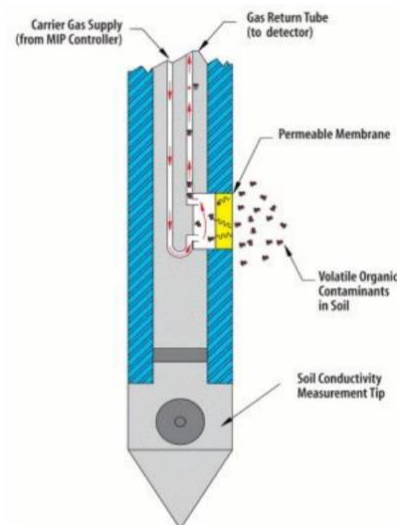


**CODES DE BONNES PRATIQUES POUR L'UTILISATION DE  
TECHNIQUES ALTERNATIVES D'INVESTIGATION DU SOL**

# Membrane Interface Probe (MIP)

**Description de la technique**

MIP est un système de détection et de mesure de composés organiques volatiles (COV) dans le sol. Une sonde de mesure MIP dispose d'une membrane perméable chauffée jusqu'à 121°C durant sa pénétration dans le sol. Les COV présents dans le sol se volatilisent par l'apport de chaleur et se diffusent à travers la membrane de la sonde. Les COV sont capturés à l'intérieur de la sonde par des gaz porteurs. Le gaz porteur transporte les COV jusqu'au détecteur qui se trouve en surface. Les résultats suivants peuvent être lus sur le log du MIP : texture du sol (CPT), conductivité électrique (EC), résultat de mesure du détecteur PID (détection par photoionisation), FID (détection par ionisation de flamme), XSD (détection spécifique de composés halogénés), DELCD (conductivité électrolytique sèche), température dans la sonde MIP et pression du gaz porteur ; si la sonde HPT (hydraulic profiling tool) est également utilisée, la conductivité hydraulique de la formation géologique peut également être déterminée. Les différents détecteurs peuvent être utilisés seuls ou en combinaison avec d'autres. Si de plus grands degrés de précision sont exigés, le ITMS (Ion Trap Mass Spectrometer), le GC (chromatographie en phase gazeuse) ou le GC-MS (spectromètre de masse, voir également ENISSA) peuvent également être utilisés.


**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	X	Le sonde MIP mesure la somme de tous les composants VOC dans les différentes phases du sol.
Eau souterraine	X	
Phase gazeuse du sol	X	

**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) <sup>1</sup>	X	X	X	
Solvants chlorés (VOCL, Cl-éthène, Cl-éthane, aromatiques chlorés) <sup>2</sup>	X	X	X	
HAP	X	X	X	Limité aux liaisons doubles (naphtalène)
HMV (C5-C10) <sup>3</sup>	X	X	X	
HM (C10-C40)	-	-	-	

Contaminants analysés	Matrice du sol	Eau souterraine	Phase gazeuse du sol	Remarques
<b>ML (+Cobalt)</b>	X	X	X	Uniquement Hg. Le MIP peut également mesurer le Hg(0) avec un facteur adapté.
<b>Cyanures</b>	-	-	-	
<b>LNAPL</b>	X	X	X	
<b>DNAPL</b>	X	X	X	
<b>Autres</b>	X	X	X	Les COV ayant un point d'ébullition jusqu'à 200°C environ et une solubilité < 50kg/l. LD à déterminer après test de faisabilité.

- 1) Les détecteurs PID sont utilisés pour la détection des composés aromatiques (BTEX)
- 2) Les détecteurs ECD, DELCD et XSD sont utilisés pour la détection d'hydrocarbures chlorés (PCE, TCE, DCE, CCl<sub>4</sub>,...)
- 3) Le détecteur FID est utilisé pour les hydrocarbures pétroliers (chaînes droites et ramifiées)

