



3D stem modelling in tropical forest: Towards improved biomass and biomass change estimates

Thèse de doctorat de Sébastien Bauwens – Défense publique



31/08/2022

Promoteurs : Philippe Lejeune & Sylvie Gourlet-Fleury

Plan



1. Introduction

- L'importance des forêts tropicales dans le cycle du carbone
- Quelques notions clés
- Processus d'estimation de la biomasse ligneuse forestière
- Problématiques de recherche

2. Outils de mesure 3D des troncs irréguliers

- Procédé de photogrammétrie

3. Mesures 3D des troncs à l'échelle de la placette

- LiDAR mobile

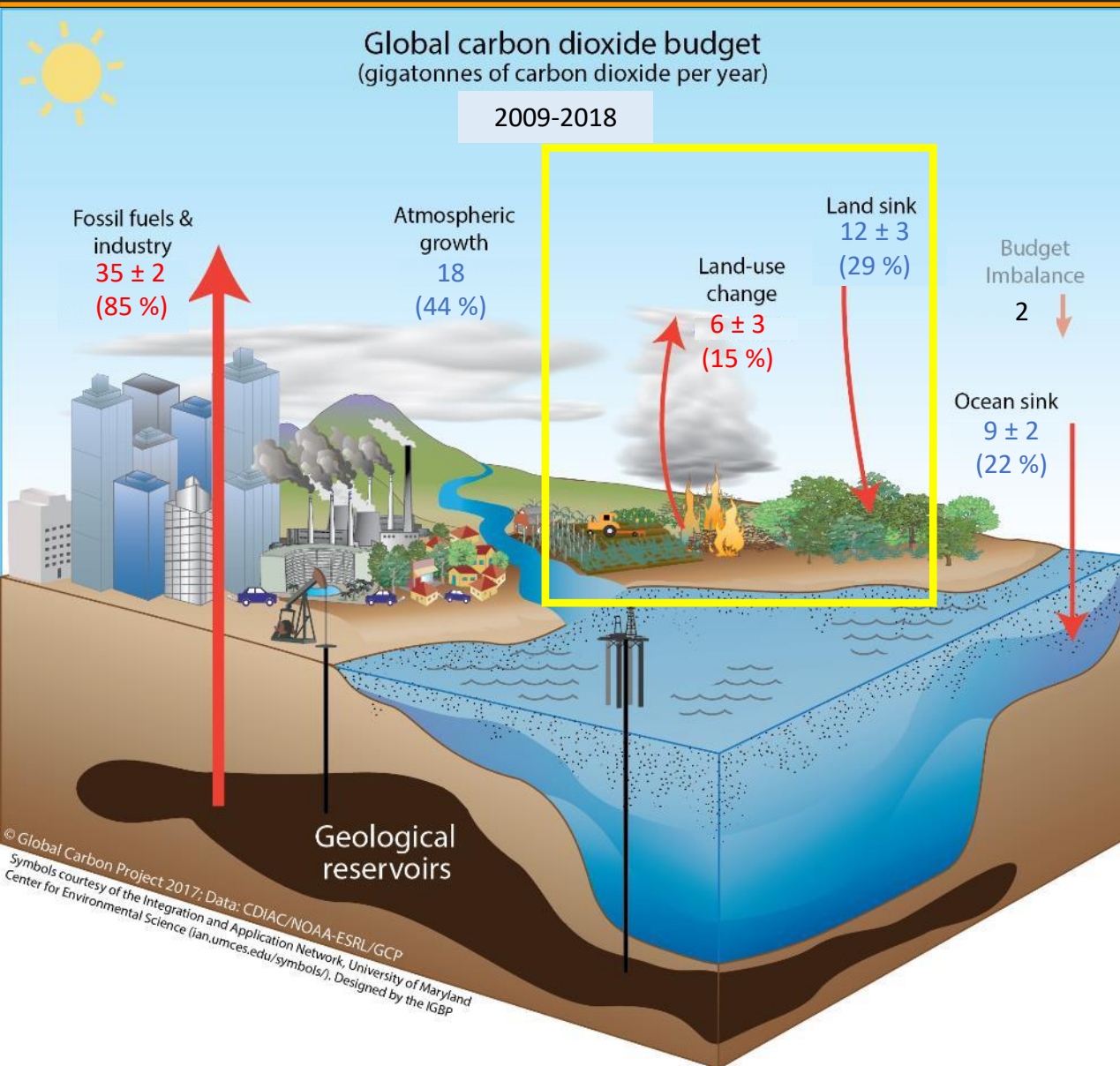
4. Rendre les estimations de biomasse comparables entre placettes

- Courbe de défilement

5. Discussions

- Principaux résultats
- Recommandations
- Perspectives

Introduction - Contexte

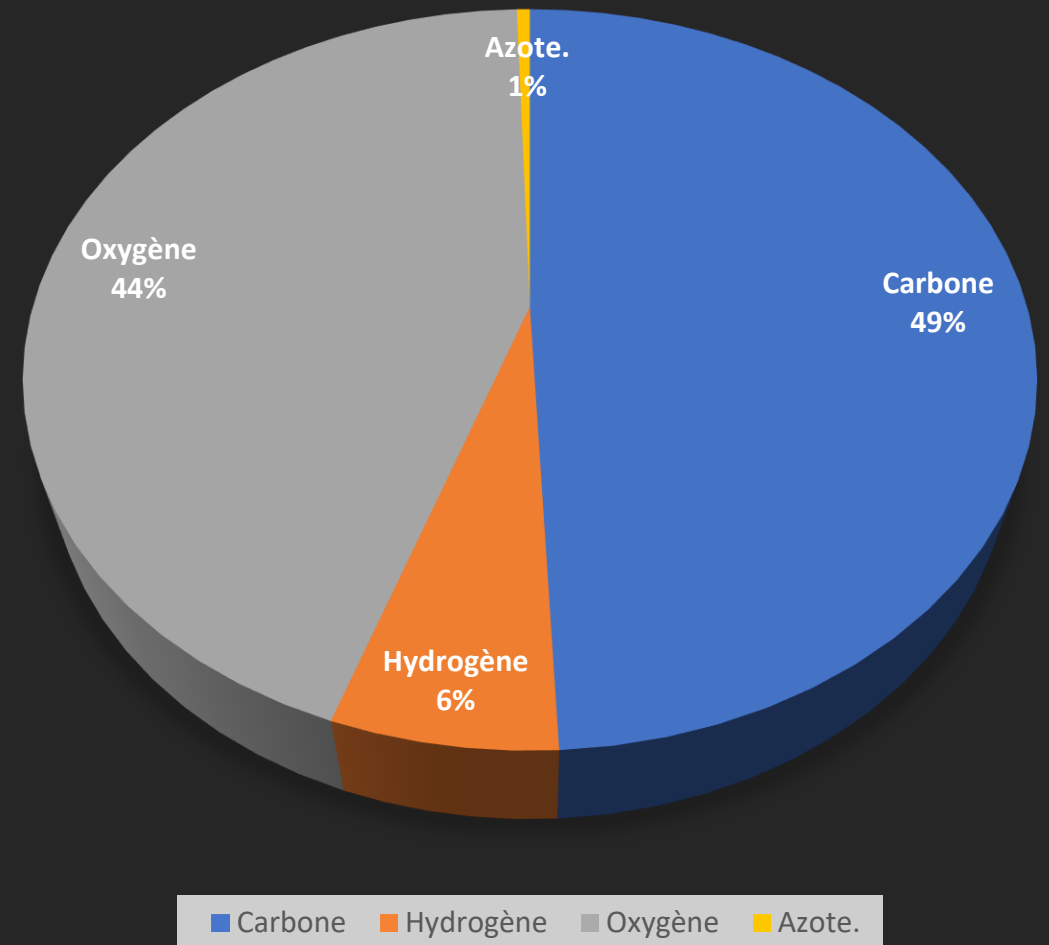


Les forêts tropicales dans le cycle du carbone mondial

- Principale émettrice de son secteur :
 - Déforestation
 - Dégradation
- Puits de CO₂ des forêts intactes ou peu perturbées limité à l'échelle globale

Introduction - Quelques notions clés

Le carbone = 48-50 % de la masse moléculaire des plantes séchées



Introduction - Quelques notions clés

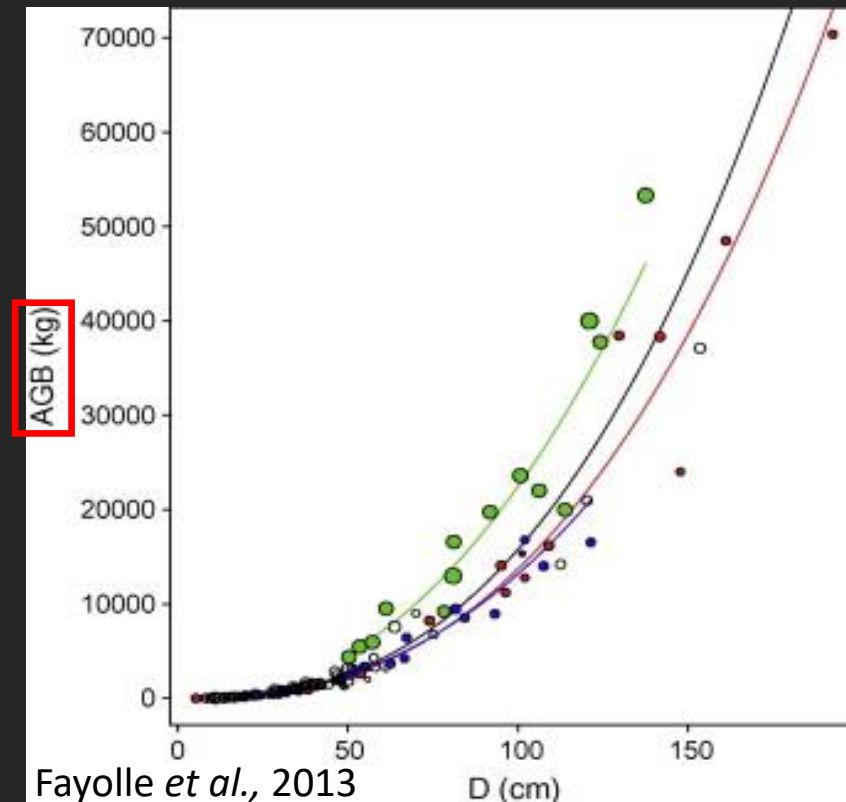
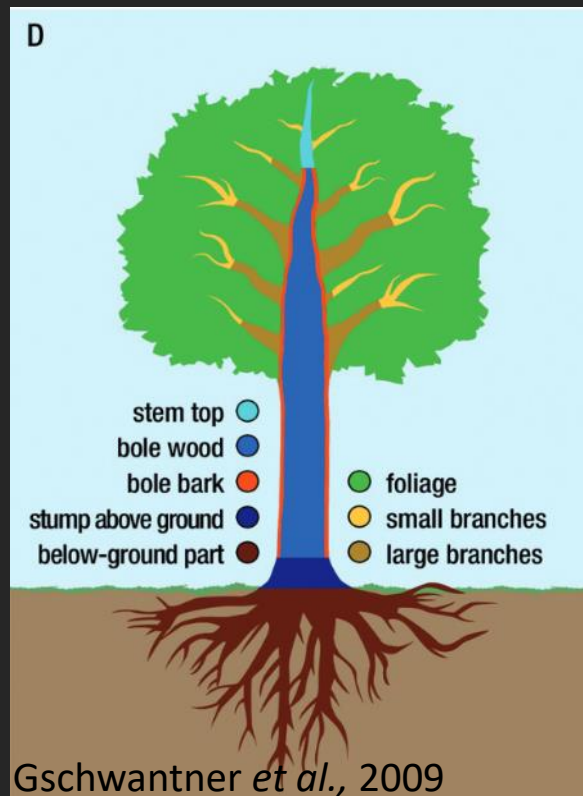
50 % poids d'une plante sèche = poids carbone \sim quantité de CO₂



Introduction - Quelques notions clés

Relation allométrique:

- Relation entre une partie du corps et le corps dans son ensemble
- Ex: relation entre le diamètre du tronc et la biomasse aérienne:
 - $BA = AGB = f(D, \rho, H)$



Processus d'estimation de la biomasse ligneuse forestière



Mesures parcelles

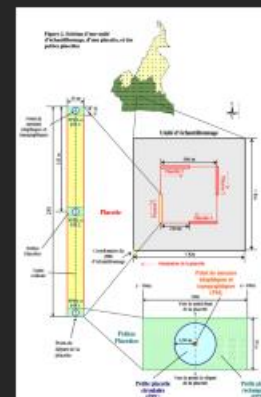
Espèce, D_{POM} , H_{POM} , (HT)

Données biomasse

BA, ρ , D_{POM} , HT

Allométrie BA

$BA = f(\rho, D_{POM}, HT)$



BA des arbres de la
parcelle (B_{tree})

Σ

BA de la placette
(B_{plot})

Estimation de la biomasse
aérienne totale
régionale/nationale

Processus d'estimation de la biomasse ligneuse forestière



Mesures parcelles

Espèce, D_{POM} , H_{POM} , (HT)

Données biomasse

BA, ρ , D_{POM} , HT

Allométrie BA

$BA = f(\rho, D_{POM}, HT)$

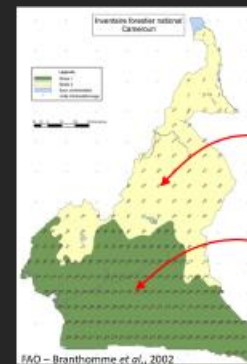
BA des arbres de la
parcelle (B_{tree})

Σ

BA de la placette
(B_{plot})

Estimation de la biomasse
aérienne totale
régionale/nationale

Processus d'estimation de la biomasse ligneuse forestière



Mesures parcelles

Espèce, D_{POM} , H_{POM} , (HT)

Données biomasse

BA, ρ , D_{POM} , HT

Info télédé placette

$m1_{RS}, \dots, mX_{RS}$

Info télédé regionale

$m1_{RS}, \dots, mX_{RS}$

Allométrie BA

$BA = f(\rho, D_{POM}, HT)$

Modèle télédé

$B_{plot} = f(m1_{RS}, \dots, mX_{RS})$

Carte regionale de la BA (B_{pix})

BA des arbres de la parcelle (B_{tree})

Σ

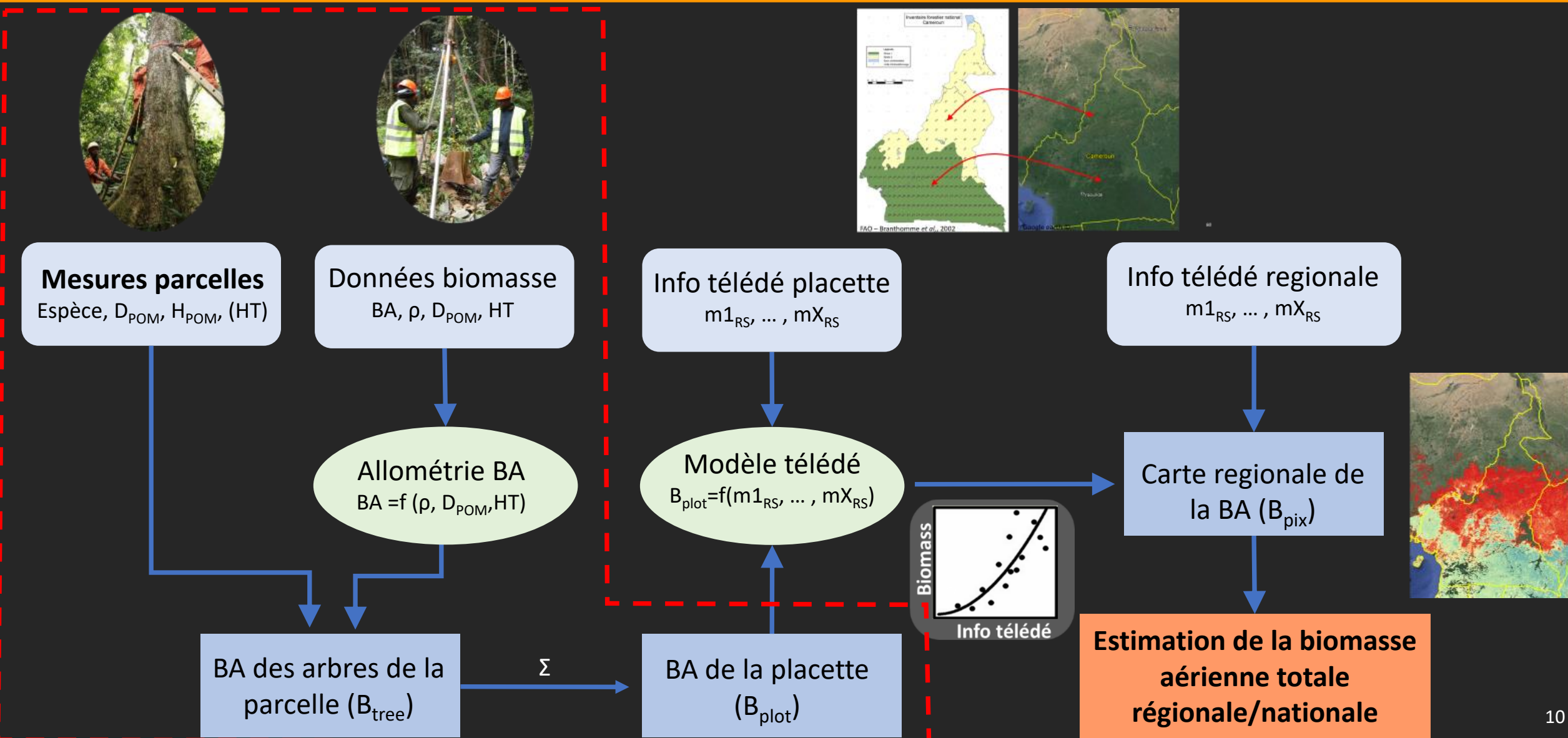
BA de la placette (B_{plot})



