

**Racines et
Alimentation en eau des arbres
Allier (03) – 30 et 31 mars 2010**

Christophe Drénou, IDF

Antenne de Toulouse

christophe.drenou@cnpf.fr

Plan de la présentation

- Les limites de la typologie de Köstler
- La compartimentation architecturale
- Les variations selon les espèces
- Les variations selon les sols
- L'exemple des chênes
- La concurrence racinaire
- Les mycorhizes
- Les incertitudes de la R.U.

Les limites de la typologie de Köstler

Christophe Drénou, IDF



La classification de Köstler *et al.* (1968)

Traçant

Picea abies
Picea sitchensis
Pinus strobus

Populus tremula
Sorbus aucuparia
Fraxinus excelsior
Populus sp

Pivotant

Abies alba
Pinus nigra
Pinus pinaster
Pinus sylvestris

En coeur

Larix sp.
Pseudotsuga menziesii

Acer campestre
Acer platanoides
Acer pseudoplatanus
Alnus glutinosa
Alnus incana
Betula verrucosa
Carpinus betulus
Castanea sativa
Fagus sylvatica
Quercus petraea
Quercus robur
Quercus rubra
Tilia cordata
Tilia platyphyllos
Ulmus glabra
Ulmus montana

Les limites de la typologie de Köstler

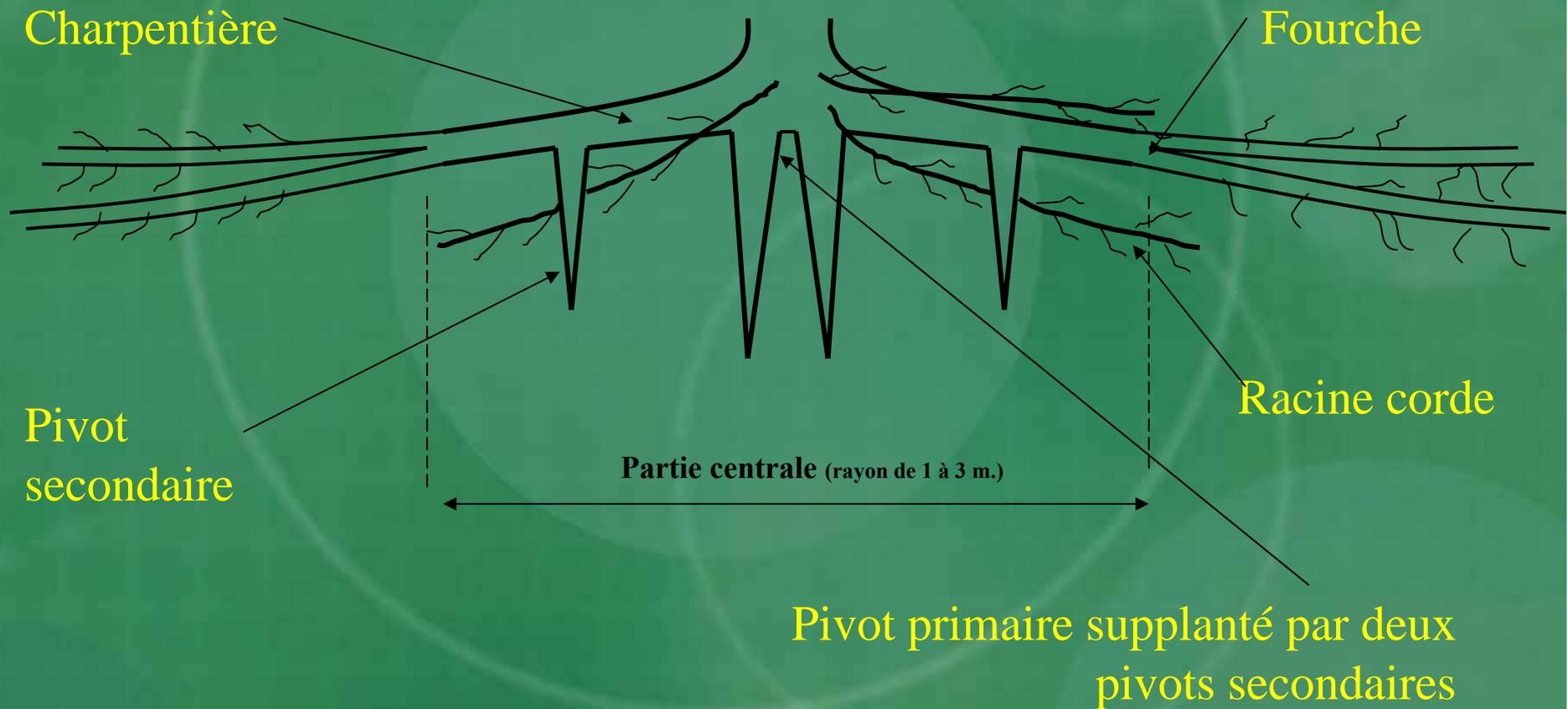
- Classification restreinte au compartiment central
- Classification restreinte aux profils racinaires
- Classification non dynamique
- Sols sans contrainte
- Un système en cœur « fourre-tout »

The background features a repeating pattern of green circles of varying shades. Overlaid on this are several large, semi-transparent circles in different shades of green and light blue. In the upper right and lower right areas, there are abstract, glowing patterns that resemble molecular structures or complex networks.

La compartimentation architecturale

Christophe Drénou, IDF

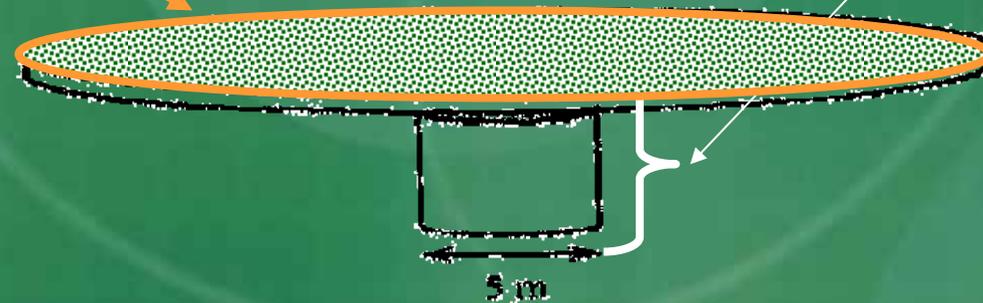
Organisation générale d'un système racinaire adulte



Compartiment
périphérique (Vol. de sol
= 750 m³ pour un chêne de
145 ans)

Partie arrachée lors
d'un chablis (Vol. de sol = 10 à 20 m³)

Compartiment
central (Vol. de sol = 70 m³ pour un
chêne de 145 ans)



Compartmentation et physiologie

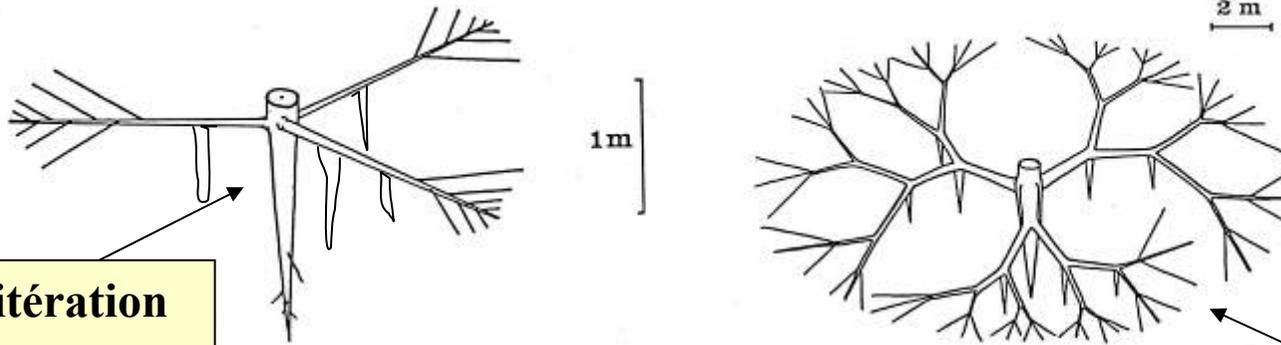
- Lorsque la transpiration des arbres est faible (potentiel hydrique de l'atmosphère proche de 0), le compartiment racinaire de surface est apte à assurer une alimentation hydrique suffisante
- Lorsque le déficit hydrique augmente, le compartiment profond complète l'approvisionnement en eau
- Enracinement profond : meilleure résistance à un stress
- Enracinement étendu en surface : meilleure récupération après un stress

The background features a pattern of overlapping green circles of varying shades. Two semi-transparent globes are visible, one in the upper right and one in the lower right, showing a map of the world. The title text is centered in a large, bold, black font.

