



Actualité des sites et sols pollués et thématiques émergentes

Journée technique organisée par le Brgm en concertation avec le MEDDE

**PACMAN - Impacts des dépollutions sur
des sols contaminés par des composés
aromatiques polycycliques :
conséquences sur les composés
aromatiques polycycliques polaires**

GISFI

**Geo
Ressources**



Colombano S., Faure P., Lorgeoux C., Cebron A., Saada A., Lemièrre B.,
Fries E., Andriatsihoarana S., Boulanger M., Ouali S., Dyda D., Hanser O.

SNOWMAN NETWORK
Knowledge for sustainable soils



**UNIVERSITÉ
DE LORRAINE**



Géosciences pour une Terre durable

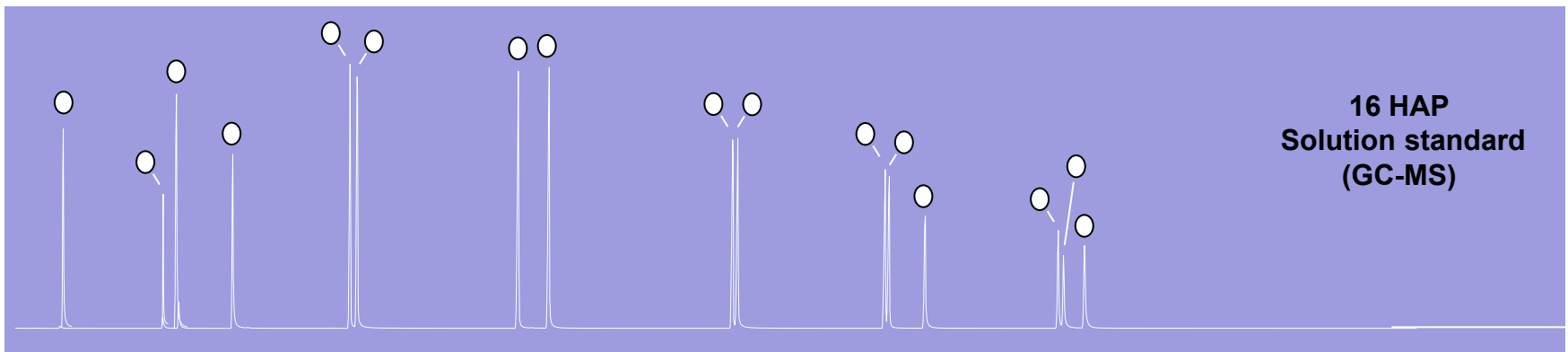
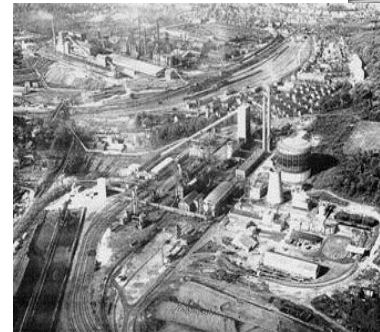
brgm

Diversité des composés aromatiques polycycliques

> Origine :

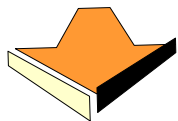
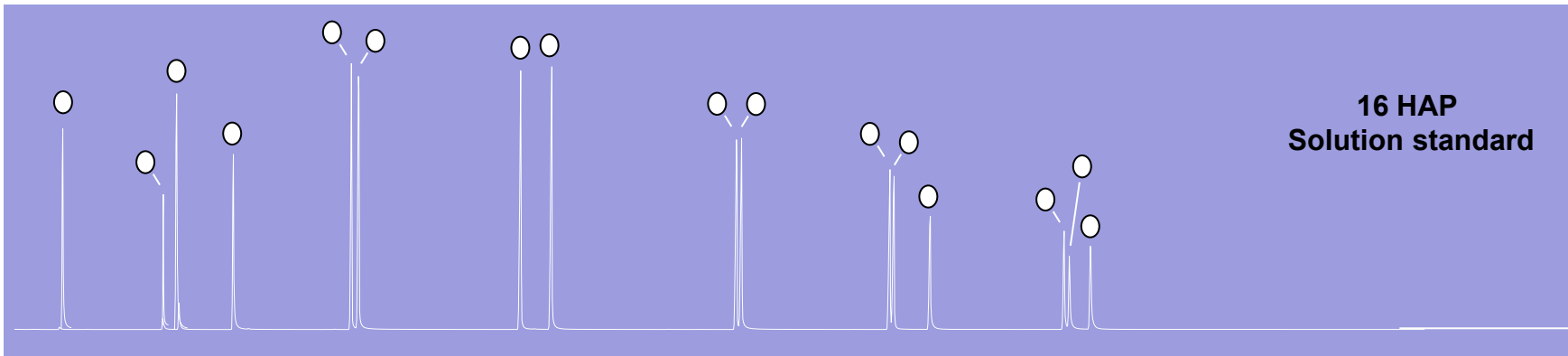
- Hydrocarbures pétroliers
- Anciennes usines à gaz, cokerie, usine de traitement de bois

> Diagnostics avant ou après traitement basés uniquement sur les 16 HAP

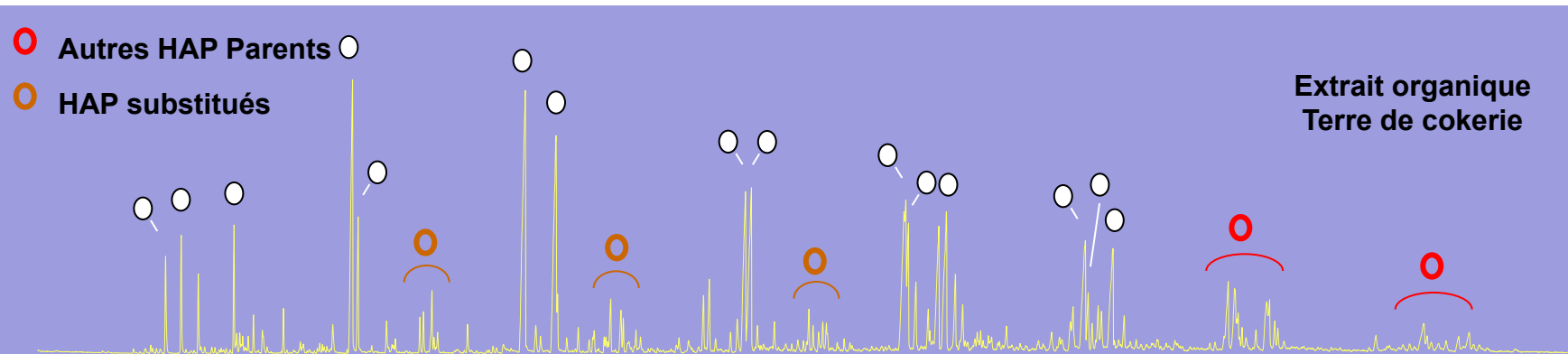


Géosciences pour une Terre durable



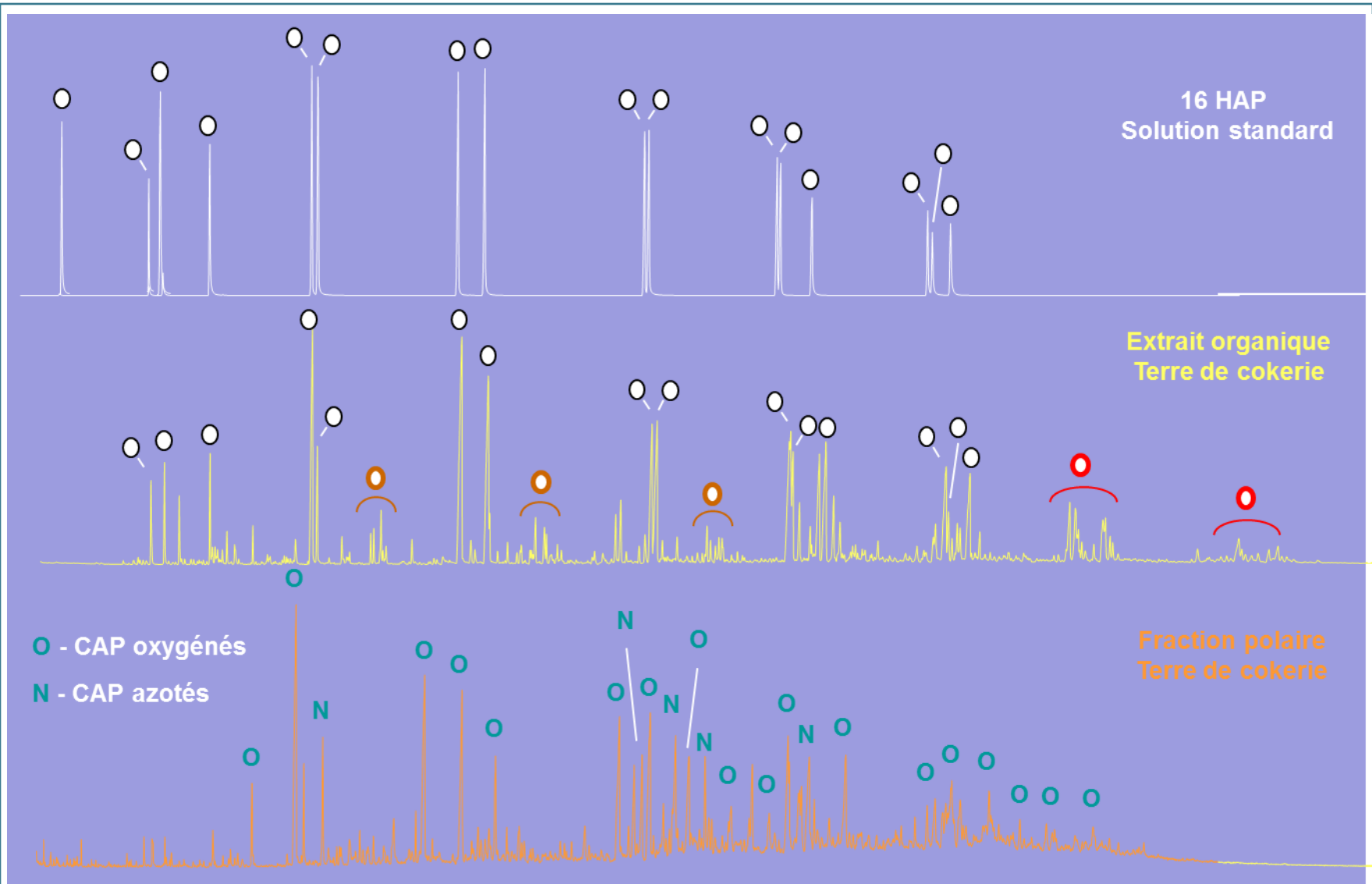


Dans la réalité



Géosciences pour une Terre durable



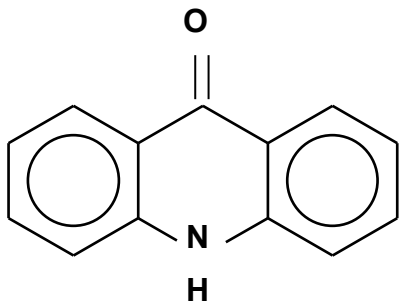


Géosciences pour une Terre durable

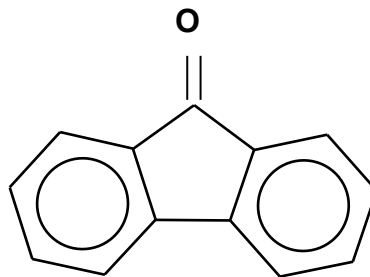


> Composés aromatiques polycycliques polaires

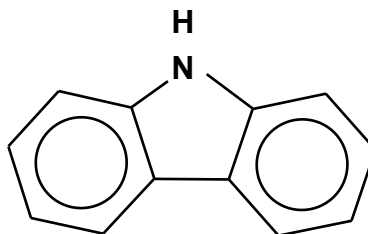
- CAP Oxygénés
- CAP Azotés
- CAP Soufrés



