



# Pertinence de la filière plantes aromatiques pour la production d'huiles essentielles dans le phytomanagement des sols pollués

Anissa LOUNES - HADJ SAHRAOUI

[anissa.lounes@univ-littoral.fr](mailto:anissa.lounes@univ-littoral.fr)

UNITÉ DE CHIMIE ENVIRONNEMENTALE ET INTERACTIONS SUR LE VIVANT (UCEiV)

UNIVERSITÉ DU LITTORAL CÔTE D'OPALE (ULCO)

Calais - FRANCE



Visions convergentes :  
Mobiliser les friches  
pour accroître la résilience  
de nos sociétés

16 & 17 novembre 2021  
Charleroi - Belgique



# Des phytotechnologies au phytomanagement des sols pollués

Opérations  
de gestion des SSP

Atténuation  
des risques

Gestion intégrée des SSP

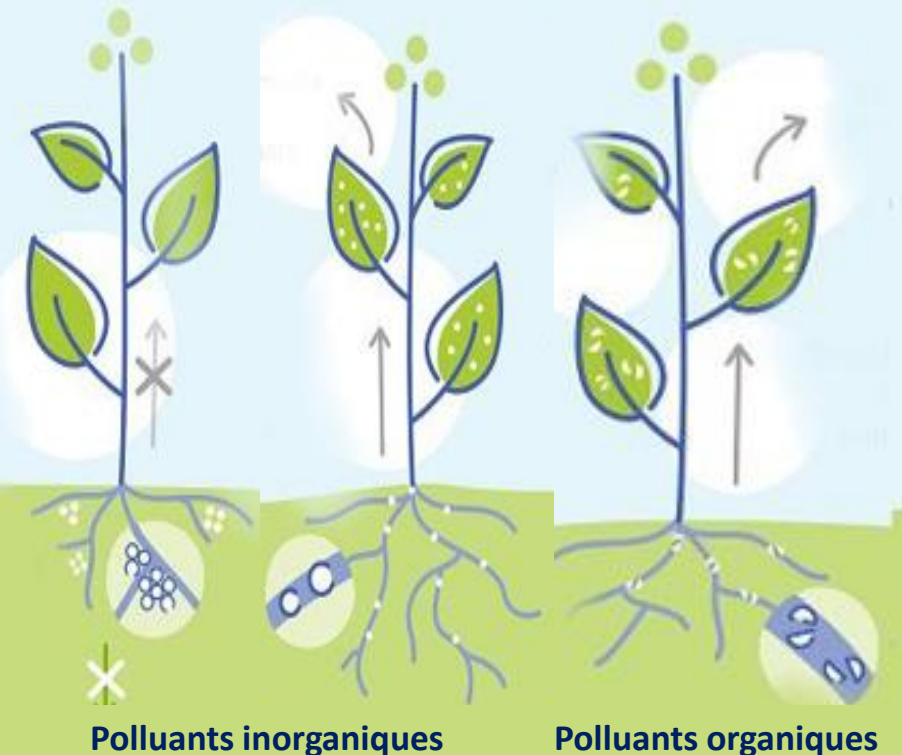
Avantages socio-économiques et  
environnementaux

## PHYTOTECHNOLOGIES

Phytostabilisation

Phytoextraction

Phyto/rhizodégradation



- 1- lenteur
- 2- efficacité limitée
- 3- manque de REX sur des essais *in situ* (démonstrateurs) et sur la rentabilité socio-économique

+ AMENDEMENTS MINÉRAUX OU BIOLOGIQUES



## + VALORISATION DE LA PHYTOMASSE





# Projet PhytEO

## Objectifs

Etude de la faisabilité technique et socio-économique  
du phytomanagement dans le cas de sols agricoles pollués  
par les ETM (éléments traces métalliques)  
en cultivant des plantes à parfums aromatiques et médicinales (PPAM)  
pour la production d'huiles essentielles (HE)

1.

Mise en place de  
démonstrateurs *in situ*  
et à grande échelle  
pour tester la  
phytostabilisation  
aidée

2.

