

Application de l'EBR (Electro-Bio-Remediation) Protocole de mise en œuvre de tests de traitabilité sur site

Philippe OUDIN Hugo CARRONIER



Philippe OUDIN

oudin@semaco.fr

philippe.oudin@mines-nancy.univ-lorraine.fr

www.semaco.fr



Hugo CARRONIER

hugo.carronnier@valgo.com

QU'EST CE QUE LA TECHNOLOGIE EBR ??

Quelques rappels sur l'Electrochimie

La réaction d'Electro Fenton

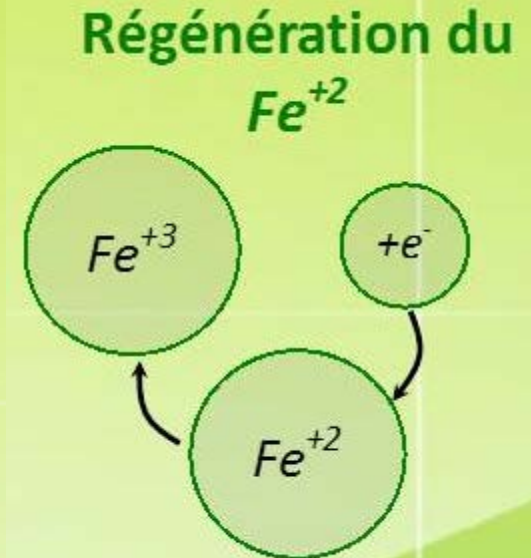
- Oxydation de l'anode Fe :



- Réaction entre H_2O_2 et Fe^{+2} production de radical hydroxyle :



- Régénération électrochimique de Fe^{+2} au niveau de la cathode.
- Optimisation du processus par modification du courant électrique.

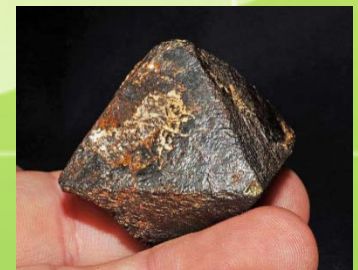
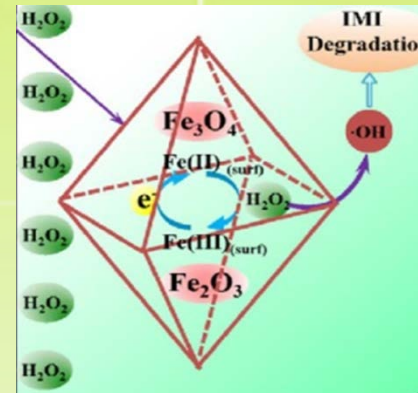


Formation des Hydroxydes Fe(II,III)

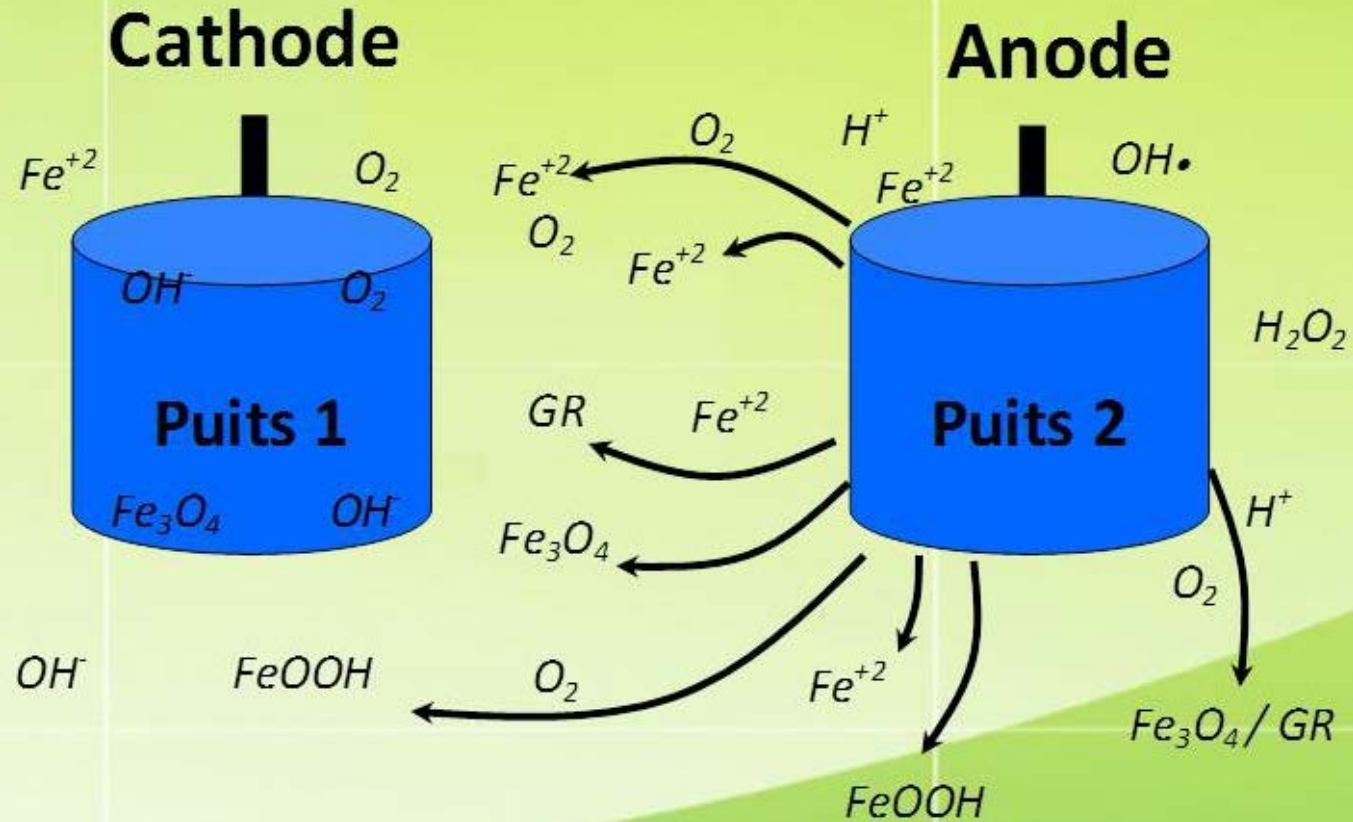
- **Production de Magnetite ($\text{Fe}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}_2\text{O}_4$)**

Structure tétraédrique présentant des sites Ferriques avec des propriétés particulières

- Forte adsorbabilité des Oxyanions à la surface de la magnétite.
- Modification de la configuration de surface de la magnétite et donc de sa réactivité



Couplage entre plusieurs puits

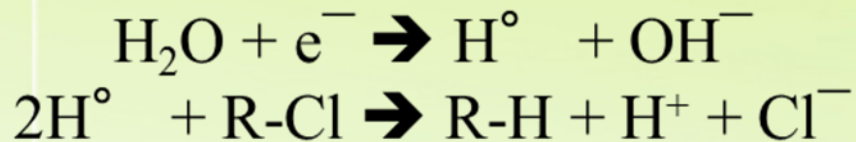


Source : Elgressy International

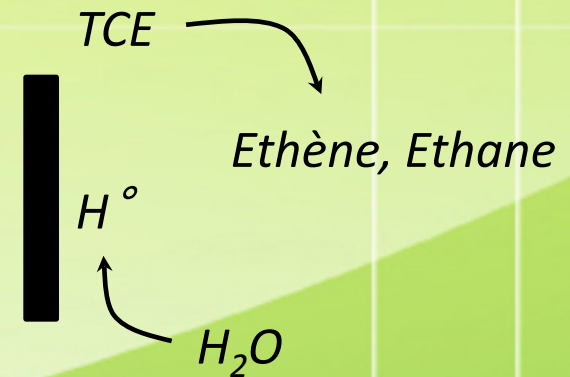
La déchloration électrochimique

trichloroethylene (TCE)

- Approche électrolytique pour une déchloration électro réductive
- Electrolyse par une anode de Fe induit une forte réduction du potentiel Red/Ox (ORP)



