

DISPOSITIFS ET STRATÉGIES DE MONITORING POUR LA SURVEILLANCE DE SITES DE STOCKAGE GÉOLOGIQUE

Stéphane
LAFORTUNE

Zbigniew
POKRYSZKA

Gaëtan
BENTIVEGNA

Références

[1] Pokryszka Z., Charmoille A., Bentivegna G. (2010). Development of methods for gaseous phase geochemical monitoring on the surface and in the intermediate overburden strata of geological CO₂ storage sites. *Oil and Gas Science and Technology (Revue IFP)*, 65(4), p. 653-666.

[2] Lafortune S., Pokryszka Z., Bentivegna G., Chaduteau C., Agrinier P. (2011). First steps in coupling continuous carbon isotopic measurements with already proven subsurface gas monitoring methods above underground carbon dioxide storage sites. *Energy Procedia*, 4, p. 3526-3533.

Tauziède C., Pokryszka Z., Jodart A. (1997). Measurement of the gas flux from a surface. Patent EP0807822.

La géochimie des gaz et de l'eau joue un rôle majeur dans la surveillance des sites de stockage géologique (par exemple vis-à-vis du CO₂ ou du CH₄). La surveillance (ou monitoring) géochimique a plusieurs objectifs : (i) l'établissement de l'état environnemental initial en surface et subsurface des sites avant que l'injection ne débute dans le sous-sol (ou état zéro); (ii) la détection des fuites qui se manifesteraient par une modification de l'état zéro; (iii) la démonstration de la faisabilité d'un stockage sûr.

L'INERIS travaille depuis de nombreuses années au développement de dispositifs et de stratégies de monitoring pour établir l'état zéro et réaliser la surveillance des sites aussi bien lors d'opérations d'injection, qu'après l'arrêt de l'exploitation. L'Institut travaille également à la caractérisation de fuites de gaz et à la compréhension de la dynamique de migration de gaz dans le sous-sol.

Techniques de monitoring de surface

La mesure de flux de gaz à l'interface sol-atmosphère est une méthode de surveillance développée par l'INERIS sur le principe de

la chambre à accumulation [1]. C'est une mesure directe et très flexible qui permet de détecter toute anomalie significative dans le temps, aussi longtemps que des mesures sont régulièrement effectuées et qu'elles sont statistiquement représentatives. C'est également une méthode qui peut être utilisée rapidement pour confirmer ou infirmer tout doute concernant la présence d'une fuite en surface. À noter que la mesure de flux peut être facilement couplée avec d'autres investigations effectuées dans le sol comme la mesure des teneurs en gaz et des signatures isotopiques. Enfin, la mesure de flux apparaît être un outil de communication utile pour établir la confiance du public dans la sécurité d'un projet de stockage. En effet, la méthode mise au point par l'INERIS est directe et repose sur un principe facilement compréhensible *Figure 1*.

Les sols émettent naturellement des gaz (par exemple le CO₂) en raison des activités biologiques. Afin d'avoir une idée du flux naturel de CO₂, des mesures sont régulièrement réalisées depuis plusieurs années une quinzaine de lieux répartis sur le territoire national. Ces mesures constituent une base

Figure 1

Mesure du flux de gaz à l'interface sol-atmosphère à l'aide de la chambre à accumulation développée par l'INERIS.

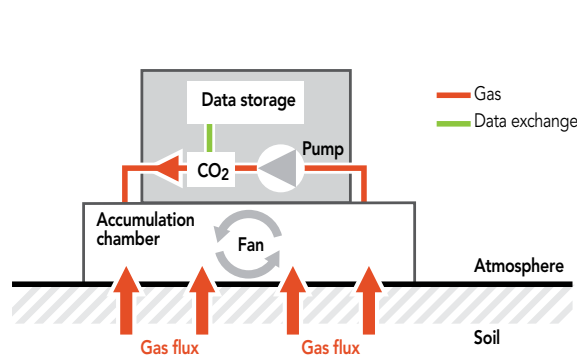
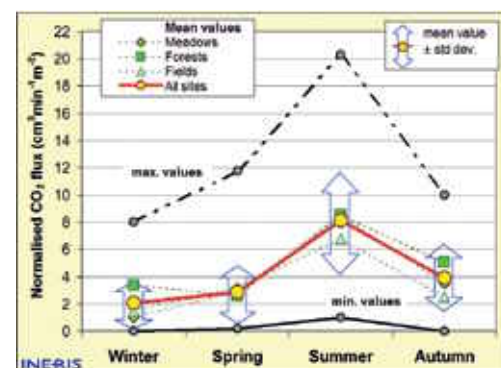


Figure 2

Flux naturel de CO₂ en fonction de la saison



Involved in several research projects funded by the European Union on carbon capture and storage, INERIS has been involved in the design, development, testing and field-deployment of gas monitoring devices in soil and sub-surface on industrial sites. The Institute has developed strong experience using self-designed devices dedicated to the characterization of future CO₂ storage sites and analogues of natural or anthropogenic CO₂-leaking systems (e.g. former mining areas). A special interest is given to the monitoring of gas flux at surface and gas migration in the subsurface. Gas monitoring in wells and surface gas measurements are used for storage sites before, during and after injection starts, in order to characterize leaking processes that may impact urban areas. After many years of worldwide research conducted by many researchers and corporations, it is now time to adopt a "monitoring-ready" approach. It has to be available to challenge industrial and stakeholders' expectations for efficient, field-deployable and cheap solutions in performing efficient gas monitoring in the soil and the sub-surface.

