

_Présentation du rapport scientifique 2011-2012

_Mardi 20 novembre 2012

GEOCHIMIE DU STOCKAGE GEOLOGIQUE DU CO2 :

**ETUDE DES RISQUES DE REMOBILISATION DES METAUX
LOURDS**

Contact presse : Aurélie Prévot
03 44 55 63 01 – 06 20 90 03 48
aurelie.prevot@ineris.fr

L'INERIS étudie le potentiel de remobilisation des métaux dû à l'injection de CO₂ dans le sous-sol

Paris, 20 novembre 2012 – A l'occasion de la diffusion de son rapport scientifique 2011-2012, l'INERIS présente les premiers résultats de ses travaux sur la géochimie du stockage géologique du CO₂ en aquifère salin profond. Les travaux de l'Institut montrent que les interactions entre le CO₂ injecté, la saumure et la roche conduisent à un enrichissement de la saumure en métaux, à des degrés variables, qui sont propres à chaque élément chimique. Ce phénomène devra être étudié de manière plus approfondie, dans la mesure où l'augmentation de la concentration en métaux pourrait présenter un risque pour la santé et l'environnement en cas de migration de la saumure en dehors du réservoir de stockage.

Dans la stratégie de lutte contre le réchauffement climatique, le Captage-Stockage du CO₂ (CSC) figure parmi les solutions envisagées pour atteindre d'ici à 2050, l'objectif de 50% de réduction des émissions de dioxyde de carbone (CO₂). Le scénario développé par l'Agence Internationale de l'Energie (AIE) en 2008 estime que le CSC pourrait compter pour 19% des réductions d'émissions dans le monde à l'horizon 2050.

L'intérêt de la communauté internationale pour cette technologie a conduit l'INERIS à engager, à partir de 2003, son expertise pluridisciplinaire dans l'étude des risques sur l'ensemble de la filière. Une des questions majeures de sécurité que les experts de l'Institut ont pointée est celle des risques sanitaires et environnementaux posés sur le long terme par la présence de substances chimiques au sein des réservoirs de stockage et leur éventuel transfert dans les différents milieux (eau, air, sol).

L'INERIS s'est ainsi penché sur le comportement des éléments chimiques présents dans les nappes d'eau salées profondes, au sein desquelles le CO₂ injecté est piégé par des mécanismes complexes d'interaction entre la roche-réservoir, la saumure et le CO₂. Or ces processus de dissolution-précipitation sont susceptibles de libérer dans la saumure d'autres substances déjà présentes dans le réservoir, comme des métaux lourds, qui peuvent présenter un risque en cas de migration du fluide en dehors du stockage. Les travaux se sont appuyés sur une démarche expérimentale qui a consisté à injecter une petite quantité d'eau saturée en CO₂ dans un aquifère situé dans des terrains naturellement chargés en métaux.

Sans préjuger de l'impact sanitaire et environnemental potentiel, les travaux de l'Institut montrent que les métaux sont rendus à nouveau mobiles dans la saumure suite à l'injection de CO₂, qui acidifie le milieu. Un des enseignements majeurs est la diversité de comportement des éléments chimiques présents dans l'aquifère et soumis à un même processus : l'augmentation des concentrations connaît des ordres de grandeur très différents d'une substance à l'autre (concentrations multipliées par 25 pour le zinc, par 13 pour le fer contre 5 pour le manganèse ou 2 pour l'arsenic).

Ce type de phénomène devra être étudié de manière plus approfondie dans la perspective de la mise en œuvre de la technologie CSC sur de futurs sites de stockage. L'impact plus ou moins important du CO₂ injecté sur l'équilibre géochimique de la roche-réservoir dépend des caractéristiques propres à chaque site ; l'analyse des risques devra être réalisée au cas par cas. Les enseignements tirés de cette recherche fournissent également des informations précieuses sur les modalités de transfert des métaux lourds dans les eaux souterraines et pourraient être utilisés dans le domaine de la gestion des sites pollués ou le stockage souterrain de déchets.

L'INERIS contribue à la recherche sur l'ensemble de la filière CSC, notamment dans le cadre de programmes ANR avec des partenaires institutionnels et privés : sécurité des installations de surface, des procédés de captage et du transport ; sécurité du stockage du CO₂ en aquifère salin ou dans le charbon ; surveillance, modélisation des transferts de substances et évaluation des éventuels impacts sanitaires. Ses compétences en évaluation des risques d'accident industriel, des risques liés à l'utilisation du sous-sol et des risques sanitaires et environnementaux lui permettent de développer une vision transversale de la filière. Grâce à cette expertise pluridisciplinaire, l'INERIS contribue aux travaux de normalisation engagés sous la houlette du Comité Européen de Normalisation (CEN) et de l'International Standard Organisation (ISO).

