Géosciences pour une Terre durable
brgm

upds
Union des Professionnels
de la Dépollution des Sites.

UN ÉCLAIRAGE SUR LES TECHNIQUES ÉPROUVÉES

POUR LA GESTION DES SSP

Les nouvelles fiches techniques SSP lèvent le voile

pollutec
LÀ OÙ S'INVENTE LE MONDE DURABLE

7 OCTOBRE 2025 | LYON EUREXPO

Built by RX In the business of building businesses

pollutec LÀ OÙ S'INVENTE LE MONDE DURABLE

Data sensitivity - Public

A L'ORIGINE, LE PROJET FICHES TECHNIQUES INNOVANTES

01

Built by RX In the business of building businesses

pollutec LÀ OÙ S'INVENTE LE MONDE DURABLE

Data sensitivity - Public

L'ORIGINE DU PROJET EN 2019

UN CONSTAT

La gestion des SSP se restreint trop souvent à l'analyse chimique d'échantillons (teneurs totales) : c'est essentiel mais pas toujours suffisant.

DIAGNOSTIC



SUIVI DE DEPOLLUTION



SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE



Des technologies innovantes sont développées par la R&D publique et privée.

Les techniques développées permettent de mesurer des paramètres additionnels pouvant aboutir à :

- Des stratégies de gestion plus robustes et efficaces,
- Une amélioration des connaissances du site, un gain de temps ou d'argent, des bénéfices environnementaux.

Ces techniques peuvent intervenir à différentes étapes de vie d'un site pollué et bénéficient de fiches outils, de guides, de normes spécifiques très détaillés mais peu connues ou difficilement accessibles et restent donc peu utilisées par les acteurs du domaine des SSP.

Built by RX In the business of building businesses

Data sensitivity - Public

UNE SOLUTION

LE DÉVELOPPEMENT DE FICHES TECHNIQUES INNOVANTES

Formation en 2019 d'un groupe de travail à l'initiative du BRGM pour le Ministère en charge de l'environnement.

Collaboration d'experts de l'Ineris, de l'ADEME et de 2 MOA ainsi que des experts du milieu universitaires choisis selon les thèmes.

Objectif : Partager des informations opérationnelles pour encourager l'utilisation de ces techniques innovantes par un large panel d'acteurs des SSP

Le projet a abouti à la création de fiches permettant de :

- **Faciliter le déploiement des techniques innovantes présentant un réel intérêt dans le domaine des SSP**
- **Permettre aux différents acteurs de connaitre et de comparer les techniques selon le contexte.**

Maîtres d'ouvrage

Organismes publics

Administration

Prestataires

Maîtres d'œuvre

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET DE LA COHÉSION DES TERRITOIRES
Liberté
Égalité
Fraternité

Geoscience for a sustainable Earth
brgm

INERIS
controlling risks for sustainable development

ADEME
AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

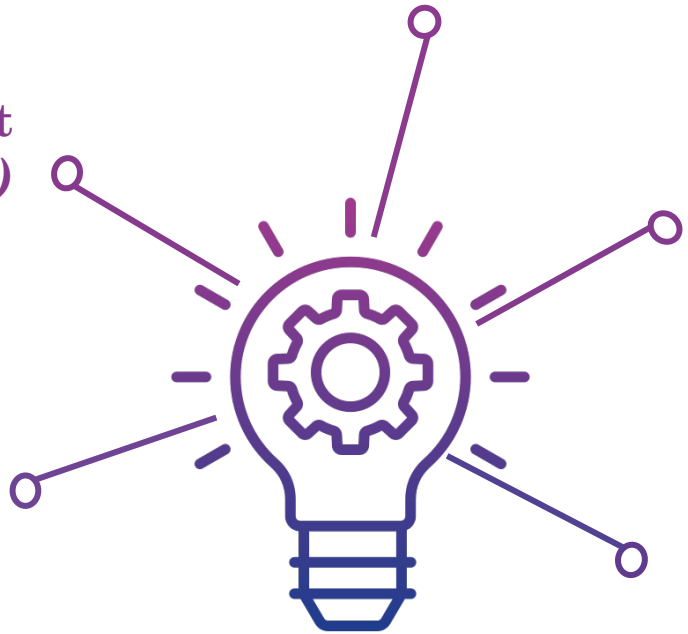
pollutec
LÀ OÙ S'INVENTE LE MONDE DURABLE

Built by RX In the business of building businesses

Data sensitivity - Public

QUELS CRITÈRES ?

Les techniques doivent:



- Répondre à un besoin
- Être suffisamment matures *(TRL > 7)*
- Donner des informations supplémentaires aux analyses chimiques
- Être innovantes dans le domaine des SSP
- Disposer de documents détaillés (guides, normes, …)

Built by RX In the business of building businesses

pollutec LÀ OÙ S'INVENTE LE MONDE DURABLE

Data sensitivity - Public

LES FICHES TECHNIQUES INNOVANTES

COMMENT SONT-ELLES CONSTRUITES ?

3 fiches étapes :

- Diagnostic
- Gestion de la pollution
- Surveillance environnementale

Format:

- Description de l'étape
- Questions à se poser
- Techniques utilisables


DIAGNOSTIC

DESCRIPTION DE L'ÉTAPE « DIAGNOSTIC »

Le diagnostic informe sur l'état des milieux et sur les enjeux associés avec l'objectif de pouvoir définir une stratégie de gestion propre au site et aux milieux environnants. Le diagnostic repose sur une série d'investigations progressives et itératives qui sont plus ou moins poussées selon les enjeux associés au site et à son environnement (toxicité des polluants, vulnérabilité des milieux, cibles à protéger, contexte économique…). Il aboutit à la construction ou à la consolidation du schéma conceptuel du site au fur et à mesure de l'acquisition, de l'organisation et de l'interprétation des données spécifiques au site et représentatives du contexte local.

Le diagnostic apporte des éléments de compréhension du contexte environnemental (géologie, hydrogéologie…) et permet de caractériser les milieux étudiés (sols, eaux, air, denrées alimentaires…) qui peuvent constituer une source de pollution, être des milieux de transfert (selon le contexte environnemental) et/ou des milieux d'exposition (selon l'usage de ces milieux). ***Une source de pollution est la zone du sol ou sous-sol qui renferme des substances polluantes qui sont émises vers des milieux de transfert et/ou d'exposition.***

Une fois les milieux caractérisés, le diagnostic permet d'identifier certains impacts associés à une pollution au regard du référentiel retenu pour chaque milieu (valeurs réglementaires, environnement local témoin…) voire, selon le contexte et l'objet de l'étude, de réaliser une première appréciation des risques pour la santé et l'environnement. ***L'impact est la conséquence de l'émission de substances par une source de pollution dans les différents milieux que sont l'air, le sol, l'eau, ou les aliments.*** Un impact est identifié lorsqu'il remet en cause l'usage d'un milieu ou qu'une dégradation de la qualité du milieu est constatée.

Lors de chantiers en vue d'une renaturation ou d'une gestion écologique, c'est l'état global du site qui est défini à partir d'indicateurs qui informent sur la dégradation du milieu.

Ce chapitre présente différents outils qui permettent de préciser le contexte environnemental (géologie, hydrogéologie et biodiversité), de rechercher l'origine d'une source de pollution, de caractériser ces sources de pollution et leur extension ou de caractériser certains impacts d'une pollution sur les milieux.

TECHNIQUES UTILISABLES ET RÉPONSES APPORTÉES PAR L'ÉTAPE « DIAGNOSTIC »

LE DIAGNOSTIC PERMET DE PRÉCISER LE CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL :

Quelle est la géologie et l'hydrogéologie locale ?

- Les **méthodes géophysiques** permettent de décrire le sol (géologie et hydrogéologie locale) à partir des variations de propriétés physiques entre les différentes couches, sous réserve d'avoir un contraste suffisant entre les couches géologiques. Les investigations sont non-intrusives et leur rendement est optimal sur de grandes surfaces.
- Les **techniques de caractérisation minéralogique** sont des techniques de imagerie ou d'analyse globale qui déterminent la composition minéralogique d'un sol. Les résultats d'analyse sur les échantillons de sol donnent une information qualitative sur la nature des différents minéraux et/ou quantitative (proportion de chaque minéral).
- Les **outils géostatistiques** sont un moyen d'interprétation rapide et poussé de l'ensemble des données disponibles obtenues par une ou plusieurs techniques, sous réserve qu'elles soient suffisamment nombreuses. Ils permettent de produire des cartes d'incertitudes sur la connaissance de la géologie et ainsi aider dans le choix d'implantation de sondages ou piézomètres complémentaires. Les données d'entrées peuvent être ponctuelles, ou bi (log géologique) voire tridimensionnelles (résultats d'investigations géophysiques).
- Les **outils de caractérisation haute résolution de la nappe** permettent des mesures ou des analyses sur une plage de profondeur donnée pour une meilleure caractérisation hydrodynamique de la nappe. Ce type de technique met en évidence des flux hétérogènes sur la profondeur ou verticaux. Les investigations sont ponctuelles et intrusives et informent sur la présence d'horizons plus ou moins perméables ou productifs et sur la vulnérabilité de la nappe.

Quels sont les microorganismes présents ou actifs dans le sol et le sous-sol (biodiversité) ?

- Les **techniques de biologie moléculaire** permettent de connaître les populations de microorganismes présentes ou actives à partir de l'extraction et de l'analyse des composants moléculaires d'une cellule (ADN, ARN, protéines). Elles étudient des échantillons de sol, d'eau, d'air ou de déchets prélevés sur site. Les résultats interprétés fournissent des informations sur la biodiversité en place à travers la diversité et l'abondance des microorganismes qui ne sont pas étudiés avec les techniques de microbiologie classique car difficilement isolables pour être cultivés.
- Les **essais d'extraction des gaz du sol** renseignent, grâce aux mesures physiques et chimiques effectuées sur site ($T°C$, O_2, CO_2, CH_4, H_2S, etc.), sur l'existence ou non d'une activité biologique associée aux pollutions organiques au


GESTION DE LA POLLUTION (DÉPOLLUTION)

DESCRIPTION DE L'ÉTAPE « GESTION DE LA POLLUTION »

L'étude des différents scénarios de gestion d'une pollution est réalisée dans le cadre du plan de gestion (PG). Ce document définit plusieurs stratégies de réhabilitation à appliquer, adaptées aux spécificités de la pollution et du site (localisation, forme chimique et distribution des polluants, contraintes techniques et économiques). Ces scénarios de gestion peuvent intégrer plusieurs actions : dépollution, mesures constructives, restrictions d'usage milieux, ou encore adaptation du projet d'aménagement. Ils sont comparés dans un Bilan Coûts-Avantage sur la base de différents critères (technique, sanitaire, environnemental, économique, socio-politique,…).

