

PROJET BIO&BIO : RÉSULTATS FINAUX ET RETOURS D'EXPÉRIENCES DU PILOTE TERRAIN - BIOLAVAGE D'HYDROCARBURES EN ZONE INSATURÉE

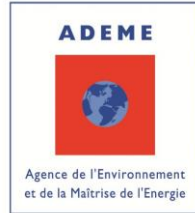
Date : 28/03/2024

CONFERENCE INTERSOL



Projet BIO&BIO

➤ Acteurs du projet :



Agence de la transition écologique.

Finance des projets de recherche consacrés à la gestion et au traitement des sites et sols pollués.

BIO&BIO est lauréat GESIPOL 2017



Bureau d'étude et coordinateur du projet



Maître d'ouvrage – Site d'étude Gare SNCF



Unité mixte de recherche entre l'Université de Lorraine et l'INRA



Entreprise de travaux de dépollution

Projet BIO&BIO

Le projet BIO&BIO vise à **développer des solutions techniques** permettant d'améliorer la bioremédiation de sols impactés par des hydrocarbures, avec notamment un focus sur l'emploi de **biosurfactants**.

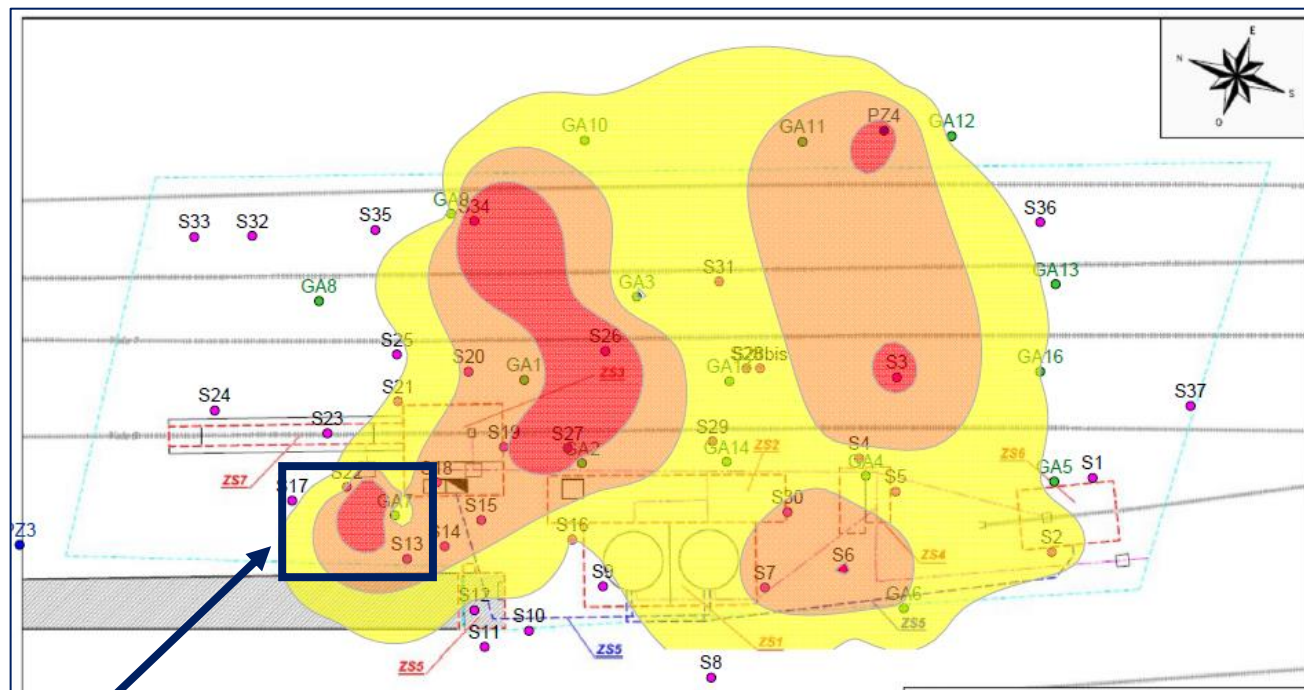


Etat initial Sols

- Site d'étude : pollution aux hydrocarbures

Pollution : Kérosène/diesel dégradé

- Comparaison aux résultats d'une précédente investigation : pas d'atténuation naturelle identifiée sur les 10 dernières années
- PzGA7 : flottant (mélange de kérosène/diesel) de plus de 20 ans