Le captage-transport-stockage du CO₂ : quels enjeux pour quels risques ?

En 2006, le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) a estimé que, d'ici à 2050, il faudrait réduire de moitié les émissions de dioxyde de carbone (CO₂), principal gaz à effet de serre (GES), pour limiter à 2°C l'augmentation de la température moyenne de la Terre. Le Captage-Stockage du CO₂ (CSC) figure parmi les solutions envisagées pour atteindre l'objectif de réduction des émissions.

La filière CSC aujourd'hui : un enjeu international

Le scénario développé par l'Agence Internationale de l'Energie (AIE) en 2008 estime que le CSC pourrait compter pour 19% des réductions d'émissions dans le monde à l'horizon 2050. En 2012, le Global CCS Institute relève 75 projets à grande échelle en cours de mise en œuvre et 59 en cours de développement dans le monde ; la Chine, les Etats-Unis, le Canada et l'Australie notamment font preuve d'une forte implication sur cette thématique¹.

L'Union Européenne s'est engagée, d'ici à 2050, à réduire ses émissions de GES de 80% à 95% par rapport au niveau de 1990 et a mis en place une législation visant à ramener, d'ici à 2020, ses émissions de GES à 20% sous les niveaux de 1990. Au niveau européen, le CSC est réglementé par la directive 2009/31/CE relative au stockage géologique du dioxyde de carbone, applicable depuis juin 2011. Elle donne des indications sur le mode de sélection des sites, la délivrance des permis de stockage, les modalités de surveillance des sites, le dispositif de contrôle des sites par les Etats membres, les responsabilités des exploitants en matière de mesures correctives d'éventuels problèmes, la gestion de la sécurité à long terme.

L'intérêt de la communauté internationale pour cette technologie a conduit l'INERIS à engager, à partir de 2003, son expertise pluridisciplinaire dans l'étude des risques sur l'ensemble de la filière. L'Institut contribue ainsi à l'examen de la filière, dont il est impératif de vérifier la viabilité avant d'envisager de la mettre en œuvre sur un site.

Les risques liés à la filière CSC

La filière CSC comprend quatre étapes distinctes qui génèrent chacune des risques qui leur sont propres : le captage sur le site d'émission du CO₂, le transport jusqu'au site d'injection, l'injection du CO₂ dans le réservoir souterrain et le stockage sur la longue durée.

Les caractéristiques physico-chimiques du CO₂

Le CO₂ est un gaz incolore, inodore, plus lourd que l'air et soluble dans l'eau. Humide, le CO₂ est corrosif. Il est ininflammable mais des risques d'explosion subsistent si le gaz est présent sous pression. Le CO₂ est par ailleurs toxique² : en cas de perte de confinement, la dispersion du gaz constitue un risque à prendre en compte.

Les risques en phase de captage

Le captage consiste à extraire le CO₂ des fumées de combustion, le purifier et comprimer le fluide purifié pour le transporter. La récupération et la purification sont susceptibles d'être réalisées au moyen de trois procédés différents : la post-combustion, l'oxy-combustion, la pré-combustion.

Il existe des risques spécifiques à chaque procédé de captage : la post-combustion requiert l'emploi de solvants (amines, ammoniac) pouvant générer des risques toxiques ou d'explosion. Ce procédé implique la présence de beaucoup d'impuretés dans les fumées. L'oxy-combustion est un procédé nécessitant de fortes températures et la fabrication d'oxygène, gaz inflammable. La pré-combustion est mise en œuvre au moyen de hautes pressions et de températures élevées et peut impliquer le recours à l'hydrogène, très inflammable.

¹ Rapport disponible sur <http://www.globalccsinstitute.com/publications/global-status-ccs-2012>

² La toxicité aiguë du CO₂, gaz qui joue par ailleurs un rôle essentiel dans la régulation de la respiration humaine, est difficile à estimer. En l'état actuel des connaissances scientifiques, les valeurs de référence utilisées sont une concentration de 5% de CO₂ en volume dans l'air pour les effets irréversibles, de 10% pour les premiers effets létaux et de 20% pour les effets létaux significatifs.

Les risques en phase de transport

Le transport du CO₂, de préférence à l'état supercritique, est envisagé principalement par canalisation (« carboducs ») et/ou par voie maritime (navires adaptés) ; le schéma de transport implique une étape de stockage-tampon à la sortie du système de captage (station de recompression terrestre, station de remplissage pour le transport maritime...).

A l'instar du transport de gaz naturel par canalisation, le risque principal en phase de transport du CO₂ est la fuite accidentelle. Dans le cas du CSC, l'enjeu de l'évaluation du risque est fortement lié à l'état dans lequel le CO₂ sera transporté. Si le CO₂ est transporté à l'état supercritique³, il est susceptible de se comporter différemment de l'état gazeux ou liquide classique. Or le mode de formation et de dispersion d'un nuage dû à une fuite de CO₂ supercritique est un phénomène encore peu étudié.

