

Les tests de faisabilité en laboratoire pour la sécurisation et le dimensionnement des techniques de dépollution sur site

Olivier Sibourg - ENOVEO

ENOVEO

7 place Antonin Poncet
Lyon, France
www.enoveo.com
o.sibourg@enoveo.com



Contexte



Lors de la caractérisation des milieux et de la pollution :

- Evaluation de la mobilité de la pollution (essai de percolation, lixiviation)
- Evaluation du potentiel de biodégradation et le devenir de la pollution (outils de biologie moléculaire)
- Evaluation de l'atténuation naturelle (outils de biologie moléculaire)
- Estimation quantitative des risques sanitaires (essai de bioaccessibilité)

Lors du plan de gestion et/ou du plan de conception des travaux

- Permet d'évaluer la faisabilité d'une technique de remédiation :
 - Scénario de gestion adapté ?
 - Efficacité de la technique
 - Apporte des réponses nécessaires au dimensionnement de la dépollution
 - Permet d'anticiper des aléas (production de métabolites toxiques)



Autant d'éléments qui **sécurisent** un projet de réhabilitation



Les essais de faisabilité en laboratoire...

L'objectif d'un pilote laboratoire (d'après le texte B111 de la norme NF-X-31-620) est de

Sécuriser le choix de la stratégie de dépollution

- **Orienter sur la technique d'une dépollution** : Choix de l'oxydant chimique, déterminer la DSO, choix du biostimulant, présence de bactéries d'intérêts
- **Etablir la faisabilité en laboratoire d'une technique** : Adéquation entre temps et objectifs de dépollution, approche économique sur la quantité d'oxydant, de réducteur ou de biostimulant ...

Souvent critiqués car réalisés en laboratoire, ils permettent toutefois de :

- **Apporter des éléments de réponse** qualitatifs et quantitatifs sur la faisabilité d'une stratégie de dépollution.
- **Reproduire et contrôler** différents paramètres (température, humidité, percolation, variétés de biostimulants ...) sous différentes conditions opératoires (essais en batch, colonne...)

... Et ils ont l'avantage d'être moins chers qu'un pilote terrain



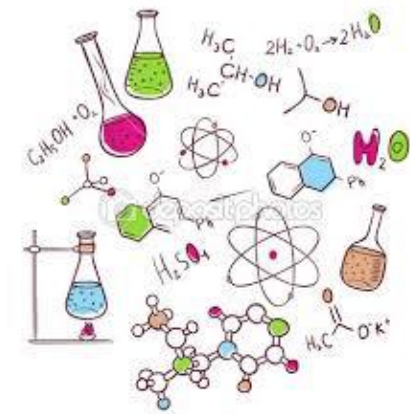
Diversité des essais de faisabilité

De nombreux tests sont réalisables au laboratoire :

- ➔ • Pilote d'oxydation chimique
- Pilote de réduction chimique
- Pilote de désorption thermique
- ➔ • Pilote de biodégradation / biostimulation
- ➔ • Evaluation de l'atténuation naturelle
- Pilote de lessivage / stabilisation des sols (ex : Pollution métaux)
- Test de percolation (transfert des pollutions vers la zone saturée)



Exemple 1 | Essai d'oxydation chimique



Objectifs :

- Sélectionner des oxydants en fonction des polluants, des contraintes du site et d'injection
- Déterminer la Demande du Sol en Oxydant (DSO)
- Déterminer l'oxydant et la quantité d'oxydant permettant un abattement optimal
- Evaluer les cinétiques de dégradation
- Aider à mettre en œuvre la stratégie de dépollution (fréquence d'injection, quantité à injecter ...)



Exemple 1 | Essai d'oxydation chimique



Contexte et approche :

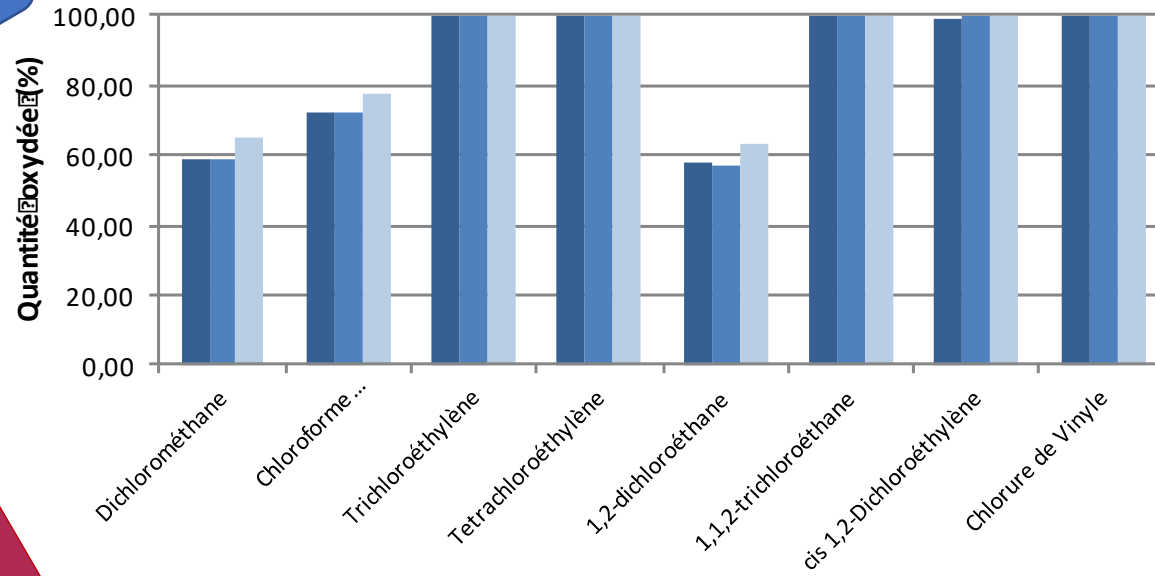
- Site : Zone saturée contaminée par un « cocktail » de polluants (solvants polaires, BTEX, COHV)
- Oxydants testés : Permanganate de potassium, Persulfate de sodium activé NaOH
- Durée du test 14 jours (*incubation à température de la nappe et obscurité*)
- Agitation des microcosmes
- Par condition, mise en place des microcosmes en réplica (*avec sacrifice d'un microcosme par campagne de prélèvement*)
- Trois campagnes analytiques :
 - T0
 - T + 7 jours
 - T + 14 jours
- Suivi du pH



