



MUSÉUM
NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

UPMC
SORBONNE UNIVERSITÉS



Etude multi-échelles et multi-techniques des mécanismes de formation des racines calcifiées dans les sédiments terrestres

Rime El Khatib, Arnaud Huguet, Sylvain Bernard
(*postdoctorante*)

FR09

French Researchers in
Organic Geochemistry

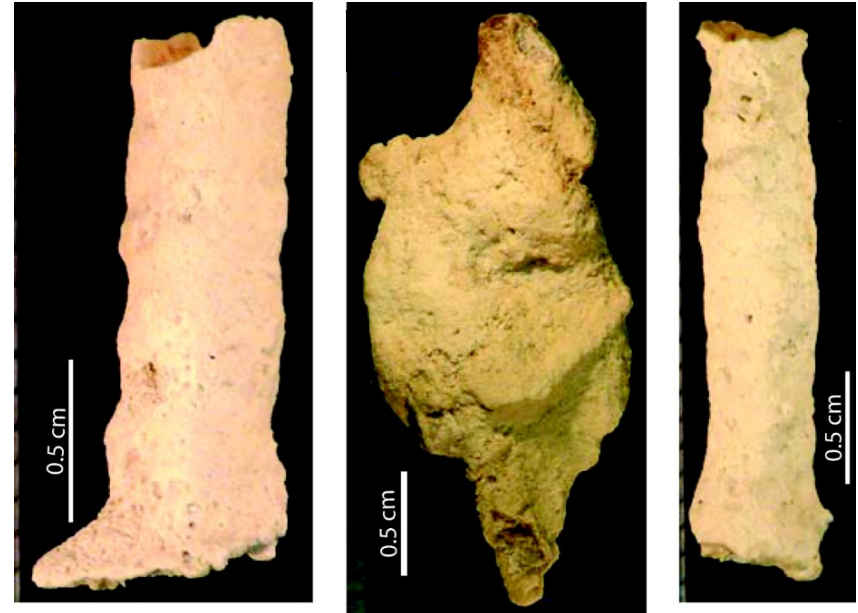


Réunion des Chercheurs Francophones en
Géochimie Organique
3-4 juillet 2014, Bourget-du-Lac.

Qu'est-ce que les racines calcifiées ?

Liutkus, 2009.

- ❑ Structures sédimentaires organo-minérales / carbonatées
- ❑ Connues depuis longtemps (Bertrand E., 1763)
- ❑ Forme tubulaire, $d = 1 \text{ mm}$ à quelques cm et $L =$ jusqu'à 9 m (Bromeley et al., 1975)
- ❑ Nomenclature : Pédotubule, Fossile tubulaire, Racines pétrifiées, **Rhizolithe**
- ❑ Abondantes dans les sédiments terrestres (argileux/sableux)
- ❑ Peuvent être plus jeunes que le sédiment : pénétration post-sédimentaire



Pourquoi s'intéresser aux rhizolithes ?

Sédiments
terrestres



Reconstructions paléoenvironnementales



Présence des rhizolithes plus jeunes que le sédiment



Nombreux biais



Possibilité de fausse reconstruction

Comment se forment les rhizolithes ?

❑ Mécanismes de formation \Rightarrow peu et/ou mal connus

❑ Encroûtement des racines \Rightarrow Interactions organo-minérales complexes au niveau des tissus des plantes

Manque d'informations sur la précipitation des carbonates

- Avant ou après la mort des plantes ?
- Avant ou après la dégradation des tissus ?
- Biominéralisation au sein de la plante ou une simple sursaturation du milieu ?
- Implication ou non de la biomasse ?
- Influence de la profondeur ?

Objectif du projet

Compréhension des mécanismes de formation des rhizolithes

Comment ?

Analyses morphologiques et structurales des rhizolithes

Quels moyens ?

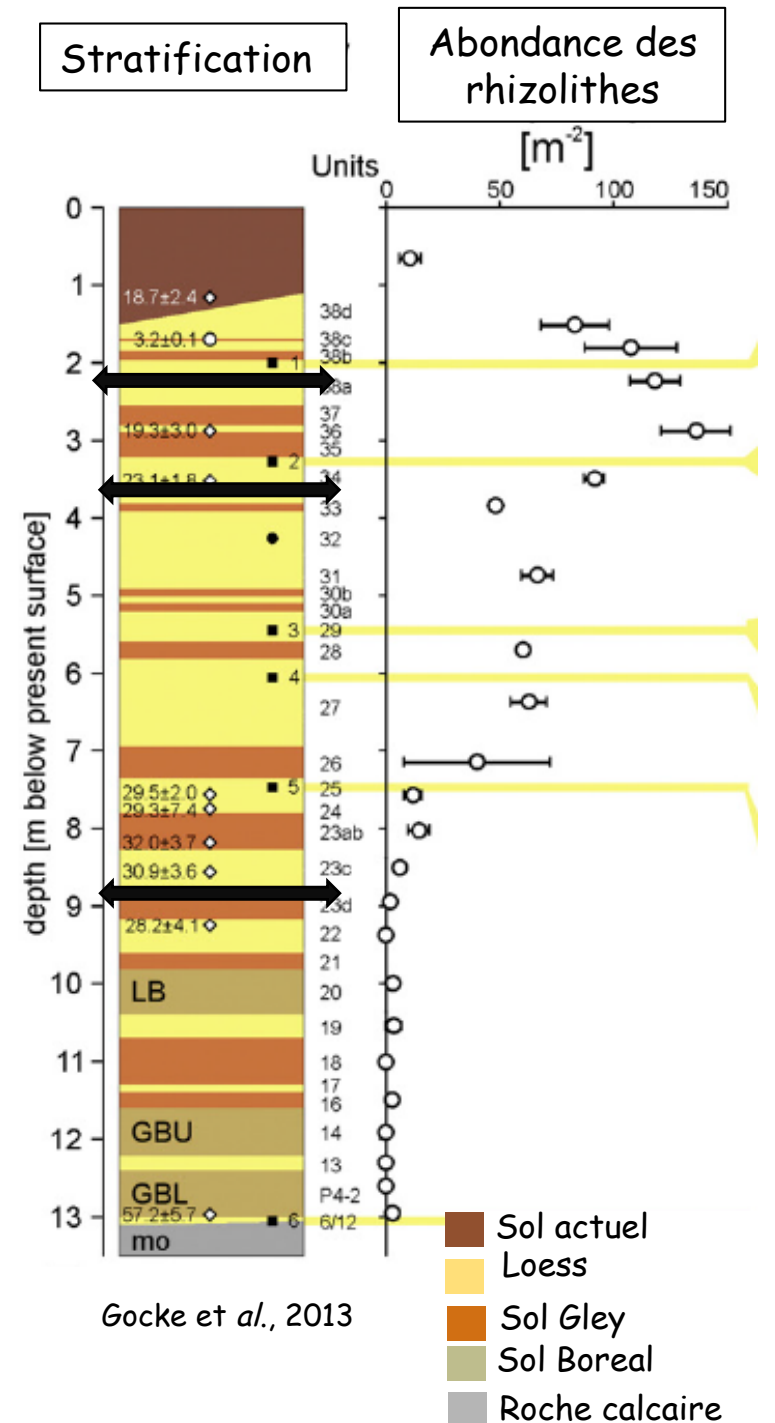
Outils de la géochimie
organique

+

Outils de microscopie et de
spectroscopie

Echantillonnage

Séquence de loess-paléosol
à Nussloch / Allemagne
(collaboration avec l'Université de Bayreuth)



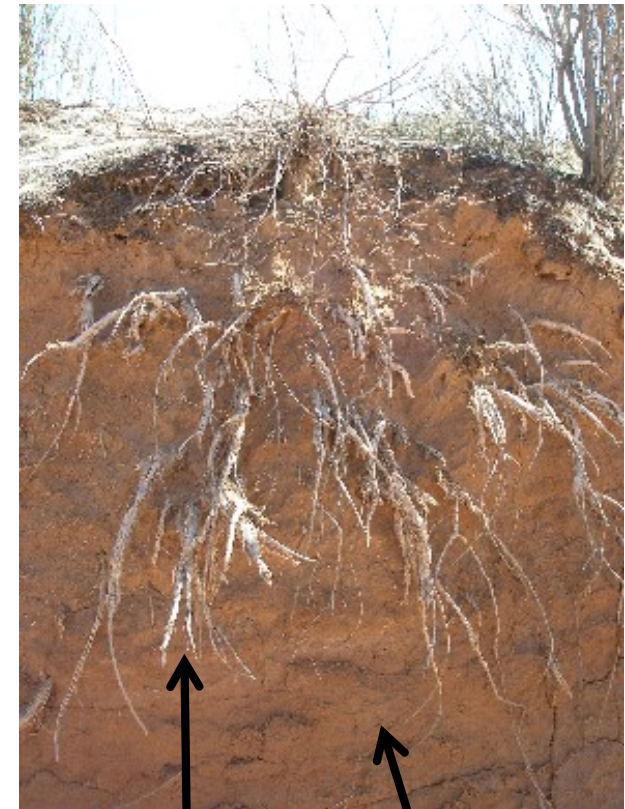
Collection de racines fraîches sur le site

