



## Modèles génériques de Biomasse / Minéralomasse

Laurent Saint-André, Astrid Genet, Holger Wernsdorfer, Ablo Paul Igor Hounzandji, Vialphe Mouyengo, Sophie Grentzinger, Céline Anché, Hans Pretzsch, M. Rauch, Arnaud Legout, et al.

### ► To cite this version:

Laurent Saint-André, Astrid Genet, Holger Wernsdorfer, Ablo Paul Igor Hounzandji, Vialphe Mouyengo, et al.. Modèles génériques de Biomasse / Minéralomasse. Présentation Modèles génériques de Biomasse / Minéralomasse, Sep 2013, NA, France. 45 p. hal-01269126

**HAL Id: hal-01269126**

**<https://hal.science/hal-01269126>**

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.



# Modèles génériques de Biomasse / Minéralomasse

L. Saint-André, A. Genet, H. Wernsdorfer, P-I Hounzandji, V. Mouyengo, S. Grentzinger, C. Anché, H. Pretzsch, M. Rauch, A. Legout, P. Vallet, C. Nys, M. Jonard, Q. Ponette, N. Picard, J. Ranger



Financements : ANR (EMERGE); ONF (Modelfor); UCL; TUM; CIRAD; ANDRA



**Contexte: Comment peut-on mesurer la biomasse des arbres sur pied ?**

Bien.... Qui va chercher la balance?







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

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

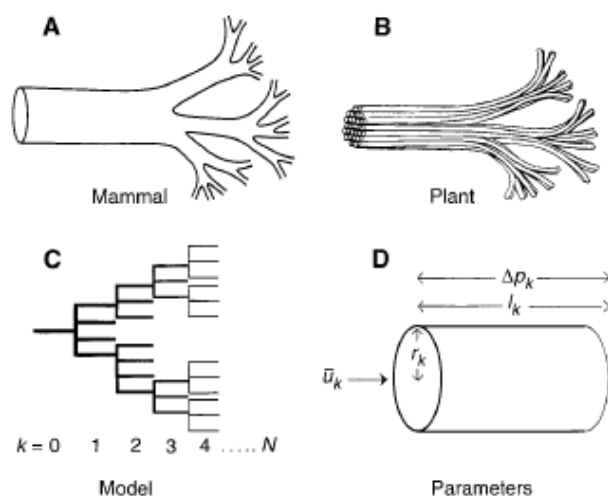




## Contexte: La littérature sur les équations de biomasse

### balance entre deux pôles opposés:

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  $t$**



## **Contexte: 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**



## Objectifs:

Un bon candidat pour des équations de biomasse doit être simultanément:

- **consistent**: basé sur une définition standard des compartiments, et vérifier les conditions d'additivité,
- **générique**: forme de modèle commune entre différentes essences, avec des paramètres interprétables biologiquement,
- **robuste**: système opérant correctement dans une large gamme de situations
- **précis**.





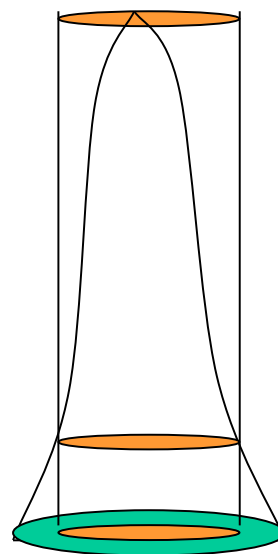
## Cadre conceptuel:

Ce paramètre donne la proportionnalité entre les incréments relatifs en volume et en biomasse

$$\text{Biom} = b * (\text{D2H})^C + a$$

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

Ce paramètre donne la biomasse de l'arbre juste avant qu'il atteigne 1m30



**D2H = proportionnel au volume de l'arbre (=treeVol \* formFactor)**

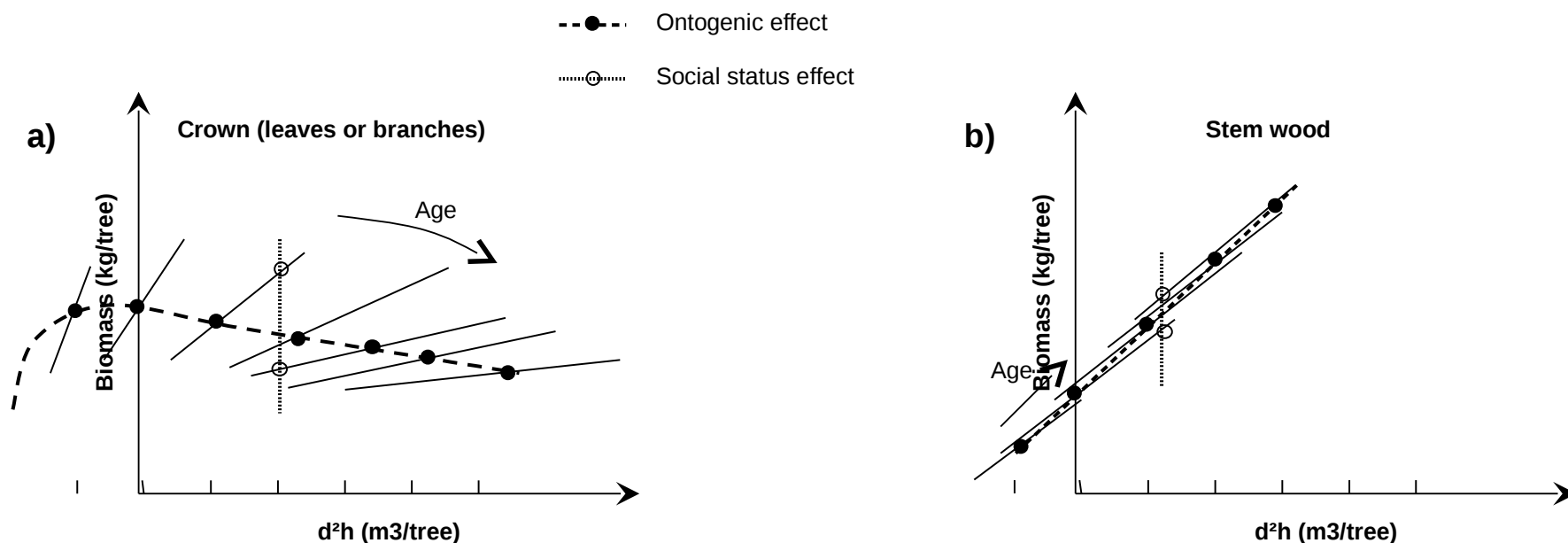
Et biomasse = volume \* densité du bois

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





# Cadre conceptuel:



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

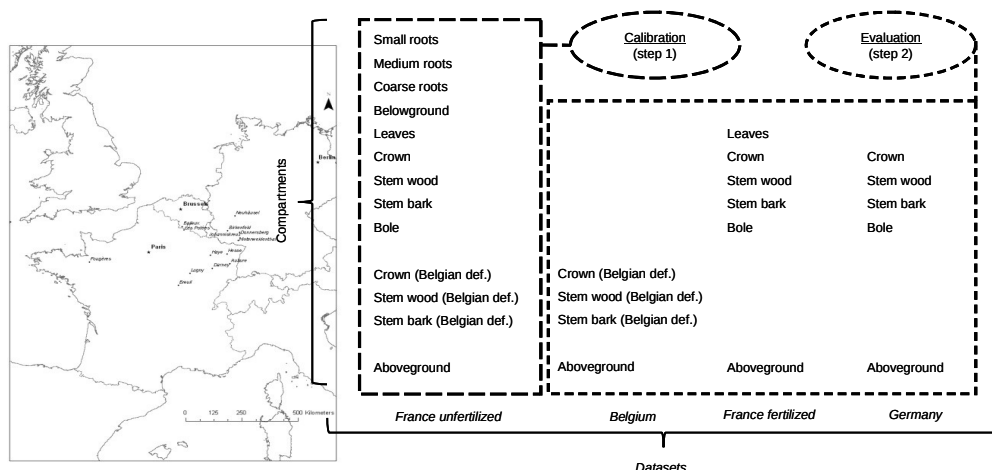
2- Le schéma est probablement similaire entre deux essences de même plan ligneux (agencement des cellule de bois dans l'arbre) et de même modèle architectural (developpement de la branchaison)



# Cadre conceptuel:

Tests des hypothèses sur Hêtre, Chêne et Douglas

Fagus Silvatica (367 arbres), rassemblées, traitées



Pseudotsuga Menziessi (env. 150 arbres)

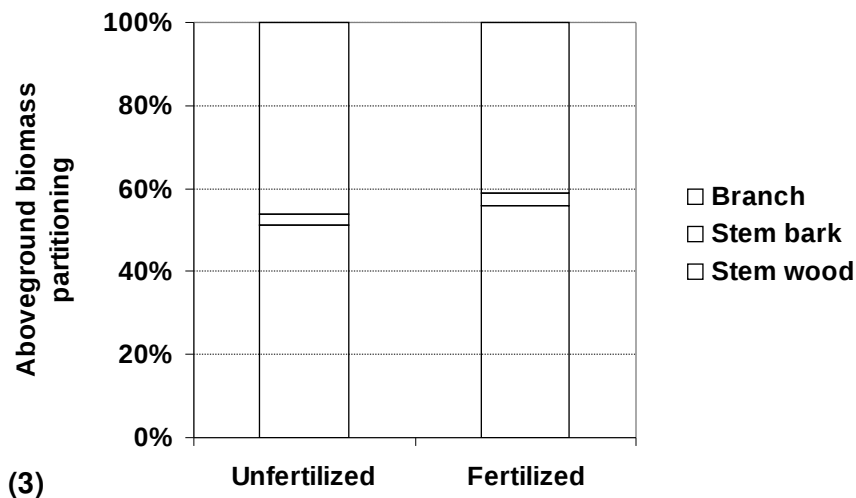
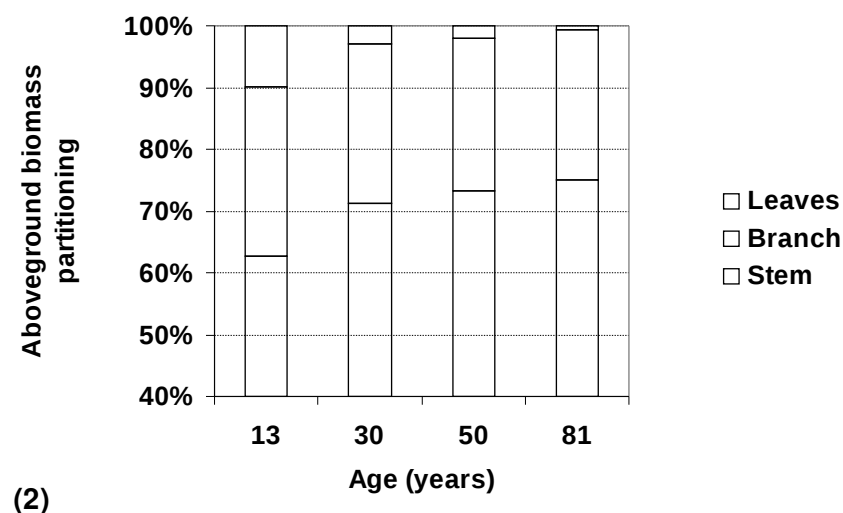
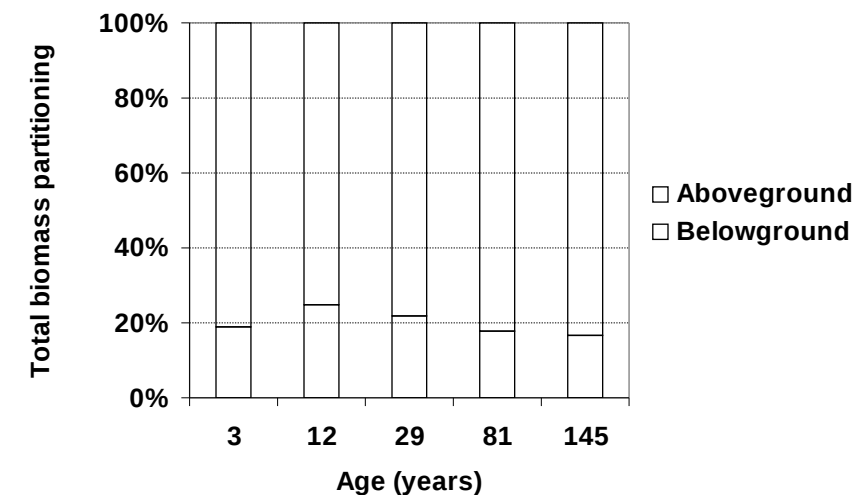
| Résineux | INRA       | FCBA      |
|----------|------------|-----------|
| Douglas  | 125 arbres | 36 arbres |