Les variations selon les espèces

Christophe Drénou, IDF

Les réitérations sur les charpentières

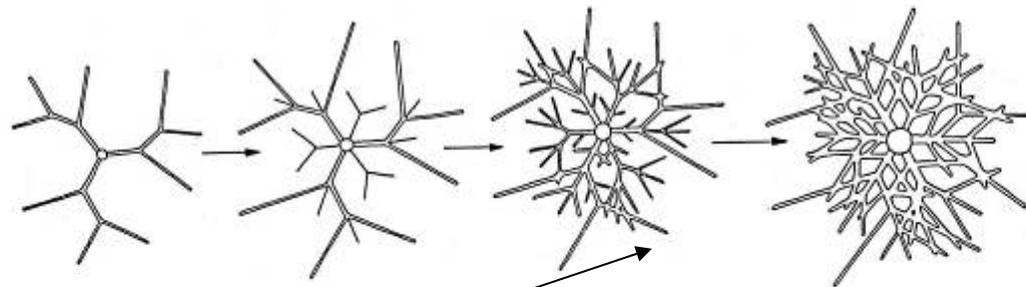


Sans réitération

(peupliers, épicéa, pins...)

Avec réitérations séquentielles

(sapin, chêne pédonculé, Tilia cordata...)



Avec réitérations retardées

(robinier, hêtre, platane...)

L'épicéa commun

1. Racines superficielles,
horizontales et linéaires

6. Ensemble de pivots
verticaux

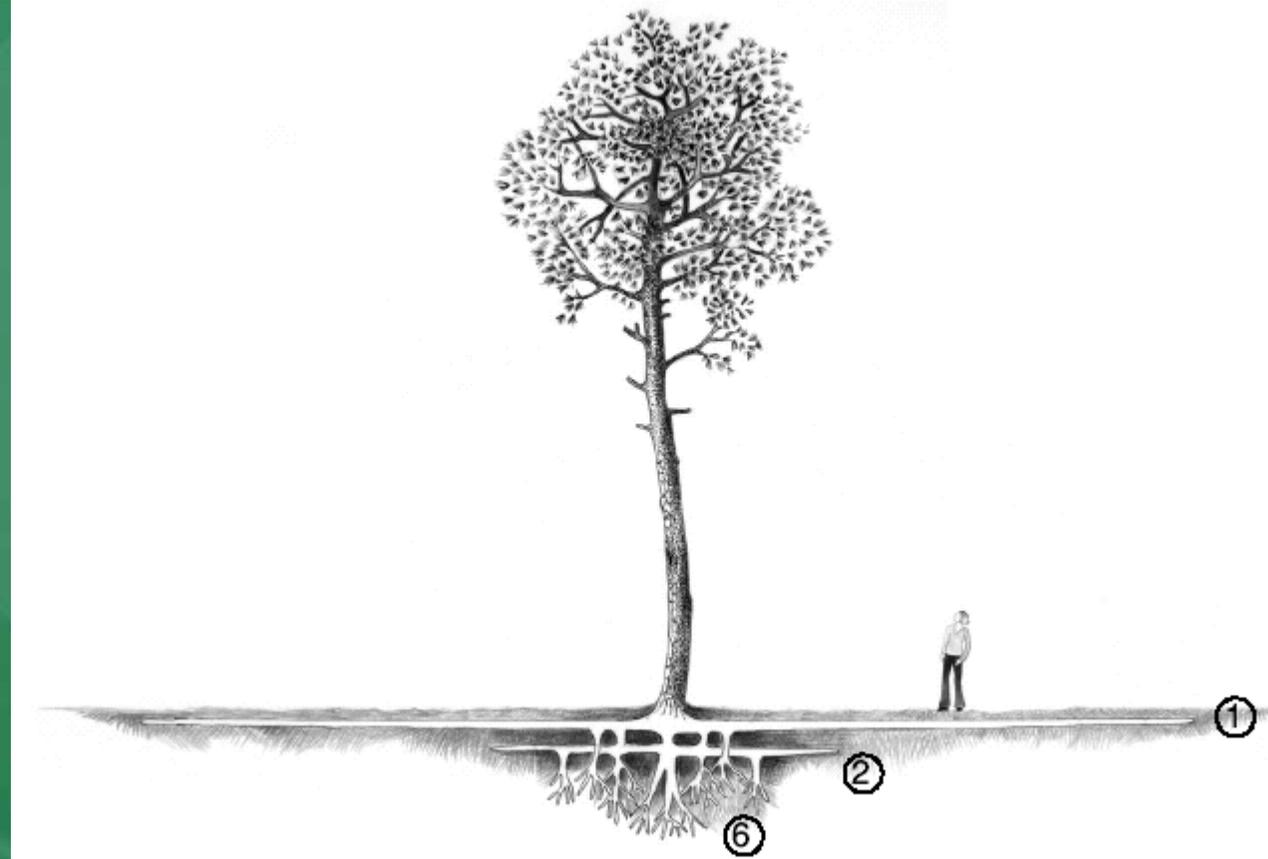


Le pin maritime

1. Racines superficielles, horizontales et linéaires

2. Deuxième couronne de racines horizontales à extension limitée

6. Ensemble de pivots verticaux

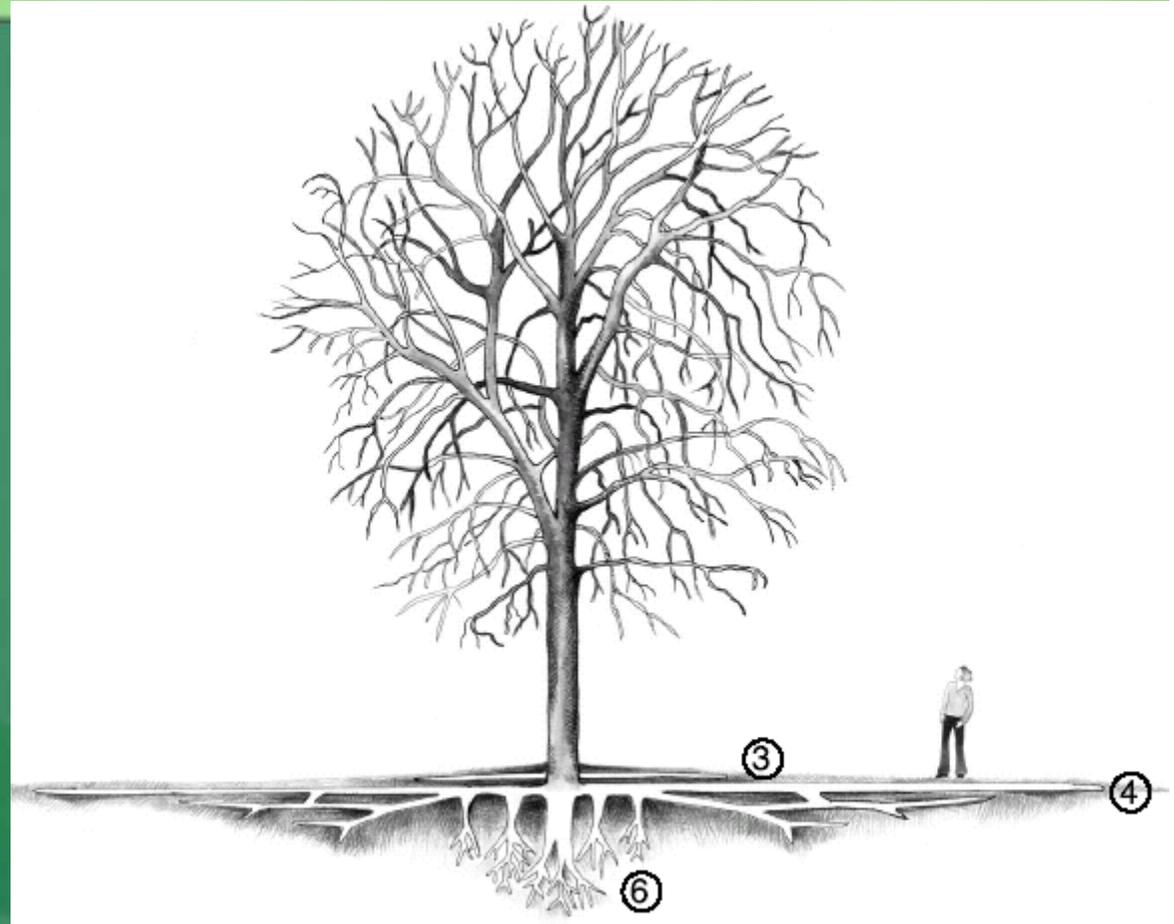


Le platane hybride

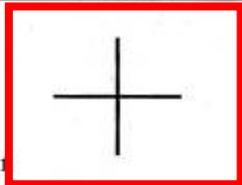
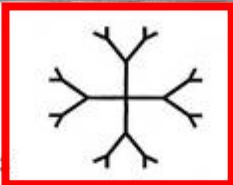
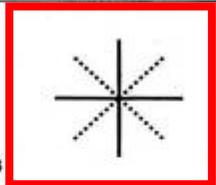
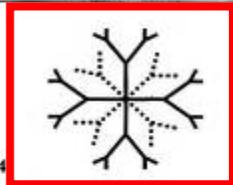
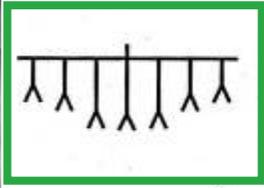
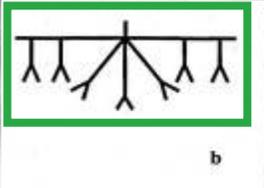
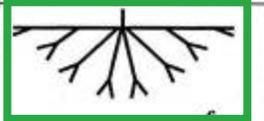
4. Racines superficielles, horizontales, abondamment fourchues et anastomosées

