



Mieux comprendre les systèmes racinaires pour améliorer la performance de nos systèmes de cultures



Marie-Noëlle Thivierge, agr., Ph.D.
Chercheuse scientifique, Agriculture et Agroalimentaire Canada
marie-noelle.thivierge@canada.ca

Collaborateurs

Stéphanie Houde

agr., B.Sc.

Candidate à la maîtrise en **biologie végétale**,
Université Laval

Anne Vanasse

agr., Ph.D.

Professeure titulaire, **régie des grandes cultures**,
Université Laval

Gilles Bélanger

D.Sc.

Chercheur scientifique, **écophysiologie et agronomie**,
Agriculture et Agroalimentaire Canada

Martin Chantigny

Ph.D.

Chercheur scientifique, **biochimie du sol et éléments nutritifs**,
Agriculture et Agroalimentaire Canada

Denis Angers

Ph.D.

Chercheur scientifique, **gestion et conservation des sols**,
Agriculture et Agroalimentaire Canada

Plan de la présentation



Photo par Marie-Noëlle Thivierge, 2017

1. Mise en contexte

2. Techniques d'étude des racines

3. Les racines et la productivité des sols et des cultures



De meilleurs systèmes racinaires:

- ✓ Meilleurs rendements (surtout en conditions de stress)
- ✓ Meilleure utilisation des fertilisants
- ✓ Conservation des sols
- ✓ Meilleure adaptation aux changements climatiques

Diversité des systèmes racinaires

Biomasse
(tonnes de matière sèche par hectare)

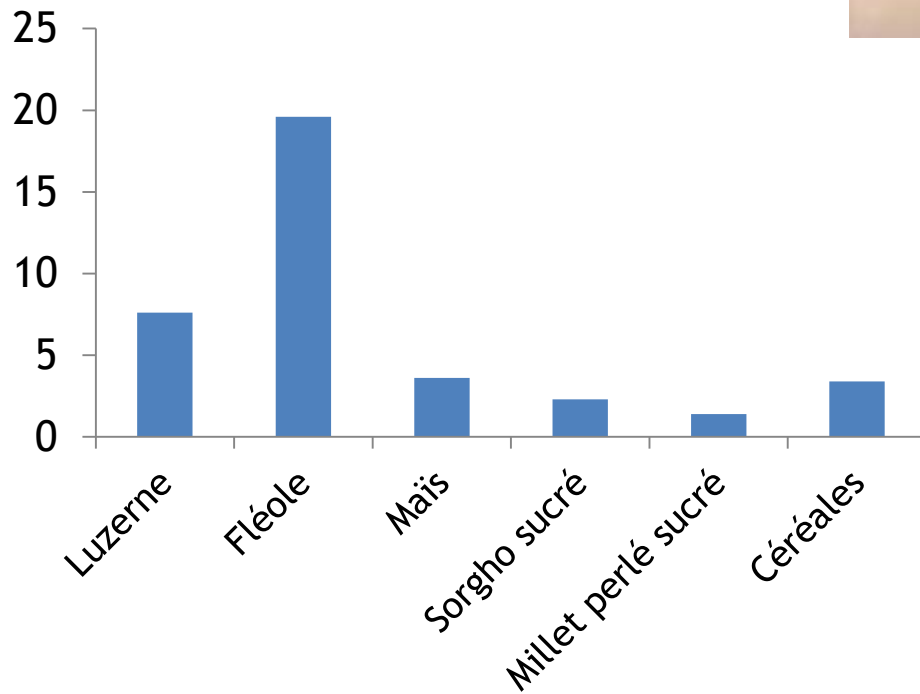


Photo par Marie-Noëlle Thivierge, 2010
Sorgho sucré



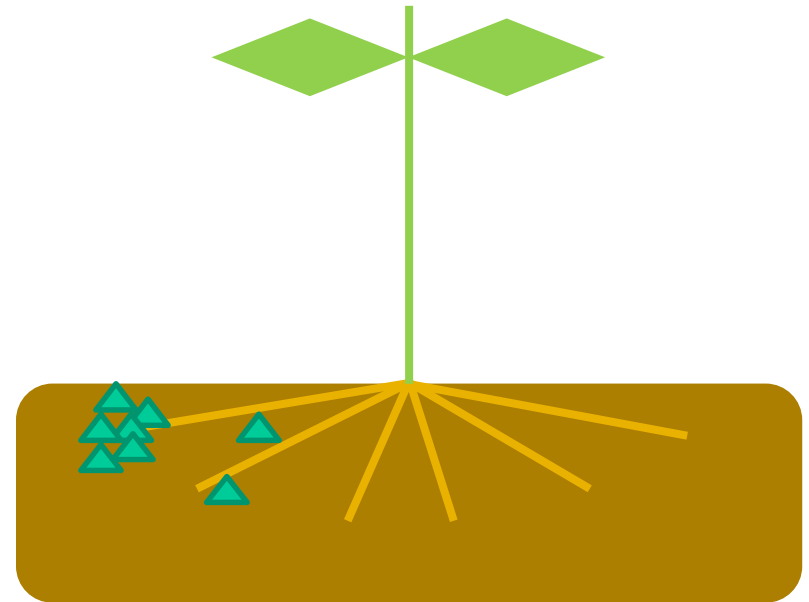
Photo par Marie-Noëlle Thivierge, 2017
Luzerne



Taylor et Shober, Université du Delaware
Fléole des prés

Le sol (**très hétérogène**) influence le développement racinaire

- Éléments fertilisants hétérogènes
- Zones de compaction



Mise en contexte

- Présences de biopores, fentes de retrait, etc.