Formation de
l'atome
d'hydrogène
(ORP faible ↓)



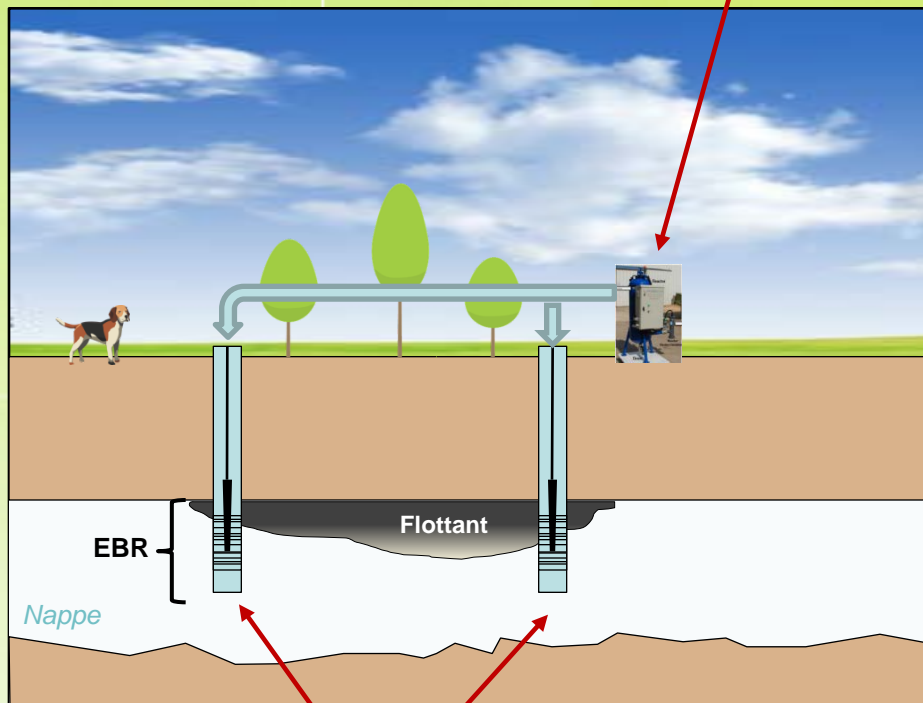
APPLICATIONS EBR

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

1 contrôleur électrique



2 électrodes par puits



2 Puits de traitement

Iron electrodes

Reactor



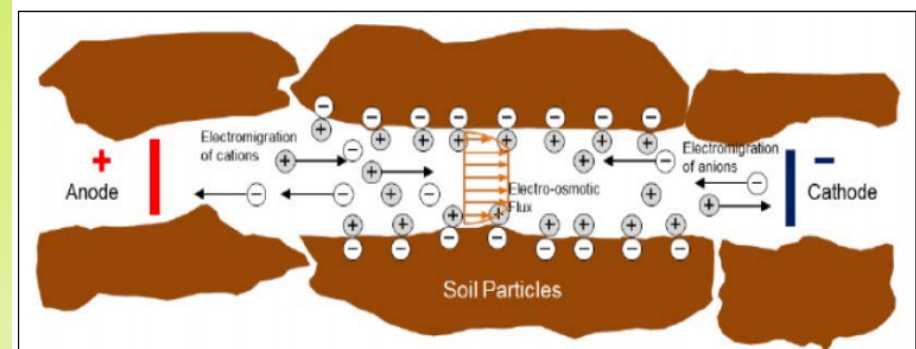
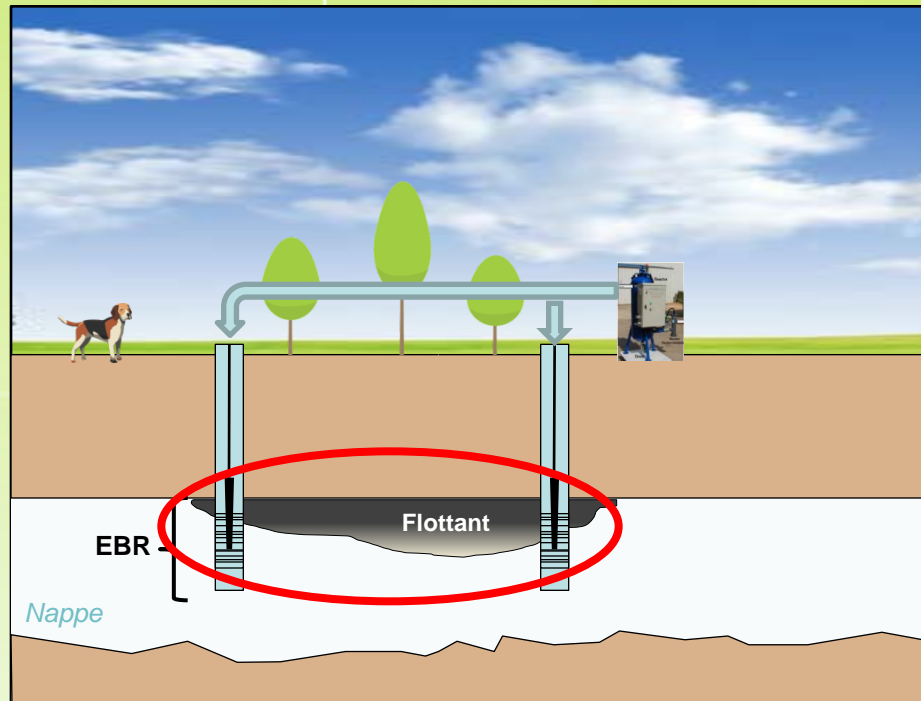
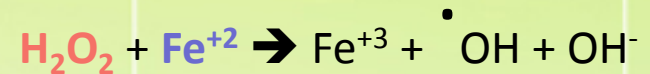


Figure 10 : Schéma d'illustration de la migration électrique des particules entre l'anode et la cathode
(Source : ELGRESSY International)



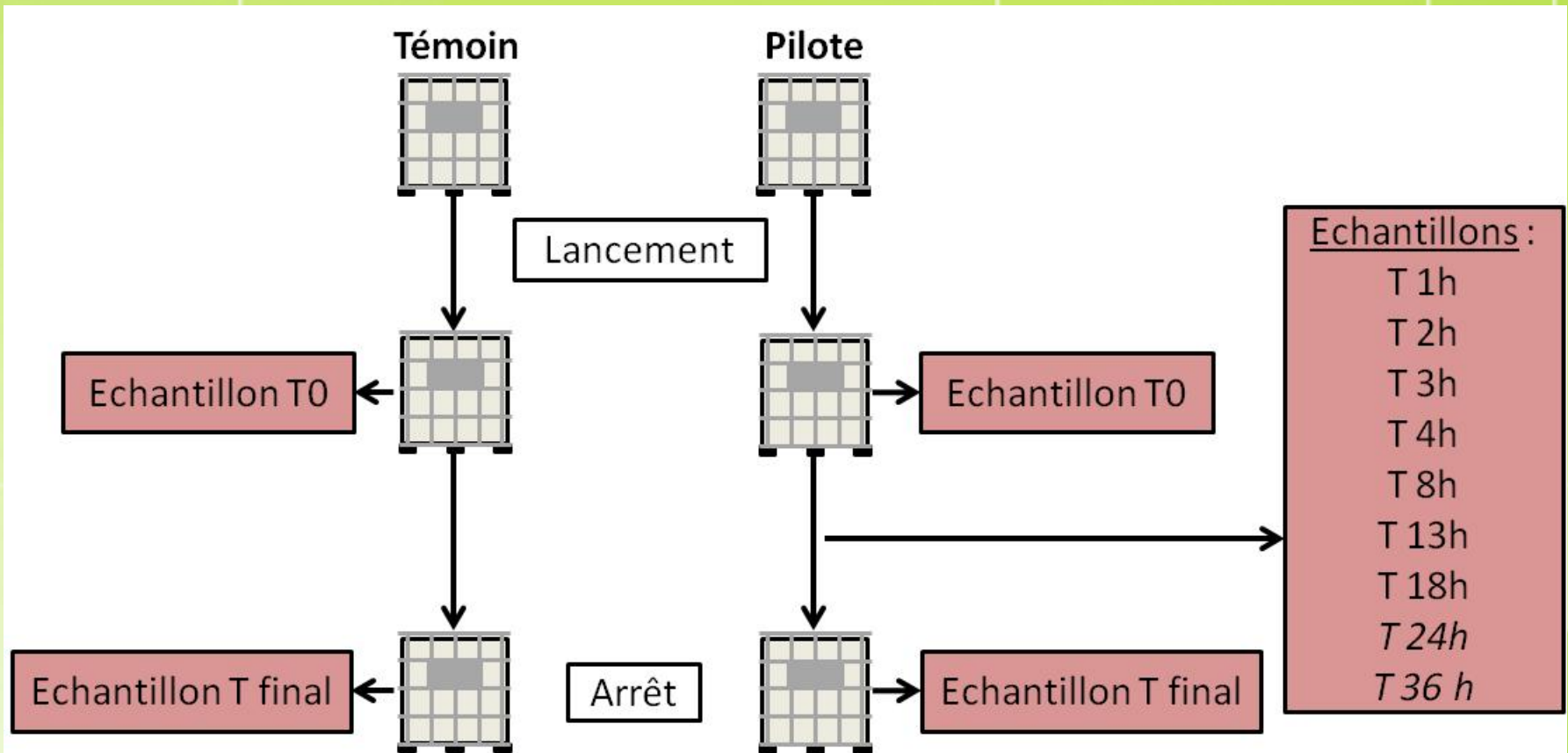
Produits de la réaction de Fenton :

