

## Caractérisation expérimentale du surdimensionnement mécanique des branches par rapport à leur poids propre.

VAN ROOIJ Arnoul<sup>1,2</sup>, GALERY Angélique<sup>2</sup>, GRIL Joseph<sup>1,2</sup>, BADEL Eric<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université Clermont-Auvergne, INRAE, PIAF F-63000 Clermont-Ferrand, France

<sup>2</sup> Clermont Auvergne Université, CNRS, Clermont Auvergne INP, Institut Pascal, F-63000 Clermont-Ferrand, France  
[arnoul.van-rooij@inrae.fr](mailto:arnoul.van-rooij@inrae.fr)

**Mots clefs :** biomécanique ; casse des branches ; rupture

### Contexte et objectifs

Toute l'année, mais particulièrement pendant l'été, un phénomène encore incompris est observé : la chute imprévisible et soudaine de grosses branches. Cette 'casse estivale' est à l'origine de nombreux dégâts matériels et humains. Avec l'objectif de mieux comprendre ce phénomène, le travail de thèse consiste en partie à appréhender et modéliser le comportement mécanique des branches charpentières plagiotropes. Tout d'abord, nous proposons de considérer le problème du point de vue inverse : pourquoi les branches ne cassent-elles pas, du moins dans la très grande majorité des cas. Nous allons donc poser la question du surdimensionnement mécanique des branches par rapport à leur poids propre. Le premier enjeu est alors de savoir si leur mode de développement leur permet d'atteindre une zone de sécurité avec un facteur assez important pour les mettre à l'abri de petites perturbations mécaniques ou, au contraire, si le dimensionnement réalisé les positionne « sur le fil du rasoir ». Le second enjeu est d'explorer la variabilité de ce surdimensionnement, tant au niveau inter-spécifique qu'au niveau de l'ontologie de la branche ou de l'environnement dans lequel elle se développe (venteux, etc). . Nous présentons ici une tentative de caractérisation expérimentale simple de ce surdimensionnement mécanique.

La construction de l'expérience ainsi que son analyse se place dans le formalisme de la résistance des matériaux. L'expérience consiste à scier progressivement une branche par le dessus. Lorsque la branche montre des signes de rupture, on arrête le sciage. La branche est alors coupée en aval de la section sciée. Cette dernière est ensuite récupérée et analysée. La Fig. 1 représente une branche (amandier) coupée à 90% de sa section et qui tient malgré la charge de son propre poids ; un bel exemple de surdimensionnement.

L'objectif premier de l'expérimentation est d'avoir un ordre de grandeur global du niveau de surdimensionnement via la définition et le calcul d'un « indice de surdimensionnement ». L'objectif second est de pouvoir quantifier une éventuelle variation de la sensibilité à la rupture entre les saisons. D'autres facteurs de variations de ce comportement mécanique seront aussi étudiés ; parmi eux l'essence, l'âge de la branche, son diamètre ou encore son angle d'insertion.



Fig. 1 : La solidité d'une branche : amandier.

### Matériels et méthodes

La campagne a commencé en 2020 et est toujours en cours de réalisation. Après sciage d'une branche d'un arbre en configuration « isolé », l'opérateur mesure sa masse, la position de son centre de gravité par rapport au lieu de coupe, sa longueur ainsi que son angle d'insertion (angle entre l'horizontale et le segment insertion-centre de gravité). Le matériel utilisé est simple : une scie, un peson pour la masse, un inclinomètre pour l'angle d'insertion et un mètre ruban pour les longueurs. Puis une photo de la section (voir sur la figure 2) est prise à l'endroit du trait de scie.

Une première campagne a été menée au printemps 2020 sur une vingtaine de branches de chêne (*Quercus robur*) ; puis une seconde au printemps 2021 sur une vingtaine de branches de pin (*Pinus pinae*). Plus récemment, l'expérimentation s'est étendue à une vingtaine de branches de peuplier (*Populus I214*). L'année prochaine, une extension de la campagne à d'autres essences et à un plus grand nombre d'échantillon est prévu. La quantité et la diversité de l'échantillonnage prévu dépendra du matériel végétal à disposition.