Photo par Marie-Noëlle Thivierge, 2017



Photo par Stéphanie Houde, 2017



À partir de 60 cm de profondeur, **44% des racines partagent leur chemin avec au moins 3 autres racines** (White et Kirkegaard, 2010)

Blé après luzerne

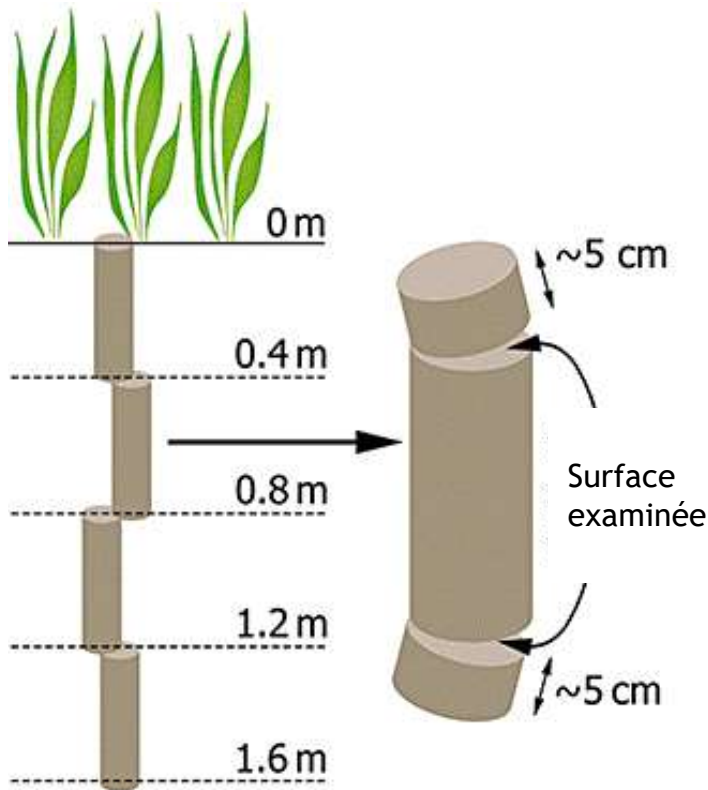


Image tirée de White et Kirkegaard, 2010

À partir de 60 cm de profondeur,
**85-100% des racines passent par
des pores existants** dans le sol

Observations similaires pour
le soya et pour le maïs

De bonnes pratiques culturales
sont cruciales pour favoriser un
enracinement profond

Les racines modifient le sol

- Exsudats racinaires :
 - Mucilage (chaînes de sucres)
 - Enzymes, protéines, etc.
- Racines fines, poils absorbants et hyphes mycorhiziens:
 - Agrégation
 - Création de pores fins
- Apport en matière organique et en carbone