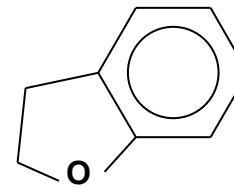
Acridinone



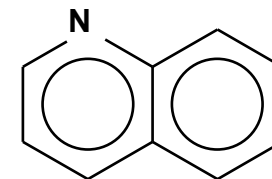
Fluorénone



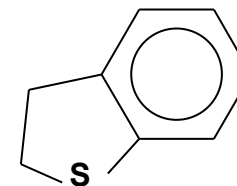
Carbazole



Benzofuran



Quinololine



Benzothiophène

> Propriétés des CAP polaires

- Présence de l'hétéroatome favorise la solubilité (donc plus mobile)
- Toxicité peut être égale voire plus forte que HAP
- Peuvent être initialement présents mais également produits lors de traitements (métabolites)



Géosciences pour une Terre durable

brgm

SNOWMAN NETWORK

Knowledge for sustainable soils



Objectifs

- > Faire un inventaire des sites contaminés par les PAC
- > Evaluer l'impact de traitements de remédiation sur les PAC Polaires
 - Dégradabilité
 - Formation au cours du traitement (métabolites)
- > Suivre le transfert potentiel de ces PAC polaires dans l'eau
- > Réaliser une synthèse des connaissances sur l'écotoxicologie des PAC polaires





Géosciences pour une Terre durable

brgm

Objectifs

- > **Conséquences de traitements de sols sur les PAC polaires :**
 - Rendements épuratoires (avec comparaisons par rapport aux HAP classiques)
 - Formation des PAC polaires pendant le traitement (métabolites)
 - Transfert dans la phase aqueuse

-  **I - Traitement chimique**
 - Peroxyde d'hydrogène (H_2O_2)
 - Fenton like (Magnetite)
 - Permanganate de potassium ($KMnO_4$)
-  **II - Traitement biologique**
 - Microorganismes indigènes

-  **III - Transfert dans la phase aqueuse**
 - Sols avant traitement
 - Sols après traitement



Pas de comparaison entre les traitements (doses différentes)



geo
Ressources



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Caractéristiques initiales des sols



