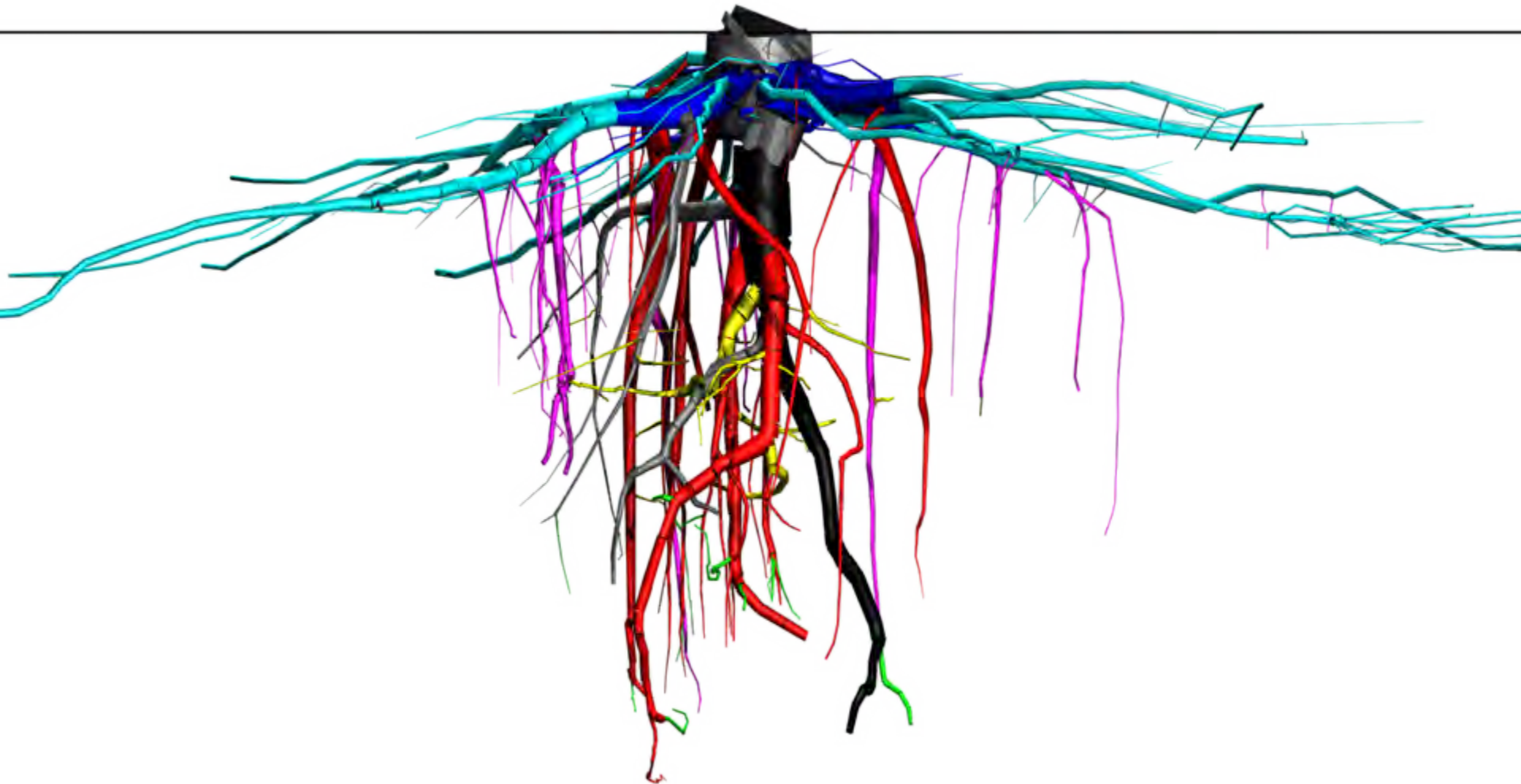


La stabilité des peuplements forestiers au vent

# 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

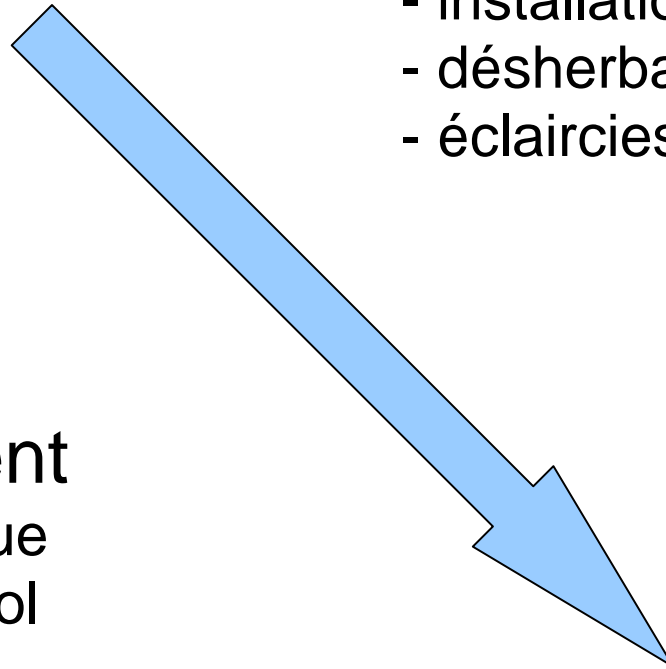
- espèce
- variété
- génotype

## Sylviculture

- installation
- désherbage
- éclaircies

## Environnement

- profil pédologique
- teneur en eau sol



## Inventaires de chablis



Photo D. Bert

H/D ?

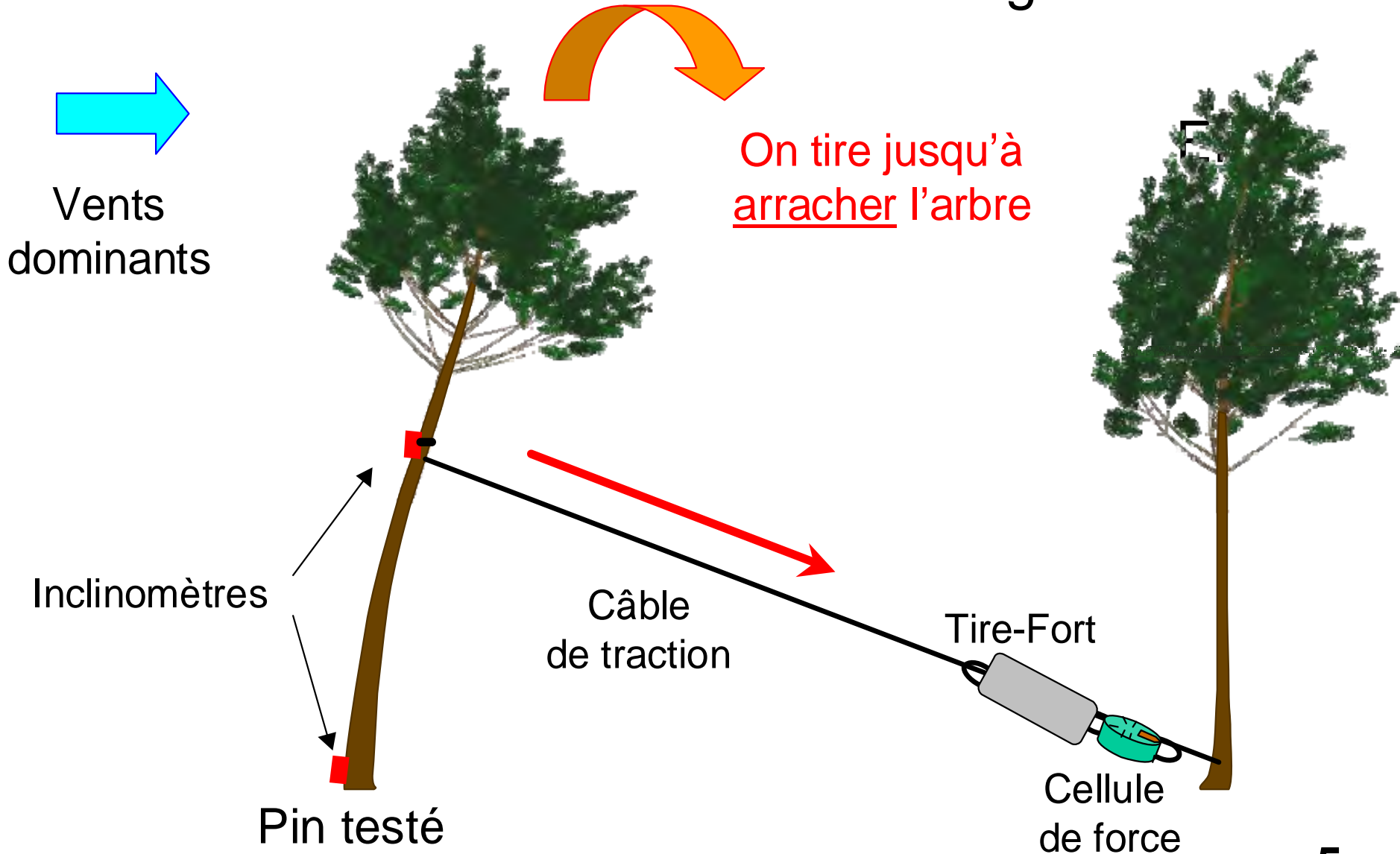
Alios ?

Niveau de Nappe ?