Photo par Lynette Morgan

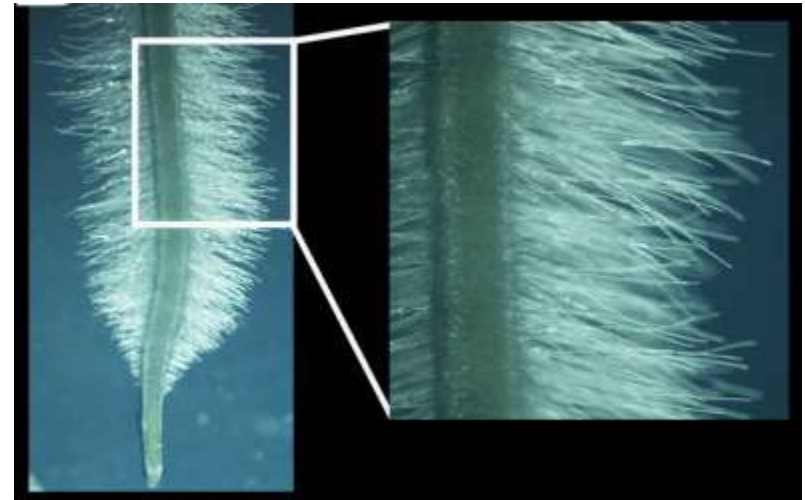


Photo tirée de Paez-Garcia et al., 2015

Nombreuses associations racines-microorganismes

Mycorhizes

Bactérie
Rhizobium

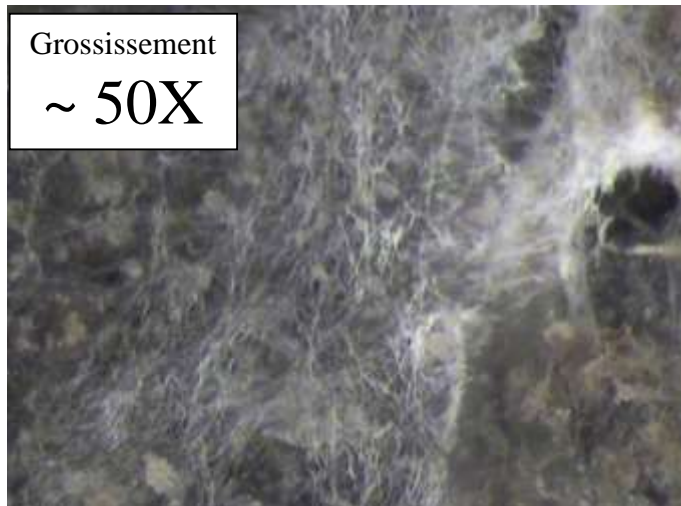


Photo par Marie-Noëlle Thivierge, 2016



Wikiwand.com

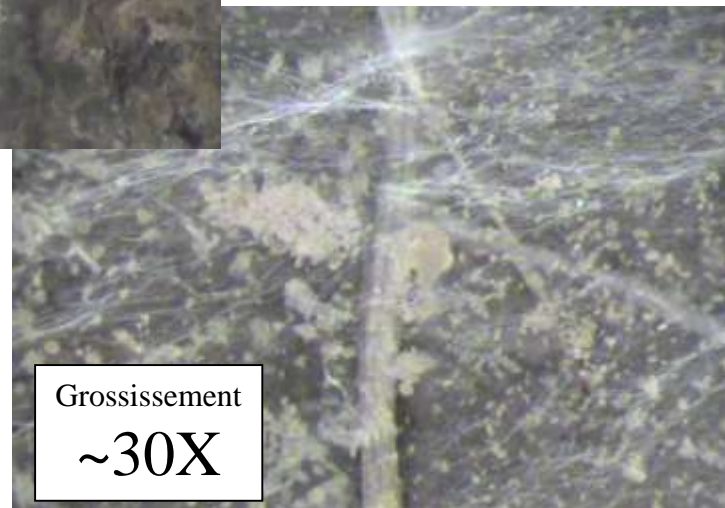


Photo par Marie-Noëlle Thivierge, 2016

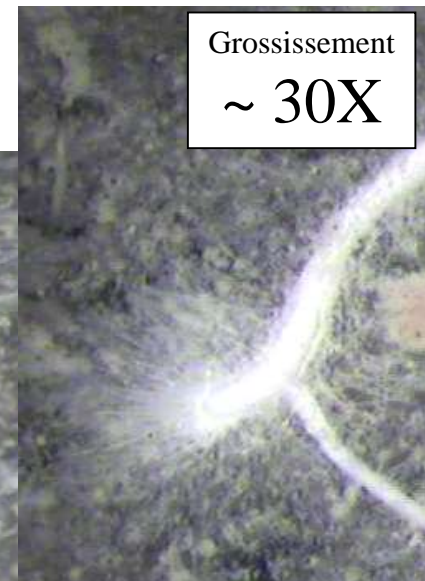
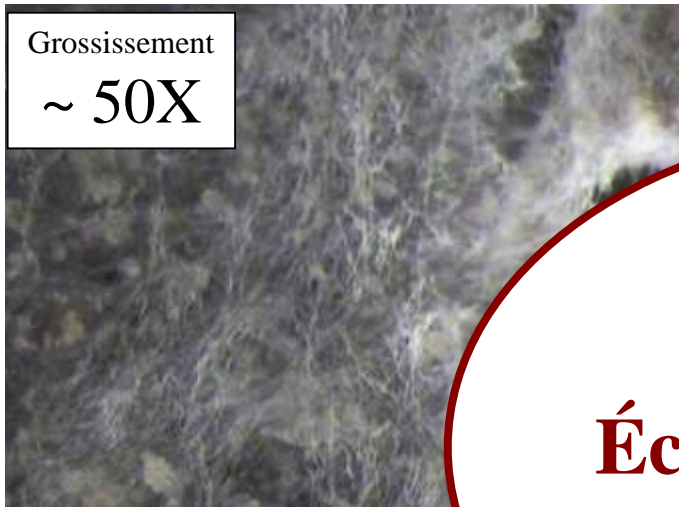


Photo par Marie-Noëlle Thivierge, 2016

Nombreuses associations racines-microorganismes

Mycorhizes

Bactérie
Rhizobium



Wikiwand.com

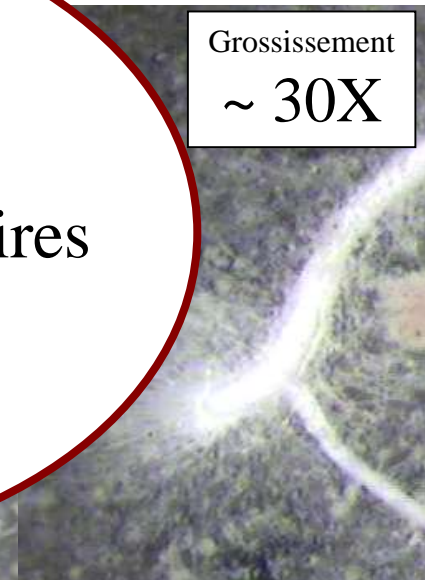


Photo par Marie-Noëlle Thivierge, 2016



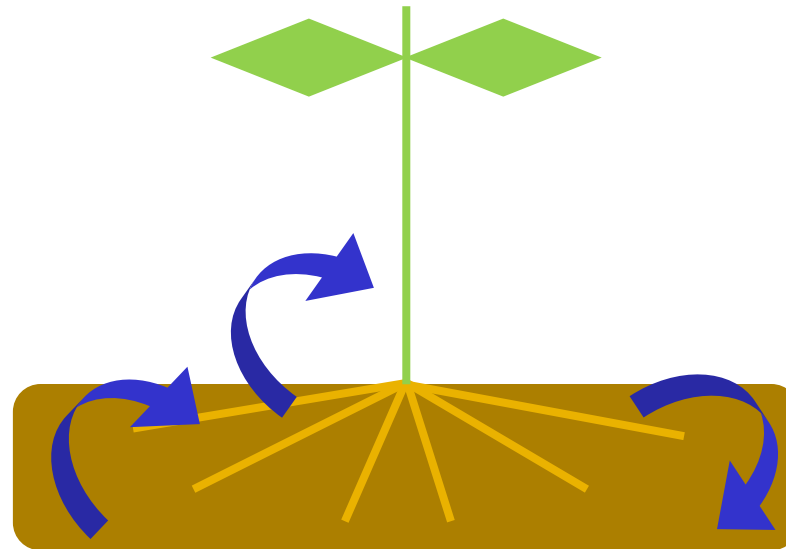
Photo par Marie-Noëlle Thivierge, 2016

Écosystèmes racinaires

Améliorer la performance de nos systèmes de culture

Meilleures racines =
++ acquisition de ressources ++ résilience
Meilleure performance agronomique

Sol en santé =
meilleures racines



Plusieurs traits racinaires permettent
d'améliorer la qualité du sol
**Meilleure performance
environnementale**

Traits racinaires

Physiologie

prélèvement d'eau,
exsudation

Architecture

profondeur, ramifications

Morphologie

diamètre, longueur

Anatomie

grosseur du xylème

Chimie

contenu en lignine

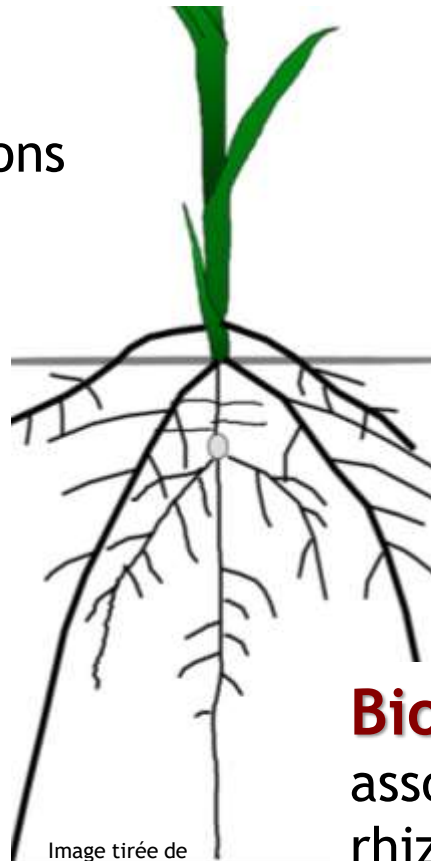


Image tirée de
Lynch et Brown, 2012

Biote

associations mycorhizes,
rhizobium

Principal frein à l'amélioration des systèmes racinaires



La difficulté de mesurer les traits racinaires à grande échelle!

