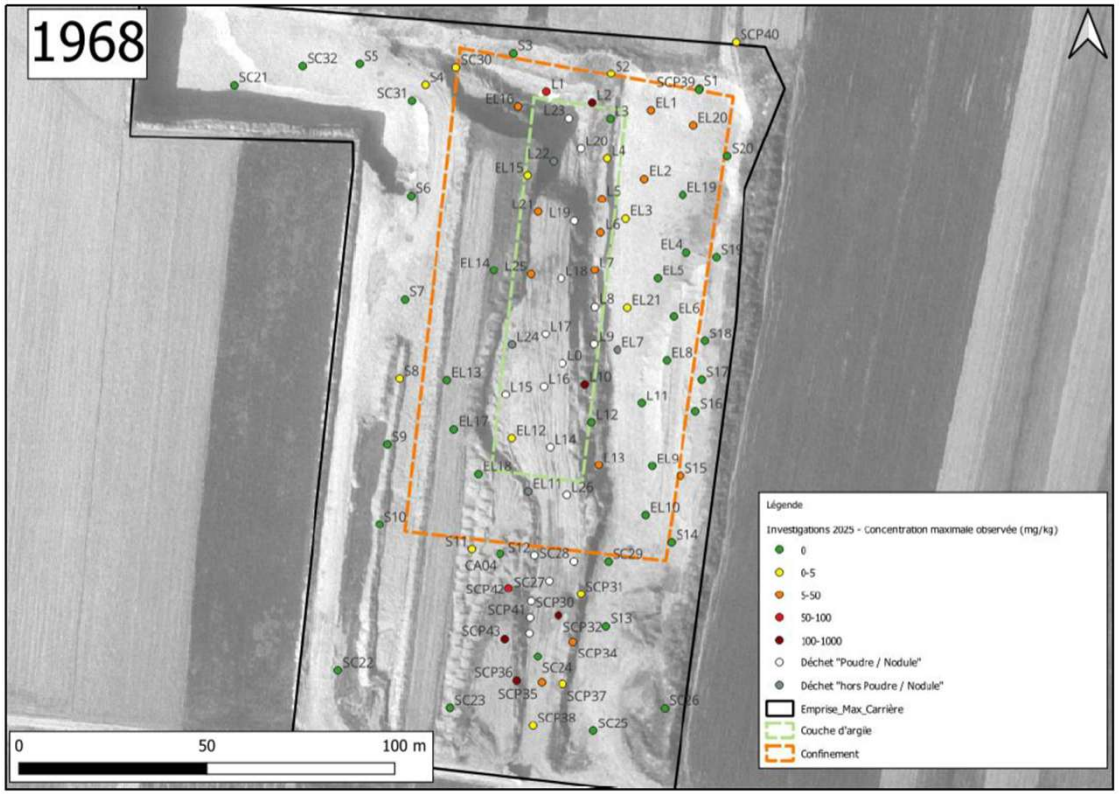
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté Égalité Fraternité

Intervention Nappe d'Alsace
Comité de Suivi Local – 12 octobre 2026





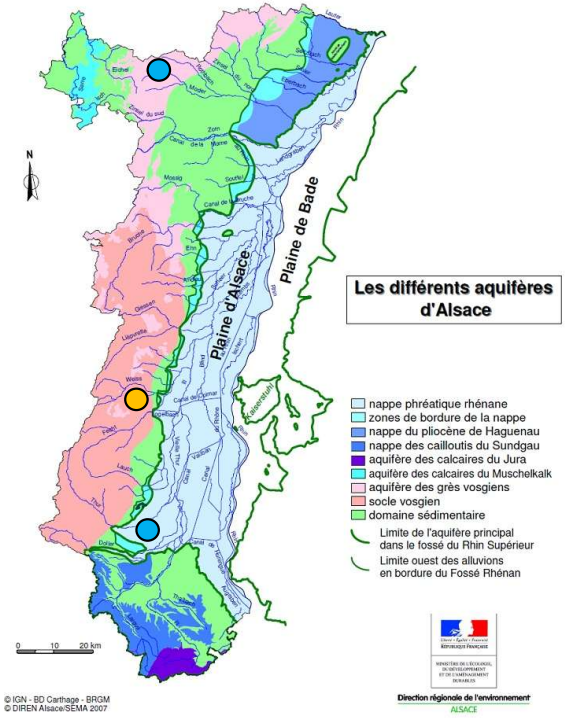
EnvirEauSol Ingénierie de l'Environnement · INTERA · ESTRALAB · marti · Galopin Génie étanchéité · INFRANEO · ALPES CONTRÔLES · SOCOTEC

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté Égalité Fraternité

SOMMAIRE

Introduction ***(ADEME)***

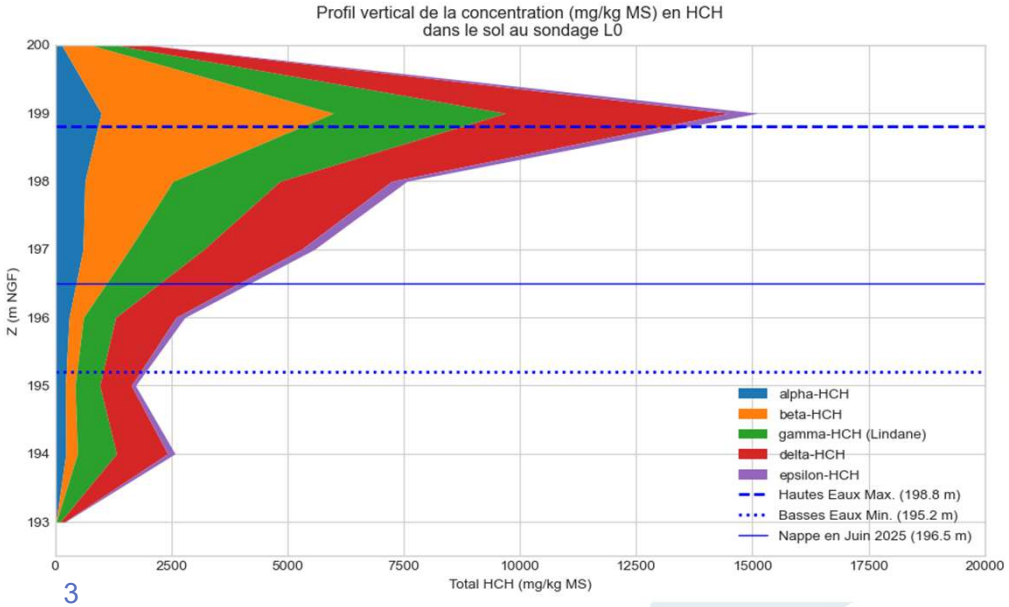
1. Synthèse des derniers résultats et bilan des connaissances sur les sources de pollution ***(INTERA)***
   - ***a) Synthèse des travaux de caractérisation du terme source***
   - ***b) Synthèse des travaux de caractérisation des milieux de transfert***
   - ***c) Evaluation d'un scenario préliminaire de dépollution de la nappe***
2. Résultats de l'ensemble des essais de faisabilité en laboratoire ***(ESTRALAB)***
3. Premières orientations en matière de travaux ***(ENVIREAUSOL)***
   - ***a) Réflexions sur les seuils de dépollution en zone non saturée (au-dessus de la nappe)***
   - ***b) Solutions techniques de traitement aujourd'hui retenues***
   - ***c) Organisation générale du chantier / sécurisation (géotechnique, émissions, bruit, vibrations…)***
4. Prochaines étapes ***(ADEME)***
   - ***a) Investigations complémentaires sur le terme source (objectifs + sécurisation)***
   - ***b) Essais sur site***
   - ***c) Planning général***
5. Echanges

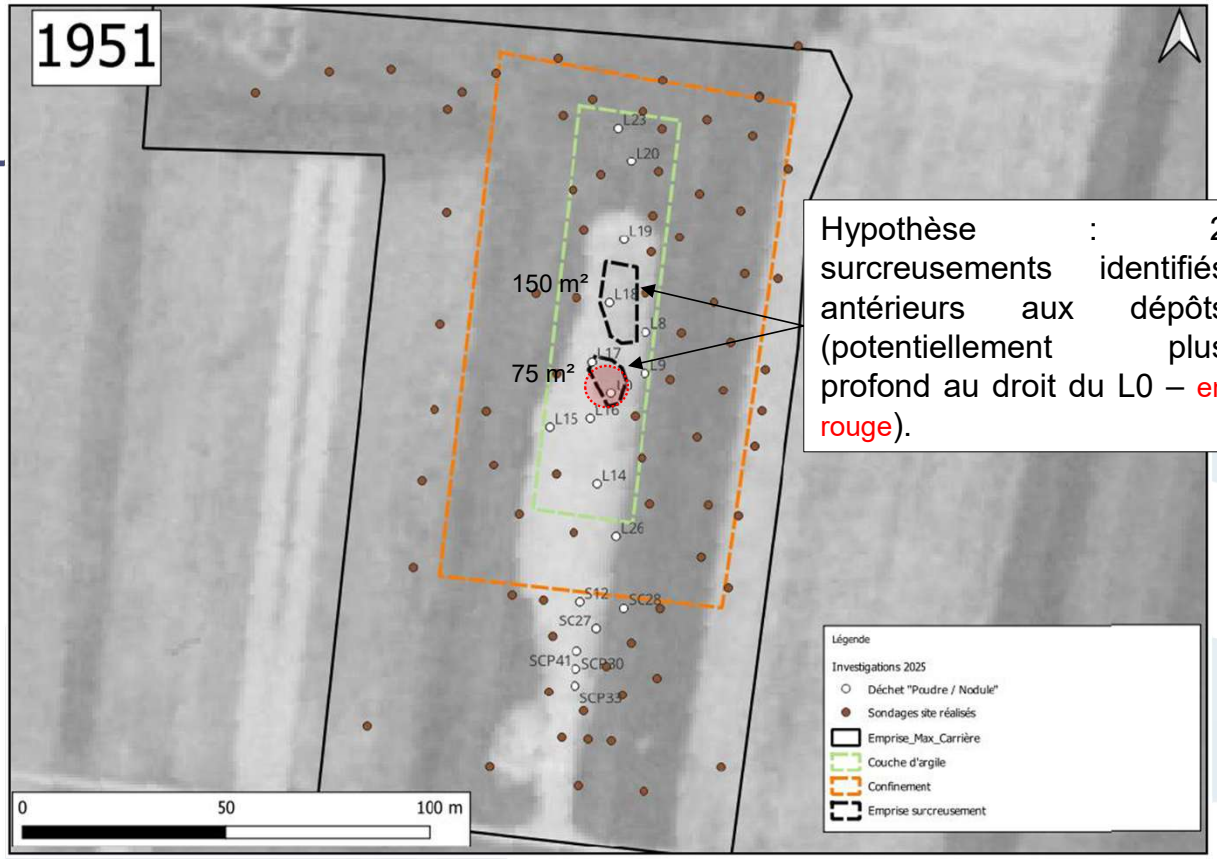


Synthèse des travaux de caractérisation du terme source

- Présence de poudres, de nodules et de matériaux **<u>extrêmement contaminés.</u>**
- Au-dessus de la nappe (zone non saturée (ZNS)) : **isomère α majoritaire**
- Sous la nappe (zone saturée (ZS)) : **isomère δ majoritaire**
- **Isomère β** présents de manière diffuse (difficilement dégradable)
- **Isomère γ** (lindane) secondaires excepté dans certaines poudres (cas du L0)

➔ **Zone « source » identifiée (sondage L0) !**



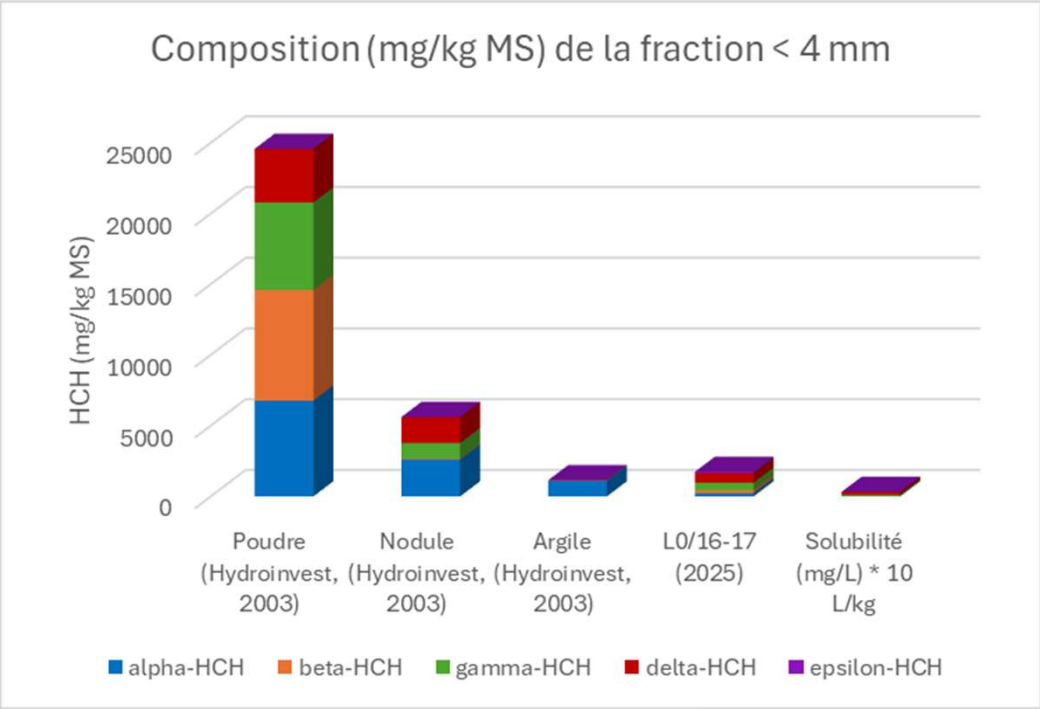


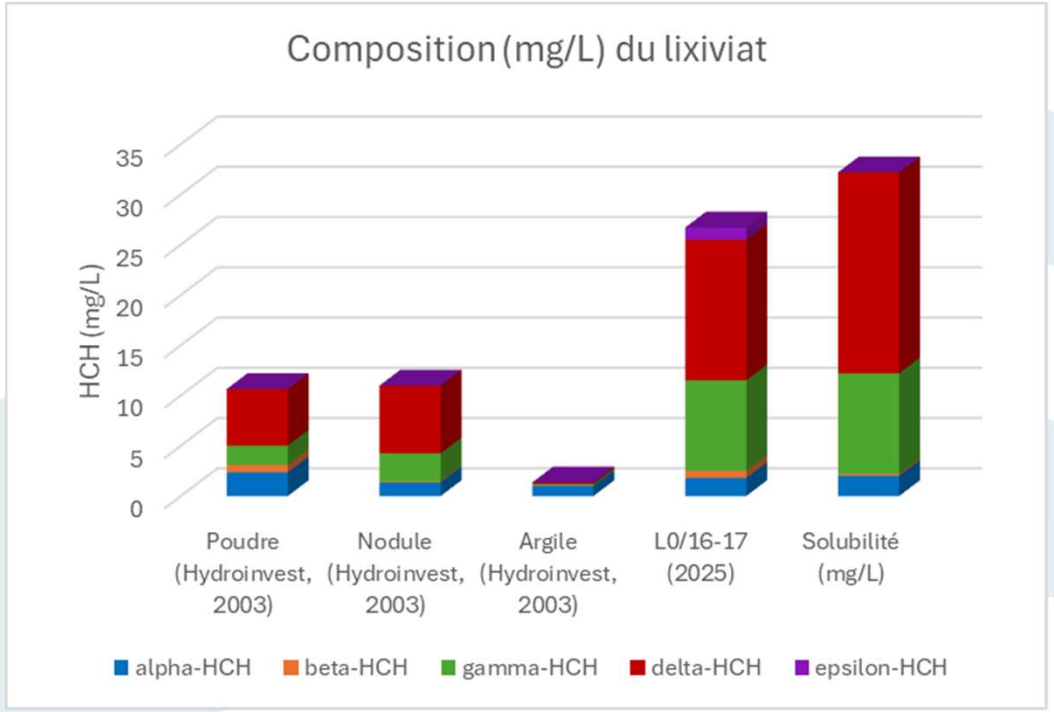
Hypothèse : 2 surcreusements identifiés antérieurs aux dépôts (potentiellement plus profond au droit du L0 – en rouge).

