

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

# Chromatographe mobile en phase gazeuse (GC Mobile)


**Description de la technique**

Le GC mobile est un instrument permettant de mesurer les liaisons organiques volatiles dans la phase gazeuse du sol sur site. Le GC mobile est une méthode d'échantillonnage active ayant l'avantage de mesurer des substances spécifiques avec précision. Il est donc nécessaire de connaître à l'avance les paramètres présents afin d'effectuer une calibration adéquate. Grâce aux résultats de mesures sur site rapides, la stratégie de recherche peut être ajustée sur base des résultats intermédiaires. Ceci permet une approche de recherche efficace. Une distinction doit être faite entre les GC mobiles de laboratoire, qui peuvent être placés dans un camion de mesure ou une cabine de chantier, et le GC mobile de terrain, qui est un kit de terrain portatif (voir ci-après).

**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	-	Mesure de l'espace de tête – mesure indirecte
Eau souterraine	-	Mesure de l'espace de tête – mesure indirecte
Phase gazeuse du sol	X	Air du sol, air intérieur et air ambiant

**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	Pas calibré de manière standard
HMV (C5-C10)	-	-	X	Pas calibré de manière standard
HM (C10-C40)	-	-	-	
ML (+Cobalt)	-	-	-	
Cyanures	-	-	-	
LNAPL	-	-	-	

Contaminants analysés	Matrice du sol	Eau souterraine	Phase gazeuse du sol	Remarques
DNAPL	-	-	X	Attention : en cas de mesure de produit pur dans l'espace de tête – contamine la colonne de mesure
Autres	-	-	X	PCB, hydrocarbures organiques (semi-) volatiles, alcools, solvants polaires. Pas calibré de manière standard

### 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	Éviter les flux préférentiels à travers lesquels l'air est extrait
Sable	X	
Limon	X	
Gravier	X	
Tourbe	X	
Argile	-	Les sols argileux sont peu propices par leur apport en gaz du sol limité
Grès	X	
Autres (schiste, roches métamorphiques, craies)	-	
<b>Caractéristiques hydrogéologiques</b>		
Hétérogène et perméable	X	
Hétérogène et semi-perméable	X	
Hétérogène et imperméable	-	
<b>Profondeur</b>		
Superficielle	X	Sensibilité dépendante de la profondeur du filtre du piézair
1-5 m-ns	X	
5-10 m-ns	X	
10-15 m-ns	X	
>15 m-ns	X	
<b>Revêtement de sol</b>		
Pas de revêtement	X	Après installation d'un filtre pour la phase gazeuse du sol
Maçonnerie (clinkers)	-	
Pavé	-	
Carrelage	-	
Asphalte	-	
Béton	-	
Autres	-	
<b>Espace de travail minimum</b>		
Dimension L x h x l	1 x 1 x 1 (m)	Appareil portatif
<b>Technique applicable pour des zones contaminées de :</b>		
Petite surface (1-5 m <sup>2</sup> )	X	
Moyenne surface (5 – 200 m <sup>2</sup> )	X	
Grande surface (>200 m <sup>2</sup> )	X	Le GC mobile de laboratoire est intéressant pour le suivi de l'air ambiant durant les assainissements (mesures en continu)

### 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	-	-	-	

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

## E. Principes – Modalités

Le GC mobile est connecté à une pompe à air qui aspire l'air ambiant ou l'air du sol (mesure de l'espace de tête). Un chromatographe en phase gazeuse est constitué d'une colonne en spirale remplie d'un revêtement interne (la phase stationnaire). La colonne se trouve dans un four qui peut être amené à la température désirée. Un gaz porteur (la phase mobile) circule dans la colonne. L'échantillon gazeux est envoyé dans la phase mobile. Il est important que l'échantillon s'évapore le plus rapidement possible. La température de l'injecteur doit, en règle générale, être légèrement supérieure au point d'ébullition du composant ayant le point d'ébullition le plus élevé du mélange.

*Selon le type de GC, différentes colonnes sont disponibles. Le choix de la colonne est déterminé par sa longueur : plus la colonne est courte, plus l'analyse est rapide. La longueur la plus courte est principalement utilisée pour des mélanges gazeux simples. Plus les gaz sont complexes, plus la longueur de la colonne doit être longue pour pouvoir distinguer les composants individuels. Plus le revêtement est épais, plus la résistance du gaz est importante et plus le gaz circule lentement dans la colonne. Les composants actifs sont plus efficacement liés à un revêtement plus épais, ce qui entraîne moins d'interférence qu'avec un revêtement plus mince.*

La plus grande différence entre un GC mobile de terrain et un GC mobile de laboratoire est la complexité du GC de laboratoire (plus de colonnes), ce qui facilite la séparation des composants du mélange gazeux. Un GC mobile de laboratoire est placé à un endroit où la température ambiante reste aussi constante que possible, ce qui améliore la précision de la mesure.