(Lynch et al., 2015;
Paez-Garcia et al., 2015)



Photo par Marie-Noëlle Thivierge, 2010

Plan de la présentation



Photo par Marie-Noëlle Thivierge, 2017

1. Mise en contexte
- 2. Techniques d'étude des racines**
3. Les racines et la productivité des sols et des cultures

Techniques d'étude des racines

Au champ



Photo par Marie-Noëlle Thivierge, 2017

En conditions contrôlées



Photo par Josée Bourassa, 2017

Au champ



Mi et al., 2016

- Représente la réalité
- _____
- Difficulté d'isoler un facteur
- Beaucoup de main d'œuvre
- Endommage les parcelles de recherche

En conditions contrôlées



Mi et al., 2016

- Étude d'un facteur à la fois
- _____
- Pas d'effet de compétition
- Croissance affectée par type de contenant et de substrat
- Plants immatures

Techniques d'étude des racines

Prélèvements au champ

Carottage



Photo par Marie-Noëlle Thivierge, 2017



Photo par Marie-Noëlle Thivierge, 2017

Techniques d'étude des racines

Prélèvements au champ

Lavage des racines



Photo par Chantal Lachance, 2018

Techniques d'étude des racines

Lavage et numérisation



Photo par Marie-Noëlle Thivierge, 2017



Photo par Marie-Noëlle Thivierge, 2010

Techniques d'étude des racines

Étude *in situ* par caméra-microscope



Photo par Marie-Noëlle Thivierge, 2016



Photo par Marie-Noëlle Thivierge, 2016



Photo par Marie-Noëlle Thivierge, 2016

Techniques d'étude des racines

Étude *in situ* par caméra-microscope



Photo par Marie-Noëlle Thivierge, 2016



Photo par Marie-Noëlle Thivierge, 2016

Étude *in situ* par caméra-microscope



Grossissement: 15 X

Graminées fourragères
12 cm de profondeur

Techniques d'étude des racines

Étude *in situ* par caméra-microscope

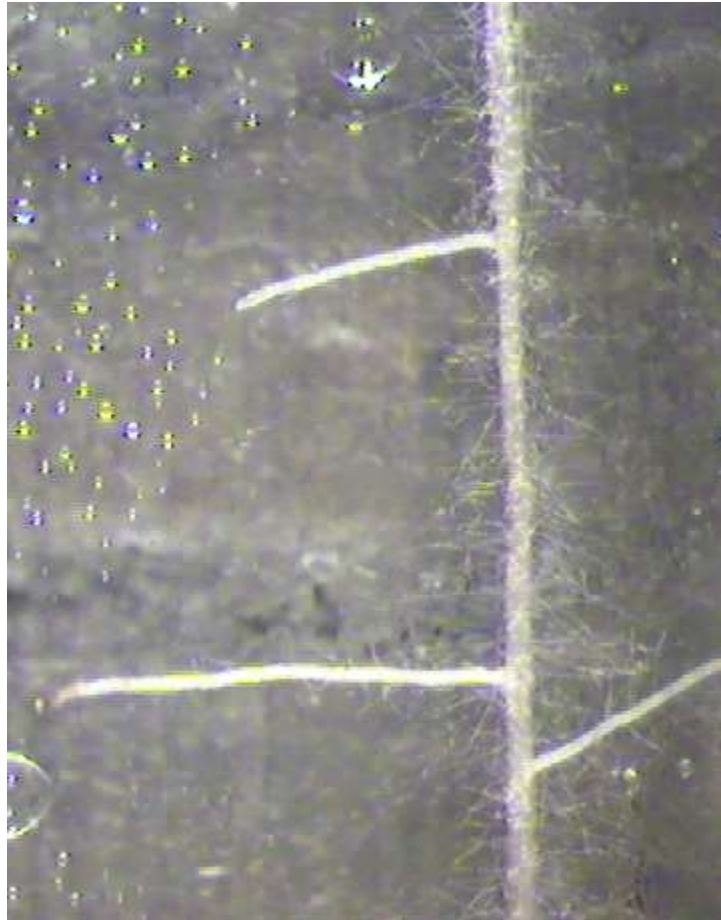


Photo par Marie-Noëlle Thivierge, 2016

Grossissement: 15 X

Graminées fourragères
46 cm de profondeur

Techniques d'étude des racines

Étude *in situ* par caméra-microscope



Grossissement: 100 X

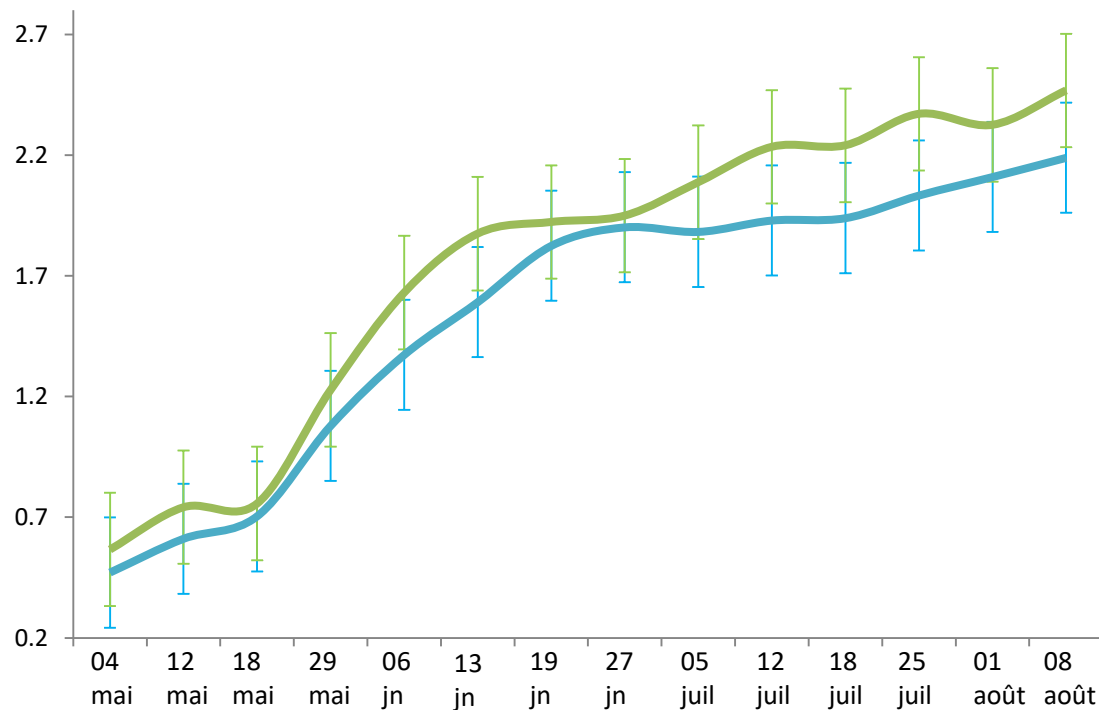
Maïs

50 cm de profondeur

Photo par Marie-Noëlle Thivierge, 2016

Étude *in situ* par caméra-microscope

Longueur
des racines
(m/tube)



