



**Les mycorhizes arbusculaires comme  
indicateurs de la santé des plantes et des  
successions végétales sur 4 parcs à résidus  
miniers végétalisés au Québec**

**Christine Lethiellieux-Juge, Normand Cossette  
Thomas Jeanne & Richard Hogue  
Mycorhizes 2022, UL, Québec, 21 octobre 2022**





M E R D U L A B R A D O R

# Labrador

## Labrador City

mines de fer du  
Mont-Wright, du  
Lac Bloom et  
d'IOC

## Goose-Bay

ancienne  
mine de  
fer de  
Gagnon

# Québec

## Baie-Comeau

# Terre Neuve

Golfe du Saint-Laurent

PARC  
NATIONAL DE  
GROS MORNE

Sandy Lake  
Grand Lac

Déroit de  
Belle-  
Île, Canada

Henley  
Harbour

St.-Augustin

Hopedale

Naskaupi

Smallwood  
Reservoir

Schefferville

Lac Ashuanipi

Natashtegan

Rivière du  
Petit Mécatina

Magpie

LAURENTIDES  
Rivière  
Manicouagan  
SEPT-ÎLES-  
PORT-CURTIER

Sept-Îles

Sandy Lake  
Grand Lac

Sandy Lake  
Grand Lac

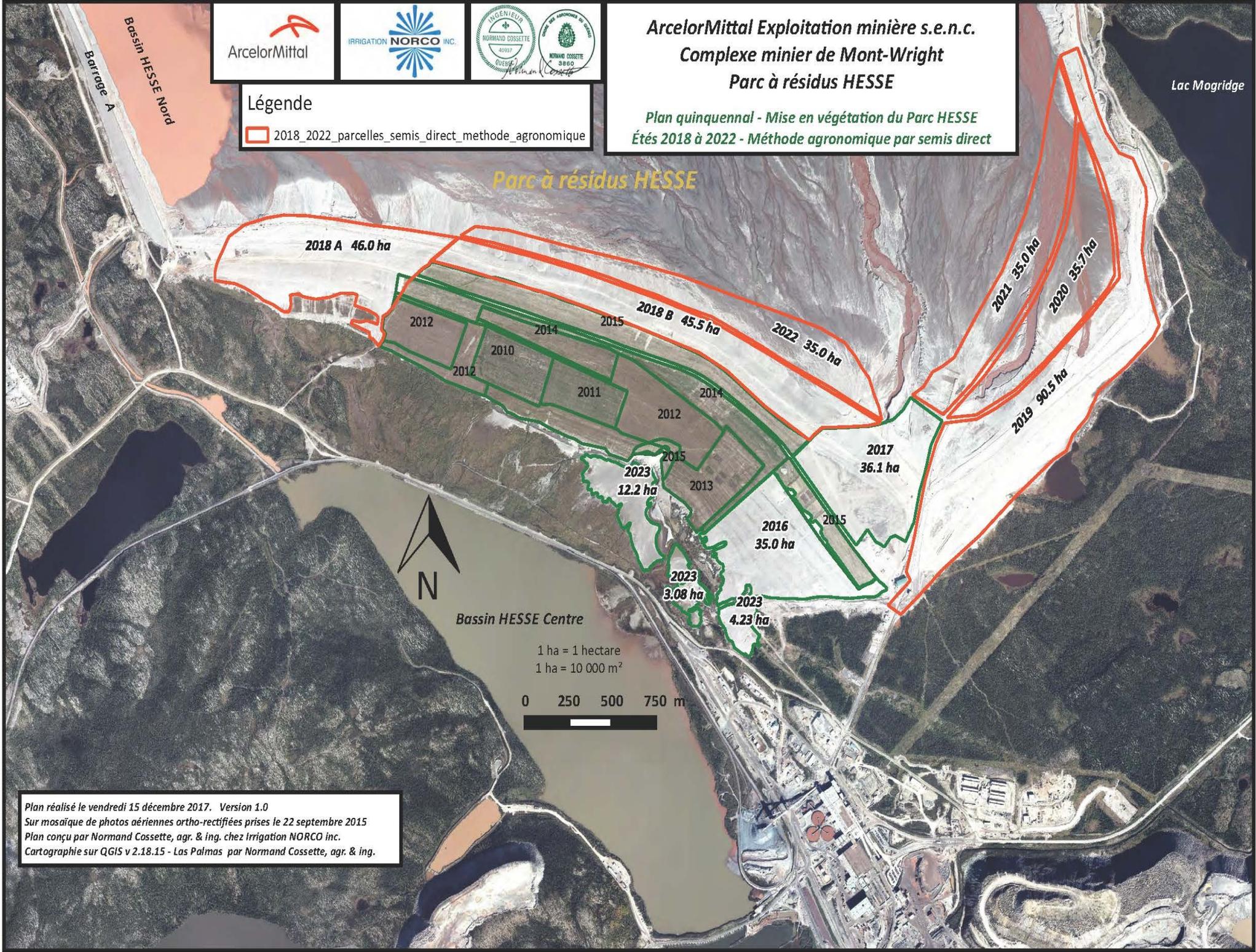


**ArcelorMittal Exploitation minière s.e.n.c.**  
**Complexe minier de Mont-Wright**  
**Parc à résidus HESSE**

*Plan quinquennal - Mise en végétation du Parc HESSE*  
*Étés 2018 à 2022 - Méthode agronomique par semis direct*

**Légende**

2018\_2022\_parcelles\_semis\_direct\_methode\_agronomique



Plan réalisé le vendredi 15 décembre 2017. Version 1.0  
 Sur mosaïque de photos aériennes ortho-rectifiées prises le 22 septembre 2015  
 Plan conçu par Normand Cossette, agr. & ing. chez Irrigation NORCO inc.  
 Cartographie sur QGIS v 2.18.15 - Las Palmas par Normand Cossette, agr. & ing.

# Parc à résidus de Gagnon, 35 ans après...



# Parc à résidus de Gagnon, 35 ans après...



Dryade de Drummond



Immortelle



Fétuque rouge



Salix sp.

