

# **Modélisation numérique du transport d'espèces gazeuses dans les sols : Mise en application et validation d'un dispositif de surveillance des flux naturels de CO<sub>2</sub> – le prototype ESCORT**

*Proposition de PostDoc (V. Rouchon, B. Garcia)  
IFP Energies nouvelles, Rueil-Malmaison*

Les activités industrielles intervenant dans le sous sol sont multiples et génèrent un aléa environnemental systématique. Cet aléa peut-être appréhendé de manières diverses selon le type d'intervention industrielle, grâce notamment aux techniques de surveillance. La surveillance du sol fait l'objet de nombreuses recherches puisque c'est le lieu de l'essentiel des développements anthropiques (urbanisme, agriculture, industrie). Par ailleurs, le sol est facile d'accès et recouvre l'essentiel des structures visées par l'activité industrielle. On peut également considérer le sol comme le dernier rempart contre une atteinte environnementale du sous-sol par l'activité humaine (et plus généralement la vie de surface). On comprend alors aisément que la surveillance de ce sol sera nécessairement attendue (acceptabilité sociétale).

La production d'hydrocarbures (conventionnelle, EOR, gaz de schiste) et le stockage de gaz (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>) et/ou de dérivés du pétrole en subsurface font partie des activités industrielles qui comportent un risque environnemental en cas de fuites des produits impliqués. Ces fuites peuvent intervenir en subsurface pour plusieurs raisons telles que (i) une évolution imprévue du réservoir naturel suite aux pratiques industrielles, (ii) une défaillance d'infrastructures ou au transport de produits (pipelines, réservoir, déversements...) engendrant à la surface des pollutions. Dans ces deux cas de figures, un impact au sol est à prévoir.

Le sol est un écosystème complexe ayant fait l'objet d'études multiples et multidisciplinaires. Du point de vue biogéochimique, le sol est principalement caractérisé par une activité microbienne et végétale basée sur la respiration. Cette activité génère des flux d'espèces gazeuses entre l'atmosphère et le sol, principalement le dioxygène et le dioxyde de carbone. Le méthane et le dihydrogène font également partie des espèces mises en jeu, mais à des niveaux de plusieurs ordres de grandeur inférieurs (Conrad, 1996). Ces échanges gazeux sont conditionnés par la disponibilité des différents substrats nécessaires aux activités microbiennes, ainsi que par les propriétés intrinsèques du sol conditionnant le transport (convectif et diffusif) des espèces gazeuses. Des pollutions au niveau du sol peuvent engendrer des modifications de ces flux gazeux, par la modification des conditions naturelles de la respiration, mais aussi par la superposition de flux non-respiratoires. La surveillance au sol peut donc être basée sur la mesure de la perturbation des flux gazeux naturels.

## **Concept de surveillance au sol – Station ESCORT**

IFPEN travaille depuis plusieurs années sur un projet de station d'acquisition multi paramètres (Figure 1) dédiée à la caractérisation des transferts de fluides dans les sols et à la caractérisation de fuites de gaz depuis la subsurface vers l'atmosphère. Ce projet de développement a débouché en 2013 sur l'attribution d'une ligne budgétaire d'investissement permettant d'en lancer la conception et la fabrication. Fin 2013, le prototype de station ESCORT sera en cours de finalisation, et prêt à être installé sur site au parc de Vert Mont à Rueil Malmaison, à quelques centaines de mètres du centre de recherche d'IFPEN. La station ESCORT permet d'assurer un suivi continu et autonome des conditions météorologiques locales, des flux de surfaces en CO<sub>2</sub>, de la concentration en gaz des sols à plusieurs profondeurs en CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et H<sub>2</sub>, de la saturation en eau du sol sur un profil de profondeur étendu, ainsi que de la température à plusieurs profondeurs. Ainsi, ESCORT permet de contraindre l'essentiel des paramètres régissant le transport des espèces gazeuses dans la zone non saturée.