Un détecteur à l'arrière de la colonne enregistre ensuite les substances individuelles. Il existe différents types de détecteurs tels que le FID, le détecteur de conductivité thermique et le spectromètre de masse (MS). La séparation au niveau de la colonne est basée sur deux principes : la différence de volatilité (la substance la plus volatile, ayant le point d'ébullition le plus bas, est mieux entraînée avec le gaz porteur) et la différence d'adsorption (toutes les substances adhèrent de la même manière à la phase stationnaire).

Le temps de rétention est le temps entre l'injection ( $t_0$ ) et la détection. Le temps de rétention est caractéristique d'une substance, une distinction peut donc être faite entre les différentes substances du mélange. La surface des pics dans un chromatogramme est une mesure de la quantité de substance.

Les concentrations peuvent être lues sur l'écran d'affichage. Celles-ci peuvent être converties en  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Les chromatogrammes peuvent être extraits après avoir téléchargé les données de mesure et donner un aperçu de la précision des mesures.

## F. Informations complémentaires

Des informations complémentaires sont fournies dans le tableau suivant :

Informations complémentaires	
Nature de la technique	Chimique / capteur
Fréquence de prises de mesures	10 à 20 mesures d'air (du sol) / jour Analyse standard en 5-30 minutes (systèmes rapides : 30 sec/mesure) Appareil pour la durée de stabilisation avant utilisation important lors du choix de l'appareil. La calibration est également essentielle avant utilisation.
Temps d'acquisition des résultats	Sur site, post-traitement des données <i>off-site</i> . La plupart des GC mobiles de laboratoire peuvent mesurer en continu, les GC mobiles de terrain dernier cri ont également cette option.

Informations complémentaires	
Présentation / visualisation des résultats	Lecture des concentrations sur le GC, représentation visuelle au niveau du chromatographe
Niveau d'expérience requis	Medium à expert
Nature du résultat de la mesure	Semi-quantitatif pour les analyses de sol et d'eau souterraine : Technique alternative d'investigation qui aboutit à des concentrations qui doivent être étalonnées, converties ou corrélées avec des mesures et des analyses classiques. Quantitatif pour l'air du sol : 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	0,005-0,05 ppm converti en mg/m <sup>3</sup>
Prix d'utilisation	GC mobile de terrain/laboratoire (calibration exclue) : 800€ HTVA/semaine
Prix d'achat	GC mobile de terrain : +/- 60k€ HTVA GC mobile labo : +/- 50k€ HTVA

## EXIGENCES TECHNIQUES

### A. Procédure avant utilisation sur site

#### 1. Test de réponse

Effectuer une mesure de contrôle d'air ambiant non contaminé pour vérifier qu'il n'y a pas de contamination au niveau de la colonne. Afin d'optimiser l'utilisation du GC et d'éviter la contamination des colonnes, il est recommandé de prendre une mesure avec un PID avant d'utiliser le GC. Ceci permet d'ajuster les paramètres du GC mobile pour un meilleur résultat d'analyse.

#### 2. Calibration

Avant la mesure, le GC mobile doit être calibré avec les composants attendus. Effectuez toujours un étalonnage avant les mesures et vérifiez que tous les pics du mélange du gaz d'étalonnage soient correctement détectés. Le mélange le plus standard comporte des BTEX et des VOCl. Les mélanges ont une durée de conservation limitée. Des méthodes d'étalonnage complémentaires se trouvent dans le manuel de différentes marques. D'autres mélanges d'étalonnage sont disponibles, ils font généralement l'objet d'acquisitions supplémentaires.

L'étalonnage est effectué à une température fixe. Pour l'exactitude des résultats, il est important de maintenir cette température sur terrain (désavantage du GC mobile de terrain) pour l'interprétation des pics de contamination par la suite.

Sur base de la situation et des circonstances spécifiques de contamination (pré-screening avec PID) et de l'objectif de la recherche, l'appareil doit être réglé avec les spécifications adéquates (colonne, pression, température, gaz porteur, durée d'analyse, temps d'injection, etc.).

