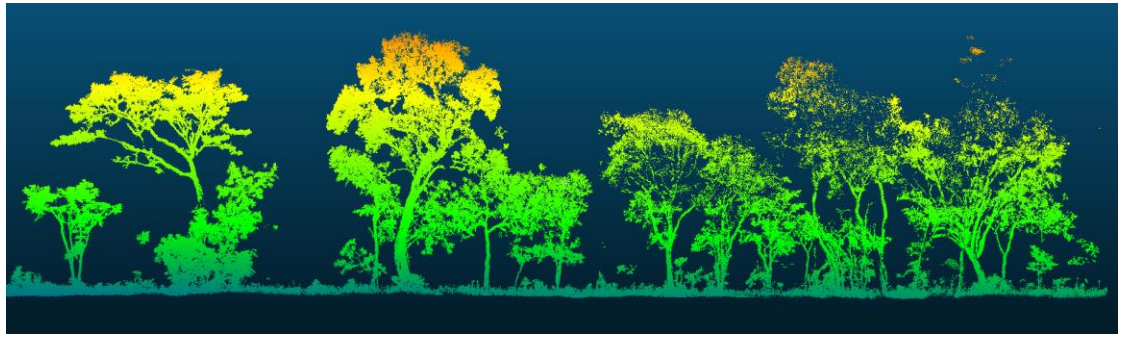
TRIDIFOR – Méthodes innovantes d'analyse de données 3D en forêt

Équations allométriques dérivées de données LiDAR terrestres et importance pour l'estimation de la biomasse aérienne dans les forêts de Miombo de la R.D. Congo

S. Takoudjou Momo[†*], J. Ilunga Muledi[†], P. Ploton, A. Lamulamu, W. Kombe, B. Mupari, D. Nkulu, B. Amisi Mushabaa, B. Sonké, N. Barbier

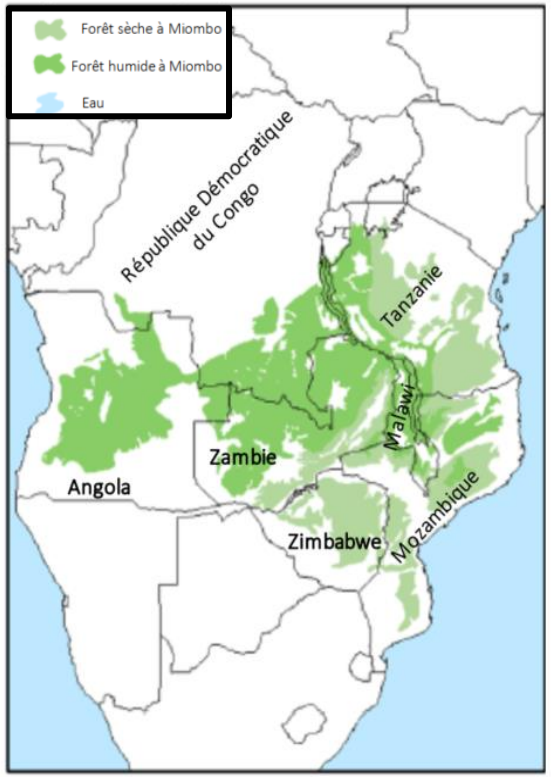
contact : takoudjoumomo@gmail.com

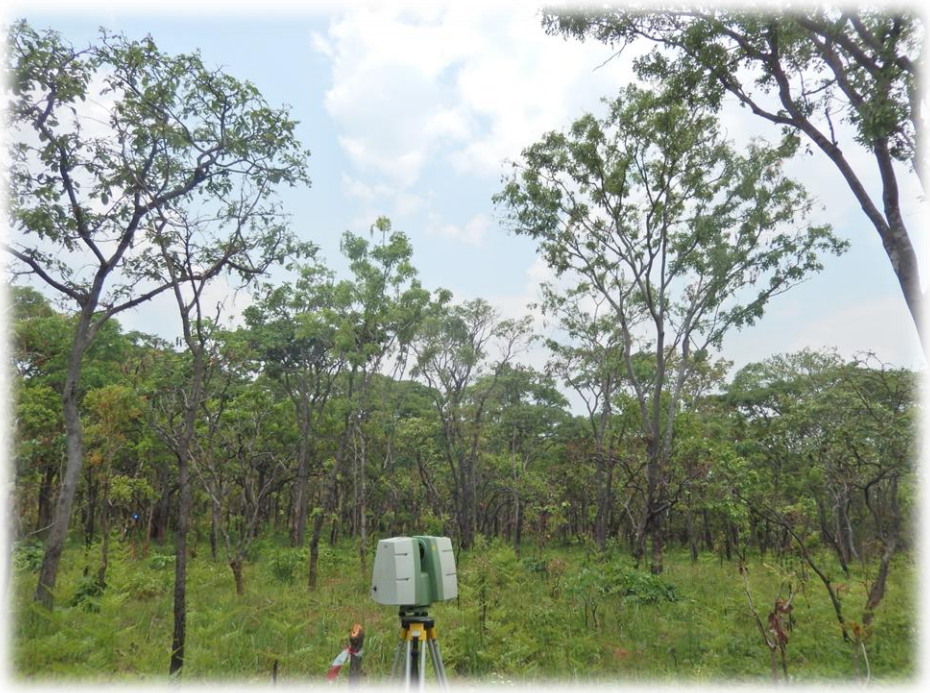


Visio Conf. : 20 au 22 septembre 2022

Contexte & problématique

- Forêt claire de type Miombo
  - ✓ Localisation en RDC

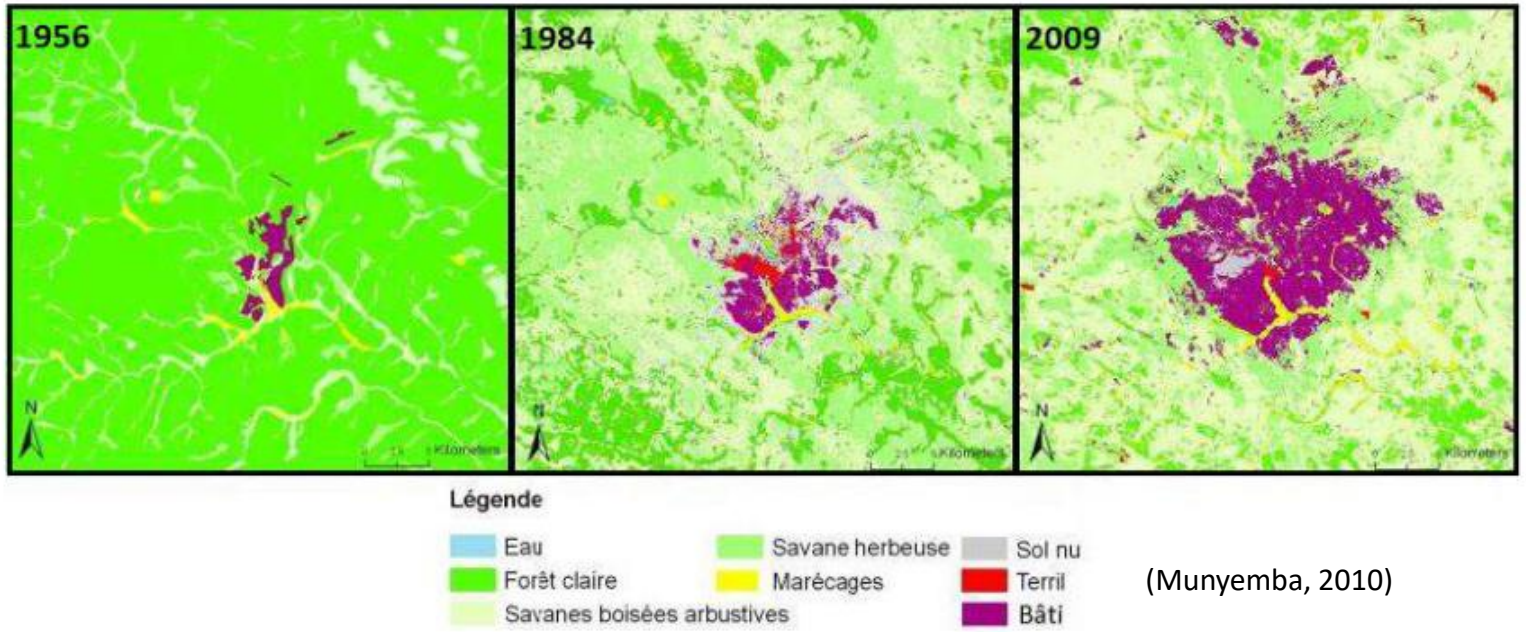




Contexte & problématique

- ❑ Forêt claire de type Miombo
  - ✓ Localisation en RDC
  - ✓ Fortes pressions anthropiques

Habitantes de Kinandu sur un site de fabrication de charbon de bois. Image de Didier Makal.



