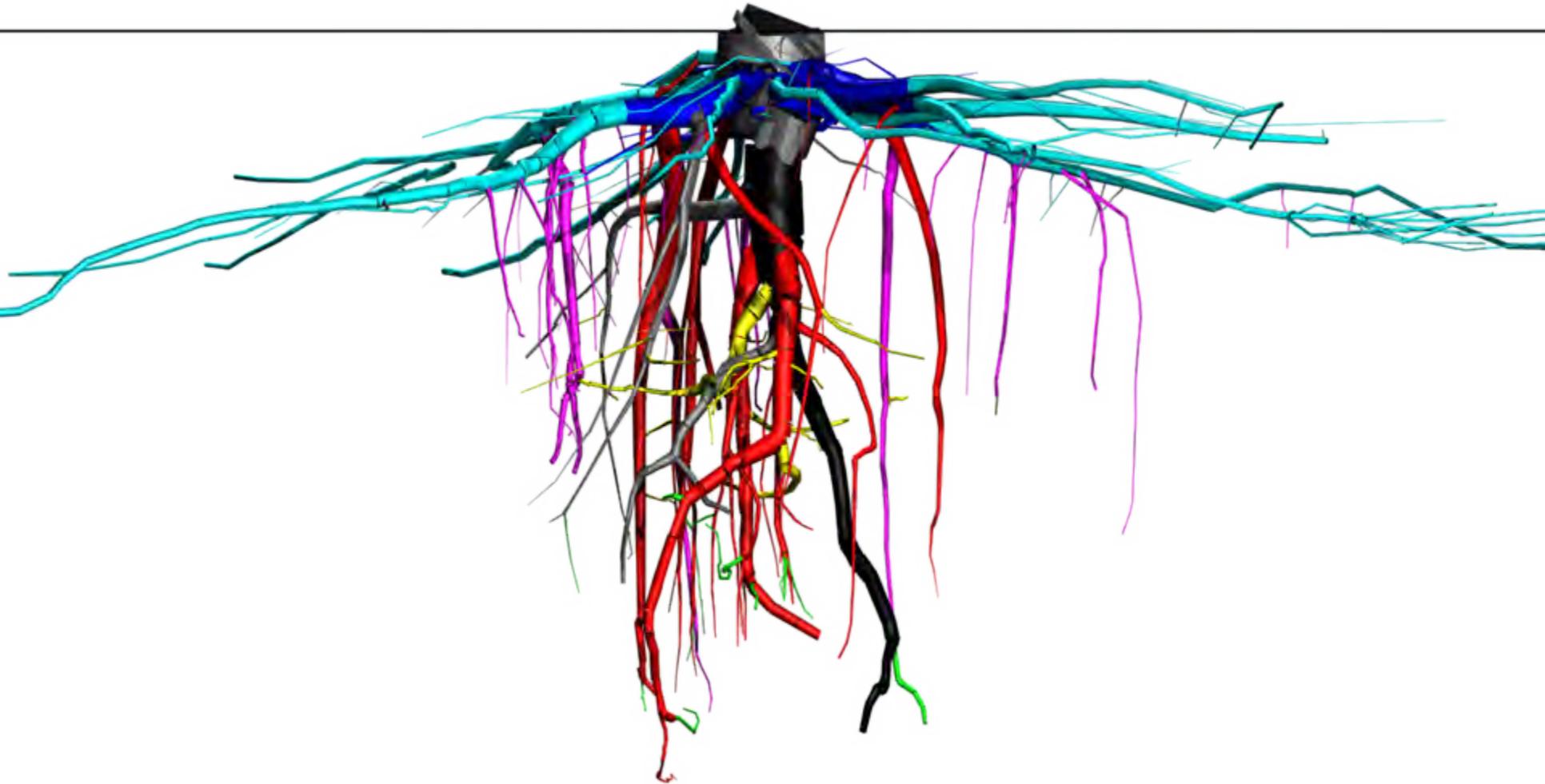


La stabilité des peuplements forestiers au vent

L'arbre et son enracinement

Frédéric Danjon & Thierry Fourcaud

INRA - BioGeCo Bordeaux / CIRAD - AMAP Montpellier



L'ancrage

Racines de structure, structurées en systèmes racinaires

- (1) Biomasse racines/aérien
- (2) Architecture racinaire
- (3) Propriétés du bois de racine

-> le pin maritime dans les sols landais



L'ancrage

Génétique

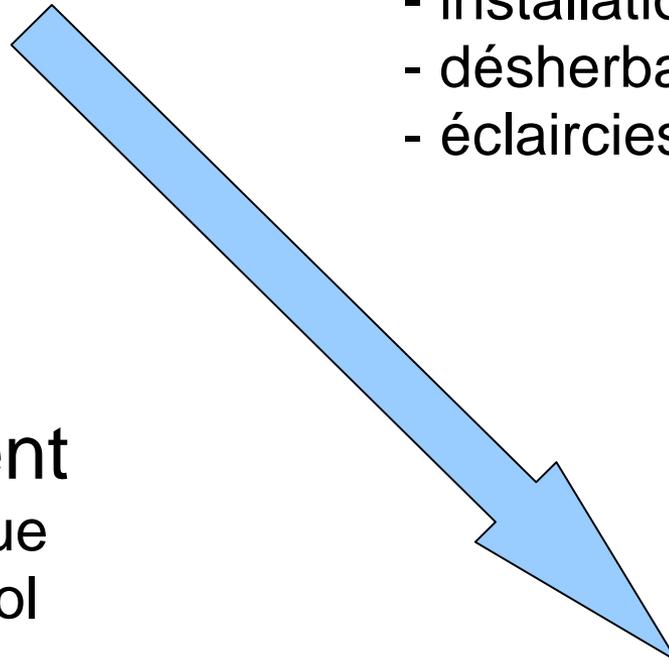
- espèce
- variété
- génotype

Sylviculture

- installation
- désherbage
- éclaircies

Environnement

- profil pédologique
- teneur en eau sol



Inventaires de chablis



Photo D. Bert

H/D ?

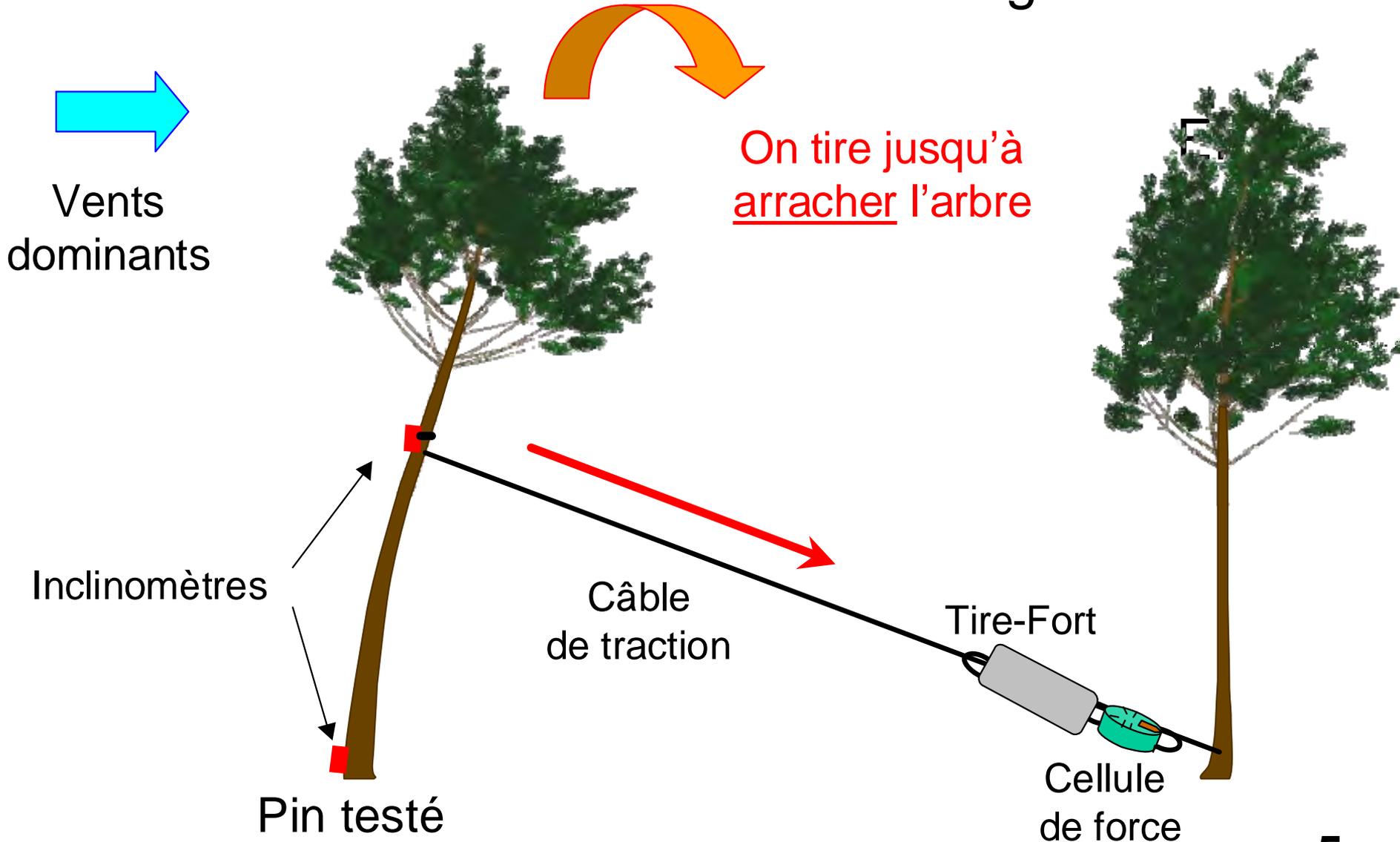
Alios ?

Niveau de Nappe ?

e. g. Lebourgeois et Jabiol 2002

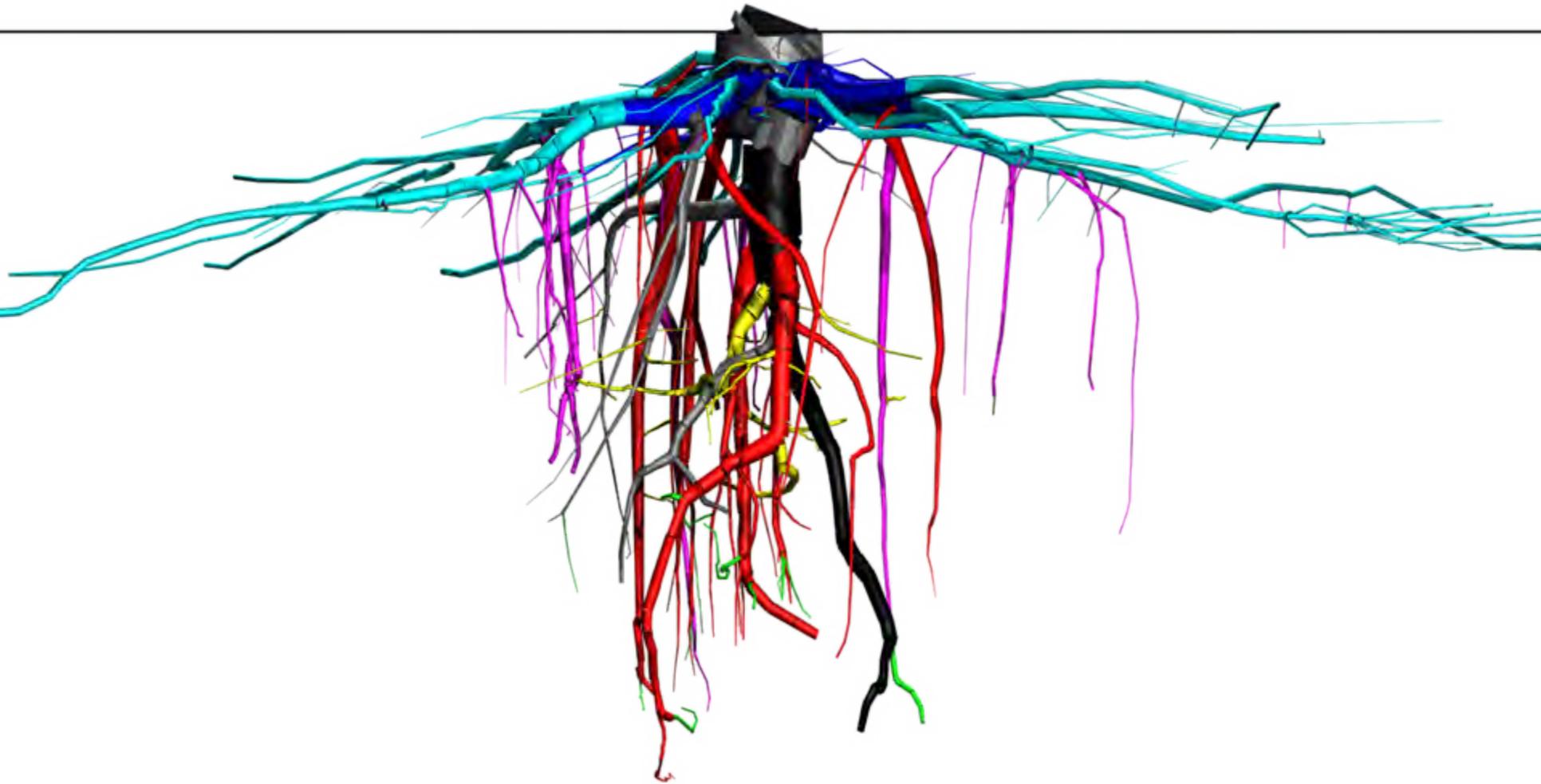
Les méthodes

Les essais de treuillage



Cucchi Meredieu et al. 2004

Mesure architecture racinaire en 3D



Pin maritime 24 ans lande sèche

Simulations mécaniques

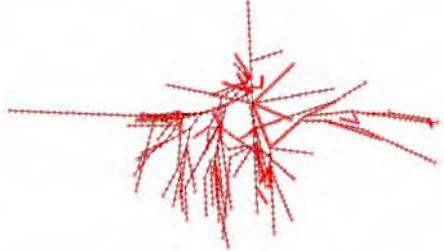


Structure simulée

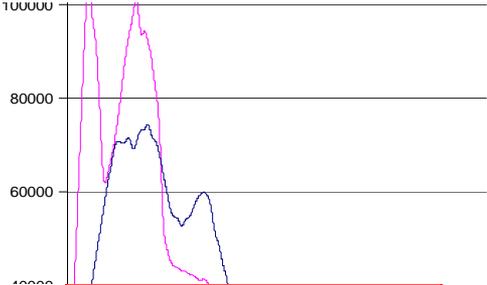
Codage sous un format MTG AMAP (Godin et al., 1999)