Echantillon



Rhizolithe
=
Racine calcifiée

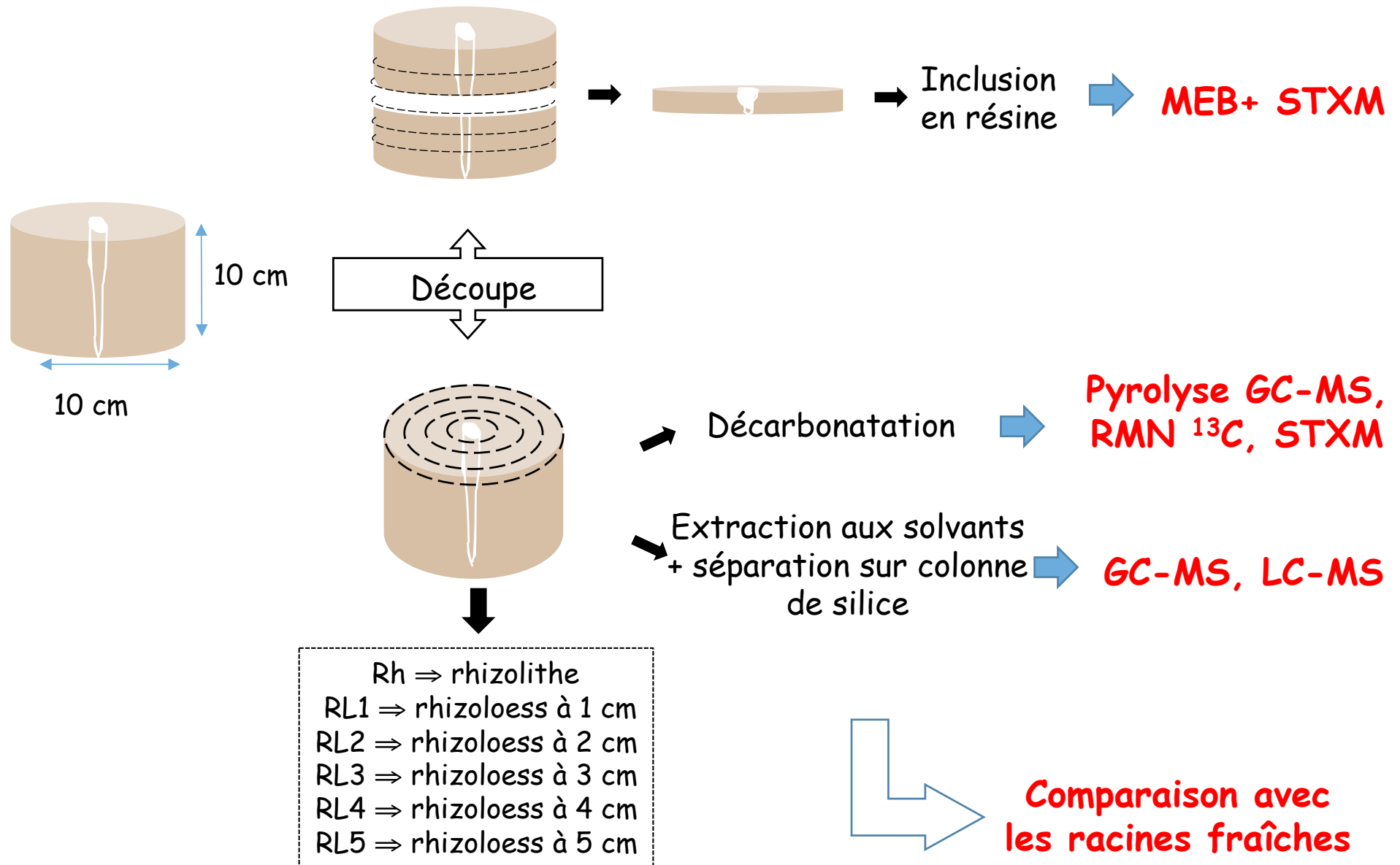
Rhizoloess
=
Ancienne rhizosphère



Racine

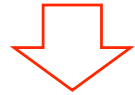
Rhizosphère

Préparation des échantillons et analyses

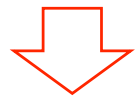


La microscopie électronique à balayage (MEB)

Faisceau d'électrons



Interaction avec l'échantillon



Production des e^- secondaires
amplifiés et convertis en signal
électrique



Collecte des signaux électrique

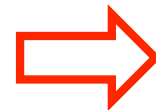


Image de l'échantillon à l'échelle
nanométrique (x150000)

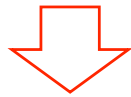


Analyses chimiques \Rightarrow **couplage avec EDXS**

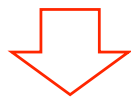
Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy

STXM - Scanning Transmission X-Ray Microscopy

Technique de microscopie X par balayage



Balayage de l'échantillon par un faisceau X focalisé



Détection du faisceau transmis à l'aide de différents détecteurs

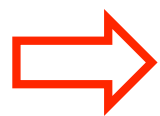
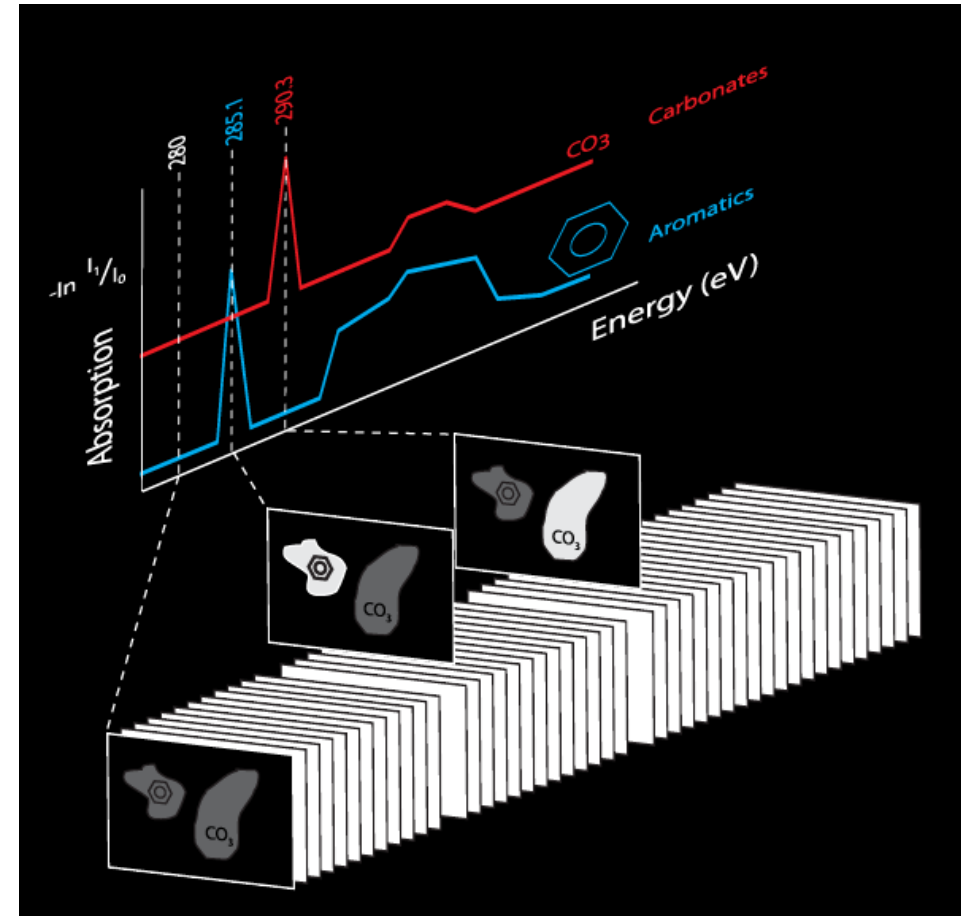