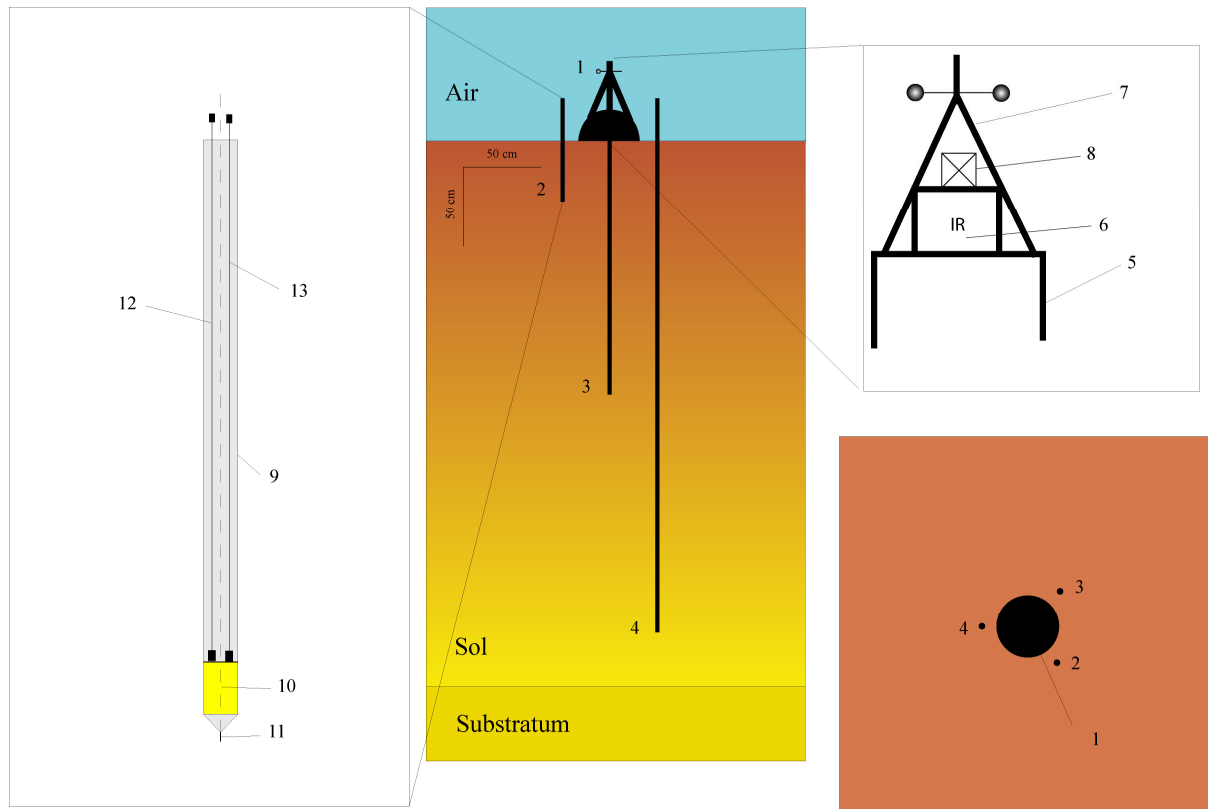


Figure 1: cette figure montre une réalisation de sonde de prélèvement et de mesure dans le sol. Elle peut être constituée par un tube 9 isolé électriquement, en PVC ou métallique, de la longueur adaptée à la profondeur de mesure. L'extrémité inférieure comporte un élément perméable aux gaz 10, par exemple un filtre à sable et/ou une membrane semi-perméable. L'extrémité comporte également une électrode 11 pour une mesure de saturation en eau. En aval du filtre à sable, deux conduits de prélèvement 12 et 13 disposés à l'intérieur du tube communiquent avec la surface où se trouve les analyseurs. Une ligne de conducteurs électriques relie l'électrode 11 à la surface. Les deux conduits 12 et 13 permettent une circulation d'un gaz porteur entre la surface, le fond, et retour à la surface, pour transporter les gaz présents à l'extrémité de la sonde vers des analyseurs de surface. Les analyseurs peuvent de préférence être installés dans la station de surface, où les gaz de surface recueillis sont aussi analysés.

### **Proposition d'étude pour un post-doctorat**

La station ESCORT devra être validée sur site, et faire l'objet de développements, notamment concernant le traitement des données acquises et le développement d'un code numérique permettant de modéliser la production, la consommation et les échanges d'espèces gazeuses dans le sol. Les relations bio-physico-chimiques entre tous les paramètres mesurés par ESCORT peuvent-êtres appréhendées grâce à un modèle physique d'écoulement des fluides en milieux poreux non saturés, et grâce à un modèle de productivité biologique de CO<sub>2</sub> (respiration). Le modèle connu sous le nom de Dusty Gas Model (DGM) permet de lier les teneurs et les flux de composés gazeux multiples selon les dimensions spatiales et selon les propriétés du milieu (Mason et al., 1967; Thorstenson and Pollock, 1989). Pour ces aspects de traitement des mesures et de modélisation numérique, on pourra se référer aux publications rapportant des travaux sur la modélisation de la productivité biologique des sols en CO<sub>2</sub> (par ex. Fang et Moncrieff, 1999; Moncrieff et Fang, 1999; Saiz et al., 2007) et sur les fractionnement compositionnels liés aux flux advectifs et diffusifs dans les sols (par ex. Evans et al., 2000; Rouchon et al., 2011). Le développement d'un code numérique spécifique sera l'objectif principal du post-doc, qui devra permettre de faire le traitement intégré des variables mesurées par ESCORT.