(Munyemba, 2010)

Contexte & problématique

- Forêt claire de type Miombo

  - ✓ Localisation en RDC
  - ✓ Fortes pressions anthropiques
  - ✓ Contribution du Miombo dans la REDD+ et Mesures, Notification et Vérification (**MNV**)

    - Absence d'équations allométriques

Contexte & problématique

- Recommandations du GIEC sur MNV

ipcc
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change

2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

Edited by Eduardo Calvo Buendia, Kiyoto Tanabe, Andrej Kranjc, Baasansuren Jamsranjav, Maya Fukuda, Sekai Ngarize, Akira Osako, Yurii Pyrozhenko, Pavel Shermanau and Sandro Federici

Task Force on National Greenhouse Gas Inventories

(https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html)

Contexte & problématique

❑ Recommandations du GIEC sur MNV

ipcc
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change

2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

Edited by Eduardo Calvo Buendia, Kiyoto Tanabe, Andrej Kranjc, Baasansuren Jamsranjav, Maya Fukuda, Sekai Ngarize, Akira Osako, Yurii Pyrozhenko, Pavel Shermanau and Sandro Federici

Task Force on National Greenhouse Gas Inventories

(https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html)

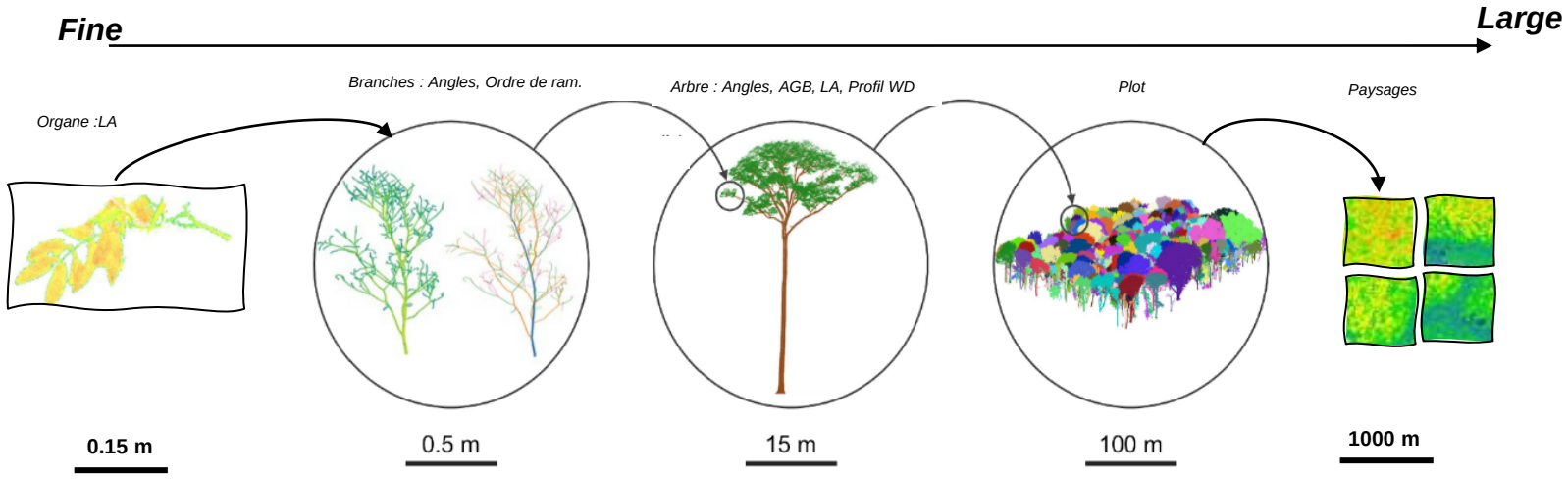
✓ **New active remote sensing technology: Terrestrial Laser Scanning (TLS)**

- **TLS provides non-destructive and highly detailed measurements independent of the size and shape of a tree that are otherwise only available from destructive methods**. …… have proven useful for **large and complex tropical trees** in particular

Recommends the use of this kind of data to achieve level III of accuracy in tropical forest biomass estimates

Contexte & problématique

❑ AGB, Equations allométriques & Variations de Densité de bois



Montpellier

AMAP lab
botAny and Modeling of
Plant Architecture and vegetation

Cameroun

LaBosystE
Laboratoire
de Botanique
systématique
et d'Ecologie

Modifier de (Lines *et al.,* 2022)

Contexte & problématique

- AGB, Equations allométriques & Variations de Densité de bois

Received: 26 September 2017 | Accepted: 26 October 2017
DOI: 10.1111/2041-210X.12933

RESEARCH ARTICLE

Methods in Ecology and Evolution BRITISH ECOLOGICAL SOCIETY

Using terrestrial laser scanning data to estimate large tropical trees biomass and calibrate allometric models: A comparison with traditional destructive approach

Stéphane Momo Takoudjou[1,2] | Pierre Ploton[2] | Bonaventure Sonké[1] | Jan Hackenberg[3,4] | Sébastien Griffon[2] | Francois de Coligny[2] | Narcisse Guy Kamdem[1] | Moses Libalah[1] | Gislain II Mofack[1] | Gilles Le Moguédec[2] | Raphaël Pélissier[2] | Nicolas Barbier[1,2]

Contexte & problématique

❑ AGB, Equations allométriques & Variations de Densité de bois

Locale

ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Forest Ecology and Management

journal homepage: www.elsevier.com/locate/foreco

Using volume-weighted average wood specific gravity of trees reduces bias in aboveground biomass predictions from forest volume data

Le Bienfaiteur Takougoum Sagang[a,c,*], Stéphane Takoudjou Momo[a,b], Moses Bakonck Libalah[a,b], Vivien Rossi[d], Noël Fonton[d], Gislain II Mofack[a], Narcisse Guy Kamdem[a], Victor François Nguetsop[c], Bonaventure Sonké[a], Ploton Pierre[b], Nicolas Barbier[b]

[a] *Plant Systematic and Ecology Laboratory (LaBosystE), Department of Biology, Higher Teachers' Training College, University of Yaoundé I, P.O. Box 047, Yaoundé, Cameroon*
[b] *AMAP, IRD, CNRS, INRA, Univ Montpellier, CIRAD, Montpellier, France*
[c] *Laboratory of Applied Botany, Faculty of Sciences, University of Dschang, Dschang, Cameroon*
[d] *Commission des Forêts d'Afrique Centrale (COMIFAC), Yaoundé BP 2572, Cameroon*

Models	Performance				
	R^2	RSE	AIC	B	CV
(m_1) $VWWD = a + b*WD_{Stu}$	0.87	0.049	−2629.1	0.86	14.8
(m_2) $VWWD = a + b*WD_{Stu} + c*DBH$	0.88	0.046	−2732.3	0.75	15.2
(m_3) $VWWD = a + b*WD_{Stu} + c*DBH + d*Sm$	0.89	0.045	−2759	0.74	15
(m_4) $VWWD = a + b*WD_{GWD}$	0.78	0.063	−2200.6	1.41	21.8
(m_5) $VWWD = a + b*WD_{GWD} + c*DBH$	0.81	0.059	−2320.9	1.19	23.8
(m_6) $VWWD = a + b*WD_{GWD} + c*DBH + d*Sm$	0.81	0.058	−2338.9	1.18	23.7

Régionale

www.nature.com/scientificreports

SCIENTIFIC REPORTS

natureresearch

OPEN

Leveraging Signatures of Plant Functional Strategies in Wood Density Profiles of African Trees to Correct Mass Estimations From Terrestrial Laser Data

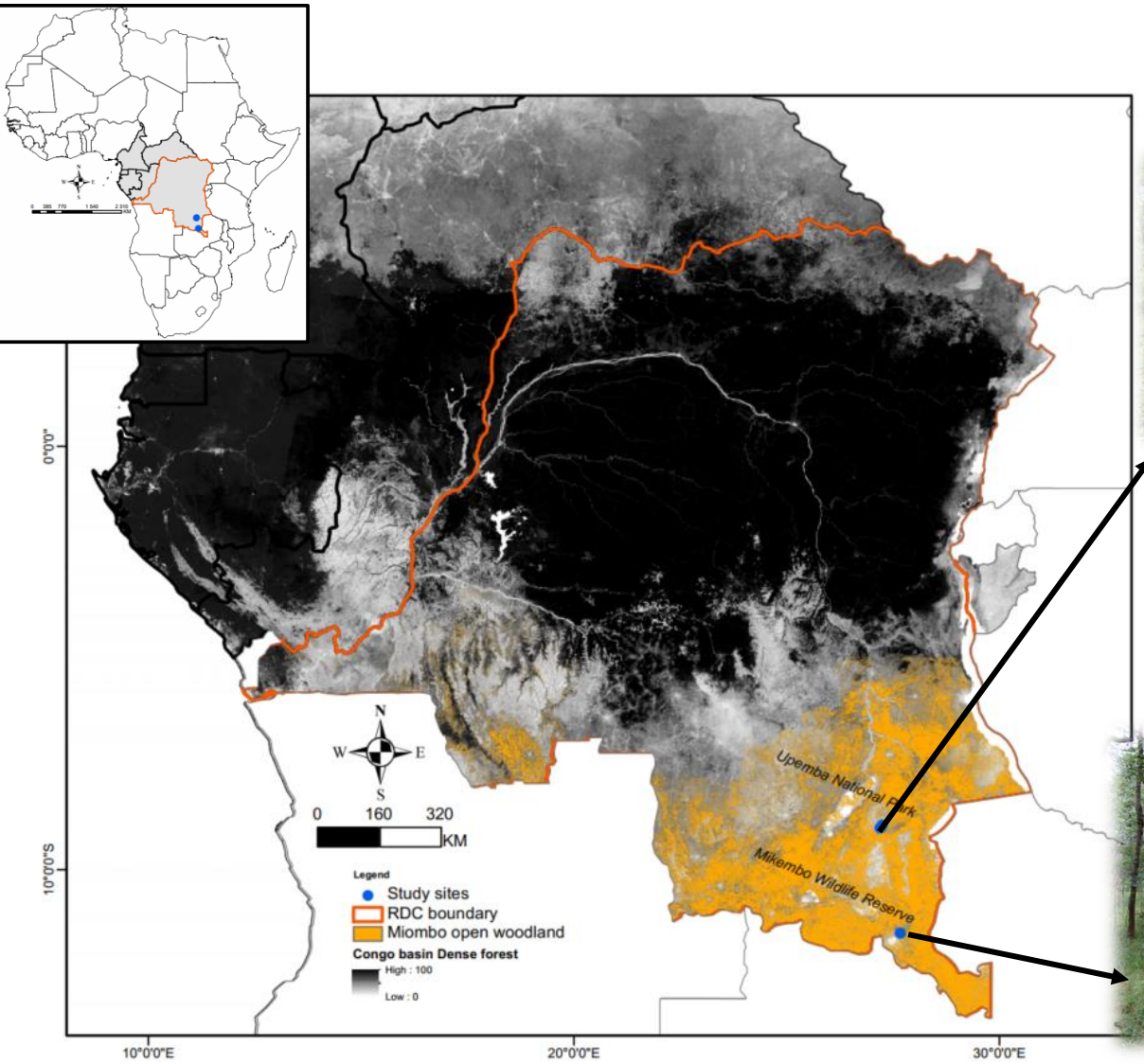
Stéphane Takoudjou Momo[1,2,15], Pierre Ploton[2,15], Olivier Martin-Ducup[2], Romain Lehnebach[3], Claire Fortunel[2], Le Bienfaiteur Takougoum Sagang[1,2], Faustin Boyemba[4], Pierre Couteron[2], Adeline Fayolle[5], Moses Libalah[1], Joel Loumeto[6], Vincent Medjibe[7], Alfred Ngomanda[8], Diosdado Obiang[9], Raphaël Pélissier[2], Vivien Rossi[1,7,11], Olga Yongo[10], PREREDD Collaborators[†], Bonaventure Sonké[1] &, Nicolas Barbier[2*]