Quercus Robur et Quercus Petraea (400 arbres), rassemblés et traités

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



# Résultats pour le Hêtre, Biomasse



**Biomasse souterraine représente environ 20% de la biomasse totale**

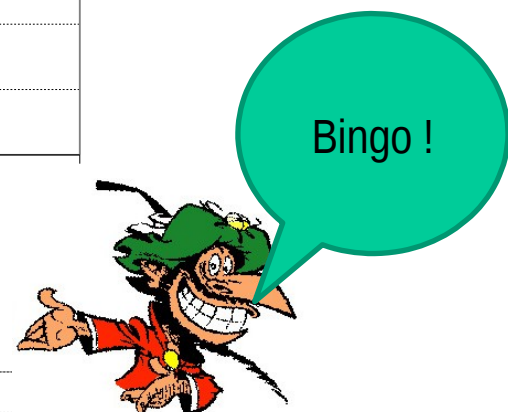
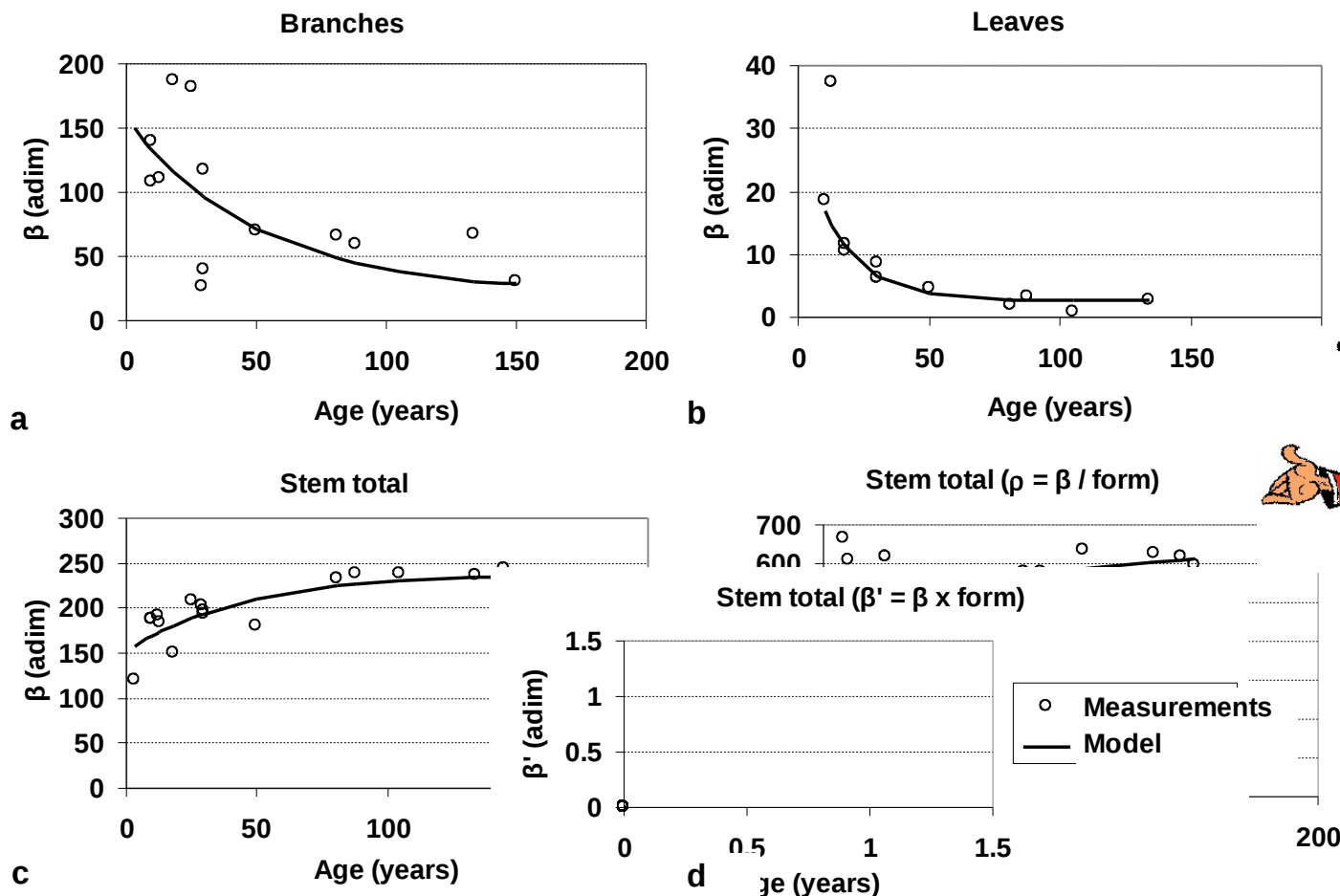
**Au fur et à mesure que les arbres grandissent, la proportion de branche et de feuilles diminuent et celle du tronc augmente**

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



# Résultats pour le Hêtre, Biomasse

Un schéma conceptuel vérifié:



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





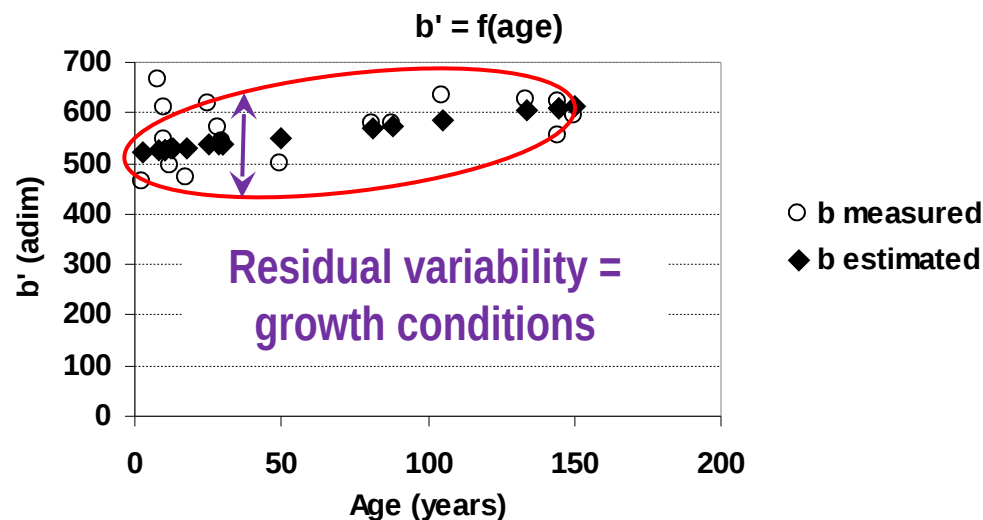
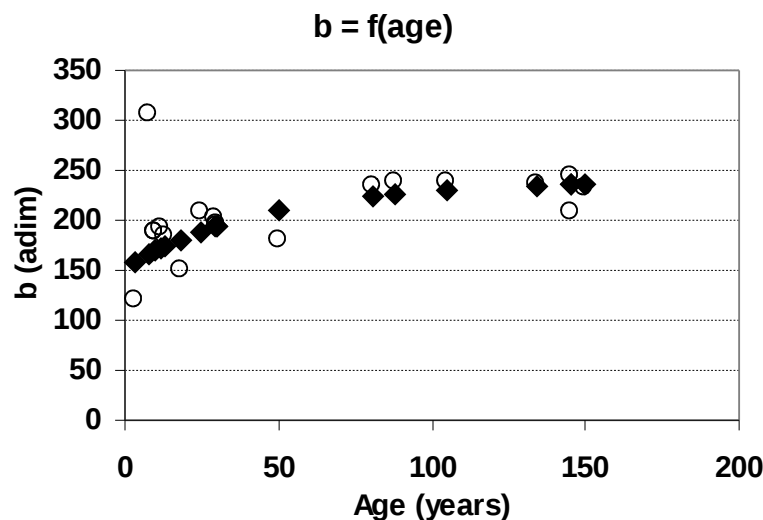
# Résultats pour le Hêtre, Biomasse

Quelles explications biologiques?

Bois du tronc

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

Av: 554 kg/m<sup>3</sup> □  
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)

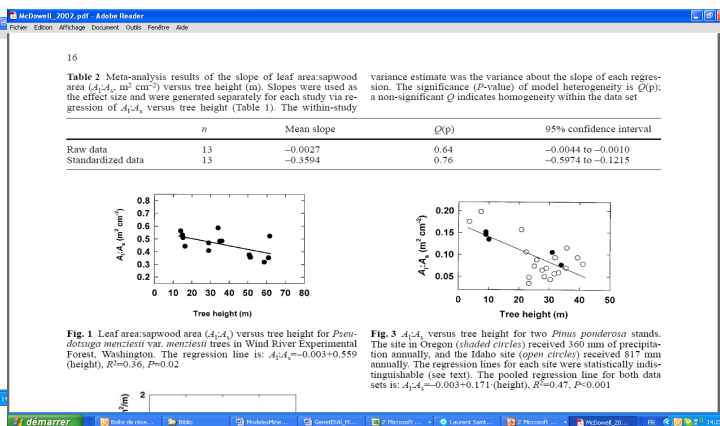
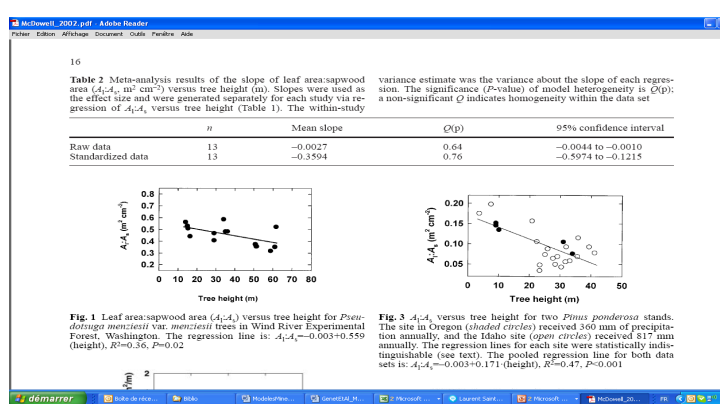


# Résultats pour le Hêtre, Biomasse

## Quelles explications biologiques?

### Compartiments du houppier

1- Décroissance du ratio Surface de feuilles/surface d'aubier avec la hauteur des arbres, valable pour beaucoup d'essences résineuses ou feuillues (McDowell et al. 2002).



2- Les incréments de la largeur d'aubier sont inférieurs à l'accroissement en diamètre (Gebauer et al. 2008).

3- la vulnérabilité du xylème à l'embolisation augmente avec l'âge



# Résultats pour le Hêtre, Biomasse

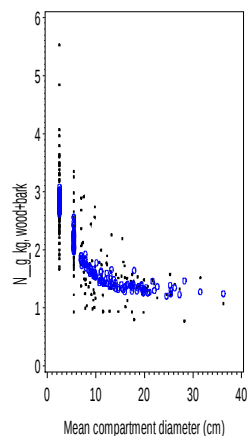
Fertilisés versus non fertilisés (116 arbres)? (une fois que le diamètre, la hauteur et l'âge sont pris en compte)