e. g. Lebourgeois et Jabiol 2002

# Les méthodes

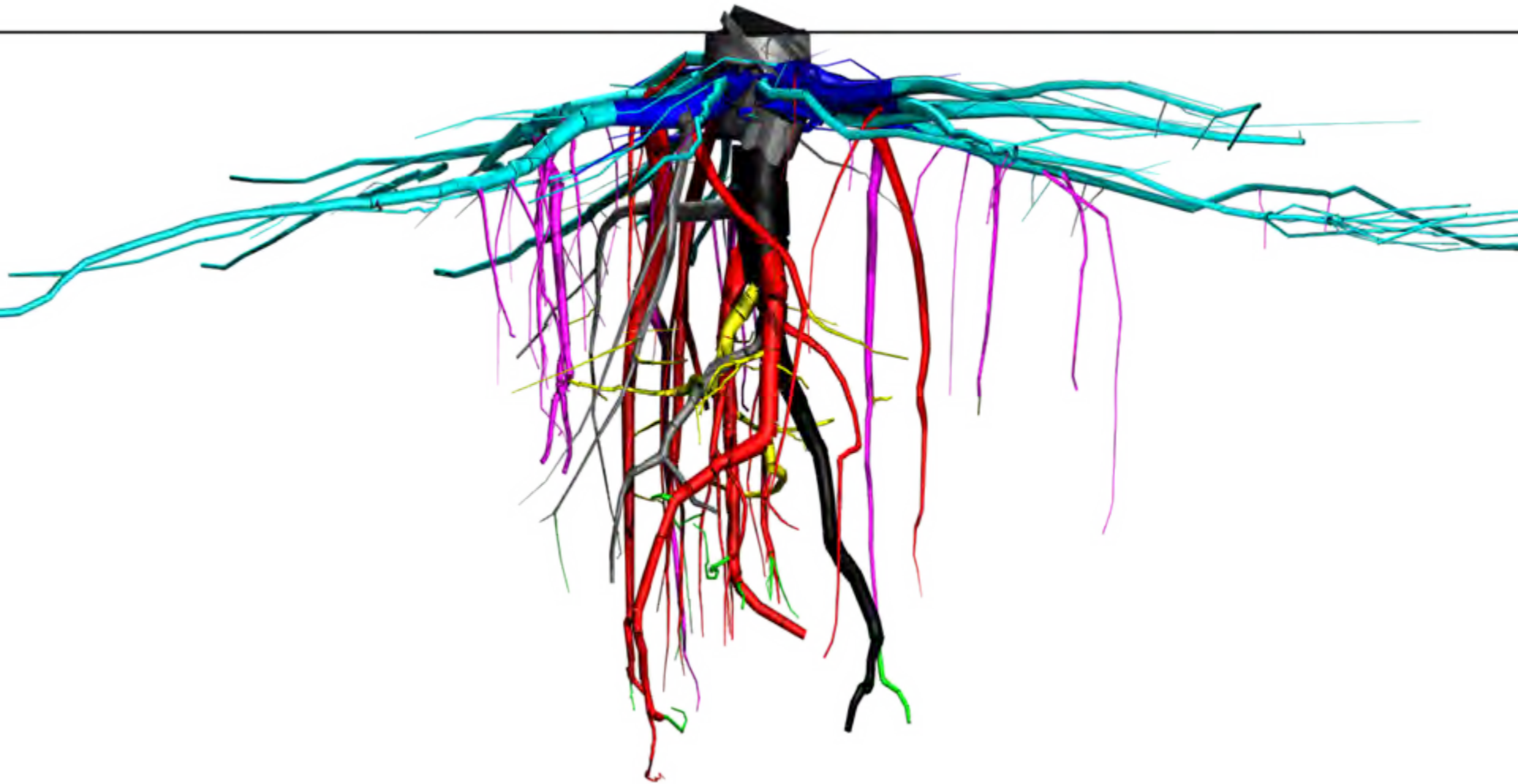
## Les essais de treuillage



Cucchi Meredieu et al. 2004



# Mesure architecture racinaire en 3D



Pin maritime 24 ans lande sèche

# Simulations mécaniques

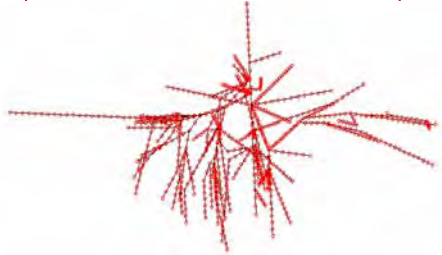


Structure simulée

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







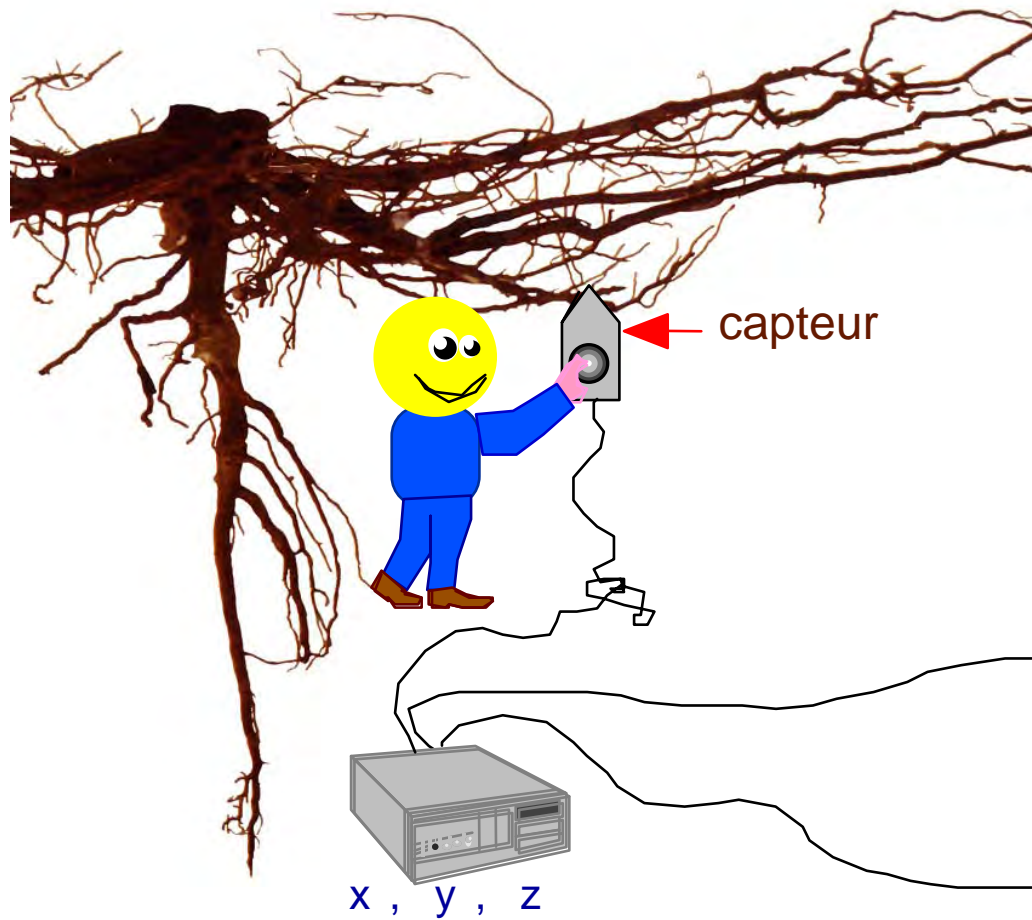




5



# Numérisation 3D de l'architecture



émetteur  
magnétique

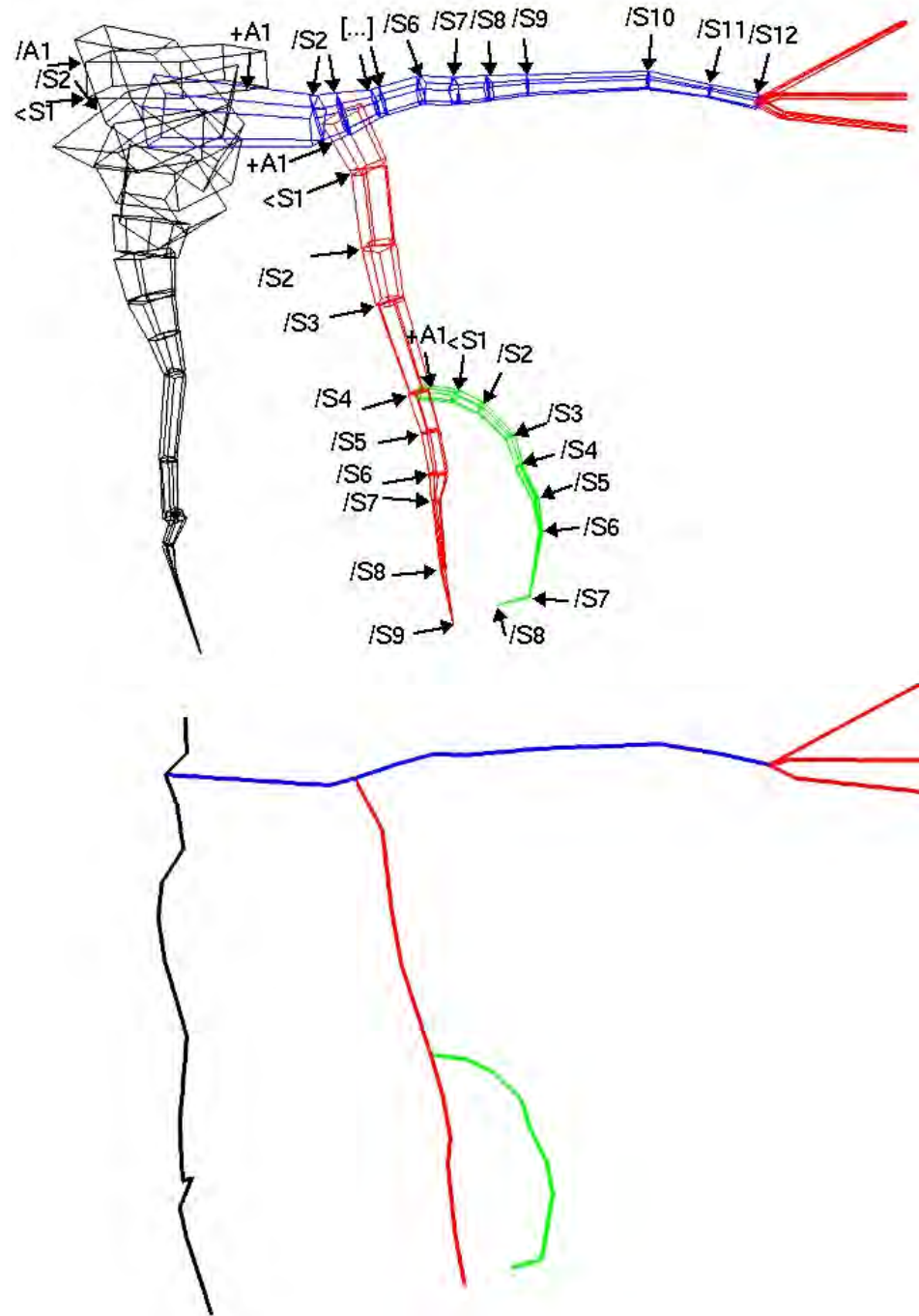


logiciel  
Sinoquet et al.