Visualisation et analyse architecturale

Maillage de la structure en éléments de poutres



Analyse des résultats et visualisation



Calcul MEF

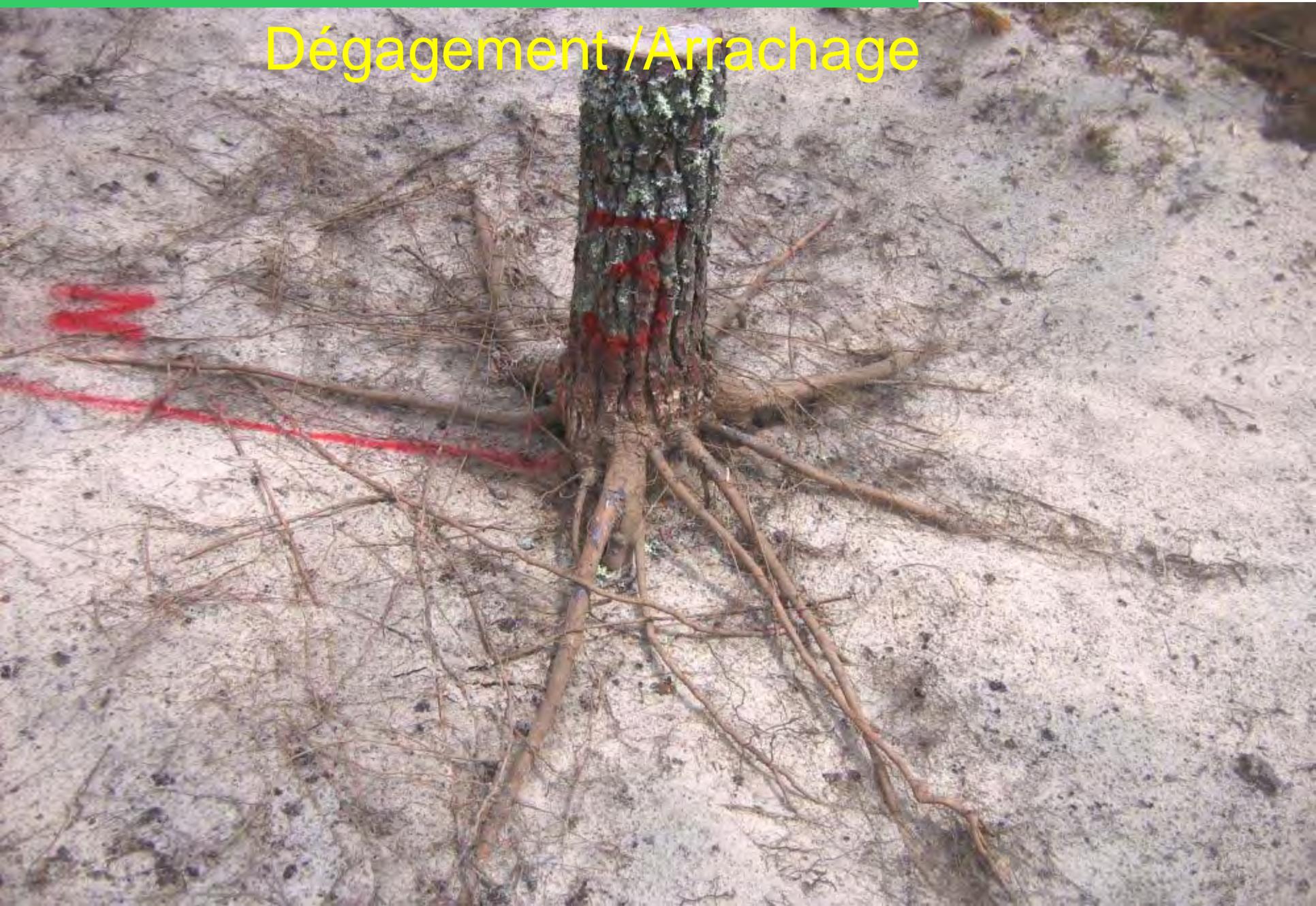


Fichier de commandes généré pour l'analyse MEF

(Fourcaud et al. 2003, Proc. PMA03)

Les méthodes

Dégagement / Arrachage

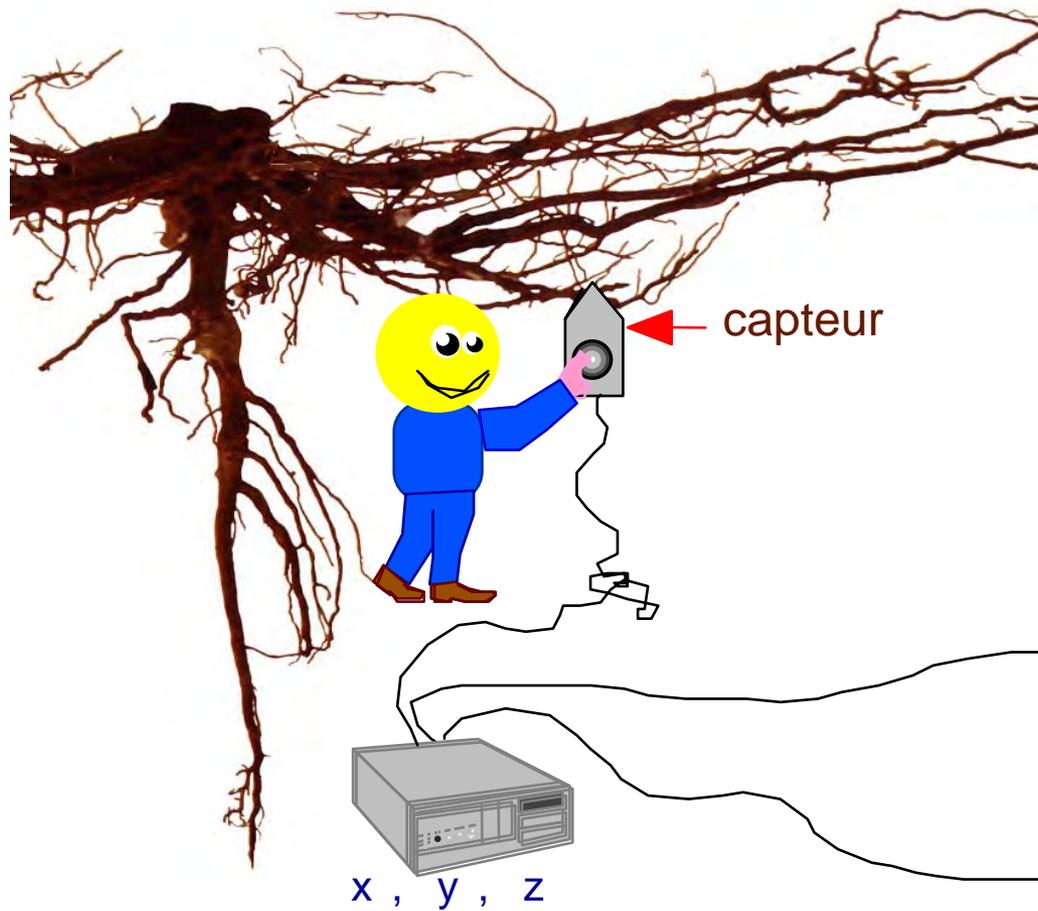






5

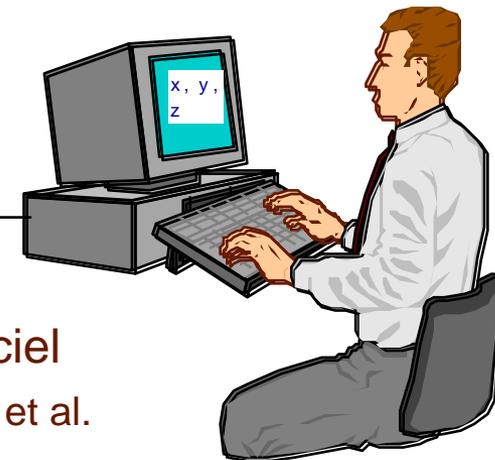
Numérisation 3D de l'architecture



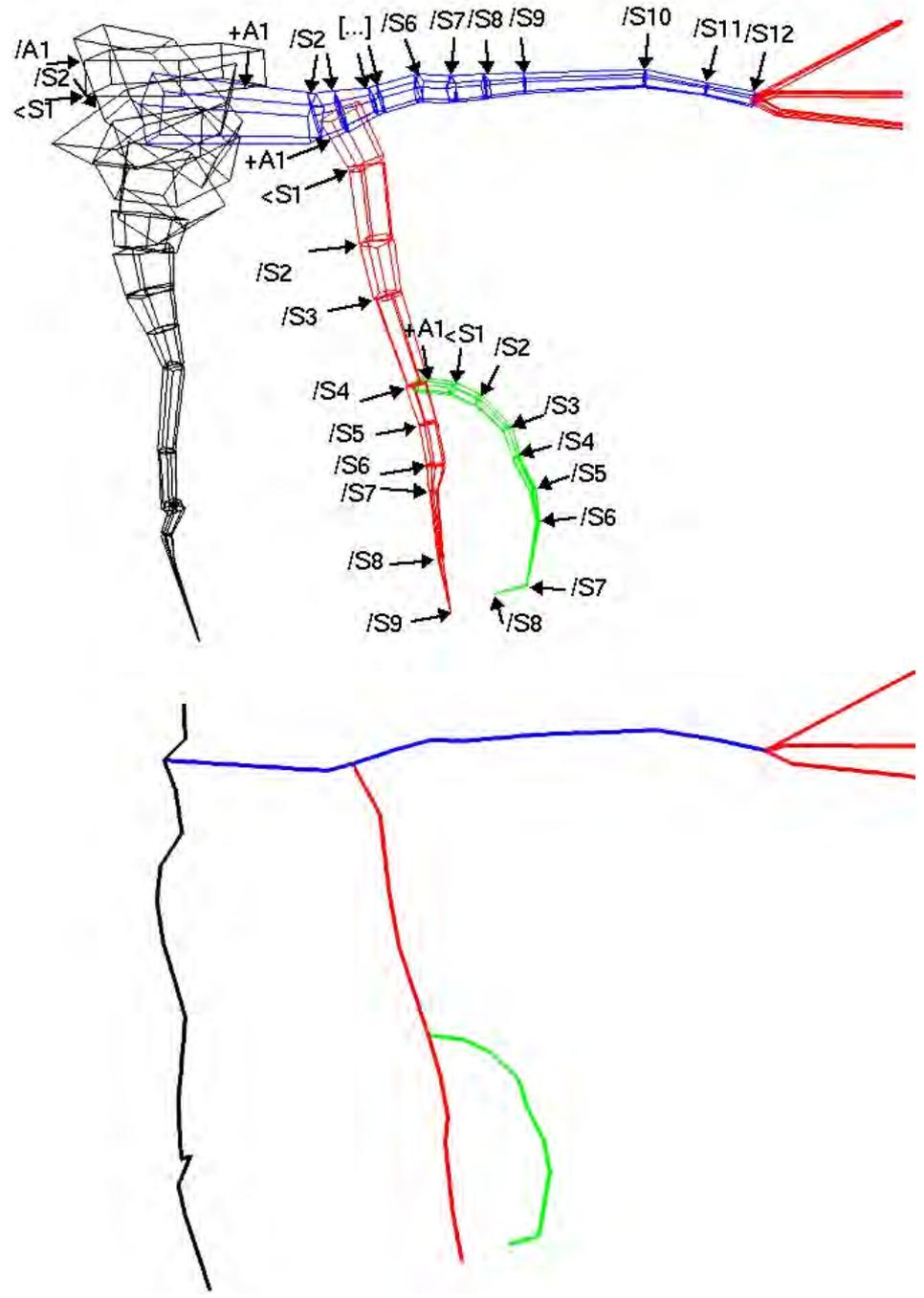
émetteur
magnétique



logiciel
Sinoquet et al.



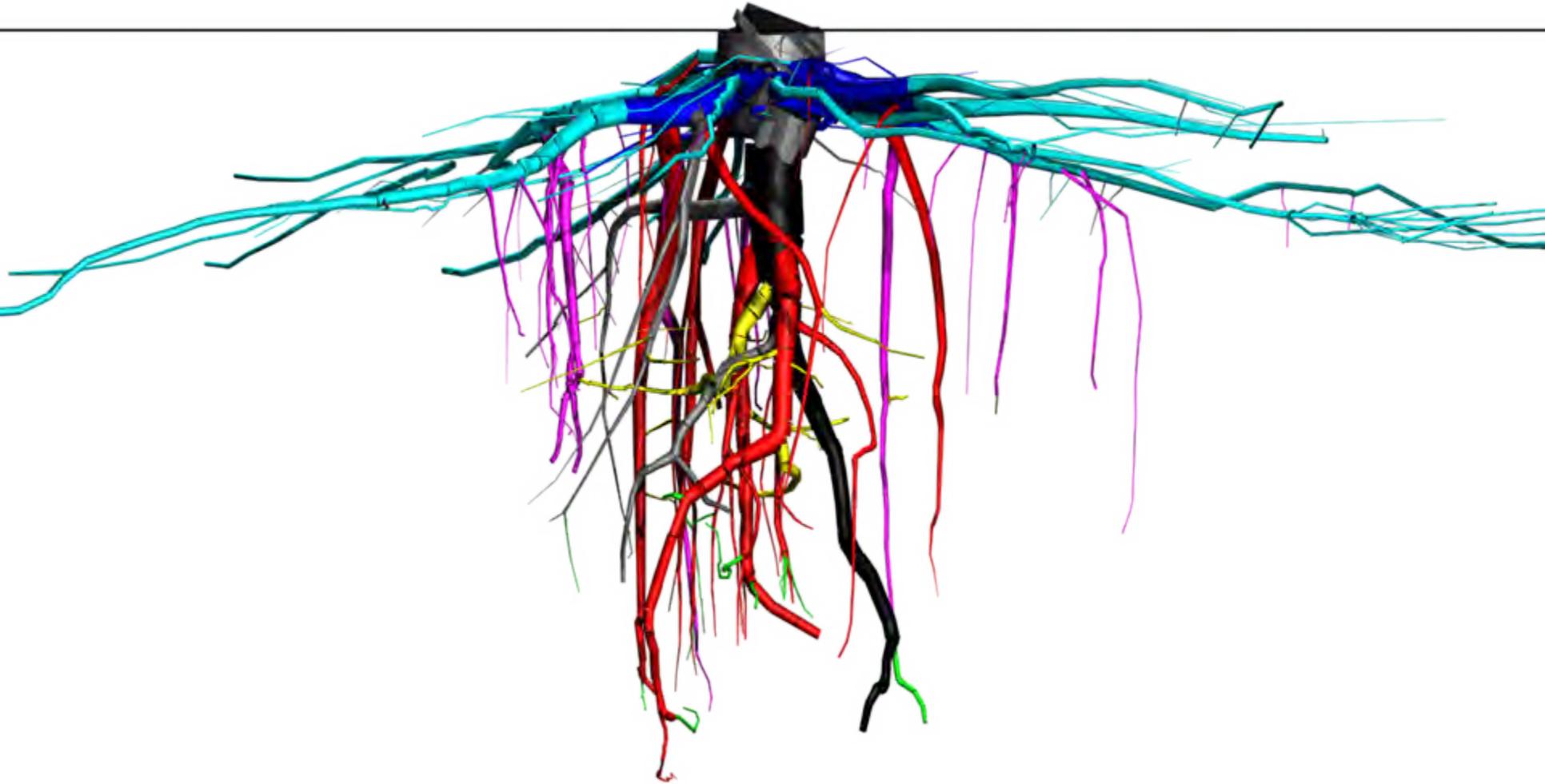
Collaboration avec :
Le CIRAD-AMAP Montpellier
Le PIAF - INRA Clermont-Ferrand