|          |    |      | Aboveground |        |          |         | Stem wood |           |           |         | Stem bark |         |          |          | Branch |          |          |         |
|----------|----|------|-------------|--------|----------|---------|-----------|-----------|-----------|---------|-----------|---------|----------|----------|--------|----------|----------|---------|
|          |    |      | B           | GU     | GF       | FF      | B         | GU        | GF        | FF      | B         | GU      | GF       | FF       | B      | GU       | GF       | FF      |
| Nb. Obs  |    |      | 12          | 34     | 46       | 30      | 12        | 34        | 46        | 28      | 12        | 34      | 46       | 28       | 12     | 34       | 46       | 30      |
| MAE      | TS |      | 50.6        | 63.1   | 61.9     | 64.8    | 40        | 88.2      | 65.9      | 45.3    | 9.1       | 16.8    | 25.4     | 7.7      | 104.9  | 64.4     | 48.2     | 53.1    |
|          |    | Mean | 110.9       | 121.5  | 139.4    | 97      | na        | 239.2     | 261.5     | 339.1   | na        | 28.1    | 20.1     | 18.1     | na     | 90.4     | 110.1    | 78.4    |
|          |    | Min  | 99.5        | 111.4  | 110.7    | 75.1    | na        | 224.2     | 231.3     | 300.2   | na        | 16.9    | 11.3     | 12.1     | na     | 58.1     | 59.6     | 54      |
|          |    | Max  | 122.2       | 131.5  | 168.1    | 118.9   | na        | 254.3     | 291.7     | 378.1   | na        | 39.2    | 28.9     | 24.2     | na     | 144.7    | 165.5    | 109.8   |
| EF       | TS |      | 0.99        | 0.991  | 0.992    | 0.989   | 0.98      | 0.931     | 0.983     | 0.986   | 0.82      | 0.387   | 0.38     | 0.959    | 0.81   | 0.895    | 0.965    | 0.913   |
|          |    | Mean | 0.95        | 0.96   | 0.97     | 0.97    | na        | 0.74      | 0.77      | -0.27   | na        | -0.30   | 0.56     | 0.73     | na     | 0.67     | 0.75     | 0.82    |
|          |    | Min  | 0.95        | 0.95   | 0.95     | 0.96    | na        | 0.69      | 0.72      | -0.43   | na        | -0.87   | 0.3      | 0.54     | na     | 0.17     | 0.53     | 0.52    |
|          |    | Max  | 0.96        | 0.96   | 0.98     | 0.98    | na        | 0.8       | 0.82      | -0.11   | na        | 0.28    | 0.82     | 0.92     | na     | 0.89     | 0.92     | 0.93    |
| Bias (%) | TS |      | 4           | -1     | 2        | 3       | 3         | 8         | 9         | 5       | -9        | -52     | -52      | -11      | 25     | -8       | 3        | -4      |
|          |    | Mean | 13          | 5      | 11       | 10      | na        | 35        | 36        | 11      | na        | 50      | 48       | 30       | na     | 29       | 25       | 28      |
|          |    | Min  | 11          | 3      | 8        | 5       | na        | 33        | 32        | 2       | na        | 30      | 27       | 13       | na     | 10       | 2        | 6       |
|          |    | Max  | 14          | 8      | 14       | 14      | na        | 37        | 40        | 19      | na        | 69      | 70       | 47       | na     | 52       | 51       | 50      |
| F-Test   | TS |      | 2.4ns       | 0.37ns | 2ns      | 2.8ns   | 2.3ns     | 1.57ns    | 48.3**    | 2.97ns  | 1.4ns     | 58.55** | 163.81 * | 7.63**   | 13.5** | 1.66ns   | 11.2**   | 0.9ns   |
|          |    | Min  | 29.36**     | 0.62ns | 3.88ns   | 12.73** | na        | 283.88**  | 415.56**  | 6.14**  | na        | 1.83ns  | 78.25**  | 2.54ns   | na     | 18.34**  | 1.66ns   | 0.57ns  |
|          |    | Max  | 37.51**     | 6.20** | 127.29** | 57.35** | na        | 1379.14** | 2045.99** | 12.44** | na        | 26.62** | 274.38** | 141.44** | na     | 191.72** | 147.46** | 70.37** |

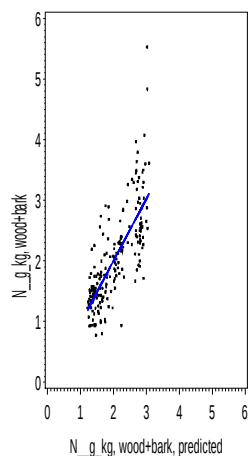
Les modèles sont (i) performants et non biaisés pour la biomasse totale aérienne (stocks de carbone); (ii) biaisés pour les autres compartiments lorsqu'ils sont transposés à des peuplements fertilisés mais amplitude du biais raisonnable (<9%) sauf pour l'écorce (effet génétique?)



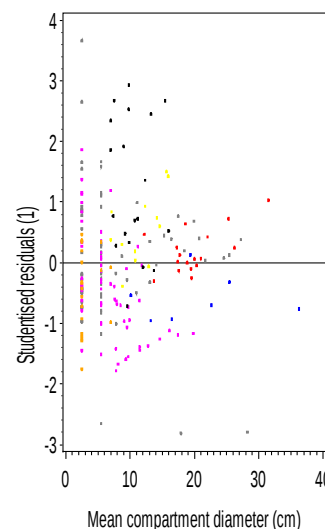
# Résultats pour le Hêtre, Minéralomasse



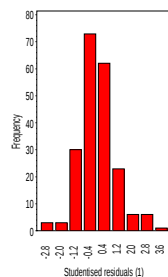
••• Measured    ○○ Predicted



Y-axis: ••• Measured  
— Regression Y=a+b\*X



Site (spilf):  
 ● Aub. Si<23 m (age=158 yrs)  
 ● Fou. Si=29-32 m (age=81-145 yrs)  
 ● Fou. Si=40-44 m (age=8-12 yrs)  
 ● Pot. Si=NA (age<13 yrs)  
 ● Dar. Si=35 m (age=145 yrs)  
 ● Fou. Si=35-36 m (age=25-50 yrs)  
 ● Hes. Si=NA (age=10-30 yrs)



$$CB+E, \text{ espérance} = [aB + bB \times \exp(cB \times D)] \times PB + aE \times (1 - PB)$$

$$CB+E, \text{ variance} = s^2 \times D^2 \times k$$

Un modèle unique pour tous les éléments minéraux, mais avec un paramétrage différent – Existence d'un effet site mais données non suffisantes pour bien expliciter les mécanismes





# Résultats pour le Hêtre, Effet sol ?

Pédoséquence rendosol → alocrisol

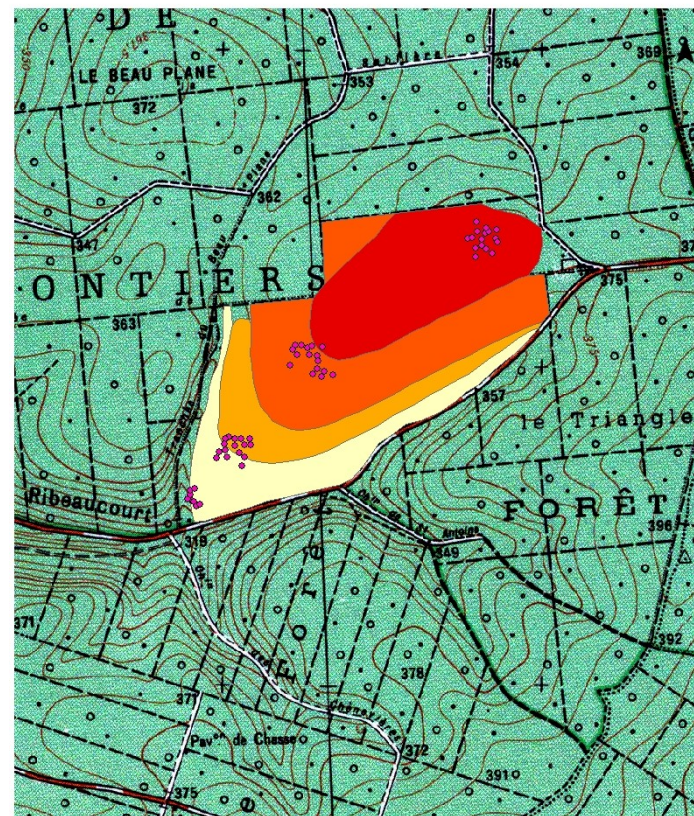
## Biomasse par compartiments

- Branches 0-4cm (B+E); 4-7cm (B+E); >7cm (B et E);
- Tronc 4-7 cm (BE); >7cm (B+E).

## Dosage 10 éléments minéraux

C, N, S, P, Mn, Mg, Ca, Al, Na, K

| Parcelle           | Essence          | Nbre arbres c130 (mm) | Hauteurs (m) |
|--------------------|------------------|-----------------------|--------------|
| Brun acide         | Erable sycomore  | 7                     | 380-1055     |
| Brun acide         | Frêne            | 1                     | 830          |
| Brun acide         | hêtre            | 8                     | 430-1319     |
| Brun calcique      | Erable sycomore  | 7                     | 595-1365     |
| Brun calcique      | hêtre            | 9                     | 465-1395     |
| Rendzine           | Hêtre            | 8                     | 430-1050     |
| Rendzine brunifiée | Erable sycomore  | 8                     | 420-1275     |
| Rendzine brunifiée | Hêtre            | 8                     | 448-1300     |
| TSF                | Bouleau          | 8                     | 315-1680     |
| TSF                | Charme           | 10                    | 485-1784     |
| TSF                | Chêne            | 5                     | 2145-2920    |
| TSF                | Erable champêtre | 9                     | 840-1675     |
| TSF                | Hêtre            | 5                     | 2065-2420    |
| TSF                | Tremble          | 7                     | 705-1497     |



**Légende**

- Réseau d'observation
- Rendosol
- Rendisol-Calcisol
- Brunisol-Oligosaturé
- Alocrisol

0 0.050 1 0.2 0.3 Kilomètres



# Résultats pour le Hêtre, Effet sol ?

Pédoséquence rendosol → alocrisol

| Type of soil            | Age<br>(years) | No.ha <sup>-1</sup> | C <sub>130</sub> (cm) <sup>a</sup> | Basal area (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> ) | Height (m) |                   |                  |
|-------------------------|----------------|---------------------|------------------------------------|------------------------------------------------|------------|-------------------|------------------|
|                         |                |                     |                                    |                                                | Top        | Mean <sup>b</sup> | PGI <sup>c</sup> |
| Rendosol                | 49 (4)*        | 945 (117)*          | 49 (26)*                           | 15.8 (2.2)*                                    | 28.3       | 21 (2.8)*         | 34.7 (0.8)       |
| Rendisol-calcisol       | 57 (12)**      | 855 (65)*           | 50 (28)**                          | 17.3 (3.7)*                                    | 28.8       | 25 (2.0)**        | 38.3 (1.5)       |
| Oligosaturated brunisol | 54 (3)**       | 604 (116)**         | 55 (34)***                         | 17.8 (2.0)*                                    | 29.3       | 26 (1.9)**        | 37.2 (0.5)       |
| Alocrisol               | 45 (7)*        | 770 (128)*          | 49 (25)**                          | 14.1 (2.3)**                                   | 30.0       | 25 (2.2)**        | 40.0 (1.1)       |

Site parmi les plus productifs de France pour le Hêtre

Alocrisol, finalement le plus productif des 4 sols (faibles concentrations en éléments minéraux mais sol profond)



## Résultats pour le Hêtre, Effet sol ?

|                         | Stem d>7cm <sup>a</sup>    | Stem d>7cm <sup>a</sup>  | Branch total               | Small branch             | Medium branch <sup>b</sup> | Coarse branch <sup>b</sup> | Total aboveground          |
|-------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Type of soil            | wood                       | bark                     | wood+bark                  | wood+bark                | wood+bark                  | wood+bark                  | wood+bark                  |
| Rendosol                | 220.5 (177.5) <sup>a</sup> | 15.1 (11.1) <sup>a</sup> | 99.7 (88.1) <sup>a</sup>   | 64.6 (49.0) <sup>a</sup> | 38.5 (19.0) <sup>a</sup>   | 68.4 (28.9) <sup>a</sup>   | 347.2 (267.3) <sup>a</sup> |
| Rendisol-calcsisol      | 340.0 (207.6) <sup>a</sup> | 23.2 (14.3) <sup>a</sup> | 155.6 (177.0) <sup>a</sup> | 65.2 (51.7) <sup>a</sup> | 34.2 (42.5) <sup>a</sup>   | 64.3 (96.0) <sup>a</sup>   | 535.6 (386.1) <sup>a</sup> |
| Oligosaturated brunisol | 399.6 (293.6) <sup>a</sup> | 22.5 (14.4) <sup>a</sup> | 195.1 (200.2) <sup>a</sup> | 85.0 (73.1) <sup>a</sup> | 40.5 (35.4) <sup>a</sup>   | 99.7 (147.8) <sup>a</sup>  | 629.9 (498.2) <sup>a</sup> |
| Alocrisol               | 456.0 (310.1) <sup>a</sup> | 25.2 (14.9) <sup>a</sup> | 193.7 (179.3) <sup>a</sup> | 80.8 (42.2) <sup>a</sup> | 39.9 (29.0) <sup>a</sup>   | 104.0 (128.0) <sup>a</sup> | 686.1 (494.0) <sup>a</sup> |

Par arbre, la biomasse totale est deux fois plus élevée sur l'Alocrisol que sur rendosol, la proportion de branche étant toute fois significativement plus élevée sur le rendosol que sur Alocrisol





