

Les cultivars de peuplier : caractéristiques mécaniques du bois

Le projet « Référentiel qualités du bois des cultivars peupliers » a permis d'établir un premier état des lieux sur les différences de qualités en fonction du cultivar. Dans ce cadre, les performances mécaniques des dix cultivars choisis ont été mesurées. Les cultivars les plus adaptés pour une utilisation structurelle et les classes mécaniques accessibles à cette essence ont pu ainsi être identifiés.

Pour contacter les auteurs :

Didier Reuling

didier.reuling@fcba.fr

Jean Denis Lanvin

jean-denis.lanvin@fcba.fr

FCBA
Pôle Industries Bois Construction
Allée de Boutaut
BP 227
33028 Bordeaux Cedex
Tél : 05 56 43 63 00
Fax : 05 56 43 64 80

Alain Bouvet

alain.bouvet@fcba.fr

FCBA
Direction Innovation Recherche
10 avenue de Saint-Mandé
75012 Paris
Tél : 01 40 19 49 19
Fax : 01 43 40 85 65

Par son mode de culture, le peuplier se situe à la frontière entre les mondes agricole et forestier. La production de cette essence a toujours fait l'objet de programmes d'amélioration et de sélection. Un moment oublié en raison de la concurrence des résineux, le peuplier cherche aujourd'hui sa place sur le marché du bois, qui est en perpétuelle quête de produits innovants depuis le regain d'intérêt constaté pour ce matériau ces dernières années. La particularité du peuplier est le nombre important de ses cultivars qui potentiellement peuvent avoir des qualités très différentes. A cette variabilité inter-cultivars, s'ajoute des hétérogénéités entre sites géographiques de croissance ou à l'intérieur même des différents individus. Le projet « Référentiel qualités du bois des cultivars peupliers » a permis d'établir un premier état des lieux sur ces différences de qualités en fonction du cultivar et des hétérogénéités inter et intra arbres.

Cet article a pour objet de faire le point sur les performances mécaniques des dix cultivars étudiés lors de ce projet (I 214, Dorskamp, Beaupré, Robusta, I45- 51, Flevo, Ghoy, Raspalje, Blanc du Poitou, Fritzi Pauley). Les caractéristiques mécaniques et physiques ont été mesurées sur des échantillons aux dimensions commerciales. Un premier test de flexion 4 points a permis de comparer les caractéristiques mécaniques des 10 cultivars et d'établir, grâce à la traçabilité, les différences qui pouvaient exister entre les différents niveaux de prélèvement des planches dans l'arbre. Un deuxième test d'arrachage en traction sur des assemblages de type palettes a permis de distinguer les performances entre les 10 cultivars pour une application de type emballage.

Cette caractérisation mécanique a permis d'identifier les cultivars potentiellement intéressants pour des utilisations de type structurelles (construction, palettes...).

Essais de flexion

Ces essais ont été réalisés sur des éprouvettes à un taux moyen d'humidité relative de 12 %. Selon la norme EN 408, l'éprouvette a été chargée symétriquement en flexion en deux points sur une portée égale à 18 fois la hauteur. De plus, l'éprouvette a été supportée sur deux appuis simples. Une force a été appliquée à vitesse constante qui ne dépasse pas 0,003 h mm/s jusqu'à la rupture de la pièce (F_{max}). La flèche a été mesurée au centre de la rive de compression de l'éprouvette entre 0 et 40 % de la force maximale. On obtient ainsi un module global d'élasticité (MOE) en flexion quatre points, qui est le rapport entre l'accroissement de la force en newtons et l'accroissement de la flèche en millimètres. L'essai porte jusqu'à la destruction mesurée grâce aux capteurs, afin d'obtenir, pour les 1 300 éprouvettes testées, une contrainte à la rupture (MOR) moyenne par cultivar.



Début de l'essai de flexion 4 points



Fin de l'essai, destruction de la planche

Identification des sources de variabilité

Dans un premier temps, les effets des différents facteurs de variabilité ont été analysés sur les trois variables mesurées lors des tests mécaniques : la masse volumique (MV), le module d'élasticité (MOE) et la contrainte à la rupture (MOR). Des analyses de variance ont permis de tester l'influence des facteurs identifiés (**tableau 1**) :

- 4 modalités de stations (argileuse, humide, profonde ou riche),
- 13 sites,
- 10 cultivars,
- 3 hauteurs du billon dans l'arbre.