Image + composition chimique de l'échantillon à très haute résolution spatiale et spectrale

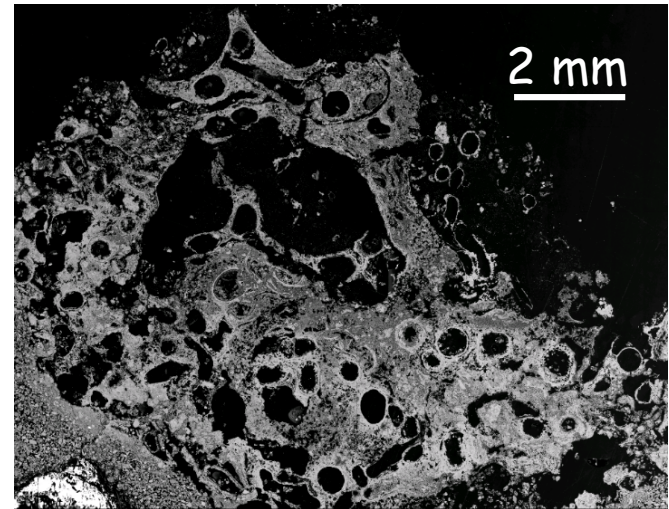


Analyses morphologiques (MEB)

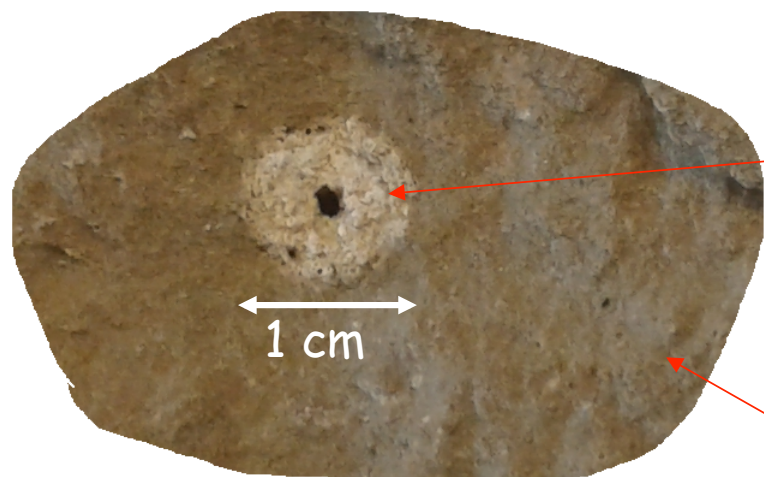
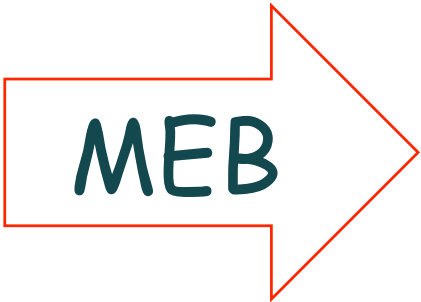
(1)



rhizolithe

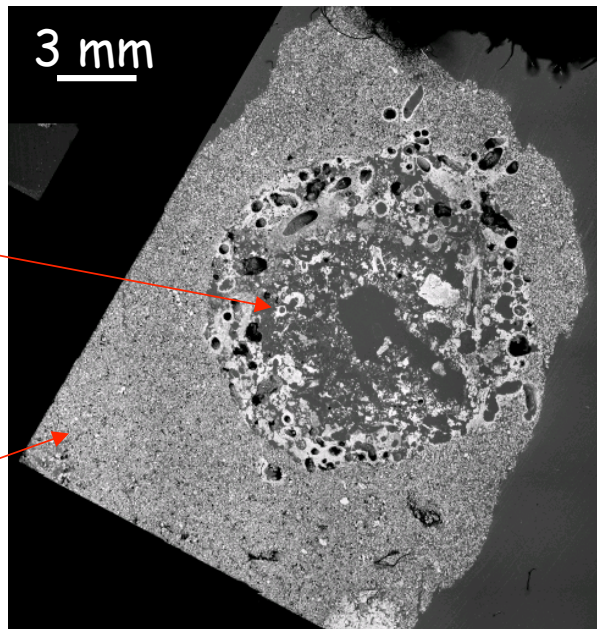


Œil nu



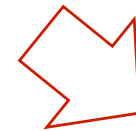
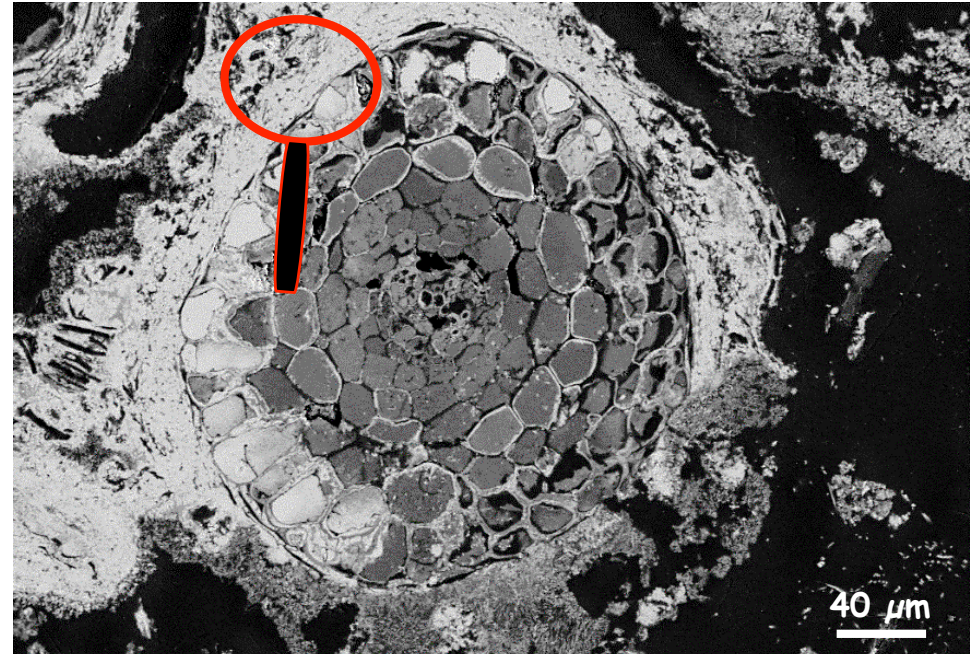
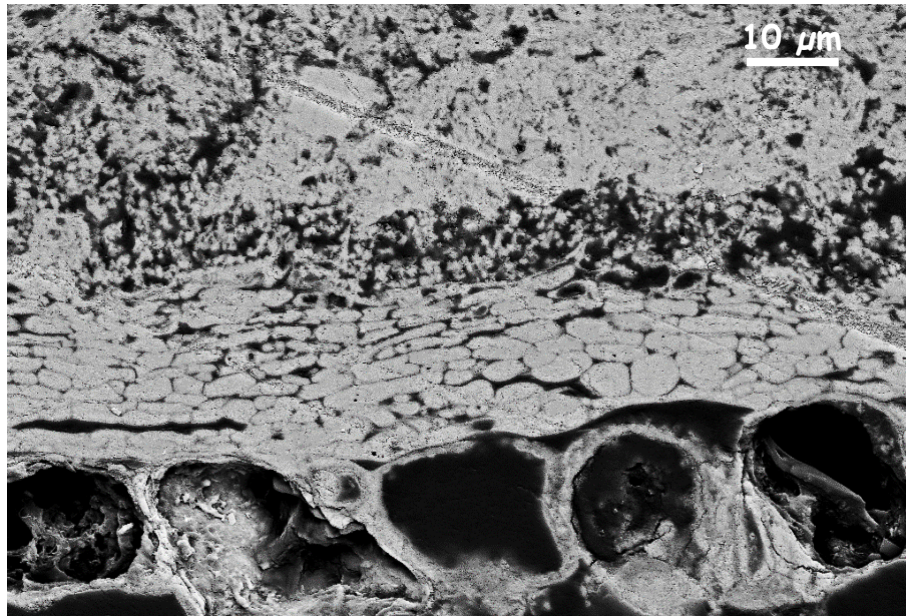
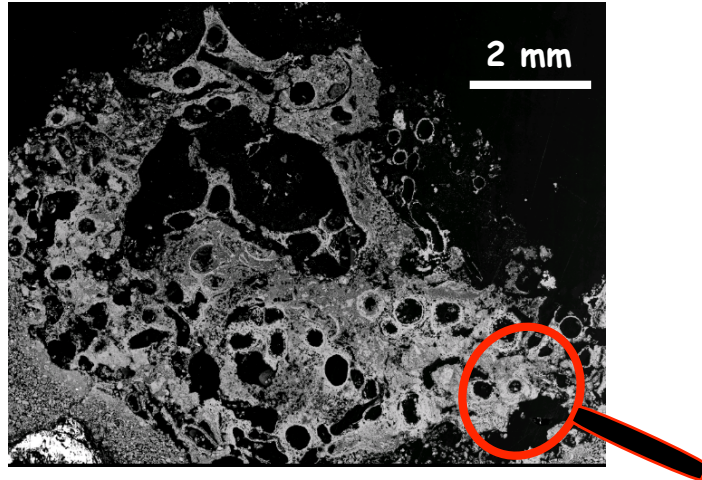
rhizolithe