Zone pilote

Etat initial Sols

Forages pour prélèvements EI

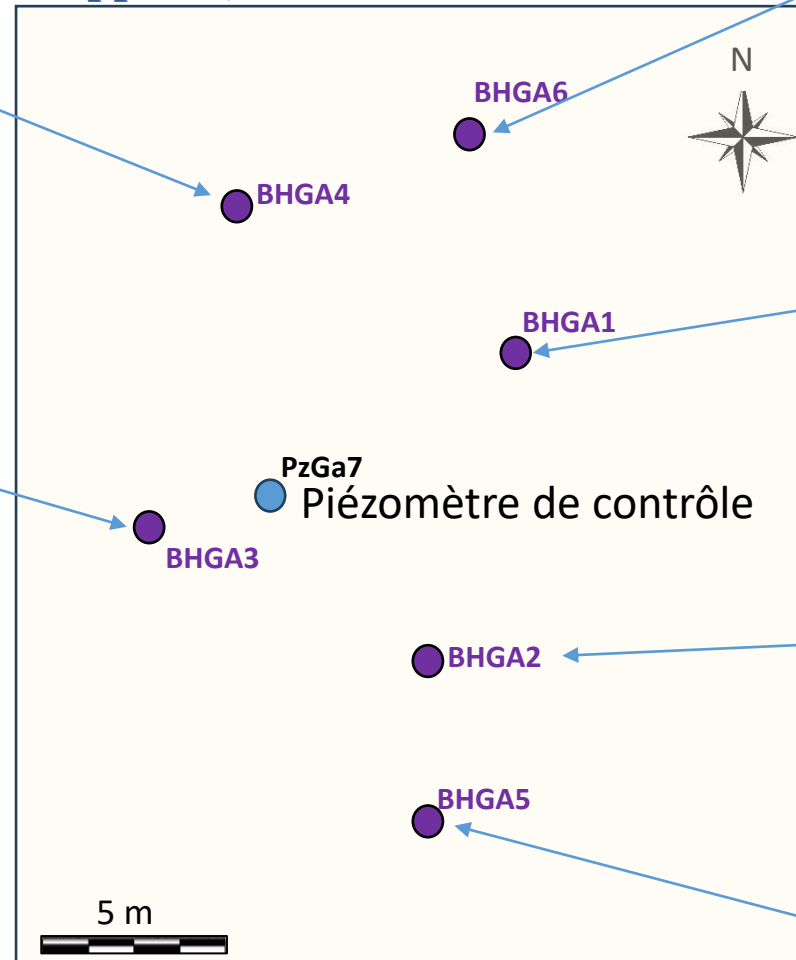
Nappe : 2,5 m

0-1m : 340 mg/kg
1-1,8m : 58 mg/kg
1,8-2,4m : 14 000 mg/kg

0-0,7m : 340 mg/kg
0,7-1,8m : 140 mg/kg
1,8-2,7m : 14 000 mg/kg

Teneurs moyennes :

0-0,9m : 370 mg/kg
0,9-1,8m : 129 mg/kg
1,8-2,6m : 8 378 mg/kg

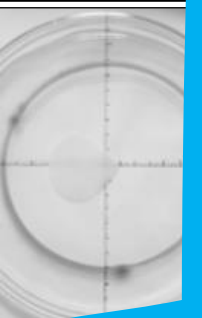
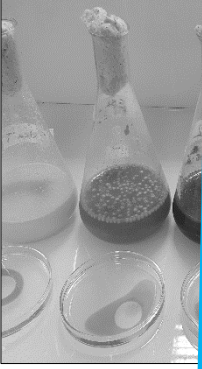


0-0,7m : 340 mg/kg
0,7-1,8m : 310 mg/kg
1,8-2,6m : 5 770 mg/kg

0-0,7m : 340 mg/kg
0,7-1,8m : 120 mg/kg
1,8-2,4m : 3 800 mg/kg

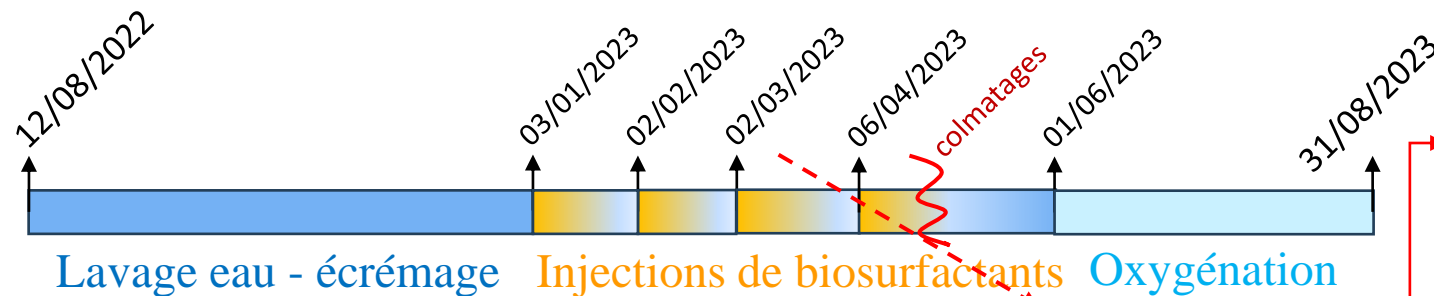
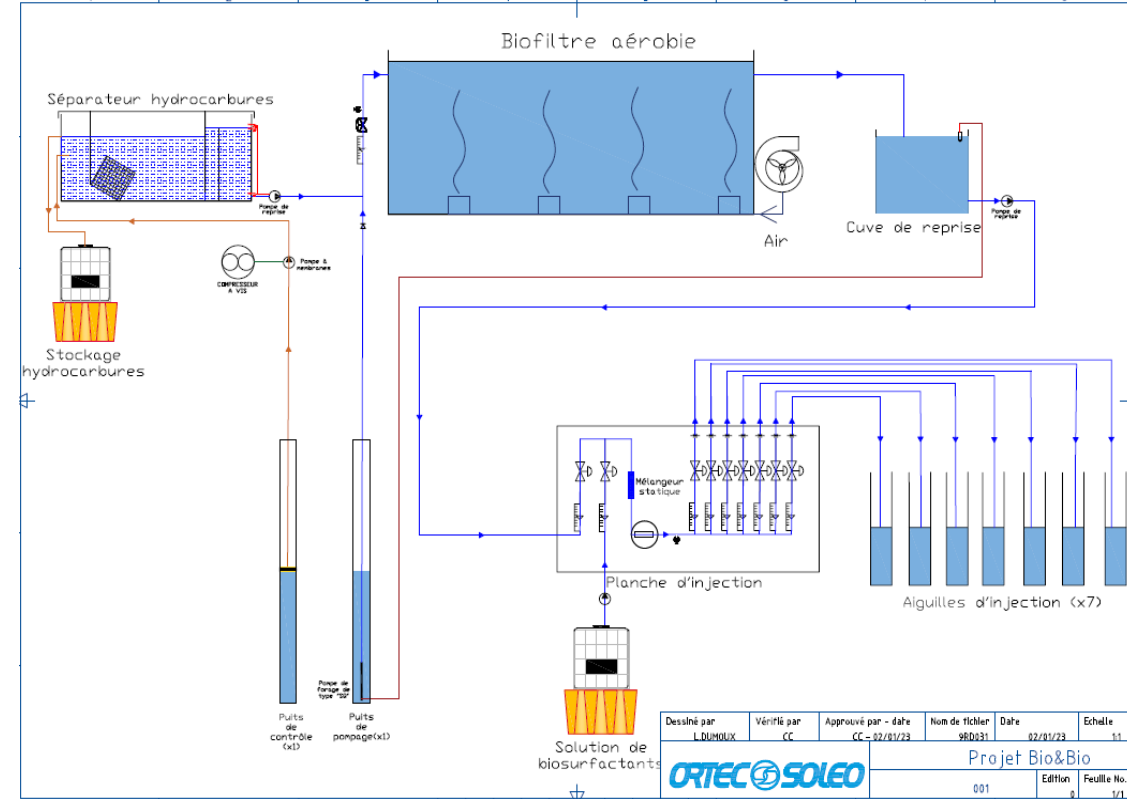
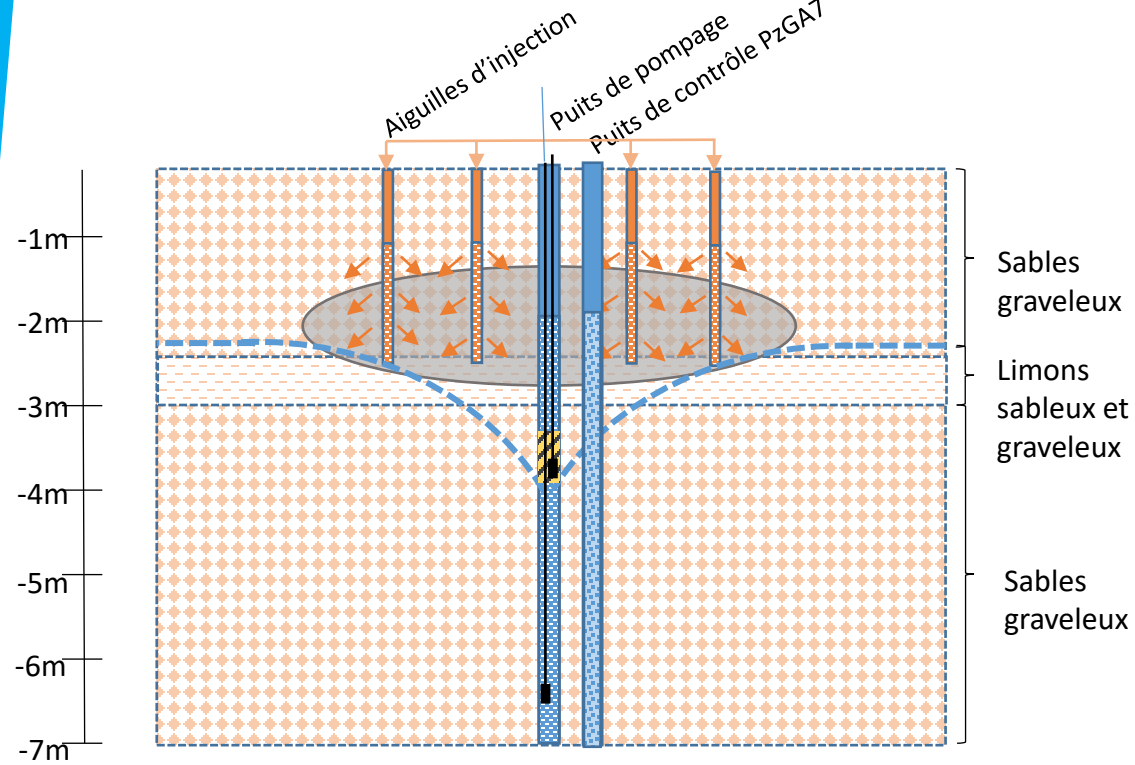
0-0,8m : 840 mg/kg
0,8-1,8m : 110 mg/kg
1,8-2,5m : 5 200 mg/kg