Le Plan de Conception des Travaux (PCT) permet de valider techniquement le ou les scénarios retenus au plan de gestion pour traiter la ou les sources de pollution. Cette phase repose sur la mise en œuvre d'essais de faisabilité des techniques de dépollution envisagées (mesures en laboratoire, mesures sur le terrain, essais pilote,…).

Ce chapitre présente différents outils permettant d'orienter le choix de la technique de dépollution lors de l'élaboration du plan de gestion ou du plan de conception des travaux, de gérer une pollution ou de suivre ces opérations de dépollution.

TECHNIQUES UTILISABLES ET RÉPONSES APPORTÉES LORS DE L'ÉTAPE « GESTION DE LA POLLUTION »

DES TECHNIQUES INNOVANTES PERMETTENT DE COMPLÉTER LA CONNAISSANCE DU SITE ET DE LA POLLUTION EN VUE D'ORIENTER LE CHOIX DE LA TECHNIQUE DE DÉPOLLUTION

Quel sont l'état des milieux et les enjeux associés ?

Des techniques innovantes permettent de compléter le diagnostic du site et de la pollution. Elles sont présentées dans la fiche étape 1.

Les caractéristiques du sol et des polluants permettent-elles d'envisager le recours à des techniques biologiques ?

- Les **méthodes de biologie moléculaire** permettent d'identifier et quantifier la présence et l'activité de microorganismes impliqués dans des processus de biodégradation, sous réserve de connaître ces processus. Les investigations sont réalisées à partir d'échantillons de sol ou d'eau prélevés sur site sur lesquels sont réalisés l'extraction et l'analyse des composants moléculaires d'une cellule (ADN, ARN ou protéines). Les résultats interprétés donnent une information complémentaire aux analyses chimiques en permettant d'adapter le scenario de gestion au processus réel de biodégradation.
- Les **phytotechnologies** étudient la possibilité de phytomanagement par les plantes présente sur site ou par des plantes d'apport. Le phytomanagement peut consister à stabiliser le sol pour éviter l'envol de poussières ou l'érosion hydrique (phytostabilisation), à extraire le polluant pour le détruire ou le réutiliser (phytoextraction et phytomining) ou à limiter le transfert des polluants vers les plantes pour produire de la biomasse à vocation non-alimentaire sur des sols pollués. Ces phytotechnologies sont basées sur la phytodisponibilité de la pollution c'est-à-dire le transfert effectif des polluants vers les végétaux. Les résultats d'analyses réalisées sur des feuilles prélevées sur site estiment l'accumulation des polluants dans les plantes. Ces techniques rapides, peu coûteuses et non-intrusives permettent d'évaluer l'efficacité *a priori* d'une technique par phytomanagement (par phytoextraction ou phytostabilisation).
- Les **essais d'extraction des gaz du sol** renseignent, grâce aux mesures physiques et chimiques effectuées sur site ($T°C$, O_2, CO_2, CH_4, H_2S, etc.), sur l'existence ou non d'une activité biologique associée aux pollutions organiques au sein de la zone non saturée. L'interprétation des résultats des essais de prélèvement de gaz du sol donne une information indirecte du potentiel de biodégradation des microorganismes (consommation d'oxygène, augmentation de la température).

Les essais de faisabilité des techniques sélectionnées donnent-ils des résultats satisfaisants ?

- Les **techniques de biologie moléculaire** permettent de quantifier l'activité des microorganismes impliqués dans des processus de biodégradation, lors d'essais de faisabilité. Les investigations sont réalisées à partir d'échantillons de sol ou d'eau prélevés lors des essais sur site ou en laboratoire. Les composants moléculaires d'une cellule (ADN, ARN ou protéines) sont extraits et analysés. Les résultats interprétés donnent une information complémentaire aux analyses chimiques qui informent sur les concentrations en polluants et en métabolites. Ces méthodes permettent d'adapter la technique de dépollution au processus réel de biodégradation et de valider la faisabilité de la technique choisie.


SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE (SUIVI)

DESCRIPTION DE L'ÉTAPE « SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE »

Une surveillance environnementale peut être mise en œuvre de manière préventive, en contexte post-accidentel, à l'issue des deux démarches de gestion (interprétation de l'état des milieux ou plan de gestion) ou à l'issue d'une cessation d'activité.

Cette surveillance intègre une analyse globale de la situation à travers des prélèvements, mesures, observations et/ou analyses des milieux et conclut sur l'existence d'un éventuel impact ou, le cas échéant, sur l'évolution d'une pollution, préalablement identifiée et en cours de gestion depuis la précédente campagne ou non. L'efficacité des mesures de gestion est évaluée à l'issue des constats.

Les résultats de la surveillance sont interprétés après chaque campagne de suivi et des actions appropriées sont recommandées en cas de constats d'anomalies (vérification des résultats d'analyse, analyse de doublons d'échantillons, nouvelle campagne de prélèvements et d'analyses, extension du périmètre de surveillance, traitement du milieu concerné).

Cette surveillance permet de vérifier sur le long terme l'efficacité des mesures de gestion mises en œuvre (gestion du risque pour l'environnement, dépollution, dispositions constructives…) et de s'assurer, dans la durée, de la compatibilité effective entre l'état des milieux et leurs usages.

Ce chapitre présente différents outils permettant de concevoir, optimiser et réaliser une surveillance environnementale.

TECHNIQUES UTILISABLES ET RÉPONSES APPORTÉES LORS DE L'ÉTAPE « SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE »

CERTAINES TECHNIQUES INNOVANTES AIDENT À DÉFINIR LE PROGRAMME DE SURVEILLANCE.

Comment concevoir et optimiser le réseau de surveillance ?

- Les **méthodes géophysiques** permettent de décrire le sol (géologie et hydrogéologie locale) à partir des variations de propriétés physiques entre les différentes couches, sous réserve d'avoir un contraste suffisant entre les couches géologiques. Les investigations sont non-intrusives et leur rendement est optimal sur de grandes surfaces. Grâce à une meilleure connaissance du milieu sur des surfaces importantes, les méthodes géophysiques permettent d'optimiser les zones à surveiller. Certaines méthodes permettent également de délimiter l'extension du panache de pollution à travers l'évolution de paramètres physiques s'il existe un contraste suffisant et que les processus de dégradation impliqués et leur influence sur le milieu sont connus. Les investigations sont non-intrusives et il est possible de réaliser le suivi à distance. L'information fournie est continue spatialement et semi-quantitative. Elle est à coupler avec des analyses chimiques des eaux du panache qui donnent des informations ponctuelles et quantitatives.
- Les **outils isotopiques** déterminent les rapports entre différents isotopes des composés. À travers un prélèvement d'eau ou de sol, ils permettent de prendre des décisions sur la base d'informations tangibles et indépendantes des concentrations en polluants et ainsi d'optimiser le positionnement des piézomètres ou de réduire le nombre et la durée des campagnes de prélèvements et donc le coût de la surveillance.
- Les **bioindicateurs d'accumulation** sont des outils de terrain qui visent à évaluer la biodisponibilité et l'accumulation des polluants du sol dans les organismes vivants (animaux ou végétaux). La mesure de ces bioindicateurs se fait en laboratoire ou *in situ* et les résultats des investigations renseignent de manière qualitative sur l'état du sol en place et de manière quantitative sur les risques de transfert des polluants vers l'écosystème. Ils permettent de cibler les zones où le risque de transfert et de bioaccumulation est le plus important.
- Les **biotests ou biossais** dits de court-terme c'est-à-dire identifiant une exposition aigüe sont des techniques de laboratoire standardisées exposant des organismes à des sols ou eaux prélevés sur site. Les résultats des essais quantifient les effets toxicologiques de la pollution sur ces organismes. La différence de réaction des organismes selon les zones prélevées permet d'identifier sur une grande surface les zones qui méritent le plus d'attention pour la surveillance environnementale.
- Les **techniques géostatistiques** sont un outil d'interprétation rapide et poussé de l'ensemble des données disponibles obtenues par une ou plusieurs techniques, sous réserve qu'elles soient suffisamment nombreuses. Ils permettent de produire des cartes d'incertitudes sur la connaissance d'un paramètre physique étudié dans le sol ou dans la nappe et ainsi aider dans le choix d'implantation de forages ou

LES FICHES TECHNIQUES INNOVANTES

COMMENT SONT-ELLES CONSTRUITES ?

Les fiches techniques :

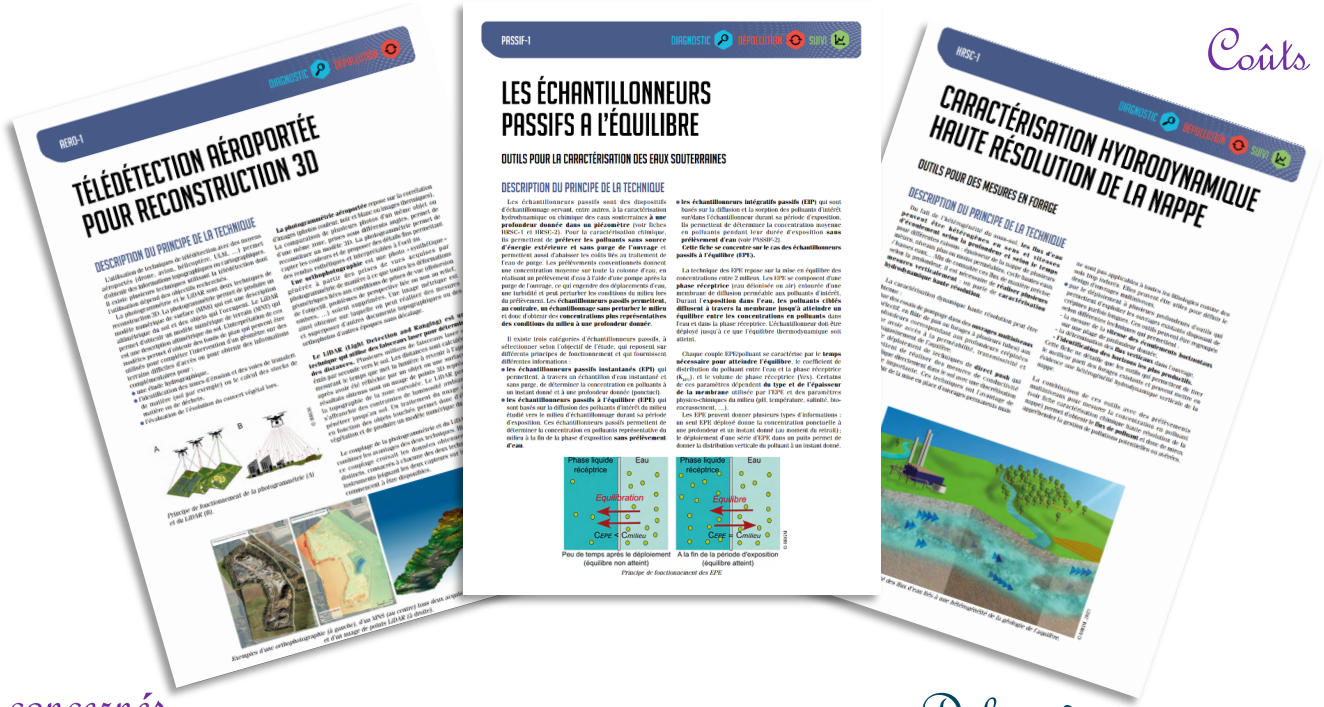
- Informer sur une technique/méthode de travail
- Evaluer si les techniques sont adaptées aux contextes et objectifs
- Comparer et choisir entre les différentes techniques
- Justifier son choix
- 30 fiches disponibles