3. Production tardive de racines à la base du tronc

6. Ensemble de pivots verticaux



CLASSIFICATION DES ARCHITECTURES RACINAIRES ADULTES

		Architecture en surface				
		Une seule génération de charpentières		Plusieurs générations de charpentières		
		Sans fourche	Avec fourches	Sans fourche	Avec fourches	
						
Architecture en profondeur	A racines verticales		<i>Picea abies</i> (Drénou, 2003) <i>Pinus pinaster</i> (Drénou, 2003) <i>Picea sitchensis</i> (Fraser et Gardiner, 1967) <i>Peupliers Beaupré et I214</i> (Drénou, 2004)	<i>Abies alba</i> (Lucot, 1994)	<i>Acer rubrum</i> (Lyford et Wilson, 1964)	<i>Platanus hybrida</i> (Atger, 1992) <i>Sorbus aucuparia</i> (Mauer et Palatova, 2002)
	A racines verticales et obliques		<i>Quercus rubra</i> (Lyford, 1980) <i>Peuplier Raspalje</i> (Drénou, 2004)		<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Eis, 1973, Drénou, 2003) <i>Cupressus macrocarpa</i> (Raimbault, 1991)	<i>Quercus robur</i> (Lucot, 1994) <i>Quercus petraea</i> (Lucot, 1994) <i>Robinia pseudoacacia</i> (Keresztesi, 1968)
	A racines obliques		<i>Peuplier Dorskamp</i> (Drénou, 2004)		<i>Alnus incana</i> (Berben, 1968)	<i>Fagus sylvatica</i> (Drénou, 2003) <i>Tilia cordata</i> (Raimbault, 1991, Köstler et al., 1968)

Conséquences pratiques

- Les différences d'architecture entre essences se situent surtout dans les couches superficielles du sol
- L'architecture joue sur les stratégies de colonisation des milieux (hêtre>>pins)
- L'architecture agit sur la capacité de régénération des racines
- L'architecture racinaire explique le pouvoir de stabilisation des sols fragiles de certaines essences
- L'architecture est un des facteurs de stabilité des arbres

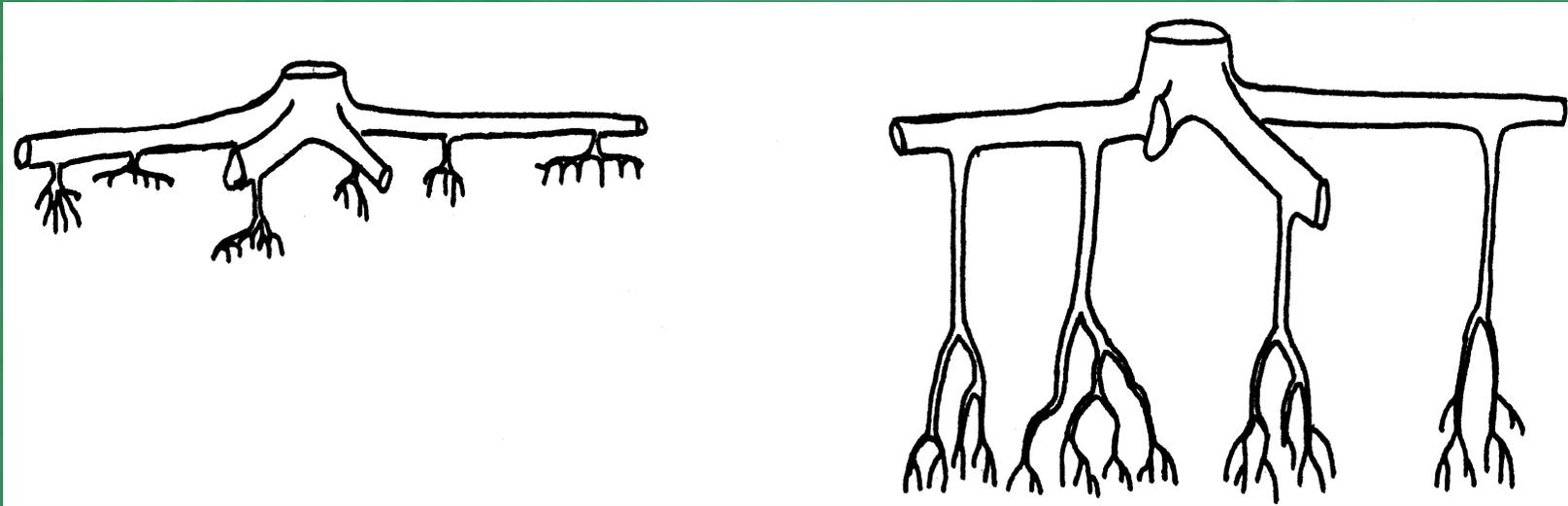
En résumé...

- Un sol davantage prospecté en surface qu'en profondeur
- Des racines superficielles qui « apprennent » à résister au vent et qui permettent aux arbres de récupérer après un stress hydrique
- Différentes classes d'architecture racinaire en surface

Les variations selon les sols

Christophe Drénou, IDF

Influence du sol



- **Epicéa sur rédoxisol (pseudogley): pivots de 35 cm (à gauche)**
- **...et sur podzosol (podzol): pivots de 1.30 m**

Contraintes à l'enracinement

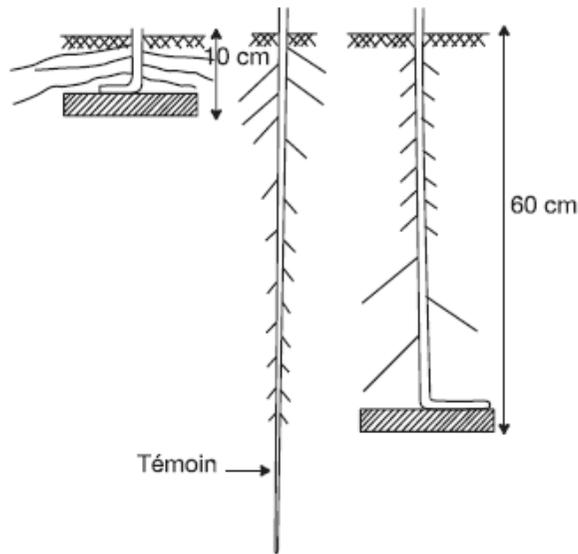
- présence d'éléments grossiers (déviation)
- forte compacité (résistance à la pénétration)
- structure défavorable (réduction de la macroporosité)
- mode d'altération du substrat (épaisseur prospectable)
- engorgement en eau (hypoxie)

Impact des EG sur la prospection racinaire

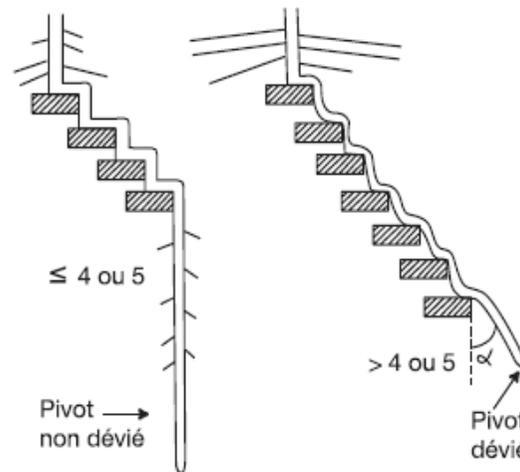
(Drénou, 2006, d'après Riedacker, 1978 et Lucot, 1994)

Plants de 2 ans (peupliers et chênes pédonculés)

