



Formations en ligne

Nutrition de la truffe : le carbone nécessaire au développement de la truffe provient de son arbre-hôte



Christophe Robin

Trufficulteur, chercheur INRAE

UMR 1121 Laboratoire Agronomie et Environnement

Nancy-Colmar



UNIVERSITÉ
DE LORRAINE

INRAE

Les truffes et mon histoire...

- 1^{er} contact : Exposé d'étudiant en 1983...
- Membre de l'association trufficole de Haute-Marne (1985-1994) ;
- 1^{ère} plantation en 1986, 2^{ème} plantation en 1990 et 1991-> Première récolte en 2005
- Cours à l'ENSAIA aux élèves ingénieurs sur les truffes et la trufficulture (à partir de 1989), interventions niveau Master 2 ;
- Visite de truffières en Nouvelle Zélande en 1993 ;
- Membre de l'AMPPTL (Association Meusienne des Planteurs et Promoteurs de la Truffe en Lorraine) pendant 2 ans ;
- Participation au programme de recherche du pôle nancéien (2010 - 2020) ;
- Expertises pour des collectivités territoriales ;
- Troisième plantation en 2010 -> première récolte en 2017
- ...



Quels liens la truffe entretient-elle avec l'arbre?



Les truffes

- La truffe = fructification d'un champignon

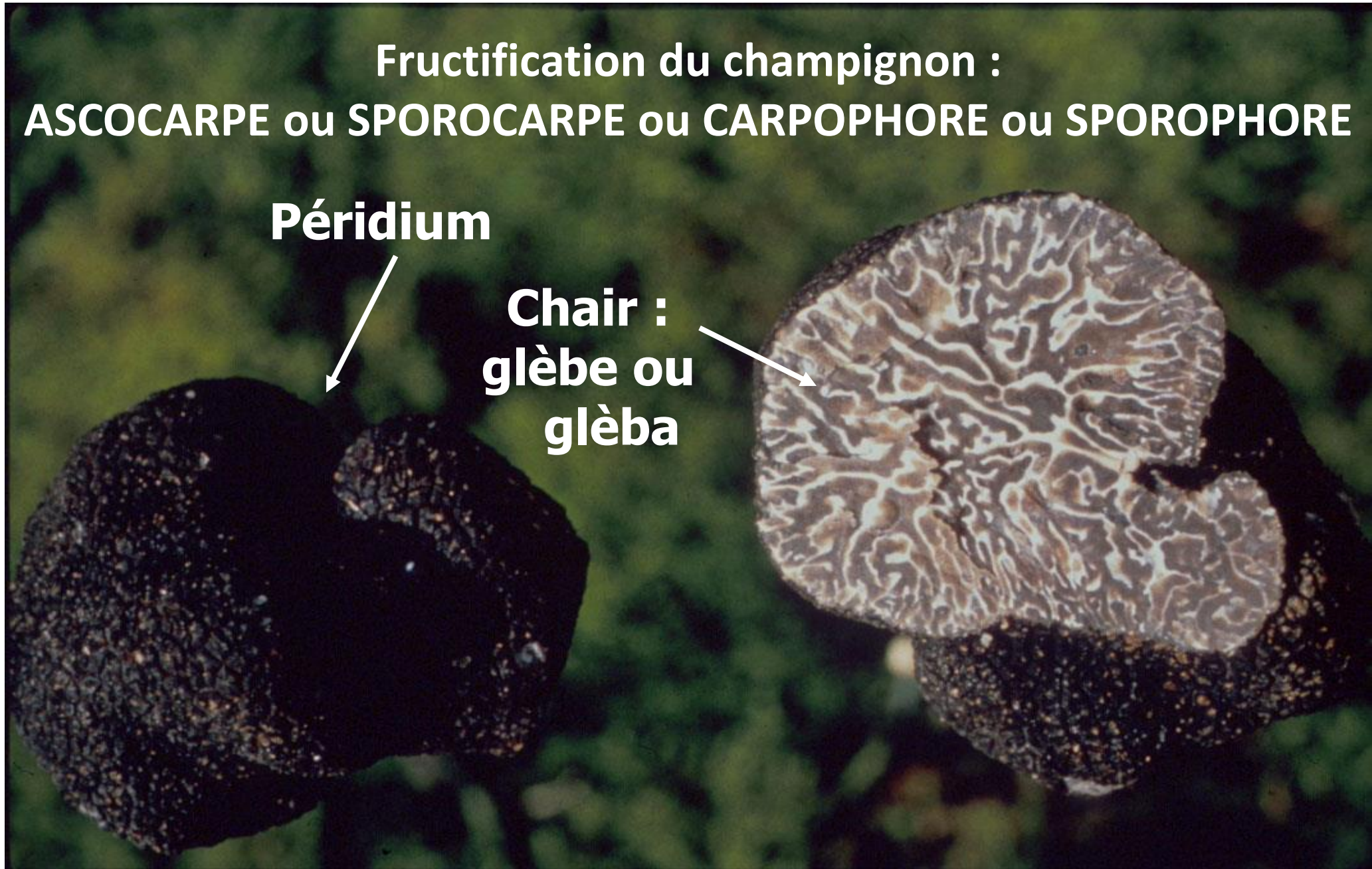


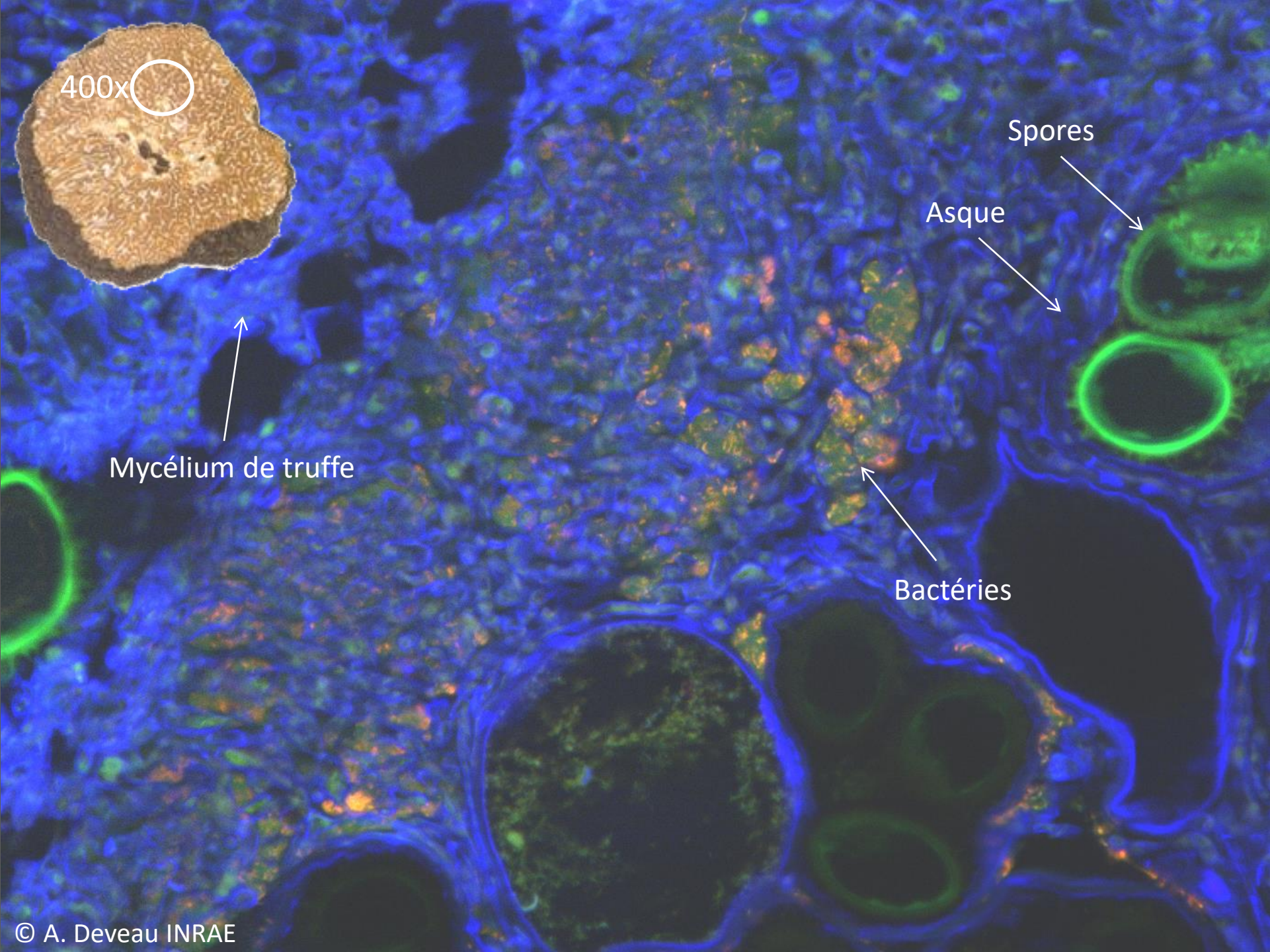
**Fructification du champignon :
ASCOCARPE ou SPOROCARPE ou CARPOPHORE ou SPOROPHORE**

Péridium



**Chair :
glèbe ou
glèba**





400x

Spores

Asque

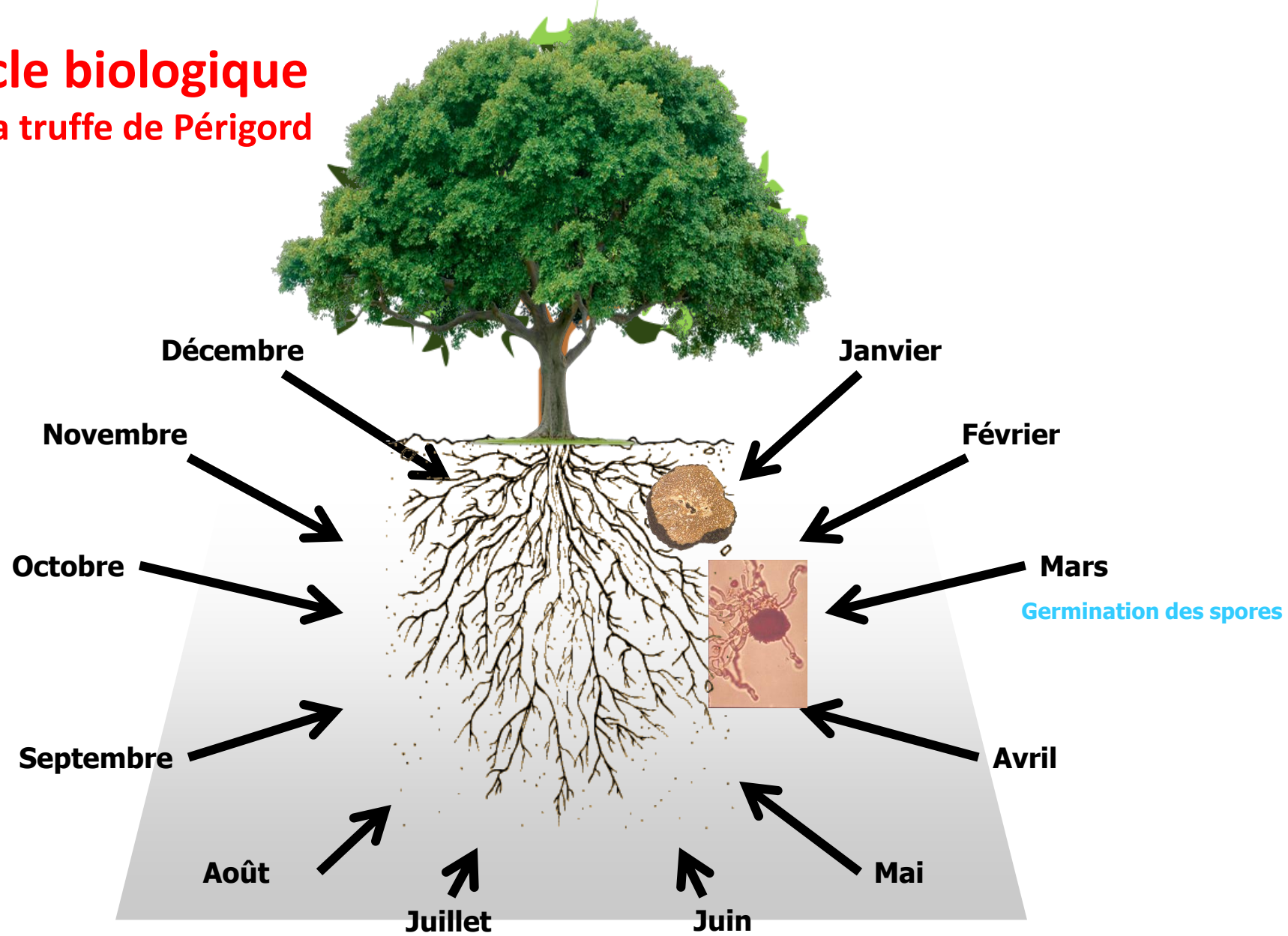
Mycélium de truffe

Bactéries

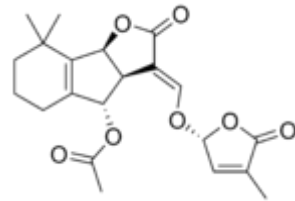
Les truffes

- La truffe = fructification d'un champignon
- Truffières
- Cycle biologique dans le sol

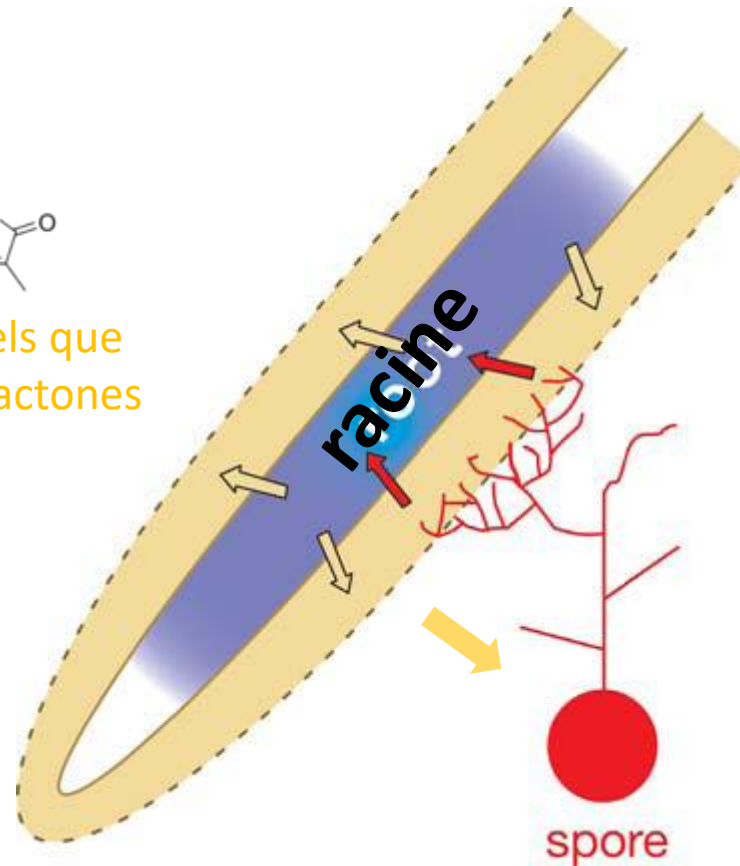
Cycle biologique de la truffe de Périgord