# Résultats pour le Hêtre, Effet sol ?

| Compartment            | Type of soil       | Age (years) | Mean bias <sup>1</sup>  |
|------------------------|--------------------|-------------|-------------------------|
| Aboveground            | Rendosol           | 49          | 5% (2%) <sup>ns</sup>   |
|                        | Rendisol-Calciisol | 57          | 4% (2%) <sup>ns</sup>   |
|                        | Oligosaturated     | 54          | 5% (1%) <sup>ns</sup>   |
|                        | Brunisol           |             |                         |
|                        | Alocrisol          | 45          | 3% (5%) <sup>ns</sup>   |
| Branch                 | Rendosol           | 49          | 27% (4%) <sup>b</sup>   |
|                        | Rendisol-Calciisol | 57          | 19% (6%) <sup>a</sup>   |
|                        | Oligosaturated     | 54          | 10% (4%) <sup>a</sup>   |
|                        | Brunisol           |             |                         |
|                        | Alocrisol          | 45          | -1% (5%) <sup>a</sup>   |
| Stem wood (d>7cm)      | Rendosol           | 49          | 9% (2%) <sup>a</sup>    |
|                        | Rendisol-Calciisol | 57          | 6% (3%) <sup>a</sup>    |
|                        | Oligosaturated     | 54          | 6% (3%) <sup>a</sup>    |
|                        | Brunisol           |             |                         |
|                        | Alocrisol          | 45          | 7% (2%) <sup>a</sup>    |
| Stem bark (d>7cm)      | Rendosol           | 49          | -8% (3%) <sup>a</sup>   |
|                        | Rendisol-Calciisol | 57          | -10% (8%) <sup>a</sup>  |
|                        | Oligosaturated     | 54          | -29% (3%) <sup>b</sup>  |
|                        | Brunisol           |             |                         |
|                        | Alocrisol          | 45          | -20% (10%) <sup>c</sup> |
| Stem wood+bark (d>7cm) | Rendosol           | 49          | 8% (2%) <sup>a</sup>    |
|                        | Rendisol-Calciisol | 57          | 5% (3%) <sup>a</sup>    |
|                        | Oligosaturated     | 54          | 4% (3%) <sup>a</sup>    |
|                        | Brunisol           |             |                         |
|                        | Alocrisol          | 45          | 7% (4%) <sup>a</sup>    |

90% des valeurs mesurées dans l'intervalle de confiance des valeurs simulées  
 Résultats similaires à ceux observés pour les peuplements fertilisés (pas de biais significatif pour le total aérien), léger biais pour le bois mais inférieur à 10%, branches sous-estimées sauf pour alocrisol (biais plus fort sur rendosol), écorce sur-estimée quelque soit le sol



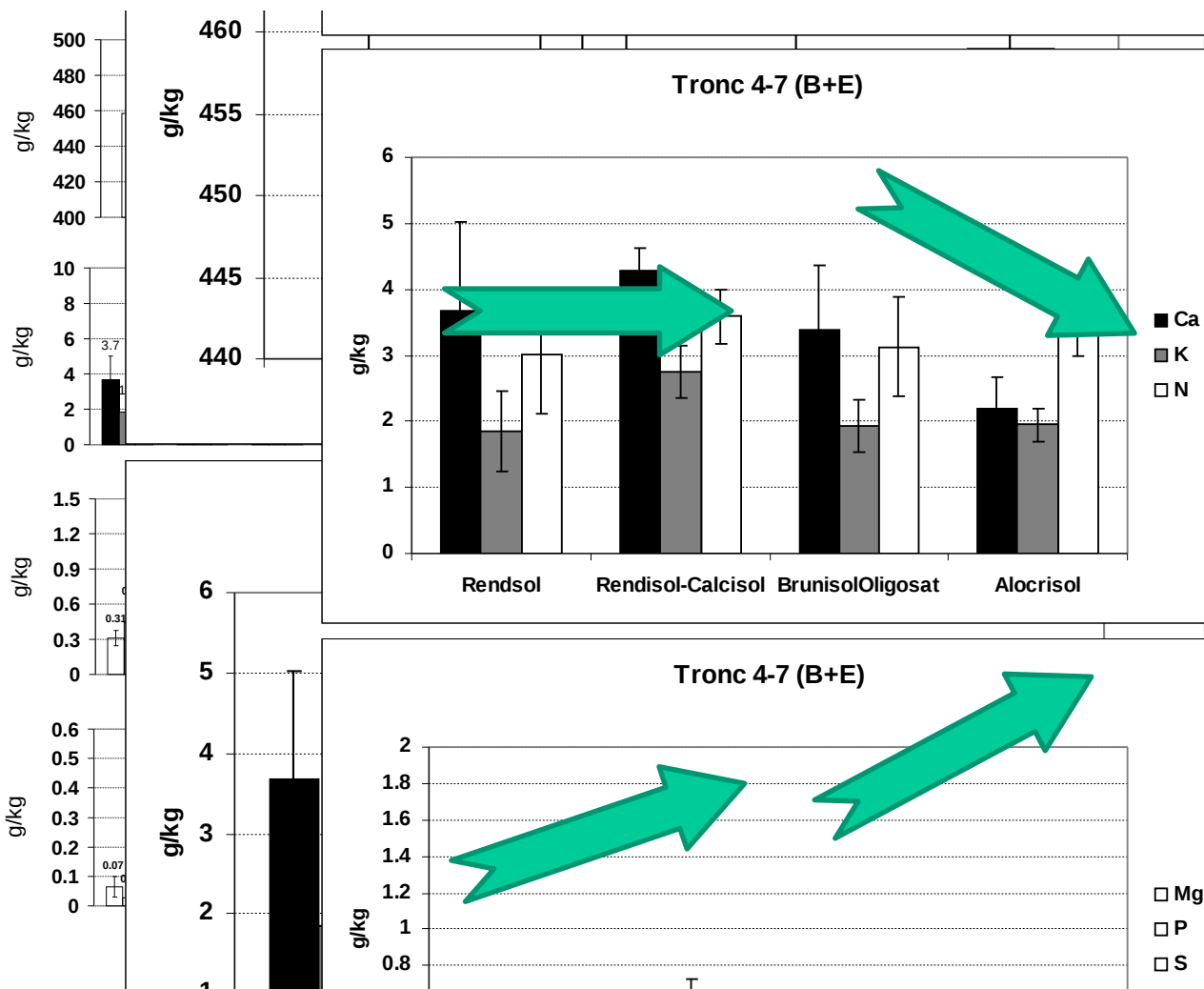
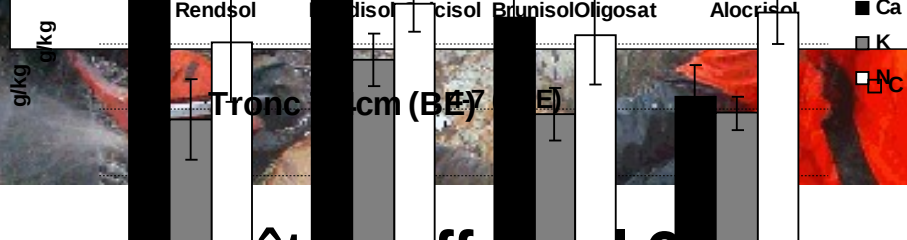


# Résultats pour le Hêtre, Effet sol ?

Stem d4-7cm (wood+bark)

Stem d>7cm (wood)

Stem d>7cm (bark)



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



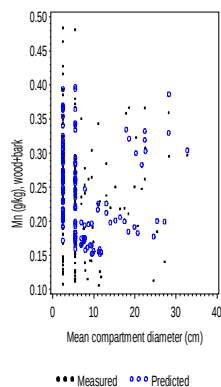
Ca, wood + bark  
Ca, wood bark



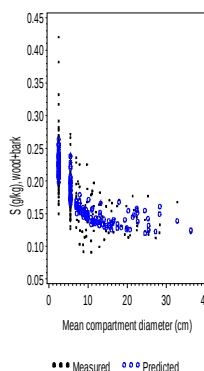
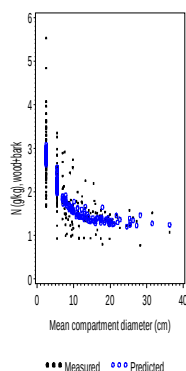
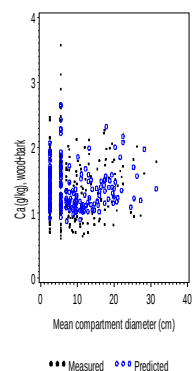
Bonnes corrélations entre la concentration dans le sol et la concentration dans les différents organes  
uniquement pour Ca et Mn



# Résultats pour le Hêtre, Effet sol ?



Mn: biais augmente quand diamètre augmente → diminution concentration avec le diamètre mal retranscrite par le modèle



Ca, K, S, N: biais diminue quand diamètre augmente  
→ effet fertilité surtout sur fines découpes

P, Mg: insensible au diamètre → effet fertilité homogène quelque soit les diamètres



# Résultats 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)

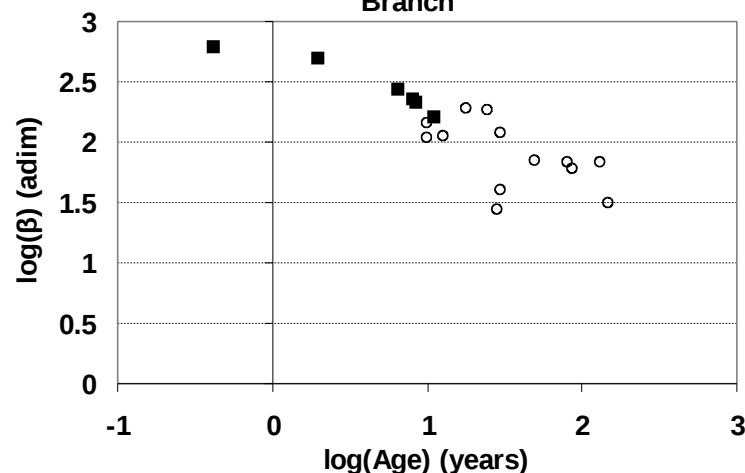
Influence des conditions de croissance  
(résidus autour des tendances « âge ») plus forte pour le houppier que pour le bois de tronc



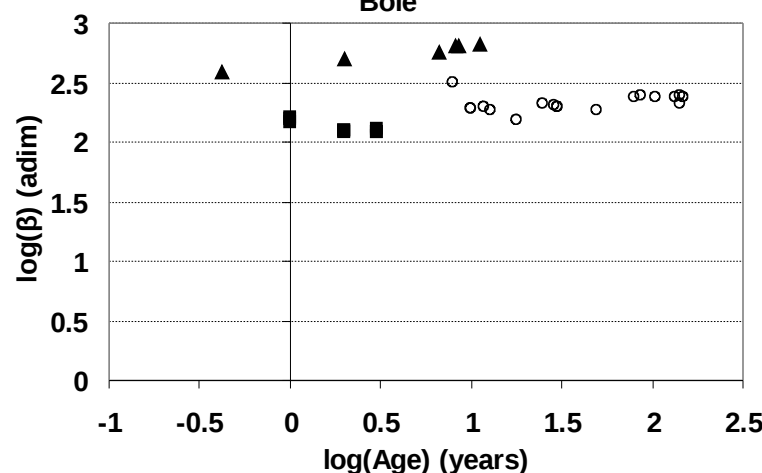


# Résultats pour le Hêtre, analogies avec l'eucalyptus

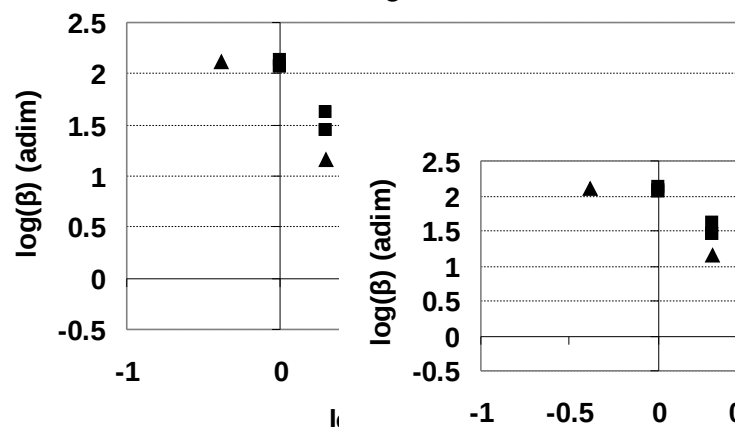
Branch



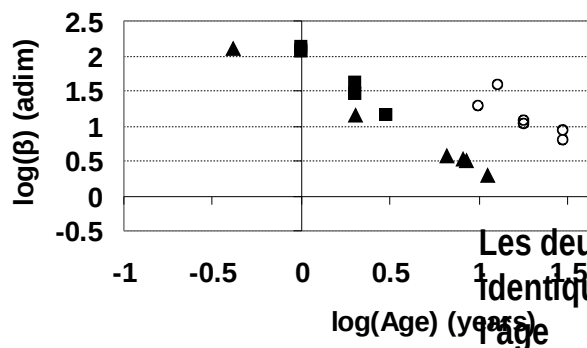
Bole



Foliage



Foliage



- 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



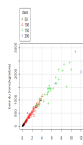
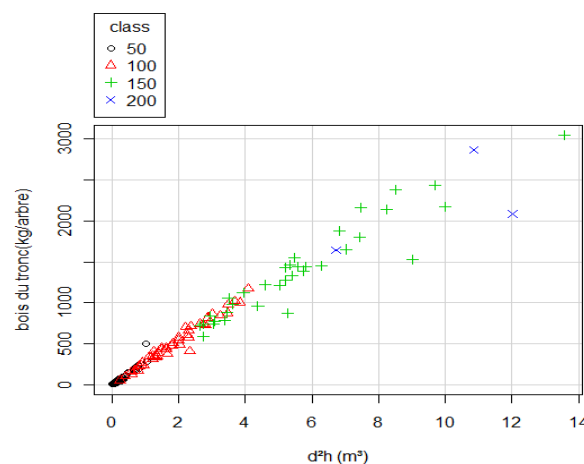
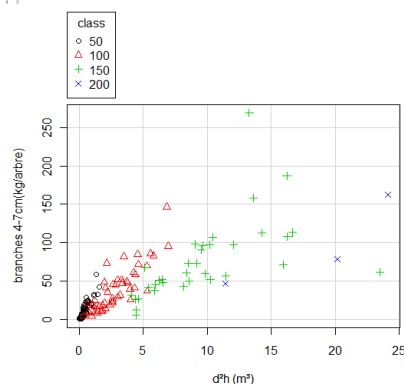
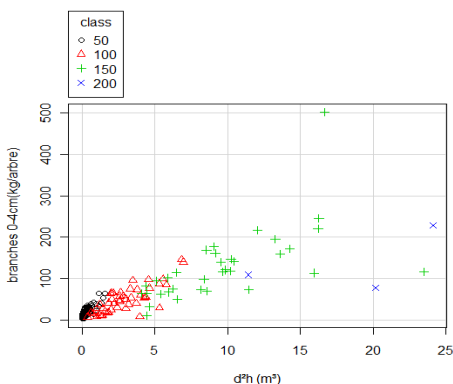