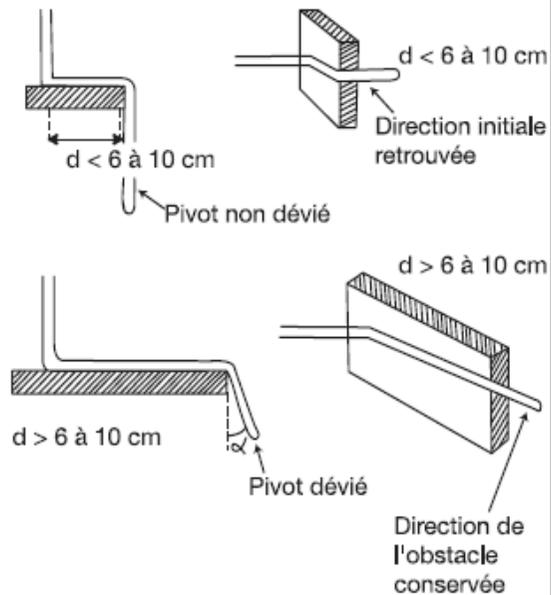
Variable 1 : profondeur de l'obstacle



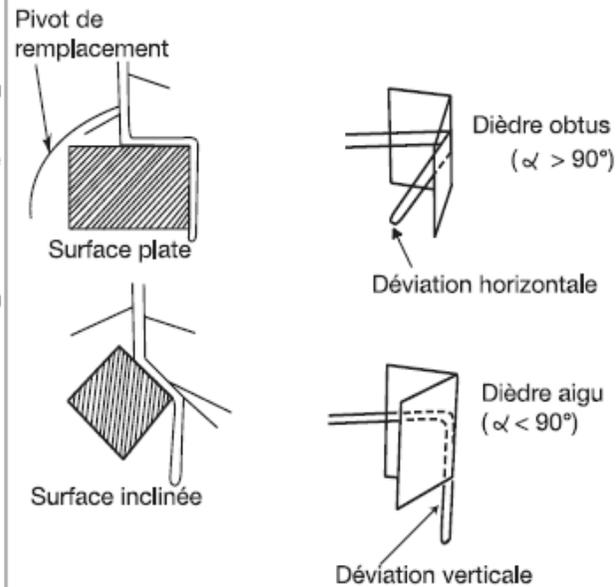
Variable 2 : nombre d'obstacles



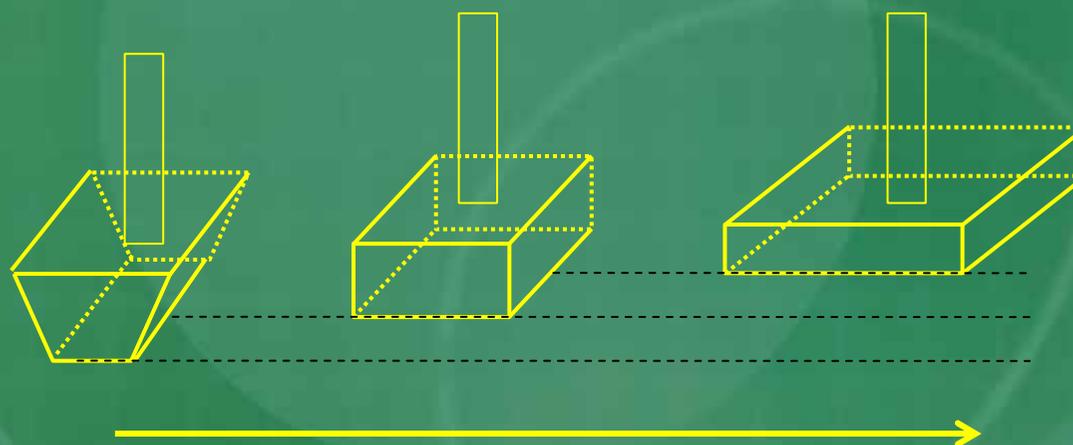
Variable 3 : distance de contrainte (d)



Variable 4 : forme des obstacles

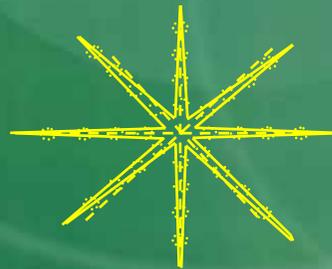
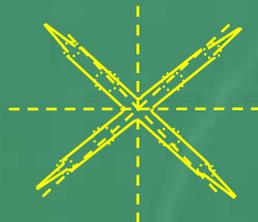
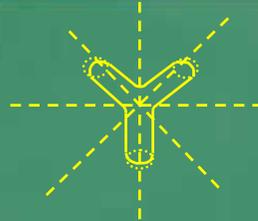


Plus un sol est contraignant en profondeur, plus la prospection racinaire se fait en surface (cas du hêtre, du pin maritime.... mais pas du chêne sessile)



Niveau de contraintes croissant

Variation d'expression de l'architecture racinaire



En tirets, la trame d'une architecture commune.
En haut, variante profonde du type. Au milieu, variante intermédiaire. En bas, variante superficielle.

Noter l'interdépendance entre les architectures en profondeur (à gauche) et celles en surface (à droite)

Juger objectivement la qualité d'une prospection racinaire

Diminution « naturelle » de la densité de racines



Maximum de densité racinaire

~ 40 cm

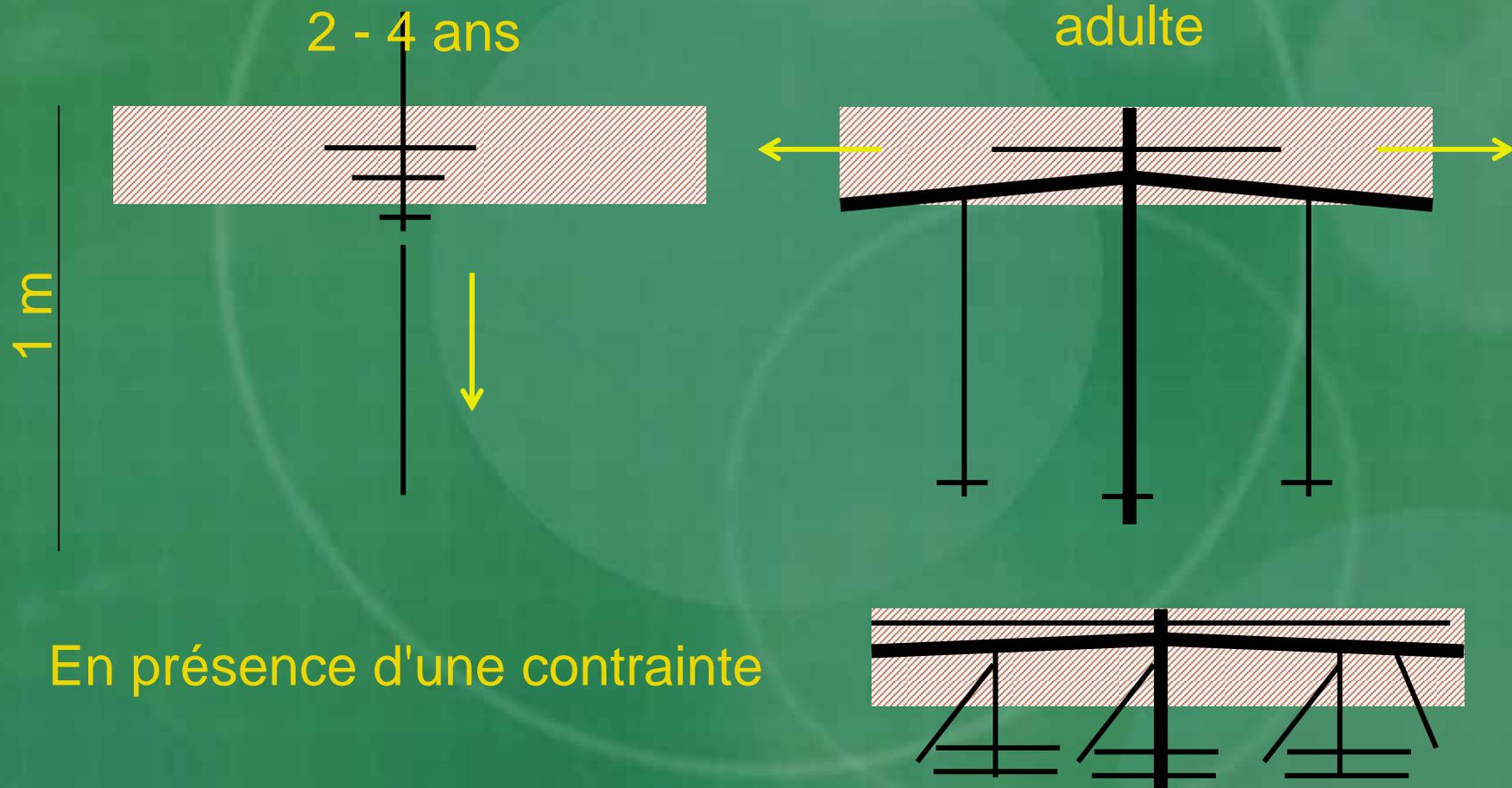
Niveaux de colonisation en racines fines d'un horizon profond (> 50 cm)