## **Le travail d'Irrigation NORCO depuis plus de 25 ans: 4 sites de résidus miniers à végétaliser**

- **Site de Wabush (Labrador Ouest): 1996-2014: 1150 ha dont > 750 ha reverdis par Irrigation NORCO. Et le reste ?**
- **Site d'IOC (Labrador Ouest) depuis 1999 : > 1040 ha, dont plus de 620 ha reverdis par Irrigation NORCO**
- **Site du Mont-Wright (Québec) depuis 2010 : > 1600 ha, dont 466 ha reverdis par Irrigation NORCO**
- **Site du Lac Bloom (Québec) depuis 2011 : capacité > 1100 ha, 87 ha reverdis par Irrigation NORCO**



## **Végétalisation NORCO: étapes et technologies**

- **Systeme d'irrigation (Wabush, 1996-2006)**
- **Paillis = contrôle de l'érosion éolienne; haies micro brise-vents**
- **Semis direct ou à la volée de graines d'herbacées adaptées**
- **Plantation éventuelle de ligneux indigènes**
- **Bio-fertilisation: fumiers de volaille**
- **Hydrosemis sur les pentes**
- **Suivi annuel et fertilisation lorsque requis**



# Épandage de foin pour contrôler l'érosion éolienne



# Bio-fertilisation: fumier de poules pondeuses séché granulé (actisol)



**=> introduction de microorganismes  
et de spores dans le sol recréé  
= indispensables pour amorcer la  
trilogie : sol-plantes-microbes**