rhizoloess



Analyses morphologiques (MEB)

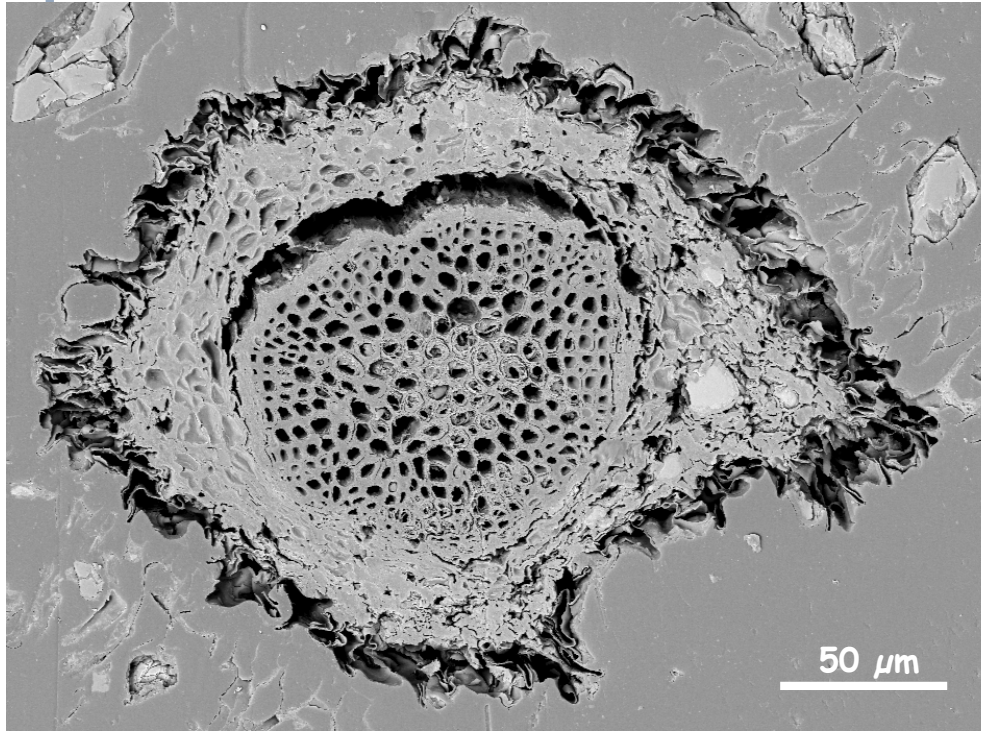
(2)



Structure tubulaire simple ✗

Microstructures cellulaires
cimentées par les carbonates ✓

Comparaison avec une racine fraîche

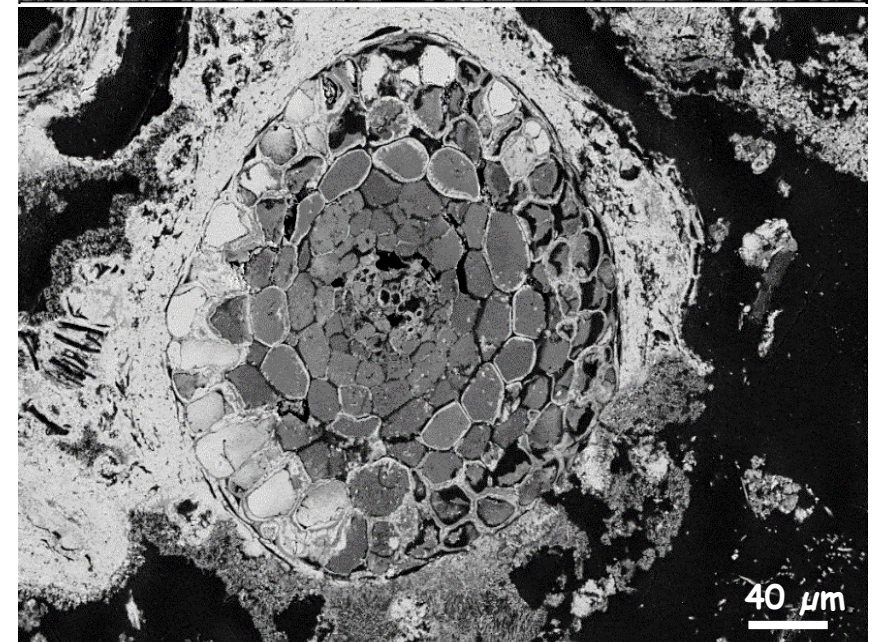
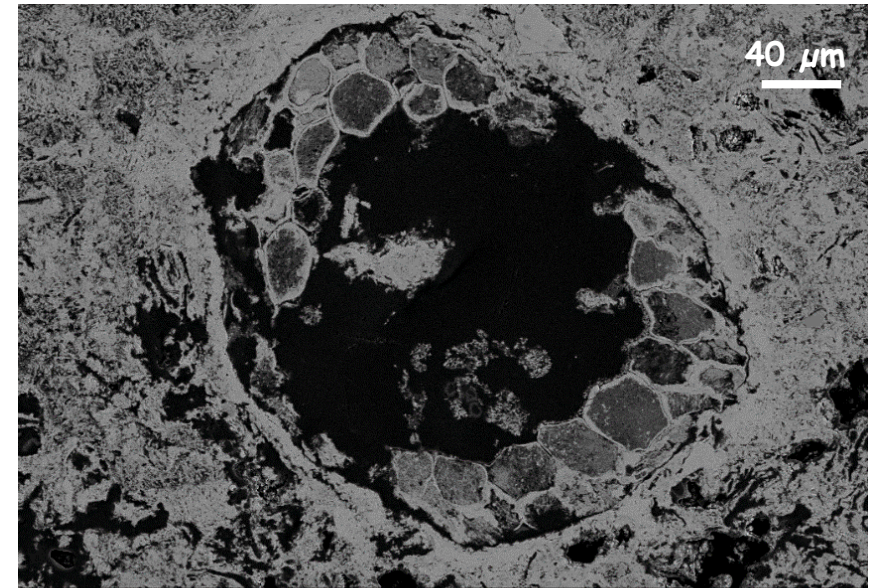