# Résultats pour le Hêtre, analogies avec le Chêne (ZIP) ?

Hypothèses :

**BRANCHES** = Pente décroissante avec l'âge des peuplements

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



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

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

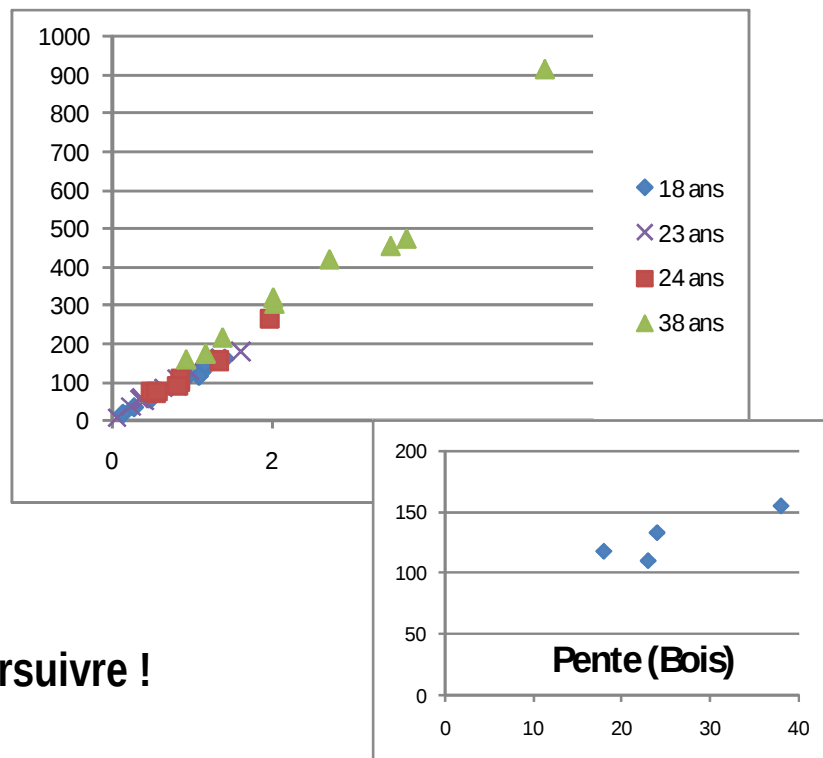
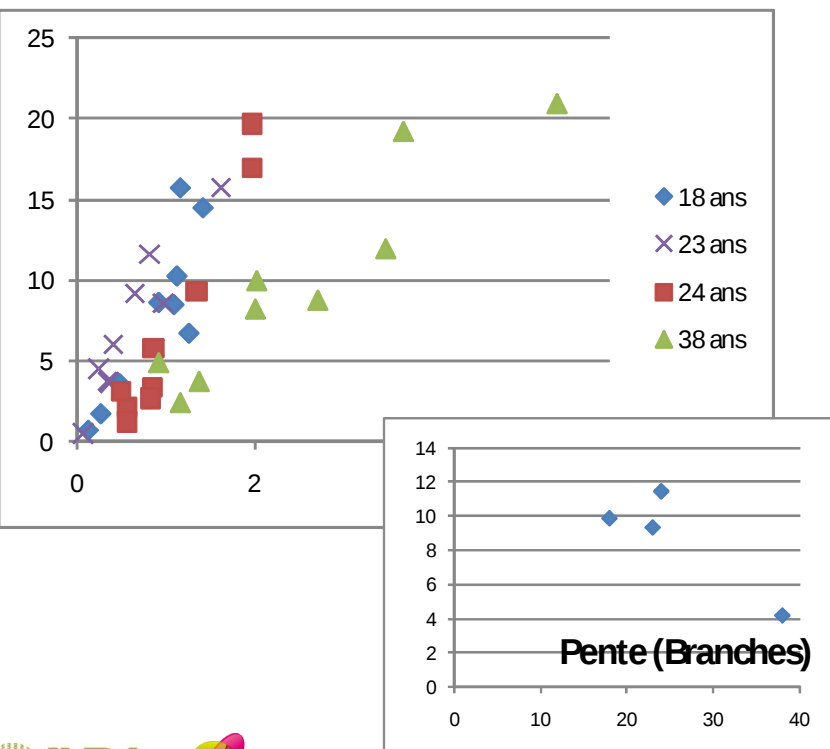


# Résultats pour le Hêtre, analogies avec le Douglas?

Hypothèses :

**BRANCHES** = Pente décroissante avec l'âge des peuplements

**BOIS** = Pente croissante avec l'âge des peuplements



A poursuivre !



## Résultats pour le Hêtre, Conclusion

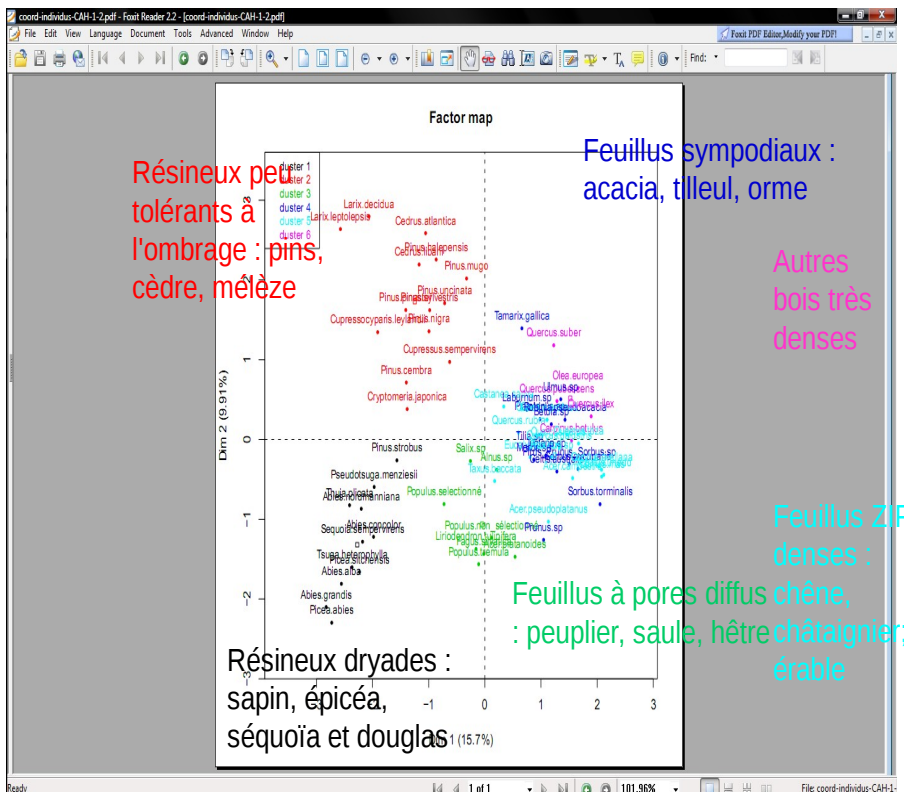
- (i) l'introduction de l'âge dans les équations de biomasse (en plus du diamètre et la hauteur de l'arbre) améliore nettement les estimations notamment pour les compartiments du houppier qui sont de prime importance pour la ressource en bois énergie
- (ii) Des modèles robustes et validés de biomasse sont à présent disponibles pour le hêtre en Europe et peuvent être utilisés pour des études de carbone ou de bois énergie (ex à partir de données LIDAR)
- (iii) Les grandes théories (OPT et APT) sont vérifiées pour le Hêtre mais elles ne sont pas du même ordre de grandeur ( $APT \gg OPT$ ), les compartiments du houppier étant les plus sensibles à l'environnement
- (iv) L'introduction de l'effet site dans les modèles de concentration en éléments minéraux est plus complexe qu'attendu (prendre en compte le mode de prélèvement, les interactions entre éléments minéraux, les translocations)





## Résultats pour le Hêtre, Conclusion

- (v) Un schéma générique entre essences a pu être mis en évidence par comparaison avec l'Eucalyptus, le Chêne et le Douglas ouvrant ainsi la voie à de nouvelles équations inter-essences



### Résultats:

Dimension 1 = plan ligneux ; infradensité

Dimension 2 = tolérance ombrage ; ramification

Dimension 3 = croissance juvénile ; capacité réitération  
6 groupes

CONTRAINTE : Essences avec suffisamment d'arbres par classe d'âge pour ajuster les équations

Pin Maritime ?  
Peuplier ?



# Atelier Modelisation

L. Saint-André, T. Senga, M. Jonard (UCL), P. Vallet, C. Meredieu (Biogeco), L. Augusto ( TCEM),  
A. Bouvet

- Trois jours de travail (du 15 au 17 juin) en visioconférence
- Jeu de données et programme d'apprentissage en SAS/R (1 jour)
- Travail sur les jeux de données disponibles chez chacun (1 jour)
- Premier bilan

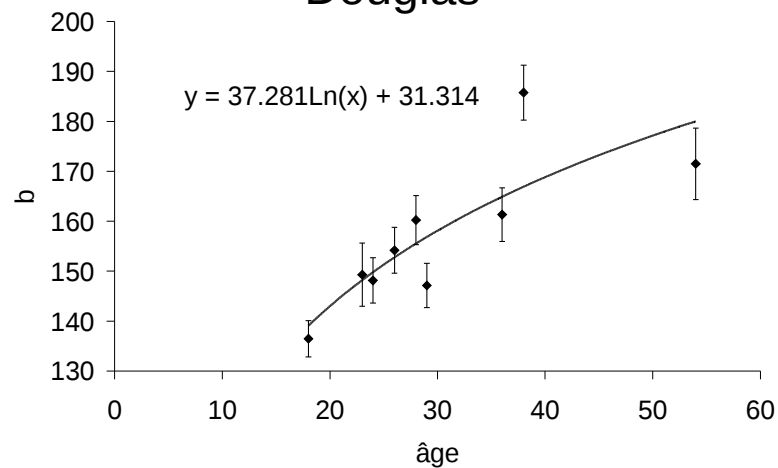
BIOMASSE =Travail simultané sur DOUGLAS (106), PEUPLIER (105), PIN MARITIME (207), EUCALYPTUS (188)