Résultats | Quantité oxydée après 14 jours de mise en contact

COHV

Persulfate activé



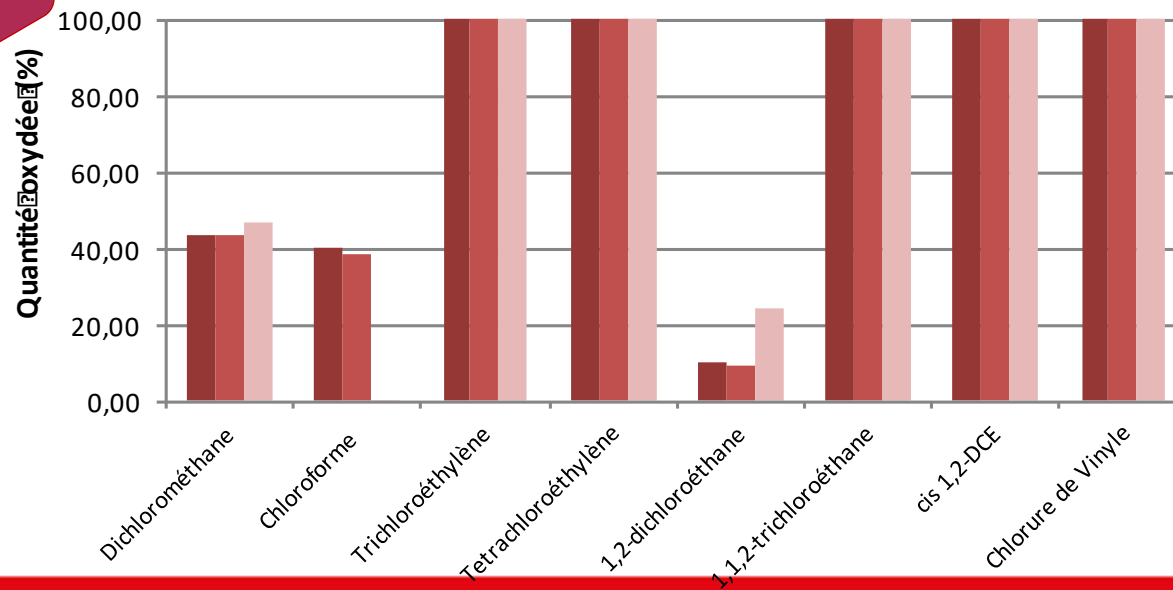
Concentration en oxydant g/l

40

60

80

Permanganate



Concentration en oxydant g/l

20

40