Fig. 2 : Photo d'une section de branche. La surface hachurée représente la partie sciée. La partie inférieure représente la portion résiduelle de section au moment de la rupture.

Le surdimensionnement se calcule comme le rapport des contraintes s'exerçant sur la partie section totale de la branche par rapport aux contraintes s'exerçant sur la partie « résiduelle » (partie non coupée) au moment de la rupture. Toujours dans le formalisme de la résistance des matériaux, et en ne tenant pas compte des contraintes de croissance, ce surdimensionnement s'écrit comme suit :

$$\eta = \frac{\sigma_{res}^{max}}{\sigma_{tot}^{max}} = \frac{I_{res}}{I_{tot}} \cdot \frac{R}{L_b}$$

Avec  $I_{res}$  le moment d'inertie de la section résiduelle,  $I_{tot}$  le moment d'inertie de la section pleine,  $R$  le rayon de la section et  $L_b$  la distance du centre de gravité de la section résiduelle au bas de la section

Les calculs de section ont été effectués sur le logiciel ImageJ et son module BoneJ. La procédure a été développée et mise en place dans le cadre d'un stage court de Polytech Clermont durant l'été 2021.

### Résultats et discussion

Les résultats sont présentés dans les Fig. 3 et Fig. 4. A ce stade de l'étude, les premières conclusions suivantes peuvent être tirées :

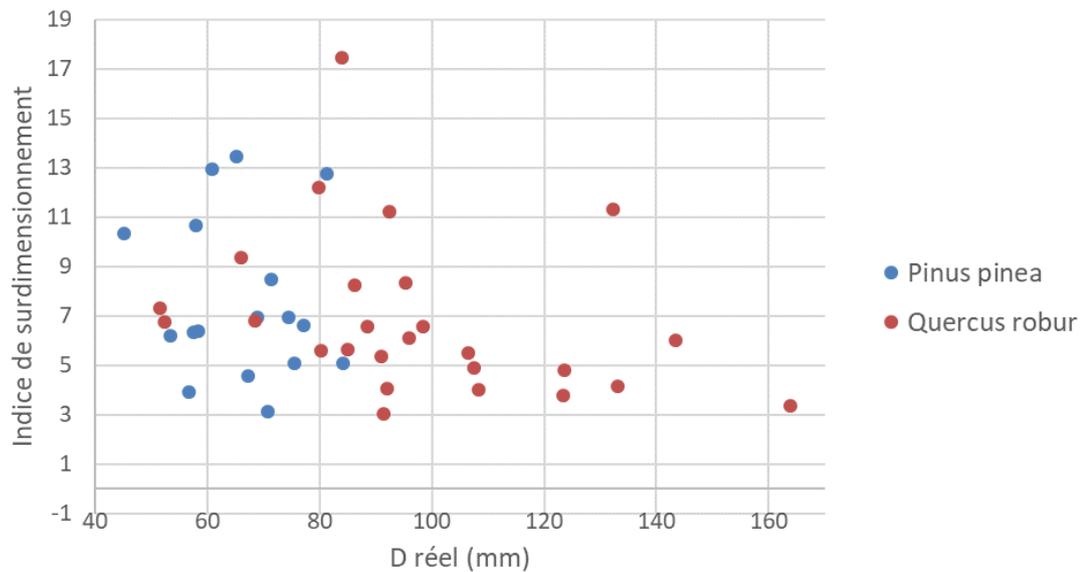


Fig. 3 : Représentation du taux de surdimensionnement en fonction des diamètres des branches des essences considérées

- Les branches étudiées semblent très surdimensionnées par rapport à leur poids (surdimensionnement moyen compris entre 5 et 15, ce qui signifierait que les branches peuvent supporter de 5 à 15 fois leur poids suggérant, si le dimensionnement est d'origine mécanique, que celui-ci répond à d'autres facteurs ; comme par exemple le vent).
- Il ne semble pas y avoir d'influence de l'essence ou la géométrie de la branche sur les indices de surdimensionnement. Cela signifie que quelle que soit sa dimension, une branche ne changerait pas, ou peu, de surdimensionnement.

