



HAL
open science

Modélisation de la biomasse et de la minéralomasse

Laurent Saint-André, Astrid Genet, Mathieu Jonard, Holger H. Wernsdorfer,
Laura Franoux, Sébastien Conil, Philippe Santenoise, Arnaud A. Legout,
Jacques J. Ranger, Alain Bouvet, et al.

► **To cite this version:**

Laurent Saint-André, Astrid Genet, Mathieu Jonard, Holger H. Wernsdorfer, Laura Franoux, et al..
Modélisation de la biomasse et de la minéralomasse. Colloque Bioénergies ANR, Sep 2013, France.
49 p. hal-02809682

HAL Id: hal-02809682

<https://hal.inrae.fr/hal-02809682>

Submitted on 6 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Modélisation de la biomasse et de la minéralomasse

Programme Bioénergies Edition 2008

Saint-André L., Genet A., Jonard M., Wernsdorfer H., Franoux L., Conil S., Santenoise Ph., Legout A., Ranger J., Bouvet A., Nys C., Turpault MP., Calvaruso C., Vallet P., Longuetaud F., Meredieu C., Augusto L. Berthelot. A., Bastien J-C., Ponette Q., Hounzandji P-I., Deleuze C.

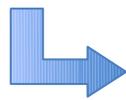


Technische Universität München

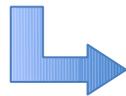
Contexte

Bien.... Qui va chercher la balance?

Avoir des estimations robustes, précises de la biomasse et de la minéralomasse sur pied



Quantification de la ressource



Fonctionnement des écosystèmes



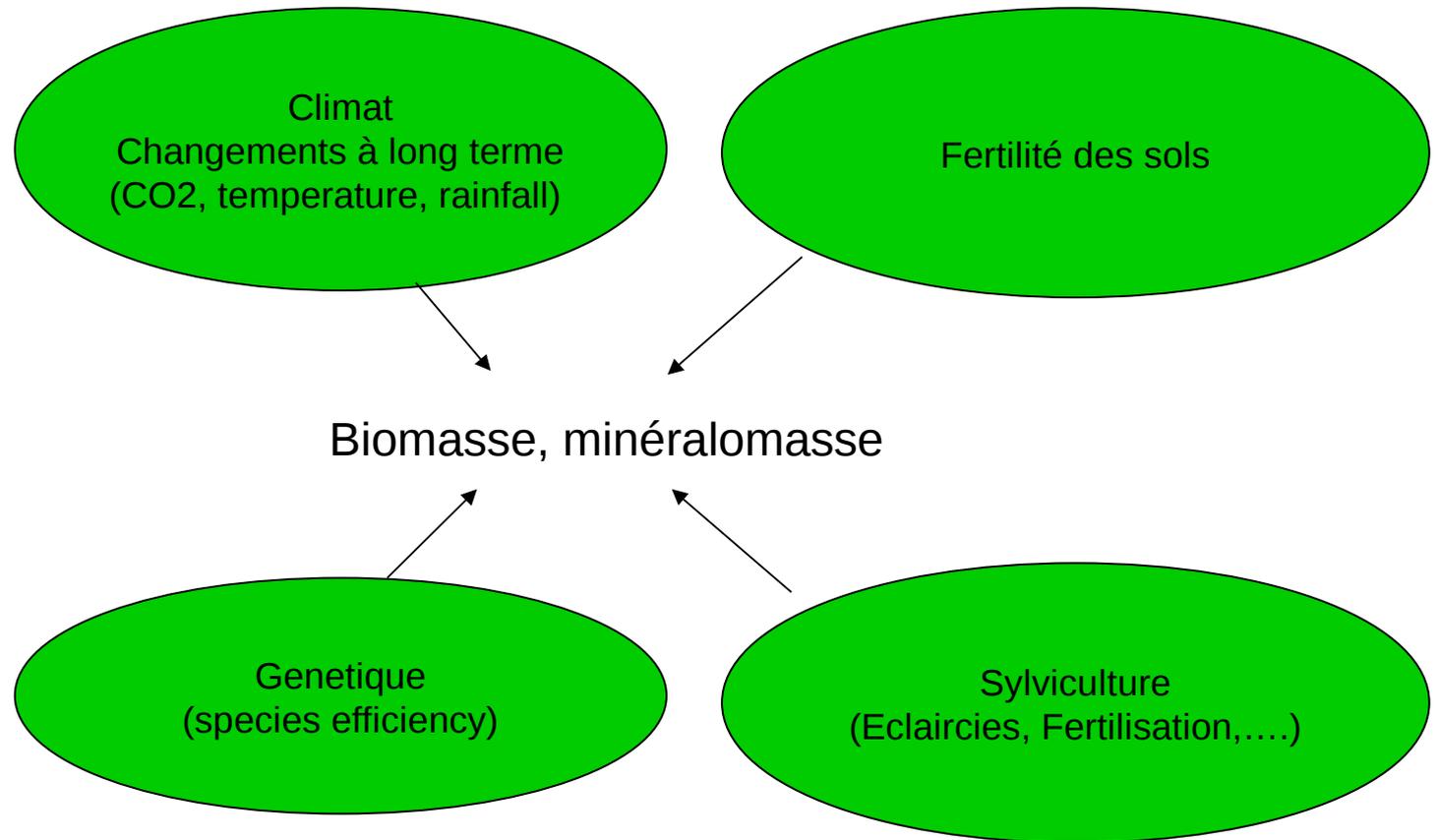
Contexte

On ne serait pas perdus là?....., et il nous faudrait peut-être d'autres balances ??

problème d'autant plus compliqué que les peuplements forestiers ne sont pas que mono-spécifiques....



Contexte



Mesures de biomasse-minéralomasses centralisées, données partagées

	Broyages	Minéralisation	Analyse (C, N, P, K, Ca, Mg, S, Na, Mn, Al)		MIRS
Anciennes données BEF	1367 arbres sur 30 ans				
<i>Résineux</i>					176 échantillons
EMERGE Campagne 2009	102 arbres				
32 hêtres, 23 érables sycomore, 1 tilleul, 8 bouleaux, 5 réserves chêne, 5 réserves hêtre, 10 charmes, 7 trembles, 9 érables champêtres	704 échantillons	2010	2010	2010-2011	tous été 2010 + tous été 2012 (NIRS-MIRS)
EMERGE Campagne 2010	127 arbres				
21 chênes, 8 chênes pubescents, 16 aulnes, 18 eucalyptus, 8 robinier, 24 chênes verts, 8 pin d'Alep, 8 bouleaux, 8 frênes, 8 Tilleuls	1118 échantillons	2011	392/1118 (sept 2012)	392/1118 (oct 2012)	tous finis dec 2012
EMERGE Découpage Perche Trappe	103 arbres				
Chronoséc					tous finis (1er trimestre 2013)
Pédonculé cœur, dens dans les ti					
SYLVABIOM					finis dec 2012
Douglas, e arbres par					
SYLVABIOM					
Cupressocyparis, Sequoia	190 échantillons	2012	Fait 52/190	Fait 52/190	tous finis dec 2012
SYLVABIOM- Campagne 2011 a	30 arbres				
Mélèze, Douglas	376 échantillons	2012	Fait 108/376	Fait 108/376	tous finis dec 2012
SYLVABIOM- Campagne 2012 a	15 arbres				
Mélèze	145 échantillons	2012	20 à 30% (4ième trimestre 2012)	20 à 30% (4ième trimestre 2012)	tous finis dec 2012
SYLVABIOM- Campagne 2012 b	27 arbres + 7 peuplements				
Robinier, Cupressocyparis leylandii, TTCR Peuplier	148 échantillons	2012	20 à 30% (4ième trimestre 2012)	20 à 30% (4ième trimestre 2012)	tous finis dec 2012

Point en janvier 2013

Emerge + SylvaBiom = 472 arbres 4 ans

Ensemble des campagnes BEF = 1367 arbres en 30 ans

Apport financier EMERGE, ANDRA, ONE, et SylvaBiom



Biomasse / Minéralomasse - Protocoles formalisés et publiés



Protocole d'acquisition de données volume-biomasse-minéralomasse Bure 2009

Établi par :

M. Rivoire¹, A. Gene², S. Didier², C. Nys³, A. Legout², F. Longuetaud¹, E. Cornu¹, C. Freyburger¹, A. Motz⁴, N. Bouxiero¹, L. Saint-André⁵

¹ Laboratoire d'Etude des Ressources Forêt-Bois (LERFoB), Equipe Qualité des Bois, UMR1092 INRA, AgroParisTech, 54280 Champenoux, France

² Biogéochimie des Écosystèmes Forestiers, INRA-Nancy, 54280 Champenoux, France

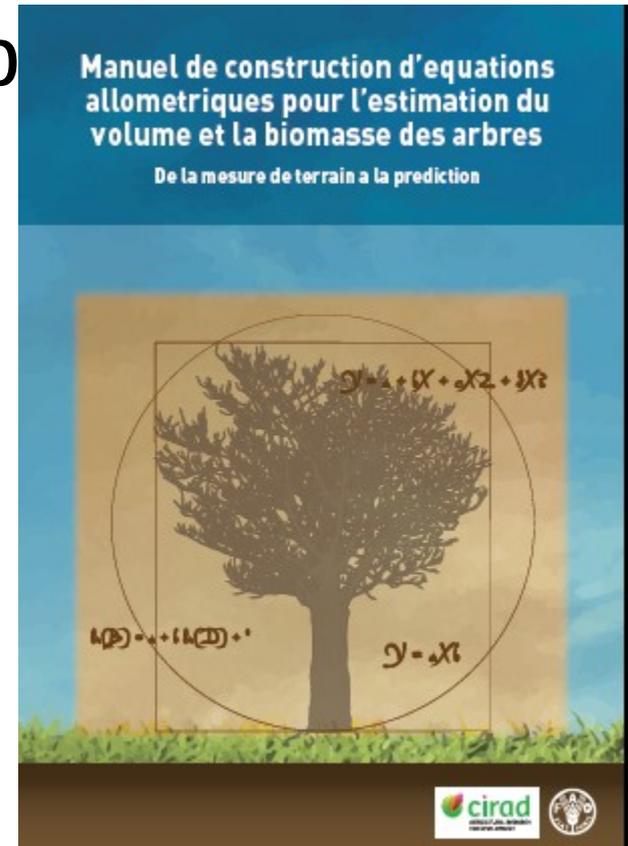
³ Lehrstuhl für forstliche Wirtschaftslehre der TUM, Am Hochanger 13 85354 Freising, Allemagne, gene@tum.de

⁴ UFR80 Ecosystèmes de Plantation, CIRAD - Biogéochimie des Écosystèmes Forestiers, INRA-Nancy, 54280 Champenoux, France

Date : juin 2009



Projet ANR-08-BIO-001 / Protocole_Bure2009_REF_LERFoB.doc



Protocoles testés puis améliorés lors des campagnes Emerge; adaptation pour Sylvabiom

Publication de référence (Editeur FAO et Cirad) sur la construction de modèles allométriques



Biomasse / Minéralomasse – Création d'une base de

http://www.globallometree.org/

isearch.avg.com

Waiting for globallometree... x

Rechercher

Sûre

Do Not Track

Météo

Facebook

GlobAllomeTree

Assessing volume, biomass and carbon stocks of trees and forests.

FAO

ciрад

Home About Data Software Documents Contributors Log In Register

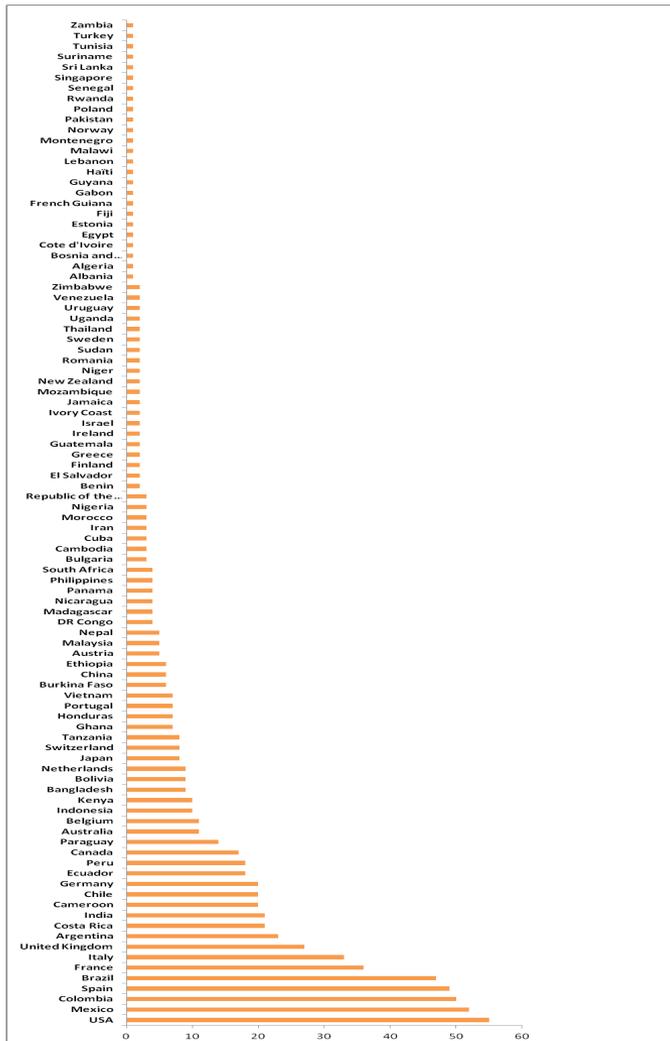
GlobAllomeTree is an international web platform for tree allometric equations to support volume, biomass and carbon stock assessment