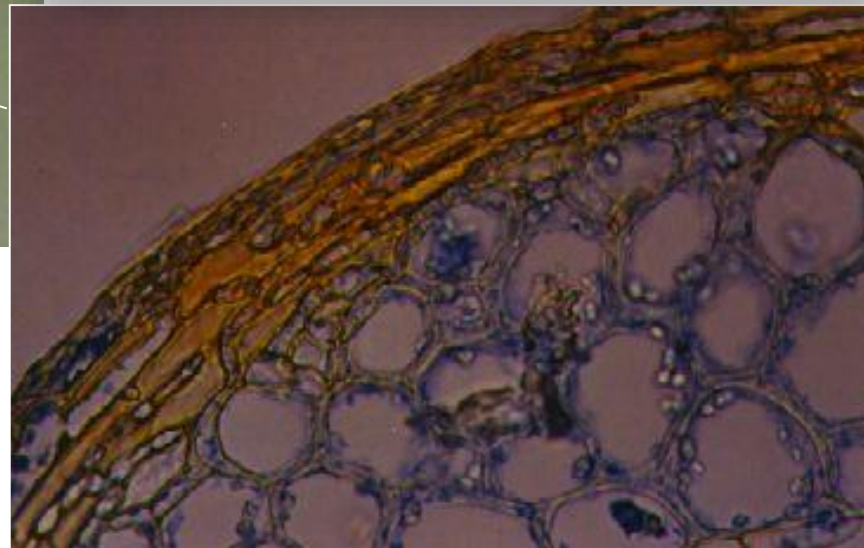
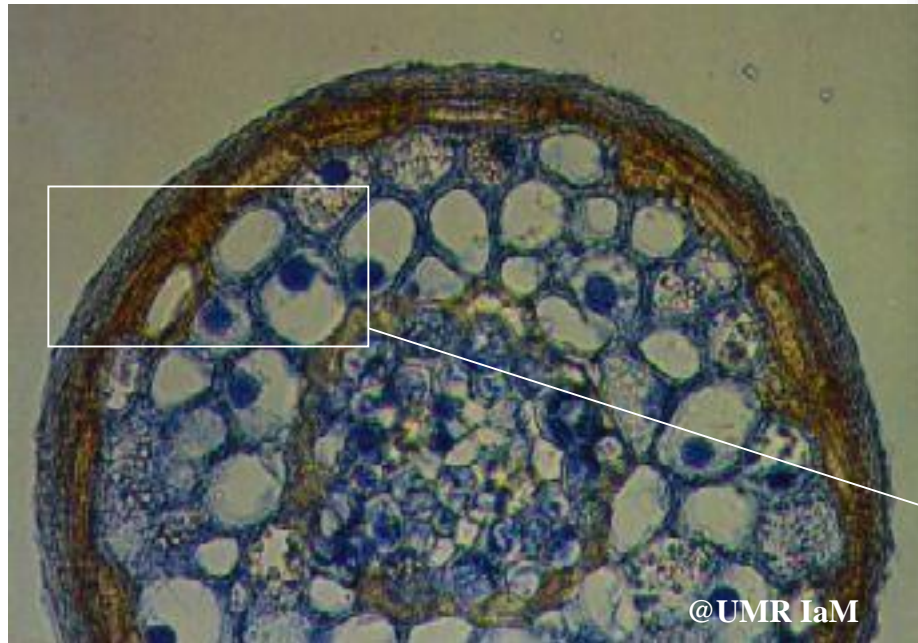
Dialogue moléculaire entre l'arbre et le champignon



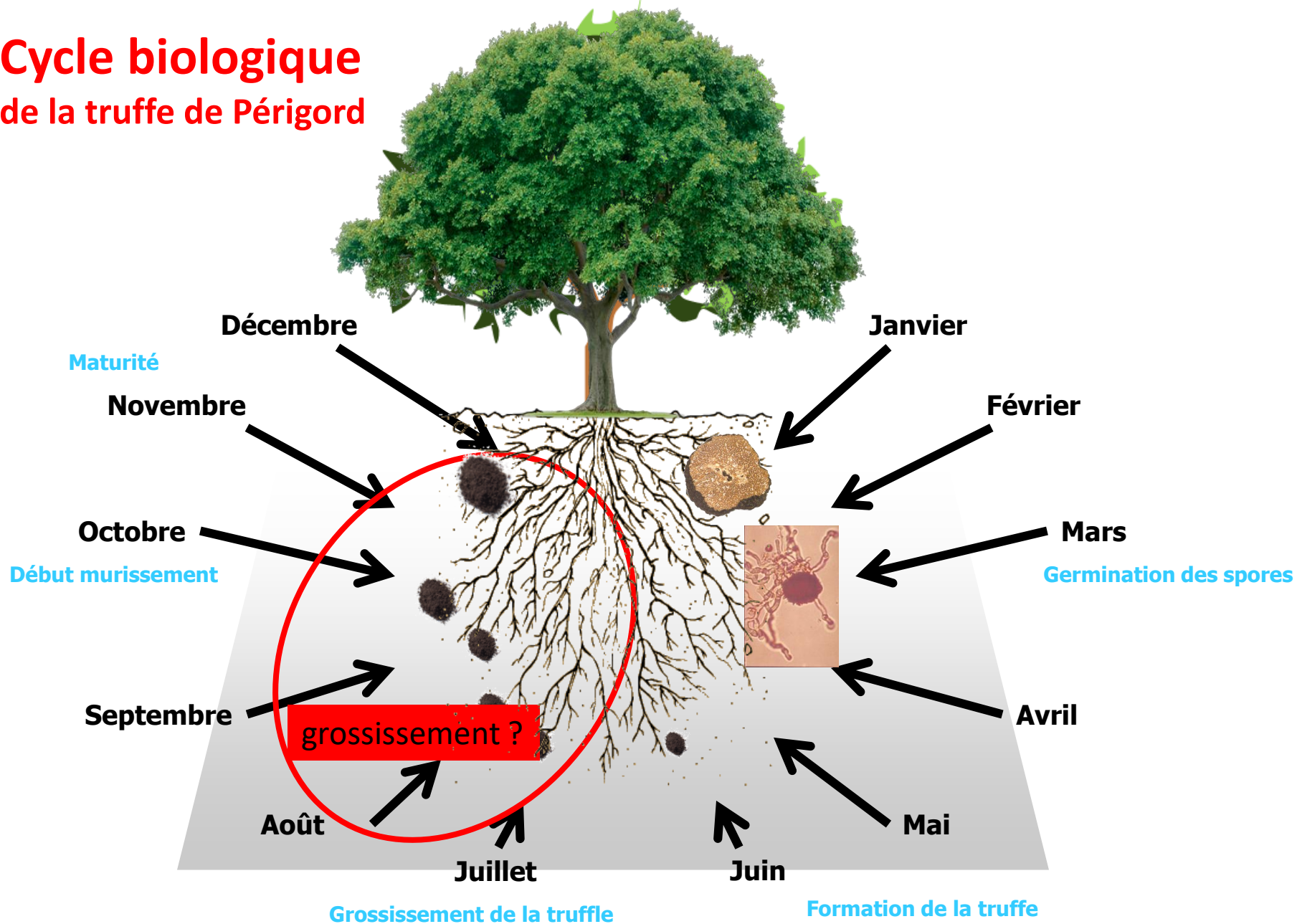
- Signal plante : composés phénoliques tels que flavonoïdes, et hormone telle que strigolactones
- Signal fongique : oligomères de chitine



Symbiose ectomycorhizienne



Cycle biologique de la truffe de Périgord



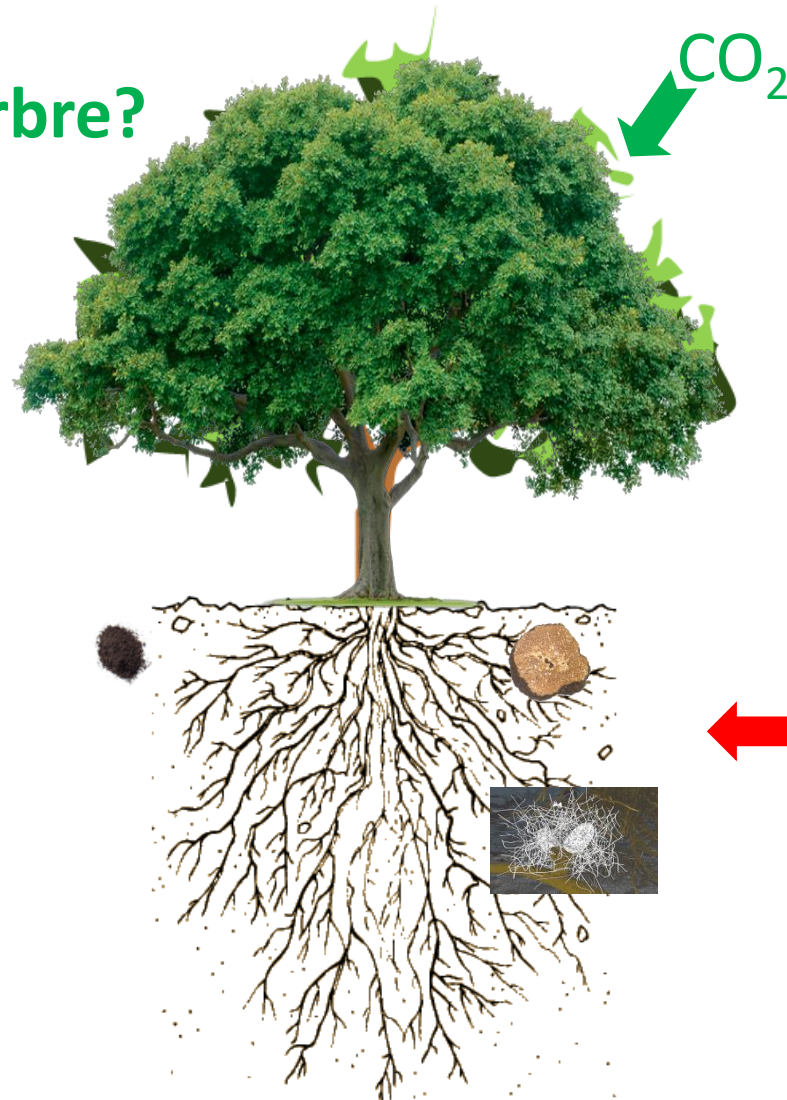
UNE DES QUESTIONS DE RECHERCHE : Comment la truffe s'alimente-t-elle?

Est-ce à partir de l'arbre?

Hétérotrophie

Est-ce à partir de la
matière organique
du sol?

Saprotrophie



Comment la truffe s'alimente-t-elle?

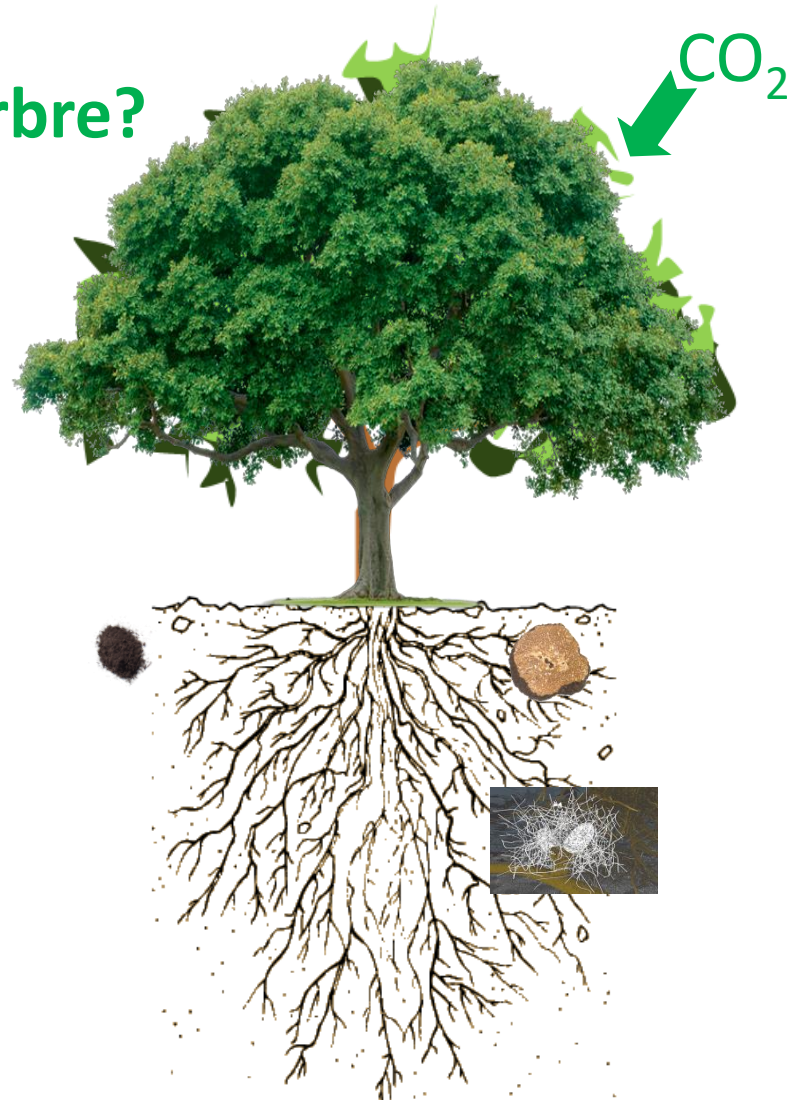
Quels sont les enjeux de la réponse à cette question ?

- **Enjeu scientifique** : l'acquisition de connaissances scientifiques nouvelles sur le cycle biologique de la truffe
- **Enjeu technique/agronomique** : l'amélioration des pratiques culturales des vergers truffiers :
 - taille des arbres
 - travail du sol
 - gestion de la matière organique du sol
 - Arrosage
- **Enjeu économique** : L'optimisation de la production de truffes

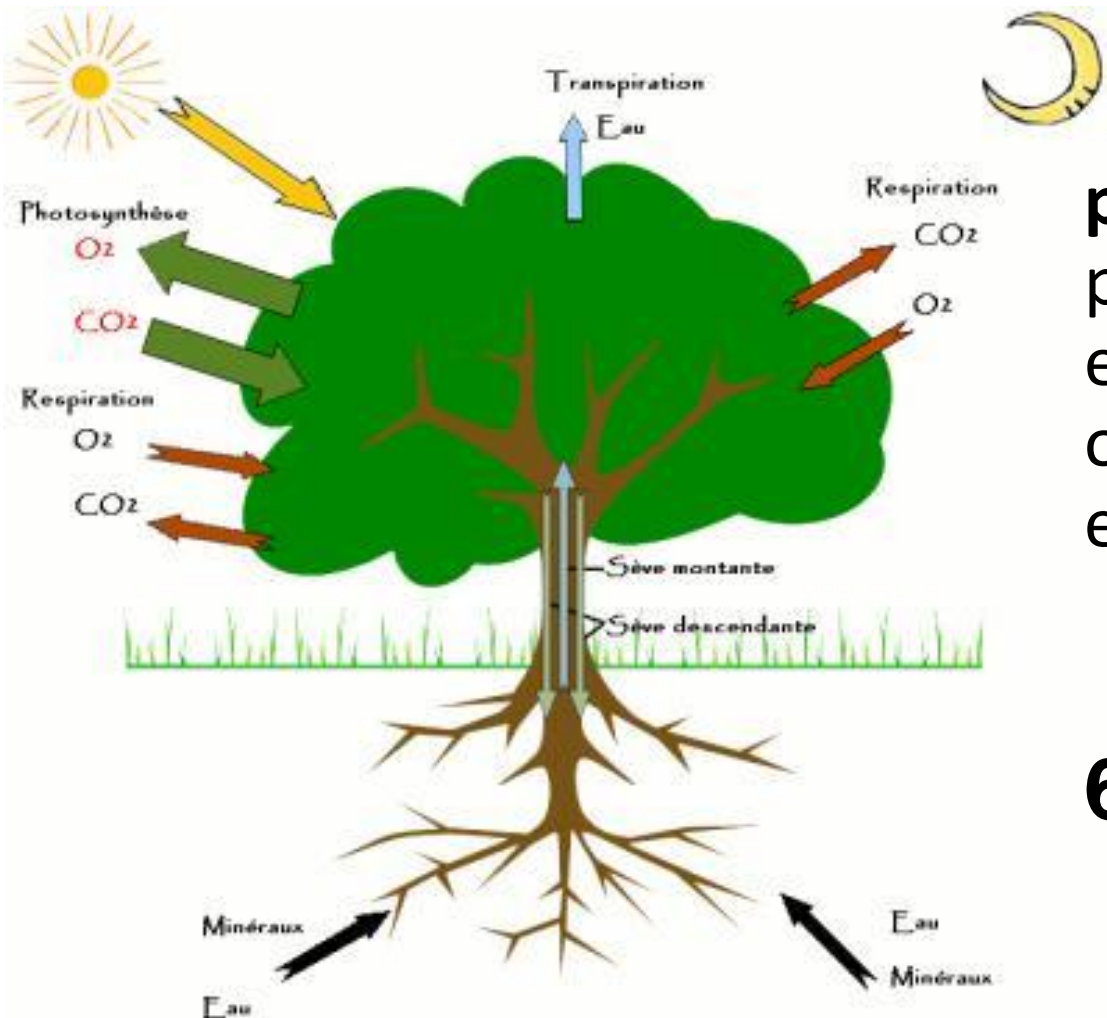
UNE DES QUESTIONS DE RECHERCHE : Comment la truffe s'alimente-t-elle?

