

Caractérisation des qualités mécaniques du pin sylvestre

*par Patrick JOYET **

1.- Contexte des études sur les bois français

L'utilisation en structure (charpente traditionnelle, fermette, lamellé-collé et ossature) constitue l'un des débouchés les plus valorisants pour la plupart des essences résineuses. Le poids de ce secteur de marché s'élève à environ à 1,3 milliards de francs et représente en volume près de 30 % de la consommation totale annuelle de bois en France. Vendre pour une utilisation en structure un sciage destiné antérieurement à la trituration permet de le commercialiser à un prix supérieur de 30 à 50 %.

C'est pourquoi le CTBA a développé depuis 1984 une politique d'envergure nationale sur le potentiel des bois français en vue de leur valorisation en structure. Cette valorisation passe par une connaissance précise des caractéristiques technologiques et notamment mécaniques du matériau.

Cette nécessité de mieux connaître les caractéristiques technologiques, et notamment mécaniques des bois français, s'applique non seulement aux essences traditionnellement utilisées (pin sylvestre, sapin, épicéa, pin maritime, peuplier, ...) mais aussi à des essences considérées comme nouvelles pour le marché de la structure (douglas, pin laricio, pin noir, épicéa Sitka).

Les objectifs de la caractérisation mécanique des bois français sont multiples, puisqu'il s'agit à la fois :

- de conseiller utilement les politiques de boisement et les sylvicultures à développer,
- de renseigner les concepteurs d'ouvrages sur les performances du matériau,
- de proposer des systèmes "classement-résistance" garantissant la sécurité d'emploi des ouvrages, tout en assurant la valorisation optimale du potentiel forestier actuel et futur.

Par ailleurs, les architectes, les concepteurs et les bureaux d'études s'appuient, pour le dimensionnement et la mise en œuvre des ouvrages, sur des valeurs de modules à la rupture qui sont fixées par des règles normatives.

2.- Objectifs et méthodologie de l'étude

L'étude des caractéristiques mécaniques du pin sylvestre s'est déroulée en 4 phases principales.

Définition d'une méthodologie d'échantillonnage

Les placettes forestières proposées par l'Office national des forêts (O.N.F.) et le Centre régional de la propriété forestière (C.R.P.F.) ont été sélectionnées par le CTBA selon des critères pertinents éprouvés dans les précédentes études menées : classe de diamètre, classe de fertilité, région forestière. Le nombre d'arbres prélevé est fonction de la quantité minimale d'avivés permettant d'élaborer un classement fiable.

Transformation des arbres en avivés destinés aux essais

Les arbres sont billonnés puis sciés pour obtenir des avivés de dimensions commerciales. Une section, le 50 x 150 mm (à 12 % d'humidité) a été

* CTBA - Centre technique du bois et de l'ameublement
Equipe Caractérisation des Bois
Allée de Boutaut - BP227
33028 Bordeaux Cedex

| Régions | Surface (ha) | SURFACE | Volume (m³) | VOLUME |
|--------------|------------------|--------------|--------------------|--------------|
| Auvergne | 139873 | 12 % | 23 633 091 | 17 % |
| PACA | 253 162 | 22 % | 19 909 560 | 13 % |
| Centre | 91 751 | 8 % | 11 934 354 | 8 % |
| Alsace | 35 607 | 3 % | 8 854 691 | 6 % |
| Limousin | 54 041 | 5 % | 7 220 398 | 5 % |
| Autres | 552 562 | 50 % | 70 217 881 | 51 % |
| Total | 1 126 996 | 100 % | 140 769 975 | 100 % |

Tab. I : Répartition de la ressource nationale de pin sylvestre en France

retenue puisque celle-ci sert de référentiel dans les calculs de structure.

Chaque pièce est référencée, son origine précise et ses caractéristiques sont identifiées :

- la placette forestière (données sylvicoles, lieu de provenance),
- l'arbre (place de l'arbre au sein de la placette),
- le billon (hauteur de prélèvement dans l'arbre),
- l'avivé (localisation par rapport à la moelle de l'arbre).

Test des éprouvettes en dimensions commerciales

L'ensemble des éprouvettes subit une série de tests non destructifs permettant de déterminer le module d'élasticité, la masse volumique, la largeur de cerne, la nodosité. Les essais non destructifs, outre les données fondamentales énumérées précédemment, ont permis de simuler des classements obtenus par machine. Ces pièces sont ensuite testées en flexion et/ou en traction permettant l'obtention des valeurs de module d'élasticité et de contrainte à la rupture.