mesure semi-automatique

Codage Axes/segments

Systeme racinaire numérisé



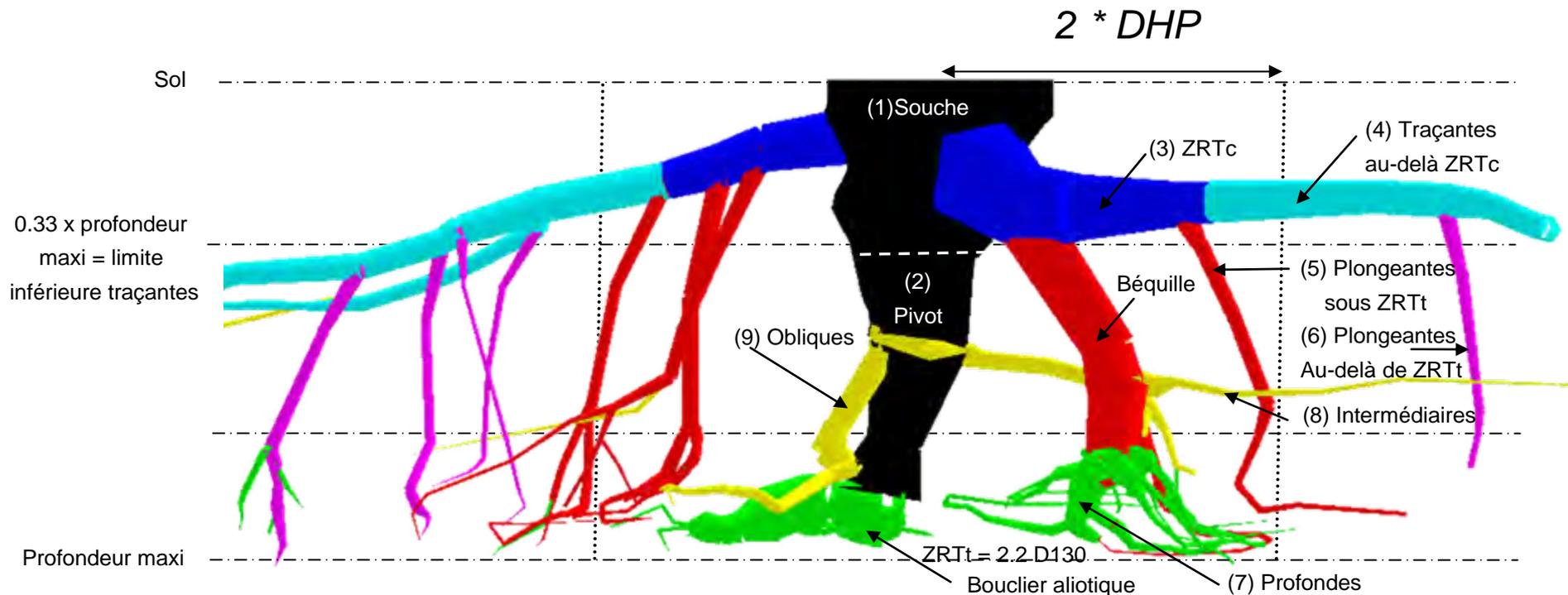
Pin maritime 24 ans lande sèche

1

3

Racines - Analyse architecturale

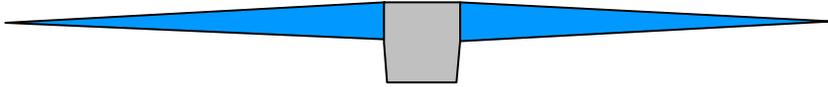
Atger, Pagès et al. (Root typ) ou Jourdan (AMAP)



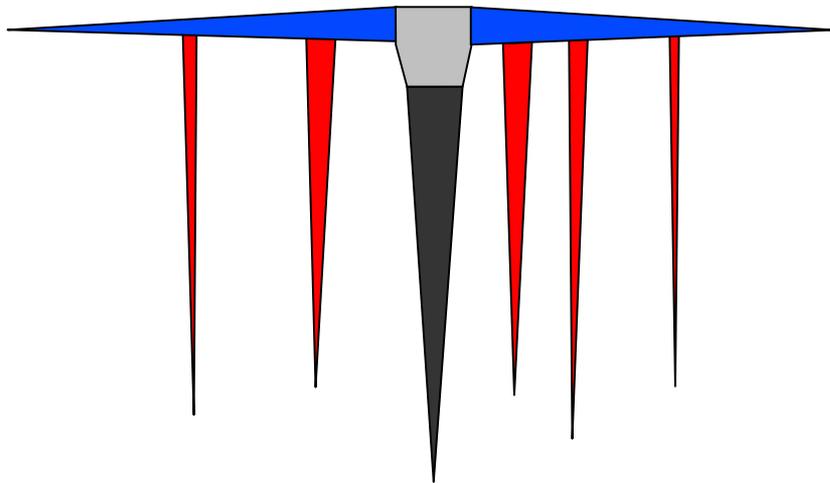
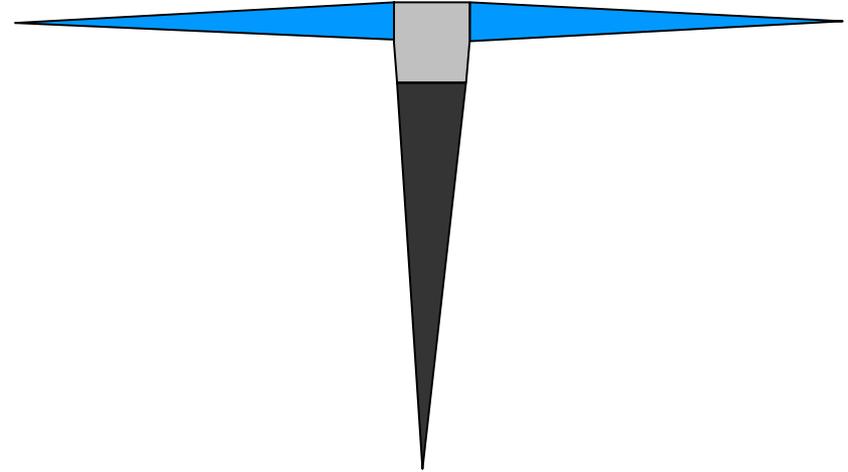
Caractérisation fine de la structure :
9 types de racines

Les types de systèmes racinaires

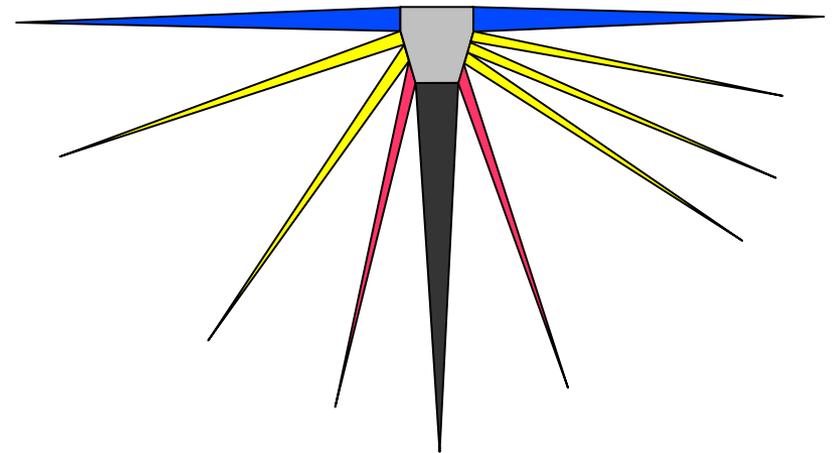
Traçant



Pivotant

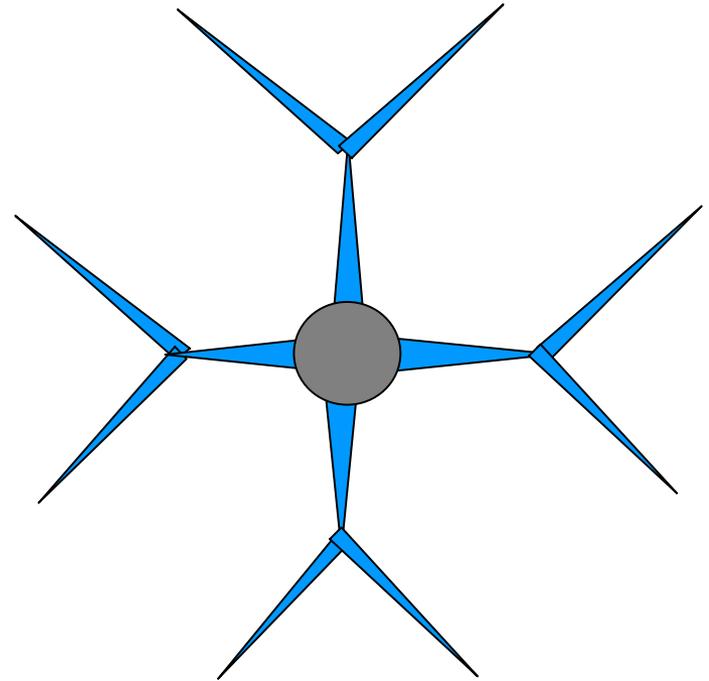
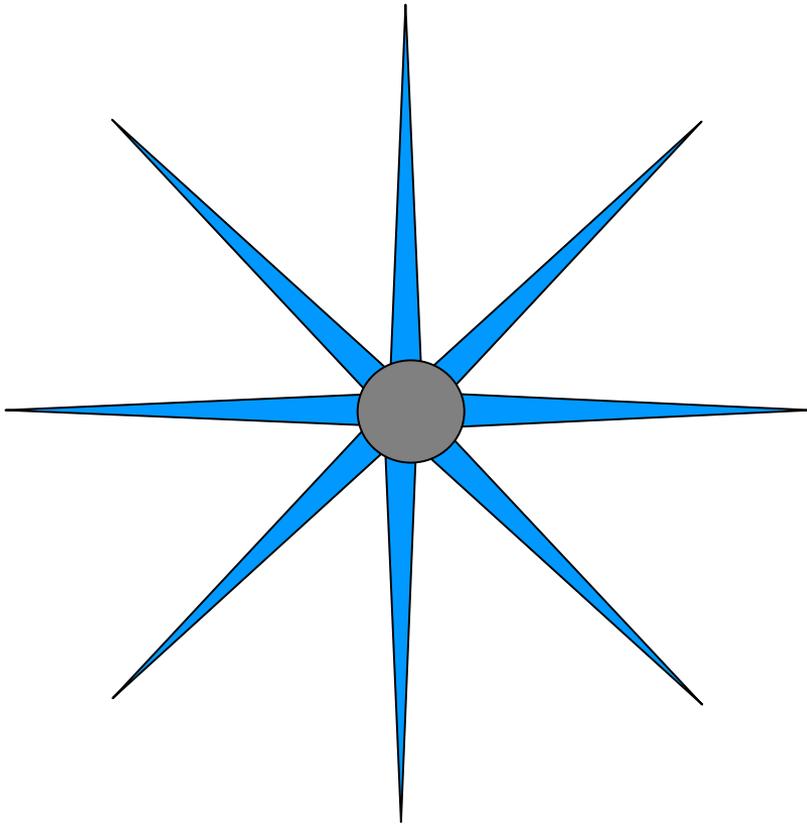