Est-ce à partir de l'arbre?

Hétérotrophie



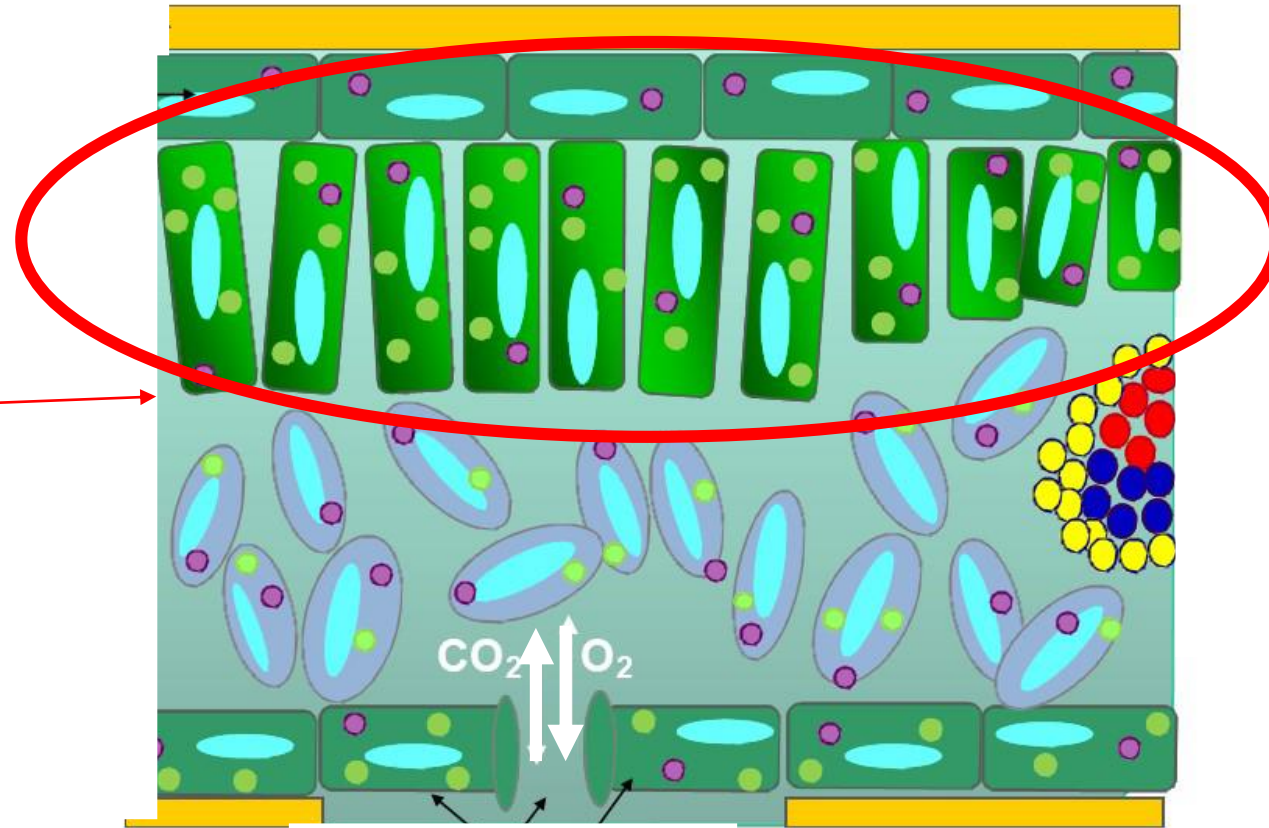
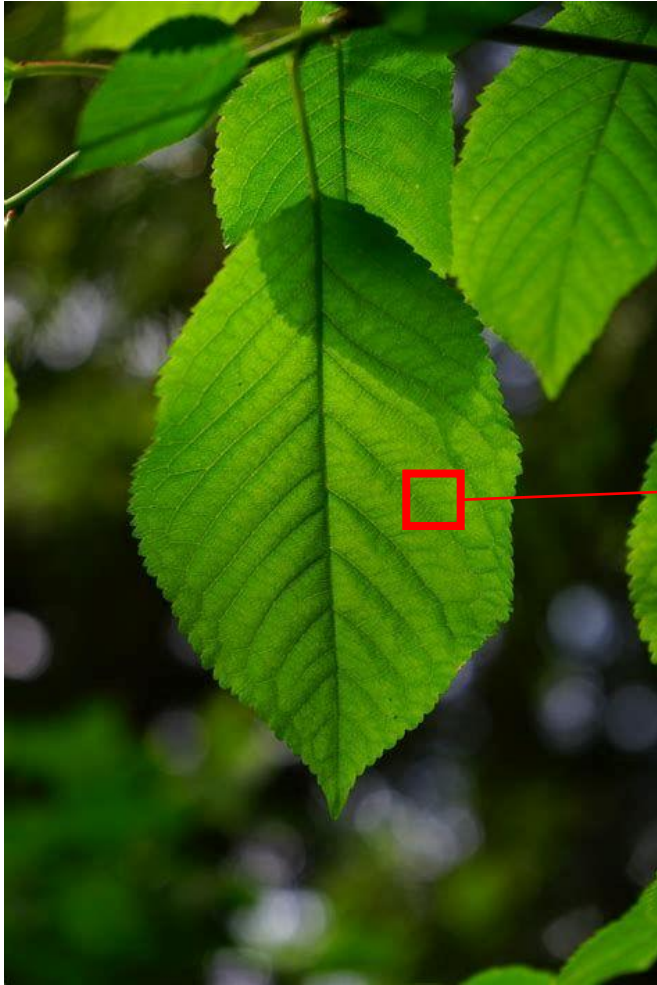
La photosynthèse : mécanisme d'acquisition du carbone des végétaux



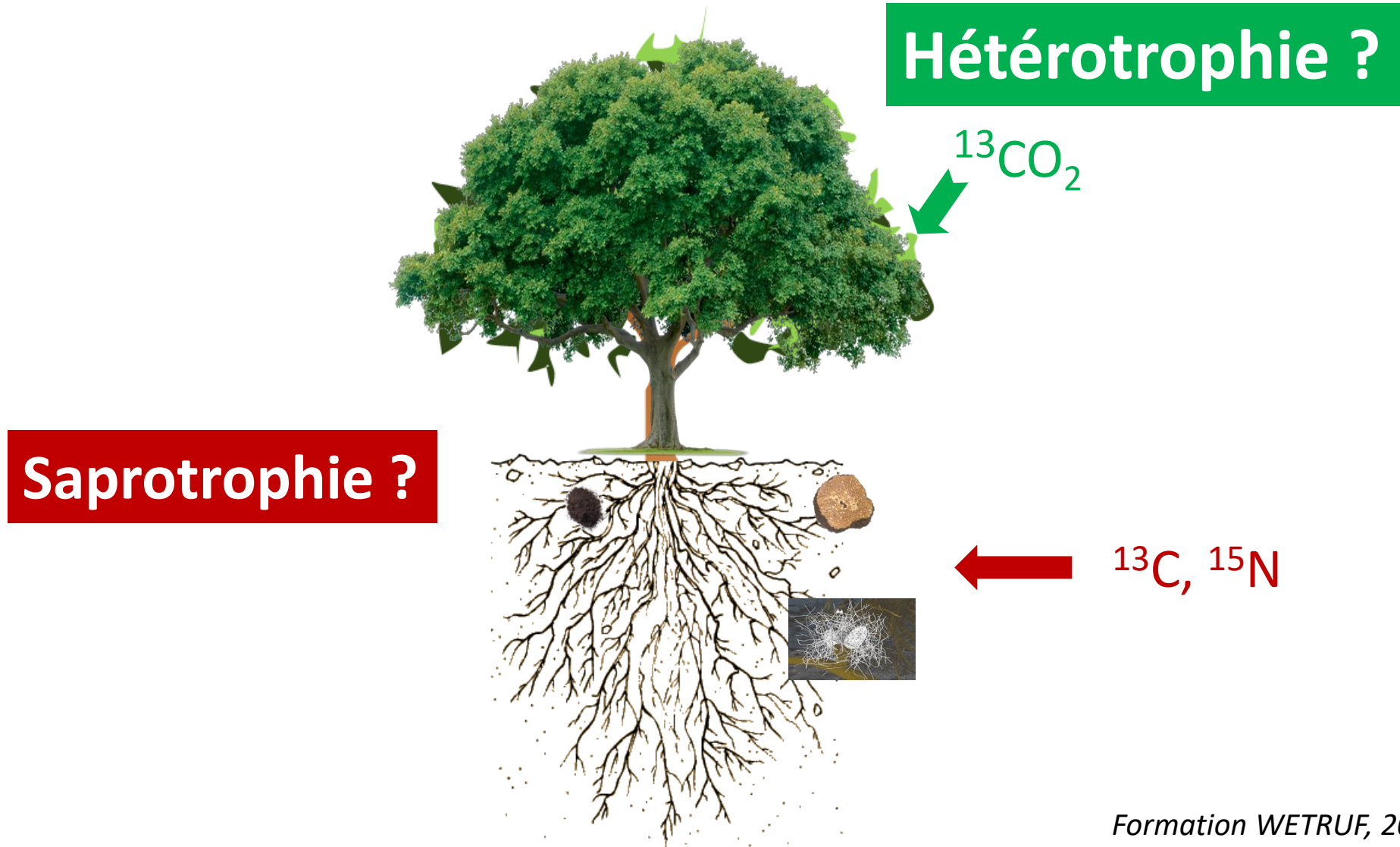
photosynthèse : Processus par lequel les plantes utilisent l'énergie solaire pour effectuer la synthèse de molécules organiques à partir de dioxyde de carbone et d'eau



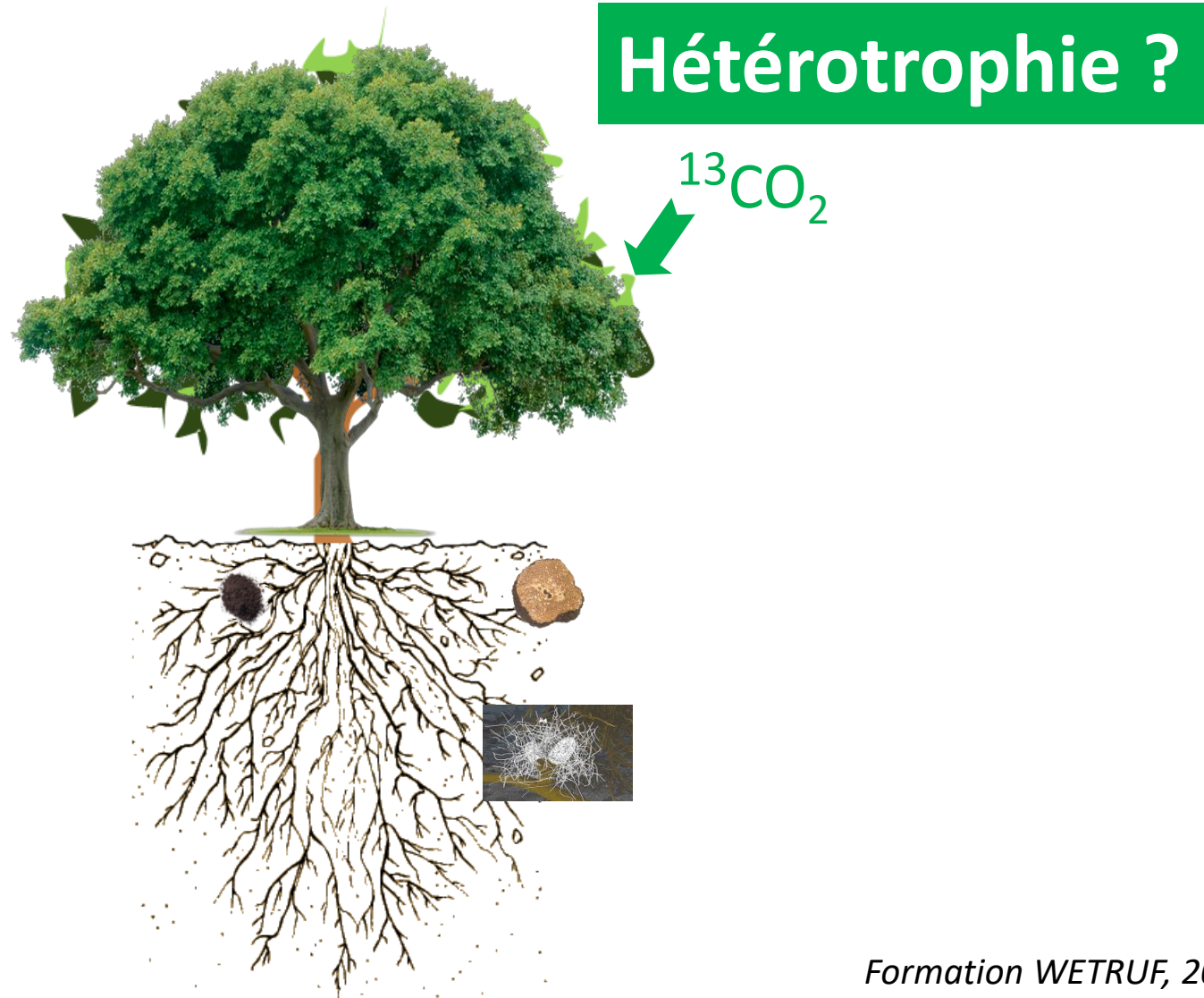
Localisation de la photosynthèse



Nutrition étudiée à l'aide d'isotopes stables du carbone (C) et de l'azote (N) utilisés comme traceurs pour suivre le cheminement de ces 2 éléments dans l'écosystème truffier