Par ailleurs, un mini-puits d'injection de gaz sera installé aux abords de la station ESCORT, et des expérimentations d'injections et de suivi de la migration de gaz seront faites afin de caractériser les performances d'ESCORT en tant que détecteur de fuites en conditions réelles.

Le projet de post-doctorat est établi sur une durée de 18 mois (12+6) et sera donc constitué d'un volet technique avec la prise en charge du fonctionnement de l'outil ESCORT, et d'une partie scientifique,

avec la compréhension et la modélisation de la production, la consommation et les échanges d'espèces gazeuses dans le sol.

Les livrables du projet prendront la forme de deux projets d'articles sous forme de rapports et également d'une note technique :

- Le premier article sera une présentation technique de l'outil ESCORT en tant qu'équipement de recherche permettant d'étudier en détail les échanges gazeux dans le sol.
- Le deuxième article sera la description d'un modèle numérique intégré permettant la simulation de la production, de la consommation et du transfert des espèces gazeuses CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et H<sub>2</sub> dans le sol.
- La note technique sera un guide de recommandation d'usage d'ESCORT, ainsi qu'une étude de la sensibilité du dispositif pour la détection de flux profonds de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et H<sub>2</sub>. Des recommandations seront faites afin d'envisager le déploiement d'ESCORT sur des sites industriels (de stockage de gaz et de production d'hydrocarbures plus particulièrement).

#### Planning sur 18 mois (dans l'hypothèse d'un démarrage en janvier 2014)

1. Mise en place et démarrage d'ESCORT (janvier-février 2014)
2. Suivi d'acquisition (février 2014-juin 2015)
3. Implémentation des outils logiciels (mars 2014-février 2015)
4. Expérimentations d'injections de gaz (novembre 2014-avril 2015)
5. Rédaction d'articles (février-juin 2015)

#### Environnement de travail

Le post-doctorat se déroulera dans le laboratoire de Géochimie-Petrophysique d'IFP Énergies nouvelles à Rueil-Malmaison (Hauts de Seine), dans une équipe de géochimistes constituée d'ingénieurs de recherche et de techniciens. Le candidat choisi travaillera à la fois sur le terrain et en laboratoire, en partenariat avec les sociétés impliquées dans le développement de la station ESCORT (équipementiers en géophysique, en instruments d'analyse et en intégration et automatisme).

#### Qualifications requises pour les candidats

- transport en milieu poreux
- maîtrise de la programmation sous Matlab ou assimilé
- goût pour l'instrumentation et son développement, y compris sur le terrain
- capacité à travailler en équipe

#### Contacts

Virgile Rouchon – 0147526218 – [virgile.rouchon@ifpen.fr](mailto:virgile.rouchon@ifpen.fr)

Bruno Garcia – 0147525317 – [bruno.garcia@ifpen.fr](mailto:bruno.garcia@ifpen.fr)

#### Bibliographie

- R. Conrad, 1996. Soil Microorganisms as Controllers of Atmospheric Trace Gases (H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, OCS, N<sub>2</sub>O, and NO). *Microbiological Reviews*, p. 609–640.
- Mason, E.A., Malinauskas, A.P., Evans, R.B., 1967. Flow and diffusion of gases in porous media. *J. Chem. Phys.* ; 46:3199-3126.
- Thorstenson, D.C., Pollock, D.W., 1989. Gas transport in unsaturated porous media, the adequacy of Fick's law. *Rev. Geophys.* 27:61-78.
- Saiz, G., Black, K., Reidy, B., Lopez, S., Farrell, E., 2007. Assessment of soil efflux and its components using a process-based model in a young temperate forest site. *Geoderma* 139:79-89.
- Moncreiff, J.B., Fang, C., 1999. A model for soil CO<sub>2</sub> production and transport 2: Application to a florida *Pinus Elliotte* plantation. *Agriculture and Forest Meteorology* 95:237-256.
- Rouchon V., Magnier C., Miller D., Bandeira C., Gonçalves R., Dino R., 2011. The relationship between CO<sub>2</sub> flux and gas composition in soils above an EOR-CO<sub>2</sub> oil field (Brazil): a guideline for the surveillance of CO<sub>2</sub> storage sites. *Energy Procedia*, vol. 4, 3354-3362.