# Semis du mélange de graines adaptées



# 1ère année = P1 levée des semences d'annuelles



Photo C. Juge Mont-Wright 09/09/2022



Photo C. Juge 16/09/2016

# 2ème année = P2 émergence des vivaces sous le seigle d'automne bisannuel



# 3ème & 4ème année = P3

- installation de la végétation pérenne
- premières adventices indigènes

# 5-9 ans après = P4 apparition spontanée des premiers saules



# 5-9 ans après = P4 diversification des espèces



# 10-29 ans après = P5 les successions végétales en marche

Site de Wabush, 10 ans après

canal d'irrigation devenu ruisseau

opération de re-fertilisation

Photos Normand Cossette

# 10-29 ans après = P5 les successions végétales en marche

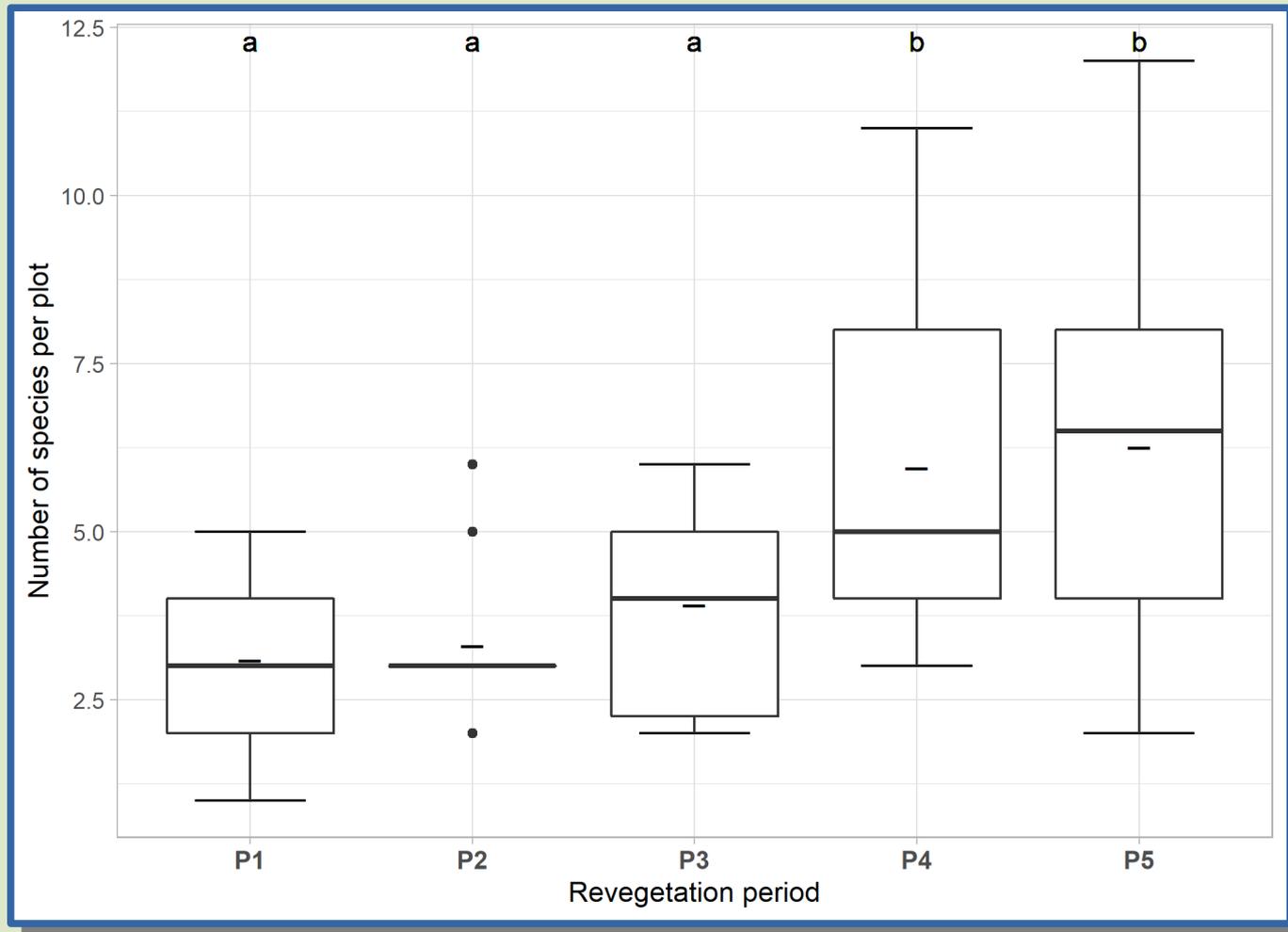


Site d'IOC le 25/07/18  
Parcelle végétalisée en 2000

Photos Christine Juge

Site d'IOC le 25/07/18  
Parcelle végétalisée en 1990

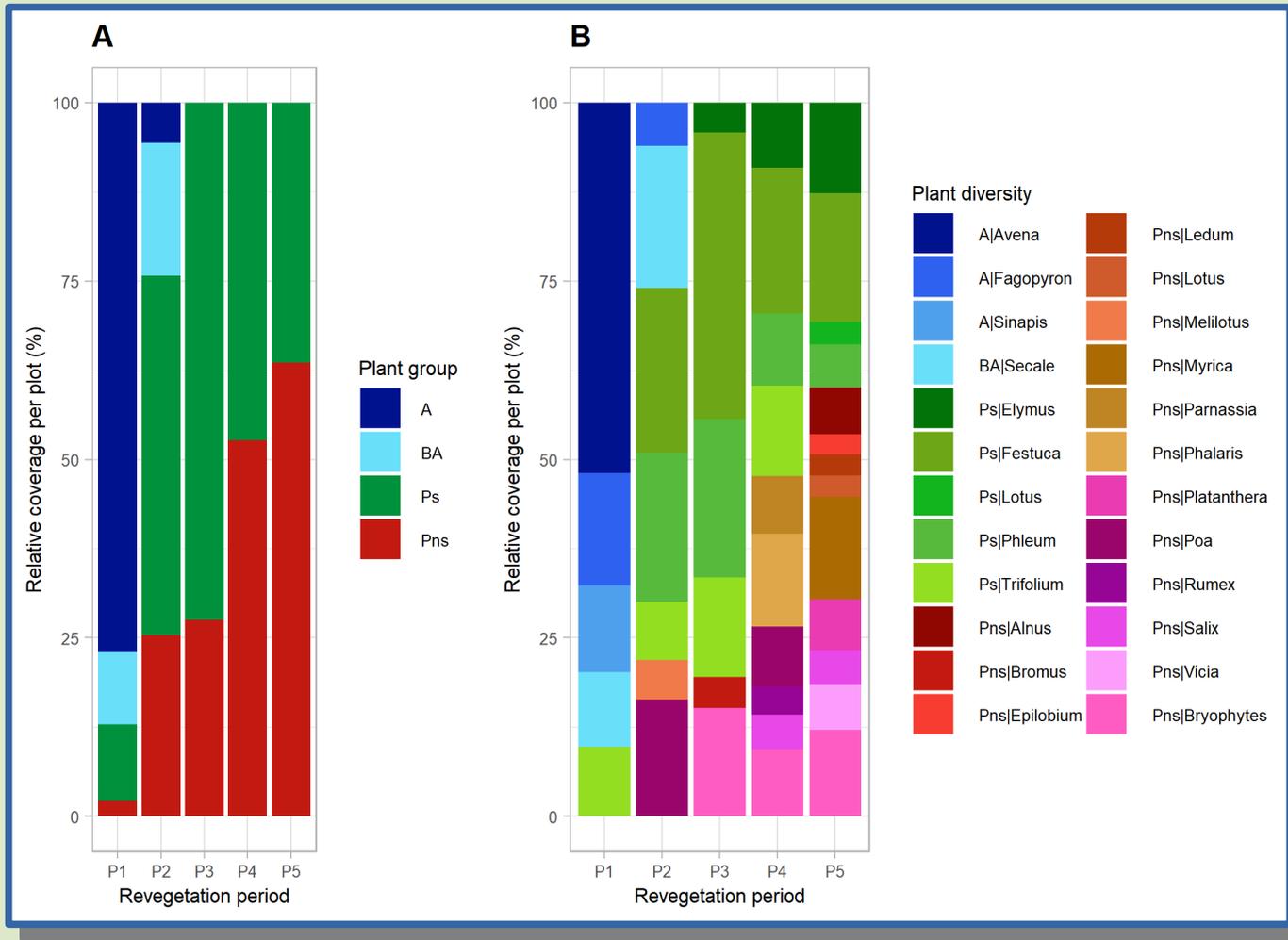
# Progression du nombre d'espèces végétales sur les tailings végétalisés