0-1m : 18 mg/kg
1-1,8m : 35 mg/kg
1,8-2,6m : 7 500 mg/kg



Pilote terrain – procédé mis en œuvre

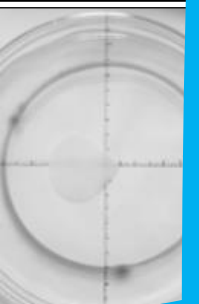
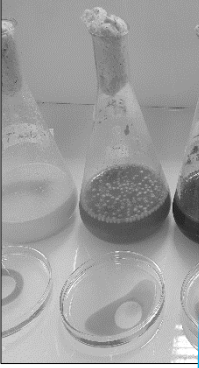
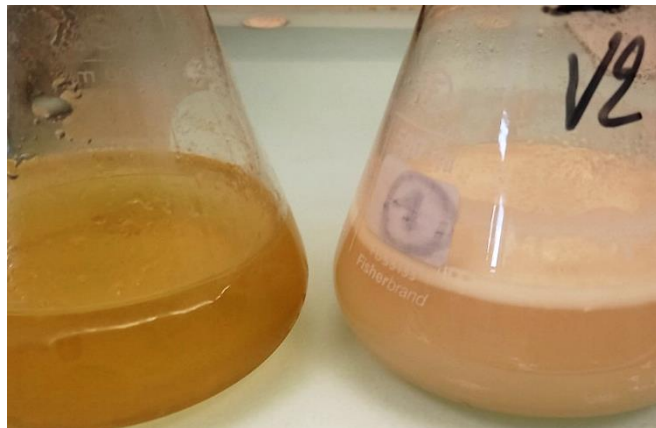
➤ Procédé de lavage / écrémage + biostimulation