- Dégradation des composés organiques
- Biodégradation facilitée par les micro-organismes du sol

REALISATION D'ESSAIS PILOTE SUR SITE

- PFAS
- COHV
- Hydrocarbures
- Propiconazole et tébuconazole (produits de traitement du bois)

- **Validation de la traitabilité de la pollution**
- **Représentativité de l'échantillon**
- **Détermination des cinétiques de dégradation**
- **Rapidité et simplicité d'exécution**
- **Coûts maîtrisés**



- Essais pilote sur site → volume : 60 litres ou 1 m³
- Traitement sur 24 à 48 heures

PRÉSENTATION DES ESSAIS SUR SITE

Pilote sur 60 L



PRÉSENTATION DES ESSAIS SUR SITE

Pilote sur 1 m³



La problématique des composés perfluorés

Famille de plus de 6000 composés à la classification complexe, d'origine **exclusivement humaine**

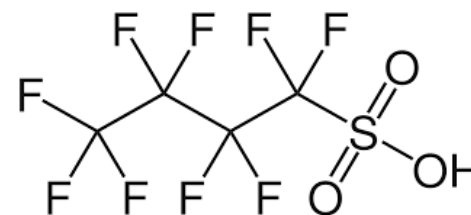
De multiples **liaisons C – F** :

- ▶ **Grande demi-vie** (entre 40 et 90 ans)
- ▶ Virtuellement non biodégradables (ECHA), même si des publications contradictoires émergent concluant à la dégradation en composés à chaîne courte (C4-C7)
- ▶ Très forte **accumulation dans les organismes vivants**
- ▶ Grande variabilité dans les propriétés physico chimiques

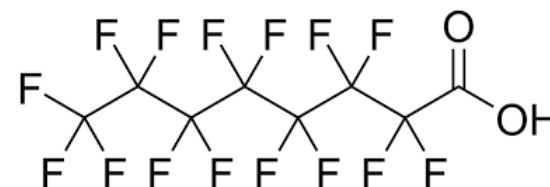
▶ **Encadrés par la Directive Cadre sur l'Eau:**

$\sum 20 \text{ PFAS} = 100 \text{ ng/L}$

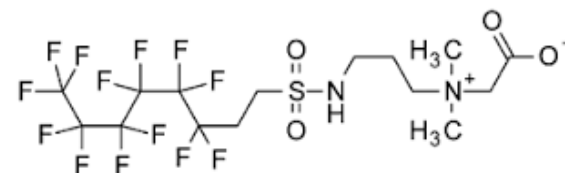
$\sum \text{PFAS} = 500 \text{ ng/L}$



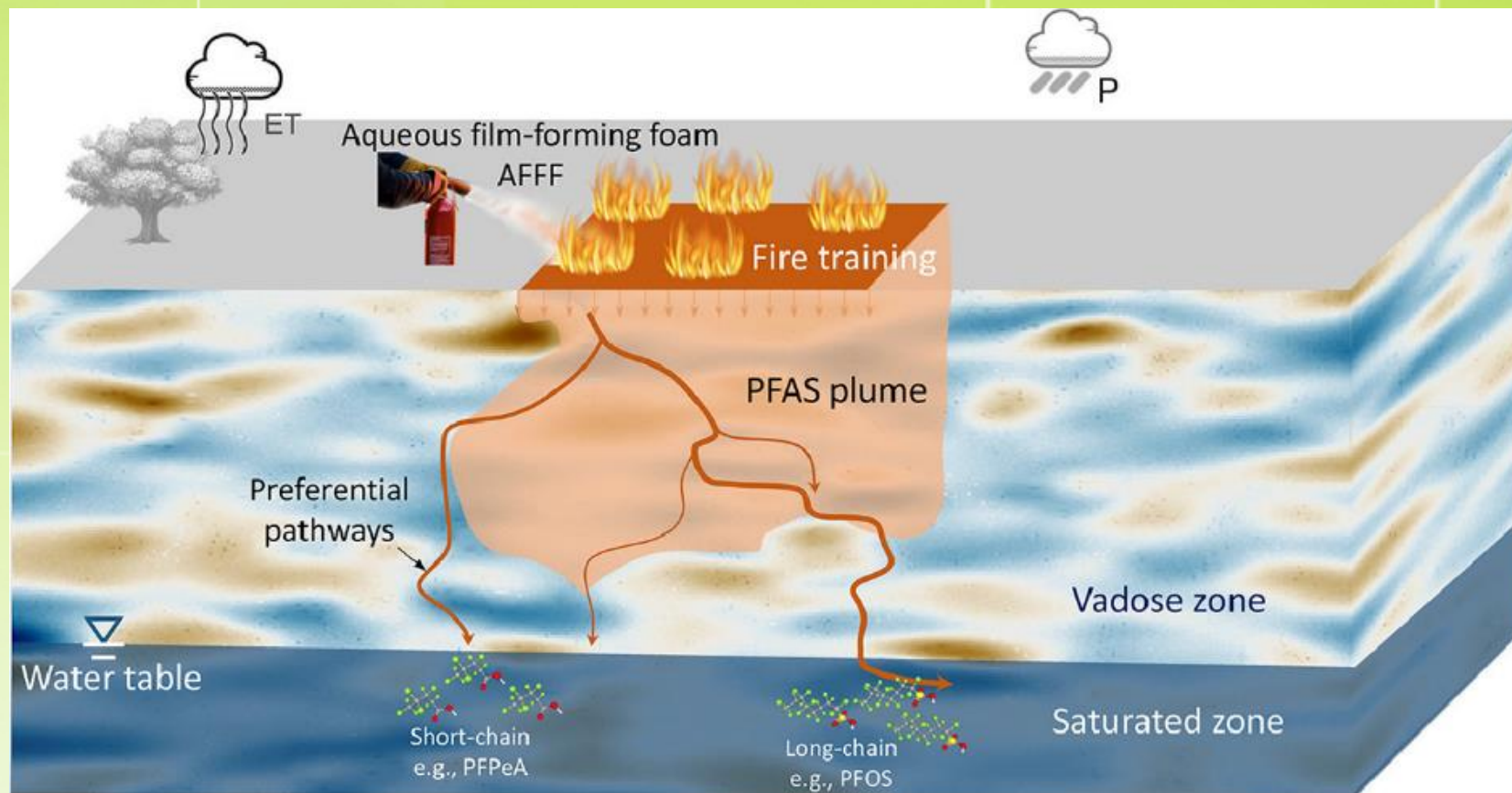
PFBS



PFOA



6:2 FTAB



Zeng 2021

- Des voies d'exposition multiples

- Des toxicités multiples :

- Toxicité hépatique modérée
- Toxicité immunologique
- Toxicité métabolique
- Troubles du développement pré et post natal
- Effet perturbateur endocrinien
- Favorise les cancers

- Durée de demi-vie dans l'organisme → 5 ans

- Absorption variable selon la longueur de chaîne (favorisé pour les PFAS à chaîne courte)

CONSÉQUENCES DES PFAS SUR LE CORPS HUMAIN



1NG/L

Les PFAS réduisent la concentration d'anticorps vaccinaux chez l'enfant dès la concentration plasmatique de 1ng/L*.