Les risques en phase d'injection

L'injection du CO₂ est un système complexe qui implique de considérer une zone de stockage-tampon et la tête d'injection installées en surface ainsi que le puits d'injection qui relie la surface au réservoir souterrain. La phase d'injection présente le même type de risques que les activités de stockage de gaz souterrain.

La différence majeure reste l'état dans lequel le CO₂ est injecté, s'il est supercritique, et le fait que le CO₂ est injecté de manière continue pendant toute la phase d'exploitation, et non pas soumis à des phases de stockage-déstockage. Une autre spécificité du CSC est la question du comportement des éléments constitutifs du puits d'injection sur le long terme et le risque de perte d'étanchéité du puits après arrêt de l'activité d'exploitation.

Les risques en phase de stockage

Le stockage du CO₂ nécessite de prendre en compte trois « zones » distinctes : le réservoir géologique qui contiendra le CO₂, notamment la zone dite de « proche puits » où le fluide sera stocké à l'état supercritique ; la roche-hôte dans laquelle repose le réservoir ; la roche couverture, située immédiatement au-dessus du réservoir.

L'absence de données sur les phénomènes complexes d'interaction entre le CO₂ et la roche-réservoir rend très délicate l'évaluation des risques liés au stockage. Une des questions majeures de sécurité que les experts de l'Institut ont pointée est celle des risques sanitaires et environnementaux posés sur le long terme par la présence de substances chimiques au sein du stockage et leur éventuel transfert dans les différents milieux (eau, air, sol).

Les procédés de captage ne permettent pas d'éliminer complètement les impuretés présentes dans les fumées de combustion : des substances chimiques résiduelles (SO₂, H₂S, NO_x, HAP, COV, métaux lourds...) seront ainsi transportées et injectées avec le CO₂ dans le réservoir de stockage. Un autre type de risque pourrait provenir de l'interaction entre le CO₂ injecté et des substances déjà présentes dans la roche-réservoir, comme les Eléments-Traces Métalliques (ETM) ou les micropolluants organiques. Un troisième type de risque est constitué par les émissions potentielles de gaz du sol, en fonction du comportement des gaz déjà présents dans le sous-sol (méthane, H₂S) et chassés par le CO₂ lors de l'injection.

³ Un fluide, gaz ou liquide, est à l'état supercritique lorsqu'il a été chauffé au-delà de sa température critique ou comprimé au-delà de sa pression critique.

La géochimie du stockage géologique du CO₂ : Un phénomène de remobilisation des métaux lourds confirmé

Dans le cadre de ses recherches sur les risques de la filière CSC, l'INERIS s'est penché sur la question des impuretés présentes dans les réservoirs de stockage. Le stockage du CO₂ est envisagé dans des roches-réservoirs encaissées dans des couches géologiques imperméables et situées en profondeur (à plus de 800 m sous la surface), condition nécessaire pour maintenir le CO₂ à l'état supercritique.

Plusieurs types de réservoirs sont envisagés aujourd'hui pour le CO₂, en fonction de leur capacité à maintenir le CO₂ là où il a été injecté : les gisements d'hydrocarbures épuisés (qui pourraient contenir 900 Gt de CO₂), les veines de charbon inexploitées et inexploitable (représentant une capacité de 40 à 200 Gt), les roches basiques et ultrabasiques (dont le potentiel n'est pas encore quantifié) et surtout les aquifères salins profonds. Ces nappes d'eau souterraine à forte salinité (appelée également « saumure »), inexploitable pour la consommation humaine, représentent une capacité de stockage d'environ 10 000 Gt.

Pourquoi étudier la géochimie du stockage du CO₂ en aquifère salin profond ?

La capacité de « piégeage » des aquifères salins profonds est double : elle repose sur un phénomène mécanique d'adsorption⁴ au sein d'un réservoir réputé étanche, mais aussi par des interactions physico-chimiques entre le CO₂, la saumure et la roche. Ces interactions vont piéger le CO₂ par des phénomènes de dissolution (phase liquide) et de précipitation (phase solide).

La solubilité⁵ dans la saumure d'une substance dépend de sa nature et de ses propriétés, mais elle est aussi fonction de l'équilibre géochimique du milieu, qui nécessite de considérer de multiples facteurs (pression, température, porosité, perméabilité, composition minéralogique du réservoir, composition chimique de l'eau...). L'étude de la géochimie, qui s'appuie sur les lois de la thermodynamique, doit permettre d'analyser ces processus de dissolution-précipitation pour déterminer le comportement à long terme des différentes substances mises en présence dans la saumure. Si, au cours de ces processus, certaines substances toxiques sont libérées dans la saumure, elles peuvent présenter un risque en cas de migration du fluide en dehors du stockage.