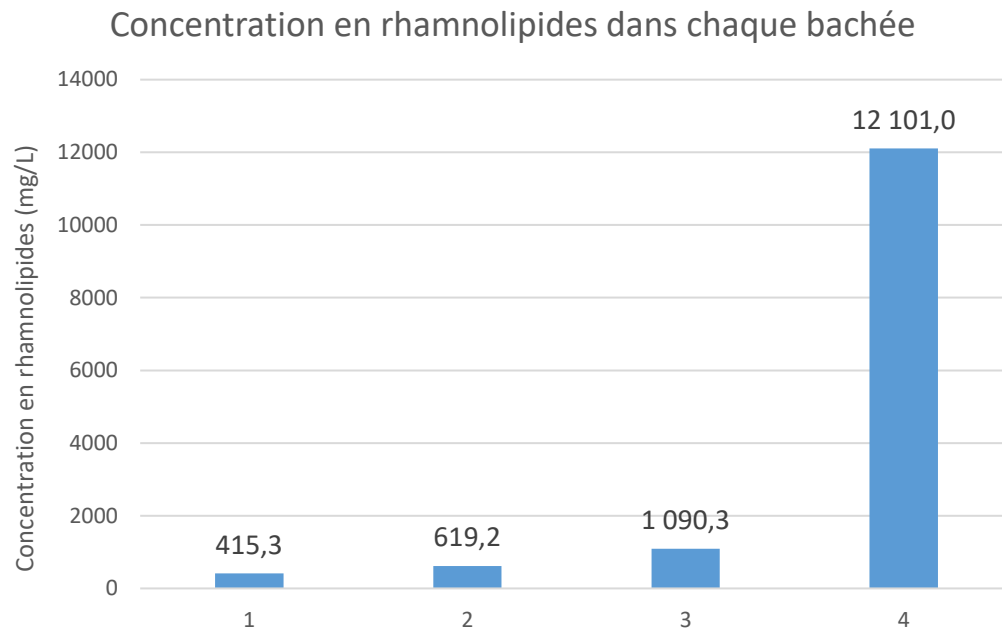
Passage en anaérobie in-situ

Analyses et choix des bactéries

- Les essais du LSE ont montré que plusieurs consortiums bactériens endogènes sont capables de produire des biosurfactants et de biodégrader les hydrocarbures, mais peuvent comporter des microorganismes pathogènes
- Pour la culture en grande échelle : une souche non pathogène productrice de rhamnolipides *Burkholderia Thailandensis* a été sélectionnée pour lancer la culture
- Les essais préliminaires au Laboratoire fait à ORTEC SOLEO ont montré la production de rhamnolipides par cette souche, cultivée en milieu stérile et non stérile (erlen puis bioréacteur de 25L).
- Bioréacteurs de 800 L :



Pilote terrain – procédé mis en œuvre



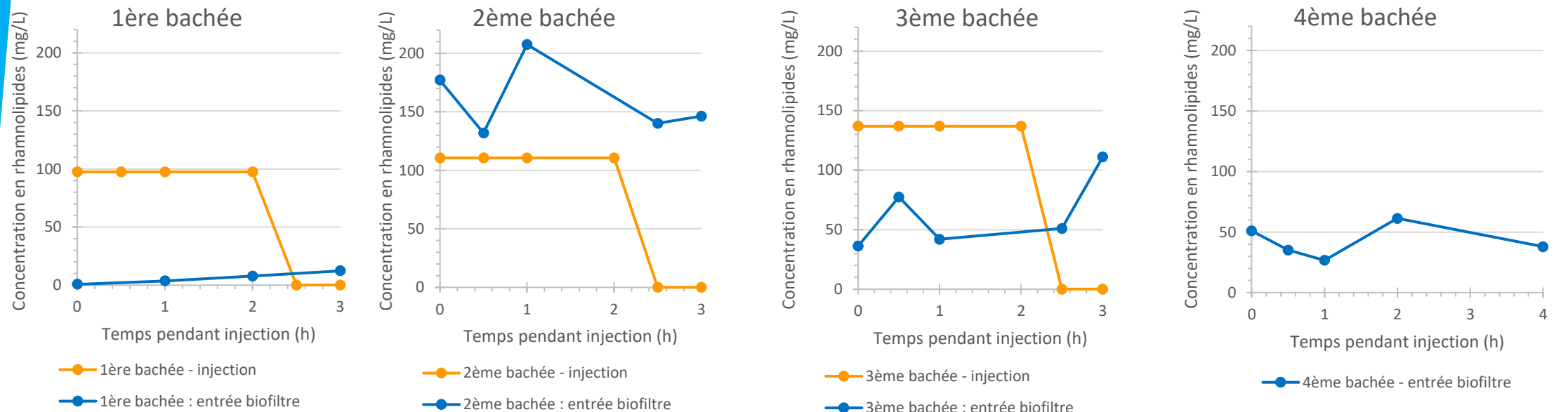
1^{ère} injection : 03/01/2023
2nd injection : 02/02/2023
3^{ème} injection : 02/03/2023
4^{ème} injection : 06/04/2023



Passage du milieu en anaérobie : Arrêt des injections de biosurfactants

➤ Seconde phase : injection de biosurfactants

Observation des concentrations en rhamnolipides :

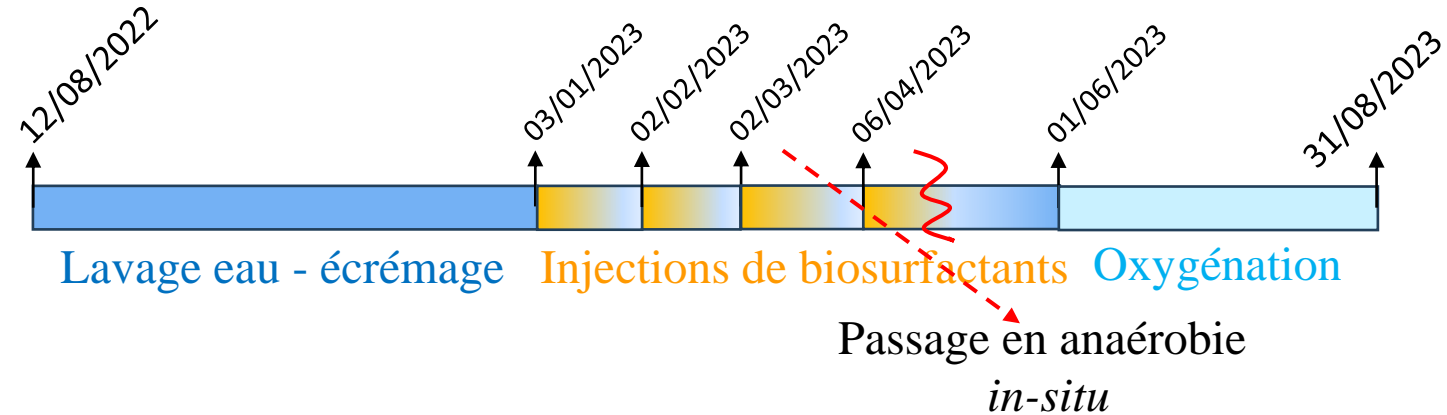
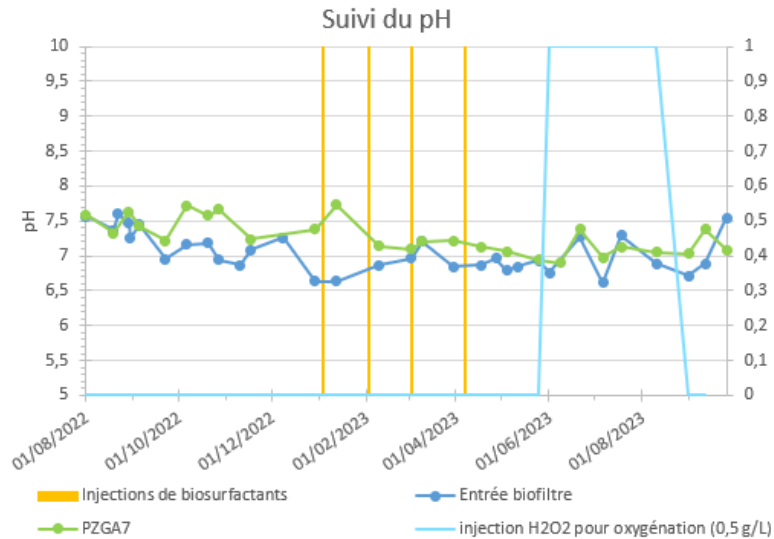