Estimation de la biomasse aérienne totale régionale/nationale



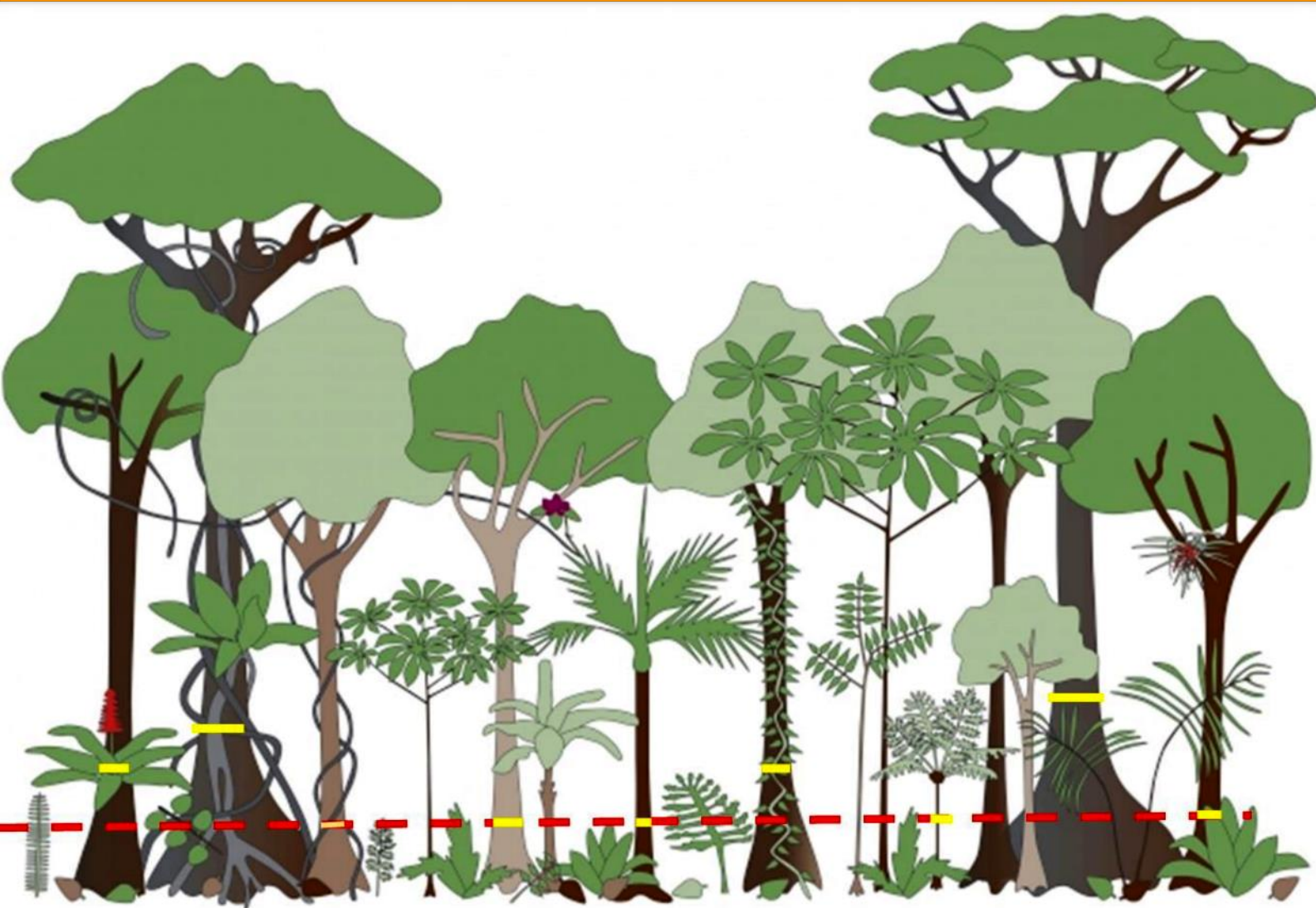
Processus d'estimation de la biomasse ligneuse forestière



Processus d'estimation de la biomasse ligneuse forestière

**Mesures parcelles**Espèce, D_{POM} , H_{POM} , (HT)**Données biomasse**BA, ρ , D_{POM} , HT**Allométrie BA**BA = f (ρ , D_{POM} , HT)BA des arbres de la
parcelle (B_{tree}) Σ BA de la placette
(B_{plot})

Introduction – 1^{ère} problématique de recherche



Une hauteur de mesure du diamètre variable

Le standard international:

- à 1,3 m de haut (hauteur de poitrine)
 - **DBH**

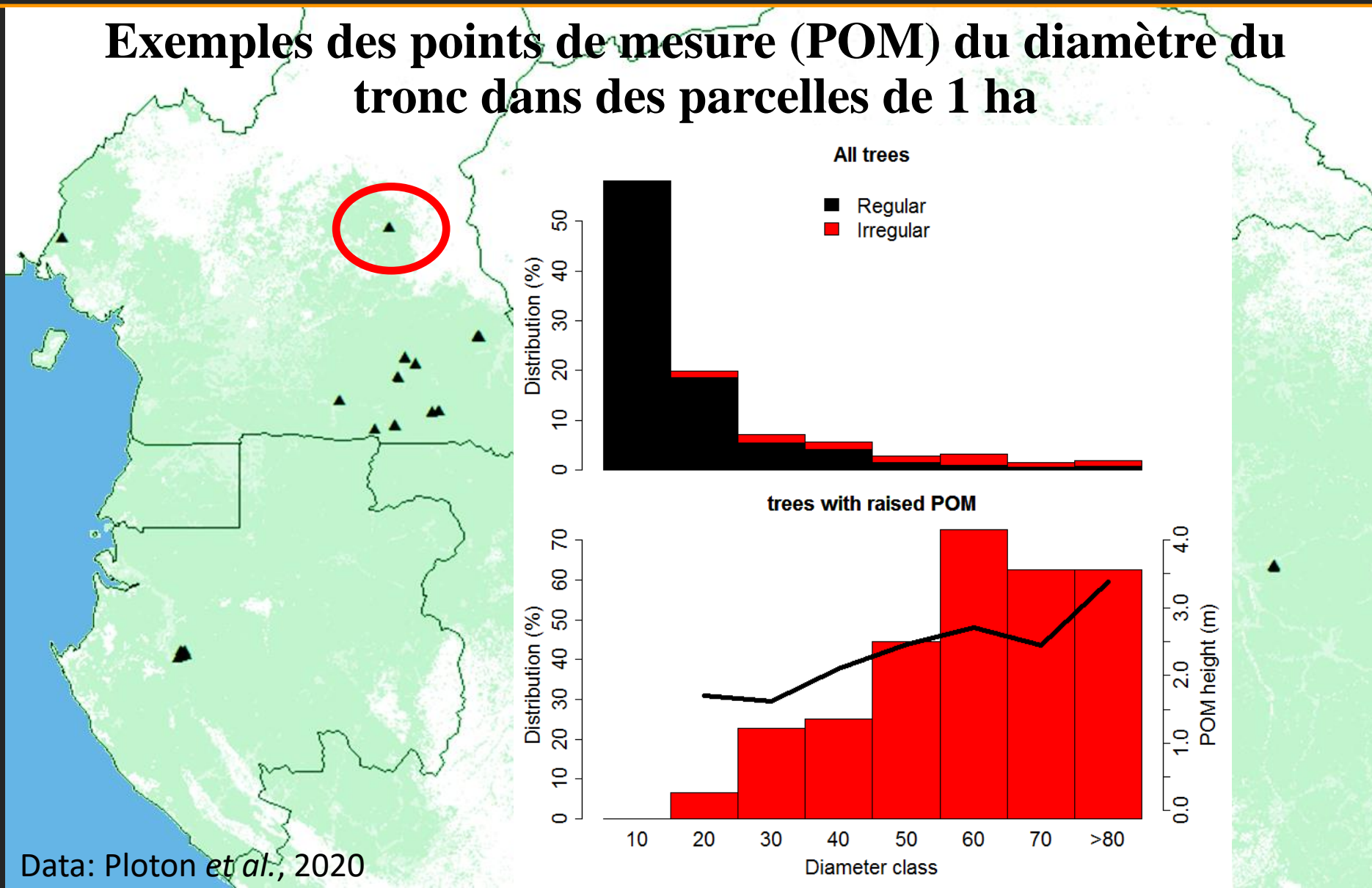
Si contreforts:

- 30 cm ou 50 cm ou 1 m au dessus des contreforts, ou
- À 4,5 m de hauteur
 - **D_{POM}**

— Standard height of the POM: 1.3 m — POM of the measured reference diameter (D_{POM})

Introduction – 1^{ère} problématique de recherche

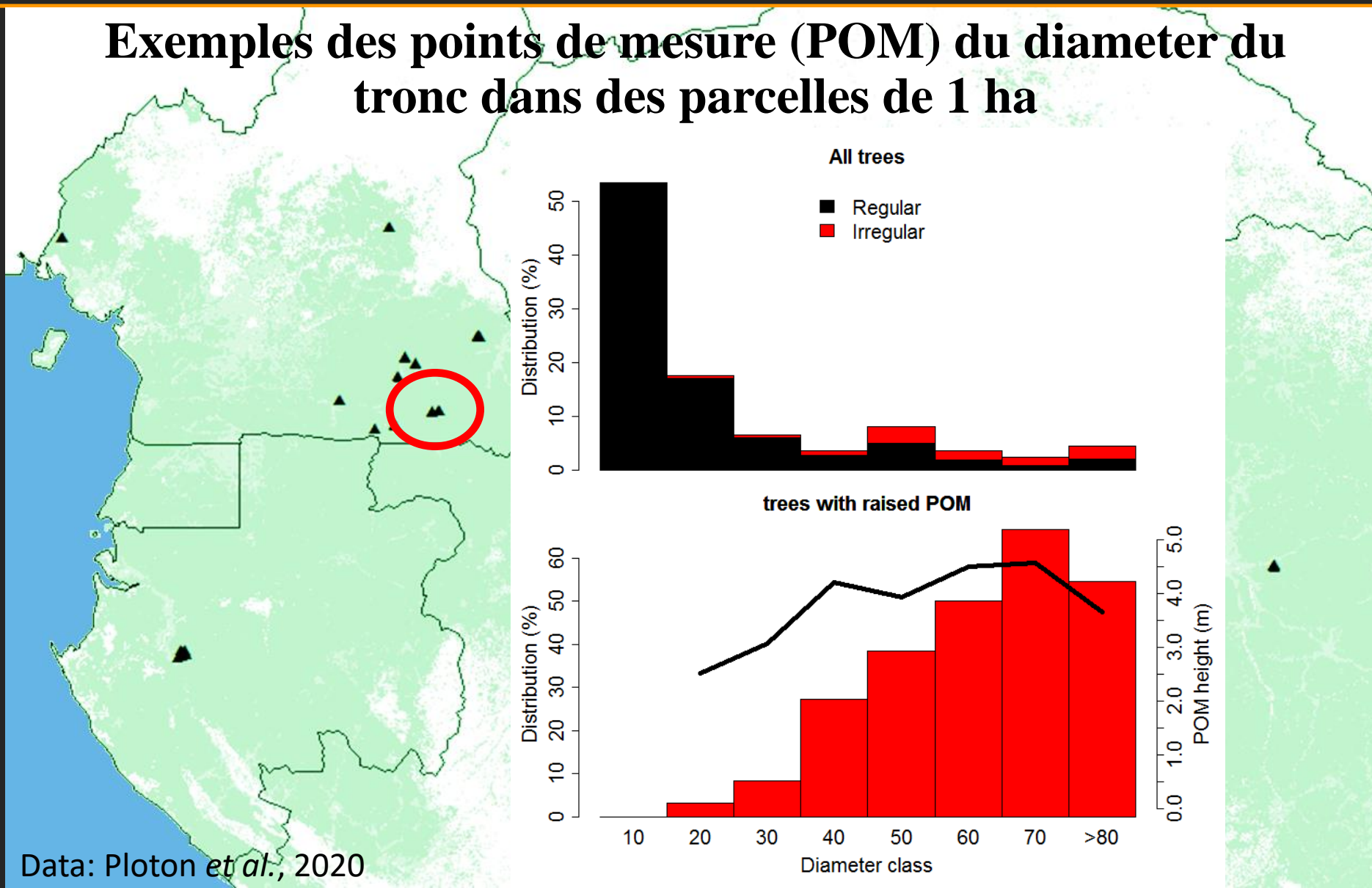
Exemples des points de mesure (POM) du diamètre du tronc dans des parcelles de 1 ha



Data: Ploton *et al.*, 2020

Introduction – 1^{ère} problématique de recherche

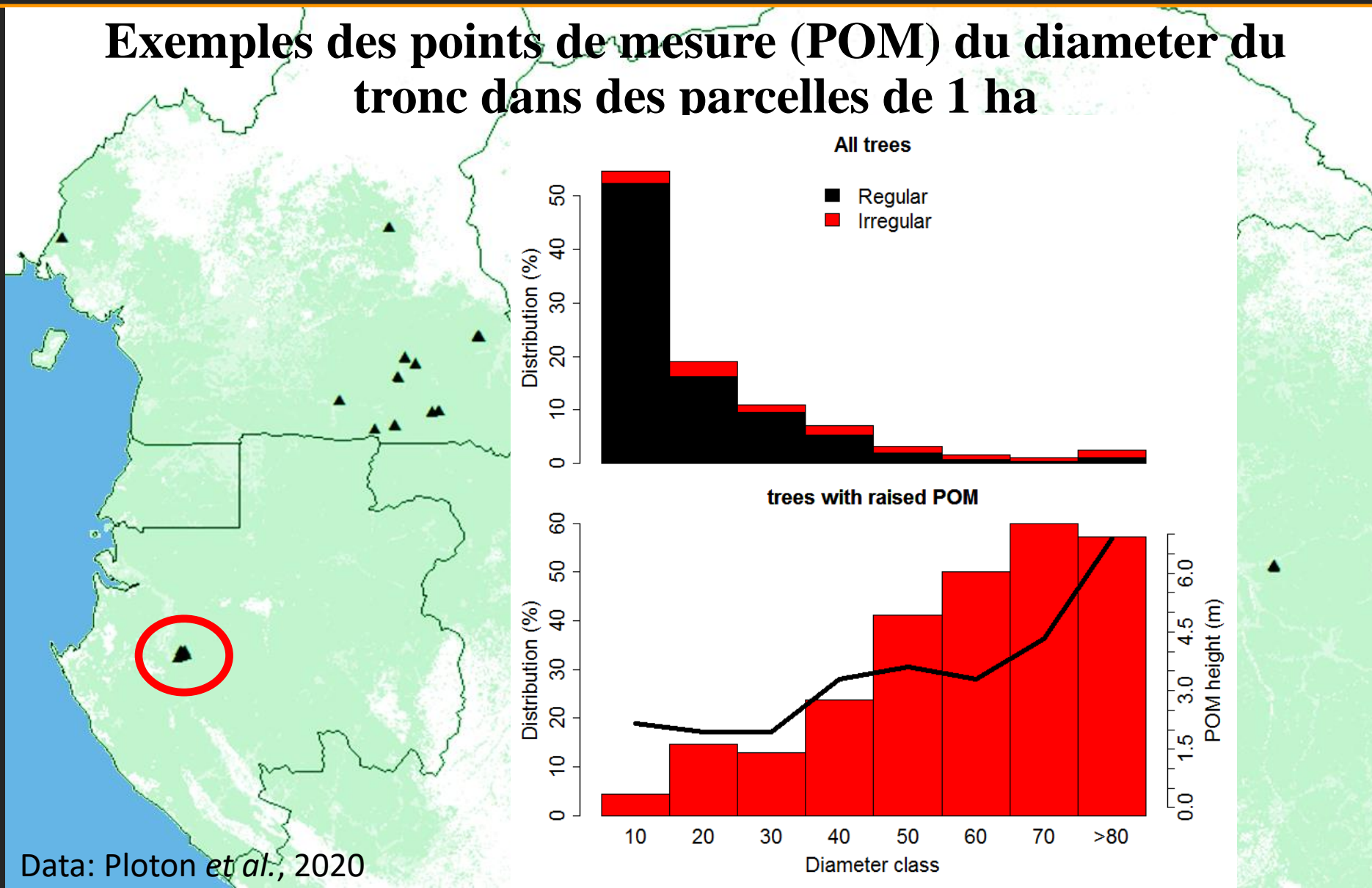
Exemples des points de mesure (POM) du diameter du tronc dans des parcelles de 1 ha