Nature des déchets selon BRGM (1981)) :

75 % HCH α , 15 % HCH β , 0,7 % HCH γ
0,1 % HCH δ , 9.10 % autres produits

Caractérisation du lixiviat des sols de la gravière PCUK





L'essai de lixiviation du L0/16-17 indique <u>avec certitude</u> que les sols sous nappe sont largement saturés en HCH

Faisceau d'indices de rejets liquides en plus des poudres

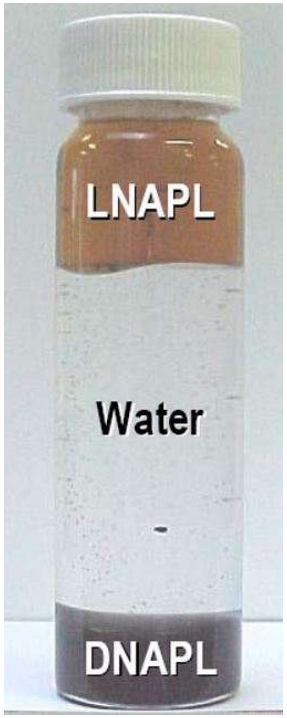
- Contamination significative de la zone de battement de nappe mise en évidence sur une zone de 150 m² (hypothèse actuelle) centrée sur un sondage (L0) situé dans une zone de surcreusement de la gravière. Signature chimique typique de « résidus δ » (très différente des « résidus α » majoritaires dans la gravière) issue du process de fabrication du Lindane faisant intervenir des solvants liquides (« delta-paste ») visiblement déversés dans ces surcreusements.
- Présence associée de benzène (max. 200 mg/kg MS), chlorobenzènes (max. 7000 mg/kg MS), chlorophénols (max. 400 mg/kg MS), dioxines/furanes (max. 200 000 ng/kg MS), hydrocarbures aliphatiques C16-C21 (110 g/kg) : solvants possiblement utilisés dans le process de fabrication du Lindane ? Lixiviation plus importante des HCH sur les échantillons du L0 que sur de la poudre d'HCH : bon indice de la présence de co-solvants[1].
- REX sur sites similaires avec process industriel similaire (cf. Espagne) : présence probable d'une phase organique plus dense que l'eau (DNAPL) susceptible de « plonger » dans l'aquifère.
- Cette contamination suffit à saturer les eaux de la nappe en HCH à son contact (cf. essais de lixivation / solubilité des produits) et sa composition est en bon accord avec les concentrations observées en aval. Premières estimations sur la base d'hypothèses majorantes :
  - ✓ Ecoulement gravitaire d'un battement de nappe annuel sur 4 m d'épaisseur : ~ 20 g/j HCH total (déjà problématique)
  - ✓ Fuite dans la couverture au droit du L0 (150 m²) : ~ quelques g/j (déjà problématique)
  - ✓ Débit massique en nappe en juin 2025 et janvier 2026 : ~ 100 à 680 g/j

Nécessité d'investigations complémentaires :

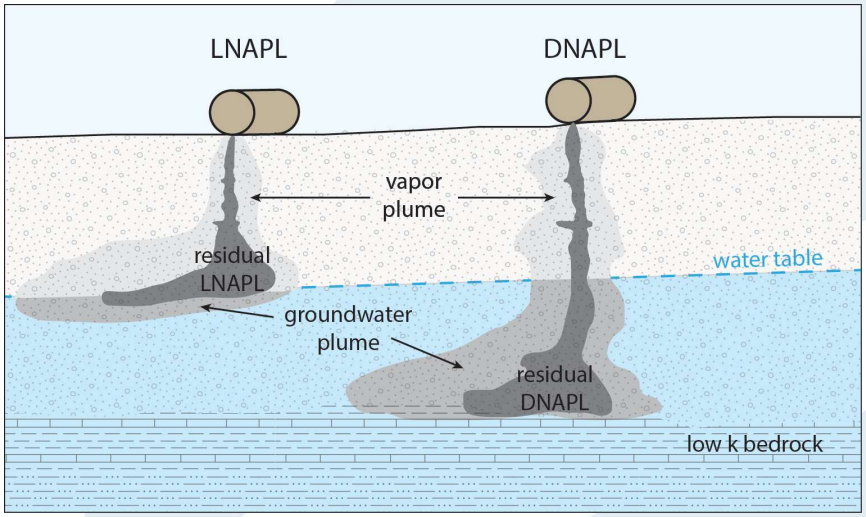
- Quelle est la profondeur atteinte par la pollution ?
- Quel volume de sol représentent-ils et quelle masse d'HCH y est piégée?
- Quel seuil de concentration dans les sols pour une diminution des concentrations dans les eaux ?

[1] *Autres composés susceptibles de modifier des propriétés de solubilisation des HCH dans les eaux souterraines.*

Qu’est-ce que le DNAPL ?







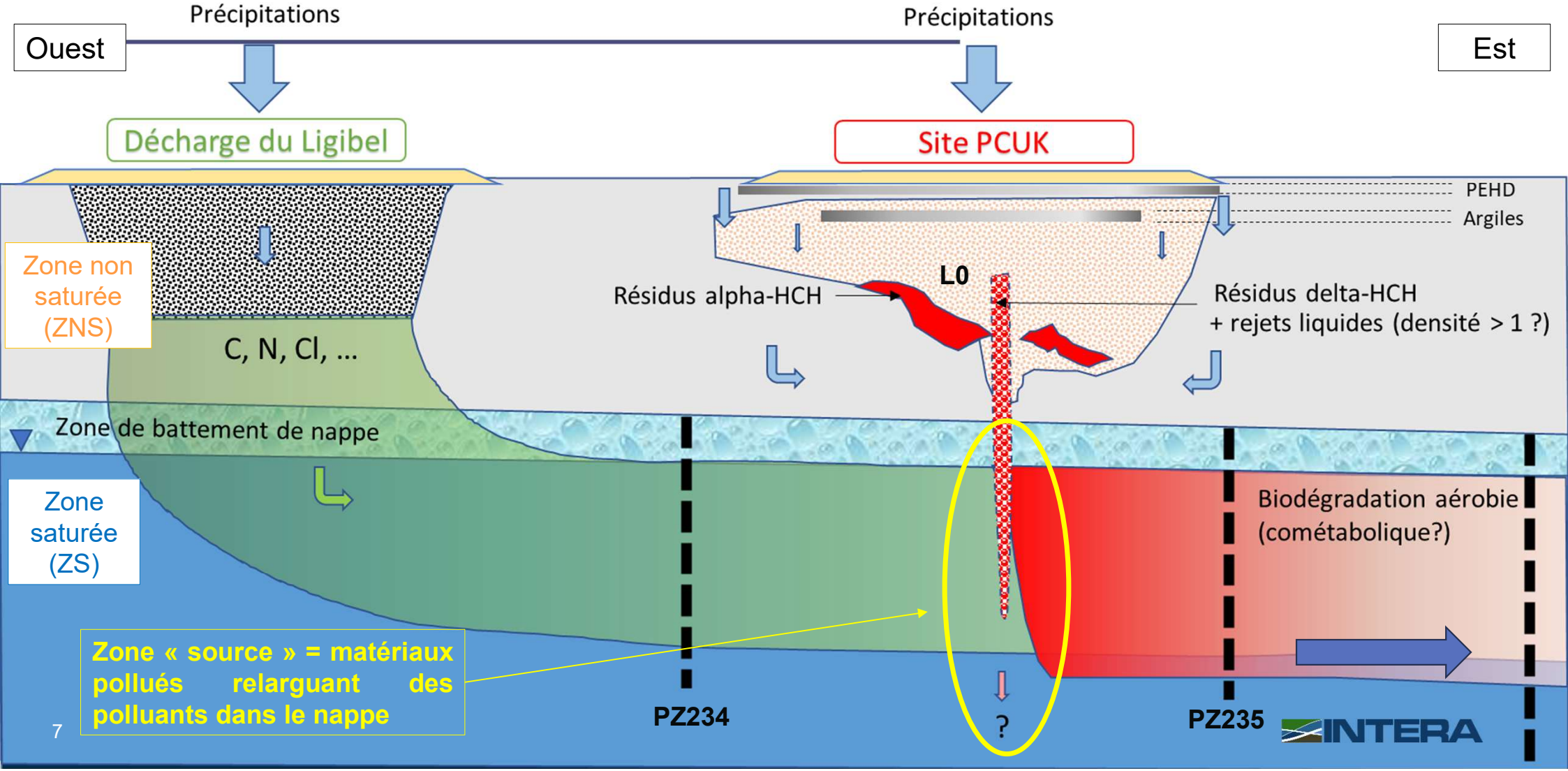


DNAPL (résidus δ) à Sabiñanigos

DNAPL (Dense Non-Aqueous Phase Liquid) = phase plongeante

INTERA

Modèle conceptuel de la zone source :



Conclusions sur l'étude des milieux de transfert

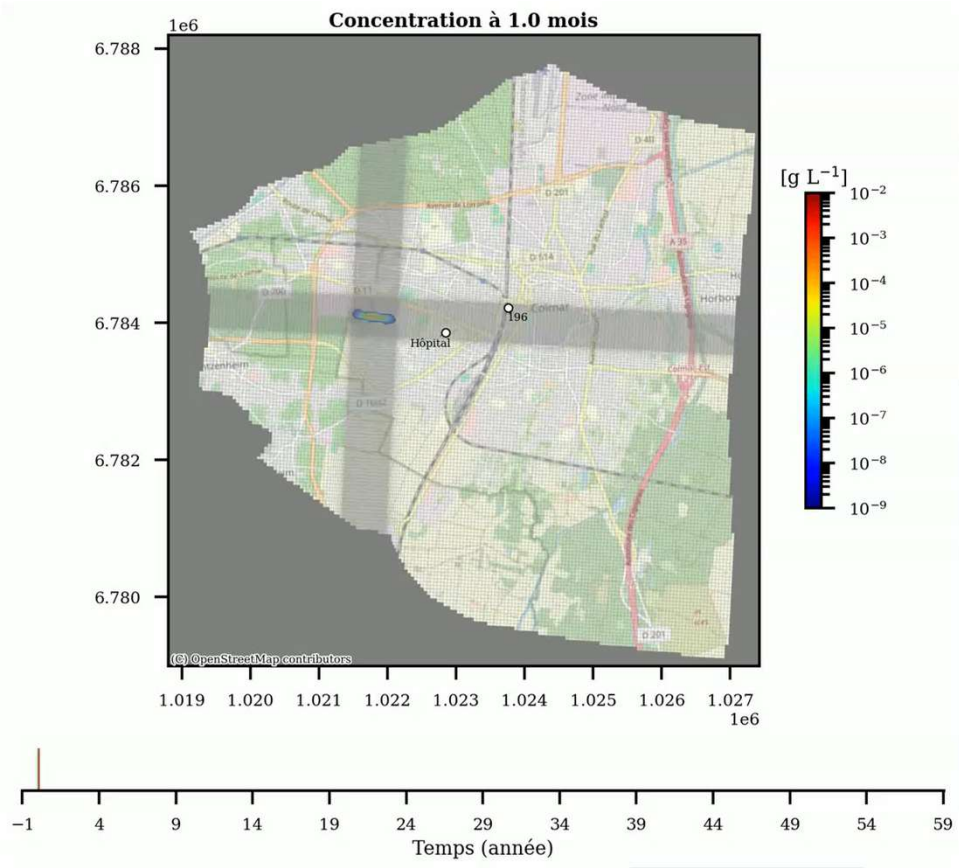
- La nappe alluviale de la Fecht est un milieu hétérogène où plusieurs centaines de grammes d'HCH circulent par jour en aval de la gravière
- Le panache résultant dans les eaux souterraines semble avoir atteint son extension maximale car les concentrations restent stables en aval hydraulique éloigné du site. Toutefois, les concentrations en HCH ont augmenté en aval hydraulique immédiat du site ;
- Il est possible de reproduire numériquement le panache de HCH en simulant une source injectée directement dans la nappe. Mais il existe une incertitude sur certains paramètres de l'aquifère telle que l'atténuation naturelle des HCH (qui expliqueraient la relative stabilité du panache ainsi que les variations locales des signatures chimiques).
- Une des limites importantes de ce modèle d'écoulement et de transport est l'hypothèse de continuité des concentrations issues de cette unique source au droit du sondage L0 qui explique mal les concentrations en beta-HCH sous l'hôpital Pasteur (toutefois marginales aujourd'hui au regard des concentrations sortant du site PCUK).