11:37
18/09/2013

Apport des équations « France » recensées par EMERGE dans la littérature (notamment grise)



Biomasse / Minéralomasse – Création d'une base de donnée internationale sur les équations allométriques



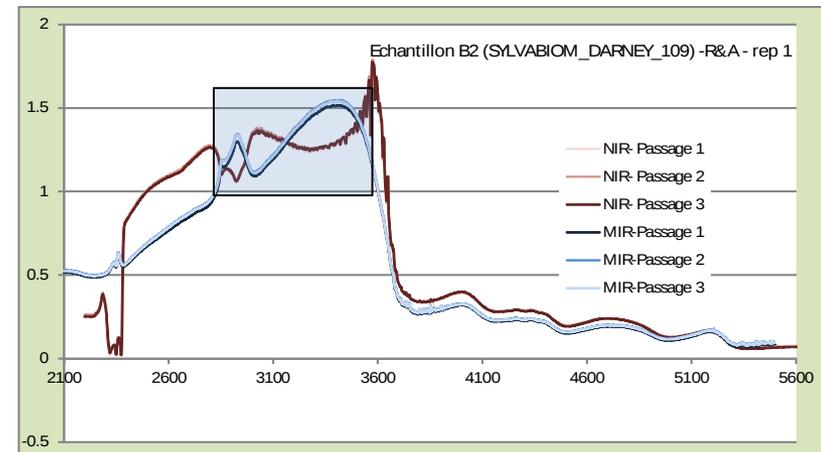
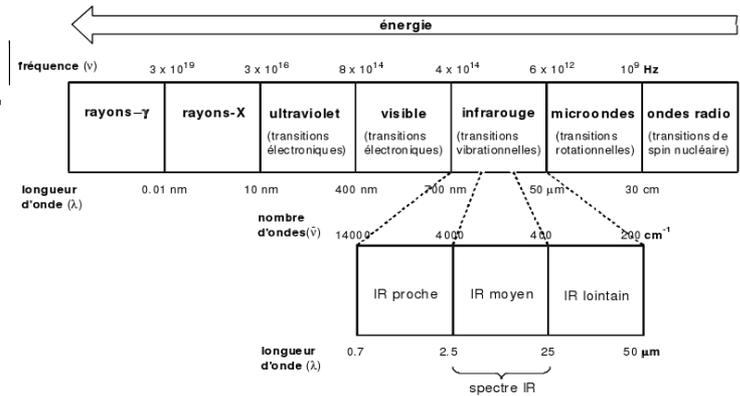
Globalometree, 4 mois
après le lancement

> 800 Utilisateurs dans > 95
Pays and > 440 instituts

Effet levier fort des projets ANR

(ex Equipe Acquisition NIRS-MIRS par BEF pour démultiplier les mesures minérales

- Montage projet FEDER, janvier 2011, effet levier Projets ANR (68ke pour NIRS-MIRS)
- Acceptation Février 2011
- Lancement du marché Juin 2011 (3 concurrents)
- Essais machines Septembre 2011 sur échantillons EMERGE (2 concurrents)
- Sélection et achat Septembre 2011
- Livraison fin novembre 2011



Modélisation de la biomasse et de la concentration en éléments minéraux

Méthode de travail innovante

Progression par ateliers d'une semaine

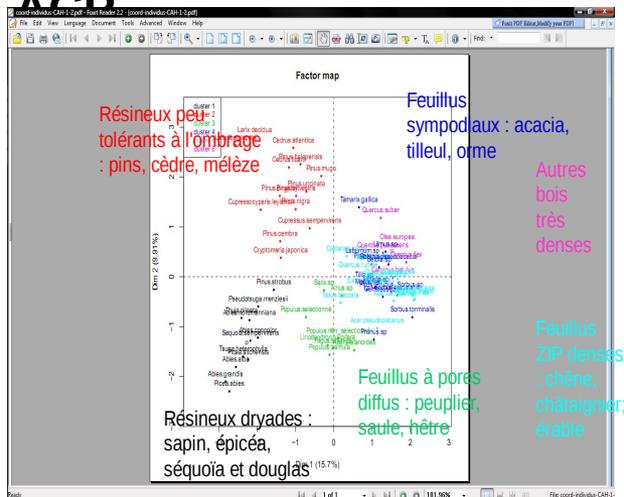
(visioconférence le matin, tâches effectuées l'après midi)

8 à 10 chercheurs qui travaillent au même moment sur la même problématique, partage des tâches

Forte progression sur les cadres conceptuels d'analyse

Travaux en simultané sur différentes essences ciblées par

ACD



DOUGLAS (142),
PEUPLIER (105),
PIN MARITIME
(207), EUCALYPTUS
(188),
HETRE (238),
CHENE (114)

Un enjeu majeur: la généricité pour traiter les essences « orphelines »

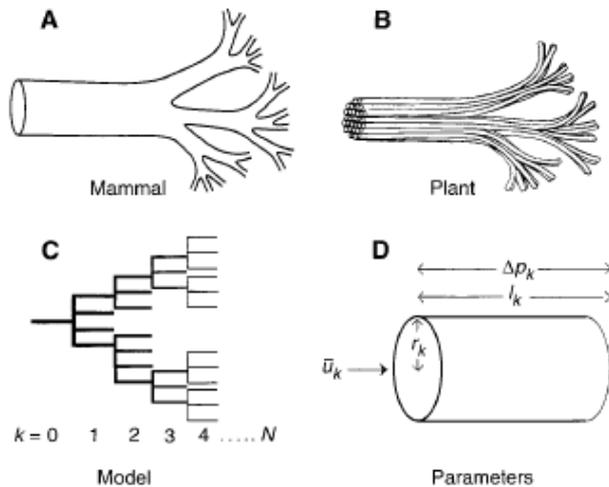


BIOMASSE



La littérature sur les équations de biomasse balance entre deux pôles opposés:.....

A- Le groupe West, Brown and Enquist ont développés une approche théorique de l'allométrie en biologie basée sur les propriétés fractales des arbres = allometric biomass partitioning theory (APT) by McCarthy and Enquist (2007)



Deux paramètres principaux:

a pour prendre en compte la stabilité mécanique des arbres
 \bar{a} pour minimiser la résistance des flux d'eau dans les arbres

En prenant $a=1$ pour satisfaire des contraintes (toutes les cellules irriguées, contraintes biomécaniques uniformes), « the tree mass is predicted to be related to the tree diameter raised to a power $s=8/3 \approx 2.67$ »

From West et al. 1997:

Mais ce type de modèle permet plus d'explorer des variations de biomasses entre grand groupes de plantes (différents ordre de grandeur) que de prédire spécifiquement, pour une essence, la biomasse sur pied à un temps t

La littérature sur les équations de biomasse balance entre deux pôles opposés:.....

B- Un très large groupe d'équations purement statistiques, avec peu d'attention sur les significations biologiques des paramètres, ces modèles étant fiables uniquement dans leur domaine de calibration

Equations de formes très différentes

Souvent calibrées sur un faible nombre d'arbres, avec une gamme de taille des arbres souvent restreinte

Catalogues et bases de données commencent à être disponibles (ex: Zianis pour l'Europe; Navar pour l'Amérique sud; Henry pour l'Afrique)

Modèles trop spécialisés et donc peu extrapolables



*Mais si elles sont toutes rassemblées, possibilité de ré-exploiter l'information qu'elles contiennent? (idée à l'origine de la création de globalometree)
Voir ci-après pour exemple d'analyse globales*

Un cadre mathématique posé :.....

γ donne la proportionnalité entre les
incréments relatifs en volume et en biomasse
si $\alpha=0$, β et γ invariant en fonction du temps

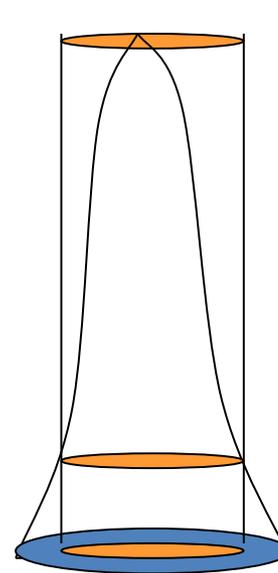
**D2H = proportionnel au
volume de l'arbre(=Vol *
FacteurForme)**

β englobe la densité du bois et le
paramètre de forme; il donne la
proportionnalité entre le volume et
la biomasse

**Et biomasse = volume
* densité du bois**

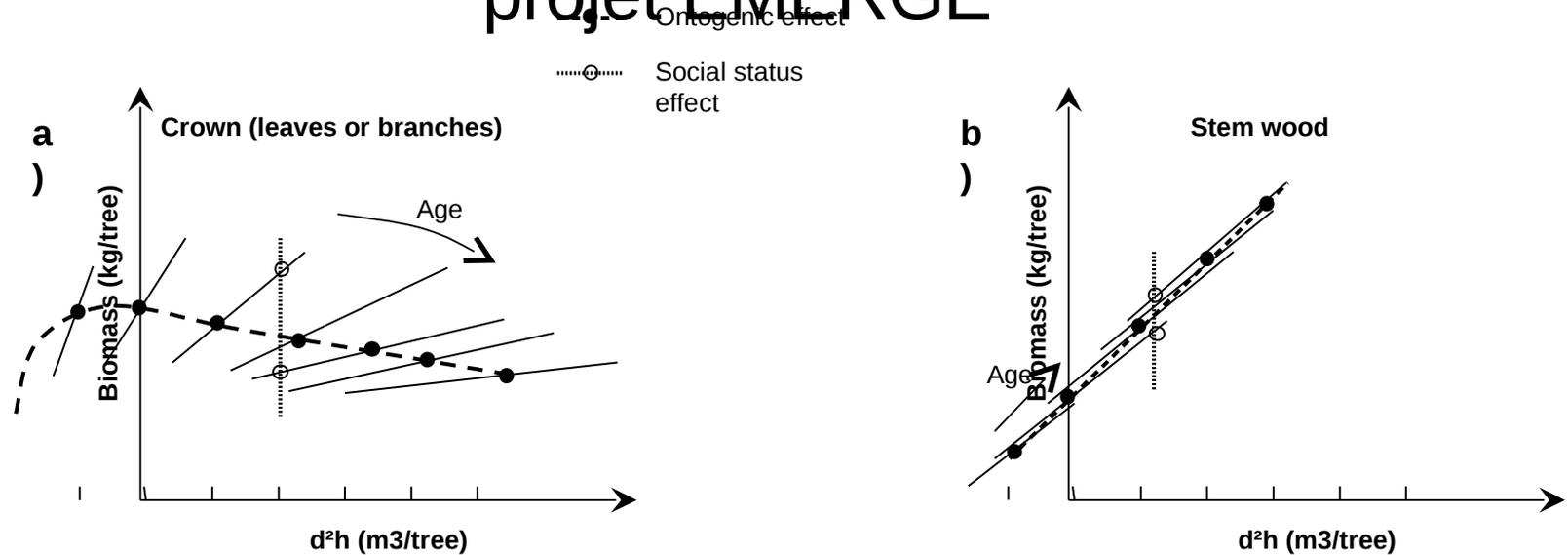
α donne la biomasse de
l'arbre juste avant qu'il
atteigne la hauteur de découpe

**D2H est donc très bien
corrélé à la biomasse d'un
arbre**



**Avec des résultats prometteurs sur l'eucalyptus (Saint-André et al. 2005) pour
avoir une seule équation quelque soit les stades de développement (variation
de b en fonction de l'âge) pour la majorité des compartiments**

Et pose d'un cadre conceptuel en début de projet EMERGE



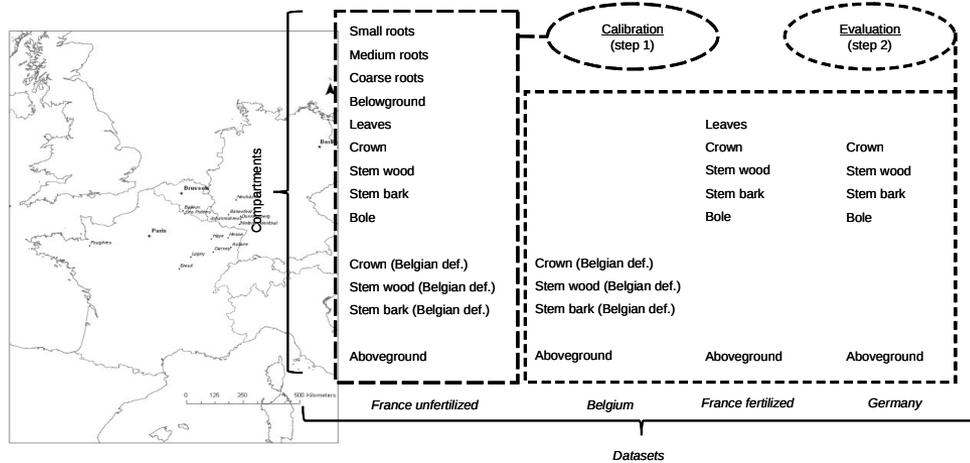
À partir de Saint-Andre et al. (2005) et McCarthy and Enquist (2007)

1- la biomasse dépend de facteurs interne (APT) et externe (OPT = conditions de croissance déterminent l'allocation aux organes) mais l'importance relative des deux processus dépend des essences

