



HAL
open science

Pour une valorisation optimisée de la biomasse forestière tenant compte de la variabilité de la masse volumique du bois dans l'arbre : cas du sapin pectiné

Antoine Billard, Colin Francis, Mothe Frédéric, Rodolphe Bauer, Fleur
Longuetaud

► To cite this version:

Antoine Billard, Colin Francis, Mothe Frédéric, Rodolphe Bauer, Fleur Longuetaud. Pour une valorisation optimisée de la biomasse forestière tenant compte de la variabilité de la masse volumique du bois dans l'arbre : cas du sapin pectiné. 8èmes journées du GDR 3544 Sciences du bois, Nov 2019, Epinal, France. hal-03038285

HAL Id: hal-03038285

<https://hal.science/hal-03038285>

Submitted on 3 Dec 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.

Pour une valorisation optimisée de la biomasse forestière tenant compte de la variabilité de la masse volumique du bois dans l'arbre : cas du sapin pectiné

BILLARD Antoine¹, COLIN Francis¹, MOTHE Frédéric¹, BAUER Rodolphe¹,
LONGUETAUD Fleur¹

¹ Université de Lorraine, AgroParisTech, Inra, F-54000 Nancy, France
antoine.billard@inra.fr

Mots clés : Infradensité ; *Abies alba* ; Compartiments ; Ressource.

Contexte

Pour limiter le changement climatique et à cause de la raréfaction des ressources, nous cherchons à réduire notre empreinte carbone. Pour évaluer la quantité de carbone stockée en forêt, nous avons besoin d'une connaissance précise de la ressource en biomasse, forestière dont une composante majeure est la biomasse aérienne ligneuse. En parallèle, une forte pression s'exerce sur cette ressource : le bois est un matériau écologique pour la construction, l'ameublement et la papeterie. Il est une solution face à la recherche d'énergies renouvelables et enfin, il contient une quantité importante d'extractibles (molécules d'intérêts) utilisables en chimie verte (Kebbi-Benkeder, 2017). De plus, les rémanents, branches et restes de troncs, sont une source de bois non valorisée. Même s'ils doivent en partie rester en forêt pour régénérer les sols, une partie pourrait être utilisée en chimie ou en énergie. Notre hypothèse est qu'une estimation de la biomasse forestière précise et détaillée tenant compte des spécificités de chaque filière peut être obtenue en analysant la répartition de la biomasse dans les différents compartiments de l'arbre.

Objectifs

L'objectif est de déterminer la masse volumique de différents compartiments de l'arbre : tronc, branches, écorce et nœuds. Actuellement, les masses volumiques utilisées proviennent de bases de données qui fournissent des valeurs moyennes par essences et qui peuvent être critiquables sur certains points (échantillonnage réduit et souvent ancien, mesures généralement réalisées à 1,30 m, séchage insuffisant des échantillons, densité moyenne mesurée sur des carottes sans pondération pour la variabilité radiale. Pour plus de détails se référer à Williamson and Wiemann, 2010). Dans ces bases les différents compartiments ne sont pas distingués. Il s'agira de :

- Caractériser la variation de masse volumique aux niveaux intra espèces
- Affiner le calcul du stockage de carbone à travers la quantité de biomasse
- Quantifier la ressource en extractibles (molécules d'intérêts) disponible dans les forêts du Nord Est de la France (projet EXTRAFOR-EST : <https://www6.inra.fr/extraforest>)
- Etablir un guide pour chaque essence avec les différents débouchés possibles pour chaque compartiment selon ses propriétés (masse volumique, extractibles, pouvoir calorifique inférieur...)

Matériel

Les sapins proviennent de la forêt de Saint-Prix en Saône et Loire (71). Nous avons choisi huit arbres dont quatre dans une placette « témoin » où il n'y a eu aucune intervention et quatre autres ayant subi une sylviculture « dynamique » (éclaircies très fortes). Nous avons choisi des sylvicultures contrastées afin de maximiser nos chances d'observer des différences de masse volumique entre ces deux extrêmes puisque notre étude est encore très exploratoire pour certains de ses aspects. Le schéma de prélèvement des échantillons dans l'arbre est illustré en Fig. 1.