Tableau 1 : Analyse de variance propriétés mécaniques

| Facteur d'influence | Variable | | | | | |
|---------------------|-----------------|-------------|---------------------|-------------|-------------------------|-------------|
| | Masse volumique | | Module d'élasticité | | Contrainte à la rupture | |
| | Fisher | Probabilité | Fisher | Probabilité | Fisher | Probabilité |
| Station | 2,13 | NS | 0,64 | Ns | 1,89 | NS |
| Site | 20,66 | SS1 | 20,70 | SS1 | 2,72 | SS1 |
| Cultivar | 198,00 | SS1 | 86,56 | SS1 | 21,46 | SS1 |
| Hauteur du billon | 391,76 | SS1 | 39,42 | SS1 | 89,27 | SS1 |

NS : non significatif

SS1 : significatif au seuil de probabilité de 1 %

Les effets station et site sont difficiles à apprécier car il n'y a pas tous les cultivars sur tous les sites et, sur certains sites, seuls 1 ou 2 cultivars ont été prélevés. Ce qui est certain, c'est qu'il n'existe pas de tendance générale en fonction de la station. En revanche, des différences significatives entre sites sont observées, mais **les effets cultivars et hauteur dans l'arbre sont nettement plus importants que les effets sites.**

Impact des effets cultivars et hauteur de l'arbre sur leur utilisation en structure

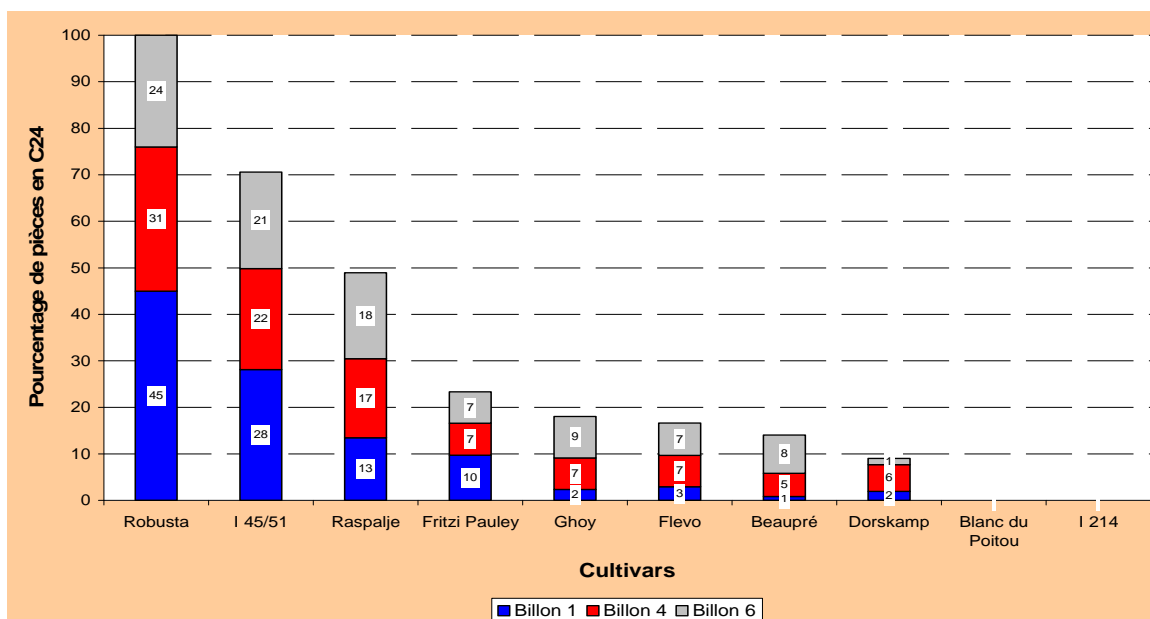
A partir des propriétés mécaniques des dix cultivars de peuplier, il importe de savoir dans quelle mesure ces cultivars peuvent être valorisés au mieux pour une utilisation structurelle. Un classement structure a été réalisé à partir des résultats d'essais de flexion 4 points, en définissant des classes de performances mécaniques plus ou moins élevées. Ces classes sont destinées aux bureaux d'étude, qui ne se soucient ni de l'essence ni de la méthode de classement quand ils effectuent leurs dimensionnements. Les deux classes de résistance choisies sont couramment employées dans des produits à destination de la structure. Elles permettent de comparer les performances en termes de rendement de pièces classées pour les différents cultivars. Les deux classes de performances mécaniques choisies (C 24 et C 18) sont définies dans la norme EN 338. Le **tableau 2** indique les exigences de performances pour ces deux classes.