Coupe transversale d'une racine fraîche

Préservation de la structure cellulaire



Calcification avant dégradation des
tissus



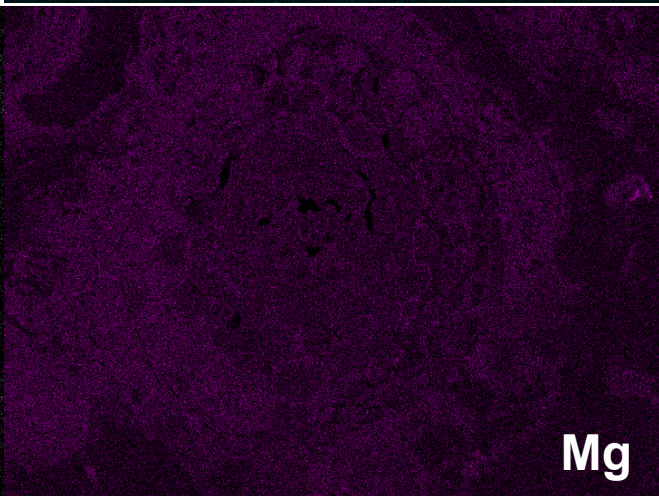
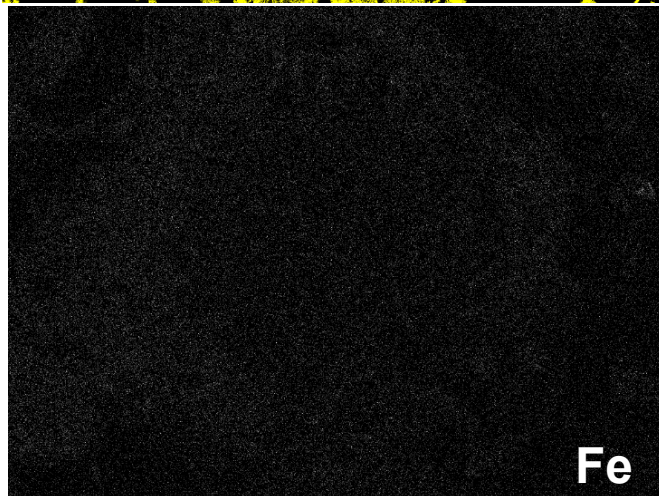
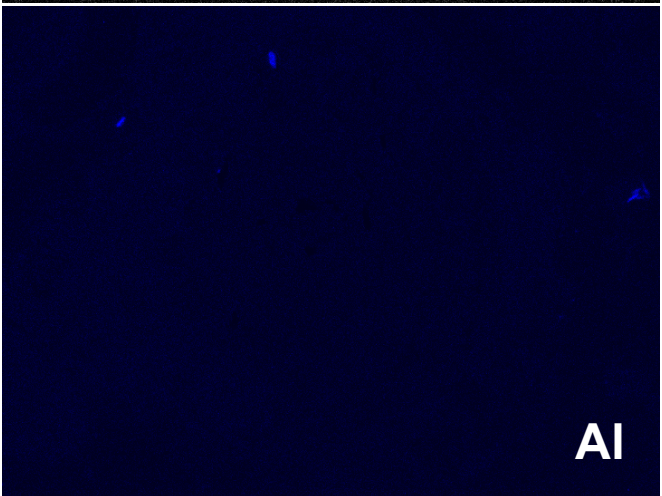
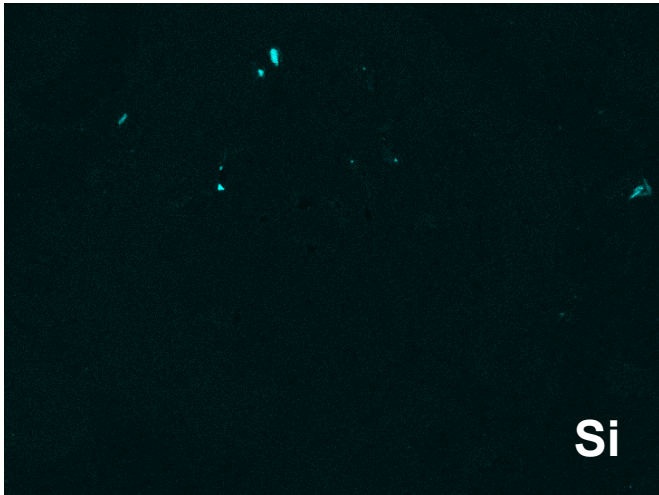
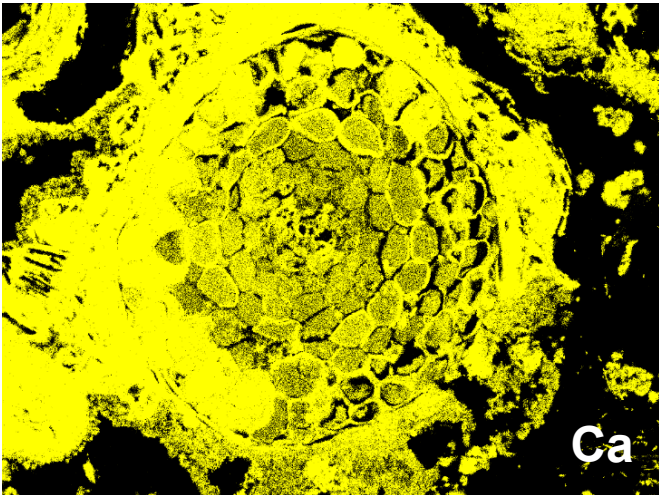
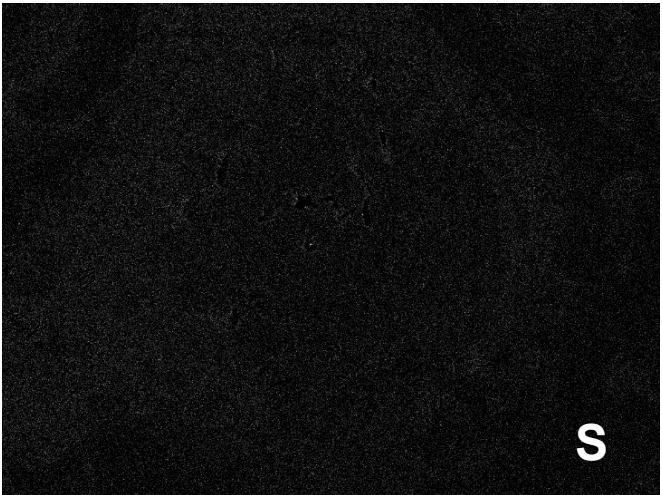
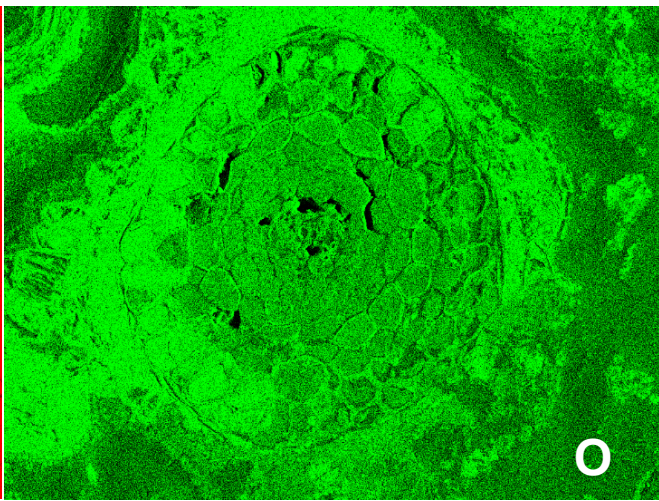
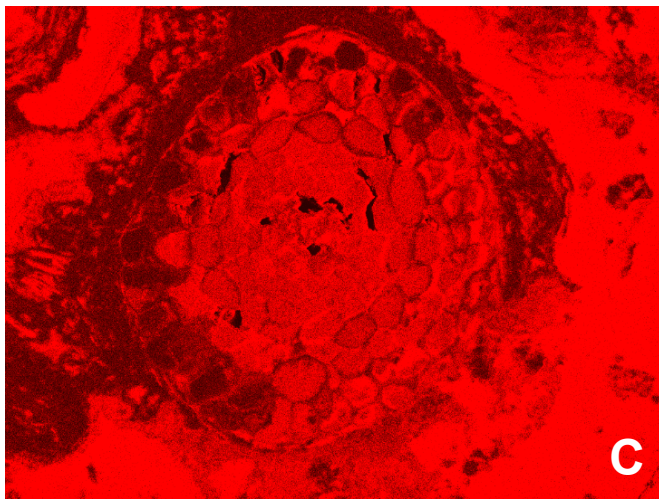
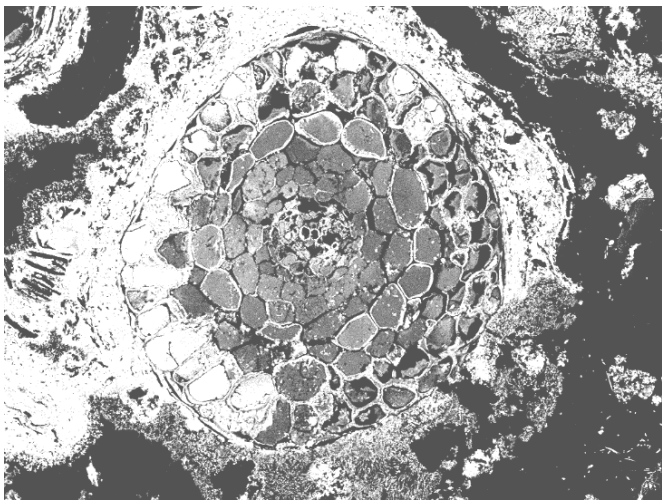
Rhizolithes