Méthodologie

Matériel

Contexte d'application

Coûts



Polluants concernés

Délais de mise en œuvre

Avantages

Références

Inconvénients

Built by RX In the business of building businesses

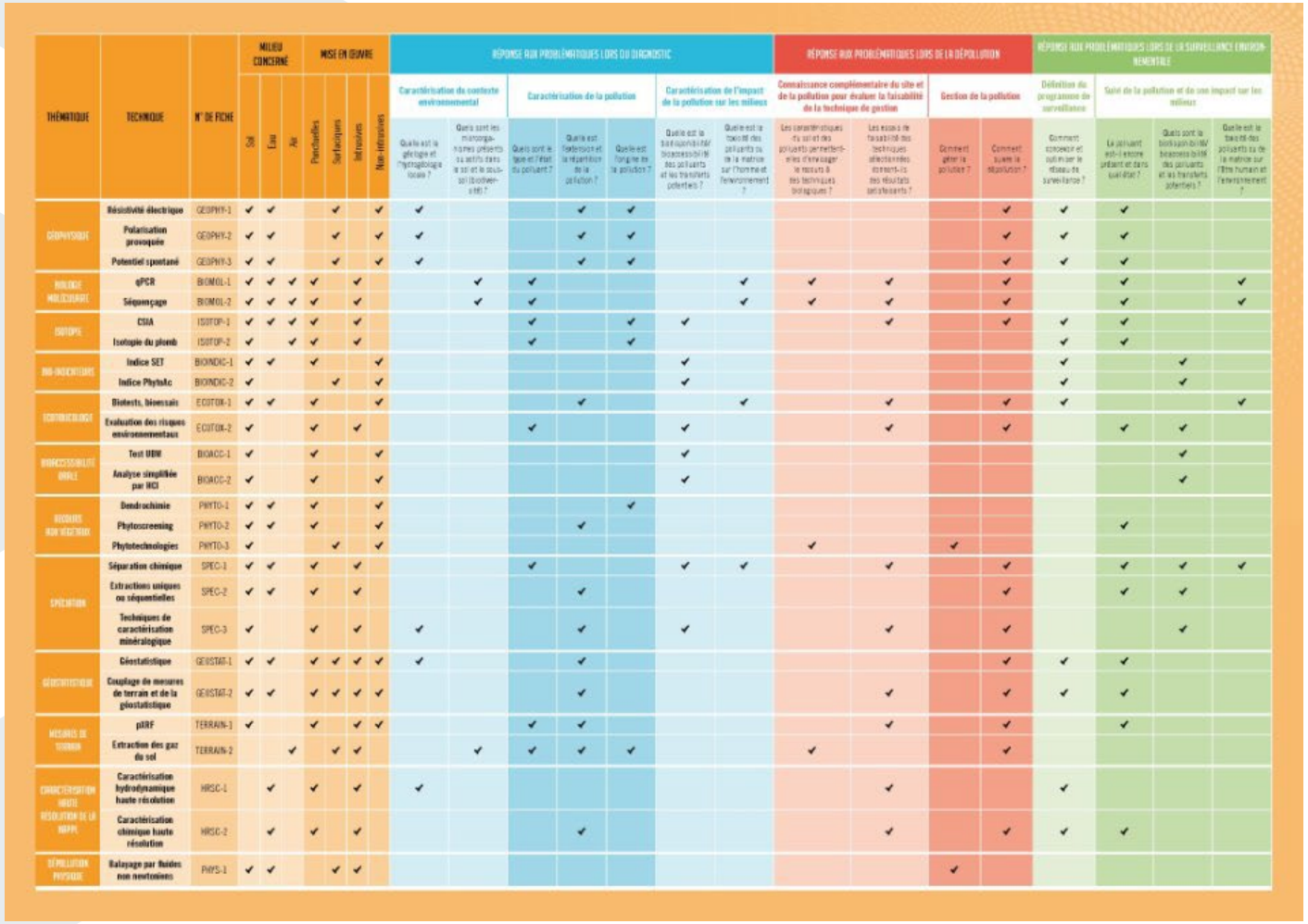
pollutec LÀ OÙ S'INVENTE LE MONDE DURABLE

Data sensitivity - Public

LES FICHES TECHNIQUES INNOVANTES

COMMENT SONT-ELLES CONSTRUITES ?

UN TABLEAU DE SYNTHÈSE :



THÉMATIQUE	TECHNIQUE	N° DE FICHE	MILIEU CONCERNÉ			MISE EN ŒUVRE				RÉPONSE AUX PROBLÉMATIQUES LORS DU DIAGNOSTIC						RÉPONSE AUX PROBLÉMATIQUES LORS DE LA DÉPOLLUTION				RÉPONSE AUX PROBLÉMATIQUES LORS DE LA SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE			
										Caractérisation du contexte environnemental		Caractérisation de la pollution			Caractérisation de l'impact de la pollution sur les milieux		Connaissance complémentaire du site et de la pollution pour évaluer la faisabilité de la technique de gestion		Gestion de la pollution		Définition du programme de surveillance	Suivi de la pollution et de son impact sur les milieux		
			Sol	Eau	Air	Plate/Cuvettes	Surfaciques	Intrusives	Non-intrusives	Quelle est la géologie et l'hydrogéologie locale ?	Quels sont les mécanismes présents ou actifs dans le sol et le sous-sol (à enlever-créer) ?	Quels sont le type et l'état du polluant ?	Quelle est l'extension et la répartition de la pollution ?	Quelle est l'origine de la pollution ?	Quelle est la biodisponibilité/bioaccessibilité des polluants et les transferts potentiels ?	Quelle est la toxicité des polluants ou de la matrice sur l'homme et l'environnement ?	Les caractéristiques du sol et des polluants permettent-elles d'envisager le recours à des techniques biologiques ?	Les essais de faisabilité des techniques sélectionnées donnent-ils des résultats satisfaisants ?	Comment gérer la pollution ?	Comment suivre la dépollution ?	Comment concevoir et optimiser le réseau de surveillance ?	Le polluant est-il encore présent et dans quelle(s) zone(s) ?	Quels sont la biodisponibilité/bioaccessibilité des polluants et les transferts potentiels ?	Quelle est la toxicité des polluants ou de la matrice sur l'être humain et l'environnement ?
GÉOPHYSIQUE	Résistivité électrique	GEOPHY-1	✔	✔			✔		✔	✔			✔	✔						✔	✔	✔		
	Polarisation provoquée	GEOPHY-2	✔	✔			✔		✔	✔			✔	✔						✔	✔	✔		
	Potentiel spontané	GEOPHY-3	✔	✔			✔		✔	✔			✔	✔						✔	✔	✔		
BIOLOGIE MOLÉCULAIRE	qPCR	BIOMOL-1	✔	✔	✔	✔		✔			✔	✔				✔	✔	✔		✔		✔		✔
	Séquençage	BIOMOL-2	✔	✔	✔	✔		✔			✔	✔				✔	✔	✔		✔		✔		✔
ISOTOPIE	CSIA	ISOTOP-1	✔	✔	✔	✔		✔					✔		✔	✔			✔	✔	✔	✔		
	Isotopie du plomb	ISOTOP-2	✔		✔	✔		✔					✔		✔						✔	✔		
BIO-INDICATEURS	Indice SET	BIOINDIC-1	✔	✔		✔			✔							✔					✔		✔	
	Indice Phytalc	BIOINDIC-2	✔				✔		✔							✔					✔		✔	
ECOTOXICOLOGIE	Biotests, bioessais	ECOTOX-1	✔	✔		✔			✔				✔				✔		✔	✔	✔			✔
	Evaluation des risques environnementaux	ECOTOX-2	✔			✔		✔				✔			✔		✔			✔		✔	✔	
BIOACCESSIBILITÉ ORALE	Test UBM	BIOACC-1	✔			✔			✔						✔								✔	
	Analyse simplifiée par IRCI	BIOACC-2	✔			✔			✔						✔								✔	
BIOSUIVIS PAR VÉGÉTAUX	Dendrochimie	PHYTO-1	✔	✔		✔			✔					✔										
	Phytoscreening	PHYTO-2	✔	✔		✔			✔				✔									✔		
	Phytotechnologies	PHYTO-3	✔				✔		✔								✔			✔				
SPÉCIATION	Séparation chimique	SPEC-1	✔	✔		✔		✔				✔			✔	✔			✔		✔	✔	✔	
	Extractions uniques ou séquentielles	SPEC-2	✔	✔		✔		✔					✔								✔	✔		
	Techniques de caractérisation minéralogique	SPEC-3	✔			✔		✔		✔			✔		✔				✔			✔		
GÉOSTATISTIQUE	Géostatistique	GEOSTAT-1	✔	✔		✔	✔	✔	✔	✔			✔							✔	✔			
	Couplage de mesures de terrain et de la géostatistique	GEOSTAT-2	✔	✔		✔	✔	✔	✔				✔						✔	✔	✔			
MESURES DE TERRAIN	pXRF	TERRAIN-1	✔			✔		✔	✔			✔	✔						✔		✔			
	Extraction des gaz du sol	TERRAIN-2			✔		✔	✔			✔	✔	✔	✔			✔			✔				
CARACTÉRISATION HAUTE RÉSOLUTION DE LA NAPPE	Caractérisation hydrodynamique haute résolution	HRSC-1		✔		✔		✔		✔									✔		✔			
	Caractérisation chimique haute résolution	HRSC-2		✔		✔		✔					✔						✔		✔	✔		
DÉPOLLUTION PHYSIQUE	Balayage par fluides non newtoniens	PHYS-1	✔	✔			✔	✔												✔				

DU NOUVEAU EN 2025 : LES TECHNIQUES ÉPROUVÉES !