Objectifs

Proposer des équations allométriques de biomasse dérivées des données TLS spécifique pour la forêt de type Miombo présent en R.D. Congo

- ✓ Calibrer et valider des équations allométriques issues des données TLS
- ✓ Comparer ces équations allométriques avec celles de la littérature

Site d'étude

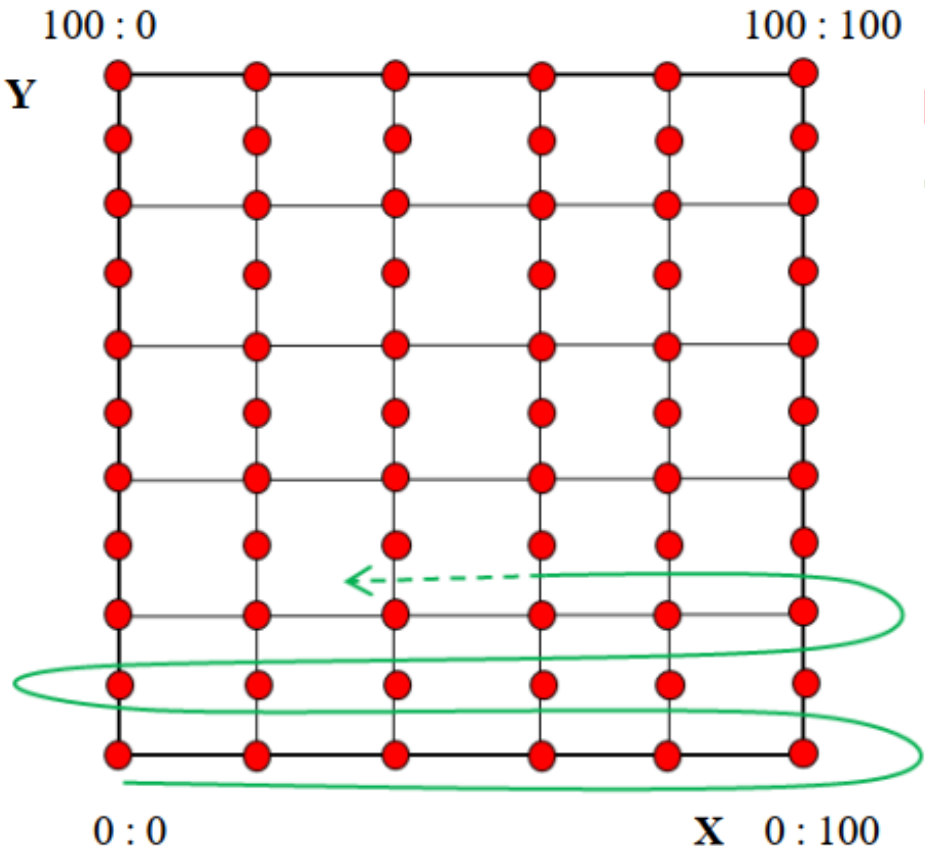


✓ ***Upemba***

✓ ***Mikembo***

Site d'étude

❑ *Inventaires floristiques et scans TLS*



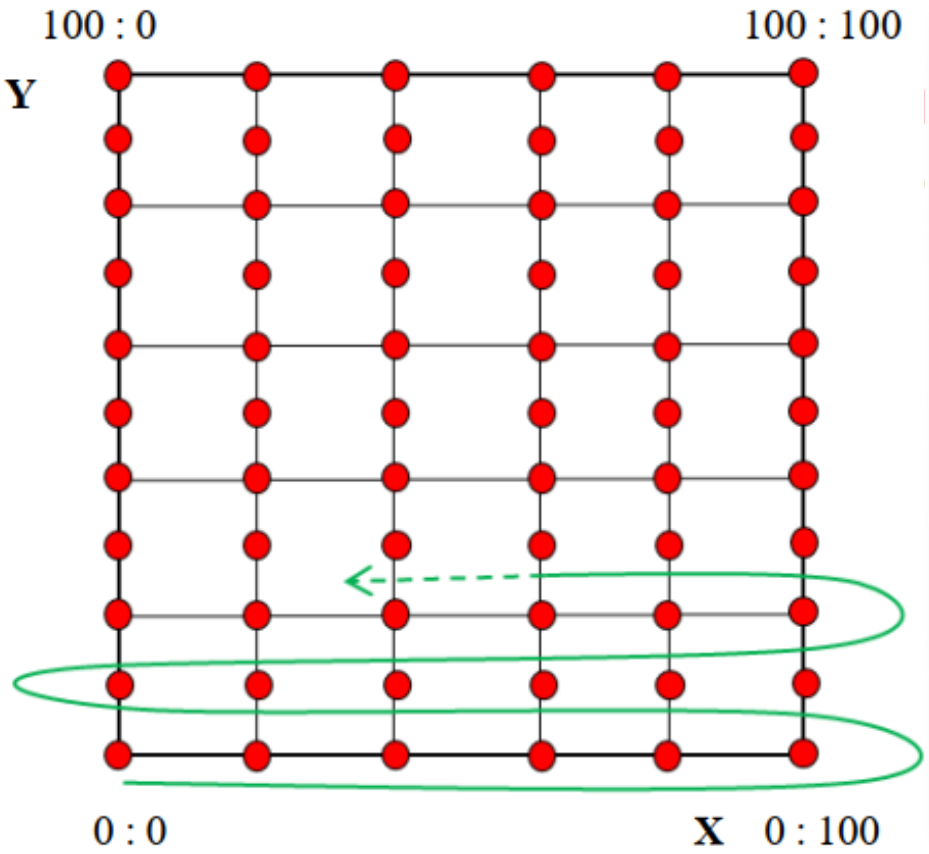
✓ Installation d'une parcelle

✓ **5 parcelles de 1 ha**

- **1645 arbres**
- **51 espèces**

Site d'étude

❑ ***Inventaires floristiques et scans TLS***



✓ Scan d'une parcelle

Site d'étude

❑ *Collecte et traitement des échantillons de bois*

✓ Terrain

Site d'étude

❑ *Collecte et traitement des échantillons de bois*

✓ Terrain

✓ **194** échantillons de bois ont été collectés

- Mikembo | **35** arbres, **19** espèces
- Upemba | **158** arbres, **36** espèces

✓ Laboratoire

$$WD = \frac{\text{Masse sèche}}{\text{Volume frais}} \quad (\text{en } g.cm^{-3})$$

Site d'étude

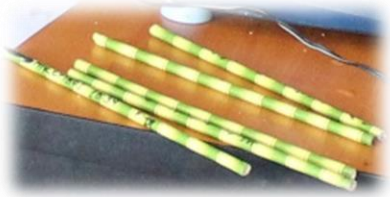
❑ *Collecte et traitement des échantillons de bois*

✓ Terrain

✓ **194** échantillons de bois ont été collectés

- Mikembo | **35** arbres, **19** espèces
- Upemba | **158** arbres, **36** espèces

✓ Laboratoire



$$WD = \frac{\text{Masse sèche}}{\text{Volume frais}} \quad (\text{en } g.cm^{-3})$$

Intégration des variations verticales de WD :

→ calcul du "*Volume – Weighted WD*"