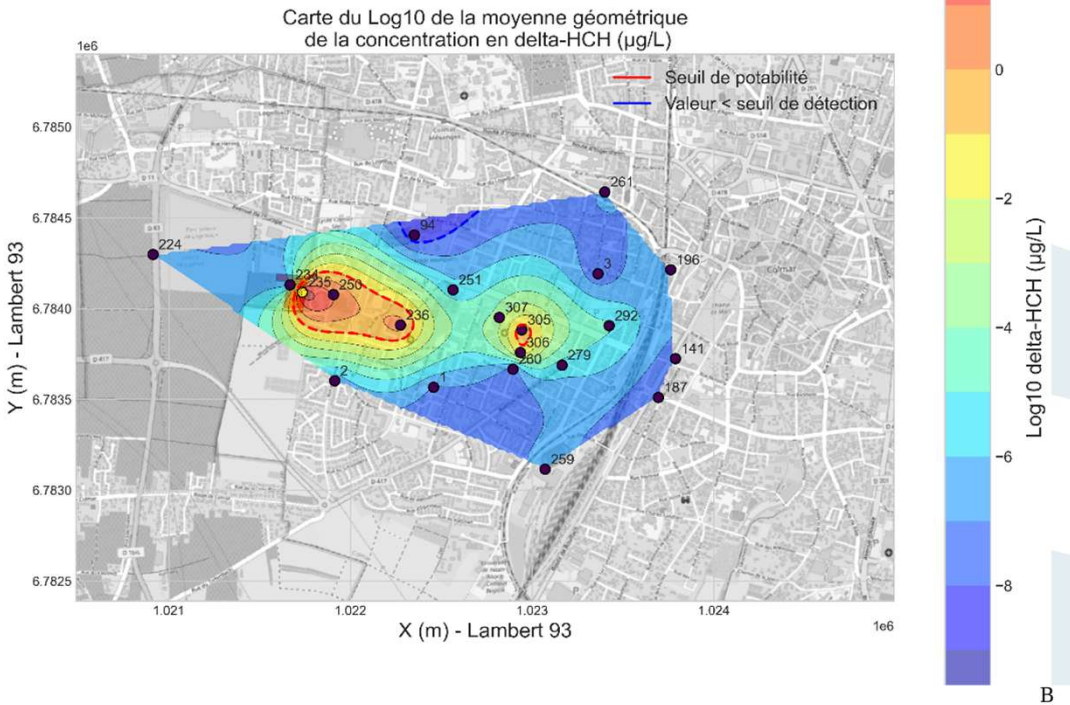
INTERA

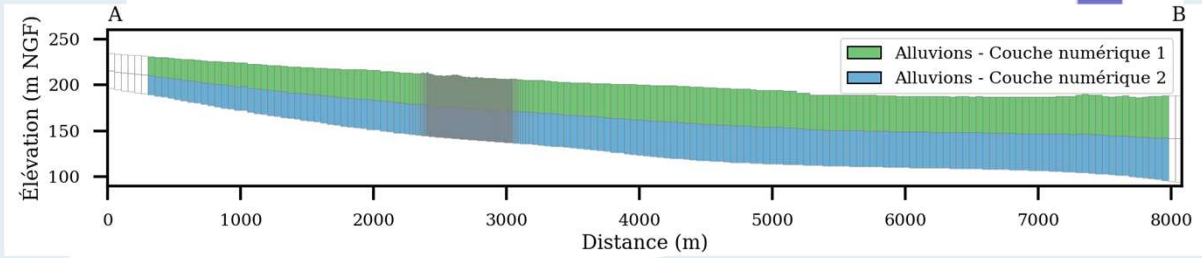
Transport d'HCH pour une injection de 100 g/j

(Demi-vie de 208 jours, R = 1, porosité de 15%)

Base







Concentration à saturation en nappe

- Quelle concentration dans le sol conduit à saturer la nappe ?

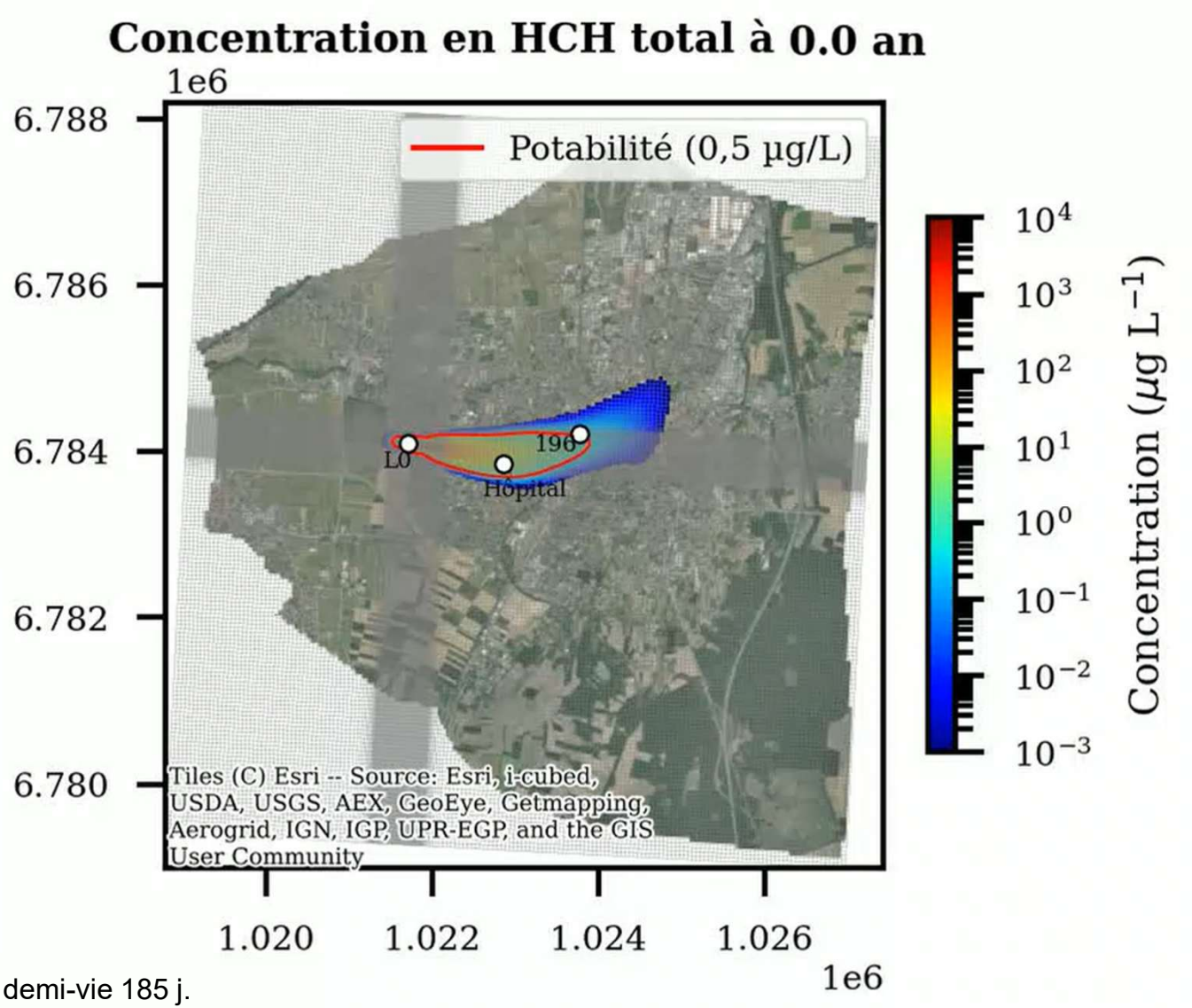
Porosité (%)	1	10	30
Masse volumique des grains solides des alluvions polluées (kg/m3)	2600	2600	2600
Masse volumique apparente sèche des alluvions polluées (kg/m3)	2574	2340	1820
LS (L/kg) au contact de la source	**0.004**	**0.043**	**0.165**
Concentration des sols à saturation (mg/kg MS) en alpha-HCH	**0.007**	**0.077**	0.297
Concentration des sols à saturation (mg/kg MS) en beta-HCH	**0.003**	**0.030**	0.117
Concentration des sols à saturation (mg/kg MS) en gamma-HCH	**0.035**	**0.385**	1.484
Concentration des sols à saturation (mg/kg MS) en delta-HCH	**0.054**	**0.598**	2.308
Concentration des sols à saturation (mg/kg MS) en epsilon-HCH	**0.005**	**0.051**	0.198
Concentration des sols à saturation (mg/kg MS) en HCH total	0.104	1.141	4.403

- Ces concentrations à saturation dans les sols sont très basses et déjà difficilement détectables par les laboratoires (en particulier, pour des porosités faibles ~ 1%)
- Les seuils de dépollution à considérer au droit de la zone source paraissent inatteignables : **Mieux vaut viser un abattement du débit massique en nappe**

INTERA

Simulation d'une dépollution théorique : abattement de 99,95% de la source présente au droit de la zone L0

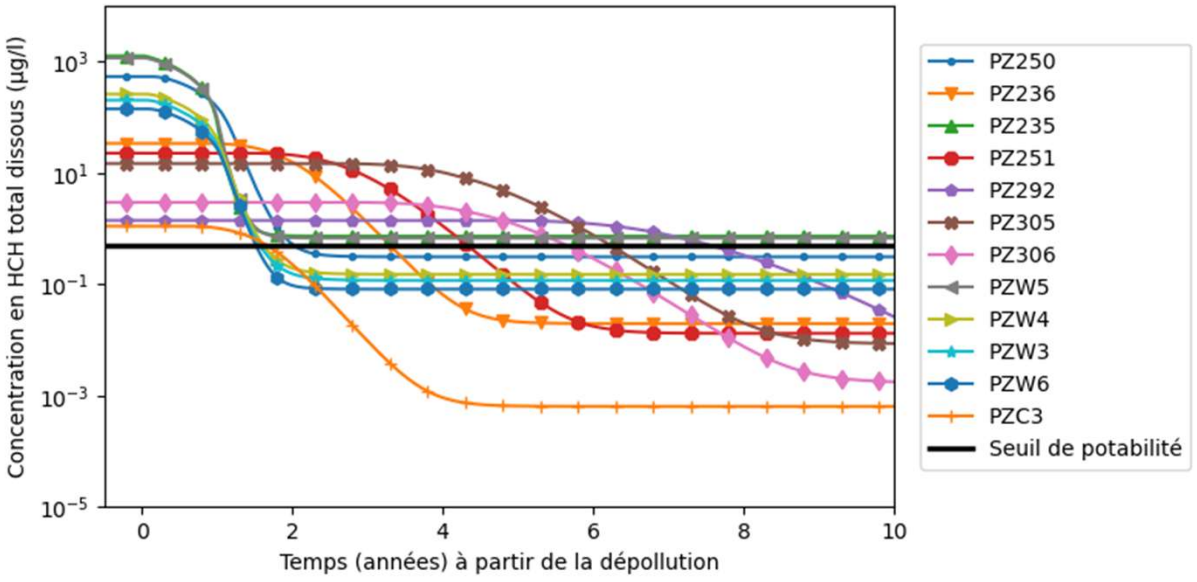
- Sous les hypothèses :
  - ✓ d'absence d'impact des travaux de dépollution sur le fonctionnement des milieux en aval du site (ex : atténuation naturelle des HCH (1)
  - ✓ de réduction instantanée du terme source de 400 à 0,2 g/j
- Il faut compter au minimum **3 ans** pour atteindre la potabilité partout (sauf au droit du site PCUK).



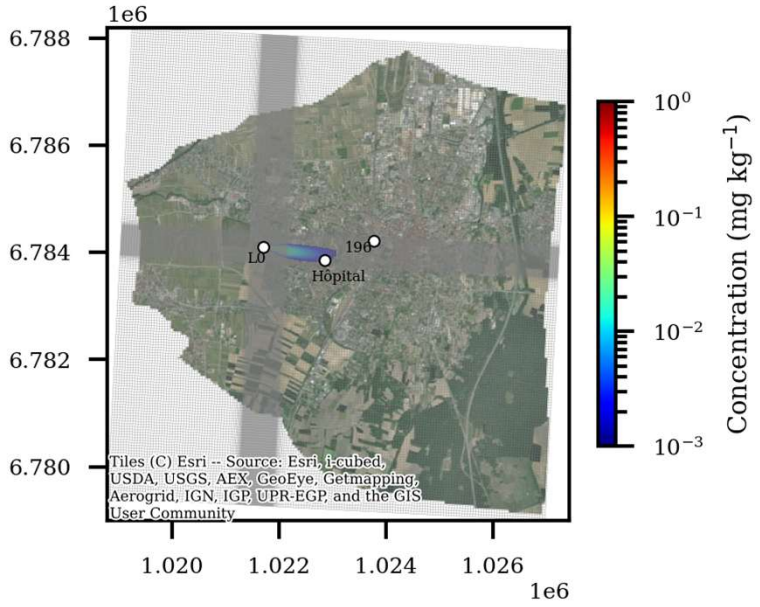
(1) Paramètres d'atténuation naturelle : porosité 15%, demi-vie 185 j.