Développement d'une filière  
de valorisation non  
alimentaire de la biomasse  
produite sur sols pollués en  
cultivant des PPAM pour  
produire des HE à activités  
biologiques

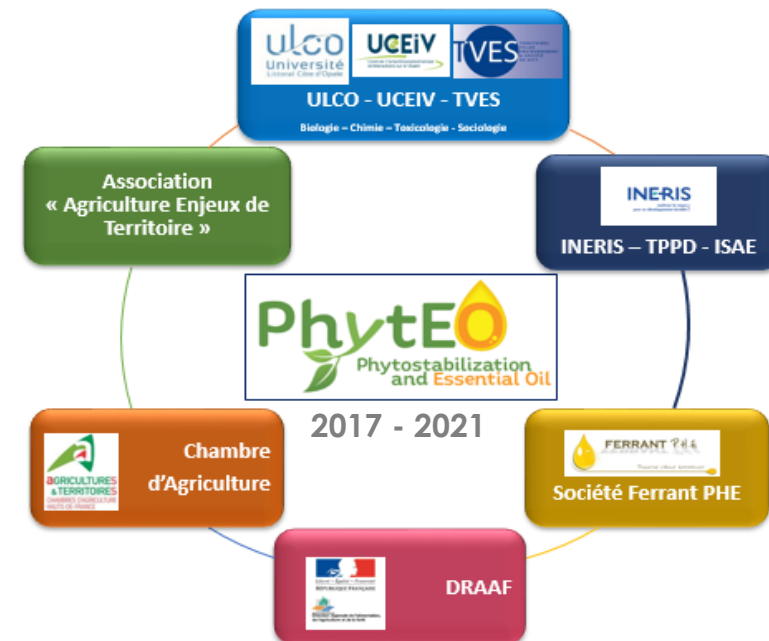
3.

Analyse  
technico-  
économique

4.

Etude  
d'acceptabilité  
sociale

## Partenariat académique transdisciplinaire, institutionnel et privé



Thèse de Doctorat Robin RAVEAU  
(ULCO, 17 décembre 2020)



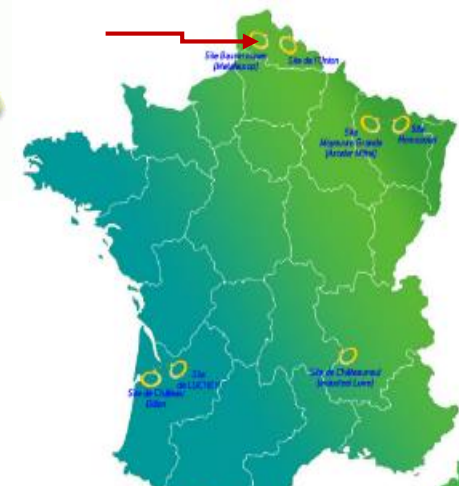


## Le site de Metaleurop

Ancienne usine de fonderie de Pb Metaleurop Nord  
située dans l'ex- bassin minier



- Plusieurs centaines de salariés sans emploi
- Situation sanitaire du site et des terres environnantes préoccupante



- 730 ha  
terres agricoles  
polluées
- 31  
exploitations  
agricoles concernées
- 10  
communes du Nord  
et du Pas-de-Calais  
concernées



L'usine Metaleurop au moment de sa fermeture.

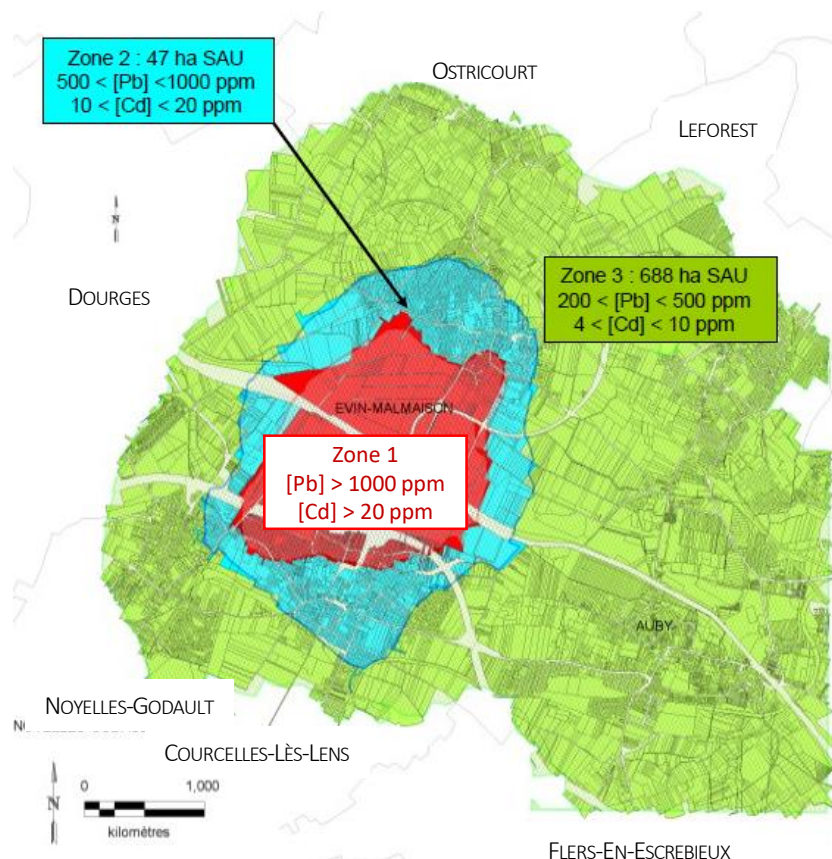




# Plan d'action pour la zone agricole polluée autour de Metaleurop

Projet de territoire pour le renouveau du bassin minier

Son ambition : "Regarder les contraintes comme des opportunités"