- 15 rondelles de tronc (A) sont sélectionnées le long de la tige avec de façon systématique les hauteurs 0,30 m, 0,80 m et 1m30.
- Sept billons courts contenant chacun un verticille de nœuds (B) sont coupés par arbre : cinq contenant des nœuds débouchant (les branches associées sont vivantes) dans le houppier et deux contenant des nœuds recouverts localisés en dessous de la base du houppier.
- Un minimum de 10 branches est sélectionné par arbre. Plusieurs rondelles (C) sont prélevées le long de la branche.

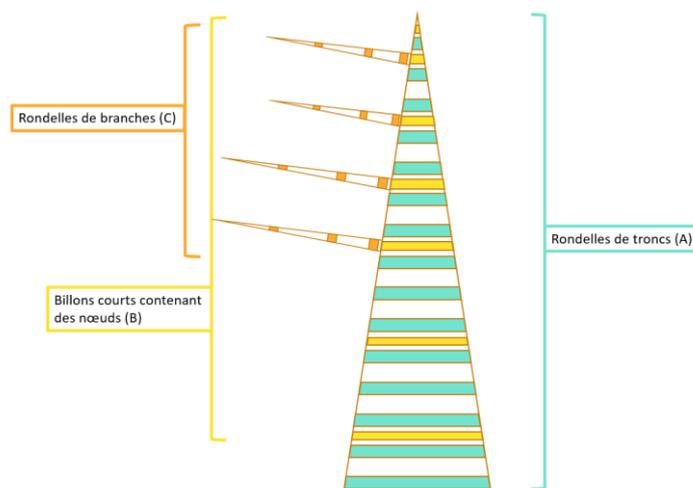


Fig. 1 : schéma de prélèvement des échantillons

Méthodes

La biomasse se calcule de la manière suivante :

$$Biomasse = \frac{Masse\ sèche\ de\ bois}{Volume\ vert\ de\ bois} * Volume\ vert\ de\ bois$$

L'infradensité correspond au rapport masse sèche sur le volume de bois vert. Cette variable a l'avantage de regrouper la masse sèche de bois (importante pour le calcul de carbone et pour la chimie du bois dont les concentrations d'extractibles sont données en pourcentage de masse sèche) et le volume de bois vert qui est estimé directement sur le terrain (IGN, ONF...).

Les échantillons sont scannés à l'aide d'un tomographe à rayons X. Les images obtenues sont traitées avec le logiciel ImageJ pour extraire la masse volumique des zones d'intérêt. Les volumes sont aussi calculés à partir des échantillons, excepté pour les volumes de branches utilisant des facteurs d'expansion (Longuetaud et al., 2013). Cinq compartiments ont été distingués : le tronc (sans les nœuds), l'écorce, les nœuds, les insertions de branches, et la partie restante des branches (BSI).

Résultats et conclusions

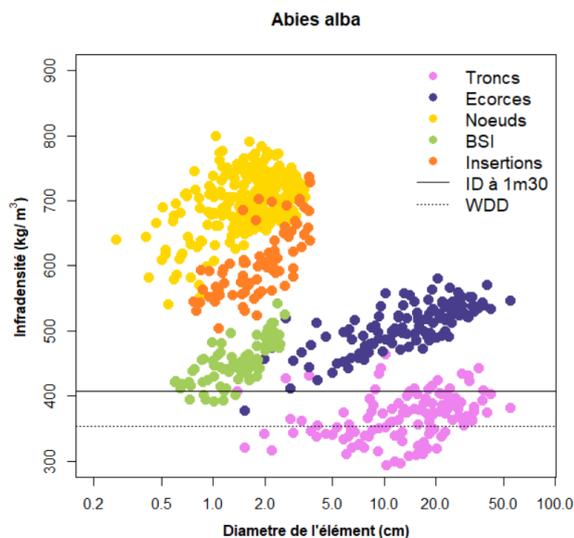


Fig.2: infradensité des différents compartiments en fonction du diamètre de l'élément pour le sapin