Simulation d’une dépollution : abattement de 99,95% de la source

- Effet de la durée des travaux : L’atteinte de la potabilité est décalée d’autant
- Effet des paramètres d’atténuation naturelle :
  - ✓ Avec un facteur de retard de 2,2 (sorption réversible) : **8 ans** pour atteindre la potabilité partout



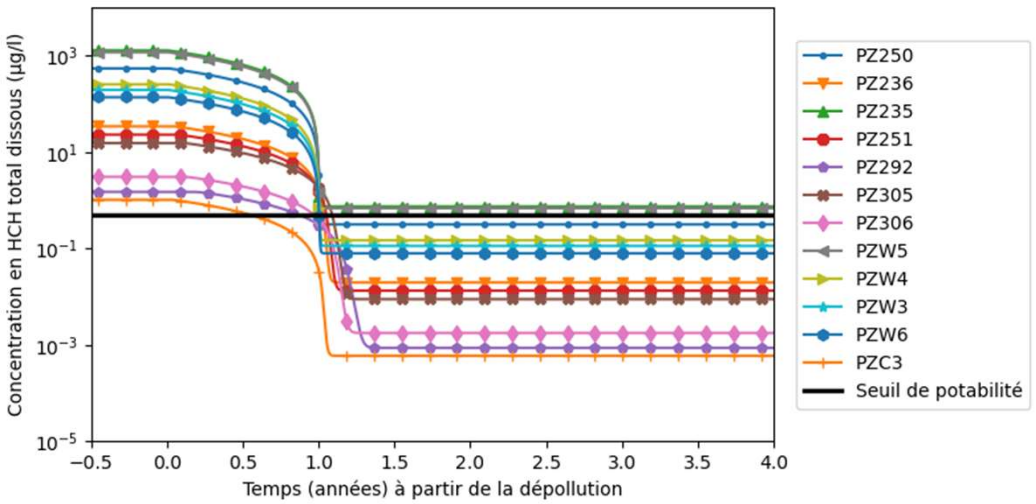
Sorption dans le sous-sol avant travaux



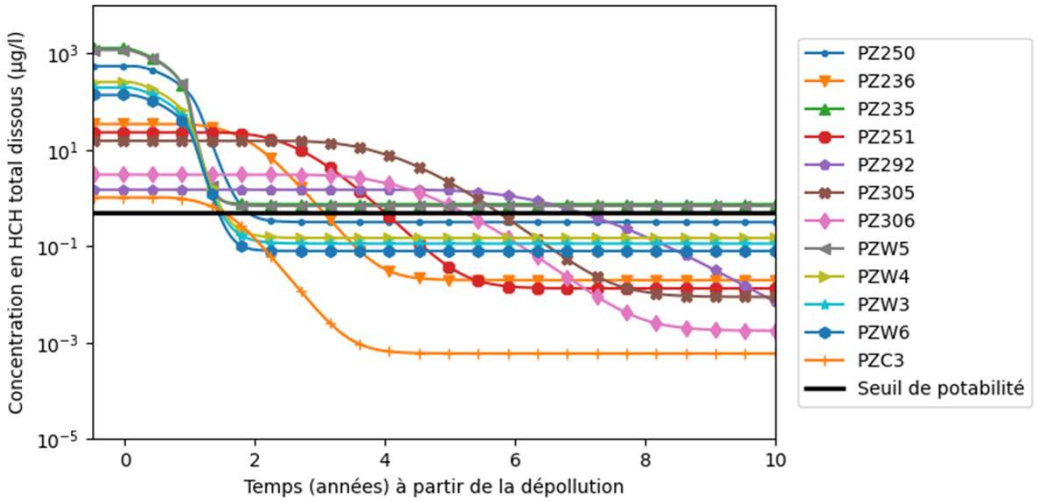
Simulation d'un abattement de 99,95% du terme source

- Effet des paramètres d'atténuation naturelle :
  - ✓ Avec une porosité effective de 1% *vs* 30% sans retard à l'écoulement (R=1)

1 an avec une porosité de 1%



7 ans avec une porosité de 30%



Conclusions sur l'évaluation préliminaire de la dépollution

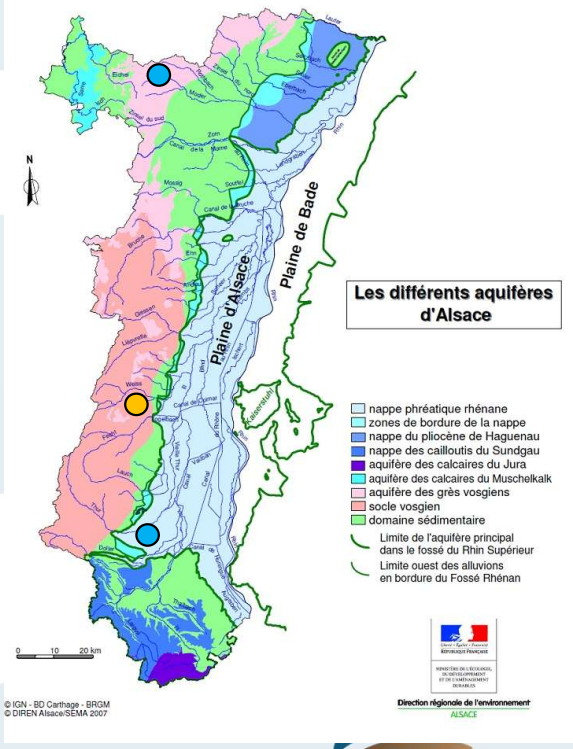
- De très faibles concentrations dans les sols, difficilement mesurables, semblent suffisantes pour saturer la nappe en HCH au droit du L0 :
  - ✓ L'atteinte de la limite de potabilité au 235 (au droit du confinement) semble de ce fait très difficilement atteignable
  - ✓ Toutefois, une action sur la zone source permettrait d'améliorer significativement la qualité des eaux souterraines plus en aval hydraulique du site.
  - ✓ La détermination d'un seuil de dépollution des sols pour l'atteinte de la potabilité doit être accompagné par des objectifs en termes de flux sortants. La dépollution pourra être pilotée par des contrôles répétés, en cours de travaux, des débits massiques émanant du site dans la nappe alluviale.
- Les paramètres du milieu (notamment ceux contrôlant l'atténuation naturelle des HCH) influent grandement sur le temps nécessaire à l'atteinte de la potabilité en aval du panache (de 1 à 8 ans). A ce délai s'ajoute celui nécessaire à l'abattement du terme source (i.e., durée des travaux). Ces estimations ont pour objectif de donner des ordres de grandeurs. Elles devront par conséquent être adaptées au cours de l'étude selon les techniques choisies et les abattements réellement projetés ➔ cf. essais laboratoire
- Il conviendrait de vérifier le caractère réversible (ou non) du mécanisme de piégeage (sorption) des HCH dans les sols et de multiplier les essais de lixiviation sur des teneurs en HCH variées (cf. investigations complémentaires).

14

SOMMAIRE

Introduction *(ADEME)*

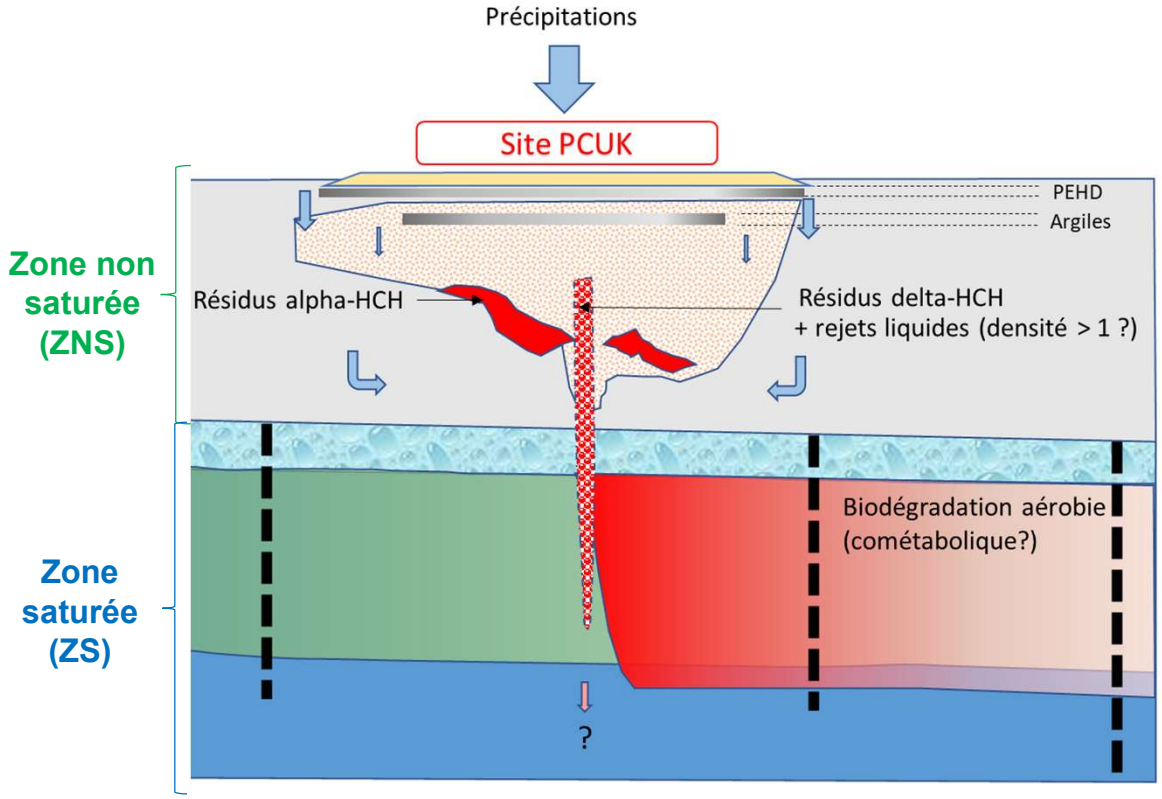
1. Synthèse des derniers résultats et bilan des connaissances sur les sources de pollution *(INTERA)*
   - *a) Synthèse des travaux de caractérisation du terme source*
   - *b) Synthèse des travaux de caractérisation des milieux de transfert*
   - *c) Evaluation d'un scenario préliminaire de dépollution de la nappe*
2. Résultats de l'ensemble des essais de faisabilité en laboratoire *(ESTRALAB)*
3. Premières orientations en matière de travaux *(ENVIREAUSOL)*
   - *a) Réflexions sur les seuils de dépollution en zone non saturée (au-dessus de la nappe)*
   - *b) Solutions techniques de traitement aujourd'hui retenues*
   - *c) Organisation générale du chantier / sécurisation (géotechnique, émissions, bruit, vibrations…)*
4. Prochaines étapes *(ADEME)*
   - *a) Investigations complémentaires sur le terme source (objectifs + sécurisation)*
   - *b) Essais sur site*
   - *c) Planning général*
5. Echanges



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

2. Résultats de l'ensemble des essais de faisabilité en laboratoire *(ESTRALAB - ENOVEO)*

Essais de laboratoire	**Zone non saturée (ZNS)**	Désorption thermique (en thermopile ou in situ)
		Tri granulométrique et lavage
		Biodégradation aérobie :
	Zone saturée (ZS)	Traitement des eaux pompées sur CA
		Traitement bioaérobie
		Lavage in-situ
		Oxydation chimique in-situ (ISCO) – REX du groupement
		Réduction et bioanaérobie (ou bio-réduction) – REX du groupement
		Stabilisation (ISS)
		ISS + ISCO
Essais de terrain	**Zone saturée (ZS)**	Essais B112 d'injection : monitoring et exploitation des résultats



XXX Technique détaillée dans la présentation

Bilan coût-avantages : permettra de choisir la meilleure combinaison de techniques (**analyse multicritère** évaluant la faisabilité, l'efficacité, les risques éventuels de chaque scénario, la temporalité, le coût…)

16

Principe de sélection des matériaux pour les essais

Compartiment & niv HCH		Limons	Argiles	Sab et grav	Eaux ZS
ZNS	>1g/kg		C1+C2	ZNS-A1	
	>100mg/kg	L2		ZNS-A2	
	<100mg/kg	L3		ZNS-A3	
ZS	>1g/kg			ZS-A1	E1
	>100mg/kg			ZS-A2	
	<100mg/kg			ZS-A3	

84 échantillons EnvirEauSol

9 matériaux labo + eau

Eau utilisée pour les essais : eau prélevée en aval hydraulique immédiat du site (pz 235)

ZNS-A1



L3



C1+C2

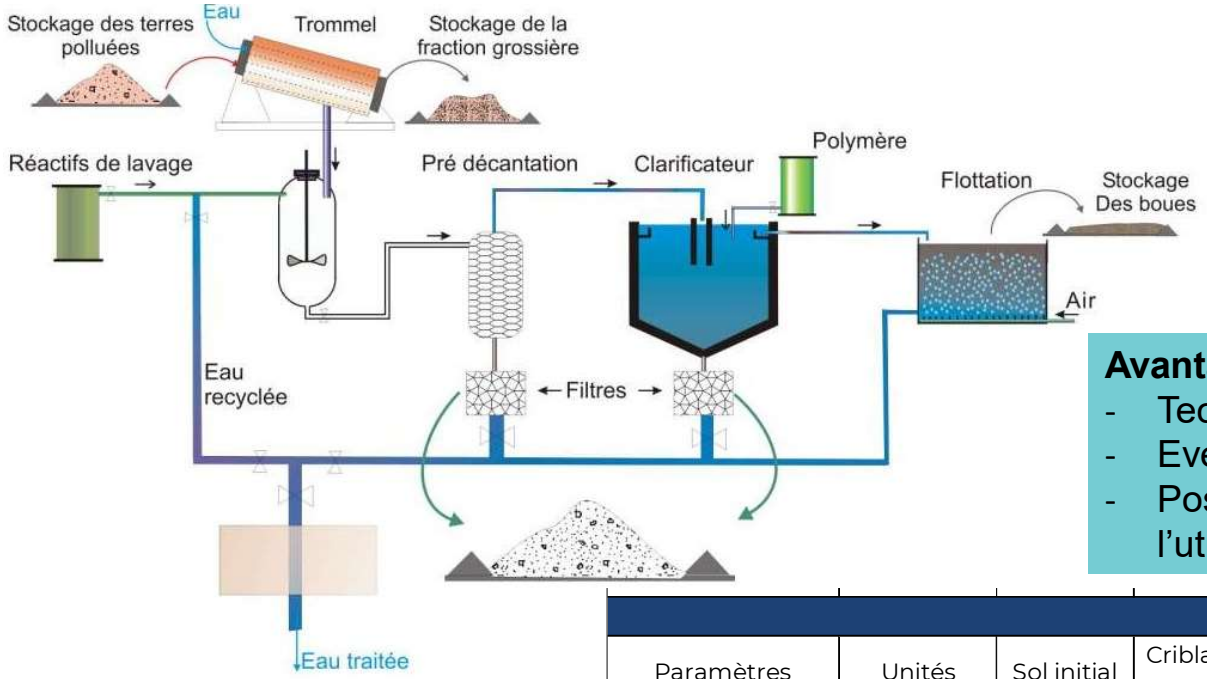


ZS-A3



FOCUS SUR 2 TECHNIQUES PROMETTEUSES A L'ISSUE DES ESSAIS DE LABORATOIRE

SOLS HORS NAPPE ➔ TECHNIQUE N°1 : LAVAGE DES MATERIAUX ALLUVIONNAIRES



Essais laboratoires très encourageants (efficaces sur des fortes concentrations (9 000 mg/kg). Traitement limité aux alluvions. Cout intermédiaire mais bonne productivité. Traitement secondaire des fines à prévoir.