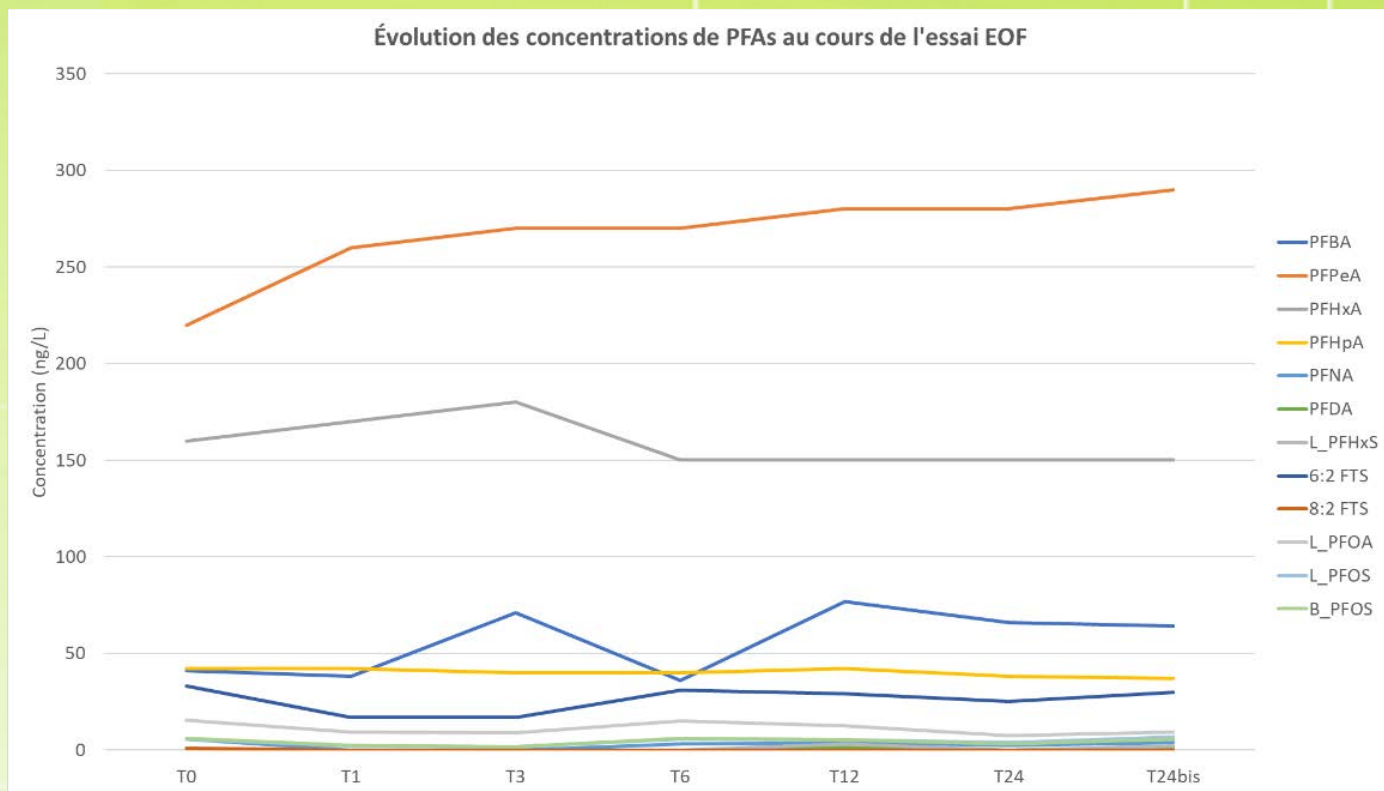
*Nanogramme/litre



- 1 POIDS PLUS FAIBLE À LA NAISSANCE
- 2 DIMINUTION DE LA RÉACTION AUX VACCINS
- 3 DÉVELOPPEMENT PRÉMATURÉ DE LA PUBERTÉ
- 4 DÉVELOPPEMENT TARDIF DES GLANDES MAMMAIRES
- 5 RISQUE D'OBÉSITÉ

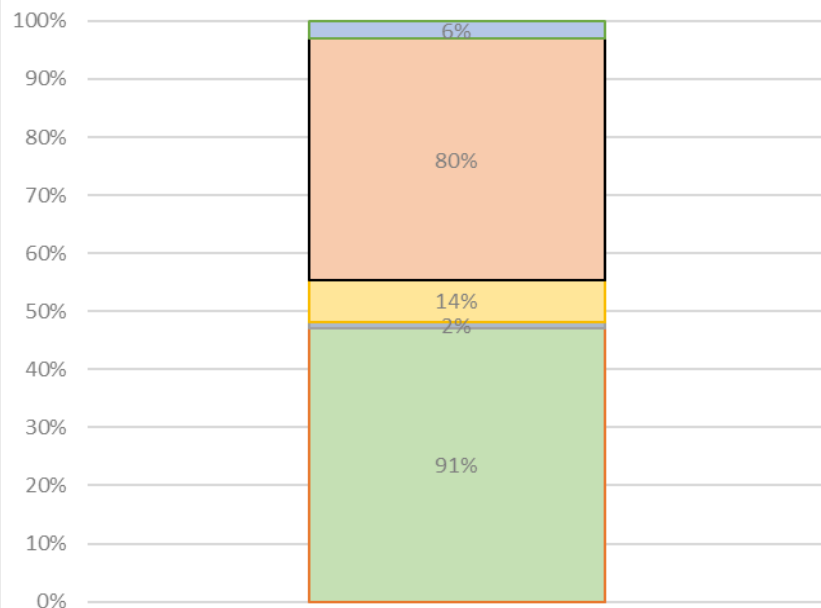
Essais Pilote

Résultats bruts **peu interprétables** du fait de la multiplicité des PFAS et des multiples familles.