1  
Encadrement sanitaire des  
productions agricoles

2  
Reconversion  
des sols agricoles pollués  
via le développement de filières  
non-alimentaires innovantes de  
valorisation de la phytomasse  
produite sur ces sols pollués



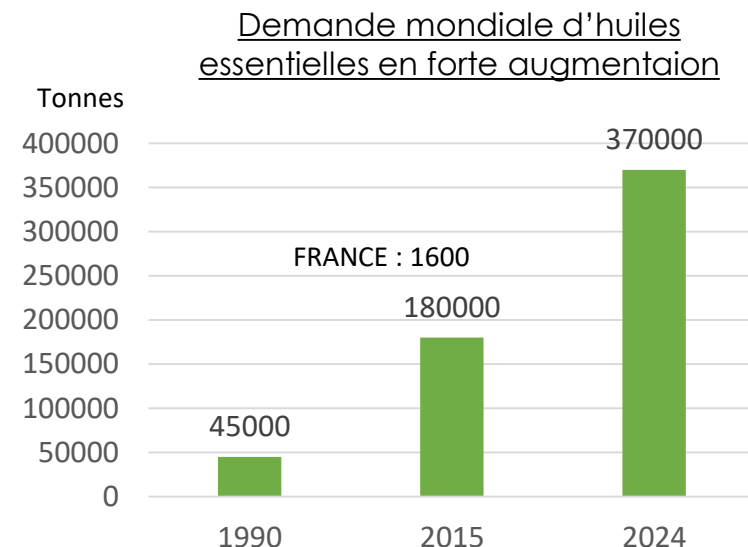
Bois énergie



Eco-matériaux



Molécules à haute valeur ajoutée

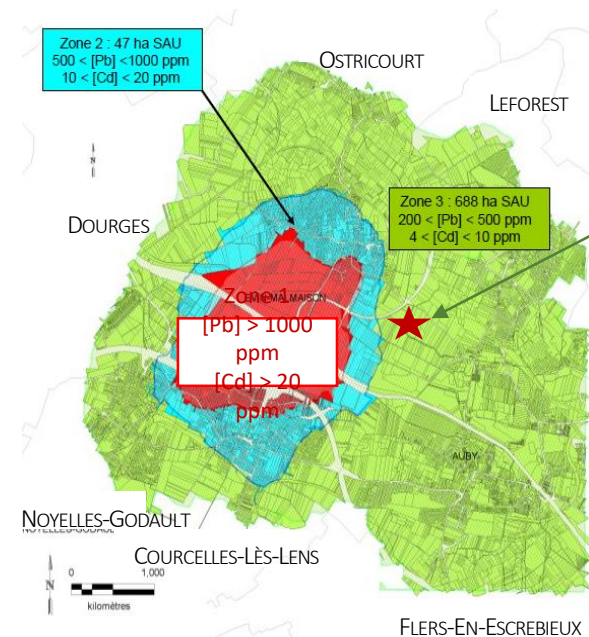


- estimée en 2024 : 370.000 tonnes pour 13,9 milliards US\$





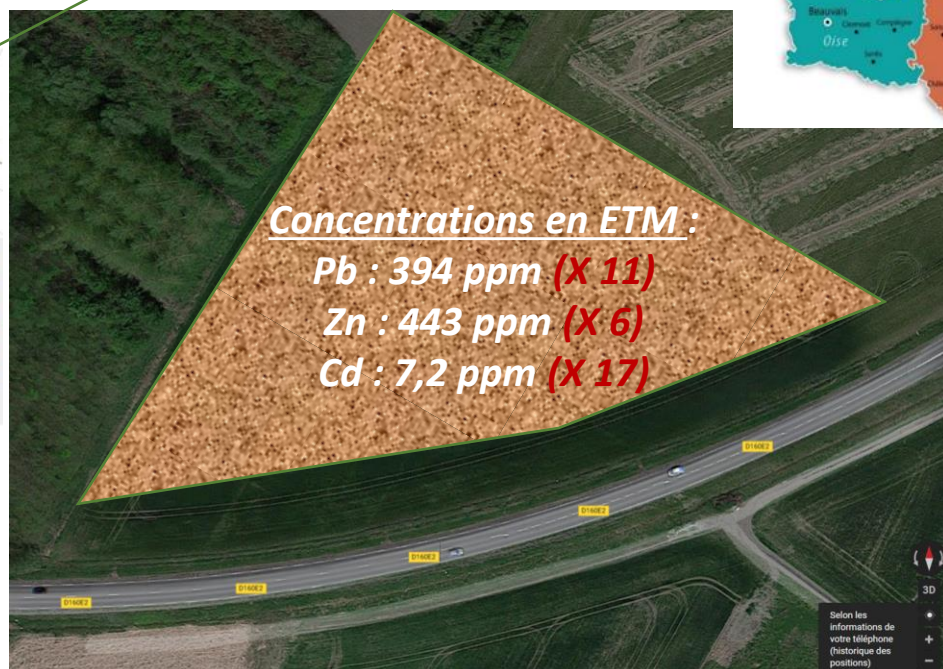
## Dispositif expérimental *in situ* : Deux parcelles de 2 ha