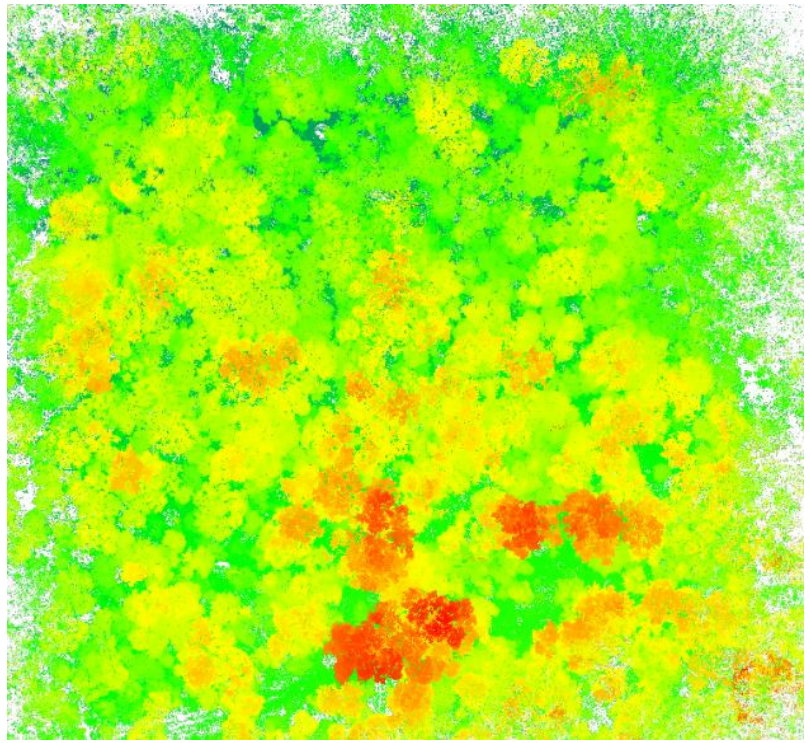
Models	Parameters				Performance				
	a	b	c	d	R^2	RSE	AIC	B	CV
(m_1) $VWWD = a + b*WD_{Stu}$	0.07842 (0.00682)	0.78915 (0.01076)			0.87	0.049	−2629.1	0.86	14.8
(m_2) $VWWD = a + b*WD_{Stu} + c*DBH$	0.05455 (0.00679)	0.78326 (0.01011)	0.00048 (0.00005)		0.88	0.046	−2732.3	0.75	15.2

Momo *et al.*, 2020. *Scientific Reports*

Extraction des arbres des nuages de points

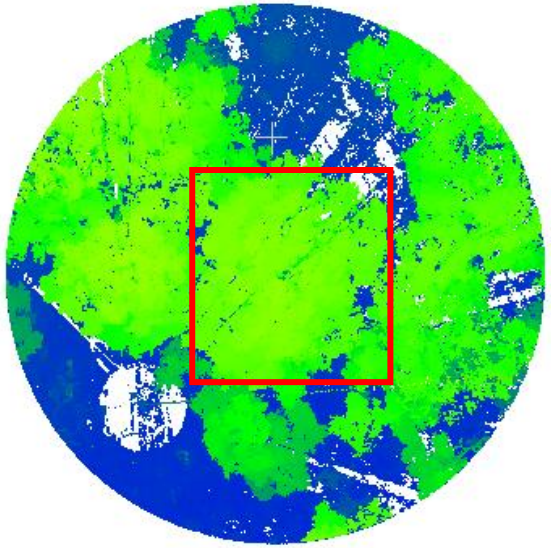
❑ *Semi automatique*

MNC

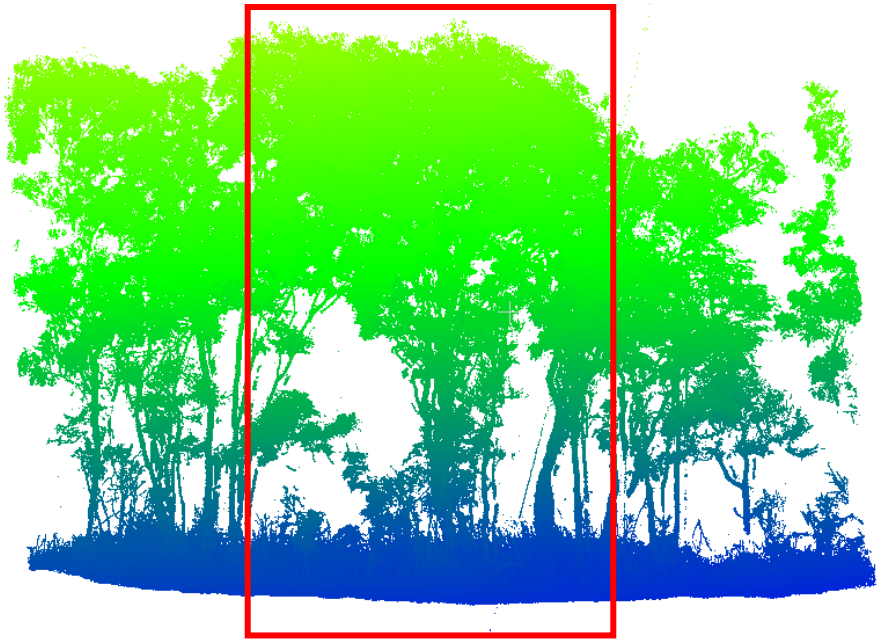


✓ Action non Supervisée

- Vue de dessus



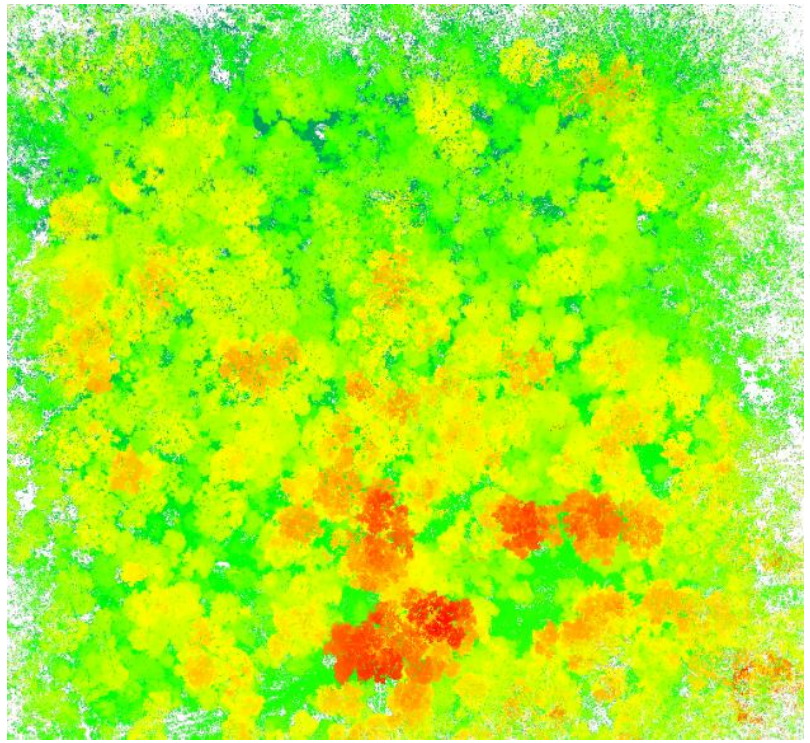
- Vue de Profil



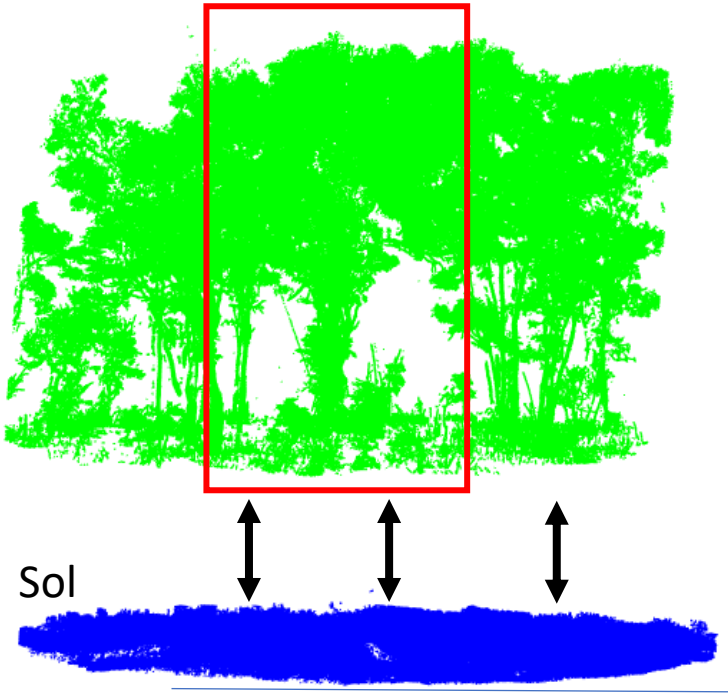
Extraction des arbres des nuages de points

