

## ETUDE RECORD

# SYSTÈMES ANALYTIQUES INNOVANTS DANS LE DOMAINE DES SITES ET SOLS POLLUÉS

Journées Techniques : Solutions innovantes  
in situ de Diagnostic et de Monitoring

Le 10 novembre 2022

# ORGANISATION DE LA PRÉSENTATION

---

1. **Présentation commanditaire et équipe projet setec lerm & setec hydratec**
2. **Objet de l'étude**
3. **Méthodologie retenue pour la conduite de l'étude**
4. **Recensement des technologies applicables in situ / sur site dans le domaine des SSP**
5. **Identification et approfondissement des technologies considérées comme « innovantes »**
6. **Focus N°1 sur une technique spécifique : les capteurs fonctionnant sur fibre optique**
7. **Focus N°2 sur une technique spécifique : la spectrométrie infrarouge portable**
8. **Conclusion et perspectives**



# PRÉSENTATION ASSOCIATION RECORD ET ÉQUIPE PROJET SETEC

# PRÉSENTATION ASSOCIATION RECORD ET ÉQUIPE PROJET SETEC

**Commanditaire :**

**Association RECORD**



RECORD : Réseau coopératif de recherche sur les déchets et l'environnement

## Objectifs

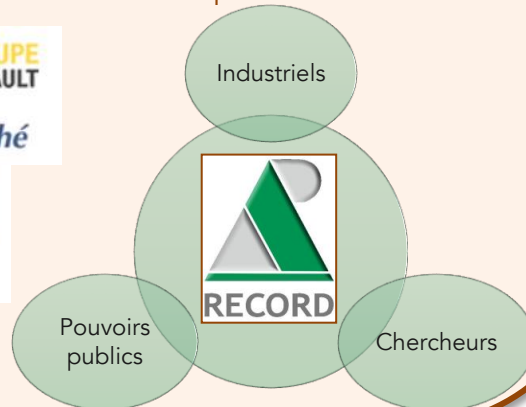
- Définition de programmes d'études et de recherches communs
- Espace de dialogue entre parties prenantes
- Production d'une base scientifique alimentant le dialogue

## Thématiques

- Méthodes et outils de caractérisation
- Développement des filières de valorisation et de traitement
- Evaluation des impacts et risques sanitaires et environnementaux
- Evaluation des dimensions économiques et sociales



Membres du réseau RECORD



**Equipe projet :**

**setec lerm  
setec hydratec**

## Groupe setec



INGENIERIE  
MULTIDISCIPLINAIRE



INGENIERIE  
INDÉPENDANTE



SECTEURS D'ACTIVITÉ  
MULTIPLES



- Expertise techniques analytiques de laboratoire
- Retours d'expérience appareillages in situ sur des sujets valorisation des déblais

- Expertise métiers SSP
- Appui réglementation et normes SSP
- Retours d'expérience sur certains dispositifs mis en œuvre

# OBJET DE L'ÉTUDE

# OBJET DE L'ÉTUDE

## Les objectifs de l'étude

### Besoin d'améliorer le diagnostic environnemental des SSP

- Par des techniques analytiques performantes
- Par des fréquences d'analyse renforcées

### Réaliser une analyse détaillée des outils de mesure rapide sur site déjà existants et émergents

- Caractérisation globale
- A destination des principaux polluants organiques et inorganiques
- Dans les matrices solides, liquides et gazeuses



## Questionnements

- Quel apport des dispositifs d'analyses miniaturisés / portables ?
- Quelle fiabilité de la mesure ?
- Quel positionnement par rapport aux méthodes classiques de laboratoire ?
- Quelles sont les forces et faiblesses des solutions nouvelles ?
- Quelles sont les tendances de fond ?
  