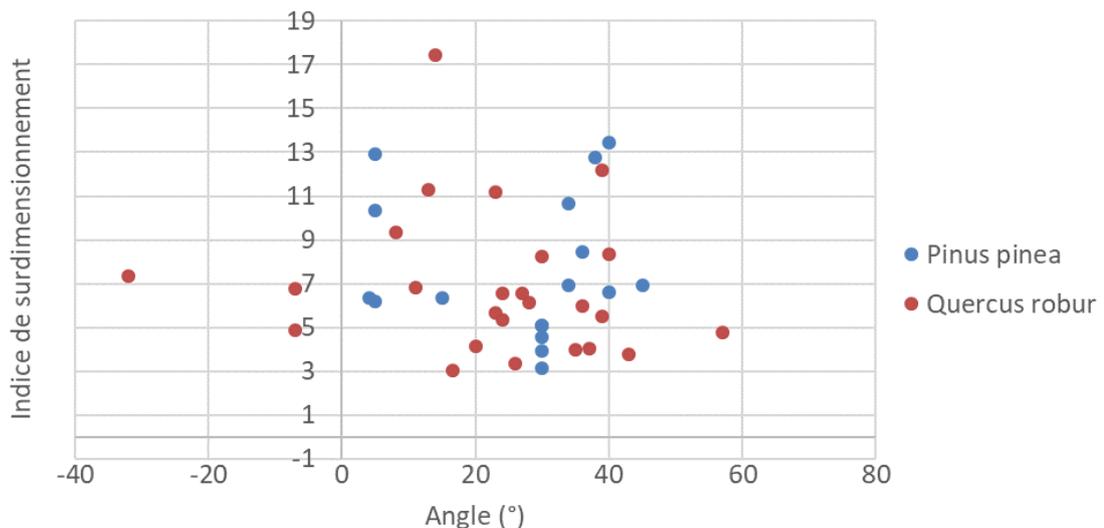


Fig. 4 : Représentation du surdimensionnement en fonction de l'angle d'insertion des branches des essences considérées

Il faut cependant prendre ces premiers résultats avec précaution : l'échantillonnage actuel est petit, comme en témoigne la Fig. 3. En particulier, certaines classes de diamètres sont par exemple plus représentées que d'autres. Ce constat est aussi applicable pour les angles d'insertion (Fig. 4) dont la gamme est ici restreinte. Il est donc primordial d'étendre l'échantillonnage en terme d'essences et de type de branches. A terme il est aussi prévu de réaliser ces expérimentations à différentes saisons afin d'étudier un éventuel effet de l'état physiologique de la branche.

La variabilité selon des critères de croissance tels que l'âge ou encore le nombre d'axes de rang inférieur présents sur la branche va être également investiguée. L'objectif finalisé est alors de trouver des critères structuraux mesurables permettant de caractériser ce facteur de surdimensionnement.

Les hypothèses dans lesquelles on se place sont critiquables. Tout d'abord, l'effet de d'entaille est négligé. De même, le champ de précontraintes internes qui va être libéré par la coupe n'est pas pris en compte. C'est une hypothèse importante, lorsque l'on sait que la branche présente un champ de contraintes très particulier, lui permettant de garder son orientation et une stabilité mécanique sur le long terme [1]. Sous certaines hypothèses, il serait alors possible de l'estimer a posteriori au moyen de corrélations avec les propriétés du bois [2]. Des mesures de déformation de maturation sur des branches pourraient être effectuées, en périphérie ou en volume. Un projet de modélisation intégrant ces champs de précontraintes ainsi que la redistribution du torseur de flexion sur la section restante est en cours.

#### **Remerciements :**

Les auteurs remercient le CNRS pour le soutien financier qu'il apporte au projet de thèse.

#### **Références :**

1. Tancrede Alméras, Delphine Jullien, Joseph Gril. Modelling, Evaluation and Biomechanical Consequences of Growth Stress Profiles Inside Tree Stems. Anja Geitmann, Joseph Gril. Plant Biomechanics. From Structure to Function at Multiple Scales, Springer International Publishing, pp.21-48, 2018, 978-3-319-79098-5.
2. Bernard Thibaut, Joseph Gril. Tree growth forces and wood properties. 2020. HAL, hal-02984734, ver. 4, peer-reviewed and recommended by Peer community in Forest and Wood Sciences. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02984734>.