Plan de la présentation



Photo par Marie-Noëlle Thivierge, 2017

1. Mise en contexte
2. Techniques d'étude des racines
- 3. Les racines et la productivité des sols et des cultures**

Rôles des racines

Ancrage de la plante au sol

- ❖ Rôle crucial considérant les rendements en grains qui augmentent



www.genesis.ag

Racines d'ancrage, maïs

Meilleure résistance à la verse si les racines d'ancrage sont:

- ❖ En plus grand nombre
- ❖ De plus large diamètre
- ❖ Angle plus large, plus ouvert



Photos tirées de Mi et al., 2016

Rôles des racines

Ancrage de la plante au sol



Photo tirée de Mi et al., 2016

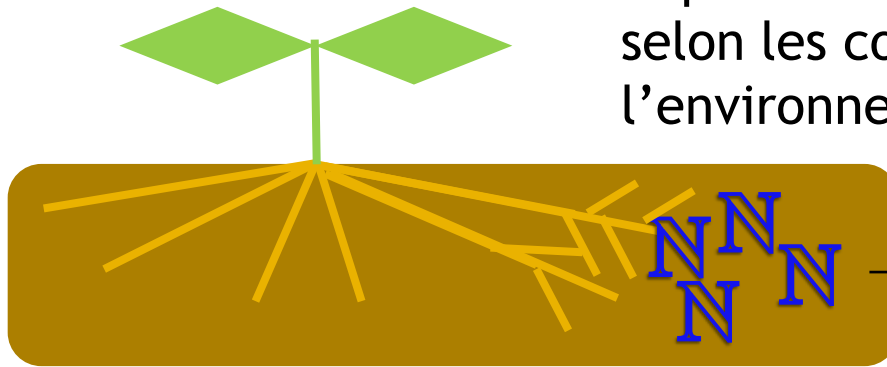


Photo tirée de Mi et al., 2016

Apport en eau et en éléments nutritifs

Plasticité des systèmes racinaires

Capacité des racines à se transformer selon les conditions changeantes de l'environnement (Suralta et al., 2016)



Ex.: application des fertilisants en bandes

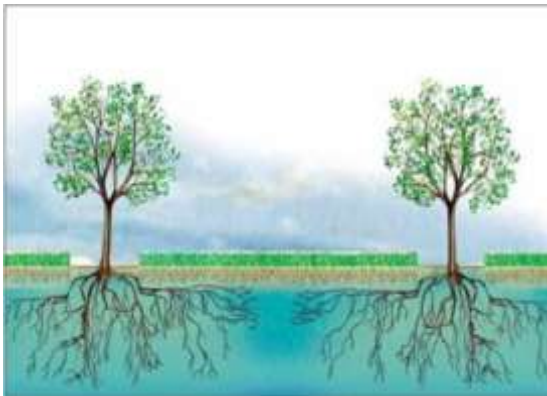


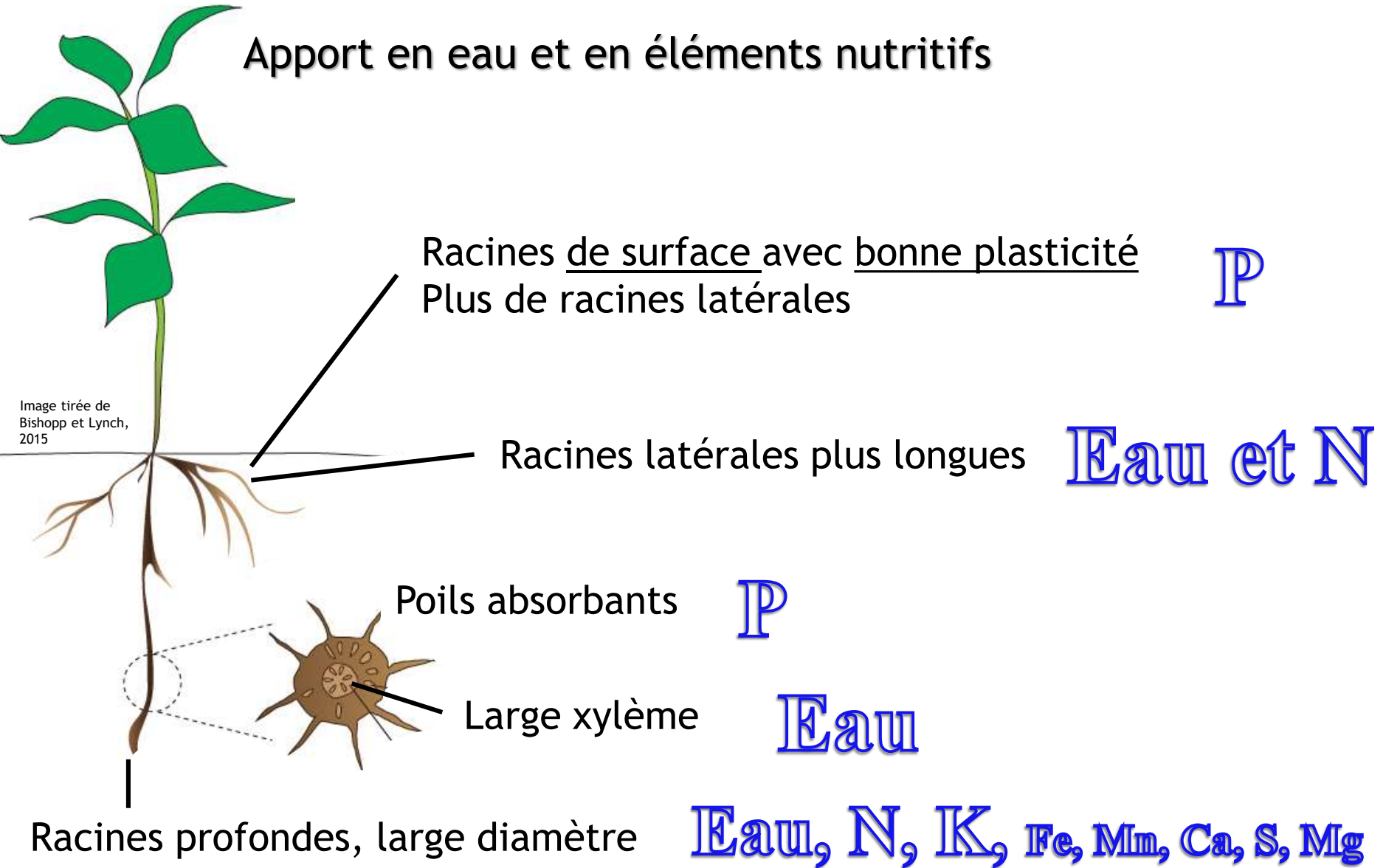
Photo tirée de Dupraz et Liagre, 2008

Stratégie pour limiter la compétition

- Agroforesterie
- Prairies trèfle et graminées

Rôles des racines

Apport en eau et en éléments nutritifs



Rôles des racines

Apport en eau et en éléments nutritifs

Maïs



Photo: Pioneer

Sorgho sucré



Photo par Marie-Noëlle Thivierge, 2010

Millet perlé sucré



Photo par Marie-Noëlle Thivierge, 2010

Efficacité d'utilisation de l'azote (% du N appliqué)