Or la dissolution du CO₂ dans l'eau va engendrer une acidification du milieu par production d'acide carbonique (H₂CO₃). Cette acidification du milieu géochimique peut engendrer la dissolution de minéraux, notamment des minéraux carbonatés. Or ce processus peut provoquer la libération de nombreux éléments chimiques dans la saumure. Ce type de réaction se rencontre également avec d'autres minéraux contenant des métaux comme les hydroxydes de fer, des argiles ou des minéraux sulfurés. Si les minéraux qui subissent ce processus de dissolution contiennent des métaux lourds potentiellement toxiques (arsenic, plomb, zinc, cuivre, uranium...), ces métaux, immobilisés à l'état solide, pourraient être rendus mobiles à nouveau (ou « remobilisés ») une fois libérés dans la saumure.

A noter, la possibilité de remobilisation des éléments-traces métalliques (ETM) pourrait être accrue par la présence d'impuretés injectées avec le CO₂ : certaines impuretés ont des propriétés susceptibles de bouleverser l'équilibre géochimique du milieu, notamment les impuretés qui ont des propriétés oxydantes et acides.

Le protocole de l'expérimentation

Afin d'explorer le potentiel de remobilisation des ETM dans des réservoirs de stockage, l'INERIS a étudié le comportement des éléments chimiques dans les processus d'interactions CO₂-roche-saumure. Les travaux se sont appuyés sur une démarche expérimentale qui a consisté à injecter une petite quantité d'eau saturée en CO₂ dans un aquifère situé dans des terrains naturellement chargés en métaux (fer, manganèse, zinc, arsenic, baryum, molybdène, uranium...).

⁴ Le piégeage se fait par un phénomène physique dit d'adsorption, au cours duquel des molécules de gaz ou de liquide (ici le CO₂) se fixent sur la surface des solides choisis comme adsorbants (roche-réservoir).

⁵ Capacité d'une substance à se dissoudre dans une autre (un liquide, désigné sous le terme « solvant ») et par extension la concentration maximale qui peut se dissoudre, à température donnée.

Une solution de 3 m³ d'eau saturée en CO₂ a ainsi été injectée dans un forage à 56 m de profondeur ; la solution a été laissée en contact avec le milieu pendant 80 h puis re-pompée pendant 72 h. La phase de re-pompage a été poursuivie jusqu'à ce que l'eau pompée soit revenue à sa composition chimique initiale.

Pour caractériser et quantifier correctement les perturbations provoquées par l'injection de la solution d'eau saturée, une analyse physico-chimique détaillée des eaux avant et après injection a été réalisée. Le suivi des paramètres physico-chimiques (pH, température, phénomènes d'oxydation et réduction des substances, oxygène dissous...) a été effectué pendant les phases d'injection et de re-pompage. Des mesures en fer ferreux (Fe²⁺), forme soluble du fer, et des dosages de la « capacité tampon » des eaux (capacité à conserver un pH stable), ont été conduits sur le terrain.

Tout au long de l'expérimentation, des échantillons ont été prélevés à intervalles réguliers. Un protocole de filtration et d'acidification sous azote a été mis en œuvre à cet effet, afin d'éviter tout contact entre les échantillons et l'atmosphère de surface ou d'autres sources éventuelles de pollution externe. Les prélèvements ont fait l'objet d'analyses chimiques par chromatographie ionique, spectrométrie de masse et spectrométrie d'émission optique pour déterminer et quantifier la présence d'ETM.

Les résultats : une remobilisation des métaux lourds observée

Les travaux expérimentaux de l'INERIS confirment que l'injection d'eau saturée en CO₂ a fortement perturbé le pH de la saumure de l'aquifère, passé de 7,30 à 5,7 du fait de l'acidification provoquée par la dissolution du CO₂. Ce phénomène s'est accompagné d'une augmentation en ions calcium Ca²⁺, en ions magnésium Mg²⁺ et en bicarbonate (HCO₃-), ce qui montre que le milieu a bien été le siège d'interactions entre l'eau, le CO₂ et la saumure.

Une forte augmentation des concentrations en métaux a également été observée : la concentration en manganèse a été multipliée par 5, celle du fer par 13 et celle du zinc par 25. Parmi les ETM toxiques, on constate une augmentation significative de l'arsenic, qui double. Ces enrichissements sont directement liés à la dissolution des minéraux générée par l'acidification du milieu et dans une moindre mesure par une perturbation des phénomènes d'oxydo-réduction dans l'eau.

