



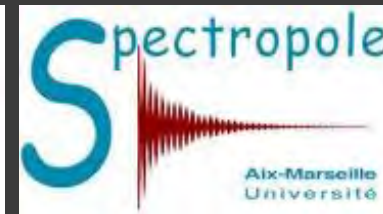
## LE LIGNITE DES TERRILS DE PROVENCE:

# SPATIALISATION ET INFLUENCE SUR LES ACTIVITÉS MICROBIENNES DES SOLS

**Stéven CRIQUET**

Maître de Conférences – HDR (IMBE)

**Mélanie CLOUARD, Catherine KELLER, Philippe DUSSOUILLEZ, Virgile CALVERT, Rachelle ADJOUHGNOPE, Guillaume BERNARD, Nathalie DUPUY, Sandrine AMAT, Jérôme BALESSENT, Fabio MARZAIOLI, Fabio ZIARELLI**

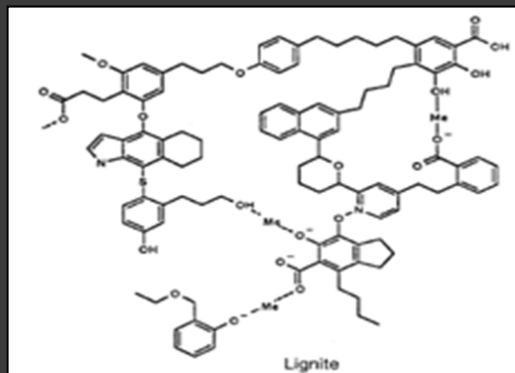


<b>Contexte</b>	<b>Sites d'étude</b>	<b>Matériels et méthodes</b>
<b>Résultats</b>	<b>Conclusions</b>	<b>Perspectives</b>

## ❖ Le Lignite

- ❖ **Combustible** fossile datant du Fuvélien (-75 millions d'années)
- ❖ Origine lacustre, sous climat tropical
- ❖ « **Charbon** » de faible maturité vs Anthracite
- ❖ Pouvoir calorifique modéré
- ❖ Utilisé essentiellement pour la production d'électricité
- ❖ Structure **aromatique** & **aliphatique** :

↪ **C récalcitrant**



Lignite du Puits Hély d'Oissel (Photo S. Criquet)

	<b>Lignite</b>	<b>Anthracite</b>
% carbone	50 - 60	93 - 97
% humidité	25 - 50	1 - 6
Pouvoir calorifique (kJ.kg <sup>-1</sup> )	14 630 - 18 810	32 604- 35 530
% soufre	~ 4	< 4
% azote	~ 1,5	< 1,5 <

Source : CEE / ONU - BGR

## ❖ Le Bassin Minier de Provence (BMP)

- ❖ Un territoire marqué historiquement par :
  - ❖ l'activité minière d'extraction du **lignite**;
  - ❖ l'accumulation de **déchets miniers** (stériles) sous formes de terrils;
  - ❖ une **pédogenèse** active sur les terrils;
  - ❖ l'**enrichissement** des sols en **lignite**.



Terrils des Molxs (Photo Thierry Rostang)



Solum – Puits Armand

## ❖ Problématique

- ❖ Impact du lignite sur les propriétés pédobiologiques:

↳ connaissances incomplètes

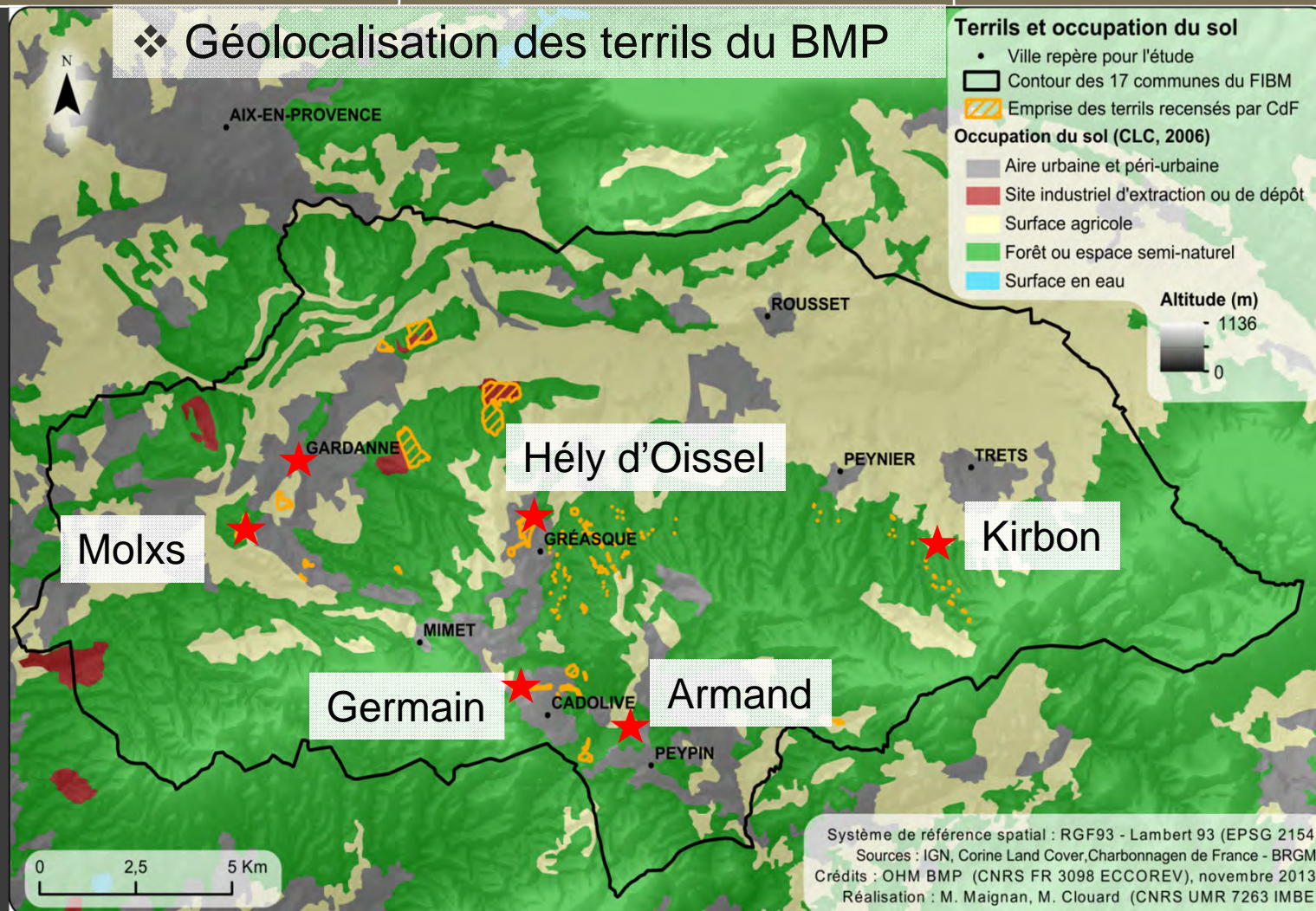
## ❖ Objectifs

- ❖ Définir des indicateurs d'abondance du lignite
- ❖ Spatialiser la distribution du lignite et son impact sur l'activité microbienne d'horizons A
- ↳ cas du terril Armand
- ❖ Etudier plus finement l'effet du lignite sur les fonctions microbiennes et la croissance végétale

↳ mésocosmes







❖ Augmentation des volumes des terrils d'Est en Ouest:

- ❖ Pendage / Profondeur des veines
- ❖ Mécanisation des techniques d'extraction

Contexte

Sites d'étude

Matériels et méthodes

Résultats

Conclusions

Perspectives

## ❖ Qualité de la MO :

- ↪ SS  $^{13}\text{C}$  CPMAS NMR après traitement HF
- ↪ SPIR + régressions PLS
- ↪  $\Delta$   $^{14}\text{C}$  : C-lignite vs C-récent