A pivots multiple



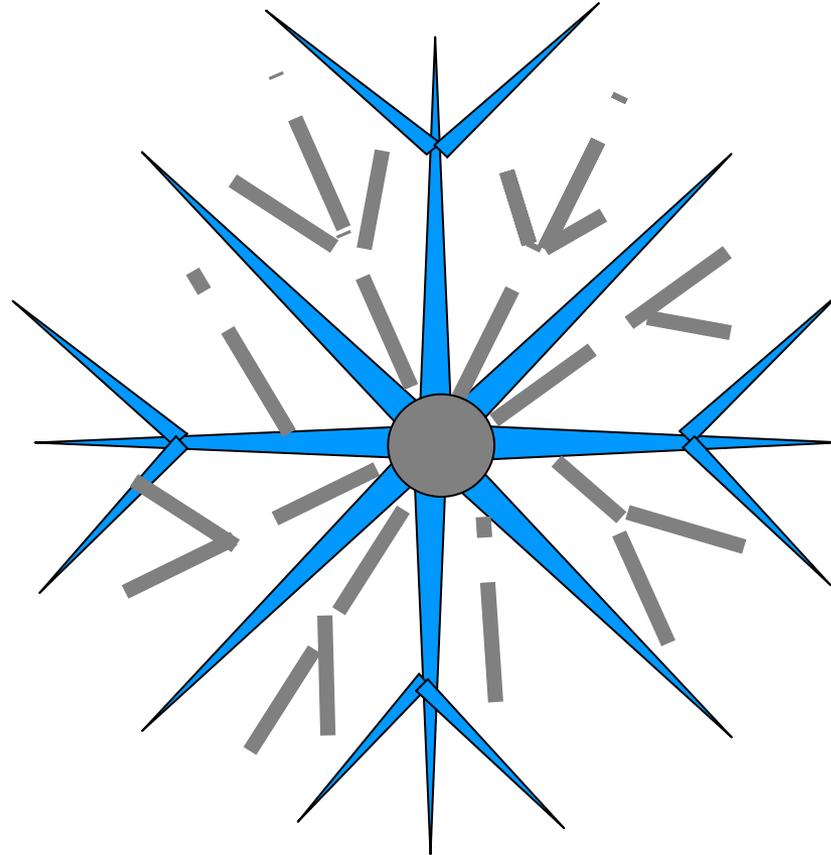
Coeur

Types de systèmes racinaires

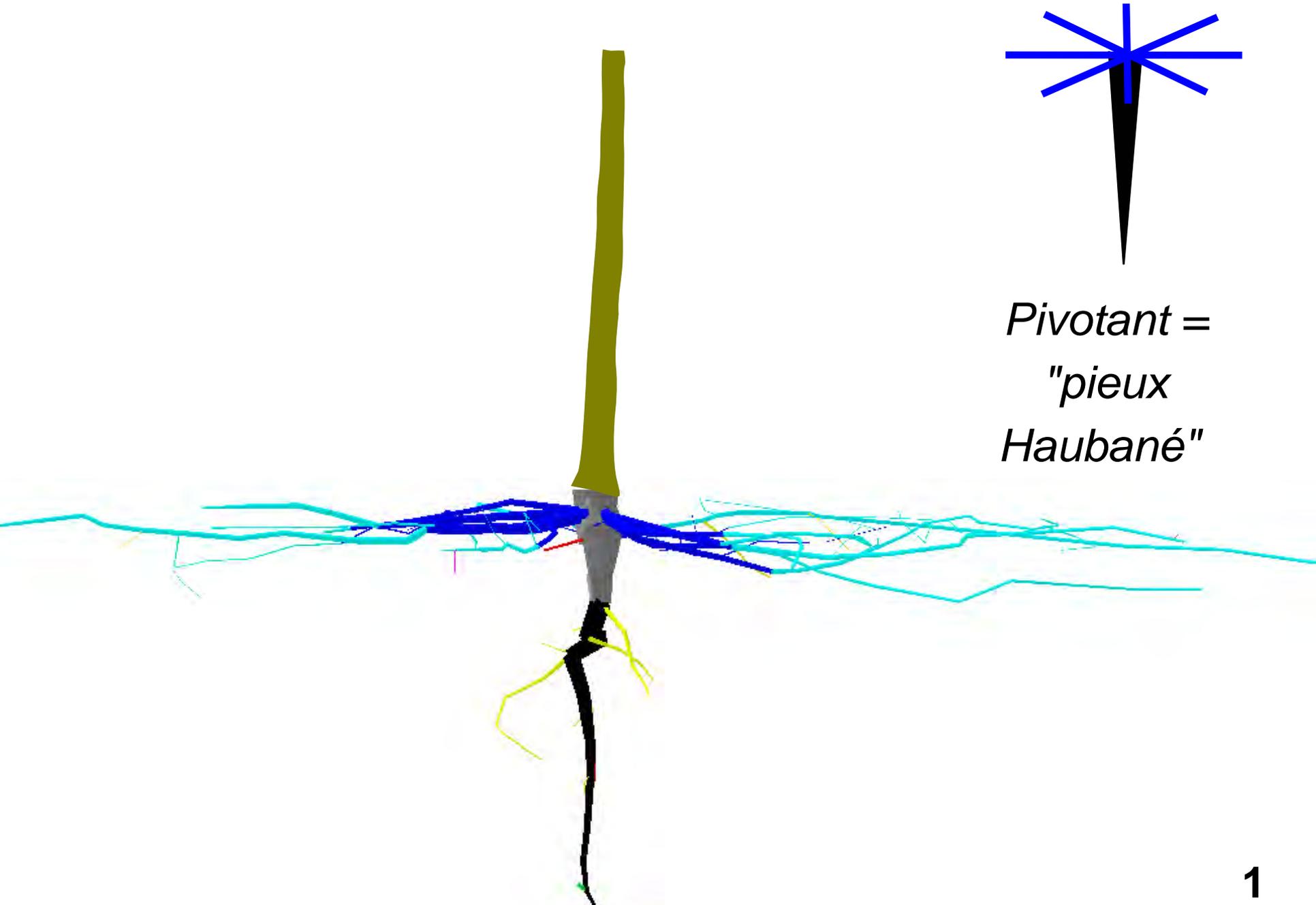


Capacité à faire des fourches

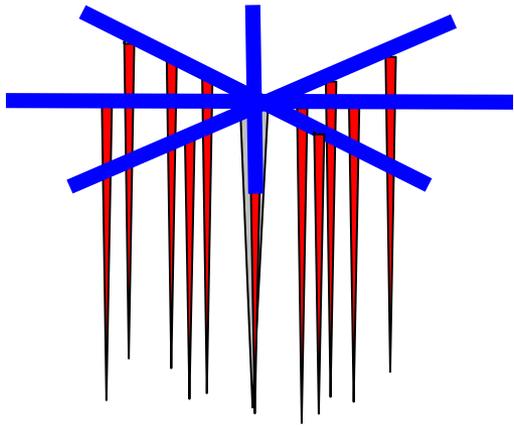
Types de systèmes racinaires



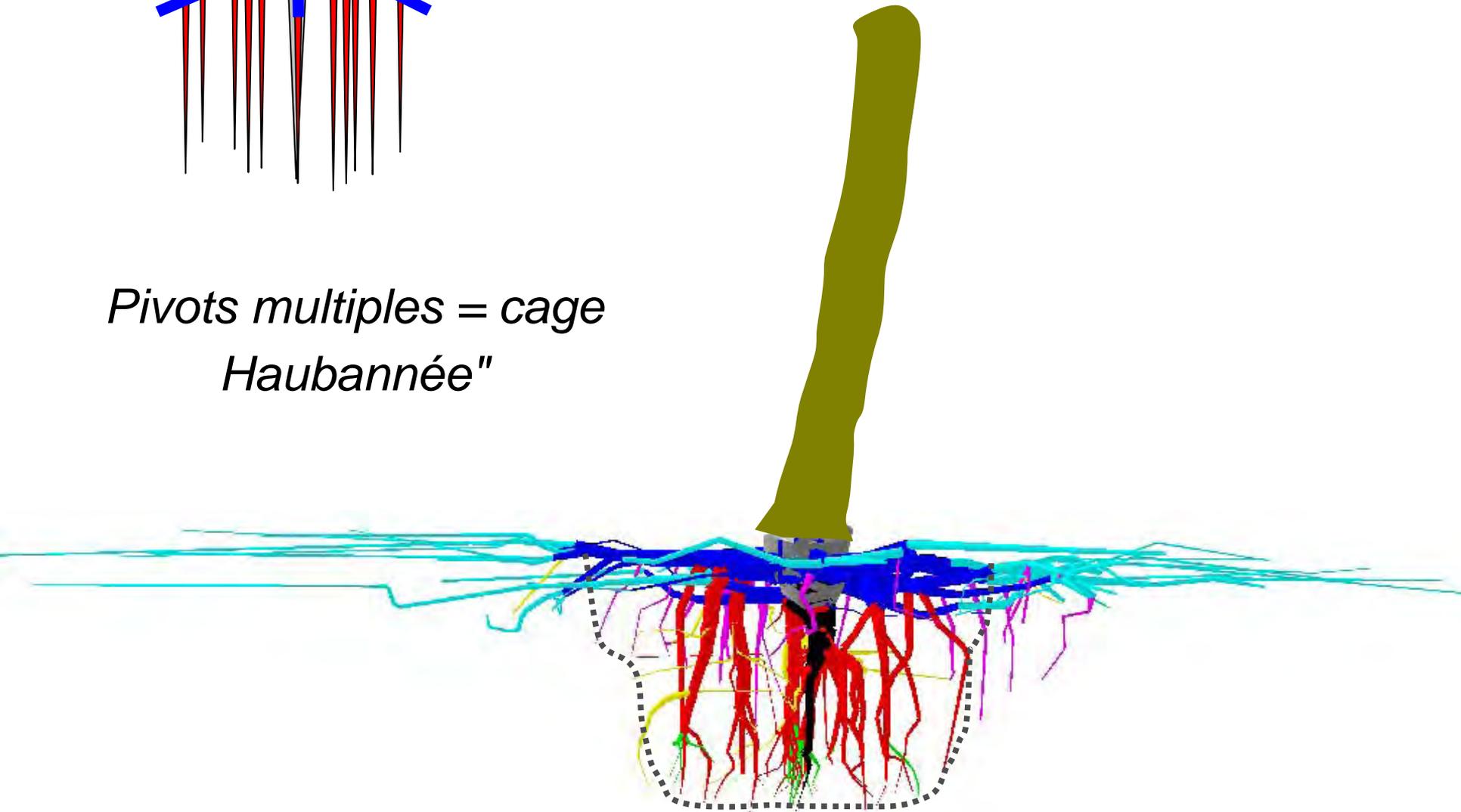
Capacité au développement retardé



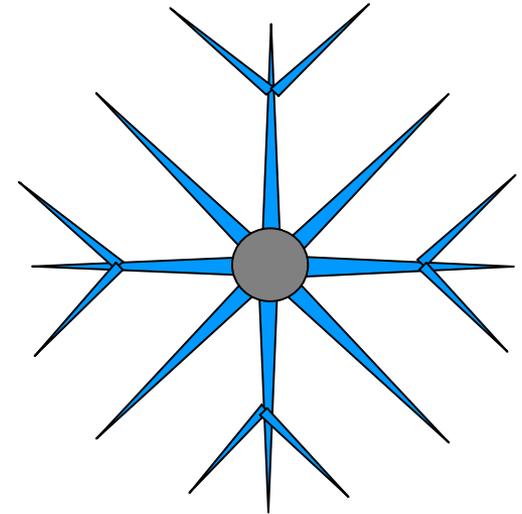
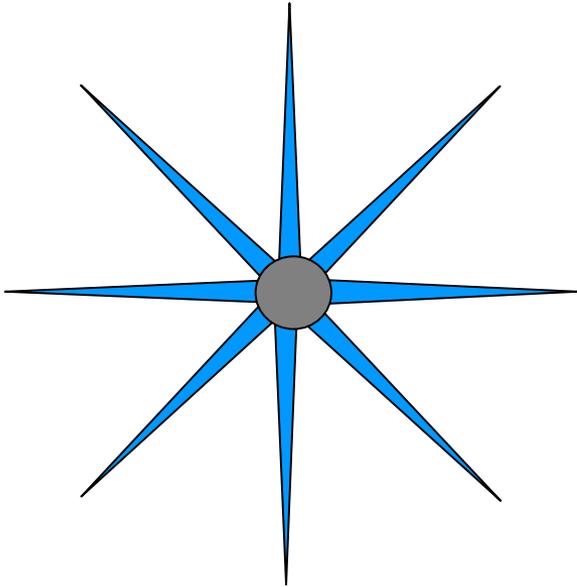
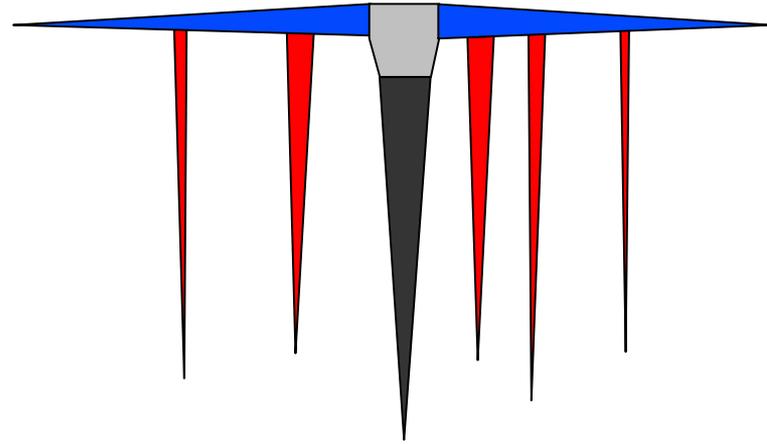
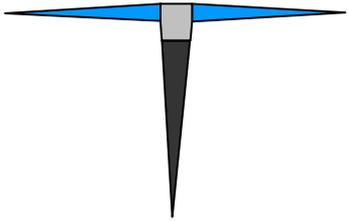
*Pivotant =
"pieux
Haubané"*



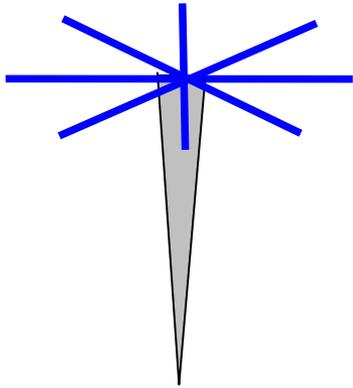
*Pivots multiples = cage
Haubannée"*



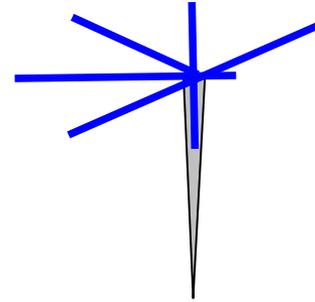
Le pin maritime



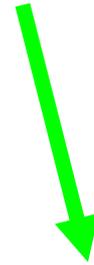
A pivots multiples, sans fourches, sans développement retardé