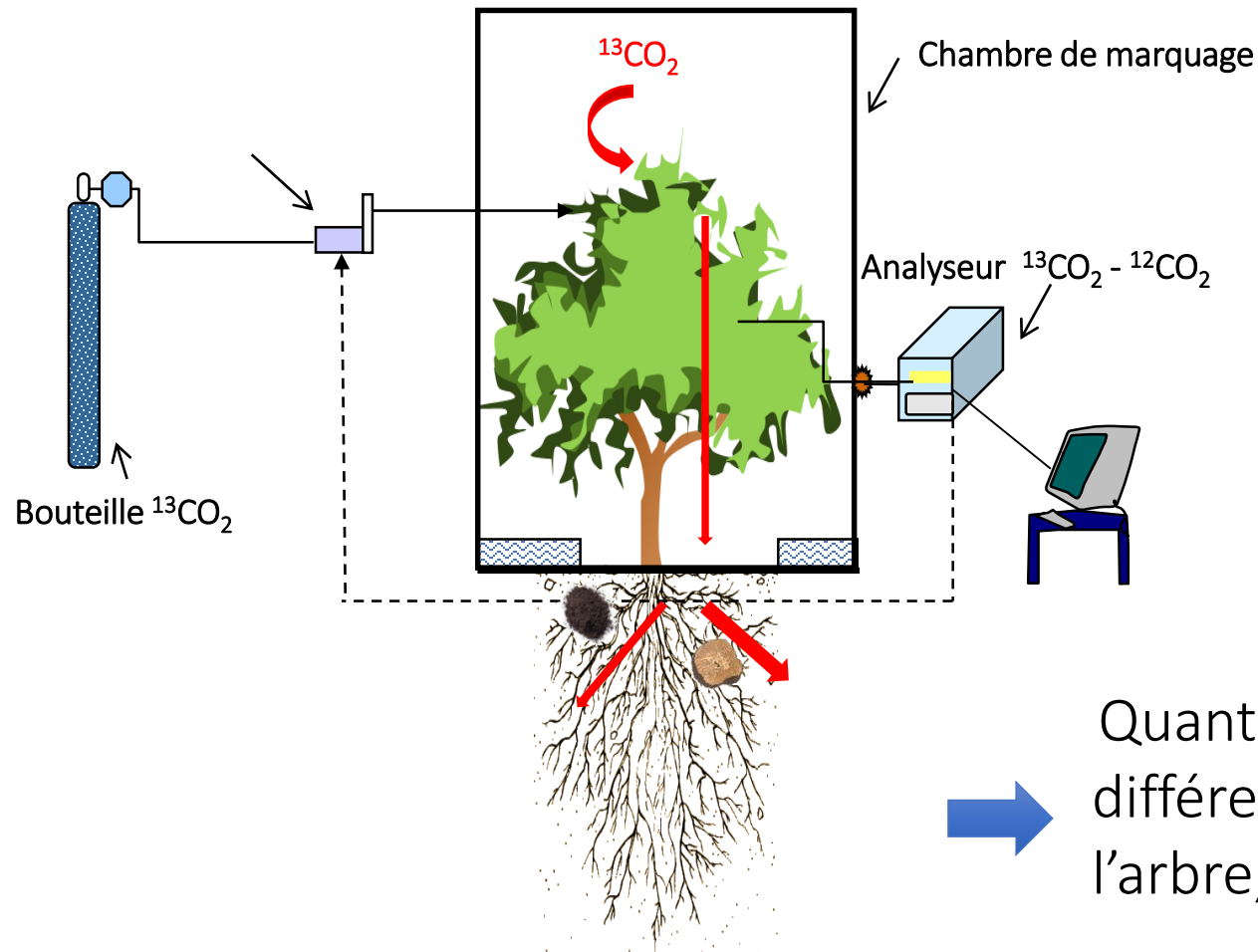


Nutrition étudiée à l'aide d'isotopes stables du carbone (C) et de l'azote (N) utilisés comme traceurs pour suivre le cheminement de ces 2 éléments dans l'écosystème truffier

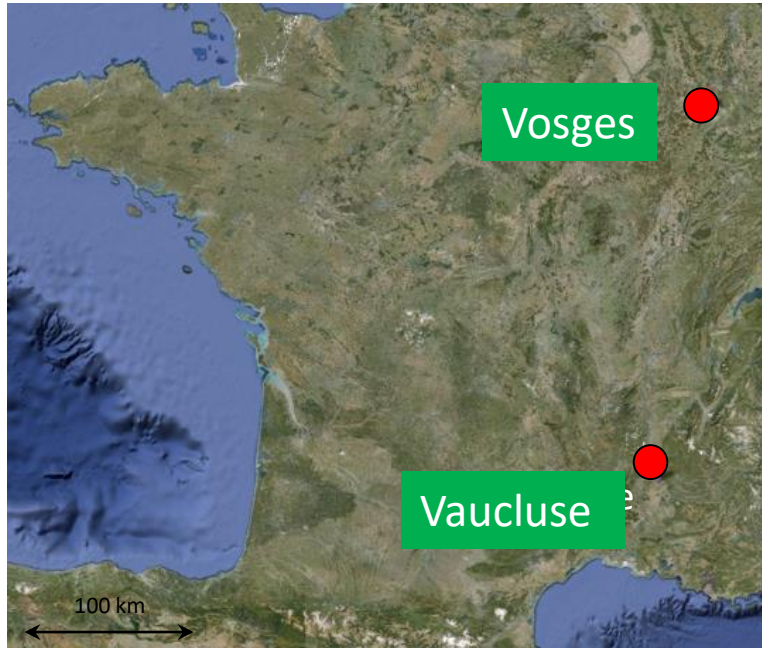


Méthodologie

Principe de l'enrichissement au dioxyde de carbone ($^{13}\text{CO}_2$)



Quantification du ^{13}C dans les différents compartiments de l'arbre, du sol et de la truffe



Expérimentations $^{13}\text{CO}_2$
- sur 2 sites,
- sur 2 essences :
noisetier et chêne vert



Installation d'une chambre autour de l'arbre pour l'enrichissement en $^{13}\text{CO}_2$

Vosges



Pilotage du $^{12}\text{CO}_2$ - $^{13}\text{CO}_2$



Vaucluse



Formation WETRUF, 20 septembre 2023



Vaucluse

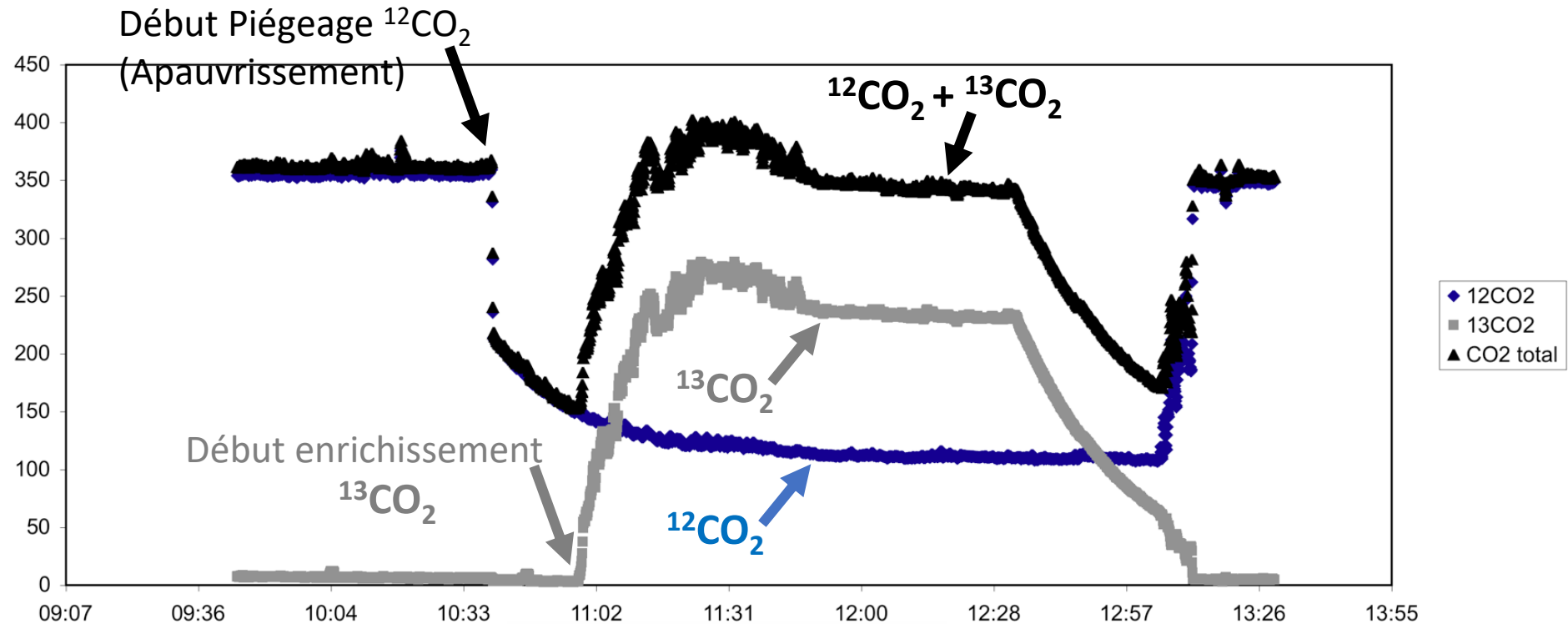
climatisation



Pilotage du $^{12}\text{CO}_2$ - $^{13}\text{CO}_2$ et régulation du climat



Pilotage/regulation du $^{12}\text{CO}_2$ et $^{13}\text{CO}_2$ pendant le marquage





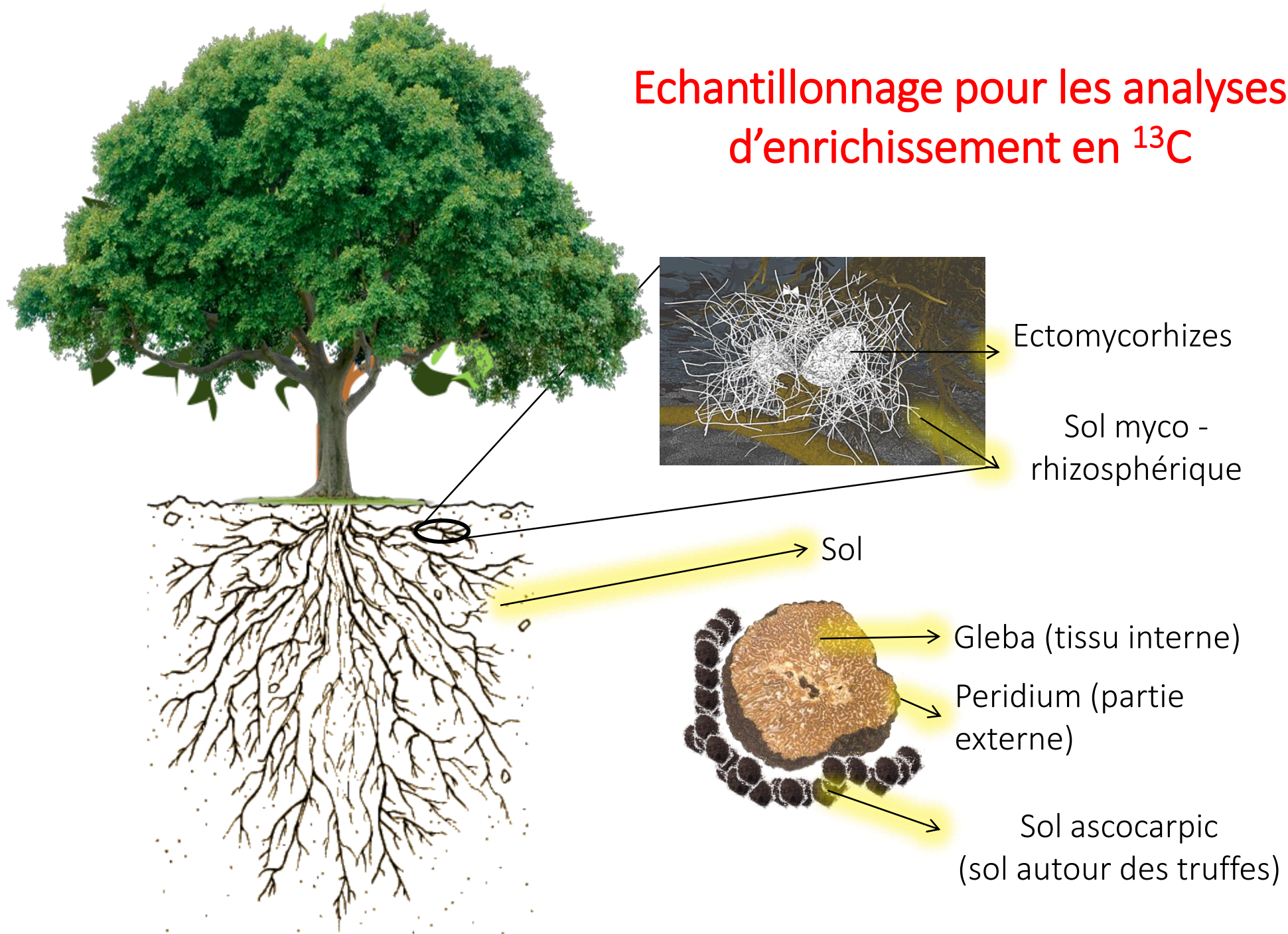
Récoltes de truffes (cavage) et échantillonnages