Cokerie

TOC
%

6,5

EOM
mg/g sol

10,3

Σ16 PAH
µg/g sol

1146,0

Σ16 PAC (N et O)
µg/g sol

113,6



Usine à gaz

3

11,5

1780,9

171,8



Usine traitement de bois

15,9

81,5

23 151,6

2 432,3

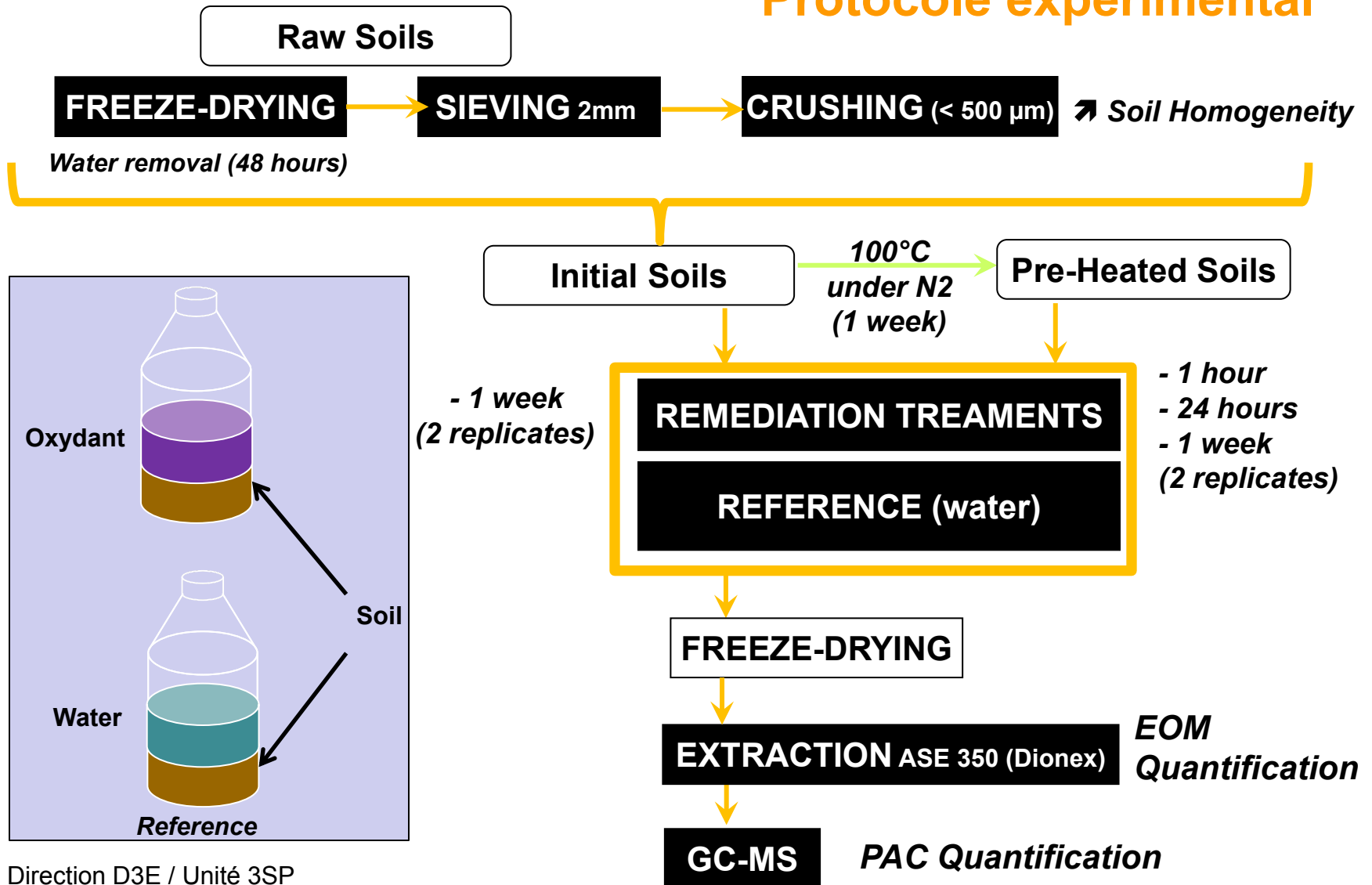


Géosciences pour une Terre durable



1. Traitement par oxydation chimique

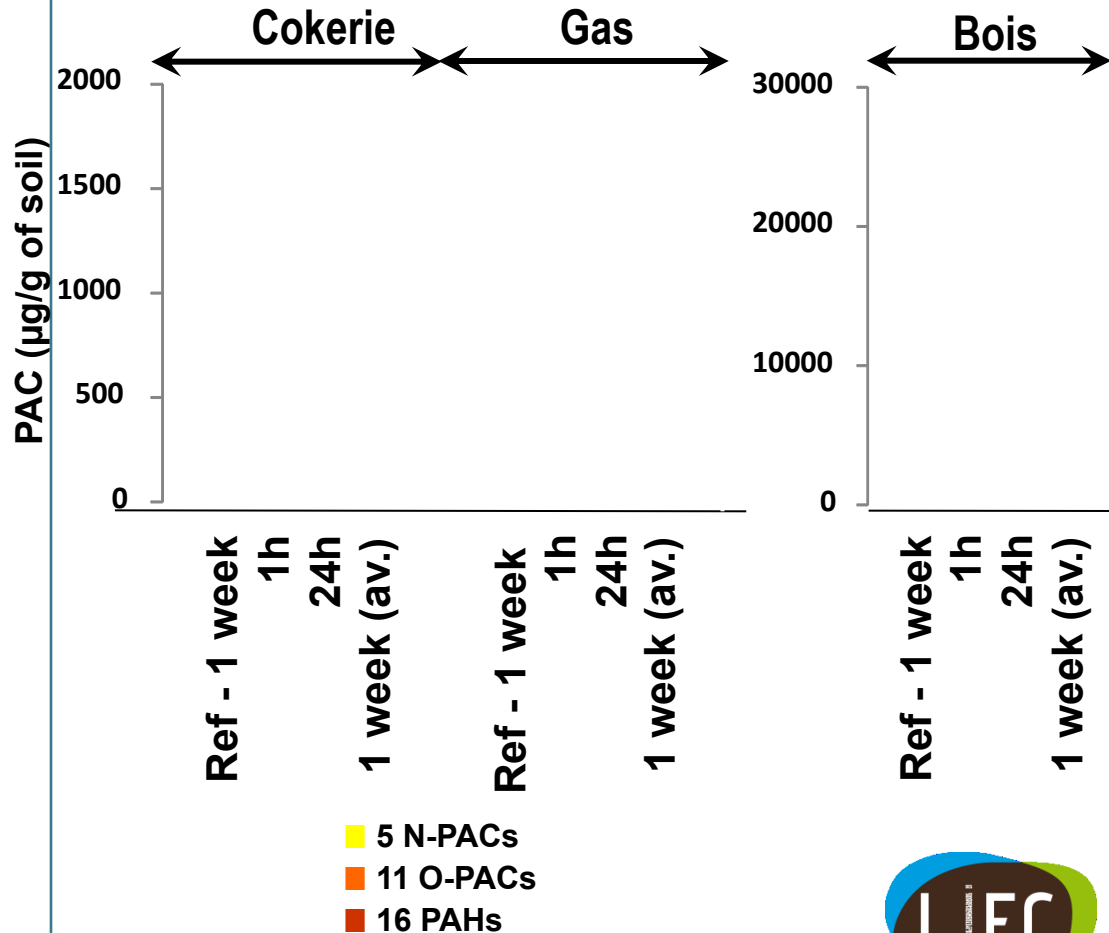
Protocole expérimental



Direction D3E / Unité 3SP

Résultats

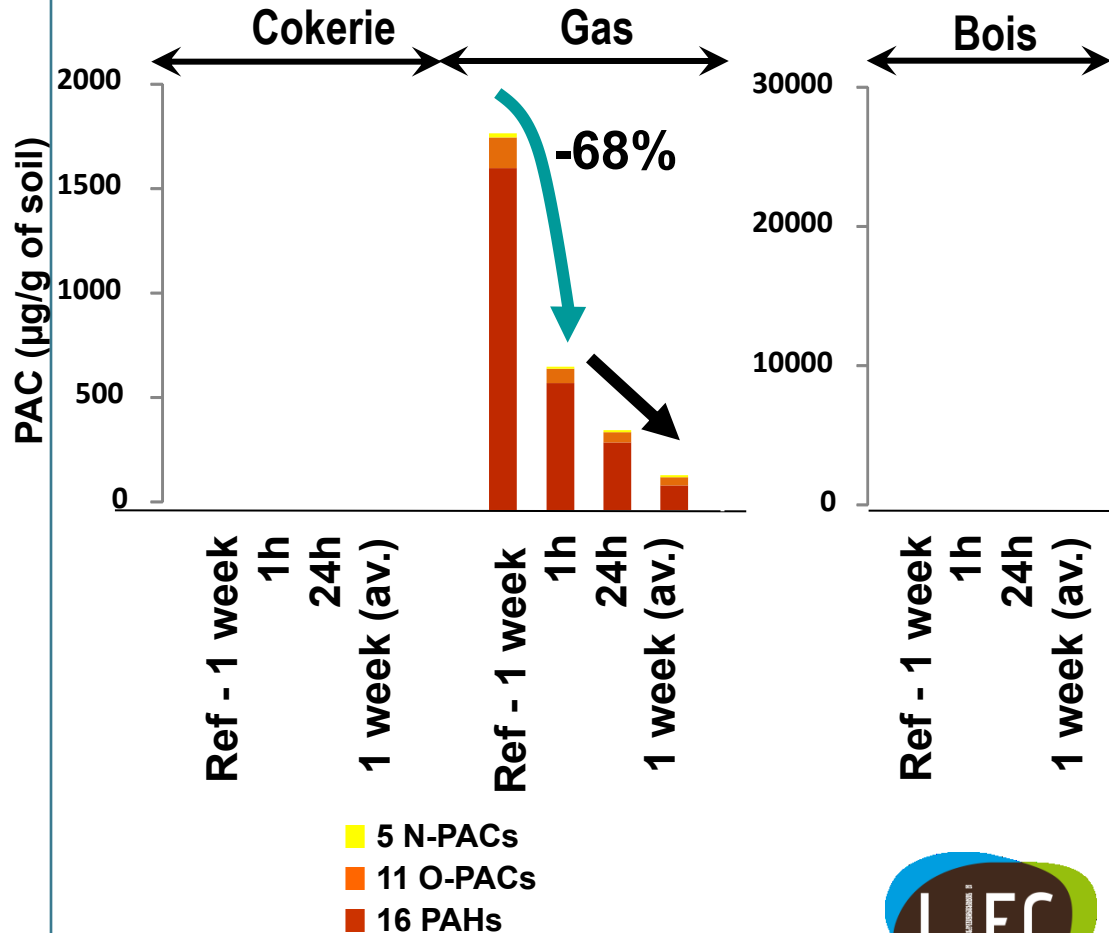
Efficacité du traitement Peroxyde d'oxygène (=Fenton like)



Impact du traitement

Résultats

Efficacité du traitement Peroxyde d'oxygène (=Fenton like)



Impact du traitement

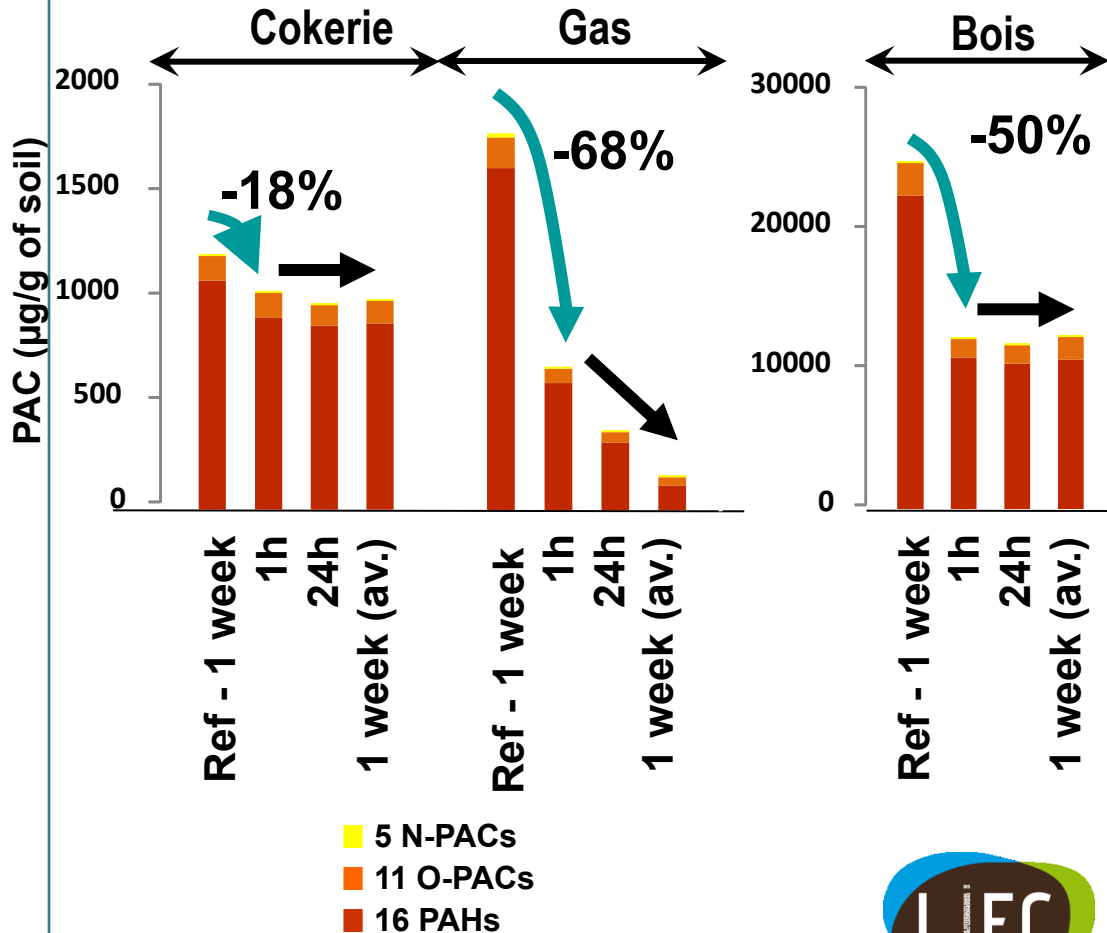


**Plus efficace pour les sols
ancienne usine à gaz**

Degradation plus lente après 1
heure

Résultats

Efficacité du traitement Peroxyde d'oxygène (=Fenton like)