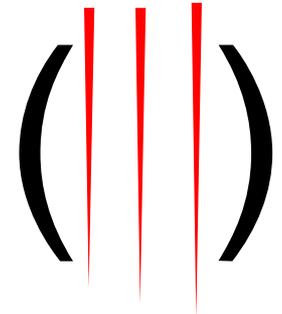
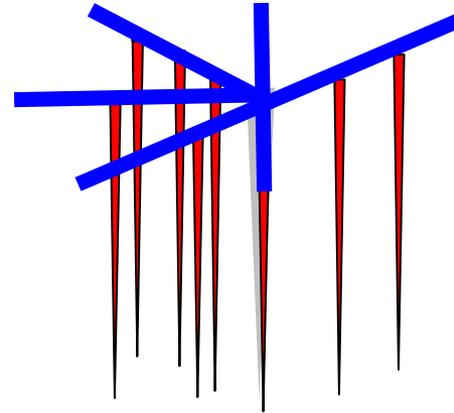
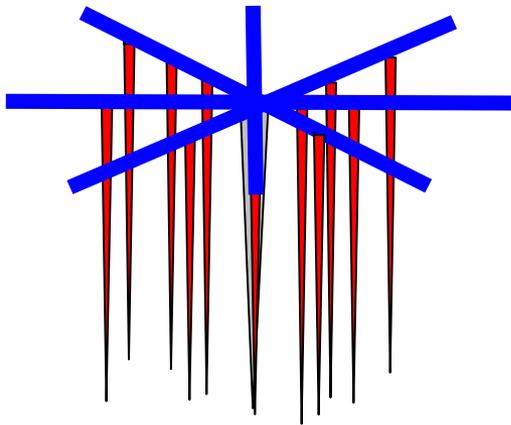
Stable



Instable

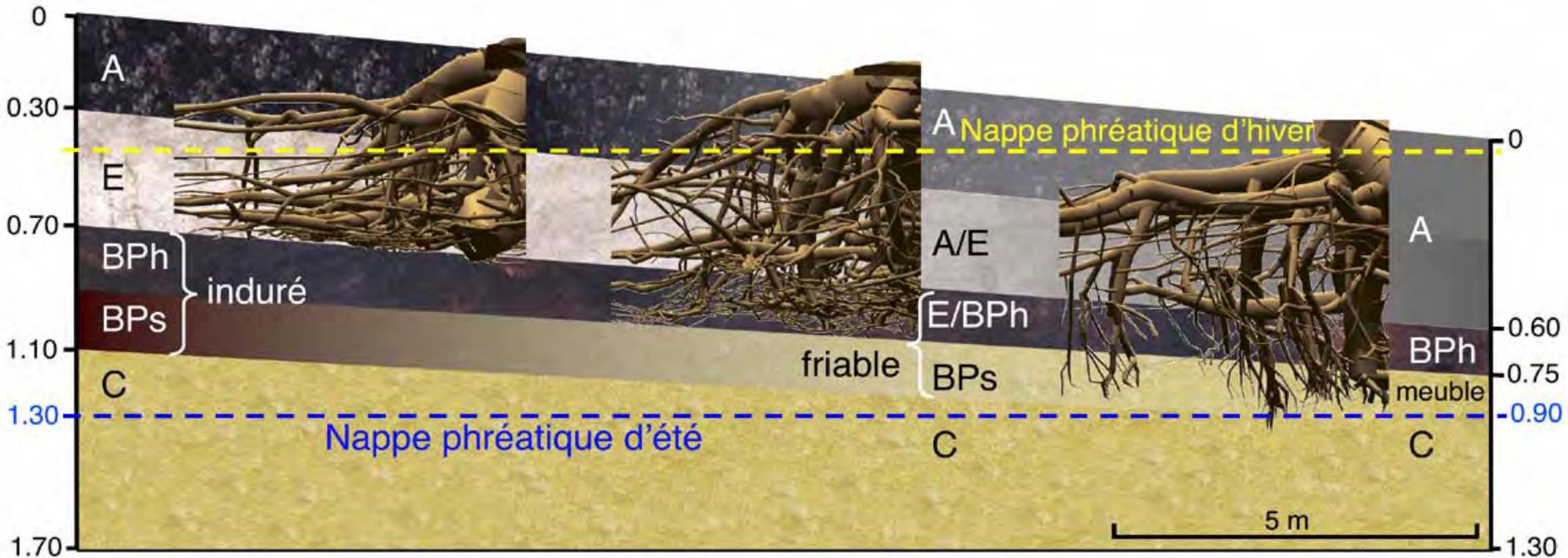


*Pas de
régénération*



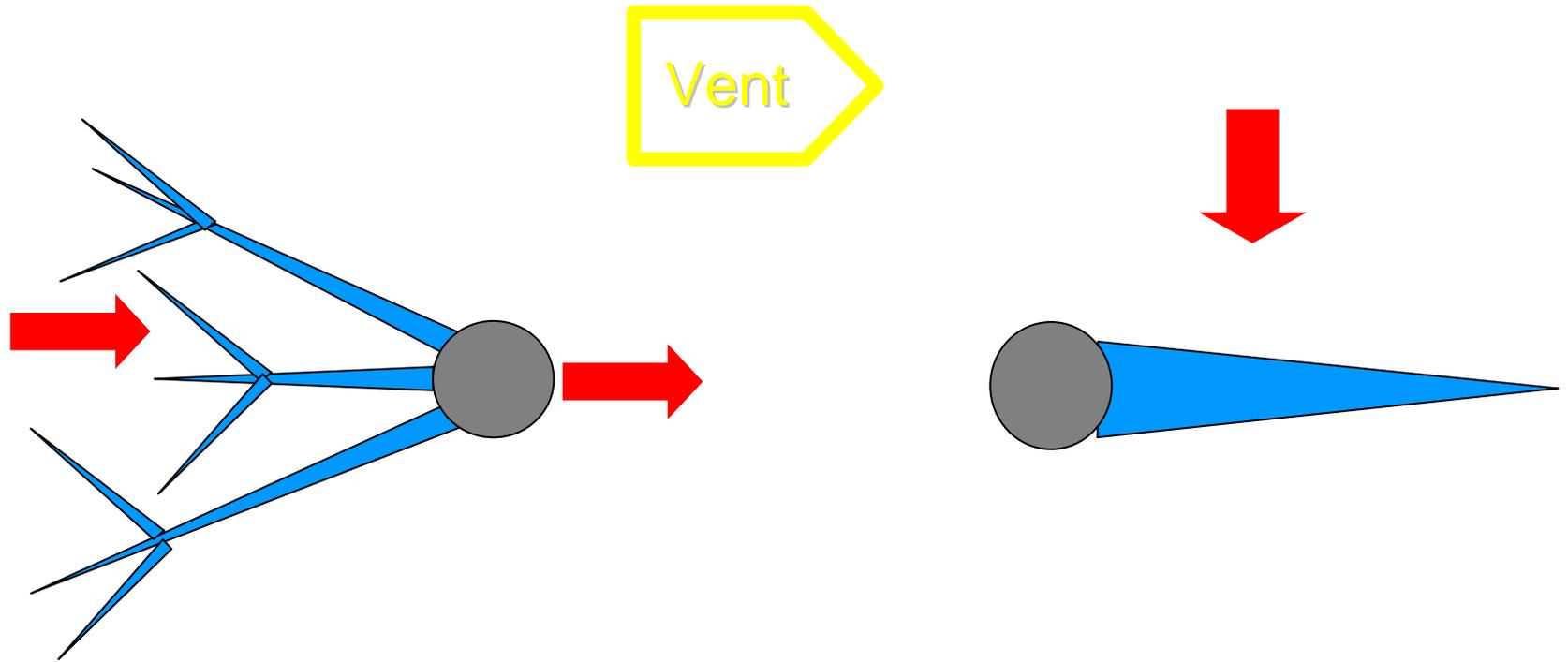
Effet du profil pédologique

-> toposéquence : profil pédologique liée à la microtopographie



- > plasticité du système racinaire vis à vis de la profondeur de sol
- > la stabilité n'est pas liée à la profondeur :
- > l'aliès profond (80 cm) permet aux pins de s'appuyer sur du dur.

Résistance mécanique



en traction

=

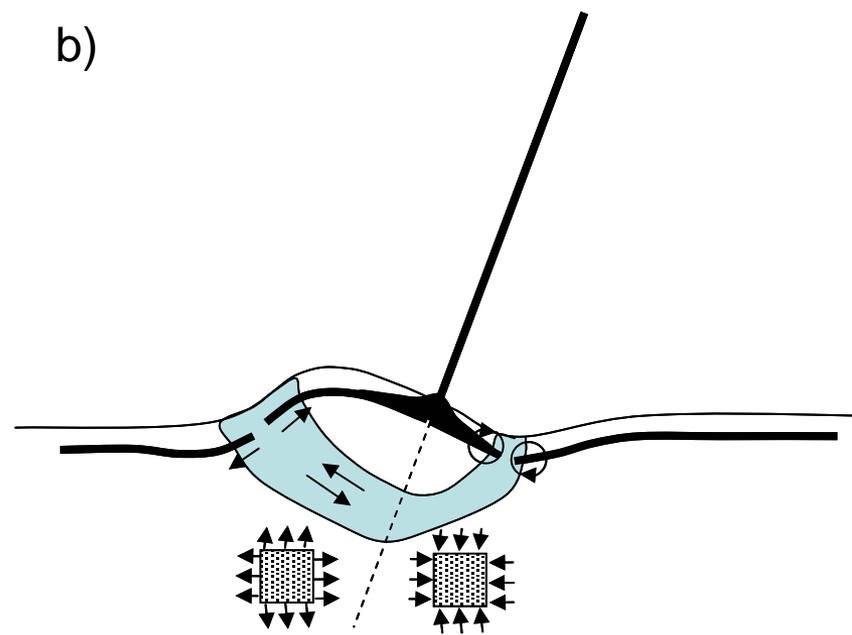
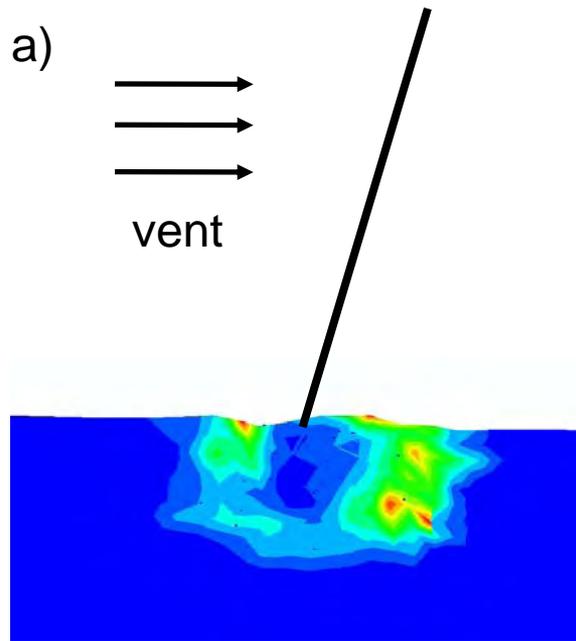
fonction de la surface
en section

en flexion

=

fonction de la
puissance 3 de la
surface en section

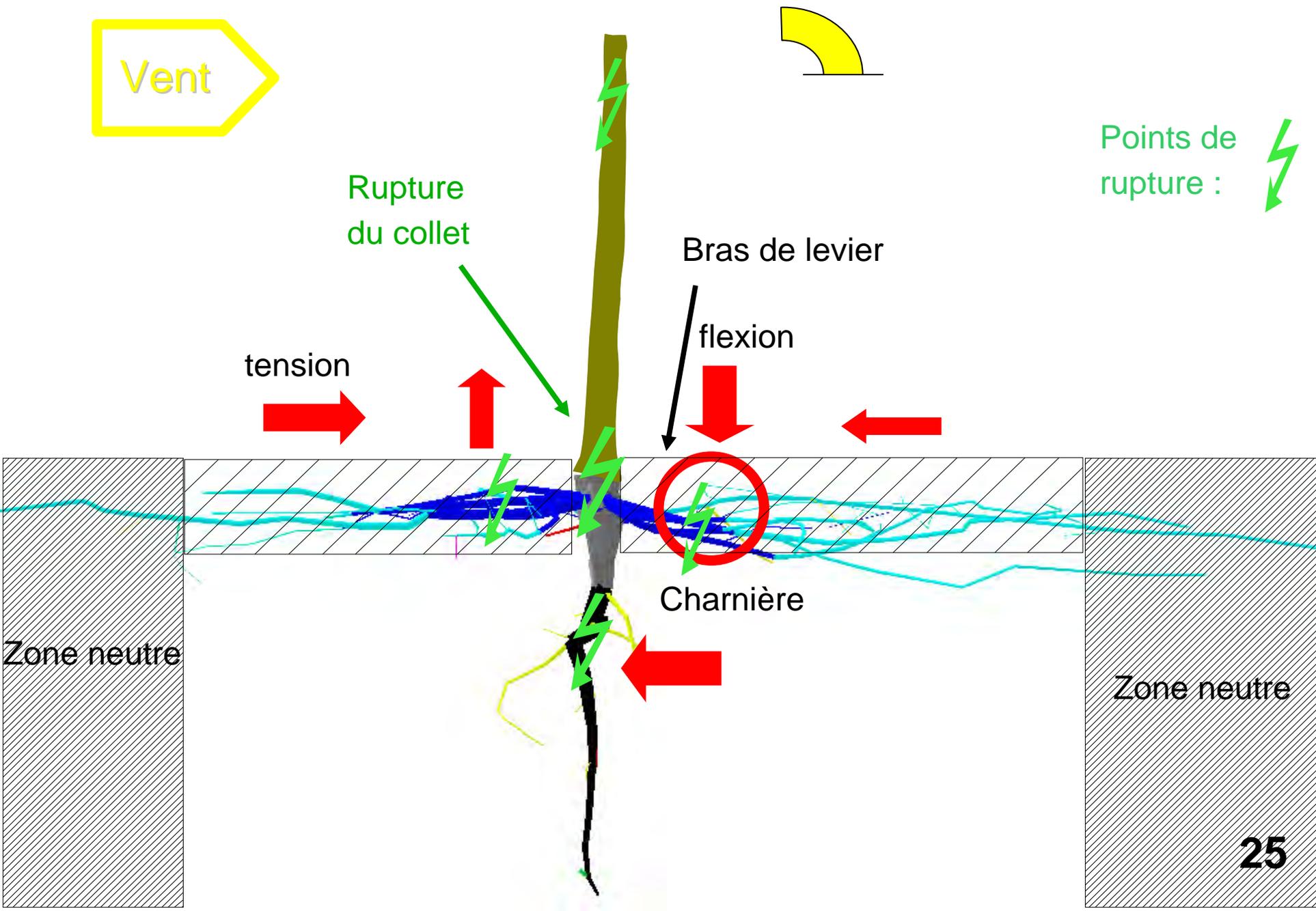
Simulations mécaniques



(1) Plaque sol-racine = suit le mouvement de l'arbre en se désolidarisant du sol

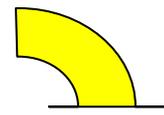
(2) Zone de rupture = phénomènes de rupture complexes racines et sol