Tableau 2 : Valeurs caractéristiques par classe mécanique

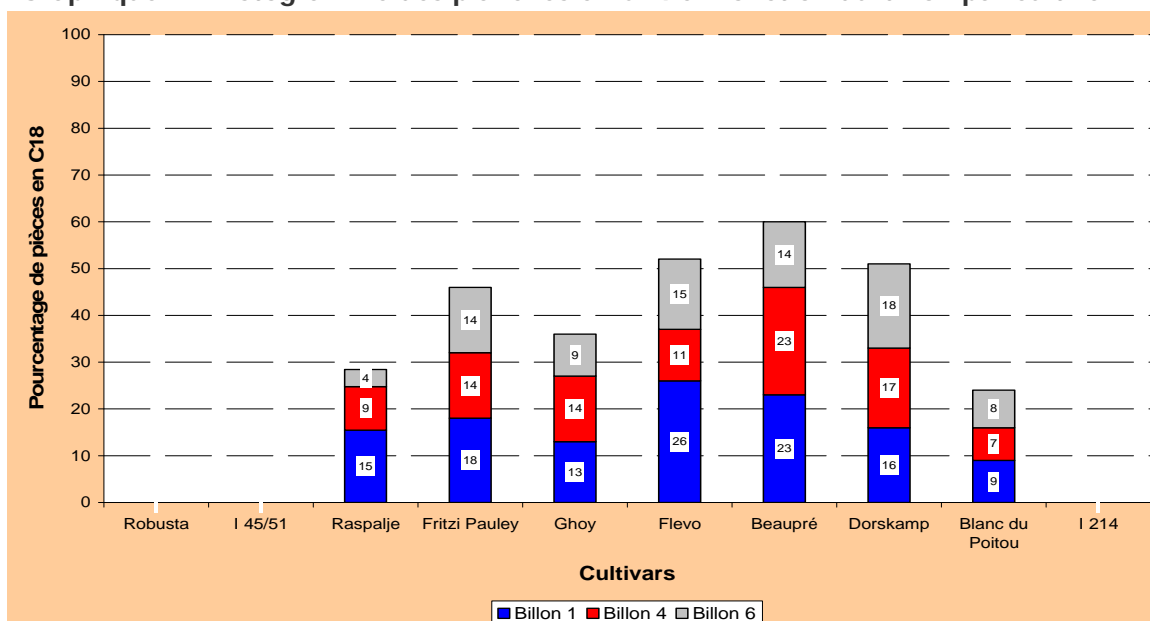
| Classes | Contrainte à la rupture (fractile à 5 %) en MPa | Module d'élasticité (moyen) en GPa | Masse volumique à 12 % (fractile à 5 %) en kg/m ³ |
|---------|---|------------------------------------|--|
| C 24 | 24 | 11 | 350 |
| C 18 | 18 | 9 | 320 |

Les **graphiques 1 et 2** représentent le pourcentage de pièces classées dans les deux classes choisies par cultivar et niveau de hauteur de prélèvement dans l'arbre. Le niveau de hauteur tient compte de la décroissance métrique de l'arbre et permet d'obtenir un nombre de planches proportionnel à la hauteur de prélèvement (45 % des sciages sont dans le premier billon, 31 % dans le billon 4 et 24 % dans le billon 2).