02

Built by RX In the business of building businesses

pollutec LÀ OÙ S'INVENTE LE MONDE DURABLE

Data sensitivity - Public

ET EN 2025 ?

UN CONSTAT

On nous demande des fiches techniques sur des techniques qui ne sont pas innovantes !

- **Méconnaissance des contextes d'application et des conditions d'utilisation,**
- **Mauvaise réputation liée à de précédents usages inadaptés.**

Data sensitivity - Public

UNE SOLUTION

LE DÉVELOPPEMENT DE FICHES TECHNIQUES EPPROUVÉES

Elargissement du groupe de travail aux bureaux d'études pour bénéficier de leur retour d'expérience.

Objectif : Réhabiliter les techniques existantes et favoriser leur adoption dans de bonnes conditions.

Le projet a abouti à la création de fiches similaires aux fiches techniques innovantes avec :

- **Présentation contextualisée et pédagogique**
- **Retours d'expérience concrets,**
- **Des données de performance et des recommandations d'usage.**

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET DE LA COHÉSION DES TERRITOIRES
Liberté
Égalité
Fraternité

Geoscience for a sustainable Earth
brgm

INERIS
controlling risks for sustainable development

ADEME
AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

upds
Union des Professionnels de la Dépollution des Sites.

UCIE
L'Union des Consultants et Ingénieurs en Environnement

Built by RX In the business of building businesses

pollutec
LÀ OÙ S'INVENTE LE MONDE DURABLE

Data sensitivity - Public

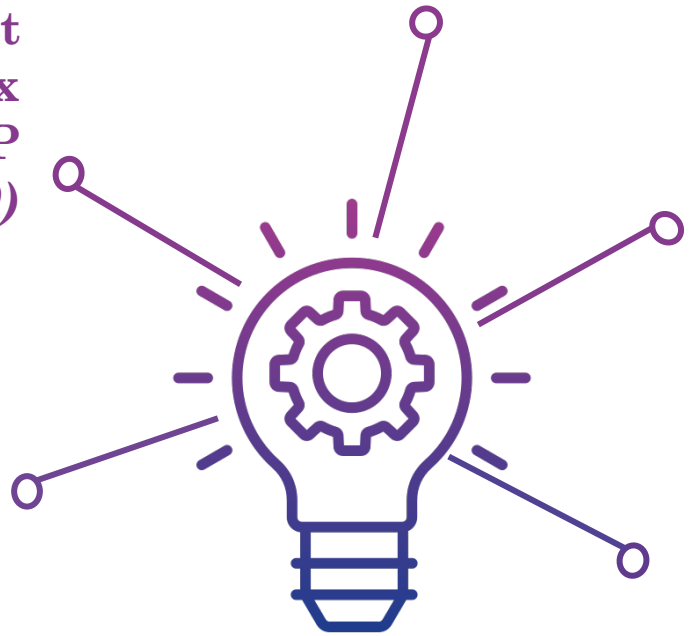
QUELS CRITÈRES ?

Les techniques doivent:

Répondre à un besoin en SSP

Être matures, validées et éprouvées par de nombreux utilisateurs en SSP *(TRL = 9)*

Donner des informations supplémentaires aux analyses chimiques



Être peu ou pas correctement utilisées en raison d'une méconnaissance des contextes d'application, d'un manque de visibilité etc.

Disposer de documents détaillés (guides, normes, …)

Built by RX In the business of building businesses

pollutec LÀ OÙ S'INVENTE LE MONDE DURABLE

Data sensitivity - Public

LES NOUVELLES FICHES TECHNIQUES 2025

03

Built by RX In the business of building businesses

pollutec LÀ OÙ S'INVENTE LE MONDE DURABLE

Data sensitivity - Public

A PARAÎTRE FIN 2025

2 NOUVELLES FICHES TECHNIQUES INNOVANTES

LES ECHANTILLONNEURS PASSIFS INSTANTANNÉS



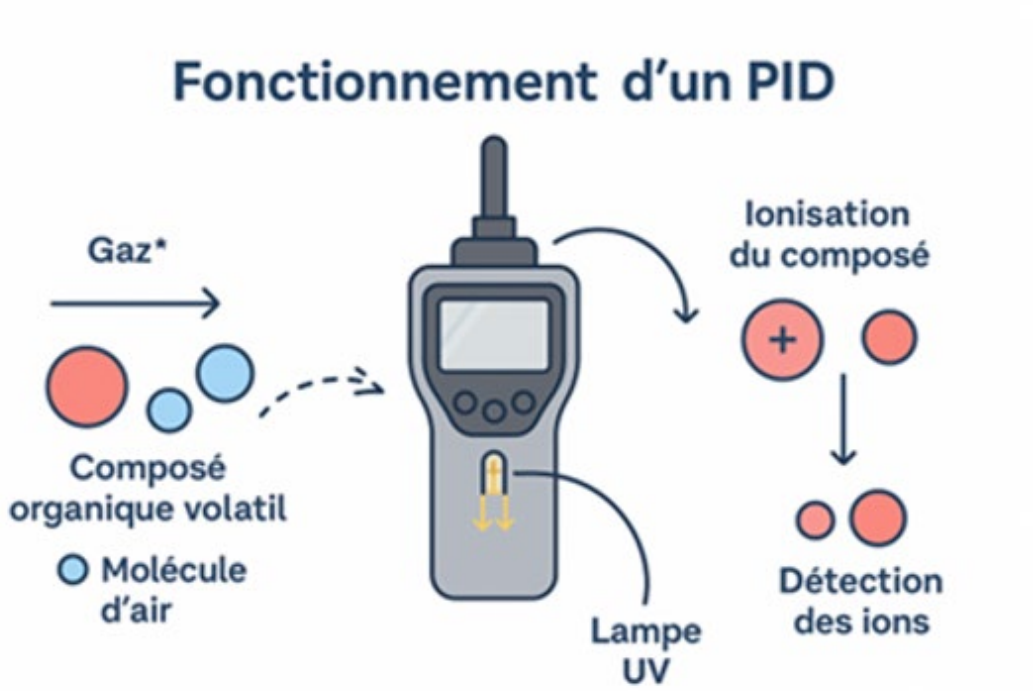
METHODES DE CARACTÉRISATION DES MICROPLASTIQUES DANS L'ENVIRONNEMENT

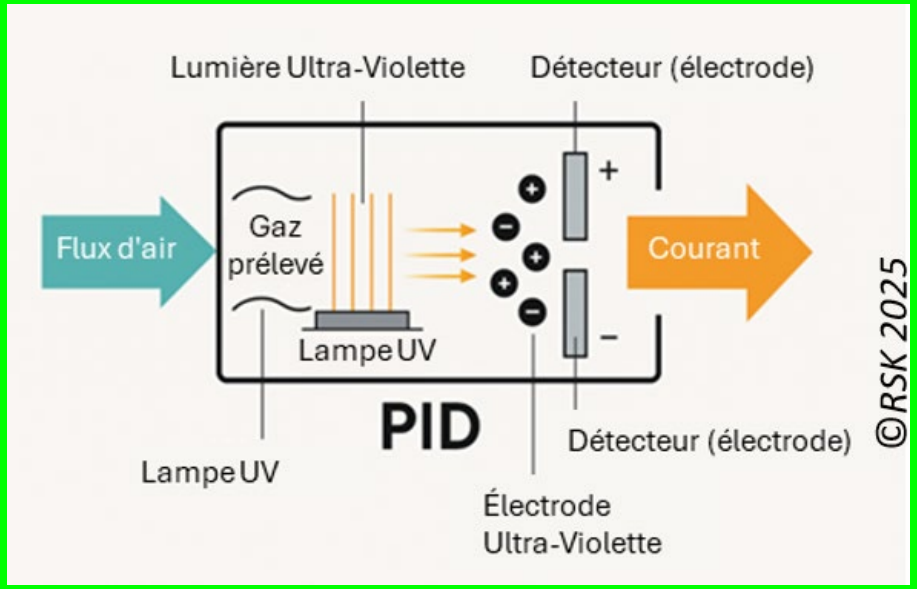


Data sensitivity - Public

LE DÉTECTEUR À PHOTO-IONISATION PID

NOUVELLES FICHES TECHNIQUES ÉPROUVÉES





Built by RX In the business of building businesses

pollutec LÀ OÙ S'INVENTE LE MONDE DURABLE

Data sensitivity - Public

NOUVELLES FICHES TECHNIQUES EPROUVEES 2025

LE DÉTECTEUR À PHOTOIONISATION (PID)

Une mesure qualitative en temps réel des COV dans l'air ambiant et les gaz du sol.

Pourquoi ?

- Mesure semi-quantitative permet d'apprécier en temps réel la concentration composés organiques volatils (COV) présents dans l'air ou les gaz du sol,
- Permet d'orienter les prélèvements et définir des zones ou secteurs méritant des analyses approfondies (technique de screening),
- Permet de déclencher des mesures de sécurité immédiates.