De juillet à mars

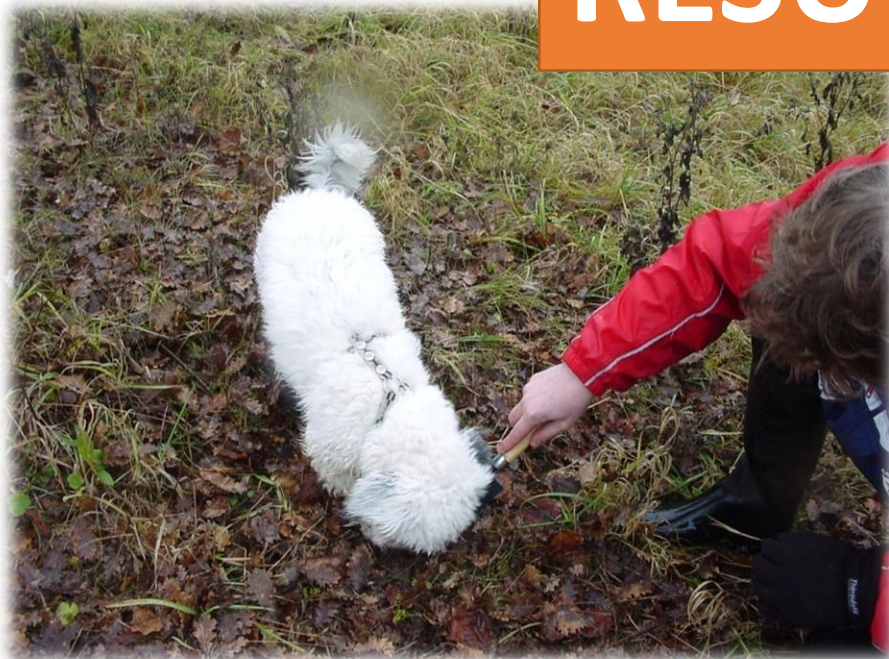


Echantillonnage pour les analyses d'enrichissement en ^{13}C





RESULTATS



VOSGES

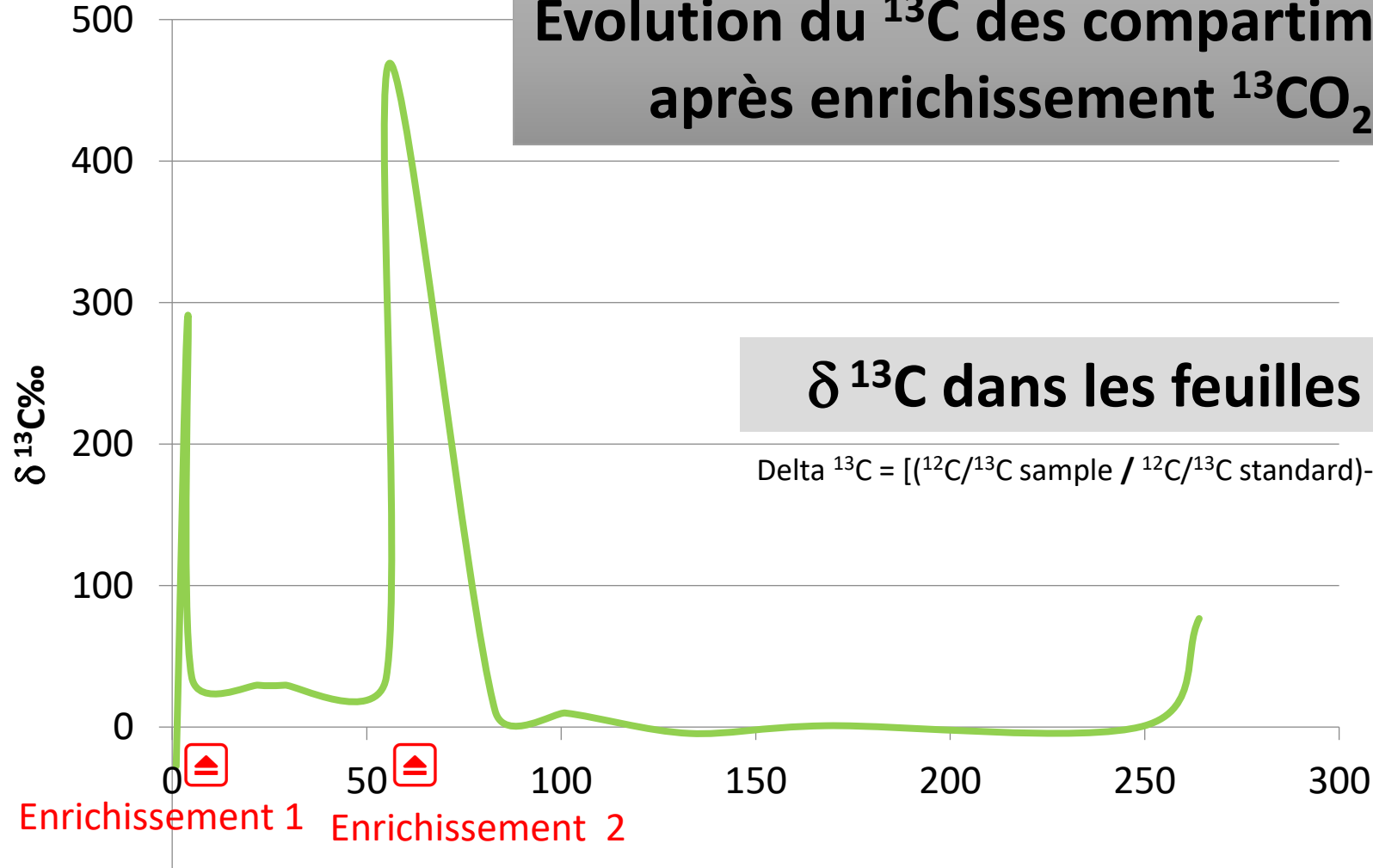


24 truffes récoltées d'octobre à février

@Le Tacon

Evolution du ^{13}C des compartiments après enrichissement $^{13}\text{CO}_2$

Richesse en ^{13}C

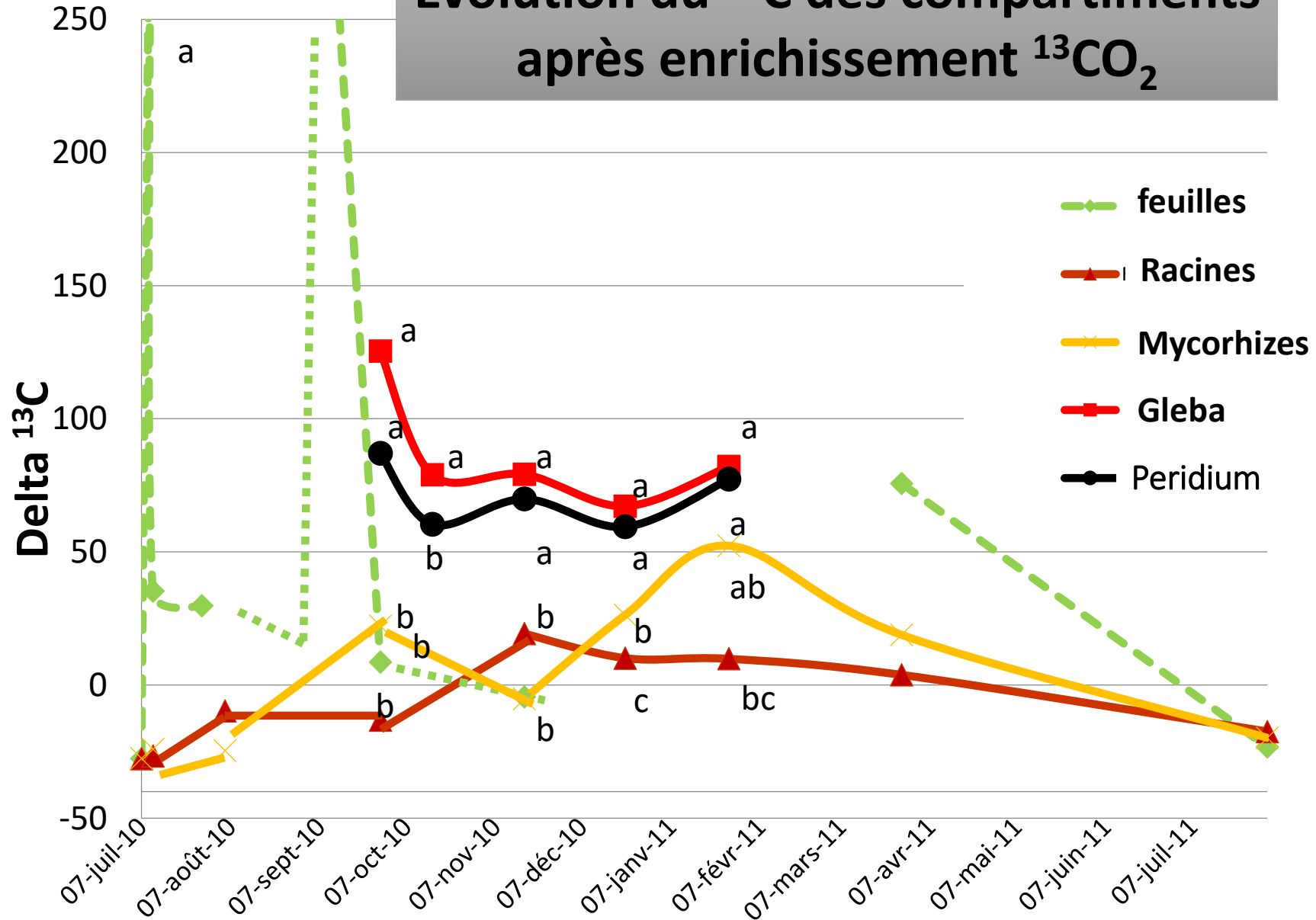


Enrichissement 1 Enrichissement 2

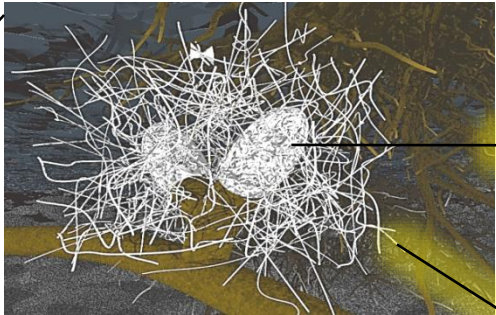
Temps en jours après le 1^{er} enrichissement

Evolution du ^{13}C des compartiments après enrichissement $^{13}\text{CO}_2$

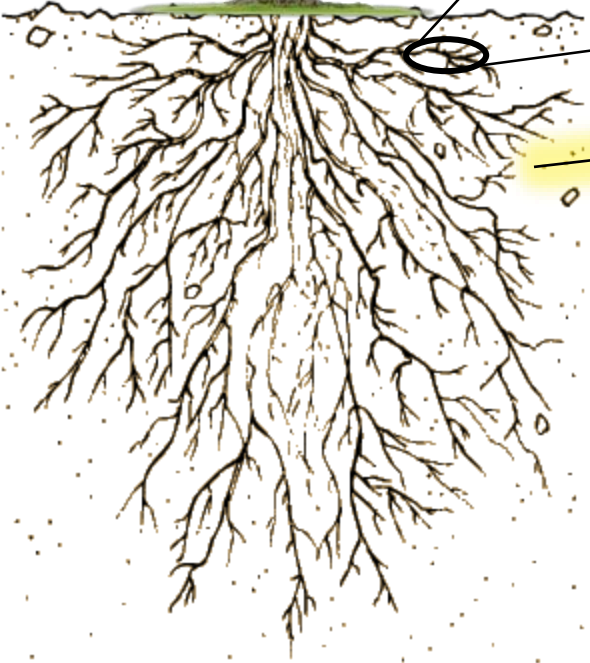
Richesse en ^{13}C



Analyses ^{13}C



Sol myco -
rhizosphérique



Sol rhizosphérique
(autour des racines)



Sol ascocarpic
(sol autour des truffes)

Pas d'enrichissement ^{13}C

- Sol autour des racines
- Sol autour des mycorhizes
- Sol autour des truffes



-> Pas de transfert indirect de ^{13}C *via* le sol

Carbon Transfer from the Host to *Tuber melanosporum* Mycorrhizas and Ascocarps Followed Using a ^{13}C Pulse-Labeling Technique

François Le Tacon^{1,2}, Bernd Zeller^{3*}, Caroline Plain^{4,5}, Christian Hossann^{4,5}, Claude Bréchet^{4,5}, Christophe Robin^{6,7}

1 INRA, UMR 1136, Interactions Arbres/Microorganismes (IAM), Centre INRA de Nancy, Champenoux, France, **2** Université de Lorraine, UMR 1136, Interactions Arbres/Microorganismes (IAM), Faculté des Sciences, Vandœuvre les Nancy, France, **3** INRA, UR 1138, Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers (BEF), Centre INRA de Nancy, Champenoux, France, **4** INRA, UMR 1137, Ecologie et Ecophysiologie Forestières (EEF), Centre INRA de Nancy, Champenoux, France, **5** Université de Lorraine, UMR 1137, Ecologie et Ecophysiologie Forestières (EEF), Faculté des Sciences, Vandœuvre les Nancy, France, **6** Université de Lorraine, UMR 1121 « Agronomie & Environnement » Nancy-Colmar, Vandœuvre les Nancy, France, **7** INRA, UMR 1121 « Agronomie & Environnement » Nancy-Colmar, Centre INRA de Nancy, Vandœuvre les Nancy, France

Abstract

Truffles ascocarps need carbon to grow, but it is not known whether this carbon comes directly from the tree (heterotrophy) or from soil organic matter (saprotrophy). The objective of this work was to investigate the heterotrophic side of the ascocarp nutrition by assessing the allocation of carbon by the host to *Tuber melanosporum* mycorrhizas and ascocarps. In

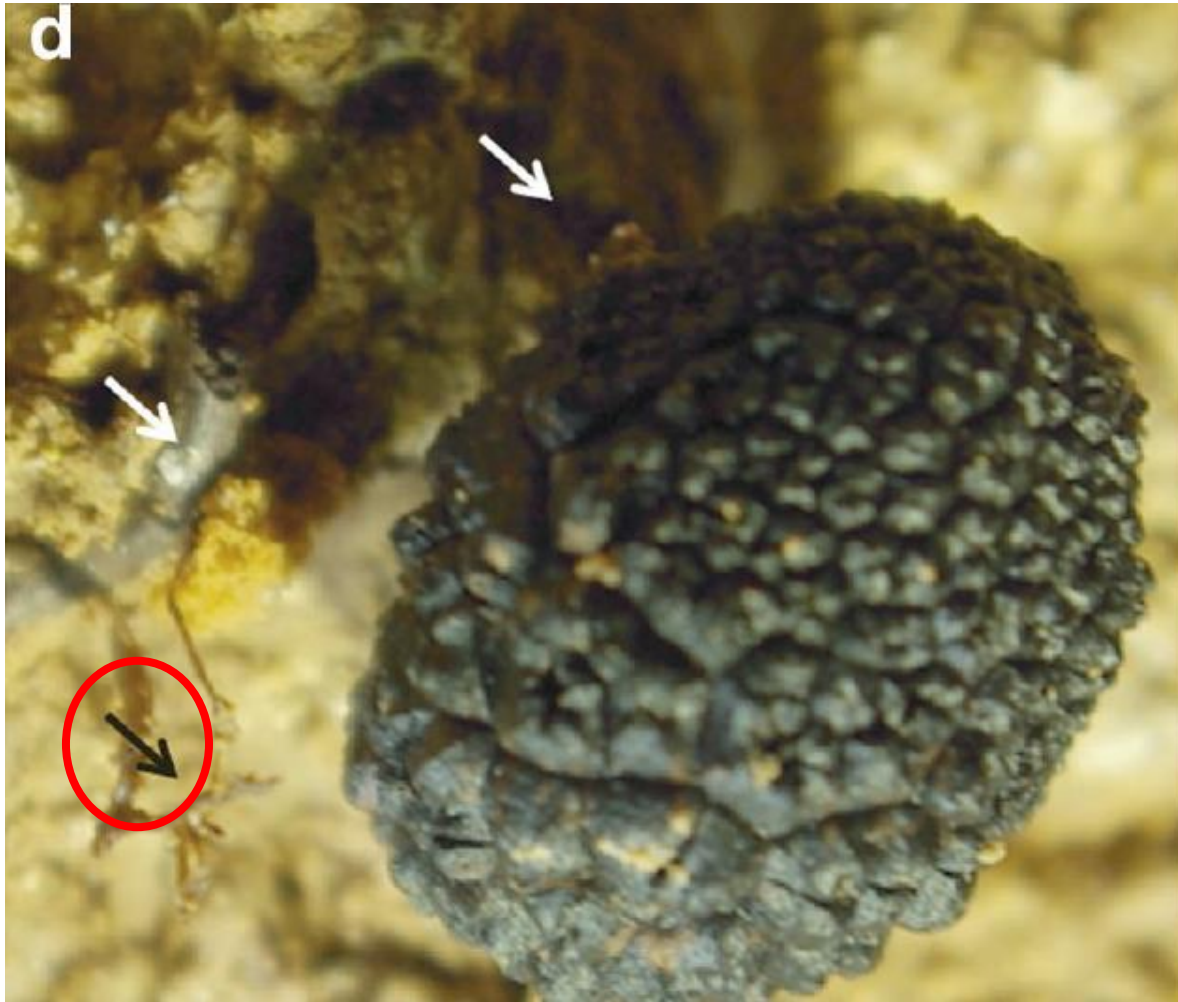
Conclusion intermédiaire

- L'arbre alimente la truffe *via* la mycorhize = **hétérotrophie** ;
- La truffe reste probablement connectée à l'arbre jusqu'à sa maturité ;
- Le lien nourrisseur entre la truffe et la mycorhize reste à identifier
- Mais comment l'identifier?



Racines non mycorhizées suspendues en plein air aux fentes du plafond.