**P1: année 1**  
**P2: année 2**  
**P3: années 3-4**  
**P4: années 5-9**  
**P5: années 10-29**



# Evolution des espèces annuelles, bisannuelle, vivaces semées et non semées sur les tailings végétalisés



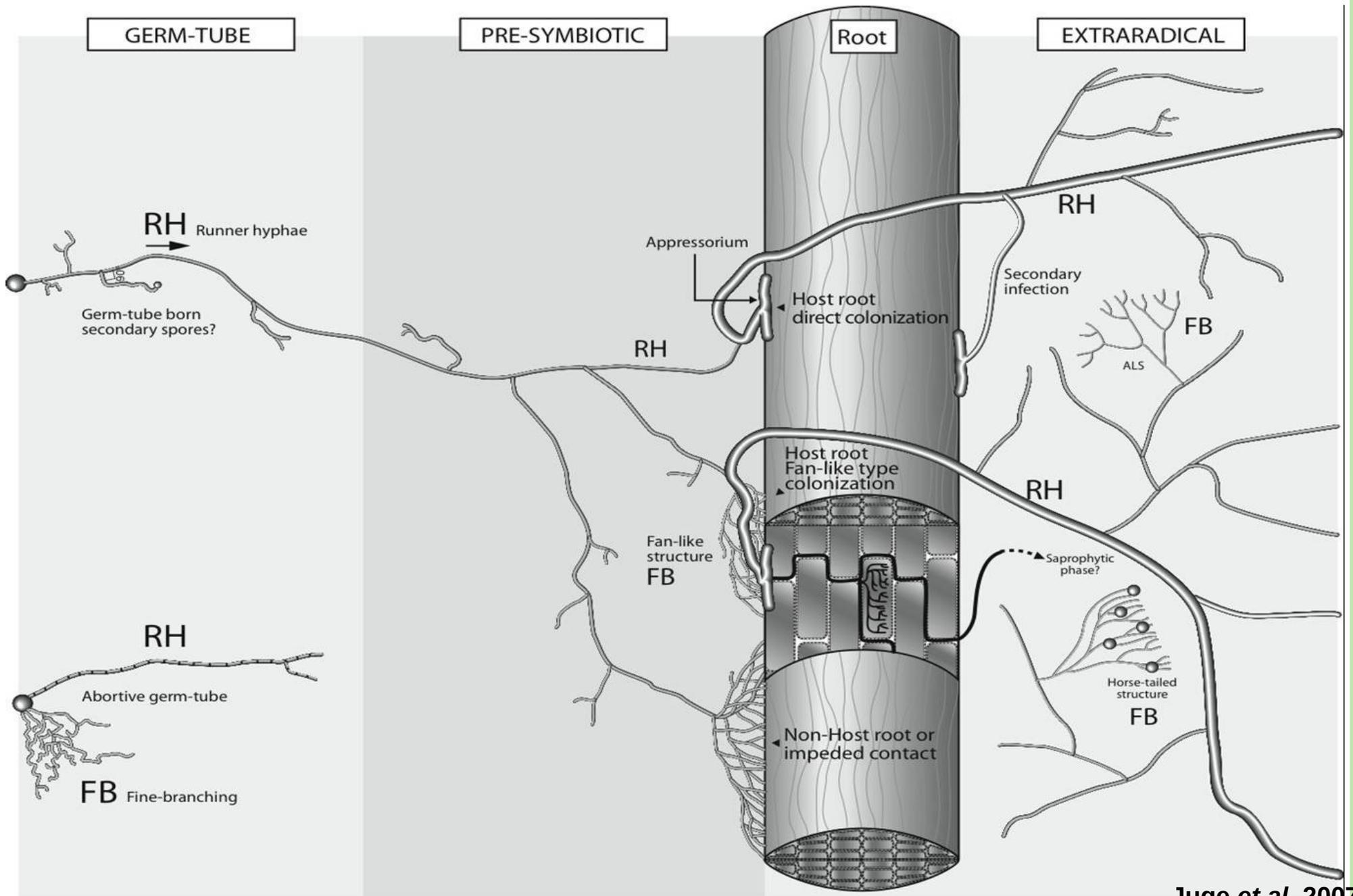
**P1: année 1**  
**P2: année 2**  
**P3: années 3-4**  
**P4: années 5-9**  
**P5: années 10-29**

**A: annuelles**  
**BA: bisannuelle**  
**Ps: pérennes semées**  
**Pns: pérennes non semées**



→ **P1-P3: évolution des espèces vers une végétation pérenne et présence croissante d'adventices**