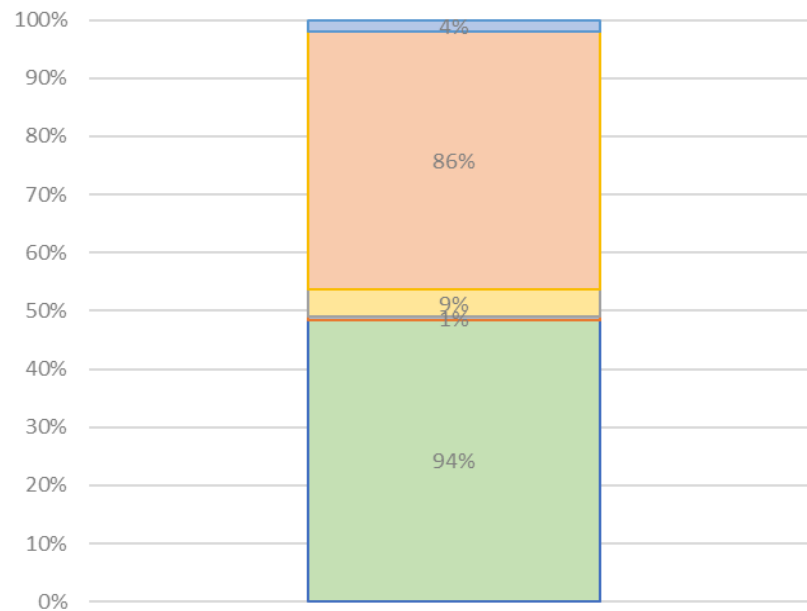


Essais Pilote

Proportion des PFAS Observés à T0

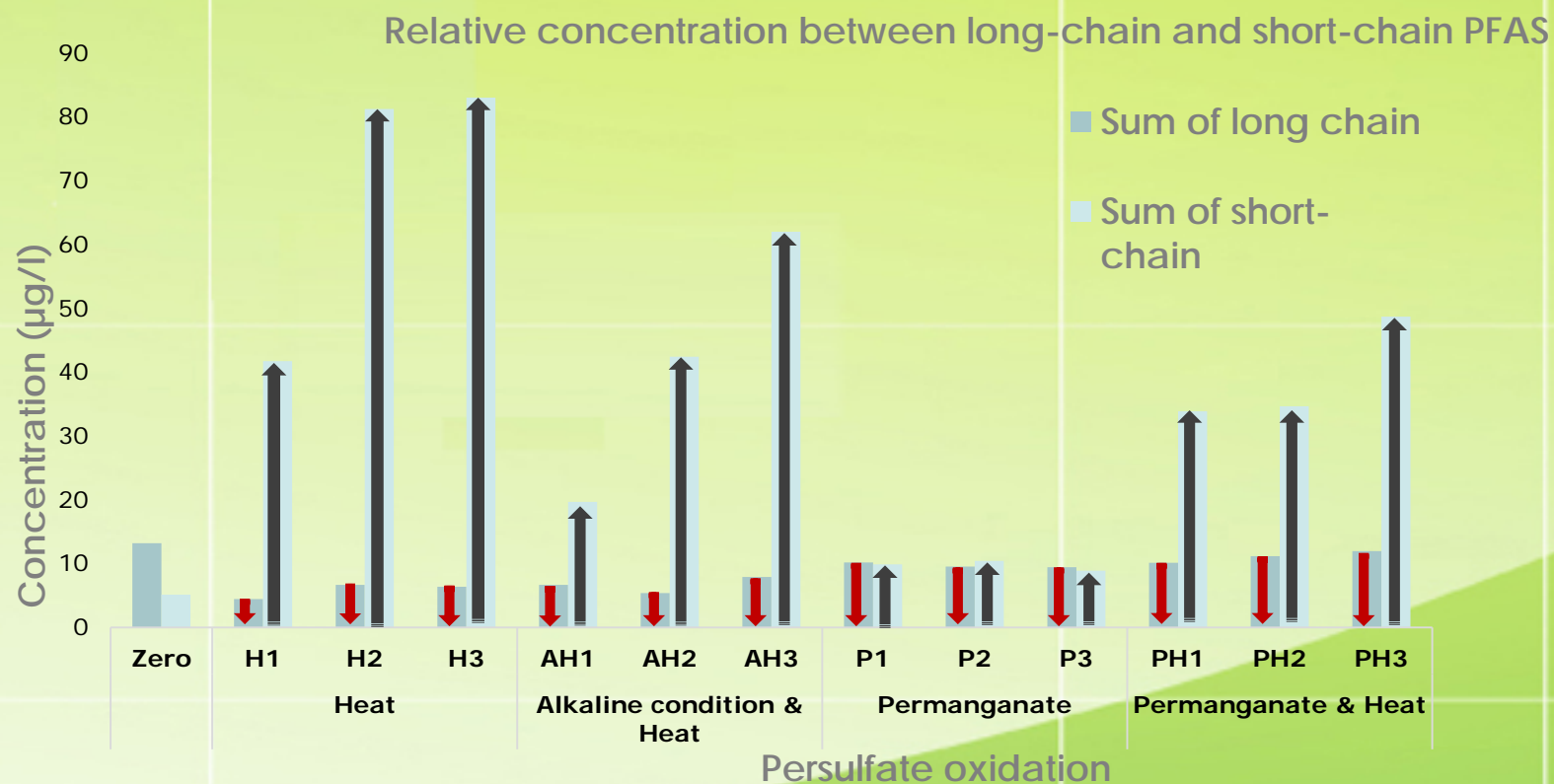
 Σ PFCA Σ PFSA Σ chaînes
courtes Σ chaînes
longues Σ Précurseurs

Proportion des PFAS Observés à T + 24h



- **Faible Efficacité** de l'EBR sur l'Electro Fenton sur les PFAS excepté quelques PFAS comme le PFOS .
- Diminution des précurseurs et des composés à chaîne Longue
- **Augmentation des composés à chaîne courte**

- Dégradation des composés à chaîne longue en PFAS à chaîne courte



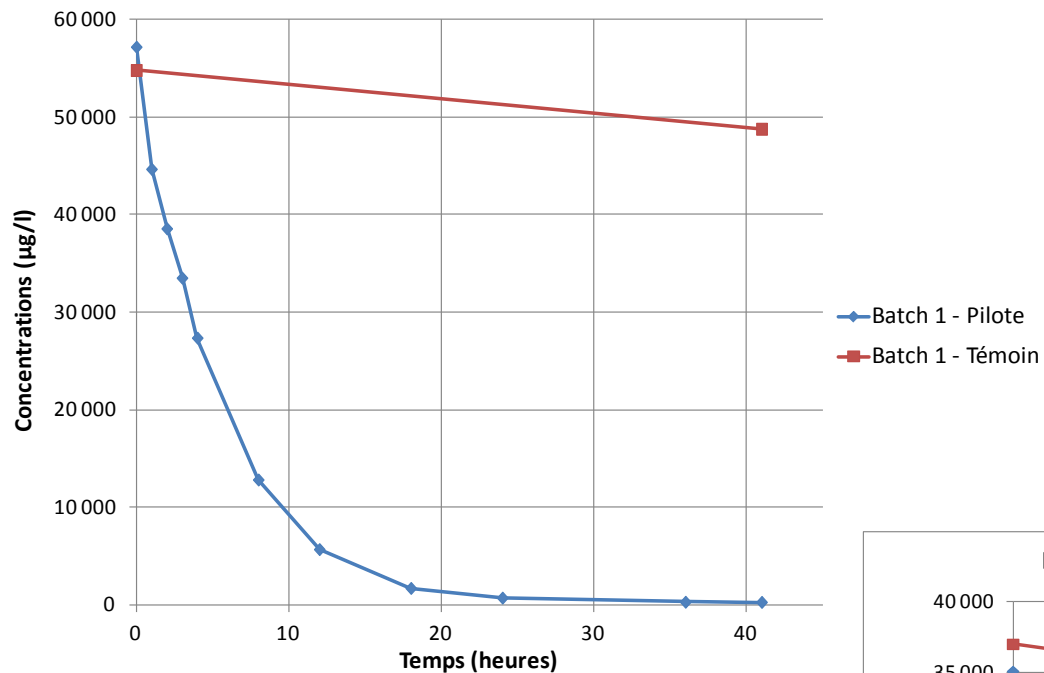
- ➡ ▶ Les procédés d'oxydation sont généralement peu efficaces sur les PFAS
- ➡ ▶ Les procédés d'oxydation cassent les PFAS à chaîne longue en composés perfluorés à chaîne courtes
 - ▶ Plus mobiles dans l'environnement
 - ▶ Lixivient plus facilement dans les sols
 - ▶ Plus difficilement traités par les méthodes usuelles (Charbon actif, ultra filtration)
 - ▶ Plus biodisponibles
 - ▶ Plus absorbés par le tractus gastro intestinal
 - ▶ Traversent plus facilement les membranes biologiques (Barrière hémato encéphalique)