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

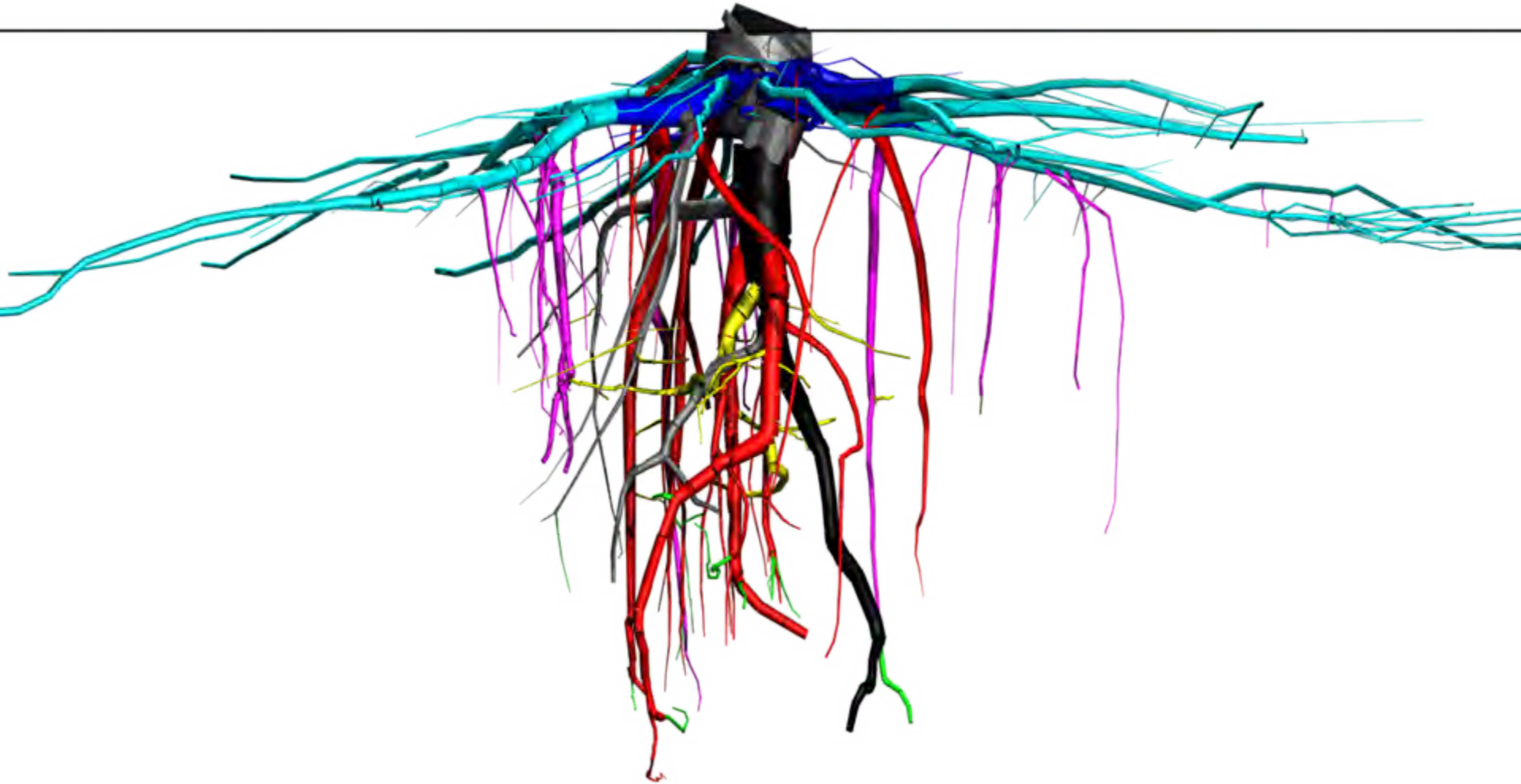




mesure semi-automatique

Codage Axes/segments

# Systeme racinaire numérisé



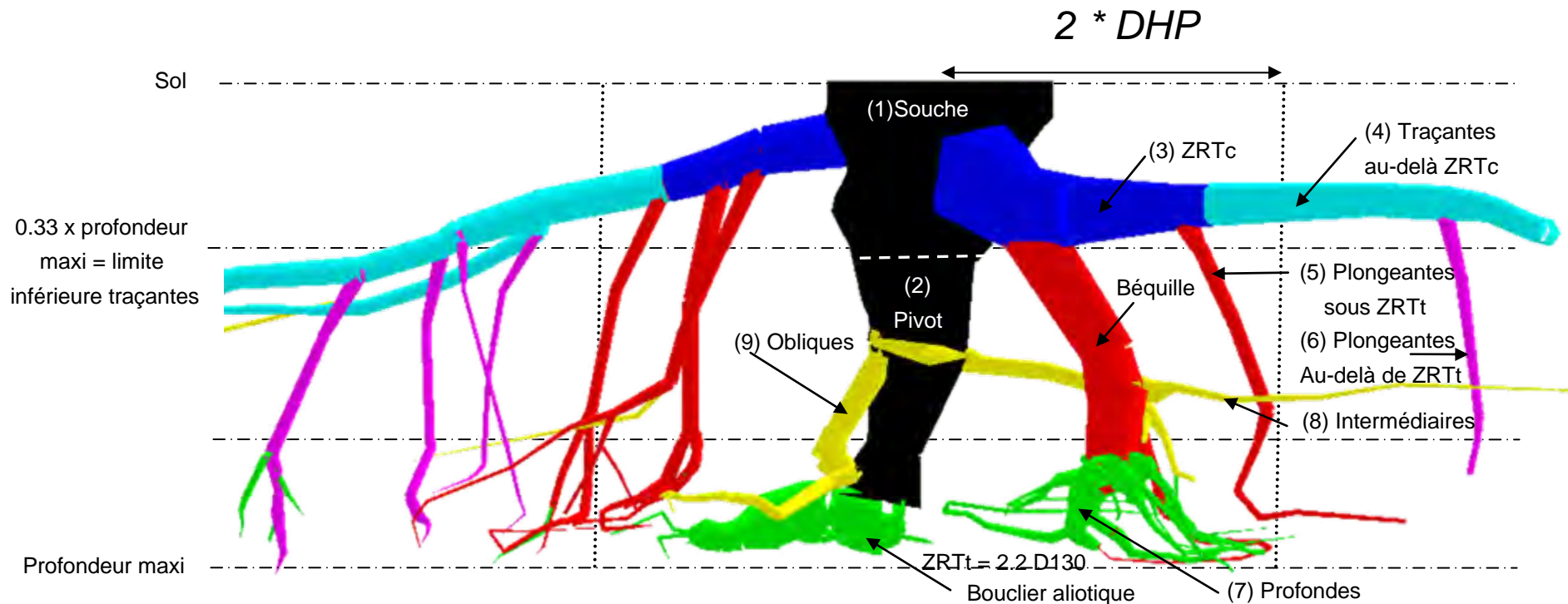
Pin maritime 24 ans lande sèche

1

3

# Racines - Analyse architecturale

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

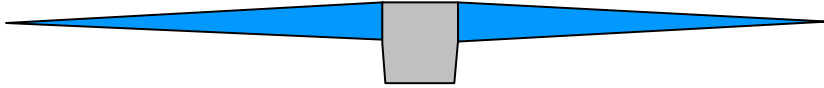


Caractérisation fine de la structure :  
9 types de racines

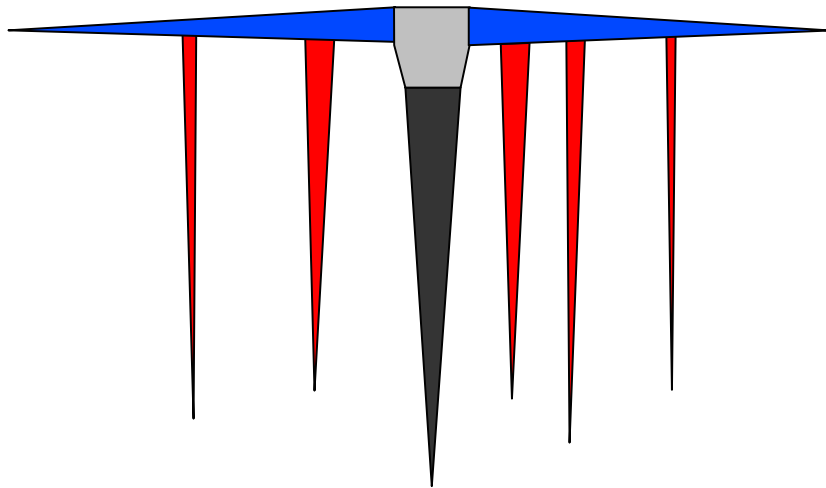
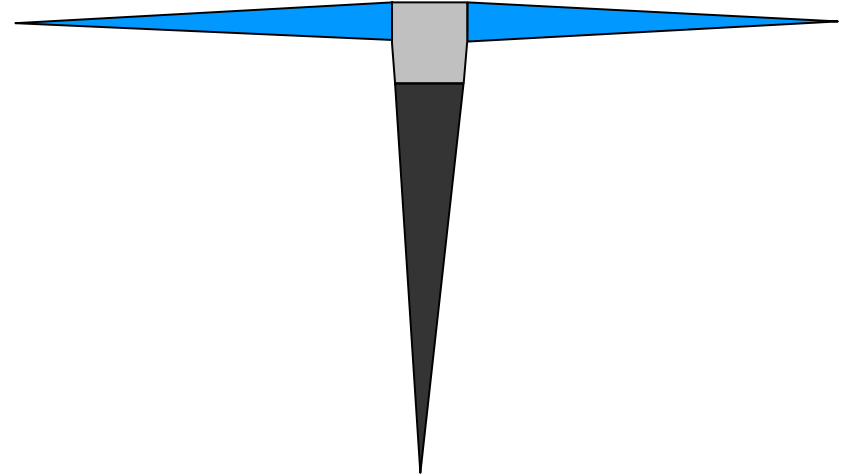


# Les types de systèmes racinaires

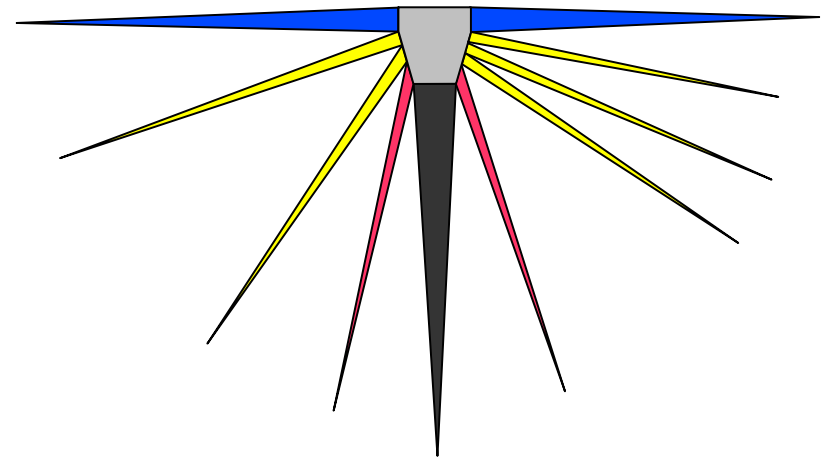
Traçant



Pivotant

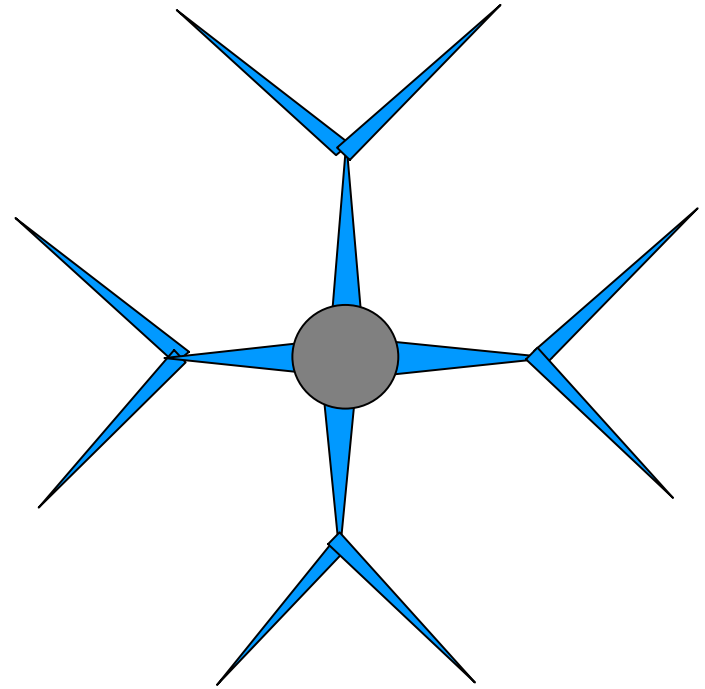
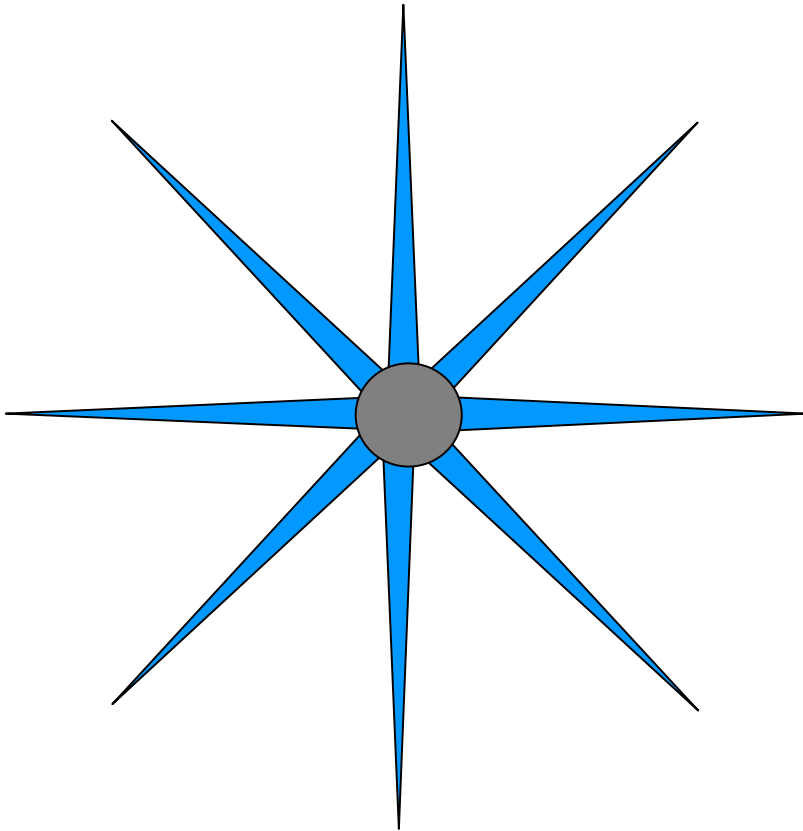