28-60%¹

54-82%

Biomasse (t MS/ha)

3,6

2,3

1,3

Longueur (km/ha)

24 600

34 350

42 450

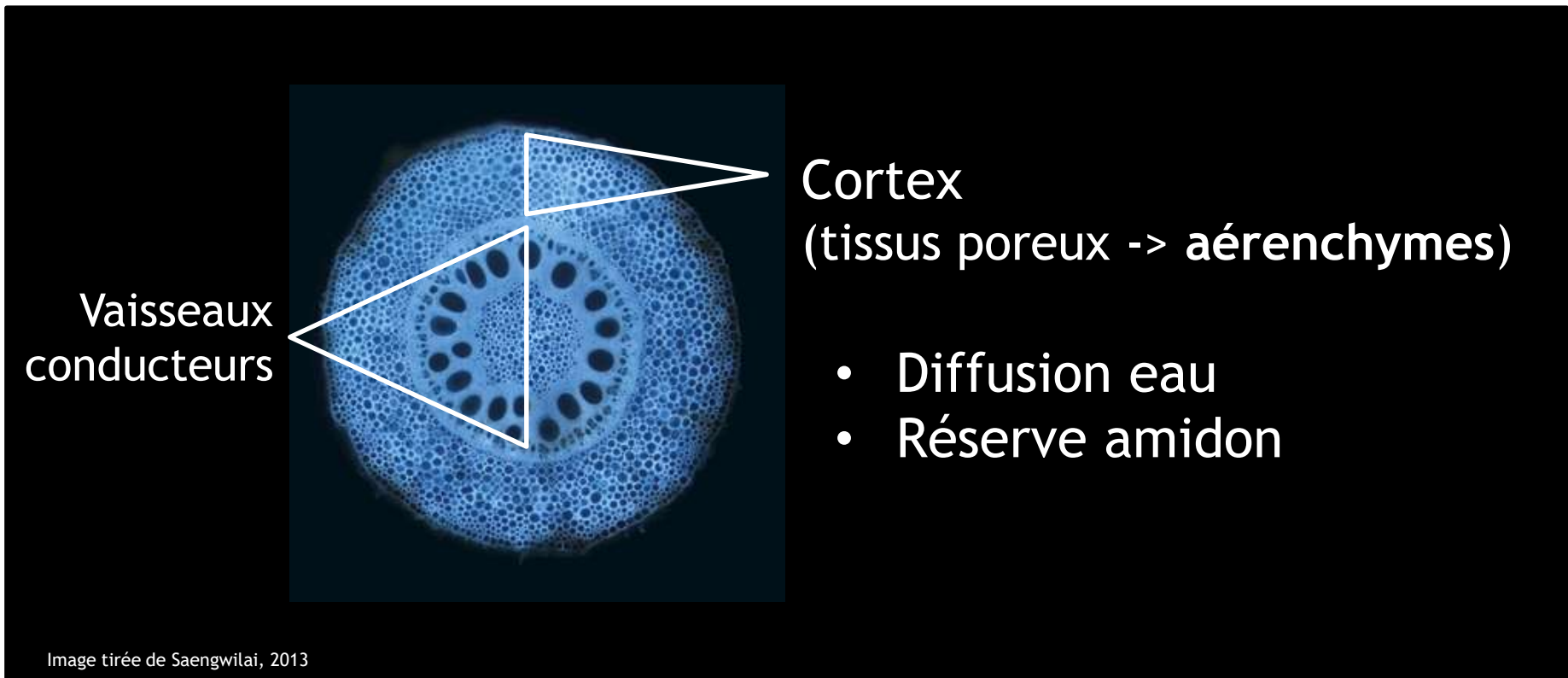
Source: Thivierge et al., 2015

¹ Nyiraneza et al. 2010; Stevens et al. 2005; Tran et al. 1997; Liang et MacKenzie, 1994; Reddy et Reddy, 1993

Rôles des racines

Apport en eau et en éléments nutritifs

Différentes stratégies ingénieuses!



Rôles des racines

Apport en eau et en éléments nutritifs

Différentes stratégies ingénieuses!

- ❖ Plus grands aéroenchymes dans le cortex

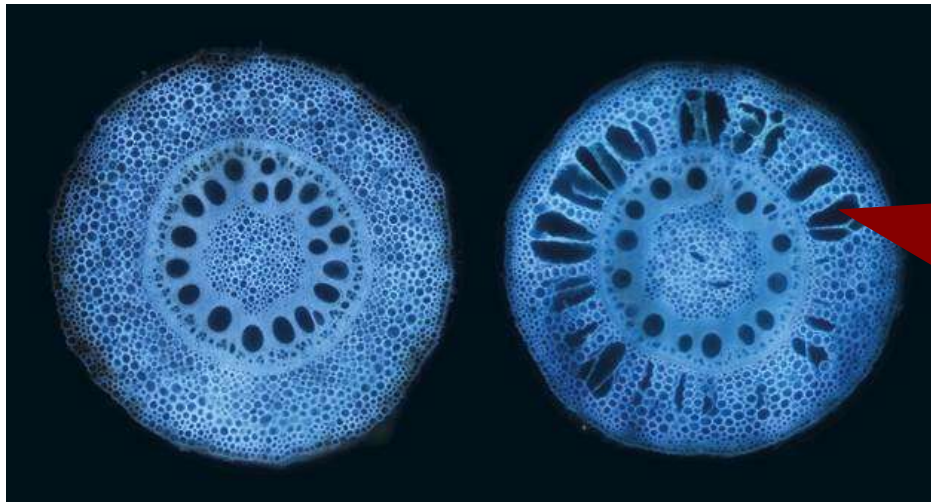


Image tirée de Saengwilai, 2013

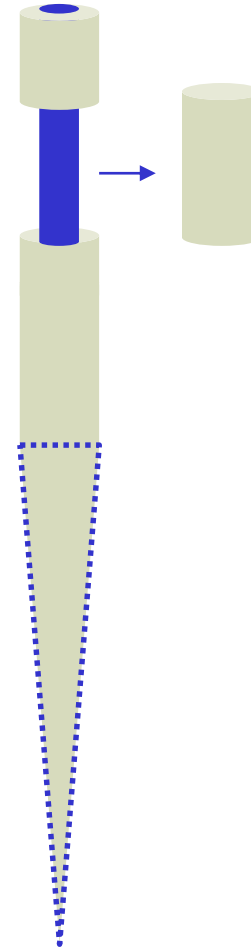
↑ aéroenchymes =
racines 15% à 30%
plus profondes

Rôles des racines

Apport en eau et en éléments nutritifs

Différentes stratégies ingénieuses!