# Cycle de vie des champignons mycorhiziens arbusculaires

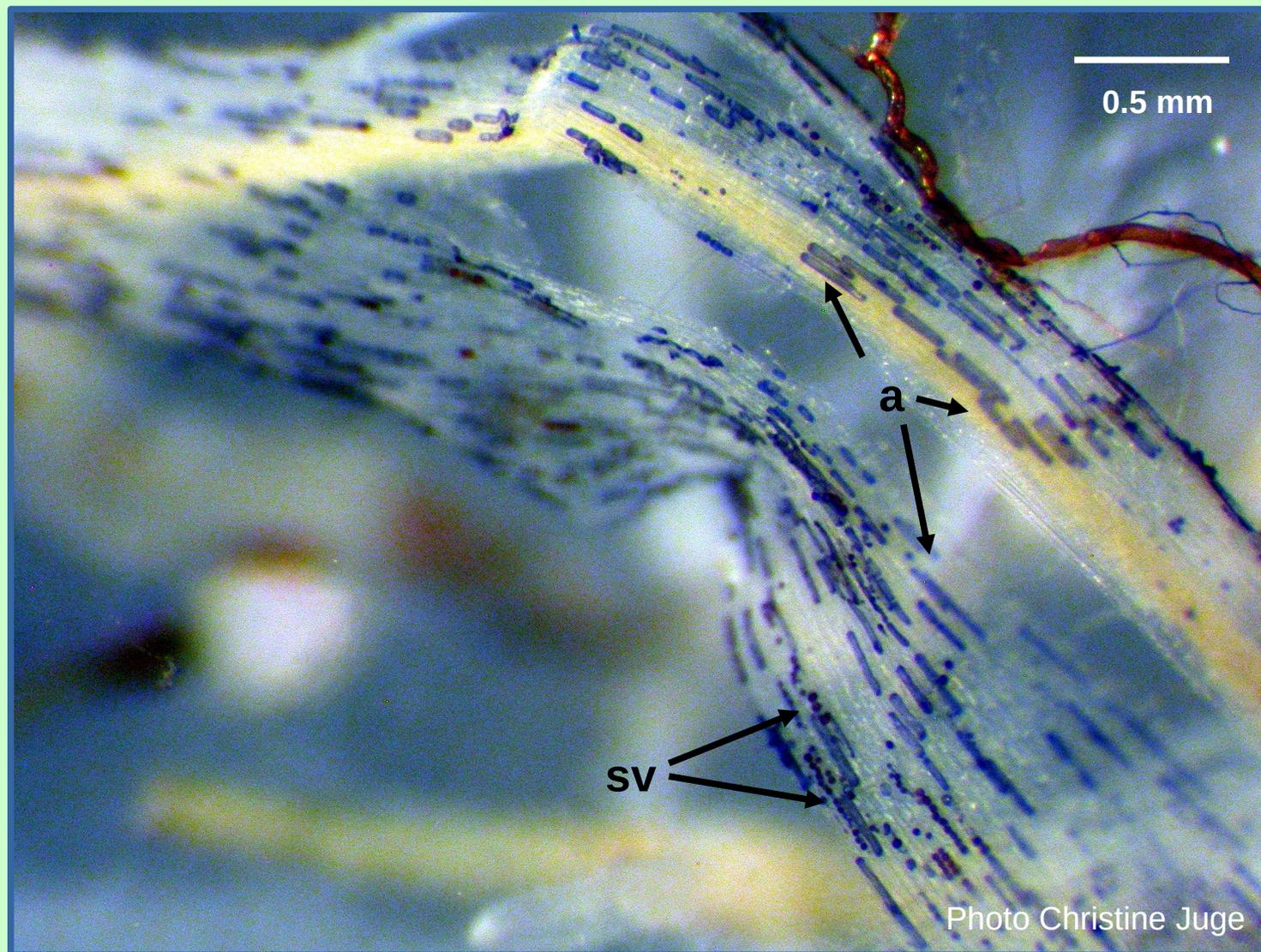


## Cycle de vie du champignon mycorhizien arbusculaire (CMA ou AMF) : le stade *hyphal*



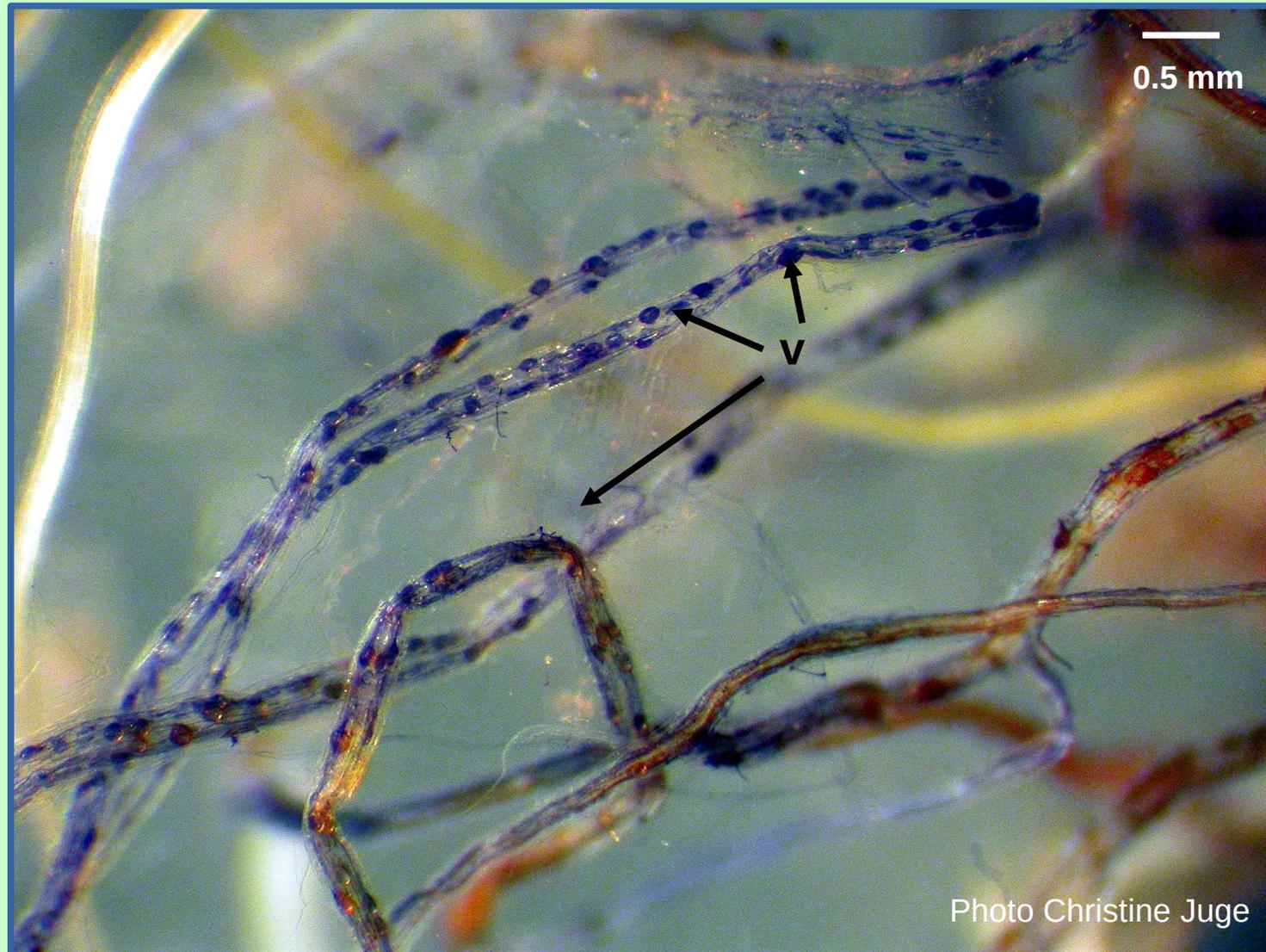
Racine de *F. rubra* prélevée en septembre 2015 sur une parcelle du tailing d'IOC revégétée en 2005, montrant de nombreux **hyphes (h)** colonisant la racine