Impact du traitement



**Plus efficace pour les sols
ancienne usine à gaz**

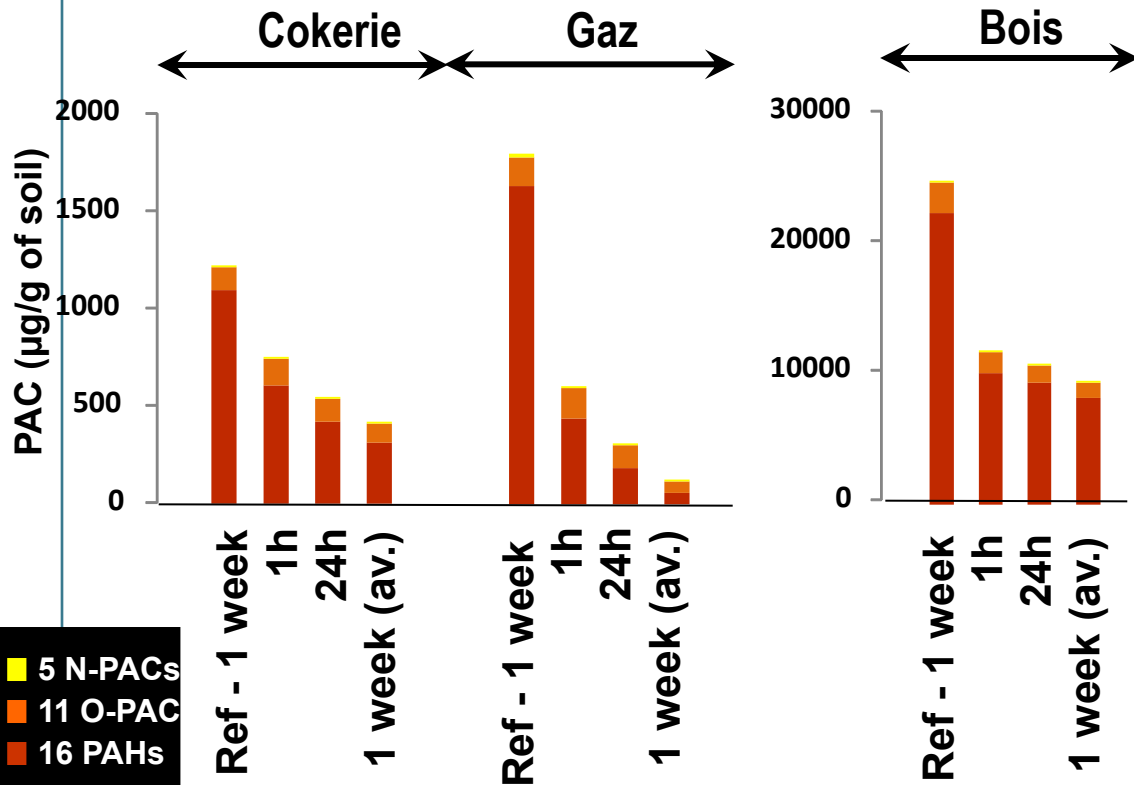
Degradation plus lente après 1
heure

**Moins efficace pour les sols
cokerie et usine de traitement
de bois**

Pas de dégradation après 1
heure

Résultats

Efficacité du traitement Permanganate de potassium



Impact du traitement



Degradation pour les trois types de sols

Degradation plus lente après 1 heure

- 5 N-PACs
- 11 O-PAC
- 16 PAHs

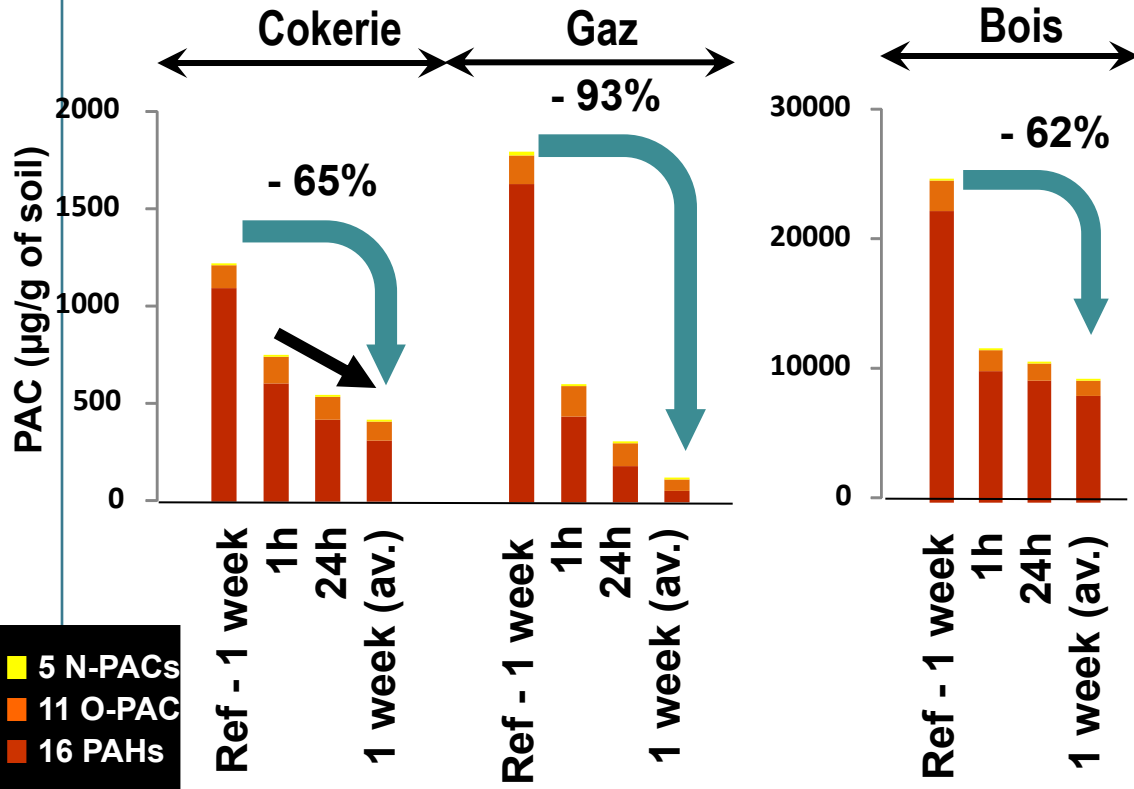


Géosciences pour une Terre durable



Résultats

Efficacité du traitement Permanganate de potassium



Impact du traitement



Degradation pour les trois types de sols

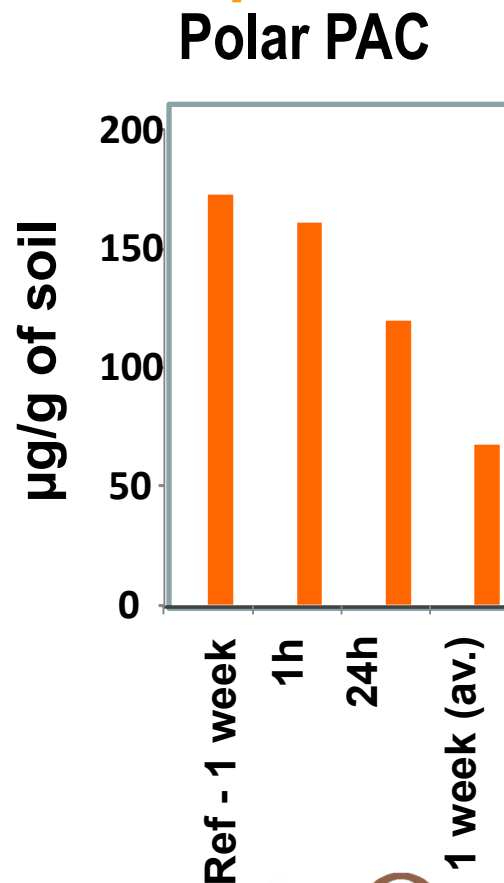
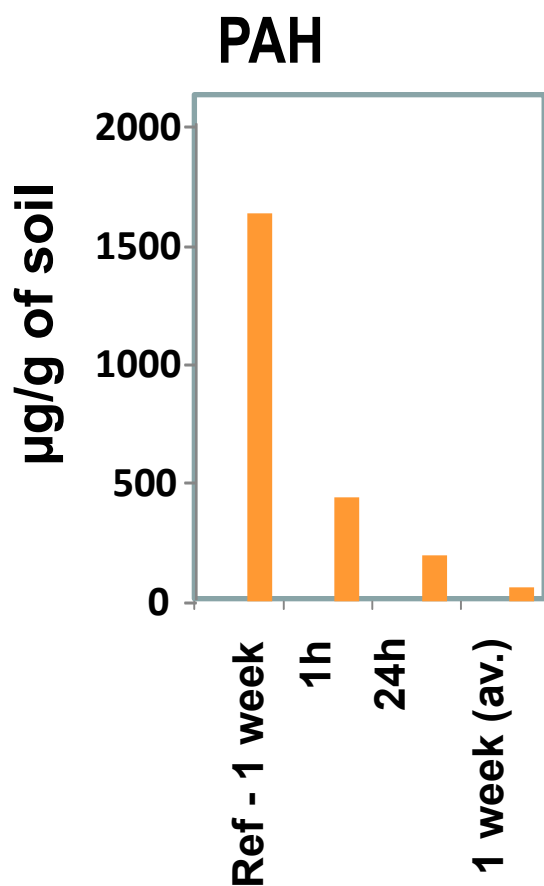
Degradation plus lente après 1 heure

Pollution récente ou ancienne : même comportement

KMnO₄ – faible sensibilité à la biodisponibilité → ≠ H₂O₂ et Fenton like

Résultats

Evolution des teneurs en PAC polaires Sols - Ancienne usine à gaz traités par KMnO_4

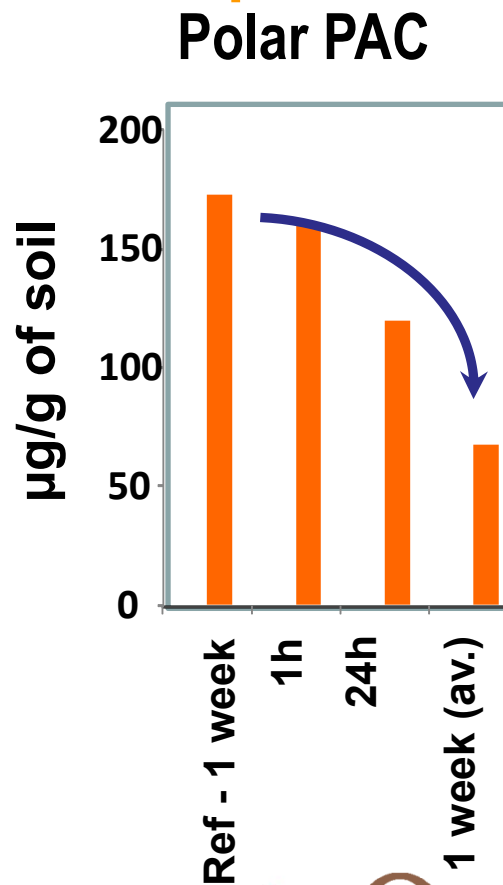
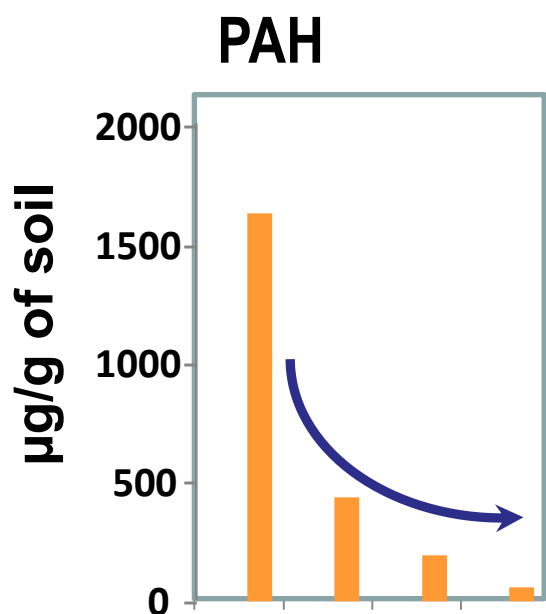


Géosciences pour une Terre durable



Résultats

Evolution des teneurs en PAC polaires Sols - Ancienne usine à gaz traités par KMnO_4

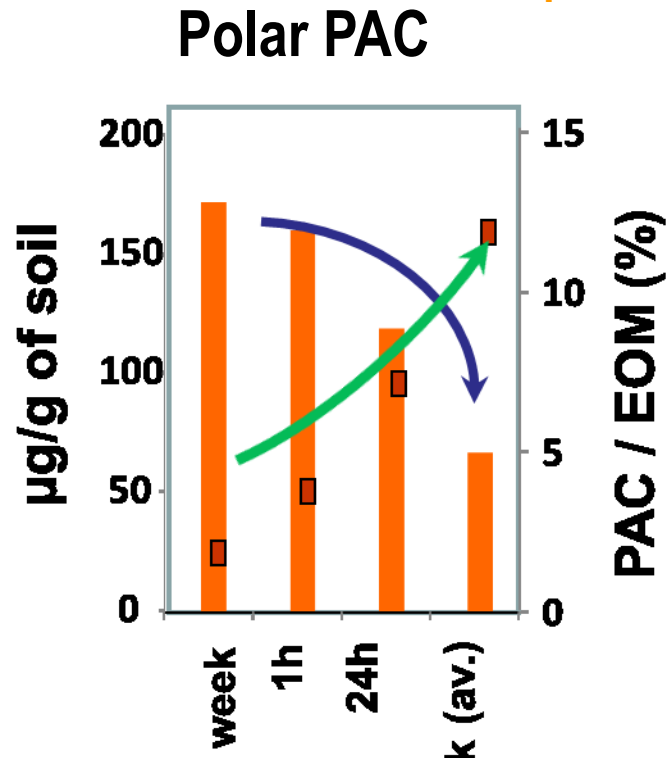
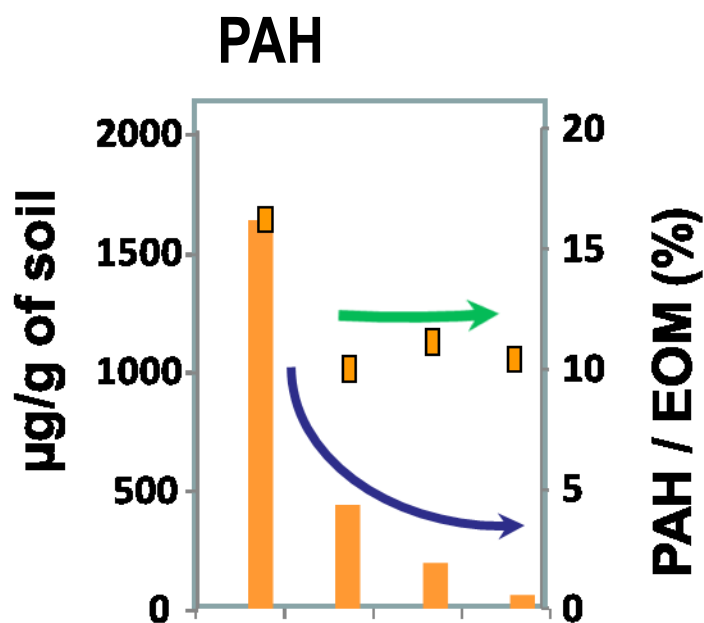


Diminution des concentrations en PAH

Diminution plus lente en PAC polaires

Résultats

Evolution des teneurs en PAC polaires Sols - Ancienne usine à gaz traités par KMnO_4



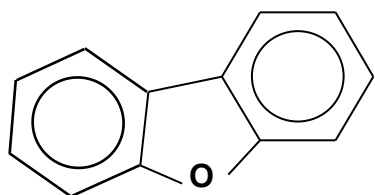
Diminution des concentrations en PAH

Diminution plus lente en PAC polaires

**Contribution constante en PAH
Augmentation de la contribution en PAC polaires**

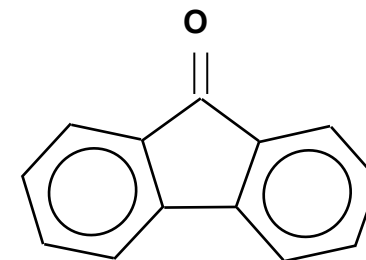
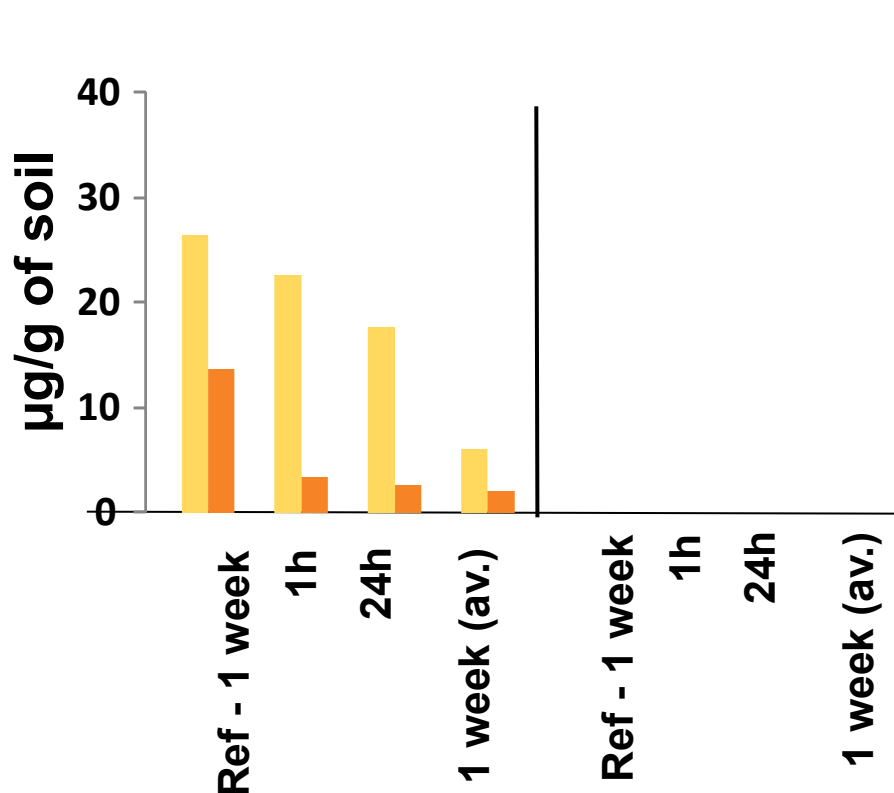
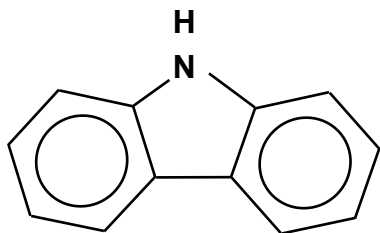
Résultats

Evolution des PAC polaires Sols - Ancienne usine à gaz traités par KMnO_4



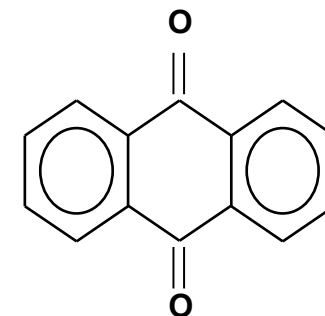
 Dibenzofuran

 Carbazole



 Fluorenone

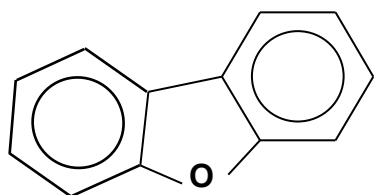
 Anthraquinone



Diminution des PAC Polaires quelque soit le traitement

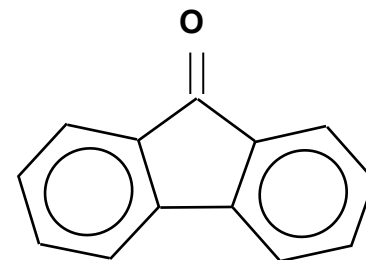
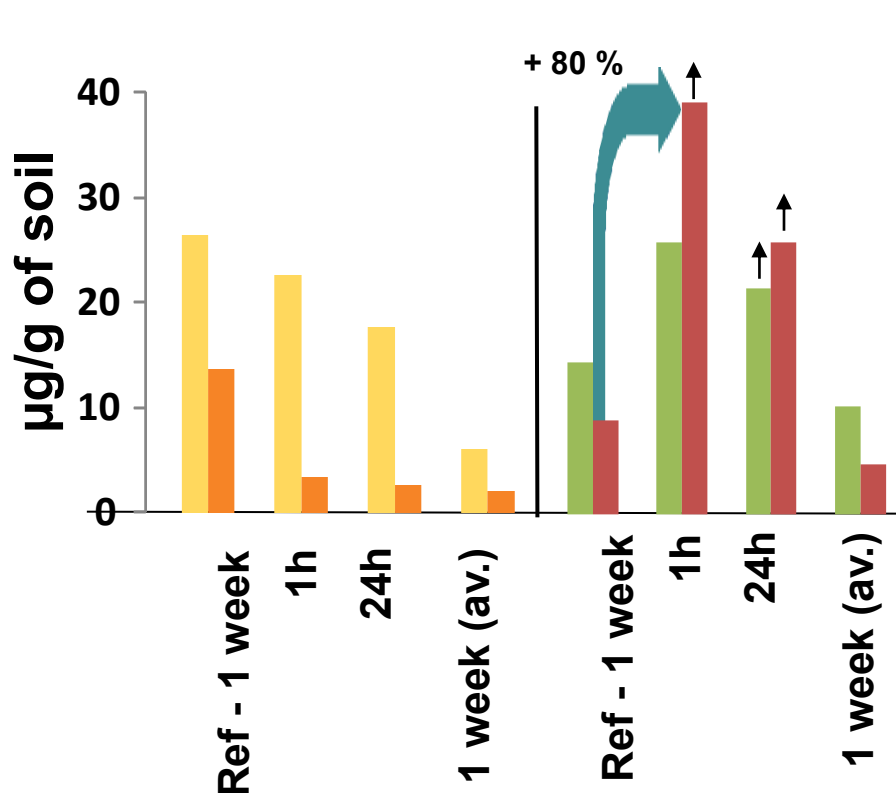
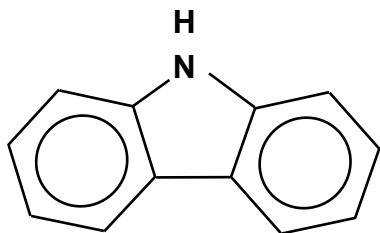
Résultats

Evolution des PAC polaires Sols - Ancienne usine à gaz traités par KMnO_4



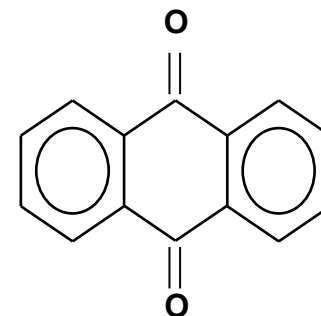
 Dibenzofuran

 Carbazole



 Fluorenone

 Anthraquinone

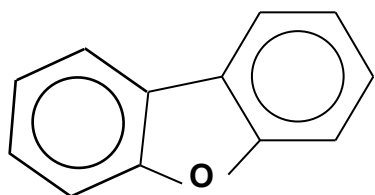


Diminution des PAC Polaires quelque soit le traitement

↗ des cétones aromatiques lors de la dégradation intermédiaire des PAH

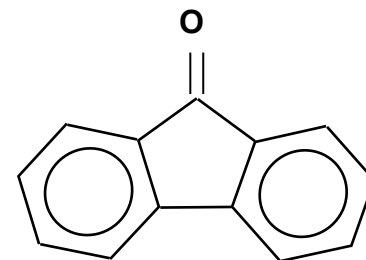
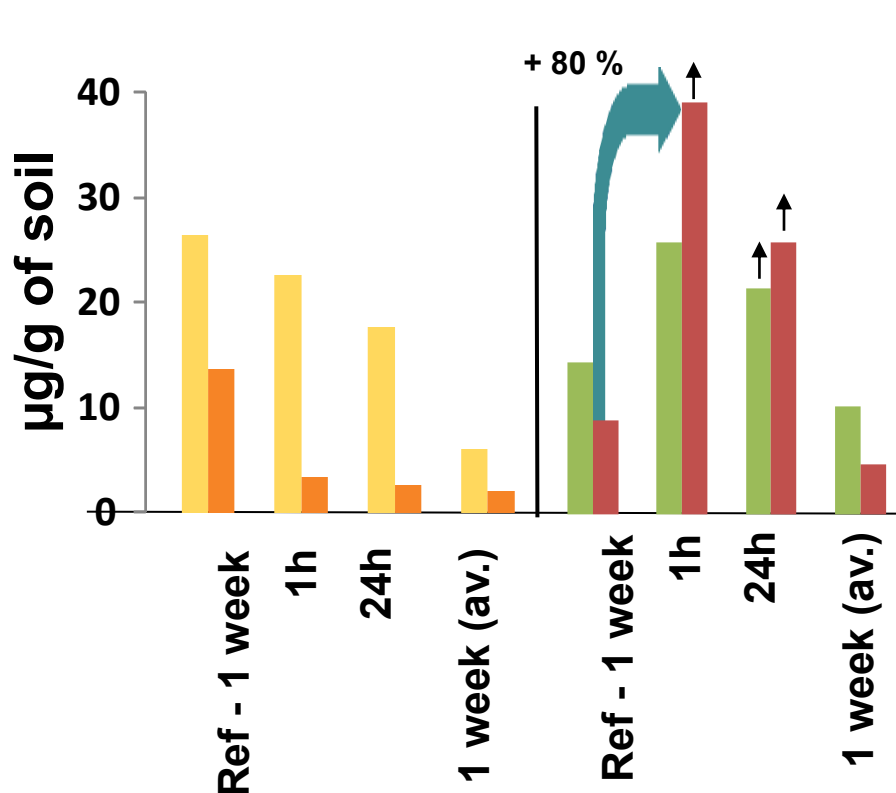
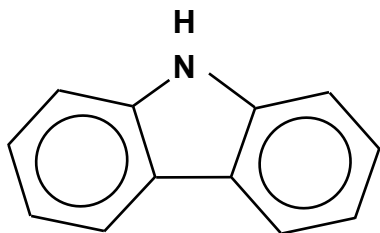
Résultats

Evolution des PAC polaires Sols - Ancienne usine à gaz traités par KMnO_4



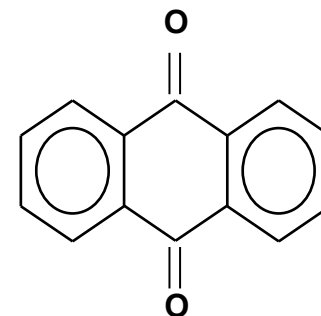
 Dibenzofuran

 Carbazole



 Fluorenone

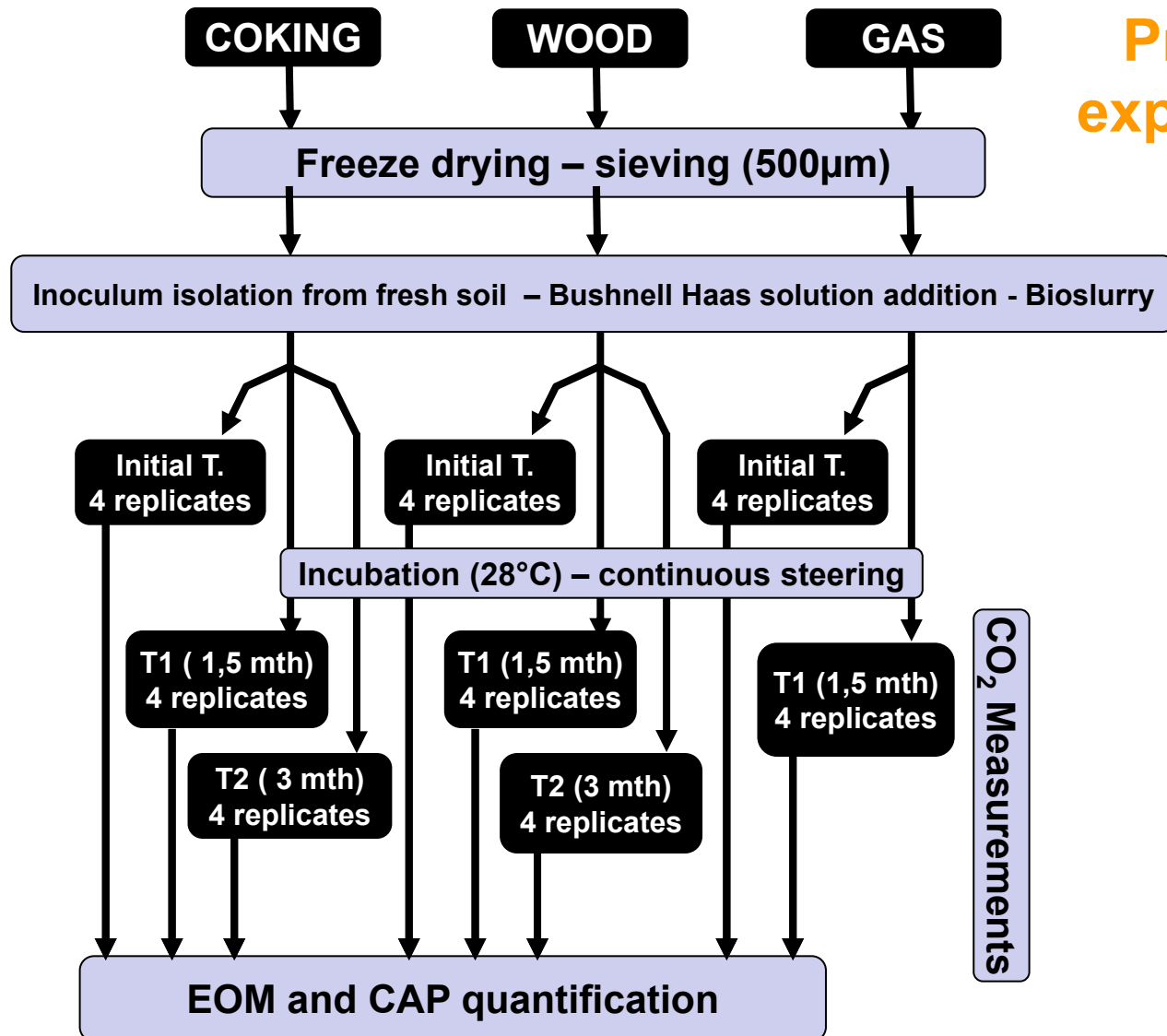
 Anthraquinone



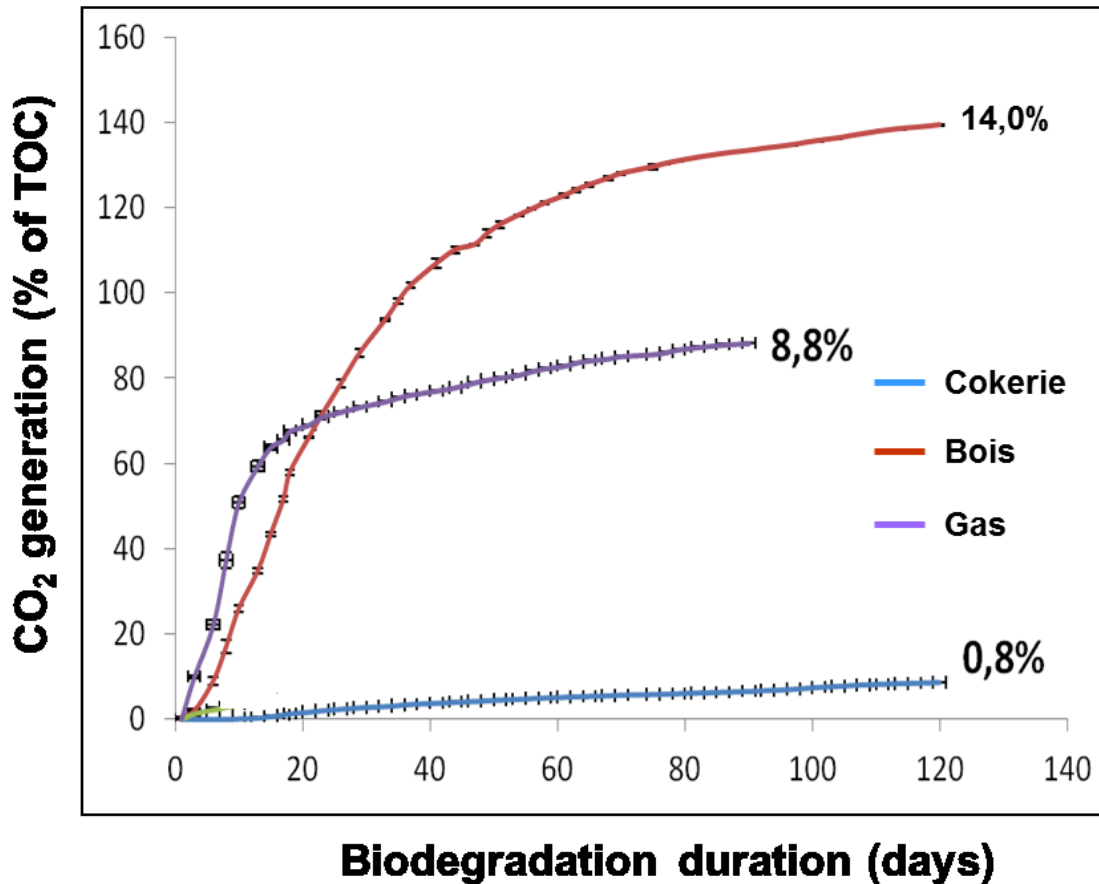
Aucun oxydant à dose suffisante ne conduit à la formation d'une quantité importante de sous-produits

2. Traitement par biodégradation dynamisée

Protocole
expérimental



Suivi de la minéralisation



Minéralisation importante des sols de l'usine de traitement de bois et de l'ancienne usine à gaz

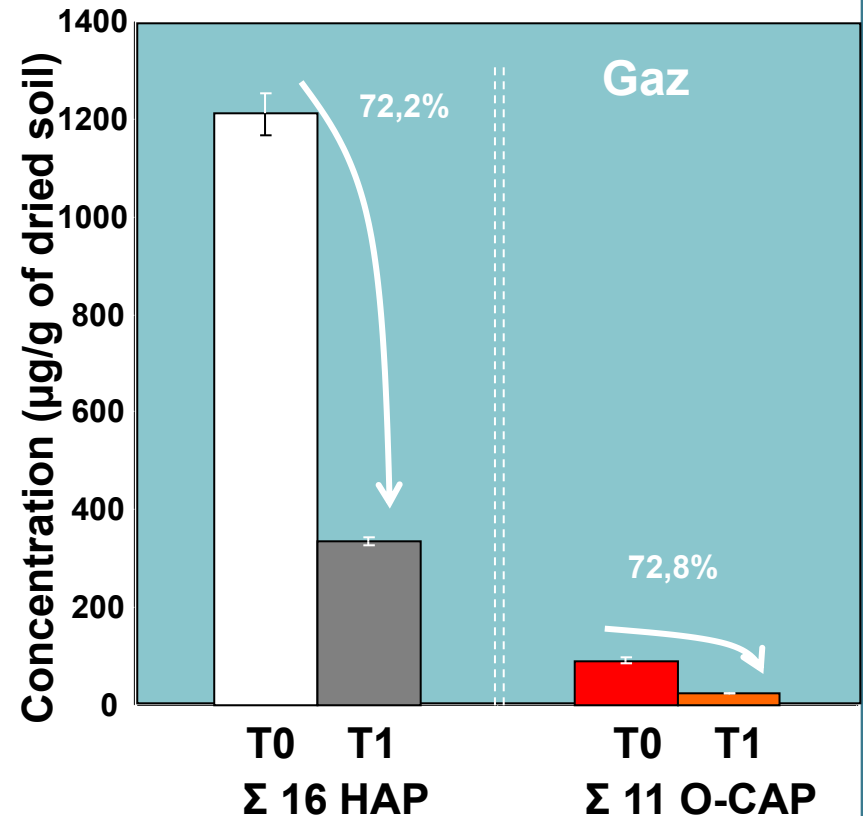
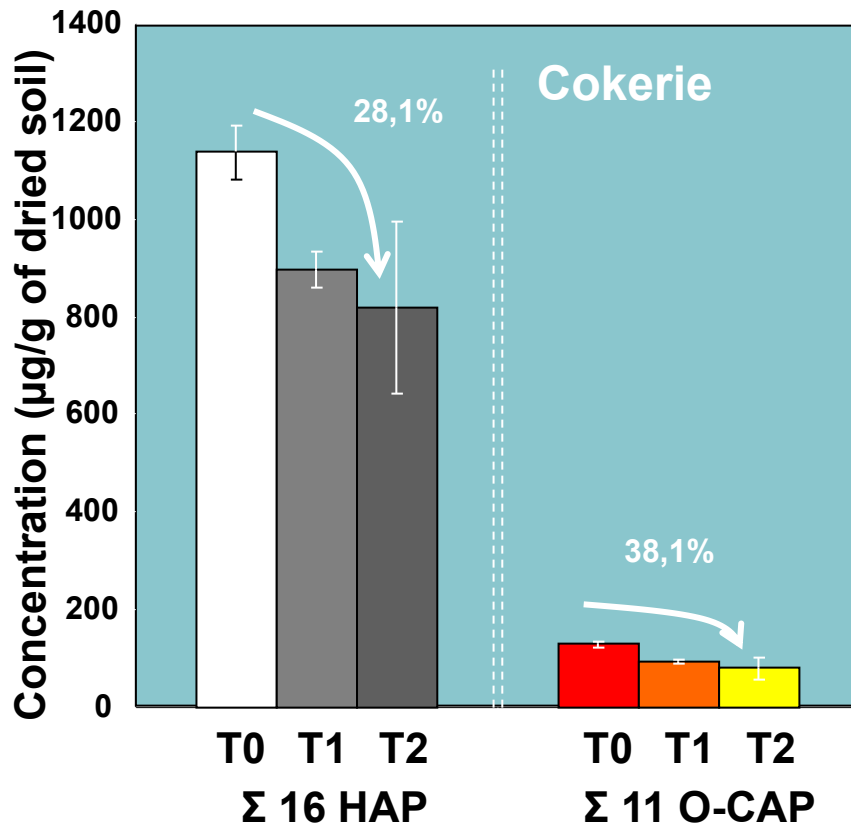
Faible production de CO₂ pour les sols de la cokerie



Géosciences pour une Terre durable



Evolution des teneurs en HAP et PAC polaires



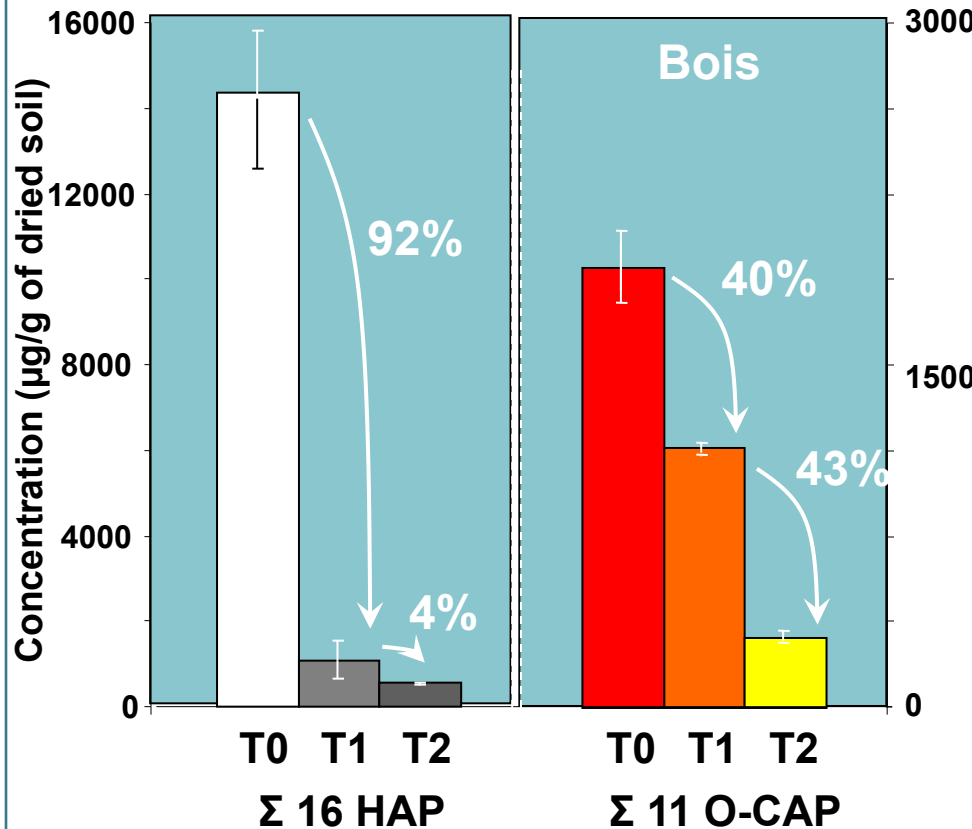
Taux de dégradation similaires pour les 16 PAH et les 11 O-PAC
 Meilleur rendement épuratoire pour les sols de l'ancienne usine à gaz
 (limitation due à la biodisponibilité pour les sols de cokerie)



