BIOMIMICRY RESEARCH INNOVATION CENTER

The University of Akron

Vers des fondations de bâtiments inspirées des racines d’arbres

Thibaut Houette

Architecte, Docteur en biotechnologie et biomimétisme

Biomimicry Research and Innovation Center, The University of Akron, USA

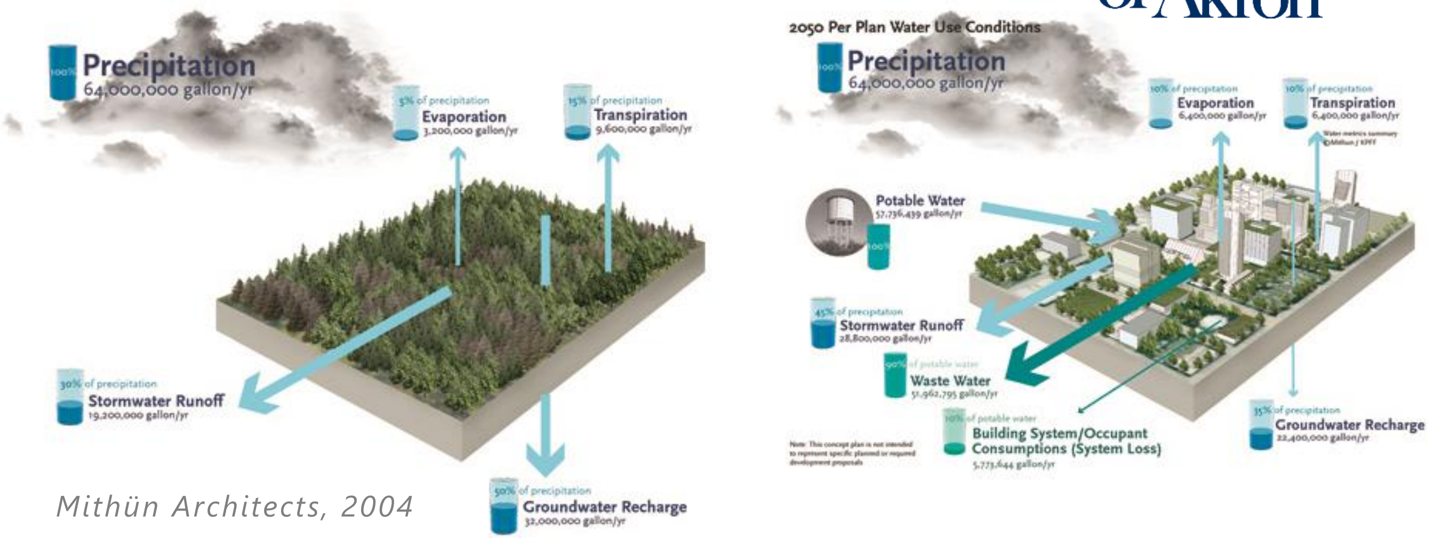
Biome+ - 18 Juillet 2023 - Ceebios

I - Contexte

I - Besoins de l'architecture de demain

› **Renforcer les services écosystémiques**

Lloyd Crossing Project, 2004, Mithün Architects and GreenWorks Landscape Architecture Consultants, Portland



Mithün Architects, 2004

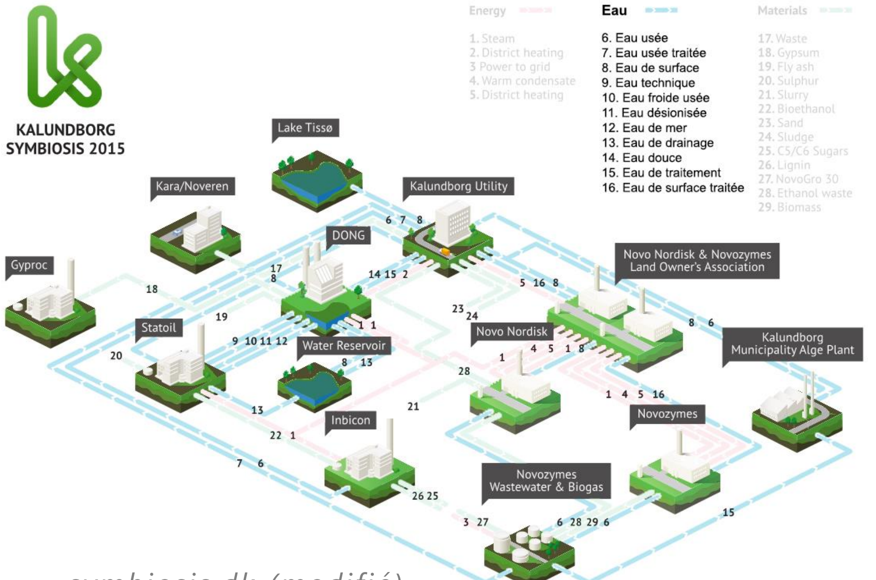
› **Réduire la consommation de ressources**

Kalundborg Symbiosis 2015

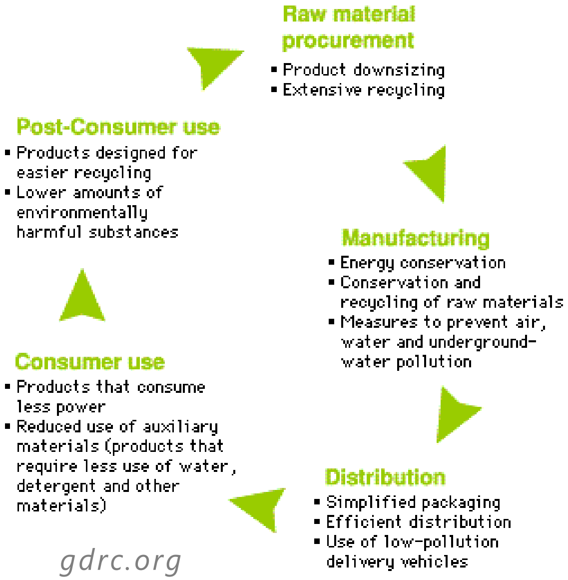
3 R: Reduce, Reuse, Recycle

Life Cycle Analysis

Biomimicry 3.8 Life Principles



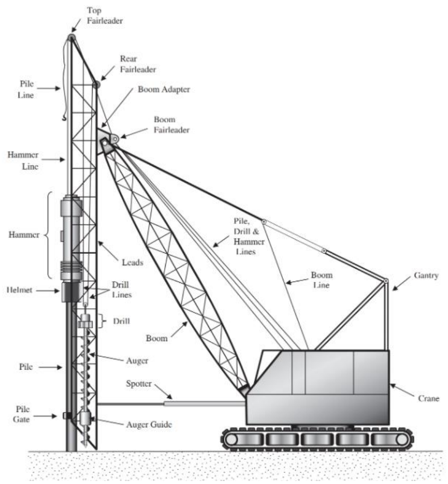
symbiosis.dk (modifié)

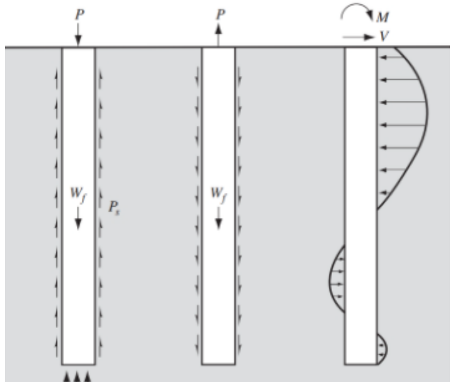


gdrc.org

I - Cas d'étude: Fondations inspirées de racines d'arbre ?

Fondations traditionnelles





Coduto et al., 2015

Fonctions des racines

Limite **l'érosion** des sols

Support structurel

Création **d'habitats**

Stockage: eau/nutriments

Absorption : eau/nutriments

Exploration et **pénétration**

I - Processus biomimétique

(simplifié, non-linéaire)

Etat de l'art

Analyse des fondations de bâtiments

Installation & Morphologie

Biologie des racines d'arbres

Croissance & Morphologie

Etat de l'art
Recherche fondamentale

Abstraction de la biologie des racines

Principes de croissance — Caractéristiques morphologiques

Analyse paramétrique

Des **racines**

aux **fondations**

Transfert pour l'ingénierie civile

Pénétration
Adaptation

Support structurel
Réduction de l'érosion

Multifonctionnalité

Design paramétrique
Production de concepts

Application aux fondations de bâtiments

Faire pousser des fondations de bâtiments multifonctionnelles adaptables

Prototypes
Tests mécaniques
Constructabilité
Evaluation de la durabilité

II - Biomimétisme

en partant de la littérature scientifique

II - Processus biomimétique

The University of Akron

Root systems research for bioinspired resilient design - a concept framework for foundation and coastal engineering

Elena Stachew[1], Thibaut Houette[1], Petra Gruber[2*]

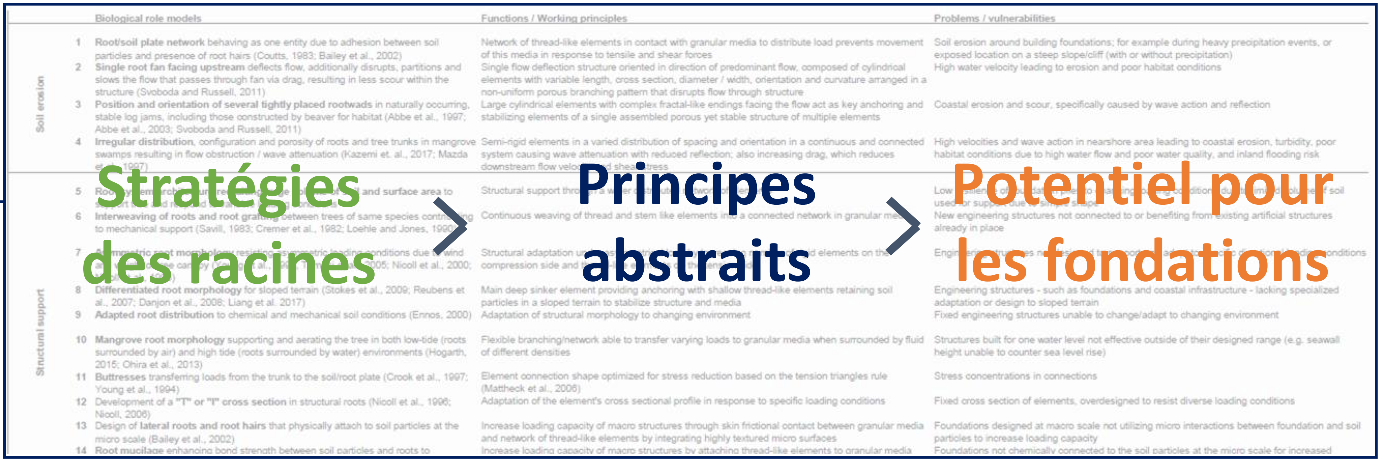
[1]Biomimicry Research and Innovation Center BRIC, Department of Biology, The University of Akron, Akron, Ohio, USA

[2]Biomimicry Research and Innovation Center BRIC, Myers School of Art and Department of Biology, The University of Akron, Akron, Ohio, USA

Systèmes racinaires comme modèle biologique

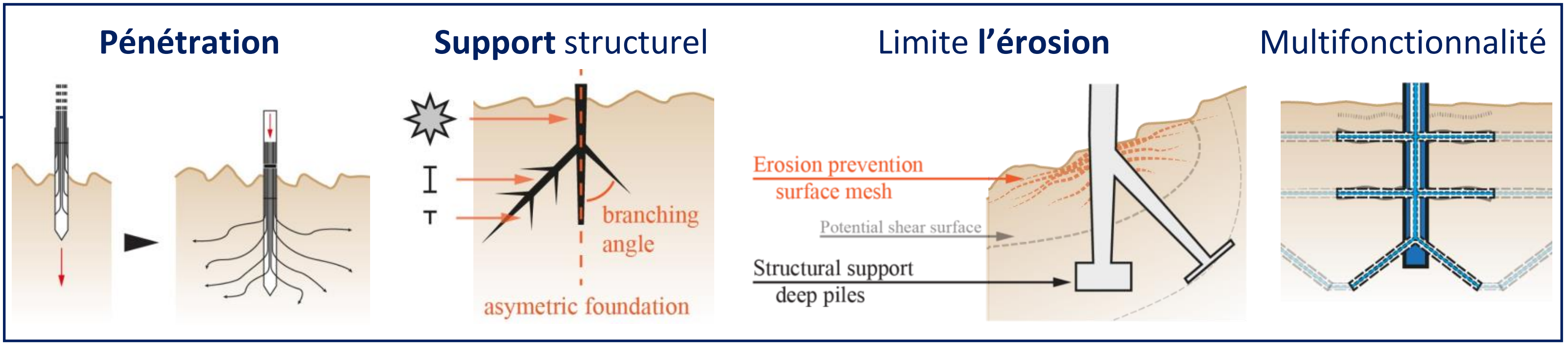
- **Principes fondamentaux**
- **Fonction, développement et adaptation**
- **Biomécanique**