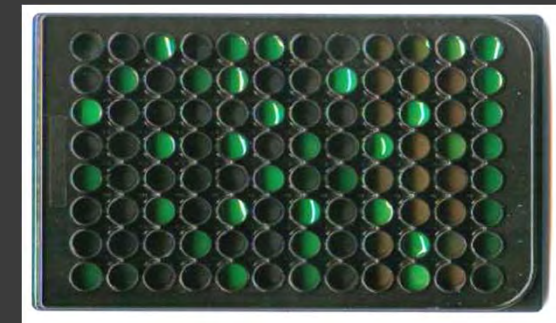
## ❖ Fonctions microbiennes

### ↪ Enzymes de recyclage CNPS

- $\beta$ -glu:  $\beta$ -glucosidase (C)
- ArylS: Arylsulfatase (S)
- PhoA: Phosphatase acide (P)
- ArylN: Arylamidase (C, N)
- FDL: Lipase (C)
- FDA: Estérase (C)

### ↪ Respiration basale

- CPG

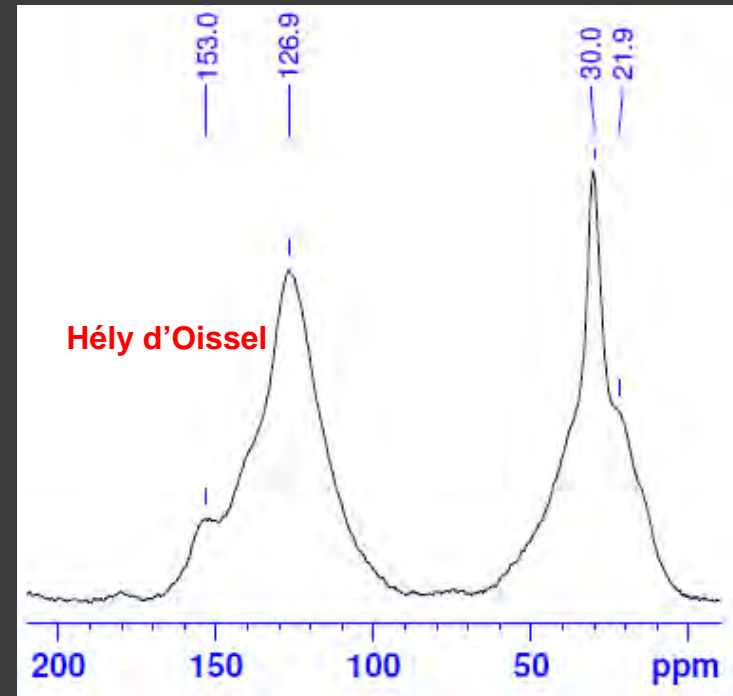
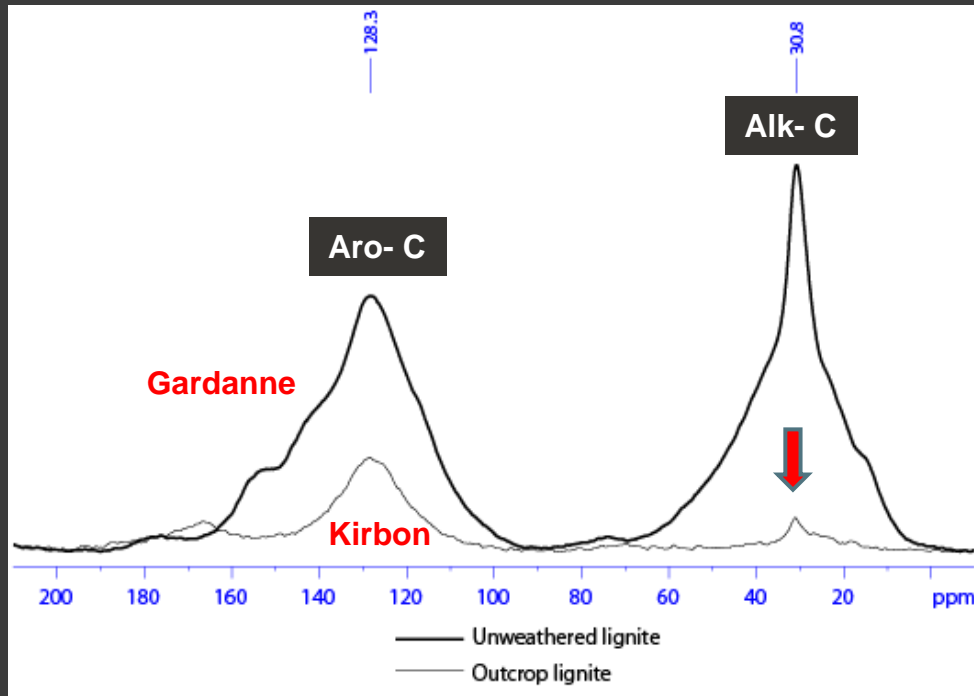


(Photos S. Criquet)



Contexte	Sites d'étude	Matériels et méthodes
Résultats	Conclusions	Perspectives

## ❖ Signatures spectrales du lignite



### ❖ 2 pics principaux:

↪ Aromatic C (128 ppm)

↪ Alkyl C (31 ppm)

↪ Lignites des mines sont identiques

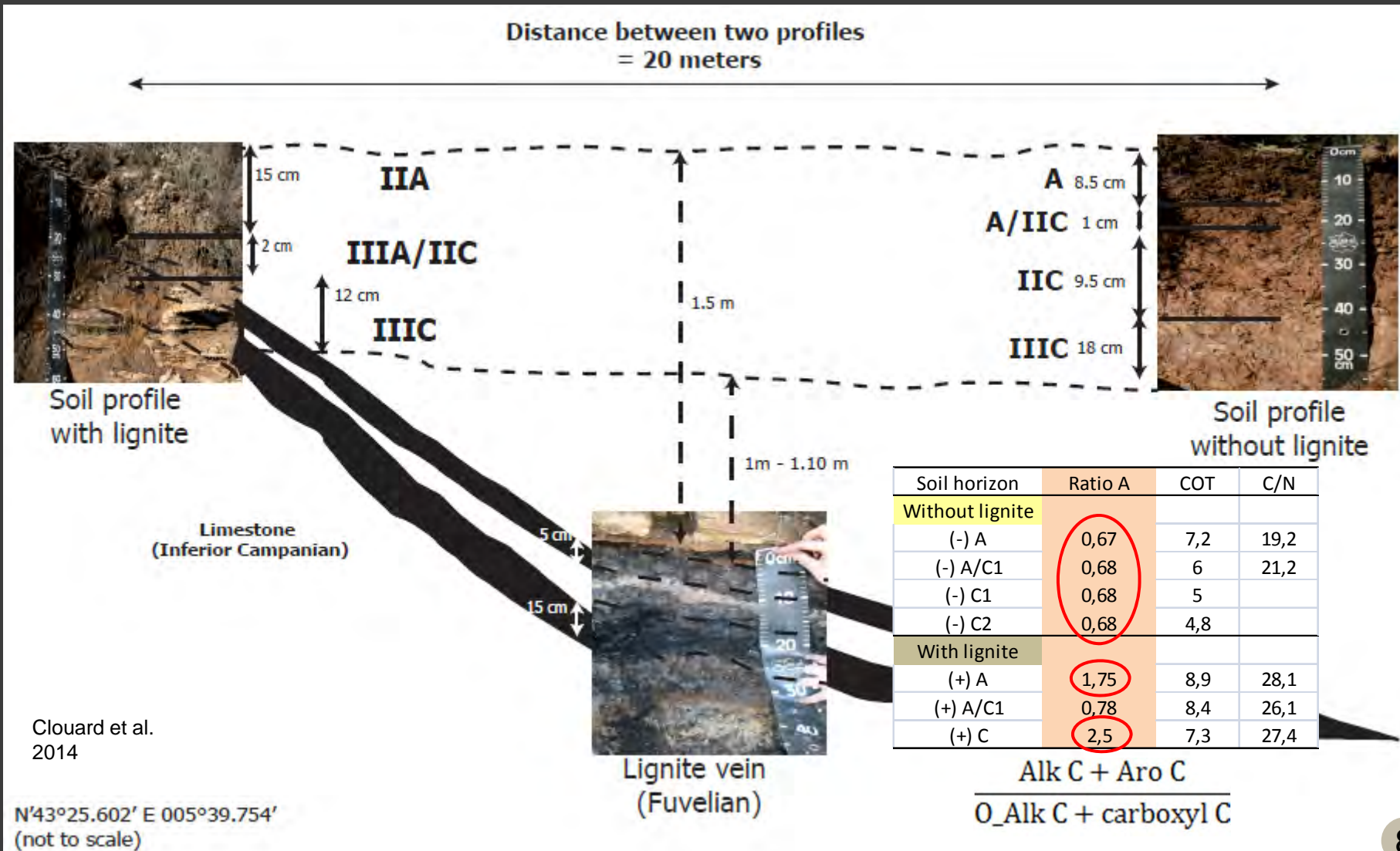
### ❖ Lignite de l'affleurement (Kirbon)