Un des enseignements majeurs est la diversité de comportement des éléments chimiques présents dans l'aquifère et soumis à un même processus. Les facteurs d'enrichissement sont ainsi très variables selon les éléments : par exemple, alors que le zinc et l'arsenic étaient présents à des niveaux de concentration comparables dans la saumure avant l'injection, l'augmentation de la concentration de zinc est supérieure d'un ordre de grandeur à l'augmentation de celle de l'arsenic (x25 contre x2). Ces différences entre éléments s'expliquent en partie par des processus complexes de spéciation chimique⁶. En effet, les calculs d'équilibres thermodynamiques montrent que, dans le milieu considéré, des éléments comme le fer ou le zinc, parce qu'ils se lient avec des anions carbonatés, sont présents sous des formes très mobiles dans la saumure.

Sans préjuger de l'impact sanitaire et environnemental potentiel, qui n'est pas l'objet de l'étude, les travaux de l'INERIS montrent une remobilisation des métaux dans la saumure de l'aquifère suite à l'injection de CO₂. Cette remobilisation est accentuée par des phénomènes de spéciation propres à chaque élément chimique. Ce type de phénomène devra être étudié de manière plus approfondie dans la perspective de la mise en œuvre de la technologie CSC sur de futurs sites de stockage. L'impact plus ou moins important du CO₂ injecté sur l'équilibre géochimique de la roche-réservoir dépend des caractéristiques propres à chaque site et l'analyse des risques devra être réalisée au cas par cas.

Les enseignements tirés de cette recherche fournissent également des informations précieuses sur les modalités de transfert des métaux lourds dans les eaux souterraines et pourraient être utilisés dans le domaine de la gestion des sites pollués ou le stockage souterrain de déchets.

⁶ La spéciation d'un élément chimique désigne les différentes formes (ou « espèces ») sous lesquelles il se rencontre dans un environnement donné.

L'INERIS et les risques liés à la filière CSC : une approche pluridisciplinaire

L'INERIS contribue depuis 2003 à la recherche sur l'ensemble de la filière CSC, notamment dans le cadre de programmes ANR avec des partenaires institutionnels et privés : sécurité des installations de surface, des procédés de captage et du transport ; sécurité du stockage du CO₂ en aquifère salin ou dans le charbon ; surveillance, modélisation des transferts de substances et évaluation des éventuels impacts sanitaires. Ses compétences en évaluation des risques d'accident industriel, des risques liés à l'utilisation du sous-sol et des risques sanitaires et environnementaux lui permettent de développer une vision transversale de la filière.

Grâce à cette expertise pluridisciplinaire, l'INERIS contribue aux travaux de normalisation engagés au niveau international. L'existence de normes élaborées par l'ensemble des parties prenantes est sur le chemin critique pour le développement durable de ces technologies. Le management des risques et la surveillance sont au cœur du travail du comité technique n°265 de l'ISO dédié à la capture, au transport et au stockage du CO₂. La France est membre de ce comité, et l'INERIS participe aux groupes de travail qui alimentent le TC265, et aux travaux équivalents au CEN (Comité Européen de Normalisation).

Le développement de méthodes d'analyse globale des risques

La méthodologie d'analyse de risques développée par l'INERIS est fondée sur une approche pluridisciplinaire, incluant à la fois les pratiques en analyse de risques industriels, la connaissance des mécanismes de mouvements de terrain et l'évaluation de l'impact sanitaire des substances chimiques.

S'agissant de la filière CSC, deux points sont apparus essentiels : la méthodologie doit envisager les risques à tous les maillons de la chaîne du CSC (captage, transport, injection, stockage) et considérer plusieurs échelles de temps (de la phase de conception / exploitation, qui dure de 30 à 50 ans, jusqu'au stockage à long terme, envisagé sur un millier d'années).

Cette approche a permis à l'Institut d'identifier trois périodes de vie de la filière (période d'exploitation ; période de fermeture et de surveillance ; période de délaissement), de déterminer des familles de phénomènes dangereux, des groupes d'événements générateurs d'accidents et des catégories de mesures de maîtrise des risques associées. Les travaux méthodologiques de l'INERIS ont ainsi contribué, en partenariat avec le HSL (Health and Safety Laboratory) britannique, au projet européen iNTeg-Risk.

L'étude des installations de surface : systèmes de captage et sécurité du transport

L'INERIS a contribué aux projets France Nord (Ademe) et CO₂PipeHaz (Commission européenne), qui portent sur la compréhension du comportement des rejets de CO₂ dans l'atmosphère, comme dans le cas d'une fuite de canalisation de transport. Ces travaux répondent aux besoins de connaissances sur les mécanismes de formation des nuages gazeux très denses, multiphasiques et sur les processus de détente brutale des fluides supercritiques, sujets pour lesquels il n'est pas certain que les outils de modélisation disponibles soient pertinents.