- Inventaire exhaustif des techniques mobilisables in situ et sur site
- Ciblage des techniques innovantes

## Frontières de l'étude

Techniques in situ, sur site voire en laboratoire mobile

Exclusion des technologies de prélèvement seules

Exclusion des techniques permettant la conservation et le transport d'échantillons

# MÉTHODOLOGIE RETENUE POUR LA CONDUITE DE L'ÉTUDE

# MÉTHODOLOGIE EMPLOYÉE

## Méthodologie appliquée pendant l'étude

Bornage de l'étude

Sélection des technologies innovantes

Durée totale = 10 mois

### 1<sup>ère</sup> phase

Création du répertoire des technologies d'investigation sur site / in situ

Inventaire construit en s'appuyant sur :

- Ressources bibliographiques « de référence » (dont BRGM)
- Travaux de référencement présent dans la littérature (ADEME, Bruxelles environnement)
- Recherches complémentaires (littérature scientifique, sites web et documentation fournisseurs, etc.)
- Retours d'expériences internes
- Echanges UPDS

### 2<sup>nde</sup> phase

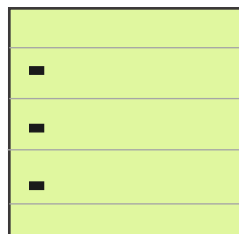
Approfondissement des technologies innovantes

Focus technologies innovantes fondés sur :

- Etude bibliographique ciblées (publications scientifiques, rapports techniques, manuscrits de thèse, etc.)
- Echanges par mails, visio et téléphone avec :
  - Fournisseurs de matériels
  - Utilisateurs des dispositifs



Formalisation sous forme de « fiche méthode »





# **INVENTAIRE DES TECHNOLOGIES UTILISABLES IN SITU ET SUR SITE EN CONTEXTE SSP**

# RECENSEMENT DES TECHNOLOGIES

## Contenu de l'inventaire : 23 technologies identifiées (1/2)

Numéro	Technologie	Matrice investiguée	Type de polluant investigué	In situ (lecture directe)	Portable sur site (autonome)	En laboratoire mobile
1	Analyse portable absorption atomique	eau	Métaux			x
2	Capteur ondes acoustique de surface (SAW)	direct push	COV, métaux, PCB	x		x
3	Capteur résistance chimique	sol	Pollutions organiques	x		
4	Chambre à flux	gaz	COV	x		
5	Chromatographie mobile phase gazeuse	sol	COV, BTEX, TCE et PCE, PCB			x
		eau				
		direct push		x		
		gaz				
6	Colorimétrie portable	sol	BTEX, HAP, HCT, PCB		x	x
		eau				
7	DSITMS (Direct Sampling ion trap mass spectroscopy)	sol	COV	x		x
		eau				
		direct push				
8	Imagerie hyperspectrale + machine learning	sol	HCT			x
9	Kit pour la détection des hydrocarbures - Petroflag	sol	HCT		x	
10	Kit pour la détection des PCB	sol	PCB		x	
11	Kit pour la détection d'hydrocarbures et d'eau - Hanbytest	sol	HAP		x	
		eau				
12	Kit pour la détection d'hydrocarbures totaux - Remediaid Kit	sol	HCT		x	

# RECENSEMENT DES TECHNOLOGIES

## Contenu de l'inventaire : 23 technologies identifiées (2/2)

Numéro	Technologie	Matrice investiguée	Type de polluant investigué	In situ (lecture directe)	Portable (autonome)	Laboratoire mobile (transportable)
13	LIBS portatif (laser induced breakdown spectroscopy)	sol	Métaux	x	x	
14	LIF (laser induced fluorescence)	sol	HAP	x	x	
		eau				
15	MIP (Membrane Interface Probe)	direct Push	COV	x		
16	OIP (Optical Image Profiler)	sol	HAP	x		
17	PID (photoionisation detector)	direct push	HAP, BTEX, HCT	x		
		gaz				
18	Sonde de forage gamma (radioactivité) + drone analyseur gamma	sol	Elements radioactifs	x		
19	Spectrofluorimétrie UV + Sonde microFlu	eau	HAP, BTEX, HCT	x	x	
		sol				
20	Spectrométrie portable IR	eau	HCT, BTEX, HAP		x	x
		sol				
21	XRF portatif	sol	Métaux	x	x	x
		direct push				
22	Capteurs fonctionnant sur fibre optique (dont capteur PetroSense)	eau	HCT	x		
23	Biocapteurs (dont capteur NODE)	eau	Pollution organique	x		