### C. Contexte environnemental d'application

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

Type de sol	Remarques	
<b>Remblais</b>	X	Difficile
<b>Sable</b>	X	
<b>Limon</b>	X	
<b>Gravier</b>	X	Difficile
<b>Tourbe</b>	X	
<b>Argile</b>	X	
<b>Grès</b>	X	Dépend de l'épaisseur du grès
<b>Autres (schiste, roches métamorphiques, craies)</b>	-	
<b>Caractéristiques hydrogéologiques</b>		
<b>Hétérogène et perméable</b>	X	
<b>Hétérogène et semi-perméable</b>	X	
<b>Hétérogène et imperméable</b>	X	
<b>Profondeur</b>		
<b>Superficielle</b>	-	
<b>1-5 m-ns</b>	X	Pour des profondeurs limitées, le rapport coût/efficacité n'est pas toujours intéressant
<b>5-10 m-ns</b>	X	
<b>10-15 m-ns</b>	X	
<b>&gt;15 m-ns</b>	X	Selon la structure du sol. Dans des sols plus résistants et plus compacts tels que le grès, des pierres et des graviers, cette technique est moins appropriée.
<b>Revêtement de sol</b>		
<b>Pas de revêtement</b>	X	
<b>Maçonnerie (clinkers)</b>	X	La couverture du sol doit être retirée. Diamètre minimum du forage béton : 120 mm.
<b>Pavé</b>	X	
<b>Carrelage</b>	X	
<b>Asphalte</b>	X	
<b>Béton</b>	X	
<b>Autres</b>	X	
<b>Espace de travail minimum</b>		
<b>Dimension L x h x l</b>	Standalone: 1m x 1m x hauteur de la tige de forage	La dimension varie d'une machine à l'autre (plus petite machine : 0,6 m de large, 1,6 m de long et 2,38 m de haut ; plus grande machine : 1,3 m de large, 2,9 m de long et 3,9 m de haut). Si on travaille avec un appareil standalone les dimensions sont environ 1m x 1m x la hauteur de la tige de forage
<b>Technique applicable pour des zones contaminées de :</b>		
<b>Petite surface (1-5 m<sup>2</sup>)</b>	X	
<b>Moyenne surface (5 – 200 m<sup>2</sup>)</b>	X	
<b>Grande surface (&gt;200 m<sup>2</sup>)</b>	X	

## 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	X	X	-	L'EC du sol est mesurée à l'aide du dipôle EC pour vérifier la structure du sol. Il y a une contribution de l'EC de l'eau souterraine, mais l'EC totale est généralement plus faible.
Température	-	-	-	
Conductivité hydraulique	X	X	-	Dans le cas de l'utilisation de la sonde HPT (généralement dans les sédiments et sols non consolidés).

## E. Principes – Modalités

La structure du sol peut être cartographiée à l'aide d'un système MIP de différentes manières. Selon le fournisseur, différentes techniques sont disponibles, que ce soit ou non en combinaison :

- Une mesure de conductivité à l'aide du dipôle de Wenner est réalisée pour déterminer la structure du sol sur la base de la conductivité électrique (EC). L'EC dépend, entre autres, de la granulométrie du sol. De manière générale, on peut constater que l'argile a une conductivité électrique relativement élevée alors que le sable a une faible conductivité. La valeur pour le limon et l'argile est moyenne. Un changement de conductivité du sol signifie toujours qu'il y a une variation dans les caractéristiques du sol. La conductivité est influencée par 1) la taille des grains, 2) la minéralogie des particules du sol, 3) les propriétés du fluide interstitiel.
- Lorsque le sondage est effectué par pressage hydraulique (sans marteau), le sol peut être classé en utilisant le « cône de sondage » CPT sous le module MIP, en fonction de la résistance conique et de frottement.
- La perméabilité du sol peut être évaluée à l'aide de l'outil de profilage hydraulique (HPT). Ceci se fait à l'aide d'une pompe qui injecte une petite quantité d'eau (généralement 100-300 ml/min) dans le sol avec un débit constant via une membrane supplémentaire. La pression requise est enregistrée et est utilisée comme mesure de la perméabilité. Grâce à un modèle empirique, une estimation de la perméabilité en m/jour peut également être déterminée pour des sols ayant une perméabilité comprise entre 0,03 et 25 m/jour.

La sensibilité et la limite de détection de la méthode MIP traditionnelle pour un composant varient en fonction du détecteur utilisé. Les détecteurs les plus couramment utilisés sont:

- « *Dry Electrolytic Conductivity Detector* » (DELCD) : le principe du DELCD est basé sur l'oxydation des hydrocarbures chlorés dans lesquels du ClO<sub>2</sub> est formé. À des températures élevées, le ClO<sub>2</sub> devient électriquement conducteur et la mesure de la conductivité donne alors des informations sur la proportion d'hydrocarbures chlorés dans le flux gazeux. Dans les systèmes plus récents, le détecteur DELCD a été remplacé par un détecteur XSD qui fournit une ligne de base plus stable ;
- « *Photo Ionisation Detector* » (PID) : le principe de mesure du détecteur PID est basé sur l'ionisation des molécules au moyen de la lumière UV. Les ions formés lors de l'ionisation des hydrocarbures provoquent un courant électrique qui peut être mesuré avec des électrodes ;
- « *Flame Ionisation Detector* » (FID) : le principe du FID est également basé sur l'ionisation des hydrocarbures. Contrairement au PID, l'ionisation ne se fait pas au moyen de la lumière UV mais par flamme. Une concentration relative peut être déterminée en mesurant le courant électrique entre deux électrodes.

Pour la détection de VOCl, une combinaison de ces trois détecteurs est habituellement utilisée. Par exemple, le FID détectera la présence d'hydrocarbures chlorés et d'hydrocarbures aromatiques. Des composants, tels que BTEX et certains hydrocarbures chlorés (insaturés), tels que les chloroéthènes, avec un potentiel d'ionisation inférieur à 10,6 eV sont détectés par PID. Le DELCD / XSD est sensible à la présence de composés chlorés et bromés (par exemple VOCl: PER, TRI, cis-1,2-dichloroéthène, chlorure de vinyle).