↪ Altération importante du pool des alkyl C



Contexte	Sites d'étude	Matériels et méthodes
Résultats	Conclusions	Perspectives

## Signatures spectrales des sols – Affleurement de lignite de Kirbon





Contexte

Sites d'étude

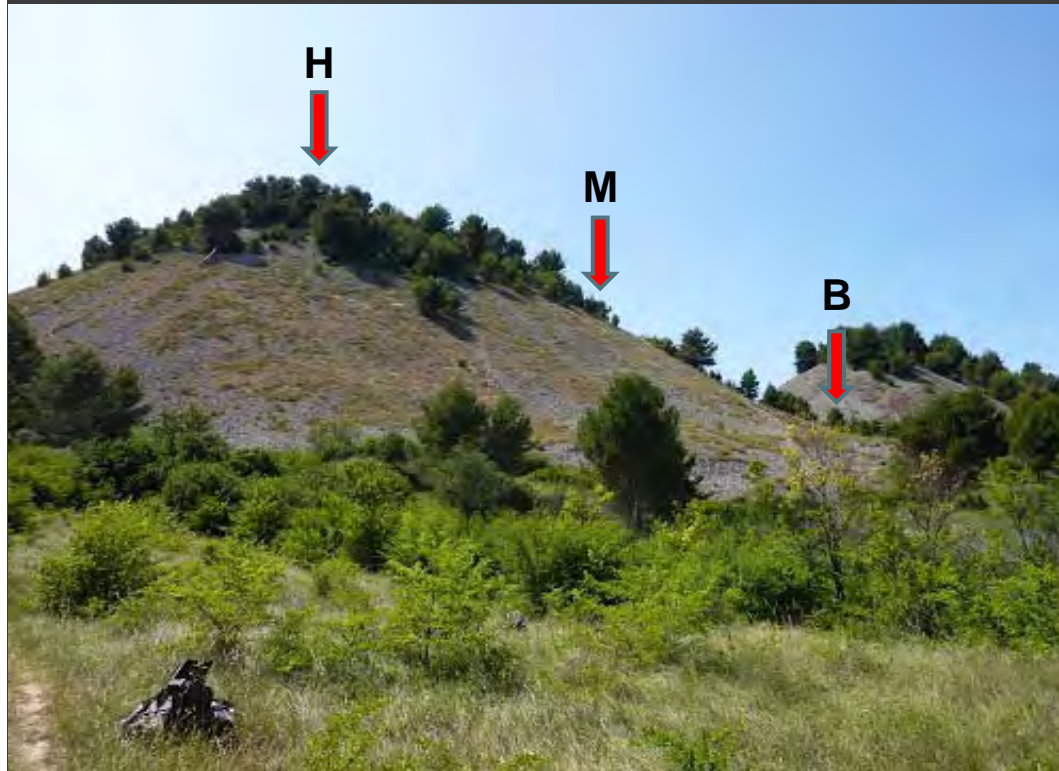
Matériels et méthodes

Résultats

Conclusions

Perspectives

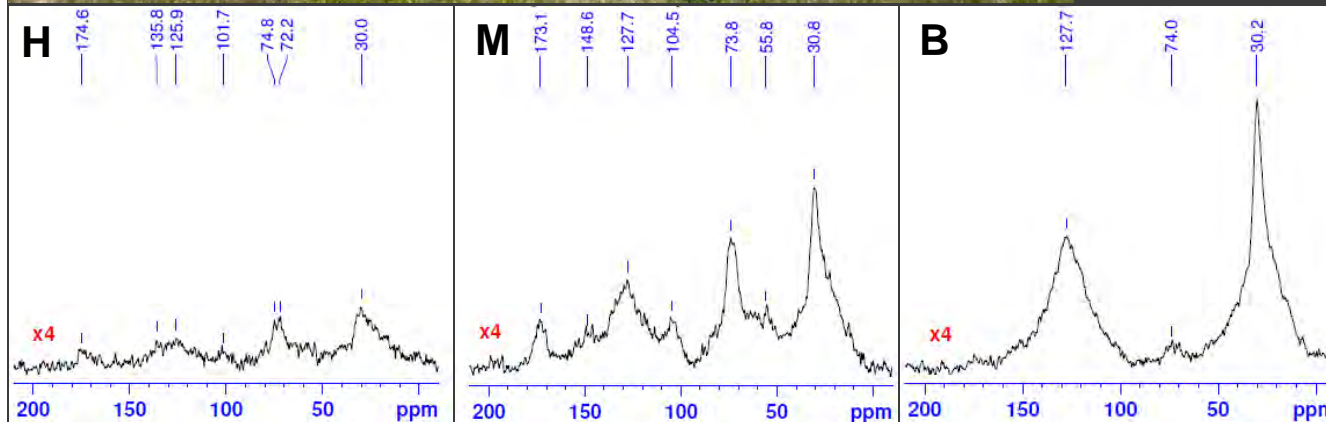
## Signatures spectrales des sols - Les Molx (Collevieille)



Sample	C & N ( <i>post</i> HF)		
	% N	% C	C/N
H	0,08	1,97	24,6
M	0,21	5,51	26,2
B	0,26	10,5	40,38

A mesure que l'on dévale la pente....

- ❖ ↑ % C
- ❖ ↑ % en Alkyl-C et en Aromatic-C
- ❖ ↑ récalcitrance du C
  
- ❖ ↑ signature spectrale du lignite



Gradient de signature en lignite:

- Substrat plus léger ?
- Substrat plus lessivable ?
- Stériles plus appauvries en lignite au sommet ?
- Meilleures techniques d'extraction ?

Contexte

Sites d'étude

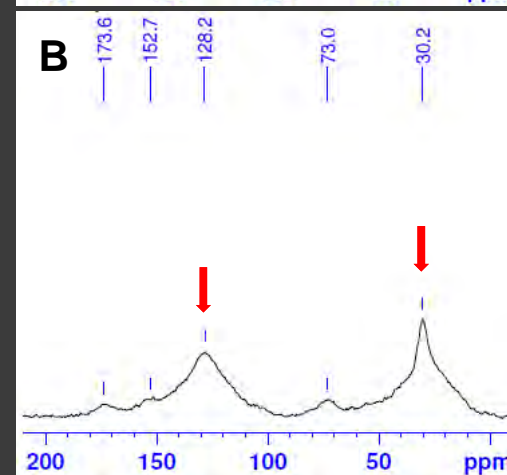
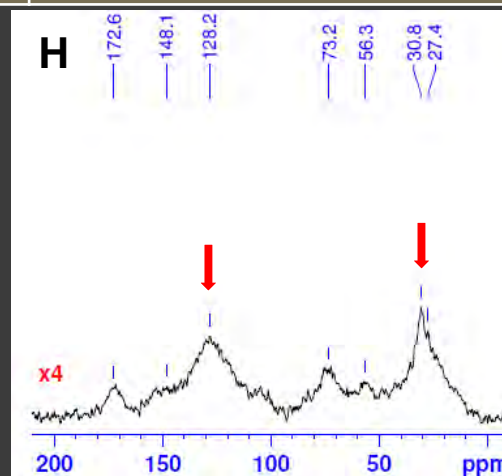
Matériels et méthodes