# FORMALISATION DE L'INVENTAIRE : FICHES TECHNIQUES

## Contenu et organisation des fiches techniques

Fiche méthode
-
-
-
-
-
-
-
-
-



### Principe de la méthode

–Description du mode de fonctionnement (principes physico-chimiques mis en œuvre)



### Modalités de mise en œuvre

–Présentation plus « pratique » de la technologie



### Retour d'expérience

–Mise en évidence des avantages et inconvénients associés à chaque technique sur la base de retours d'expérience



### Niveau de développement

–Caractère « courant » ou « innovant » de la méthodologie d'investigation



### Disponibilité (fournisseur et coût)

–Nombre de fabricants et dénomination  
–Coûts associés à la mise en œuvre de la solution



### Référentiel normatif et réglementaire

–Cadre normatif et/ou réglementaire dans lequel pourrait être employée la technologie (le cas échéant)

# SÉLECTION DES TECHNOLOGIES « INNOVANTES »

# DÉFINITION DU CARACTÈRE « INNOVANT »

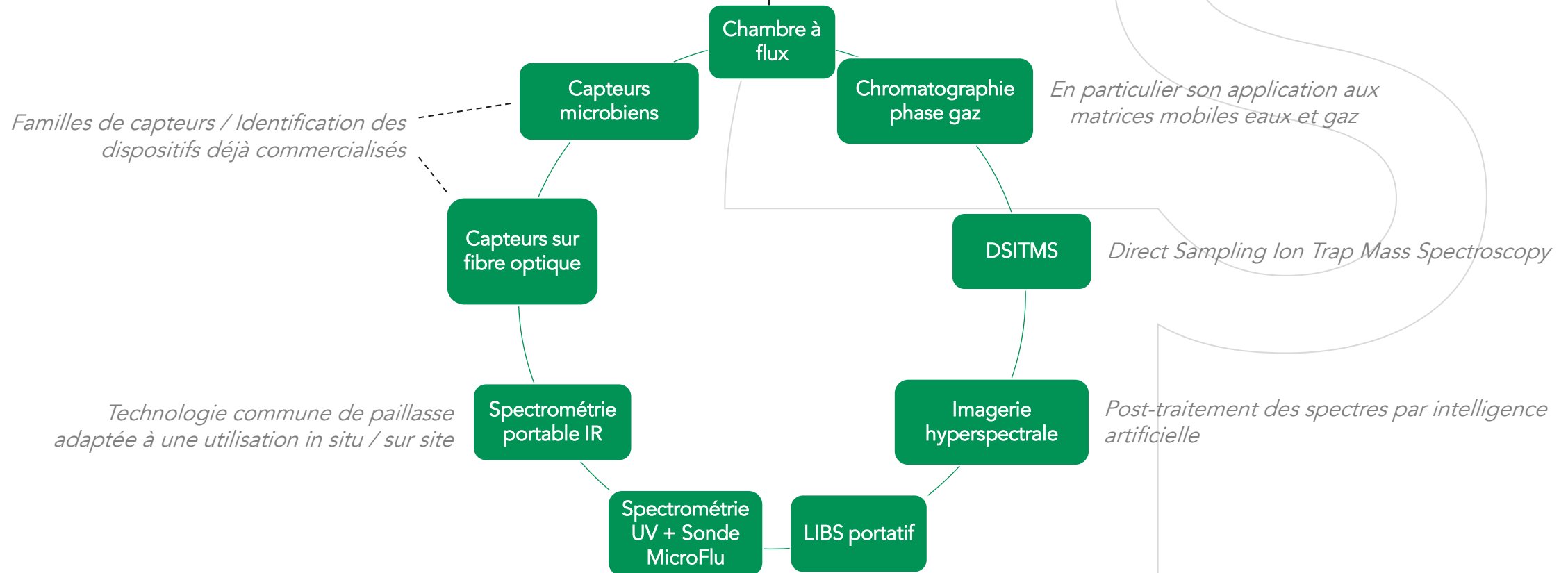
**Sous l'adjectif « innovant », plusieurs situations peuvent être identifiées en fonction des techniques :**