60

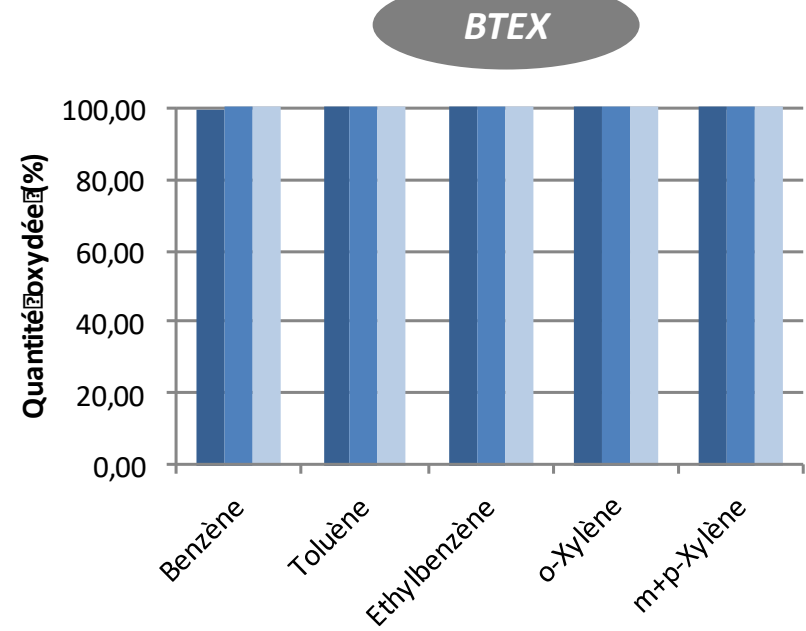
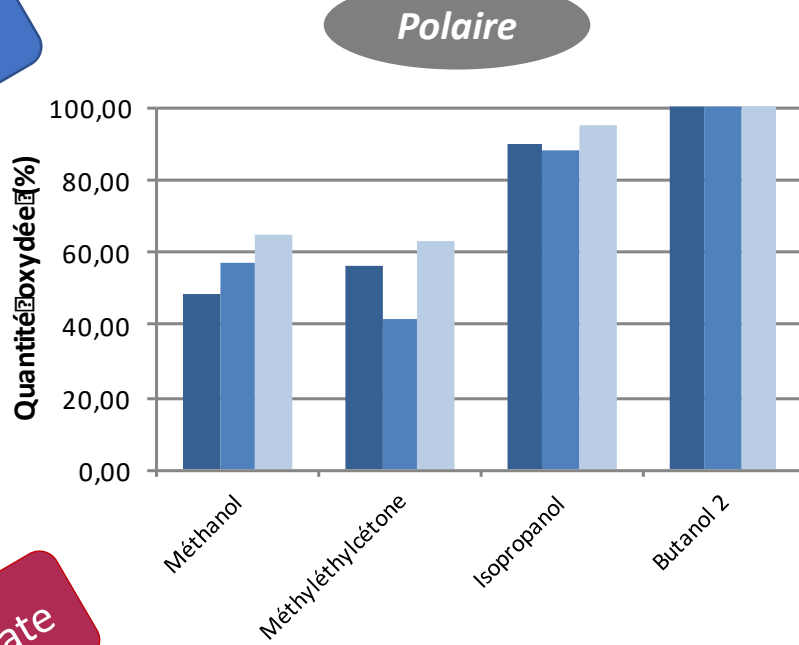


MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE

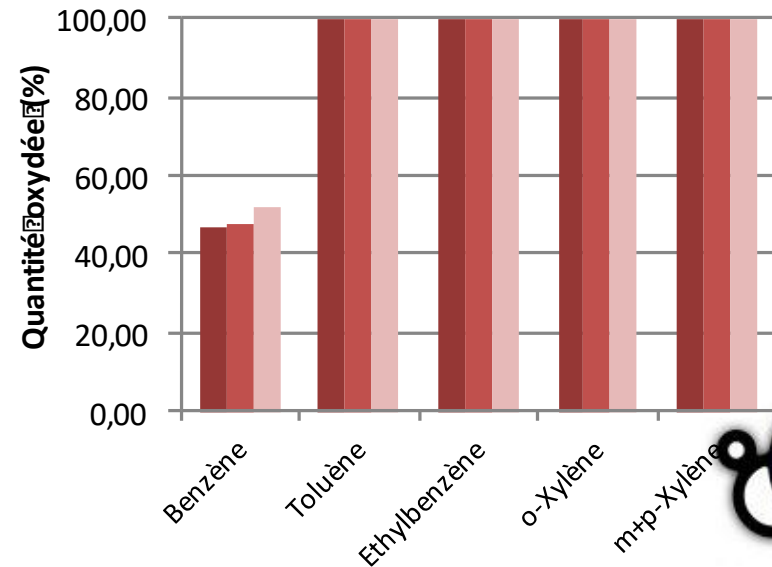
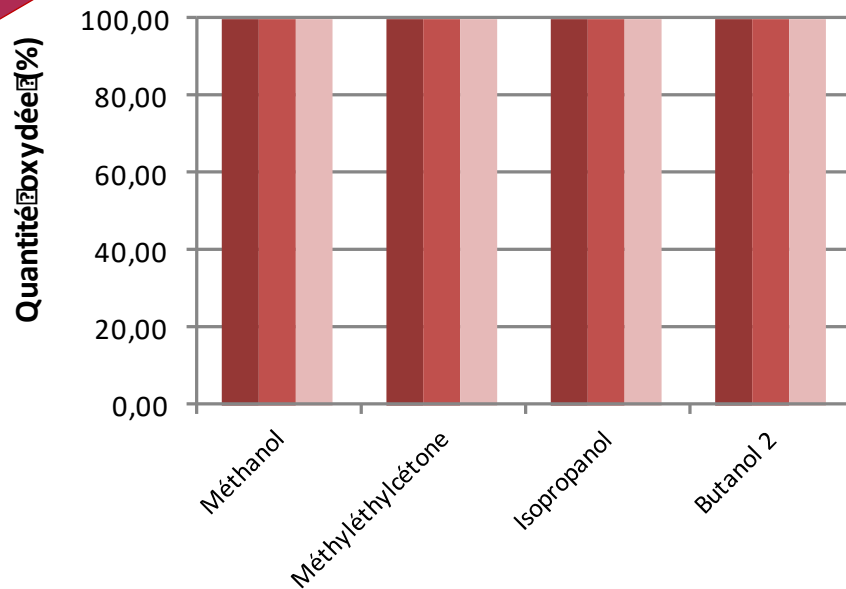