- ❖ Mort de sections du cortex et racines plus profondes



Rôles des racines

Amélioration de la structure du sol



Photo par Denis Angers

Racines de fléole

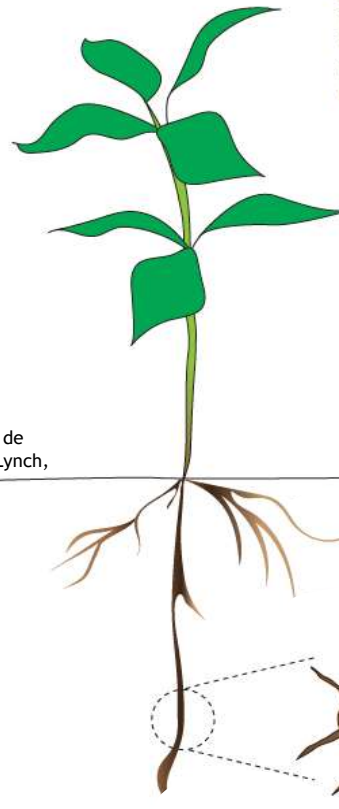


Image tirée de
Bishopp et Lynch,
2015

- ❖ ++ Mucilage
- ++ Exsudats

- ❖ ++ Racines fines
- ++ Ramifications

- ❖ ++ Mycorhizes

Agrégation

Possibilité d'augmenter
la macroporosité
de 30%

- ❖ ++ Biomasse racinaire

- ❖ ++ Racines profondes

- ❖ ++ Poils absorbants (ancrage)

**Moins de
compaction**

Rôles des racines

Séquestration du carbone (C)

Le C des racines est 5 fois plus susceptible de devenir de la matière organique stable que le C des parties aériennes (Jackson et al., 2017)

- ❖ ↑ Densité racinaire
- ❖ ↑ Profondeur racinaire
- ❖ ↑ Mycorhizes

Le C organique contribue à la **fertilité** du sol, à sa **structure**, et à la **productivité** des cultures

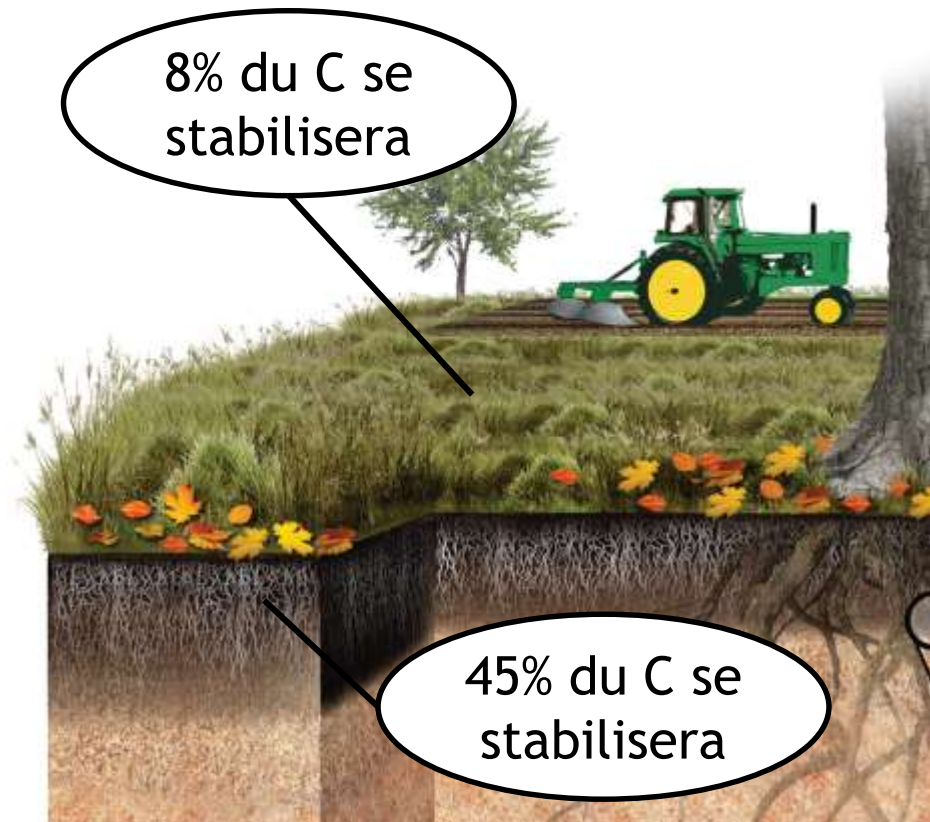
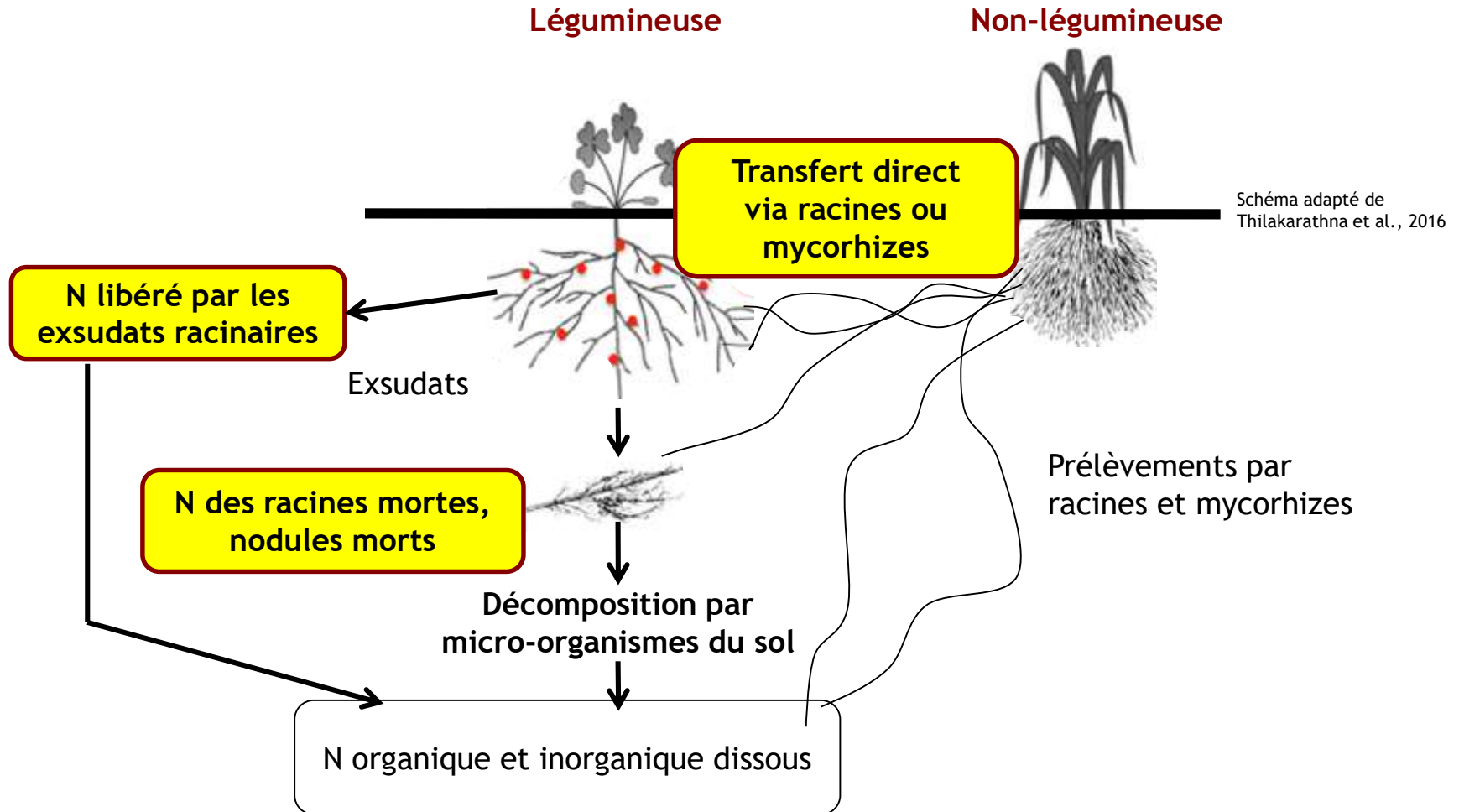