Abstraction & Analogie



Application à des fondations de bâtiments

- **Problèmes des systèmes traditionnels**
- **Solutions innovantes actuelles**
- **Concepts inspirés des racines**



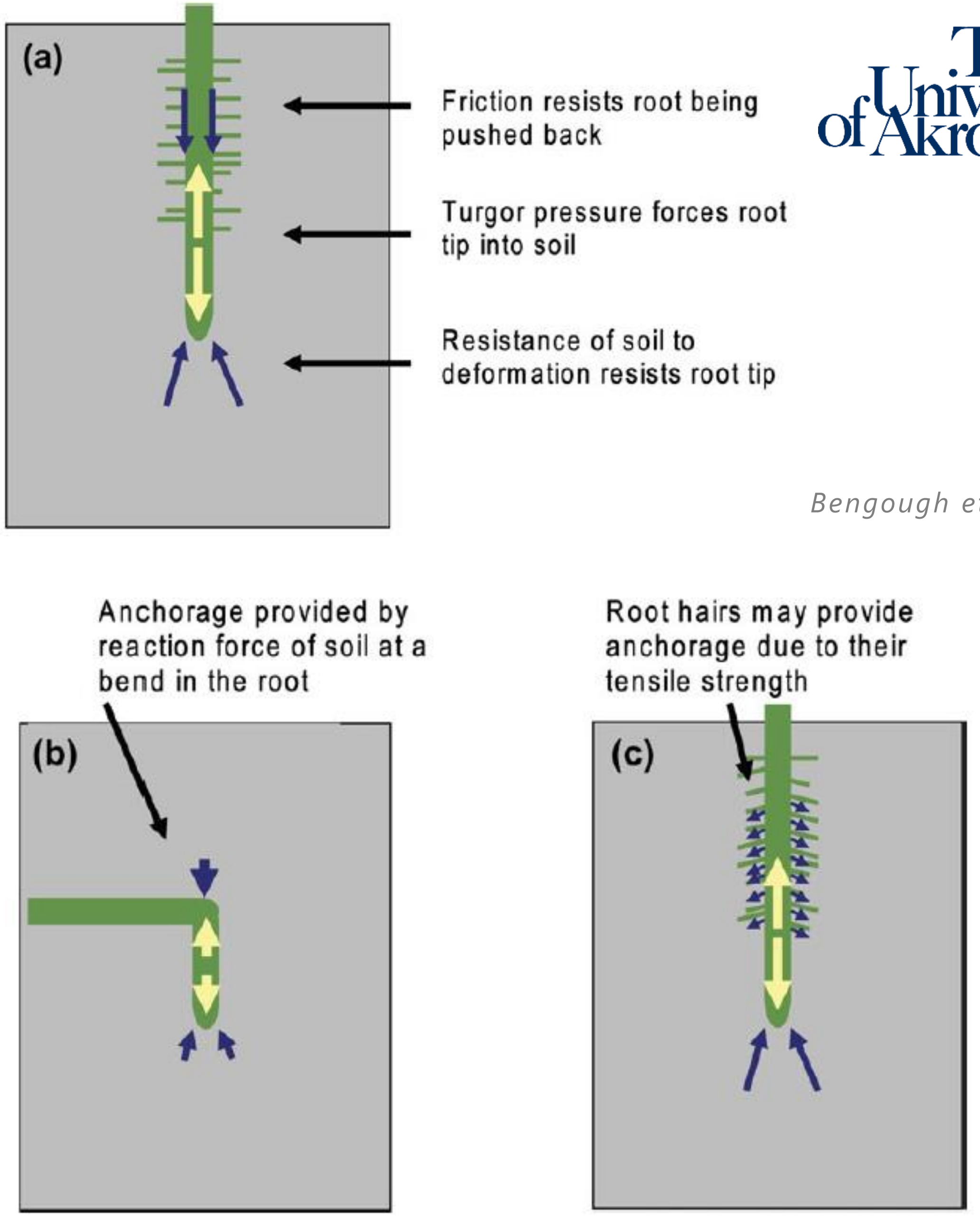
Discussion & Conclusion

II - Stratégies d'intérêt

Pour les fondations

de bâtiments

1.



Bengough et al., 2011

1. **Pénétration autonome des pointes**
2. **Système ramifié** augmentant la surface portante
3. **Friction** intégrée dans le design
4. **Multifonctionnalité** au sein d'une même anatomie
5. **Adaptation dynamique** à l'environnement
6. **Autoréparation** et décomposition programmée

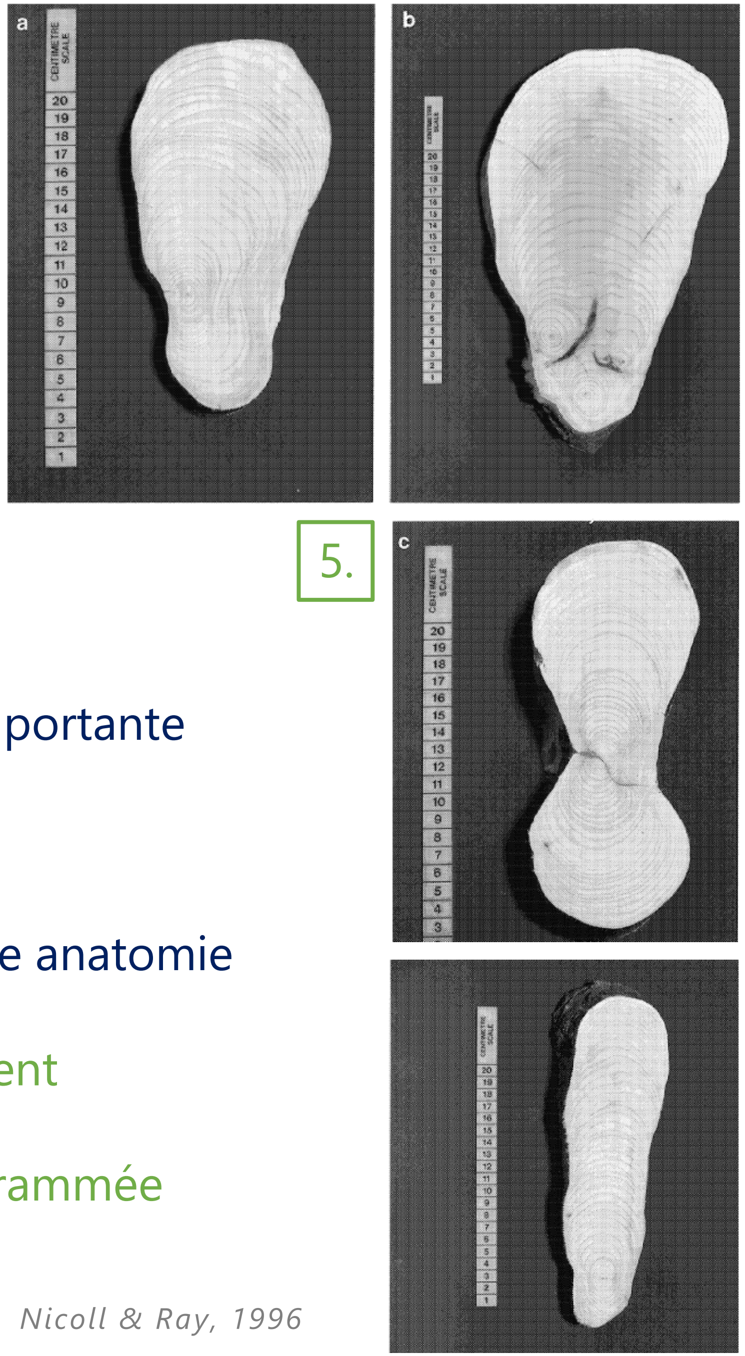
II - Stratégies d’intérêt

Pour les fondations

de bâtiments

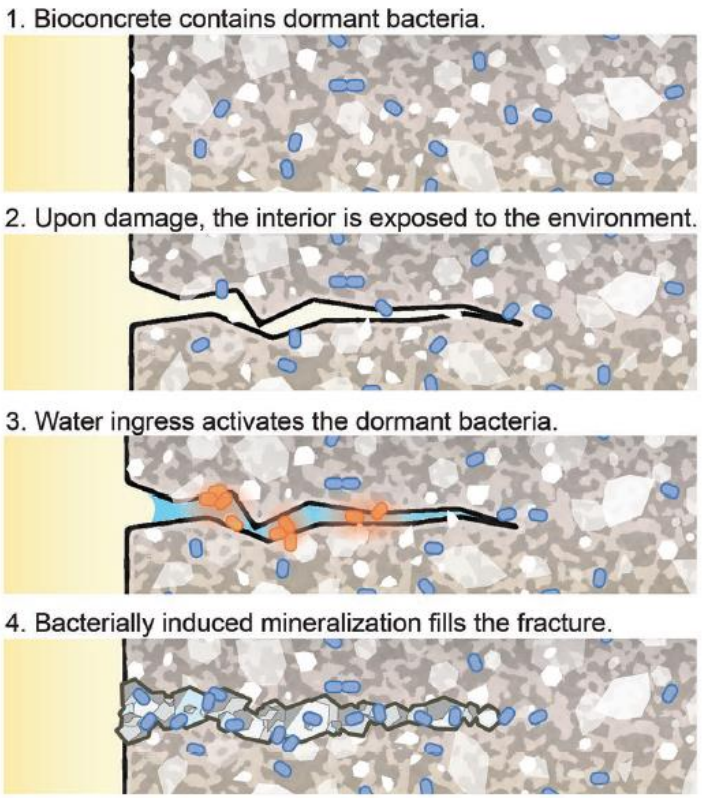
1. **Pénétration autonome des pointes**
2. **Système ramifié** augmentant la surface portante
3. **Friction** intégrée dans le design
4. **Multifonctionnalité** au sein d’une même anatomie
5. **Adaptation dynamique** à l’environnement
6. **Autoréparation** et décomposition programmée

5.



Nicoll & Ray, 1996

6.



Jonkers & Schlangen, 2007

II - Thématiques principales d'intérêt

Processus de croissance:

- **Croissance** par les pointes
- **Circumnutations**
- Formation d'**embranchements**

Adaptation:

- **Répartition** de la matière dans le sol
- Racines à **sections irrégulières**
- Optimisation des **embranchements**

Formation d'un bloc cohésif:

- **Hiérarchie** morphologique
- **Entrelacement**

Cycle des ressources:

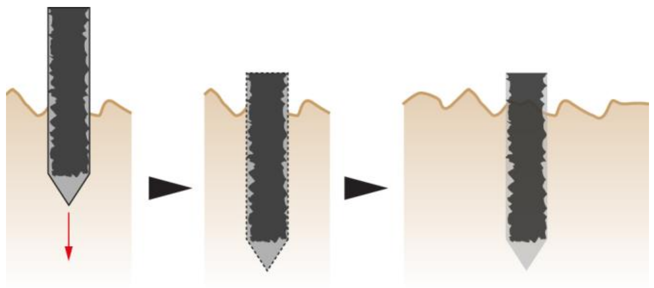
- Echange **thermique**
- **Absorption, stockage et transport**
- Matériaux **composites**
- Propriétés **autocicatrisantes**

- Faciliter la **pénétration** dans le sol
- Augmenter la capacité **structurelle**
- Réduire **l'érosion** des sols
- Intégrer la **multifonctionnalité**

