

- **SYNTHESE POUR L'ACTION OPERATIONNELLE**

La France a marqué sa volonté de s'engager dans la voie du captage et stockage géologique du CO₂ (CSC) afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Ainsi, la Directive 2009/31/CE relative au CSC a été transposée :

- par l'article 80 de la loi, dite « Grenelle 2 », n°2010-788 du 12/07/2010 relative à l'engagement national pour l'environnement, pour ce qui relève de la recherche de formations aptes au stockage géologique de CO₂ ;
- par l'article 5 de l'ordonnance 2010-1232 du 21 octobre 2010 portant diverses dispositions d'adaptation au droit de l'Union européenne en matière d'environnement, pour l'exploitation d'un site de stockage géologique de CO₂.

L'objectif de ce cadre juridique est d'assurer que le stockage sera permanent et sûr pour l'environnement et la santé humaine. Ainsi la Directive 2009/31/CE stipule que l'étape de sélection du site de stockage est essentielle pour garantir que le CO₂ stocké sera confiné parfaitement et en permanence. Le choix des futurs sites devra donc faire la preuve « qu'il n'existe pas de risque de fuite significatif, ni de risque significatif pour l'environnement ou la santé ». Chaque site doit ainsi faire l'objet d'une analyse des risques détaillée et de la prévision de mesures correctives pour faire face à d'éventuelles irrégularités, étant entendu que, dans les conditions d'évolution attendues, aucun impact n'est envisagé sur des ressources sensibles.

En France, le stockage principalement envisagé dans des formations aquifères profondes dont les eaux sont impropres à leur utilisation par l'homme. Cette synthèse a pour objectif de présenter les impacts du stockage du CO₂ sur les eaux souterraines pour ce type de système et de faire le point sur la réglementation existante en termes de surveillance.

Impacts potentiels du stockage souterrain de CO₂ sur les eaux souterraines

Concernant les eaux souterraines, la revue bibliographique présentée dans ce rapport montre que les impacts potentiels à évaluer relèvent principalement de la conséquence :

- (i) d'une propagation de la pression induite dans le réservoir par l'injection de CO₂. Une hausse de pression peut induire des modifications des écoulements au sein de la formation de stockage (migration de saumure) ou au sein des aquitards (drainance verticale). Le niveau d'impact est néanmoins dépendant de la pression induite et des propriétés géologiques et hydrogéologiques du complexe de stockage.
- (ii) d'une migration de fluides (saumures ou gaz) vers les aquifères sus-jacents liés à la présence d'une fuite. La migration de fluides dans des aquifères d'eau douce pourrait entraîner l'altération de la qualité de la ressource en eau souterraine dans le cas où des substances toxiques ou indésirables sont mobilisées par ces fluides. Selon la nature des fluides, les zones de fuites et les débits, les impacts peuvent être très locaux ou diffus. L'impact sur la qualité sera dépendant des systèmes biogéochimiques et de la composition des aquifères affectés.
- (iii) de la fuite accidentelle de CO₂ au sein d'un aquifère d'eau douce. La dissolution du CO₂ dans les eaux souterraines peut, selon les quantités introduites, modifier les équilibres physico-chimiques avec le risque de dégrader la qualité des eaux si des contaminants présents naturellement dans les aquifères sont relargués en quantités significatives.

Relations entre les aquifères salins profonds et les masses d'eau en France

Les aquifères salins ciblés pour le stockage géologique du CO₂ ne sont pas exploités pour la production d'eau potable et de fait ils n'ont pas été définis comme masse d'eau. Ils ne font donc l'objet d'aucune réglementation particulière quant à la Directive Cadre sur l'Eau.

A l'échelle du bassin de Paris, les formations de stockage ciblées ont été le Dogger (facies de l'Oolithe Blanche) et le Trias dans sa partie centrale. Ces deux formations contiennent des eaux salées dans la partie centrale du bassin et peuvent affleurer en bordure de bassin où elles contiennent de l'eau douce. Latéralement, à l'échelle de la formation de stockage, il conviendra de s'assurer de la discontinuité du milieu aquifère ou d'un éloignement suffisant entre les zones de stockage et ces masses d'eau pour éviter tout impact, notamment hydrodynamique, du stockage de CO₂ sur la ressource en eau. Verticalement, on rencontre à l'aplomb de ces secteurs, la masse d'eau de l'albien-néocomien. Il conviendra donc d'évaluer les risques de fuites de CO₂ ou d'intrusion de saumures susceptibles de se produire et de connaître les impacts sur la qualité des masses d'eau sus-jacentes au stockage de CO₂.