2- Le schéma est probablement similaire entre deux essences de même plan ligneux (agencement des cellules de bois dans l'arbre) et de même modèle architectural (developpement de la branchaison)

Test des hypothèses sur Hêtre, Chêne, Douglas, Peuplier, Eucalyptus

Fagus Silvatica (367 arbres), rassemblées, traitées



Pseudotsuga Menziessi (env. 150 arbres)

Résineux	INRA	FCBA
Douglas	125 arbres	36 arbres

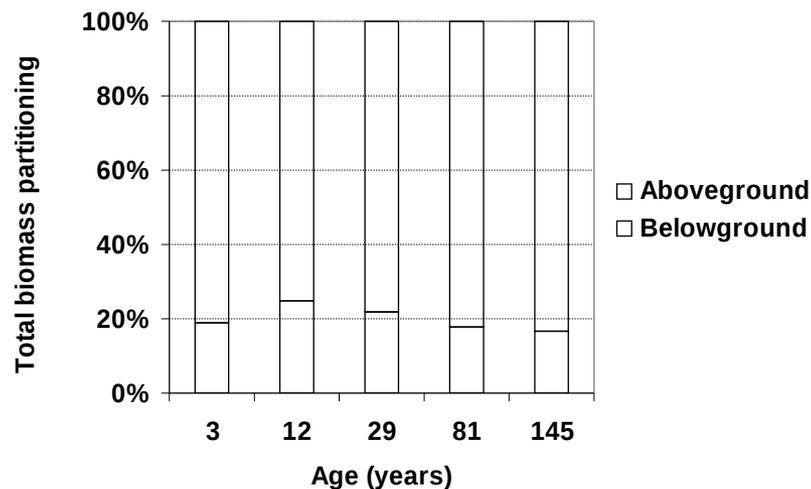
Quercus Robur et Quercus Petraea (400 arbres), rassemblées et traitées

	Delevoy		Découpe7		Découpe 0
	Global	Tissus	Global	Tissus	Global
UCL	37	37			
INRA	216	200	295	259	363

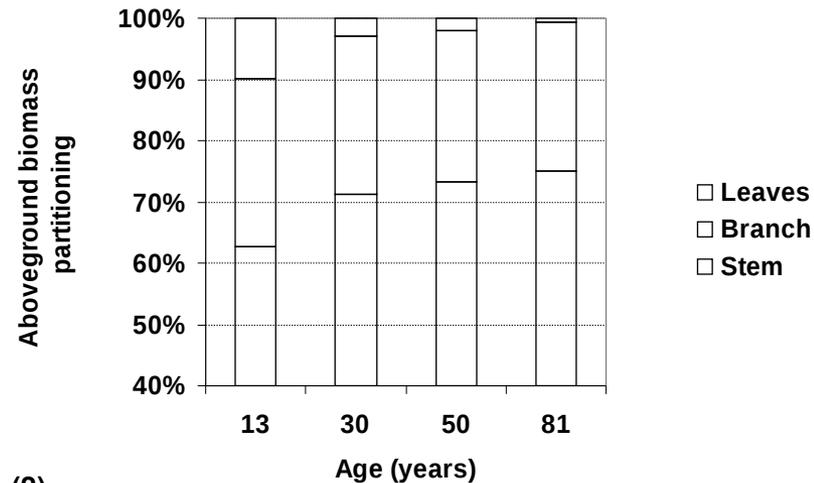
Focale sur Hêtre pour analyser les facteurs de variation des équations de biomasse (données européennes, effet fertilisation, fertilité des sols)



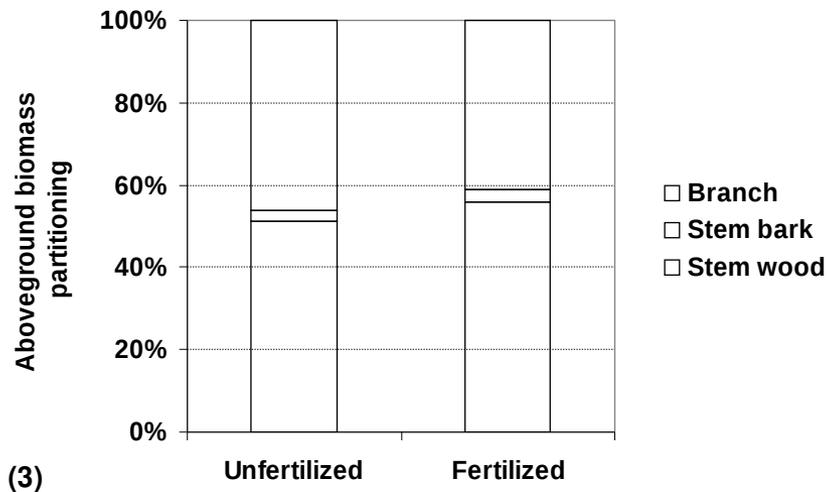
Résultats sur le Hêtre



(1)



(2)



(3)

Biomasse souterraine représente environ 20% de la biomasse totale

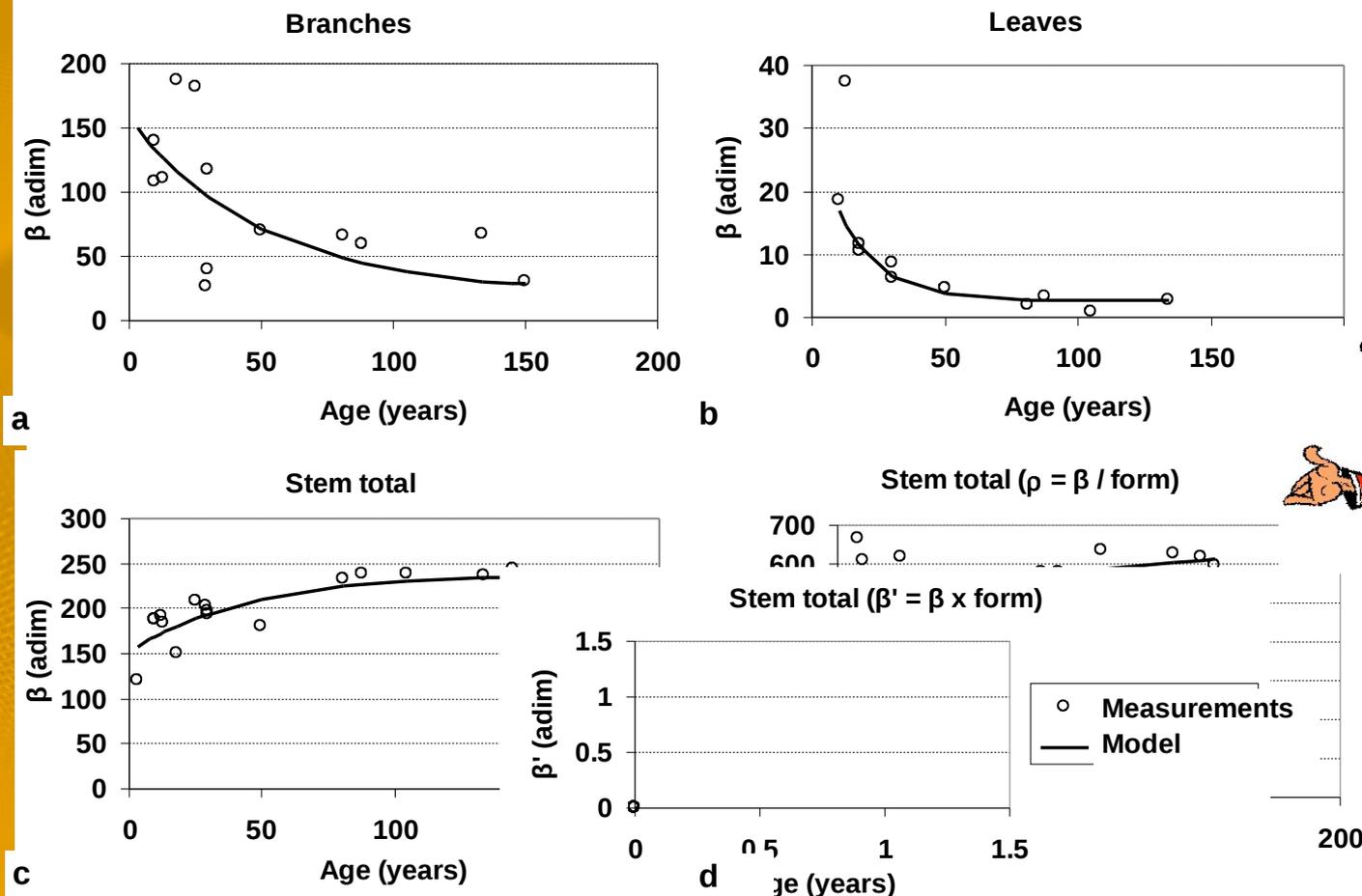
Au fur et à mesure que les arbres grandissent, la proportion de branche et de feuilles diminuent et celle du tronc augmente

La fertilisation change significativement les proportions (moins de branches et plus de tronc)



Résultats sur le Hêtre

Le schéma conceptuel vérifié:



Bingo !



La pente de la relation entre D2H et la biomasse diminue avec l'âge pour les compartiments du houppier et augmente pour le tronc



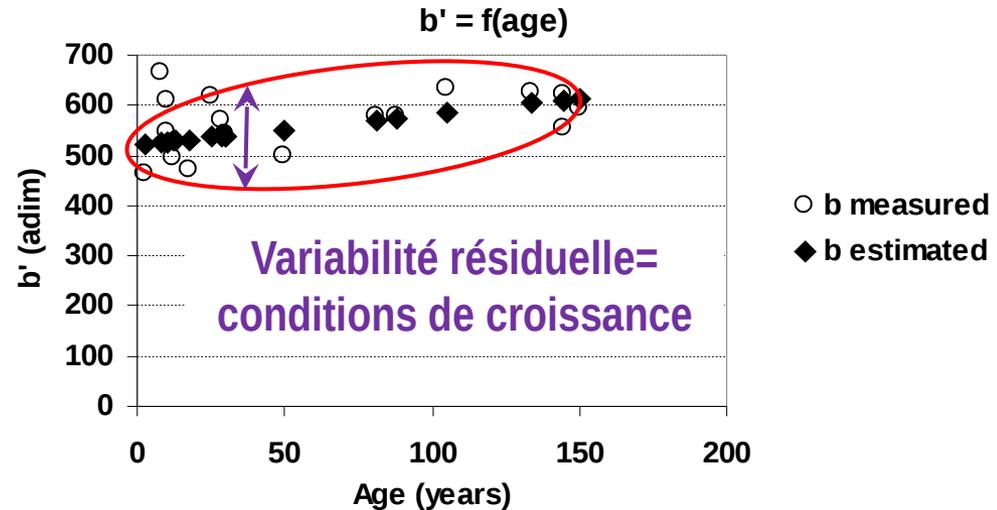
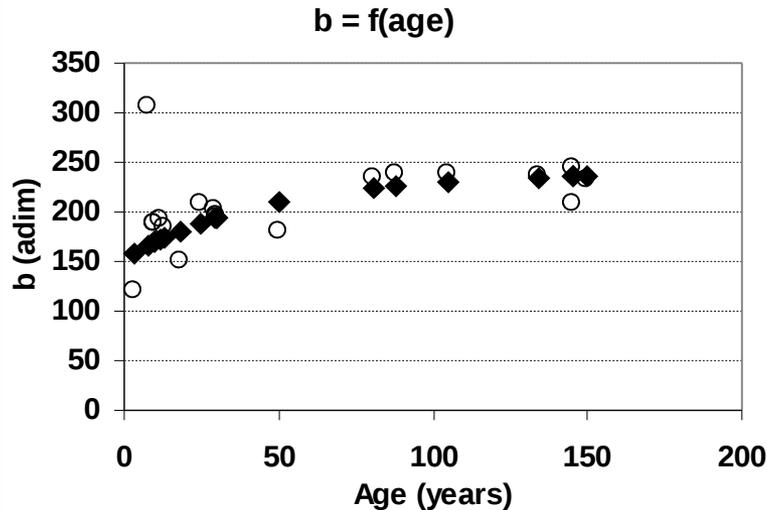
Résultats sur le Hêtre

Quelles explications biologiques?