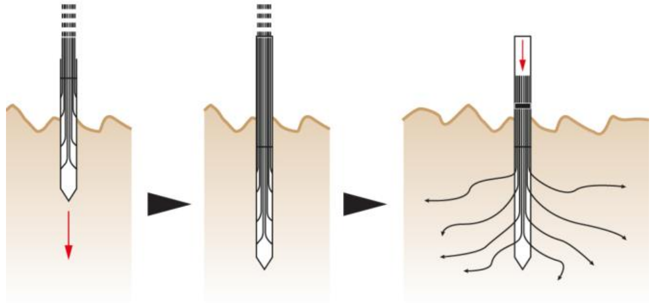
II - Concepts

Allier:
Pénétration + Support structurel

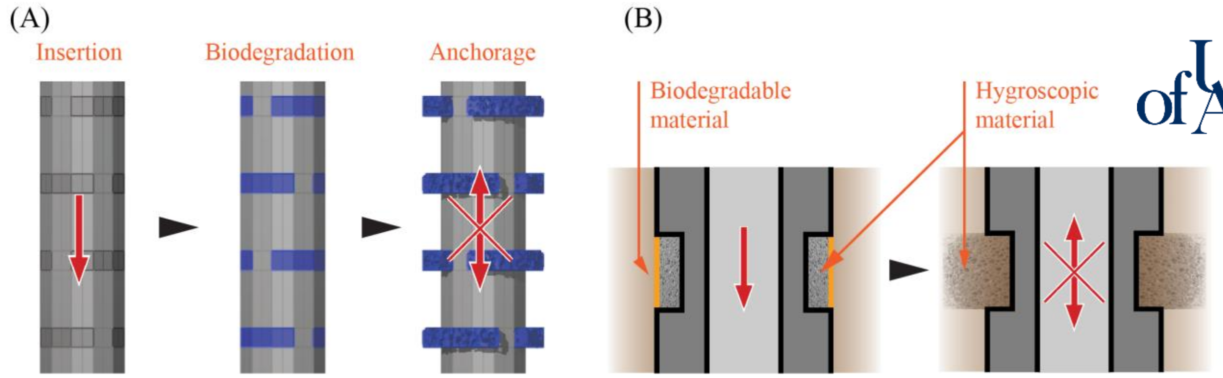
Decaying coat



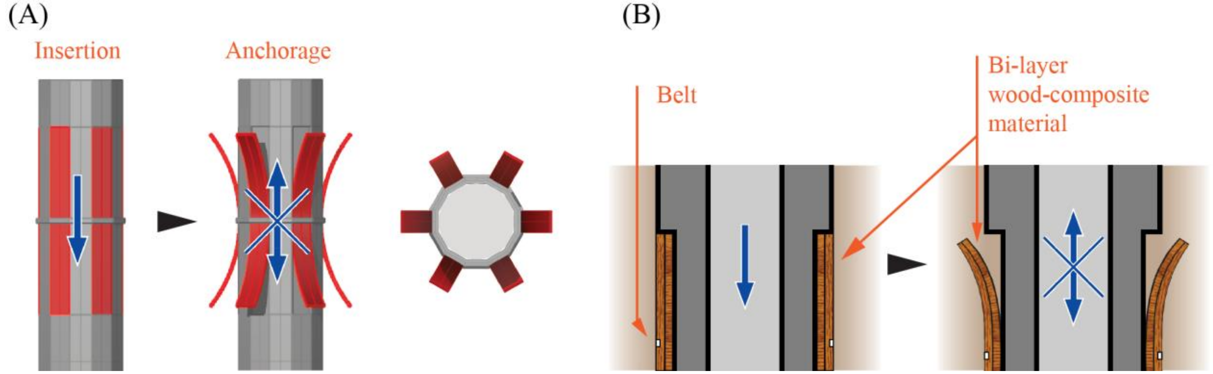
Laterals



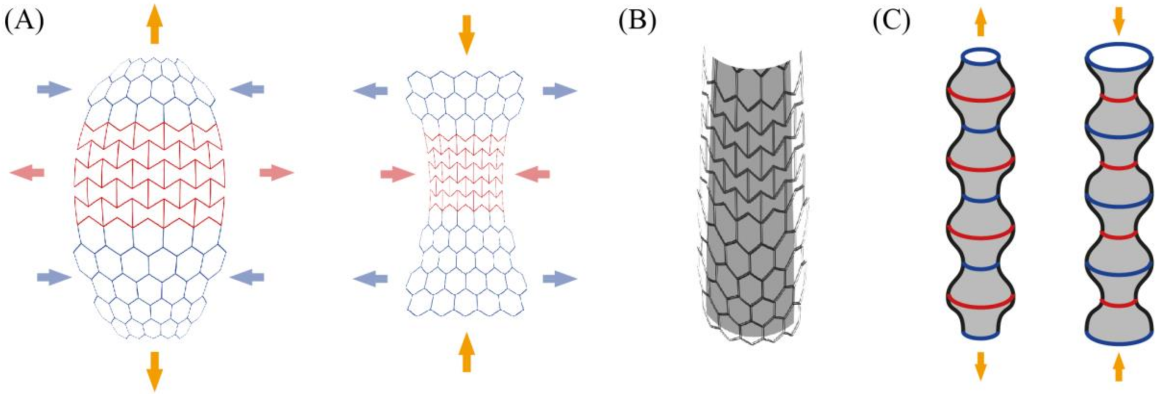
Expansion



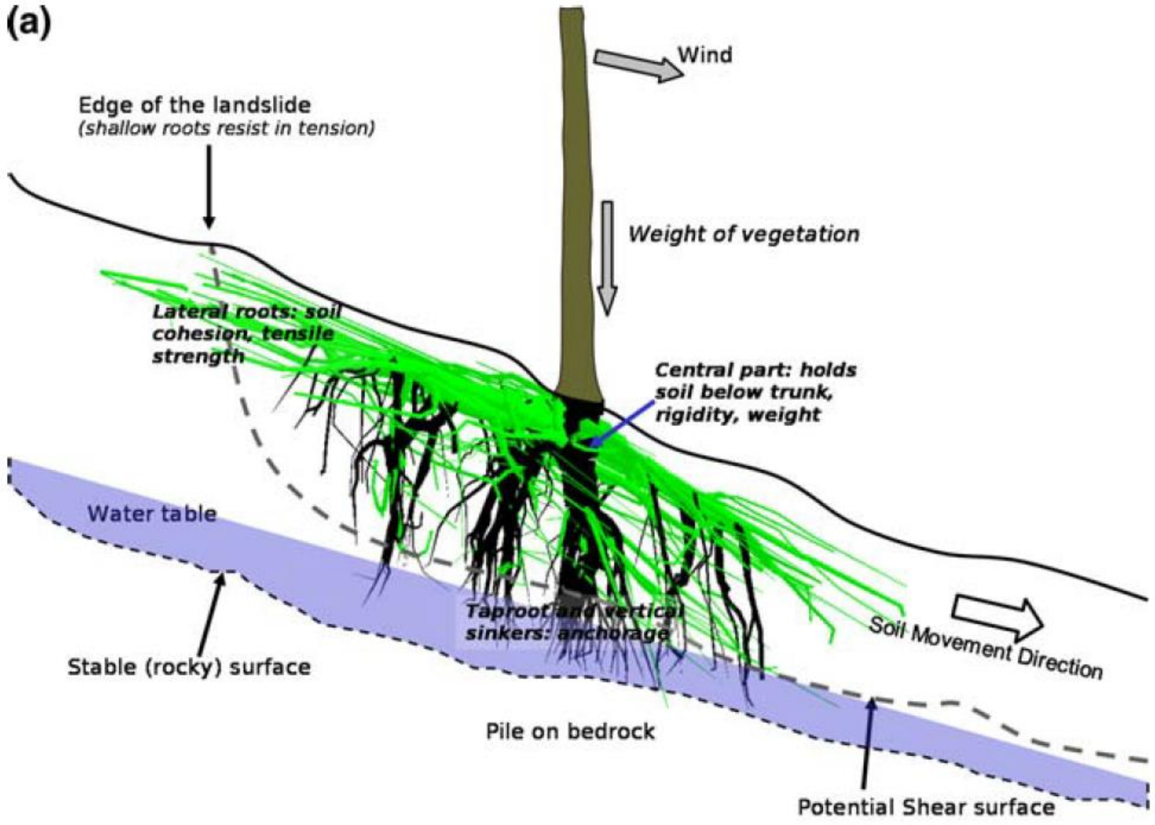
Curvature



Auxetic pile

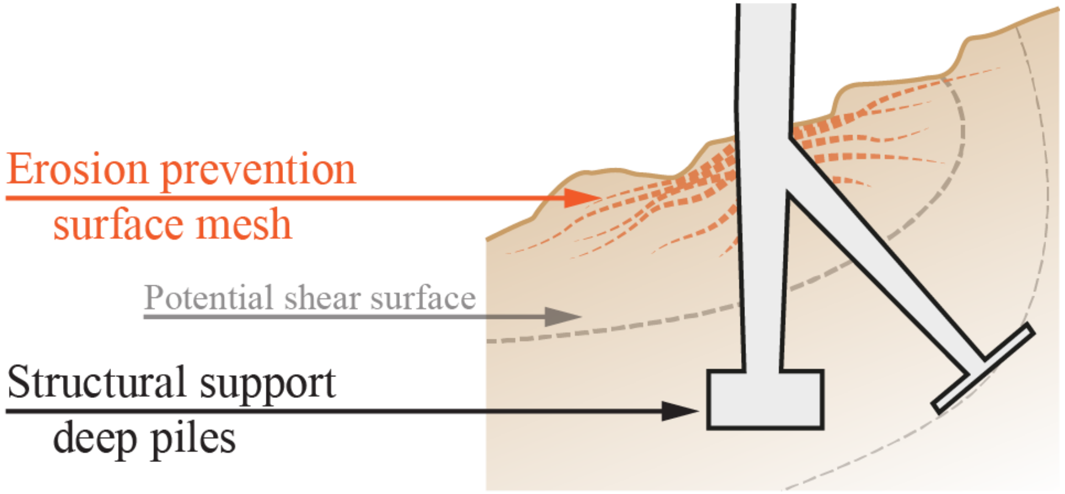


Allier: Réduction de l'érosion + Support structurel



Reubens et al., 2007

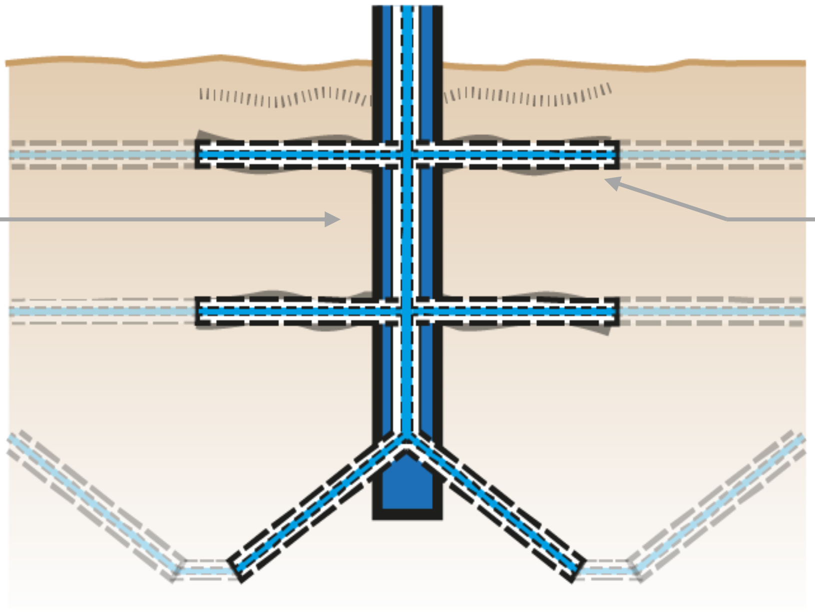
Structure double



Intégration de la multifonctionnalité

Pile verticale creuse:

- **Répartition des forces verticales**
- **Stockage** (e.g., eau)
- **Transport** (e.g., thermique)



Branches latérales creuses:

- **Répartition des forces horizontales**
- **Limiter l'érosion**
- Echange de ressources *avec le sol + entre les bâtiments*
- **Greffage structurel** entre infrastructures

Principes structurels:

- Matériaux **composites auto-cicatrisants**
- **Hiérarchie** par échelles de conception