Parcelle polluée  
Evin-Malmaison  
★ : site Metaleurop (SAFIR)



Parcelle non polluée  
Rodelinghem








## Dispositif expérimental *in situ* : Trois espèces de PPAM testées

### Critères de choix des PPAM testées :

- Adaptation aux conditions pédo-climatiques de la région Hauts de France
- Disponibilité et le coût de la semence
- Intérêt commercial de l'HE qui en est issue
- Potentiel en phytostabilisation
- Cycle de végétation

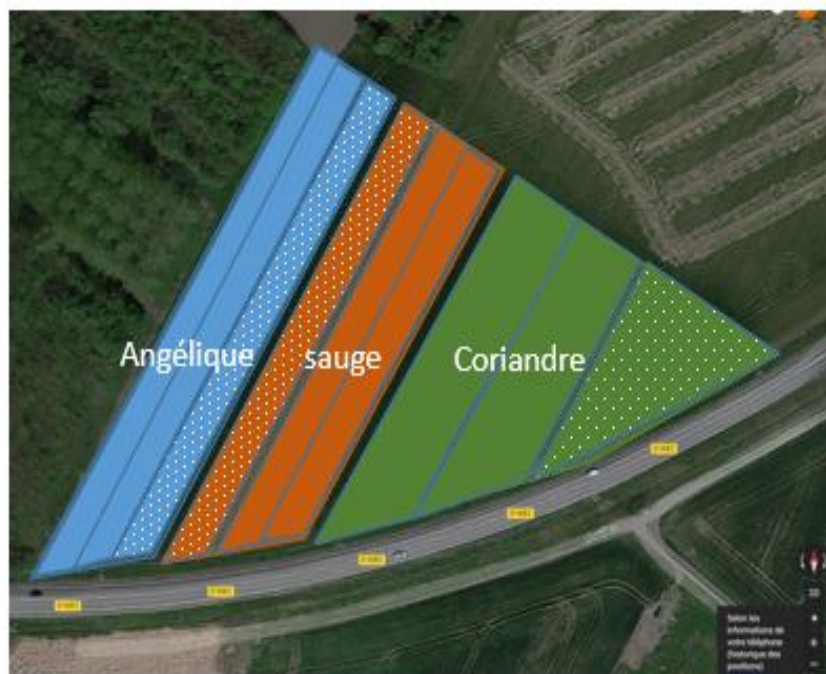
	Angélique ( <i>Angelica archangelica</i> )	Sauge sclarée ( <i>Salvia sclarea</i> )	Coriandre ( <i>Coriandrum sativum</i> )
			
<b>Cycle de Végétation</b>	Pérenne	Bisannuelle	Annuelle
<b>Récolte</b>	Dès la 2 <sup>ème</sup> année	1 <sup>ère</sup> (≈ 10 %), 2 <sup>ème</sup> (100%) et 3 <sup>ème</sup> année (70%)	Année du semis
<b>Parties récoltées</b>	graines	inflorescences	Parties aériennes ou graines