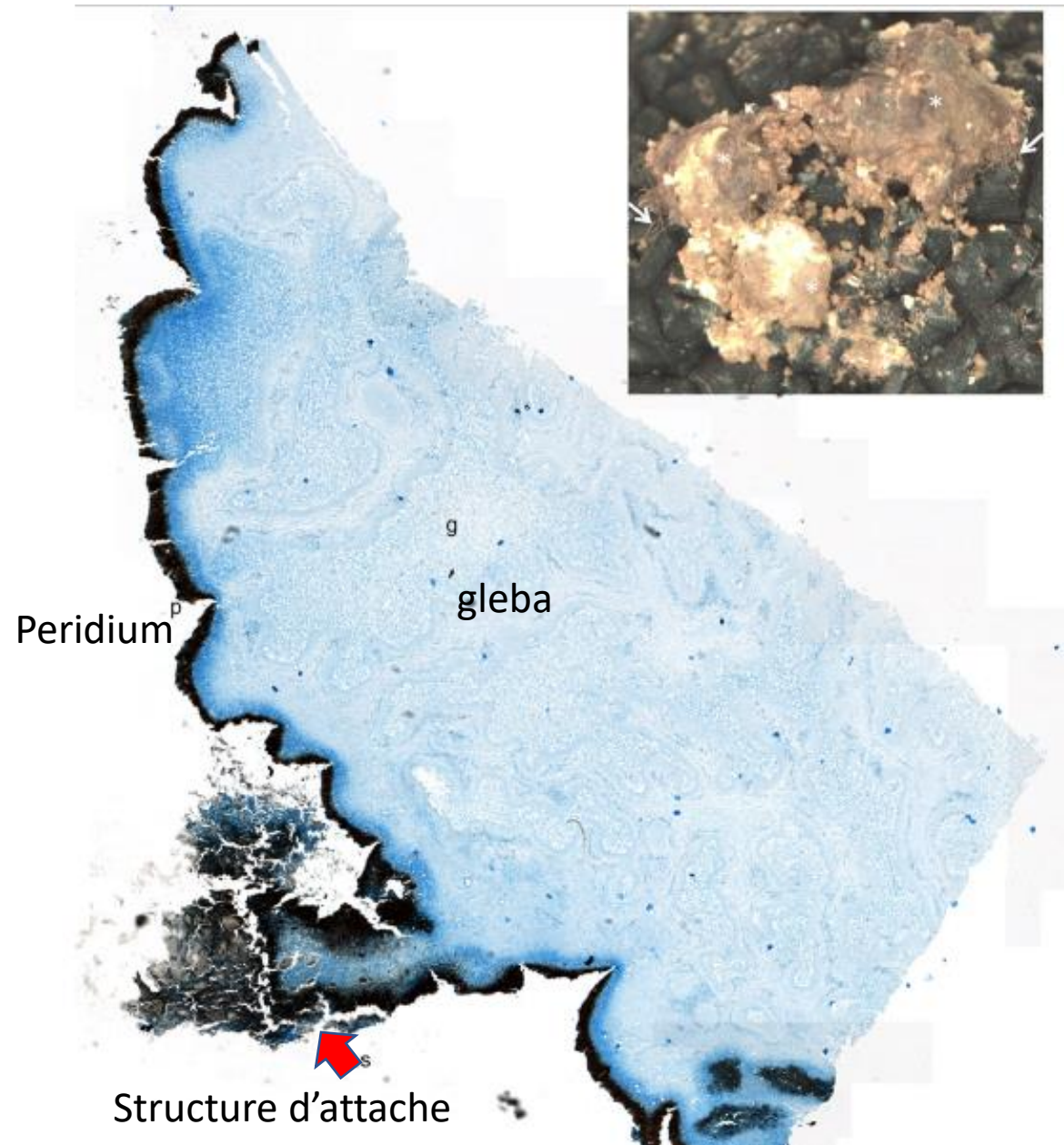
Racines séchées, ectomycorhizes mortes (flèches blanches) et ascocarpe momifié de *T. aestivum* en place dans une fente du plafond



Jeune ascocarpe de *T. aestivum* en place sur la paroi d'une galerie. Les flèches blanches et noires pointent respectivement vers les racines et les ectomycorhizes à proximité de l'ascocarpe.



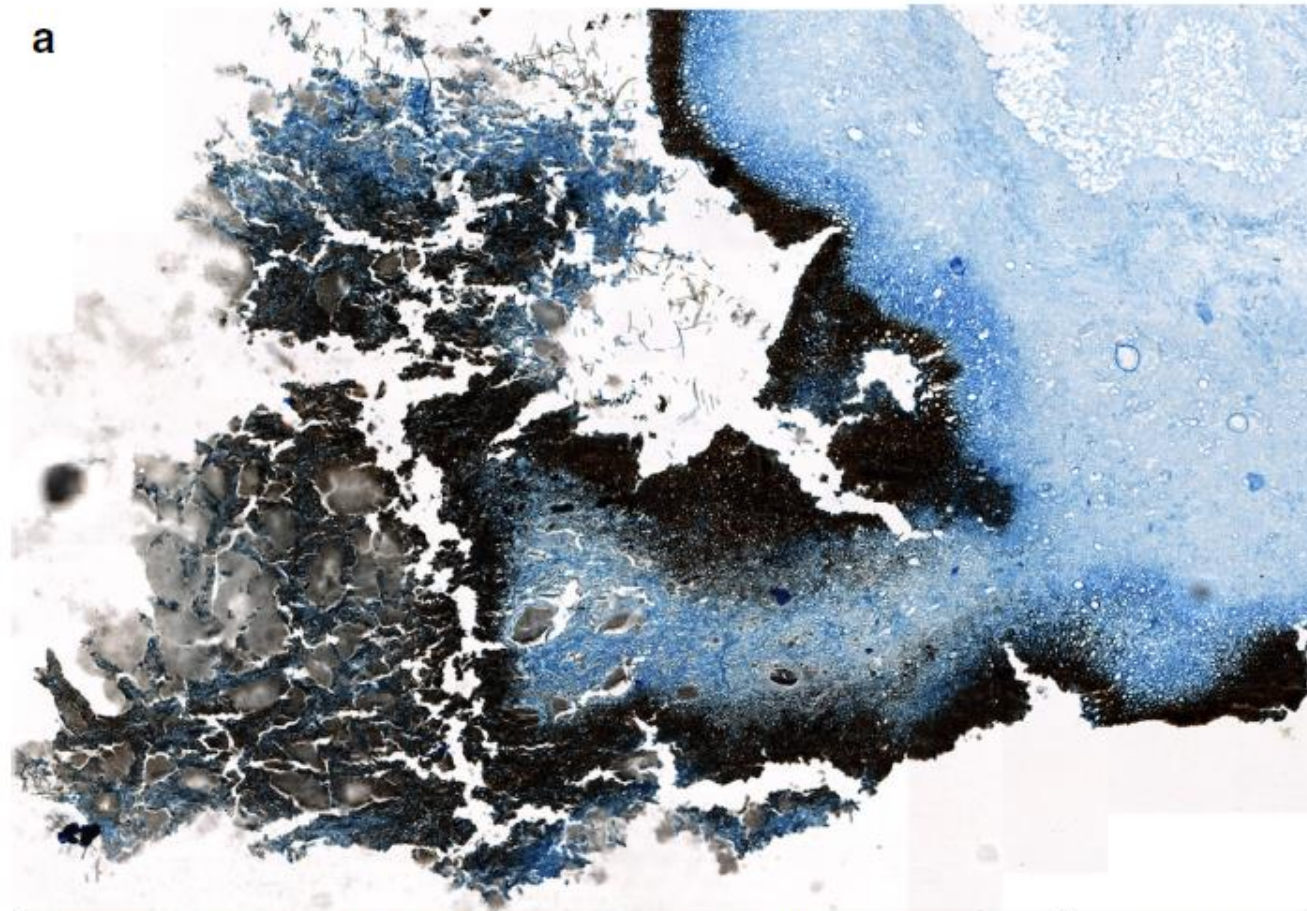
Jeune ascocarpe de *T. aestivum* en place suspendu au plafond



Flèches blanches pointées vers le mycélium libre vivant de la structure d'attache.

Zoom sur la zone d'attache et sa connexion avec les particules de sol et la gleba

Mycorrhiza



Mycelium externe et
particules de sol

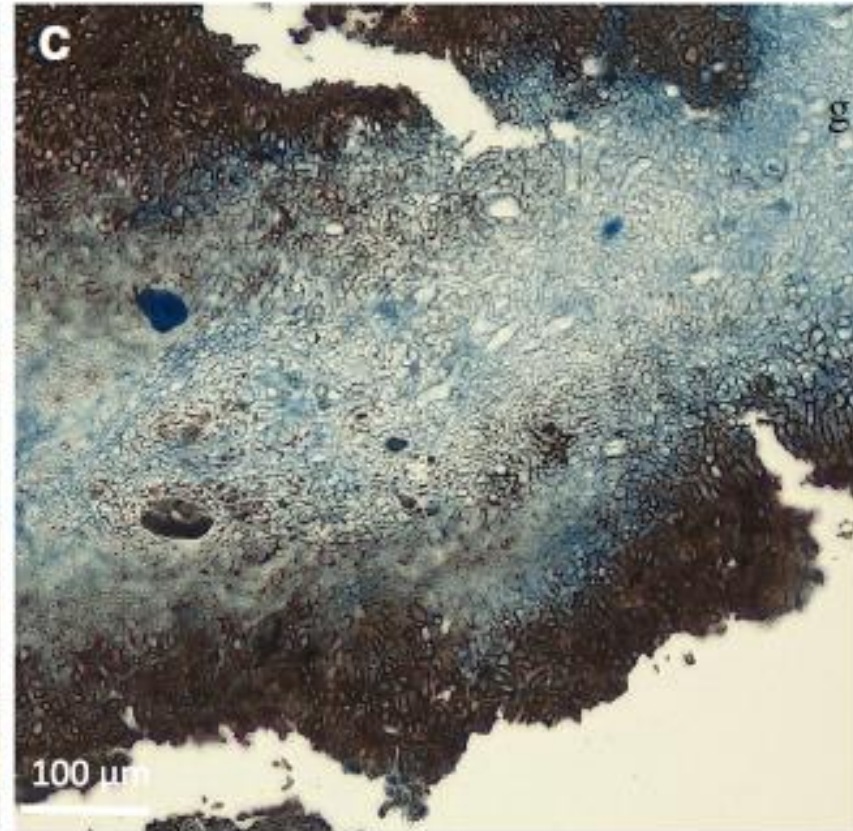
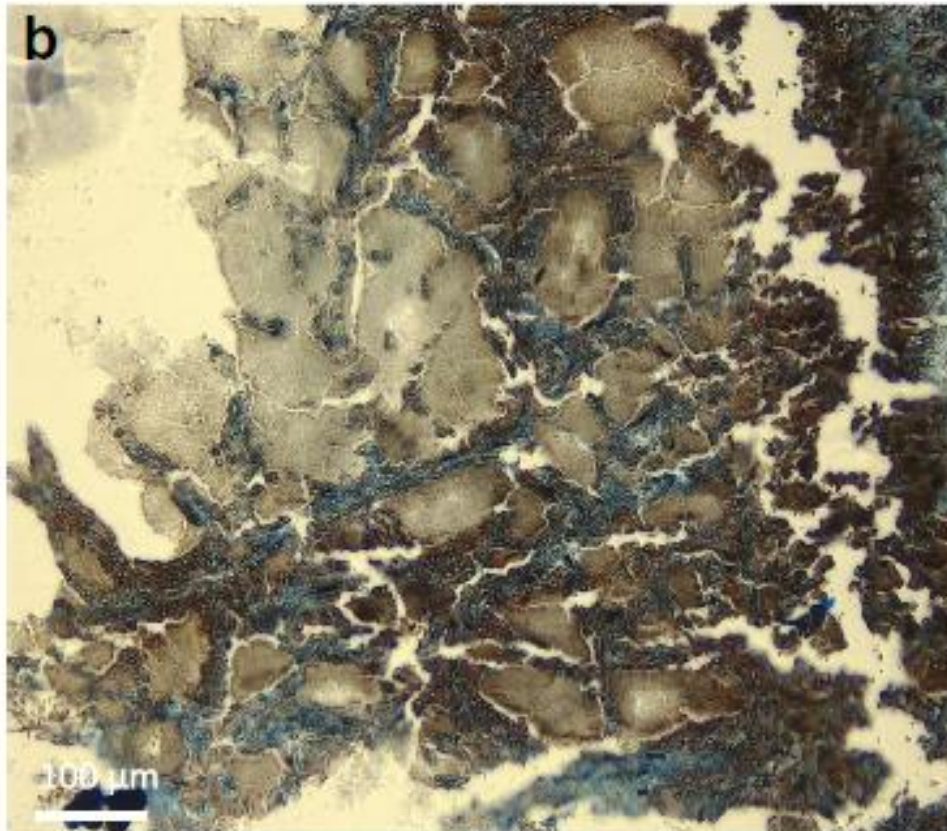
canal

gleba

Mycelium externe et particules de sol

canal

gleba



Point d'attache, constitué de quelques centaines de filaments mycéliens, certains de plus gros diamètre (fonction conductrice)

Article dans une revue internationale décrivant une structure fongique connectant la truffe à l'arbre


Mycorrhiza

<https://doi.org/10.1007/s00572-019-00892-4>

ORIGINAL ARTICLE



New insights into black truffle biology: discovery of the potential connecting structure between a *Tuber aestivum* ascocarp and its host root

Aurélie Deveau¹  • Philippe Clowez² • François Petit³ • Jean-Paul Maurice⁴ • Flora Todesco¹ • Claude Murat¹ • Maryline Harroué⁵ • Julien Ruelle⁵ • François Le Tacon¹

Received: 7 November 2018 / Accepted: 25 March 2019

© Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2019

Abstract

According to isotopic labeling experiments, most of the carbon used by truffle (*Tuber* sp.) fruiting bodies to develop underground is provided by host trees, suggesting that trees and truffles are physically connected. However, such

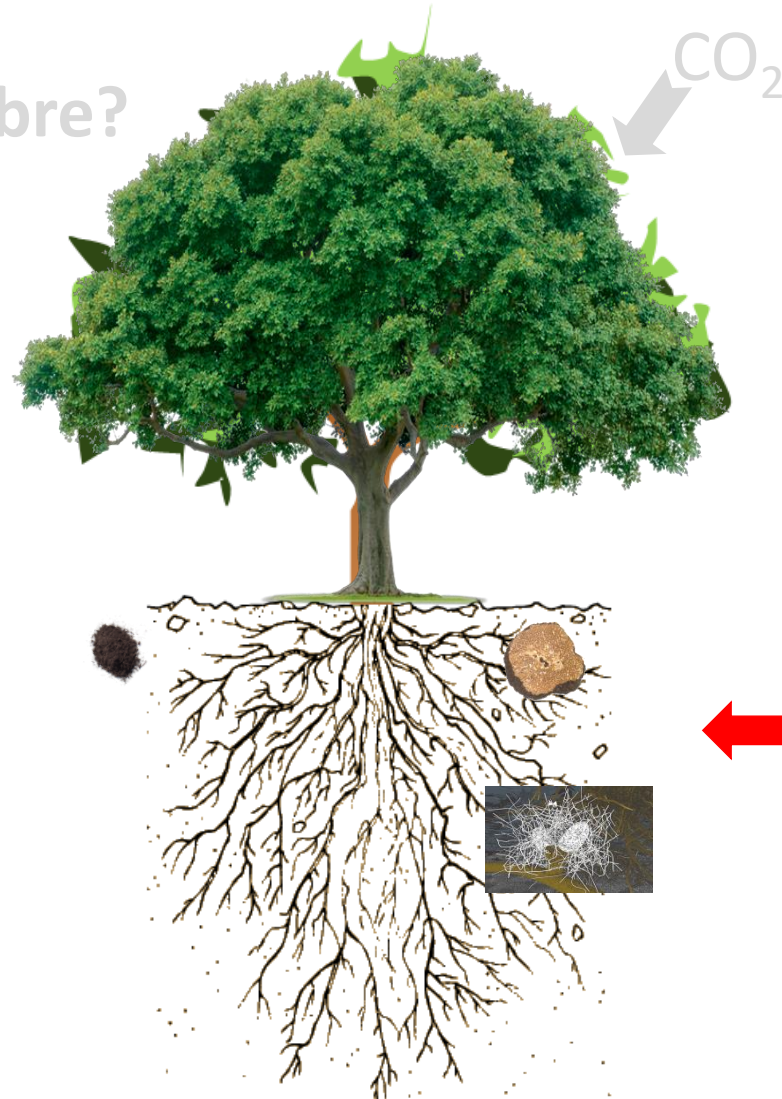
UNE DES QUESTIONS DE RECHERCHE : Comment la truffe s'alimente-t-elle?