Data: Ploton *et al.*, 2020

Introduction – 1^{ère} problématique de recherche

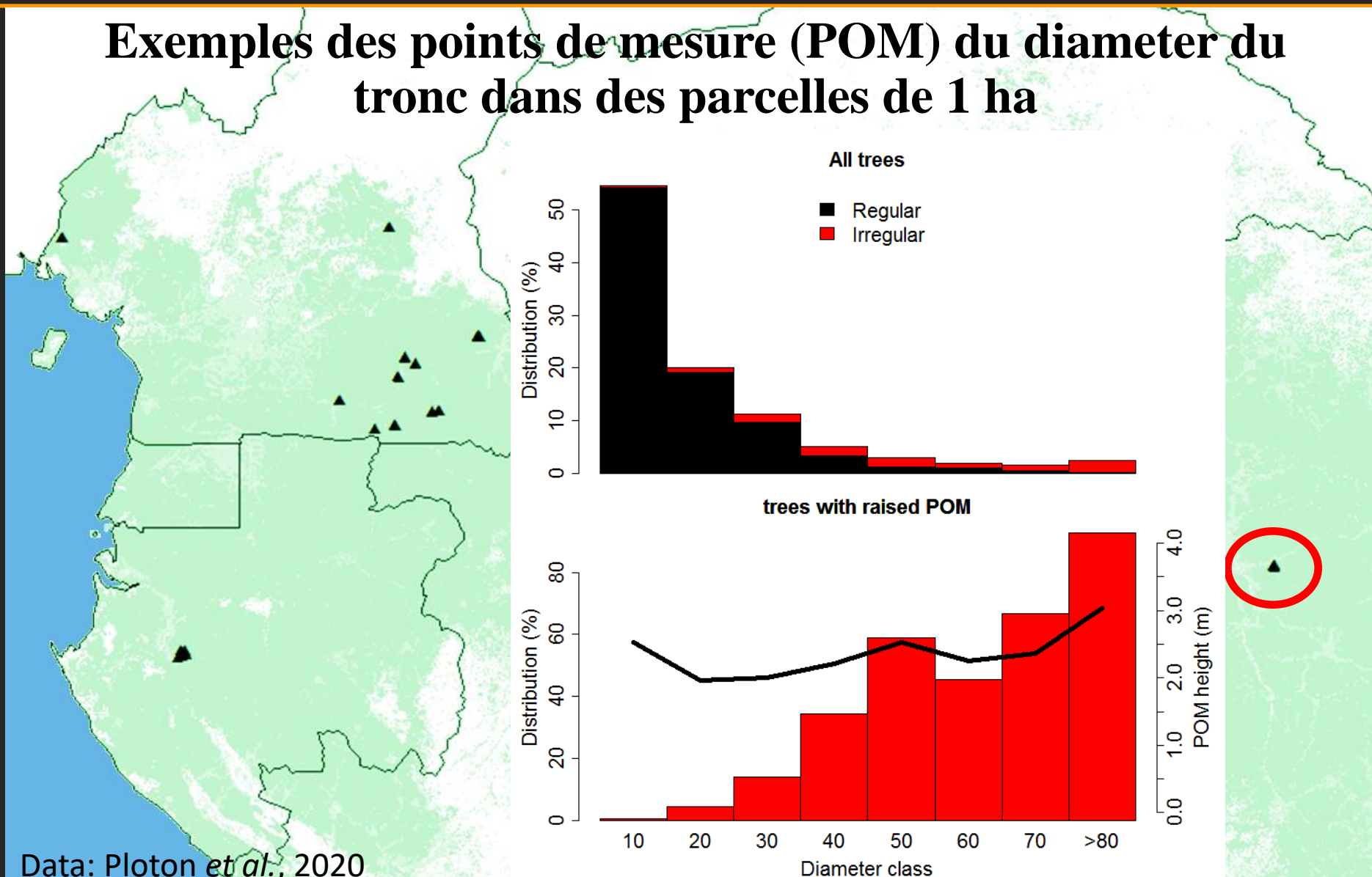
Exemples des points de mesure (POM) du diameter du tronc dans des parcelles de 1 ha



Data: Ploton *et al.*, 2020

Introduction – 1^{ère} problématique de recherche

Exemples des points de mesure (POM) du diameter du tronc dans des parcelles de 1 ha



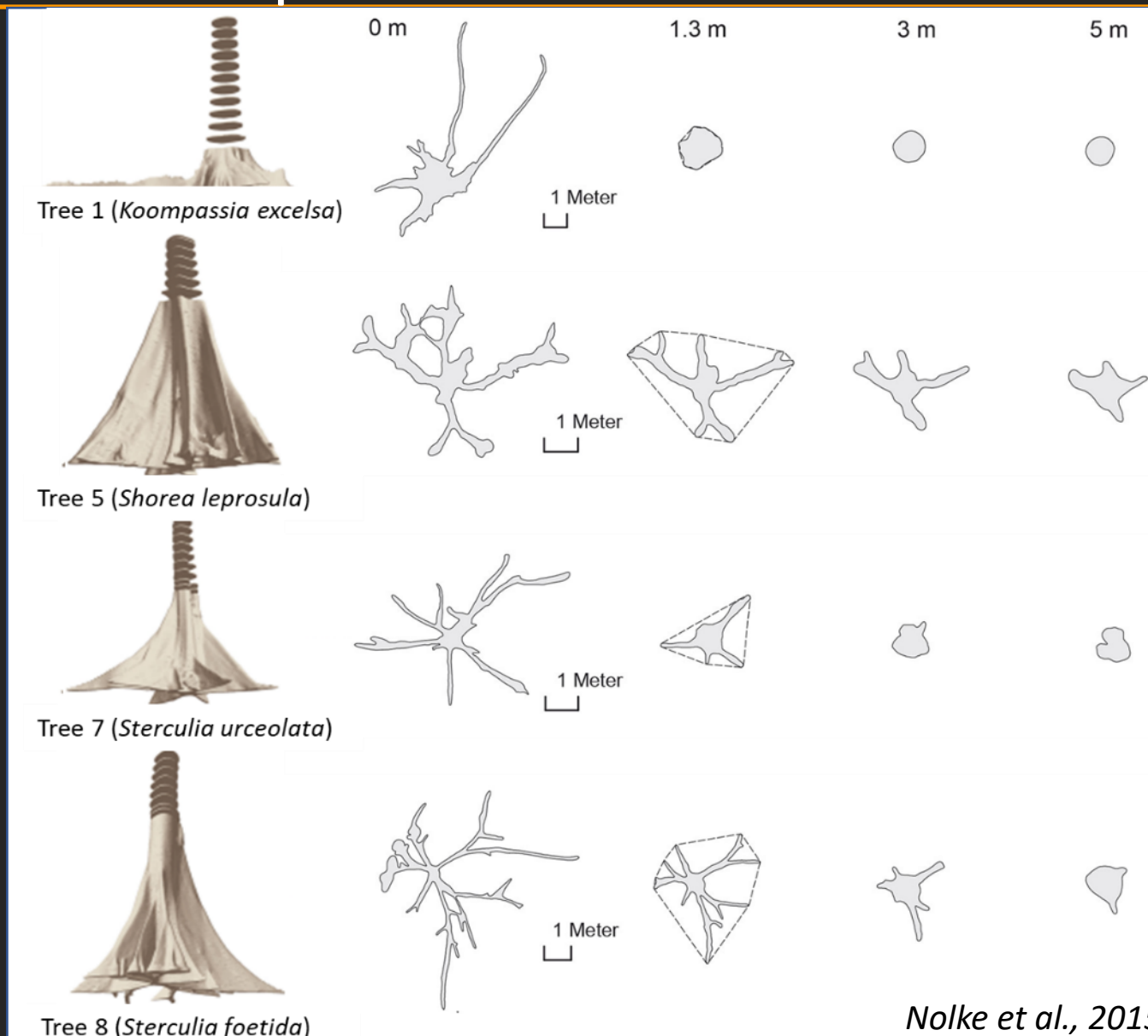
Data: Ploton *et al.*, 2020

Introduction – 1^{ère} problématique de recherche

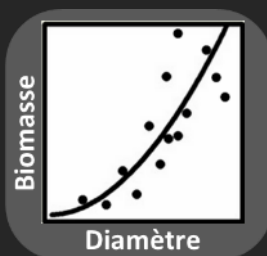
Comment mesurer
un tronc irrégulier?

Ex: LiDAR terrestre (TLS)

- Nölke et al. (2015)



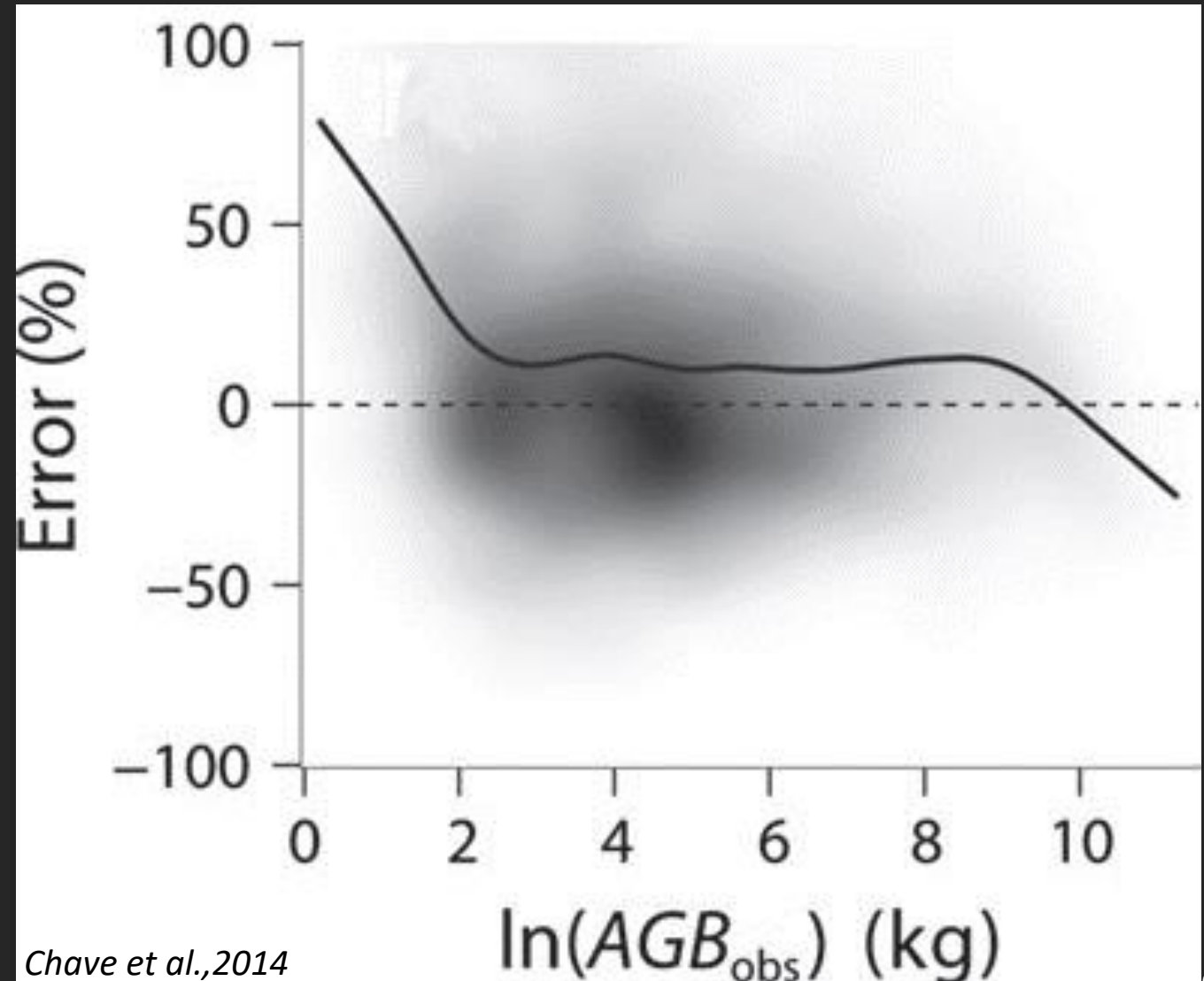
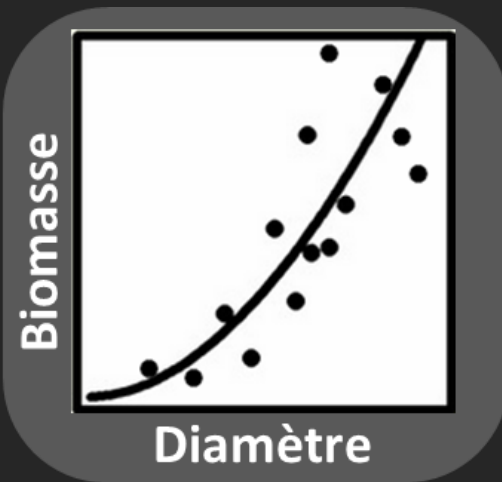
Introduction – 1^{ère} problématique de recherche**Mesures parcelles**Espèce, D_{POM} , H_{POM} , (HT)**Données biomasse**BA, ρ , D_{POM} , HT**Allométrie BA**BA = f (ρ , D_{POM} , HT)BA des arbres de la
parcelle (B_{tree}) Σ BA de la placette
(B_{plot})

Introduction – 2^{ème} problématique de recherche**Mesures parcelles**Espèce, D_{POM} , H_{POM} , (HT)**Données biomasse**BA, ρ , D_{POM} , HT**Allométrie BA**BA = f (ρ , D_{POM} , HT)BA des arbres de la
parcelle (B_{tree}) Σ BA de la placette
(B_{plot})

Introduction – 2^{ème} problématique de recherche

Modèle allométrique de biomasse pantropical couramment utilisé:

- Erreur non homogène!



Introduction – Objectifs

Général:

- Améliorer le suivi des « grands » arbres à tronc irrégulier

Spécifiques:

- Identifier des outils de mesures 3D pertinents
- Proposer une méthode qui prenne mieux en compte les arbres à tronc irrégulier dans le suivi de la biomasse des forêts tropicales

Plan



1. Introduction

- L'importance des forêts tropicales dans le cycle du carbone
- Quelques notions clés
- Processus d'estimation de la biomasse ligneuse forestière
- Problématiques de recherche