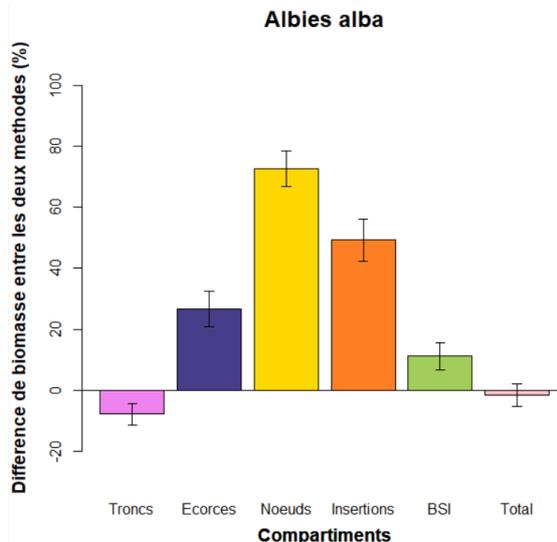


Fig.3: différence entre la biomasse obtenue en utilisant l'infradensité des compartiments et la biomasse estimée avec l'infradensité moyenne à 1,30 m rapportée à la biomasse estimée avec l'infradensité moyenne à 1,30

Les premiers résultats montrent l'existence d'une forte différence de masse volumique entre les différents compartiments. La masse volumique est plus importante pour les nœuds du tronc que pour les branches, elles-mêmes plus denses que le tronc (sous-écorce, hors nœuds). L'insertion d'une branche est plus dense que le reste de la branche (BSI) (Figure 2). La Figure 3 nous permet de montrer que la biomasse totale de l'arbre est surestimée de 1,53 % si on utilise la masse volumique moyenne mesurée à 1,30 m (407 kg/m^3). Cela est dû à un effet de compensation entre une masse volumique légèrement surestimée à 1,30 par rapport au reste du tronc situé au-dessus et largement sous-estimée pour les nœuds, les insertions de branches et l'écorce, représentant des volumes plus faibles. Pour l'estimation de la biomasse totale de l'arbre, les résultats sont donc acceptables tels qu'obtenus avec les valeurs d'infradensité actuelles. Mais il s'agit toutefois d'un biais systématique et ces différences de biomasse vont se cumuler à l'échelle d'une ressource. En revanche, la forte sous-estimation de la masse volumique pour les compartiments nœuds, insertions de branches et écorce démontre que nous sommes aujourd'hui incapables d'évaluer la ressource en extractibles de ces compartiments, or ce sont justement ces compartiments qui seraient candidats pour une telle valorisation. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées concernant cette masse volumique plus élevée dans certains compartiments de l'arbre. Notamment le lien avec une présence plus importante d'extractibles est évoqué ; une largeur de cerne plus petite dans les branches et nœuds, et enfin, la présence de bois de compression dans les nœuds et branches.

La figure 4 indique les valeurs moyennes d'infradensité obtenues pour les différents compartiments du sapin avec leur représentation et impact sur la biomasse. La contribution en volume de chaque compartiment est également représentée. Un travail similaire a été effectué pour l'épicéa et le douglas. Le chêne et le hêtre seront étudiés prochainement. Cette étude étant exploratoire et très détaillée au niveau de la description des arbres, elle n'a été réalisée que sur un nombre très limité d'individus. Il conviendra d'utiliser les résultats obtenus afin de

proposer un échantillonnage allégé permettant d'étudier un nombre plus importants d'arbres dans différents contextes de façon à pouvoir proposer des facteurs de correction entre les valeurs de masse volumique à 1,30 (ou des bases de données classiques) et les valeurs de masses volumiques des différents compartiments qui soient représentatifs de la ressource.

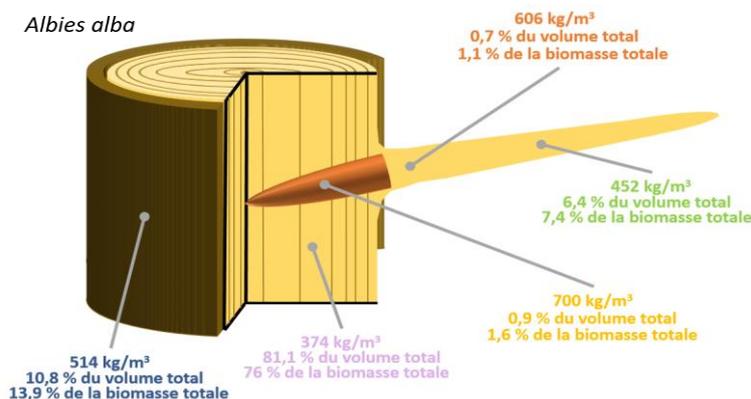


Fig. 4 : schéma reprenant les infradensités, pourcentages en volume et pourcentages en biomasse des différents compartiments par rapport au total de l'arbre.