## Cycle de vie du champignon mycorhizien arbusculaire (CMA ou AMF) : le stade *arbusculaire*



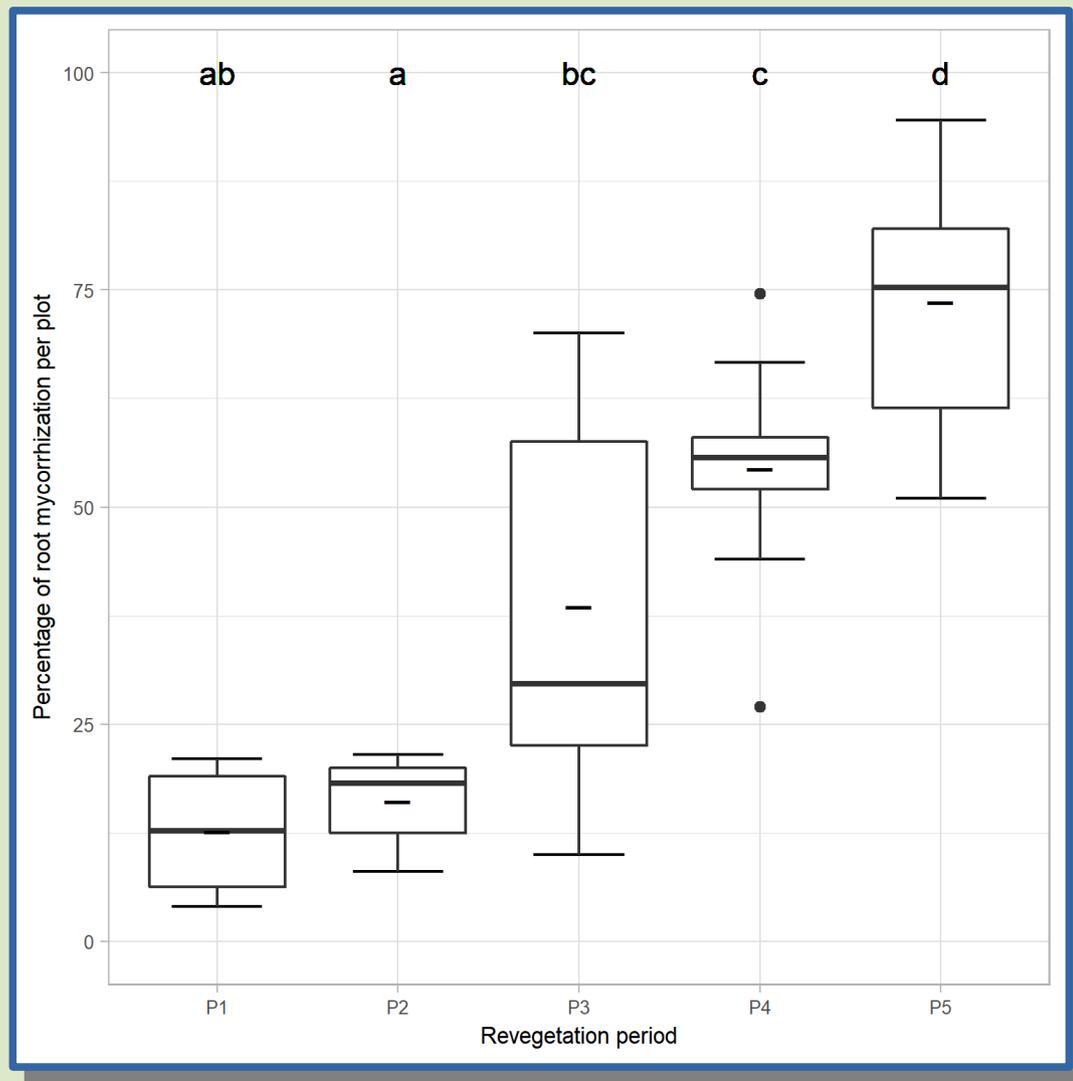
Racines de *A. millefolium* prélevées en septembre 2016 sur une parcelle du site d'AMEM végétalisée in 2010, montrant de nombreux **arbuscules (a)** et de petites vésicules (sv) d'un autre endophyte non mycorhizien

## Cycle de vie du champignon mycorhizien arbusculaire (CMA ou AMF) : le stade vésiculaire



Racines fines d'*Anaphalis margaritacea* prélevées en septembre 2016 sur une parcelle du site du Mont-Wright végétalisée en 2010, remplies de **vésicules (v)** de CMA

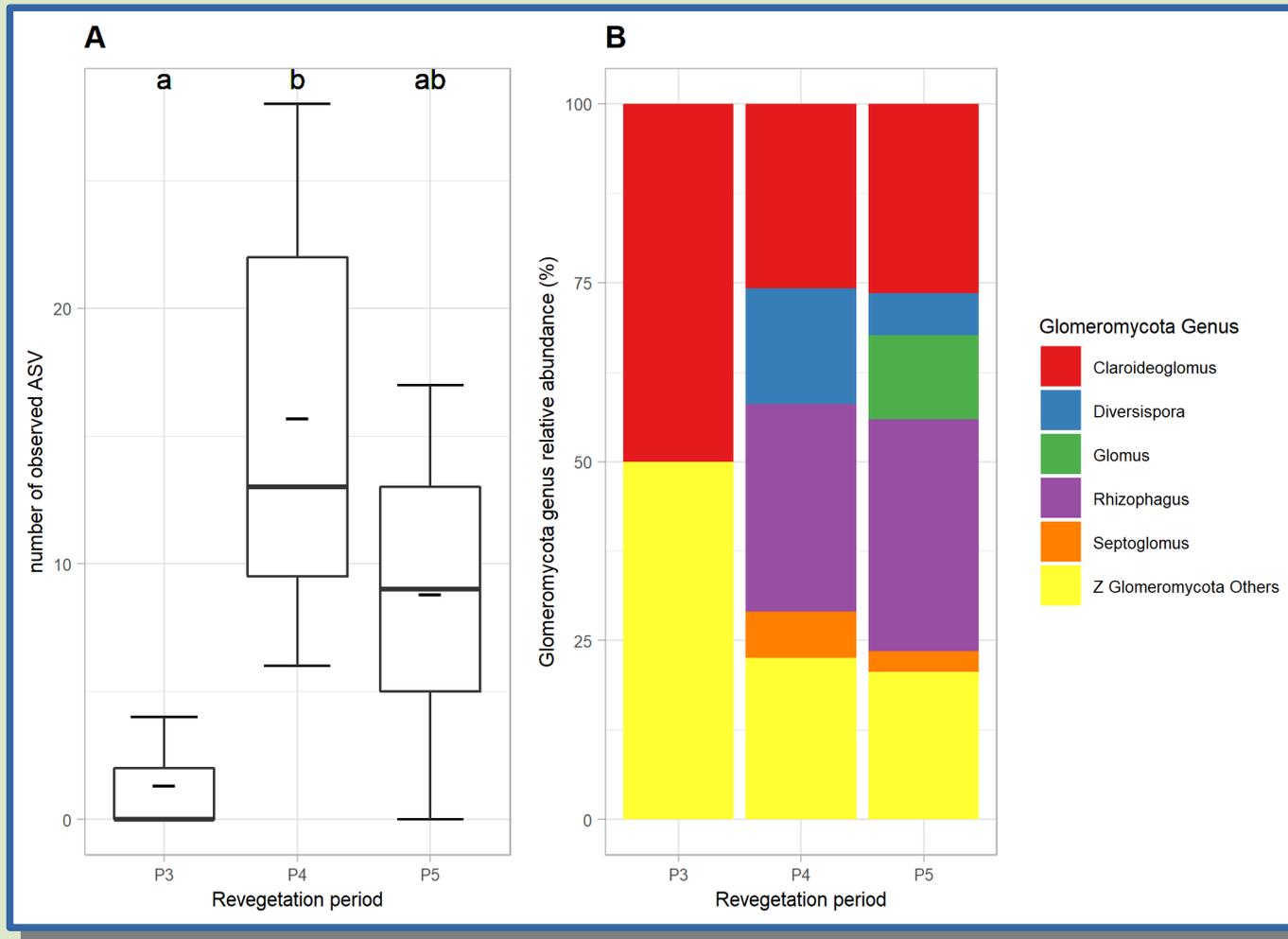
## Evolution des pourcentages de mycorhization selon les 5 périodes de végétalisation