- ❑ ***Semi automatique***

MNC



Végétation



Sol

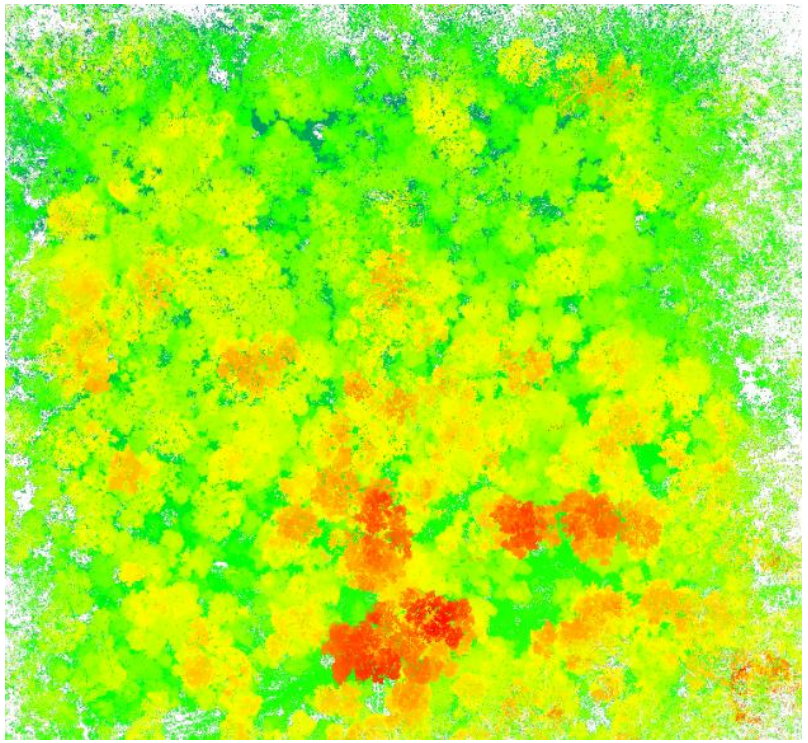
- ✓ **Action Supervisée**

Extraction des arbres des nuages de points

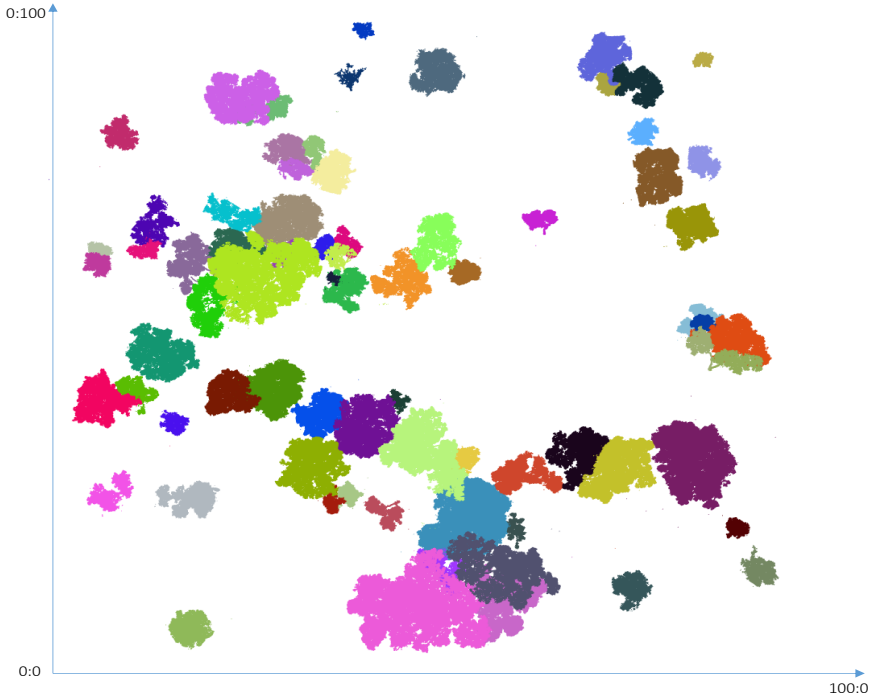
- ✓ **Action Supervisée**

- ❑ ***Semi automatique***

MNC

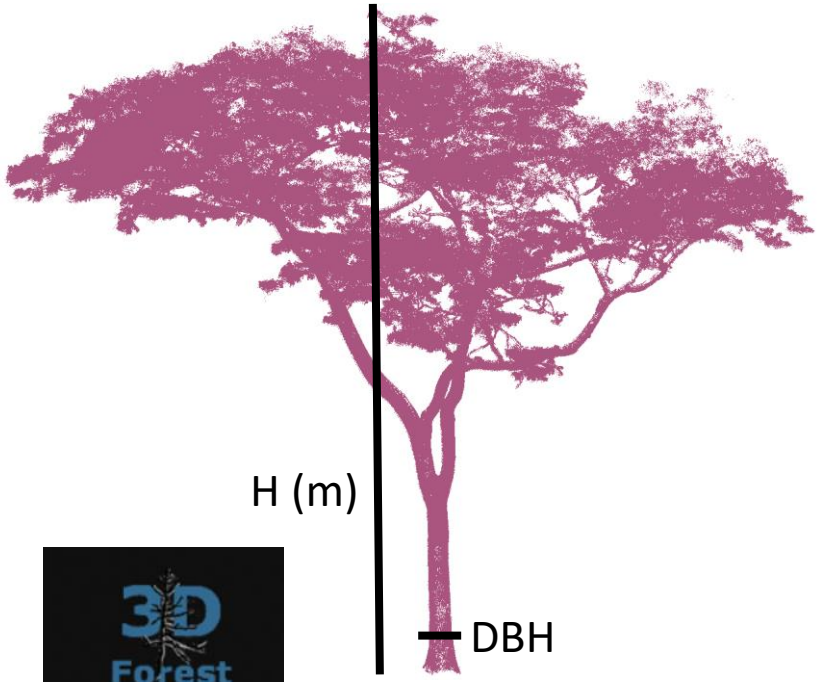


- **Arbre extrait**



Traitement des données TLS

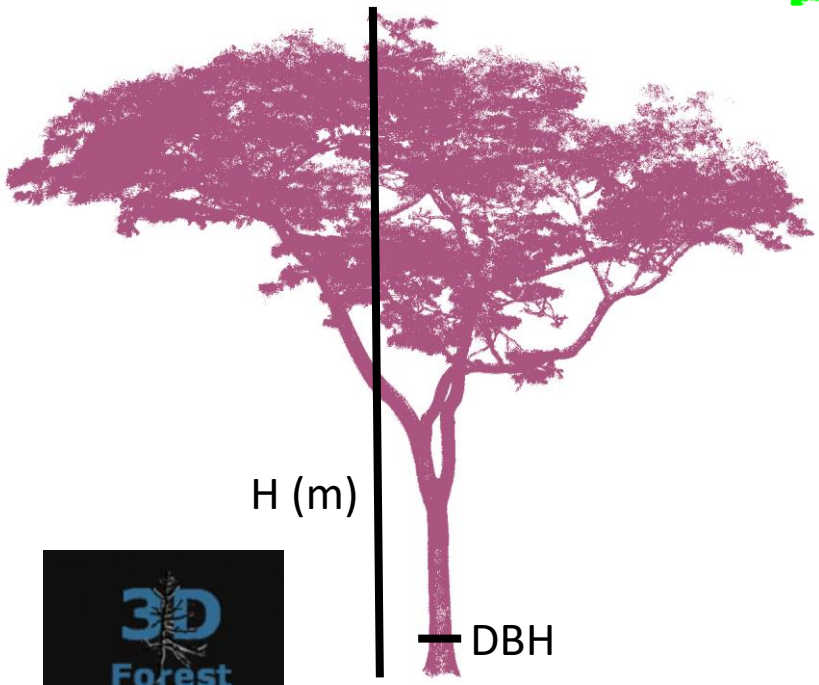
❑ *Mesure des paramètres dendrométriques*



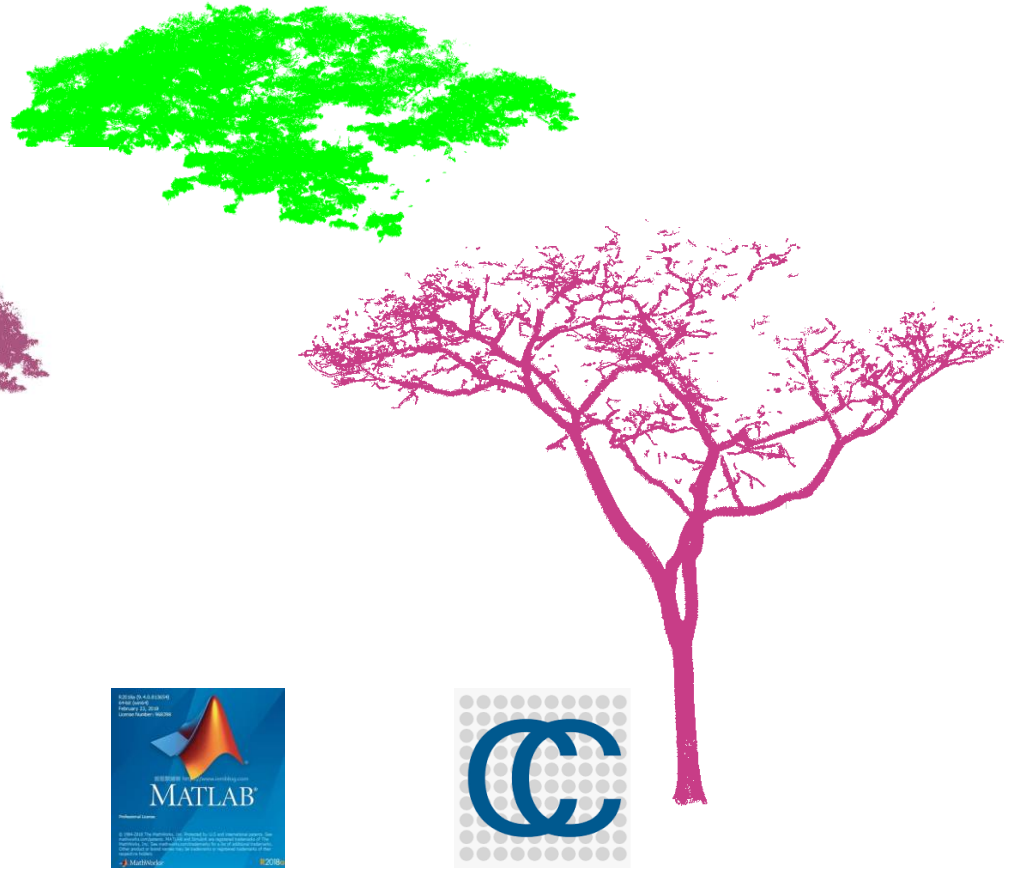
(Trochta *et al.,* 2017)