L'interprétation d'un cultivar peut s'effectuer comme suit : sur une base de 100 planches issues du I 45/51, 21 planches dans le billon 6 sont classées en C 24, 22 dans le billon 4 et 28 dans le billon 1. Les 29 planches restantes sont hors classement mécanique tous billons confondus. Pour le Robusta, la totalité des planches sont en C 24, au contraire du I 214 qui n'a pas de planches en C 24, ni d'ailleurs en C 18.



Graphique 1 : Histogramme des planches en C24 en fonction du billon par cultivar



Graphique 2 : Histogramme des planches en C18 en fonction du billon par cultivar

Ainsi, les cultivars Robusta, I 45/51 et Raspalje sont les plus intéressants en termes d'utilisation structurelle (majorité des pièces en classe C 24 et minimum de pièces en hors classe). Le Beaupré, le Dorskamp, le Flévo, le Fritz Pauley et le Ghoy sont potentiellement utilisables sur des produits structurels, à condition de rester dans une classe mécanique C 18. Le Blanc du Poitou et le I 214 seraient à exclure de toute utilisation structurelle.

Essais de clouage et d'arrachement en traction sur éléments de palette

Des essais d'arrachement en traction ont été réalisés sur des assemblages de type palettes, selon une adaptation de la norme EN ISO 12777-3, afin de mesurer la performance des dix cultivars et déterminer lesquels sont les plus adaptés à une utilisation en palette par exemple. Le montage a consisté à pointer deux clous torsadés (de diamètre 3 mm et d'une longueur de 60 mm) sur une planche reliée à un chevron. Chaque montage était constitué d'un même cultivar. Dix montages par cultivars ont été réalisés soit cent assemblages. Le montage a été réalisé chez un fabricant de palettes sur sa chaîne de montage (pression de clouage de 7 bars).



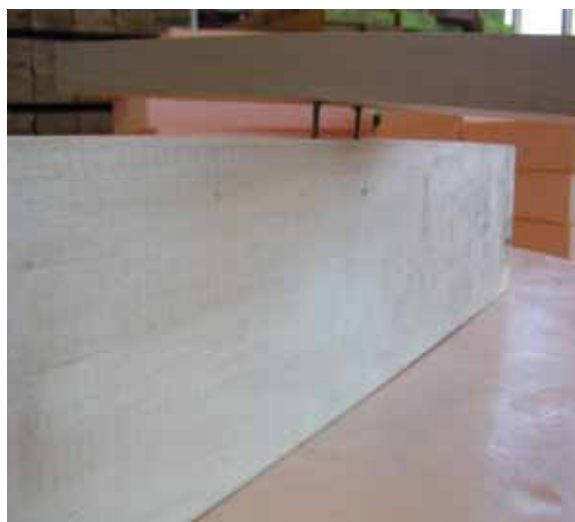
Assemblage de type palette

L'essai d'arrachement a consisté à l'aide d'un étrier à appliquer une force suffisante pour désassembler le montage, le chevron étant maintenu par

deux serre-joints de part et d'autre. L'essai est terminé lorsque la force appliquée, après avoir augmenté, redescend brutalement (force maximum). Après essai, on peut observer le déplacement de la planche avec les clous.