Remerciements

Le laboratoire SILVA est soutenu par l'Agence Nationale de Recherches (ANR) avec le programme "Investissements d'Avenir" (ANR-11-LABX-0002-01, Lab of Excellence ARBRE). La thèse d'Antoine Billard est financée par l'ADEME et la Région Grand-Est. Ce travail est effectué dans le cadre du projet ExtraFor_Est dirigé par Francis Colin. Nous souhaitons remercier Christine Deleuze (ONF) pour son aide dans la réalisation de ce travail, Vincent Rousselet, Frédéric Bordat, Loïc Dailly et Adrien Contini pour l'échantillonnage et les mesures au laboratoire, Adeline Motz et Daniel Rittié pour les lectures de cernes, et Charline Mola pour les acquisitions au scanner RX. Aussi, nous remercions Chloé Agro, Lucie Heim et Léopold Bergé qui ont travaillé durant leur stage de Master 1 sur la densité et volume des nœuds, ainsi qu'Anaëlle Rajaonarivo, Léa Bissieux et Bernard Poirot pour la segmentation des nœuds sur les images.

Références

- Kebbi-Benkeder, Z., Manso, R., Gérardin, P., Dumarçay, S., Chopard, B., Colin, F. 2017. Knot extractives: a model for analysing the eco-physiological factors that control the within and between-tree variability. *Trees*. 31(5): 1619-1633.
- Longuetaud, F., Santenoise, P., Mothe, F., Kiesseé, T. S., Rivoire, M., Saint-André, L., Ognouabi, N., Deleuze, C., 2013. Modeling volume expansion factors for temperate tree species in France. *Forest Ecology and Management*. 292: 111-121.
- Williamson, G.B., Wiemann, M.C. 2010. Measuring wood specific gravity...Correctly. *American Journal of Botany*. 97(3): 519-524.

Pour une valorisation optimisée de la biomasse forestière tenant compte de la variabilité de la masse volumique du bois dans l'arbre : cas du sapin pectiné

Contexte

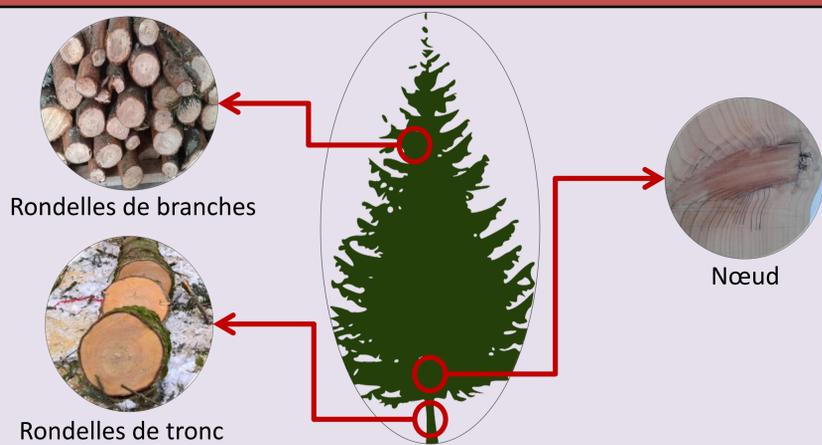
Une forte pression s'exerce actuellement sur la ressource bois : c'est un matériau écologique pour la construction et l'ameublement, il est une solution face à la recherche d'énergie renouvelable et enfin, il contient une quantité importante de molécules d'intérêt utilisable en chimie verte.

La partie la plus fine des rémanents, branches et restes de troncs sert à enrichir les sols. Mais la partie la plus grossière est une source de bois non valorisée qui pourrait être utilisée en chimie ou en énergie.

Pour évaluer la quantité de bois disponible pour les différents usages, nous avons besoin d'une connaissance précise de la ressource en biomasse, c'est-à-dire de la masse de bois. Cette biomasse permet également d'évaluer la quantité de carbone stockée en forêt.