Observations :

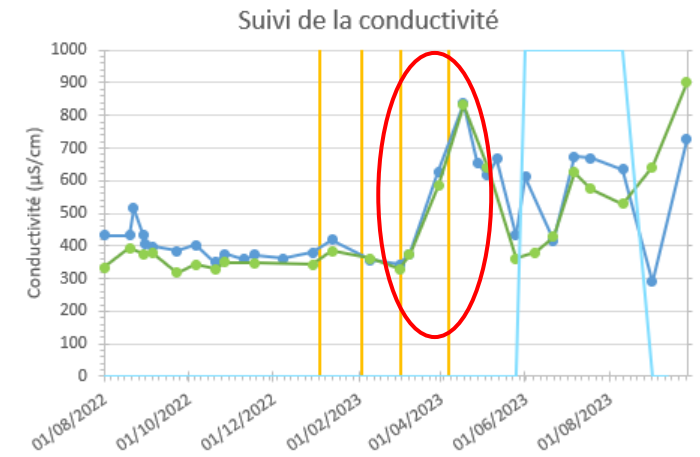
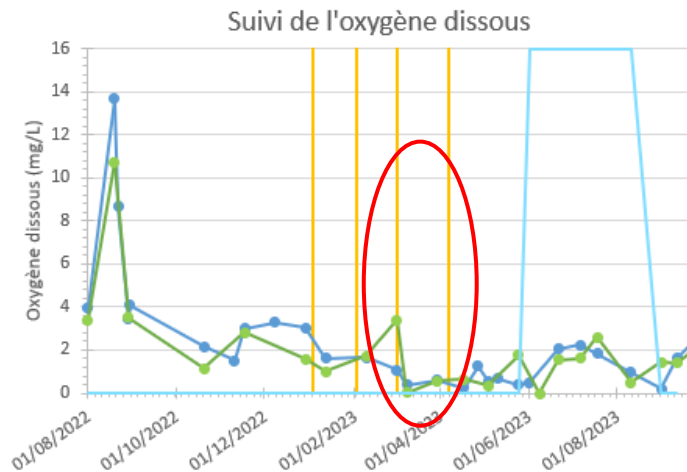
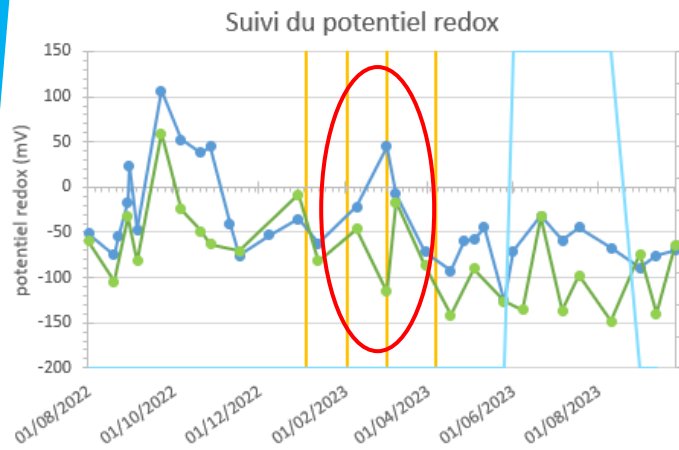
- Adsorption suspectée des rhamnolipides au sol / résultats cohérents avec les mesures du LSE 80% d'adsorption
- Après la première bachée, les teneurs en rhamnolipides des eaux pompées sont supérieures aux teneurs lors de l'injection : formation de rhamnolipides *in-situ* ? Stimulation des souches endogènes ?
- Après la 2^{ème} bachée, les concentrations en rhamnolipides dans le milieu semblent avoisiner les 50 mg/L : équilibre de l'activité bactérienne *in-situ* ?

Pilote terrain – Suivi des eaux

Physico-chimie :



- le pH reste stable
- le potentiel redox, l'oxygène dissous et la conductivité varient en fonction du développement bactérien *in-situ*



Modification *in-situ* suite à la 3^{ème} injection du bioréacteur

Pilote terrain – Suivi des eaux

Mesures Biologie Moléculaire :