Résultats | Quantité oxydée après 14 jours de mise en contact

Persulfate
activé

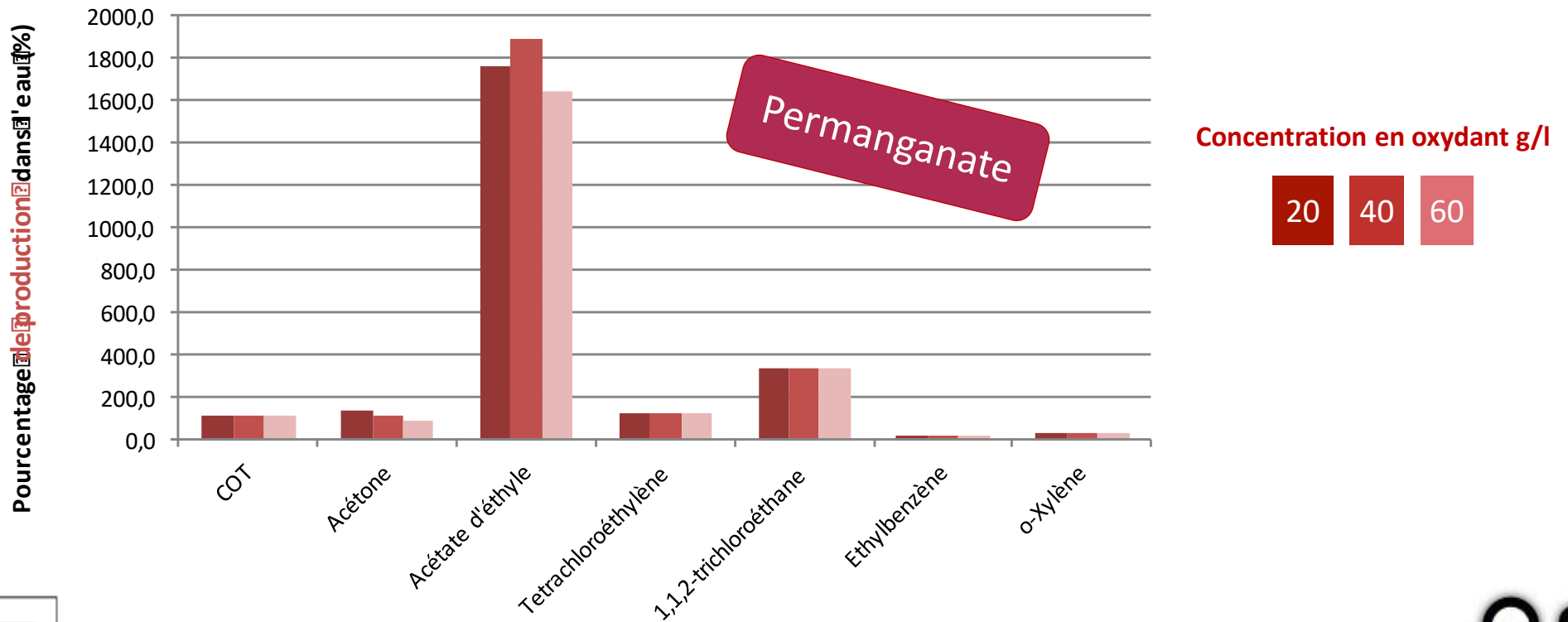


Permanganate



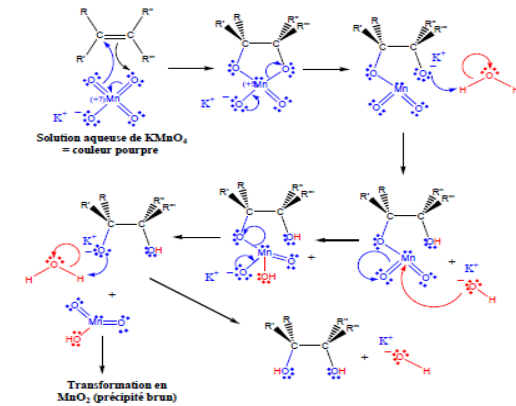
Résultats | L'oxydation génère la production de métabolites

L'oxydation chimique génère des molécules (sous-produit) ou «libère» les polluants (effet rebond)



Exemple 1 | Interprétations des résultats

- Choix de l'oxydant le plus efficace
- Détermination de la quantité d'oxydant nécessaire
- Approche économique du projet
- Evaluation de l'efficacité de chaque oxydant
- Mise en évidence de l'effet rebond
- Mise en évidence de la formation de métabolites



➔ Aide à la décision sur la pertinence et l'efficacité de l'oxydation chimique



Exemple 2 | Pilote de biodégradation HCT

Objectifs :