III - Biomimétisme

en faisant de la recherche fondamentale

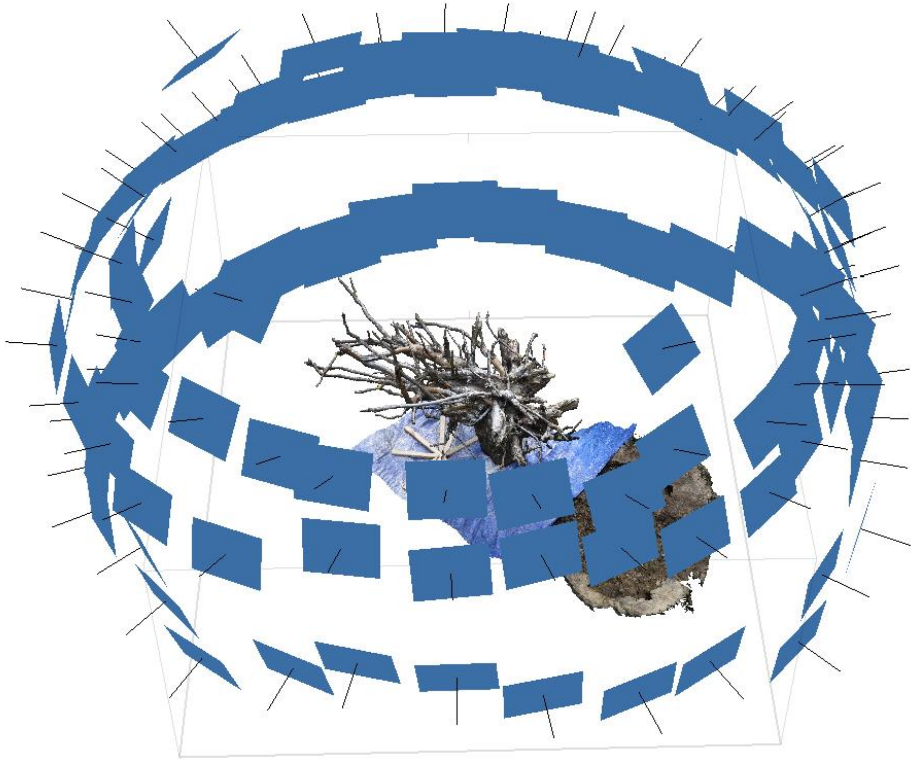
III - Photogrammétrie pour générer des modèles 3D de racines

Processus

photos d'un objet avec différents angles de vue

→ **logiciel** de reconstruction

→ **modèle 3D** de l'objet



Objectifs principaux

- **Faciliter la collecte** de modèles 3D de racines d'arbres sur le terrain
- **Comparer l'adaptation** de différentes espèces à divers environnements

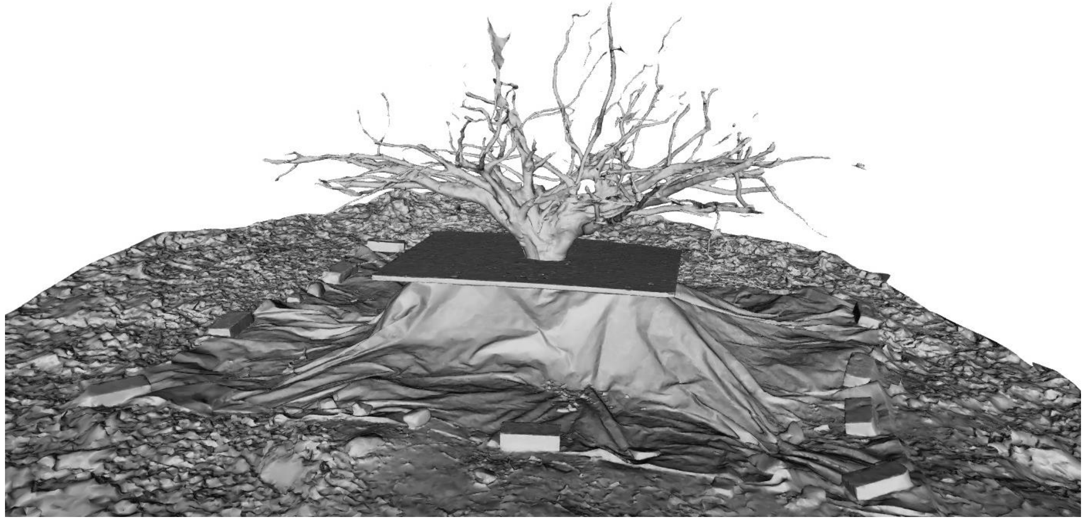
III - Photogrammétrie pour générer des modèles 3D de racines

The University of Akron

Préparer

Photographier

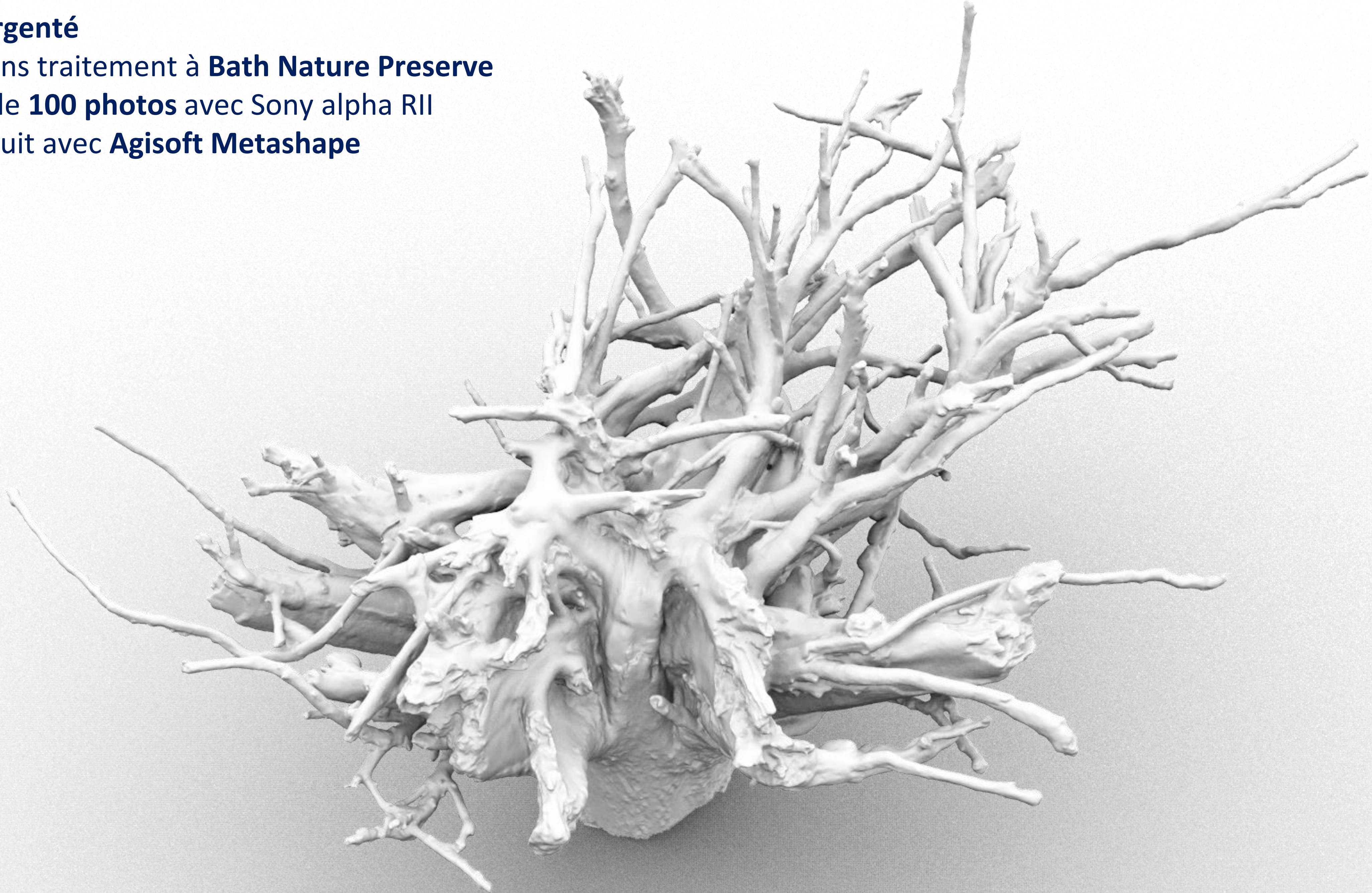
Reconstruire



Metashape

AUTODESK® RECAP™

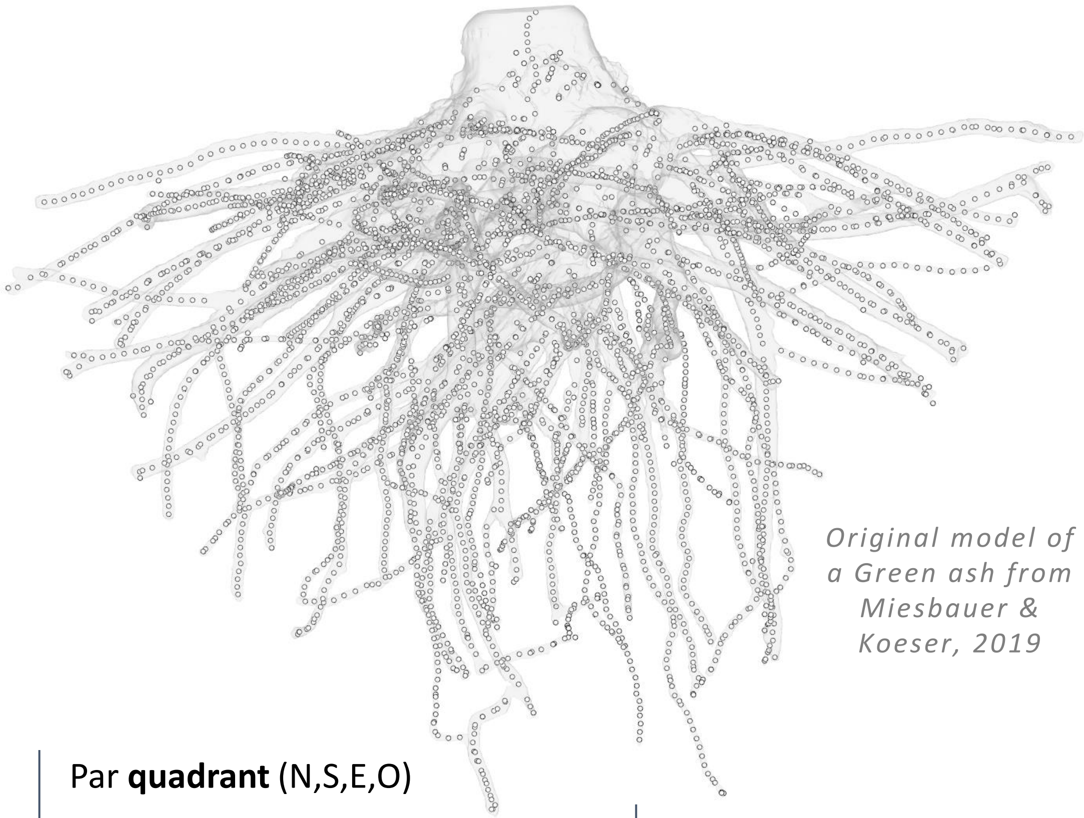
Erable argenté
Imagé sans traitement à **Bath Nature Preserve**
à partir de **100 photos** avec Sony alpha RII
Reconstruit avec **Agisoft Metashape**



III - Extraire les caractéristiques racinaires des modèles 3D

Développement d'un algorithme avec Rhinoceros/Grasshopper:

Modèle 3D → Squelette → Analyse des caractéristiques



Original model of a Green ash from Miesbauer & Koeser, 2019

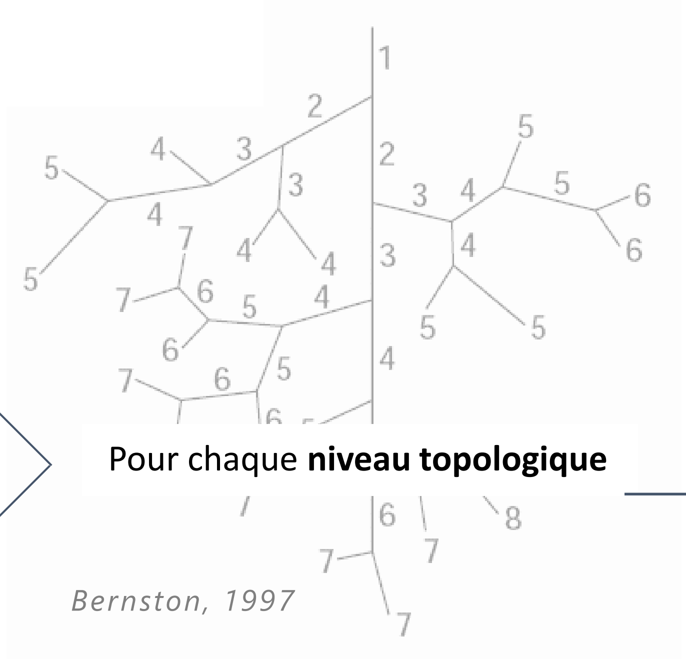
Caractéristiques des racines extraites:

Pour le système racinaire

- Volume du système racinaire
- Surface du système racinaire
- Longueur du système racinaire
- Diamètre du tronc

Pour chaque racine individuelle

- Volume
- Surface
- Longueur
- Diamètre et section
- Courbure
- Orientation
- Angle de bifurcation



Bernston, 1997

Pour chaque **niveau topologique** →

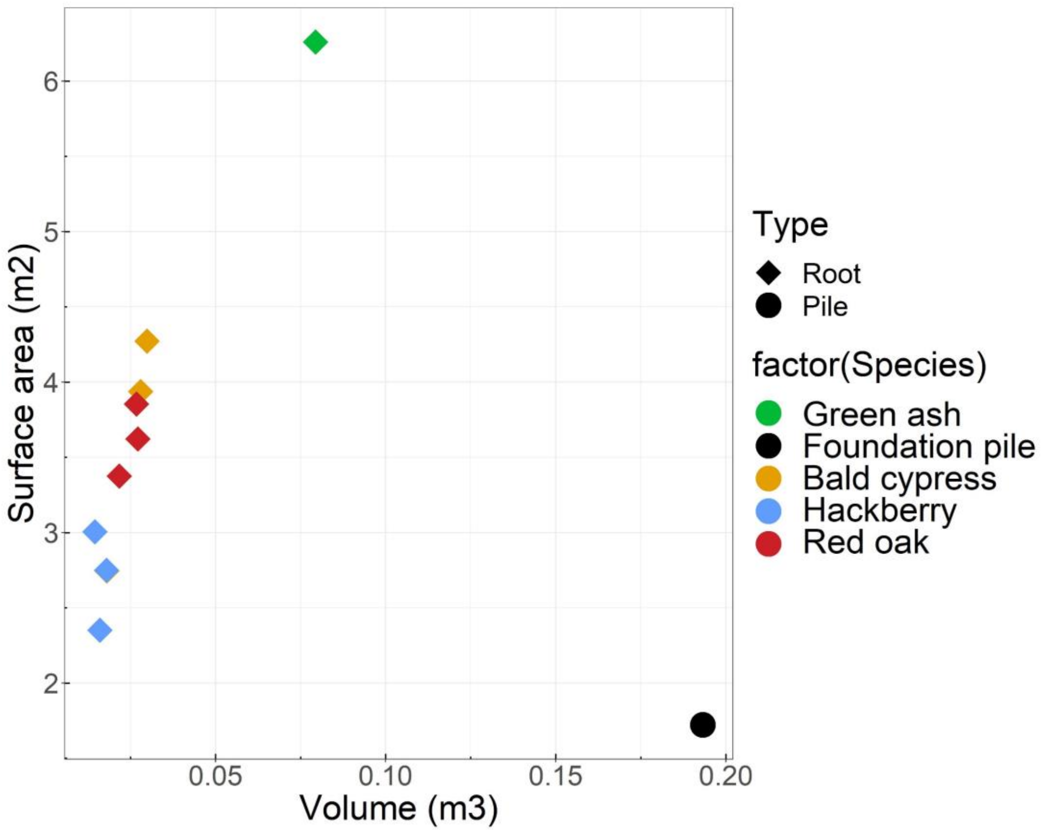
Par **quadrant** (N,S,E,O)

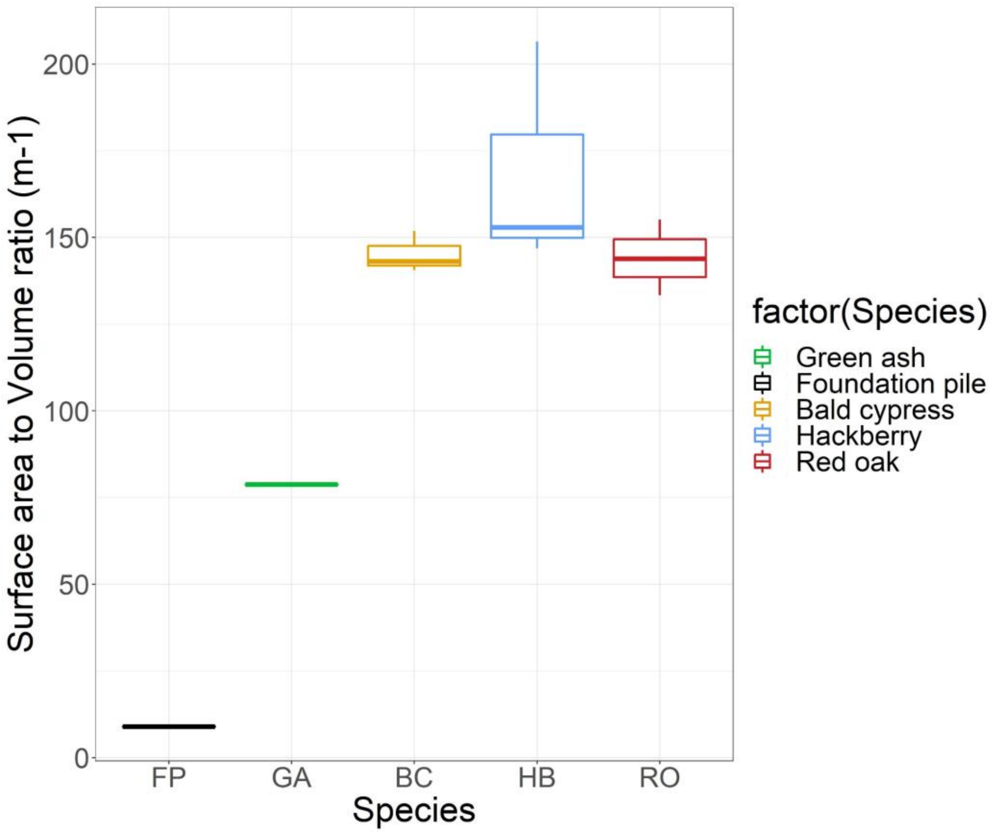
Par **distance** (Hor. Et Vert.)

Par **espèce / individu**

→ Comprendre l' **adaptation des racines**

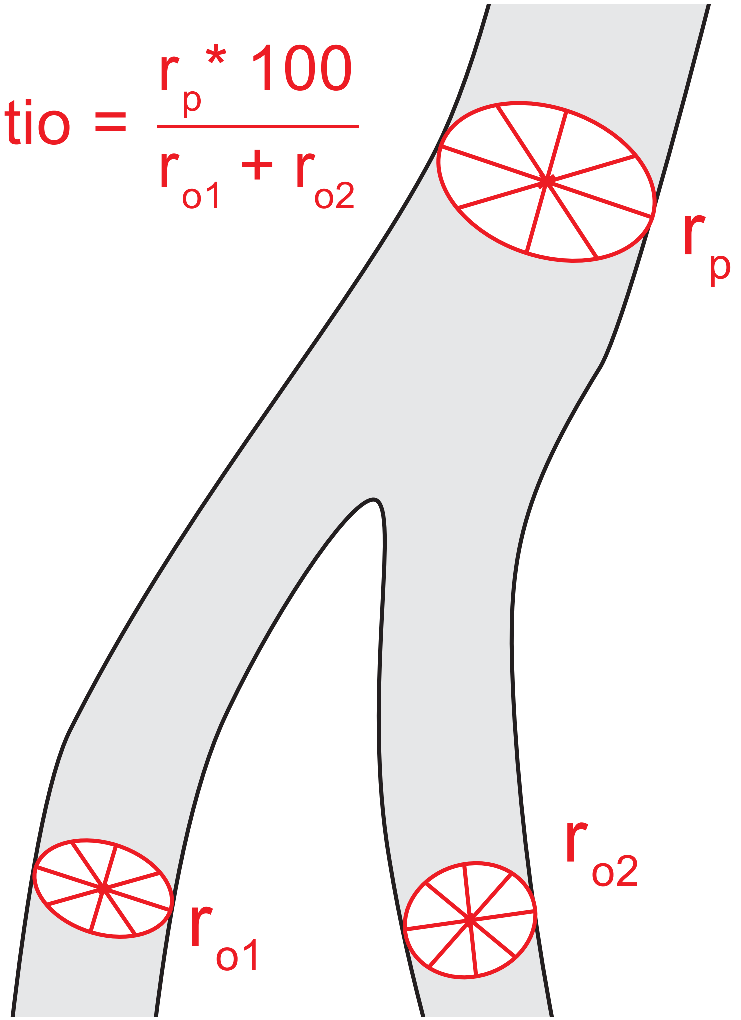
Surface VS Volume: entre espèces et comparées à une fondation traditionnelle