A pivots multiple



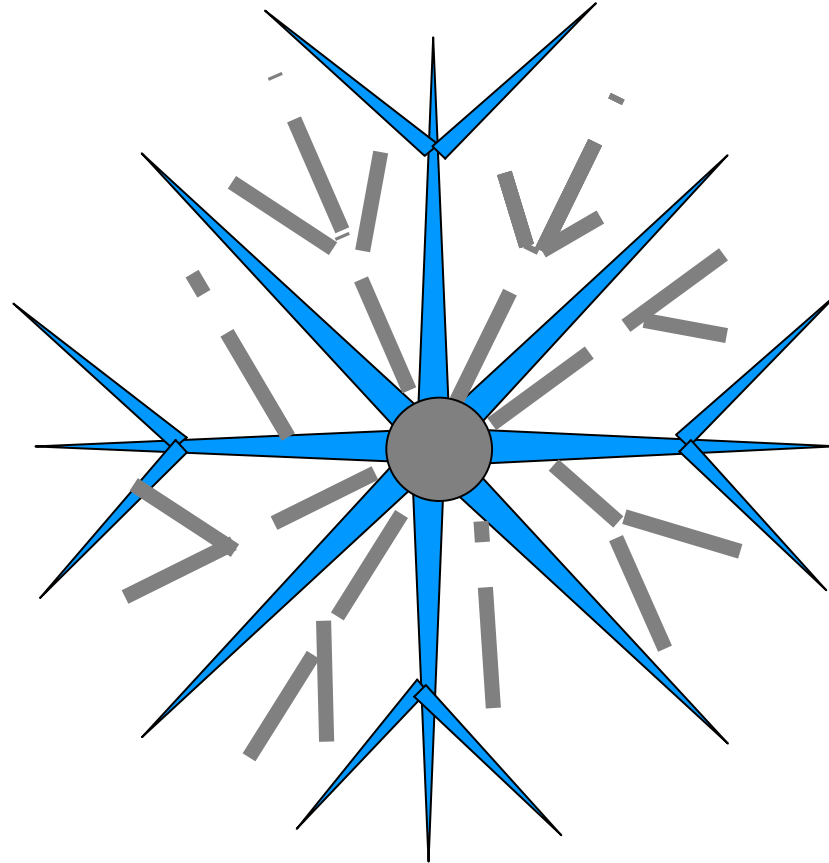
Coeur

# Types de systèmes racinaires



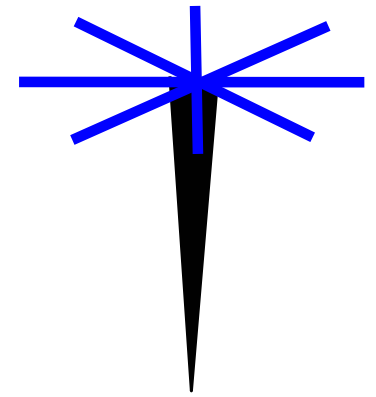
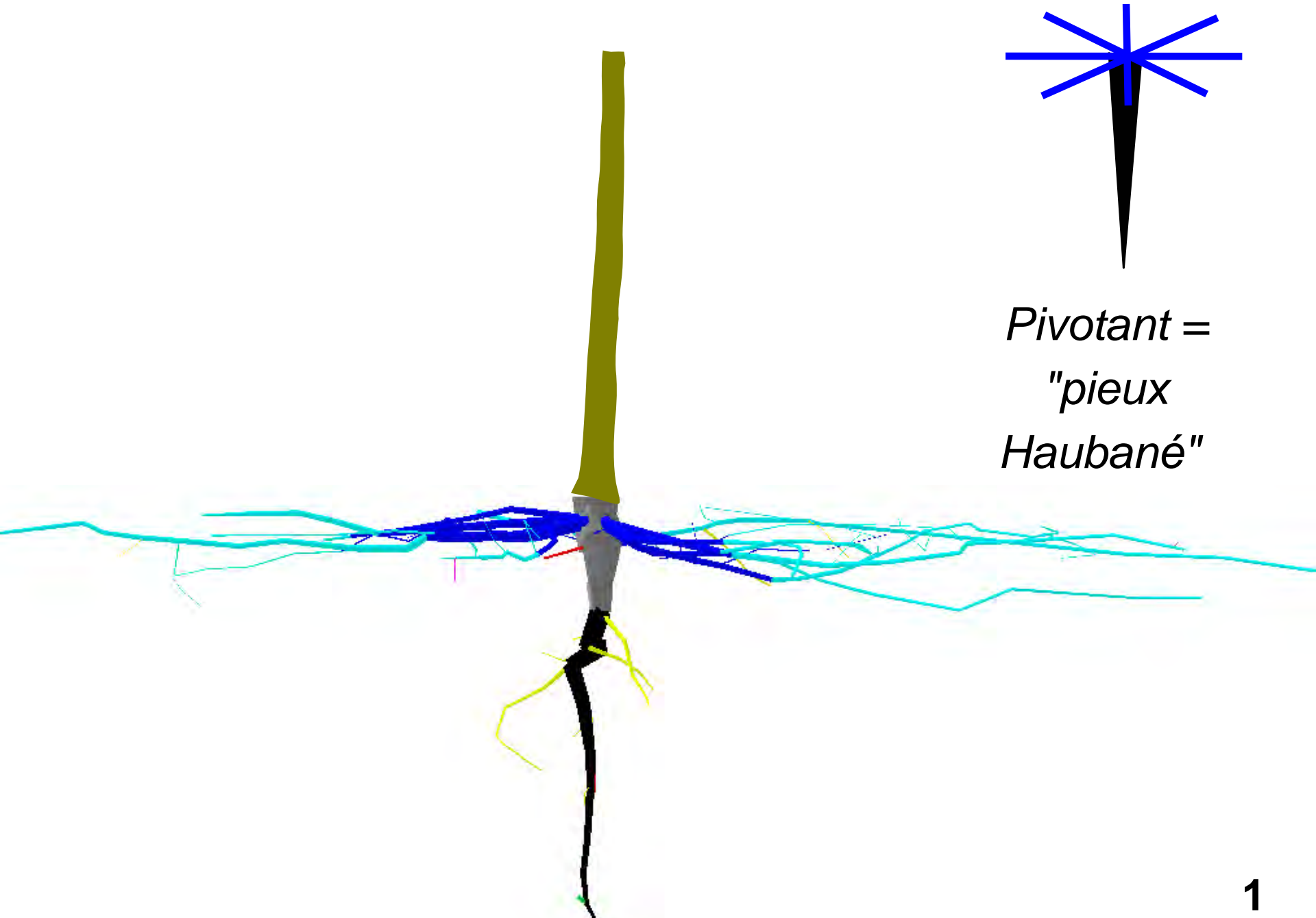
Capacité à faire des fourches

# Types de systèmes racinaires

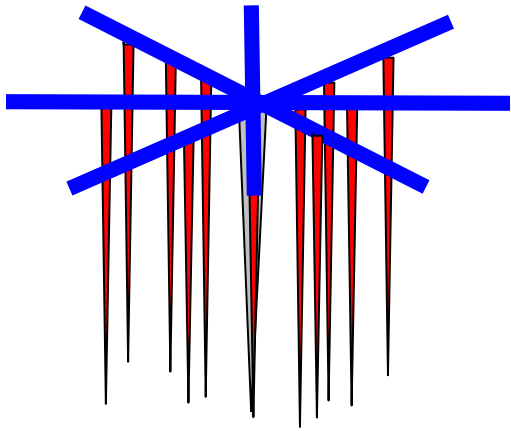


Capacité au développement retardé

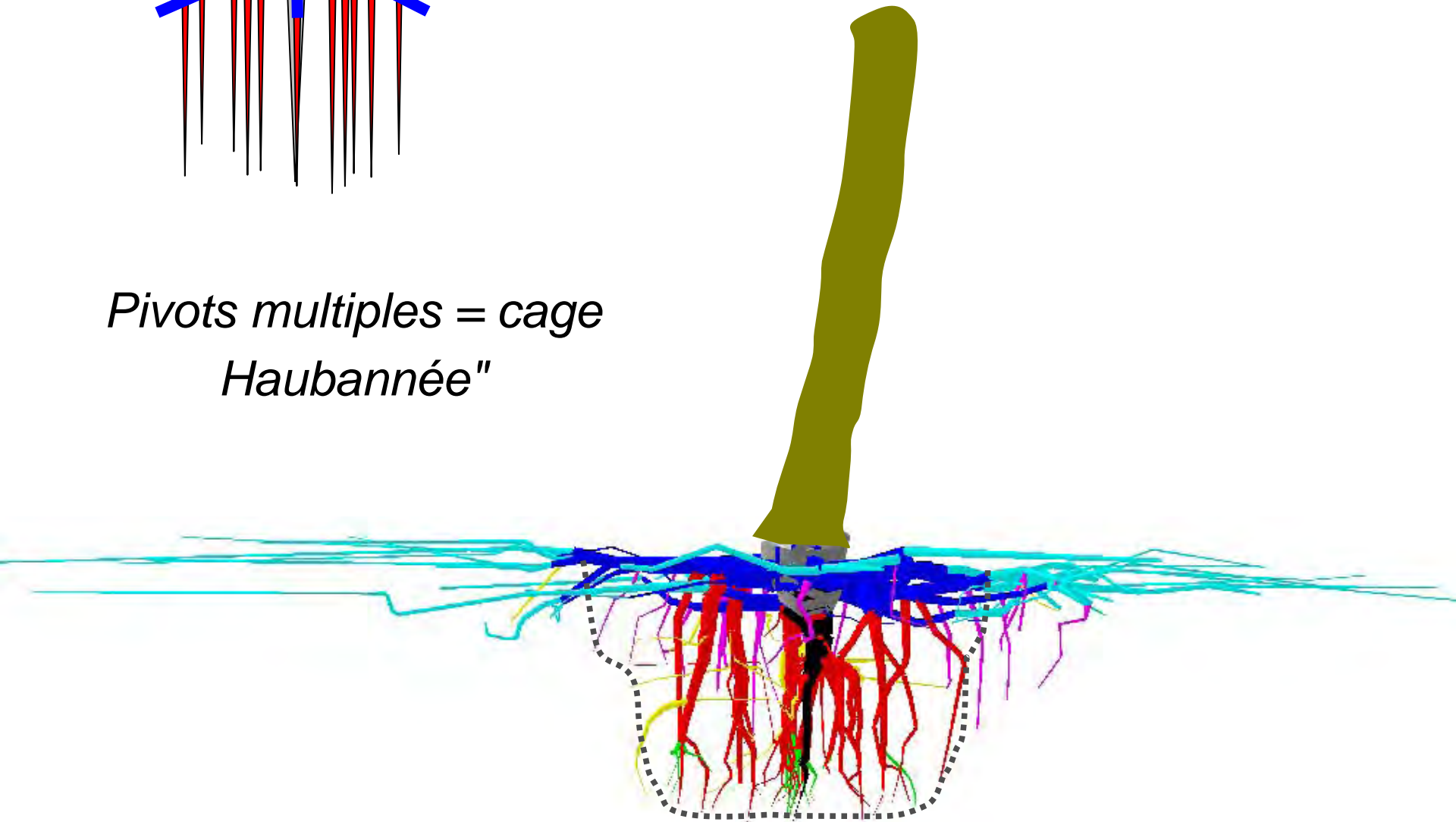




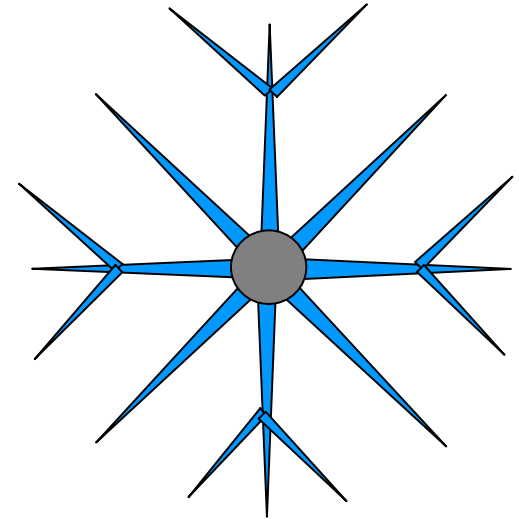
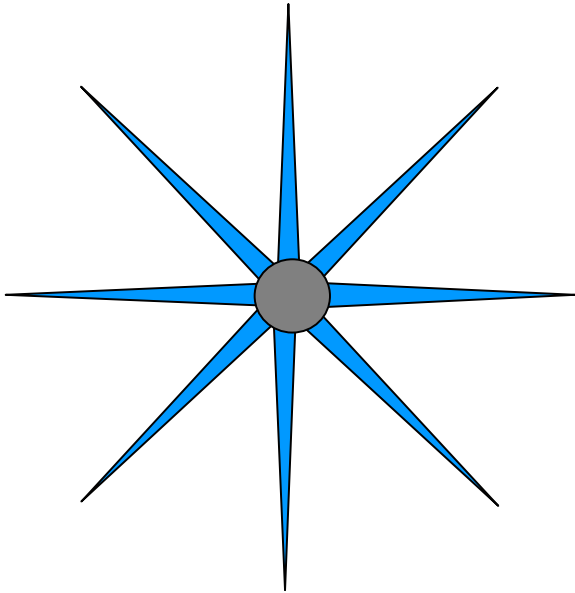
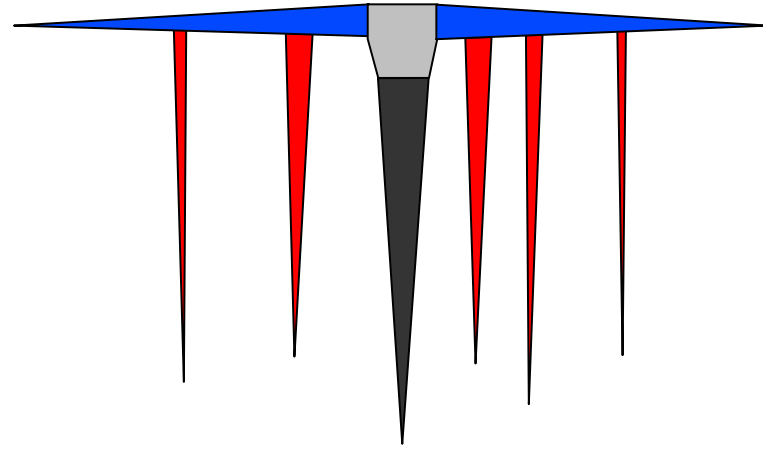
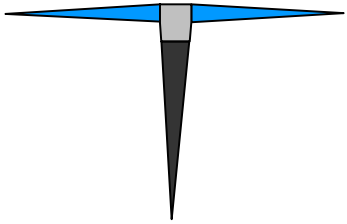
*Pivotant =  
"pieux  
Haubané"*



*Pivots multiples = cage  
Haubannée"*

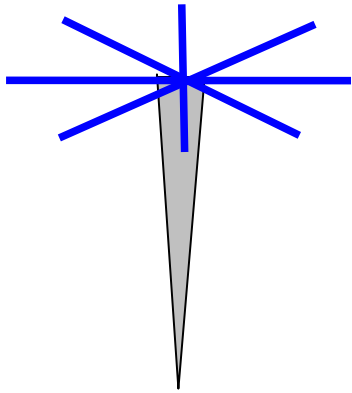


# Le pin maritime

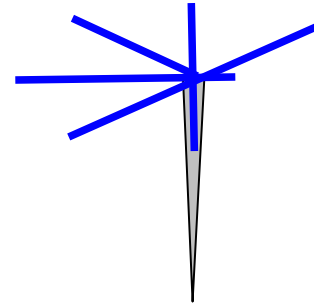


A pivots multiples, sans fourches, sans développement retardé





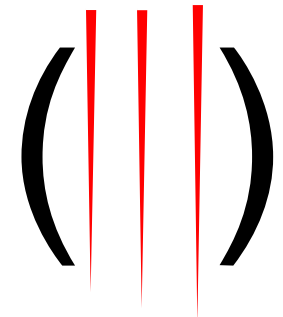
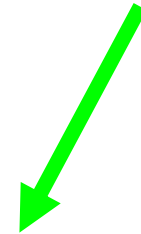
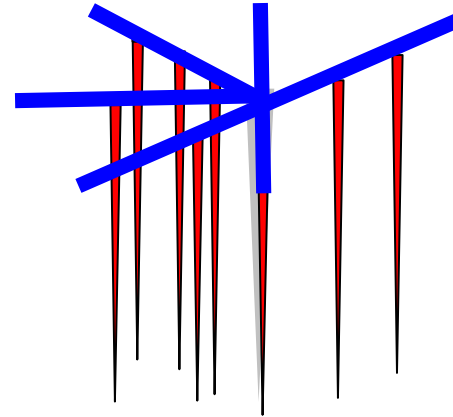
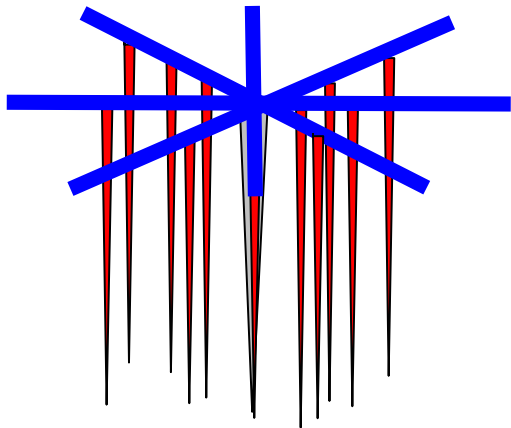
Stable