**P1: année 1**  
**P2: année 2**  
**P3: années 3-4**  
**P4: années 5-9**  
**P5: années 10-29**

→ **P1-P5: progression des taux de mycorhization arbusculaire avec l'installation des espèces pérennes**

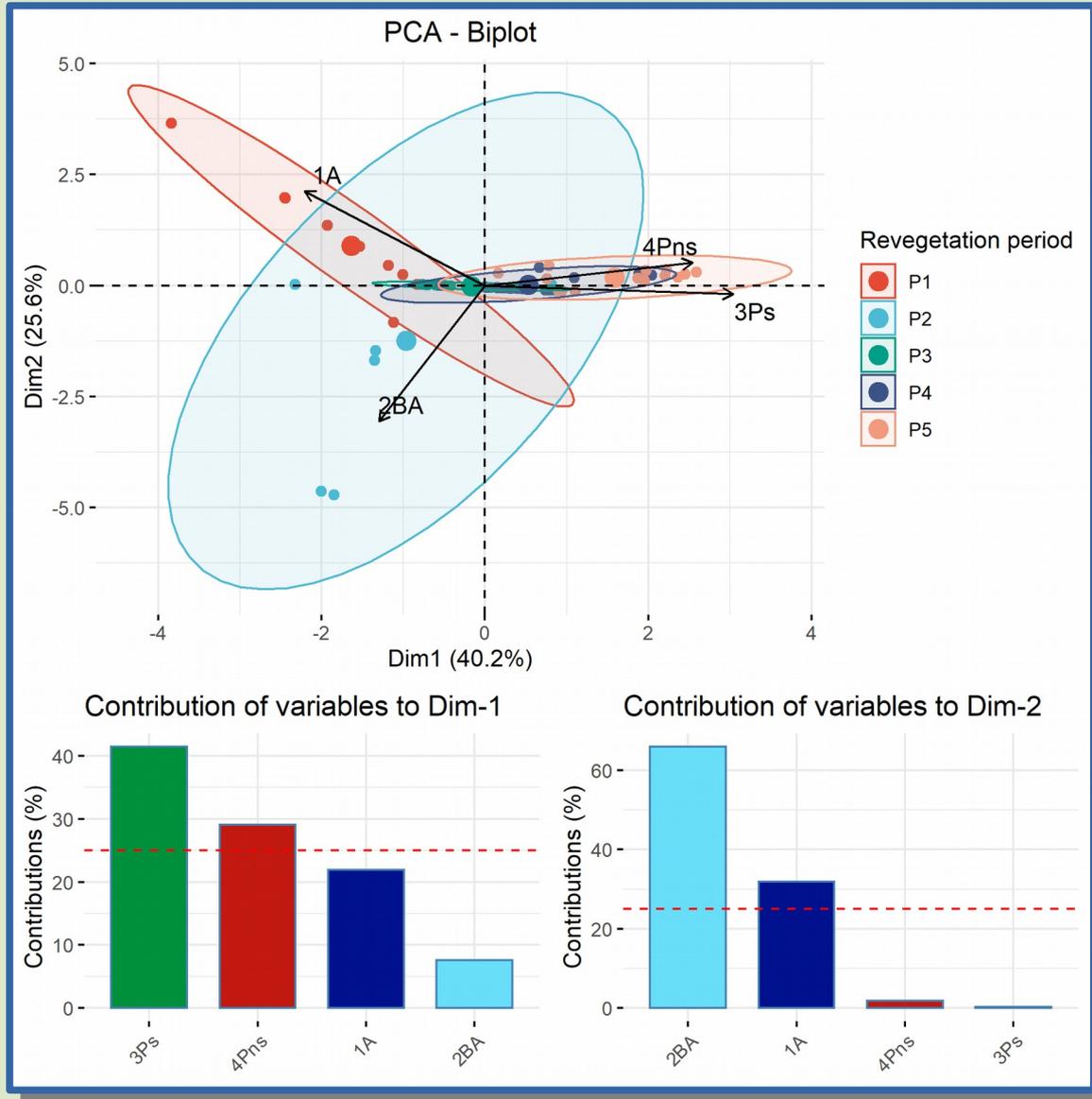
# Evolution des espèces de champignons mycorhiziens arbusculaires selon les périodes de végétalisation