2. Outils de mesure 3D des troncs irréguliers

- Procédé de photogrammétrie

3. Mesures 3D des troncs à l'échelle de la placette

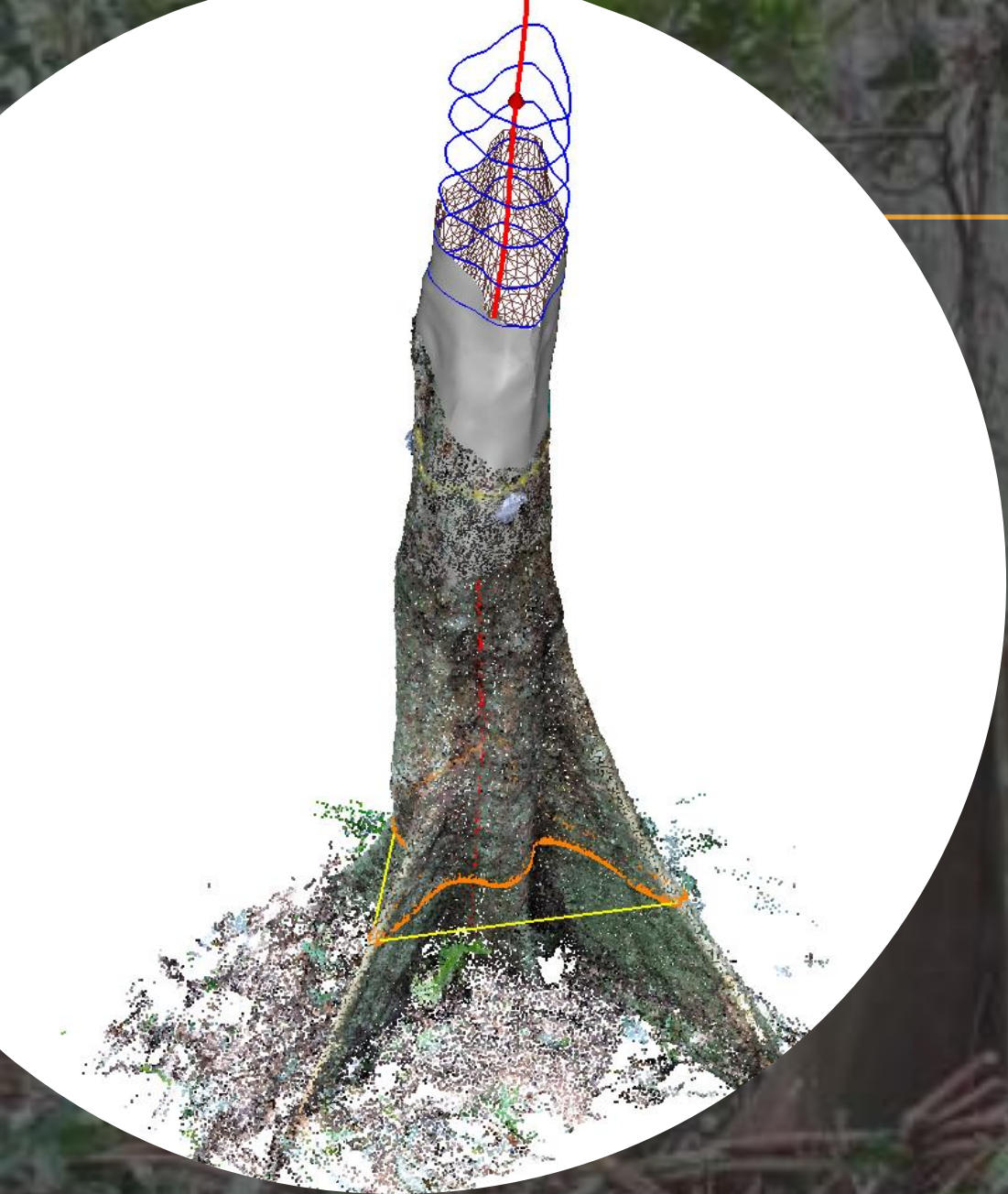
- LiDAR mobile

4. Rendre les estimations de biomasse comparables entre placettes

- Courbe de défilement

5. Discussions

- Principaux résultats
- Recommandations
- Perspectives



Chapitre 2

Outils de mesure 3D des troncs irréguliers



Outils de mesure 3D des troncs irréguliers

Methods in Ecology and Evolution



Methods in Ecology and Evolution 2017, 8, 460–471

doi: 10.1111/2041-210X.12670

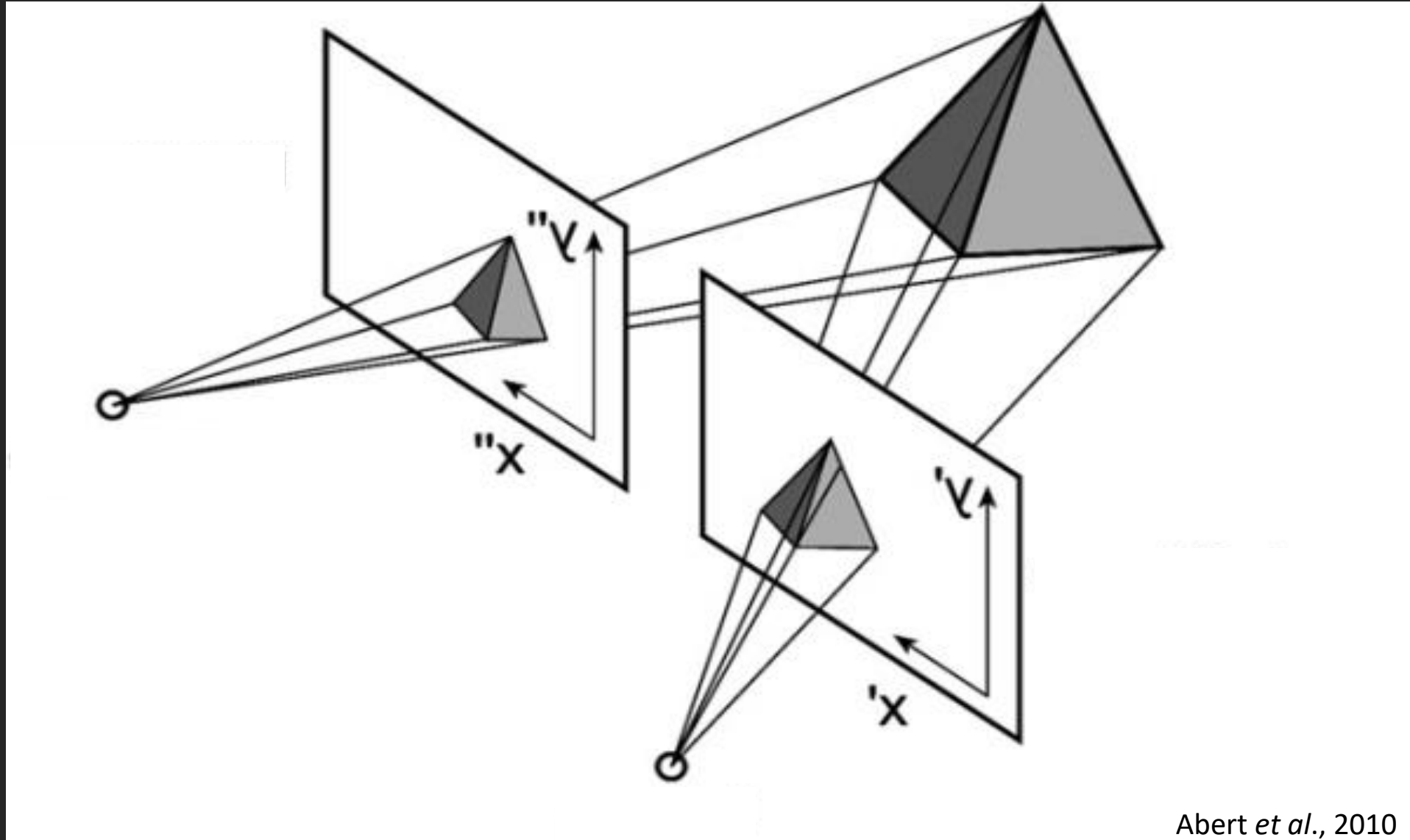
Terrestrial photogrammetry: a non-destructive method for modelling irregularly shaped tropical tree trunks

Sébastien Bauwens^{1*}, Adeline Fayolle¹, Sylvie Gourlet-Fleury², Leopold Mianda Ndjele³, Coralie Mengal⁴ and Philippe Lejeune⁴

¹TERRA Research Centre, Central African Forests, Gembloux Agro-Bio Tech Université de Liège, Passage des déportés 2, 5030 Gembloux, Belgium; ²UPR Bsef, CIRAD, F-34398 Montpellier, France; ³Département d'Ecologie et de Gestion des ressources végétales, University of Kisangani, BP2012 Kisangani, Democratic Republic of Congo; and ⁴BIOSE Research Unit, Gembloux Agro-Bio Tech, University of Liège, Passage des Déportés 2, 5030 Gembloux, Belgium

- Scopus Citations: 30 (28 without autocitations) - Citescore 2020 : 11.7 - Snip 2020 : 2.489 - Sjr 2020 : 3.42
- IF : 7.78

Photogrammétrie terrestre - Principe



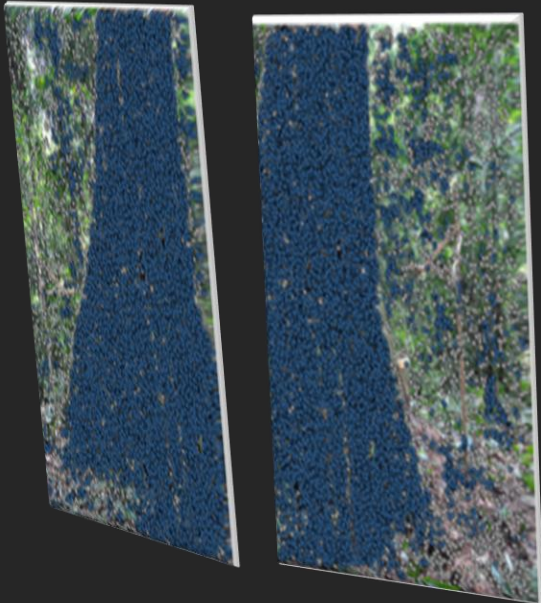
Photogrammétrie terrestre - Principe

Photogrammétrie terrestre



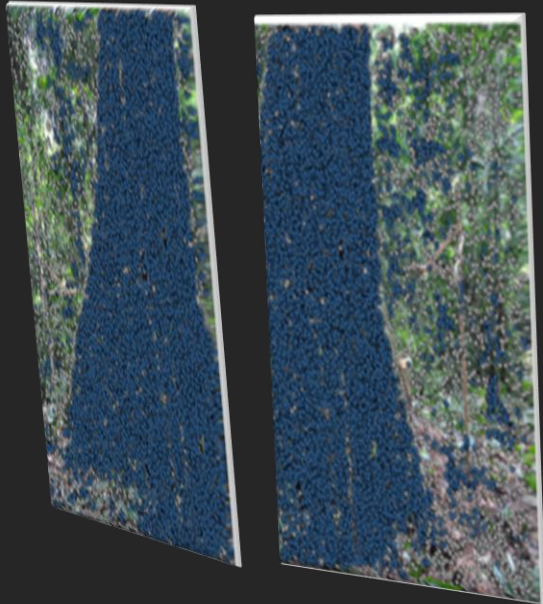
Photogrammétrie terrestre - Principe

Photogrammétrie terrestre



Photogrammétrie terrestre - Principe

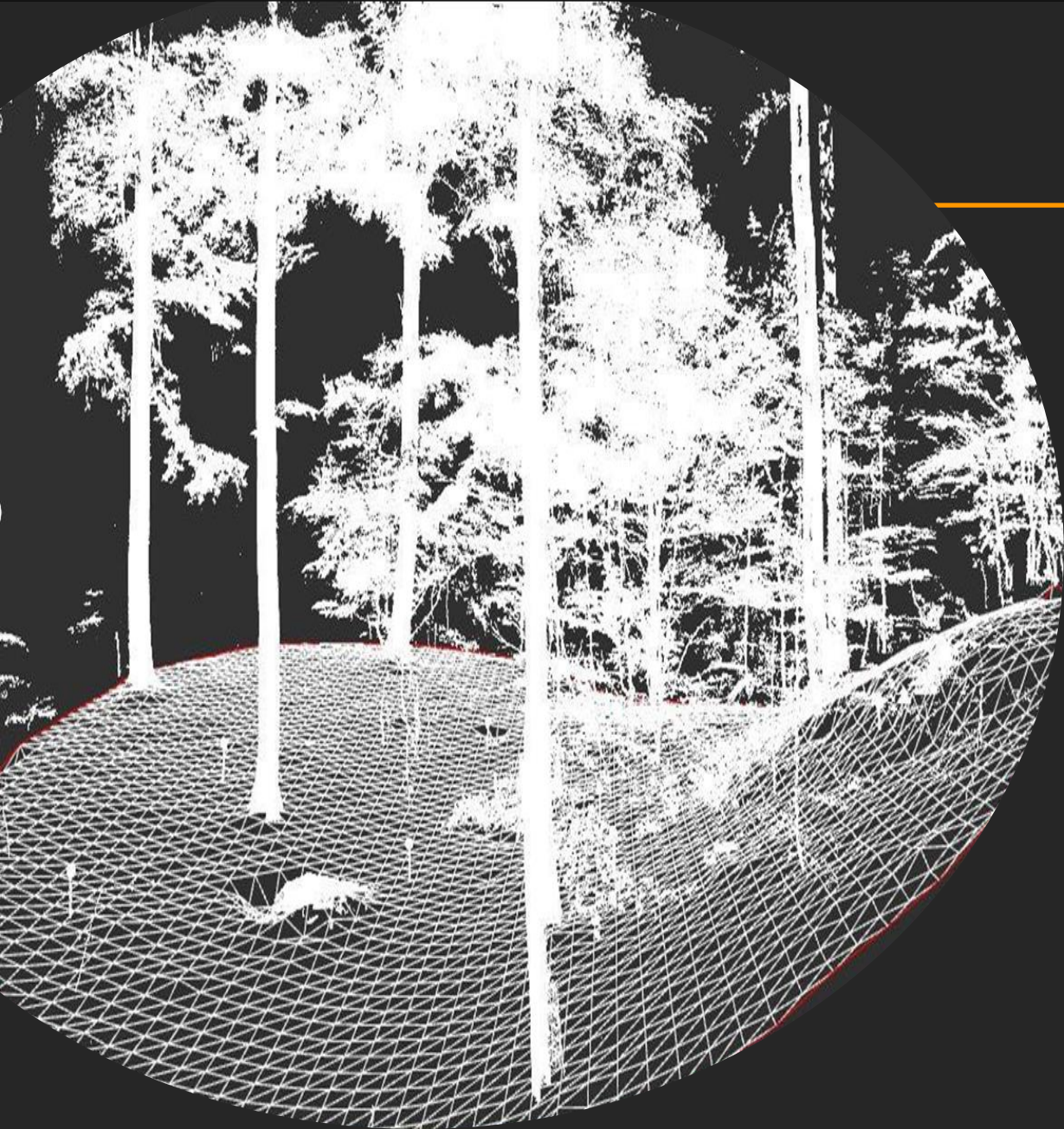
Photogrammétrie terrestre



Photogrammétrie terrestre – Un nuage de points



VIDEO



Chapitre 3

Mesures 3D des troncs à l'échelle de la placette

Mesures 3D des troncs à l'échelle de la placette



forests



Article

Forest Inventory with Terrestrial LiDAR: A Comparison of Static and Hand-Held Mobile Laser Scanning

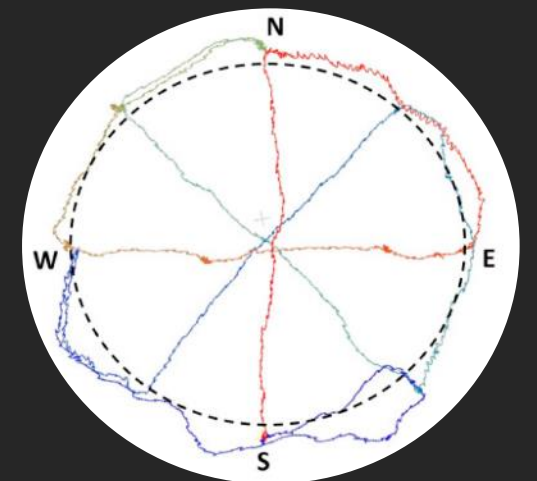
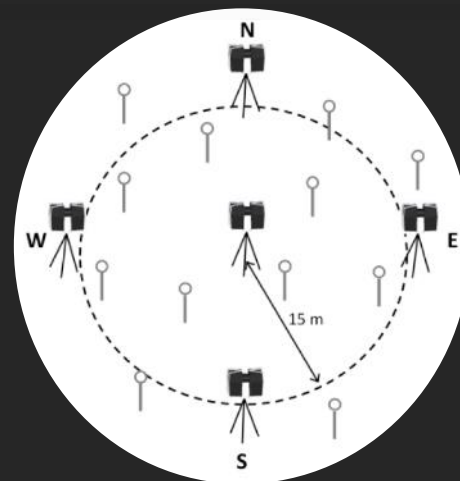
Sébastien Bauwens ^{1,†,*}, Harm Bartholomeus ^{2,†,*}, Kim Calders ^{3,4} and Philippe Lejeune ⁵

- Scopus Citations: 151 (143 without autocitations) - Citescore 2020 : 3.3 - Snip 2020 : 0.953 - Sjr 2020 : 0.676 – IF : 2.6