Résultats

Conclusions

Perspectives

## Signatures spectrales des sols - Terril Germain



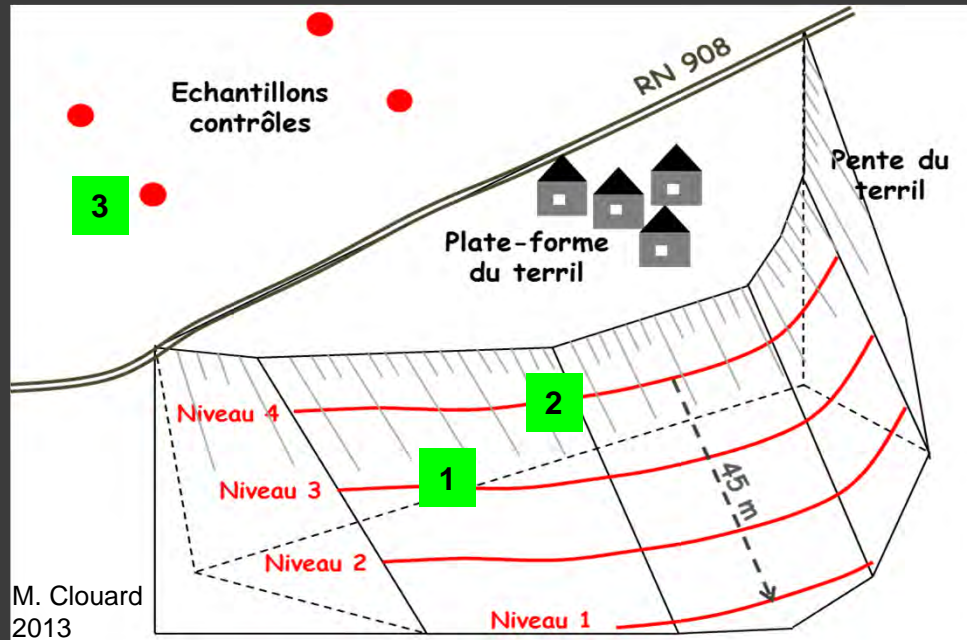
❖ Signatures spectrales (30 et 128 ppm) caractéristiques d'un enrichissement en lignite, **similaires aux Molxs**.

❖ ↑ % en C, Alk-C et Aro-C au pied du terril

Sample	C & N (post HF)		
	% N	% C	C/N
H	<b>0,38</b>	<b>11,6</b>	<b>31</b>
B	<b>0,41</b>	<b>18,2</b>	<b>44</b>

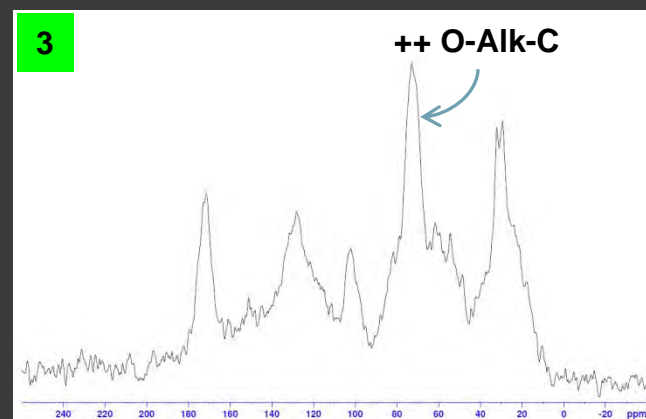
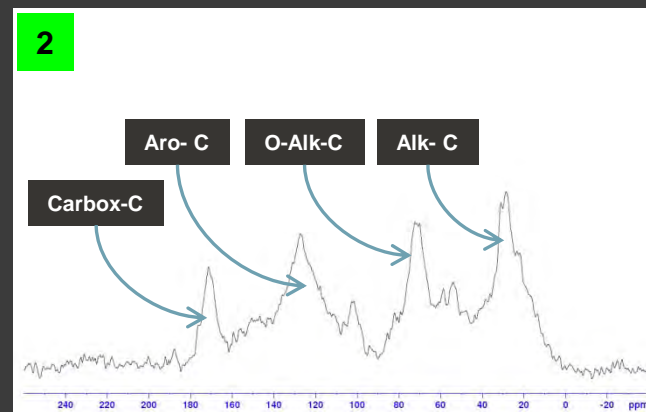
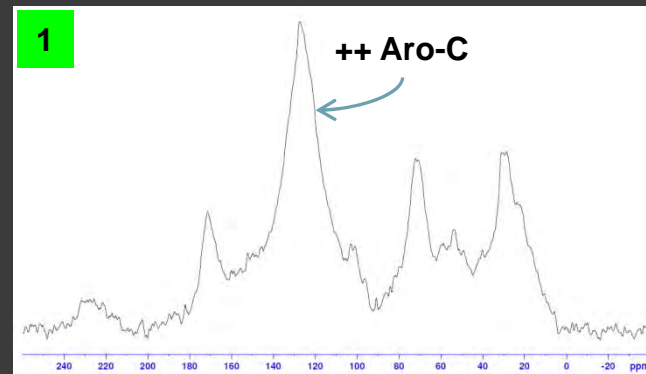


## Terril Armand: Spatialisation de la qualité de la MOS



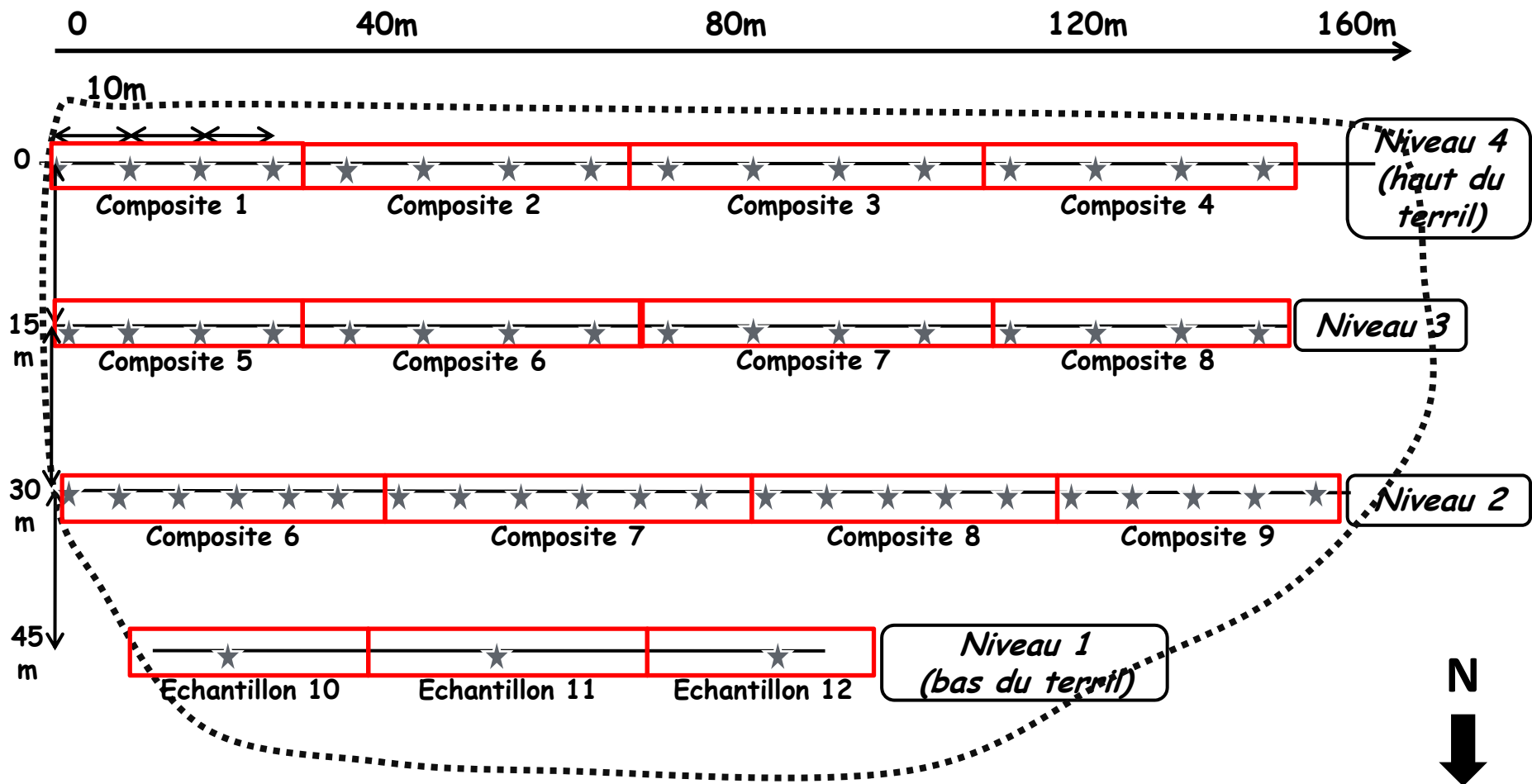
Sur la pente du terril:

- ❖ Forte **hétérogénéité spatiale** de la qualité de la MOS
- ❖ Certains échantillons sont enrichis en **Aro-C** (lignite)
- ❖ D'autres non...



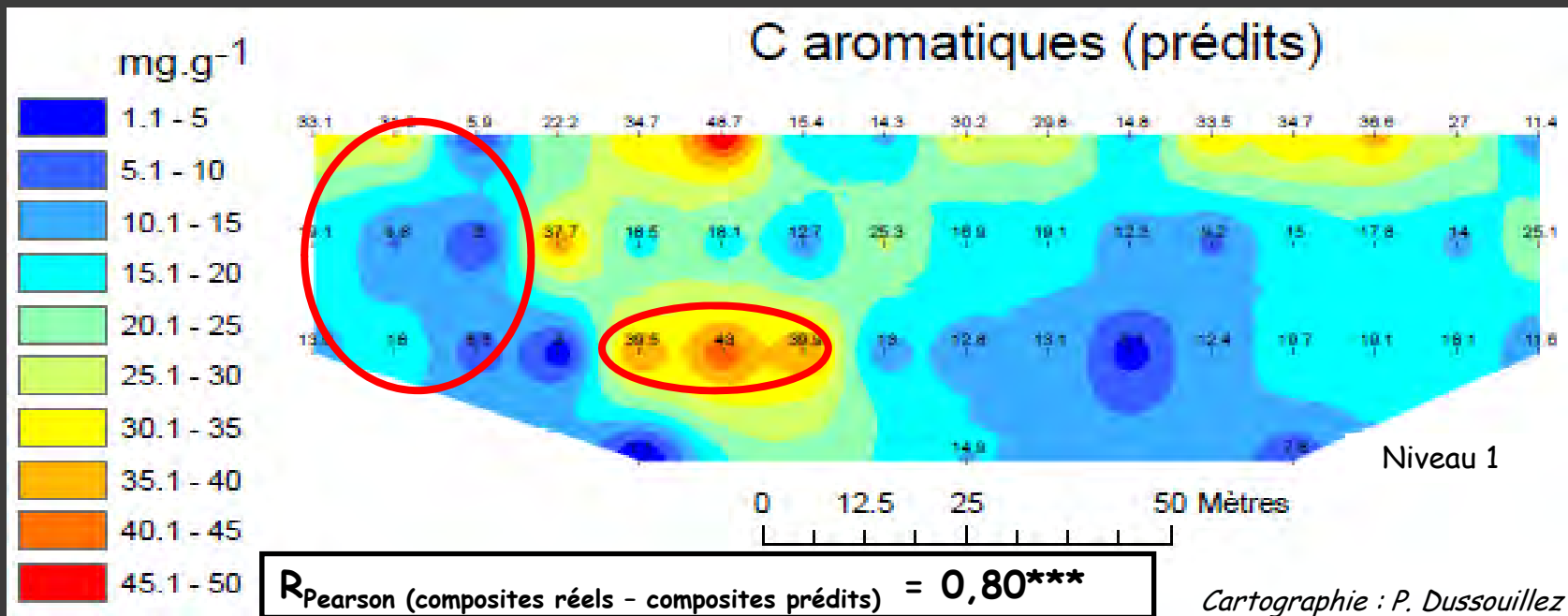


## 2. Spatialisation - Echantillonnage du terril Armand



M. Clouard  
2013

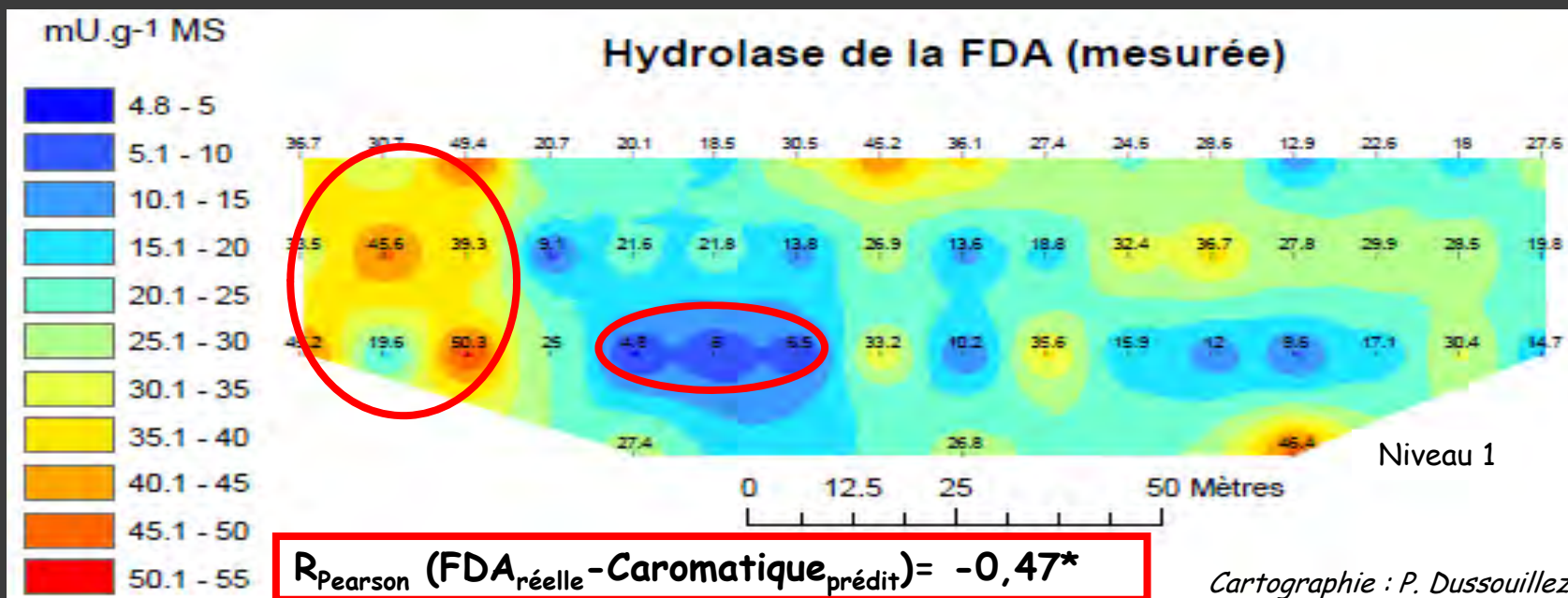
- ❖ Echantillons composites (19): analyses RMN; SPIR; modèles PLS
- ❖ Echantillons individuels (57): SPIR; FDA; spatialisation



