

**CODES DE BONNES PRATIQUES POUR L'UTILISATION DE
TECHNIQUES ALTERNATIVES D'INVESTIGATION DU SOL**

Chambre à flux de gaz

Mesure directe des flux gazeux de COV émis par le milieu souterrain



Description de la technique

La chambre à flux consiste en une cloche, le plus souvent scellée au sol, permettant la mesure du flux de COV émis par le milieu souterrain. En fonction des conditions de mise en œuvre (accumulation des vapeurs ou non, recirculation ou non, circuit ouvert / fermé) et de revêtement des sols (terrain nu, revêtement béton ou enrobé), le flux est estimé à partir de la mesure ponctuelle ou en continu de la masse de polluant ou après une intégration en fonction de la durée (accumulation sur un support adsorbant). Les flux mesurés sont représentatifs de flux diffusifs ou d'un flux total (diffusif + convectif, simulation de vent par ex.). La mesure de ces flux peut être utilisée soit pour la délimitation d'une zone de pollution du milieu souterrain, soit afin de mesurer les transferts vers l'atmosphère (air extérieur ou air intérieur), soit comme donnée d'entrée pour l'estimation des expositions dans le cadre d'évaluation des risques sanitaires.

INFORMATIONS GÉNÉRALES

A. Composantes du sol investiguées

La technique est utilisable pour investiguer la présence de contaminants dans les composantes du sol suivante :

Composantes du sol		Remarques
Matrice du sol	-	La mesure des concentrations dans le sol se fait indirectement..
Eau souterraine	-	La mesure des concentrations dans l'eau souterraine se fait indirectement..
Phase gazeuse du sol	X	COV

B. Contaminants analysés

La technique permet l'investigation des contaminants suivants :

Contaminants analysés	Matrice du sol	Eau souterraine	Phase gazeuse du sol	Remarques
Aromatiques (BTEX)	-	-	X	
Solvants chlorés (VOCL, Cl-éthène, Cl-éthane, aromatiques chlorés)	-	-	X	
HAP	-	-	X (naphtalène)	
HMV (C5-C10)	-	-	X	
HM (C10-C40)	-	-	-	

Contaminants analysés	Matrice du sol	Eau souterraine	Phase gazeuse du sol	Remarques
ML (+Cobalt)	-	-	-	
Cyanures	-	-	-	
LNAPL	-	-	-	Mesure indirecte
DNAPL	-	-	-	
Autres : Mercure, radon, biogaz	-	-	X	

C. Contexte environnemental d'application

La technique alternative d'investigation du sol est utilisable dans les conditions environnementales suivantes :

Type de sol	Remarques	
Remblais	X	
Sable	X	
Limon	X	
Gravier	X	
Tourbe	-	
Argile	-	
Grès	X	
Autres (schiste, roches métamorphiques, craies)	-	
Caractéristiques hydrogéologiques		
Hétérogène et perméable	X	
Hétérogène et semi-perméable	X	Peut être limitant pour extraire les gaz du sol
Hétérogène et imperméable	-	
Profondeur		
Superficielle	X	L'échantillonnage se fait à l'interface entre le sol et l'atmosphère mais peu rendre compte de pollutions profondes (dégazage de COV depuis les nappes par ex.)
1-5 m-ns	X	
5-10 m-ns	-	
10-15 m-ns	-	
>15 m-ns	-	
Revêtement de sol		
Pas de revêtement	X	
Maçonnerie (clinkers)	X	
Pavé	X	Si les joints sont suffisamment perméables
Carrelage	-	
Asphalte	X	En présence de porosité ou fissures
Béton	X	En présence de porosité ou fissures
Autres	-	
Espace de travail minimum		
Dimension L x h x l	Cube de 30 à 100 cm de côté	Volume cubique fonction du diamètre de la chambre utilisée
Technique applicable pour des zones contaminées de :		
Petite surface (1-5 m ²)	X	
Moyenne surface (5 – 200 m ²)	X	
Grande surface (>200 m ²)	-	Pas très intéressant car prend beaucoup de temps par mesure