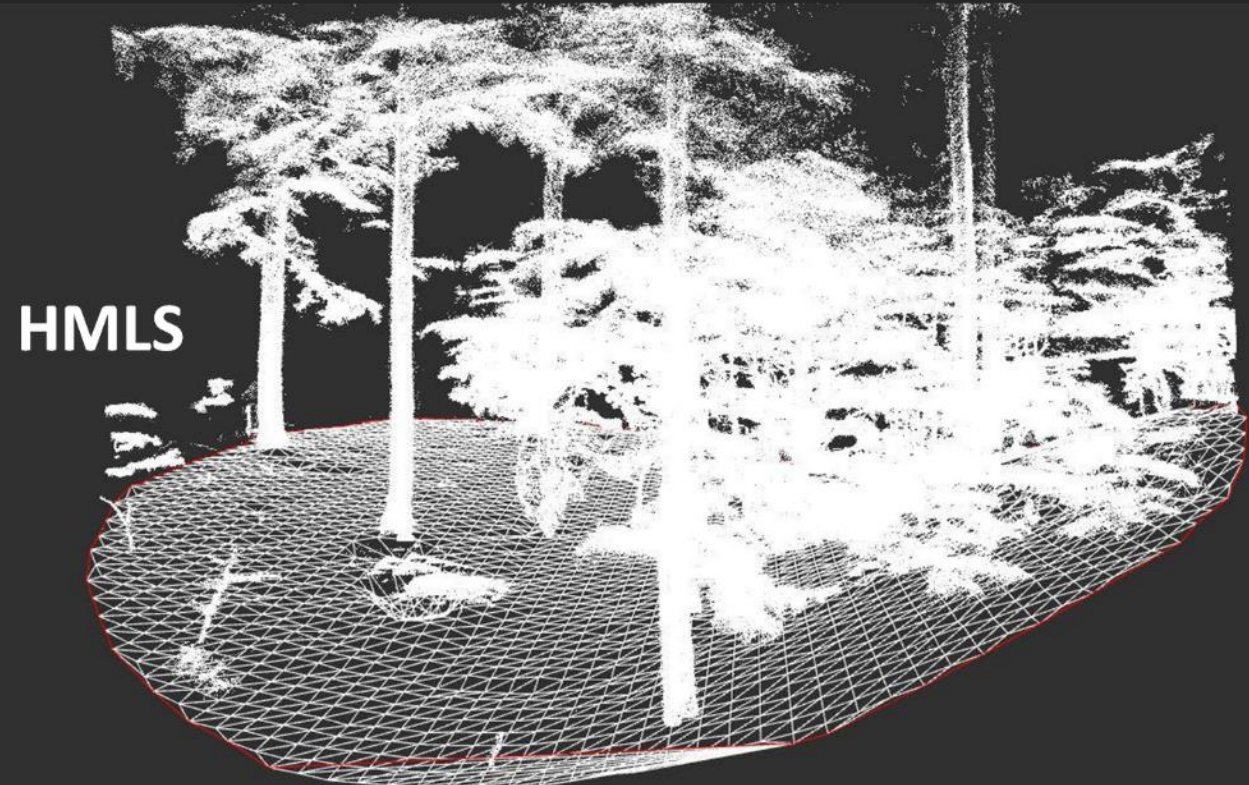
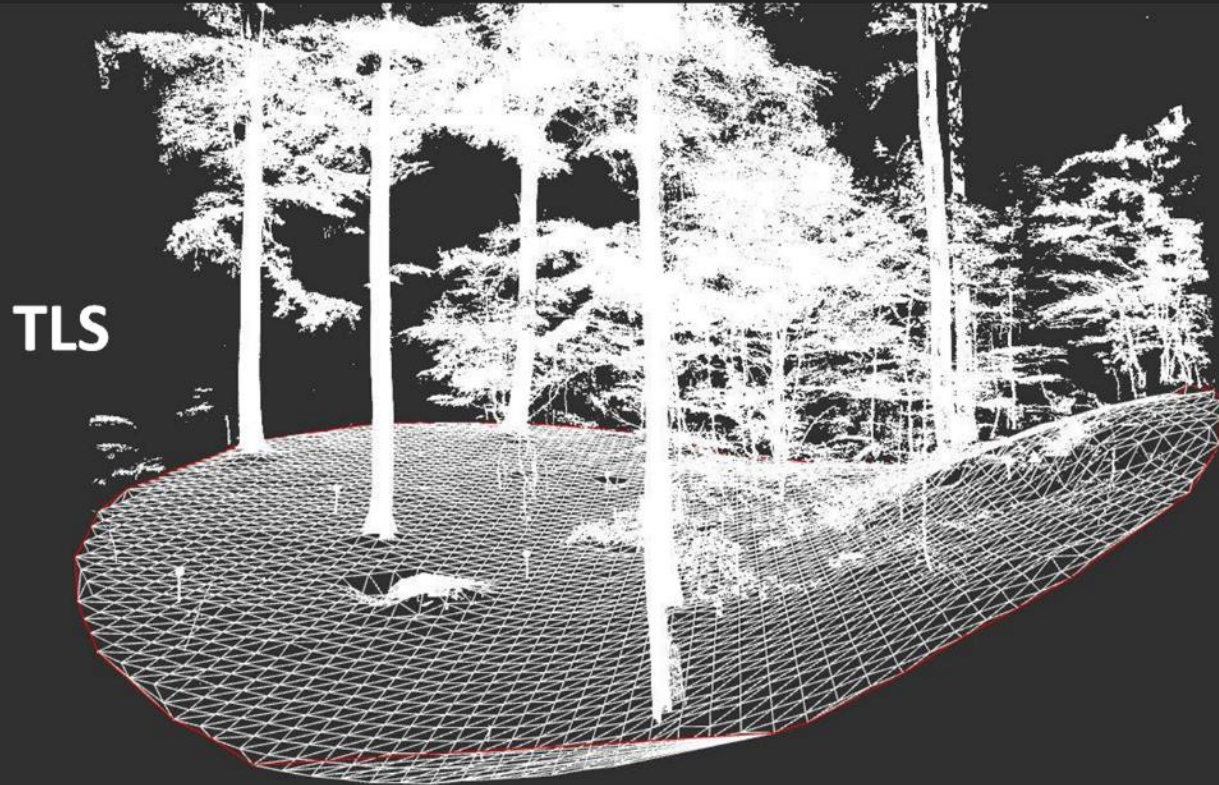
Mesures 3D des troncs à l'échelle de la placette



- Protocole d'acquisition

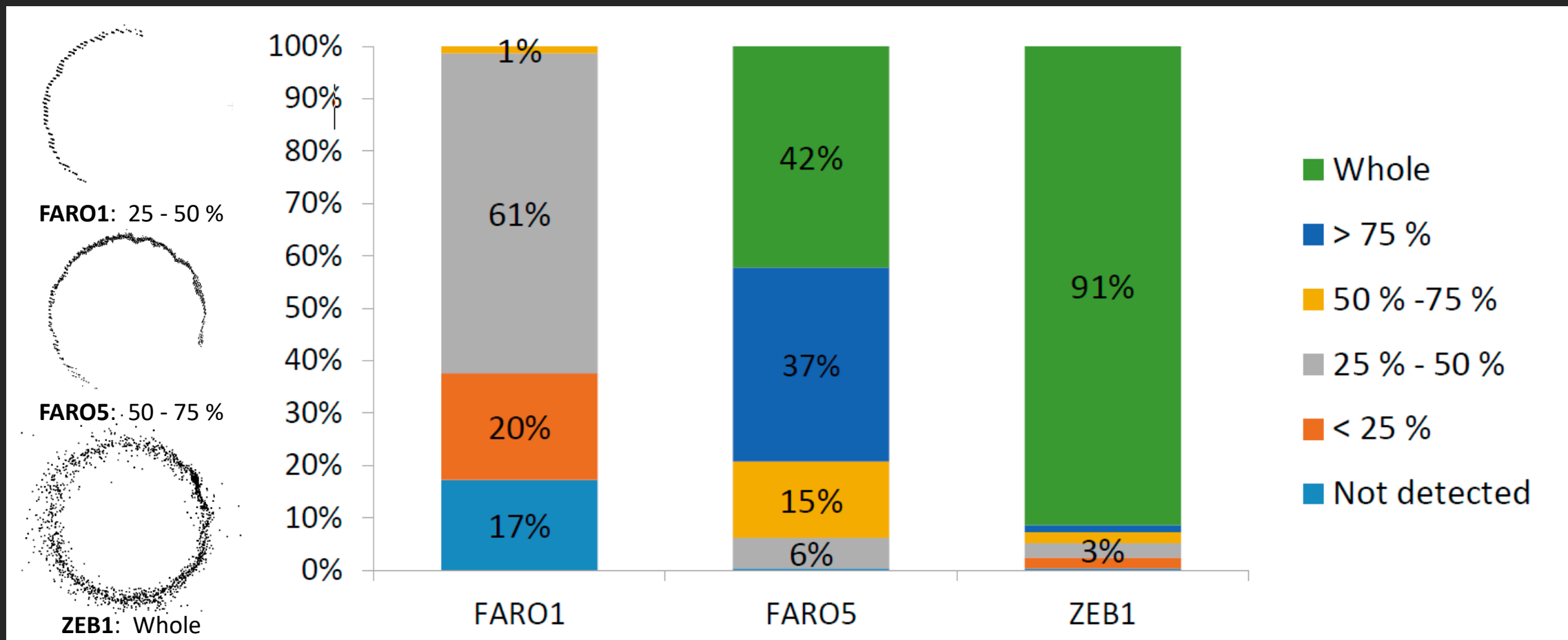


Mesures 3D des troncs à l'échelle de la placette



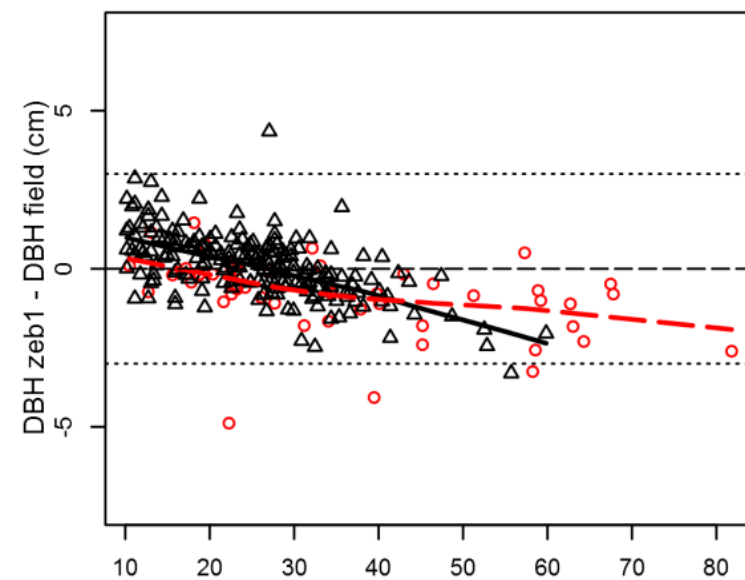
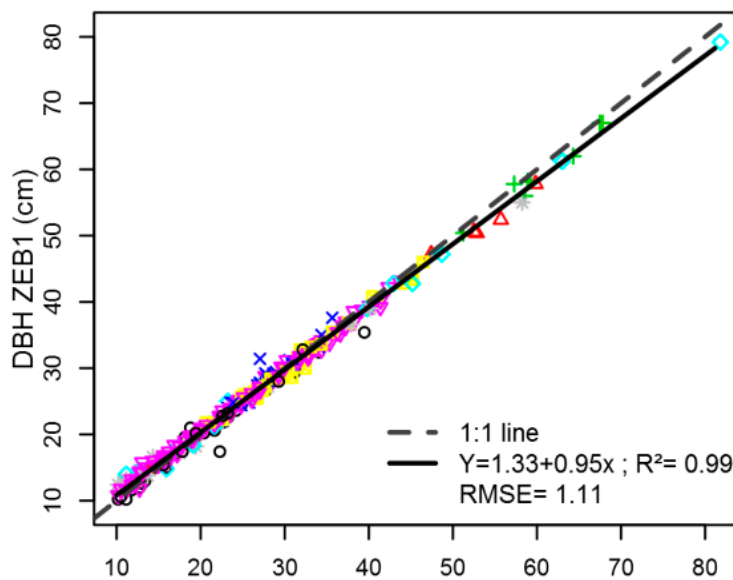
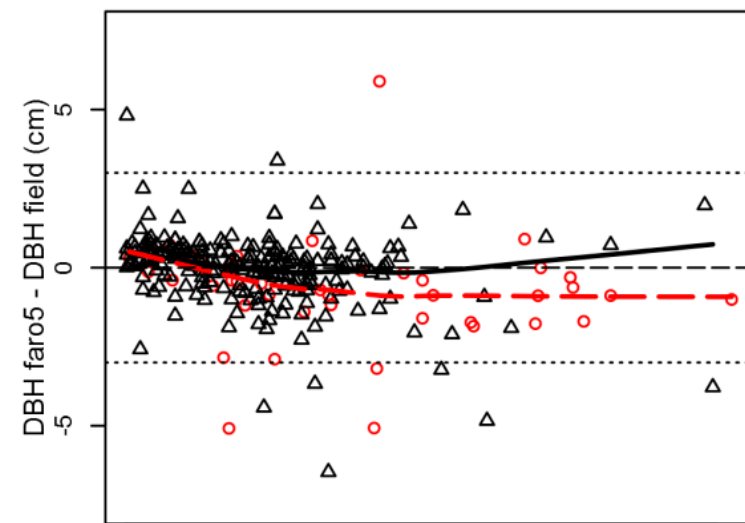
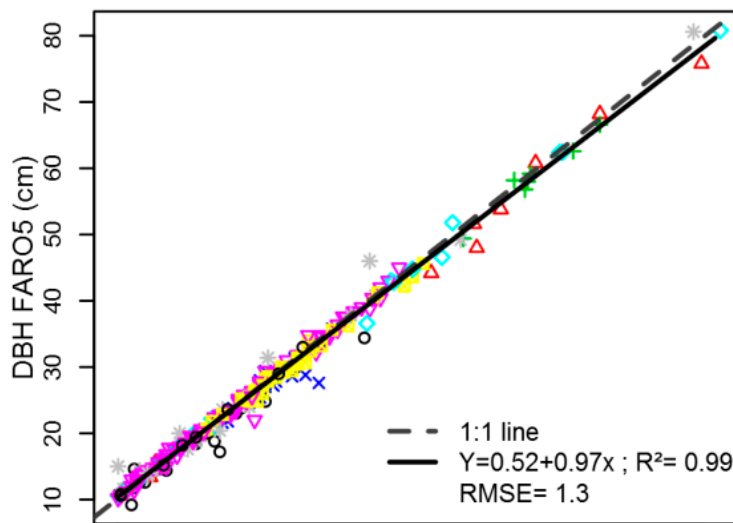
Résultats

Complétude des sections scannée en fonction du type d'acquisition



Résultats

Précision des mesures de diamètre



Tape DBH (cm)




Chapitre 4

Rendre les estimations de
biomasse comparables
entre placettes

Ecological Applications, 31(8), 2021, e02451
© 2021 by the Ecological Society of America.

A 3D approach to model the taper of irregular tree stems: making plots biomass estimates comparable in tropical forests

S. BAUWENS,^{1,6} P. PLOTON,² A. FAYOLLE,¹ G. LIGOT ,¹ J. J. LOUMETO,³ P. LEJEUNE,¹ AND S. GOURLET-FLEURY^{4,5}

¹*TERRA Teaching and Research Centre - Forest is Life, Gembloux Agro-Bio Tech, University of Liege, 5030 Gembloux, Belgium*

²*AMAP, IRD, CNRS, INRAE, CIRAD, Université Montpellier, Montpellier, France*

³*Faculté des Sciences et Techniques, Laboratoire de Botanique et Écologie, Université Marien NGOUABI, B.P. 69, Brazzaville, Republic of Congo*

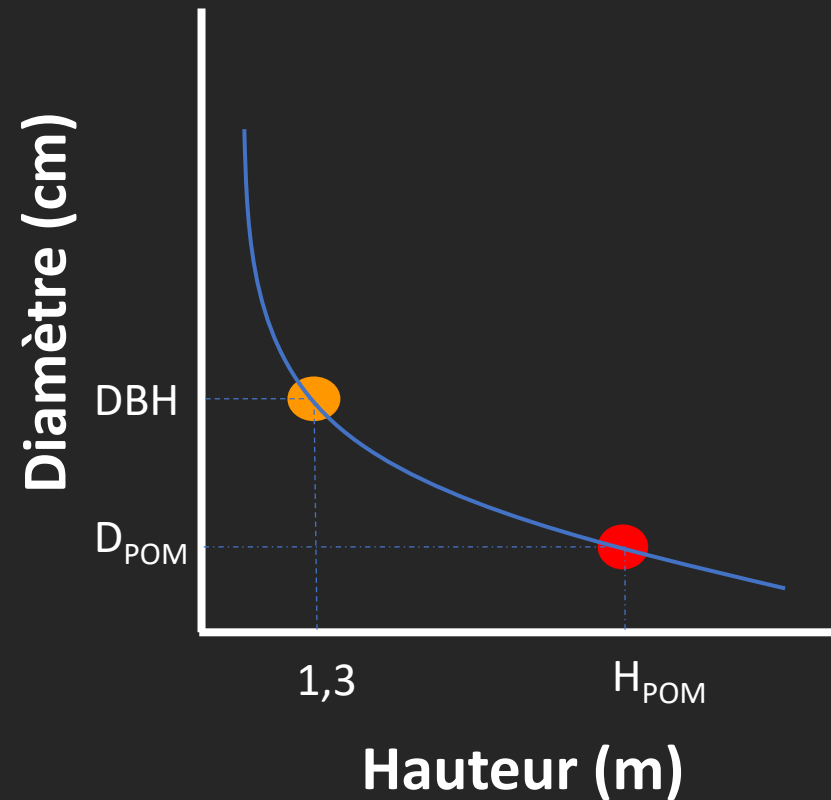
⁴*CIRAD, Forêts et Sociétés, F-34398 Montpellier, France*

⁵*Forêts et Sociétés, CIRAD, Université Montpellier, Montpellier, France*

- Scopus Citations: 1 (1 without autocitations) - Citescore 2020 : 7.8 - Snip 2020 : 1.499 - Sjr 2020 : 1.86 – IF : 4.657