Instable

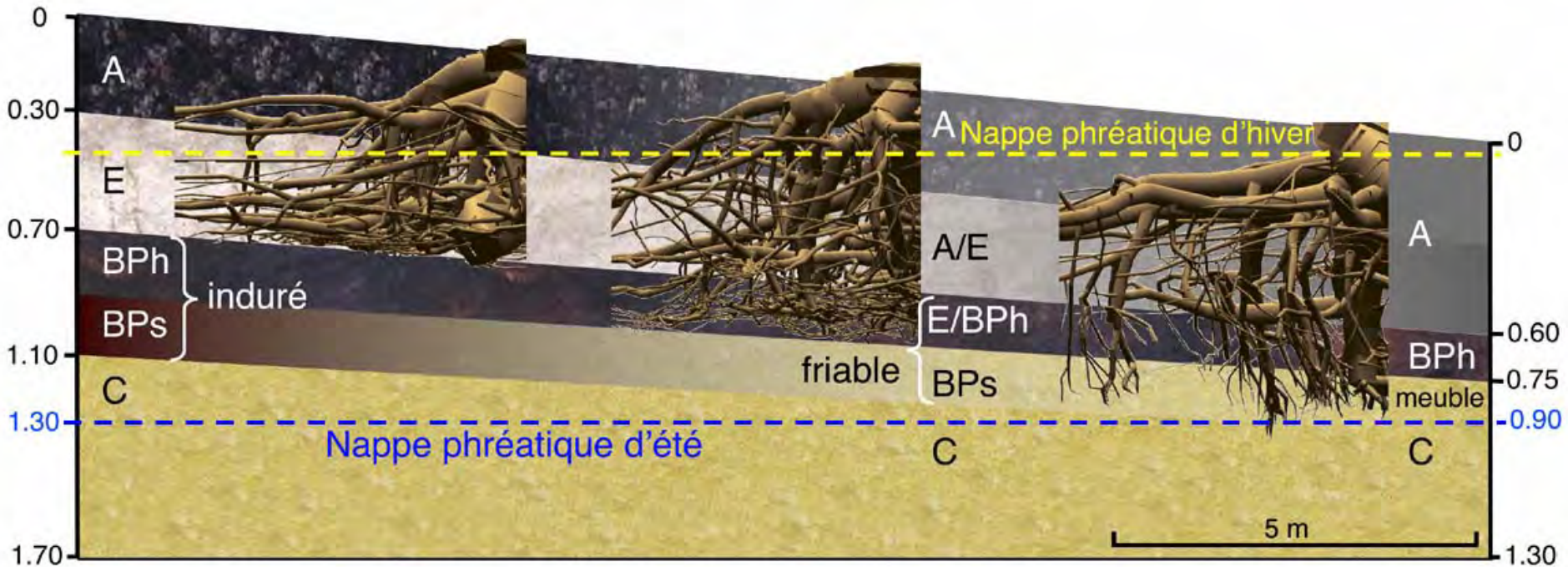


*Pas de régénération*



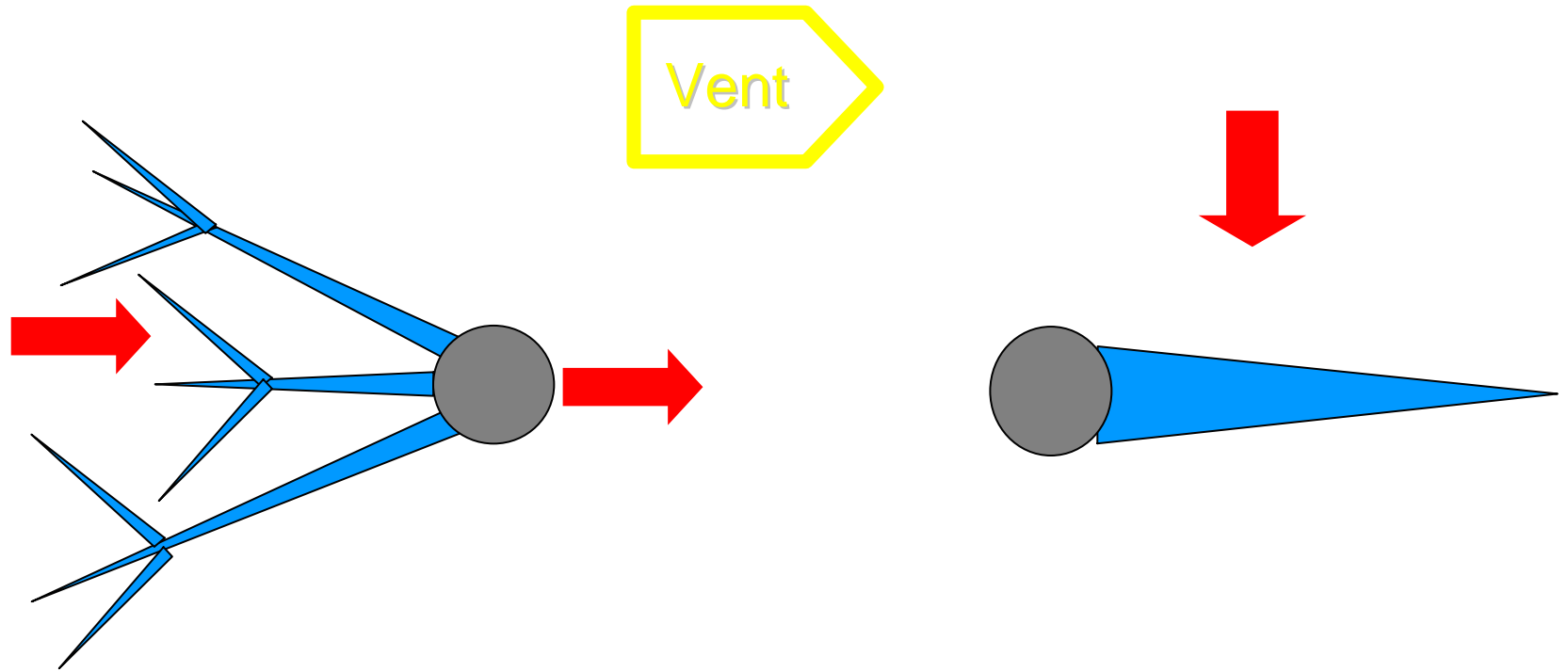
# Effet du profil pédologique

-> 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

=

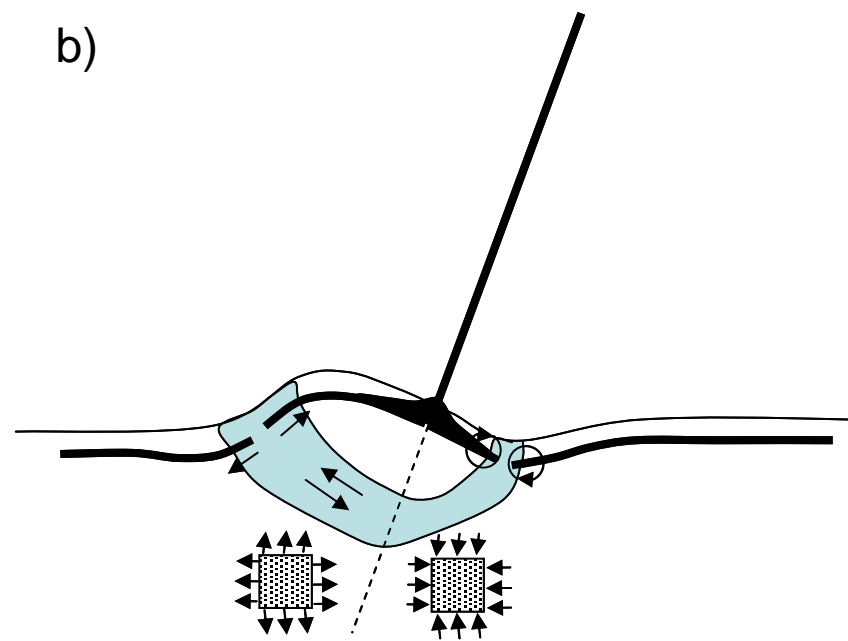
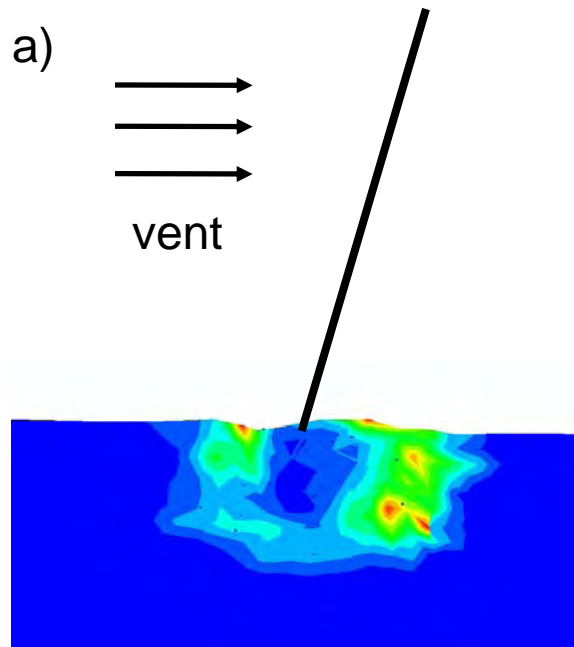
fonction de la surface  
en section