Image tirée de Jackson et al., 2017

Rôles des racines

Transfert d'azote

La luzerne fixe 2 X plus d'N que trèfle blanc, mais en transfère 3 X moins



Rôles des racines

Transfert d'azote

Traits racinaires à favoriser

Légumineuse (donneur d'N)

- Racines latérales ↑
- Racines fines ↑
- Nodulation ↑
- Exsudation ↑
- Mycorhizes ↑

Graminée (receveur d'N)

- Longueur racinaire ↑
- Surface racinaire ↑
- Mycorhizes ↑

Les recommandations de fertilisation pour les mélanges fourragers prennent en compte le transfert d'azote

Rôles des racines

Complémentarité des traits racinaires

Exemple des prairies



Photo par Danielle Mongrain

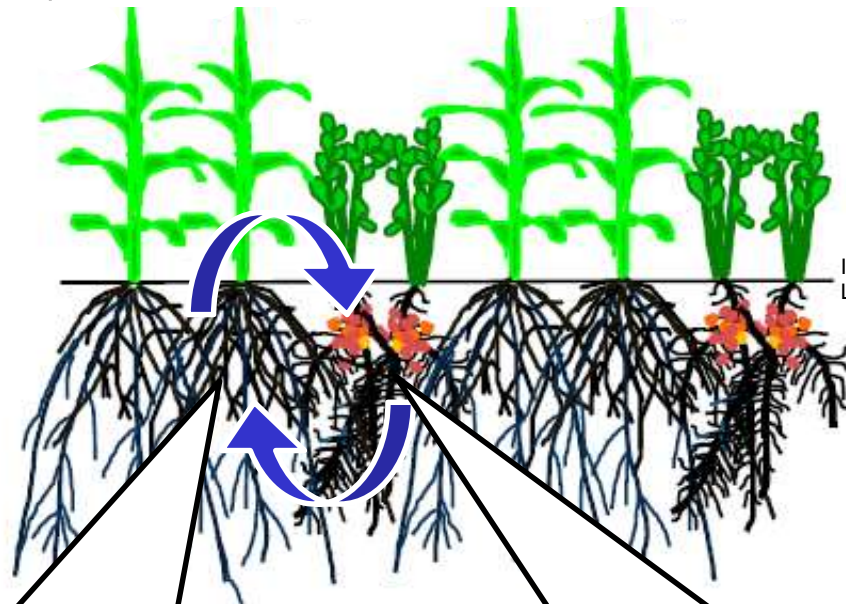
- ❖ Diversité des espèces augmente généralement le rendement
- ❖ La légumineuse aussi bénéficie du mélange
- ❖ Gain en productivité lié à la **complémentarité des traits**

Les mécanismes exacts demeurent mystérieux

Complémentarité des traits racinaires

Exemple du maïs avec intercalaire de féverole

↑ rendement maïs ET féverole



Les racines du maïs libèrent un exsudat qui stimule la nodulation de la féverole

Les racines de la féverole libèrent des acides organiques qui mobilisent le P insoluble

Ce qu'on peut faire

pour optimiser notre système sol-plante grâce aux racines?

Sélection génétique

- Plasticité racinaire
- Profondeur racinaire
- Symbioses
- Résistance aux maladies racinaires

Pratiques agronomiques

- Rotations de cultures **diversifiées** et cultures compagnes
- **Racines vivantes** le plus longtemps possible dans la saison (plantes pérennes, engrais verts)
- Pratiques **minimisant la compaction** du sol



Merci!

*Mieux comprendre les systèmes racinaires
pour améliorer la performance
de nos systèmes de cultures*

Par Marie-Noëlle Thivierge, agr., Ph.D.
Chercheuse scientifique, écophysiologie et agronomie
marie-noelle.thivierge@canada.ca

Collaborateurs

- Stéphanie Houde, agr., B.Sc.
- Anne Vanasse, agr., Ph.D.
- Gilles Bélanger, D.Sc.
- Martin Chantigny, Ph.D.
- Denis Angers, Ph.D.



Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada

