains éléments-traces (Kharaka, 2007), potentiellement toxiques, présents à l'état de précipités dans le milieu souterrain profond (métaux lourds, actinides) ; cette remobilisation pourra également être facilitée par des impuretés qui seraient présentes dans le CO_2 injecté (Trofimov *et al.*, 2004).

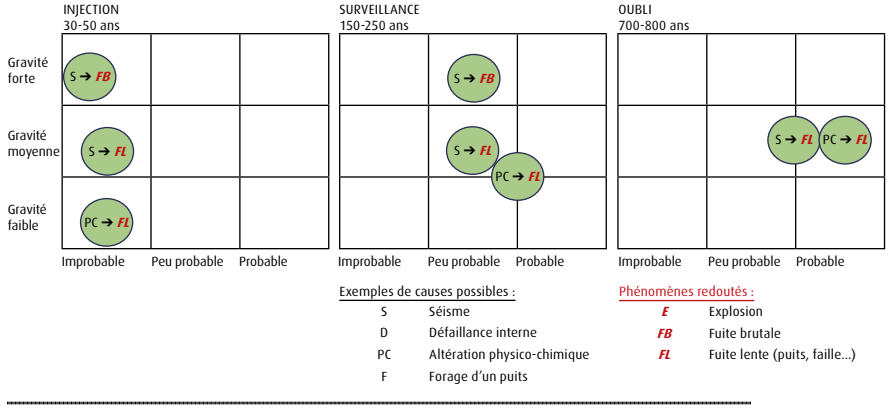
d'apparition est d'une fois tous les 100 ans) a une probabilité d'occurrence faible sur une période de référence de 1 an (probabilité de l'ordre de 0,01 – sans être toutefois égale à cette valeur), mais une probabilité d'occurrence proche de 1 sur une période de référence de 1 000 ans : à cette échelle de temps, la crue se produira de manière quasicertaine.

La prise en compte de cette dimension est capitale dans le cas d'une filière qui aura plusieurs périodes de vie bien distinctes. En effet, ces périodes ont des durées variables, ce qui va influer sur la probabilité d'occurrence de la cause d'un scénario de risque. Cela implique de raisonner non plus en deux mais en trois dimensions comme illustré sur la figure 2 : gravité, probabilité, temps [Toulhoat *et al.*, 2009].

Nous avons illustré cette démarche en considérant trois périodes de vie : la période d'exploitation, pendant laquelle les quatre maillons de la chaîne sont en fonctionnement (*a priori*, une cinquantaine d'années au maximum) ; la période de surveillance (150 à 200 ans maximum) durant laquelle les puits d'injection sont comblés puis une surveillance active a lieu « monitoring ») – ultérieurement lorsque ce monitoring s'arrête les populations conservent la mémoire du site stockage ; la période de long terme, au cours de laquelle l'existence même du stockage et des risques associés est susceptible d'être oubliée (700 à 800 ans, l'horizon à considérer étant une durée de vie totale du stockage de 1 000 ans).

Ainsi la figure 3 montre les principaux scénarios susceptibles d'apparaître, pour ce qui concerne le maillon « injection » seulement, au cours de ces trois périodes. Pour chaque période figure une grille dans un plan « gravité-probabilité », sur laquelle les scénarios sont représentés par un cercle où figure le lien « Cause ➙ Phénomène ». Précisons que la démarche est ici illustrée avec des échelles simplifiées de gravité et de probabilité, constituées de seulement 3 catégories qui sont identifiées par de simples vocables qualitatifs.

En ce qui concerne le phénomène « fuite lente », FL, il peut être lié, soit à la dégradation du puits par corrosion (phénomènes physico-chimiques PC), soit à un événement extérieur de type séisme (S) :



Déclinaison de quelques scénarios de risque en fonction du temps (un scénario est ici identifié par sa cause et le phénomène final).

#3

• au cours de la période de surveillance, chaque cause est plus probable qu'au cours de la période d'exploitation car celle-ci est plus courte ; à long terme, la corrosion du puits d'injection devient même un phénomène presque certain, de par l'échelle de temps et le vieillissement des matériaux.

• pour la cause S la gravité est susceptible d'être plus forte que pour la cause PC, tant que du CO_2 à l'état supercritique, est présent dans le proche-puits, c'est-à-dire en période d'exploitation ou de surveillance : à long terme, les gravités sont supposées similaires car une grande partie du CO_2 injecté se trouve à l'état dissous. D'ailleurs pour la même raison on voit sur la figure que le phénomène « fuite brutale », FB, (provoqué par la même cause séisme S) n'est susceptible d'apparaître qu'en période d'exploitation ou de surveillance.

Face aux risques identifiés, il est essentiel de définir, le plus en amont possible, des mesures de maîtrise des risques (ou MMR) adaptées. Celles-ci devront avoir des objectifs précis et répondre à des critères stricts : soit pour empêcher le scénario de se dérouler (cas des mesures de conception), soit pour en limiter la probabilité d'occurrence ou en réduire la gravité (cas des barrières de sécurité, ou de la protection des enjeux par des mesures telles la maîtrise de l'urbanisme) ; sans oublier les mesures de surveillance (ou « monitoring ») qui permettent dans tous les cas de suivre l'évolution du site de stockage, que ce soit pour vérifier qu'elle est conforme à ce qui était envisagé, ou au contraire pour détecter les éventuels problèmes.

Nous pouvons également envisager de représenter l'incertitude dans la représentation décrite ci-dessus : plus l'incertitude est grande (que ce soit en probabilité ou en gravité), plus le cercle représentant le scénario de risque est large sur le schéma. Il faut pour cela tenir compte de la sensibilité des modèles bien sûr, mais également de notre manque de connaissance, ou incertitude épistémique : notamment à long terme, il se peut en effet que le mécanisme étudié soit mal connu, ou que les conditions aux limites soient délicates à déterminer.

RÉFÉRENCES

Gombert Ph., Thoraval A., Poirot N. *Synthèse de l'état des connaissances sur les risques liés au stockage géologique du CO_2,* partie 1, Programme EAT DRS07, rapport INERIS-DRS-08-95145-11842A.

Toulhoat P., Farret R., Gombert Ph. *Long term safety issues in geological CO_2 storage,* Rencontres Scientifiques de l'IFP, 27-29 mai 2009, Rueil-Malmaison, France.

Pokryszka Z., Charmoille A., Bentivegna G., Farret R. *Gas monitoring methods development and validation for underground geological CO_2 storage sites,* 1st iNTeg-Risk conference *Dealing with risks of tomorrow's technologies,* 2-4 june 2009, Stuttgart, Germany.

Gombert Ph., Farret R., Lahaie F. *Tunnels et Ouvrages Souterrains* N° 213, juin 2009, *Adaptation des outils d'analyse de risques aux futurs complexes de stockage géologique de CO_2.*

Gombert Ph., Farret R. *Definition of a risk analysis method combining long-term and short-term issues and application to the CCS,* 5th Trondheim Conference, 16-17 juin 2009, Trondheim, Norvège.

Farret R., Gombert Ph., Lahaie F., Salmon R., Toulhoat P. *A method for Risk Analysis of CCS combining CO_2 and impurities, long-term and short-term issues,* 1st S4FE Conference (Sustainable Fossil Fuel For Future Energy), 6-10 juillet 2009, Rome, Italie.

Zhang, Oldenburg and Benson, Vadose zone remediation of carbon dioxyde leakage from geological carbon dioxyde sequestration sites, Vadose Zone Journal 3:858-866 (2004).