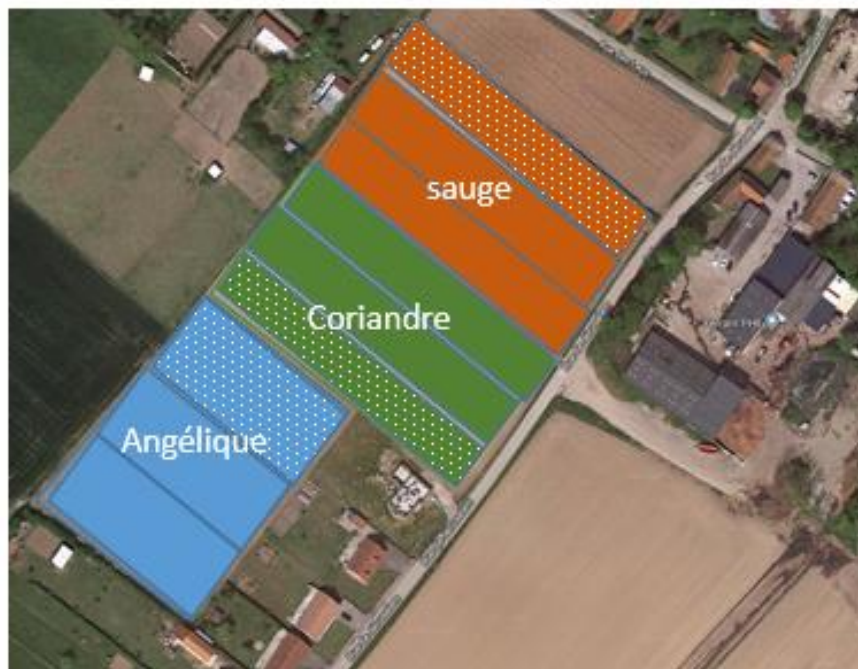


## Dispositif expérimental *in situ* : Deux modalités de culture

**Parcelle polluée**

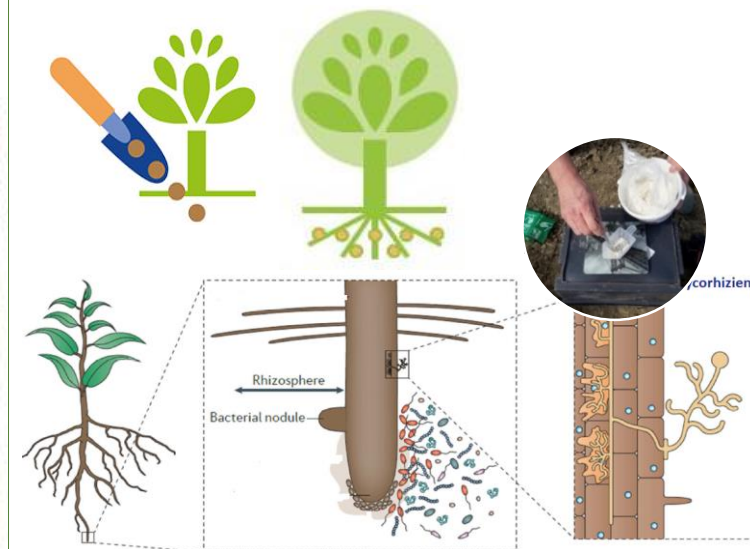


**Parcelle non polluée**



- Sans amendement
- Amendement biologique (inoculum mycorhizien)

### Phytostabilisation aidée par les champignons mycorhiziens

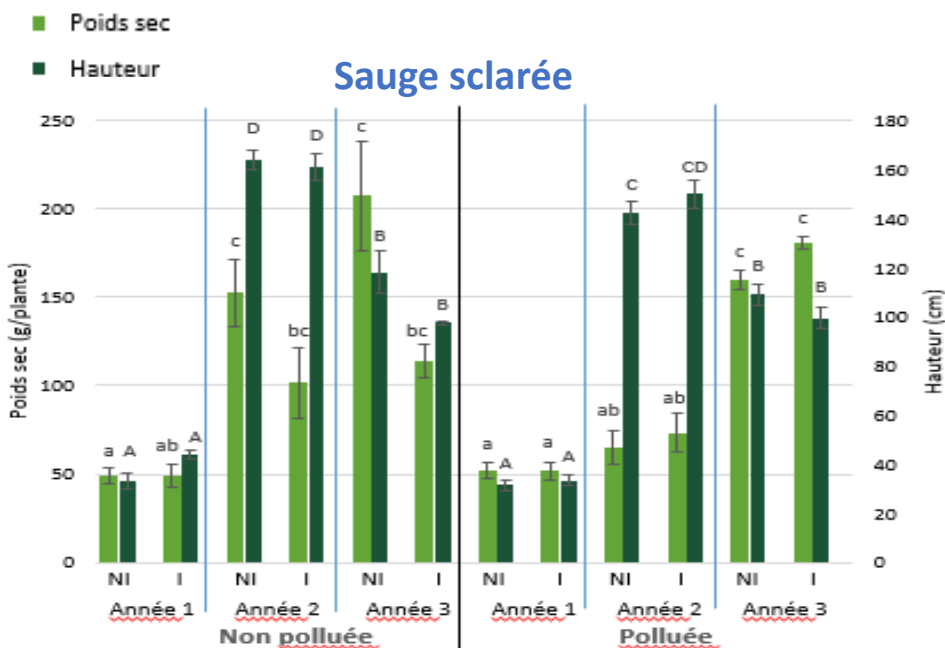


- Exploration par les racines mycorhizées d'un volume de sol plus important
- Meilleure nutrition minérale et hydrique pour la plante
- Meilleure croissance et tolérance aux stress pour la plante
- Contribution à la stabilisation des polluants