Analyses Chimiques (MEB-EDXS)

Chemical mapping 

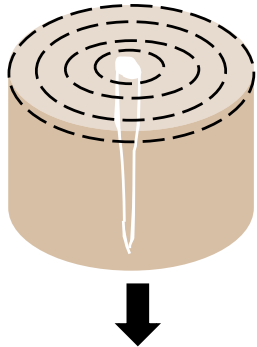
Analyse chimique dispersive qui permet d'analyser les éléments et les localiser dans l'échantillon



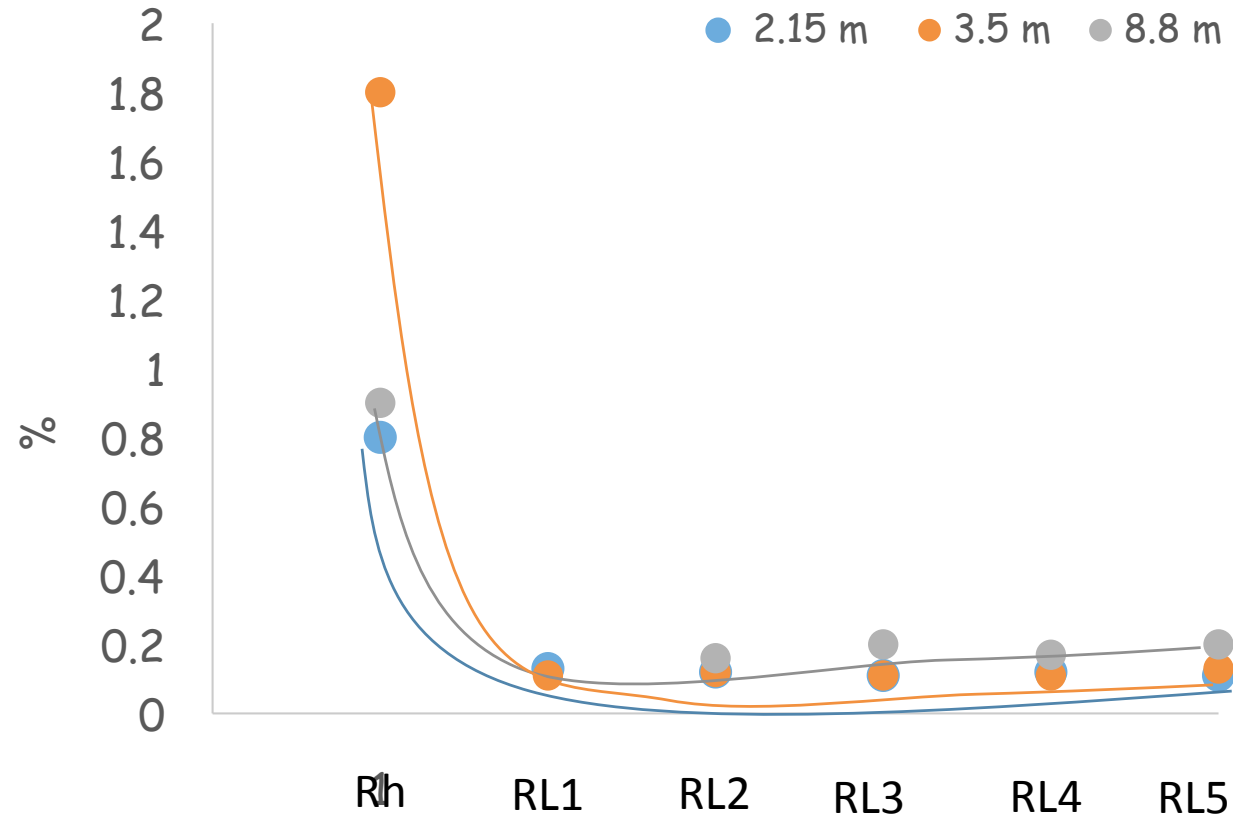


Et la matière organique ?

Carbone organique total



Rh ⇒ rhizolithe
RL1 ⇒ rhizoloess à 1 cm
RL2 ⇒ rhizoloess à 2 cm
RL3 ⇒ rhizoloess à 3 cm
RL4 ⇒ rhizoloess à 4 cm
RL5 ⇒ rhizoloess à 5 cm



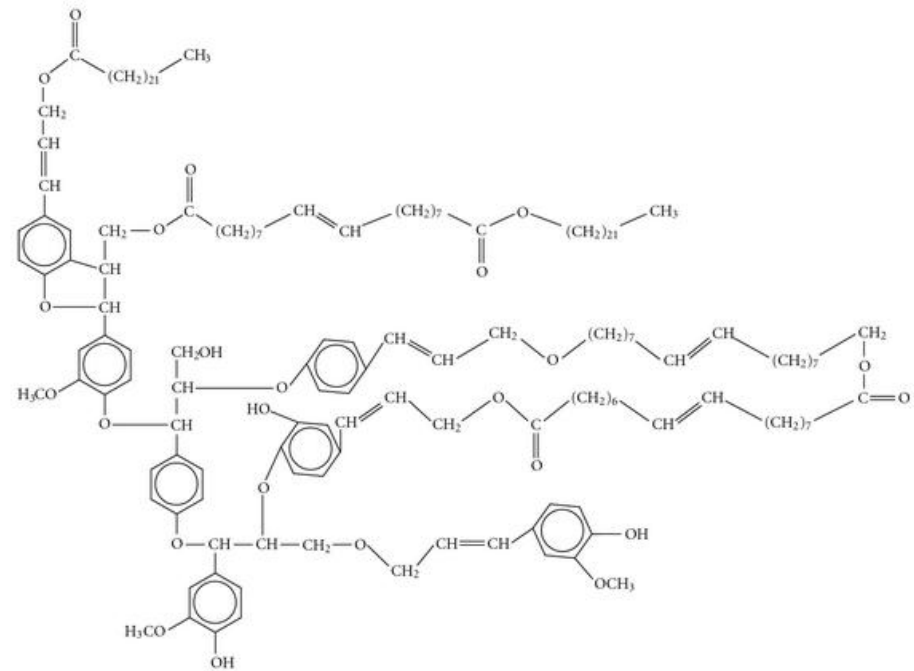
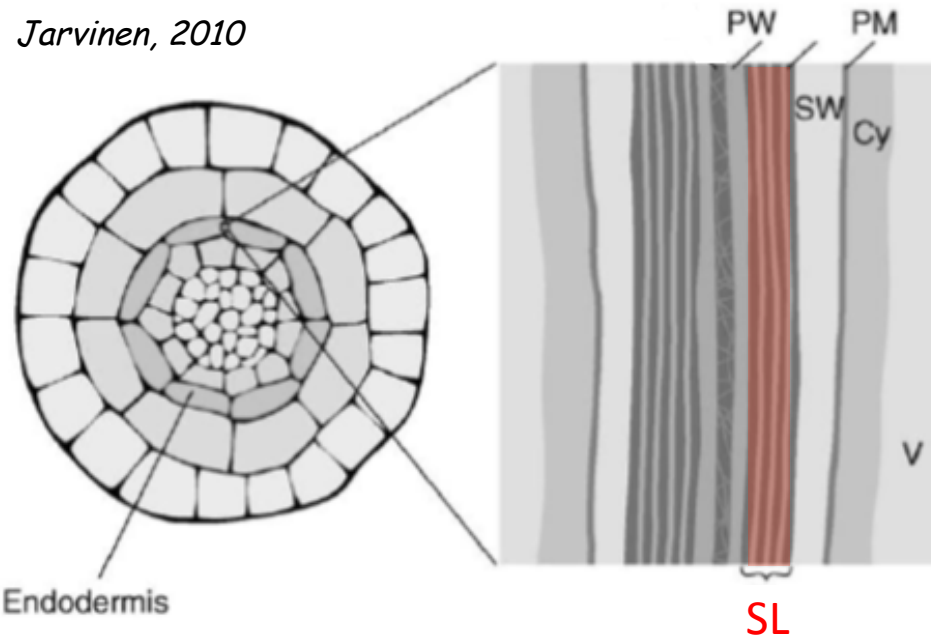
MO - Rhizolithe >> MO - Rhizoloess