3 Campagnes réalisées

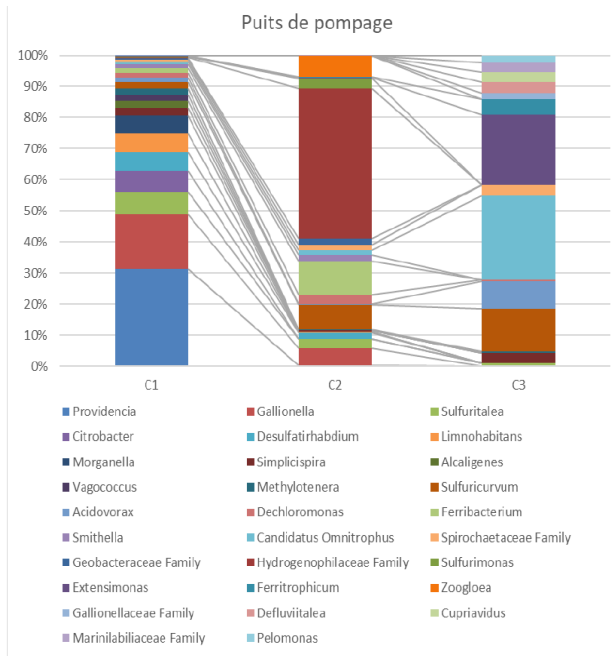
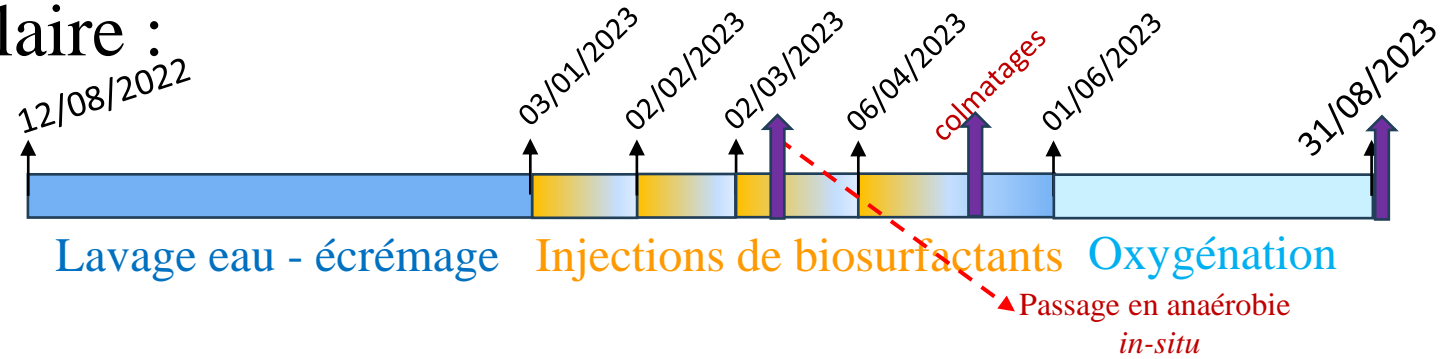
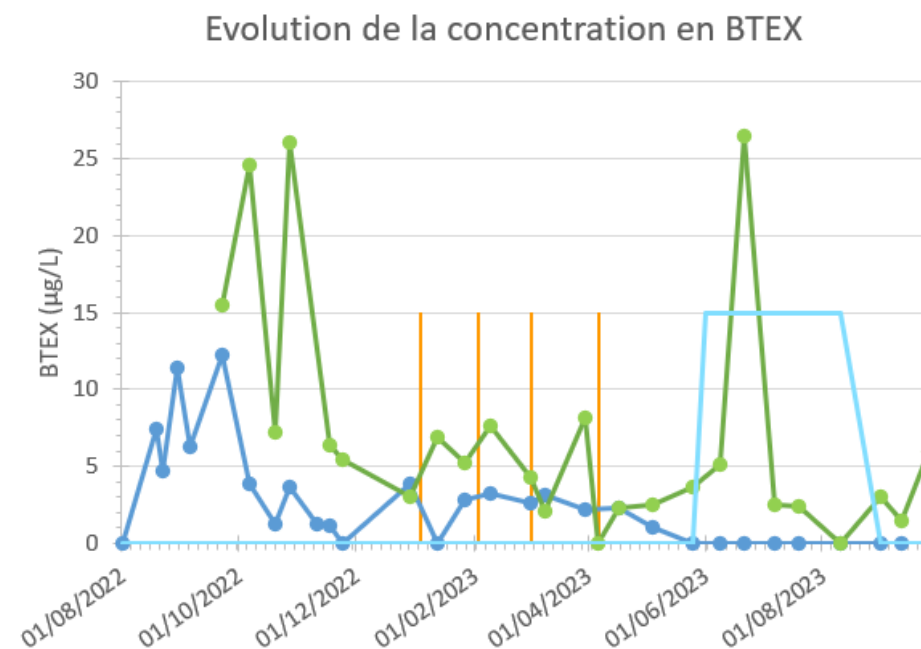
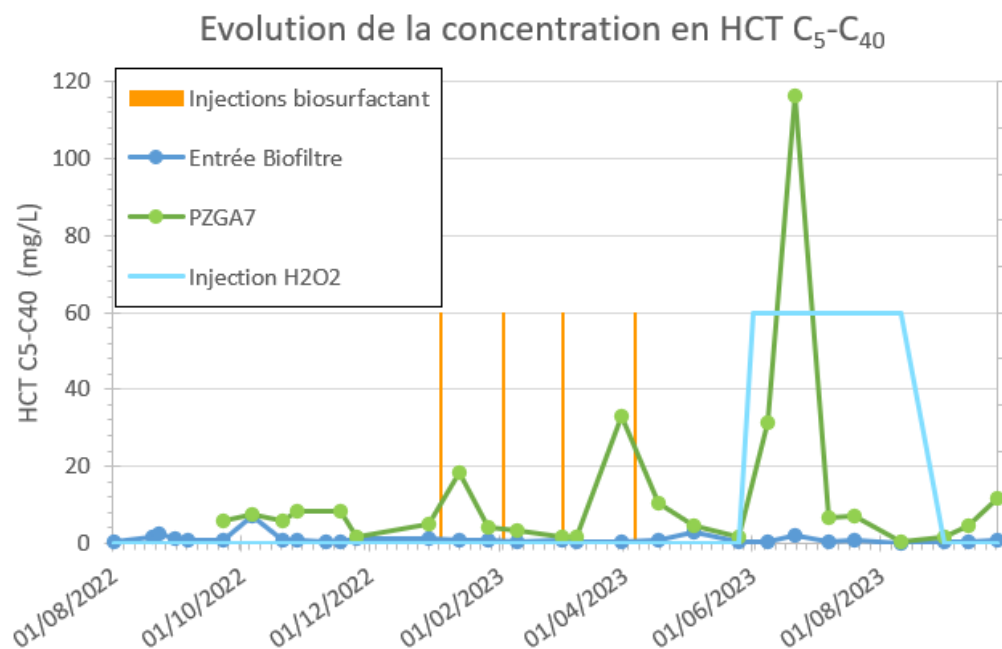


Figure 10 : Histogramme comparant les genres majoritaires de l'échantillon Puits de pompage entre les campagnes C1, campagne C2 et C3

- Pas d'état initial, mais bactéries totales de la zone pilote et en aval, après 3 mois de traitement 100 fois plus concentrées qu'en amont
- *Burkholderia T.* n'est pas retrouvée *in-situ* : pas de bioaugmentation, mais l'ordre Burkholderiales endogène se développe : présente à 18% en première analyse, 56% au second et 41% en fin d'essai
- fort **développement initial de bactéries capables de produire des biosurfactants** (30%), elles disparaissent à la 2nd campagne
- **développement des bactéries aérobies capables de dégrader les HCT** (11% et 10% sur les 2 premières campagnes, 35% en fin de traitement)
- développement de nombreuses espèces anaérobies à la seconde et 3^{ème} campagne

- la présence de **biomarqueurs de dégradation des HCT** augmente entre la 1^{ère} et 2nd campagne, puis se stabilise, elle est environ 1000 fois plus élevée qu'en amont.