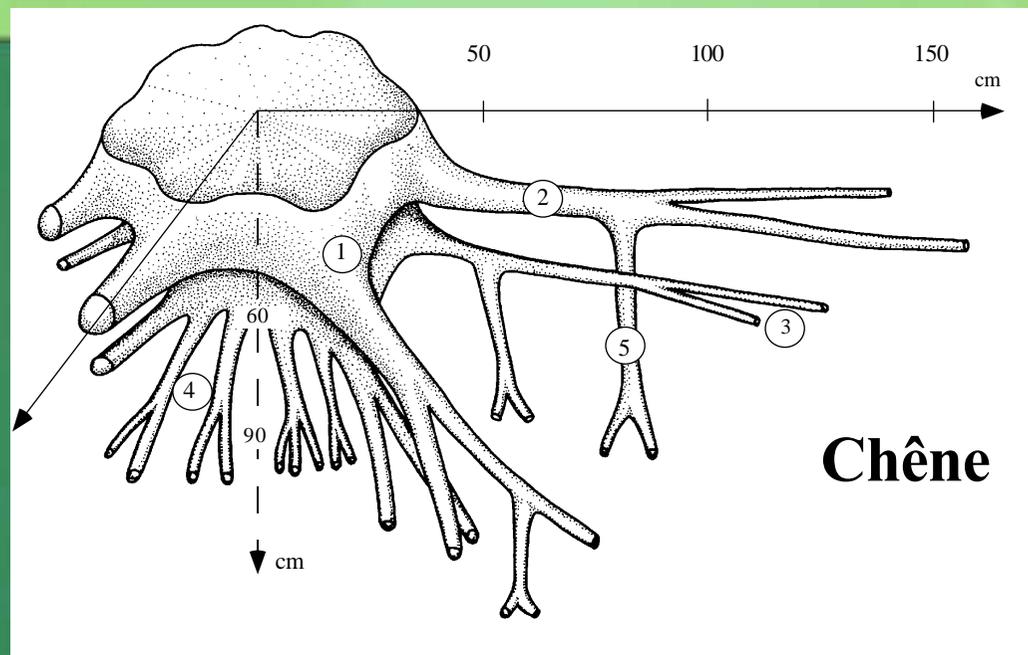
Très importante	> 5 racines / dm²
Bonne	3 à 5 racines / dm²
Moyenne	1 à 3 racines / dm²
Faible	0,5 à 1 racine / dm²
Très faible	< 0,5 racine / dm²

L'exemple des chênes

Christophe Drénou, IDF

Installation du système racinaire d'un chêne pédonculé (Lucot, 1994)





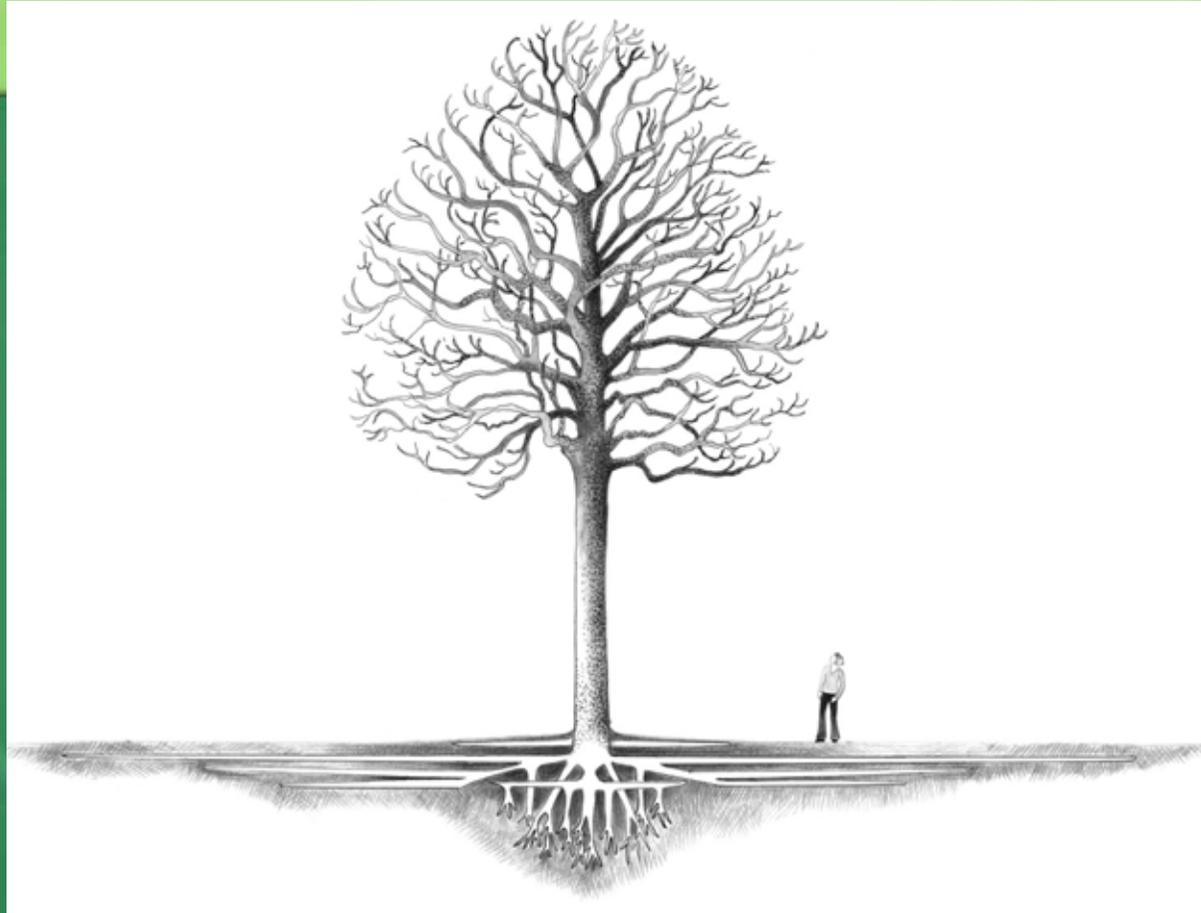
1 : contrefort

3 : deuxième couronne de racines

2 : grosses racines primaires latérales

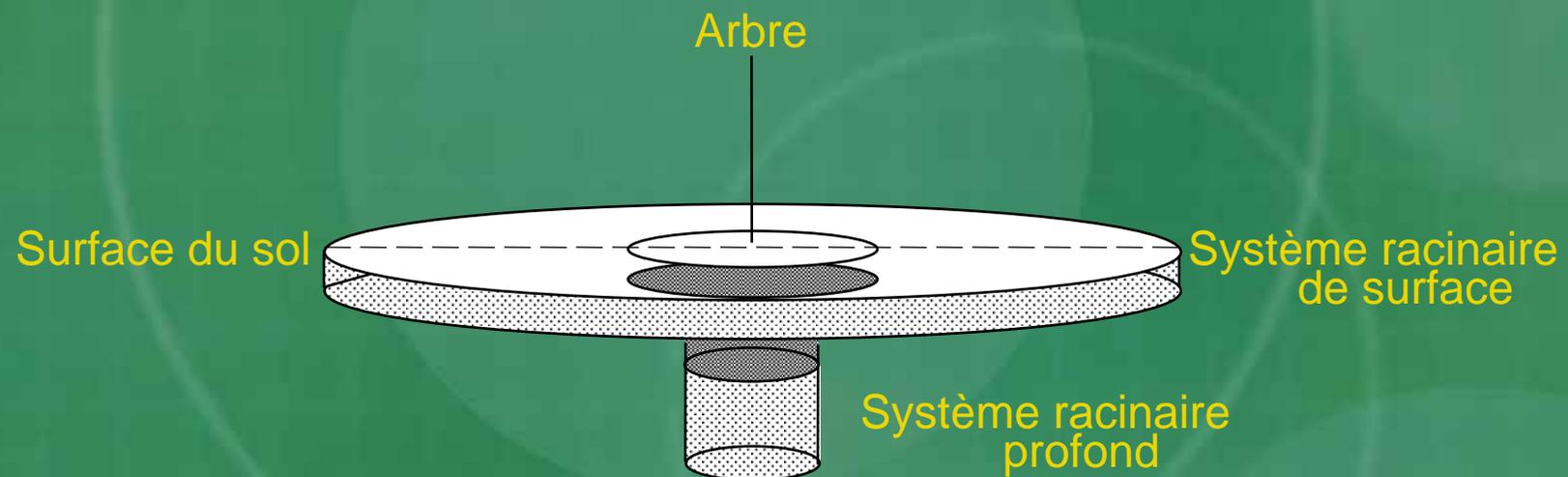
4 : pivots primaires et secondaires (5)

Représentation schématique



Drénou, 2006

Représentation schématique des volumes de sol potentiellement prospectables (Lucot, 1994)