de données donnant une gamme de flux émis naturellement par l'activité biologique dans tout le pays pour différents usages du sol (forêt, prairie, champ agricole *Figure 2*). La plage des valeurs observées s'étend de 0 à 20 cm³.m⁻².min⁻¹ (soit de 0 à 70 10⁻⁸ kg.m⁻².s⁻¹). Les résultats montrent une forte relation entre la valeur du flux de CO₂ et les conditions climatiques. La température atmosphérique apparaît être un facteur clef pour le contrôle de l'émission de CO₂ à l'interface sol-atmosphère. Toute autre contribution importante à l'émission (comme une fuite de CO₂ à partir d'un site de stockage) augmenterait la quantité de gaz émis naturellement et serait ainsi détectée.

Techniques de monitoring de subsurface

Avant d'atteindre la surface, le gaz migre depuis le stockage au travers du sous-sol. La connaissance des processus qui peuvent influencer cette migration est fondamentale pour déterminer les conséquences potentielles d'une fuite à la surface. Le monitoring de subsurface est réalisé

dans des puits de profondeur variable, au sein desquels sont contrôlés les teneurs en gaz et les paramètres physiques comme la température et la pression *Figure 3*.

L'INERIS travaille depuis plusieurs années à la caractérisation des processus de migration de gaz dans les formations peu profondes non saturées, car ces formations superficielles constituent le dernier obstacle avant que le gaz n'atteigne la surface. Dans une certaine mesure, les milieux poreux souterrains peuvent en effet constituer des « volumes tampons » qui accumulent du gaz en phase dissoute (milieu poreux saturé) ou gazeuse (milieu poreux non saturé). Le gaz accumulé peut être libéré et migrer vers la surface, par exemple en cas de baisse importante de la pression atmosphérique.

Caractérisation des situations anormales en vue d'une remédiation

Lorsqu'une anomalie est détectée en ce qui concerne l'émission de gaz en surface, une caractérisation rapide doit être faite pour

évaluer les risques pour les personnes et, si nécessaire, pour proposer des solutions d'urgence.

Cette caractérisation doit avoir pour objectif: (i) de déterminer le mécanisme de production de gaz ou l'origine du gaz; (ii) d'identifier les voies de migration (émissions diffuses ou localisées); (iii) d'identifier et de caractériser les mécanismes et la dynamique des émissions (force motrice de l'écoulement et variations temporelles).

L'INERIS dispose de différents moyens pour caractériser les émissions anormales de gaz à la surface et dans le sous-sol *Tableau 1*. Toutes ces techniques ont été utilisées à plusieurs reprises dans différents contextes liés à la surveillance d'émissions ou de migration de gaz.

Les mesures correctives peuvent concerner tant le milieu géologique que le bâti. Différentes solutions peuvent être proposées, concernant par exemple la limitation de la migration des gaz dans le sous-sol, le renforcement de la ventilation ou de l'étanchéité du bâti.

Figure 3

Monitoring des gaz dans la subsurface par l'intermédiaire d'un puits.

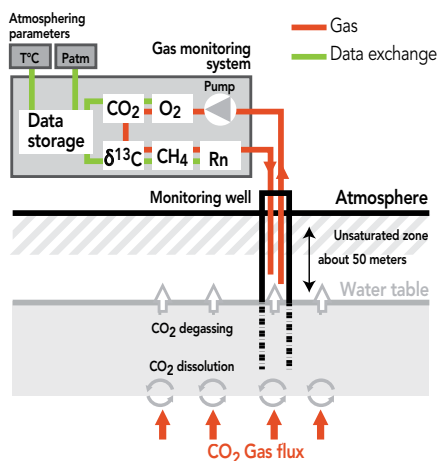


Tableau 1

Panel d'outils de monitoring disponibles pour caractériser les émissions de gaz à la surface et dans le sous-sol

Objectif	Mesures	Protocole
Détermination des mécanismes de production ou de l'origine du gaz	Teneurs en gaz	Mesure des teneurs en gaz dans des espaces confinés (par ex. : caves) ou dans le sol pour déterminer la nature et la composition des gaz.
	Analyses isotopiques	Mesure de la signature isotopique du carbone pour déterminer l'origine du CO ₂ [2].
Identification des chemins de migration	Flux gazeux à l'interface sol-atmosphère	Cartographie des émissions de gaz en surface pour identifier les zones émissives.
	Gaz traceur artificiel ou naturel	Mesurer les teneurs en gaz traceur pour caractériser les chemins de migration et les vitesses de transfert dans le sous-sol.
Identification des mécanismes et l'évaluation de la dynamique d'écoulement	Pression en gaz	Mesure du gradient de pression, pour évaluer sa contribution à l'écoulement.
	Température	Mesure du gradient de température, et de son évolution pour évaluer la contribution du tirage thermique à l'écoulement.
	Sens d'écoulement	Détermination du sens d'écoulement (entrant/sortant) en certains points bien définis (par ex. : fractures, forages, ouvrages miniers etc.).