Avantages de la technique :

- Technique sur site limitant l'élimination des déchets hors site ;
- Eventuel (pré)traitement des matériaux ;
- Possible réemploi des matériaux lavés sur site (limitant l'utilisation de remblais extérieurs / matériaux naturels);

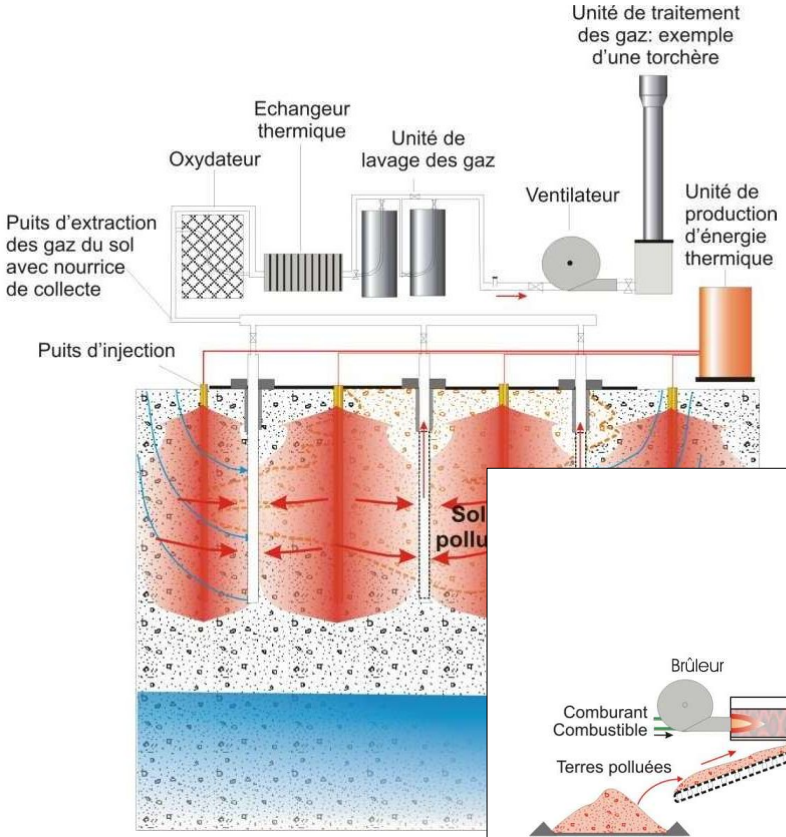


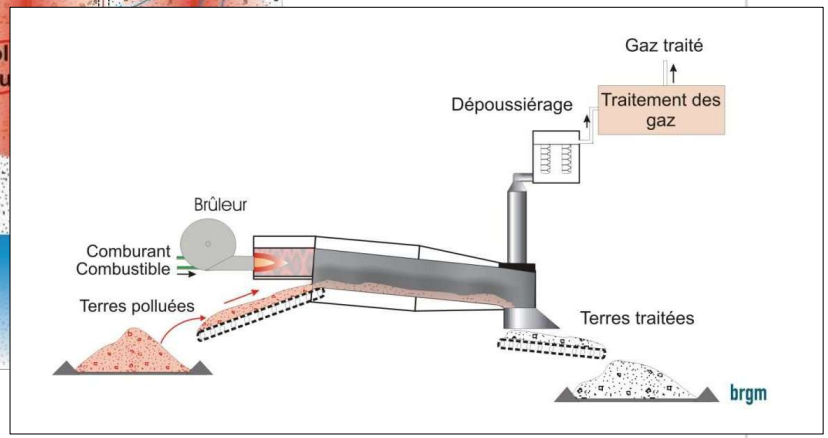
Tableau : résultats du lavage de la fraction criblée

ZNS A2									
Paramètres	Unités	Sol initial	Criblage > 10	Criblage <10	Bilan de masse	Criblage + lavage L1	Criblage + lavage L2	Criblage + lavage L3	Criblage + lavage L4
% Masse totale		100%	49%	51%	/	49%	48%	48%	48%
Matière sèche	% P.B.	86,9	96,5	88,3	/	98,8	98,7	98,1	99,4
Somme HCH	mg/kg M.S.	**2830**	**1936**	**9125**	**5578**	**7,5**	**3,8**	**15**	**5,18**
Alpha	mg/kg M.S.	2400	1500	7200	4388	3,7	3,8	8,4	4,2
Béta	mg/kg M.S.	430	340	1700	1029	<0,82	<0,95	2,5	<0,95
Gamma	mg/kg M.S.	<40	<92	<94	0	1,8	<0,95	1,8	<0,95
Delta	mg/kg M.S.	<40	96	130	113	2	<0,95	2,3	0,98
Epsilon	mg/kg M.S.	<40	<92	95	48	<0,82	<0,95	<0,99	<0,95
abattement %			**-32%**			**-100%**	**-100%**	**-99%**	**-100%**

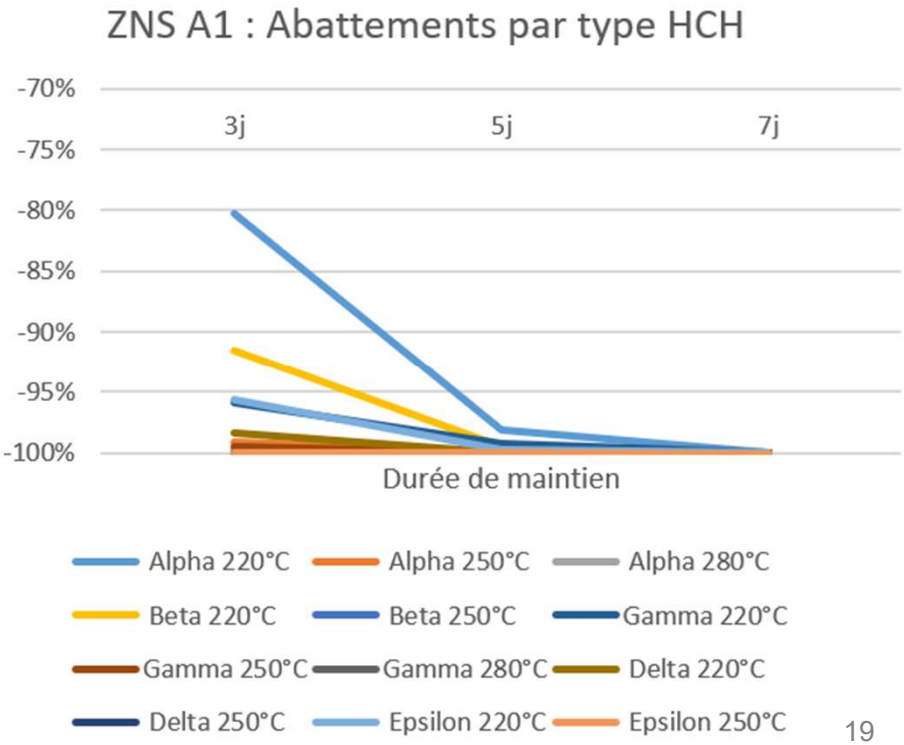
FOCUS SUR 2 TECHNIQUES PROMETTEUSES A L'ISSUE DES ESSAIS DE LABORATOIRE

SOLS HORS NAPPE ➔ TECHNIQUE N°2 : DESORPTION THERMIQUE (THERMOPILES OU IN-SITU)





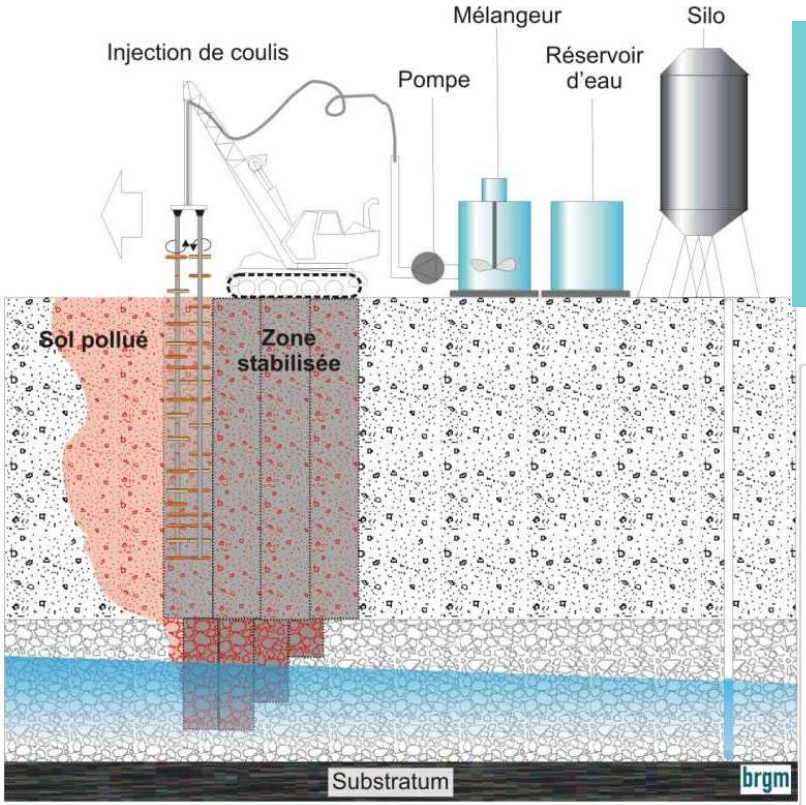
Tests de différentes températures (220°C, 250°C, 280 °C).
Validé par essais labo sur l'ensemble des lithologies (limon, alluvion, argile) jusqu'à des concentrations initiales en HCH de 9 530 mg/kg MS !
Isomère alpha-HCH un peu récalcitrant.



Avantages de la technique :
+ Possibilité de mise en œuvre hors-site, sur-site ou in-situ ;
- Coût énergétique

FOCUS SUR 2 TECHNIQUES PROMETTEUSES A L'ISSUE DES ESSAIS DE LABORATOIRE

SOLS SOUS NAPPE ➔ TECHNIQUE N°3 : STABILISATION IN-SITU AVEC OXYDATION

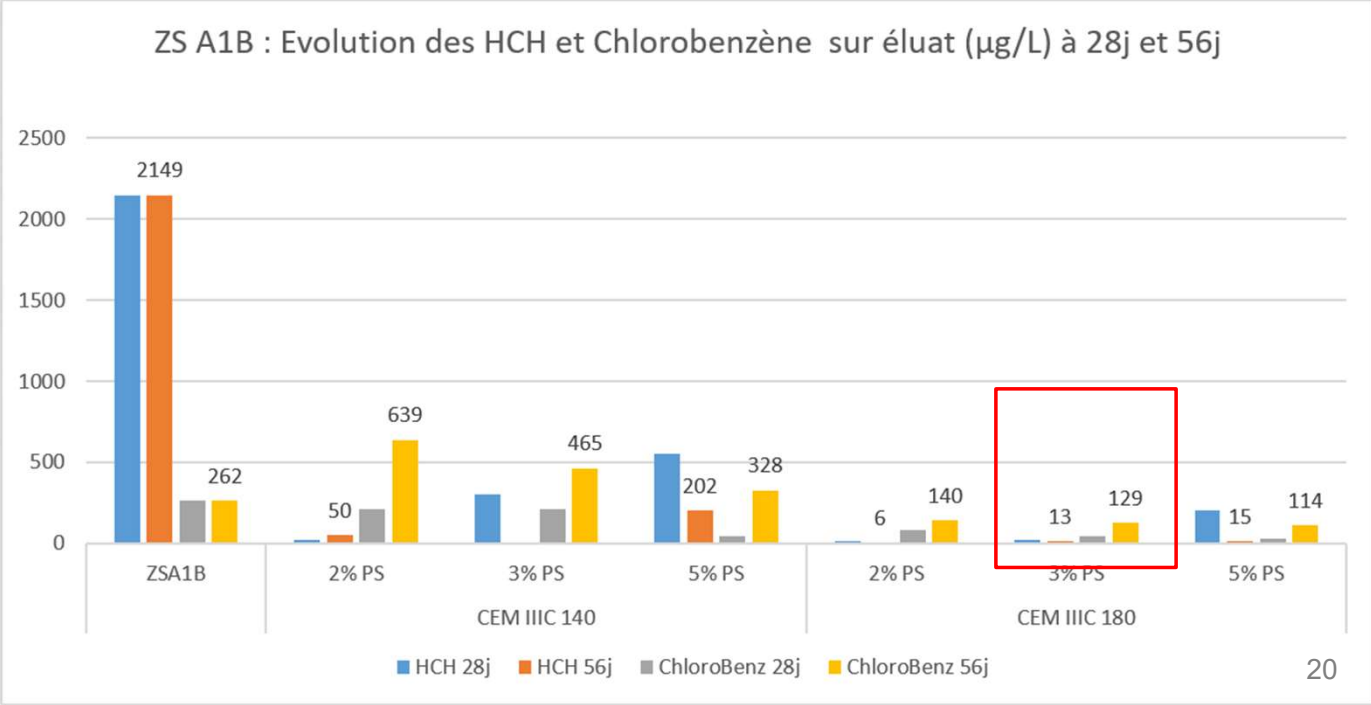


Formule optimisée : Persulfate (oxydant) à 3% et liant : 180kg/m3 :

- Fonctionne sur des matériaux fortement impactés (>2000 mg/kg MS) !
- Réduction des HCH totaux mais également des hydrocarbures légers, BTEX.
- Abattement de 99% de la lixiviation des HCH ➔ **Coïncide avec simulation INTERA (réduction du flux sortant de 99,5%) !**
- Abattement de 51% de la lixiviation des chlorobenzènes

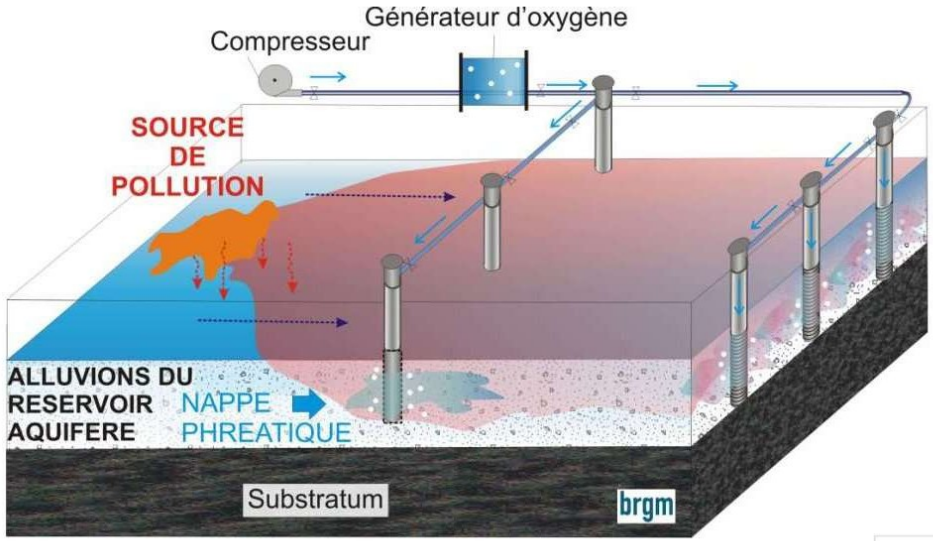
Avantages de la technique :