Est-ce à partir de l'arbre?

Hétérotrophie

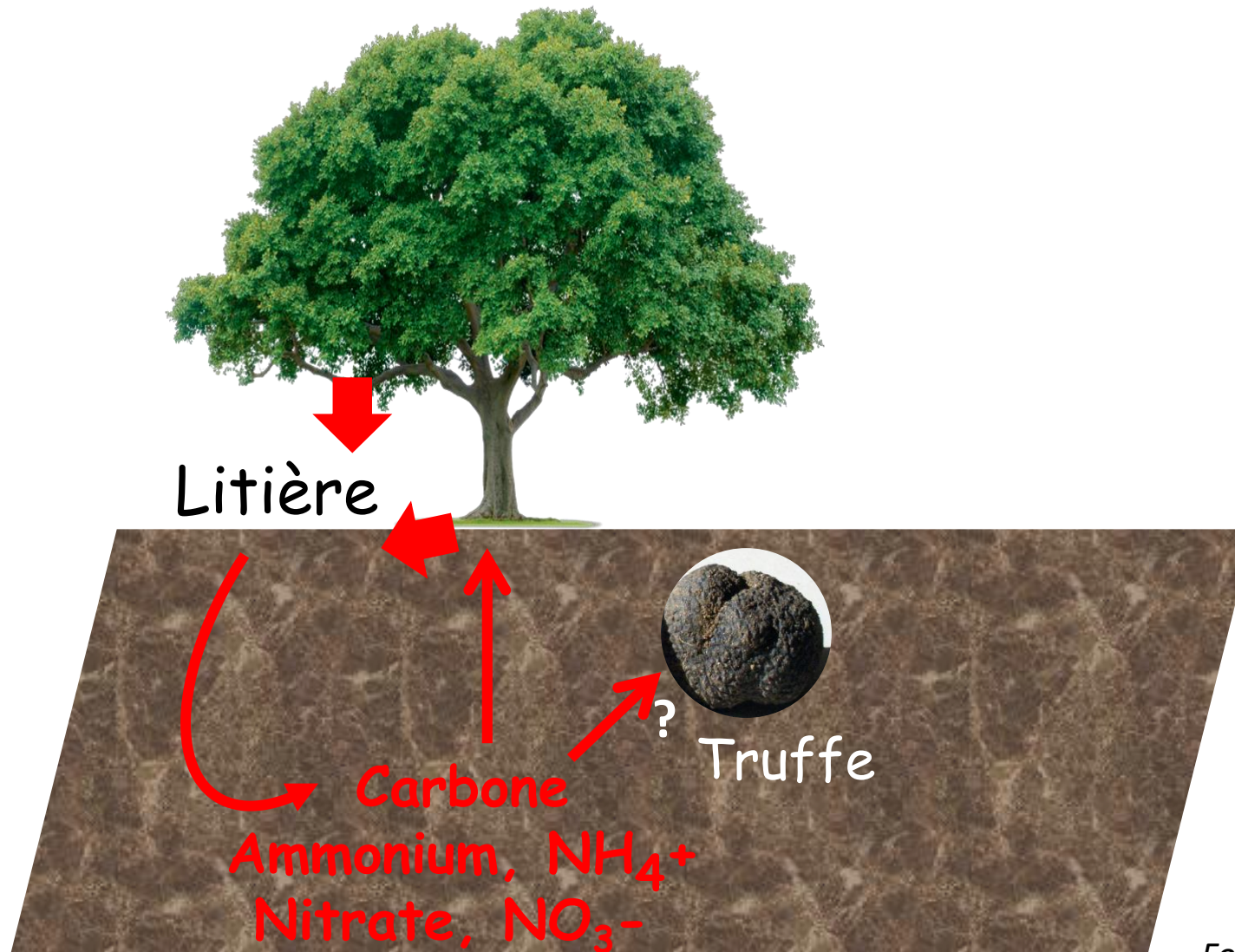
Est-ce à partir de la
matière organique
du sol?

Saprotrophie



← carbone (C),
azote (N)

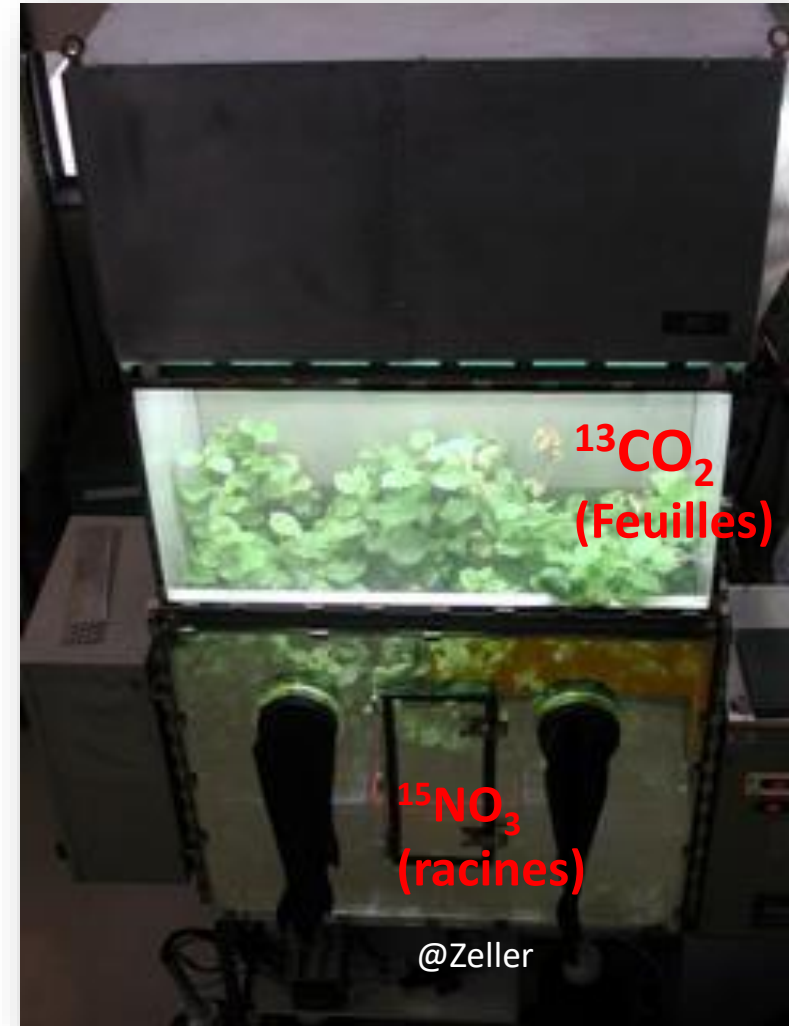
Dynamique de la matière organique dans le sol



Fabrication d'une litière organique marquée

^{13}C et ^{15}N

au CEA à Cadarache, en chambre à atmosphère contrôlée ($^{13}\text{CO}_2$) avec une solution nutritive contenant du $^{15}\text{NO}_3$.





Mélange de la litière broyée enrichie et ^{13}C et ^{15}N avec le sol





**Incorporation de la litière enrichie au ^{13}C et ^{15}N
en mars (Vosges)**

@Robin

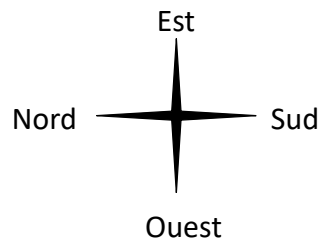
Formation WETRUF, 5 mai 2021



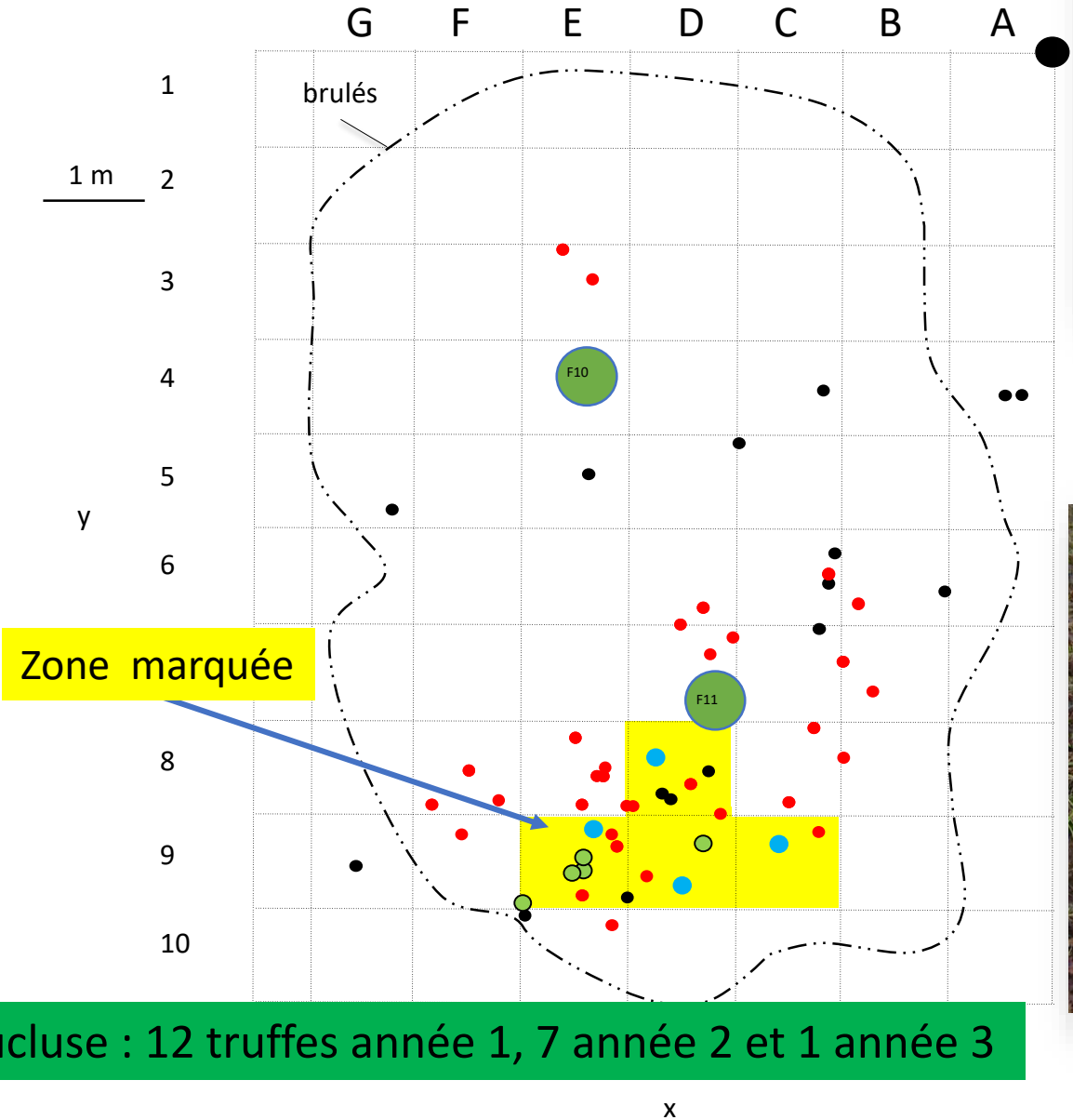
**Incorporation de la litière enrichie au ^{13}C et ^{15}N
en mai (Vaucluse)**

@Le Tacon

Formation WETRUF, 5 mai 2021



Localisation des truffes sur le brûlé (Vosges)



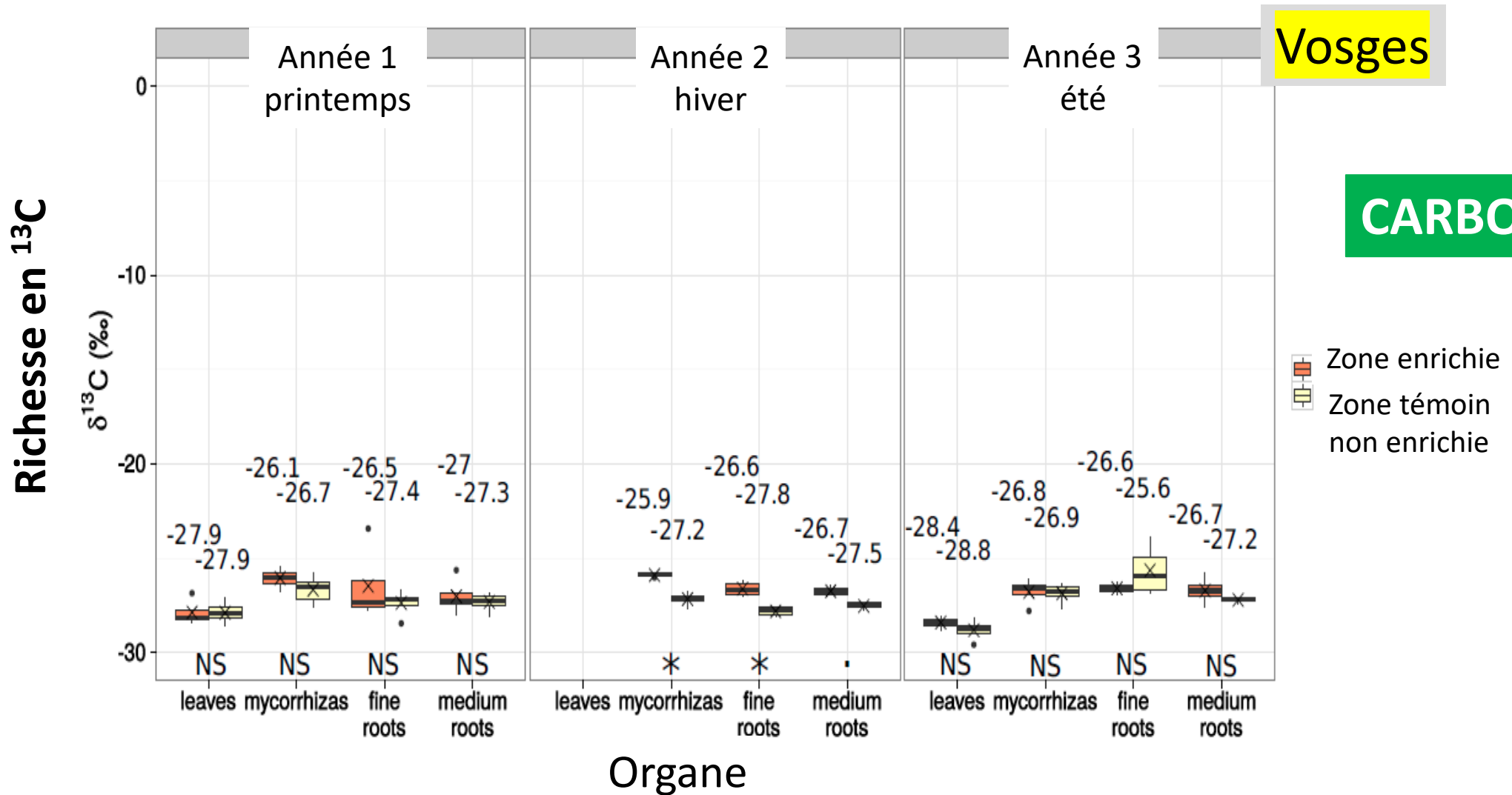
- Truffes année -1
- truffes année 1
- truffes année 2
- truffes année 3