En s'appuyant sur les mécanismes physiques étudiés grâce à une campagne d'essais expérimentaux à moyenne échelle, l'Institut a entrepris de développer un outil de modélisation des conséquences d'une fuite de CO₂. Lors d'une perte de confinement de CO₂, les mécanismes mis en jeu sont très complexes : le comportement thermodynamique du CO₂ et la formation potentielle de neige carbonique compliquent le calcul du terme source. En outre, la plupart des outils existants sont fondés sur une analogie avec les gaz liquéfiés, ce qui ne prend pas en compte certaines propriétés spécifiques du CO₂, ni les conditions de transport (pression notamment) spécifique au CO₂. Les premiers essais confirment ainsi que les modèles actuellement utilisés ont tendance à surestimer les distances d'effets.

Financé par l'Ademe, le projet OXYCOMB conduit par l'INERIS et l'Université technologique de Compiègne a eu pour objectif de concevoir, valider et optimiser un procédé d'oxy-combustion du gaz naturel en intégrant l'aspect sécurité dès la conception du pilote de 300 kW. Ces travaux ont permis de préconiser des mesures techniques et organisationnelles tant en prévention qu'en protection ainsi que des règles de bonnes pratiques nécessaires au dimensionnement d'installations d'oxy-combustion (étanchéité, taux de recirculation des fumées, matériaux, etc.).

Dans le cadre d'OXYCOMB, une étude expérimentale des caractéristiques d'inflammabilité et d'explosivité du mélange $\text{CH}_4/\text{O}_2/\text{CO}_2$ a d'abord permis de compléter les données issues de la littérature scientifique. Lorsque la concentration en CO_2 augmente, le domaine d'explosivité diminue. L'influence significative de l'oxygène sur la violence de l'explosion ainsi que le pouvoir inertant du CO_2 ont été mis en évidence. Une analyse des risques a ensuite été menée sur l'installation pilote sur les différentes phases de fonctionnement de l'installation (démarrage, exploitation, arrêt, maintenance). Les principaux risques sont similaires à ceux rencontrés sur des installations de combustion conventionnelles mais avec des termes sources différents, à savoir l'inflammation spontanée ou retardée de gaz naturel, l'éclatement de capacité par surpression ou encore la dispersion de gaz toxiques, tel le CO ou le CO_2 .

L'évaluation des impacts sanitaires et environnementaux des réservoirs de stockage

Dans le cadre de son programme de recherche EVARISTE, l'INERIS a identifié et modélisé les risques liés au stockage du CO_2 dans les aquifères salins profonds, notamment sur la question encore mal connue des impuretés associées au CO_2 . Les résultats de cette recherche exploratoire ne permettant pas d'exclure un risque lié aux impuretés, il apparaît nécessaire de poursuivre les recherches. Les conclusions font notamment ressortir la nécessité de collecter des données sur le retour d'expérience et l'accidentologie. Les caractéristiques du réservoir de stockage doivent également être analysées avec soin et des barrières de sécurité être envisagées dès la conception du projet, en préalable à toute décision sur le stockage.

Six scénarios de migration des fluides ont été définis ainsi que leurs effets potentiels sur l'homme et l'environnement, trois en conditions normales et trois en conditions « altérées », où les paramètres de stockage ne correspondent pas aux paramètres envisagés lors de la conception du projet. Les concentrations d'impuretés en situation réelle n'étant pas disponibles, l'étude s'est appuyée sur des hypothèses qui majorent le risque pour l'homme et l'environnement et dont la représentativité sur le terrain n'a pour l'instant pas été vérifiée.

Parmi les scénarios étudiés, la fuite le long du puits d'injection est la plus probable mais semble représenter un impact sanitaire faible. Des fuites de CO_2 par une faille pourraient entraîner la contamination d'un aquifère d'eau douce dans des conditions très spécifiques (surpression importante sur une longue durée, largeur de faille importante, teneur en impuretés injectées forte et qui ne diminue pas lors de la migration vers la surface à travers les roches argileuses de la couverture). La fuite massive par un puits mal colmaté extérieur au stockage est le scénario qui aurait le plus d'impact mais il est fort peu probable. Plus généralement, la présence de failles, tout comme l'état des puits, constituent des paramètres très importants à surveiller, notamment au regard des populations ou de l'environnement susceptibles d'être exposés (habitations, nappes souterraines ou écosystèmes sensibles). Concernant la nature des substances, les impuretés les plus préoccupantes semblent être le plomb, le nickel, le mercure pour la contamination de l'eau et les composés chlorés pour l'exposition par inhalation.

INERIS en bref

Plus de 20 ans d'existence et plus de 60 ans d'expérience : un expert héritier d'un savoir-faire issu des secteurs des mines, de l'énergie et de la chimie.