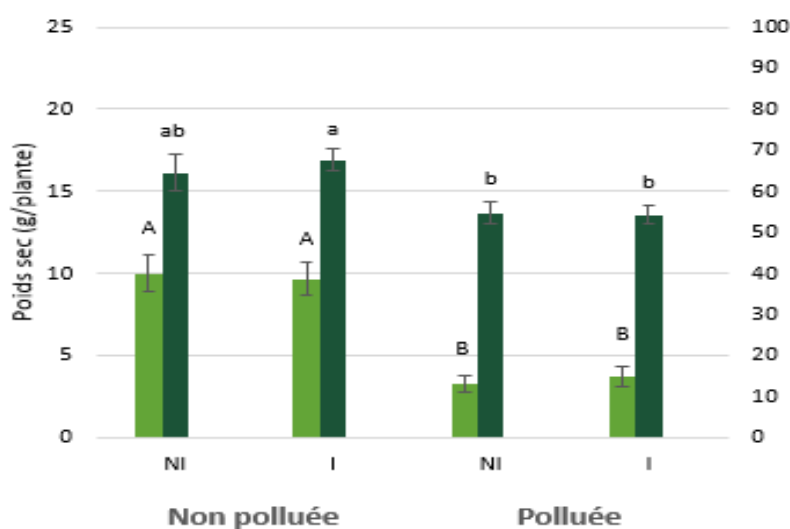




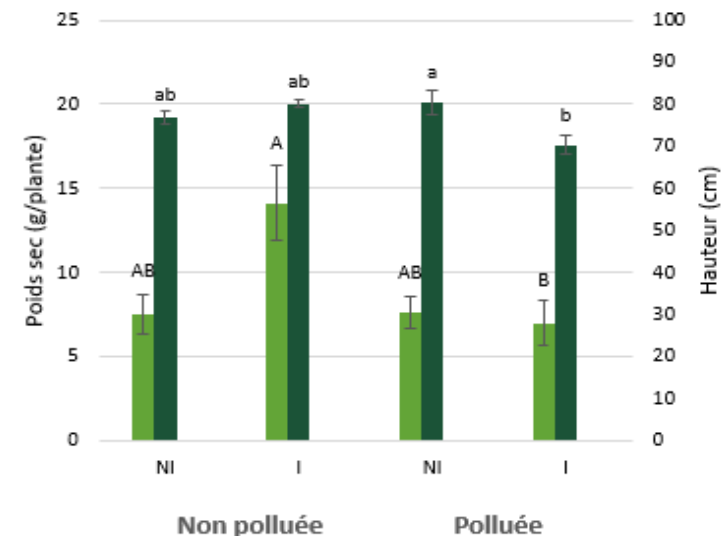
# Est-ce que les PPAM sont capables de se développer sur des sols pollués par les ETM ?



### Coriandre – Parties aériennes récoltées



### Coriandre – graines récoltées



NI : Non inoculé – I : Inoculé Test statistique : comparaison multiple, ANOVA-1F avec correction de Bonferroni (n=6)



## Quel est l'impact de la pollution des sols par les ETM sur les rendements en HE ?

	Rendements HE (kg/ha)		
	Coriandre Parties aériennes récoltées	Coriandre Graines récoltées	Sauge sclarée Inflorescences Année 2
Non polluée	10,6	7,5	20,3
Polluée	9,6	6,2	24,2







## Quelle est la qualité des HE produites sur sols pollués par les ETM ?

		Coriandre Parties aériennes récoltées			Coriandre Graines récoltées			Sauge sclarée Inflorescences Année 2		
		Non polluée	Polluée	Commerciale	Non polluée	Polluée	Commerciale	Non polluée	Polluée	Commerciale
Contamination	Cd	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
	Pb	0,041	0,042	0,63	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,01
	Zn	0,078	0,052	5,05	0,063	< LQ	0,11	< LQ	0,086	0,11