D. Paramètres physico-chimiques analysés

La technique permet l'investigation des paramètres physico-chimiques suivants :

Paramètres physico-chimiques analysés	Matrice du sol	Eau souterraine	Phase gazeuse du sol	Remarques
pH	-	-	-	
EC	-	-	-	
Température	-	-	-	
Conductivité hydraulique	-	-	-	

E. Principes – Modalités

Cette méthode, généralement utilisée dans le cadre de screening, (à l'aide d'un analyseur en ligne) permet d'évaluer les flux de transfert de composés volatils à l'interface sol nu / atmosphère ou revêtement (béton, enrobé, pavés ...) / atmosphère.

La chambre à flux est posée en surface du sol – sur le revêtement par l'intermédiaire d'un joint pour empêcher la fuite des vapeurs et l'introduction d'air atmosphérique dans la chambre. Sur sol nu, la chambre peut être foncée de quelques centimètres dans le sol.

La chambre à flux doit être constituée d'un matériau inerte et non adsorbant et comporter des ports d'échantillonnage afin de relier le système d'échantillonnage approprié à la chambre de flux sol-gaz.

Quatre méthodes de mesures de flux sont principalement utilisées (Traverse et al., 2013) :

- 1- Méthode par accumulation sans recirculation avec un analyseur de terrain (PID par exemple), les mesures étant réalisées par piquage ponctuel au sein de la chambre à flux. Les gaz émis s'accumulent dans la chambre jusqu'à équilibre avec les gaz du sol ;
- 2- Méthode par accumulation avec recirculation et un suivi de la concentration en continu à l'aide d'un appareil à lecture directe (PID par exemple) au sein de la chambre à flux. De par la recirculation, les concentrations dans la chambre augmentent progressivement au cours du temps ;
- 3- Méthode sans accumulation avec recirculation et adsorption en continu sur un support ensuite analysé au laboratoire. La concentration dans la chambre à flux croît jusqu'à l'obtention d'un palier lorsque le flux émanant du sous-sol s'équilibre avec le flux extrait via le renouvellement d'air (pour un flux constant émis par le sol). L'interprétation du flux est faite soit à partir de cette croissance, soit à partir du palier. En circuit fermé (avec recirculation de l'air de la chambre), l'air propre provient de la recirculation de l'air prélevé dans la chambre auquel la charge polluante a été ôtée par le passage sur un support adsorbant avant d'être réintroduit (Jellali, 2003) ;
- 4- Méthode sans accumulation, sans recirculation et adsorption en continu sur un support ensuite analysé au laboratoire. La concentration dans la chambre à flux croît jusqu'à l'obtention d'un palier de manière similaire à la méthode précédente hormis qu'en circuit ouvert (sans recirculation de l'air de la chambre) de l'air propre est injecté à partir d'une bombonne sous pression et l'air pollué est capté en sortie pour être analysé (Pokryszka et al. 1995).

La méthode n°3 est recommandée par Traverse et al., 2013, que ce soit pour l'objectif de délimitation des zones d'émission de COV (avec un appareil de terrain proposant une LQ (Limite de Quantification) suffisamment basse) ou

pour l'objectif de caractérisation fine des transferts sol / atmosphère (avec un support adsorbant permettant l'analyse des composés au laboratoire).

Les paramètres d'influence sont nombreux :

- nature géologique des terrains dont la porosité, la teneur en eau et la perméabilité à l'air,
- gradient de concentration entre l'air des sols et l'air atmosphérique, la température ;
- en intérieur d'un bâtiment avec une dalle en béton, les flux sont la résultante d'un transfert combiné d'une part de la source de pollution jusqu'à la zone d'influence du bâtiment et d'autre part du transfert à travers cette dalle de béton.