Traitement des données TLS

❑ *Mesure des paramètres dendrométriques*



❑ *Séparation bois/feuilles*

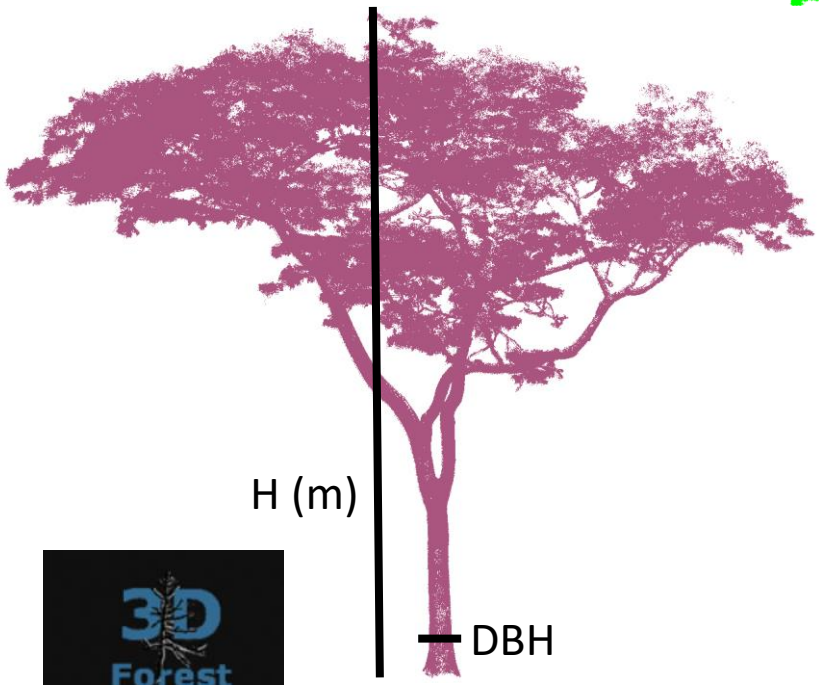


LeWoS

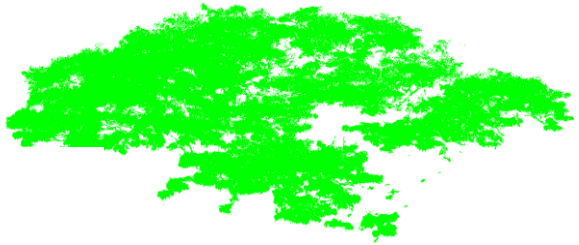
(Trochta *et al.*, 2017; Di Wang *et al.*, 2019)

Traitement des données TLS

❑ *Mesure des paramètres dendrométriques*

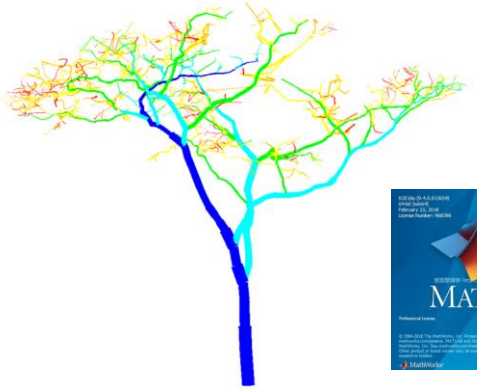


❑ *Séparation bois/feuilles*

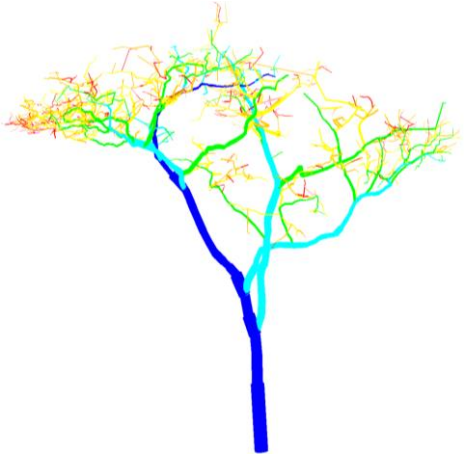


LeWoS

❑ *Modélisation Cylindrique*



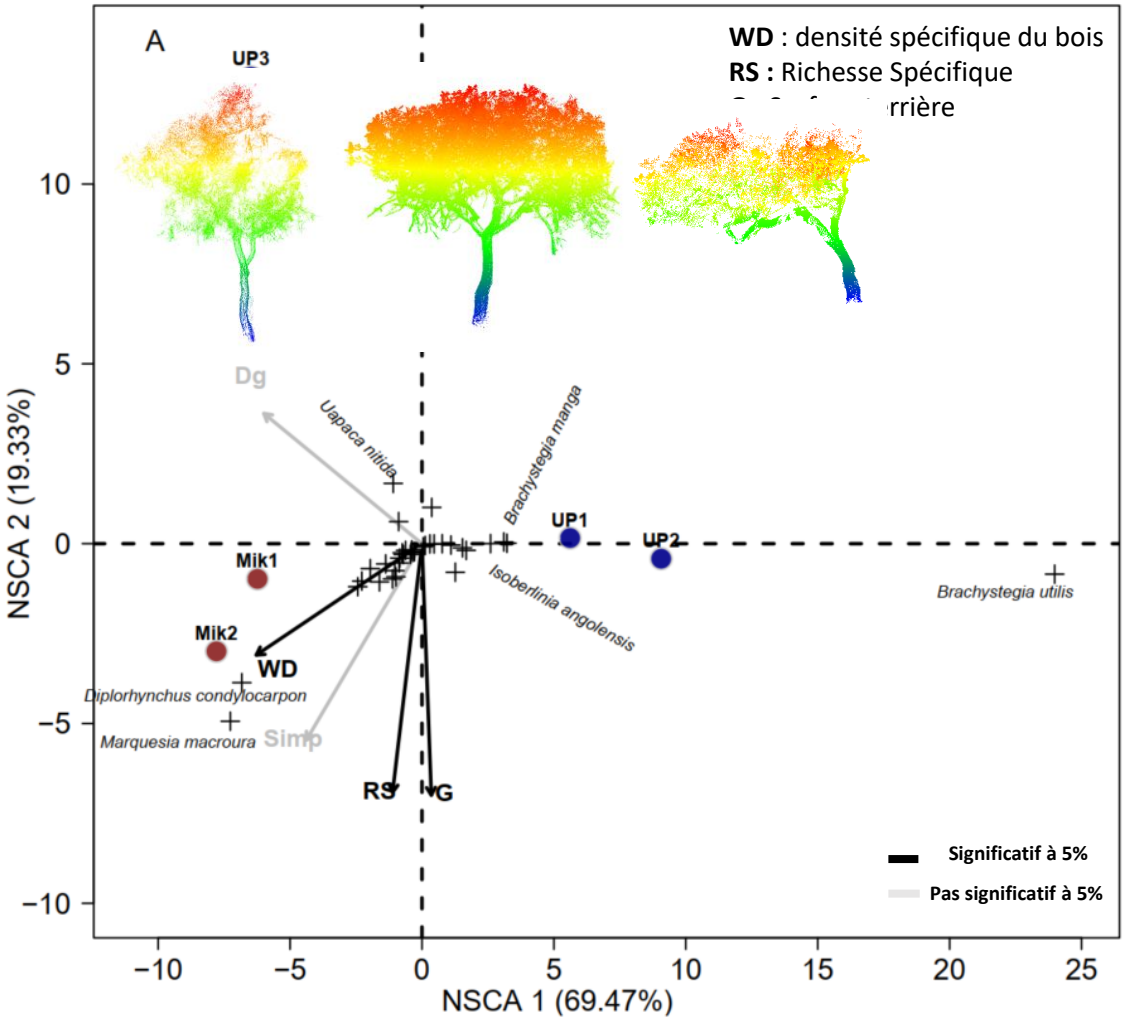
TreeQSM *V. 2.3.3*

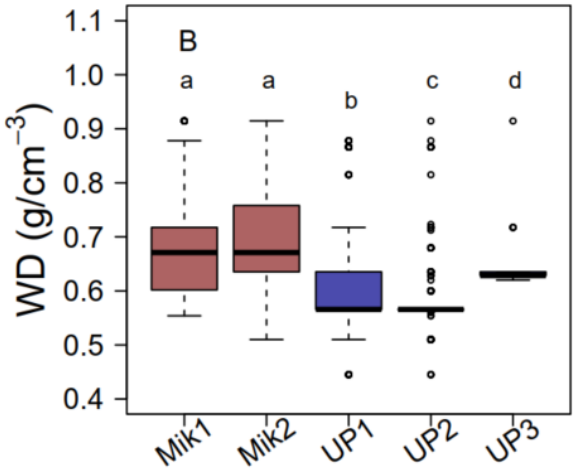


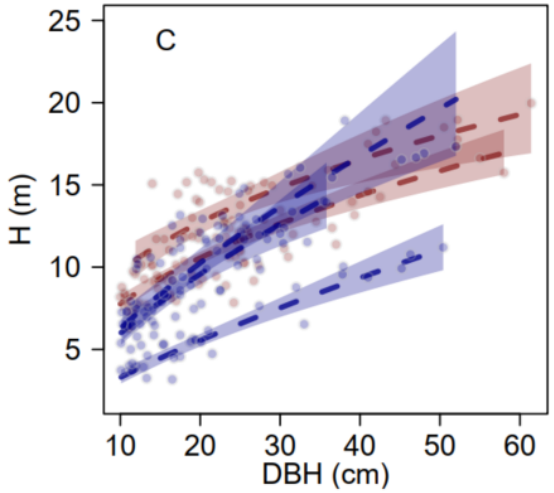
AMAPstudio-Scan 1.3-5250

(Trochta *et al.*, 2017; Di Wang *et al.*, 2019; Pasi *et al.*, 2013)

Composition floristique et structurale







- ✓ *(panel A)* NSCA explique 88,8% de la variation floristique et sépare les plots en 3 groupes distinct
- ✓ *(panel B)* WD varie significativement entre les sites
- ✓ *(panel C)* A part le plot UP3, la relation H:DBH entre les sites est relativement homogène