Bois du tronc

$$b = \text{Form} (= \text{Volume} / d^2h) * b'$$

Av: 554 kg/m³ □
b'=wood density

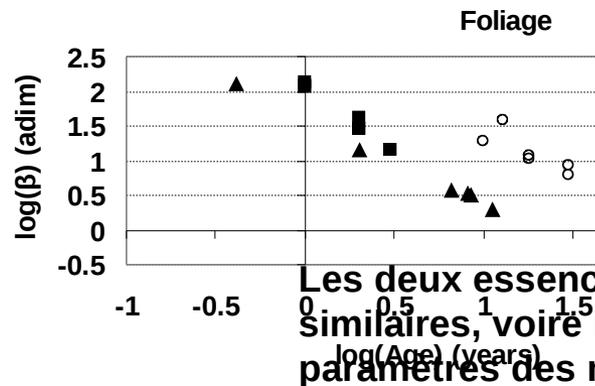
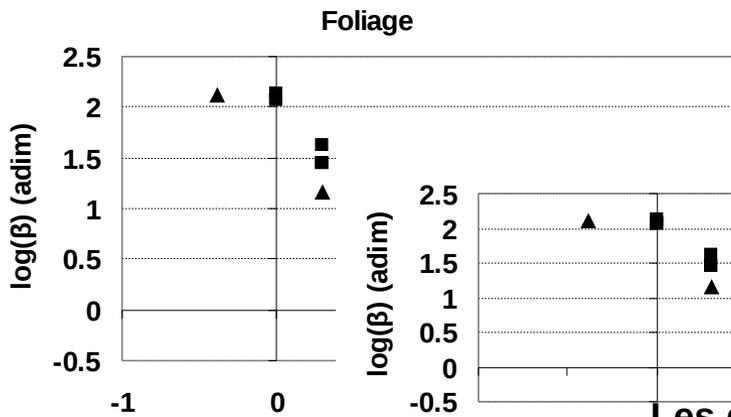
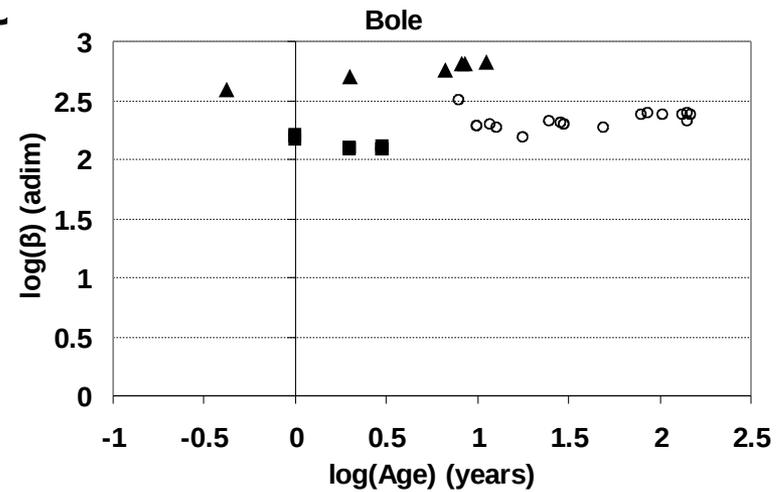
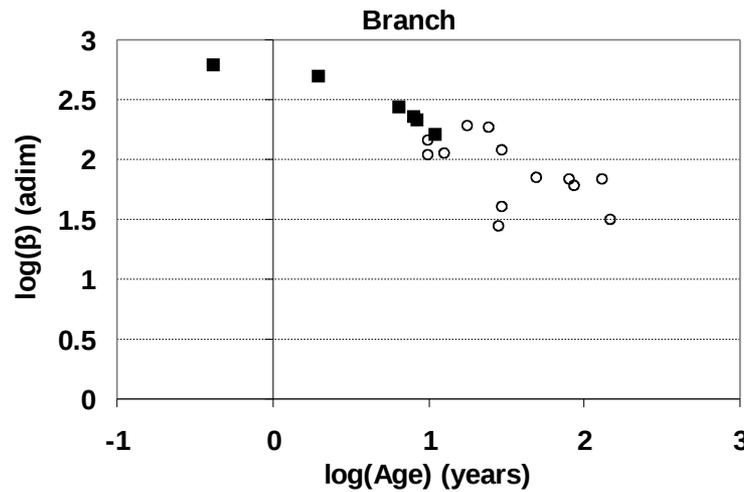


Variations de b dans les jeunes stades= principalement du à des changements de forme (conique à cylindrique)

Variations de b dans les stades âgés= principalement du à des changements de densité (augmentation régulière et significative)

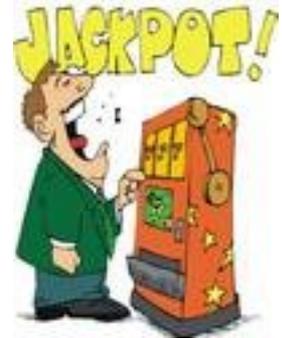


Résultats sur le Hêtre, comparaison avec



- European beech - France
- ▲ Eucalyptus - Congo
- Eucalyptus - Brasil
- Eucalyptus - Brasil
- Eucalyptus - Brasil

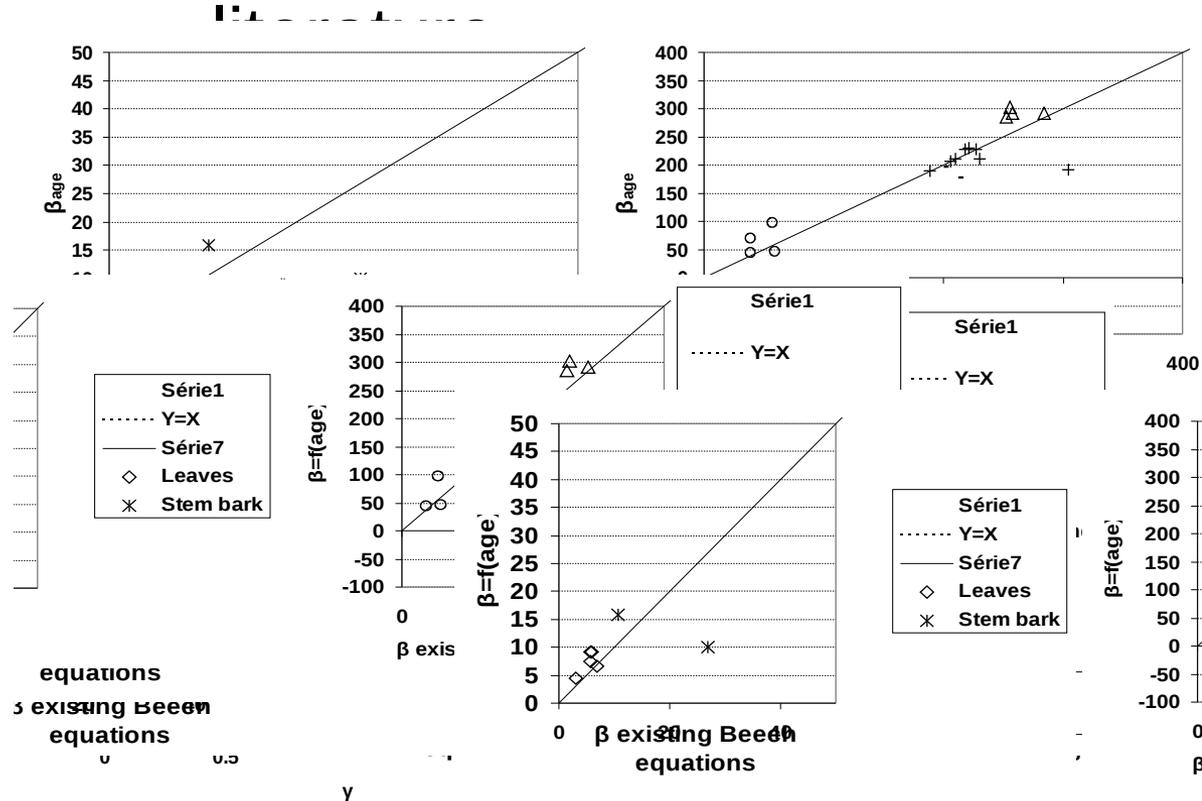
Les deux essences présentent des schémas très similaires, voire identiques quant aux variations des paramètres des modèles avec l'âge



Résultats sur le Hêtre, confrontation avec la

A partir de Zianis et al. (2005). 48 équations référencées. Aucune ne simule correctement la biomasse mesurée dans l'échantillonnage Hêtre

A l'inverse, en utilisant l'âge indiqué dans chaque publication et les équations Genet et al. 2011, il est possible de retrouver la pente indiquée dans chaque papier



Revisiter les catalogues pour ajuster des modèles “grossiers” essence par essence ?



Evaluation sur jeux de données fertilisés et européens

		Belgique	Allemagne		France
		Peup Mixte	Non Fertilisés	Fertilisés	Fertilisés
Compartiment	Critère	n=12	n=34	n=46	n=30
Total Aérien	Biais	4%	-1%	2%	3%
	MEF	0.990	0.991	0.992	0.989
Bois de tronc	Biais	3%	8%	9%	5%
	MEF	0.980	0.931	0.983	0.986
Ecorce du tronc	Biais	-9%	-52%	-52%	-11%
	MEF	0.820	0.387	0.380	0.959
Branches	Biais	25%	-8%	3%	-4%
	MEF	0.81	0.895	0.965	0.913
Feuilles	Biais	-	-	-	-12%
	MEF	-	-	-	0.863

Les modèles sont (i) performants et non biaisés pour la biomasse totale aérienne (stocks de carbone); (ii) biaisés pour les autres compartiments lorsqu'ils sont transposés à des peuplements fertilisés/mixtes mais amplitude du biais raisonnable (<9%) sauf pour l'écorce (effet génétique?) ou pour les branches en peuplement mixte (effet mélange ?)

Evaluation sur le jeu de données Pédoséquence

		France pédoséquence					Érable pédoséquence Montiers			
		Brun acide	Brun calcique	Rendzine brunifiée	Rendzine	Total	Brun acide	Brun calcique	Rendzine brunifiée	Total
Compartiment	Critère	n=8	n=8	n=8	n=8	n=32	n=6	n=8	n=8	n=24
Total Aérien	Biais	7%	4%	9%	14%	8%	-6%	-1%	-2%	-2%
	MEF	0.979	0.988	0.876	0.875	0.955	0.946	0.979	0.966	0.968
Bois de tronc	Biais	9%	6%	5%	12%	8%	-12%	-2%	-11%	-8%
	MEF	0.916	0.975	0.957	0.906	0.943	0.978	0.977	0.943	0.966
Ecorce du tronc	Biais	-20%	-31%	-10%	-8%	-18%	2%	11%	6%	7%
	MEF	0.866	0.762	0.955	0.961	0.856	0.984	0.916	0.938	0.947
Branches	Biais	-1%	8%	19%	27%	11%	4%	1%	16%	7%
	MEF	0.91	0.969	0.087	0.668	0.810	0.424	0.601	0.714	0.617
Feuilles	Biais	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	MEF	-	-	-	-	-	-	-	-	-

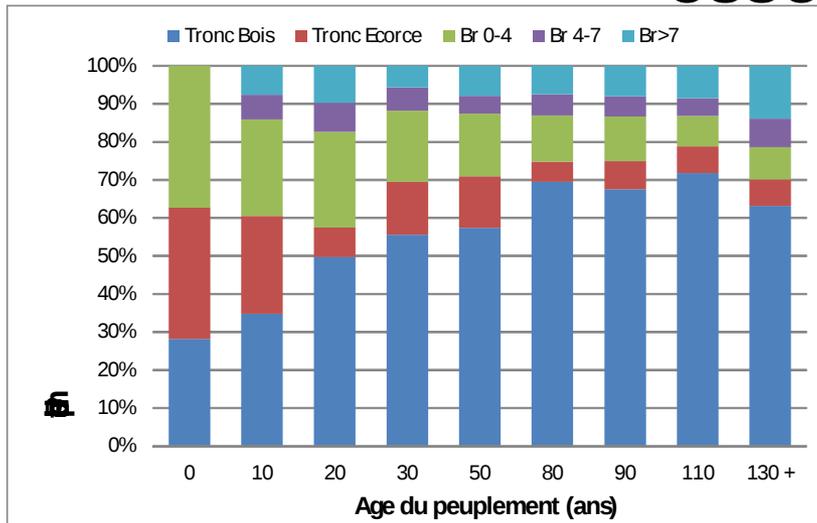
(i) peu de biais et un modèle performant pour la biomasse totale aérienne et bois de tronc, (ii) biais systématique et fortement négatif pour l'écorce avec un gradient du Rendosol vers l'Aloccisol, et (iii) biais prononcé pour les branches avec un gradient de l'Aloccisol vers le Rendosol (inverse de l'effet fertilisation...)