## F. Informations complémentaires

Des informations complémentaires sont fournies dans le tableau suivant :

Informations complémentaires	
Nature de la technique	Procédé chimique/physique
Fréquence de prises de mesures	75 m par jour peuvent être sondés selon la texture du sol, les analyses GC/MS jusque 20 échantillons/jour
Temps d'acquisition des résultats	Mesure <i>in situ</i> (direct imaging)
Présentation / visualisation des résultats	Les résultats sont présentés sur le log du MIP (description d'un log MIP voir ci-dessus)
Niveau d'expérience requis	Expert
Nature du résultat de la mesure	Semi-quantitatif, les résultats initiaux sont qualitatifs mais peuvent être convertis en résultats quantitatifs exprimés en ppm.
Précision / Limite de détection / Unité de mesure	Fenêtre de détection PID : 0,2 à 2,0 µg/l, fenêtre de détection FID : 10 à 20 µg/l, fenêtre de détection ECD et DELCD : 0,2 à 2,0 µg/l, fenêtre de détection du XSD : 0,1 à 2,0 µg/l
Prix d'utilisation	+ 3000 à 5000 € (excl. TVA) par jour, forage, MIP opérateur, mob/demob et déplacement inclus

## EXIGENCES TECHNIQUES

### A. Procédure avant utilisation sur site

1. Test de réponse : Des tests de réponse doivent être effectués.
2. Calibration : Le MIP doit être calibré en plaçant la sonde dans un standard sableux ou aqueux dont les concentrations en COV sont préalablement connues.
3. Fréquence d'utilisation de la technique alternative
  - i. A Bruxelles et en Belgique : Technique utilisée régulièrement en Flandre, Wallonie et Bruxelles
  - ii. Législation dans d'autres régions, d'autres pays : Cette technique est admise si les résultats sont contrôlés par des techniques de mesure classiques.

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

1. Allumer le générateur.
2. Ouvrir les vannes de gaz nécessaires au système MIP (N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, air, ...).
3. Allumer le chromatographe gazeux et les détecteurs (20 minutes de préchauffage).
4. Allumer le contrôleur MIP, les instruments de terrain et les ordinateurs.
5. Contrôler l'arrivée et la sortie de gaz porteur ainsi que la pression dans la sonde MIP. Comparer les valeurs obtenues avec les valeurs de la semaine précédente.
6. Démarrer l'appareil d'enregistrement (log).
7. Effectuer les tests de réponse et notez les pics de réponse ainsi que la durée du transport de la pollution
8. Effectuer le test dipôle EC.
9. Noter les paramètres du système (débit, pressions, durée de transport, tension de base du détecteur).

10. Monter la sonde MIP sur le système de forage.
11. Démarrer l'introduction de la sonde depuis la profondeur de départ à une vitesse de 30 cm/minute en continu ou en discontinu selon la situation.
12. Suivre la température de la membrane, de la pression du gaz porteur, de la structure du sol et de la pollution durant le sondage ou direct push.
13. Attention à ne pas forer dans des couches d'argile en zone fortement polluée, sauf si elle est bouchée à l'aide de coulis de ciment par exemple.
14. Retirer les tiges du MIP, remplir le trou de forage, réparer le revêtement, mesurer la localisation du point de forage.

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

La précision et l'exactitude des résultats du MIP doivent être testées. Par précision on entend la reproductibilité des résultats dans des conditions similaires. Par exactitude on entend le degré de similitude avec les résultats de mesure obtenus sur base des techniques de mesure classiques. Des mesures de contrôle par des mesures classiques restent nécessaires.

## 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. Cette technique ne nécessite pas de mesures de sécurité supplémentaires.

## INFORMATIONS POUR L'UTILISATEUR

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

Les sondes MIP sont proposées par un éventail de sociétés (de forage) : Fugro, Geoprobe, Verbeke, Tauw-Geosan, Bp<sup>2</sup>,....

### **B. Sources bibliographiques**

Les directives relatives au MIP ainsi que l'interprétation des résultats d'analyse sont disponibles sur différents sites internet, par exemple EPA. Littérature consultée :

- Geoprobe Membrane Interface Probe (MIP), Standard Operating Procedure. Jan 2015.
- A permeable membrane sensor for the detection of volatile compounds in soil
- T.M. Christy, 1996, A driveable permeable membrane sensor for the detection of volatile compounds in soil, In Proceedings of the 1996 National Outdoor Action Conference, Las Vegas, Nevada. NGWA, Columbus Ohio.
- Van Keer I., Bronders J., Touchant K., Wilczek D., Application of the Membrane Interphase Probe: An evaluation, Consoil LeS C.1 Sensors, 2008
- D7353-07 ASTM; Standard Practice for Direct Push technology or VOC logging with the MIP.