Calibration des équations allométriques

❑ *Conversion de volume en biomasse aérienne (AGB)*

✓ $\boldsymbol{AGB\ (Mg) = Vol_{tot} \times WD^{*}}$

*** WD densité pondérée**

Calibration des équations allométriques

❑ Conversion de volume en biomasse aérienne (AGB)

✓ $AGB\ (Mg) = Vol_{tot} \times WD^{*}$

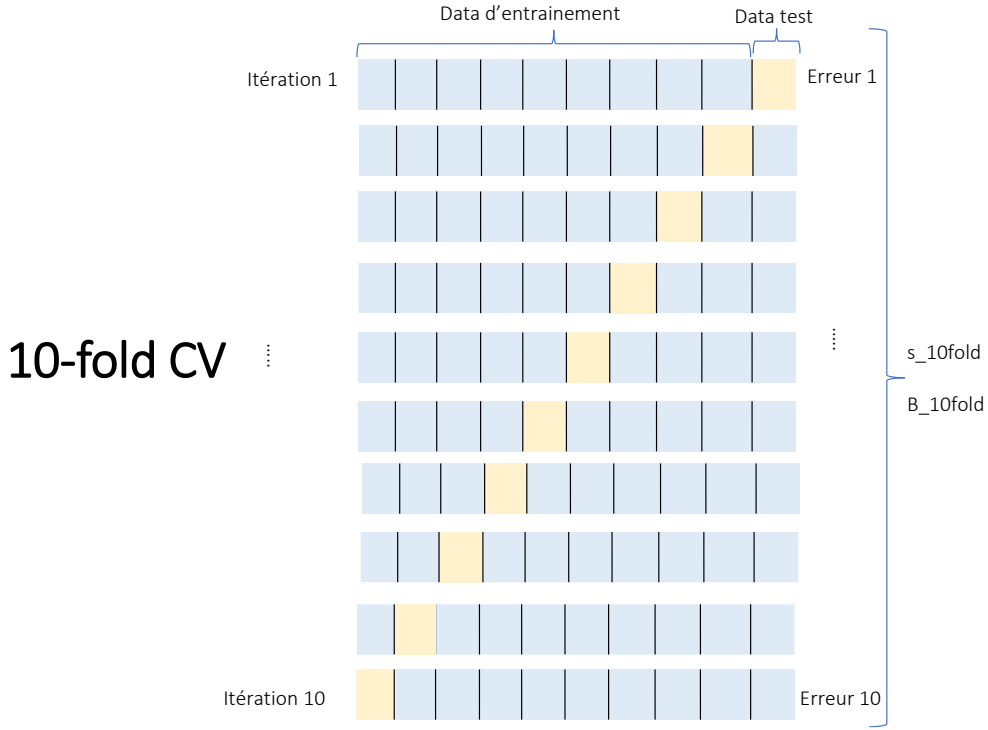
❑ Calibration des équations

N°	Model	Critères de performance				
		R^2	AIC	BIC	S (%)	B (%)
Mod. 1 :	ln(**AGB**) ~ a + b × ln(**DBH**)	0.91	193.44	203.54	16.22	2.48
Mod. 2 :	ln(**AGB**) ~ a + b × ln(**DBH² × H**)	0.91	187.27	197.37	14.8	-0.56
Mod. 3 :	ln(**AGB**) ~ a + b × ln(**DBH² × H × WD**)	0.92	158.76	168.85	12.85	-0.62
Mod. 4 :	ln(**AGB**) ~ a + b × ln(**DBH²**) + c × ln(**H**) + d × ln(**WD**)	0.93	142.74	159.57	12.02	0.91

*** WD : volume-weighted WD**

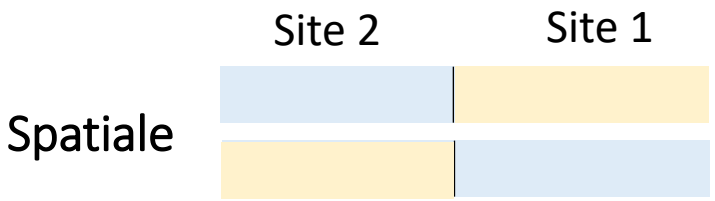
Validation des équations allométriques

N°	Model	10-fold CV			Spatiale CV		
		R^2	S (%)	B (%)	R^2	S (%)	B (%)
Mod. 1 :	$\ln(\mathbf{AGB}) \sim a + b \times \ln(\mathbf{DBH})$	0.92	16.27	2.49	0.92	19.76	2.42
Mod. 2 :	$\ln(\mathbf{AGB}) \sim a + b \times \ln(\mathbf{DBH^2 \times H})$	0.9	14.84	-0.44	0.90	15	0.67
Mod. 3 :	$\ln(\mathbf{AGB}) \sim a + b \times \ln(\mathbf{DBH^2 \times H \times WD})$	**0.9**	**13.04**	**-0.3**	**0.91**	**13.04**	**0.77**
Mod. 4 :	$\ln(\mathbf{AGB}) \sim a + b \times \ln(\mathbf{DBH^2}) + c \times \ln(\mathbf{H}) + d \times \ln(\mathbf{WD})$	0.92	16.21	2.43	0.92	19.65	2.51



Validation des équations allométriques

N°	Model	10-fold CV			Spatiale CV		
		R^2	S (%)	B (%)	R^2	S (%)	B (%)
Mod. 1 :	$\ln(\mathbf{AGB}) \sim a + b \times \ln(\mathbf{DBH})$	0.92	16.27	2.49	0.92	19.76	2.42
Mod. 2 :	$\ln(\mathbf{AGB}) \sim a + b \times \ln(\mathbf{DBH^2 \times H})$	0.9	14.84	-0.44	0.90	15	0.67
Mod. 3 :	$\ln(\mathbf{AGB}) \sim a + b \times \ln(\mathbf{DBH^2 \times H \times WD})$	0.9	13.04	-0.3	**0.91**	**13.04**	**0.77**
Mod. 4 :	$\ln(\mathbf{AGB}) \sim a + b \times \ln(\mathbf{DBH^2}) + c \times \ln(\mathbf{H}) + d \times \ln(\mathbf{WD})$	0.92	16.21	2.43	0.92	19.65	2.51