Assemblage sollicité pour l'arrachement



Assemblage après essai

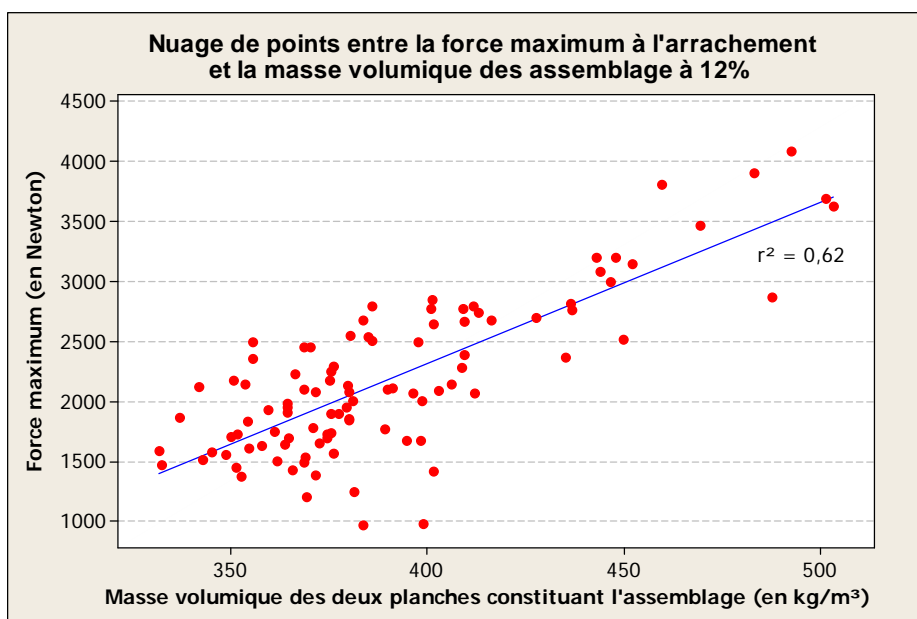
Les mesures d'arrachement en traction sur les dix maquettes de palettes par cultivar donnent les résultats statistiques élémentaires suivants (tableau 3).

Tableau 3 : Caractéristiques de la force maximum à l'arrachement par cultivar

| Cultivars | Force maximum à l'arrachement (en N) | | | | |
|-----------------|--------------------------------------|------------|---------|---------|---------------|
| | Moyenne | Ecart type | Minimum | Maximum | Quartile 25 % |
| Beaupré | 1827 | 300 | 1456 | 2462 | 1535 |
| Blanc du Poitou | 1893 | 396 | 1380 | 2543 | 1612 |
| Dorskamp | 2511 | 323 | 2009 | 2820 | 2112 |
| Flévo | 2723 | 333 | 2152 | 3211 | 2474 |
| Fritzi Pauley | 1813 | 325 | 1440 | 2505 | 1553 |
| Ghoy | 1977 | 385 | 1427 | 2679 | 1677 |
| I 214 | 1838 | 313 | 1474 | 2366 | 1554 |
| I 45/51 | 1585 | 500 | 972 | 2295 | 1158 |
| Raspalje | 2261 | 317 | 1907 | 2804 | 1934 |
| Robusta | 3462 | 446 | 2766 | 4092 | 3088 |
| Total | 2189 | 646 | 972 | 4092 | 1706 |

Le seuil limite de 2000 N pour 75 % des assemblages testés est à ce jour non normalisé, mais il représente un bon compromis de la limite inférieure à ne pas franchir pour le peuplier, par rapport aux seuils définis dans les normes EN 13698-1 et 2.

Le **graphique 3** montre qu'il existe une corrélation forte ($r = 0,79$) entre la masse volumique et la force maximum à laquelle les clous ne résistent plus dans l'assemblage. En effet plus la masse volumique est élevée, plus la résistance est forte.



Graphique 3 : Relation force maximum à l'arrachement et masse volumique

Les cultivars de masse volumique élevée sont donc les plus adaptés à une utilisation en palette, car ils combinent les deux critères importants pour cet usage : la résistance à l'arrachement des clous et un module d'élasticité élevé, donc une déformation minimum des planches constituant le plancher de la palette. L'exclusion du billon de pied pour certains cultivars

permettrait d'obtenir des planches de plus forte masse volumique et de dépasser le seuil des 2000 N.

Les différents tests effectués lors de ce projet ont apporté des éléments incontestables sur les caractéristiques physiques et mécaniques des cultivars de peuplier. L'ensemble des informations collectées a permis de mettre en évidence l'importance des effets cultivar et hauteur de l'arbre sur les caractéristiques mécaniques des avivés de peuplier par rapport aux effets stationnels.




Les cultivars les plus adaptés pour une utilisation structurelle et les classes mécaniques accessibles au peuplier ont pu ainsi être identifiés. Les cultivars Robusta, Raspalje sont les plus intéressants en termes d'utilisation structurelle (majorité des pièces en classe C 24 et minimum de pièces en hors classe). Les cultivars Beaupré, Dorskamp, Flévo, Fritzi Pauley et Ghoy sont potentiellement utilisables sur des produits structurels, à condition de rester dans une classe mécanique C 18. Le Blanc du Poitou et le I 214 seraient à exclure pour toute utilisation structurelle.