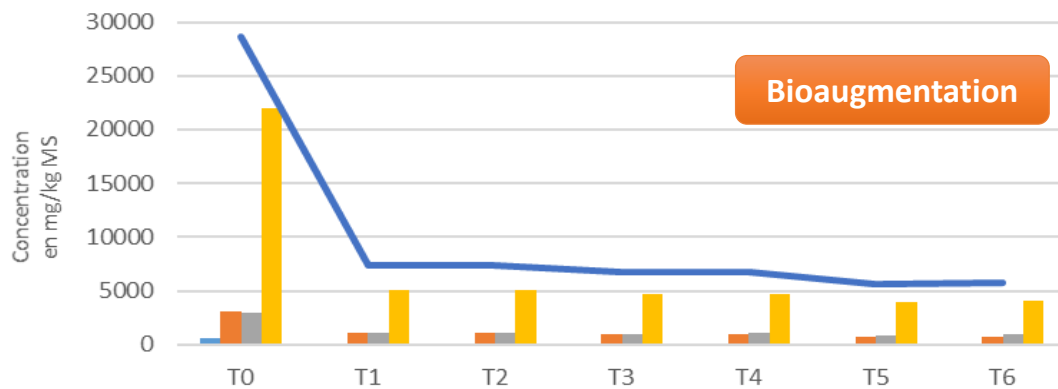
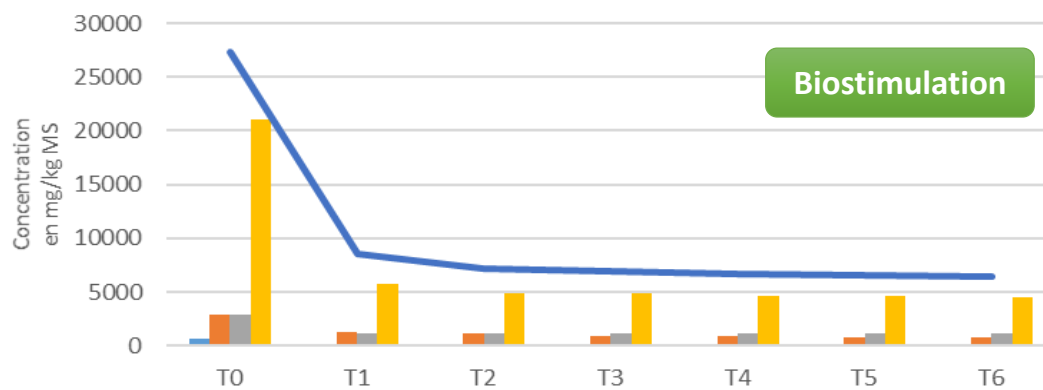
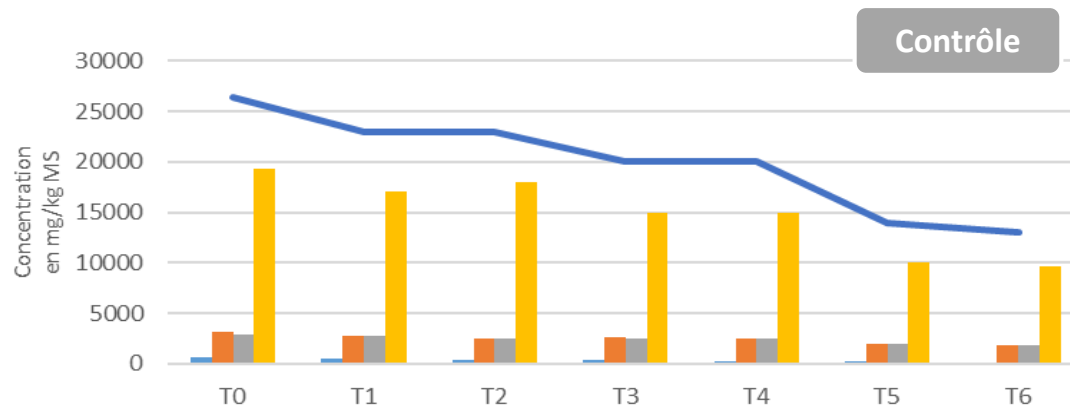
- Prise en compte de la stratégie de dépollution (On Site), prise en compte des contraintes du site (météo, ressources locales, choix des substrats et amendements).
- Evaluer la faisabilité d'une dépollution par biodégradation.
- Déterminer les conditions de biostimulation optimales.
- Quantification de microorganismes et gènes d'intérêt impliqués dans la biodégradation des hydrocarbures.
- Mise en évidence d'inhibition ou de toxicité du milieu.

Contexte :

- Pollution aux HC lourds
- Question sur possibilité de traiter les fractions lourdes
- Quels amendements ?
- Estimation d'une durée de traitement