Calcification préserve la MO

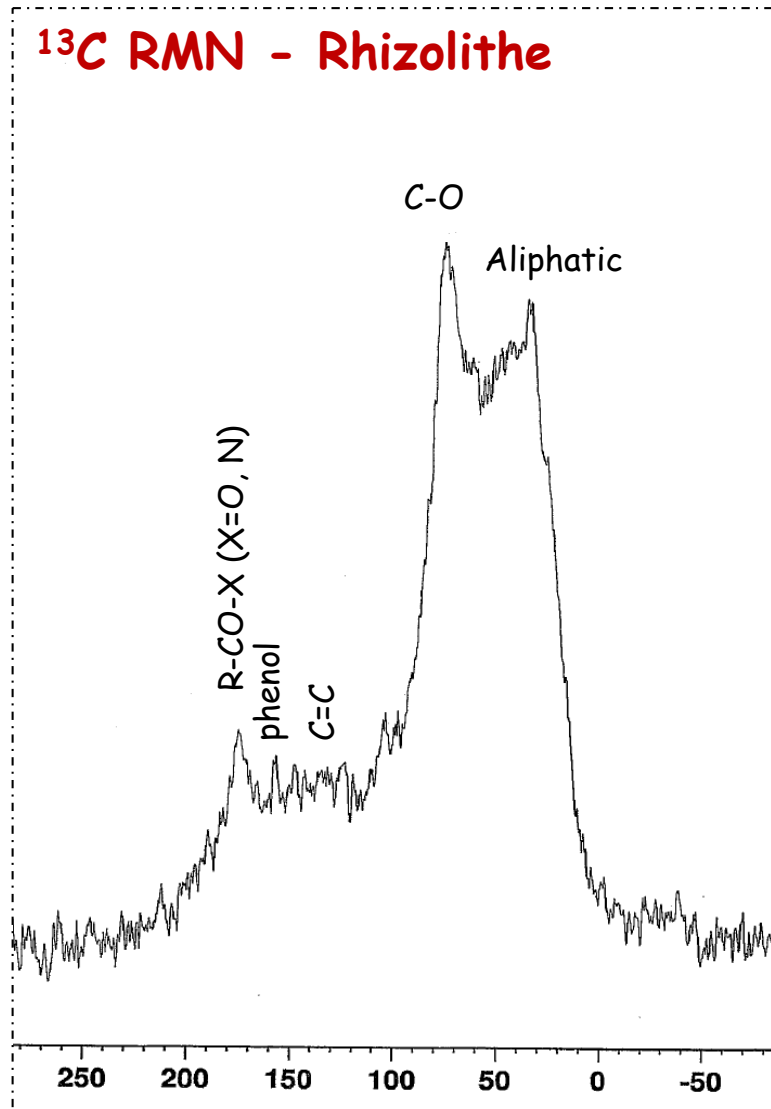
Quelle est la nature de la MO?

Subérine = Biopolyester
constituant de la paroi cellulaire des racines



PW = membrane primaire
SL = lamelle de subérine
SW = membrane secondaire
PM = plasma membranaire
Cy = cytoplasme
V = vacuole

Quelle est la nature de la MO?



^{13}C RMN subérine (Jarvinen et al., 2011)

Aliphatique
Carbonyl
Vinyl
Hydroxyl
Esters
Aromatique

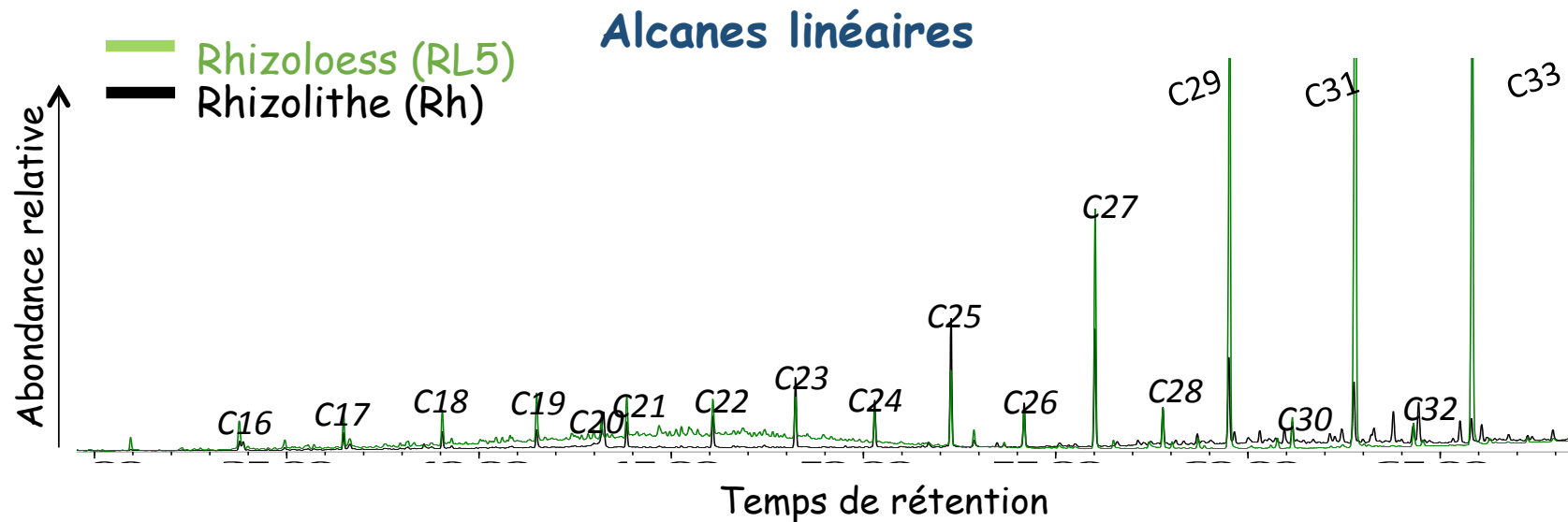


Composition compatible à la
subérine



Préservation de MO
racinaire

Analyse de la matière organique (GC-MS)



Dominance d'alcane longue chaîne à nb impair de C dans le RL



Signature de végétaux supérieurs dans RL

$CPI_{Alkanes (n=25-33)}$ ⇒ $Rh = 2.6 \pm 0.06$, $RL = 12.9 \pm 0.06$ ⇒ MO provenant de végétaux supérieur dans RL