Niveau 4

Niveau 3

Niveau 2



Niveau 4

Niveau 3

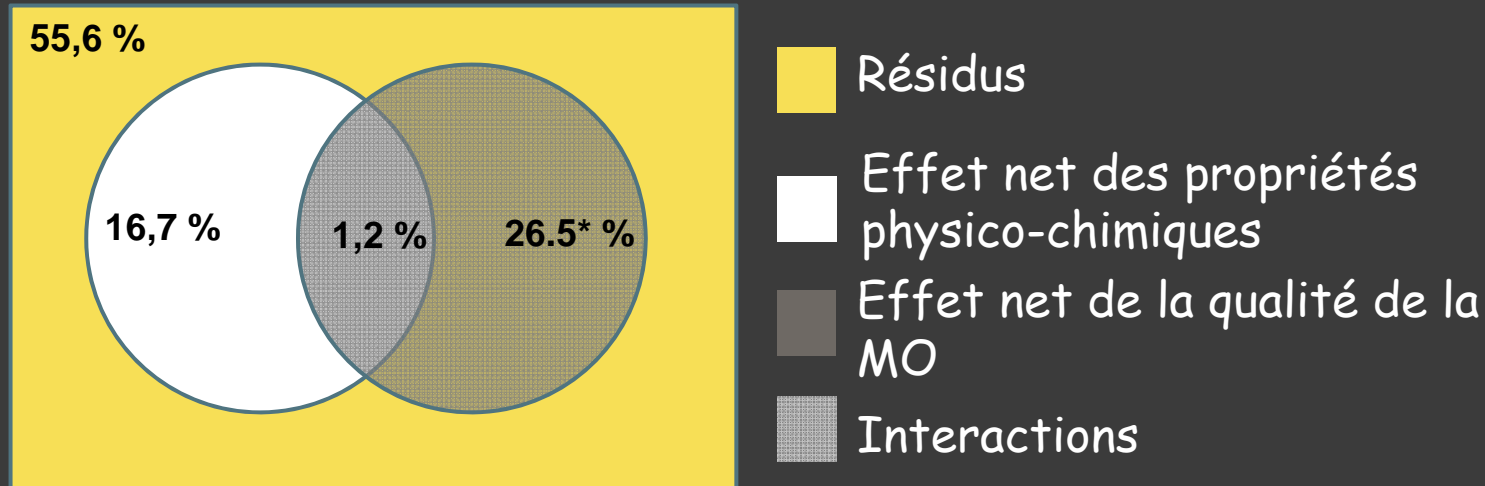
Niveau 2

⇒ Effet négatif de l'enrichissement en C-Aro sur l'activité FDA du terril

Contexte	Sites d'étude	Matériels et méthodes
Résultats	Conclusions	Perspectives

❖ Et sur les autres variables microbiennes??

### Décomposition de la variance : Diagramme de Venn



- ❖ Effet significatif et majoritaire de la qualité de la MOS
- ❖ Effet le plus souvent négatif sur l'expression des fonctions microbiennes
- ❖ Ex: RLM Arylamidase (protéase)

### $\beta$ -coefficient

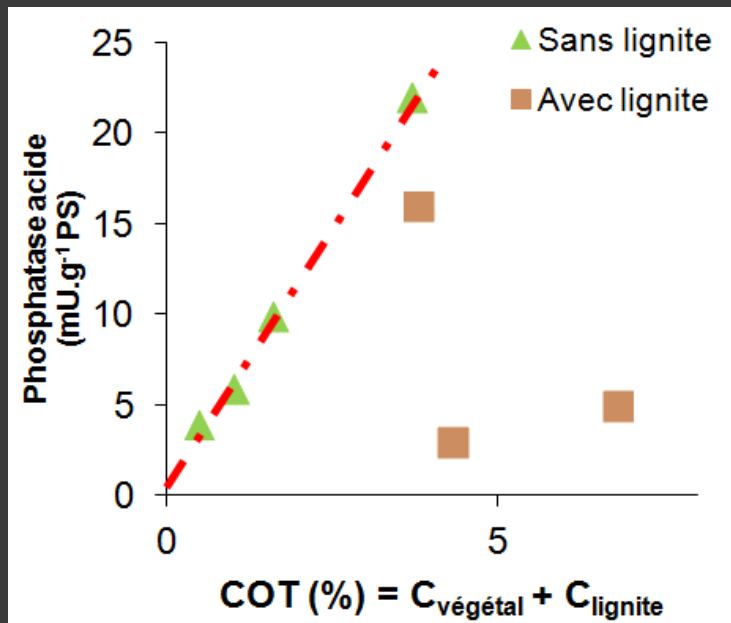
	C phénoliques	C Carboxyles	Index aromatique	R <sup>2</sup> ajusté	R <sup>2</sup> ajusté Physico-chim
Arylamidase	-1,14***	1,12**	-0,44**	0,86***	0,13 <sup>ns</sup>



Contexte	Sites d'étude	Matériels et méthodes
Résultats	Conclusions	Perspectives

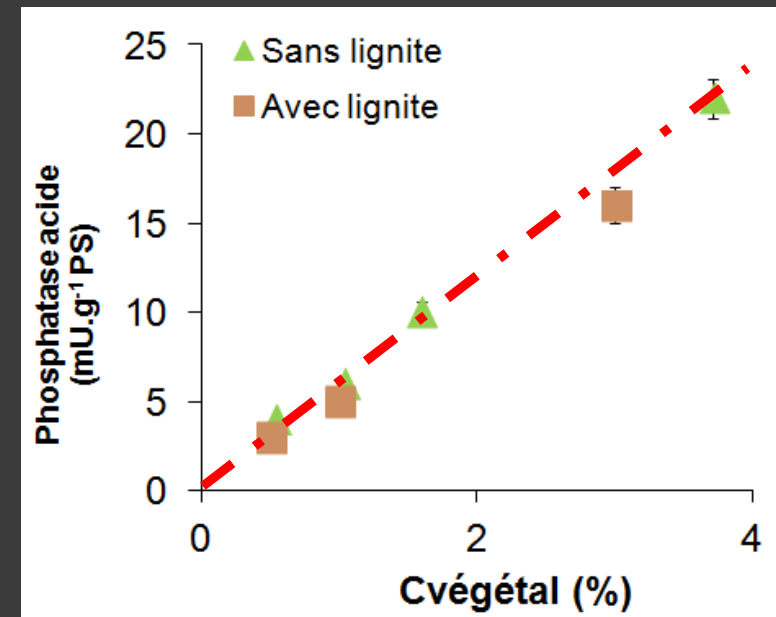
❖ Origine de l'effet négatif de la présence de lignite sur les activités microbiennes

↳ Physiologique ?



$\Delta^{14}\text{C}$   
Quantification  
du  
 $\text{C}_{\text{lignite}}$

↳ Dilution du COT par un C inerte ?