- Colonisation intensive
- Colonisation extensive



Chêne sessile (en haut) et hêtre



**Couche de limon
lessivé, meuble,
bien structuré**

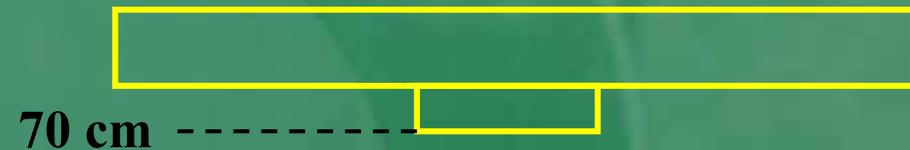
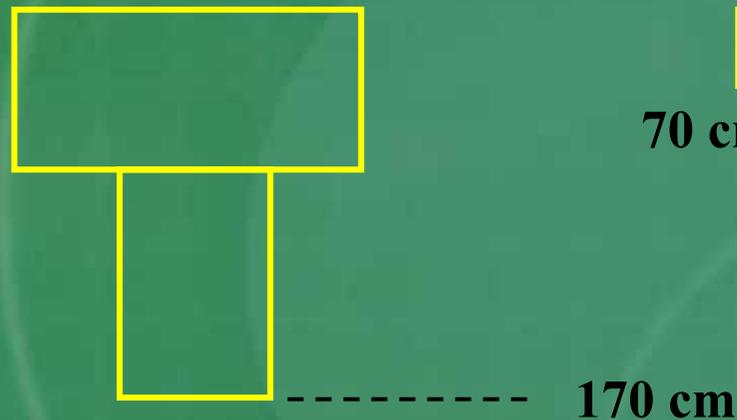
70 – 90 cm

**Argile lourde
issue de marne,
très compacte
avec traces
d'hydromorphie**

**Marne carbonatée à
2m30**

Chêne sessile

Hêtre



-Prospection des argiles lourdes par des racines de 1 cm de Ø

-Surface de la motte : 4 m²

-Volume de la motte : 7 m³

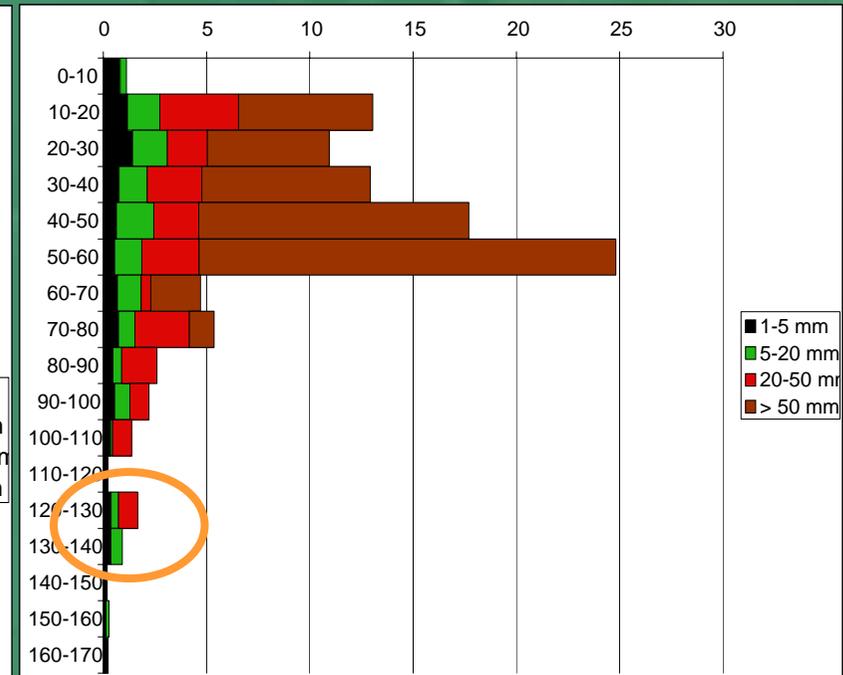
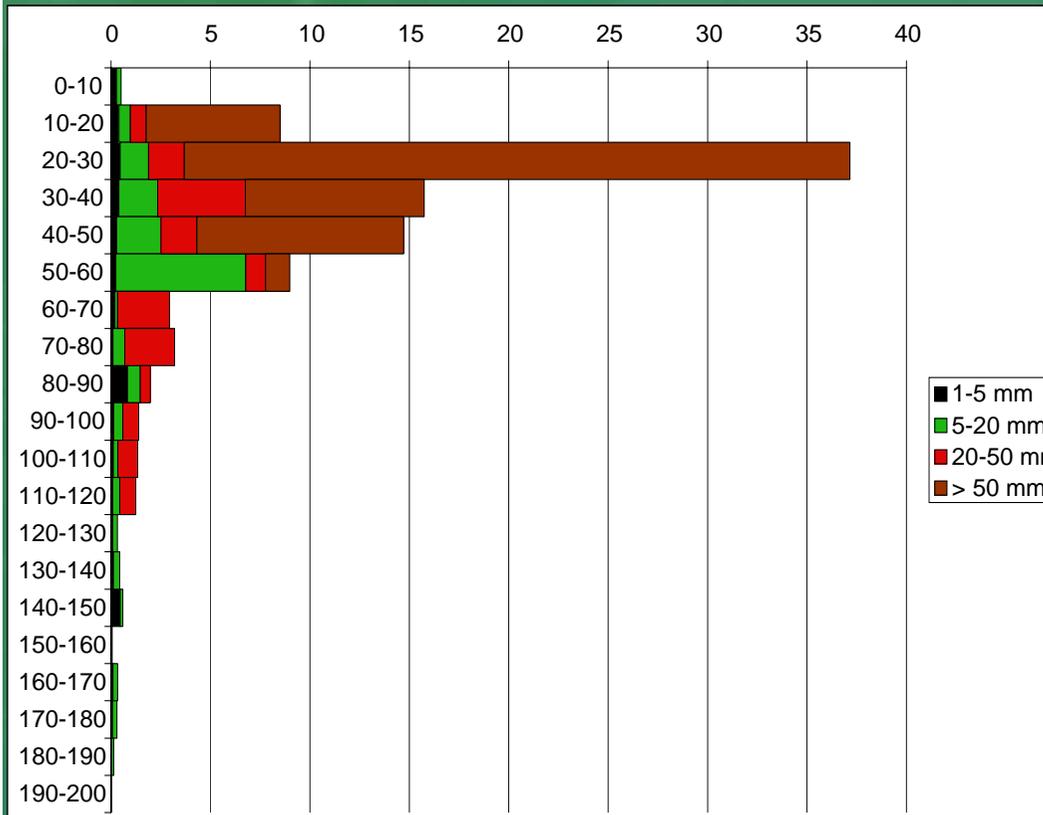
-Arrêt de l'enracinement vers 70 – 80 cm

-Surface de la motte : 11 m²

-Volume de la motte : 7 m³

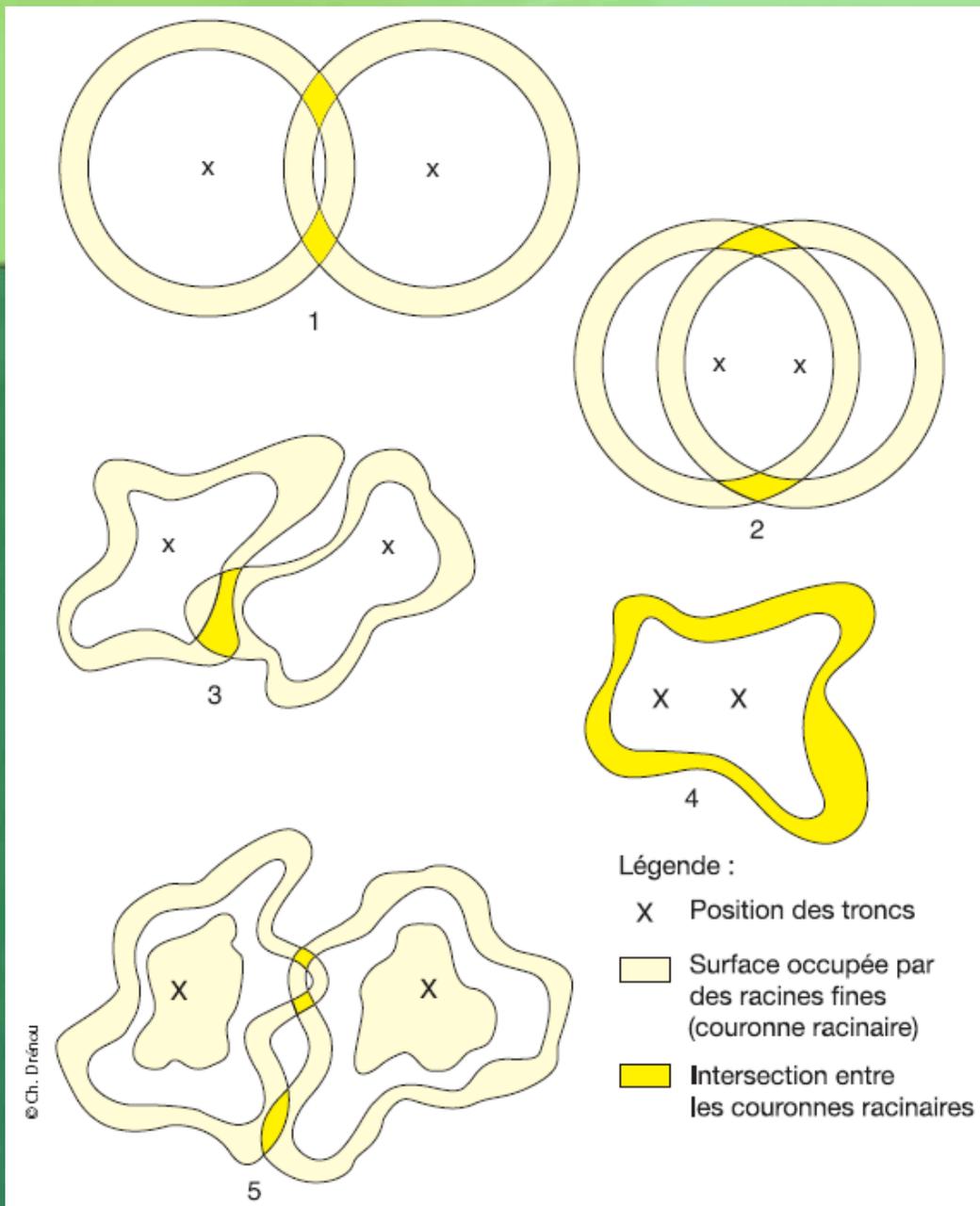
Comparaison chêne pédonculé à gauche et sessile à droite