Géosciences pour une Terre durable



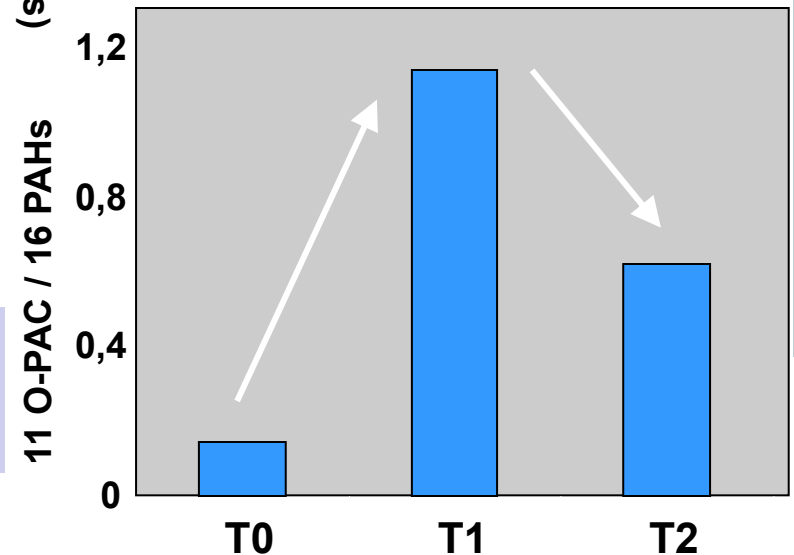
Evolution des teneurs en HAP et PAC polaires



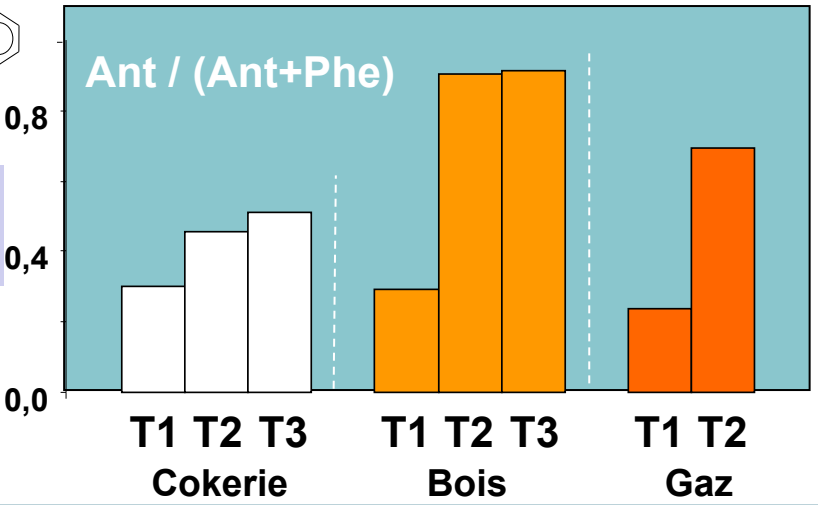
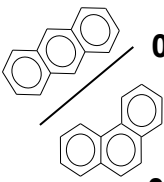
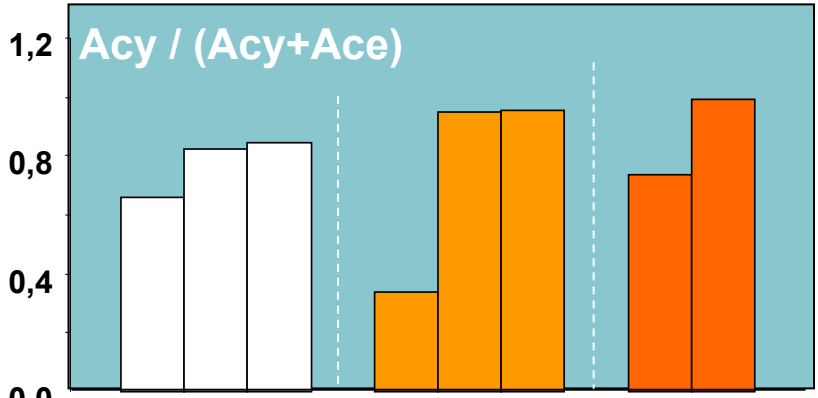
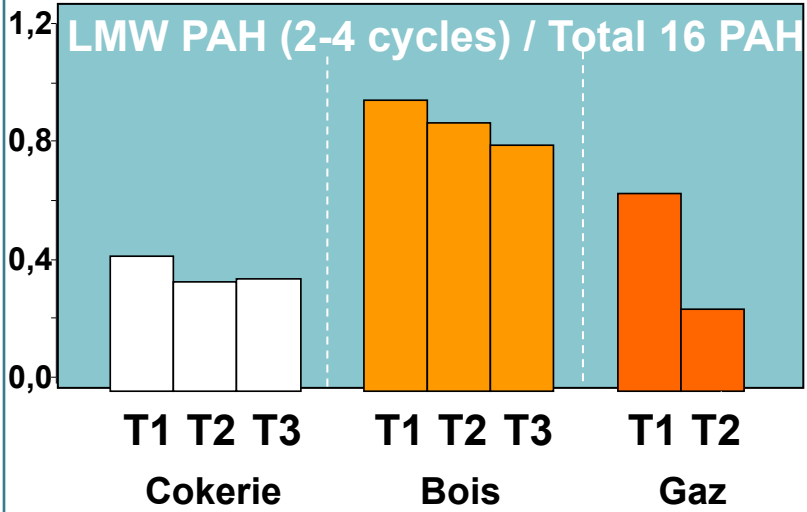
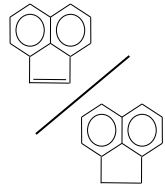
Cinétiques de dégradation différentes pour les O-PAC

O-PAC – produits intermédiaires → métabolites

Taux de biodegradation très élevé
 ~12 mg de 16 PAHs dégradés en 1,5 mois



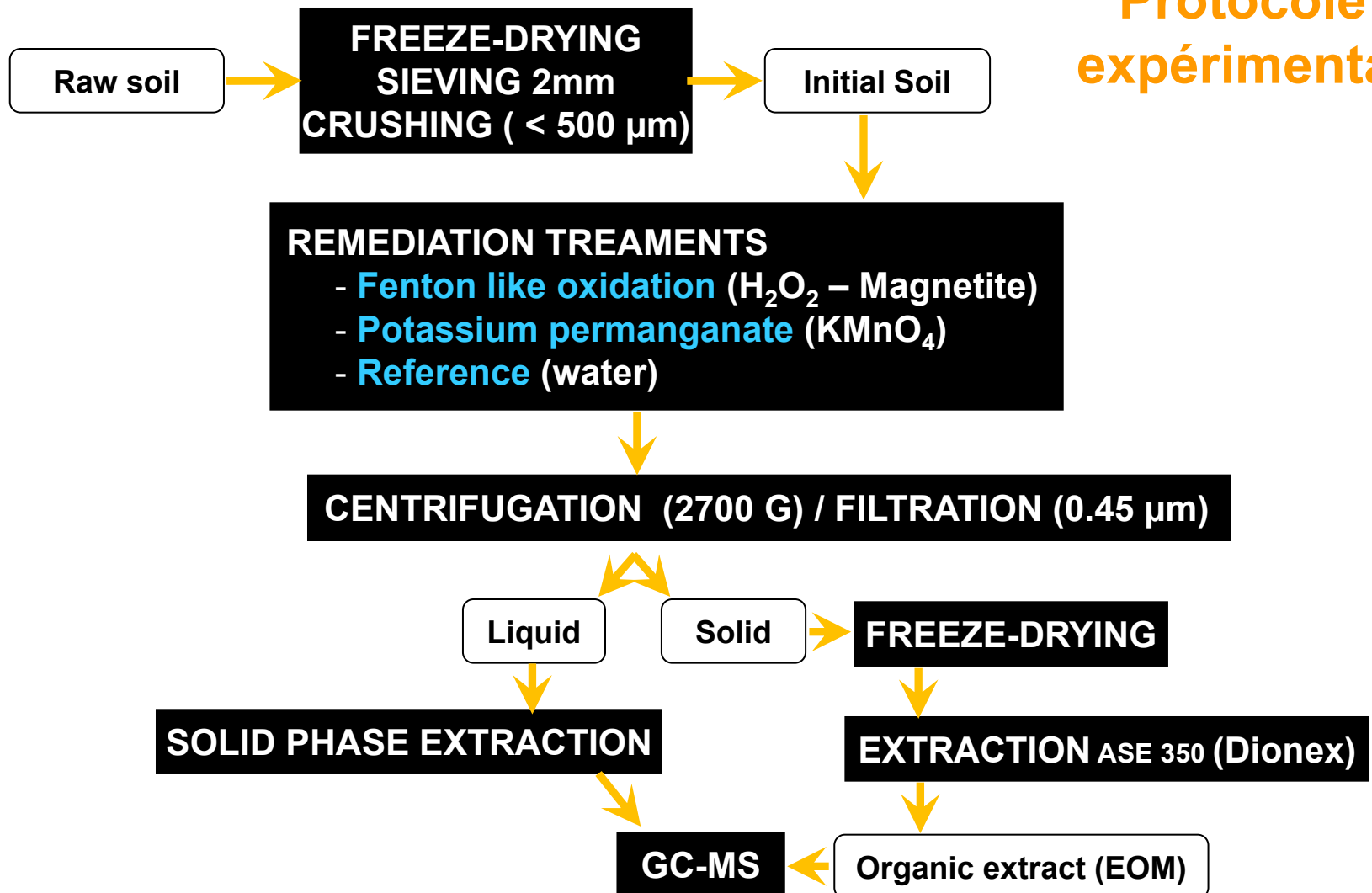
Selectivité de la biodégradation



Degradation préférentielle des PAHs légers
Certains HAP sont récalcitrants

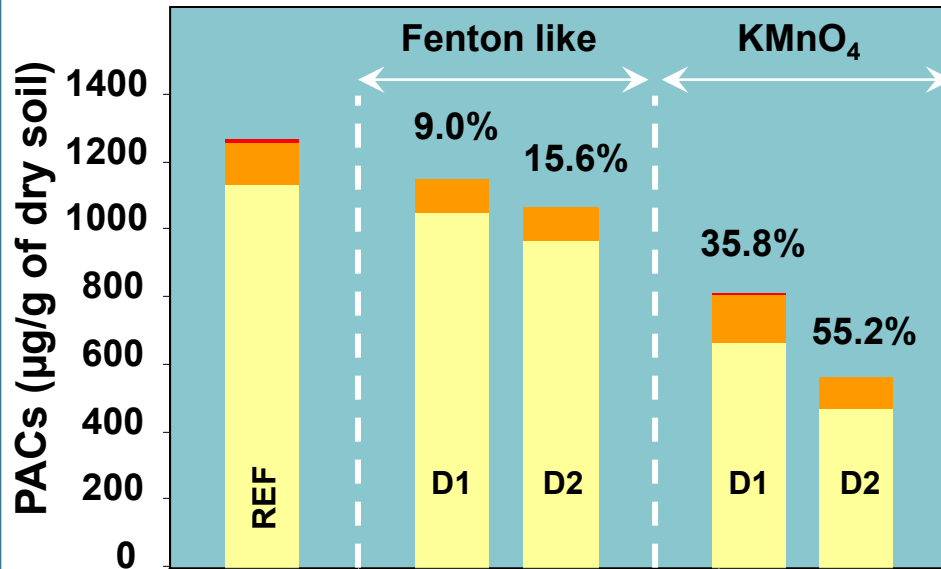
3. Transfert dans la phase aqueuse

Protocole
expérimental

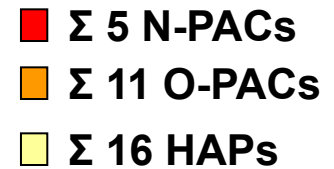


Evolution des teneurs en HAP et PAC polaires (sols)