Notion de défilement

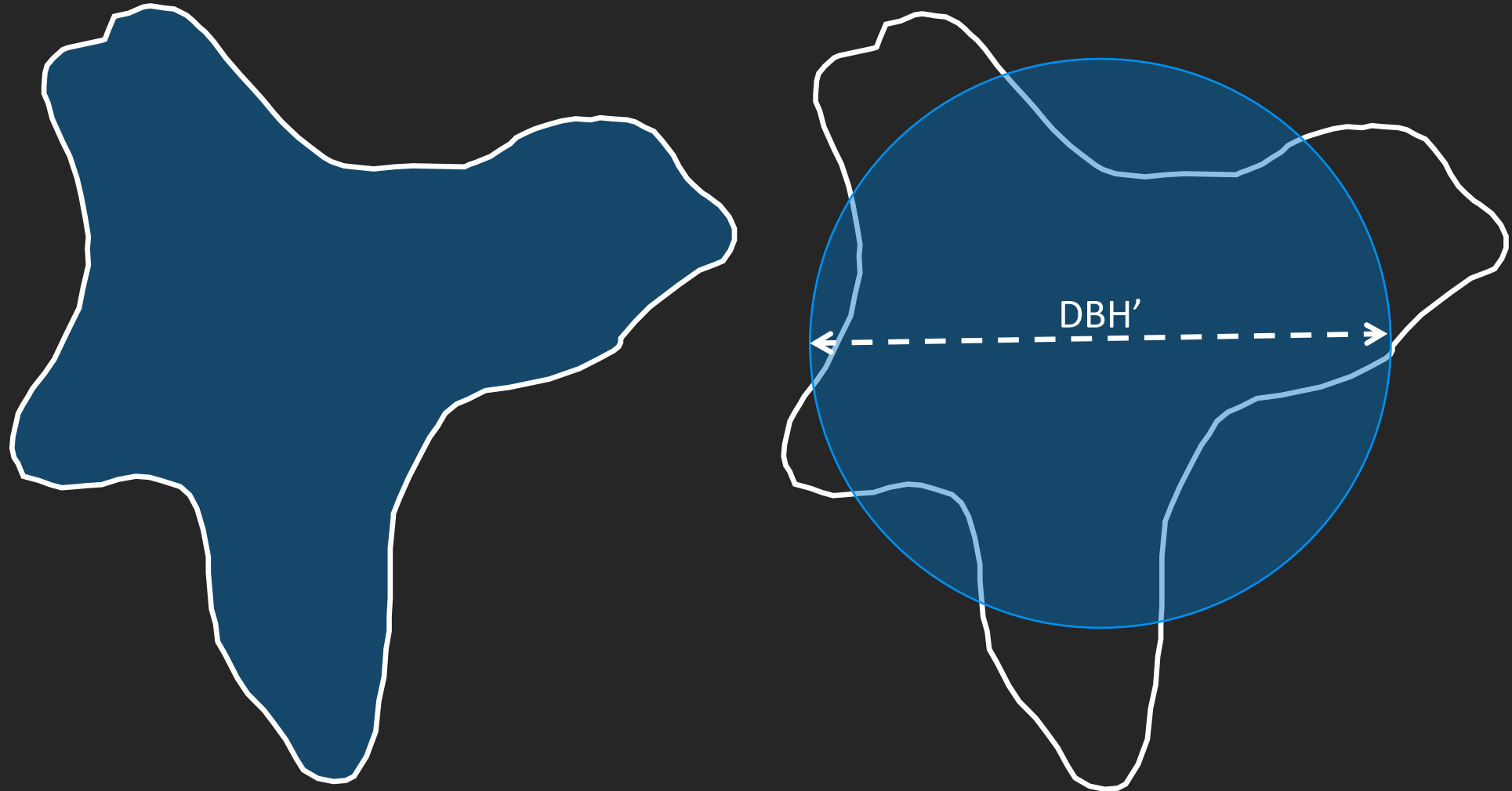
- Courbe de défilement d'un arbre (**taper model**) = profil du tronc
 - $D_i = f(h_i, DPOM, HPOM)$



Conversion d'une surface irrégulière en cercle



Conversion d'une surface irrégulière en cercle



Approche

Conventional workflow

Destructive data
AGB, ρ , D_{POM} , TH

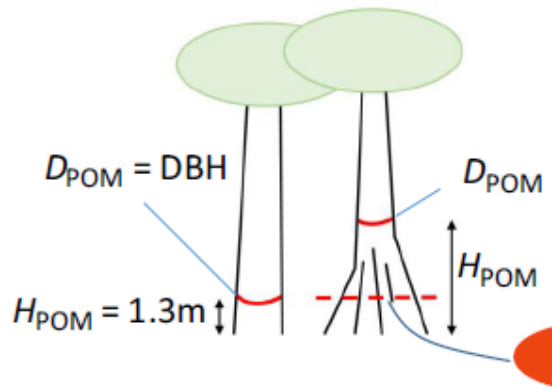
AGB model
 $AGB = f(\rho, D_{POM}, TH)$

H:D model
 $TH = f(D_{POM})$

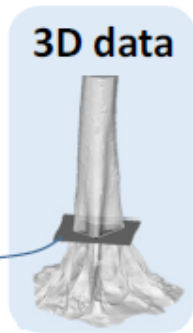
Plot tree attributes
Species, D_{POM} , H_{POM} , (TH), ...Z

Tree-level AGB of the plots

Plot-level AGB
 t_1
 t_2



Original workflow of the study

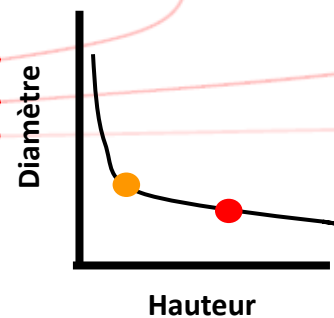


Destructive data
AGB, ρ , D_{POM} , DBH', TH

Taper model
 $DBH' = f(D_{POM}, H_{POM}, \dots)$

AGB model
 $AGB = f(\rho, DBH, TH)$

H:D model
 $TH = f(DBH)$



Outils 3D utilisés

Lidar terrestre (TLS)

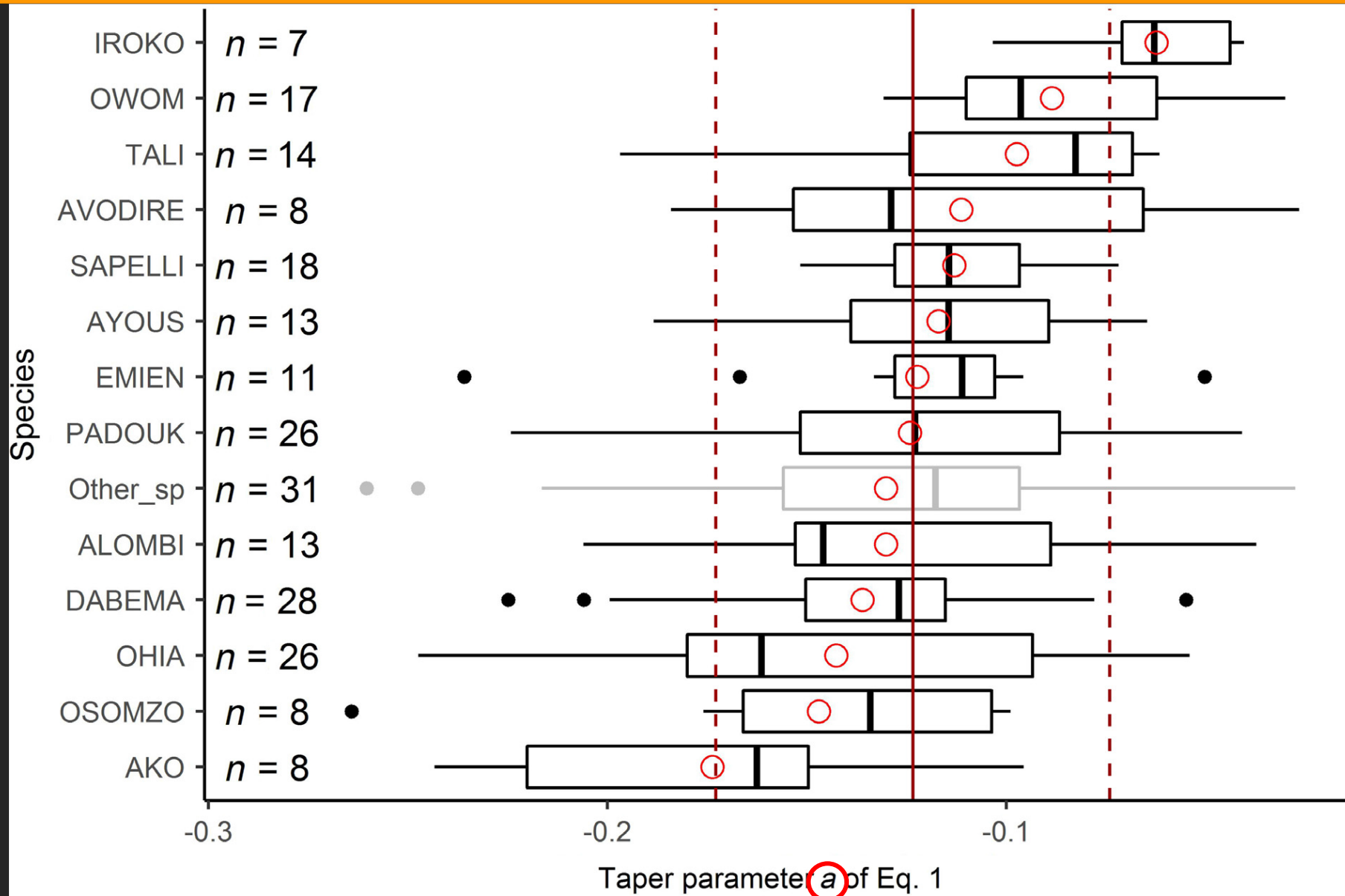
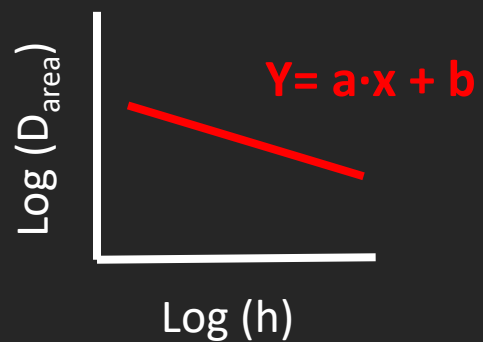


Photogrammétrie terrestre (CRTP)



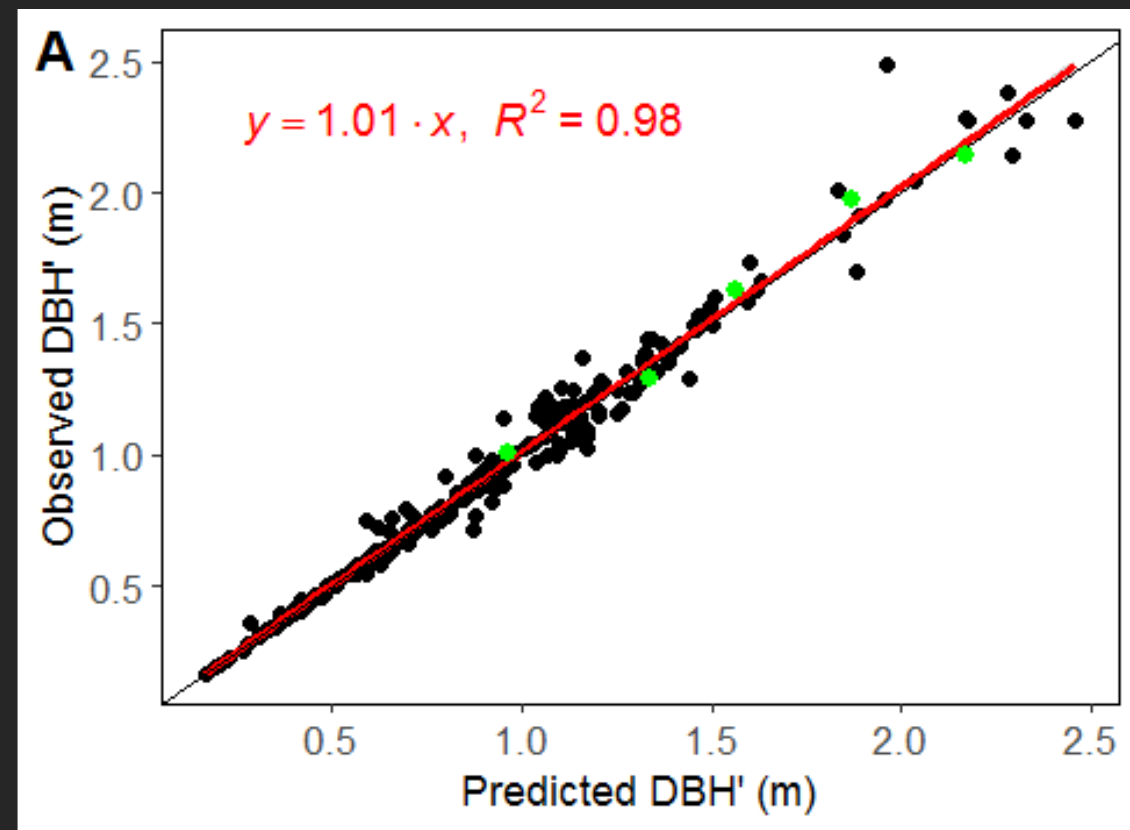
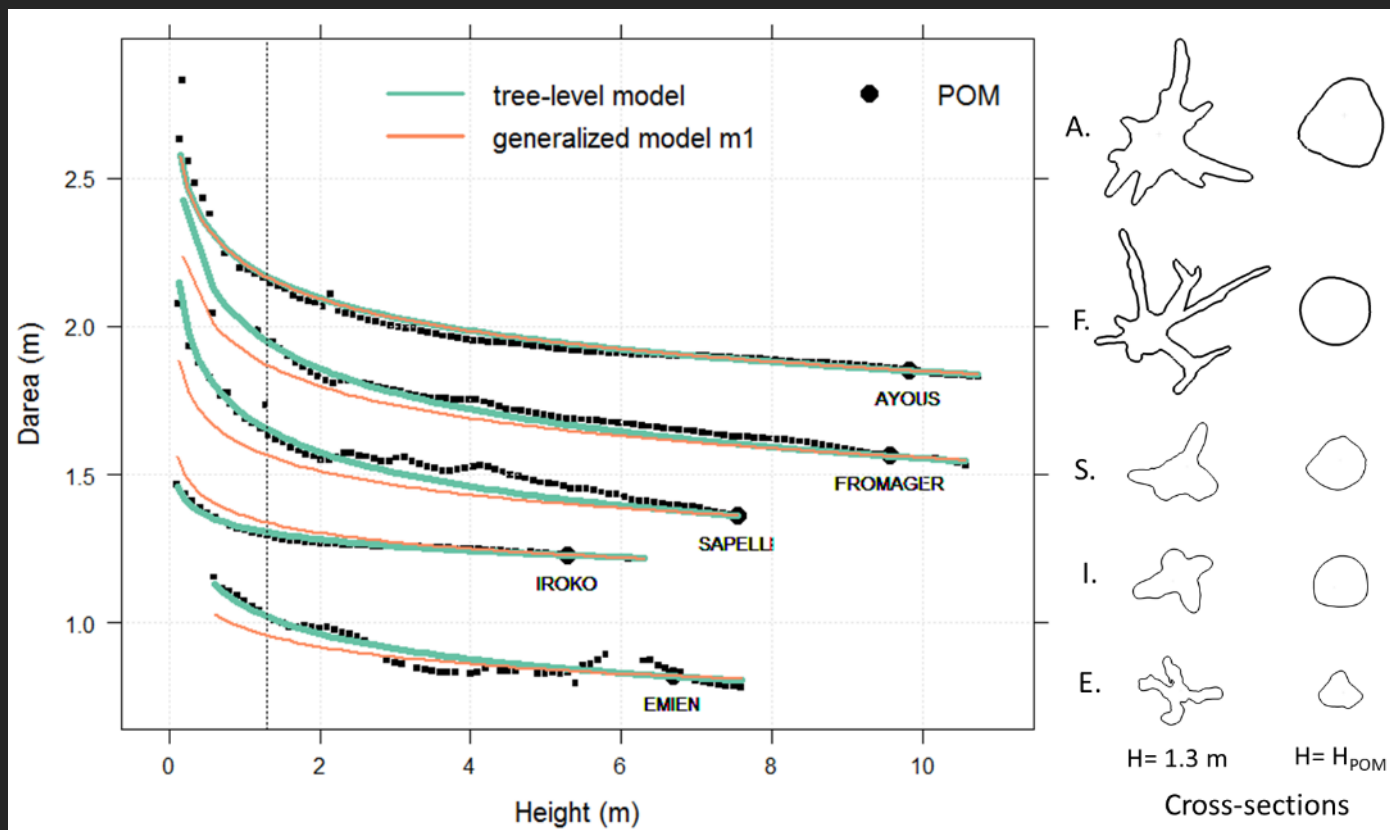
Courbe de défilement

$$D_{\text{area},l} = \frac{D_{\text{POM}} H_l^a}{H_{\text{POM}}^a} + \epsilon_l$$