↳ Effet « masquant » du lignite sur le lien fonctionnel entre COT & activité enzymatique

↳ Lignite semble être un matériau inerte

Impact of lignite on pedogenetic processes and microbial functions in Mediterranean soils (2014)

M. Clouard <sup>a,b,c</sup>, S. Criquet <sup>b</sup>, D. Borschneck <sup>c</sup>, F. Ziarelli <sup>d</sup>, F. Marzaioli <sup>e</sup>, J. Balesdent <sup>f</sup>, C. Keller <sup>c,\*</sup>



Contexte

Sites d'étude

Matériels et méthodes

Résultats

Conclusions

Perspectives

Influence de doses croissantes en lignite sur les fonctions microbiennes et la croissance végétale:

une étude en mésocosmes



## Enrichissement des sols témoins « Armand » avec des doses croissantes en lignite

### 4 modalités:

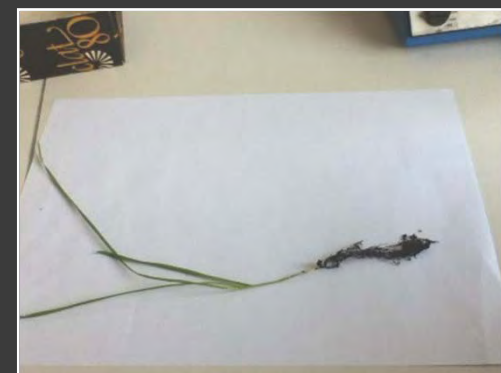
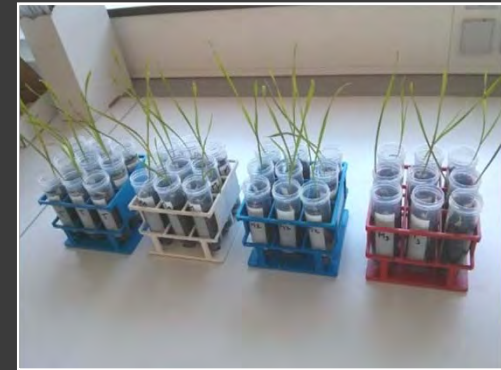
- Témoin (T) : **100g** de COT Kg<sup>-1</sup> sol
- ⇒ Apport de lignite (Hély d'Oissel)
- Modalité 1 (M1) : COT à **150 g.Kg<sup>-1</sup>** de sol
- Modalité 2 (M2) : COT à **200 g.Kg<sup>-1</sup>** de sol
- Modalité 3 (M3) : COT à **250g.Kg<sup>-1</sup>** de sol

Maturation  
1mois  
15°C

40 mésocosmes plantés avec du blé (4 modalités\*10 répétitions)

20 mésocosmes non plantés (4 modalités \* 5 répétitions).

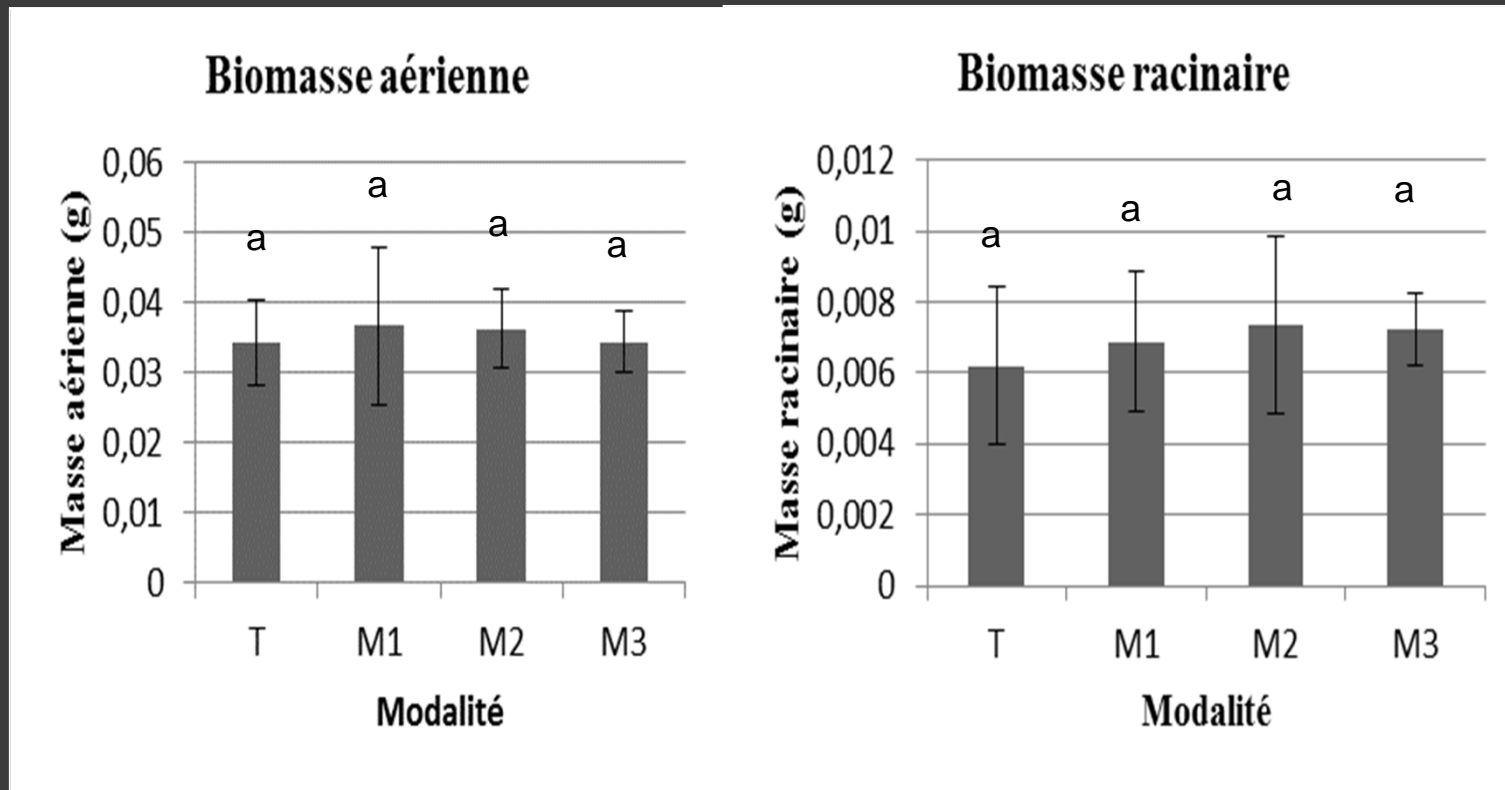
**37 j de croissance**





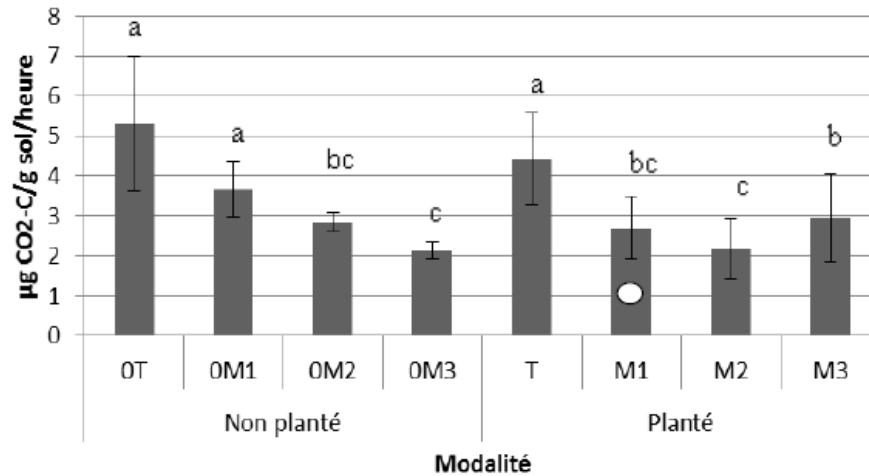
Contexte	Sites d'étude	Matériels et méthodes
Résultats	Conclusions	Perspectives