MINERALOMASSE = Jeux de données et programmes préparés mais pas réalisés

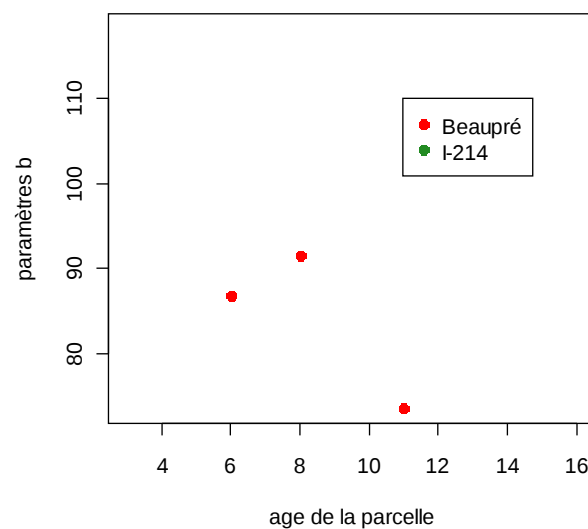


# Atelier Modélisation, tronc

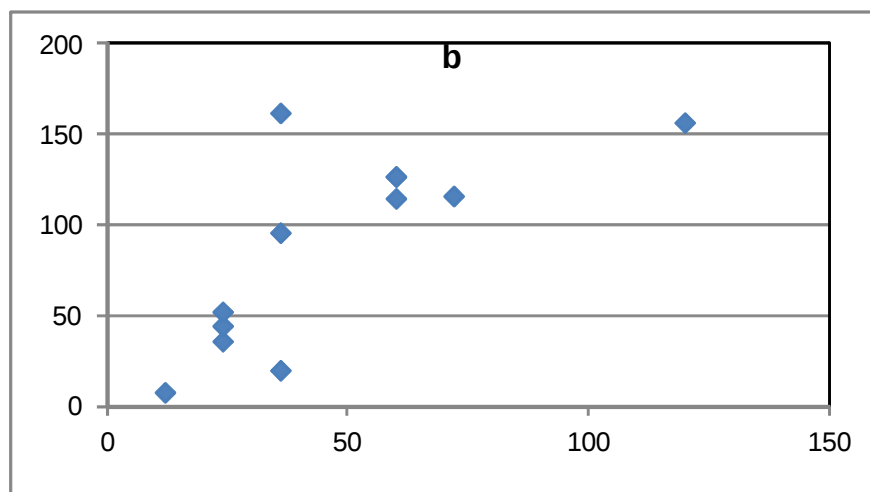
## Douglas



## Peuplier

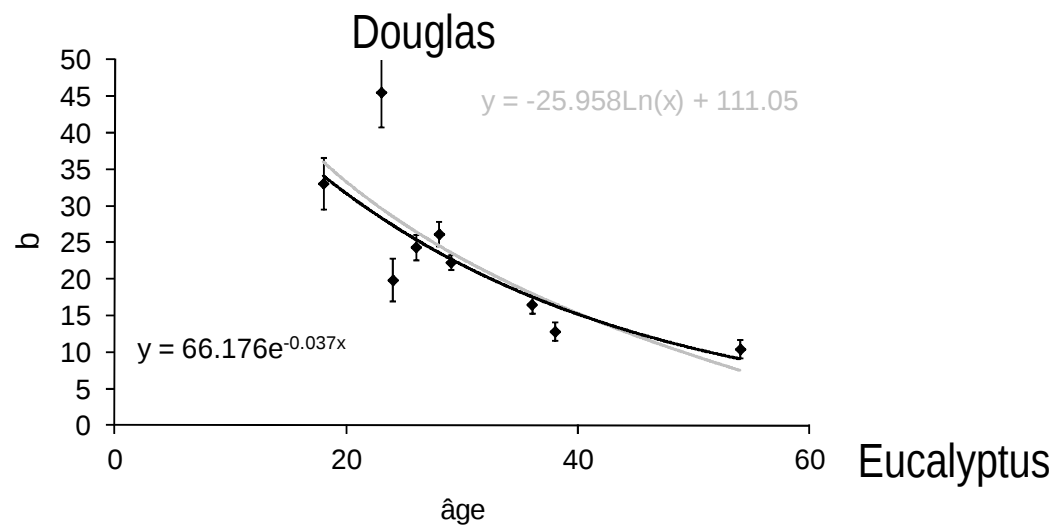


## Eucalyptus

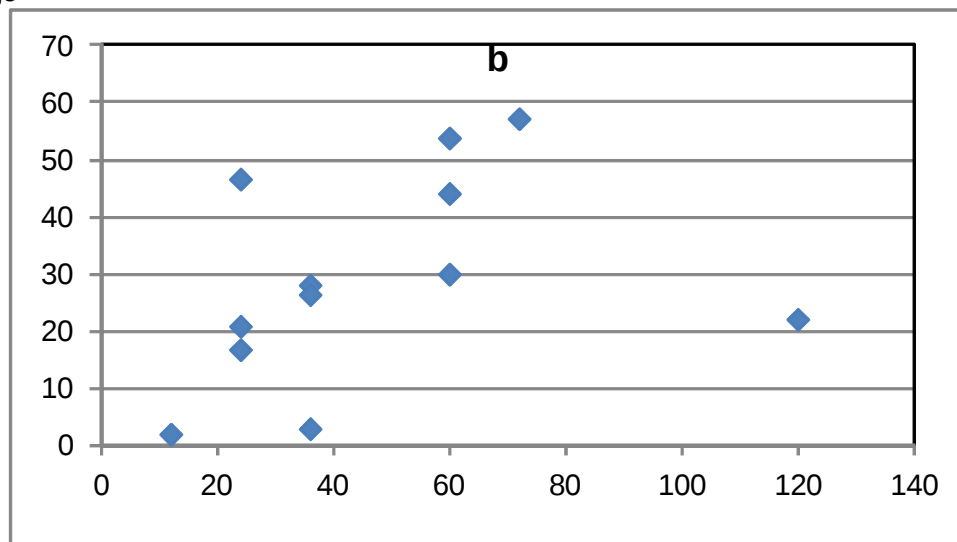
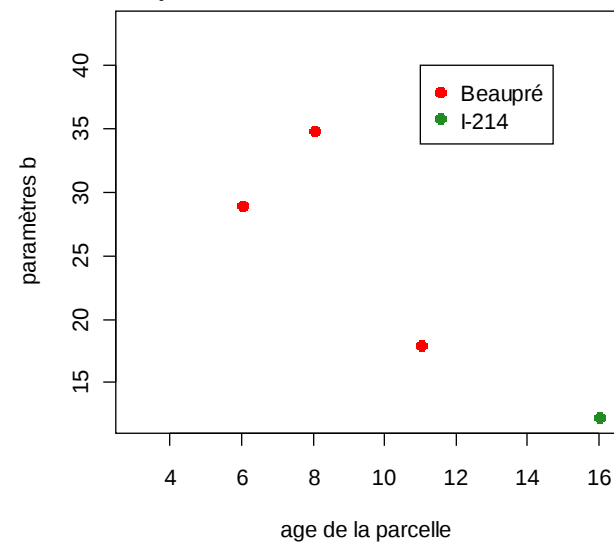




# Atelier Modélisation, branches



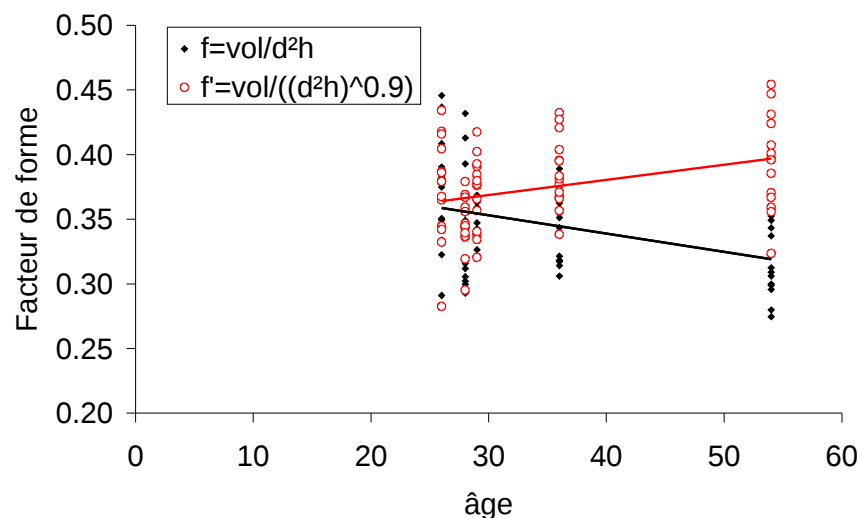
## Peuplier







## Atelier Modélisation, limites actuelles de l'exercice



Corrélation entre paramètres , choix de modélisation entre une méta-analyse (équation identiques entre essences) ou des modèles ciblés par essence?

Choix des compartiments en vue (par exemple pour les feuillus: tronc jusqu'à fourche ? Ou jusqu'au sommet ?)

Pas encore toutes les données pour toutes les essences (douglas!)

Travail méthodologique sur le Chêne effectué par UCL



## Atelier Modélisation, bilan

META-ANALYSE Biomasse – Support papier =

- Définition compartiments et fixer équations – Coefficients =  $f(\text{forme et densité})$ . Nécessite d'avoir mesuré les volumes.
- Synthèse inter-essences.
- Validation sur essences orphelines.
- Envoyer protocole – compartiment bois de tronc, écorce tronc, branches totales, feuilles / modèles d2H avec  $c$  fixé à 1. Tronc à dec 7 ou base du houppier selon architecture de l'arbre. Ecorce sur le même compartiment que bois tronc. Branches sur écorce. Pour le tronc modèle en D2Hdec, écorce  $f(\text{volume écorce})$ , houppier le reste Bois+écorce modèle en D2H ou en decL.

RELANCER la manip en octobre/novembre pour clôturer dossier biomasse et rédiger le papier (leader LSA)

En parallèle, papier méthodo Chêne (leader UCL)



# Variations intra-arbres (densité, concentration en minéraux)

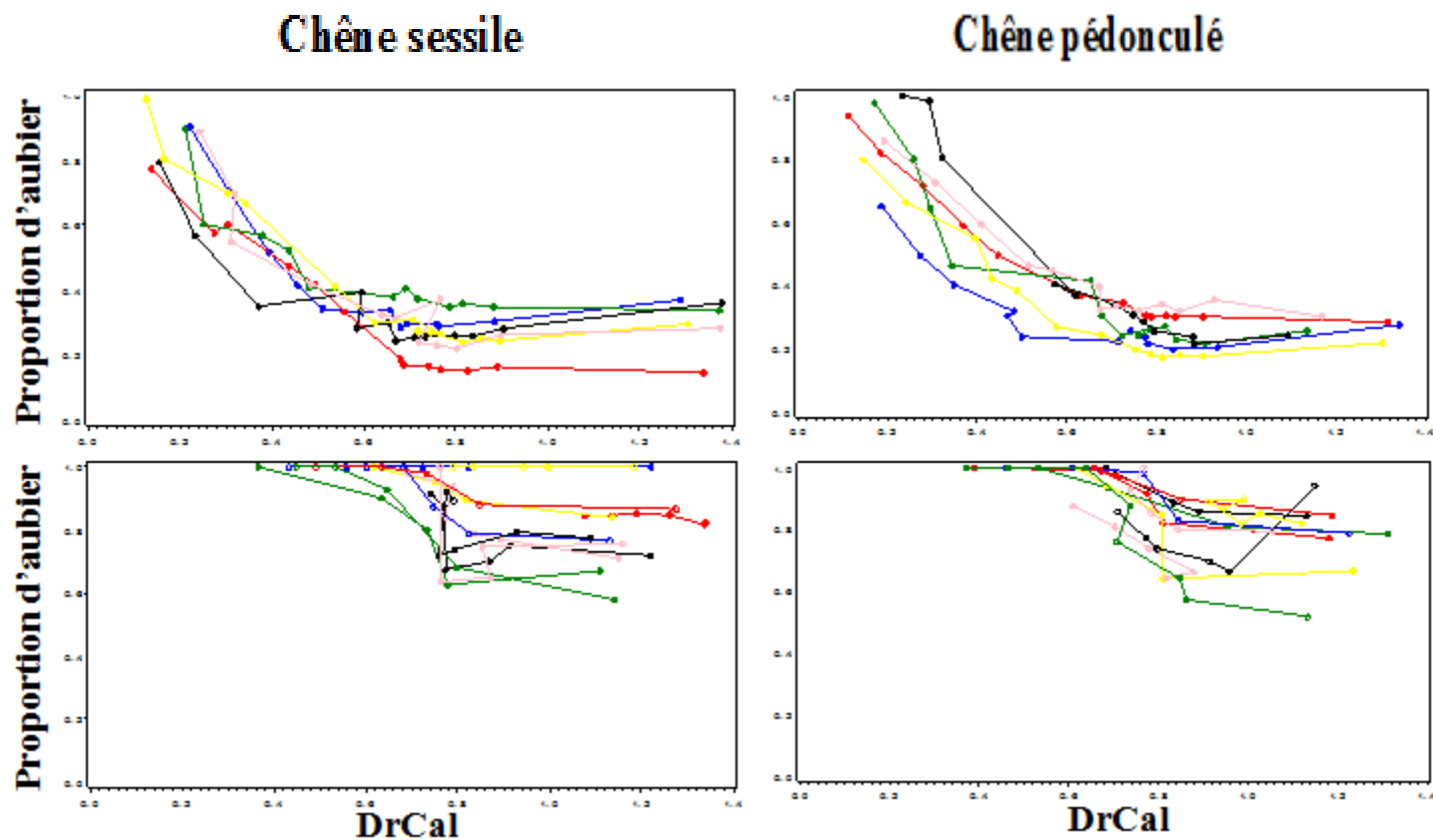
## Travail sur le Chêne

Objectifs, fournir des pistes pour dépasser les limites des modèles directs:

- **Interpréter finement l'effet âge:** variations en fonction de l'âge cambial
- **Variations en fonction de la hauteur:** modèles de biomasse continus
- **Calcul des translocations:** un mécanisme d'efficience des arbres



## Variation de la proportion d'aubier-bois de cœur chez le chêne.







## ➤ Modélisation de la proportion d'aubier-bois de cœur Quercus petraea et Quercus robur

### ✓ Formalisation du modèle:

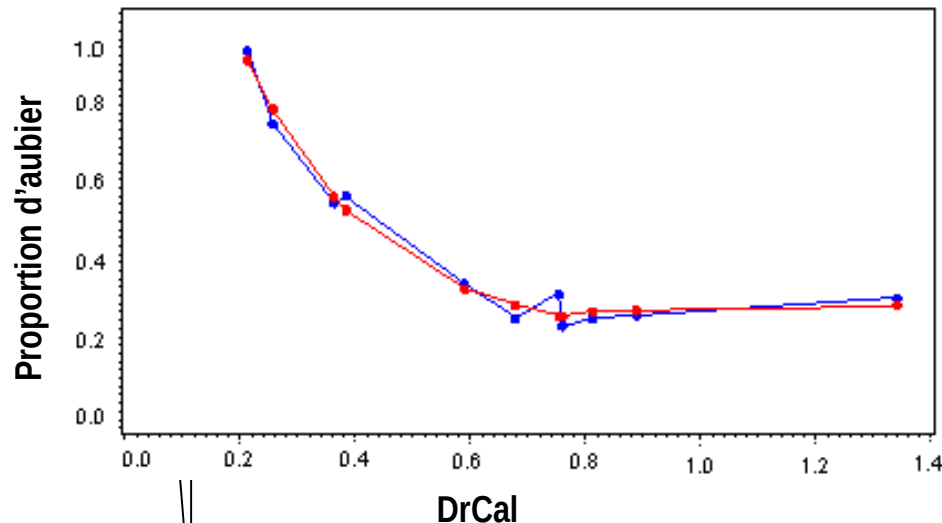
- Le modèle est non linéaire doublement segmenté avec quatre paramètres d'entrées a, b, c, d.

(1):  $\text{dest} = 1$  si  $\text{DrCal} < \text{dlimit}$

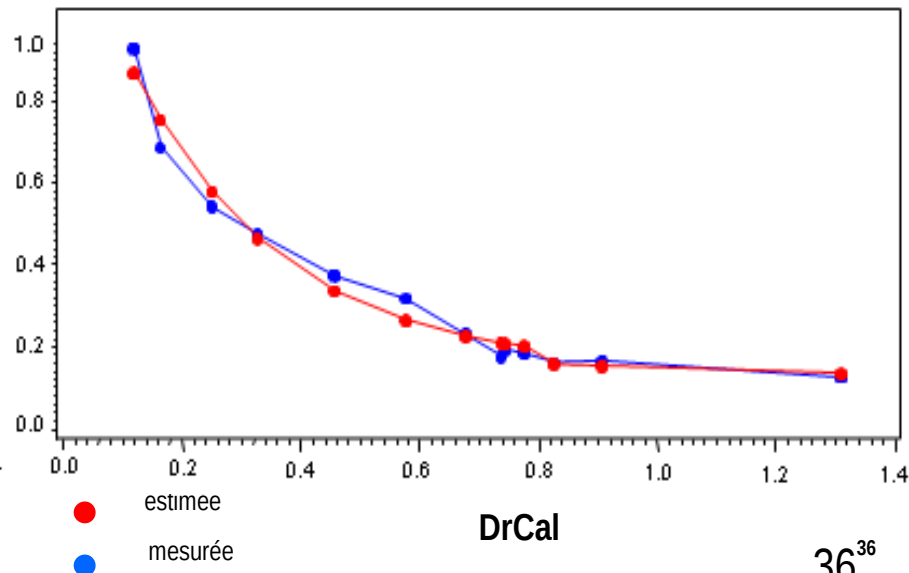
(2):  $\text{dest} = 1 - a * (1 - \exp(-b * (\text{DrCal} - \text{dlimit}))^c)$  si  $\text{dlimit1} < \text{DrCal} < \text{dlimit2}$

(3):  $\text{dest} = 1 - a * (1 - \exp(-b * (\text{dlimit2} - \text{dlimit}))^c) + d * \text{DrCal}$  sinon

'P' 150 ans



'S' 150 ans





## ➤ Modélisation de la proportion d'aubier-bois de cœur Quercus petraea et Quercus robur

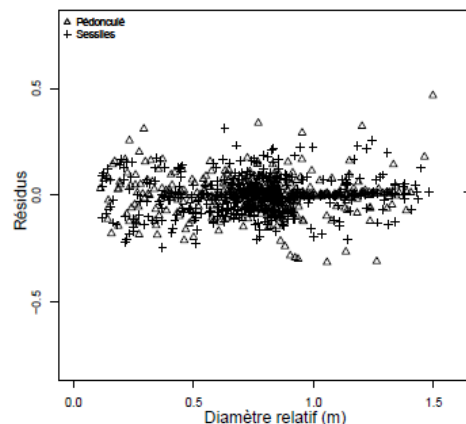
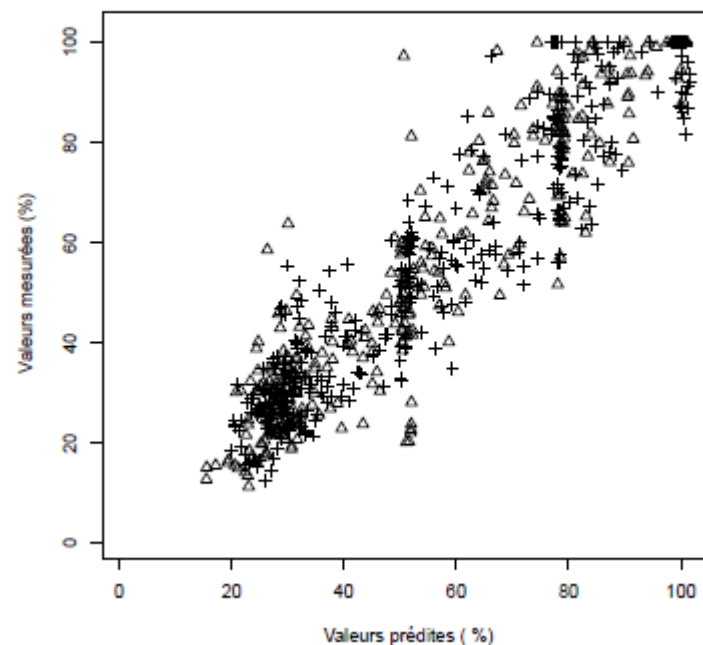
### ✓ Résultats:

Modèle unique pour les deux essences -  $r^2 \sim 91\%$  (sessile),  $r^2 \sim 89\%$  (pédonculé); RMSE 0.09

Seuil =  $f(\text{âge, Ht})$ ; plancher et remontée souche= $f(d_{130})$

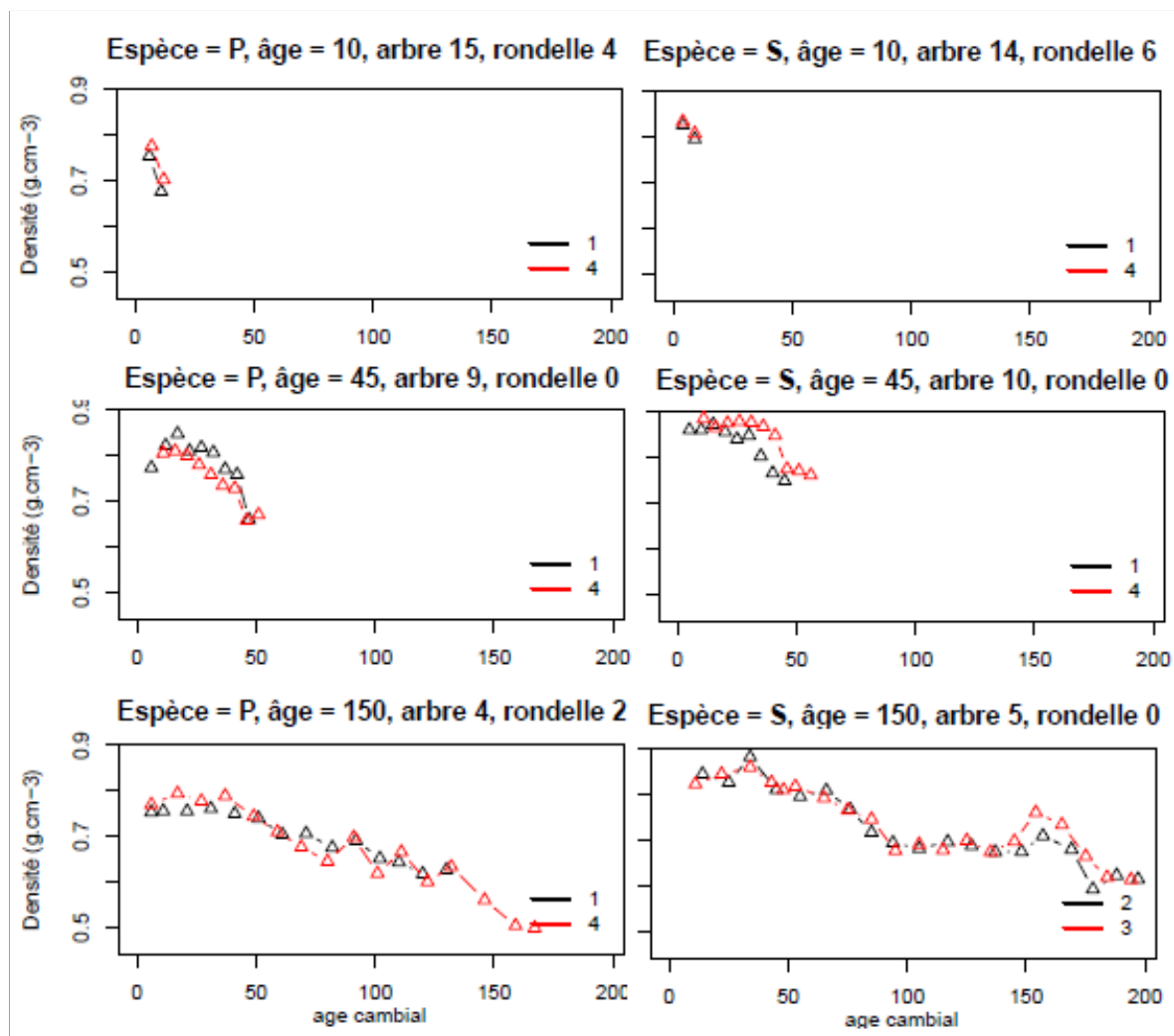
Pas de biais, quelque soit l'essence

Site : Perche-Trappe 2007  
Variable : Proportion d'aubier  
Espèces : Chêne Sessile, chêne Pédonculé





## Variation de la densité (intra-arbre) chez le chêne.





## ➤ Formalisation du modèle de densité.

$$DB = \alpha \times A + \beta AG + \gamma 1/LC \times A + \delta 1/AG \times F$$

|                      |     |  |                 |
|----------------------|-----|--|-----------------|
| Intercept            |     |  | <b>0.8779</b>   |
| espece               | P   |  | -0.05697        |
| espece               | S   |  | 0               |
| Age                  | 10  |  | -0.06167        |
| Age                  | 25  |  | -0.06335        |
| Age                  | 45  |  | -0.05240        |
| Age                  | 100 |  | -0.00789        |
| Age                  | 135 |  | -0.03389        |
| Age                  | 150 |  | 0               |
| age_cambial          |     |  | <b>-0.00117</b> |
| __LC_mm*Age          | 10  |  | 0.04294         |
| __LC_mm*Age          | 25  |  | -0.00753        |
| __LC_mm*Age          | 45  |  | 0.02239         |
| __LC_mm*Age          | 100 |  | -0.09723        |
| __LC_mm*Age          | 135 |  | -0.1036         |
| __LC_mm*Age          | 150 |  | -0.08170        |
| __age_cambial*espece | P   |  | 0.2008          |
| __age_cambial*espece | S   |  | -0.02886        |

Meilleur modèle avec

arbres (pente  
les jeunes  
arbres)