Principe :

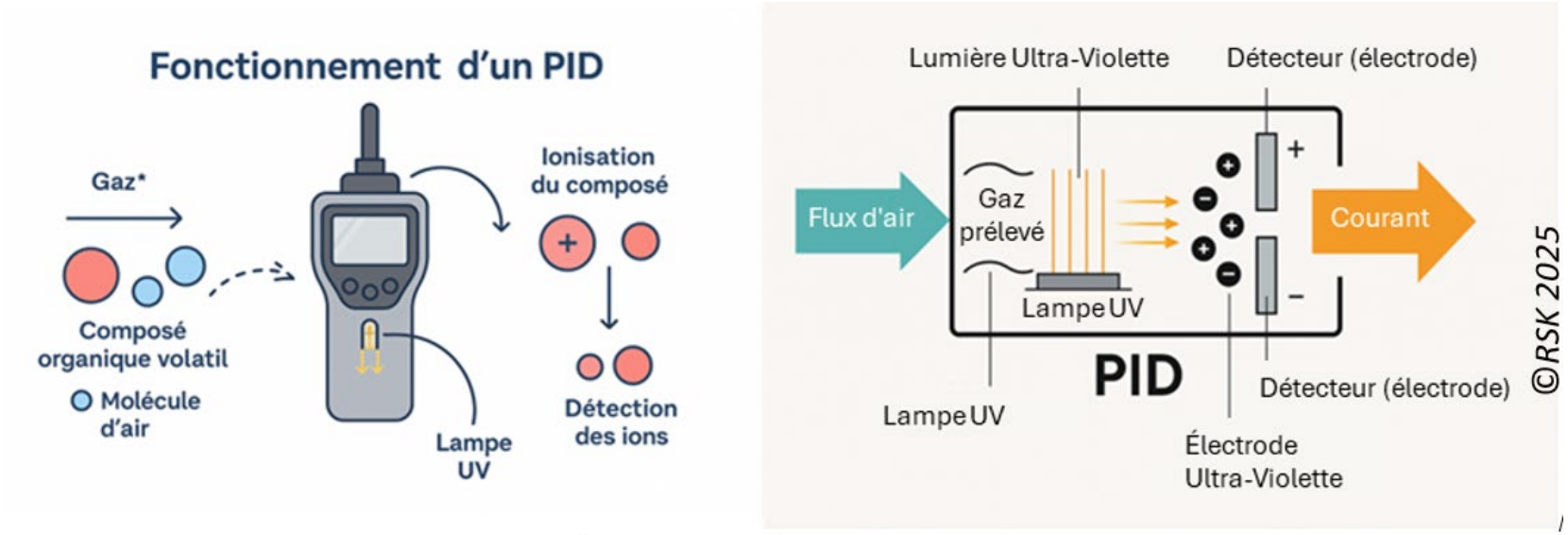
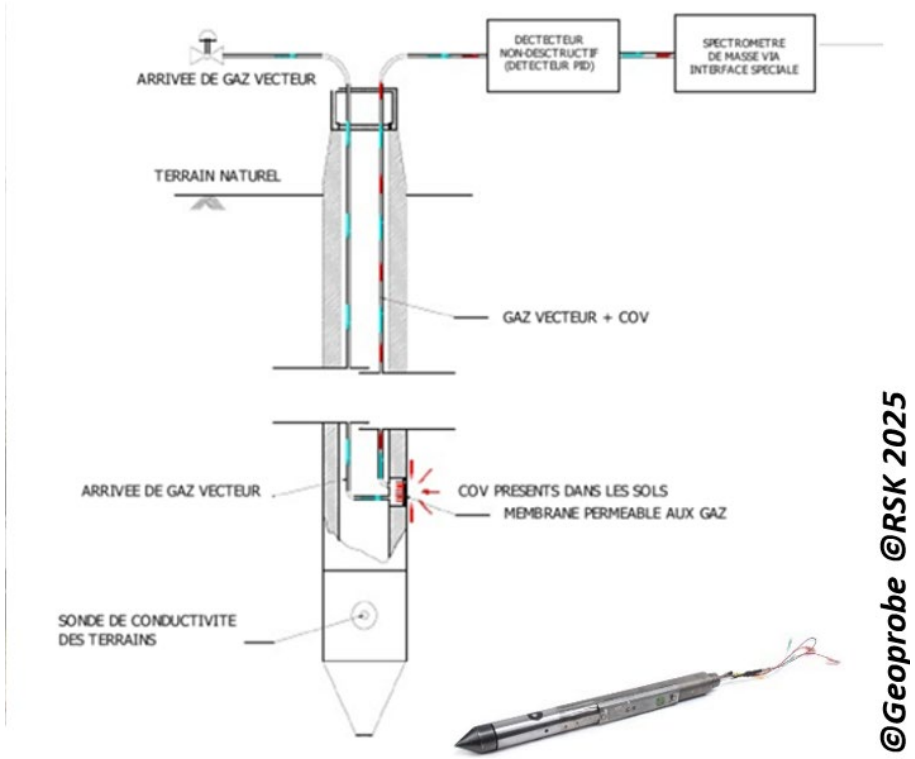


Schéma de fonctionnement du PID

Built by RX In the busir building bu
pollutec LÀ OÙ S'INVENTE LE MONDE DURABLE
Data sensitivity - Public

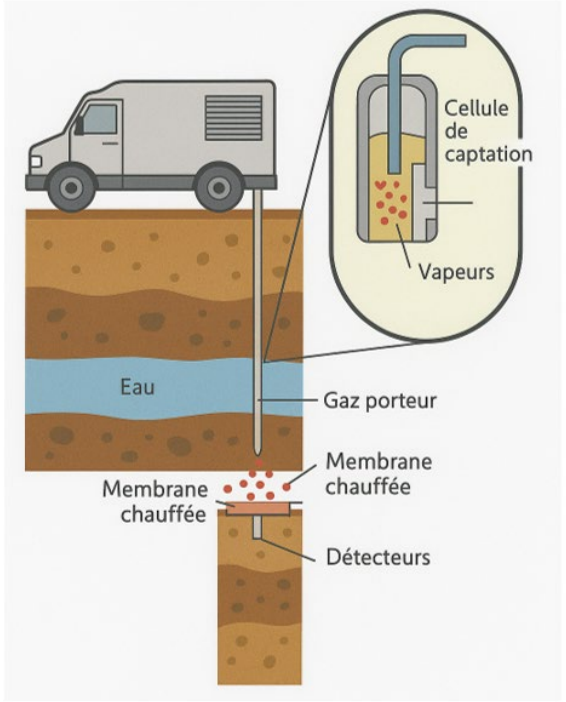
LA SONDE À INTERFACE MEMBRANAIRE MIP

NOUVELLES FICHES TECHNIQUES ÉPROUVÉES



©Geoprobe ©RSK 2025

Technique d'analyse semi-quantitative *in situ* sans prélèvement et en temps réel des COV présents dans les sols ou les eaux souterraines



©RSK – 2025

Schéma de fonctionnement d'une sonde MIP

Built by RX In the business of building businesses

Data sensitivity - Public

NOUVELLES FICHES TECHNIQUES EPROUVEES 2025

LA SONDE À INTERFACE MEMBRANAIRE (MIP)

Détection *in situ* en temps réel des COV dans les sols et les eaux souterraines

Pourquoi ?

- Technique d'analyse semi-quantitative in situ sans prélèvement et en temps réel des COV présents dans les sols ou les eaux souterraines,
- Pour localiser précisément et rapidement les sources de pollution,
- Pour orienter les investigations, cibler les zones à enjeux, et ajuster les stratégies de dépollution.

Principe :

- La sonde MIP est enfoncée dans le sol à l'aide d'un dispositif direct push,
- La membrane semi-perméable est chauffée (120–130 °C) permettant de volatiliser les COV présents dans le sol ou la nappe,
- Les vapeurs traversent la membrane et sont transportées en surface par un gaz porteur vers un ou plusieurs détecteurs,
- Les signaux générés sont proportionnels à la concentration des polluants du milieux traversé, mais ne donnent pas une concentration exacte sans calibration spécifique (mesure semi-quantitative),
- Le système d'acquisition synchronise ces mesures avec la profondeur d'avancement : obtention d'un profil vertical, en temps réel, de la distribution des COV.

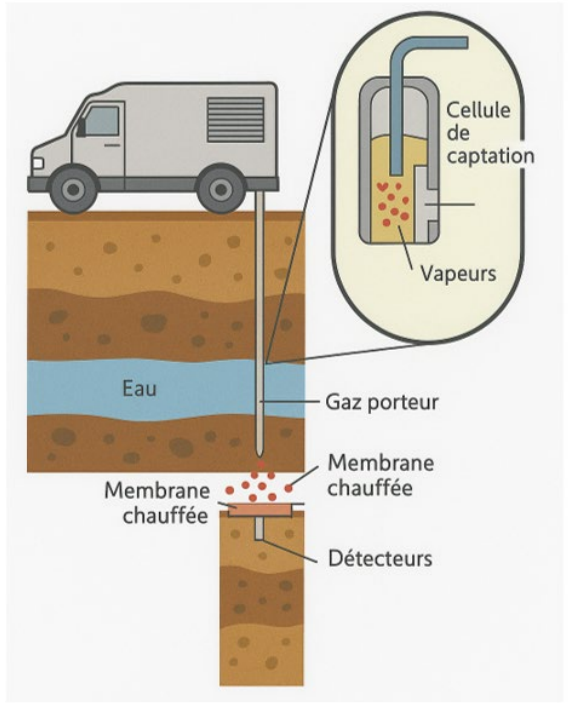


Schéma de fonctionnement d'une sonde MIP

Built by RX In the business of building businesses

pollutec LÀ OÙ S'INVENTE LE MONDE DURABLE

Data sensitivity - Public

NOUVELLES FICHES TECHNIQUES EPROUVEES 2025

LA SONDE À INTERFACE MEMBRANAIRE (MIP)

Avantages :

- Différents capteurs disponibles selon les COV ciblés.
- Mobilisable en une journée et pas de délais d'analyse (mesure en temps réel),
- Fonctionne de manière autonome depuis un véhicule ou une plate-forme,
- Ne nécessite aucun prélèvement.
- Produit un profil vertical continu de la présence de COV,
- Couplage possible avec d'autres capteurs HPT (perméabilité) et EC (conductivité).

Inconvénients :

- Se limite aux polluants les plus volatils (point d'ébullition inférieur à 200°C).
- Nécessite un accès au site compatible avec l'utilisation d'un dispositif de type direct push,
- Peu adaptée aux sols consolidés,
- Coût de mobilisation significatif en cas d'intervention sur un nombre limité de sondage,
- Ne permet ni l'identification exacte, ni la quantification directe des composés,
- L'interprétation des signaux nécessite des recoupements par des analyses ciblées.

Délais :
Opérationnelle en 1 heure,
50 à 80 m linéaires sondables/ jours,
Résultats directement visualisables et interprétables,
Traitement approfondi des données en quelques jours.

Coûts :
Coût journalier incluant l'analyse, le matériel, les opérateurs et le traitement des résultats : 2 500 à 4 500 € HT, .