(3) La zone non perturbée





Force résultante



flexion

flexion =
charnière



zone d'haubanage

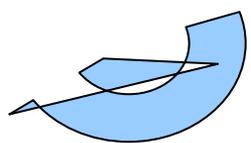


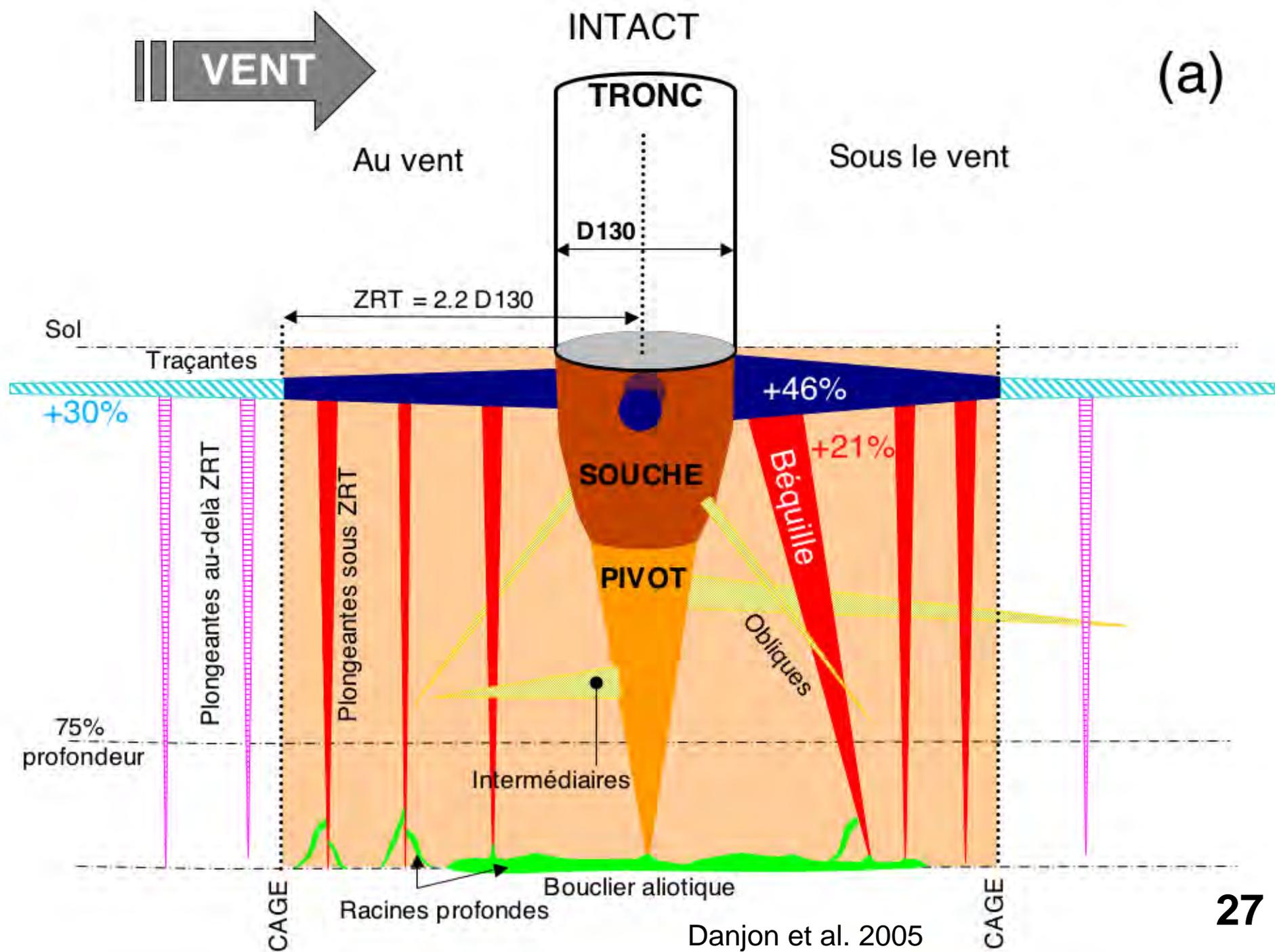
zone neutre

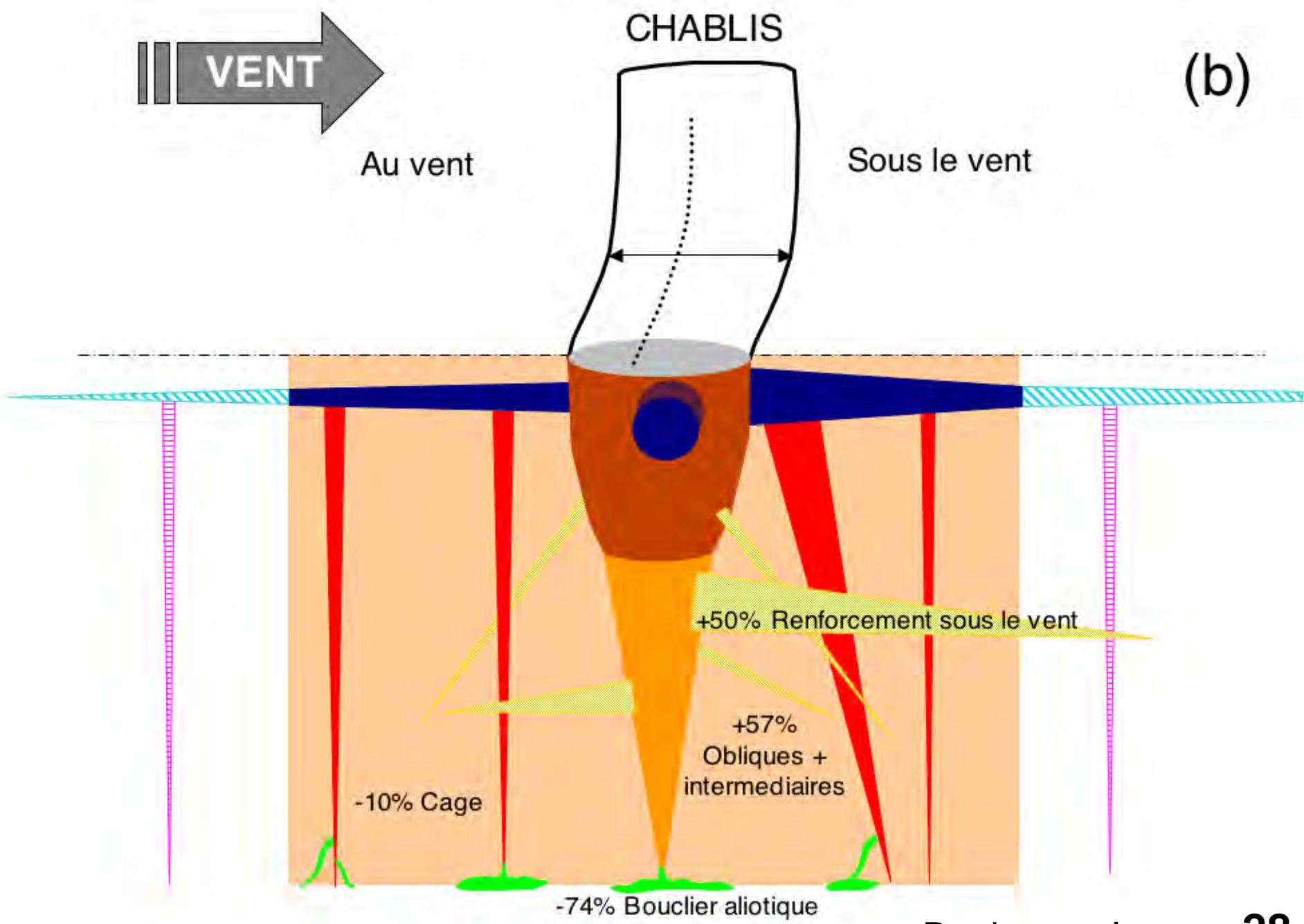


cisaillement sol & racine

poids de la plaque sol-racine





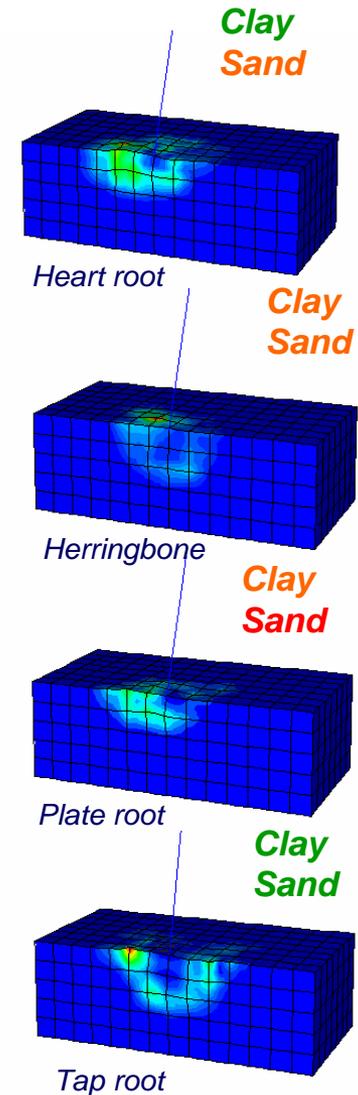
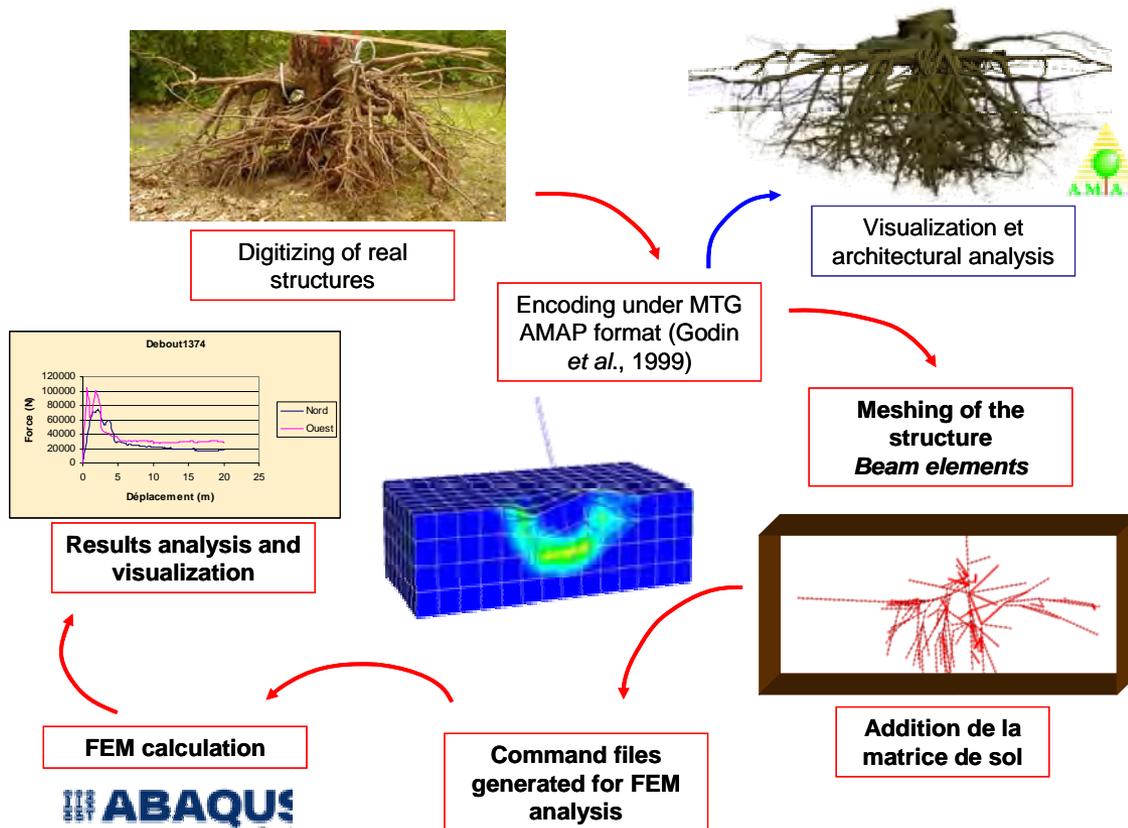


(b)

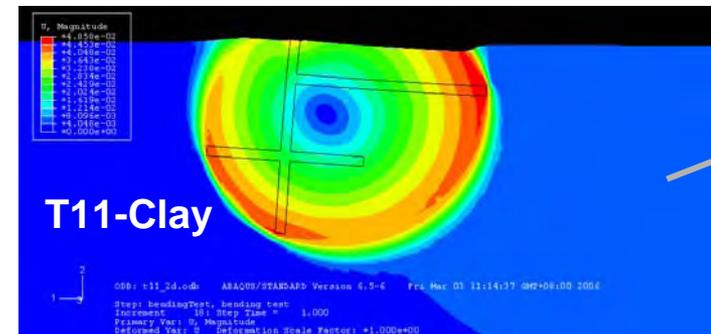
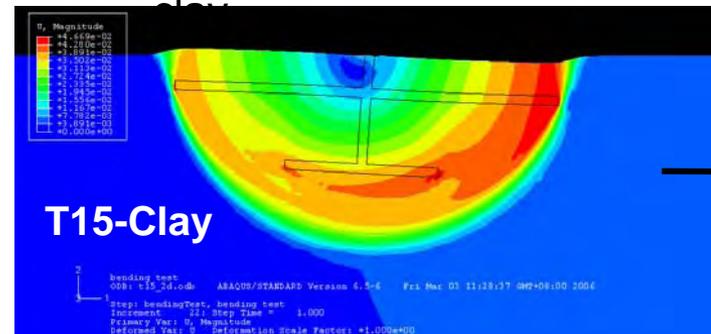
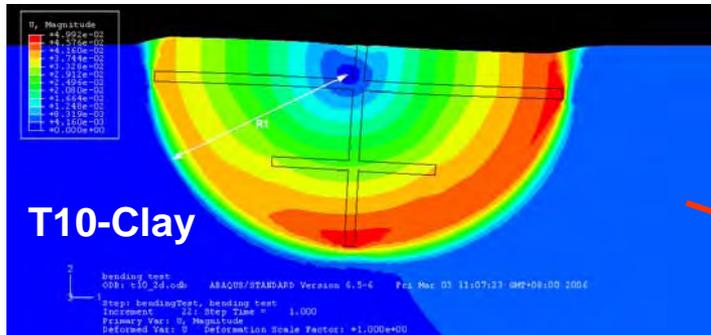
Simulations numérique