Or, pour les calculs de biomasse, les masses volumiques utilisées dans la littérature proviennent de bases de données qui ne sont pas forcément représentatives de la ressource réelle (échantillonnage réduit, mesures à 1m30, protocole mal documenté...). Elles fournissent des masses volumiques moyennes par espèce qui ne distinguent pas les différents compartiments.

Matériel



- Essence étudiée : sapin (*Abies alba*)
 - 8 arbres prélevés avec deux sylvicultures testées : un site témoin sans intervention et une sylviculture avec de fortes éclaircies.
 - Sur chaque arbre sont prélevées : 15 rondelles de tronc sans nœuds (pour les compartiments Tronc et Ecorce), 7 billons courts contenant des nœuds (compartiment Nœuds) ainsi que des rondelles le long d'au moins 10 branches
- Les branches ont été divisées en deux compartiments : l'insertion et la partie restante de la branche (BSI).

Hypothèse

Notre hypothèse est qu'une meilleure estimation de la biomasse forestière tenant compte des spécificités de chaque filière peut être obtenue en analysant la répartition de la biomasse dans les différents compartiments de l'arbre.

Objectifs

L'objectif de cette thèse, financée dans le cadre du projet ExtraFor Est, est de déterminer la masse volumique de différents compartiments de l'arbre : bois du tronc et écorce, nœuds et branches.

Il s'agit de :

- Caractériser la variation de masse volumique aux niveaux intra et inter espèces
- Affiner le calcul du stockage de carbone à travers la quantité de biomasse
- Etablir un guide pour chaque essence avec les différents débouchés de chaque compartiment selon ses propriétés (masse volumique, taux d'extractibles, pouvoir calorifique inférieur, ...)
- Quantifier la ressource en extractibles (molécules d'intérêts) disponible dans les forêts du Nord Est (projet ExtraFor Est : <https://www6.inra.fr/extraforest>)

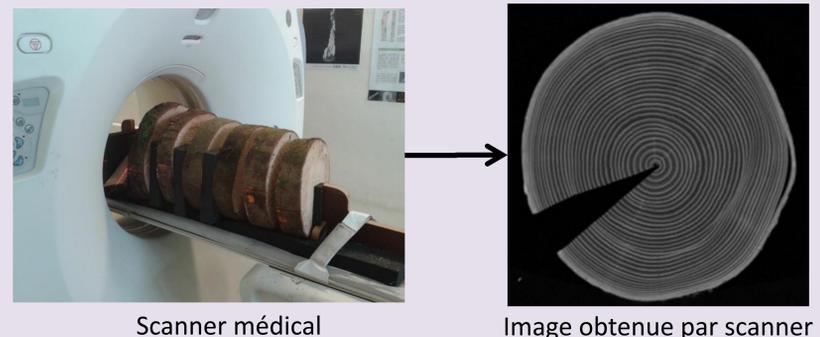
Méthodes

La biomasse se calcule de la manière suivante :

$$\text{Biomasse} = \frac{\text{Masse anhydre de bois}}{\text{Volume vert de bois}} * \text{Volume vert de bois} = \text{Infradensité}$$

Les outils utilisés pour les mesures sont :

- Un tomographe à rayons X donnant la densité
- Le logiciel ImageJ pour lire la densité sur les images scanner



Résultats et conclusions

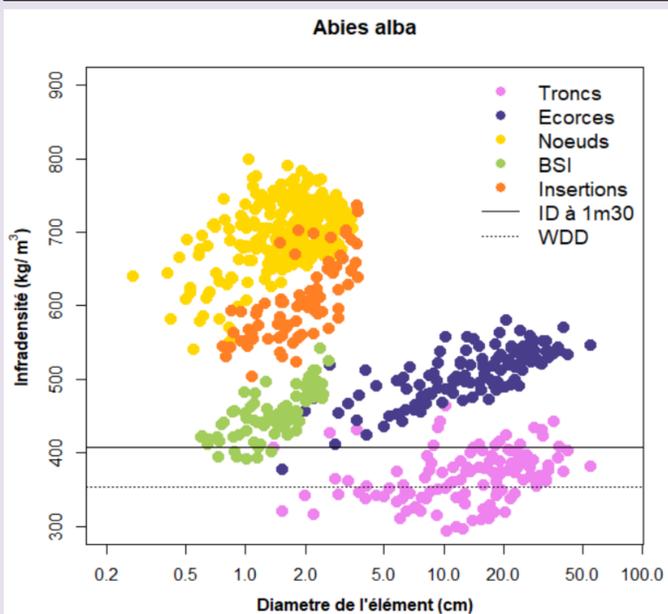


Figure 1 : Infradensité des différents compartiments en fonction du diamètre de l'élément pour le sapin (diamètre du tronc pour l'écorce) (BSI = Branche sans l'insertion)