P1: année 1  
P2: année 2  
P3: années 3-4  
P4: années 5-9  
P5: années 10-29

→ P3-P5: évolution des espèces de CMA, apparition du genre *Rhizophagus*

# Analyse multivariée des pourcentages de mycorhization selon les groupes de plantes et les périodes de végétalisation

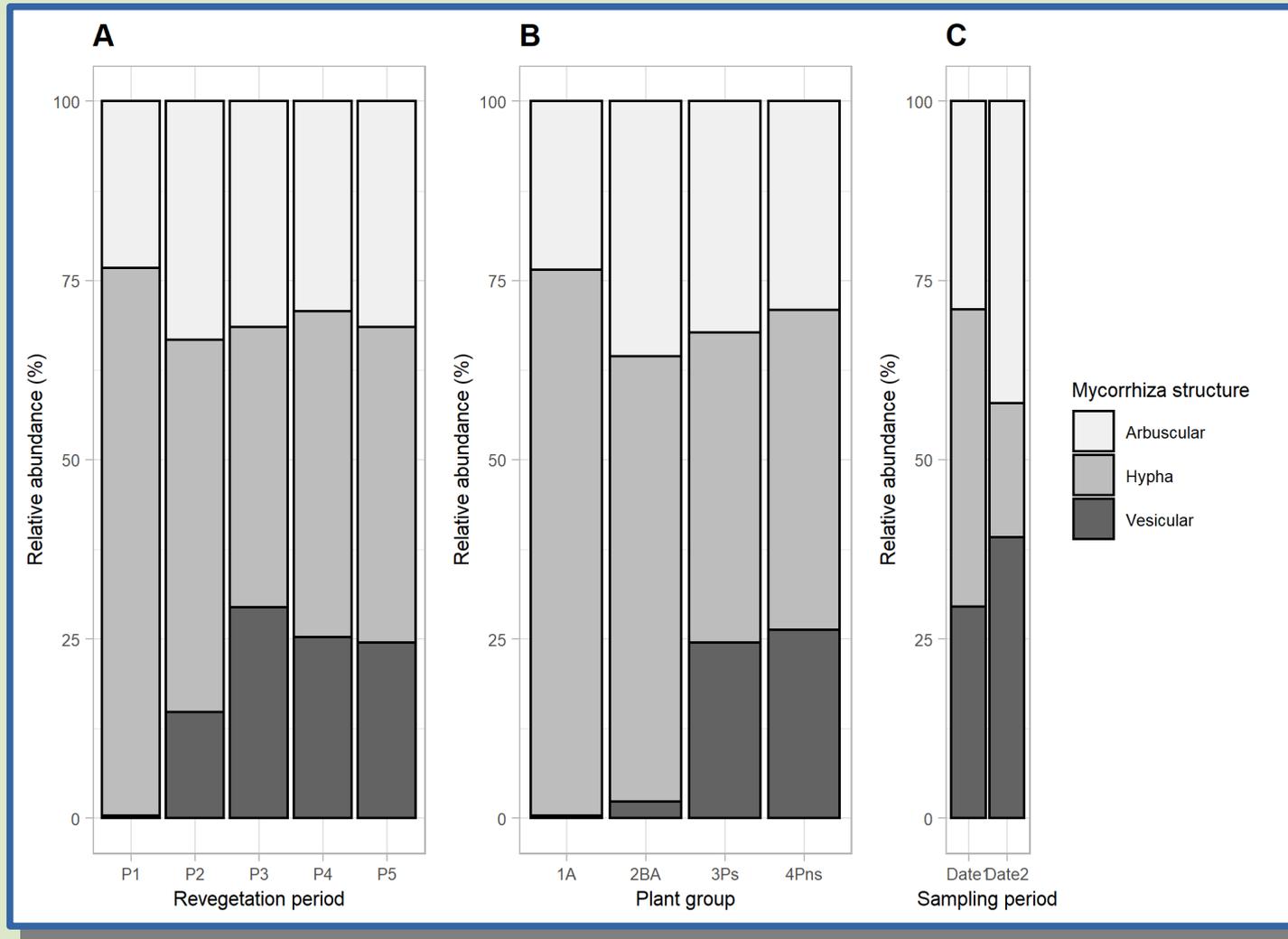


**P1: année 1**  
**P2: année 2**  
**P3: années 3-4**  
**P4: années 5-9**  
**P5: années 10-29**

**A: annuelles**  
**BA: bisannuelle**  
**Ps: pérennes semées**  
**Pns: pérennes non semées**

→ mycorhization arbusculaire des annuelles (P1) et des bisannuelles (P2) ≠ pérennes semées et non semées (P3 à P5)

# Cycle des champignons mycorhiziens arbusculaires selon les groupes de plantes et les périodes de végétalisation



P1: année 1  
P2: année 2  
P3: années 3-4  
P4: années 5-9  
P5: années 10-29

A: annuelles  
BA: bisannuelle  
Ps: pérennes semées  
Pns: pérennes non semées

- P1-P3: progression des taux de vésicules avec l'installation des pérennes
- Présence d'arbuscules et de vésicules en juillet = fin du cycle de l'année passée

# Conclusions : installation de la symbiose mycorhizienne arbusculaire sur les sites miniers végétalisés

- Mycorhization racinaire efficace à partir de la 3ème année : suit l'installation des espèces pérennes
- Faible diversité des espèces d'AMF :
  - *C. claroideum* : majoritaire sur sites récemment végétalisés
  - *R. intraradices* : apparaît après 5 ans de végétalisation = semble plus résistant et adapté aux espèces herbacées et aux conditions du tailing minier
- Le cycle de vie des CMA semble se tenir sur deux ans en conditions nordiques

# MERCI !



## Métagénomique ciblée : Matériel et Méthodes

### ◦ Amplification PCR

- Champignons totaux sur la région ITS1 (McGuire *et al.* 2013)
- Groupes mycorhiziens (18Sr ARN) (Lumini *et al.* 2010)

### ◦ Séquençage haut débit (IBIS-Ulaval)

Séquençage avec stratégie 2X300 sur MiSeq (Illumina)

### ◦ Traitement bio-informatique

Sur Qiime2 (Caporaso *et al.* 2011) en utilisant les bases de références UNITE (Koljalg *et al.* 2013) et SILVA119 (Quast *et al.* 2013)