L'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques a pour mission de contribuer à la prévention des risques que les activités économiques font peser sur la santé, la sécurité des personnes et des biens, et sur l'environnement. Il mène des programmes de recherche visant à mieux comprendre les phénomènes susceptibles de conduire aux situations de risques ou d'atteintes à l'environnement et à la santé, et à développer sa capacité d'expertise en matière de prévention. Ses compétences scientifiques et techniques sont mises à la disposition des pouvoirs publics, des entreprises et des collectivités locales afin de les aider à prendre les décisions les plus appropriées à une amélioration de la sécurité environnementale.

L'INERIS, établissement public à caractère industriel et commercial placé sous la tutelle du ministère chargé de l'Ecologie, a été créé en 1990. Il est né d'une restructuration du Centre de Recherche des Charbonnages de France (CERCHAR) et de l'Institut de Recherche Chimique Appliquée (IRCHA), et bénéficie d'un héritage de plus de 60 ans de recherche et d'expertise reconnues.

- Un effectif total de 588 personnes dont 352 ingénieurs et chercheurs.
- 40 spécialistes des géosciences basés à Nancy dans le cadre d'activités de recherche et d'expertise sur les risques liés à l'Après-Mine.
- Un siège dans l'Oise, à Verneuil-en-Halatte : 50 hectares, dont 25 utilisés pour des plate-formes d'essais, 25 000 m² de laboratoires.

Domaines de compétence

- Risques accidentels : sites Seveso, TMD, GHS, malveillance, dispositifs technologiques de sécurité,
- Risques chroniques : pollution de l'eau et de l'air, sols pollués, substances et produits chimiques, CEM, REACh, environnement-santé,
- Risques sols et sous-sols : cavités, après-mine, émanations de gaz, filière CCS,
- Certification, formation, outils d'aide à la gestion des risques.

Activité (quelques chiffres) :

- Recettes : 72 M€ en 2011
- Recherche amont et partenariale : 21 %
- Expertise en soutien des politiques publiques: 59 %
- Expertise réglementaire / Expertise conseil : 20 %
- 3 M€ de CA à l'export en particulier en Europe et en Afrique méditerranéenne.

L'INERIS est certifié ISO 9001 : 2000 depuis 2001 ; plusieurs laboratoires disposent d'agrèments COFRAC ou BPL.

Acteur de l'Europe de la recherche, l'INERIS s'intègre à l'Europe de l'expertise

L'INERIS assure le secrétariat de la plate-forme European Technology Platform on Industrial Safety, qui rassemble plus de 150 partenaires publics ou privés. Son succès a conduit la DG Recherche à confier à ETPIS des thématiques telles que les nanotechnologies. Avec 47 % de taux de succès au 7^{ème} programme cadre européen, l'INERIS est un des acteurs les plus performant au plan national.

Une démarche de développement durable

Conformément au contrat d'objectifs le liant avec le MEDDE, l'INERIS a engagé une démarche de développement durable qui repose sur une recherche d'économies et de pratiques éthiques et solidaires : un accord d'entreprise en faveur du travail des handicapés en 2007, la participation à une crèche inter-entreprises sous l'impulsion du CE, la réalisation d'un audit énergétique à l'issue duquel plus de 2M€ de travaux en isolation thermique ont été effectués...

Chronologie de la démarche d'ouverture à la société de l'INERIS

Avril 2005 : Visite de la délégation de parlementaires de la Commission « Développement durable et aménagement du territoire ». Au cours de sa visite, la Commission a encouragé l'Institut à développer la capacité de ses experts et chercheurs à participer au débat public.

Septembre 2006 : Le renforcement de la capacité des experts à participer au débat public est inscrit dans le contrat d'objectifs 2006-2010 signé entre l'Etat et l'INERIS.

2007-2008 : Le Grenelle de l'Environnement conforte la volonté d'ouverture à la société de l'Institut.

Avril 2008 : Organisation de la première rencontre-débat avec des représentants d'ONG et d'associations en vue d'échanger sur les résultats de travaux de recherche ou d'expertise de l'Institut. 24 autres débats ont été organisés depuis lors.

Mai 2008 : Le Conseil d'administration donne un avis favorable à l'évolution envisagée par l'INERIS de ses instances d'évaluation scientifique et technique. Il engage l'Institut à effectuer les démarches nécessaires pour préciser ses propositions.

Octobre 2008 : Signature d'une charte d'ouverture à la société avec l'IRSN et l'AFSSET.

Juin 2009 : Ouverture du séminaire scientifique annuel de l'Institut à la société civile. La création d'une Commission d'Orientation de la Recherche et de l'Expertise (CORE), composée de représentants des différentes composantes de la société, y est décidée.

Juin 2009 : Signature de l'avenant Grenelle au contrat d'objectifs Etat-INERIS qui fixe notamment pour objectif l'élargissement de la gouvernance scientifique à de nouveaux acteurs.