III - Extraire les caractéristiques racinaires des modèles 3D

$$\text{ratio} = \frac{r_p * 100}{r_{o1} + r_{o2}}$$



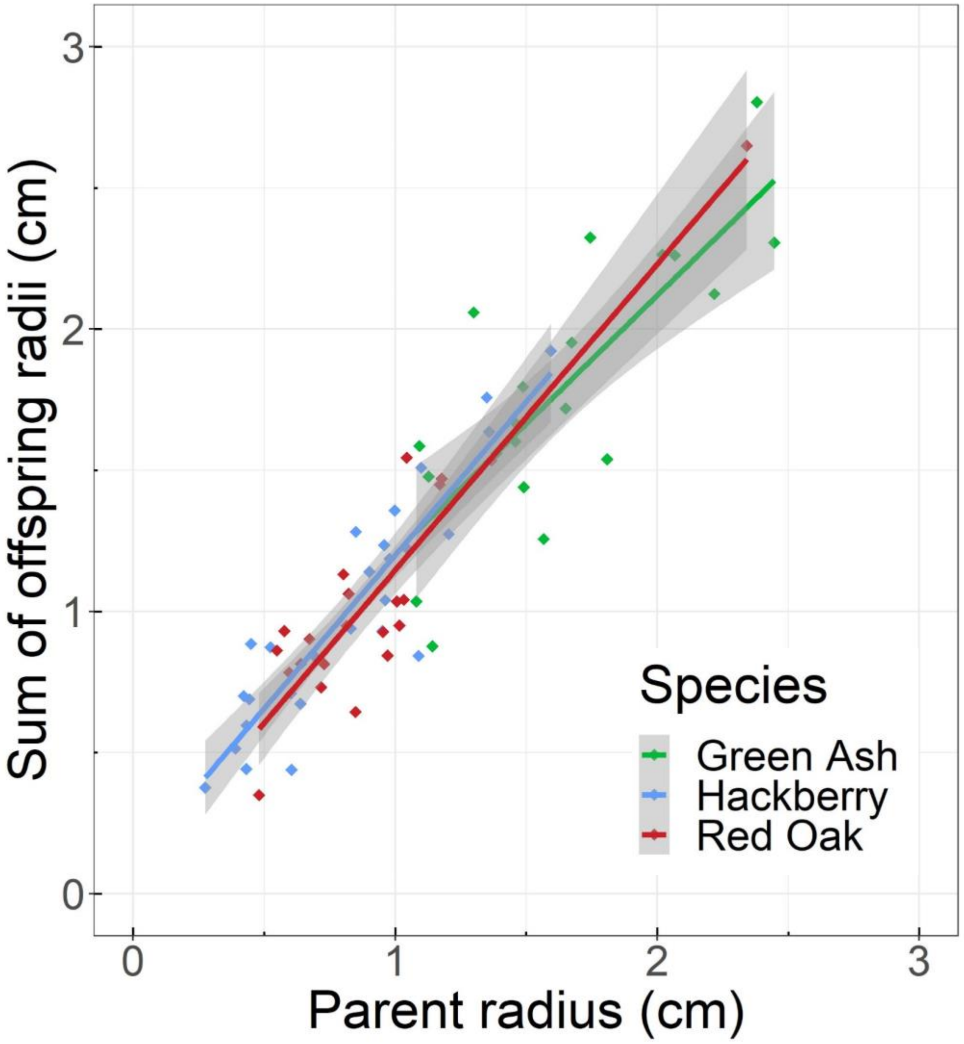
Quel est le **ratio** entre

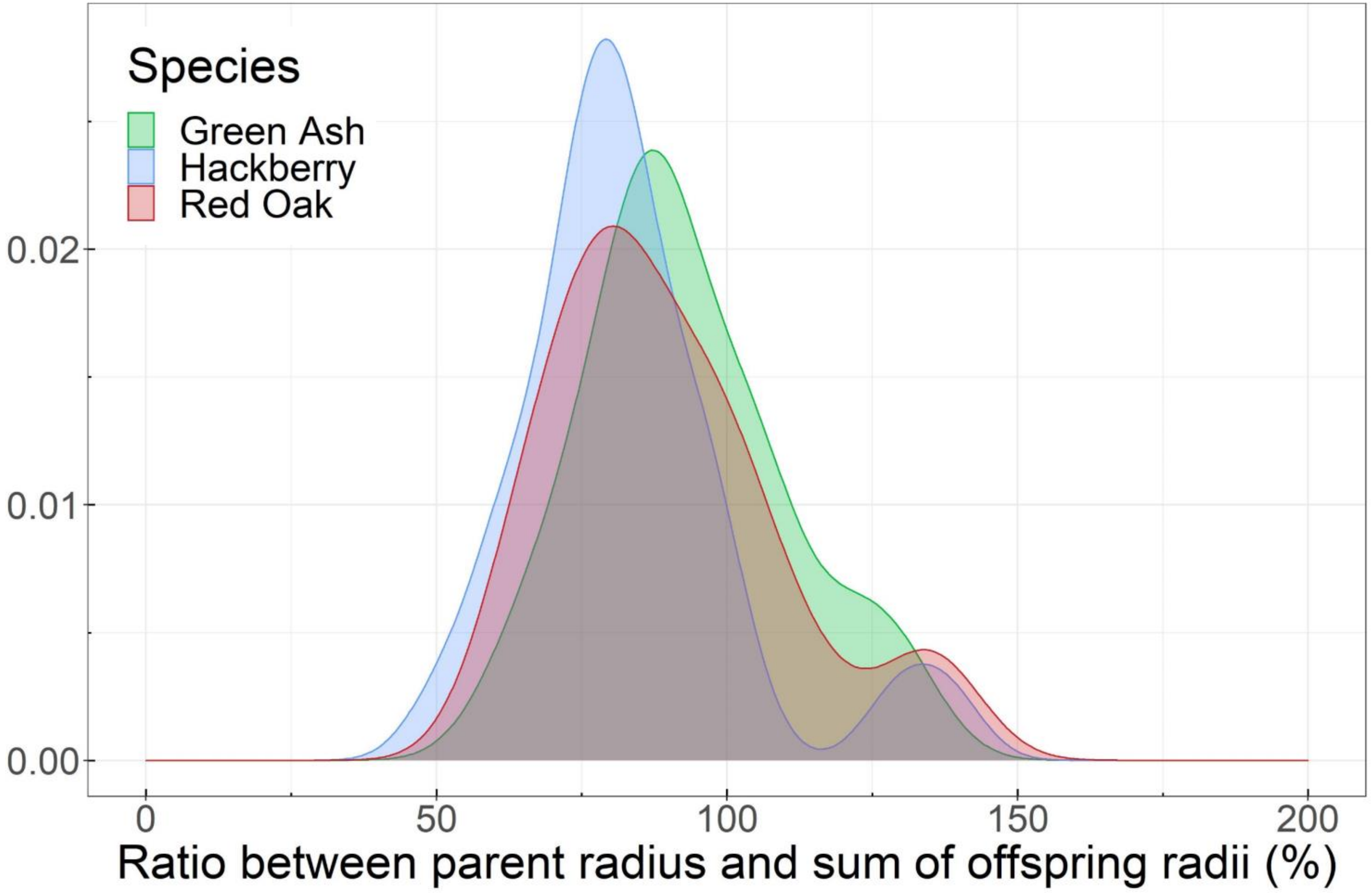
le **rayon d’une racine** et

la **somme** des **rayons de ses descendants**?

III - Extraire les caractéristiques racinaires des modèles 3D

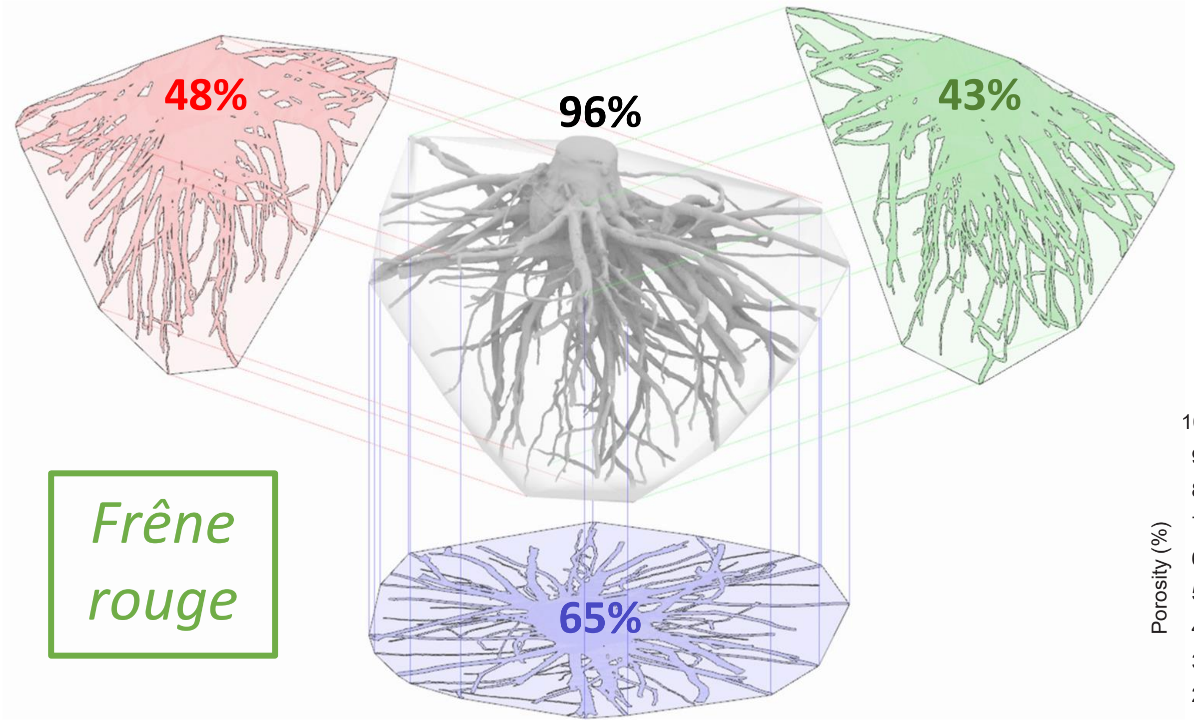
The University of Akron



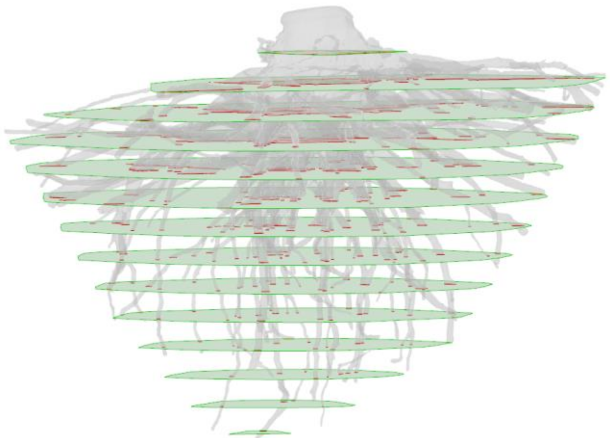


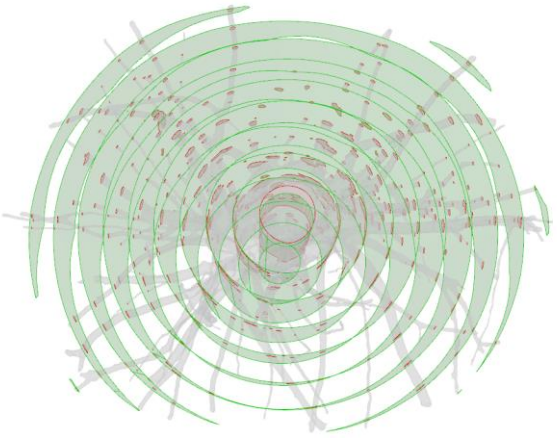
Ratio moyen = **92.57 % (Frêne rouge), 83.05 % (Micocoulier occidental), 89.75 % (Chêne rouge)**

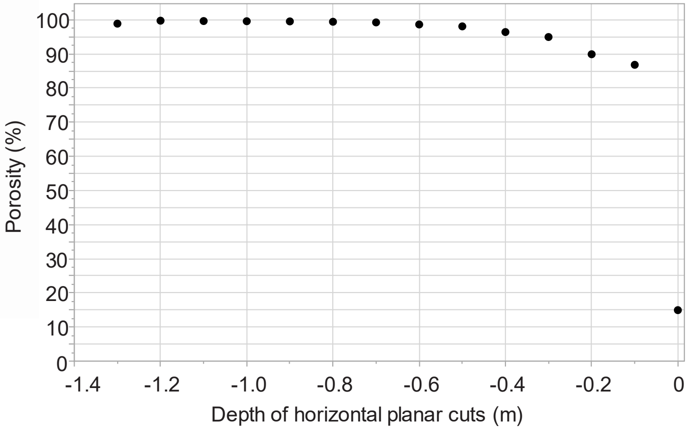
Comment la répartition de la matière varie (**projection**, **profondeur, distance** horizontale)?