#### 3. Fréquence d'utilisation de la technique alternative

- i. A Bruxelles et en Belgique - La technique n'a pas encore été appliquée dans la Région de Bruxelles-Capitale pour des rapports officiels. En Belgique, la technique n'est pas souvent utilisée, bien qu'elle soit mentionnée dans le CBP de Bruxelles Environnement et de l'OVAM pour l'échantillonnage de l'air du sol.
- ii. Autres régions, pays
  - Aux Pays-Bas, il existe déjà plusieurs expériences pratiques utilisant cette technologie. En raison des résultats rapides sur site, la stratégie de recherche peut être ajustée sur

place sur base des résultats intermédiaires. Aux Pays-Bas, les résultats obtenus sur à l'aide d'un GC mobile de laboratoire sont considérés comme une mesure complète.

- En France, la technologie est recommandée pour préparer la stratégie de recherche, pour identifier et quantifier les paramètres volatils présents.

## B. Description de l'opération sur le terrain

### Echantillonnage de l'air du sol dans un filtre à air du sol

1. Stabilisation du GC mobile, selon le modèle. Les GC mobiles de terrain ont une durée de stabilité réduite.
2. Installation du tuyau en polyéthylène (PE) dans la zone non saturée à la profondeur souhaitée. Conditions de mise en place adéquate du filtre à air du sol (Code de Bonnes Pratiques N°3 Bruxelles Environnement paragraphe 3.4.2).
3. Prépompage. Avant d'effectuer l'échantillonnage proprement dit, le volume présent dans le tuyau en polyéthylène (PE) doit être pré-pompé à faible débit. Le même débit est utilisé pour l'échantillonnage effectif.
4. Mesure sur site à l'aide du GC mobile de terrain. Les échantillons d'air du sol peuvent être temporairement stockés dans des flacons d'échantillons en verre ou en acier inoxydable avant d'être injectés, par exemple, dans un chromatographe en phase gazeuse sur site.
  - a. Les flacons d'échantillons sont préalablement vidés par aspiration pour qu'ils puissent facilement être remplis sur site avec une quantité connue. Cependant, certains composants peuvent être adsorbés sur les parois des flacons d'échantillons en quantités relativement importantes, des pertes peuvent avoir lieu et une sous-estimation de la concentration ne peut alors pas être exclue.
  - b. Il est recommandé de prélever des échantillons d'air du sol qui peuvent être envoyés pour analyse en laboratoire afin de confirmer les résultats du monitoring sur site.
5. La lecture des concentrations en p.p.m. peut se faire sur l'écran d'affichage. Celles-ci peuvent être converties en  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Les chromatogrammes peuvent être extraits après avoir téléchargé les données de mesure et donner un aperçu de la précision<sup>1</sup> des mesures.

➔ Le GC mobile peut également être utilisé pour analyser l'air intérieur et l'air ambiant. Pendant les mesures, les conditions environnementales (pression de l'air, précipitations, température, direction et vitesse du vent, profondeur de la nappe phréatique) doivent également être enregistrées avec précision. Les appareils les plus récents peuvent être réglés de telle sorte qu'un échantillon puisse être prélevé automatiquement à intervalles réguliers.

### Échantillonnage de l'espace de tête de l'eau souterraine dans un piézomètre existant - Mesure de l'air du sol dans un piézomètre existant

La technique de l'espace de tête consiste à prélever de l'air au-dessus de l'eau souterraine ou de la couche flottante dans un piézomètre. Les «échantillons d'espace de tête» sont prélevés entre 0,3 et 0,6 mètre au-dessus de la nappe phréatique à l'aide d'un tuyau en polyéthylène (PE) raccordé au GC mobile de terrain. Les flacons d'échantillons peuvent également être remplis (voir l'échantillonnage de l'air du sol), et peuvent être analysés avec le GC mobile de laboratoire.

Les mesures de l'air du sol faites dans les piézomètres existants donnent une estimation rapide du «cas le plus défavorable» de l'évaporation de la zone saturée. Cependant, il convient de tenir compte du fait que l'évaporation n'est pas liée à la structure du sol lors de l'application de la technique d'espace de tête, et que l'influence de la contamination dans la zone non saturée sur l'évaporation totale n'est pas mesurée. Afin de réaliser une mesure représentative du moment, il est conseillé de bien drainer le piézomètre avant de procéder à l'échantillonnage de manière à ce que de l'eau «fraîche» soit présente dans le tube.

---

<sup>1</sup> Des pics atypiques et/ou l'absence de noms de composants assignés lors de la calibration donnent une indication sur la qualité de la mesure.

Les concentrations en p.p.m. peuvent être lues sur l'écran d'affichage. Les chromatogrammes peuvent être extraits après avoir téléchargé les données de mesure et donner un aperçu de la précision des mesures.