Interaction 1/AgeCambial et essence,  
pente positive pour dépondulé



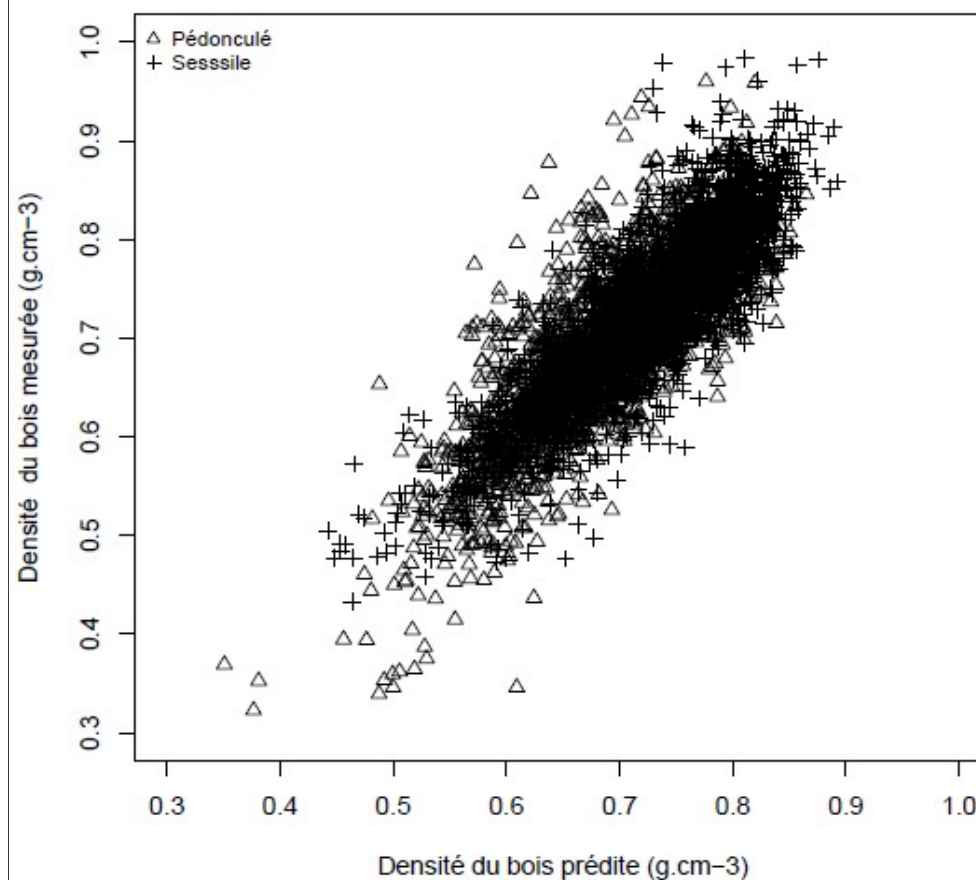


## ➤ Vérification de la pertinence du modèle.

✓ modèle global  
-  $r^2 \sim 71\%$ ,  $MRSE = 0.0477$

✓ chêne sessile et pédonculé  
-  $r^2 \sim 72\%$ ,  $r^2 \sim 66\%$ ,

Pas de biais, bonne structure des résidus



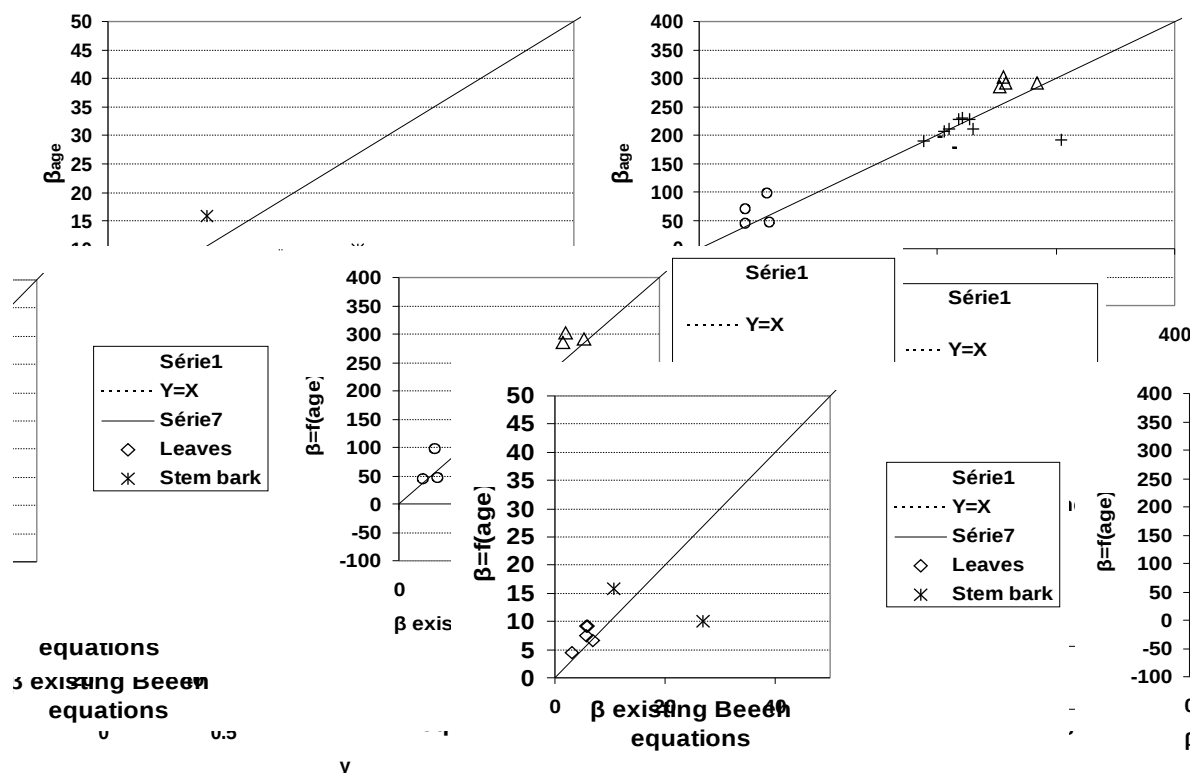


# Et au-delà ? Notamment pour les essences orphelines?

## Utilisation des catalogues d'équations, leçon du hêtre

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 biomasse  
indiquée dans chaque papier

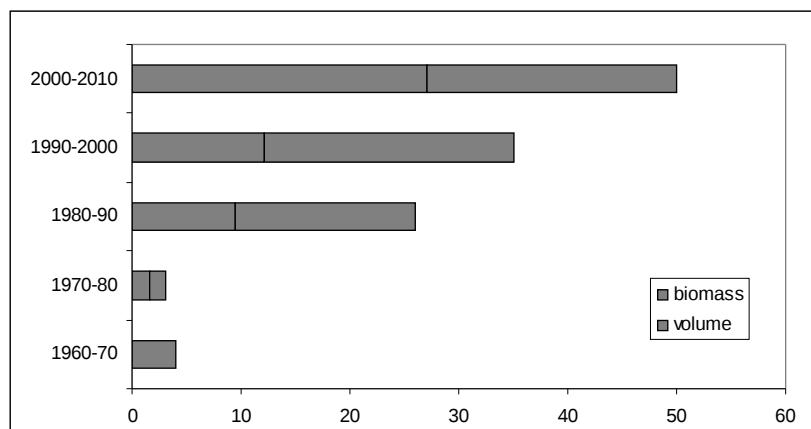


Revisiter les catalogues pour ajuster des  
modèles “grossiers” essence par essence ?

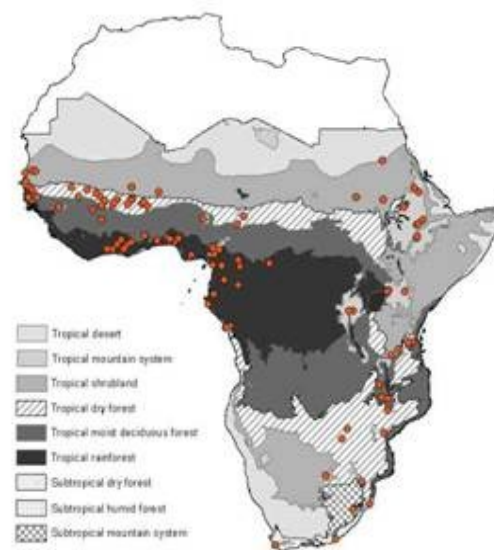
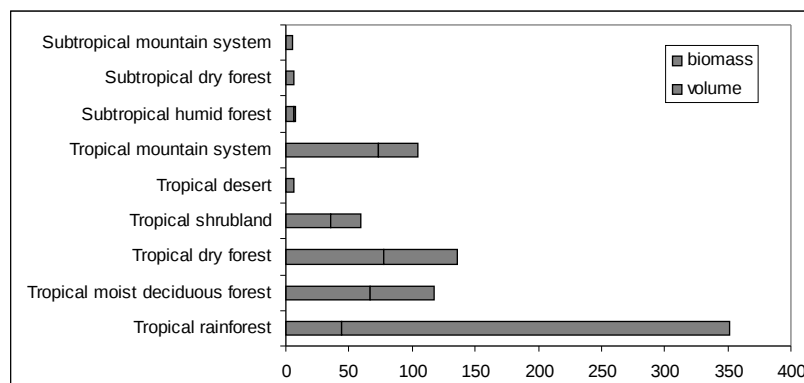


# Et au-delà ?

## Utilisation des catalogues d'équations, ex Afrique



816 équations collectées, dont 495 ont pu être géo-référencées (89 sites en Afrique Sub-Saharienne)





## Et au-delà ?

# Utilisation des catalogues d'équations, ex Afrique

369 équations ont pu être transformées sous la forme homogène

$$\text{Biom} = a \cdot D^b$$

ABGB = 34 équations pour la biomasse totale (stricto sensu)

ABGB- = 19 équations pour la biomasse totale (sans les feuilles)

ABGB-- = 14 équations pour la biomasse totale (sans les feuilles et les branches mortes)

ABGB--- = 13 équations pour la biomasse totale (sans les feuilles, brindilles et branches mortes)

T = 184 équations pour la biomasse de tronc

**Average b value (to be compared to that of the WBE model = 2.69)**

$$2.32 \pm 0.66 \left\{ \begin{array}{ll} \text{ABGB} & = 2.18 \pm 0.67 \\ \text{ABGB-} & = 2.39 \pm 0.81 \\ \text{ABGB--} & = 2.58 \pm 0.25 \\ \text{ABGB---} & = 1.96 \pm 0.83 \\ \text{T} & = 2.10 \pm 0.32 \end{array} \right.$$

Les valeurs observées ne correspondent pas à la valeur théorique mais déjà noté par ailleurs par différents auteurs (Zianis pour l'Europe = 2.37; Muller-Landau pour les tropiques (excepté Afrique) = 2.45 (gros arbres), 2.65 (petits arbres))





**Et au-delà ?**

## **Utilisation des catalogues d'équations, EMERGE**

Mais cette forme d'équation

$$\text{Biom} = a \cdot D^b$$

est une simplification de la forme appropriée (biologique)

$$\text{Biom} = \beta \cdot (D^2 H)^\alpha$$

En faisant deux hypothèses:

- une relation puissance entre le diamètre et la hauteur
- une invariance des paramètres en fonction de l'âge et de la maturité des arbres

**Et donc..... Comment retrouver l'équation générique à partir des équations simplifiées ?**

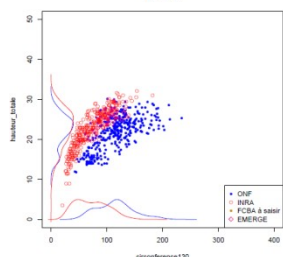
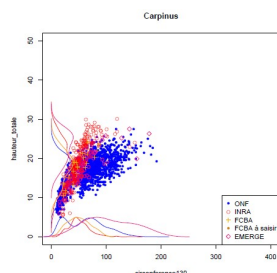
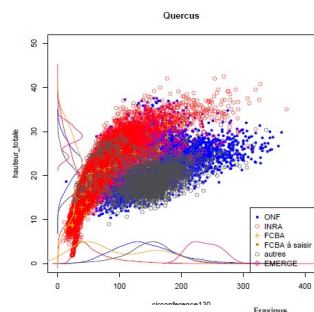


## Et au-delà ?

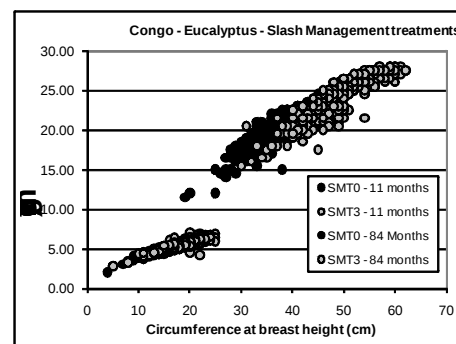
# Utilisation des catalogues d'équations, EMERGE

Etape 0 : Rassembler les publications sur les différentes essences d'intérêt  
(cf travail bibliographique piloté par Fleur)

Etape 1 : Travailler sur les relations Hauteur/Circonférence



Variations entre  
essences



Mais pour une essence donnée, cette relation est  
aussi (âge/maturité) dépendante

Etape 2 : Transformer les équations publiées pour obtenir la  
forme « biologique »

Etape 3 : Modéliser les paramètres en fonction de l'âge et  
valider sur les données Emerge