Pilote terrain – Suivi des eaux



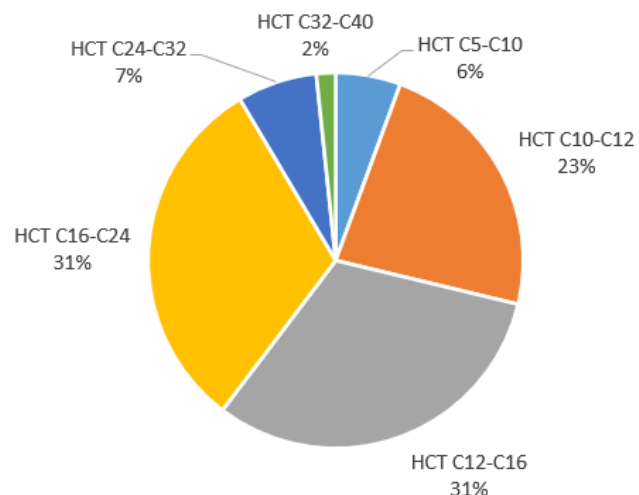
Les rhamnolipides produits et injectés ne permettent pas la remobilisation des Hydrocarbures jusqu'au puits de pompage : ils ne sont pas extraits du milieu – résultat cohérent avec les tests en colonne de WSP GOLDER

Ils sont en revanche **solubilisés *in-situ***, mis en évidence par leur apparition dans les eaux lors des changements physico-chimiques et biologiques : **et rapidement dégradés** par la microbiologie *in-situ*.