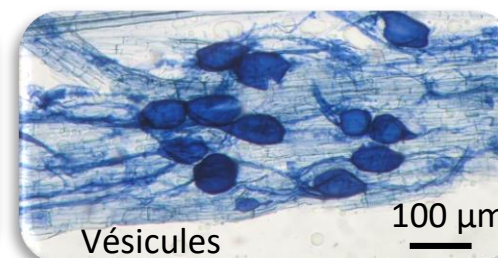
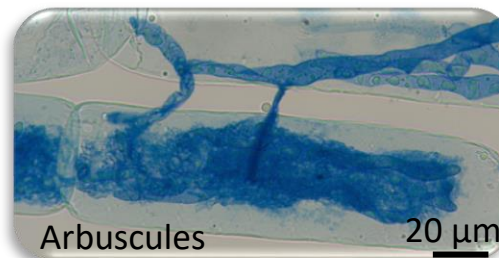
LQ : limite de quantification



## Quelle est la qualité des HE produites sur sols pollués par les ETM ?

		Coriandre Parties aériennes récoltées	Coriandre Graines récoltées	Sauge sclarée Inflorescences Année 2
Compositions Chimiques		2-décénal, linalol, décanal et 2-dodécanal	Linalol, $\gamma$ -terpinène et $\alpha$ -pinène	Acétate de linalyle, linalol et germacrène-D
Activités biologiques	Protection des cultures (anti-fongiques, herbicides, anti-germinatives, insecticides)	++	+	+
	Santé humaine (anti-oxydantes, anti-inflammatoires)	++	+	+

- Mycorhization des PPAM bien établie
- Aucun effet observé sur la croissance des PPAM, et sur les rendements et la qualité des HE







# Principaux acquis et avancées permises par le projet PhytEO

## Coriandre



- Croissance PPAM, production de biomasse et rendements HE
- Qualité des HE (composition, contamination, propriétés biologiques)
- Capacité de phytostabilisation aidée
- Valorisation des résidus de distillation
- Analyse technico-économique
- Etude d'acceptabilité sociale