F. Informations complémentaires

Des informations complémentaires sont fournies dans le tableau suivant :

Informations complémentaires	
Nature de la technique	Outil de mesure
Fréquence de prises de mesures	Pour une méthode avec analyseur de terrain (PID ou micro-GC par ex.) : prélèvement courte durée (5 à 20 minutes) Pour une méthode par adsorption des COV sur un support (type charbon actif) : prélèvement dépendant du volume de la chambre et du débit de renouvellement (5 minutes à 6 heures)
Temps d'acquisition des résultats	Pour une méthode avec analyseur de terrain (PID ou micro-GC par ex.) : acquisition en temps réel (quelques minutes) Pour une méthode par adsorption des COV sur un support (type charbon actif), temps d'analyse au laboratoire # 5 à 10 jours
Présentation / visualisation des résultats	<ol style="list-style-type: none"> 1. Discrétisation spatiale sur une carte, par ex. 2. Caractérisation des transferts Milieu Souterrain → Atmosphère (intérieur ou extérieur) <p>La nature du sol (lithologie et revêtement) et les conditions de prélèvement (débit, données météorologiques, recirculation ou non, accumulation ou non ...) sont à prendre en compte dans l'interprétation.</p> <p>Sous certaines conditions (DTSC, 2011), les flux diffusifs sur sols nus peuvent être utilisés pour l'estimation des flux présents dans les futurs bâtiments.</p>
Niveau d'expérience requis	Moyen / expert
Nature du résultat de la mesure	Quantitatif : flux de COV émis (mg/m ² /jour), en répétant la mesure à différents endroits, cette méthode permet de localiser les zones de fortes émissions. Technique alternative d'investigation qui résulte en des concentrations qui quantifient directement l'état actuel de la contamination, de manières comparables aux mesures et analyses classiques.
Précision / Limite de détection / Unité de mesure	Appareil de mesure de terrain : PID (ppm) micro-PID (ppb), micro-GC (selon calibration et colonne) Analyse en laboratoire : dépend du support de sorption, des molécules analysées et du temps de sorption (minimum reporté # 10 µg/m ² /jour en Trichloroéthylène)
Prix d'utilisation	Analyse entre 100 à 300 € (HTVA) / échantillon (COV, selon quantités, les molécules et les LQ), hors mobilisation de personnel de terrain pour le prélèvement et consommables.
Prix d'achat	En suivant quelques recommandations (Kienbusch, 1985, Traverse et al., 2013), les chambres à flux peuvent être construites par l'utilisateur. Le prix total du système de Chambre à Flux revient à 1000 € (HTVA) maximum. L'achat de système complet varie entre 2 000 à 4000 € (HTVA).

A. Procédure avant utilisation sur site

En fonction des objectifs (délimitation d'une zone, estimation des transferts), des LQ nécessaires à atteindre, du type de revêtement de sol et des conditions météorologiques :

1. Définir la méthode de prélèvement (débit, durée de purge et de prélèvement, support d'adsorption, matériel de mesure ...),
2. Définir le maillage des mesures (zones homogènes, points singuliers),
3. Calibrer le débit et le montage du système,
4. La période de mesure (saison, jour/nuit, hors période humide, chauffe des bâtiments ...).

B. Description de l'opération sur le terrain

Description précise et structurée de l'opération à réaliser :

1. Installer la chambre au sol et assurer l'étanchéité : fonçage sur quelques centimètres de profondeurs sur sol nu ou scellement à l'aide d'argile sur revêtement (dalle, enrobé),
2. Montage des différents éléments et vérifier l'étanchéité du circuit : circuit de gaz, pompe, analyseur de terrain (si cette méthode est retenue), support d'adsorption (si cette méthode est retenue), bonbonne de gaz (si cette méthode est retenue), capteur de pression,
3. Installation des outils de mesure de paramètres météorologiques,
4. Mesure au PID des teneurs en gaz piégées dans le volume de la chambre à l'état initial,
5. Démarrage du pompage (avec éventuellement une recirculation directe ou indirecte), avec selon les cas :
5. Une phase de purge avant la mesure ou la phase d'adsorption sur support,
 - a. Directement la phase de mesure ou la phase d'adsorption sur support,
 - b. Selon la méthode, suivi au PID des teneurs en gaz piégées dans le volume de la chambre,
6. Mesure au PID des teneurs en gaz piégés dans le volume de la chambre à l'état final,
7. Si un échantillon sur support (type charbon actif) est utilisé, le prélèvement puis le stockage du support. Les supports sont maintenus à basse température jusqu'à réception au laboratoire,
8. Mesure de « blancs d'ambiance ».