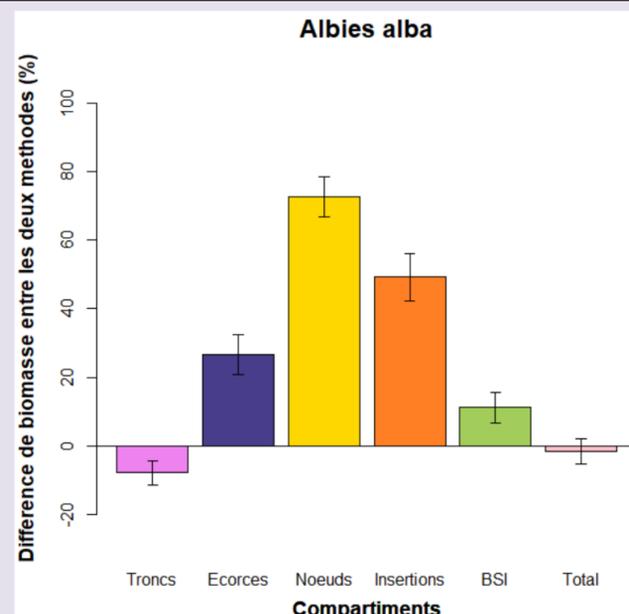


Figure 2 : Différence entre la biomasse obtenue en utilisant l'infradensité des compartiments et la biomasse estimée avec l'infradensité moyenne à 1,30 m rapportée à la biomasse estimée avec l'infradensité moyenne à 1,30 m

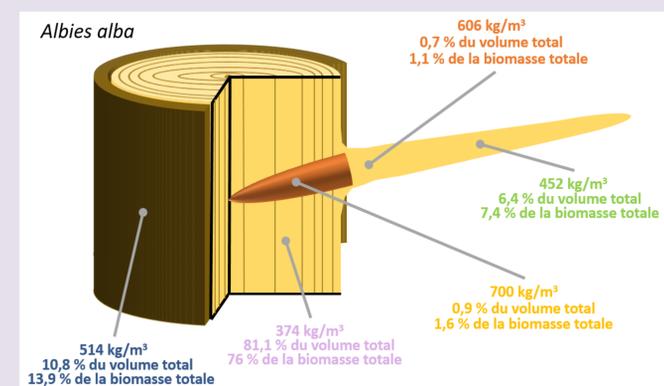


Figure 3 : Schéma récapitulatif des masses volumiques, volumes et biomasses des différents compartiments du sapin.

Les premiers résultats montrent :

- Une forte différence de masse volumique entre les différents compartiments et des tendances à l'augmentation de la masse volumique avec la taille de l'échantillon (Figure 1)
- Une masse volumique plus importante pour les nœuds que les branches, elles-mêmes plus denses que le tronc. L'écorce est plus dense que le tronc (Figure 1)
- L'insertion d'une branche est plus dense que le reste de la branche (Figure 1)
- Une révision à la hausse de 72,6 % de la biomasse des nœuds, 49,3 % pour les insertions et 26,7 % pour l'écorce est effectuée par rapport à la biomasse estimée à partir de la masse volumique moyenne à 1,30 m que nous avons calculée pour nos sapins (407 kg/m³) (Figure 2)

En conclusion, les valeurs moyennes obtenues pour les différents compartiments du sapin sont récapitulées sur la Figure 3

Un travail similaire a été effectué pour l'épicéa, le douglas. Le chêne et le hêtre seront étudiés prochainement

Nous remercions tous les financeurs du projet ExtraFor Est : le Ministère de l'agriculture et de l'alimentation (MAA), l'ADEME, le LABEX Arbre, le FEDER Lorraine et la Région Grand-Est ainsi que les pôles de compétitivité FibresEnergie et Industries AgroRessources qui ont labellisé le projet.