- **Cas 1 :** Dispositif de base assez couramment utilisé mais développements récents novateurs permettant des gains de temps, une plus grande facilité d'utilisation, des mesures simultanées de divers polluants, etc.
- **Cas 2 :** « Famille » d'outils reposant sur un même principe physique (ex : transport de la lumière par fibre optique) avec développements dans diverses directions
- **Cas 3 :** Miniaturisation d'appareillages de paillasse, les rendant portables d'où une acquisition des données sur site
- **Cas 4 :** Développement d'un matériel unique

# SÉLECTION DES TECHNOLOGIES « INNOVANTES »

## Techniques retenues comme « innovantes » au sein de l'inventaire des méthodes

*Ciblage des évolutions et innovations récentes du principe expérimental*



# **FOCUS 1 : CAPTEURS FONCTIONNANT SUR FIBRE OPTIQUE**

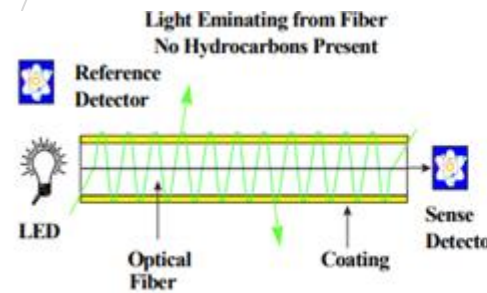


# FOCUS 1 : CAPTEURS FONCTIONNANT SUR FIBRE OPTIQUE

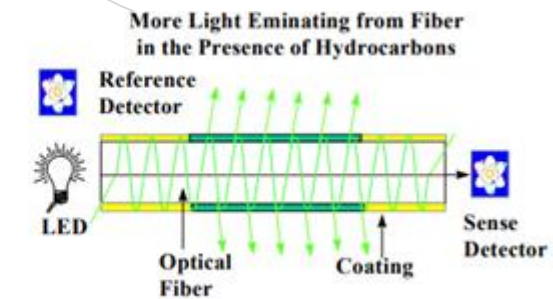
## Principe de fonctionnement

Différents modes de fonctionnement  
(Structuration de la fibre, capteurs et membranes associés, etc.)

Un principe général toutefois : signal optique variant selon la concentration / teneur en un polluant donné



Matrice investiguée : liquides et gaz  
Contaminants analysés : suivant la technique mise au point



## Entreprises / Equipes et projets de recherche

- **Société Tal Instruments – Capteur PetroSense (premier capteur chimique à fibre optique breveté) – Détection des hydrocarbures pétroliers totaux dans eaux liquides et vapeur**

*Pour les autres capteurs s'appuyant sur les technologies de fibre optique, plutôt à l'échelle du laboratoire / développement*



PetroSense Tal Instruments

# FOCUS 1 : CAPTEURS FONCTIONNANT SUR FIBRE OPTIQUE

## Points forts et faiblesses

Critère	Forces	Faiblesses
Adaptabilité de la technique aux contraintes de site	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Finesse et flexibilité de la fibre optique</li><li>➤ Peu de perte en ligne du signal</li><li>➤ Robustesse mécanique et vis-à-vis de l'agressivité chimique des environnements</li></ul>	
Qualité / Précision des mesures	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Utilisation du Petro Sense en monitoring ou en analyse individuelle</li><li>➤ Limite de détection relativement basse (0,1 ppm pour le xylène)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Les dispositifs commercialisés et utilisables à ce stade portent uniquement sur les hydrocarbures totaux (min. C6)</li></ul>