Pilote terrain – Suivi des eaux

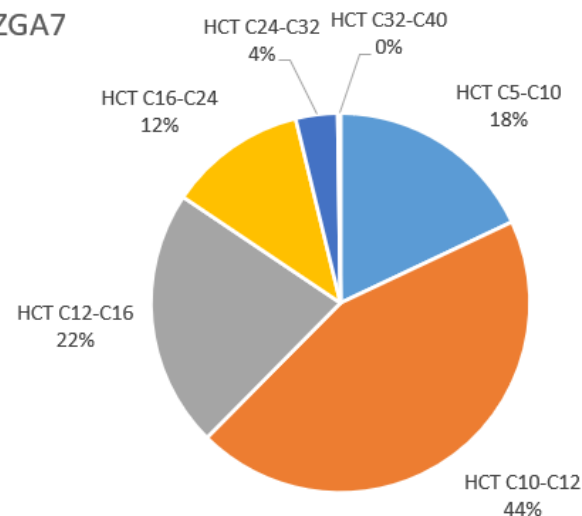
APRES LAVAGE EN EAU

PZGA7



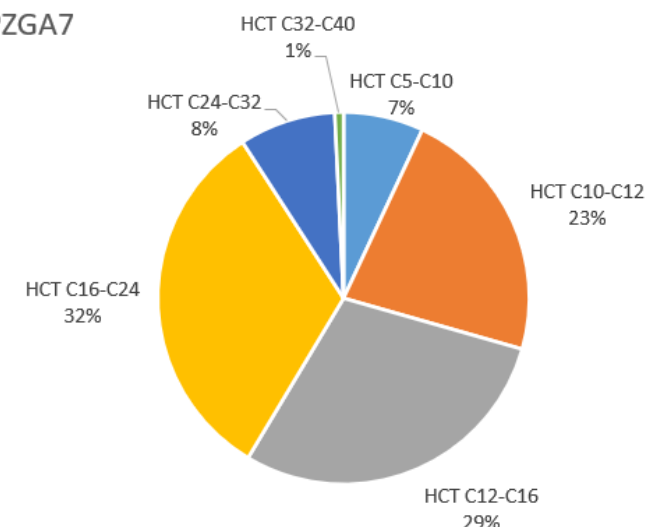
APRES INJECTIONS DE BIOSURFACTANT

PZGA7



environ 1 MOIS APRES FIN DU TRAITEMENT

PZGA7



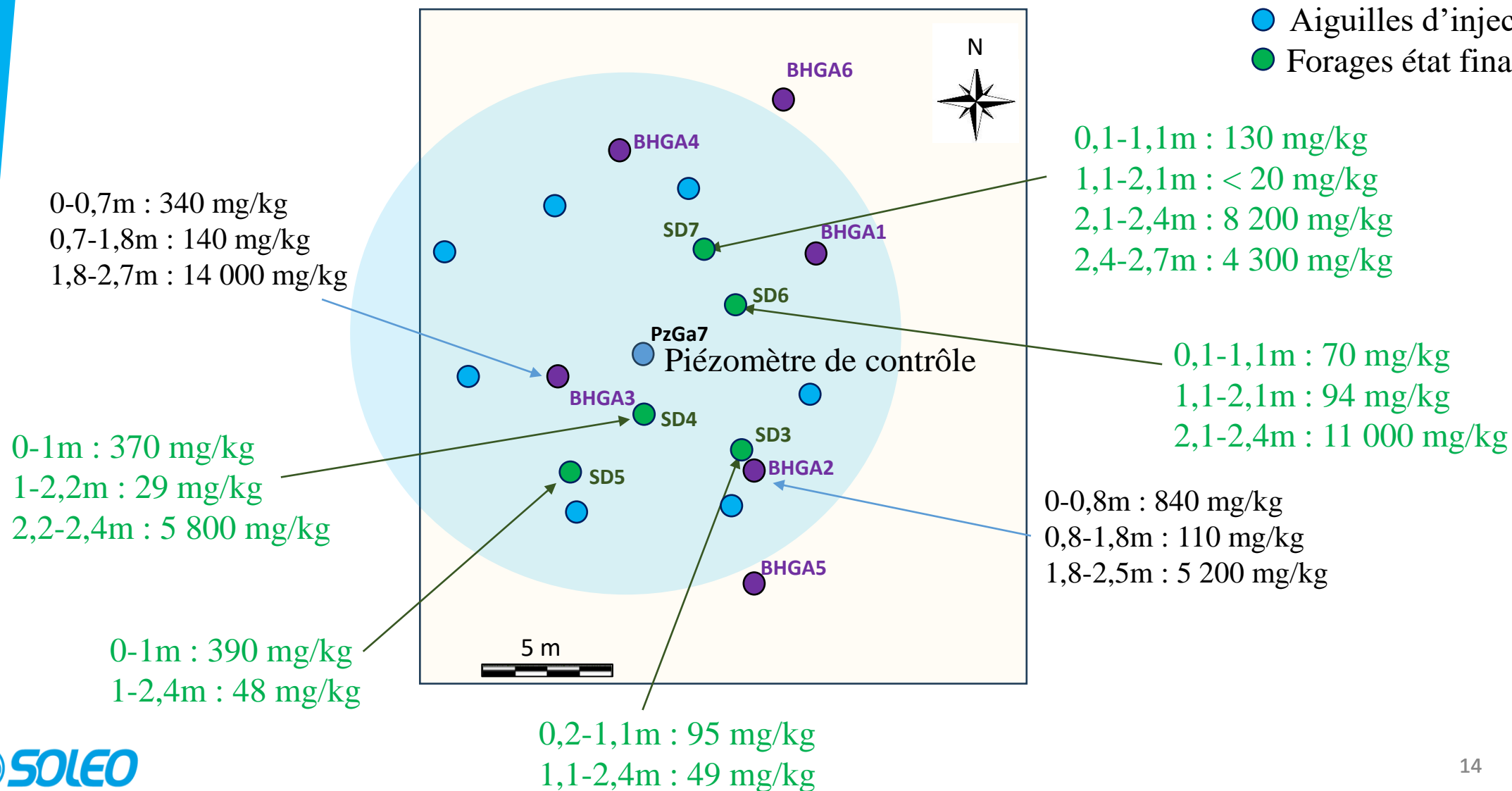
Les rhamnolipides produits et injectés favorisent la présence d'HCT C5-C12 en solution : par solubilisation.

Ceux-ci sont rapidement dégradés suite à la phase d'oxygénation : amélioration de la bioaccessibilité.

Pilote terrain – Suivi des sols, état final

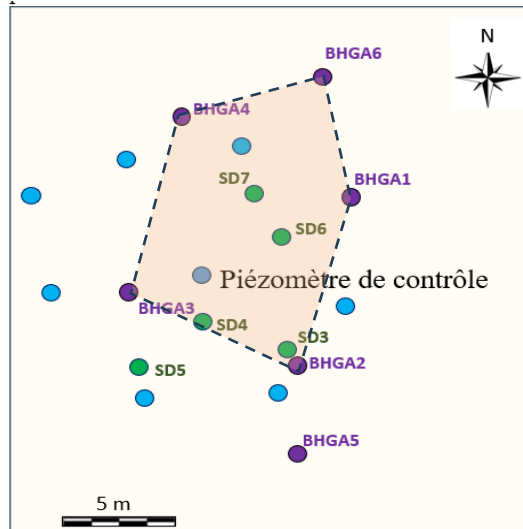
Prélèvements de sol (8 mois de traitement biologique) – 1 an après la 1^{re} injection

- Forages initiaux
- Aiguilles d'injections
- Forages état final



Pilote terrain – Suivi des sols, état final

Calculs des abattements :



Zone insaturée [0 - 1m]	52,0%
Zone de traitement [1-2,14m]	67,5%
Zone de battement de nappe [2,14 - 2,4m]	2,6%

- Forages initiaux
- Aiguilles d'injections
- Forages état final

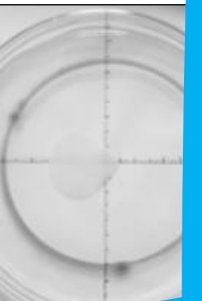
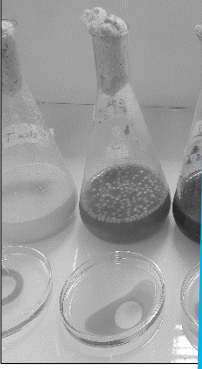
Abattements dans la zone de traitement insaturée 1m à 2,14m : de 67,5%

Les essais en colonne (WSP GOLDER) avaient observé jusqu'à 43% d'abattement lié à la biodégradation

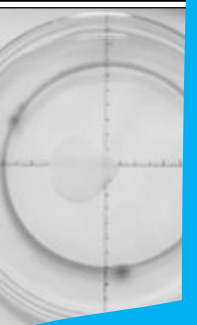
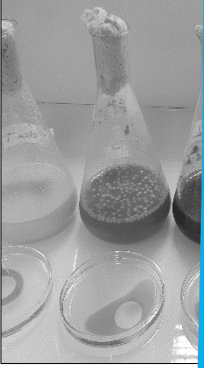
Amélioration de la bioaccessibilité avec des abattements sur de faibles concentrations initiales en hydrocarbures

CONCLUSIONS

- Production de rhamnolipides – bioréacteur de 800 L en conditions non-stériles : validé et optimisé – Faisabilité terrain prouvée.
- Suite aux injections, **remobilisation *in-situ* des HCT C5-C40** puis diminution des concentrations dans les eaux par biodégradation, pas d'effet lavage.
- Stimulation de la bio *in-situ*, 1ere phase par production endogène de biosurfactants, puis par développement des souches capables de dégrader les hydrocarbures: **amélioration de la biodisponibilité des hydrocarbures**, mais emballement et passage du milieu et des consortiums en anaérobie. Le contrôle de l'oxygénation ressort comme un point clé.
- **Dégradation accrue en zone insaturée** avec des abattements de l'ordre de 67,5% dans la zone de traitement après 8 mois de traitement et 1 an de pilote.



Poursuite du projet



CONTACT



ORTEC SOLÉO LYON

Des spécialistes au service de vos
projets de traitement des pollutions
et de réhabilitation

Direction Technique :

8 ter avenue du docteur Schweitzer
69330 MEYZIEU
04 82 29 12 82



Clotilde JOHANSSON

Chargée d'Affaires secteur R&D
clotilde.johansson@ortec.fr
06 74 32 23 64