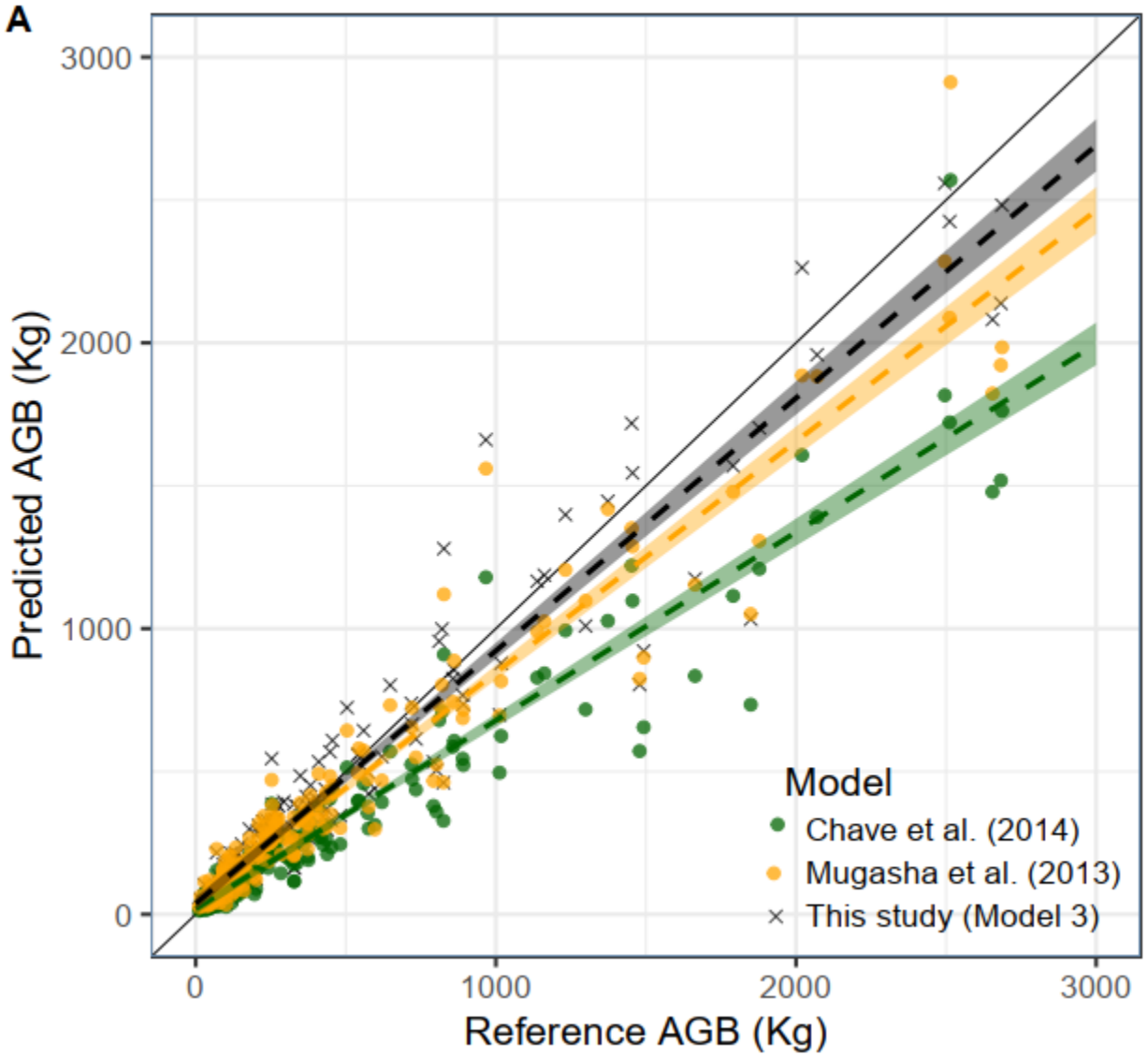


Validation des équations allométriques

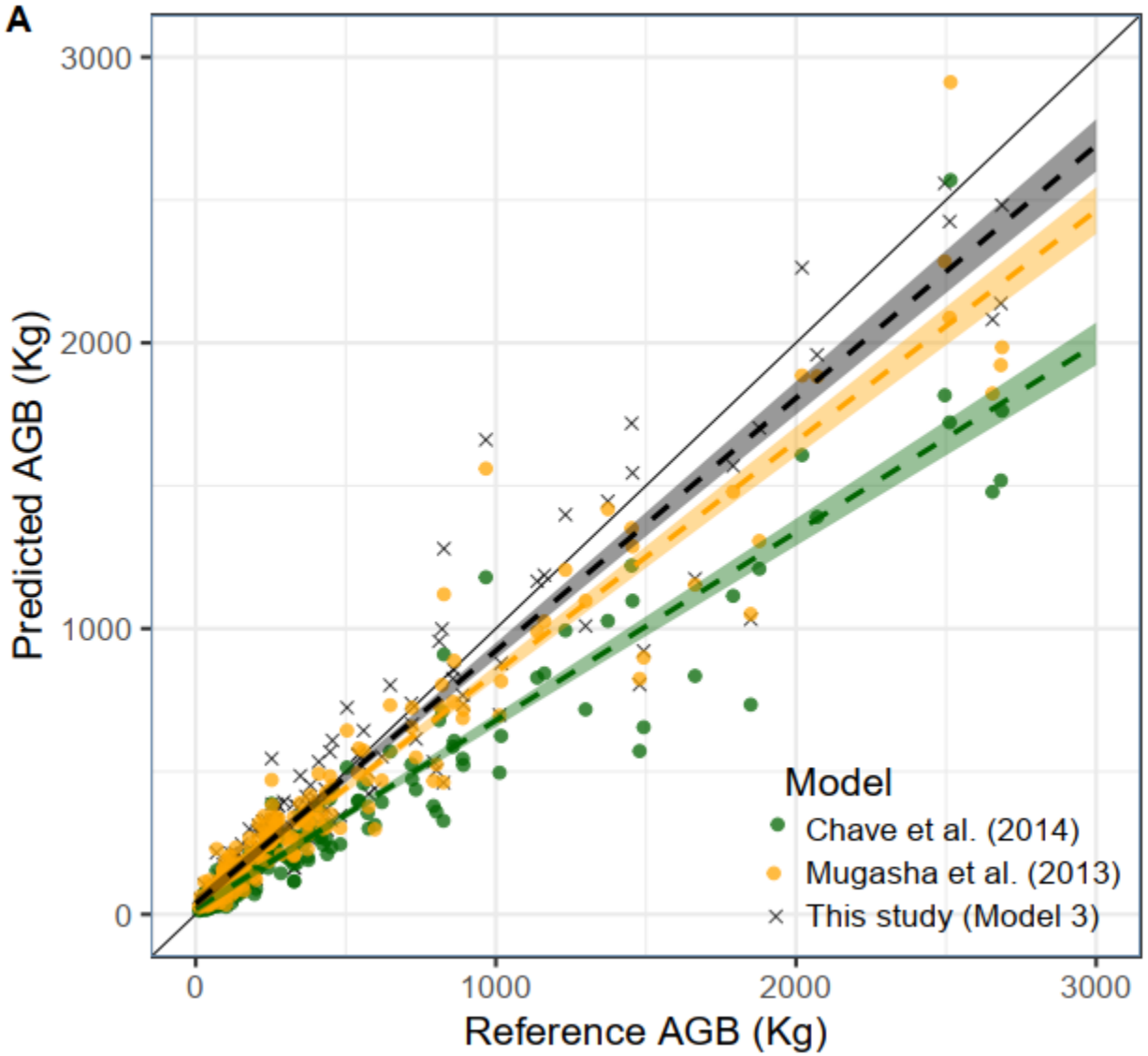
N°	Model	10-fold CV			Spatiale CV		
		R^2	S (%)	B (%)	R^2	S (%)	B (%)
Mod. 1 :	$\ln(\mathbf{AGB}) \sim a + b \times \ln(\mathbf{DBH})$	0.92	16.27	2.49	0.92	19.76	2.42
Mod. 2 :	$\ln(\mathbf{AGB}) \sim a + b \times \ln(\mathbf{DBH^2} \times \mathbf{H})$	0.9	14.84	-0.44	0.90	15	0.67
Mod. 3 :	$\ln(\mathbf{AGB}) \sim a + b \times \ln(\mathbf{DBH^2} \times \mathbf{H} \times \mathbf{WD})$	0.9	13.04	-0.3	**0.91**	**13.04**	**0.77**
Mod. 4 :	$\ln(\mathbf{AGB}) \sim a + b \times \ln(\mathbf{DBH^2}) + c \times \ln(\mathbf{H}) + d \times \ln(\mathbf{WD})$	0.92	16.21	2.43	0.92	19.65	2.51

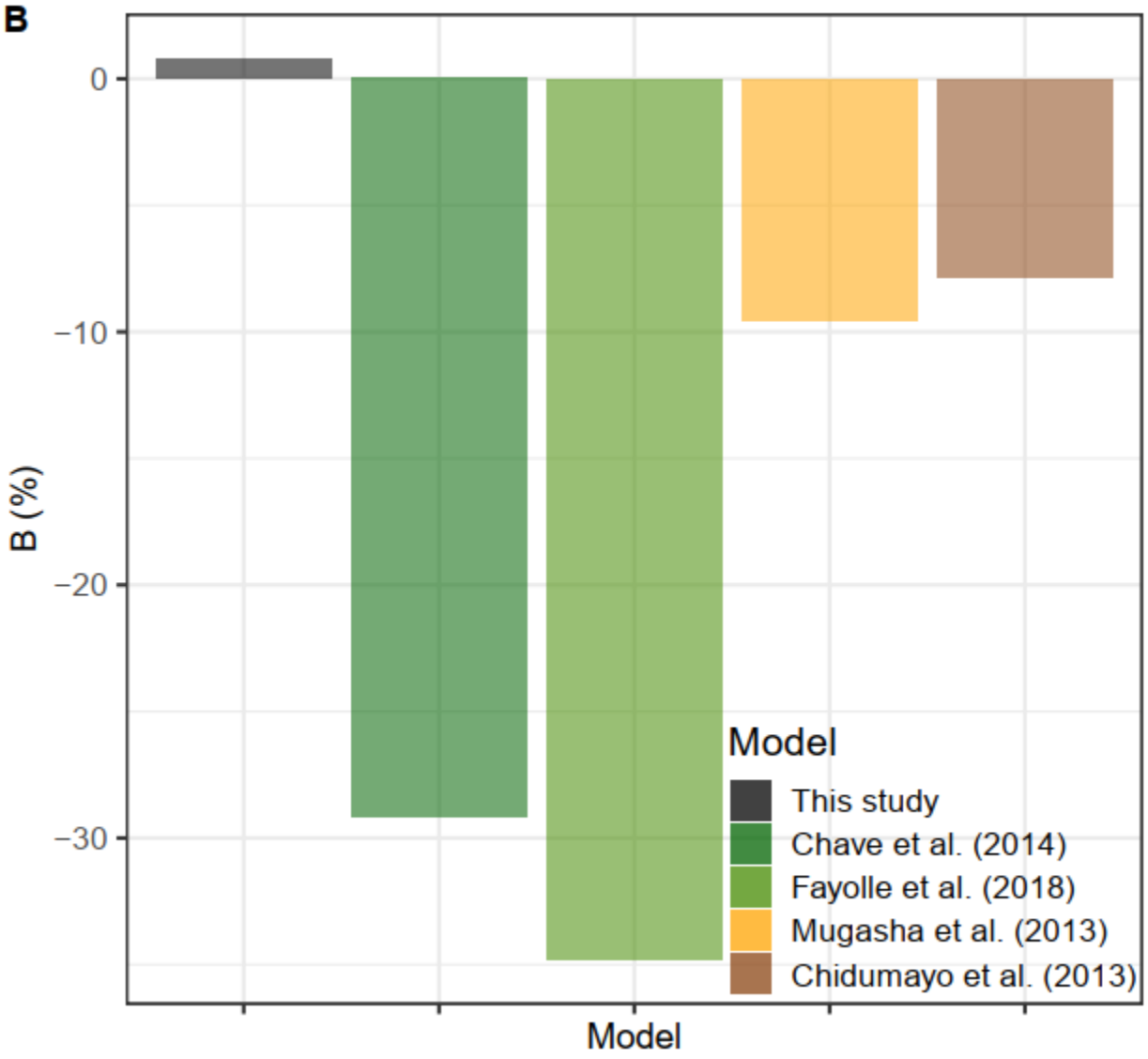
$$\textbf{Mod. 3: } \ln(AGB) \sim -2.59 + 0.98 \times \ln(DBH^2 \times H \times WD)$$

Comparaison avec la littérature



Comparaison avec la littérature





Points importants

- ✓ D'implémenter une approche semi supervisée pour le traitement des données TLS dans le Miombo

- ✓ De doter la RD Congo des équations allométriques de biomasse de référence pour le Miombo
  - Des processus tels que la REDD+ et MNV

- ✓ De servir à la calibration des estimations d'AGB issues des satellites GEDI (NASA) ou BIOMASS (ESA)

Next Points

- ❑ Coupler l'échantillonnage TLS à l'approche destructive
- ❑ Dériver les métriques de structure du houppier permettant d'améliorer la calibration de ces équations allométriques

Merci de votre attention