● Hazels F10 and F11

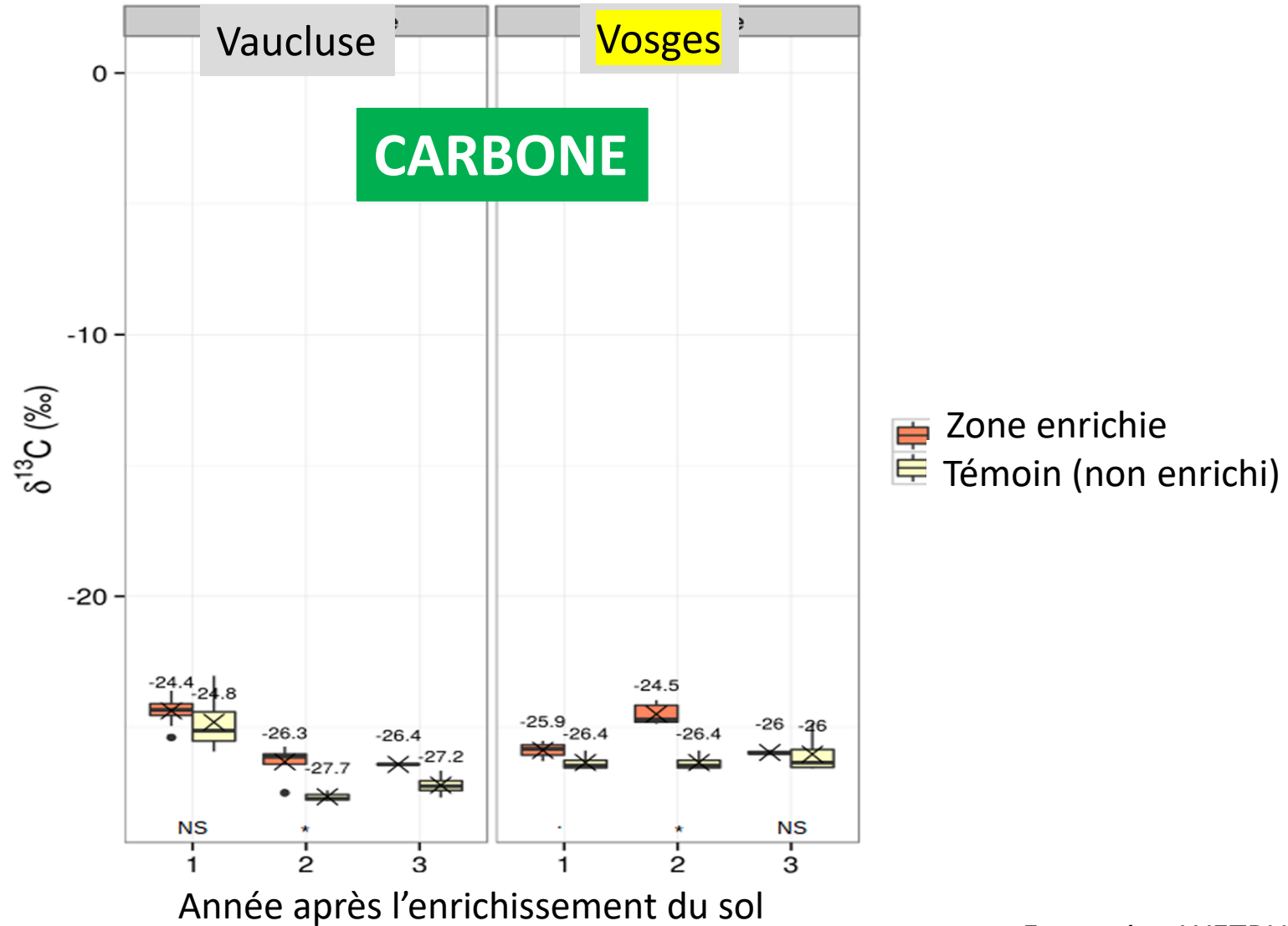
Dans le Vaucluse : 12 truffes année 1, 7 année 2 et 1 année 3

Enrichissement isotopique ^{13}C des organes

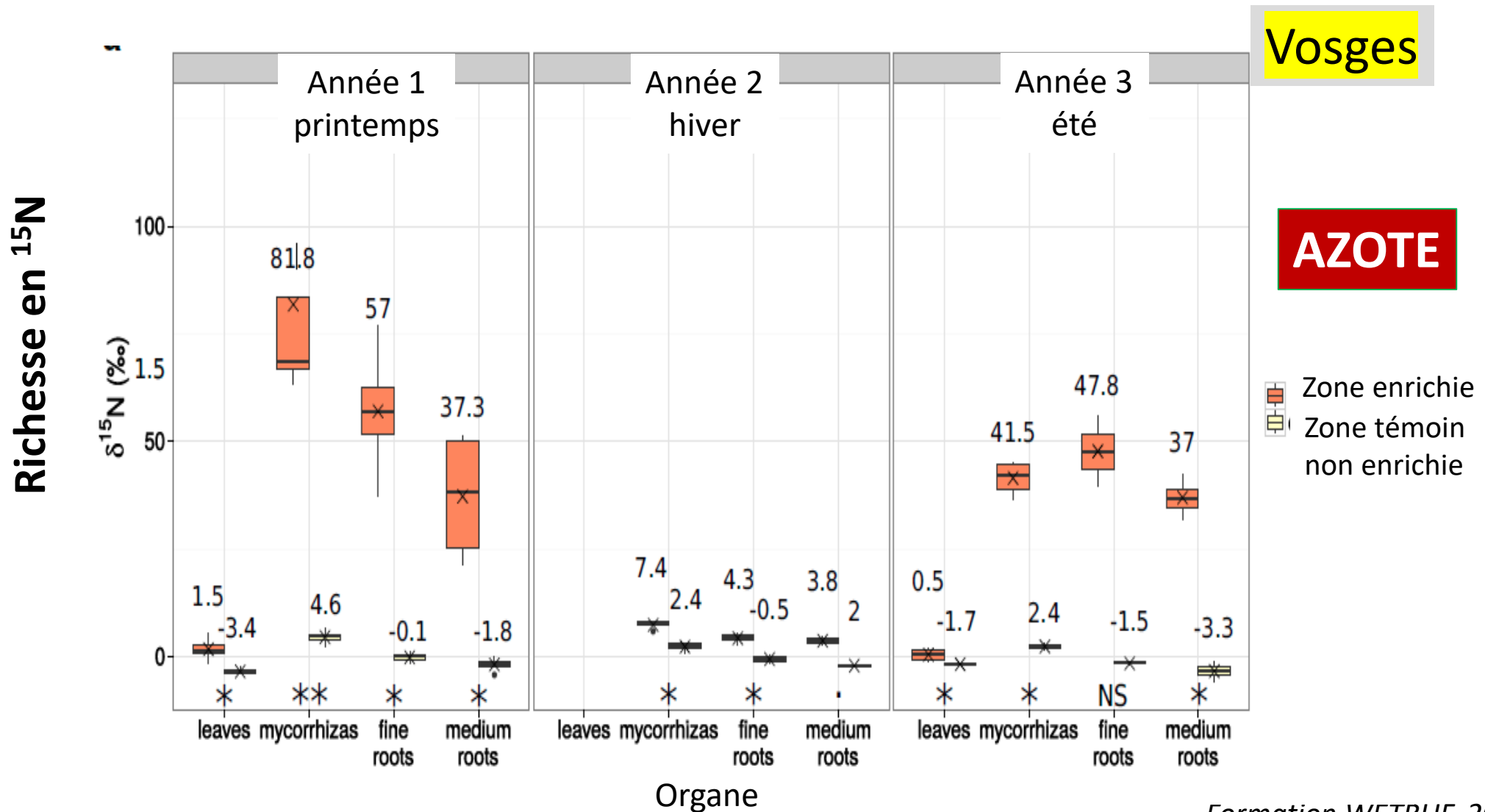


^{13}C dans les truffes

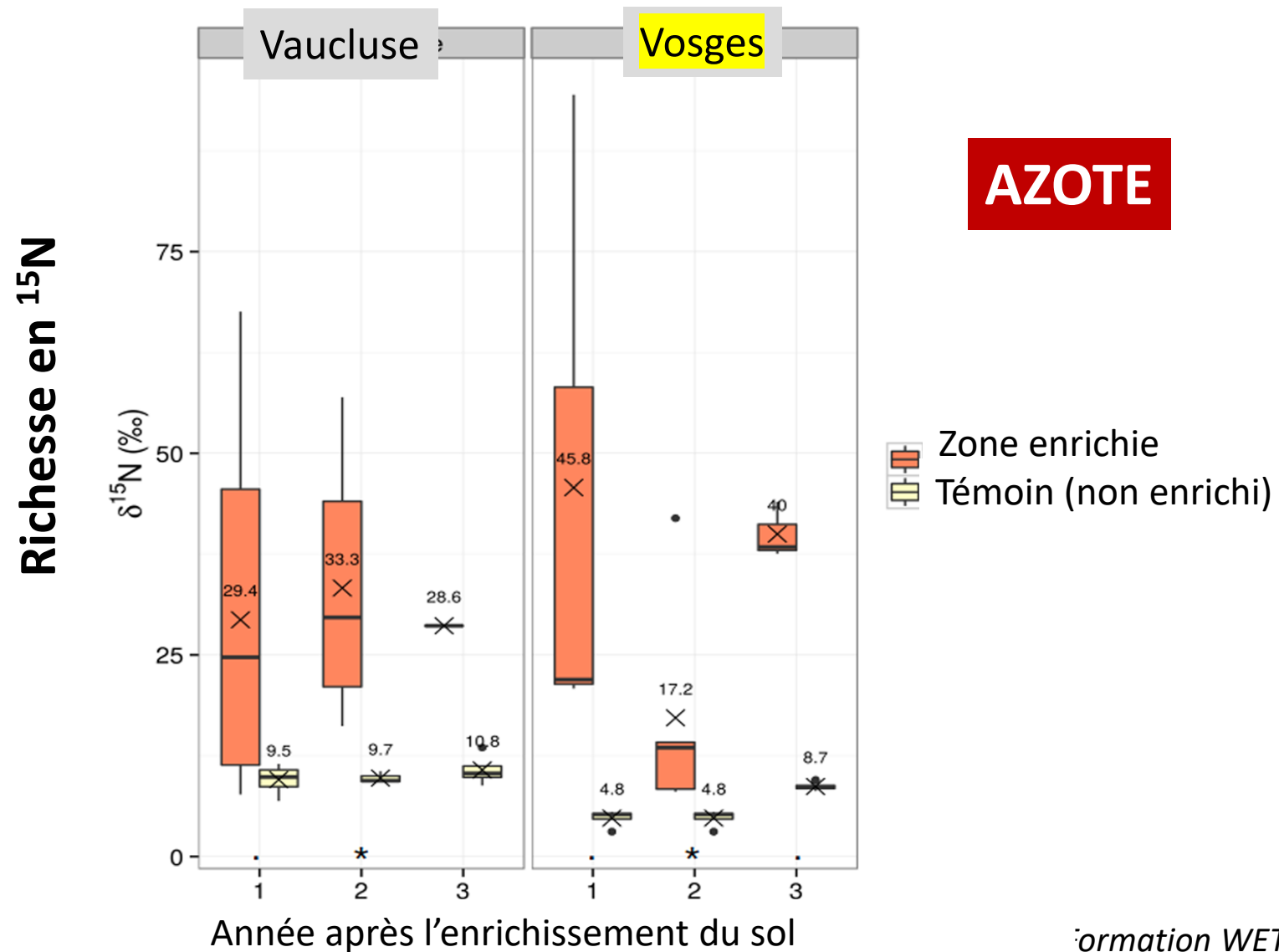
Richesse en ^{13}C



Enrichissement isotopique ^{15}N des organes



¹⁵N dans les truffes



Author's personal copy

Plant Soil (2015) 395:351–373
DOI 10.1007/s11104-015-2557-7



REGULAR ARTICLE

Study of nitrogen and carbon transfer from soil organic matter to *Tuber melanosporum* mycorrhizas and ascocarps using ^{15}N and ^{13}C soil labelling and whole-genome oligoarrays

François Le Tacon • Bernd Zeller • Caroline Plain •
Christian Hossann • Claude Bréchet • Francis Martin •
Annegret Kohler • Jean Villerd • Christophe Robin

Received: 18 February 2015 / Accepted: 7 June 2015 / Published online: 27 June 2015
© Springer International Publishing Switzerland 2015

Conclusions

- La truffe puise de très faibles quantités de C issu de la matière organique du sol, provenant de sa minéralisation puis prélevées par les mycorhizes sous forme d'acides aminés ^{13}C - ^{15}N et/ou à partir du $^{13}\text{CO}_2$ dégagé lors de la minéralisation et réabsorbé par les feuilles puis transporté vers les truffes
- L'azote provenant de la minéralisation de la matière organique est prélevé par les racines et les mycorhizes et transféré à la truffe
- C'est l'arbre qui alimente la truffe en carbone et qui assure son grossissement
- La truffe reste liée à l'arbre jusqu'à maturité/récolte

Préconisations culturelles

- Par rapport au grossissement de l'ascocarpe (alimentation)
- Travail du sol : attention à ne pas rompre le lien entre la truffe et la racine. Préconiser un travail du sol superficiel et pas n'importe quand.
- Taille des arbres : plus en rapport avec la gestion de l'eau qu'avec l'alimentation en carbone de la truffe.

Remerciements

ANR SYSTRUF

François Le Tacon, Annegret Kohler, Francis Martin, Patrice Vion, Jean-Louis Churin (UMR 1136 IaM), Bernd Zeller (UR BEF), Caroline Plain, Christian Hossann et Claude Bréchet (UMR Silva), Jean Villerd et Christophe Robin (UMR 1121 LAE) : travaux sur l'hétérotrophie et saprotrophie de la truffe à l'aide d'isotopes du C et de N
Aurélie Deveau, Philippe Clowez, François Petit, Jean-Paul Maurice, Flora Todesco, Claude Murat, Maryline Harroué, Julien Ruellen : travaux sur la connexion entre la truffe et la mycorhize dans la carrière
Les propriétaires de la truffière dans le Vaucluse



Références – articles cités

LE TACON F., ZELLER B., PLAIN C., HOSSAN C., BRECHET C., ROBIN C., 2013. Carbon transfer from the host to *Tuber melanosporum* mycorrhizas and ascocarps followed using a ^{13}C pulse-labeling technique. *PlosOne* 8(5): 1-9.

LE TACON F., ZELLER B., PLAIN C., HOSSAN C., BRECHET C., MARTIN F., KOHLER A., VILLERD J., ROBIN C., 2015. Study of nitrogen and carbon transfer from soil organic matter to *Tuber melanosporum* mycorrhizas and ascocarps using ^{15}N and ^{13}C soil labelling and whole-genome oligoarrays. *Plant and Soil* 395: 351-373 –

DEVEAU A., CLOWEZ P., PETIT F., MAURICE J.P., TODESCO F., HARROUÉ M., RUELLE J., LE TACON F., 2019. New insights into black truffle biology: discovery of the potential connecting structure between a *Tuber aestivum* ascocarp and its host root. *Mycorrhiza*, 29: 219-226.

LE TACON F., ROBIN C., ZELLER B., PLAIN C., MAURICE J.P., HOSSANN C., BRÉCHET C., 2013. Comment la truffe se nourrit-elle ?
Le trufficulteur, 82 : 20

LE TACON F., ZELLER B., PLAIN C., HOSSANN C., BRÉCHET C., ROBIN C., 2013. Le mode d'acquisition du carbone pendant le développement des ascocarpes de *Tuber melanosporum* Vittad. *Le trufficulteur*, 83(2) : 10-14.

LE TACON F., ROBIN C., ZELLER B., PLAIN C., MAURICE J.P., HOSSANN C., BRÉCHET C., 2014. Comment la truffe se nourrit-elle ?
La nutrition carbonée et azotée de l'ascocarpe. *Le trufficulteur*, 87(2) : 15-16.