TEST DE TRAITEMENT DES COHV

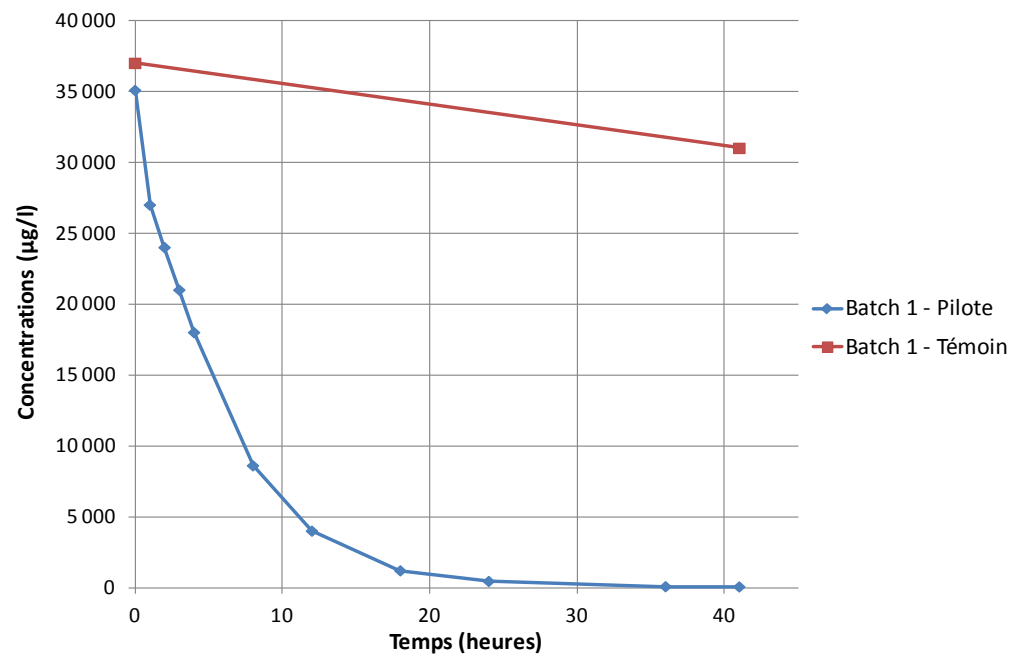
TEST DE TRAITEMENT DES COHV

Essais Pilote

Evolution des concentrations en COHV totaux au cours du temps



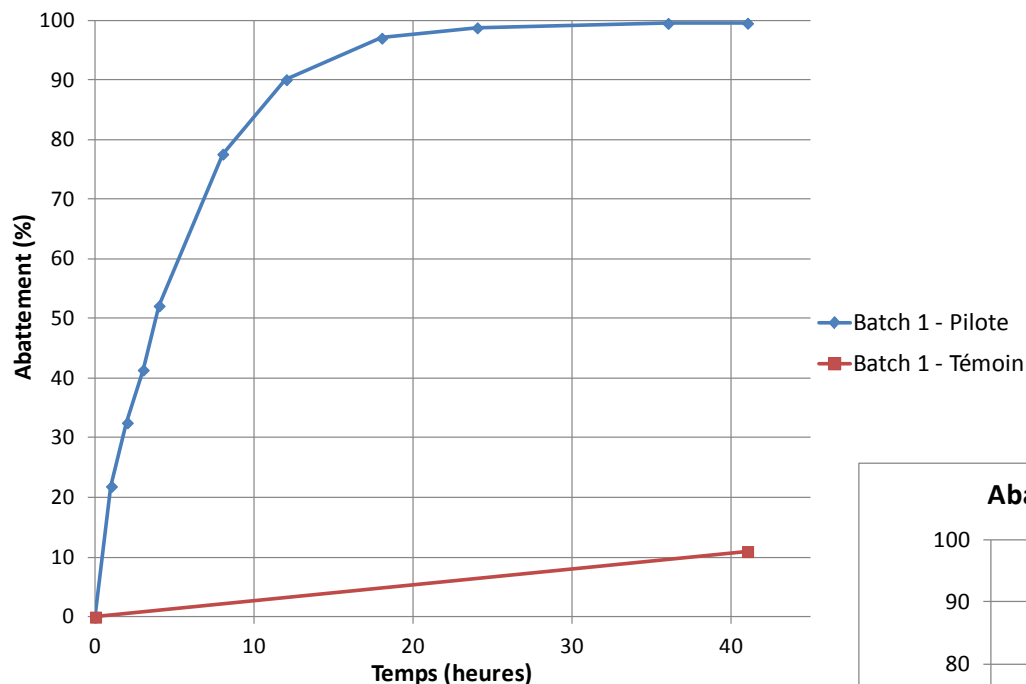
Evolution des concentrations en TCE+PCE au cours du temps



TEST DE TRAITEMENT DES COHV

Essais Pilote

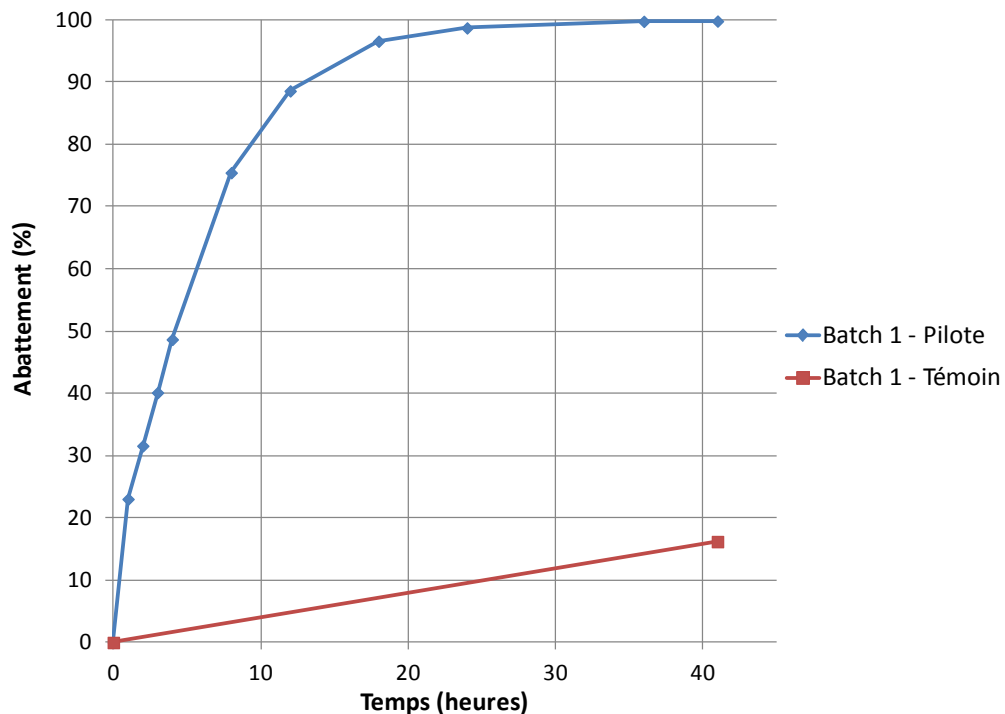
Abattement des concentrations en COHV totaux au cours du temps



Abattements :

- $\approx 90\%$ en 12 heures
- $\approx 98\%$ en 24 heures

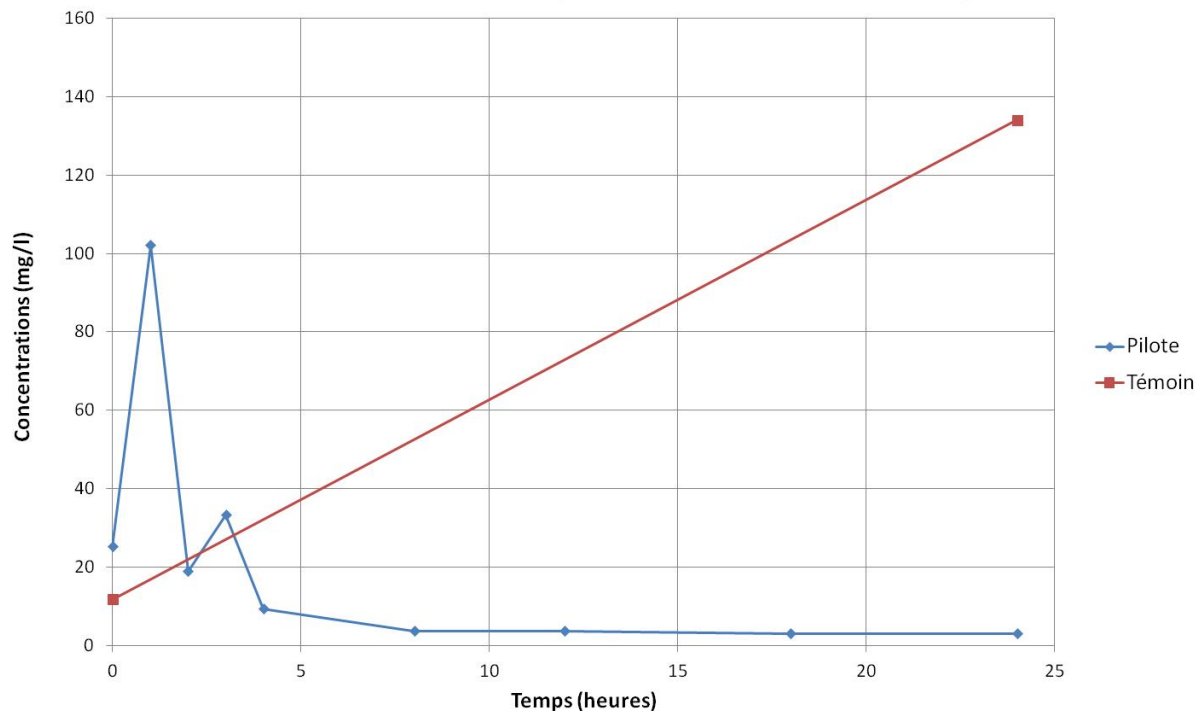
Abattement des concentrations en TCE+PCE au cours du temps