ET Pas si mauvais en transposition directe du modèle Hêtre à l'Erable !!!! (et même légèrement meilleurs du fait d'une densité inférieure pour l'Erable)

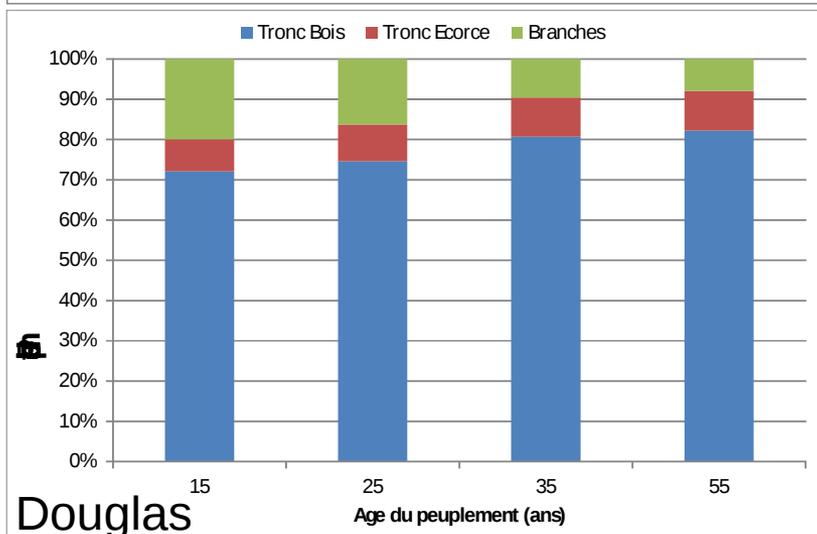
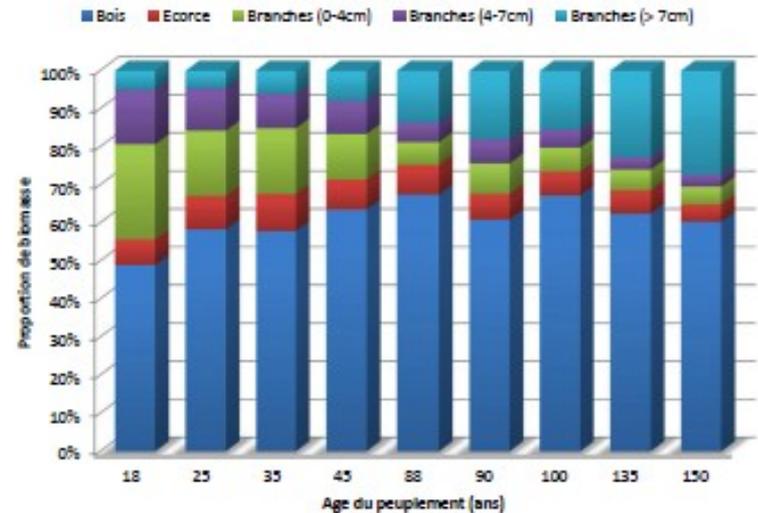


Similitudes – dissimilitudes avec les autres

Hêtre



essences



Douglas

Pour tous augmentation de la proportion de bois avec l'âge (environ 60% pour Hêtre et Chêne, et 80 pour le Douglas) – légère diminution pour les arbres très matures au profit des grosses branches

Proportion d'écorce qui diminue pour le Hêtre, reste globalement constante pour le chêne et augmente pour le Douglas

Baisse des branches 4-7 pour le chêne, constante pour le Hêtre



Similitudes – dissimilitudes avec les autres essences ? **Hypothèses :**

BRANCHES = Pente décroissante avec l'âge des peuplements (général à toutes les essences mais l'intensité de la diminution est fonction de l'architecture des arbres et sa plasticité). Effet d'autant plus net que le diamètre des branches est petit

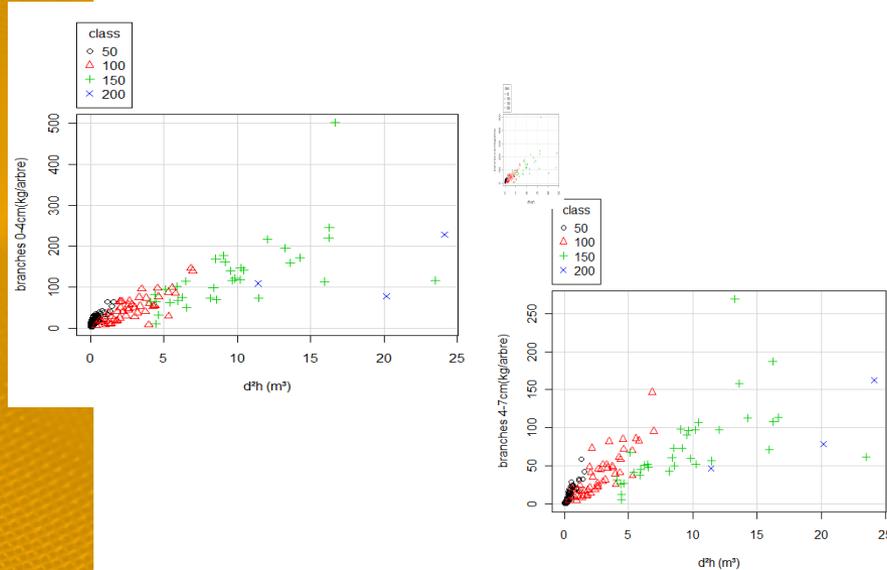
**BOIS = Pente croissante pour les résineux, pente décroissante pour les feuillus ZIP et à préciser pour les pores diffus.
(plan ligneux qui détermine le sens de variation)**

Influence des conditions de croissance (résidus autour des tendances « âge ») plus forte pour le houppier que pour le bois de tronc



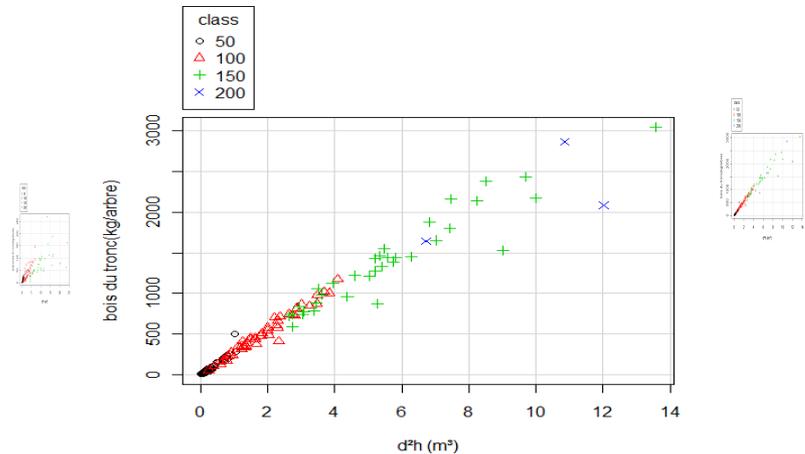
Hypothèse

BRANCHES = Pente décroissante avec l'âge des peuplements



Théoriquement, coefficients variables entre sessile et pédonculé (architecture différente)

BOIS = Pente décroissante avec l'âge des peuplements (ZIP)



Théoriquement, coefficients identiques entre sessile et pédonculé (plan ligneux similaires)

Ces résultats

BOIS = Pente décroissante avec l'âge des peuplements (ZIP) ?

$$Y = \beta \times (d^2h)^\gamma + \varepsilon \quad (2)$$

$$Y = \beta \times (d^2h) + \varepsilon \quad (16)$$

Tableau : coefficients, erreur standard (valeur entre parenthèse) et l'efficience de prédiction (EF) des modèles sélectionnés après satisfaction de la contrainte d'additivité (approche empirique).

compartiment	Modèle	Paramètres du modèle		résiduel		EF
		β	γ	σ	k	
Tronc	16	293.38 (2.09)		35	0.71	0.9868
Bois	16	264.49 (1.66)		31.46	0.73	0.9867
Ecorce	2	32.02 (0.58)	0.80 (0.01)	7.19	0.71	0.8921

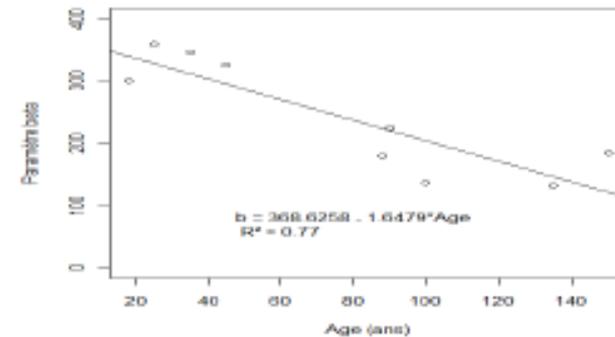
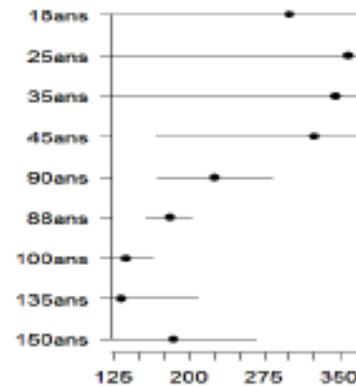
NON..... Stabilité du paramètre b en fonction de l'âge (variabilité génétique ne permet pas de détecter l'effet ?, compensation forme x densité? les deux ?)

Ces résultats

Branches = Pente décroissante avec l'âge des peuplements ?

$$Y = \beta_i \times (d^2L)^v + \varepsilon \quad (26)$$

Paramètre beta : modèle branches globales



$$Y = (\beta_0 + \beta_1 \times \text{âge}) \times (d^2L)^v + \varepsilon \quad (27)$$

OUI..... Mais décroissance linéaire (pas exponentielle comme pour le Hêtre)

Ces résultats

Différence entre chênes sessiles et pédonculés ?

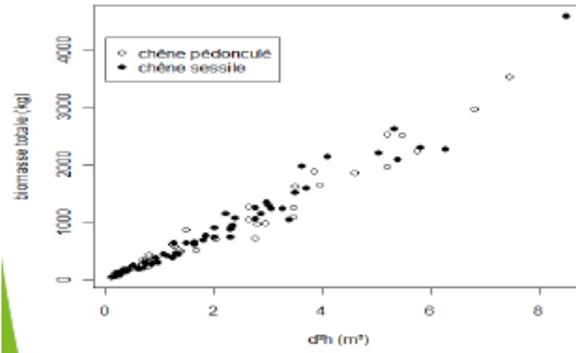
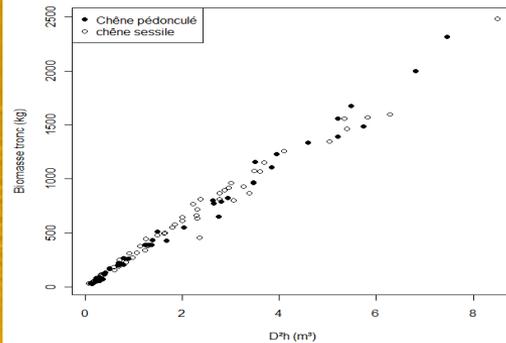


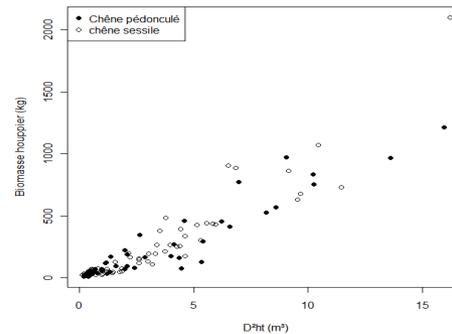
Tableau : test de Wilcoxon (pédonculé vs. sessile)

	w	p-value
Traitement	36.5	0.3254

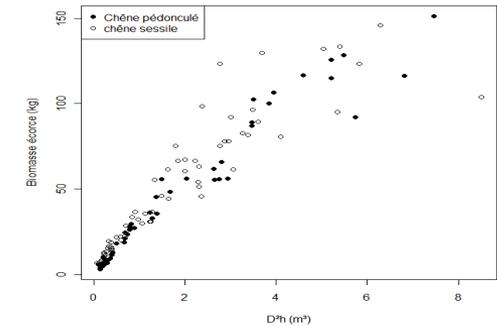
NON..... Pour la biomasse totale, Pour le tronc et pour les branches ..., OUI pour l'écorce



	w	p-value
Traitement	2059	0.082



	w	p-value
Traitement	1890	0.408



	w	p-value
Traitement	2179.	0.017
	5	

Au final ?

Essence	Tronc			Branches
	α	β	γ	
Peuplier	NS	Fixe par Clone	Fixe 1	Decroissant Age
Douglas	NS	Croissant Age	Fixe 1	Decroissant Age
		Fixe	Croissant Age	
Hêtre	NS	Croissant Age	Fixe 1	Decroissant Age
Chêne	NS	Fixe	Fixe 1	Decroissant Age
Pin Maritime	Données en cours	Données en cours	Données en cours	Données en cours
Eucalyptus	Fixe	Fixe	Fixe 1	Fixe

Les essences n'ont pas répondu complètement comme attendu....

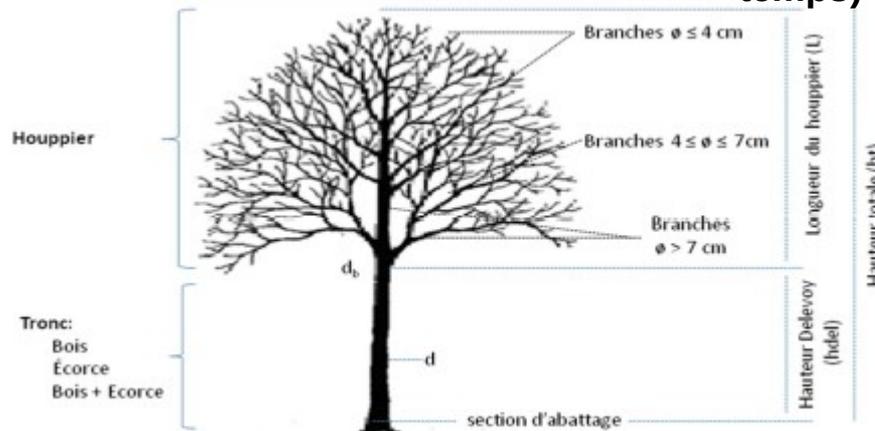
Bon modèles essences par essence mais généricité inter-essence non atteinte Nécessite de revoir le cadre mathématique....



Retour sur le cadre mathématique

Equation légèrement modifiée (a fixe = biomasse de l'arbre lorsqu'il a atteint 1m30, en général non significatif sur le tronc)

Equation dérivée pour cohérence biologique (continue positive) – permet d'éliminer d'emblée des formes de variation (ex γ linéaire en fonction du temps)

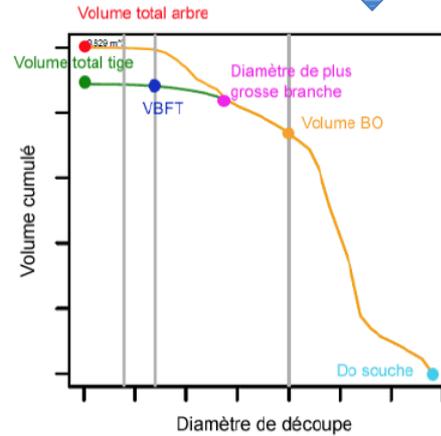


Utilisation h à la découpe tronc (7cm pour résineux et Hdelevoy pour les feuillus), plutôt que ht

Distinction des tissus (diamètre sur et sous écorce) cf travaux A. Bouvet

Retour sur le cadre mathématique

Et pontage avec les travaux sur la forme de la tige
(cf exposé C. Deleuze), évolution vers des
ajustements conjoints
forme-volume-biomasse



- Volume total de l'arbre découpe 0
- Volume total de la tige découpe 0
- Volume bois fort tige, VBFT
- Diamètre de la plus grosse branche
- Volume bois d'oeuvre (découpe 20 pour feuillus)
- Diamètre à la souche D_0 , permet d'avoir un niveau de découpe relatif d/D_0

L'idée majeure étant d'ajuster les trois grandeurs avec le maximum de données à chaque fois tout en conservant le cadre conceptuel unique

Travaux en cours..... Mais le consortium continue et le groupe modélisateur également !