C. Procédure après l'acquisition des résultats

1. En fonction de la méthode retenue de mesure, l'interprétation passe par les étapes suivantes :
 - a. Vérification qualité : Limite de Quantification, blanc, mesures à l'état initial et final, conditions météorologiques, atteinte de stabilité ou augmentation constante des concentrations en fonction de la méthode,
 - b. Calcul du flux mesuré. Les données nécessaires sont soit le gradient d'augmentation de concentration soit la valeur du palier, soit encore la masse adsorbée sur le support (analysé au laboratoire),
2. Interprétation des résultats par le biais de cartographies (nuage de point ou interpolation 2D) pour une délimitation (lien avec les singularités) ou par la construction d'un modèle conceptuel de transfert des vapeurs (sol → atmosphère).

Pour les mesures de flux en extérieur, les conditions météorologiques sont à considérer (Traverse et al., 2013) : intensité du vent (pendant la mesure), pluies (avant et pendant la mesure), évolution de la pression atmosphérique (avant et

pendant la mesure), température de l'air (pendant la mesure). Les variations saisonnières peuvent influencer les résultats d'analyses. Selon l'objectif de l'étude, il peut être nécessaire de répéter les mesures. Pour les mesures en intérieur, aucune mesure particulière liée à la dépression du bâtiment n'est nécessaire à l'interprétation du flux mesuré.

MESURES DE SÉCURITÉ SPÉCIFIQUES À LA TECHNIQUE

Afin de garantir la sécurité des travailleurs sur le terrain, un équipement de protection individuelle standard est requis lors de l'utilisation de la technique alternative d'investigation du sol.

INFORMATIONS POUR L'UTILISATEUR

A. Fournisseurs de services ou de la technique alternative d'investigation du sol (utilisation, mesures et analyses)

- Belgique
 - Certech, Seneffe, Belgique
- Europe
 - Echo instruments, Slovénie
 - ES France, Garches, France
- Worldwide
 - Scentroid, Canada

B. Sources bibliographiques

- Traverse S., Schäfer G., Chastanet J., Hulot C., Perronnet K., Collignan B., Cotel S., Marcoux M., Côme J.M., Correa J., Gay G., Quintard M., Pepin L. (2013). Projet FLUXOBAT, Evaluation des transferts de COV du sol vers l'air intérieur et extérieur. Guide méthodologique. Novembre 2013. 257 pp
- ITRC (Interstate Technology & Regulatory Council) (2007). Vapor Intrusion Pathway: A Practical Guideline. VI-1. Washington, D.C.: Interstate Technology & Regulatory Council, Vapor Intrusion Team.
- Jellali, S. (2000). Pollution d'aquifères poreux par les solvants chlorés, mécanismes de transport avec échanges entre phases, expérimentations sur site contrôlé avec le trichloréthylène. Ph.D. thesis. University of Louis Pasteur. Strasbourg. France.
- Pokryszka Z., Tauziède C., Cassini Ph. (1995) Development and validation of a method for measuring biogas emissions using a dynamic chamber. 5th International Landfills Conference - Sardinia'95, Cagliari, 1995
- Kienbusch (1985). Measurement of gaseous emissions rates form land surfaces using an emission isolation flux chamber. User's Guide. EPA. PB 86-223161. Décembre 1985
- Kienbusch (1985). Validation of flux chamber emission measurement on soil surfaces. EPA, EMSL, contract 68-02-3889. Décembre 1985
- DTSC (2011). Guidance for the evaluation and mitigation of subsurface vapor intrusion to indoor Air (vapor intrusion guidance). Department of Toxic Substances Control. California Environmental Protection Agency. Final VIG, October 2011.