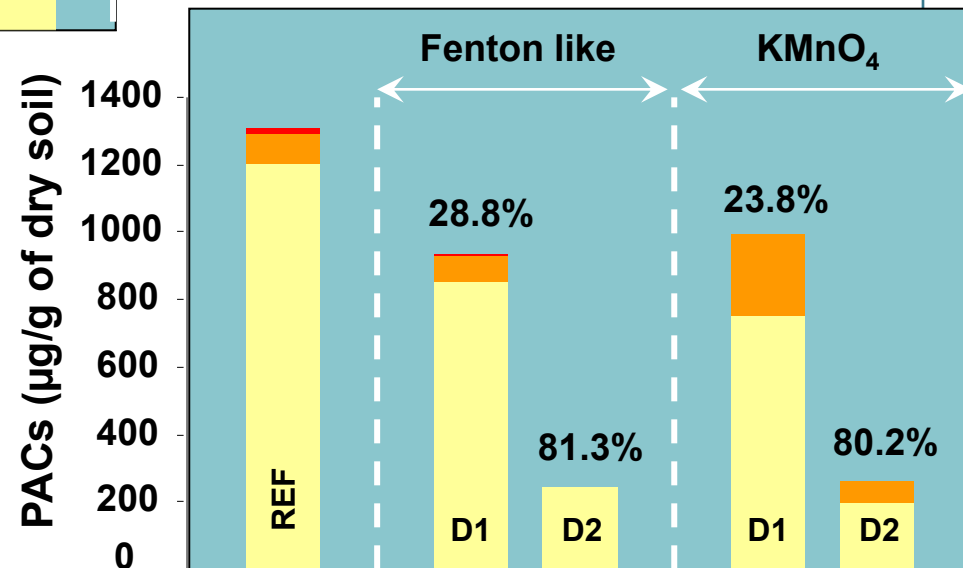
Cokerie



Degradation des PAC



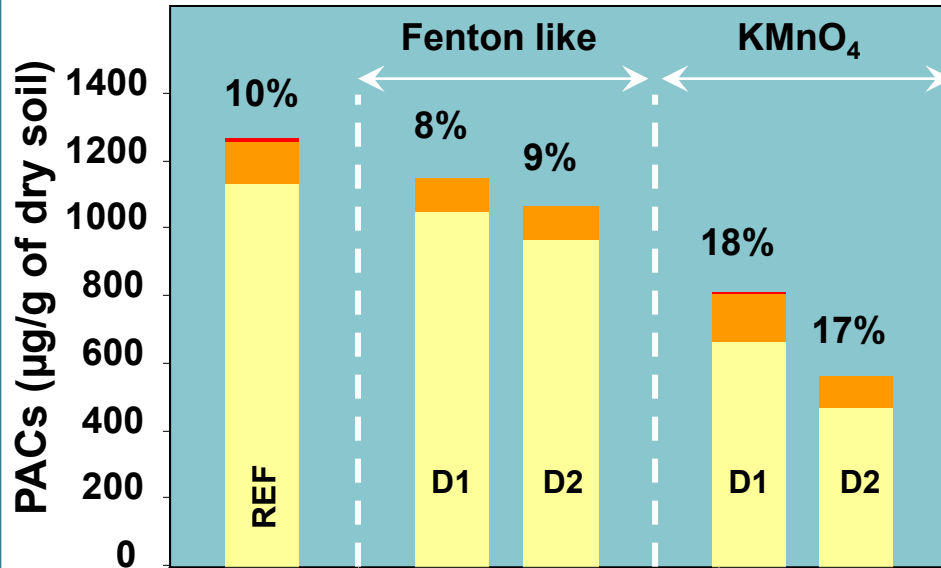
Gaz



- EOM et PACs : évolution similaire
- KMnO₄ : meilleure efficacité pour les sols de l'ancienne usine à gaz
→ Teneur en TOC plus faible

Evolution des teneurs en HAP et PAC polaires (sols)

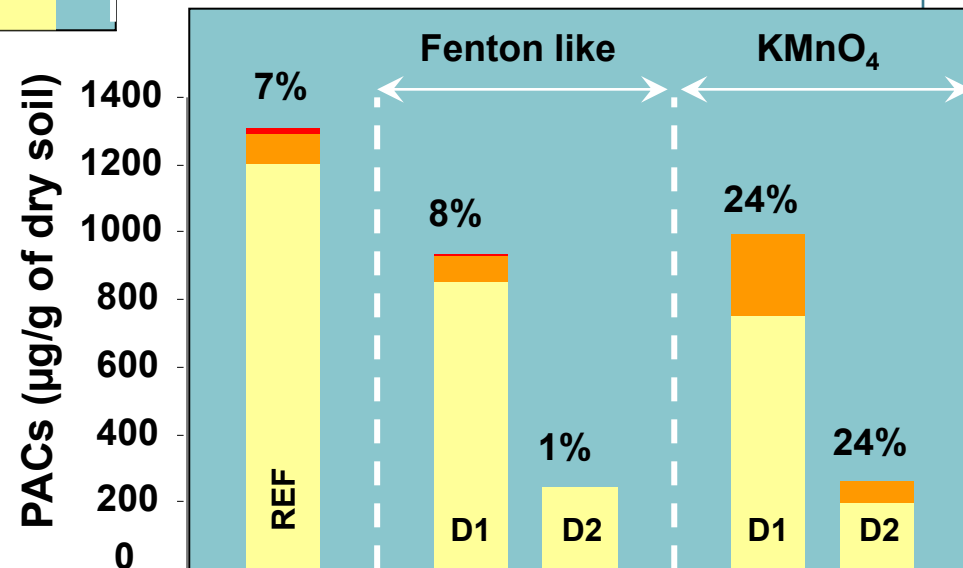
Cokerie



Variations des proportions de PAC polaires

- Σ 5 N-PACs
- Σ 11 O-PACs
- Σ 16 HAPs

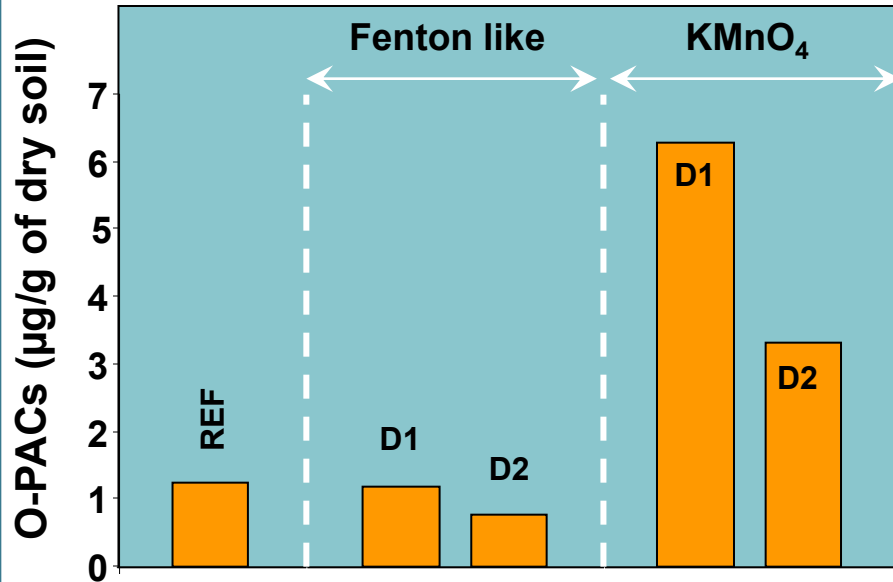
Gaz



KMnO₄ : augmentation des concentrations en O-PAC
Fenton like : concentrations des O-PAC stables ou en baisse

Evolution des teneurs en PAC polaires (lixiviats)

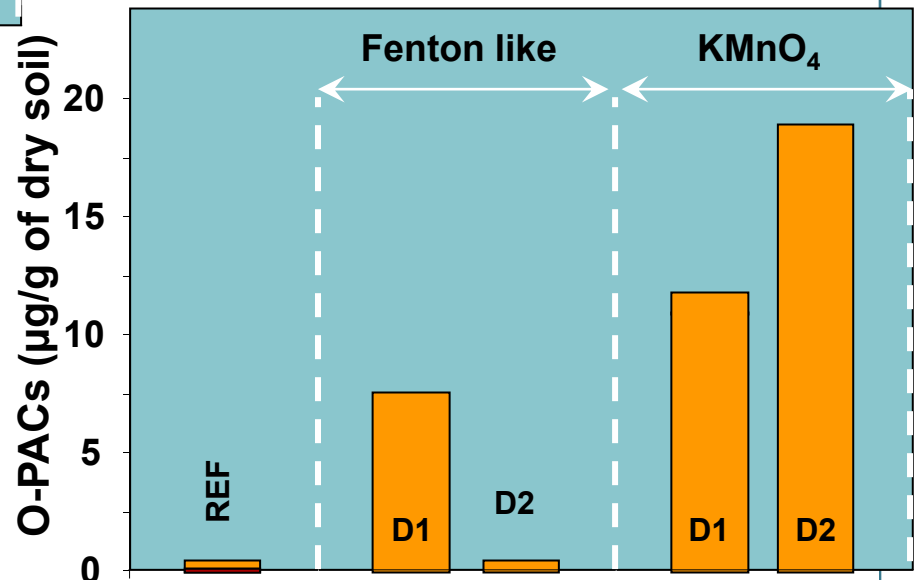
Cokerie



Traitements → augmentation de concentrations dans les eaux des O-PAC

- KMnO₄ - Dose 1 & 2
- Fenton like - Dose 1

Gaz



Même si les [PAC] diminuent dans les sols → [O-PAC] augmentent dans les eaux

Conclusion

- > **Oxydation chimique :**
 - Enrichissement relatif ou production de O-PAC selon les doses et les oxydants
 - Estimation de la dose nécessaire → étape primordiale
- > **Bioremediation :**
 - PAH plus rapidement dégradés que les O-PAC
 - compétition entre la dégradation et la production
 - conditions optimales ≠ conditions naturelles
- > **Lixiviation :**
 - Si la dégradation des PAH conduit à la formation de O-PAC
 - accroissement des concentrations en O-PAC dans les eaux
- > **Perspectives :**
 - Problématique à prendre en compte dans les prochaines années
 - Réseau européen mis en place pour appréhender le problème
 - PAC polaires : outils pour la forensie environnementale (goudrons, hydrocarbures pétroliers...)



Géosciences pour une Terre durable

brgm