## Niveau de maturité

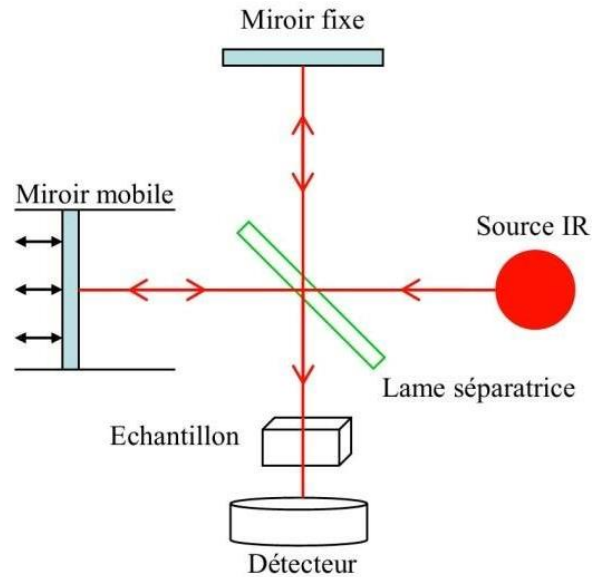
- Peu de matériels commercialisés à ce stade
- Technologie de la fibre optique en perpétuel développement avec multiplication des marchés cibles
- Les SSP pourraient en faire partie

# FOCUS 2 : SPECTROSCOPIE PORTABLE INFRAROUGE

# FOCUS 2 : SPECTROSCOPIE PORTABLE INFRAROUGE

Matrice investiguée : sols  
Contaminant analysé : HCT

## Principe de fonctionnement



## Descriptif synthétique du principe technique :

- Vibration/rotation des liaisons des molécules chimiques => changement du moment dipolaire
- Absorption caractéristique de la vibration d'une liaison spécifique => longueur d'onde spécifique à un type de liaison chimique
- Empreinte chimique de la molécule

## Entreprises / Equipes et projets de recherche

- Tal Instruments : RemScan (MIR)
- SI-Ware : Neospectra (NIR)



RemScan



NeoSpectra

# FOCUS 2 : SPECTROSCOPIE PORTABLE INFRAROUGE

## Points forts et faiblesses

Critère	Forces		Faiblesses	
	RemScan	Neospectra	RemScan	Neospectra
Facilité d'utilisation sur site / in situ	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Caractère aisément manipulable du dispositif</li> </ul>			
Qualité / Précision des mesures	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Technique qualitative et quantitative</li> </ul>			
	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Résultats très rapides (20 s)</li> <li>➤ Peut aussi donner la classe de texture du sol</li> <li>➤ Différents modes =&gt; mesure rapide (cartographie) et mesures quantitatives (nécessité de calibrer l'appareil)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Modèles de prédiction peuvent être générés</li> <li>➤ Autocalibration</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Calibration régulière nécessaire</li> <li>➤ RemScan : limitation pour les hydrocarbures &lt;C10</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Erreur autour de 10% pour les faibles teneurs</li> </ul>
Besoins en préparation de l'échantillon	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Préparation d'un échantillon non nécessaire si sec</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tous les échantillons peuvent être analysés, même les échantillons humides</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Si teneur en eau &gt; 5%, l'échantillon doit être séché</li> <li>➤ Nécessité de faire un zéro de l'étalonnage en analysant un échantillon de sol non contaminé</li> </ul>	

## Niveau de maturité

- Potentiel de développement du NeoSpectra car il ne nécessite aucun séchage de l'échantillon
- Technologie IR connue dans le domaine des SSP

# CONCLUSION ET PERSPECTIVES

# CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

## Conclusions

Identification des technologies émergentes potentiellement applicables in situ/sur site dans le domaine des SSP

Compréhension des principes techniques sur lesquels s'appuie les technologies

Diagnostic sur la maturité des solutions et le potentiel de développement

### Solutions à attendre dans le futur pour améliorer le diagnostic environnemental dans les SSP

- ✓ *Accélérer le délai de réponse*
- ✓ *Assurer le monitoring des sites (ex : en cours de traitement)*
- ✓ *Connaître les limites des solutions concernant la précision et la qualité des mesures*

## Livrables et communications à attendre

- Production par setec lerm et setec hydratec d'un rapport d'étude détaillé, intégrant les fiches par méthodologie en tant qu'annexes
- Une synthèse des livrables sera finalisée et mise à disposition de tous sur le 1er trimestre 2023.

Merci de votre attention