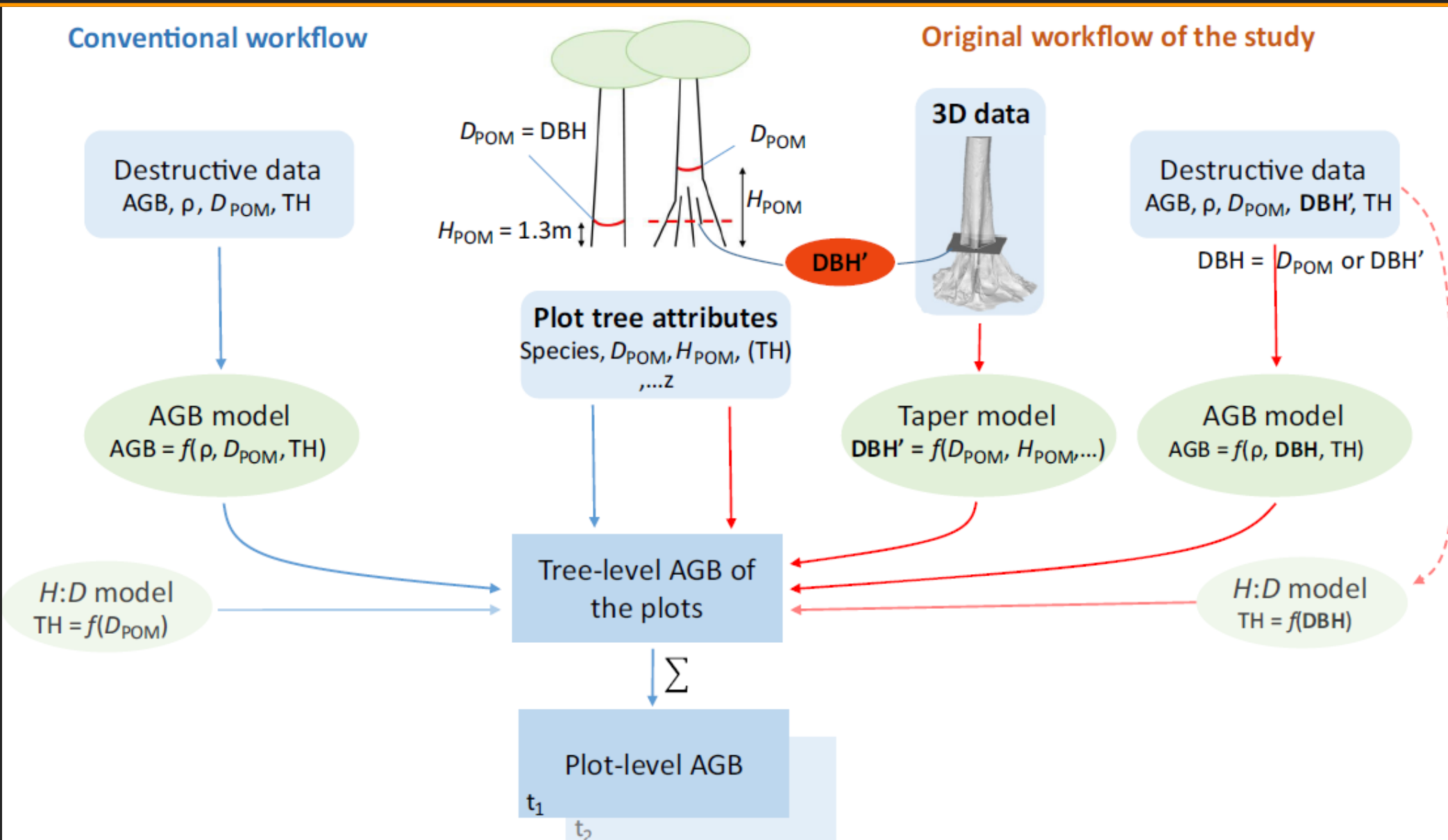


Courbe de defilement (2)

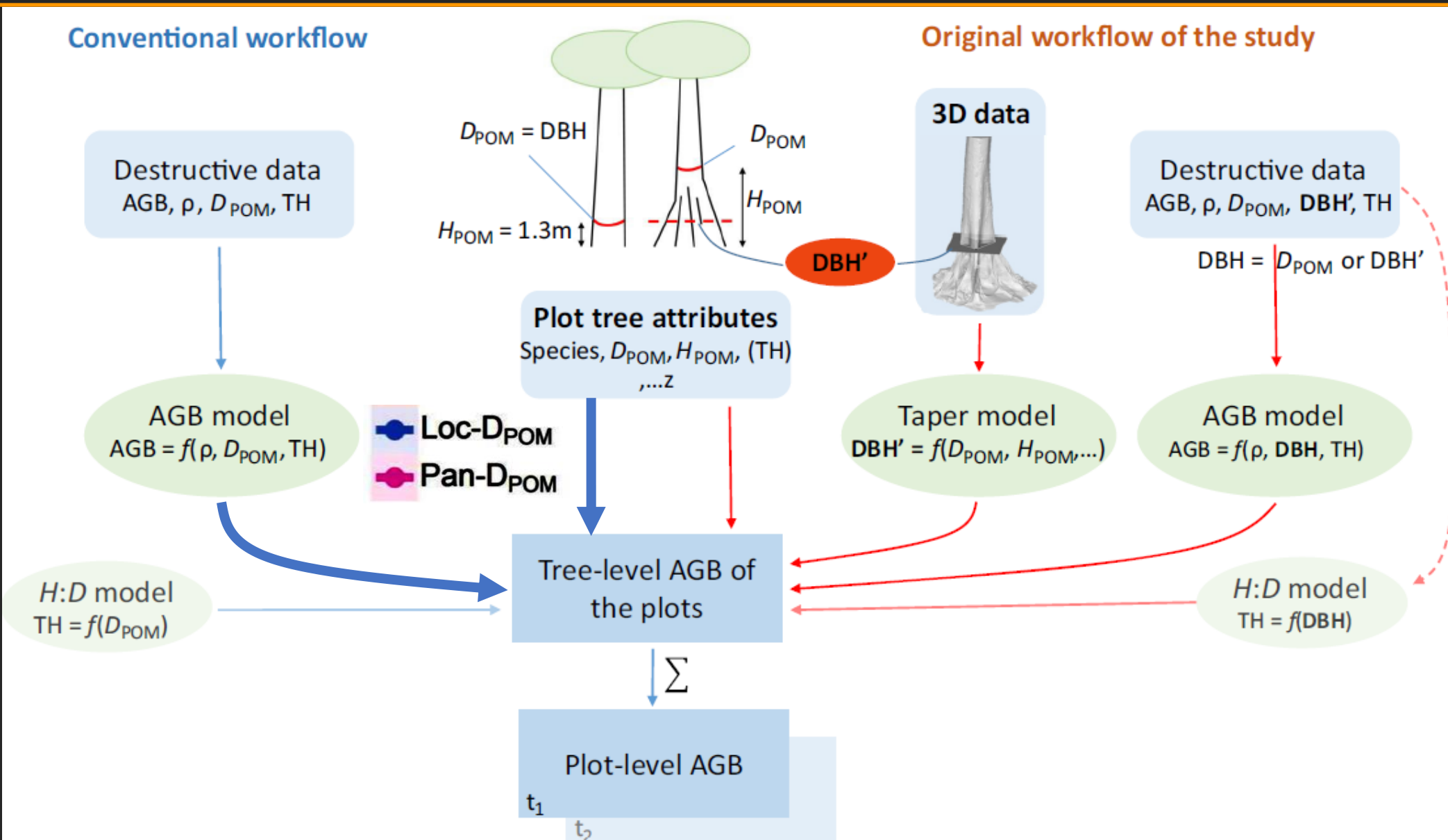
- Courbes de défilement de l'équation multi-espèces



Estimation de la biomasse et de son évolution



Estimation de la biomasse et de son évolution



Estimation de la biomasse et de son évolution

Conventional workflow

Destructive data
AGB, ρ , D_{POM} , TH

AGB model
 $AGB = f(\rho, D_{POM}, TH)$

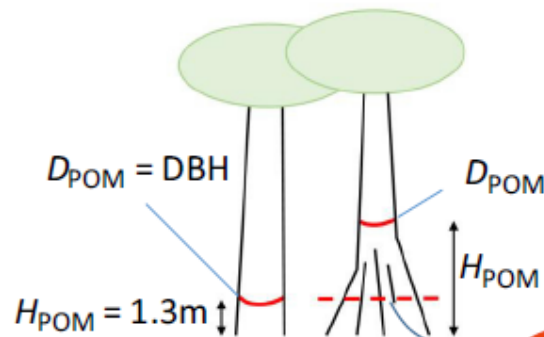
H:D model
 $TH = f(D_{POM})$

Pan-DBH

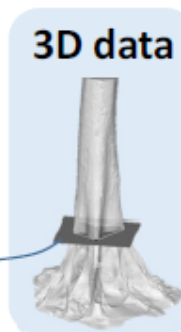
Plot tree attributes
Species, D_{POM} , H_{POM} , (TH), ...Z

Tree-level AGB of the plots

Plot-level AGB
 t_1
 t_2



Original workflow of the study



DBH'

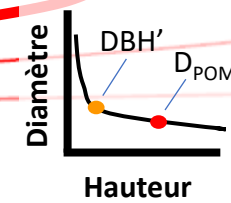
Destructive data
AGB, ρ , D_{POM} , DBH', TH

$DBH = D_{POM}$ or DBH'

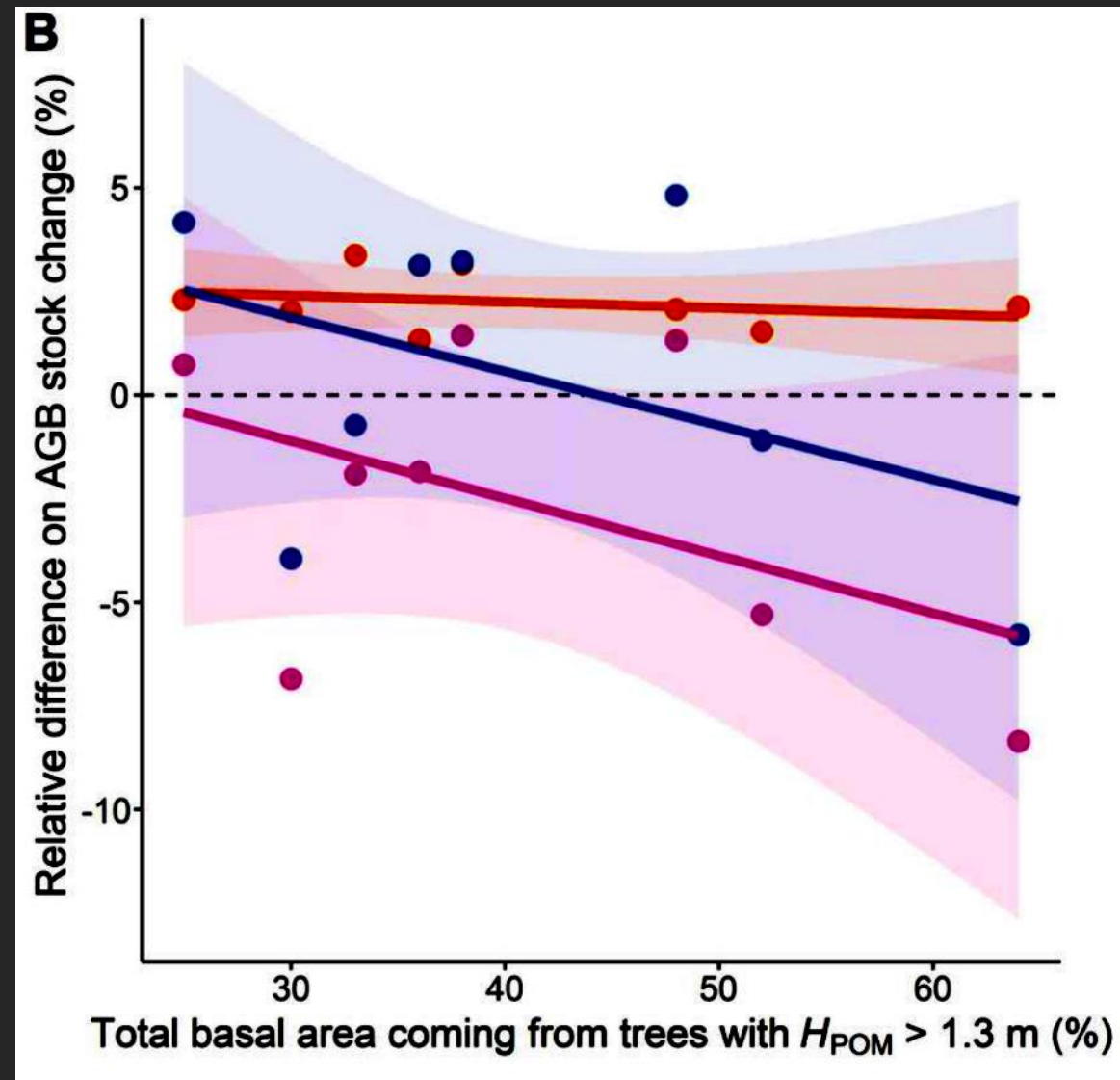
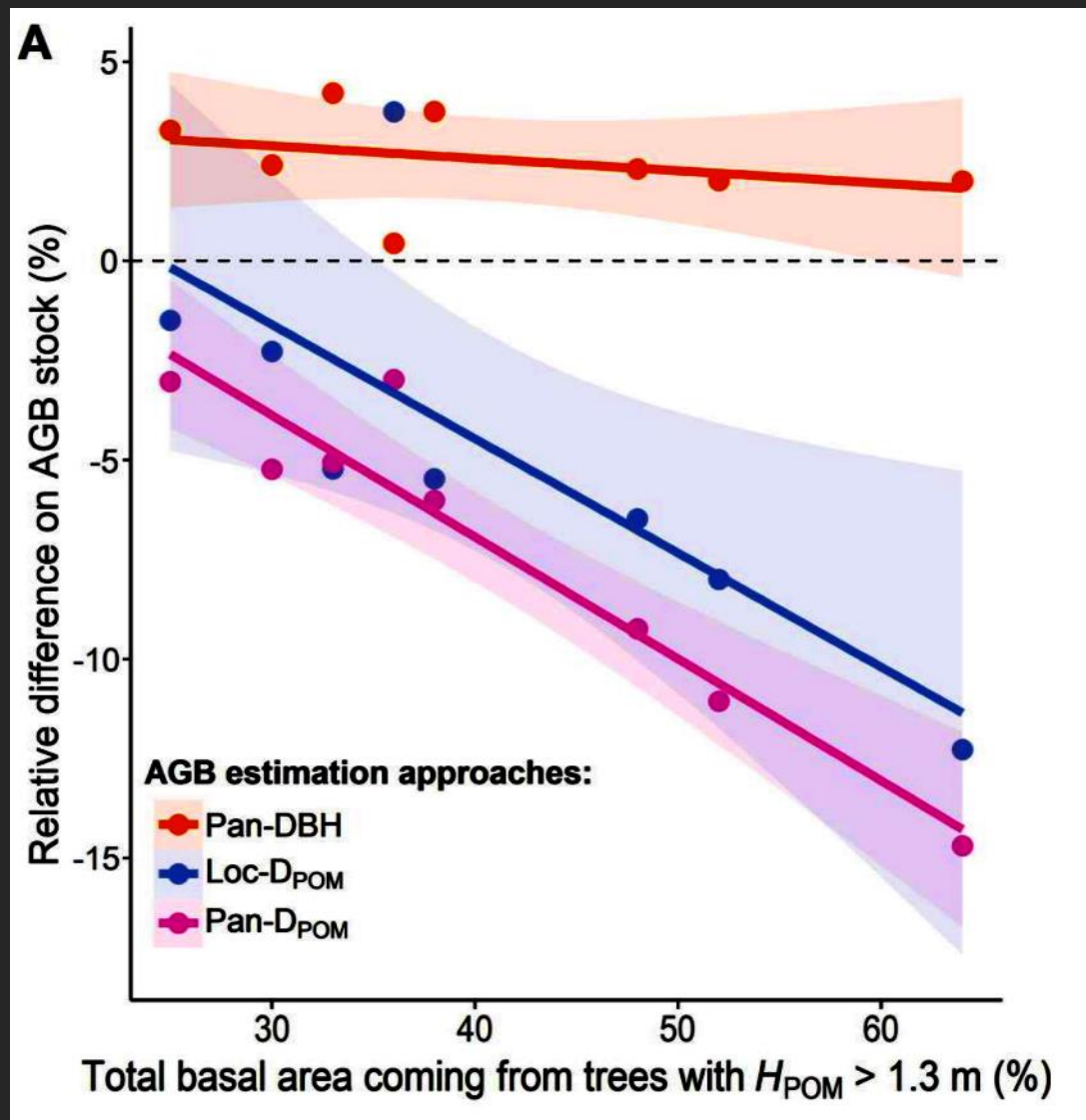
Taper model
 $DBH' = f(D_{POM}, H_{POM}, \dots)$