Application of the FEM at the tree level : tree anchorage

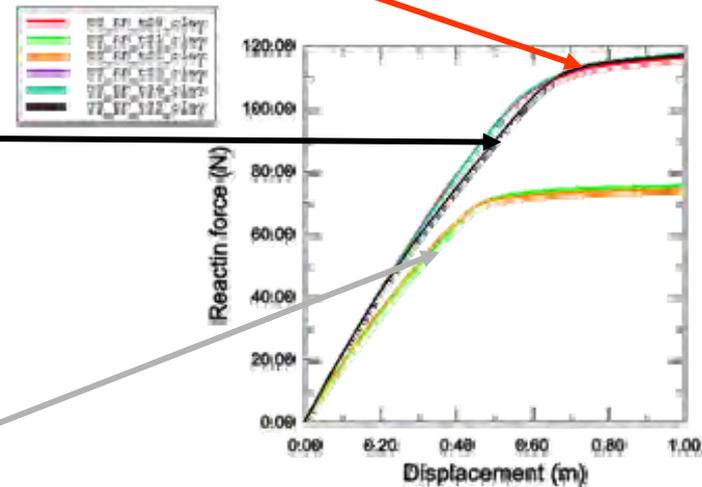
Level of description: tree architecture



Simulations numériques

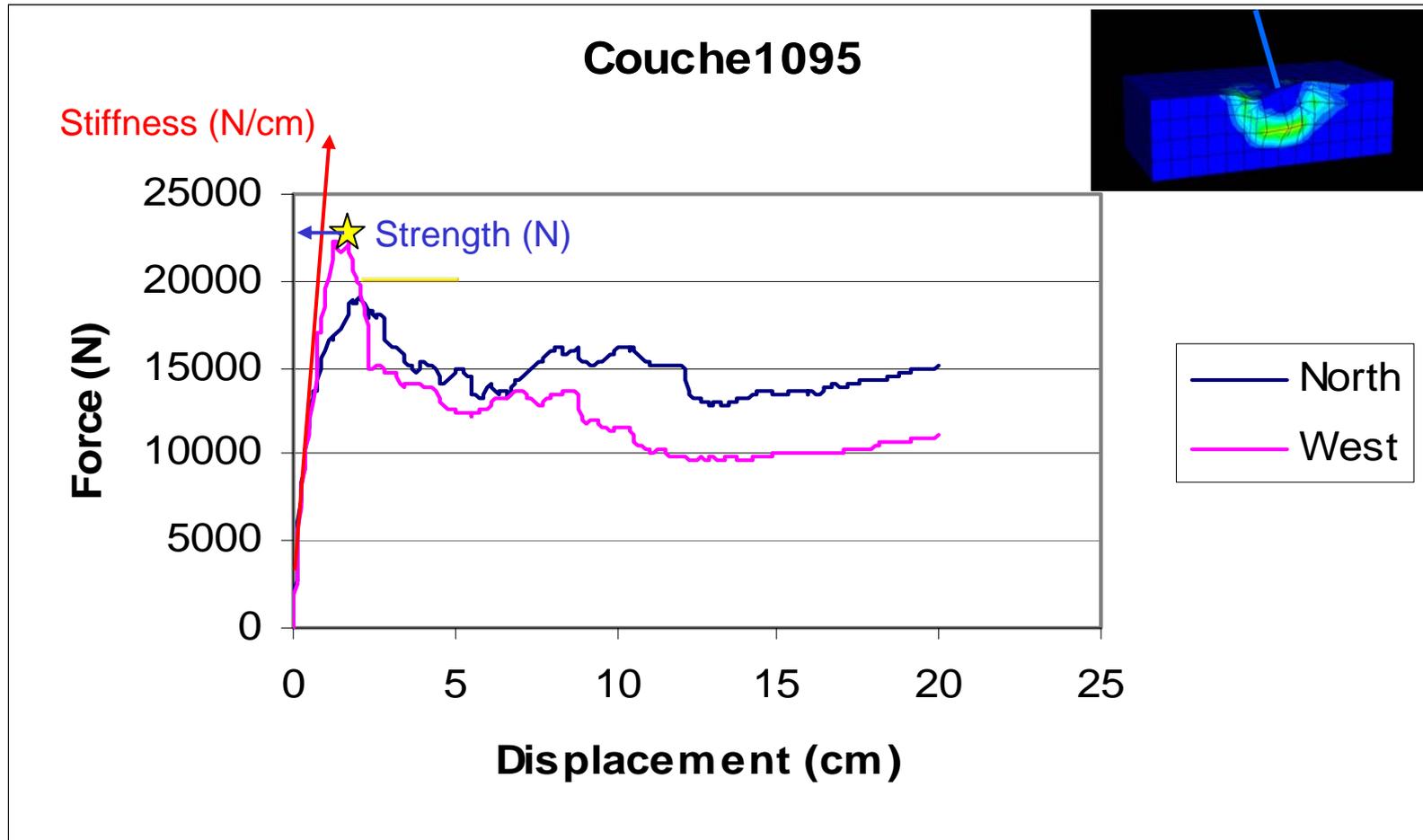


Rôle respectif de différents **éléments racinaires** dans les mécanismes de **chablis**



(Fourcaud et al. 2007, Annals of Botany)

Simulations numériques



(Fourcaud et al. 2003, Wind effect on Trees)

Traction dans le sens du vent /
perpendiculairement au vent dominant

Réactions aux des stimuli

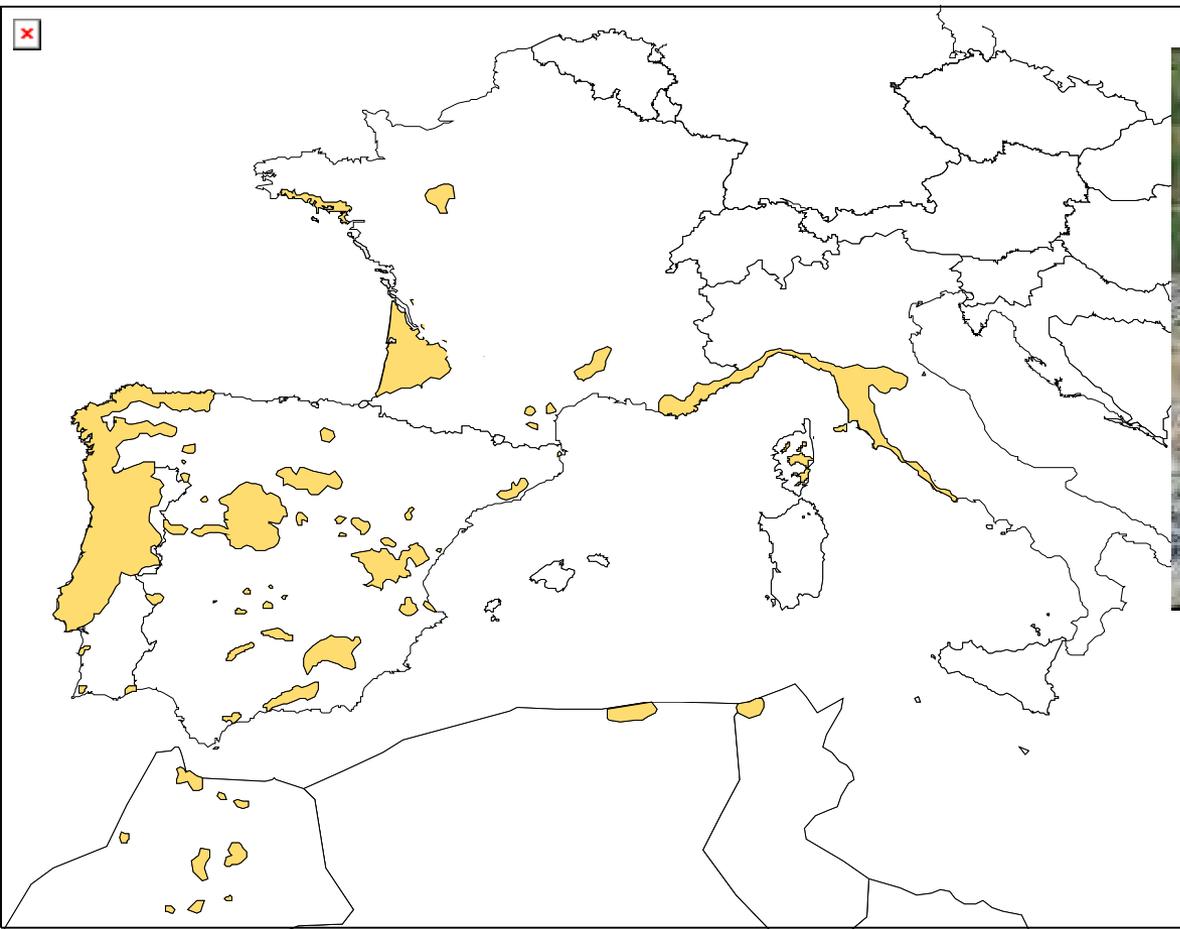


Cernes de racines : croissance dissymétrique (I ou T)

-> fortes adaptations aux stimuli dans la limite du modèle architectural

Structure génétique du test de descendance

Échantillonnage de 25 arbres mère dans 25 populations naturelles. Plantation, motte tourbe en monoarbre, 15 blocs, 9000 arbres



Podzol landais
900 mm précipitations



Pépinière:

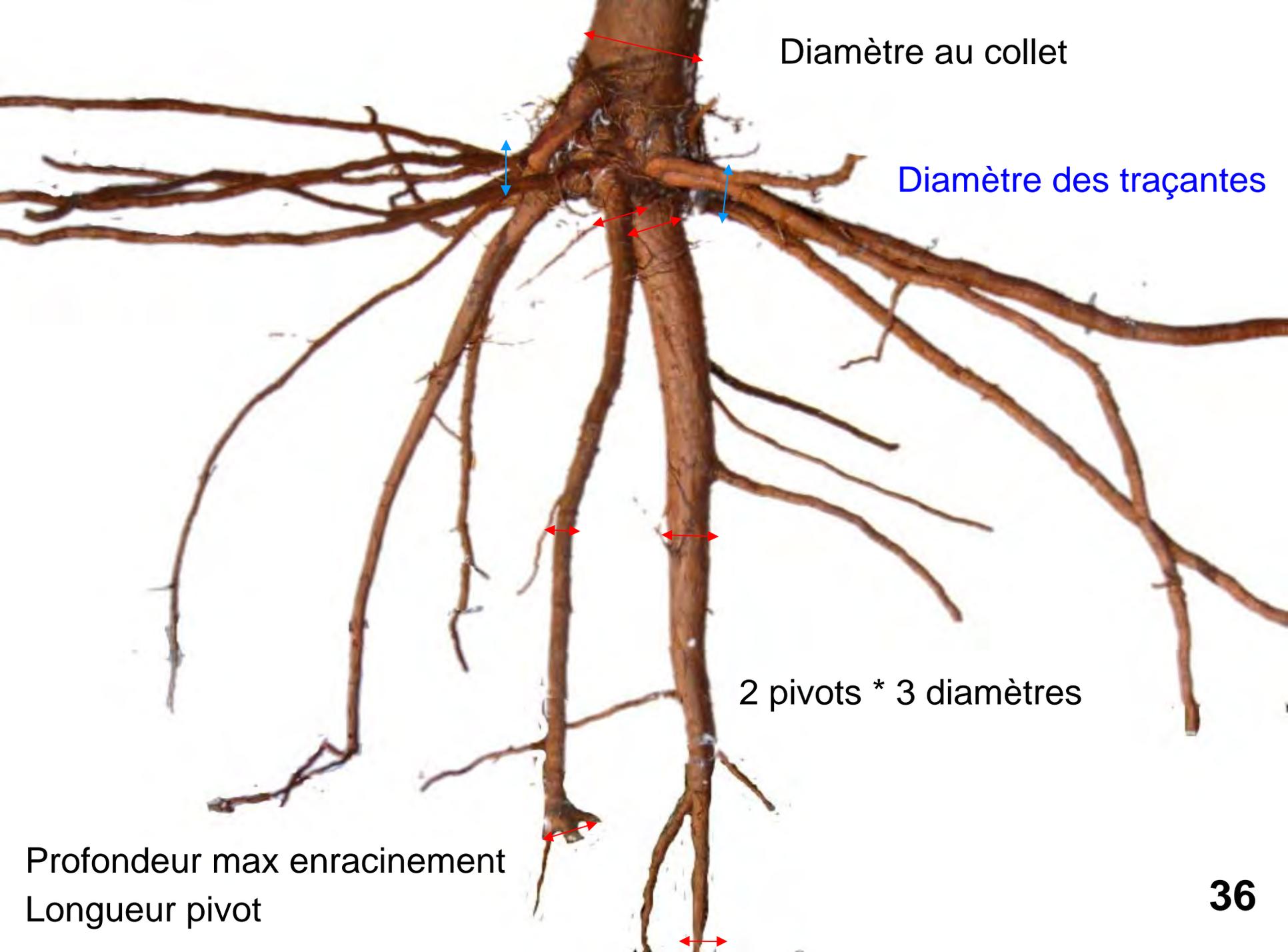
Mottes tourbe

Habillage avant
plantation



**Arrachage à 6 ans : Phénotypage haut-débit,
10 mn /arbre tout compris**





Diamètre au collet

Diamètre des traçantes

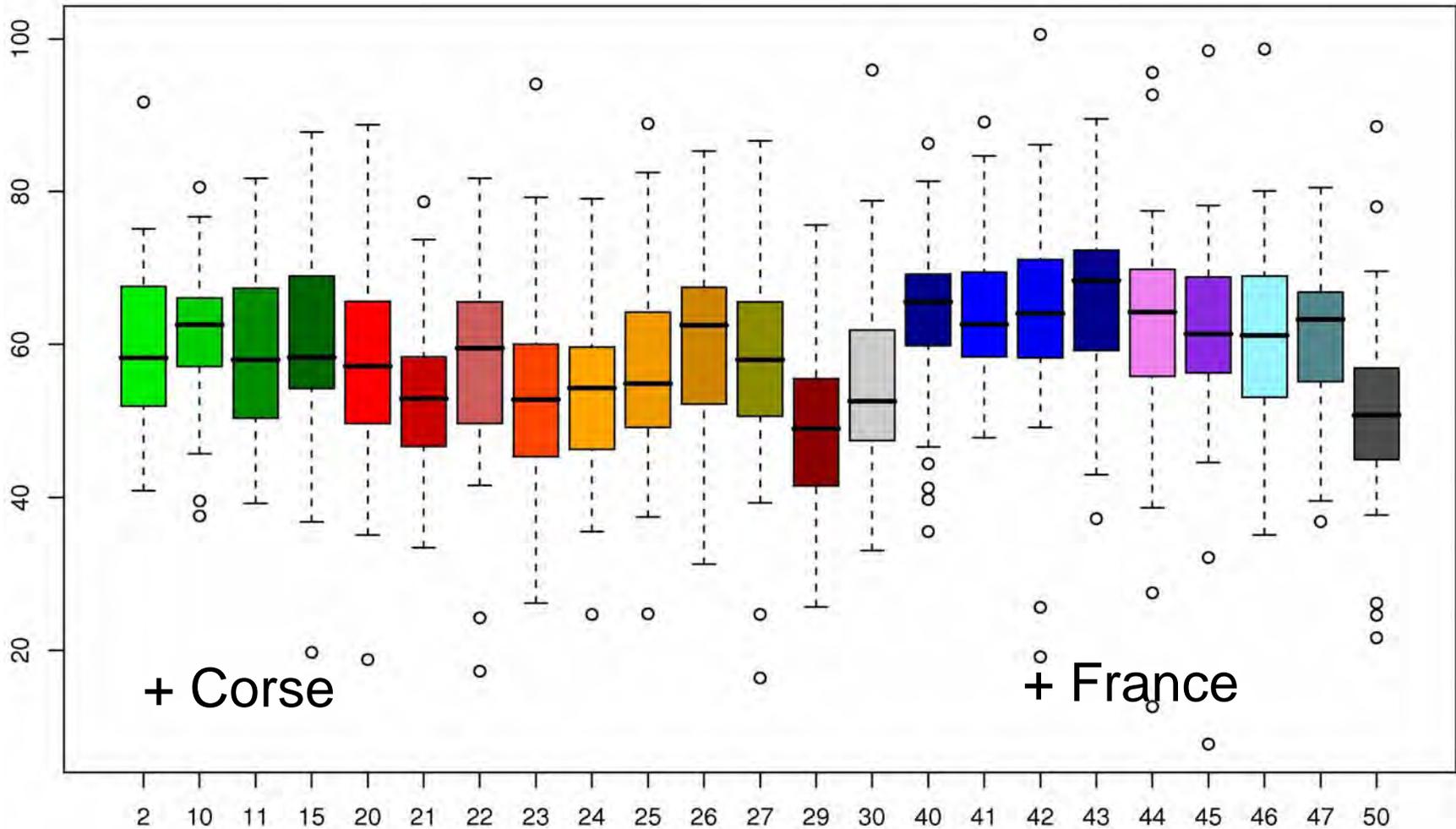
2 pivots * 3 diamètres

Profondeur max enracinement
Longueur pivot

Allocation aux racines ?

CSA des racines issues de la souche/diamètre au collet

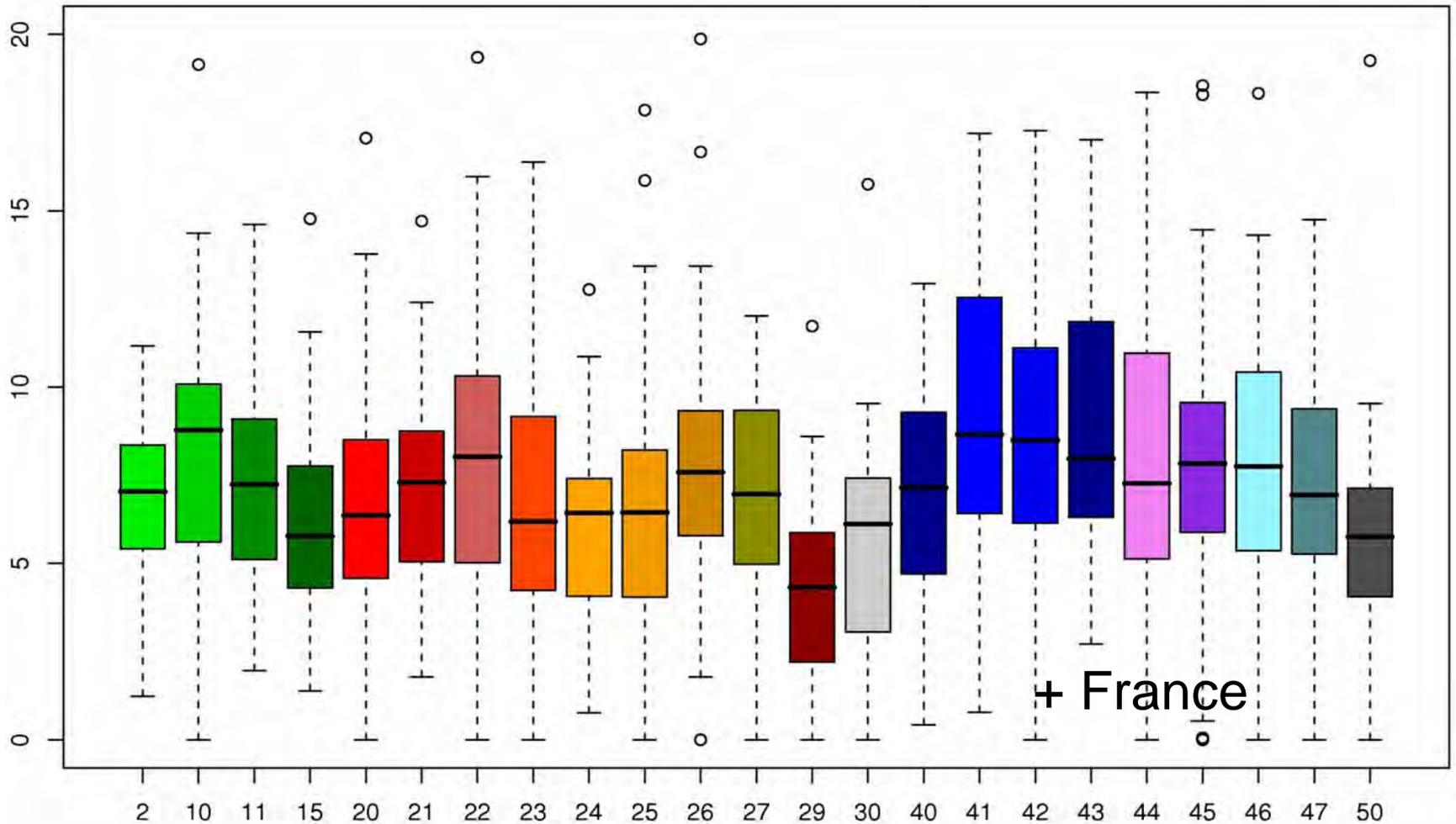
Population****



Allocation de biomasse au pivot ?

Volume des pivots/Volume du tronc

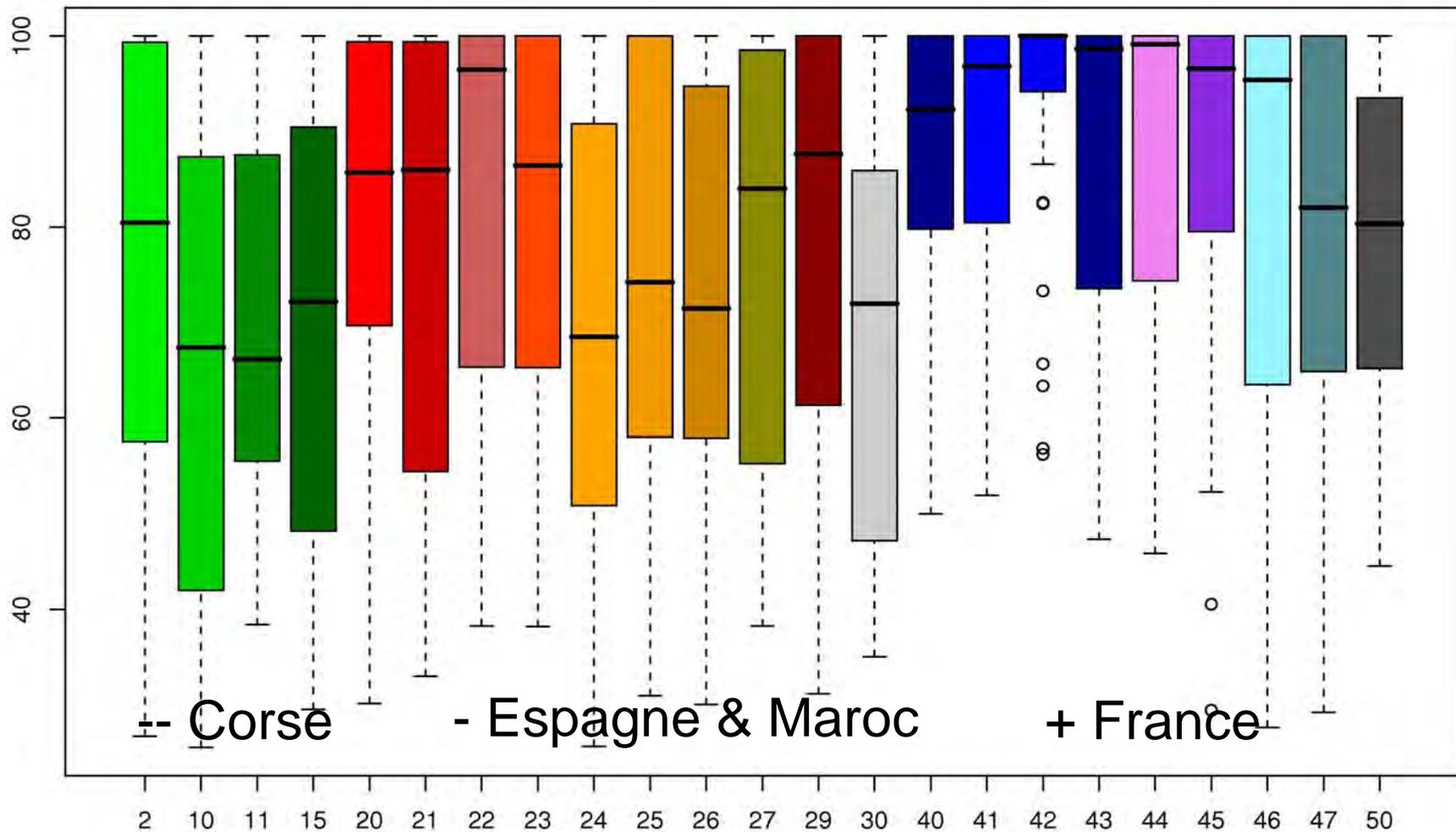
Population****



Plusieurs pivots ?

% volume : pivot principal/total pivots

Population *



Tempête de 2009 - Danjon

forte proportion de jeunes pins penchés

gestion impossible si même les jeunes peuplements sont touchés

préconisations reconstitution du massif



Ensemble des procédures d'installation

Un pin qui a une mauvaise architecture racinaire juvénile sera instable jeune et vieux

-> jusque maintenant, comparaison conteneurs mesures simples

-> **étude analytique de l'influence des différents facteurs dans l'établissement du système racinaire.**



-> *pinaster* 0-10 ans

-> autres sp

Pas de sol dans certains secteurs



Stabilité dans programme amélioration

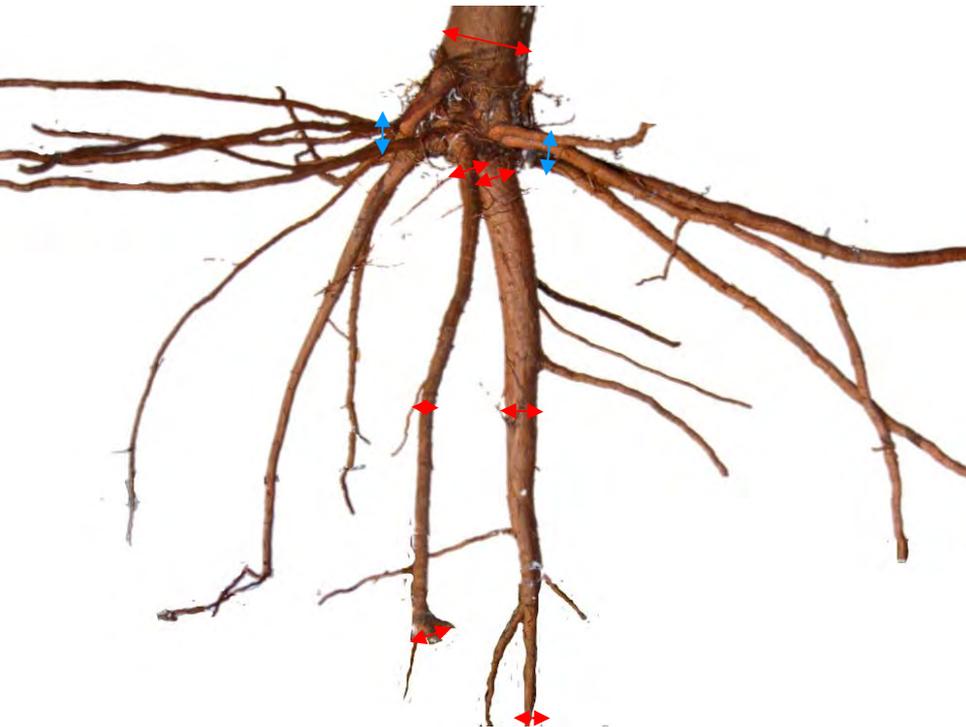
On sait quel architecture racinaire assure la stabilité

-> jusque maintenant, rectitude du tronc seul critère

-> grosse différences entre provenances (Danjon et al. 2008)

-> **l'architecture racinaire, critère de sélection**

Phénotypage haut-débit



Des acquis avec des simulations simples d'arbres modèle dans des sols homogènes

- architectures plus complexes
- un sol hétérogène
- couplage parties aériennes/racines
- simulation dynamiques, i.e. intégrant les interactions croissance-biomécanique

Simulations mécaniques

from Fourcaud, Moullia & Constant, PlantVirt 2008

Couplage biomécanique-croissance