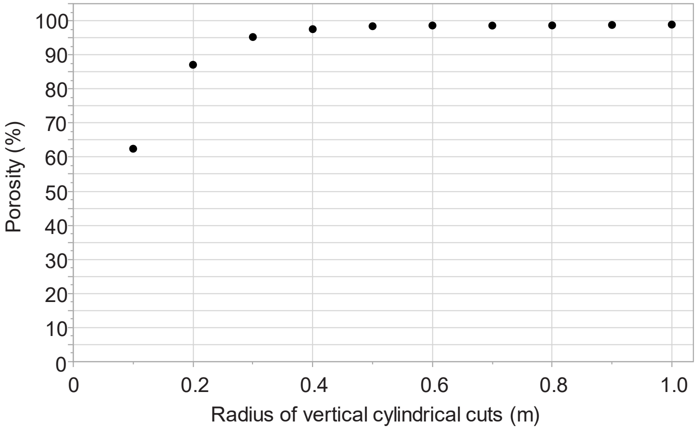


Frêne rouge







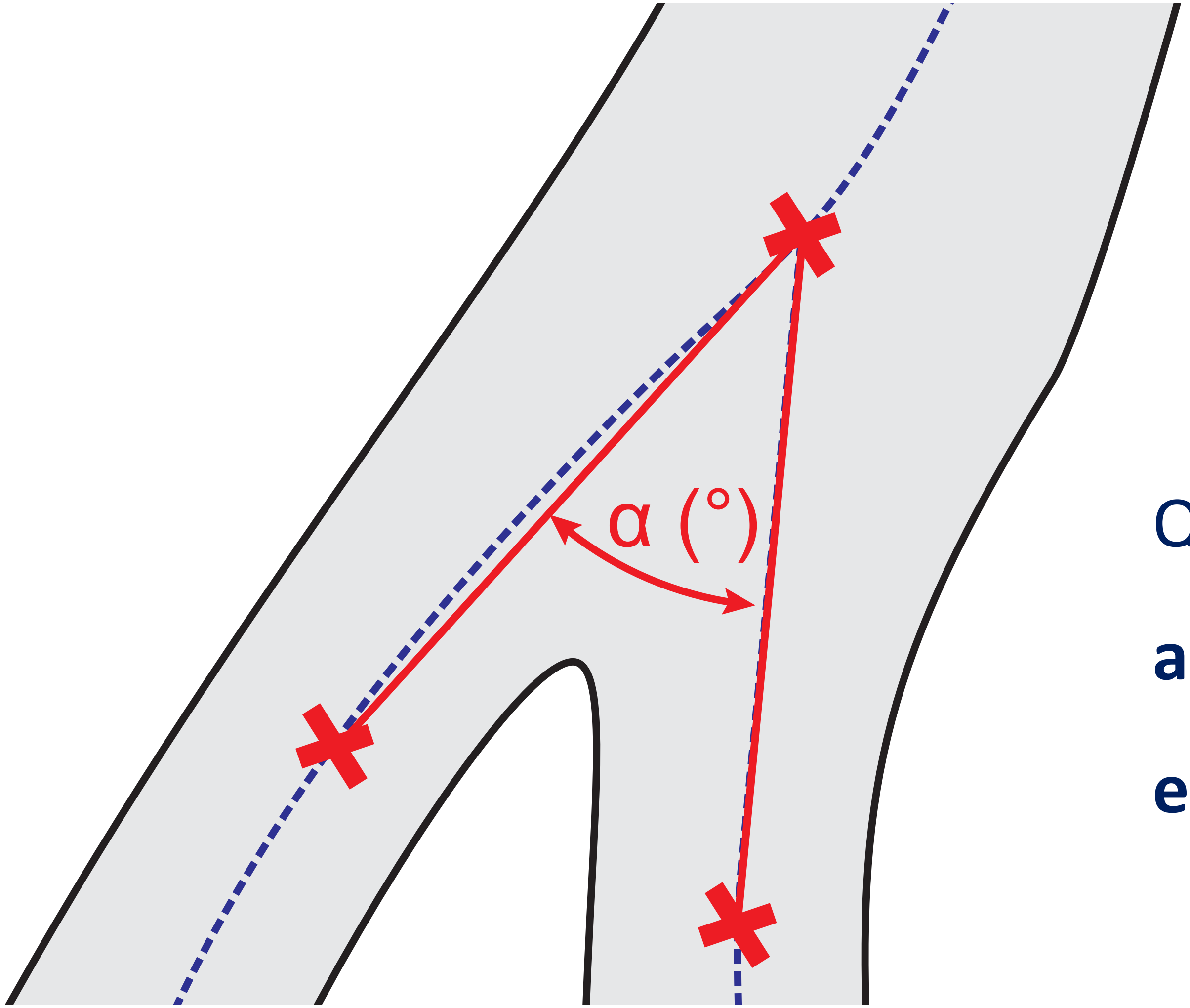


Résultats

Porosité accrue quand vu du dessus

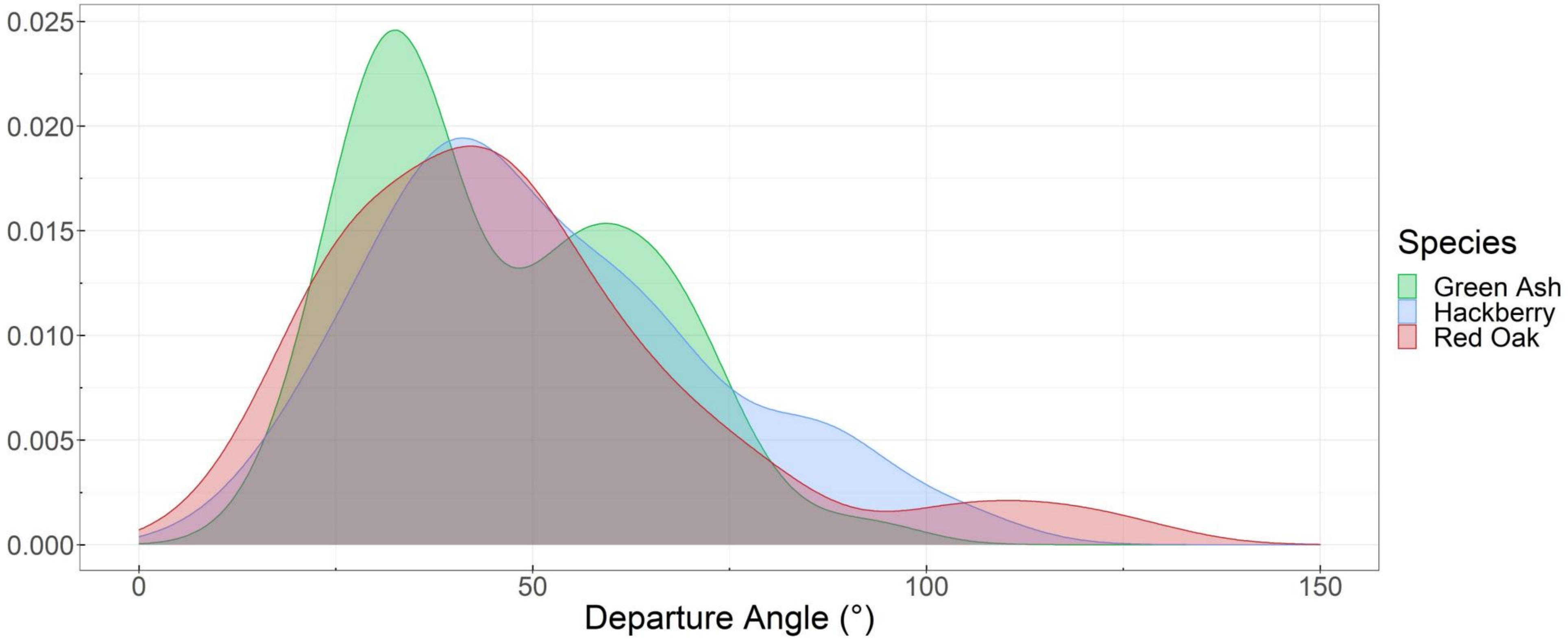
Augmentation rapide de la porosité en s'éloignant du centre

III - Extraire les caractéristiques racinaires des modèles 3D



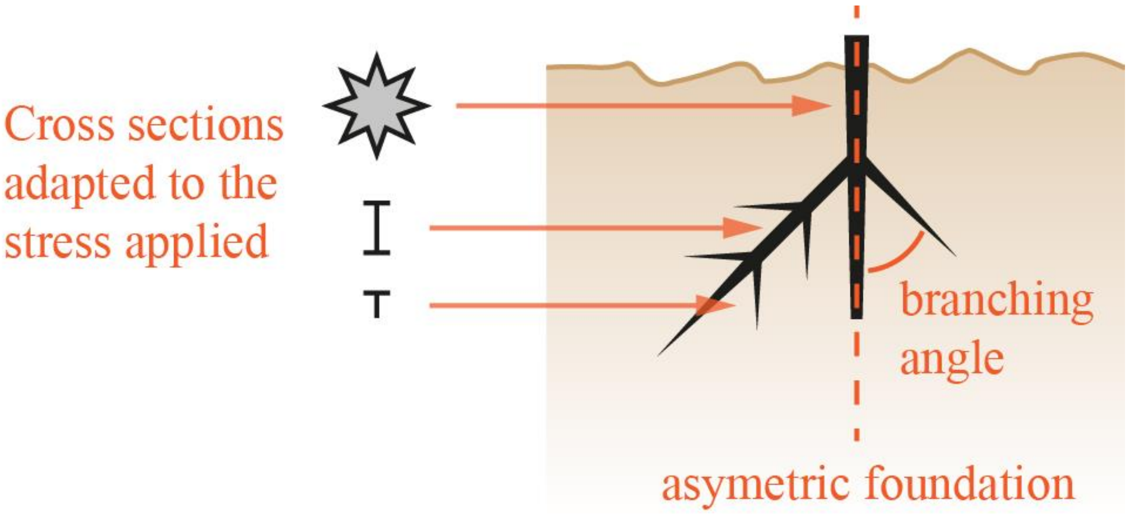
Quelle est la **répartition** des **angles de bifurcation** aux **embranchements** ?

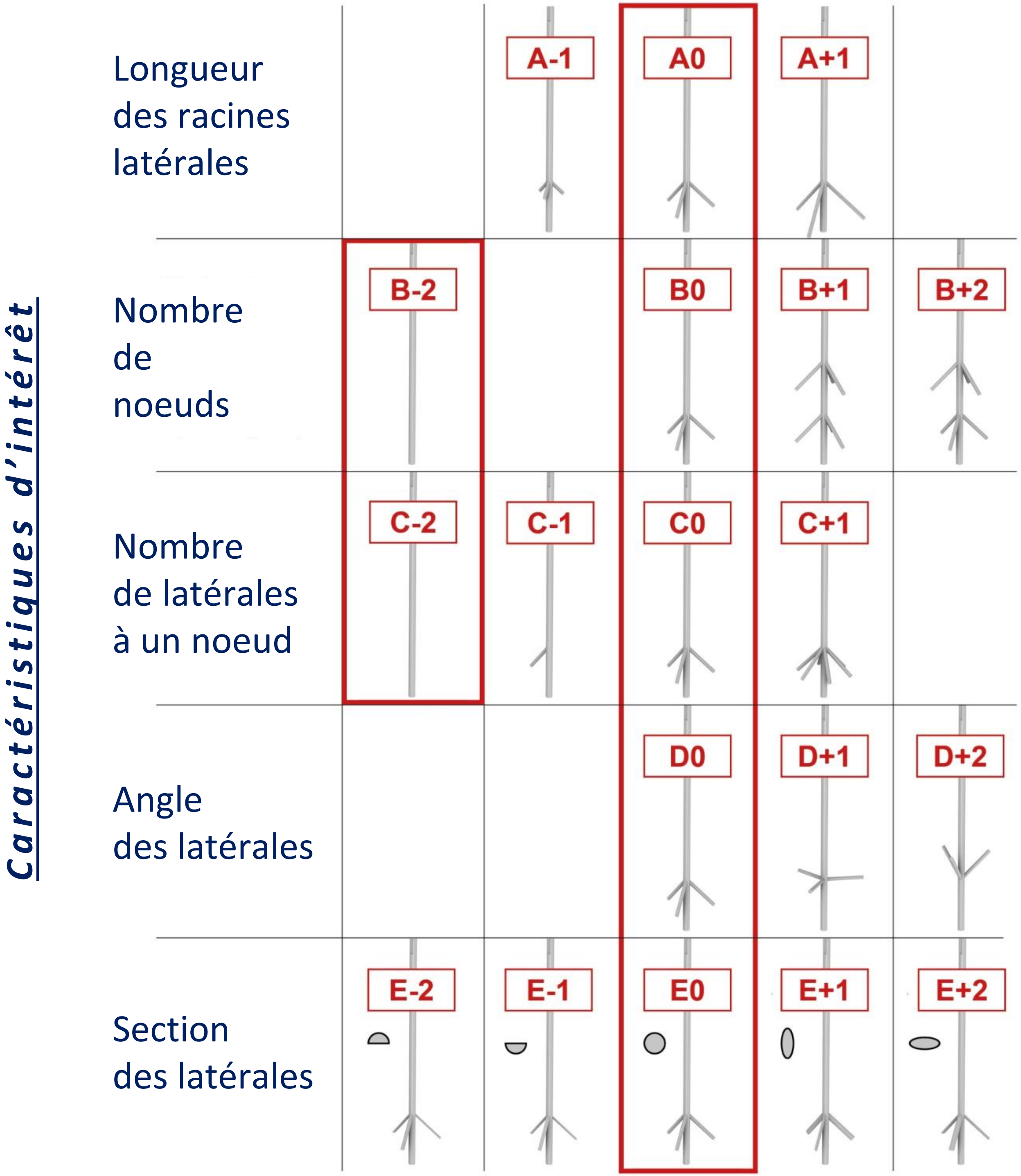
III - Extraire les caractéristiques racinaires des modèles 3D