TEST DE TRAITEMENT DES HYDROCARBURES AVEC PRÉSENCE DE PHASE

HYDROCARBURES ALIPHATIQUES C10 C40

Evolution des concentrations en hydrocarbures C10-C40 au cours du temps



Essais Pilote

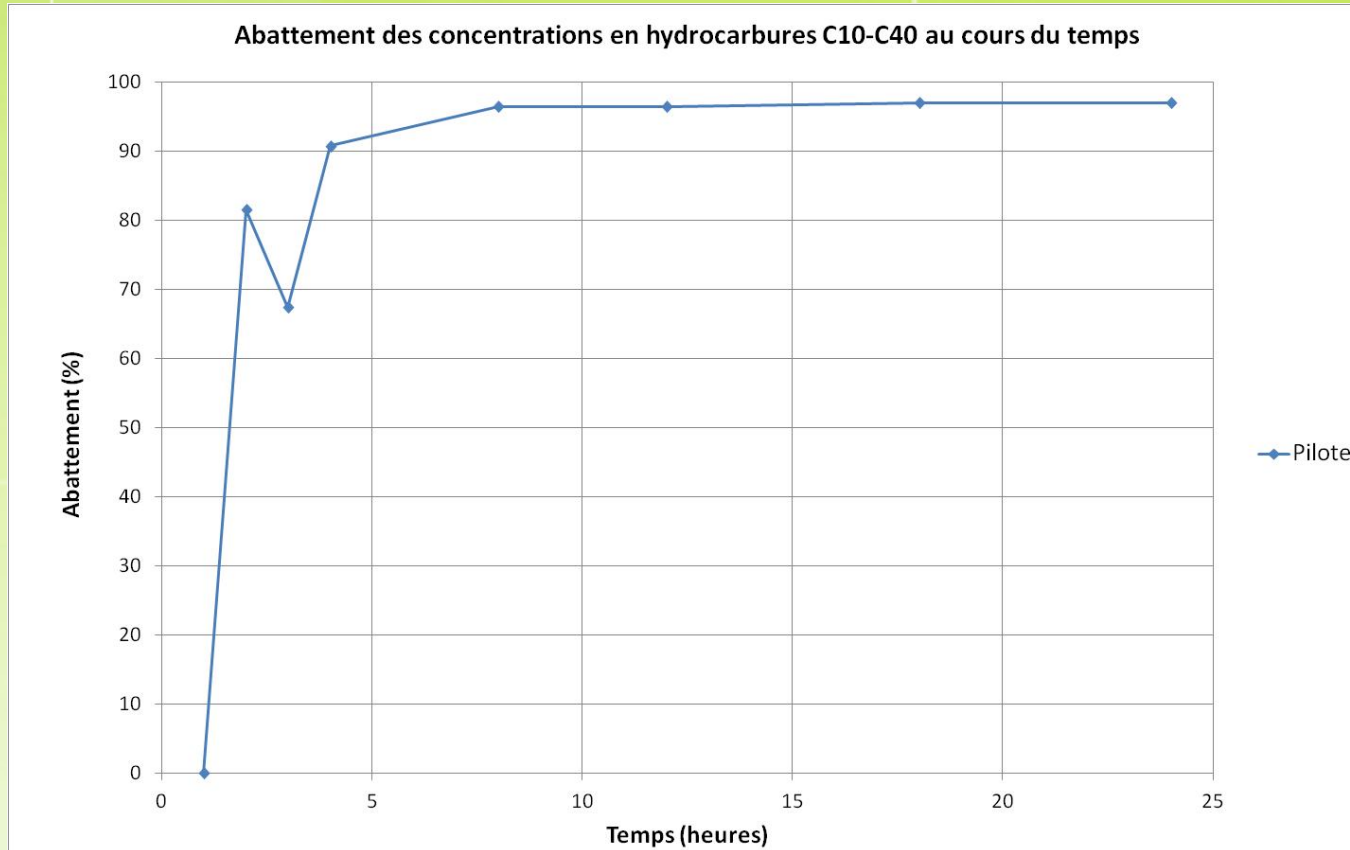


- Augmentation des concentration entre 0 et 1h (pilote) et entre 0 et 24h (témoin)
- Phase de stabilisation des paramètres après modification des équilibres liquide / phase (à valider)

TEST DE TRAITEMENT DES HYDROCARBURES

Essais Pilote

En considérant que T1h = concentration initiale réelle du pilote



Abattements :

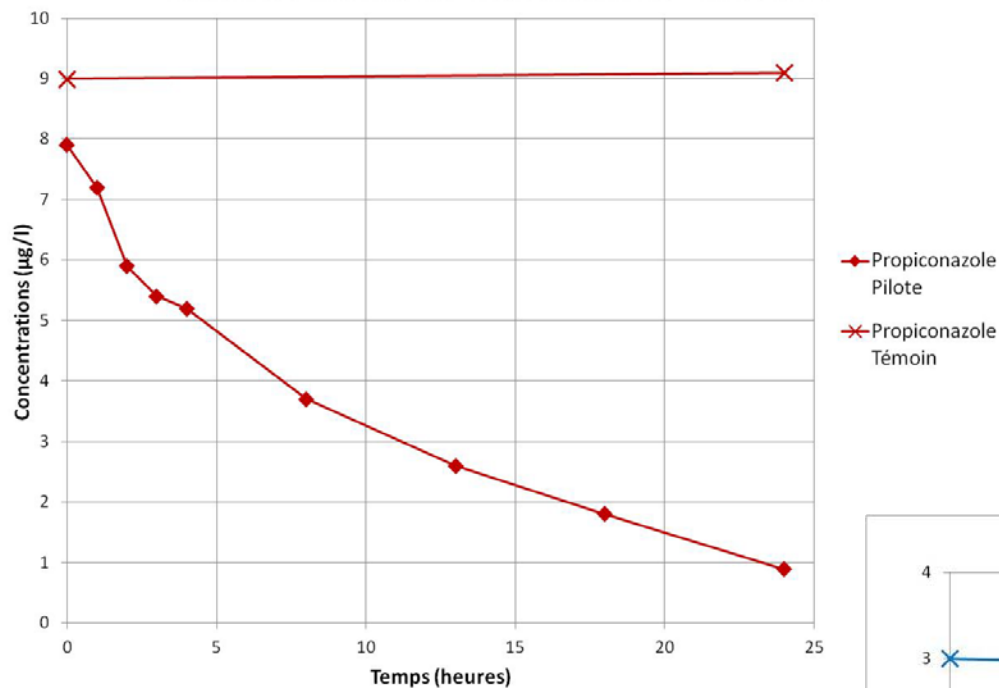
- $\approx 90\%$ en 4 heures
- $\approx 97\%$ en 18 heures