- Technique in-situ (pas d'excavation ni de déchets)
- Technique mêlant stabilisation et traitement des HCH

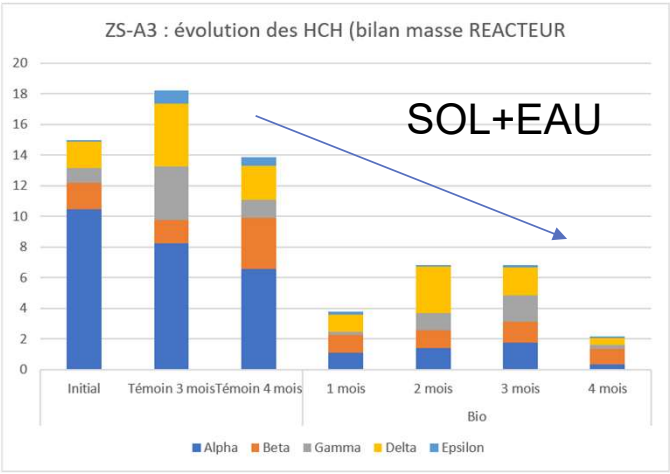


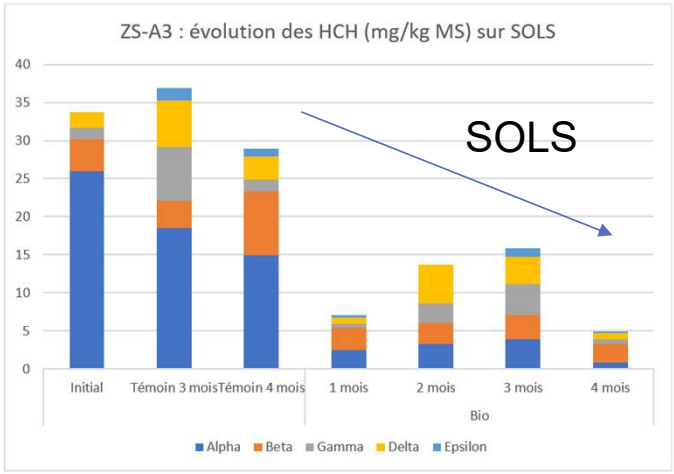
FOCUS SUR 2 TECHNIQUES PROMETTEUSES A L'ISSUE DES ESSAIS DE LABORATOIRE

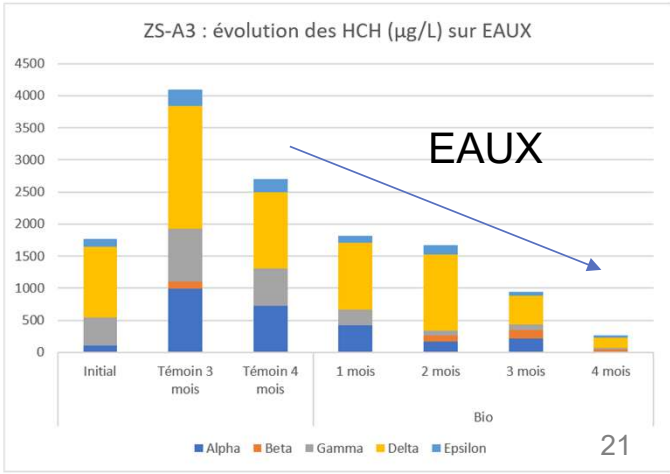
SOLS SOUS NAPPE ➔ TECHNIQUE N°4 : BIODÉGRADATION AÉROBIE SUR IMPACTS SECONDAIRES



Technique efficace sur α-HCH.
Moins efficace sur δ-HCH et en présence d'hydrocarbures C5-C40
Abattement de +/- 85% en 4 mois sur ZS-A3







Avantages de la technique :

- Technique in-situ (pas d'excavation ni de déchets)
- Technique de traitement complémentaire (sur résiduel)
- Utilisation d'un potentiel existant dans les milieux

Synthèse des essais de faisabilité – au-dessus de la nappe

Zone Saturée / non saturée	Technique testée	Principaux intérêts de la technique	Première applicabilité sur PCUK ?	Commentaire
ZNS / Sols hors nappe	Criblage + lavage des matériaux criblés	Réemploi de 30% des matériaux sur site / Cout modéré	++	Limité aux alluvions et à la fraction > 10 mm. Peu onéreux, **bonne productivité. A envisager en pré-traitement**
	Lavage complet des matériaux	Réemploi de 50 à 80% des matériaux sur site	++	**Essais laboratoires encourageants**. Traitement limité aux alluvions. Cout intermédiaire mais bonne productivité. Traitement secondaire des fines à prévoir
	Désorption Thermique	Applicable à toutes les lithologies hors nappe/ Réemploi de matériaux sur site	++	**Validé par essais labo sur litho limon, alluvion, argile jusqu'à HCH initial 9 530 ppm.** Cout élevé. Durée élevée
	Biodégradation (type biopile sur site)	Réemploi de matériaux sur site	+	**Essais laboratoires encourageants.** Concentrations résiduelles à intégrer dans projet. Cout modéré. Durée élevée

Synthèse des essais de faisabilité – en-dessous de la nappe

Zone Saturée/ non saturée	Technique testée	Principaux intérêts de la technique	Première applicabilité sur PCUK ?	Commentaire
ZS / Sols sous nappe	Réduction chimique	Traitement in-situ	-	Efficacité sur les HCH mais **production de métabolites (chlorobenzènes)**
	Biodégradation Anaérobie	Traitement in-situ	-	**Efficacité sur les HCH non démontrée par les essais**
	Biodégradation aérobie	Traitement in-situ	+	**Essais laboratoires encourageants hors impacts en HCH delta (hot spot).** Vérifier compatilité avec vitesse de nappe. Cout modéré. Durée élevée.
	Oxydation Chimique	Traitement in-situ	++	**Essais laboratoires positif avec PS non activé.** Vérifier compatibilité avec vitesse de nappe. Cout intermédiaire. Durée modérée.
	Stabilisation aux liants	Traitement in-situ avec assurance de mise en contact polluant/agent actif	+	Essais laboratoire montrant une très belle efficacité vis-à-vis du transfert vers les eaux. **Mais conservation du stock.** Compatible avec vitesse de nappe.
	Stabilisation aux liants + oxydation chimique	Traitement in-situ avec assurance de mise en contact polluant/agent actif	++	**Essais laboratoire montrant une très belle efficacité vis-à-vis du transfert vers les eaux et un traitement du stock.** A optimiser pour maitriser complètement le résiduel de génération des chlorobenzènes. Compatible avec vitesse de nappe

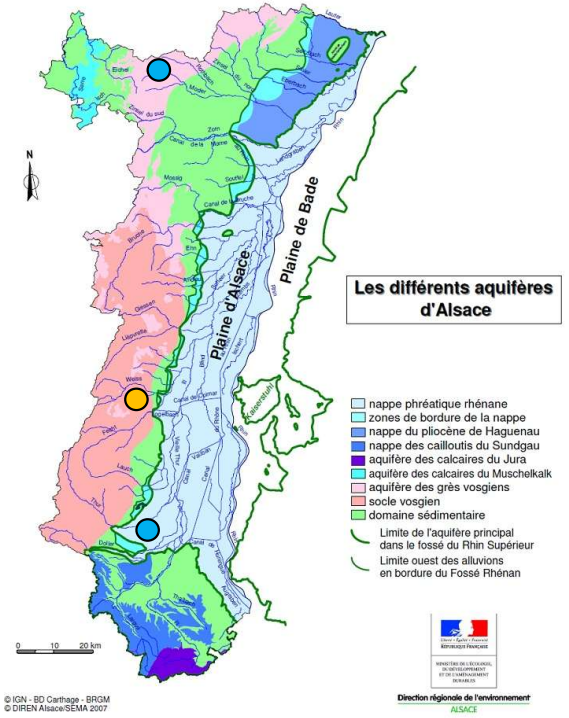
FOCUS SPECIFIQUE SUR LES ESSAIS DE FILTRATION DES EAUX :

Les essais (préfiltration + charbon actif) réalisés sur plusieurs médias sont encourageants (fort abattement des HCH – jusqu'à 99% sur certains isomères des HCH). Discussions à venir avec la Colmarienne des eaux pour mise en concordance éventuellement des seuils de rejet actuellement en place).

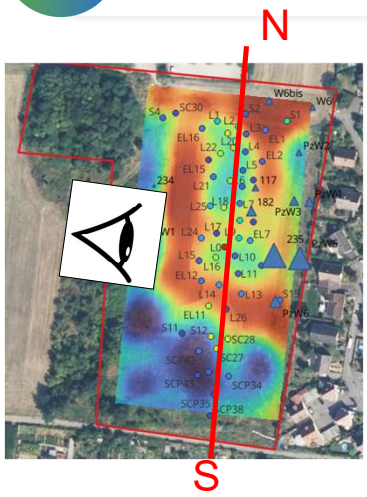
SOMMAIRE

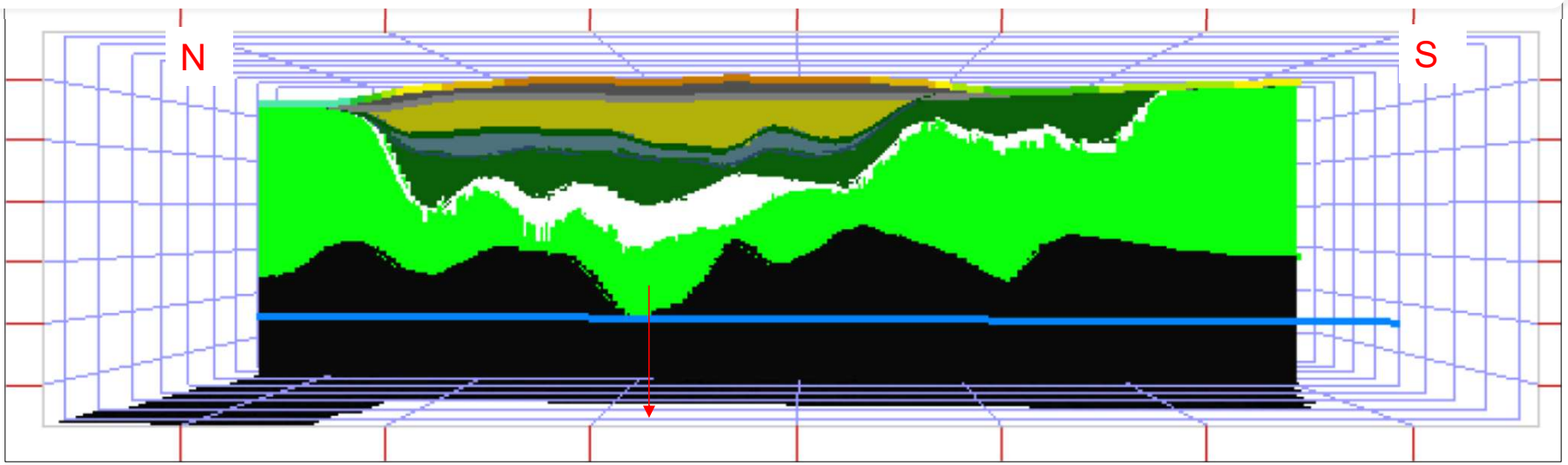
Introduction *(ADEME)*

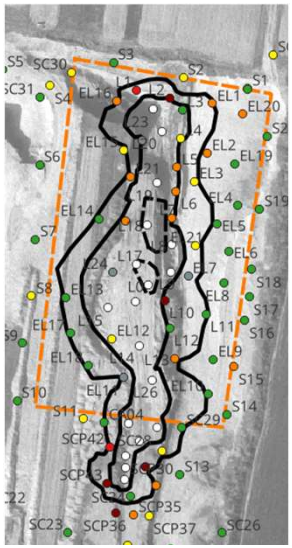
1. Synthèse des derniers résultats et bilan des connaissances sur les sources de pollution *(INTERA)*
   - *a) Synthèse des travaux de caractérisation du terme source*
   - *b) Synthèse des travaux de caractérisation des milieux de transfert*
   - *c) Evaluation d'un scenario préliminaire de dépollution de la nappe*
2. Résultats de l'ensemble des essais de faisabilité en laboratoire *(ESTRALAB)*
3. Premières orientations en matière de travaux *(ENVIREAUSOL)*
   - *a) Réflexions sur les seuils de dépollution en zone non saturée (au-dessus de la nappe)*
   - *b) Solutions techniques de traitement aujourd'hui retenues*
   - *c) Organisation générale du chantier / sécurisation (géotechnique, émissions, bruit, vibrations…)*
4. Prochaines étapes *(ADEME)*
   - *a) Investigations complémentaires sur le terme source (objectifs + sécurisation)*
   - *b) Essais sur site*
   - *c) Planning général*
5. Echanges



1 DISCUSSION DES SEUILS DE COUPURE & SEUILS DE DEPOLLUTION







Fond du dépôt HCH issu du modèle géologique 3D recalé sur photo de 1968

Comme démontré précédemment, l'élimination seule des poudres et matériaux impactés présents au-dessus de la nappe **ne permettra pas d'améliorer de manière significative (impact majeur provenant de la zone L0)** la qualité des eaux souterraines. Il est par conséquent nécessaire de concevoir une approche travaillant à la fois sur les milieux au-dessus ET en-dessous du niveau de la nappe.

Scinder l'intervention en deux opérations distinctes n'est pas envisageable car :

- Il est crucial de connaître tous les enjeux avant d'ouvrir la gravière pour bien sécuriser les travaux (substances en présence, profondeur des travaux vs sécurisation géotechnique, techniques choisies…) ;
- Au regard des frais important liés à la spécificité du produit et des milieux, multiplier les amenées/replis de matériel, la mise en place de dispositifs de sécurisation de l'intervention… augmenterait significativement le budget total de l'intervention.