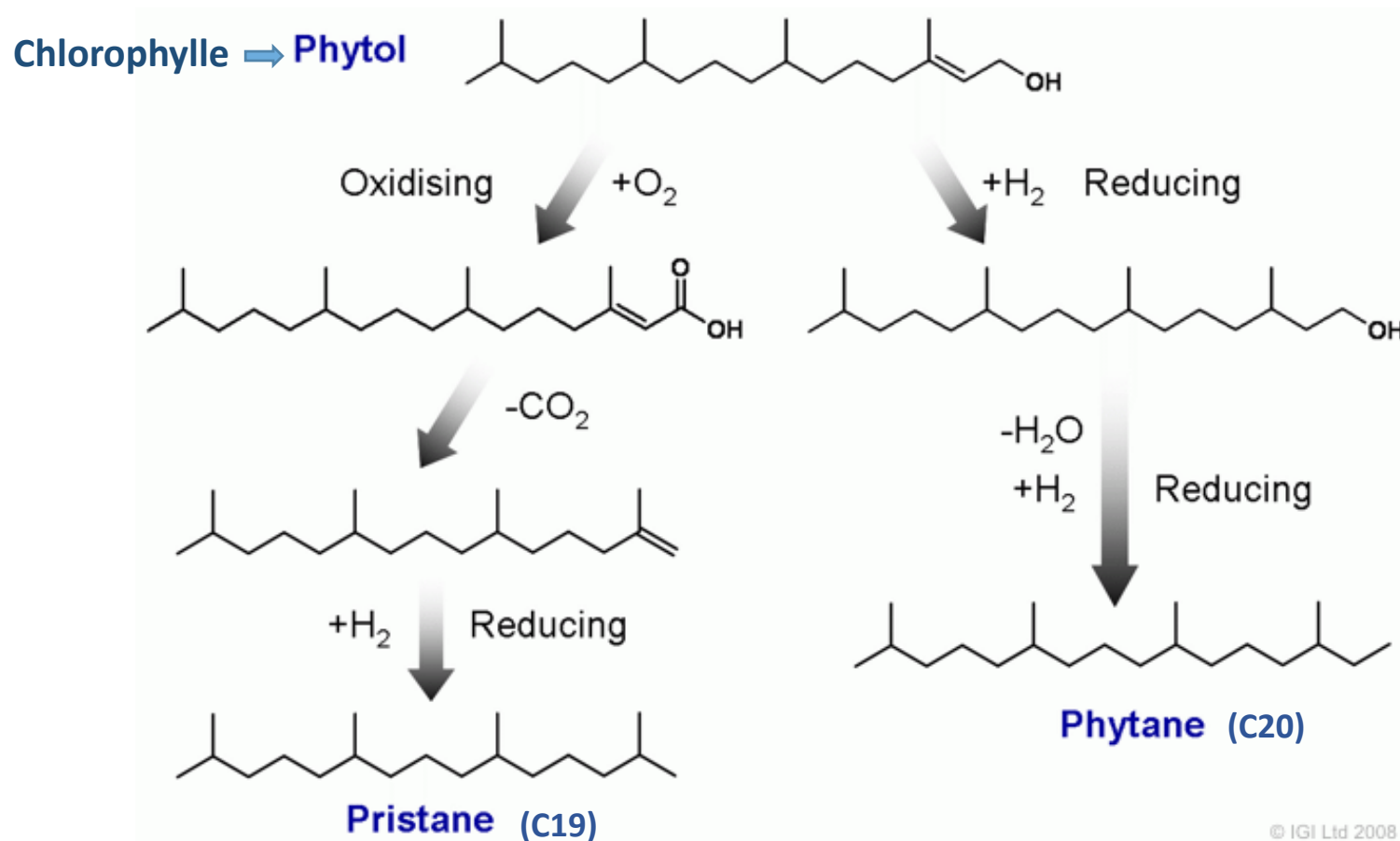
LMW/HMW ⇒ $Rh = 0.9 \pm 0.40$, $RL = 0.2 \pm 0.01$ ⇒ Présence d'alcane à courtes chaînes dans Rh
Sources : biomasse / plantes



Sources de MO ≠ entre rhizolithe et rhizoloess

Pristane/phytane

Traceur des conditions redox de la sédimentation

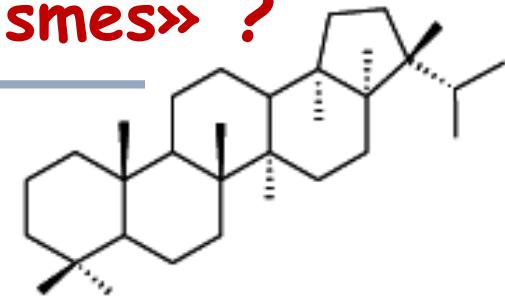


pristane/phytane \Rightarrow $R_h = 0.4 \pm 0.02$, $R_L = 1.3 \pm 0.20$ \Rightarrow

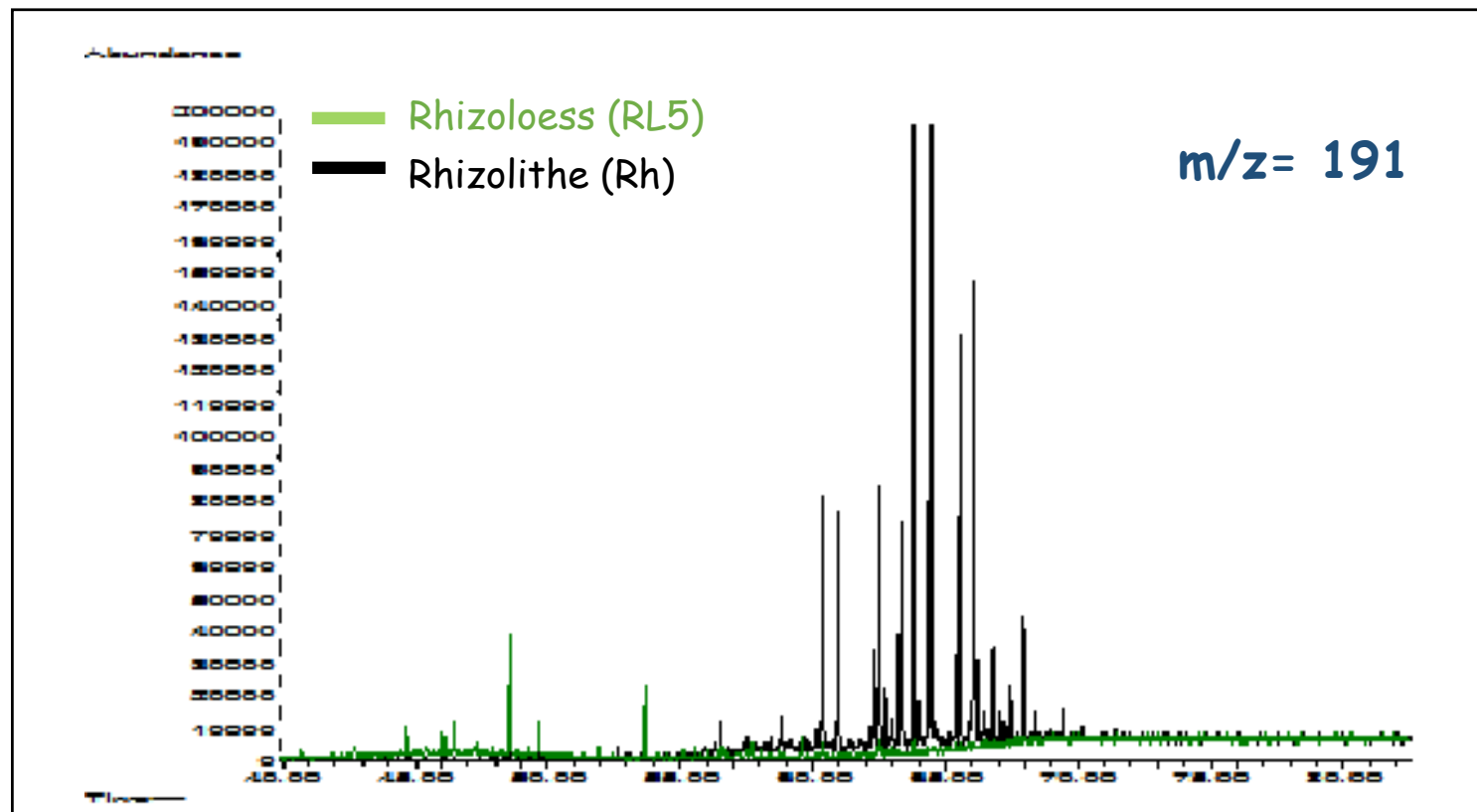
Conditions \neq de
préservation

Traceurs de Biomasse «microorganismes» ?

- Triterpanoïdes pentacycliques
- Présents dans la membrane bactérienne
⇒ biomarqueurs bactériens



17 α (H),21 β (H)-hopane C₃₀H₅₂



Hopanes ⇒ Rh = +++, RL = --- ⇒ Présence de biomarqueurs bactériens dans Rh

Résultats des analyses de la géochimie organique

	Rhizolithe	Rhizoloess
Carbone organique total %	+++	+
Biomarqueurs de végétaux supérieurs	+	+++
Biomarqueurs bactériens	+++	--
Conditions Redox de préservation	Réductrices	oxydantes



Conclusions

Originalité du travail



Etude multi-échelles et multi-techniques



+ d'informations sur la formation des rhizolithes :

- Encroûtement externe + imprégnation interne des tissus par les carbonates
- Conditions différentes de minéralisation entre la racine et sa rhizosphère
- Nature de la MO différente entre rhizolithes et la rhizosphère.

En cours

- Analyses de géochimie organique (tetraéthers, acides gras)
- Données STXM
- Influence de la profondeur
- Influence du stade de calcification

Merci pour votre attention

Remerciements

Guido Wiesenberg
Martina Gocke



Prélèvement des échantillons

Christelle Anquetil



Analyses de géochimie organique

Véronique Vaury

U EES Paris

Analyses de COT

Damien Deldicque



Analyses de microscopie
électronique

Labex Matisse



Financement du projet