Potentiel des informations contenues dans les catalogues d'équation

$$\text{Equation : } Y_i = \hat{y}_i + E_i \quad \hat{y}_i = f(x_{i1}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{ik}) \quad E_i \sim N(0, \sigma^2)$$

Ce qui est connu (enregistré dans les publications):

l'équation elle-même,

nombre de données utilisées pour ajuster le modèle,

variables d'entrée,

paramètre des équations,

[a, b] l'intervalle de la variable d'entrée principale (en general d130),

R2 de l'équation

Ce qui doit être retrouvé : un jeu d'arbres simulés (variables d'entrées et biomasse associée, variabilité incluse) qui n'est pas statistiquement différent de celui qui a servi à calibrer l'équation (i.e. l'ajustement sur ce pseudo jeu de données donnera la même équation et le même R2)



Potentiel des informations contenues dans les équations d'équation

Exemple
sur le
Hêtre

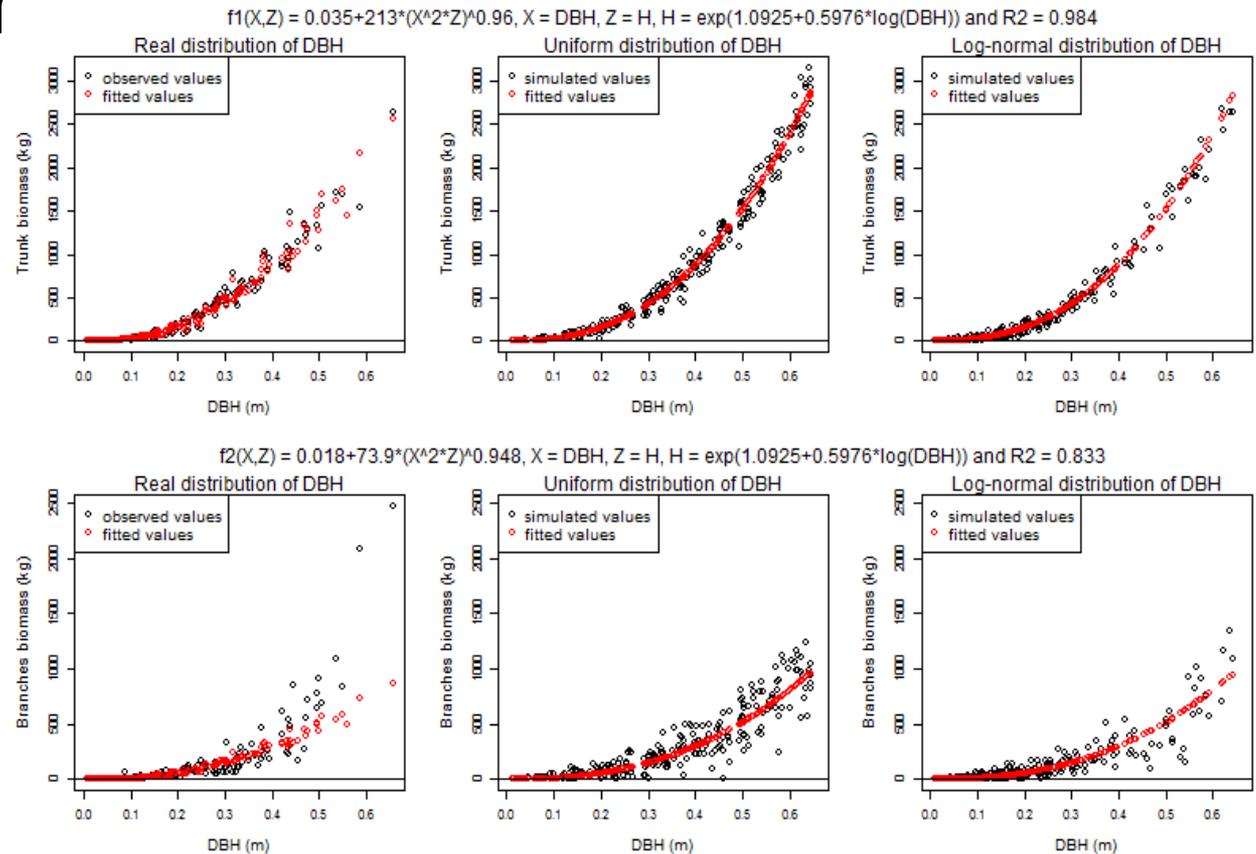


Figure 12. Comparaison of observed and simulated values of trunk (B+T) and branches (Bg+Bt) biomass with same a dataset of *Fagus sylvatica* and allometric equations of Genet et al. 2011 ($f1(X,Z)$ and $f2(X,Z)$). The range where is define DBH (m) and the sample size are respectively [0.008 ; 0.655] and $n = 256$.

Potentiel des informations contenues dans les catalogues d'équation

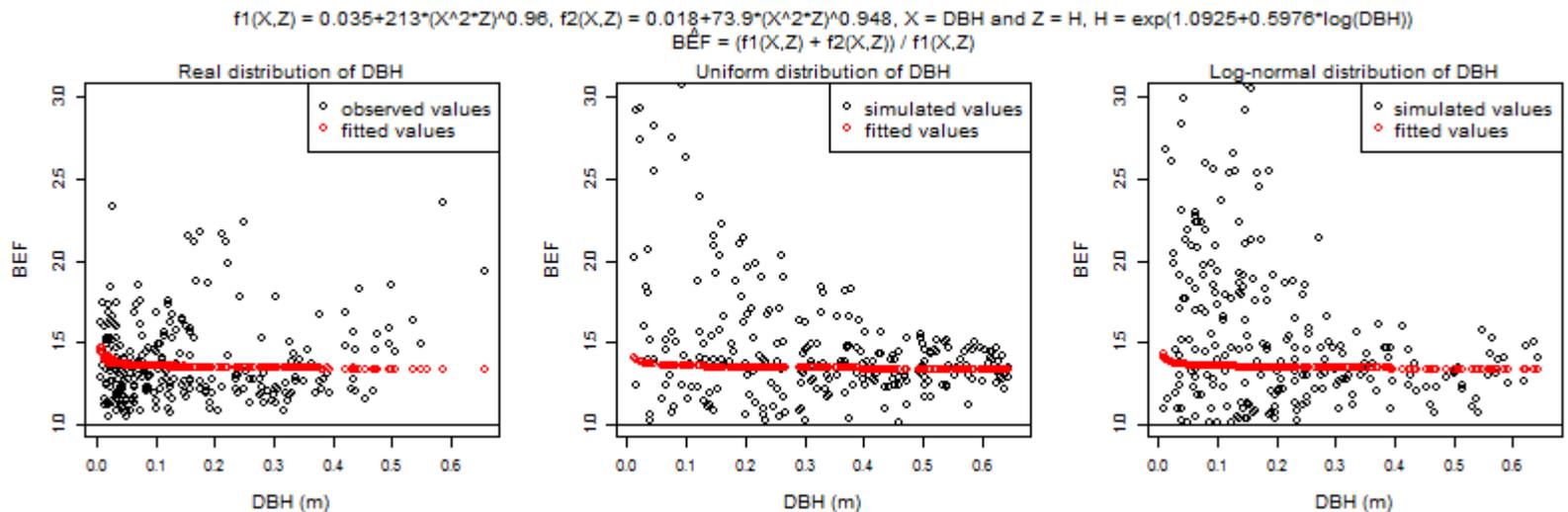


Figure 18. Comparison of observed and simulated values of BEF with the same dataset of *Fagus sylvatica* and two allometric equations of Genet et al. 2011 ($f_1(X,Z)$ and $f_2(X,Z)$). The range where is define DBH (m) and the sample size are respectively [0.008 ; 0.655] and $n = 256$.

Exemple sur le Hêtre, Biomass Expansion Factors

Conclusion sur Biomasse

- Avant EMERGE: multitudes d'équations ajustées en général sur peu de données (cf catalogue ZIANIS) – pas la possibilité d'estimer les biomasses à l'échelle d'une ressource (forte incertitude)
- Après EMERGE:
 - une équation par essence (robuste et précise pour total, bois de tronc – peut être utilisée dans un cadre national; moins robuste pour le compartiment du houppier – mais surpasse toutes les équations existantes à ce jour; plus problématique pour l'écorce...)
 - Un nouveau cadre mathématique, compatible volume/biomasse quelque soit la découpe // arriver (enfin ?) à une genericité inter-essence (équation déterminée par le plan ligneux et l'architecture de l'arbre)
 - Des pistes solides pour exploiter les informations contenues dans les bibliothèques d'équations (génération de pseudo-données, ajustement des équations issues du nouveau cadre mathématique)

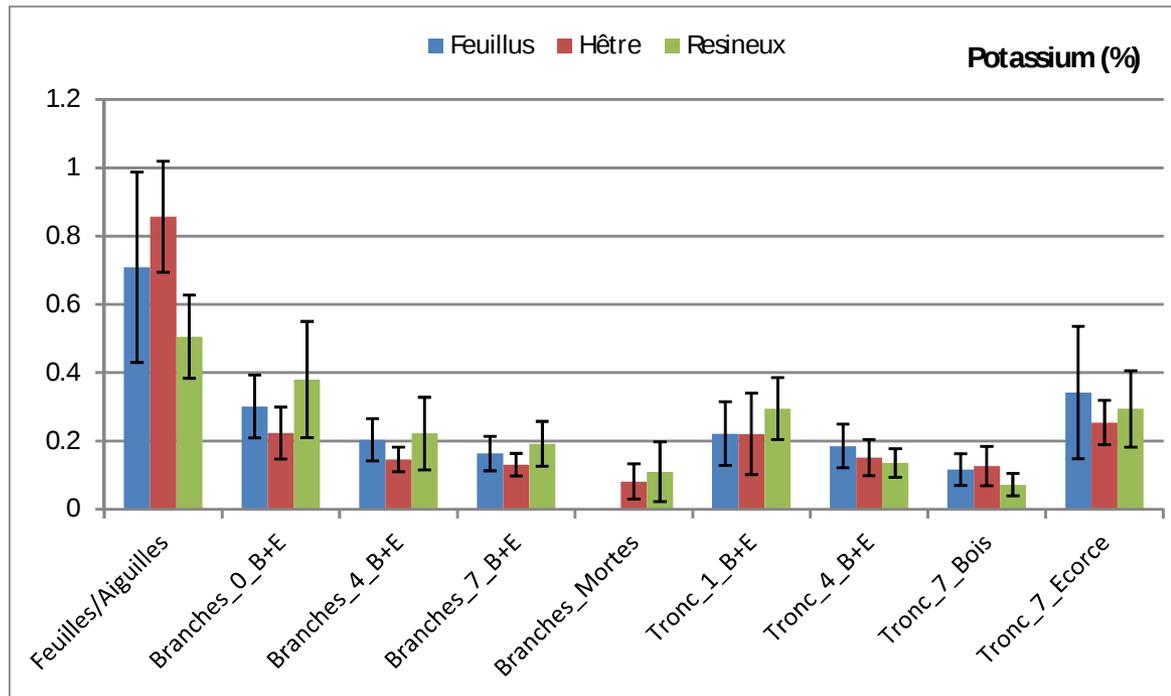


Minéralomasse



Modélisation de la concentration en éléments minéraux

6000 échantillons pour 21 essences (14 feuillus et 7 Résineux).
Après harmonisation des compartiments, 4000 échantillons sont utilisables pour étudier les facteurs de variations des concentrations en éléments minéraux pour un compartiment donné