Exemple 2 | Évolution de la concentration en HCT dans le pilote

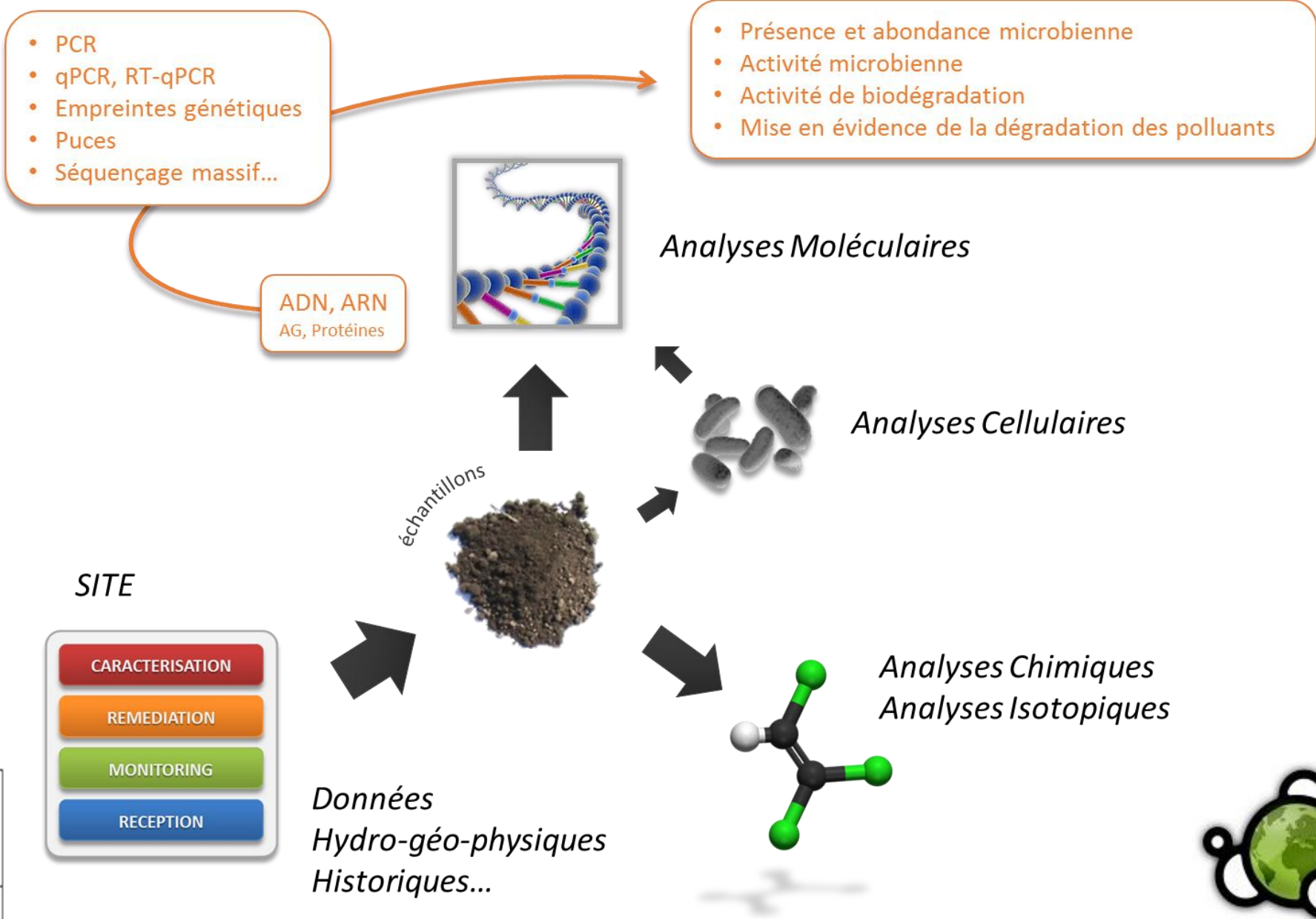


mg/kg HCT	T0	T6
Contrôle	26 300	13 000
Biostimulé	27 300	6 400
Bioaugmenté	28 700	5 800

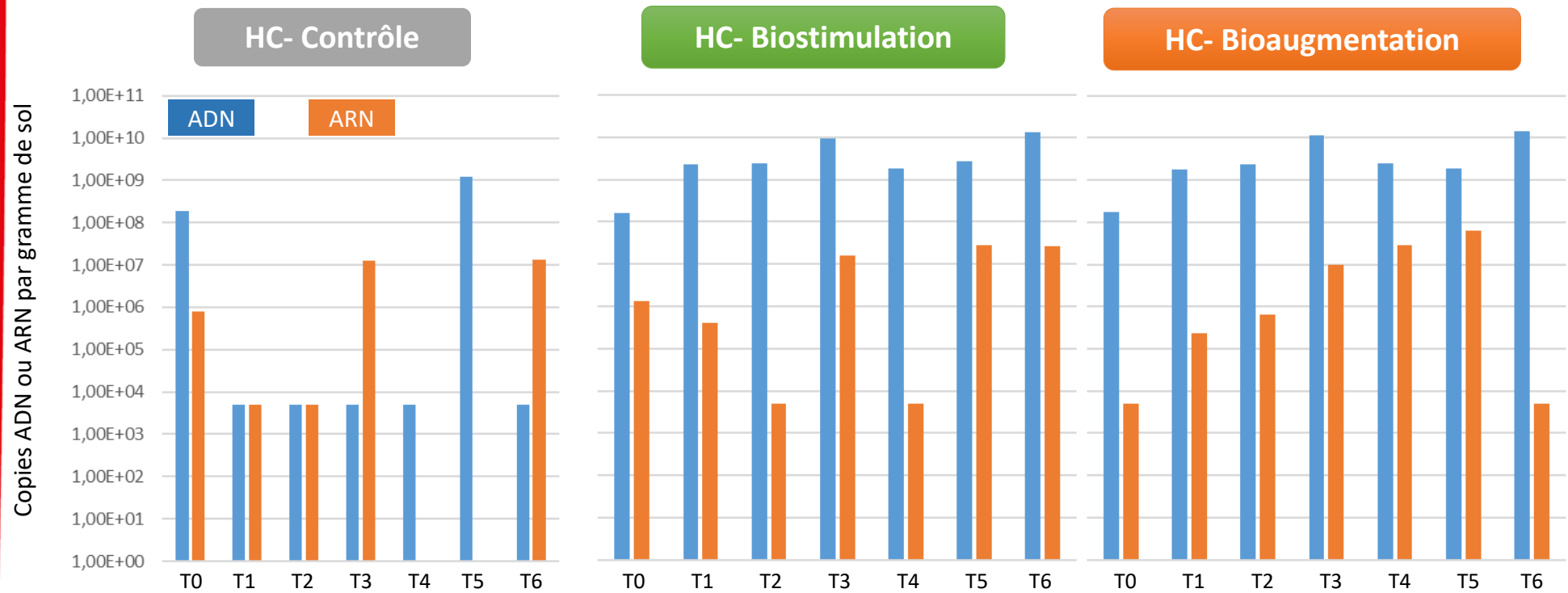
- fraction C10-C12
- fraction C12-C16
- fraction C16-C21
- fraction C21-C40
- hydrocarbures totaux C10-C40