## Quelques résultats

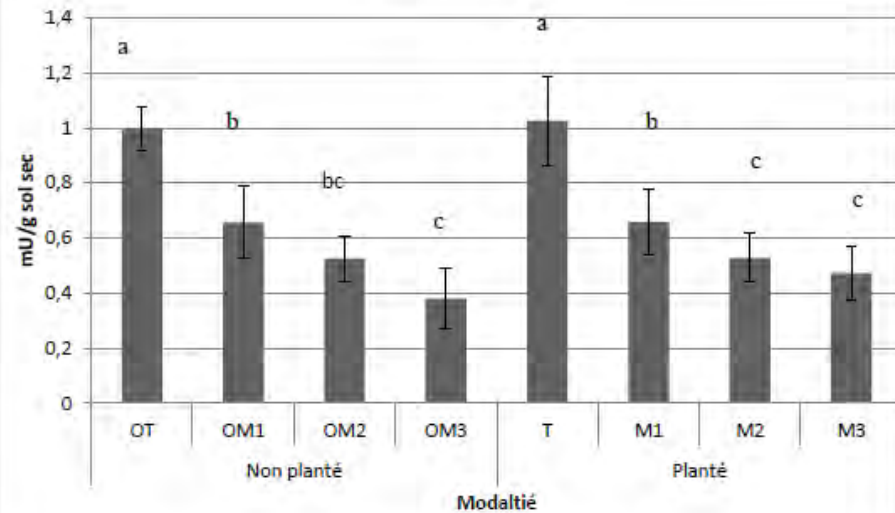


⇒ Aucun effet du lignite sur la croissance du blé

Respiration basale



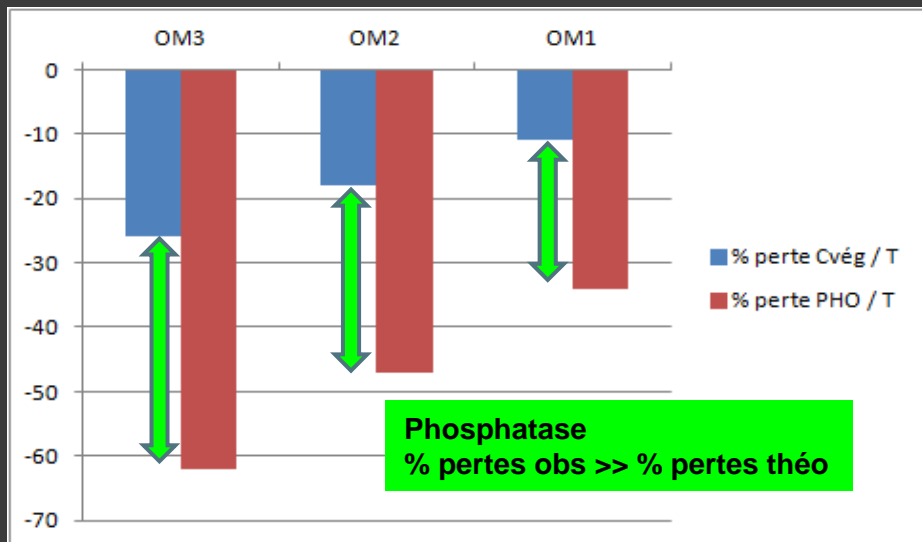
Phosphatase



- ❖ Effet négatif du lignite
- ❖ Effet négatif uniquement par dilution ?

↳ Pas si évident...

**Pas de proportionnalité entre la dilution du Cvég et les activités enzymatiques**



Contexte

Sites d'étude

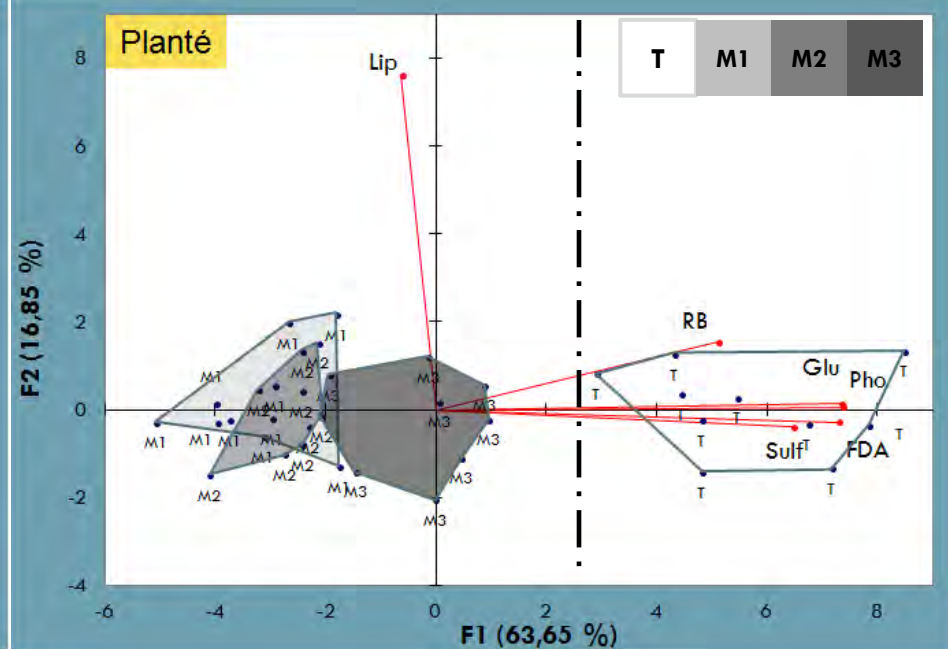
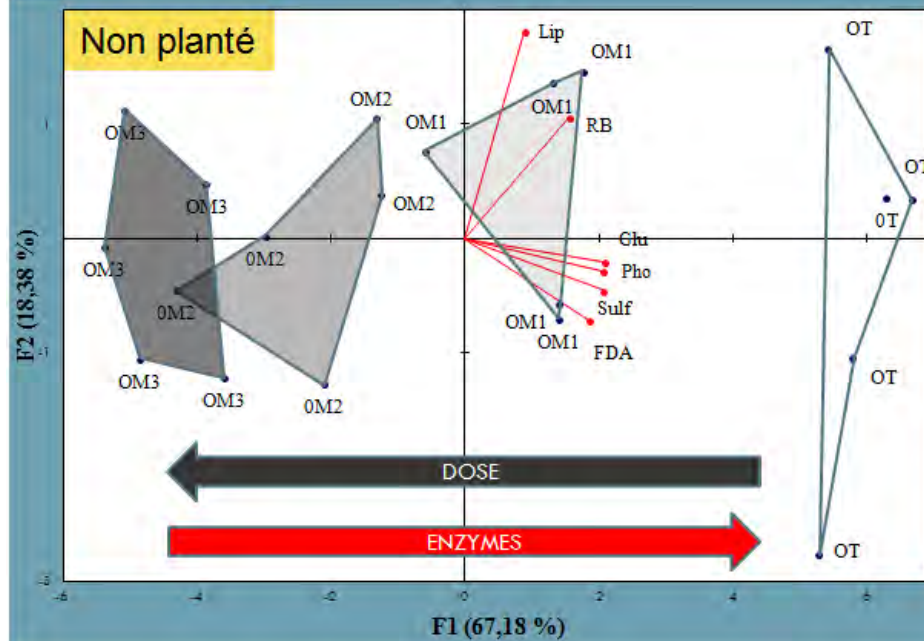
Matériels et méthodes

Résultats

Conclusions

Perspectives

## ❖ Approche multivariée



### ❖ Effet négatif du lignite:

↳ Adsorption des nutriments, des enzymes?

### ❖ Effet dose

### ❖ Effet négatif du lignite

### ❖ Pas d'effet dose

### ❖ Effet rhizosphère atténué l'effet dose ?



Contexte	Sites d'étude	Matériels et méthodes
Résultats	Conclusions	Perspectives

❖  $\Delta^{14}\text{C}$ : seule méthode permettant de quantifier exactement le lignite

⇒ Méthode très coûteuse pour une utilisation en routine

❖ RMN + SPIR : bon compromis pour spatialiser la qualité du C et l'enrichissement en Aro-C (lignite)

⇒ Nécessité de modèles plus robustes + bases données élargies

❖ Lignite: substrat inerte ou labile ?

⇒ Nécessité d'approfondir:

- ses capacités d'adsorption et d'inhibition des fonctions microbiennes
- son potentiel de dégradation par les microorganismes
- les relations fonctionnelles lignite/rhizosphère/microorganismes

↳ Espèces végétales plus représentatives des terrils

↳ Sur des temps plus longs

**MERCI DE VOTRE ATTENTION**