Réglementation et recommandations pour la surveillance des sites

Pour les tests d'injection comme pour l'exploitation du site, l'exploitant doit fournir une notice environnementale. Il doit également établir un plan de surveillance détaillé par le décret 2011-1411 et dans l'annexe II de la directive 2009/31/CE. Ce plan prévoit que l'exploitant procède à la surveillance du site et du complexe de stockage, y compris si possible de la zone de diffusion du flux de dioxyde de carbone injecté et du milieu environnant, afin de :

- a) Comparer le comportement réel du dioxyde de carbone et de l'eau de formation dans le site de stockage avec le comportement prévu par les travaux de modélisation ;
- b) Détecter les incidents ou accidents dans les opérations d'injection ou de stockage qui impliquent un risque de fuite, une fuite, ou un risque pour l'environnement ou la santé humaine ;
- c) Suivre la migration du dioxyde de carbone injecté, à savoir le déplacement du flux de dioxyde de carbone injecté au sein du complexe de stockage ;
- d) Détecter les fuites de dioxyde de carbone, une fuite s'entendant comme tout dégagement de dioxyde de carbone à partir du complexe de stockage ;
- e) Détecter des effets sur l'environnement ou la santé humaine, y compris les effets éventuels sur les nappes d'eau souterraine autres que celles incluses dans le complexe de stockage ;
- f) Evaluer l'efficacité des mesures préventives et des mesures correctives mises en œuvre dans les circonstances prévues ;
- g) Réviser les mesures préventives et correctives ci-dessus pour en améliorer l'efficacité ;
- h) Mettre à jour l'étude de danger pour évaluer la sécurité et l'intégrité du complexe de stockage à court et à long terme, y compris en déterminant si le dioxyde de carbone restera confiné de manière sûre et permanente.

D'après le code de l'environnement il faut savoir que l'autorisation d'exploiter approuve également le plan de surveillance et le plan de mesures correctives à mettre en œuvre en cas d'irrégularité notable dans les opérations d'injection ou de stockage ainsi qu'en cas de fuite et le plan de post-fermeture provisoire. Les plans de surveillance, de mesures correctives et de post-fermeture provisoire sont mis à jour tous les 5 ans. Cette mise à jour tient compte de l'évolution des risques, des nouvelles connaissances scientifiques, des meilleures pratiques et des améliorations des techniques disponibles. Ces documents sont publics.

Il convient donc de s'assurer que ces plans prennent en compte correctement les aquifères et les impacts potentiels sur la ressource en eau en cas d'une défaillance du site de stockage géologique comme une fuite de CO₂. On souligne que Bouc *et al.* (2012) proposent de mettre en place une surveillance au niveau d'un aquifère de contrôle. Cet aquifère placé entre la formation de stockage et

les aquifères exploités pour l'alimentation en eau potable permettrait de détecter de manière précoce une éventuelle fuite de CO₂.

La phase post-exploitation

Lors de la demande d'autorisation, l'exploitant doit établir un plan de post-fermeture provisoire qui sera revu durant la période d'exploitation. Ce plan fixe les conditions de fermeture du site de stockage et la surveillance du site pendant la période post-fermeture définie au préalable. Ce plan de surveillance est décrit dans l'annexe II de la directive 2009/31/CE et dans les documents guides cités précédemment. Il est mis à jour régulièrement, jusqu'à la version définitive au moment du transfert de responsabilité.

Après mise à l'arrêt du site, la surveillance continue sous la responsabilité de l'exploitant, avec pour objectif de faire la démonstration du confinement sûr du CO₂ à long terme. Cette démonstration s'appuie nécessairement sur 3 critères :

- L'observation d'un comportement conforme avec les modèles ;
- L'absence de fuite détectable ;
- L'évolution du site vers une situation de stabilité à long terme.

Lorsque l'exploitant a fait la démonstration que ces trois conditions sont remplies et qu'une période minimale de surveillance de 30 ans s'est écoulée depuis l'arrêt de l'injection (ou après décision des ministres chargés des mines et des installations classées, si l'autorité est convaincue plus précocement du respect de ces conditions, après une période minimale de 10 ans depuis l'arrêt définitif du site), la responsabilité du site peut être transférée à l'Etat. L'exploitant lui remet son programme de mesures préventives et correctives à jour ; la sécurité doit néanmoins pouvoir être assurée de manière passive. L'exploitant verse également une soulte permettant de couvrir au moins le coût prévisionnel de 30 ans de surveillance.