Exemple 2 | Utilisation des outils de biologie moléculaire



Exemple 2 | Utilisation des outils de biologie moléculaire



- Effet significatif de la biostimulation et de la bioaugmentation sur l'activité de biodégradation spécifique de certains alcanes.
- L'apport de souche cultivée ne semble pas être plus bénéfique que la biostimulation des communautés indigènes.
- Dans le cas des pilotes « biostimulé » et « bioaugmenté », l'évolution des concentrations en ARN témoigne d'une activité croissante au cours de l'étude.

Exemple 2 | Conclusion

- Une dégradation rapide est observée dans les conditions amendées avec une stabilisation de la concentration en HCT autour de 5 000 mg/kg. Cette fraction résiduelle est majoritairement liée à la fraction C21-C40.
- Il n'existe pas d'effet discriminant lié à l'inoculum. Dans les cas de la biostimulation et de la bioaugmentation, les populations bactériennes réagissent de la même manière. La biostimulation semble aussi efficace que la bioaugmentation.
- L'utilisation de ressources locales (compost) est validée.
- Un lien direct est mis en évidence entre la dégradation des HCT et l'augmentation des populations bactériennes (ADN et ARN).
- Après 6 mois de pilote laboratoire, il reste une teneur en HCT résiduelle
 - Compatibilité avec objectifs de réhabilitation ?
 - Limite liée au laboratoire ? Pertinence d'un essai sur site ?

Cout de l'étude : 5/7 k€



Exemple 3 | Evaluation de l'atténuation naturelle

Objectifs :