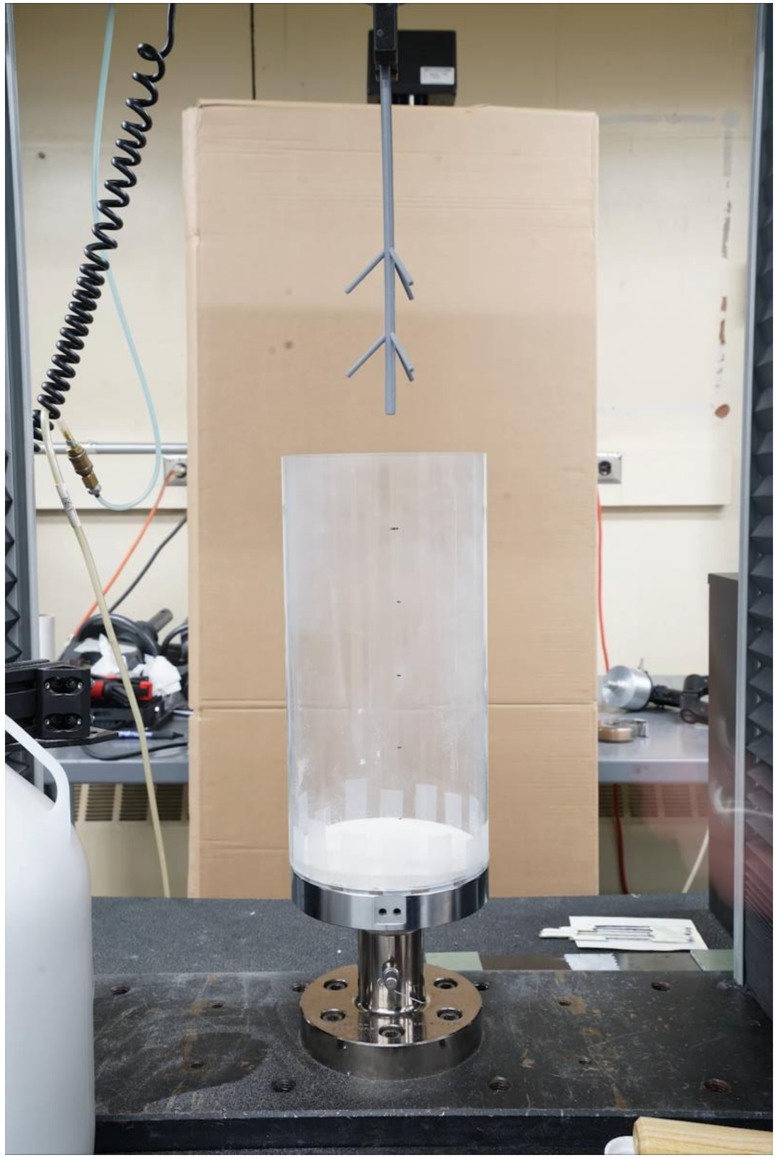
III - Concepts

Morphologie adaptable
à l’environnement





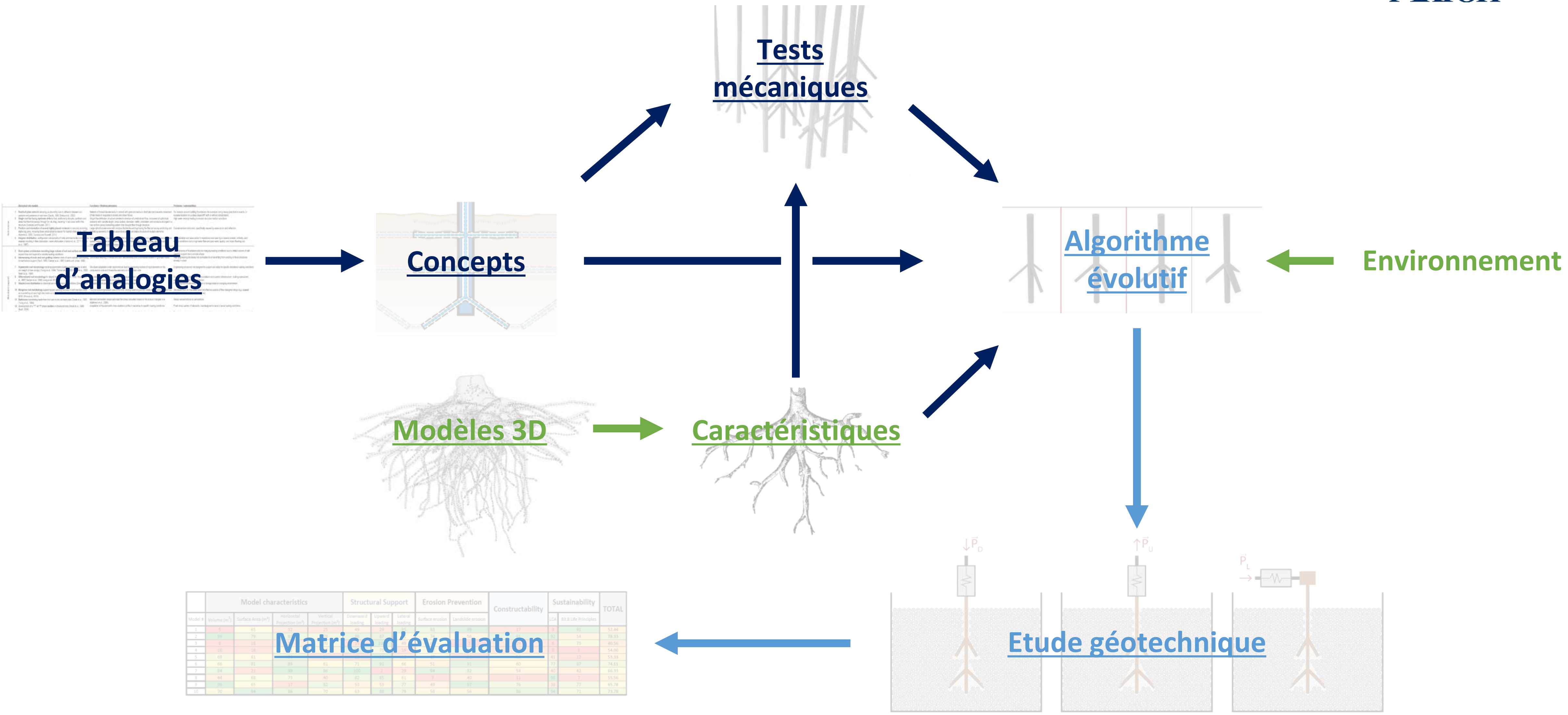
III - Evaluation des caractéristiques d'intérêt par tests mécaniques



IV – Combiner les deux approches

IV - Vers des fondations de bâtiments inspirées des racines

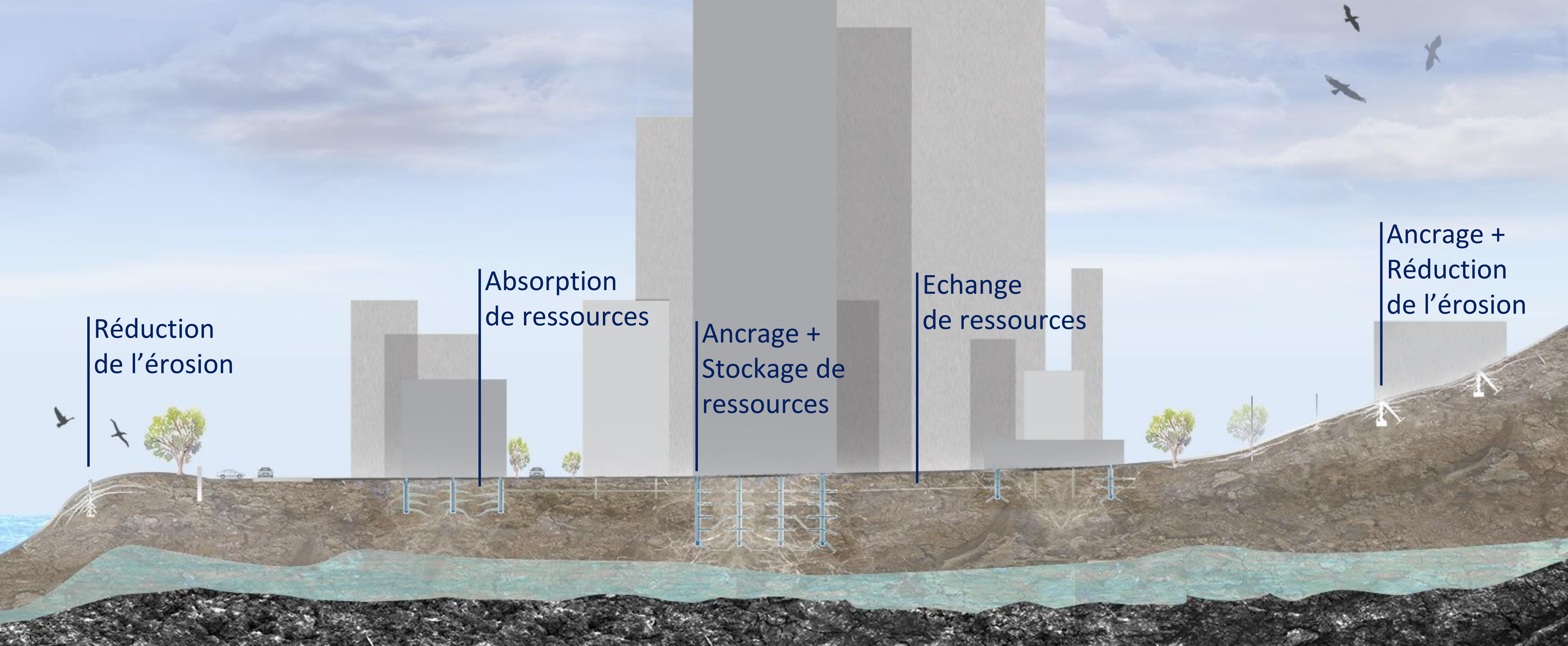
The University of Akron



IV - Vers des fondations de bâtiments inspirées des racines

The University of Akron

Systèmes multifonctionnels adaptables



Remerciements

Membres du **Biodesign lab** :

- **Assoc. Prof. Dr. Petra Gruber** (Directrice de thèse)
- **Elena Stachew** (Doctorante en biomimétisme)
- **Dr. Ari Rupp** (Procter & Gamble)
- **Claudia Naményi**
- **Brian Foresi**
- **Remik Niewiarowski**

(étudiants parrainés)

Ainsi que …

- **Dr. Hunter King** (Co-directeur de thèse, The University of Akron, OH)
- **Dr. Hazel Barton** (The University of Akron, OH)
- **Dr. Jake Miesbauer** (Morton Arboretum, IL)
- **Dr. Nariman Mahabadi** (The University of Akron, OH)

- **Dr. Julian Tao** (University of Arizona, AZ)
- **Meron Dibia** (Doctorante en biomimétisme, NJ)
- **Dr. Henry Astley** (The University of Akron, OH)
- **Dr. Randy Mitchell** (The University of Akron, OH)
- **Dr. Peter Niewiarowski** (The University of Akron, OH)
- **Dr. Lara Roketenetz** (The University of Akron, OH)
- **Debbie Ammerman** (The University of Akron, OH)

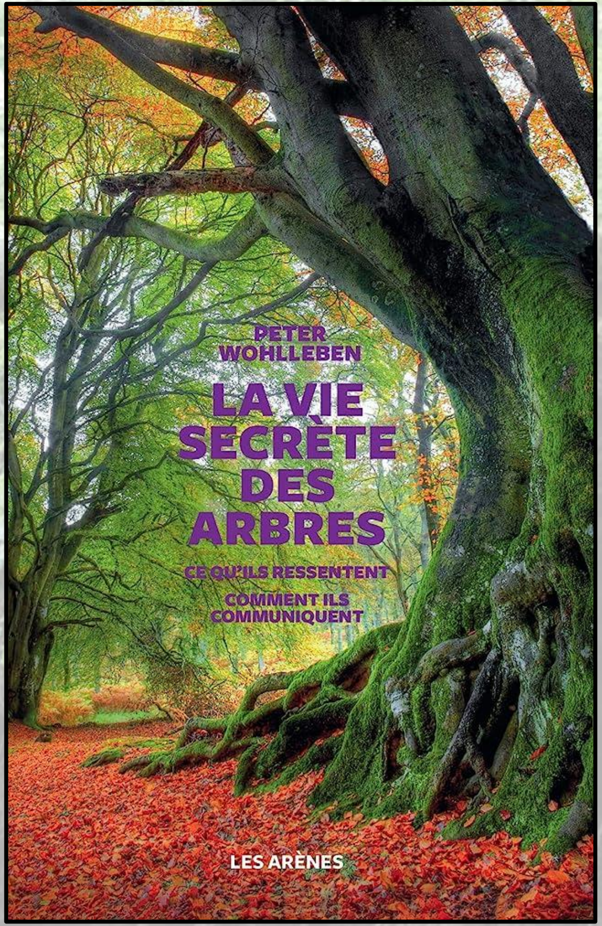
The University of Akron Field Station

The University of Akron

Busy Bee Services, Ltd

DAVEY
Proven Solutions for a Growing World

BIOMIMICRY RESEARCH INNOVATION CENTER



Root systems research for bioinspired resilient design - a concept framework for foundation and coastal engineering

Elena Stachew[1], Thibaut Houette[1], Petra Gruber[2*]

[1]Biomimicry Research and Innovation Center BRIC, Department of Biology, The University of Akron, Akron, Ohio, USA

[2]Biomimicry Research and Innovation Center BRIC, Myers School of Art and Department of Biology, The University of Akron, Akron, Ohio, USA

Merci !

Des questions?

thibaut.houette@ceebios.com

PARAMETRIC ALGORITHMS TO EXTRACT ROOT TRAITS FOR BIOLOGY AND BIOMIMICRY

Thibaut Houette[1], Elena Stachew[1]
Claudia Naményi[1],
Jason W. Miesbauer[2], & Petra Gruber[1,3]