Conditions pédologiques optimales. Surface de section de racines en %



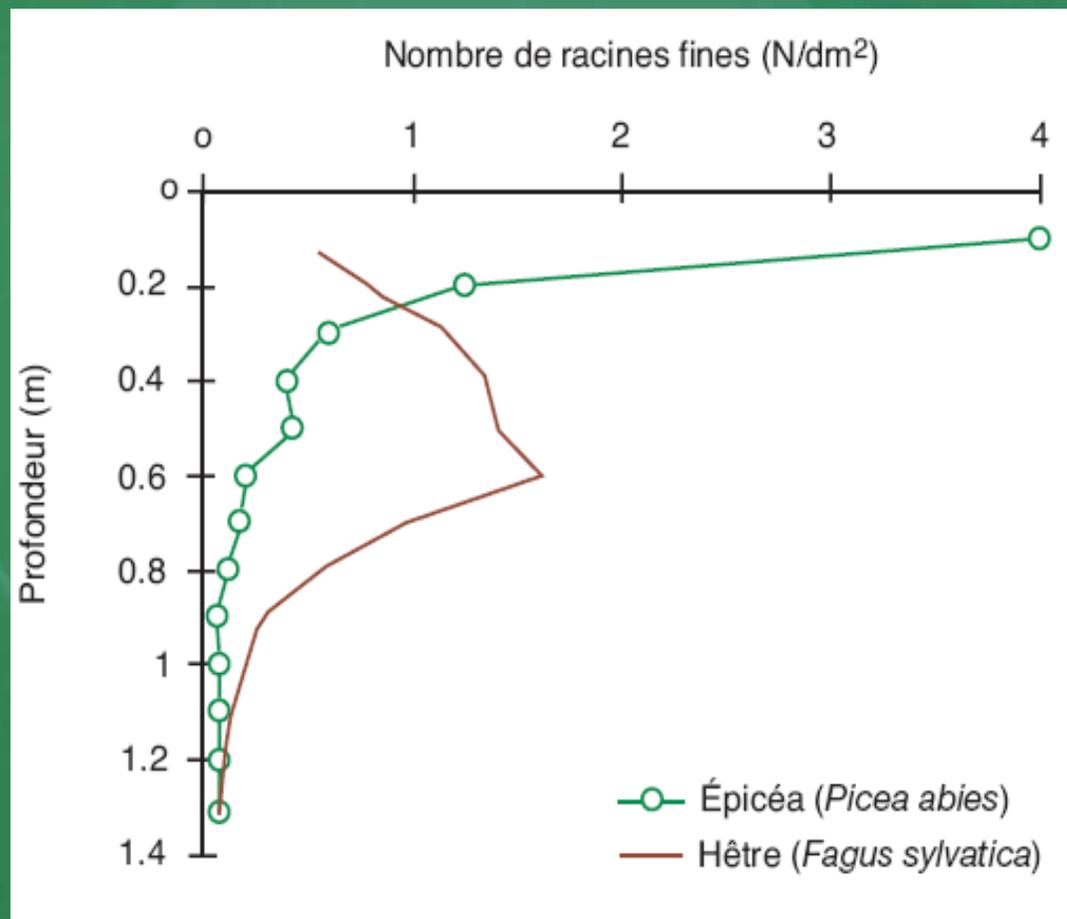
La concurrence racinaire

Christophe Drénou, IDF



Concurrence racinaire : hypothèse et réalités

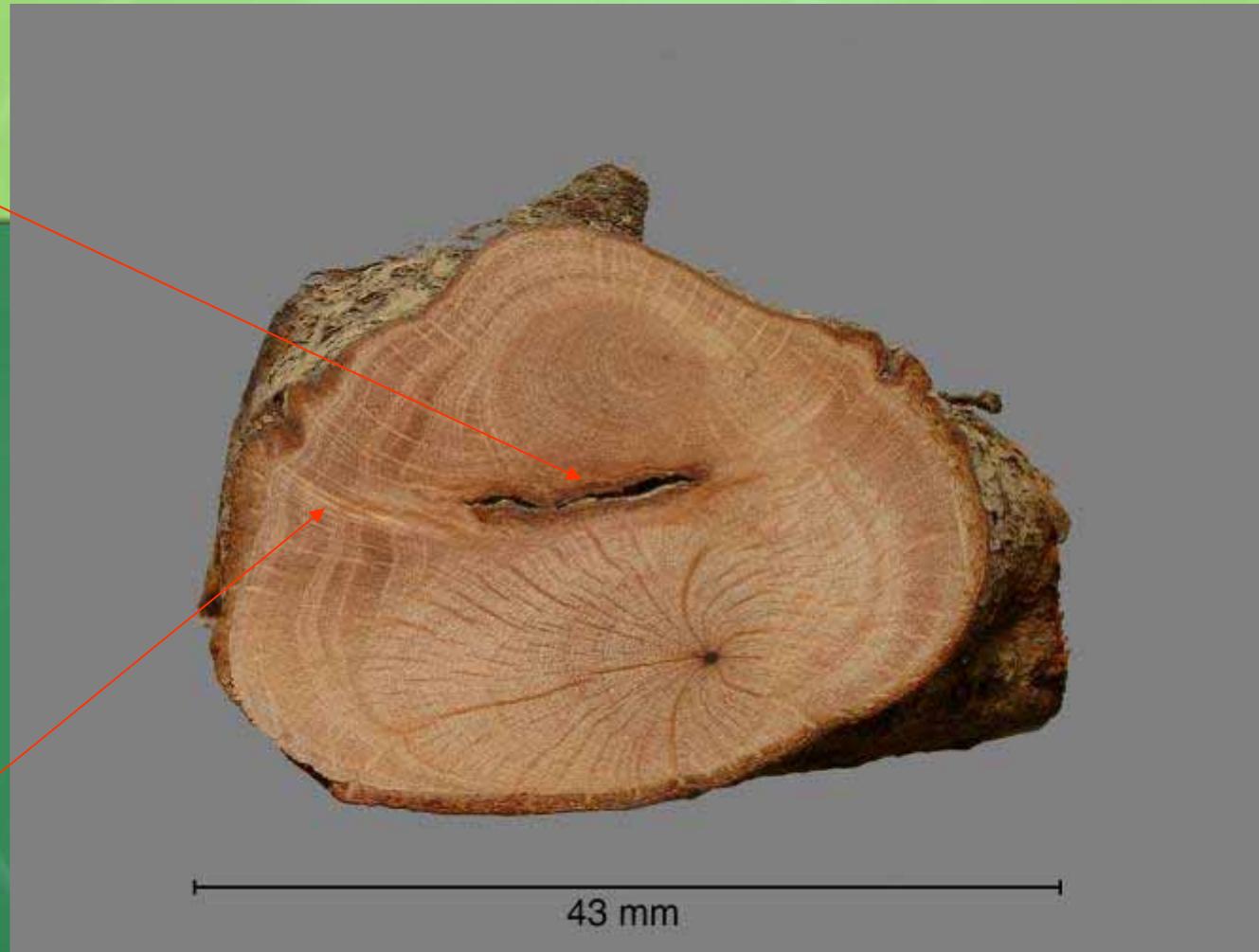
Exploitation racinaire complémentaire du sol (racines de moins de 2 mm de diamètre)