L'utilisation du peuplier en palette reste conditionnée à la masse volumique. Ainsi, il faudra privilégier les cultivars les plus denses pour cette application.

Le tableau 3 récapitule les utilisations conseillées pour chaque cultivar.

Tableau 3 : Classement des cultivars en fonction des utilisations

| Cultivar | Structure | Palette |
|-----------------|-----------|---------|
| Beaupré | Orange | Orange |
| Blanc du Poitou | Rouge | Rouge |
| Dorskamp | Orange | Vert |
| Flevo | Orange | Vert |
| Fritzi Pauley | Orange | Rouge |
| Ghoy | Orange | Rouge |
| I 214 | Rouge | Rouge |
| I 45/51 | Vert | Rouge |
| Raspalje | Vert | Orange |
| Robusta | Vert | Vert |

-  Cultivar pouvant être utilisé sans problème
-  Cultivar utilisable avec des précautions préalables : tri sélectif ou classement visuel des grumes/billons ou adaptation du process industriel
-  Cultivar à éviter pour cette utilisation

Lors du projet, des carottes de sondage à différentes hauteurs de l'arbre ont été prélevées et radiographiées afin d'obtenir des profils radiaux densitométriques. A partir de ces profils, l'élaboration d'un modèle prédictif basé sur les deux premiers mètres de la grume permet de classer un nouveau cultivar parmi les dix cultivars de référence. Dans l'avenir, il sera ainsi possible de qualifier la valeur mécanique d'un nouveau cultivar sans être obligé de mener une campagne lourde de tests sur des planches en dimensions d'emploi. Ce modèle reste cependant perfectible et pourrait être associé à d'autres technologies de contrôle non destructif pour améliorer la prédiction des caractéristiques mécaniques à partir de mesures d'arbres sur pied.

L'ensemble des résultats de cette évaluation des propriétés mécaniques sera repris dans la publication de dix fiches techniques incluses dans un document de comparaison des cultivars pour leurs différentes utilisations potentielles.

Lexique et normes de référence

- **Contrainte à la rupture en flexion (MOR)** : traduit la capacité d'une poutre à résister à un effort dans le plan perpendiculaire aux fibres conduisant à sa ruine.
- **Fractile** : valeur caractérisant la limite d'une fraction d'un ensemble ordonné. Pour les contraintes à la rupture, on parle de fractile à 5 %.
- **Module d'élasticité en flexion** : définit la force nécessaire à déformer une poutre pour une sollicitation dans le plan perpendiculaire aux fibres. Le module peut être local (flèche de l'arc central mesurée sur le tiers central) ou global (flèche de l'arc mesurée sur la totalité de la poutre). Plus la poutre résiste à la déformation, plus le module est élevé. Le module d'élasticité local, la contrainte à la rupture et la masse volumique sont les trois critères retenus pour effectuer le classement structure (EN 338).
- **NF EN 338 Bois de structure – Classes de résistance** : indique des classes de résistance pour des avivés, définissant un ensemble de grandeurs mécaniques à utiliser dans le calcul (MOR et MOE). Par contre, elle ne spécifie pas la méthode de classement permettant d'obtenir ces valeurs. L'objectif de cette norme est de faciliter le travail du calculateur, qui peut utiliser une classe de résistance sans avoir à se préoccuper de la façon dont elle a été produite. De ce point de vue, le bois est maintenant comparable à l'acier.
- **NF EN 384 Détermination des valeurs caractéristiques des propriétés mécaniques et de la masse volumique** : indique la méthode pour déterminer les valeurs caractéristiques des propriétés mécaniques et de la masse volumique, pour des populations de bois définies, classées visuellement et/ou mécaniquement.
- **NF EN 408 Bois massif et bois lamellé-collé – Détermination de certaines propriétés physiques et mécaniques** : décrit les méthodes d'essai utilisées pour déterminer les propriétés du bois en dimensions d'emploi.