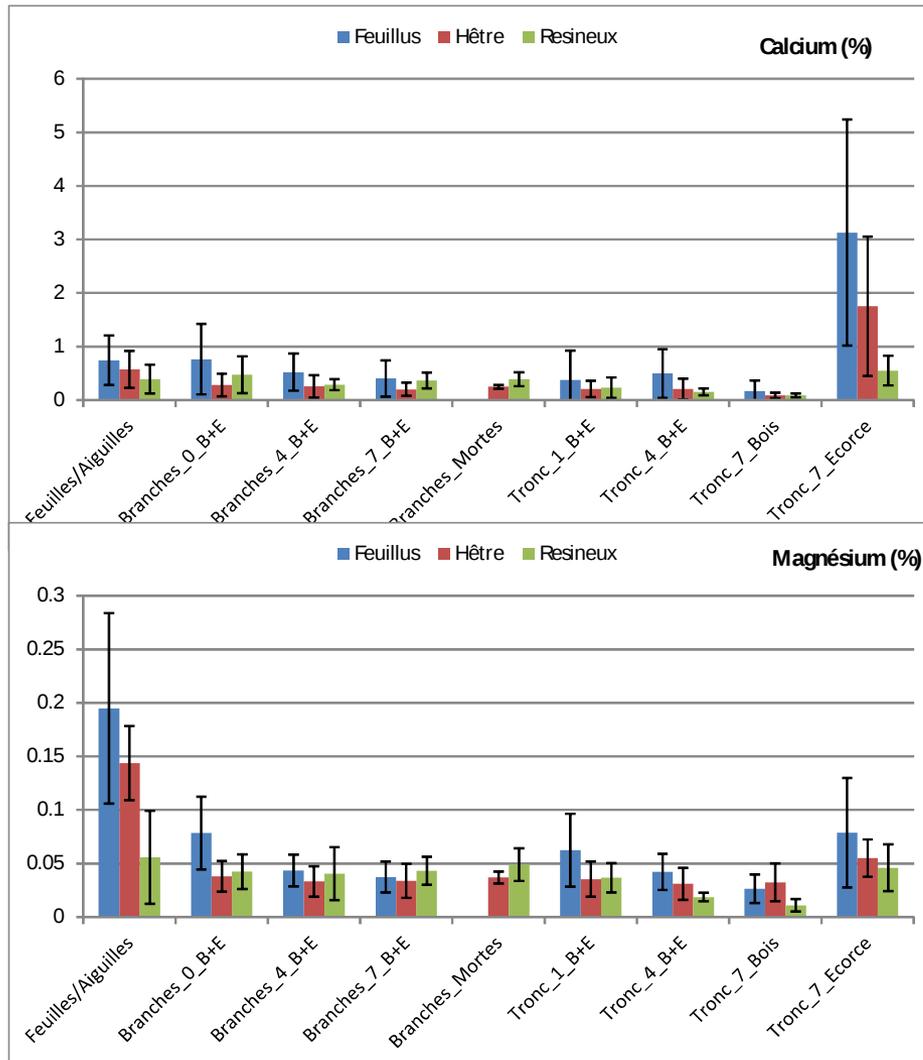


Feuillus (Aulne, Bouleau, Charme, Chênes Sessile et Pédonculé, Chêne pubescent, Chêne vert, Erable, Eucalyptus, Frêne, Robinier, Tilleul, Tremble),

le Hêtre,

et les Résineux (Cupressocyparis, Douglas, Epicéa, Mélèze, Pin d'Alep, Sapin Pectine, Sequoia)

Panorama des données



Calcium, le Manganèse et le Phosphore sont les plus variables (CV >100%).

Les feuilles et les aiguilles sont les plus concentrées (x8 par rapport au tronc), quels que soient les éléments minéraux (sauf Ca écorce)

Plus le diamètre est petit (tronc ou branches), plus le compartiment est concentré

L'écorce est toujours plus concentrée que le tronc (x5 par rapport au tronc)

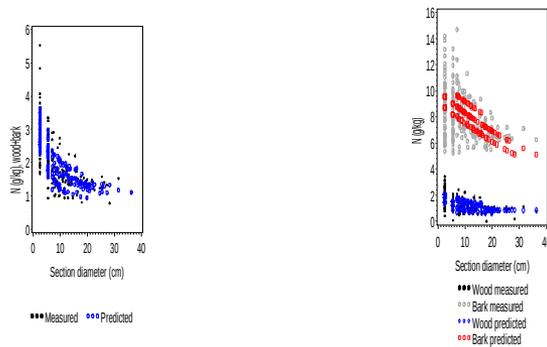
Résultats sur le Hêtre

Fort effet de la taille du compartiment

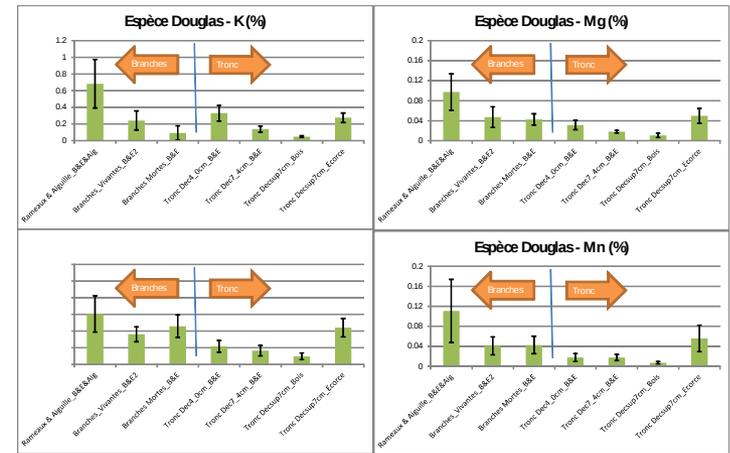
Conc. Tot
(bois + écorce)

Conc. écorce

..... confirmée sur les échantillons sylvabiom



Conc. bois



Ajustement simultané des trois équations avec contraintes d'additivité (cf Parresol 2000, Saint-André et al. 2005, Genet et al. 2011)

Prise en compte d'un effet site nécessaire pour tous les éléments

H Wernsdörfer et al., en cours de soumission



Résultats sur le Hêtre

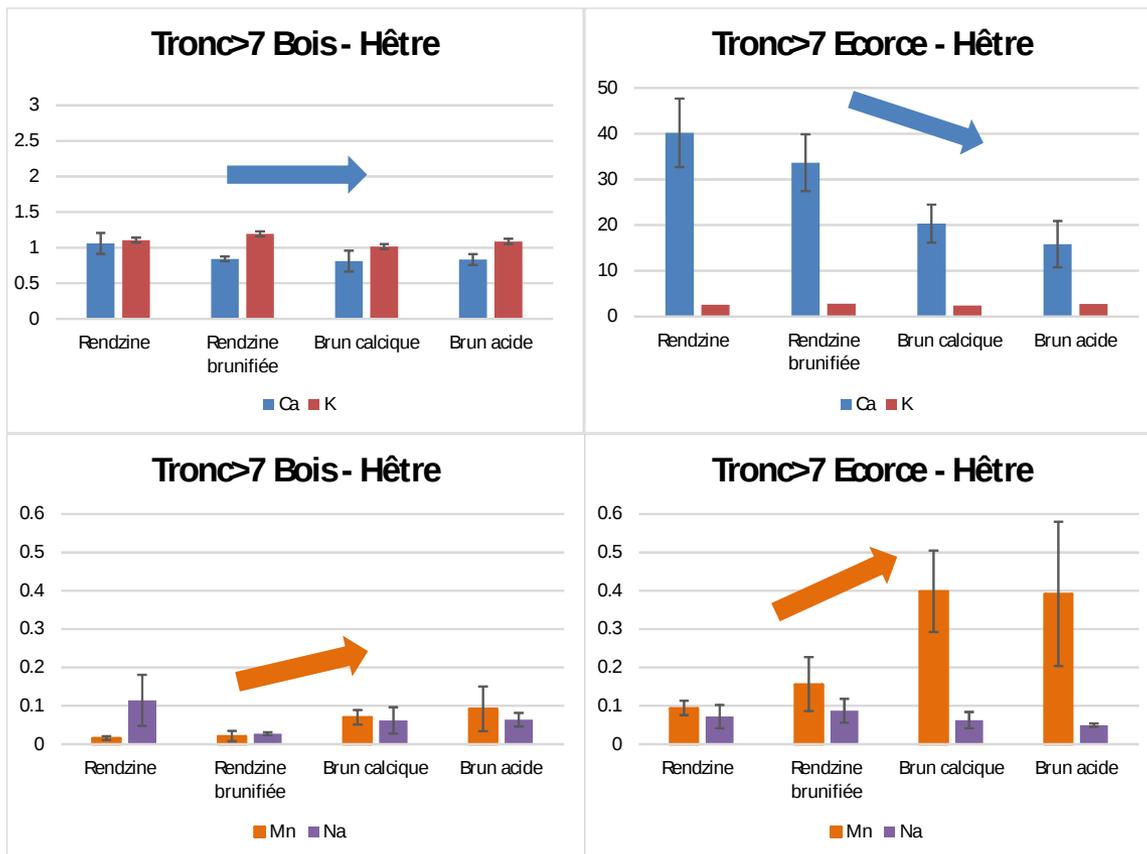
	n	\bar{C}	\hat{C}	$RMSE$	$RMSE\%$	MEF	MEF^*
	-1	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)			
N_{wood}	206	1.364	1.362	0.398	29%	0.519	0.339
N_{bark}	206	8.163	8.275	1.533	19%	0.361	0.177
N_{total}	206	2.033	2.043	0.444	22%	0.672	0.589
S _{wood}	198	0.143	0.144	0.032	22%	0.431	0.41
S_{bark}	198	0.514	0.515	0.076	15%	0.084	0.049
S_{total}	198	0.18	0.182	0.033	18%	0.599	0.586
P _{wood}	211	0.164	0.161	0.068	41%	0.482	0.473
P_{bark}	211	0.448	0.448	0.104	23%	0.575	0.287
P_{total}	211	0.191	0.189	0.066	35%	0.579	0.563
K_{wood}	212	1.276	1.269	0.334	26%	0.34	0.256
K_{bark}	212	2.368	2.326	0.49	21%	0.357	-0.003
K_{total}	212	1.37	1.361	0.314	23%	0.388	0.269
Ca_{wood}	206	0.695	0.696	0.199	29%	0.191	0
Ca_{bark}	206	8.177	8.267	2.195	27%	0.663	0.252
Ca_{total}	206	1.396	1.406	0.306	22%	0.629	0.399
Mg_{wood}	212	0.256	0.257	0.074	29%	0.267	0
Mg_{bark}	212	0.593	0.587	0.135	23%	0.285	0.052
Mg_{total}	212	0.29	0.291	0.072	25%	0.364	0.12
Mn_{wood}	146	0.167	0.167	0.05	30%	0.192	-0.002
Mn_{bark}	146	0.834	0.822	0.195	23%	0.415	0.127
Mn_{total}	146	0.244	0.243	0.056	23%	0.556	0.385

Même si ce sont les meilleurs modèles construits à ce jour pour le Hêtre, ils restent moins performants que les modèles de biomasse (variabilité résiduelle de 15 à 41%)

H Wernsdörfer et al., en cours de soumission



Résultats sur le Hêtre, pédoséquence



Seuls Ca et Mn diffèrent entre les différents type de sol: Ca accumule dans l'écorce (alocrisol vers rendosol), Mn accumule dans l'écorce ET dans le bois (rendosol vers alocrisol)

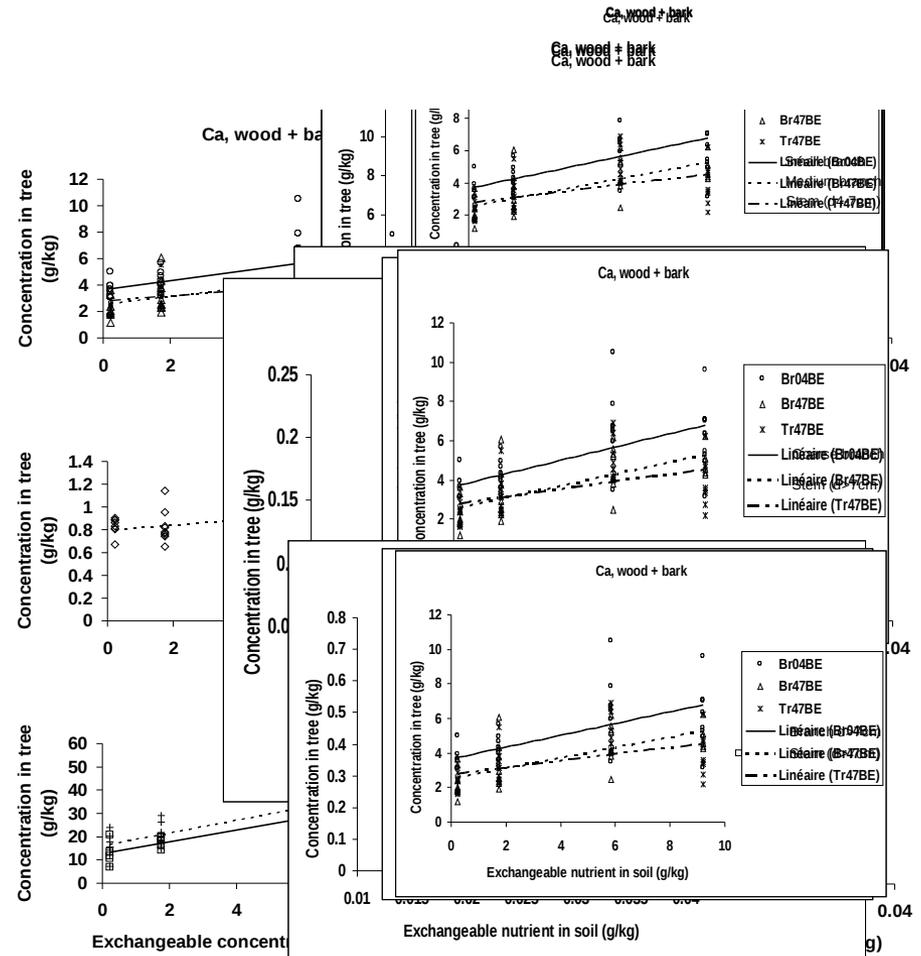
A rapprocher des résultats sur la biomasse (cf précédemment) et sur la densité (cf exposé Frédéric Mothe et Fleur Longuetaud)