Drénou, 2006
d'après Schütz, 1997

Ecorce incluse

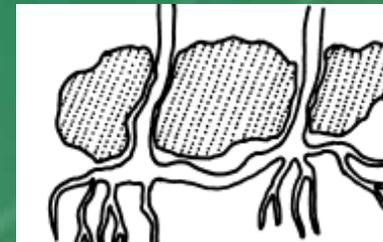
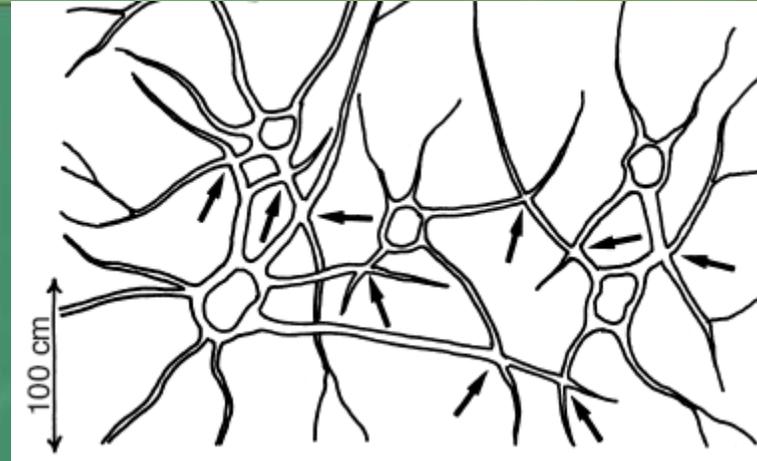
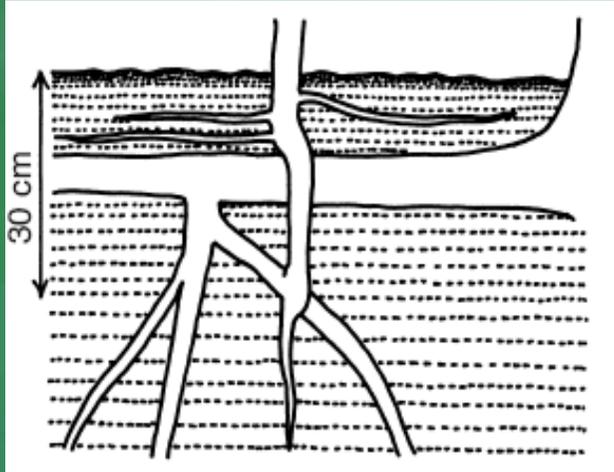
Bois commun



Anastomose de deux racines de hêtre

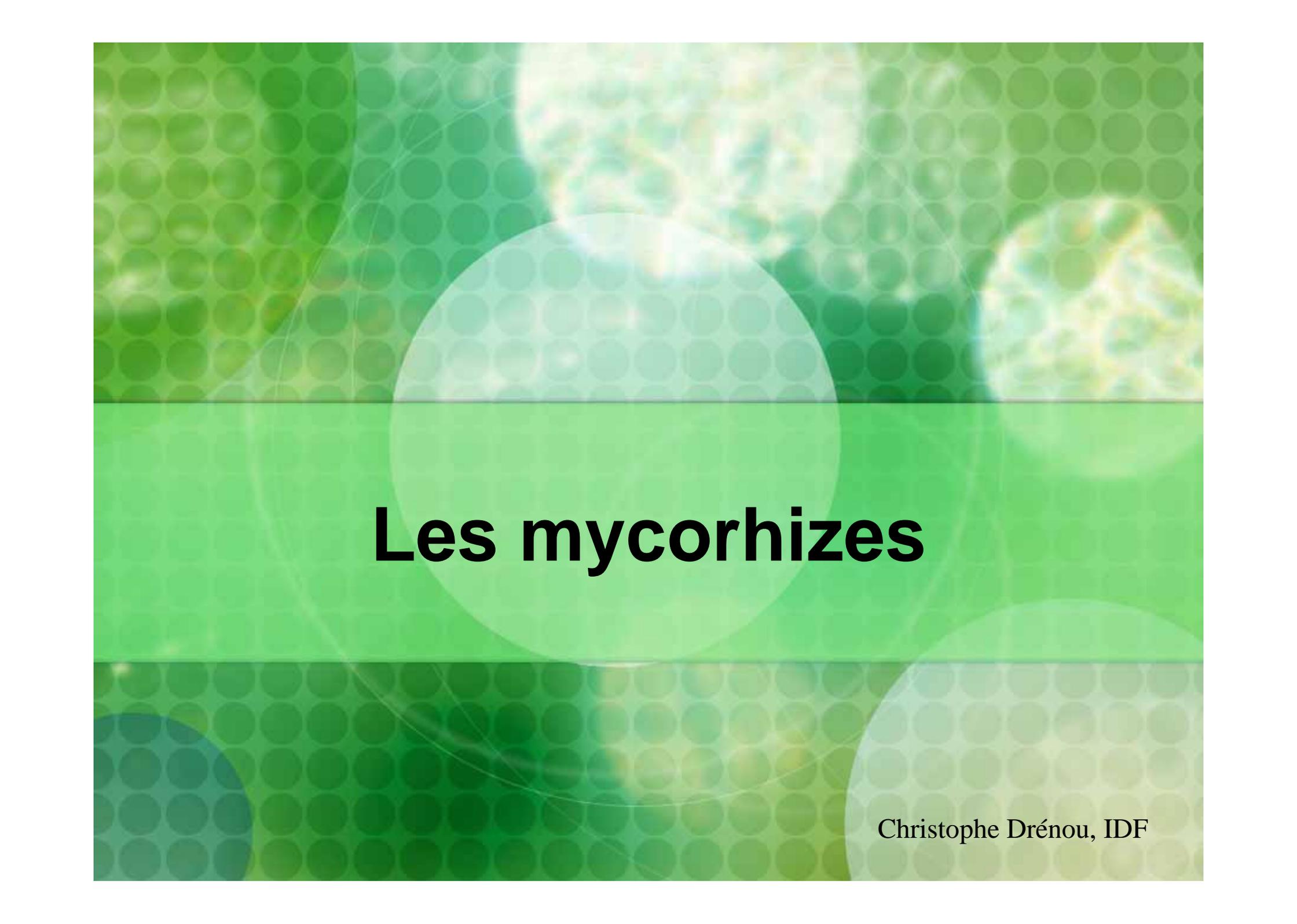
Photo : René Canta

Différents cas d'anastomoses (pin sylvestre, épicéa, douglas, pin maritime)



Conséquences pratiques

- La concurrence racinaire débute bien avant que les houppiers n'entrent en contact
- Lors des martelages, on peut laisser deux beaux arbres proches, ils ne se concurrencent pas plus que des arbres éloignés d'une distance égale ou inférieure à leur hauteur
- Même les jeunes arbres qui ne sont pas directement mis en lumière peuvent profiter des éclaircies (connexions racinaires)

The background of the slide is a vibrant green with a repeating pattern of small, semi-transparent circles. Overlaid on this are several larger, semi-transparent circles of varying shades of green and yellow. Within these larger circles, there are microscopic images of mycorrhizal structures, showing intricate, branching, and interconnected networks of fine filaments.

Les mycorrhizes

Christophe Drénou, IDF

Photoassimilats
(carbone sous forme de sucres)

Champignon symbiotique

Ressources nutritives du sol
(eau, solutés minéraux)



***hêtraie de 90 ans dans les basses
Vosges :***

***cinq millions d'extrémités
racinaires par m² sur 30 cm
d'épaisseur,
soit en moyenne 17 par cm³!***

Les mycorhizes et l'eau

- Exploration du sol par le mycélium au-delà du volume prospecté par les racines
- Exploration des pores les plus fins du sol, impénétrables par les racines ou les poils
- Absorption de l'eau à bas potentiel hydrique ou très concentrée en solutés
- Protection des racines contre la dessiccation par certaines mycorhizes qui augmentent en période de sécheresse, survivent sans eau et sont immédiatement actives lorsque la pluie revient

The background features a repeating pattern of green circles in various shades. Overlaid on this are several semi-transparent circular shapes, some of which contain a blurred image of the Earth (globe).

Les incertitudes de la R.U.

Christophe Drénou, IDF

Fosses et enracinement

- Les obstacles à l'ouverture des fosses pédologiques sont rarement des contraintes pour l'enracinement !!

Quel est le volume de sol prospecté par les racines?

- Difficulté pratique à évaluer la profondeur d'enracinement
- Extension latérale des racines non prise en compte??
- Anastomoses racinaires ignorées
- Problème de la répartition dissymétrique des enracinements (hétérogénéité entre fosses)
- Problème de l'identification des racines mélangées

Quelle est la capacité des arbres à extraire l'eau? (Quel est le point de flétrissement?)

- Comment déterminer le point de flétrissement *in situ* (\neq labo)?
- Comment évaluer l'influence de la densité d'enracinement (racine isolée versus amas)?
- Comment pondérer la capacité d'extraction selon le diamètre des racines?
- Comment prendre en compte les mycorhizes (aspect dynamique)?
- Quelle sont les possibilités d'extraction de l'eau contenue dans les éléments grossiers?
- Rôles des remontées capillaires d'eau?

Becker, 1977

- Beaucoup d'espèces résineuses survivent à des $pF > 4,2$ (humidité du sol = 8.7%) pendant de nombreux mois
- Il semble impossible de faire périr un plant résineux bien installé dans son substrat, au cours d'une unique saison de végétation, du seul fait de la sécheresse du sol.
- L'arbre puise dans ses réserves (cellules parenchymateuses de l'aubier)

Pour en savoir plus