#### Mesure de l'espace de tête au-dessus des échantillons de sol

Des échantillons de sol sont prélevés en utilisant des techniques de forage classiques. Ceux-ci sont ensuite placés dans un flacon en verre scellé le plus rapidement possible. La teneur en substances volatiles dans l'air dans le pot au-dessus de l'échantillon de sol peut être mesurée via un tuyau qui traverse le couvercle du flacon en verre et est connecté au GC mobile de terrain ou de laboratoire. Ce n'est certainement pas un échantillon de gaz du sol adéquat, mais cette méthode permet d'obtenir une indication relativement rapide de la teneur en composants volatils dans la phase gazeuse du sol.

Le couvercle est également pourvu d'un trou supplémentaire pour aspirer l'air extérieur, évitant ainsi toute dépression, à la suite de quoi la pompe de l'équipement de détection n'atteindrait pas un débit suffisant. Théoriquement, cette technique relève des techniques de l'espace de tête dynamique. Le sol peut également être collecté dans du plastique ou recueilli dans des récipients à espace de tête en verre construits spécifiquement à cet effet.

Les concentrations en p.p.m. peuvent être lues sur l'écran d'affichage. Les chromatogrammes peuvent être extraits après avoir téléchargé les données de mesure et donner un aperçu de la précision des mesures.

De la même manière, cette technique peut être utilisée pour des mesures d'espace de tête en phytoscreening.

### **C. Procédure après l'acquisition des résultats**

Validation des résultats :

Pour la validation, une distinction doit être faite entre les GC mobiles de laboratoire, qui peuvent être placés dans un camion de mesure ou une cabine de chantier et le GC mobile de terrain, qui est un kit de terrain portatif. Aux Pays-Bas, les résultats obtenus sur base d'un GC mobile de laboratoire sont considérés comme une mesure complète. En fonction des spécifications de l'appareil GC mobile de terrain, la précision et la représentativité des mesures diffèrent.

- Résultats de la phase gazeuse du sol
  - a. L'expert doit justifier que la technique alternative est suffisamment représentative. Les pics des chromatogrammes peuvent être confirmés par analyse de spectrométrie de masse en laboratoire. La corrélation entre les données de terrain et de laboratoire détermine la fiabilité des données de terrain.
  - b. L'erreur de mesure doit être évaluée par une analyse en laboratoire d'échantillons doubles afin de confirmer les résultats du monitoring sur site. Le pourcentage de mesures de contrôle sur le nombre total de mesures dépend de l'objectif de l'étude.
- Résultats de l'eau souterraine / du sol

Les résultats sont indicatifs. Ils peuvent être corrélés avec les résultats d'analyse des échantillons d'eau souterraine et de sol si souhaité. Cette corrélation peut, si elle est suffisamment justifiée, être utilisée pour optimiser la stratégie de recherche ou la stratégie d'excavation sur le terrain.

MESURES DE SÉCURITÉ SPÉCIFIQUES À LA TECHNIQUE
--

Les consignes de sécurité pour les différentes marques figurent dans le manuel de l'appareil.

Tous les appareils ne peuvent pas être utilisés dans les zones ATEX.

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.

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

GC mobile de terrain (à louer chez Cleanair (USA° of KDanalytical (UK)):

- Photovac Voyager GC Mobile
- HAPSITE® ER
- Torion® T-9 portable GC/MS
- Qmicro GC (système sans ATEX + mesures rapides)

GC Mobile de laboratoire:

- META Process-Gaschromatographs (à louer chez META GmbH)
- Agilent Mobile Micro GC System

**B. Sources bibliographiques**

- On site Characterization of media contaminated with volatile compounds: total content and first estimation of the mobility, Valérie Laperche (BRGM)
- Handreiking 'Identificatie spoedlocaties – Versnellingsprotocol Sim Onderzoek', Ministerie VROM, 2009 (Grontmij)
- Uitdamping en bodemverontreiniging – Deel 1: Bodemlucht- en binnenluchtmetingen: veldwerk en analyses, OVAM, 2004
- CMA Bodemlucht – Emis VITO (2012)
- Code de Bonnes Pratiques N°3 (Bruxelles Environnement) - Code de bonnes pratiques pour la prise d'échantillon de sol, d'eau souterraine, de sédiment et d'air du sol, ainsi que la préservation (conservation et récipients) des échantillons prélevés
- ISO 10381-7 – Soil Quality Sampling – Guidance on sampling of soil gas.
- Mode Opérateur - Apports et limitations de l'analyse des gaz du sol - Projet ATTENA (Ph 2), 2013, Ademe
- Guide pratique pour la caractérisation des gaz du sol et de l'air intérieur en lien avec une pollution des sols et/ou des eaux souterraines, 2016, BRGM - INERIS
- Bodemrichtlijn.nl - Onderzoekstechnieken