## Sauge sclarée



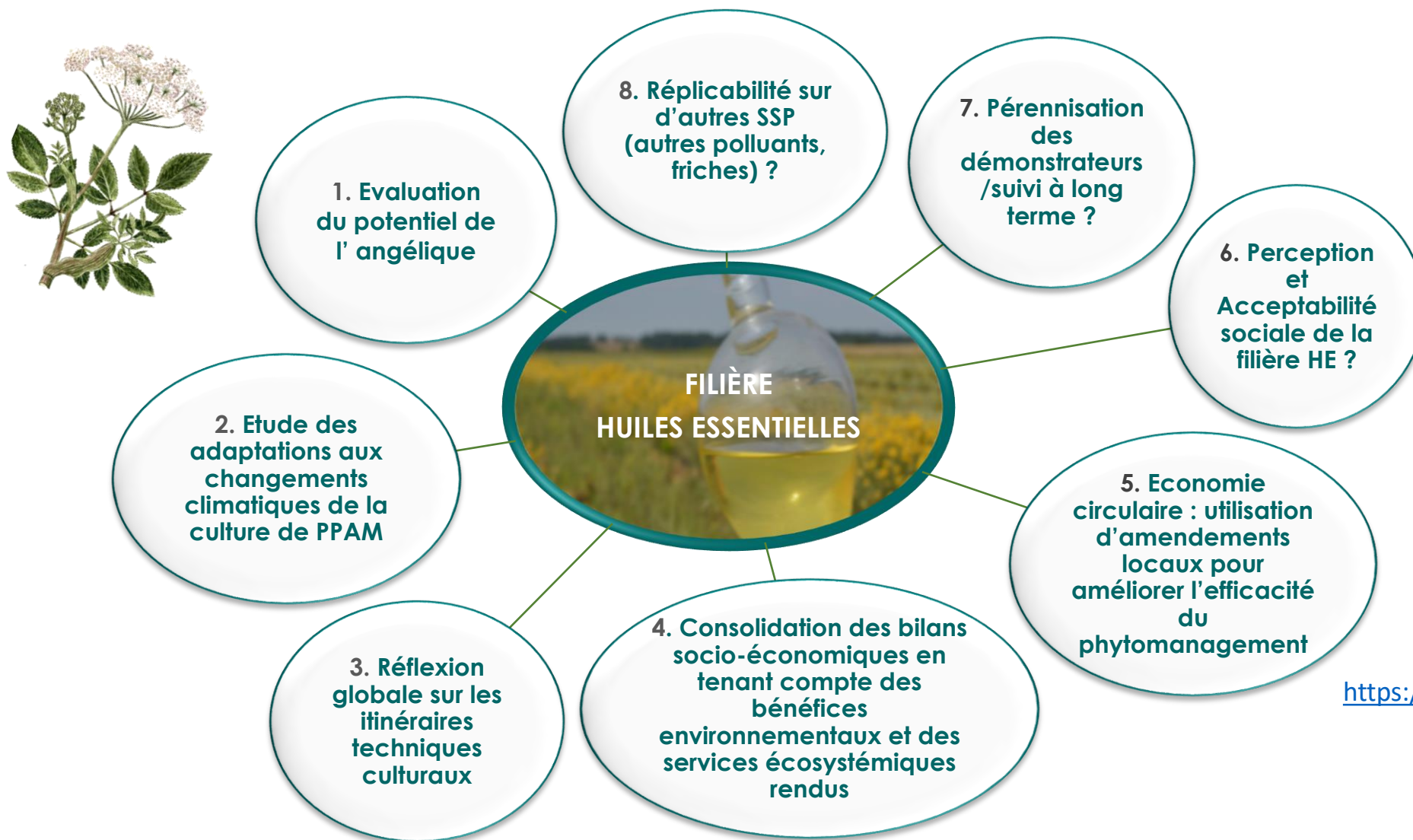
Sauge sclarée

=

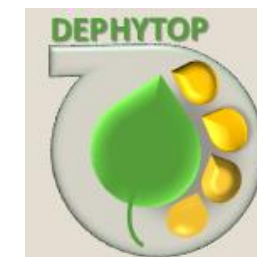
**une bonne option  
pour le phytomanagement  
des sols pollués par les ETM**



# Perspectives



**projet DEPHYTOP :  
2021 - 2024**  
(ADEME, APR graine 2019)



<https://dephytop.univ-littoral.fr/>





# Merci

## UCEiV - ULCO :

A. Lounès-Hadj Sahraoui\*, J. Fontaine, R. Raveau, F. Laruelle, B. Tisserant, N. Facon, S. Fourmentin, A. Verdin

## Consortium projet PhyTEO :

UCEiV- ULCO, H. Flanquart (TVES – ULCO), V. Bert (INERIS), P. Ferrant (Ferrant PHE), Fabien Dutertre (Chambre d'agriculture), C. Catel (DRAAF), R. Vion (Association agriculture et territoires)

## Financeurs :

ADEME, PMCO, ULCO, CPER Alibiotech

Contact projets PHYTEO et DEPHYTOP:  
Prof. Anissa LOUNES – HADJ SAHRAOUI (UCEiV – ULCO)  
[anissa.lounes@univ-littoral.fr](mailto:anissa.lounes@univ-littoral.fr)

Site web PHYTEO :  
<https://phyteo.univ-littoral.fr/>

Site web DEPHYTOP  
<https://dephytop.univ-littoral.fr/>



# Références bibliographiques

- R. RAVEAU, J. FONTAINE, M. HIJRI, A. LOUNES-HADJ SAHRAOUI. The aromatic plant clary sage shaped bacterial communities in the roots and in the trace element-contaminated soil more than mycorrhizal inoculation -A two-year monitoring field trial. *Front. Microbiol.* 11, 1–18. doi:10.3389/fmicb.2020.586050, 2020.
- R. RAVEAU, J. FONTAINE, V. BERT, A. PERLEIN, B. TISSERANT, P. FERRANT, A. LOUNES-HADJ SAHRAOUI. *In situ* cultivation of aromatic plant species for the phytomanagement of an aged-trace element polluted soil: Plant biomass improvement options and techno-economic assessment of the essential oil production channel. *Sci. Total Environ.*, 147944. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.147944, 2021.
- R. RAVEAU, A. LOUNES-HADJ SAHRAOUI, M. HIJRI, J. FONTAINE. Clary sage cultivation and mycorrhizal inoculation influence the rhizosphere fungal community of an aged trace-element polluted soil. *Microorganisms* 9, 1333. doi:10.3390/microorganisms9061333. 2021.
- PERLEIN, I. ZDANEVITCH, I. GAUCHER, B. ROBINSON, A. PAPIN, A. LOUNES-HADJ SAHRAOUI, V. BERT. Phytomanagement of a metal(loid)-contaminated agricultural site using aromatic and medicinal plants to produce essential oils: analysis of the metal(loid) fate in the value chain. *Environ. Sci. Poll. Res.* doi.org/10.1007/s11356-021-15045-4, 2021.
- R. RAVEAU, J. FONTAINE, A. VERDIN, L. MISTRULLI, F. LARUELLE, S. FOURMENTIN, A. LOUNES-HADJ SAHRAOUI. Chemical composition, antioxidant and anti-inflammatory activities of clary sage and coriander essential oils produced on polluted and amended soils-phytomanagement approach. *Molecules*. 26(17): 5321 doi.org/10.3390/molecules26175321. 2021
- Site web PHYTEO : <https://phyteo.univ-littoral.fr/>
- Site web DEPHYTOP : <https://dephytop.univ-littoral.fr/>