TEST DE TRAITEMENT MOLÉCULES COMPLEXES

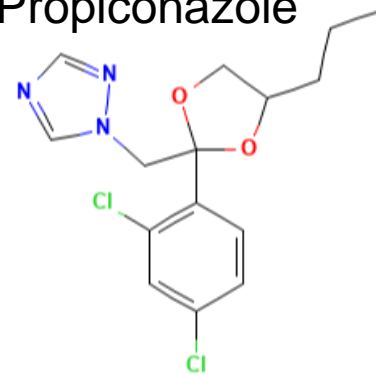
TEST DE TRAITEMENT DU PROPICONAZOLE ET TÉBUCONAZOLE

Essais Pilote

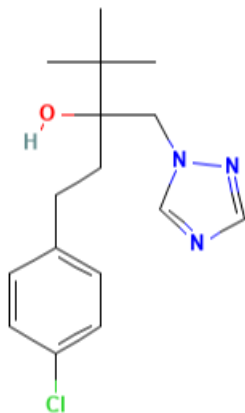
Evolution des concentrations en propiconazole au cours du temps



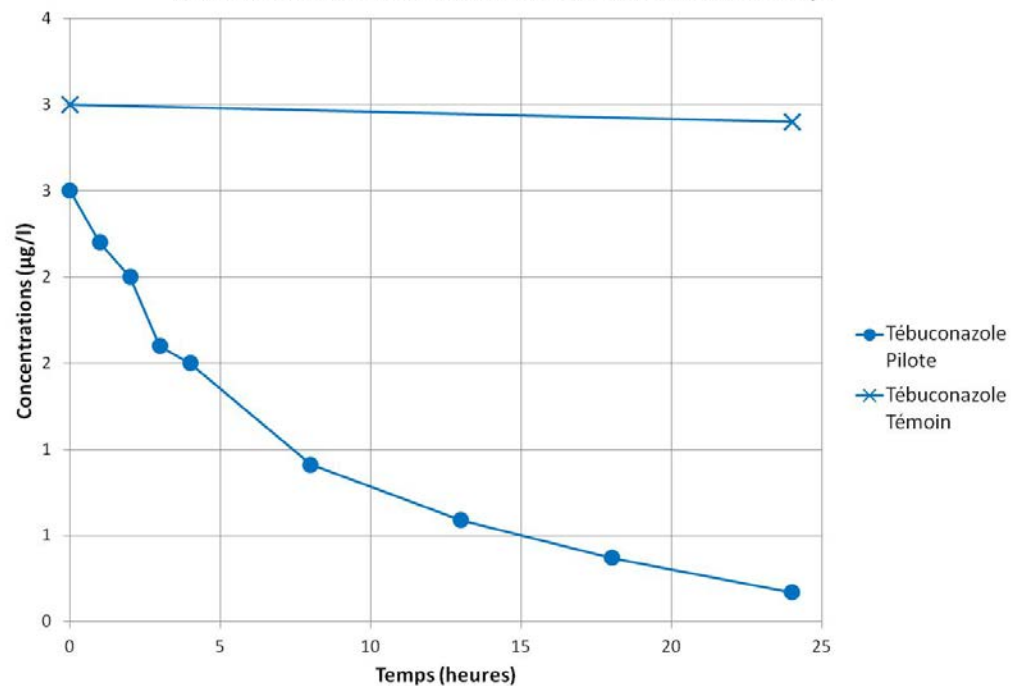
Propiconazole



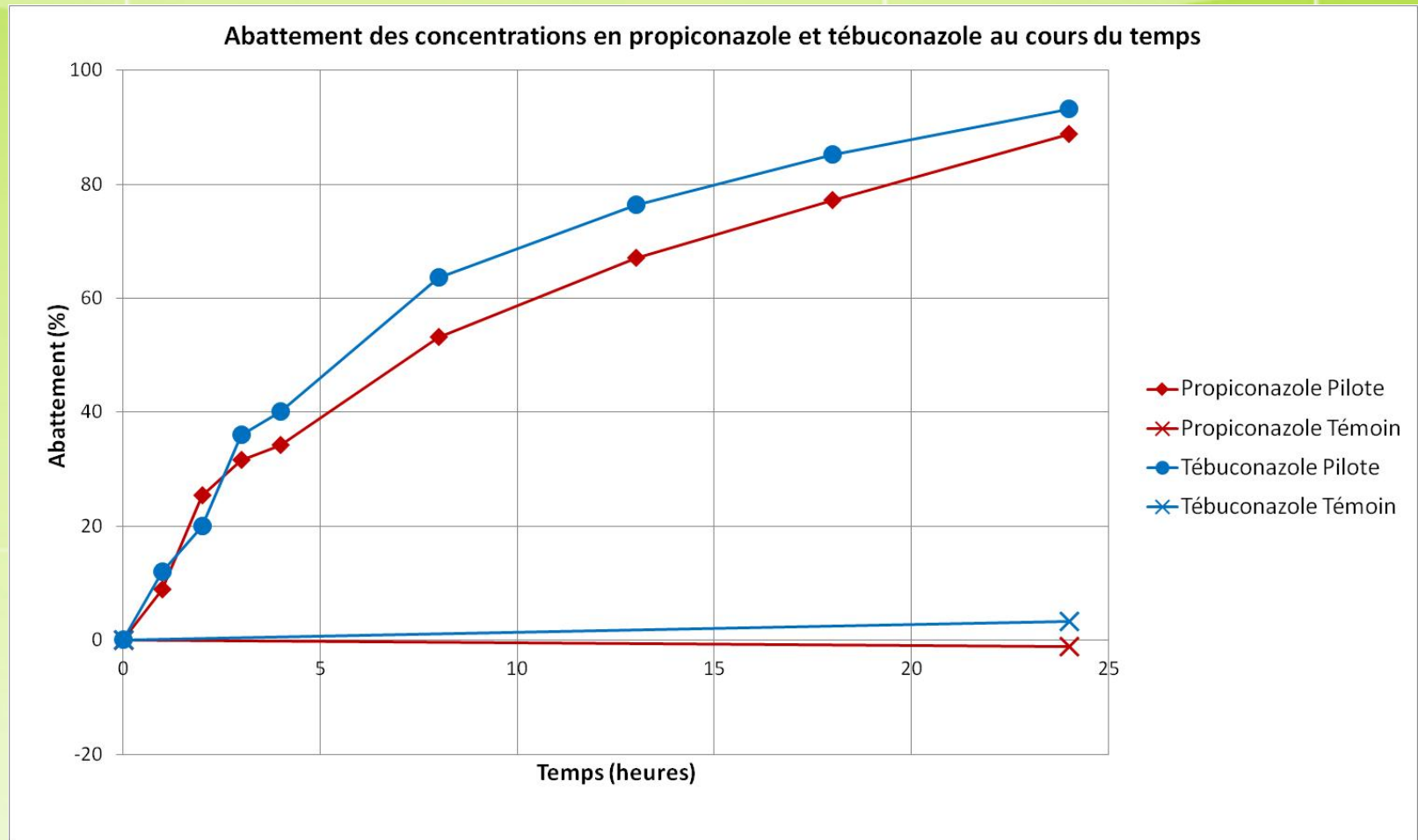
Tebuconazole



Evolution des concentrations en tébuconazole au cours du temps



TEST DE TRAITEMENT DU PROPICONAZOLE ET TÉBUCONAZOLE



Abattements propiconazole :

- $\approx 50\%$ en 8 heures
- $\approx 90\%$ en 24 heures

Abattements tébuconazole :

- $\approx 60\%$ en 8 heures
- $\approx 90\%$ en 24 heures

- Technologie efficace contre :
 - COHV
 - Hydrocarbures dissous et en phase
 - Produits de traitement du bois (propiconazole et tébuconazole)
- Technologie à priori non applicable sur les PFA's
- Tests sur site permet :
 - Validation de la technique
 - Maitrise des coûts

Ces essais pilotes peuvent être réalisés dans le cadre d'un Plan de Conception de Travaux (PCT)

→ essais en laboratoire : code B111 (NF X 31-620-3)

POUR ALLER PLUS LOIN

**RECHERCHE DE PARTENARIAT POUR ESSAIS
SUR SITE**

PCB's

HAP

**Amines
Aromatiques**

Pyrotechnique

MERCI DE VOTRE ATTENTION