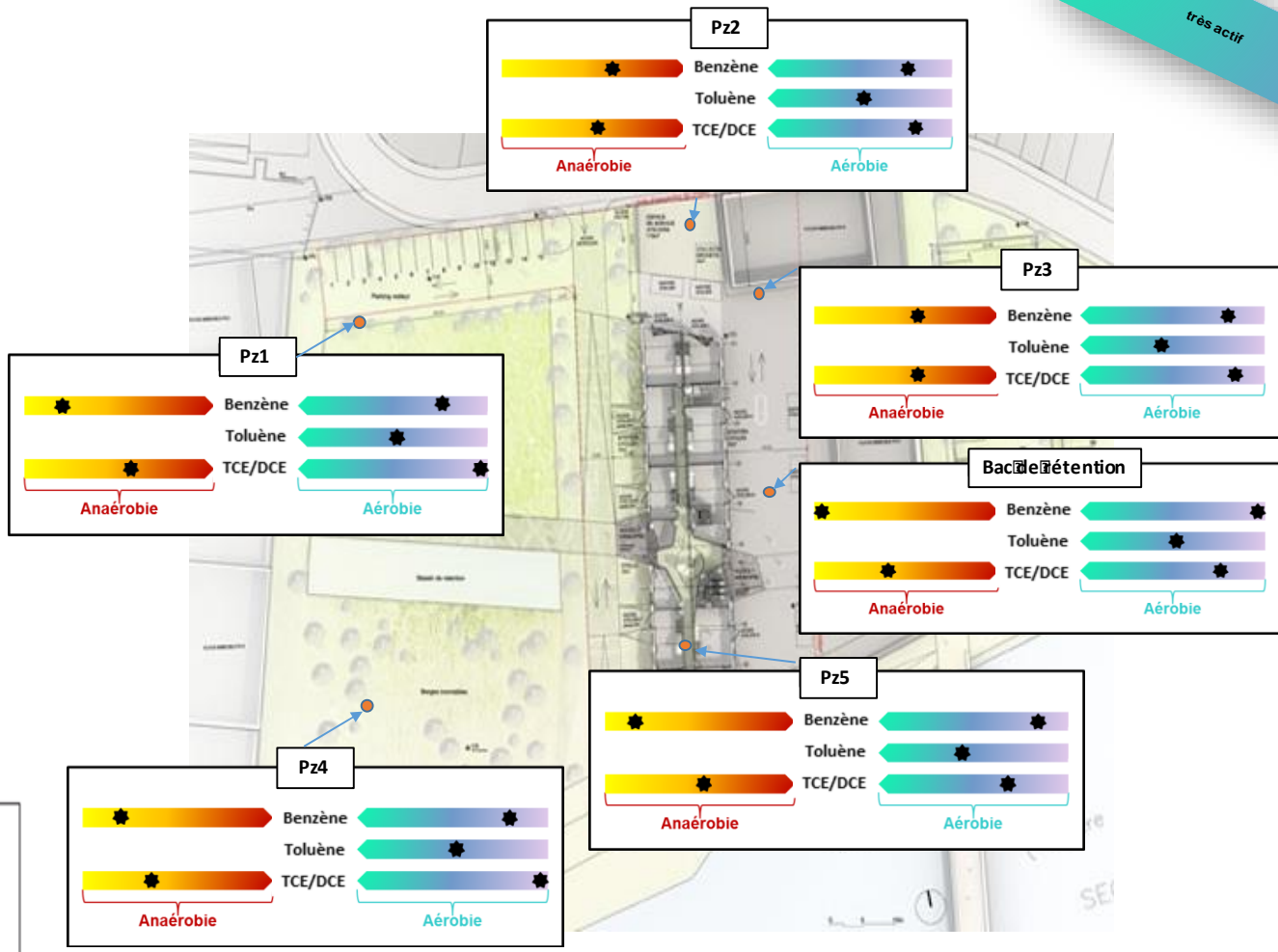
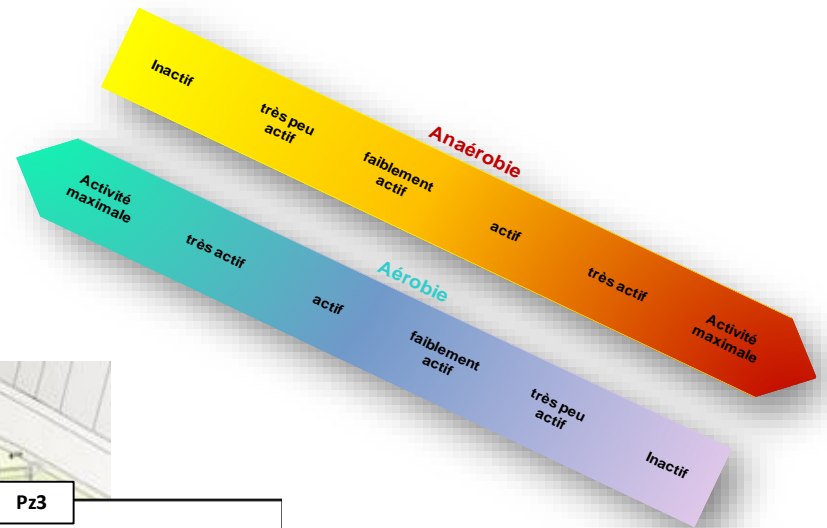
- Détection et identification de populations spécifiques de microorganismes.
- Quantification de microorganismes et gènes d'intérêt impliqués dans la biodégradation des polluants ciblés.
- Evaluation du potentiel de biodégradation.
- Mise en évidence d'inhibition ou de toxicité d'un milieu.

Contexte et approche :

- Site industriel dont la nappe phréatique est impactée par des éthylènes chlorés et des BTEX
- Voie de biodégradation recherchée et quantifiée : Anaérobie et aérobie



Exemple 3 | Résultats des analyses de biologie moléculaire



Exemple 3 | Interprétations des résultats

- Mise en évidence de la présence de bactéries capables de biodégrader les polluants présents.
- Evaluation de l'activité spécifique des mécanismes microbiens d'intérêt.
- Anticipation sur l'éventuelle production de métabolites de biodégradation.
- A l'échelle du site, l'activité microbienne est différente en fonction du polluant (BTEX vs COHV).
- Mise en évidence d'une atténuation naturelle modérée.
- Aide à la décision pour l'orientation du traitement par biodégradation ou choix d'une autre technique.

Coût de l'étude : 2/5 k€



Conclusion

- Les essais en laboratoire ont pour objectifs d'apporter des éléments pragmatiques pour sécuriser le choix d'une stratégie de dépollution.
- Ils permettent :
 - ✓ D'identifier les facteurs clés permettant la maîtrise de la technique de réhabilitation envisagée.
 - ✓ De limiter ou d'anticiper les aléas (formation de métabolites toxiques, surconsommation de réactifs ...)
 - ✓ De sécuriser les stratégies de réhabilitation (techniquement et économiquement)
- Dans certains cas, les tests en laboratoire peuvent être suivi d'essai sur site.



Contact



ENOVEO

7 place Antonin Poncet
69002 Lyon

o.sibourg@enoveo.com

www.enoveo.com