en flexion

=

fonction de la  
puissance 3 de la  
surface en section

# Simulations mécaniques

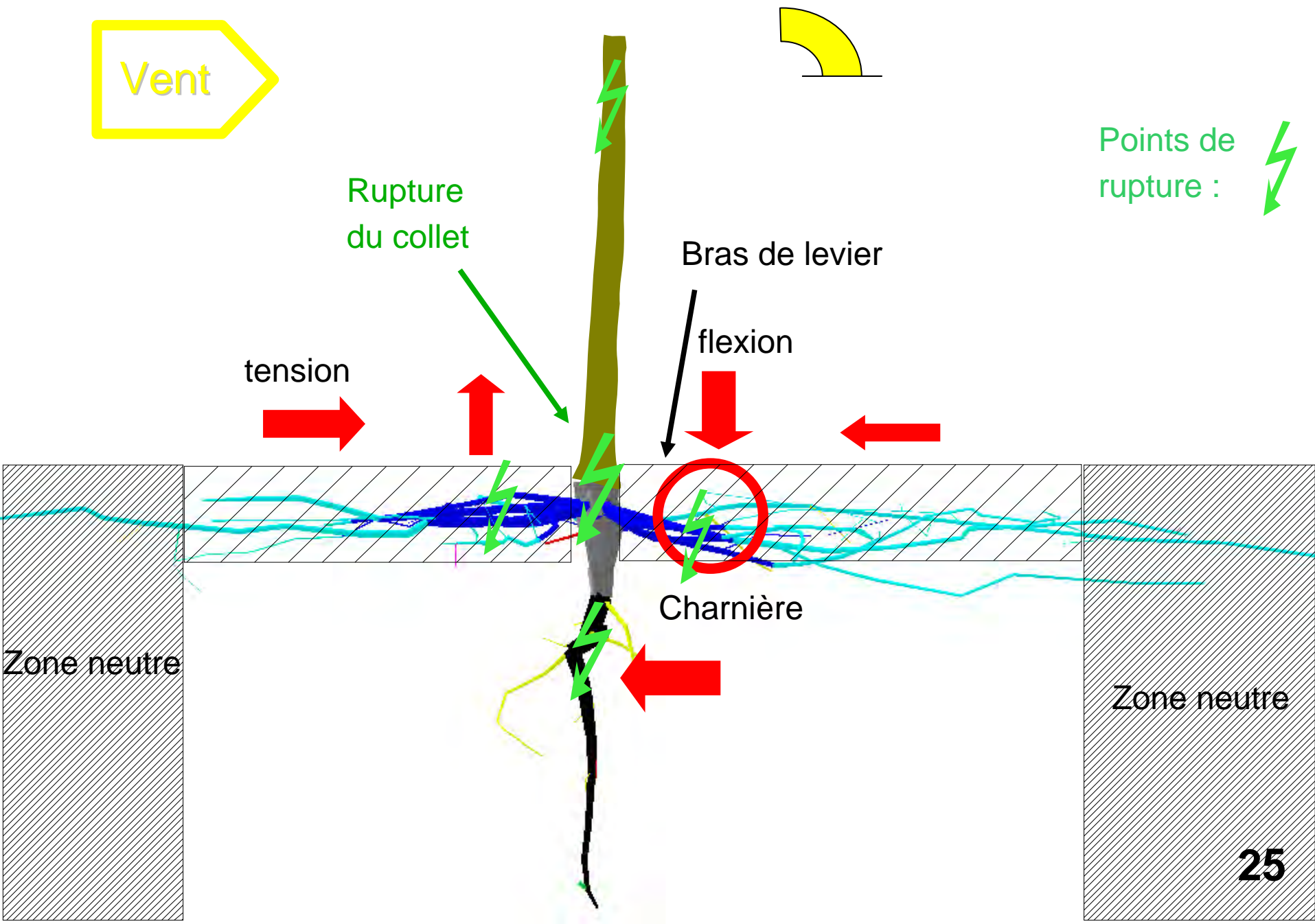


(1) Plaque sol-racine = suit le mouvement de l'arbre en se désolidarisant du sol

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

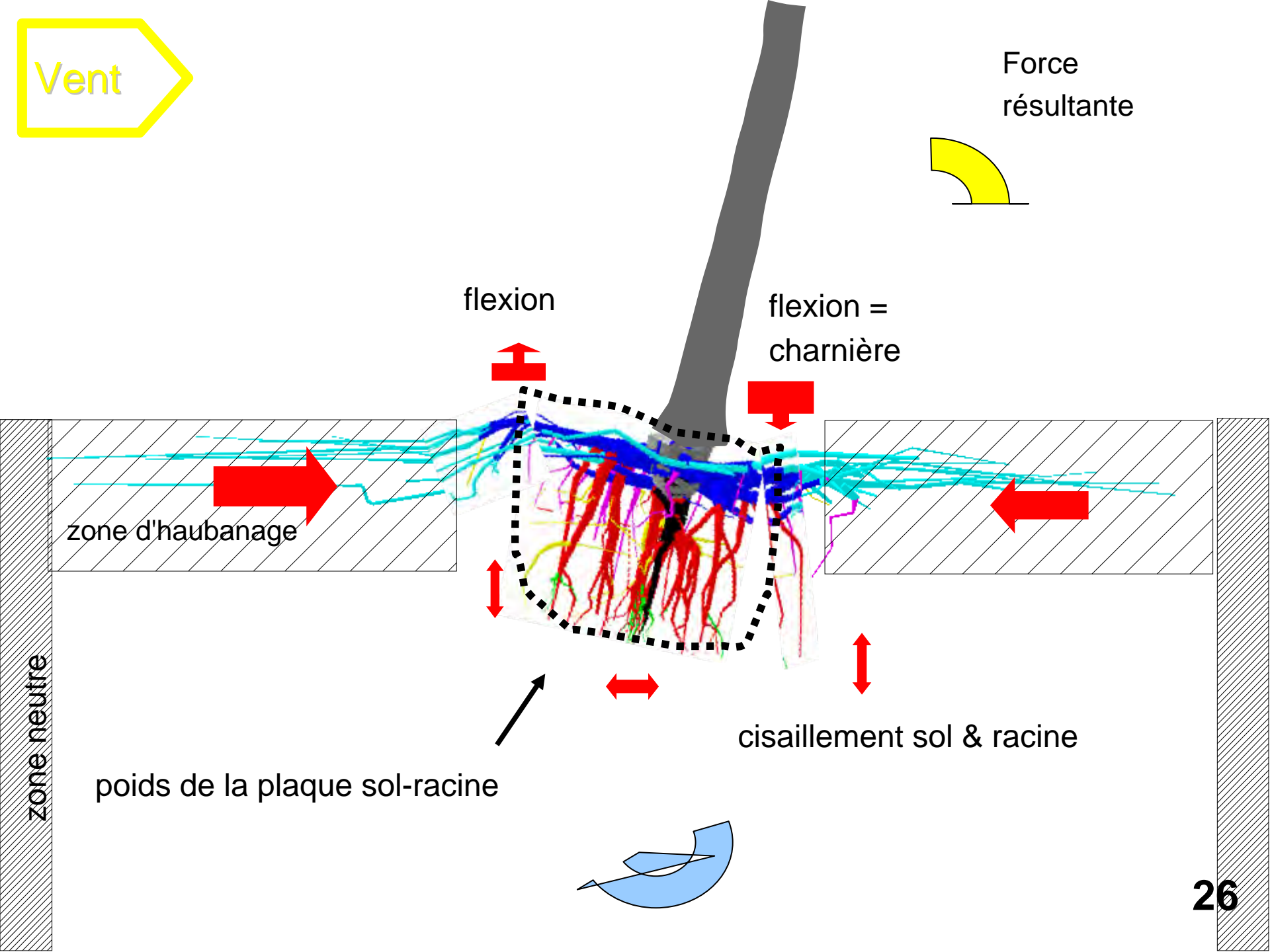
(3) La zone non perturbée





Vent

Force  
résultante



flexion

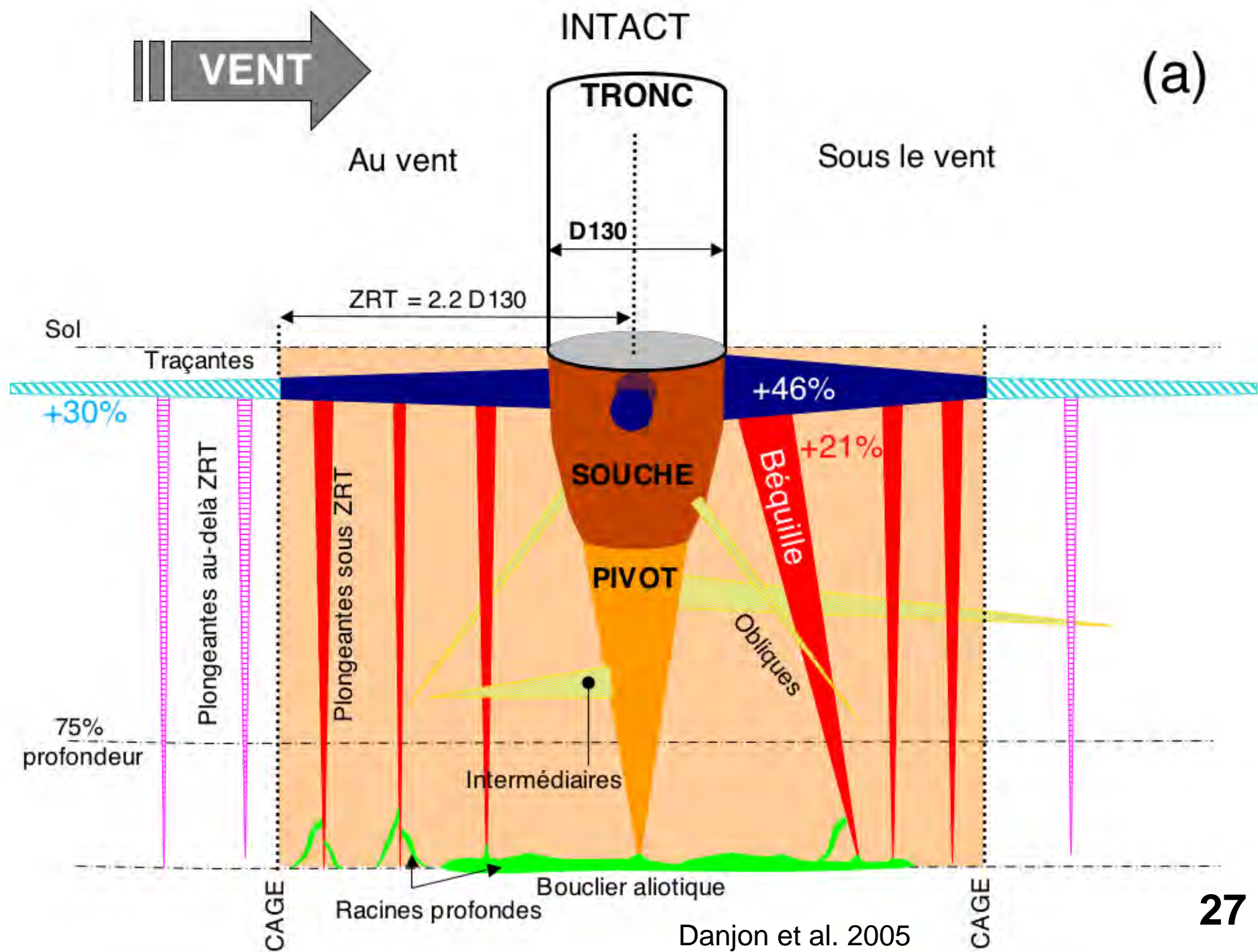
flexion =  
charnière

zone d'haubanage

zone neutre

poids de la plaque sol-racine

cisaillement sol & racine



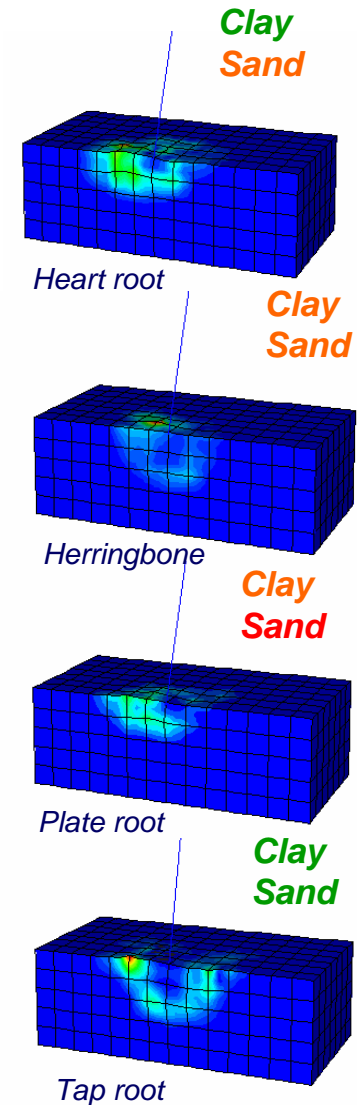
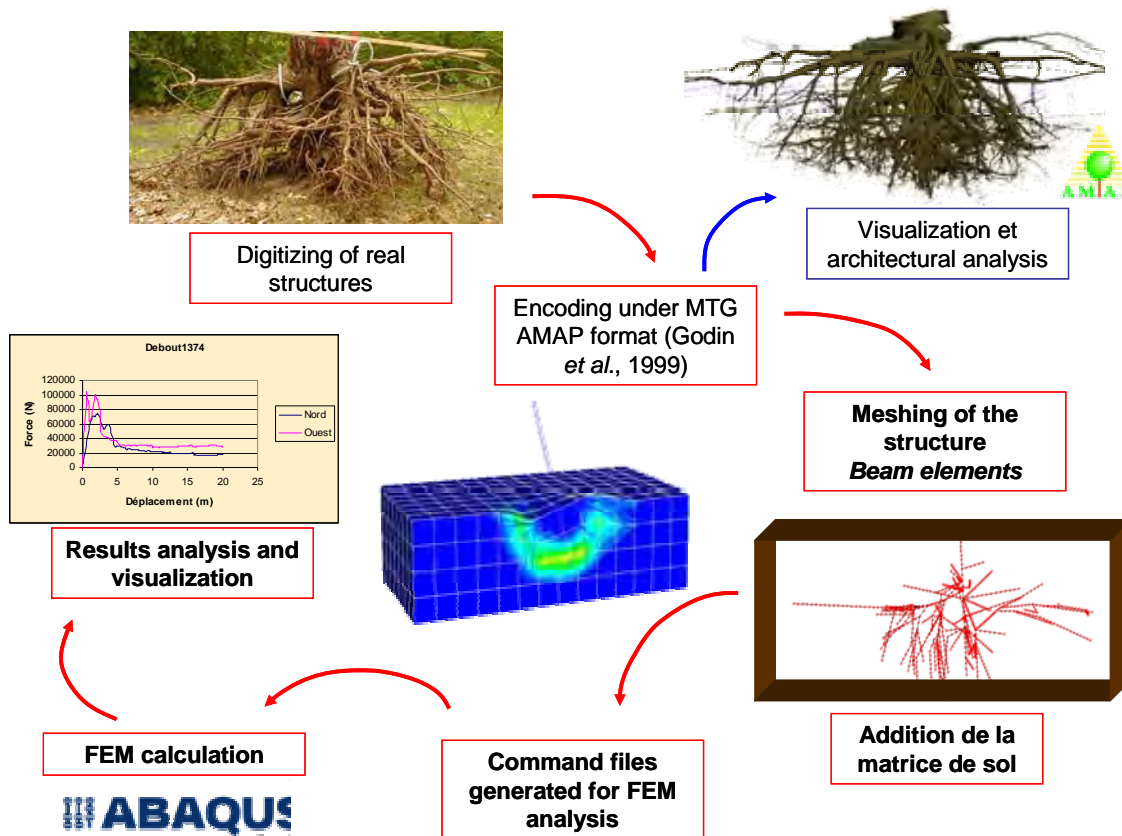