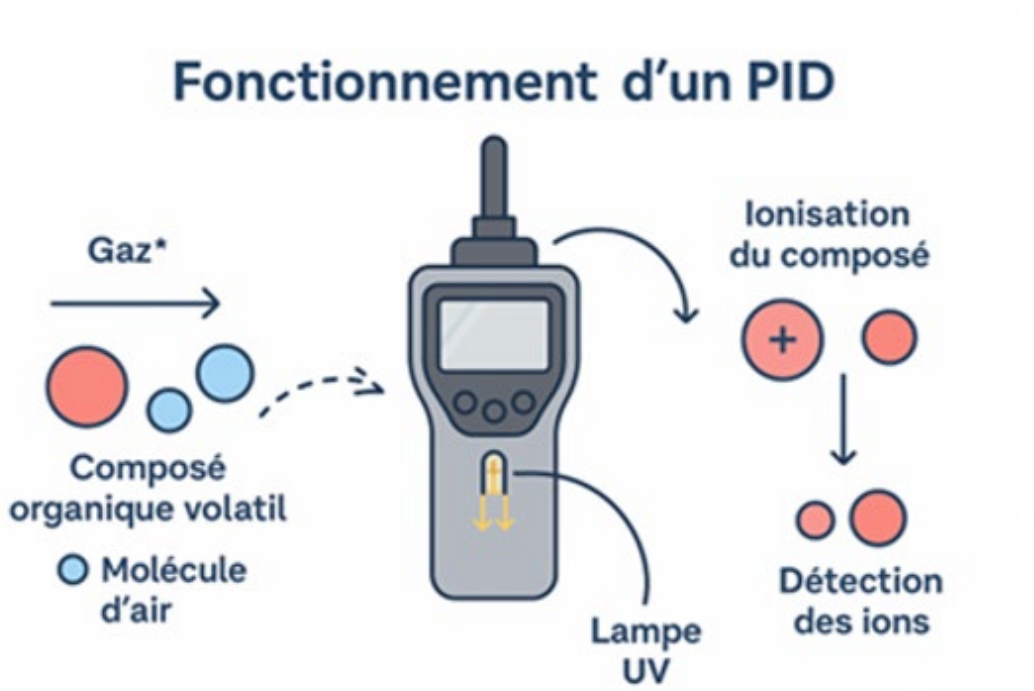
Built by RX In the business of building businesses

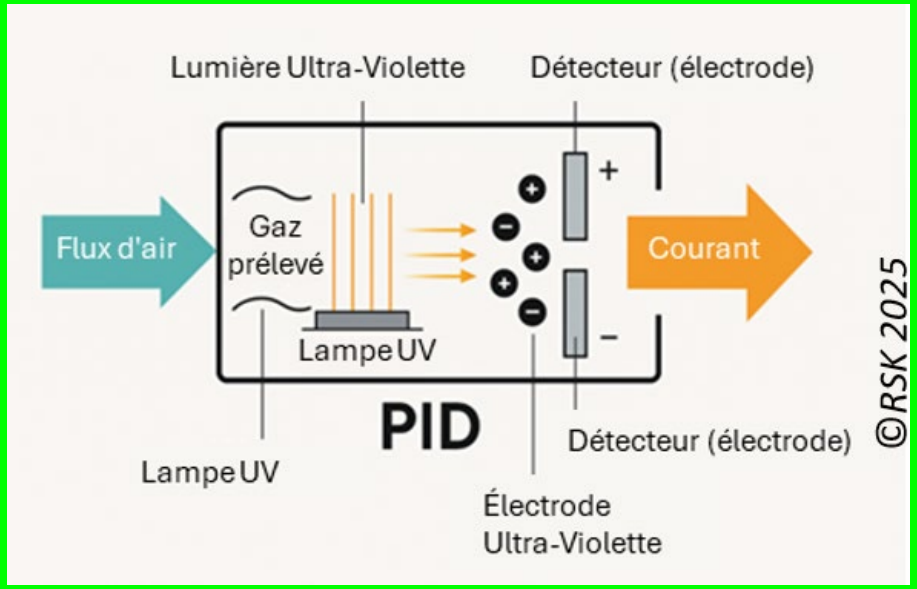
pollutec LÀ OÙ S'INVENTE LE MONDE DURABLE

Data sensitivity - Public

LE DÉTECTEUR À PHOTO-IONISATION PID

NOUVELLES FICHES TECHNIQUES ÉPROUVÉES





Built by RX In the business of building businesses

pollutec LÀ OÙ S'INVENTE LE MONDE DURABLE

Data sensitivity - Public

LE DÉTECTEUR À PHOTO-IONISATION PID

POURQUOI EST-CE UN ACCESSOIRE INDISPENSABLE AUX SSP ?







EQUIPEMENT OBLIGATOIRE CERTIFICATION LNE NFX 31-620

APPRÉCIATION PRÉSENCE COV – IMPACT ENVIRONNEMENTAL

SUIVI D'OPÉRATIONS DE PRÉLÈVEMENTS – SÉLECTION ET REPRÉSENTATIVITÉ

SUIVI DES TRAVAUX DE DÉPOLLUTION

OUTIL D'ÉVALUATION DE L'EXPOSITION (SANTE-SÉCURITÉ)

Built by RX In the business of building businesses

Data sensitivity - Public

LE DÉTECTEUR À PHOTO-IONISATION PID

QUELLES SONT LES AVANTAGES LIÉS À SON UTILISATION ?

- **Facilité d'utilisation**
- **Technique portable utilisable dans des environnements variés.**
- **Coût réduit par rapport aux méthodes de prélèvement et d'analyse différée en laboratoire.**
- **Simplicité des opérations d'étalonnage**
- **Mesures instantanées, en temps réel, et semi-quantitative en COV.**

Built by RX In the business of building businesses

pollutec LÀ OÙ S'INVENTE LE MONDE DURABLE

Data sensitivity - Public

LE DÉTECTEUR À PHOTO-IONISATION PID

QUELLES SONT LES DIFFICULTÉS LIÉES À SON UTILISATION ?



ADAPTATION DE L'ÉNERGIE DE LA LAMPE UV

NÉCESSITÉ DE VÉRIFICATION – CALIBRAGE (ÉTALON ISOBUTYLÈNE)

OUTIL SENSIBLE À L'HUMIDITÉ ET TEMPÉRATURES BASSES
CONDENSATION DANS LE PRÉ-FILTRE ET LA CHAMBRE DE MESURE

NE MESURE PAS L'ENSEMBLE DES COMPOSÉS AVEC LA MÊME EFFICACITÉ

MESURE QUALITATIVE À SEMI-QUANTITATIVE - NÉCESSISTÉ D'ANALYSES EN LABO

Built by RX In the business of building businesses

pollutec LÀ OÙ S'INVENTE LE MONDE DURABLE

Data sensitivity - Public

NOUVELLES FICHES TECHNIQUES EPROUVEES 2025

LE DÉTECTEUR À PHOTOIONISATION (PID)

Avantages :

- Bonne sensibilité à de nombreux COV.
- Technique portable utilisable dans des environnements variés.
- Coût réduit par rapport aux méthodes de prélèvement et d'analyse différée en laboratoire.
- Simplicité des opérations d'étalonnage.
- Mesures instantanées, en temps réel, et semi-quantitative en COV.

Inconvénients :

- Ne permet pas d'identifier les composés présents.
- Certains polluants peuvent être mal ou pas détectés en cas d'utilisation d'une lampe à 10,6 eV.
- Nécessite l'application d'un protocole rigoureux et d'une prise en compte des conditions de mesure.
- Ne peut être utilisé en zone ATEX sans certification spécifique.
- La réponse du PID peut être influencée par les conditions environnementales (humidité, poussières, température, etc.).
- Les résultats doivent être confirmés par des méthodes analytiques normalisées.

Délais :
Compter moins d'une heure pour le déploiement sur le terrain (incluant étalonnage et vérifications), et l'obtention de la mesure.

Coûts :
Location du matériel : 150 à 250 €/jour,
Achat: 6 000 € à l'achat,
Etalonnage et l'entretien annuel : 200 à 300 €.

Data sensitivity - Public

LE DÉTECTEUR À PHOTO-IONISATION PID

La mesure au PID peut être un outil de sélection des échantillons à analyser.

Nom sondage			Seuil de coupure	C10	C10	C10	C10	C10
Nom échantillon				C10 (5,2-6)	C10 (6-7,35)	C10 (7,35-8,4)	C10 (8,4-9,6)	C10 (9,6-10,8)
Profondeur / sol (m)				5,2-6	6-7,35	7,35-8,4	8,4-9,6	9,6-10,8
Date de prélèvement				19-10-2023	19-10-2023	19-10-2023	19-10-2023	19-10-2023
Date d'analyse				25-10-2023	25-10-2023	25-10-2023	25-10-2023	25-10-2023
Lithologie				Marnes avec interlits sableux	Sables marneux	Marnes	Marnes	Calcaires
PID (ppm)				641	34	520	284	755
Paramètre	**Unité**	***LQ***						
COMPOSES AROMATIQUES VOLATILS								
benzène	mg/kg MS	<0,02		*<0,02*	*<0,02*	*<0,02*	*<0,02*	*<0,02*
BTEX totaux	mg/kg MS	<0,02	180	130	0,15	9,3	12	59
COMPOSES ORGANO HALOGENES VOLATILS								
tétrachloroéthylène	mg/kg MS	<0,02		*<0,02*	*<0,02*	*<0,02*	0,07	0,03
trichloroéthylène	mg/kg MS	<0,02	20	0,02	*<0,02*	0,04	0,34	0,13
cis-1,2-dichloroéthène	mg/kg MS	<0,02	55	0,88	0,1	14	130	12
chlorure de vinyle	mg/kg MS	<0,02		*<0,02*	*<0,02*	0,02	1,1	*<0,02*
HYDROCARBURES TOTAUX								
Hydrocarbures Volatils C5-C10	mg/kg MS	<10	1200	990	*<10*	54	29	*n.a.*
fraction C10-C12	mg/kg MS	<5		650	*<5*	*<5*	370	*n.a.*
hydrocarbures totaux C10-C40	mg/kg MS	<20	2400	810	*<20*	*<20*	450	*n.a.*

Les mesures de COV faites au PID sont **qualitatives** (voire semi-quantitatives) et ne constituent pas des mesures à valeur juridique.

Elles ne peuvent servir seule à tirer des conclusions sur un diagnostic et encore moins sur une évaluation des risques sanitaires.