1 DISCUSSION DES SEUILS DE COUPURE & SEUILS DE DEPOLLUTION

L'étude statistique de l'ensemble des concentrations mesurées lors des investigations permets de définir les gammes suivantes :

Paramètres	Gamme n°1	Gamme n°2	Gamme n°3	Gamme n°4	Gamme n°5
	mg/kg MS				
HCH Totaux	< 1	1 - 10	10 - 50	50 - 2000	>2000

La valeur définie de 50 mg/kg MS correspond au seuil **d'autorisation réglementaire européen** sur les pesticides pour les Installations de Stockage de Déchets Dangereux ➔ **Il s'agit du seuil de niveau 1 (minimum à atteindre).**

Les essais de lixiviation en zone saturée (sous la nappe) ont permis de mieux apprécier les effets du relargage potentiel post-travaux et de l'objectif en termes d'amélioration de la qualité des eaux souterraines, il est proposé de retenir en première approche les seuils suivants :

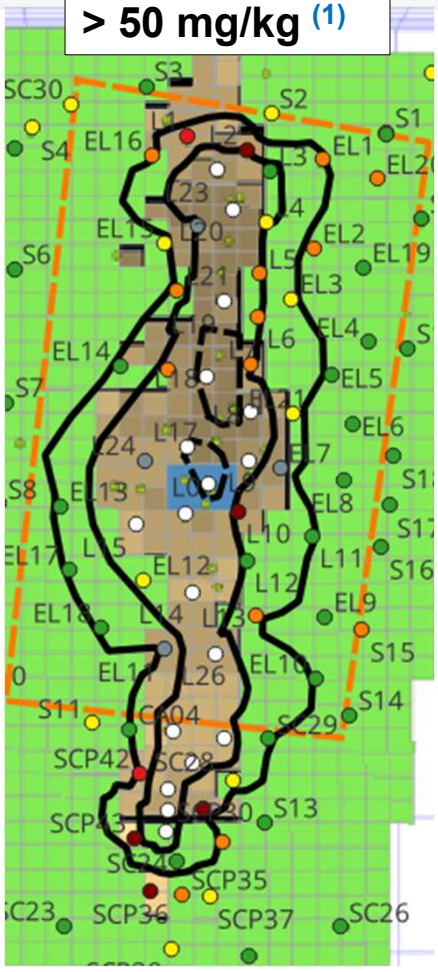
- **2 000 mg/kg :** seuil à partir duquel le matériau sera considéré comme un **déchet dangereux** ;
- **50 mg/kg :** seuil de dépollution minimal à atteindre (seuil européen) **(niveau 1)** ;
- **10 mg/kg :** seuil théorique (statistique) **(niveau 2)**
- **1 mg/kg :** seuil théorique (statistique) **(niveau 3)** (dans la réalité : compliqué techniquement à atteindre)

Nécessité de définir des **seuils de dépollution** différents **au-dessus** et **en-dessous** de la nappe selon les différents objectifs :

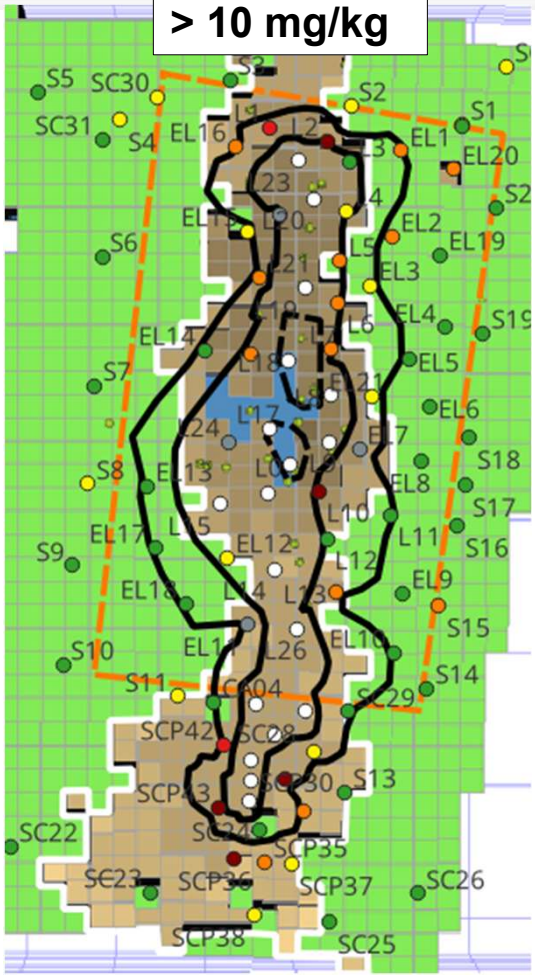
- **Au-dessus de la nappe :** Enlèvement des déchets dangereux et matériaux contaminés ➔ **niveau 1 *a minima***
- **En-dessous de la nappe :** Stopper le relargage de polluants dans la nappe / améliorer la qualité des eaux souterraines (on vise la potabilité) = véritable enjeu « Nappe d'Alsace » ➔ **niveau 2 *a minima***

2 EVOLUTION DES PLANS DE TERRASSEMENT EN FONCTION DES SEUILS DE DEPOLLUTION ENVISAGES

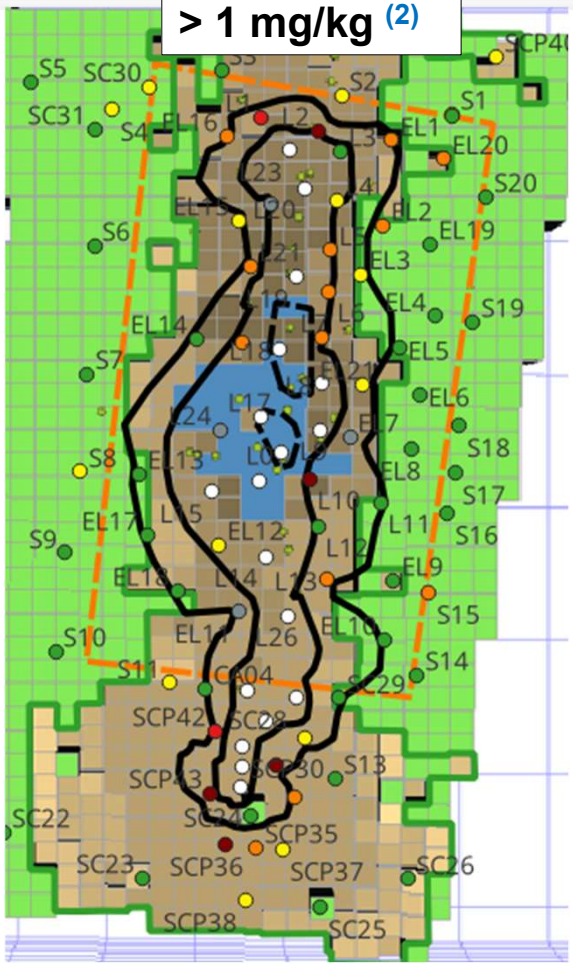
> 50 mg/kg (1)



> 10 mg/kg



> 1 mg/kg (2)



1) Seuil fixé par le Règlement européen (UE) 2019/1021 relatif aux Polluants Organiques Persistants (POP)
2) Le seuil théorique de 1 mg/kg implique des volumes considérables de terres excavées.

2 EVOLUTION DES VOLUMES A TRAITER EN FONCTION DES DIFFERENTS SEUILS DE DEPOLLUTION

Paramètres		Gamme de concentrations (mg/kg MS)	Masse de polluant (d=1,5 sauf déchets)	Volume de matériaux
Déchets de lindane				
Massif de déchets		Produits purs	2450 tonnes (d=1,25)	1960 m^3
Sols pollués				
HCH Totaux		2 000 < C < Massif de déchet	64 tonnes (89 %)	6 940 m^3
	Niveau 1	50 < C < Massif de déchet	71 tonnes (98,6%)	16 129 m^3
	Niveau 2	10 < C < Massif de déchet	71,6 tonnes (99,5%)	32 102 m^3
	Niveau 3	1 < C < Massif de déchet	71,8 tonnes (99,75%)	70 923 m^3

Le seuil européen permet déjà d'atteindre un traitement de 98,6 % de la pollution.

Un abattement de 10 mg/kg permet de gagner presque 1% de produit traité.

Volume de matériaux	Volume total terrassement (m^3)	Volume pollution (m^3/ t)	Terre supérieure (m^3)
Déchets de Lindane Poudres/Nodules	-	1 960 / 2 450	-
Excavation > 2000 mg/kg	21 875	8 900 / 12 860	12 975
Excavation > 50 mg/kg	34 179	18 089 / 26 644	16 090
Excavation > 10 mg/kg	61 655	34 062 / 50 603	27 593
Excavation > 1 mg/kg	102 230	72 883 / 108 835	27 347

Le fait de descendre « théoriquement » le seuil de dépollution à 1 mg/kg ne permet que de gagner 0,25 % de produit traité. Cet objectif semble d'ailleurs techniquement infaisable.

L'évolution à la baisse des seuils de dépollution implique une augmentation significative des matériaux excavés.

3 PREMIERE APPROCHE DE COÛTS PREVISIONNELS

Volume de matériaux	Traitement hors site	Traitement mixte
Seuil > 50 mg/kg	36 M€	30 M€
Seuil > 10 mg/kg	45 M€	37 M€
Seuil > 1 mg/kg	66 M€	51 M€

➔ *Fort intérêt économique de la réalisation du traitement « mixte » au détriment de la solution tout excavation / traitement hors-site »*

➔ *Faisabilité d'une opération « vertueuse » (réemploi des matériaux sur site)*

Traitement « hors-site » : excavation et traitement hors site de l'ensemble des matériaux

Traitement « mixte » : lavage/criblage des matériaux faiblement à modérément impactés + traitement hors-site des matériaux fortement impactés (ex : déchets).

Volume de matériaux	Traitement hors site	Traitement mixte
Seuil > 50 mg/kg ZNS Seuil > 10 mg ZS	36,5M €	30,5 M€
Seuil > 50 mg/kg ZNS Seuil > 1 mg/kg ZS	37,5 M€	31,5 M€
Seuil > 10 mg/kg ZNS Seuil > 1 mg/kg ZS	46 M€	38 M€

➔ *Solution mixte nécessitera de la place (yc autour du site) : demandes d"autorisation / indemnisation*

Il est nécessaire de différencier les approches en :

- Zone Non Saturée (ZNS) : au-dessus du niveau de la nappe
- Zone Saturée (ZS) : sous le niveau de la nappe où pourrait être envisagés (en fonction de la profondeur de la pollution) :
  - Terrassement avec blindage et gestion des eaux ;
  - Substitution mécanique avec ou sans oxydant.

IMPORTANT : éléments susceptibles d'évoluer avec les nouveaux résultats (ex : verticalité de la zone source)

Les coûts présentés sont exprimés en millions d'euros TTC :

- incluent la sécurisation de l'intervention (ex : tente sous dépression…) ;
- n'incluent pas l'AMO/MOE travaux (1,5 M€) et la présence éventuelle d'un laboratoire sur site (1,5 – 3 M€ TTC).

3 SOLUTIONS TECHNIQUES DE TRAITEMENT AUJOURD'HUI RETENUES + ORGANISATION GÉNÉRALE DU CHANTIER

Fort des résultats des essais de laboratoire, il est possible de construire à ce stade, des premières orientations en termes de combinaison de techniques adaptées :

- **En zone non-saturée (ZNS) – au-dessus de la nappe – Traitements des déchets dangereux et matériaux contaminés :**
  - **Déchets dangereux** ➔ Excavation et traitement hors-site (traitement thermique)
  - Matériaux fortement à modérément impactés ➔ Excavation et traitement sur site
    - Tri granulométrique et lavage des sols fortement à modérément pollués (nécessite de la place) ;
    - Désorption thermique des sols fortement à modérément pollués ;
  - Matériaux modérément à faiblement pollués (y compris pollution résiduelle) ➔ Excavation et traitement biologique (hors-site)
  - Confinement de surface à l'issue des opérations d'excavation (pérennité de l'information) + aménagement paysager

- **En zone non saturée (ZS) – sous le niveau de la nappe – Traitement de la zone source & amélioration de la qualité des eaux souterraines :**
  - Excavation et traitement comme les matériaux au-dessus de la nappe (si pollution peu profonde / accessible facilement au fond de la gravière une fois celle-ci ouverte) ;
  - Lavage In Situ ;
  - Traitement avec oxydant In Situ (injection, soil mixing …) ;
  - Solidification / Stabilisation In Situ ;
  - Biostimulation In situ.

Nécessité de mieux connaître la profondeur de la pollution sous la nappe pour aller + loin

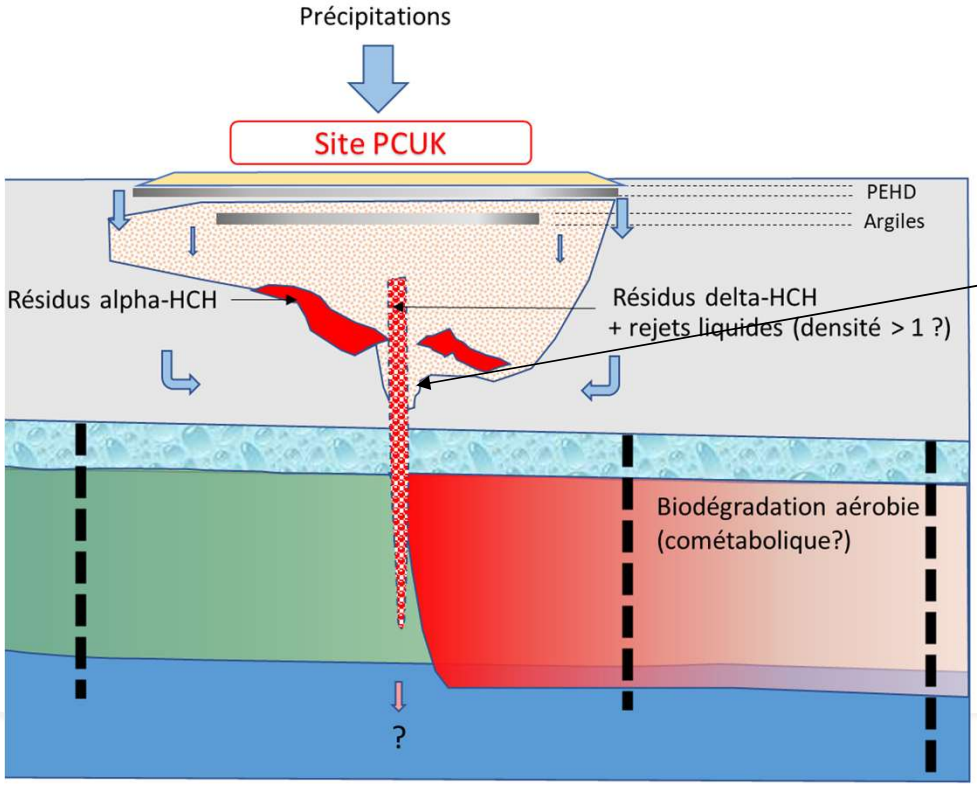
Ces scénarii sont évolutifs et seront réinterrogés à différentes étapes de la vie de l'étude sur la base de l'acquisition de nouvelles informations (ex : investigations complémentaires..).