Septembre 2009 : Le Conseil d'administration est informé des modalités d'évolution de la gouvernance scientifique de l'Institut discutées lors du séminaire de juin.

Mars 2010 : Visite de la CORE à l'INERIS.

Juin 2010 : Première participation de la CORE au séminaire des orientations scientifiques et techniques de l'INERIS portant sur la préparation du contrat d'objectifs 2011-2015 de l'Institut.

INERIS

Gouvernance, alerte et déontologie

Des règles de déontologie encadrent l'indépendance des avis de l'INERIS. Un comité indépendant suit l'application de ces règles et rend compte chaque année depuis 2001 directement au Conseil d'administration.

La gouvernance scientifique de l'INERIS est constituée d'un Conseil scientifique qui examine les orientations stratégiques de l'Institut; de trois commissions spécialisées qui évaluent les programmes et équipes scientifiques (la commission « risques accidentels », la commission « risques chroniques » et la commission « risques liés à l'utilisation du sol et du sous-sol »); et de la commission d'orientation de la recherche et de l'expertise (CORE) présentée ci-après.

Commission d'Orientation de la Recherche et de l'Expertise (CORE)

La Commission d'Orientation de la Recherche et de l'Expertise (CORE) représente la concrétisation de la démarche d'ouverture de l'Institut. Officialisée par l'arrêté du 26 avril 2011 relatif aux comités d'orientation scientifique et technique de l'INERIS, elle marque le passage d'une gouvernance scientifique à une gouvernance scientifique et technique ouverte à la société civile.

Composition

La Commission d'Orientation de la Recherche et de l'Expertise réunit 5 collègues (industriels, élus, syndicats, associations, État) et des personnalités qualifiées de l'enseignement supérieur ou de la recherche.

Missions

- Identifie et propose des questions à traiter en priorité dans les différents domaines de la recherche et de l'expertise publique,
- Peut donner un avis sur les finalités des programmes de recherche et d'appui envisagés par l'Institut, notamment lors de l'élaboration de son contrat d'objectifs avec l'Etat,
- Est consultée sur les modalités de diffusion des travaux scientifiques permettant de rendre ceux-ci accessibles à un large public,
- Peut être consultée sur le contenu de certains rapports d'étude.

Suites à donner aux éventuelles alertes

L'INERIS a la possibilité de se saisir de questions portant sur des risques, notamment à caractère environnemental ou sanitaire. Cet aspect a été pris en compte en septembre 2010, lors de l'adoption par délibération du CA, de la **Charte Nationale de l'Expertise**.

Cette dernière prévoit en effet dans son article 9 qu' « *en cas d'expression [au sein de l'Institut] d'un risque, notamment à caractère environnemental ou sanitaire, les établissements signataires s'engagent à s'en saisir pour rendre un avis sur les suites à y donner en termes d'expertise* ».

En conséquence, le protocole de gestion des ressources publiques, signé le 23 décembre 2010 par le directeur général de la prévention des risques, commissaire du Gouvernement, Laurent Michel et Vincent Laflèche, directeur général de l'INERIS, prévoit pour l'INERIS d'entreprendre une première investigation du sujet « en amont » en cas d'expression de ces risques et précise que les propositions d'actions ou recherches complémentaires ont vocation à être présentées à la CORE pour avis : le rapport de la CORE étant transmis au Conseil d'administration de l'Institut...

Septembre puis décembre 2010 :

L'INERIS adopte, par délibération du Conseil d'administration, la charte nationale de l'expertise qui prévoit dans son article 9 des dispositions particulières relatives au devoir d'alerte. Le protocole de gestion des ressources publiques signé avec l'Etat en décembre prévoit donc pour l'INERIS d'entreprendre l'investigation « en amont » des suites à donner « en cas d'expression en son sein d'un risque, notamment à caractère environnemental ou sanitaire » et précise que les rapports qui en seront issus ont vocation à être présentés à la CORE pour avis.

Octobre et novembre 2010 :

Premières réunions de travail de la CORE qui s'implique notamment sur les travaux de hiérarchisation des substances chimiques conduits par l'Institut.

Avril 2011 : Parution au Journal Officiel de l'arrêté ministériel relatif aux comités d'orientation scientifique et technique de l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques. La CORE est officiellement créée.

Septembre 2011 : Le Conseil d'administration est informé de l'élargissement du comité de suivi de la charte de déontologie à un membre de la CORE issu du collège associations.

Septembre - Octobre 2011 : Les membres de la CORE sont nommés par le directeur général de l'INERIS après consultation du Conseil scientifique pour une durée de trois ans renouvelable.

Avril 2012 : Le Conseil d'administration de l'INERIS approuve la proposition de nomination du président et vice-président de la CORE.