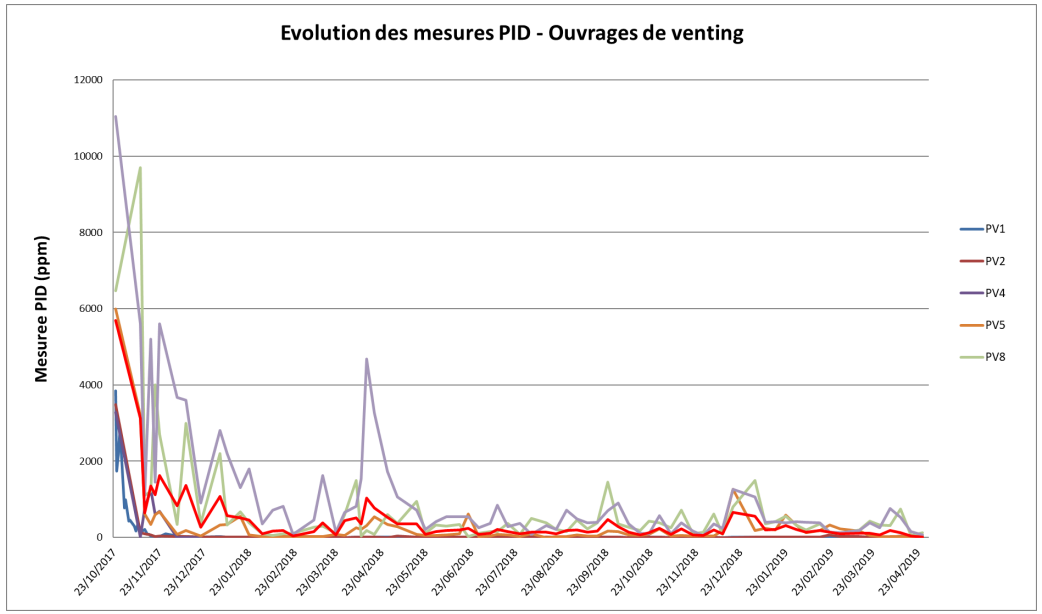
2. DESCIPTIONS DES INVESTIGATIONS

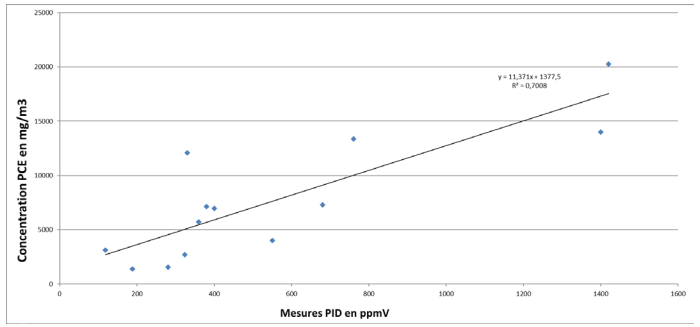
Prof. (m)	Code éch.	Figuré	Arrivée d'eaux (m)	Description lithologique	Observation et indices organoleptiques	Teneur en COV (ppmV)
0,15	'		-	Dalle béton	Pas de mesures	-
1,2	C10(0,15-1,2)		-	remblai terro-graveleux hétérogènes, disparates	Sol brun très foncé, aucunes odeurs	2,5
2,4	C10(1,2-2,4)		-	remblai terro-graveleux hétérogène, disparate avec gravats multiformes	Sol noircis, odeur de naphtalène	14,8
3,6	C10(2,4-3,6)		-	terrain naturel alluvionnaires sablo-limoneux	Aucunes traces ni odeurs significatives	35,3
4,5	C10(3,6-4,5)		-	terrain naturel de plus en plus marneux	Aucunes traces ni odeurs significatives	227,6
5,2	C10(4,5-5,2)		-	Marne calcareuse de plus en plus dense	Sol de plus en plus grisé et imprégné de manière diffuse (tâches gris foncé), odeurs d'HCT	11,6
6	C10(5,2-6,0)		-	Marne entrecoupée de très minces filons micro-sablonneux gris très foncé	Sol gris très foncé, forte odeur de COHV et d'HCT	641,3
7,35	C10(6,0-7,35)		-	terrain naturel sablo-marneux	Sol vert de gris clair odeur indéterminée	34,8
8,4	C10(7,35-8,4)		-	terrain naturel marneux, puis marne calcareuse, puis calcaro-marneuse	Pas de trace, forte odeur de COHV	520,4
9,6	C10(8,4-9,6)		-	terrain naturel marneux humidifiés	Très forte odeur de COHV	284,7
10,8	C10(9,6-10,8)		-	terrain naturel, calcaire rocheux de Saint-Ouen de plus en plus cohérent	Très forte odeur de COHV, solvant à priori	755,3

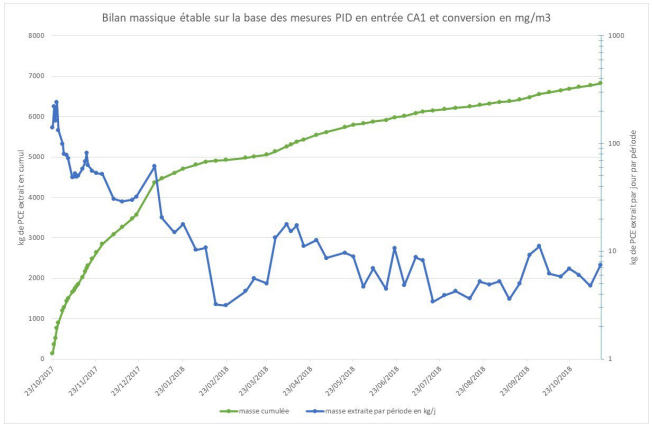
pollutec
LÀ OÙ S'INVENTE LE MONDE DURABLE

LE DÉTECTEUR À PHOTO-IONISATION PID

SUIVI DES TRAVAUX DE DÉPOLLUTION - VENTING







OUTIL EFFICACE POUR LE SUIVI DES CONCENTRATIONS DES GAZ DES SOLS EN COURS DE DÉPOLLUTION Y INCLUS LES EFFETS REBOND EN FIN DE TRAITEMENT

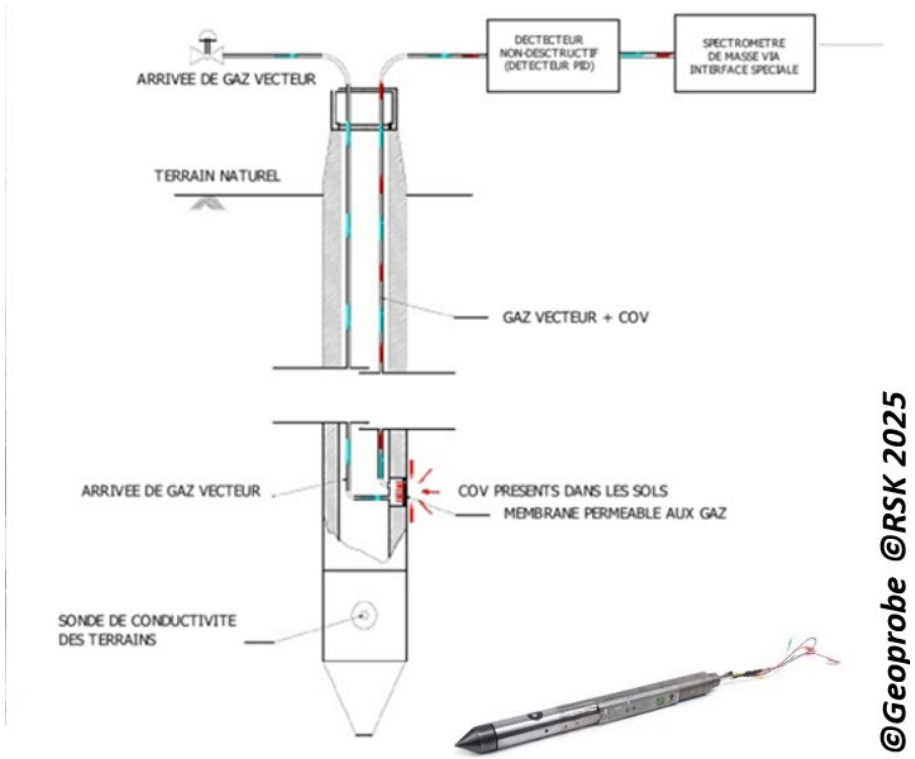
EN CAS DE MONO-POLLUANT (EXEMPLE PCE) ET PAR CORRÉLATION DES MESURES PID – RÉSULTATS LABO, LES MESURES PERMETTENT UN AFFINEMENT DU BILAN MASSIQUE

Built by RX In the business of building businesses

Data sensitivity - Public

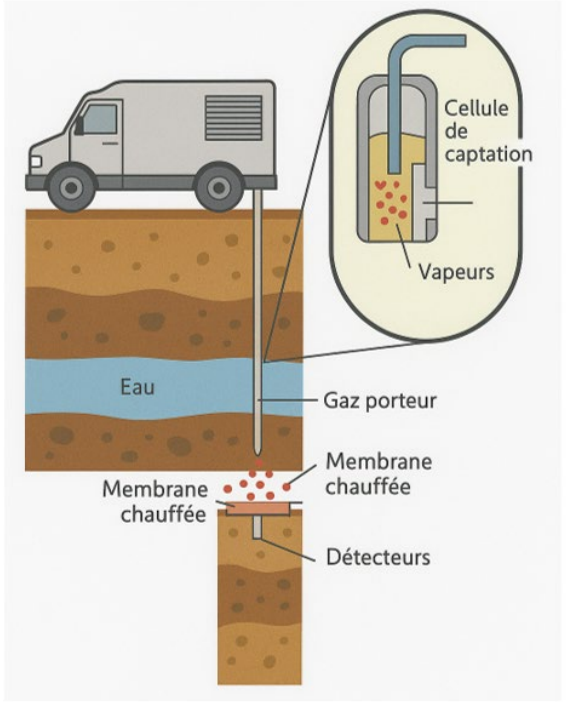
LA SONDE À INTERFACE MEMBRANAIRE MIP

NOUVELLES FICHES TECHNIQUES ÉPROUVÉES



©Geoprobe ©RSK 2025

Technique d'analyse semi-quantitative in situ sans prélèvement et en temps réel des COV présents dans les sols ou les eaux souterraines



©RSK – 2025

Schéma de fonctionnement d'une sonde MIP

Built by RX In the business of building businesses

pollutec LÀ OÙ S'INVENTE LE MONDE DURABLE

Data sensitivity - Public

LA SONDE À INTERFACE MEMBRANAIRE MIP

QUELS SONT LES TERRAINS LES PLUS ADAPTÉS A LA SONDE MIP ET CEUX POUR LESQUELS IL CONVIENT DE RESTER PRUDENT ?