# Simulations numérique

## Application of the FEM at the tree level : tree anchorage

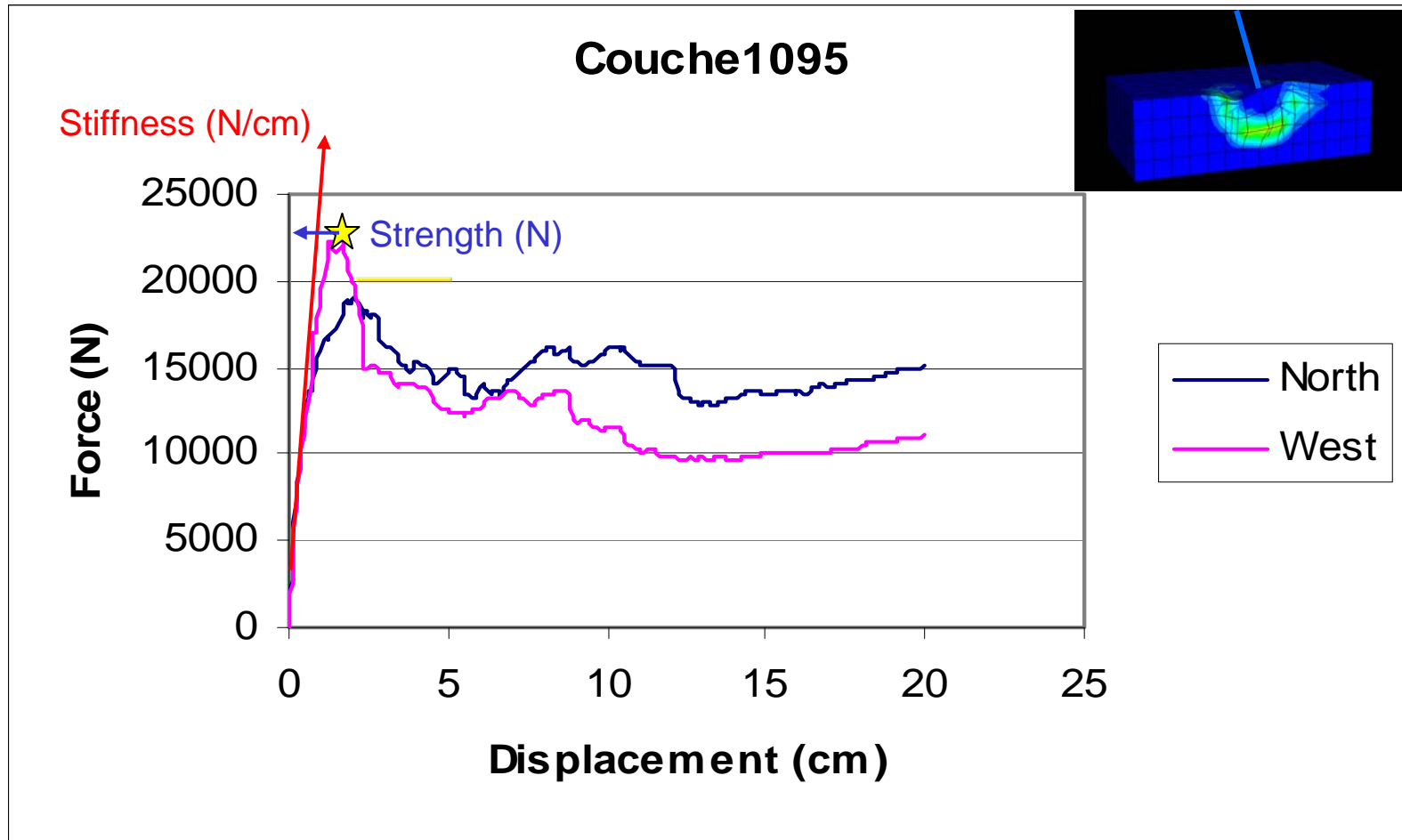
Level of description: tree architecture







# Simulations numériques



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

Traction dans le sens du vent /  
perpendiculairement au vent dominant

# Réactions aux des stimuli

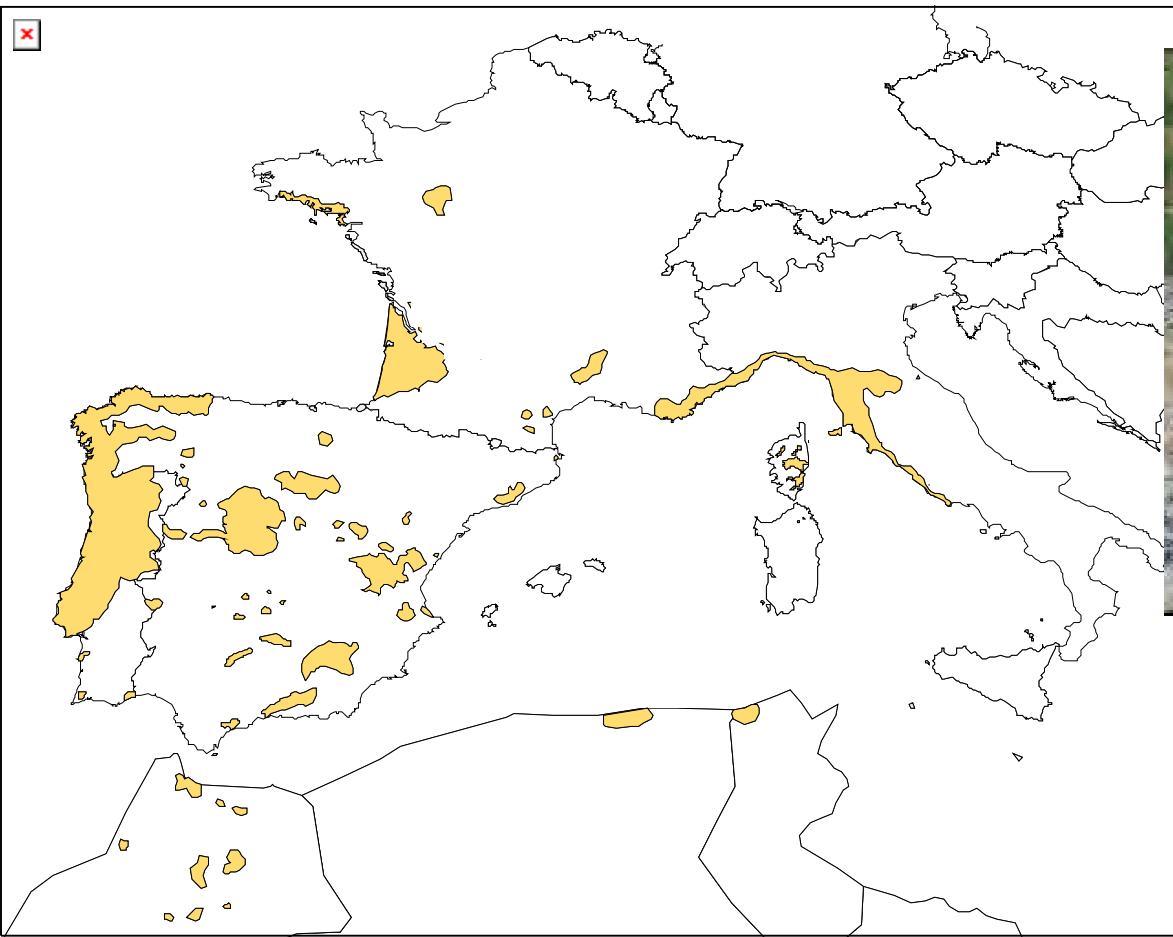


Cernes de racines : croissance dissymétrique (I ou T)