Genet et al., en cours de soumission

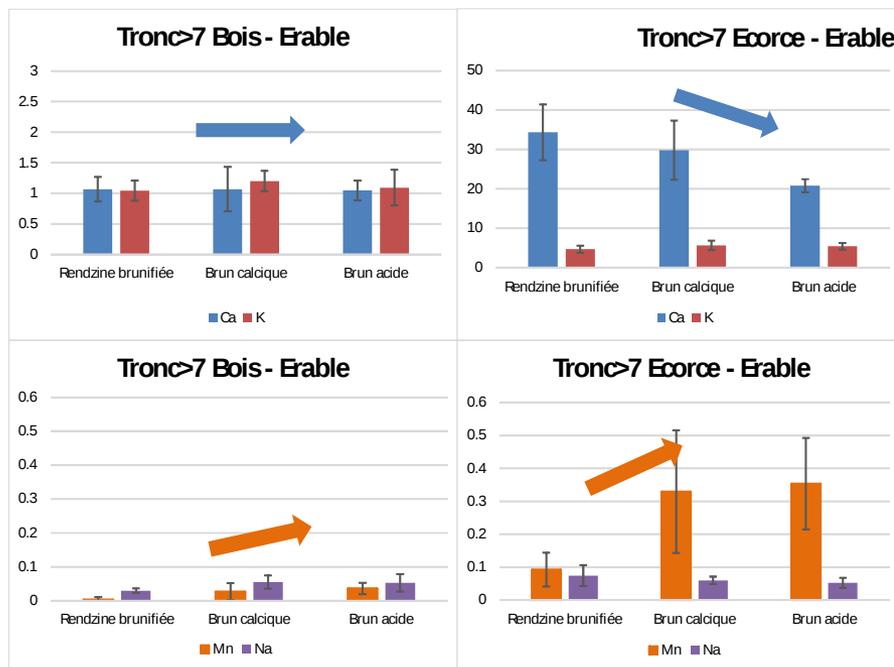


Résultats sur le Hêtre, pédoséquence

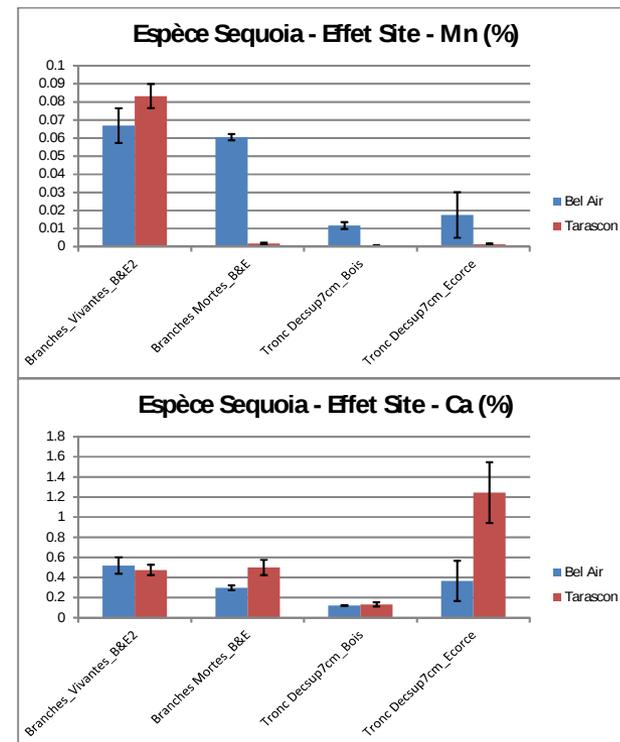
Mise en perspective avec les données « sol » prometteuse pour les éléments peu mobiles dans les arbres (Ca, Mn) absorbés par mass-flow



Effet site pour Ca et Mn



et sur les échantillons sylvabiom



Résultats identique pour l'Erable sur la pédoséquence

Genet et al., en cours de soumission

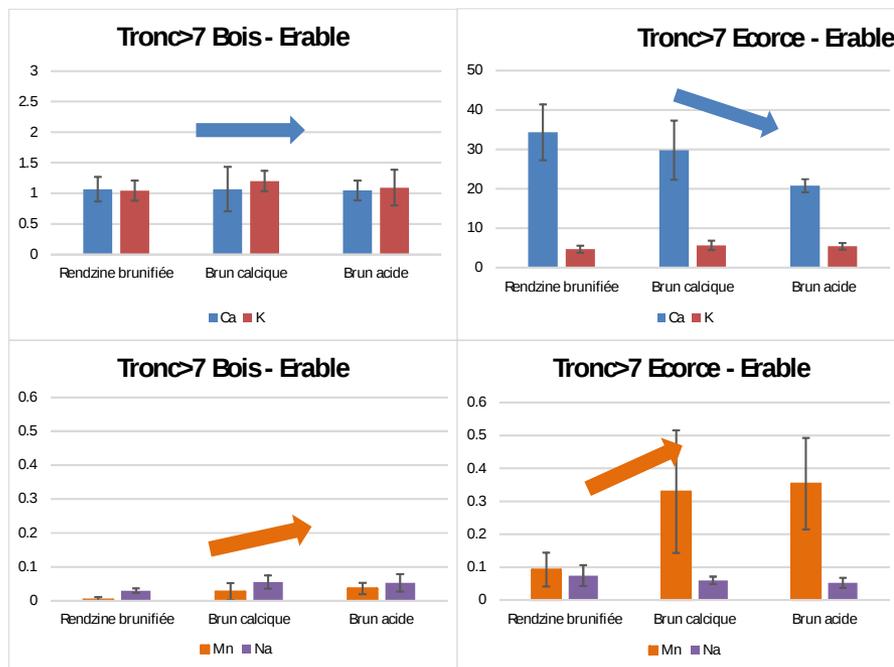


Conclusion sur Minéralomasse

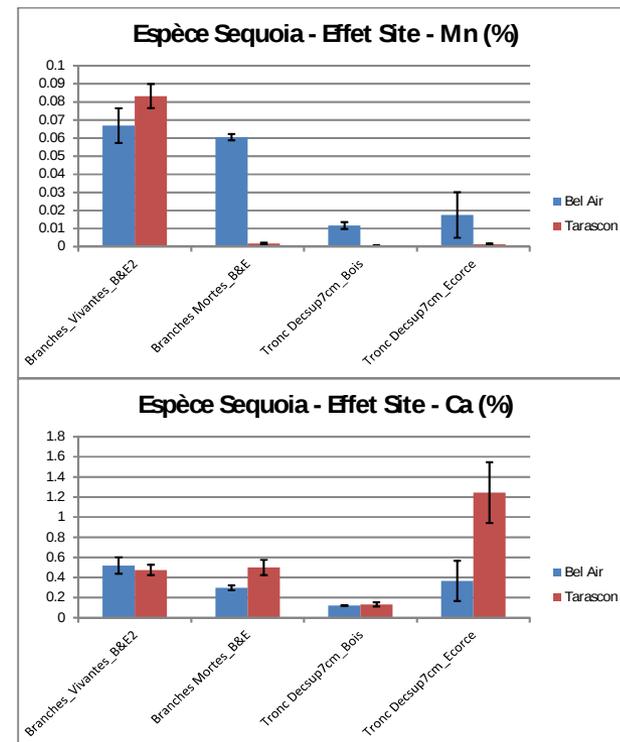
- Avant EMERGE/SYLVABIOM: moyennes par compartiments, peu de modèles de distribution interne des éléments minéraux dans les tiges
- Après EMERGE:
 - une équation générique qui s'adapte à tous les éléments minéraux, continue en fonction du diamètre (indépendante de la découpe) mais calibrée uniquement pour le Hêtre
 - Mise en évidence d'un effet site pour tous les éléments mais seuls Ca et Mn semblent prédictibles à partir des analyses de sol... Pour les autres éléments une solution opérationnelle serait une translation rapide des équations à partir de quelques mesures de terrain (NIRS-MIRS portable), à plus long terme, utilisation de modèles sol-plante plus complexes (translocation, prélèvements, restitution par les litières et minéralisation)



Effet site pour Ca et Mn



et sur les échantillons sylvabiom



Résultats identique pour l'Erable sur la pédoséquence

Genet et al., en cours de soumission



Exemples d'application

- Biomasse sur la Chronoséquence de Fougères, estimations des menus bois

Compartiment										
	Âge (années)									
	14		31		52		89		150	
	Moyenne	<i>n</i>	Moyenne	<i>n</i>	Moyenne	<i>n</i>	Moyenne	<i>n</i>	Moyenne	<i>n</i>
D'après Bouchon <i>et al.</i> (1982)										
Tige	0 (0,0)	4	90 (6,8)	4	170,1 (16,3)	4	188,1 (39,2)	4	333,7 (21,2)	2
Arbre	0 (0,0)	4	109,9 (9,1)	4	201 (17,9)	4	230,8 (42,8)	4	436,8 (19,2)	2
Branches	0,0 (0,0)	4	2,8 (1,0)	4	11,6 (2,8)	4	23,3 (7,4)	4	71,6 (2,0)	2
Tige bois	0,0 (0,0)	4	81,0 (6,1)	4	155,7 (15,0)	4	174,0 (33,3)	4	312,9 (19,7)	2
Tige écorce	0,0 (0,0)	4	9,0 (0,7)	4	14,4 (1,4)	4	14,1 (2,2)	4	20,8 (1,5)	2
Menu bois	0,0 (0,0)	4	17,1 (4,7)	4	19,3 (2,2)	4	19,4 (3,6)	4	31,5 (2,5)	2
Cette étude										
Tige	0,1 (0,0)	4	84,5 (6,4)	4	163,6 (15,3)	4	186,5 (35,0)	4	342 (21,3)	2
Arbre	0,1 (0,0)	4	120,1 (6,5)	4	224,2 (17,5)	4	257,4 (44,8)	4	582,5 (18,2)	2
Branches	0,0 (0,0)	4	2,5 (0,4)	4	16,6 (3,3)	4	33,4 (9,9)	4	115,2 (3,2)	2
Tige bois	0,1 (0,0)	4	77,3 (5,8)	4	151,1 (14,2)	4	171,6 (32,5)	4	311,7 (19,3)	2
Tige écorce	0,0 (0,0)	4	7,2 (0,6)	4	12,5 (1,1)	4	14,9 (2,5)	4	30,3 (2,1)	2
Menu bois	0,0 (0,0)	4	33,1 (2,6)	4	44,0 (4,7)	4	37,5 (7,6)	4	125,3 (4,1)	2

Exemples d'application

- Biomasse sur la pédoséquence de Montiers, Hêtre - Erable

Hêtre		Minéralomasse (Kg/ha)										Efficience						
	Biomasse	Al	Ca	K	Mg	Mn	Na	P	S	Al	Ca	K	Mg	Mn	Na	P	S	
	t/ha																	
Brun acide	104.3	2.3	200.8	139.4	28.6	13.2	6.9	25.1	18.7	46.37	0.52	0.75	3.65	7.88	15.22	4.16	5.58	
Brun calcaïque	131.0	2.9	287.6	171.8	38.8	13.9	8.7	30.1	21.8	44.85	0.46	0.76	3.38	9.39	15.09	4.35	6.02	
Rendzine brunifiée	152.7	3.8	556.6	224.6	58.3	5.8	7.1	38.0	28.2	40.20	0.27	0.68	2.62	26.15	21.59	4.02	5.42	
Rendzine	129.0	3.7	534.6	190.1	40.0	3.2	13.3	38.4	24.7	34.54	0.24	0.68	3.22	40.62	9.72	3.36	5.21	
Erable		Minéralomasse (Kg/ha)																
	Biomasse	Al	Ca	K	Mg	Mn	Na	P	S	Al	Ca	K	Mg	Mn	Na	P	S	
	t/ha																	
Brun acide	25.3	0.7	83.4	47.0	9.7	2.3	1.6	8.1	7.3	36.04	0.30	0.54	2.61	10.93	15.62	3.11	3.47	
Brun calcaïque	12.2	0.3	47.1	23.5	4.6	0.9	0.8	4.0	3.5	38.02	0.26	0.52	2.63	13.72	15.21	3.06	3.49	
Rendzine brunifiée	10.4	0.3	41.0	16.1	5.2	0.2	0.5	2.4	2.7	30.55	0.25	0.64	2.01	65.08	21.70	4.26	3.79	
Rendzine	11.3																	
Eclaircies de 1981 à 2006																		
		Minéralomasse (Kg/ha)										Biomasse, minéralomasse et efficacités des deux essences						
	Biomasse	Al	Ca	K	Mg	Mn	Na	P	S									
	t/ha																	
Brun acide	110.2	2.5	245.6	154.7	31.7	15.2	7.2	30.8	21.6									
Brun calcaïque	154.5	3.5	400.2	207.9	46.3	17.9	9.9	37.9	27.5									
Rendzine brunifiée	154.5	3.8	606.9	230.1	58.5	6.2	6.6	39.5	29.8									
Rendzine	94.3	2.7	430.3	144.9	28.7	2.4	10.0	29.6	19.4									



Modélisation de la biomasse et de la concentration en éléments minéraux

CONCLUSION GENERALE

- 1 - Les deux projets ont permis de faire un saut considérable dans la compréhension de la variabilité des volumes, de la biomasse et de la concentration en éléments minéraux dans les arbres
- 2 - Les bases de données constituées sont attractives à l'échelle européenne et sources de collaborations très actives (UCL Belgique, TUM Allemagne, FAO Rome,....)
- 3 - la communauté de modélisateurs, créée et soudée (données récoltées très riches, le travail se poursuivra au-delà de la fin des deux projets)