- Adapté aux sols peu compacts (sables, alluvions peu graveleuses …) ;
- Difficultés de mise en œuvre dans les formations très compactes ou cémentées ;
- Pas adaptée aux terrains graveleux, aux alluvions grossières et aux moraines ;
- Dans un sol très argileux, la faible diffusion des polluants vers la membrane peut limiter la détection des COV,

IL EST DONC NÉCESSAIRE DE :

- CONNAITRE L'ORGANISATION DES TERRAINS ET LA PRÉSENCE DE STRUCTURES INFLUENÇANT LES TRANSFERTS VERTICAUX ET HORIZONTAUX DES POLLUANTS
- RÉALISER DES TESTS PRÉLIMINAIRES SUR UN OU DEUX POINTS PILOTES POUR VALIDER LES RÉGLAGES, ET L'APTITUDE DU TERRAIN À ÊTRE TRAVERSÉ PAR LA SONDE
- S'ASSURER DE L'ACCESSIBILITÉ DES ZONES À INVESTIGUER ET PRÉVOIR LES MESURES DE SÉCURITÉ ASSOCIÉES (DÉTECTION RÉSEAUX, ATEX SI BESOIN)

Built by RX In the business of building businesses

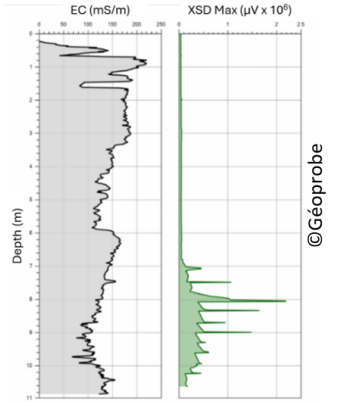
pollutec LÀ OÙ S'INVENTE LE MONDE DURABLE

Data sensitivity - Public

LA SONDE À INTERFACE MEMBRANAIRE MIP

QUELS SONT LES SUBSTANCES CONCERNÉES ?

- Les COV : hydrocarbures légers de type BTEX, essences, et solvants chlorés (trichloroéthylène, perchloroéthylène, etc.).
- Dépend du détecteur couplé : PID, FID ou XSD, chaque détecteur ayant ses propres plages de sensibilité
- Les composés semi-volatils (point d'ébullition > 200°C) ou peu mobiles peuvent donner un signal atténué ou non détectable.



Profil MIP montrant à gauche la conductivité électrique (EC) du sol et à droite, les signaux d'un détecteur MIP-XSD

Les familles de polluants ciblés doivent être préalablement identifiées afin d'anticiper leur compatibilité avec les détecteurs disponibles

POINTS DE VIGILANCE :

- Un signal positif peut résulter d'un mélange de composés, sans qu'il soit possible de les identifier précisément, ni de les quantifier,
- Une humidité élevée des sols (>85%), une température proche de 0°C, ou une perméabilité faible peuvent réduire la volatilisation des COV et limiter leur détection,
- Les profils MIP doivent être systématiquement recoupés avec d'autres données (analyses, sondages, piézairs, etc.).

Built by RX In the business of building businesses

pollutec LÀ OÙ S'INVENTE LE MONDE DURABLE

Data sensitivity - Public

LA SONDE À INTERFACE MEMBRANAIRE MIP

FAUT-IL UNE CALIBRATION ?

La calibration est à faire avant et après chaque sondage,

La sonde, la membrane, la ligne de corps et les détecteurs doivent faire l'objet de tests par l'injection dans le circuit de gaz standards de concentration connue, (ex isobutylène),

Une vérification à l'air ambiant propre (bouteille de gaz d'air ou d'azote synthétique) est recommandée afin de s'assurer de l'absence de dérive ou de pollution résiduelle du système.

En cas de pollutions concentrées, un détergent adapté (Alconox) ou un débit d'azote peuvent être utilisés pour nettoyer le matériel entre les sondages.

A QUOI SERT LA CALIBRATION ?

A GARANTIR LA FIABILITÉ DES DONNÉES

Built by RX In the business of building businesses

pollutec LÀ OÙ S'INVENTE LE MONDE DURABLE

Data sensitivity - Public

LA SONDE À INTERFACE MEMBRANAIRE MIP

POURQUOI CETTE TECHNIQUE EST-ELLE PEU UTILISÉE ?

- On ne se préoccupait pas des gaz du temps des VDSS quand la technique est sortie (développement ralenti) ;
- Coûts importants (par rapport aux sondages ou aux gaz des sols) ;
- Mauvaise utilisation du MIP ayant conduit à des données erronées, généralement en raison d'une mauvaise calibration ou d'un mauvais entretien des appareils.

- Nécessite d'avoir des personnes formées à l'utilisation de la sonde MIP et à l'interprétation des données sur le site
- Nécessité d'avoir du matériel calibré

Built by RX In the business of building businesses

Data sensitivity - Public

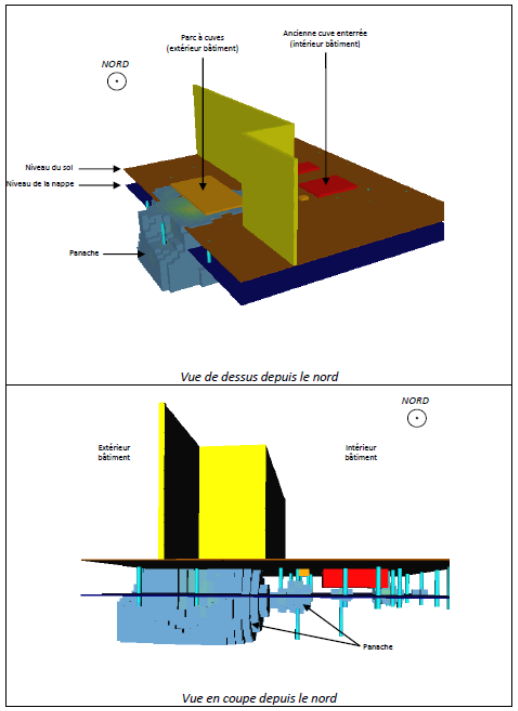
pollutec LÀ OÙ S'INVENTE LE MONDE DURABLE

LA SONDE À INTERFACE MEMBRANAIRE MIP

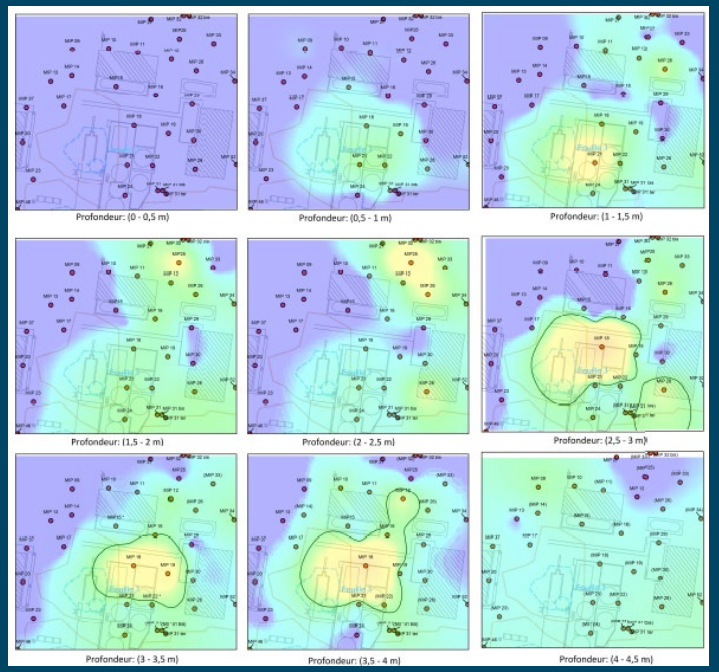
REX :

- **Outil très utile pour rechercher les phases NAPL ou DNAPL en relation avec le niveau de la nappe et/ou la géologie, voir la progression des panaches avec la profondeur et orienter et dimensionner les diagnostic approfondis et les techniques de dépollution.**

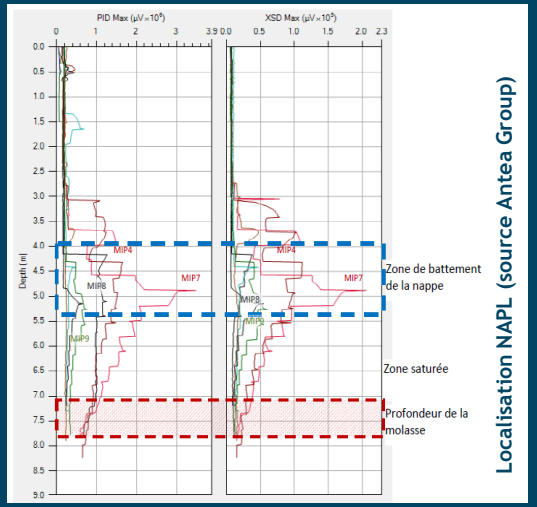
- Couplage nécessaire avec sondages carottés ou prélèvements d'eau souterraines (piézomètres ou échantillons ponctuels avec Géoprobe) ;
- Corrélation in situ avec température sonde, conductivité électrique (EC) ou texture du sol (CPT) ;
- Atout d'une sonde MIP avec HPT (hydraulic profiling tool) permettant d'estimer la conductivité hydraulique des formations rencontrées ;
- Couplage possible avec analyses GC/MS sur site.



(Source Antea Group)



Interpolation (par tranche de sol depuis la surface) des réponses MIP (détecteur PID) - Localisation NAPL (Source Antea Group)



Built by RX In the business of building businesses

Data sensitivity - Public

pollutec LÀ OÙ S'INVENTE LE MONDE DURABLE

LA SONDE À INTERFACE MEMBRANAIRE MIP

QUAND DÉCIDE T'ON DE PARTIR AVEC CETTE TECHNIQUE ?

- Lorsqu'une pollution par des **COV** est suspectée, en profondeur ou non, dans la zone saturée ou non saturée. Sur des sites à **sources diffuses ou multiples**, lorsqu'il est nécessaire d'obtenir une lecture continue du sous-sol,
- Dans des **environnements contraints** où la densité des points d'investigations est limitée ou lorsque le temps imparti à la caractérisation est réduit,
- Adaptée aux **terrains meubles à moyennement compacts**, présentant une bonne pénétrabilité et une perméabilité modérée à élevée. Déployable **jusqu'à 15 m** dans les terrains favorables si l'accès au site est compatible avec un véhicule porteur ou une sondeuse embarquée.

TECHNIQUE UTILISABLE :

- Lors des phases d'investigations environnementales et de diagnostic initial et lors de caractérisations complémentaires : permet de guider l'implantation des prélèvements ou la position des ouvrages (piézomètres, piézairs),
- En phase de dépollution : pour un suivi de l'efficacité des traitements in-situ, la vérification de l'abattement des sources et l'ajustement opérationnel des systèmes de pompage, d'injection ou de confinement.

Built by RX In the business of building businesses

Data sensitivity - Public

pollutec LÀ OÙ S'INVENTE LE MONDE DURABLE

MERCI POUR VOTRE ATTENTION !

DEJÀ 30 FICHES DISPONIBLES !

J'accède aux fiches techniques innovantes



NOUS CONTACTER

techniques-innovantes-ssp@brgm.fr

http://ssp-infoterre.brgm.fr/fiches-sites-sols-pollues-techniques-innovantes

Built by RX In the business of building businesses

pollutec LÀ OÙ S'INVENTE LE MONDE DURABLE