AGB model
 $AGB = f(\rho, DBH, TH)$

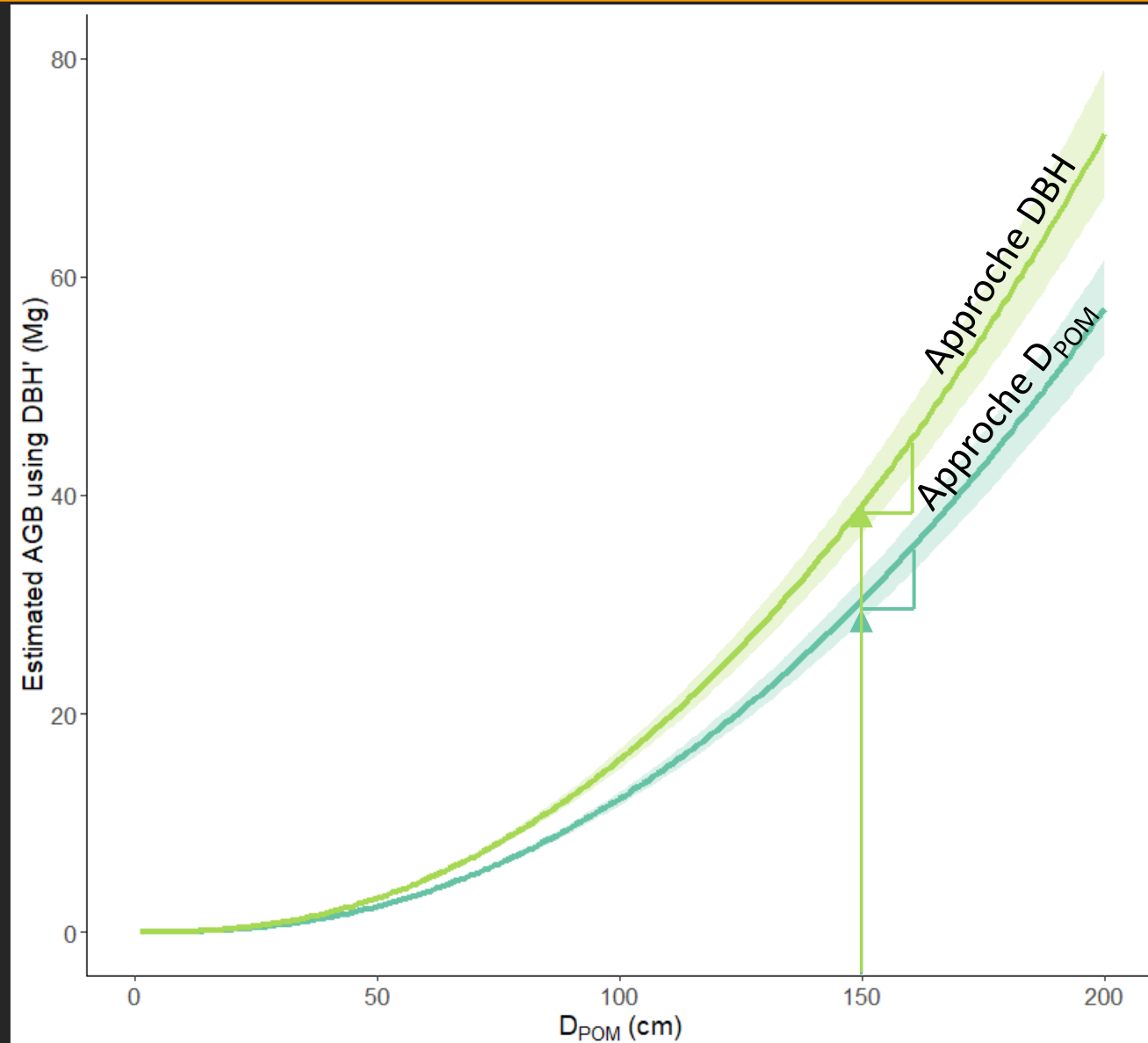
H:D model
 $TH = f(DBH)$



Estimation de la biomasse et de son évolution



Accroissement de la BA des arbres à tronc irrégulier



Plan



1. Introduction

- L'importance des forêts tropicales dans le cycle du carbone
- Quelques notions clés
- Processus d'estimation de la biomasse ligneuse forestière
- Problématiques de recherche

2. Outils de mesure 3D des troncs irréguliers

- Procédé de photogrammétrie

3. Mesures 3D des troncs à l'échelle de la placette

- LiDAR mobile

4. Rendre les estimations de biomasse comparables entre placettes

- Courbe de défilement

5. Discussions

- Principaux résultats
- Recommandations
- Perspectives



Chapitre 5

Discussion

Discussion – Principaux résultats

- La photogrammétrie terrestre est un outil de mesure 3D «low-cost» fonctionnel pour mesurer la base du tronc;



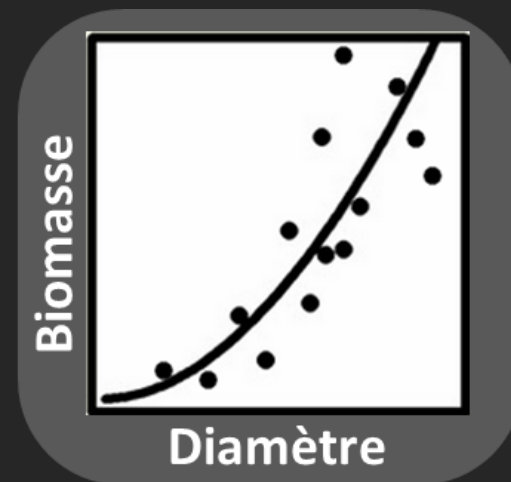
Discussion – Principaux résultats

- La photogrammétrie terrestre est un outil de mesure 3D «low-cost» fonctionnel pour mesurer la base du tronc;
- Le LiDAR mobile portable est un outil prometteur pour la mesure de placettes permanentes de suivi de la dynamique forestière tropicale;



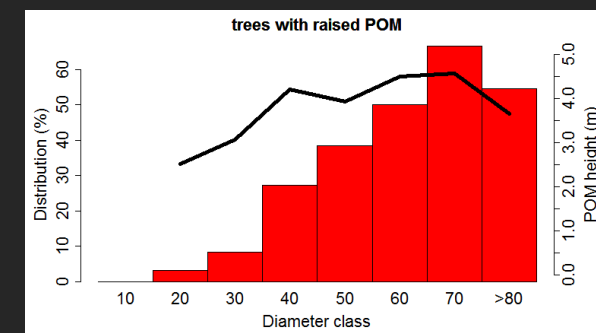
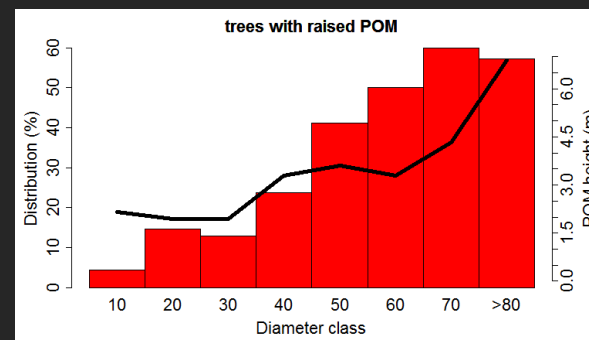
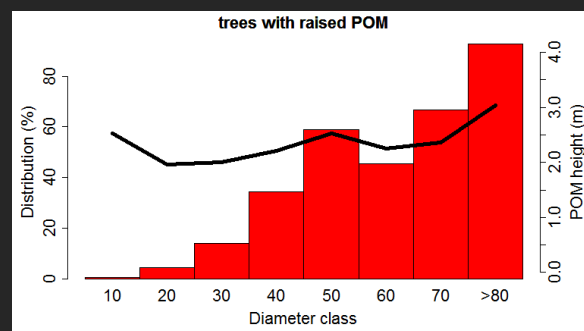
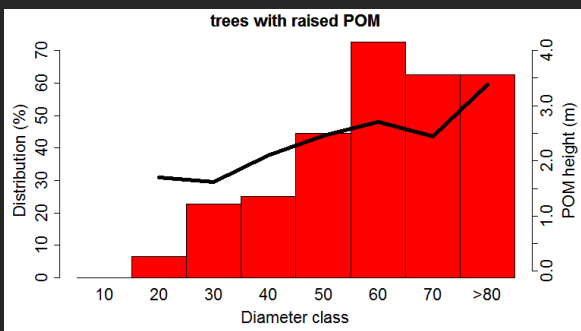
Discussion – Principaux résultats

- La photogrammétrie terrestre est un outil de mesure 3D «low-cost» fonctionnel pour mesurer la base du tronc;
- Le LiDAR mobile portable est un outil prometteur pour le suivi des placettes permanentes de suivi de la dynamique forestière tropicale;
- L'harmonisation du point de mesure (POM) du diamètre à 1,3m de hauteur améliore significativement l'allométrie entre le diamètre et la biomasse aérienne;



Discussion – Principaux résultats

- La photogrammétrie terrestre est un outil de mesure 3D «low-cost» fonctionnel pour mesurer la base du tronc;
- Le LiDAR mobile portable est un outil prometteur pour le suivi des placettes permanentes de suivi de la dynamique forestière tropicale;
- L'harmonisation du point de mesure (POM) du diamètre à 1,3m de hauteur améliore significativement l'allométrie entre le diamètre et la biomasse aérienne;
- L'harmonisation du POM du diamètre dans les placettes d'inventaire permet la comparaison des estimations de biomasse et du changement des stocks entre ces placettes;



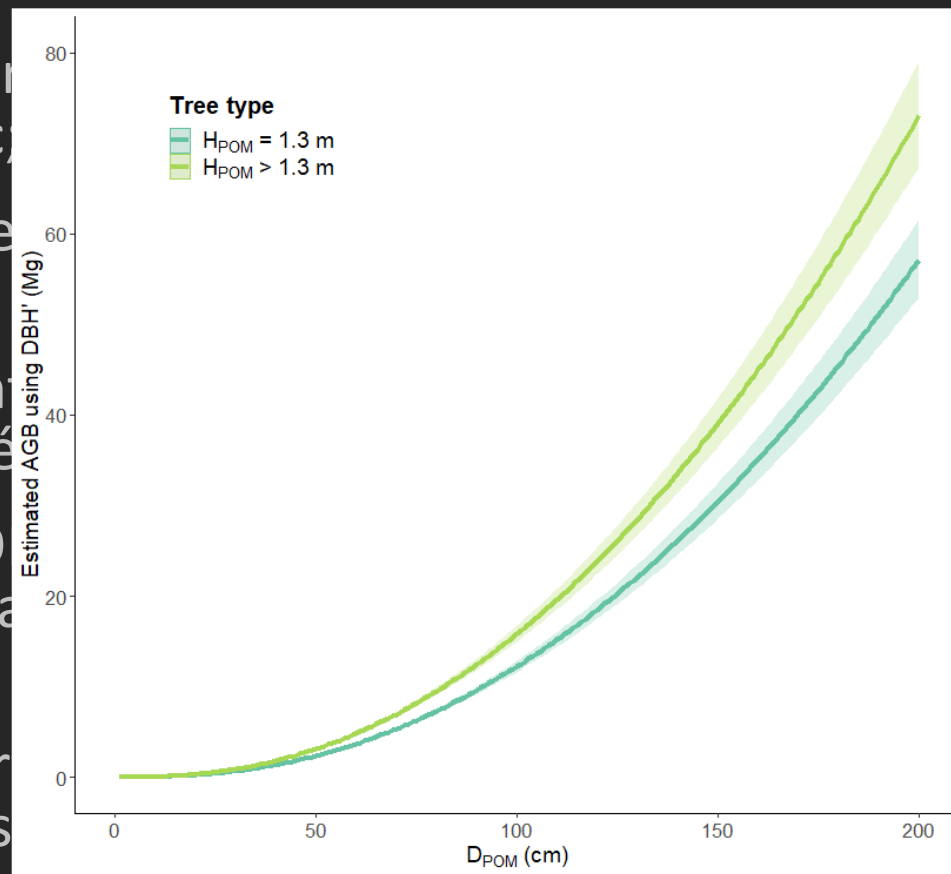
Discussion – Principaux résultats

- La photogrammétrie terrestre est un outil de mesure 3D «low-cost » fonctionnel pour mesurer la base du tronc;
- Le LiDAR mobile portable est un outil prometteur pour le suivi des placettes permanentes de suivi de la dynamique forestière tropicale;
- L'harmonisation du point de mesure (POM) du diamètre à 1,3m de hauteur améliore significativement l'allométrie entre le diamètre et la biomasse aérienne;
- L'harmonisation du POM du diamètre dans les placettes d'inventaire permet la comparaison des estimations de biomasse et du changement des stocks entre ces placettes;
- Le défilement de la partie irrégulière des troncs est bien représenté par une courbe simple de défilement (1 seul paramètre);

$$D_{\text{area},l} = \frac{D_{\text{POM}} h_l^a}{H_{\text{POM}}^a} + \varepsilon_l$$

Discussion – Principaux résultats

- La photogrammétrie terrestre permet de mesurer la base du tronc
- Le LiDAR mobile portable permet le suivi de la dynamique
- L'harmonisation du point de mesure à 1,3m de hauteur améliore significativement l'allométrie
- L'harmonisation du point de mesure à 1,3m de hauteur améliore la comparaison des estimations de stocks entre ces placettes;
- Le défilement de la parcelle par un simple de défilement (1 s) permet d'être représenté par une courbe
- La croissance en biomasse des arbres dont la mesure du diamètre est > 1.3 m est systématiquement sous estimée

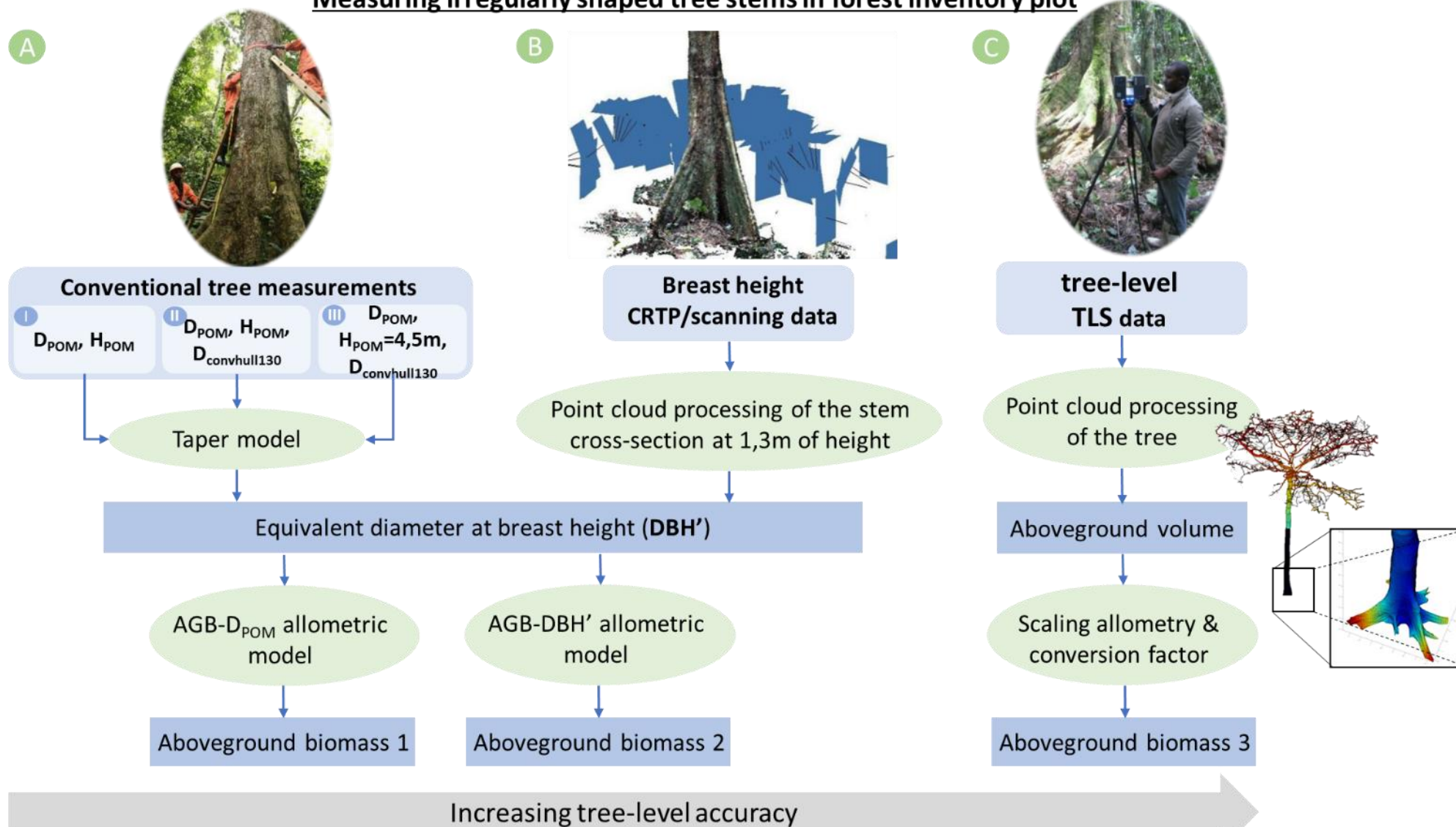


Discussion – Principaux résultats

- La photogrammétrie terrestre est un outil de mesure 3D «low-cost » fonctionnel pour mesurer la base du tronc;
- Le LiDAR mobile portable est un outil prometteur pour le suivi des placettes permanentes de suivi de la dynamique forestière tropicale;
- L'harmonisation du point de mesure (POM) du diamètre à 1,3m de hauteur améliore significativement l'allométrie entre le diamètre et la biomasse aérienne;
- L'harmonisation du POM du diamètre dans les placettes d'inventaire permet la comparaison des estimations de biomasse et du changement des stocks entre ces placettes;
- Le défilement de la partie irrégulière des troncs est bien représenté par une courbe simple de défilement (1 seul paramètre);
- La croissance en biomasse des arbres dont la mesure du diamètre est > 1.3 m est systématiquement sous estimée

Discussion - Recommendations

Measuring irregularly shaped tree stems in forest inventory plot



Discussion - Perspectives

Estimation indirect du diameter à 1,3 m de hauteur (approche modèle)

- Augmenter l'intensité d'échantillonnage pour tester la sensibilité du modèle et le généraliser
- Intégrer ce type de modèle de défilement dans les outils d'estimation de biomasse aérienne des arbres existants

Modèle allométrique de biomasse aérienne

- Développer de nouvelles équations allométriques entre BA et DBH
- Approfondir l'étude de la forme de l'équation allométrique afin d'éviter la surestimation de la biomasse des petits arbres



Merci pour votre attention !

DYNAFOR
 atibt
 cirad
 FEM
 afd
 AGENCE FRANÇAISE DE DÉVELOPPEMENT
 ONF International
 TEREA
 COMMISSION DES FORETS D'AFRIQUE CENTRALE
 COMIFAC
 gef
 Nature+
 LIÈGE université
 Gembloux
 Agro-Bio Tech
 Nature+
 THE WORLD BANK
 IBRD - IDA | WORLD BANK GROUP