-> 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

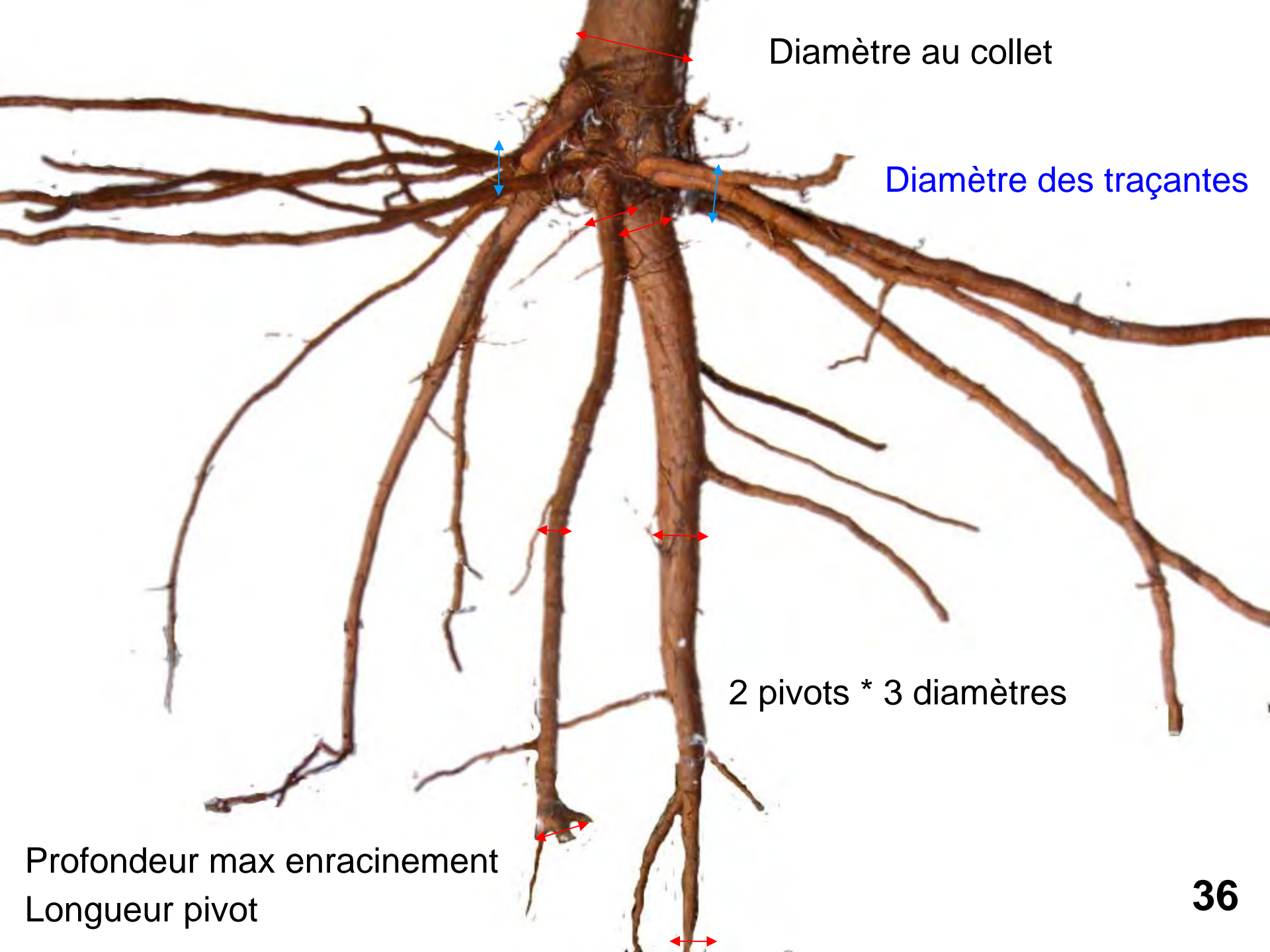




**Arrachage à 6 ans : Phénotypage haut-débit,  
10 mn /arbre tout compris**







Diamètre au collet

Diamètre des traçantes

2 pivots \* 3 diamètres

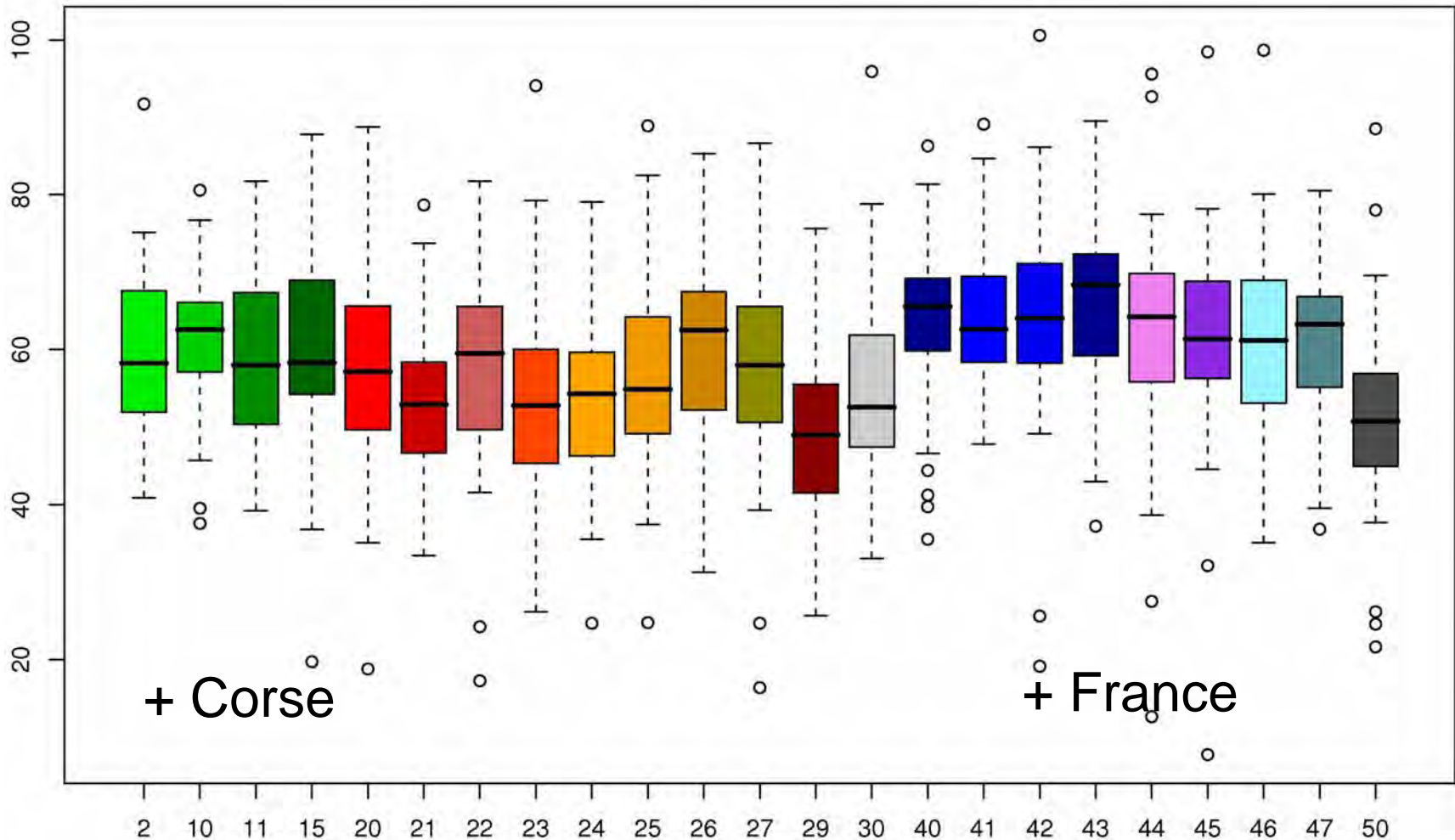
Profondeur max enracinement

Longueur pivot

# Allocation aux racines ?

## CSA des racines issues de la souche/diamètre au collet

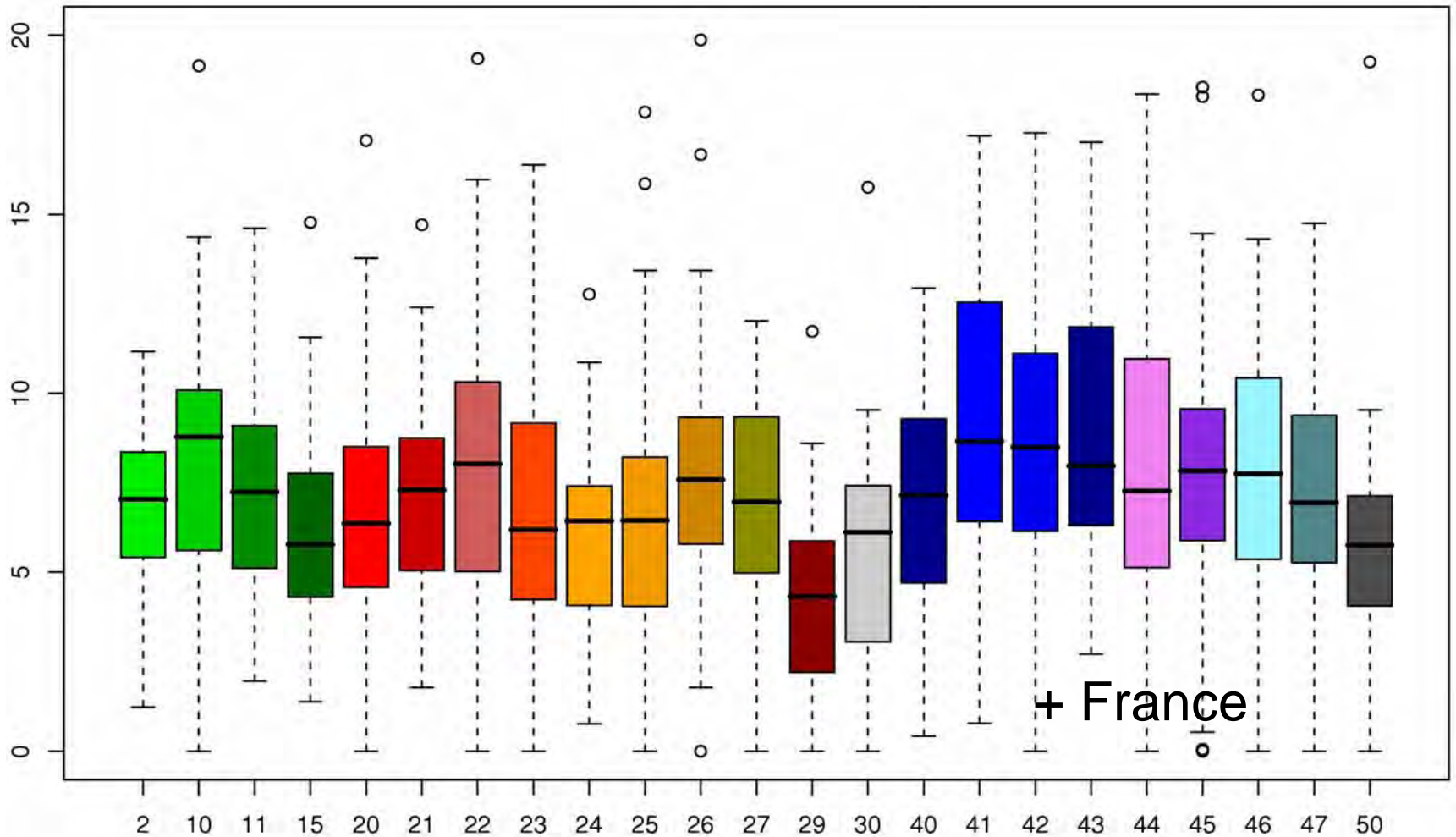
Population\*\*\*\*



# Allocation de biomasse au pivot ?

Volume des pivots/Volume du tronc

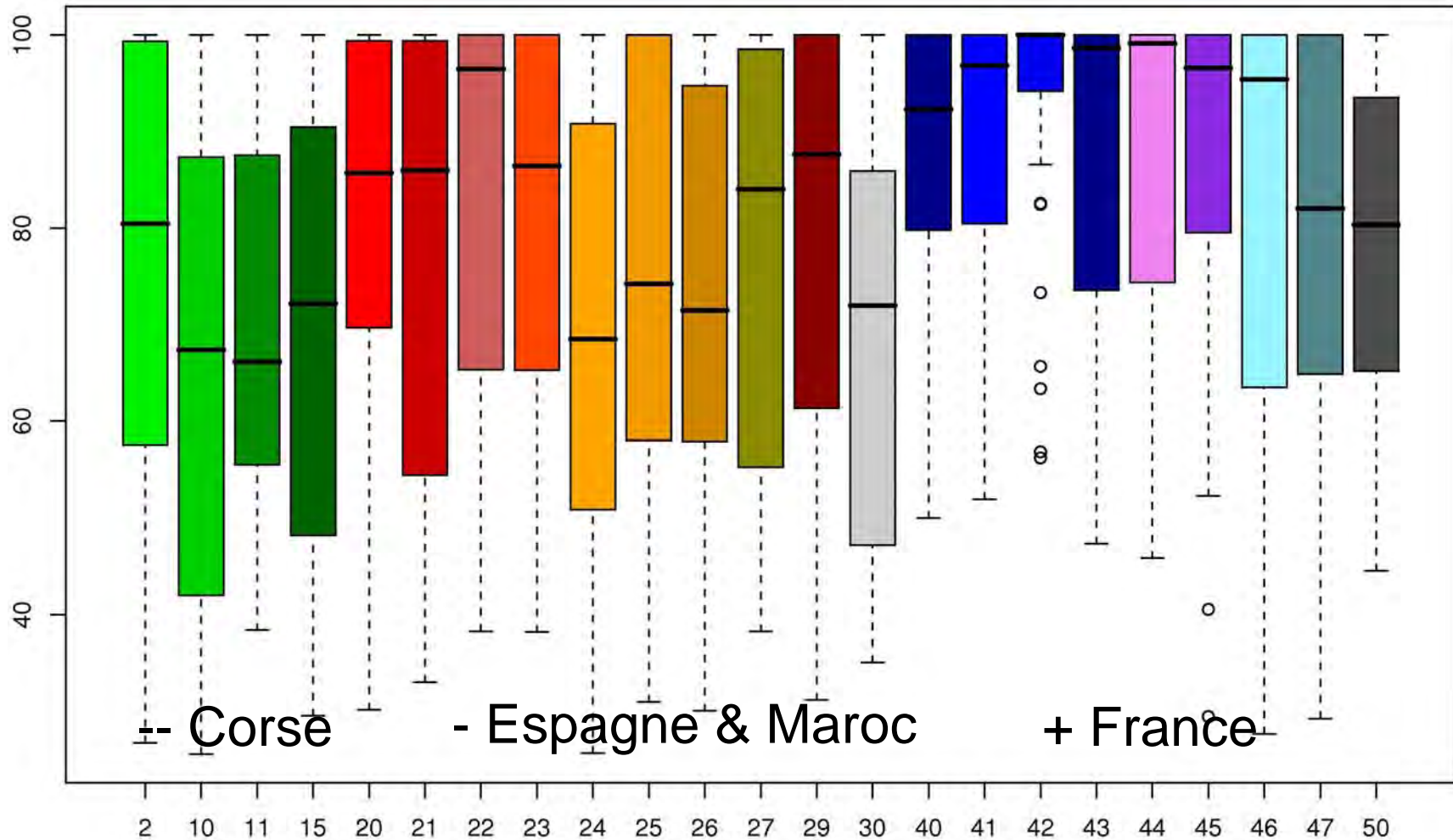
Population\*\*\*\*



# 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

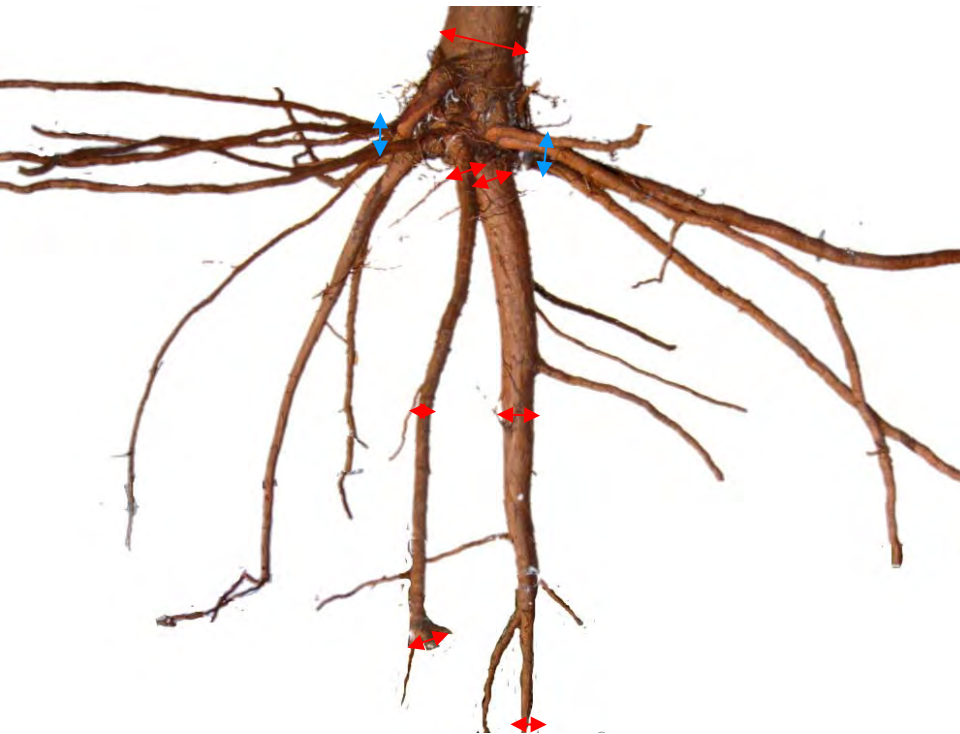
On sait quel architecture racinaire assure la stabilité

-> 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