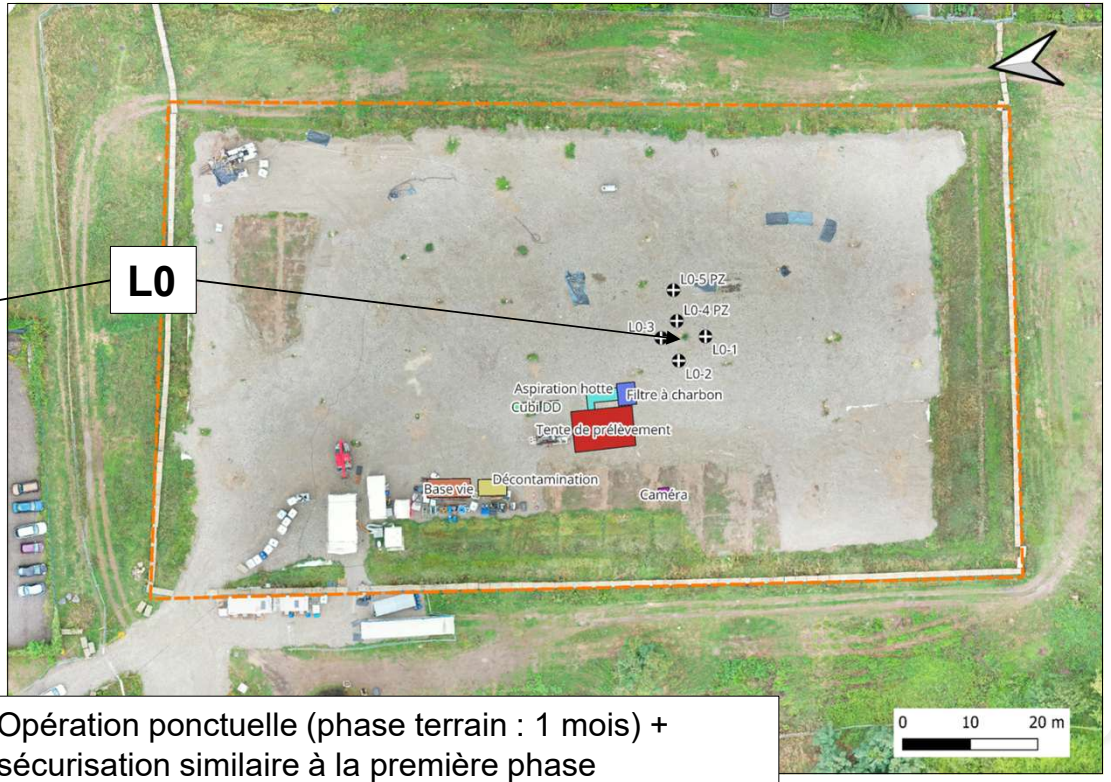
3 INVESTIGATIONS COMPLEMENTAIRES

Investigations complémentaires nécessaires pour préciser :

- Préciser la profondeur de la pollution
- Vérifier la présence/absence de DNAPL

Caractérisation complémentaire de la zone source **dimensionnante** pour les futurs travaux (source la pollution des eaux eaux souterraines, choix définitif de la technique en zone saturée, adaptation de la sécurisation géotechnique en conséquence…)



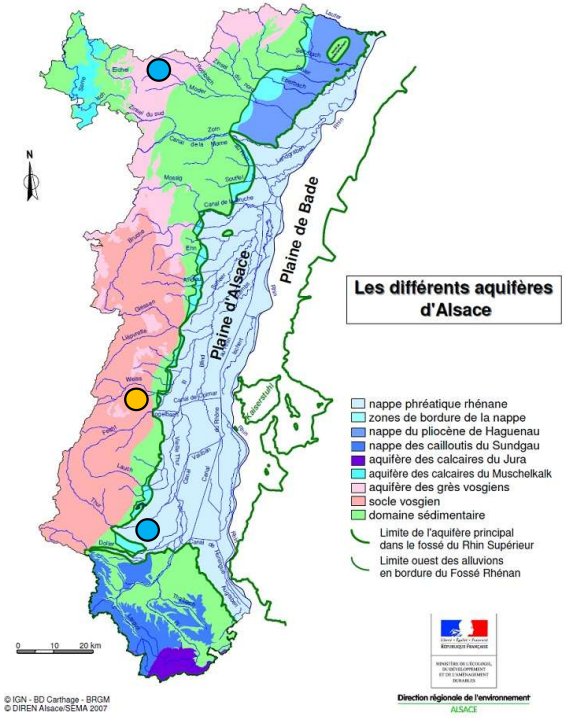


Opération ponctuelle (phase terrain : 1 mois) + sécurisation similaire à la première phase d'investigations (REX) + mesures bruit+vibrations

SOMMAIRE

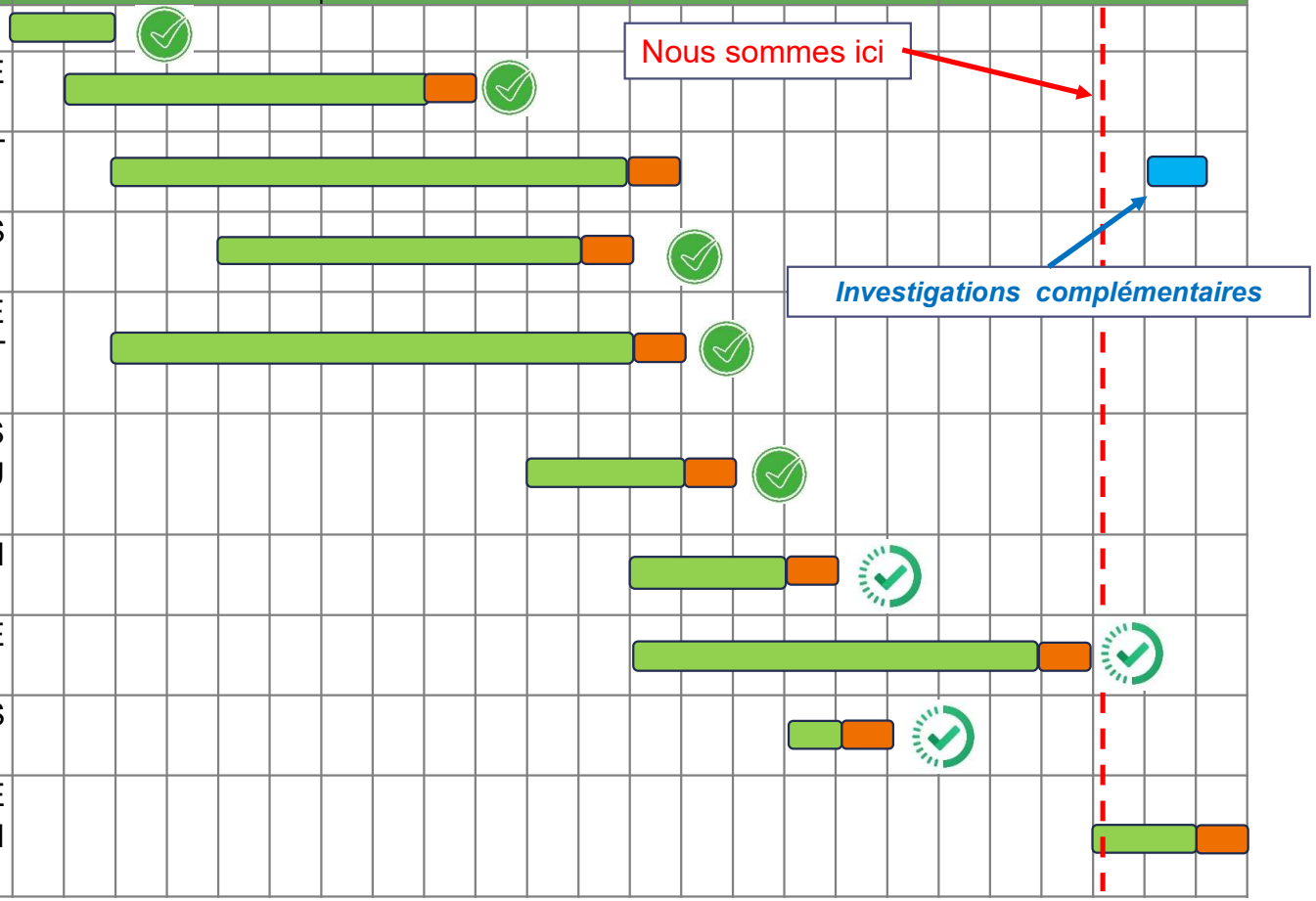
Introduction *(ADEME)*

1. Synthèse des derniers résultats et bilan des connaissances sur les sources de pollution *(INTERA)*
   - *a) Synthèse des travaux de caractérisation du terme source*
   - *b) Synthèse des travaux de caractérisation des milieux de transfert*
   - *c) Evaluation d'un scenario préliminaire de dépollution de la nappe*
2. Résultats de l'ensemble des essais de faisabilité en laboratoire *(ESTRALAB)*
3. Premières orientations en matière de travaux *(ENVIREAUSOL)*
   - *a) Réflexions sur les seuils de dépollution en zone non saturée (au-dessus de la nappe)*
   - *b) Solutions techniques de traitement aujourd'hui retenues*
   - *c) Organisation générale du chantier / sécurisation (géotechnique, émissions, bruit, vibrations…)*
4. Prochaines étapes *(ADEME)*
   - *a) Investigations complémentaires sur le terme source (objectifs + sécurisation)*
   - *b) Essais sur site*
   - *c) Planning général*
5. Echanges



Planning & budget - Rappel du phasage PREVISIONNEL de l'intervention

Tâche	2025		2026	
	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 1	Sem. 2
PHASE PREPARATOIRE				
JALON 1 - ÉTAT DES LIEUX INITIAL DE LA QUALITÉ DES SOLS DE SURFACE				
JALON 2 – DÉFINITION DES ZONES SOURCES ET DES ZONES CONCENTRÉES				
JALON 3 – CARACTÉRISATIONS GÉOTECHNIQUES – ÉTUDES G1				
JALON 4 – FONCTIONNEMENT HYDRODYNAMIQUE DU SITE ET IMPACTS DES MILIEUX DE TRANSFERT PAR LA SOURCE DE POLLUTION				
JALON 5 – RESTITUTION ET INTERPRÉTATIONS SUR LES EAUX SOUTERRAINES ET LES GAZ DU SOL				
JALON 6 – RÉALISATION D'UN PREMIER BILAN COUTS AVANTAGES				
JALON 7 – ESSAIS DE FAISABILITÉ (LABORATOIRE ET TERRAIN) ET ETUDES DE DIMENSIONNEMENT				
JALON 8 – CARACTÉRISATIONS GÉOTECHNIQUES – ÉTUDE G2 AVP				
INTERPRÉTATION DES ESSAIS DE DIMENSIONNEMENT – ETUDE AVP DE 4 SCENARII ET ACTUALISATION DU BCA / **RAPPORT FINAL**				



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté Égalité Fraternité

Planning global de l'étude et du projet

Prochaines échéances :

De manière continue :
Questions : contact@nappe-dalsace.fr
www.nappe-dalsace.fr

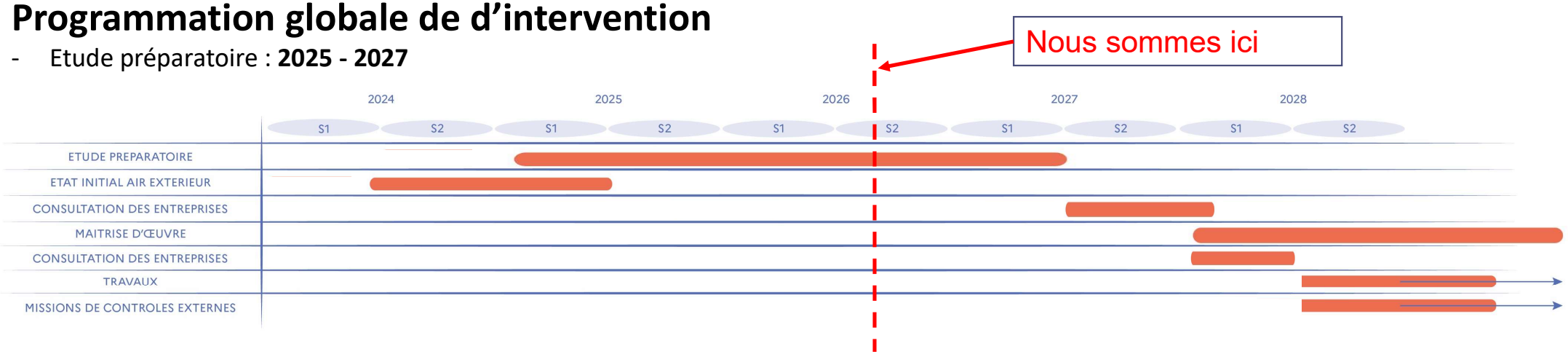
- **En cours / 2er semestre 2026 :**
  - Réalisation d'investigations complémentaires sur la zone source (L0) ;
  - Remise du rapport final diagnostic Biodiversité (préconisations / autorisations ?)

- **1er semestre 2027 :**
  - Mise à jour des différentes missions avec les résultats des investigations complémentaires ;
  - Essais de terrain ;
  - Avant-Projet (rapport final) ;
  - Anticipation de la mission de Moe : échanges avec riverains pour définition des attentes et alimentation du CCTP de Moe ?

➔ Proposition : Copil début 2027 avec résultats des investigations complémentaires + bilan coûts-avantages précisé

Programmation globale de d'intervention

- Etude préparatoire : **2025 - 2027**



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

Merci pour votre attention.

Questions diverses / échanges / questions ?