Classement du pin sylvestre

Les avivés sont classés suivant les critères de la norme française NF B 52 001 qui définit les classes de résistance et leurs caractéristiques mécaniques associées. Le principe de la norme repose sur la recherche du meilleur compromis entre, les critères de classement, la proportion de pièces acceptées et la simplicité de mise en œuvre de la méthode.

3. Méthodologie d'échantillonnage

Importance du massif français de pin sylvestre (*Pinus sylvestris L.*)

La ressource nationale de pin sylvestre en France est estimée à 1,2 Mha pour un volume approximatif de 140 Mm³. Si le pin sylvestre est représenté dans la plupart des départements français, les 5 régions échantillonnées en concentrent près de la moitié en surface et volume. (Cf. Tab. I)

Critères de sélection de l'échantillon

L'échantillonnage retenu est de type "arbre" : l'origine exacte des éprouvettes est connue. Pour information, il existe la technique de prélèvement en scierie, plus souple, mais moins robuste lors de l'analyse.

Le plan d'échantillonnage (Cf. Tab. II) est stratifié selon :

- les diamètres : de 35 à 50 cm de diamètre mesuré à 1,30 m,
- les classes de fertilité : 2 classes adaptées à la région et à l'essence,
- la répartition géographique : prélèvement au sein des régions forestières où le pin sylvestre est le plus représenté.

4.- Les caractéristiques physiques et mécaniques

Les trois critères pour établir les classes de résistance (masse volumique, module d'élasticité et contrainte de rupture) sont élevés pour le pin sylvestre : 72.6 % des pièces ont une contrainte de rupture en flexion supérieure à 30 MPa , 51.4 % des pièces ont un module d'élasticité supérieur à 12 GPa. et 100% des pièces ont une masse volumique supérieure à 380 Kg/m³ (Cf. Tab. III). Cela révèle un potentiel fort d'utilisation du pin sylvestre en structure, avec des différences régionales (Cf. Fig.1).

Cependant, si ces résultats permettent d'élaborer un optimal des perfor-

| Régions | Nombre de placettes | Nombre d'arbres | Pourcentage d'arbres |
|--------------|---------------------|-----------------|----------------------|
| Auvergne | 11 | 55 | 22% |
| PACA | 10 | 50 | 20% |
| Centre | 12 | 80 | 33% |
| Alsace | 12 | 36 | 15% |
| Limousin | 6 | 24 | 10% |
| TOTAL | 51 | 245 | 100% |

Tab. II : Plan d'échantillonnage

mances mécaniques (a posteriori, après rupture des pièces) il ne doit pas être confondu avec le classement visuel qui cherche à associer des critères visuels, principalement liés à la nodosité des sciages, à des critères de résistance.

5.- Classement visuel du pin sylvestre par régions selon la norme nfb 52001

Parmi les principaux critères de classement visuel, la nodosité de rive est le critère limitant pour un classement en pièces de structure. Les différences régionales sont peu marquées, excepté pour le pin sylvestre de la région Centre qui présente une faible nodosité de rive.

En moyenne, 60 % du pin sylvestre classé visuellement est utilisable en structure. Le classement visuel permet de classer le pin sylvestre en ST-II. Il est cependant impossible de trouver une classe ST-I avec un rendement économiquement acceptable. Le classement visuel génère par contre un rejet très important de l'ordre de 40% des sciages (Cf. tab. IV).

6.- Potentiel optimal de classement du pin sylvestre

Les essais réalisés sur des sciages de dimensions commerciales, nous permettent d'obtenir un classement par rapport aux caractéristiques réelles des pièces. Ce classement est basé sur la masse volumique, le module d'élasticité en flexion et la contrainte à la rupture en flexion.

Nécessitant la rupture des pièces, ce classement est appelé optimal puisqu'il montre le potentiel réel d'un classement de la population de sciages testés. Les rendements associés au classement optimal s'interprètent comme les valeurs asymptotiques des rendements obtenus par les classements visuel ou par machine.

Le tableau V représente les rendements pour le pin sylvestre, ainsi que les valeurs caractéristiques des seuils en MOR, MOE et MV (Cf. significations des sigles Tab. III), par régions et pour la France.

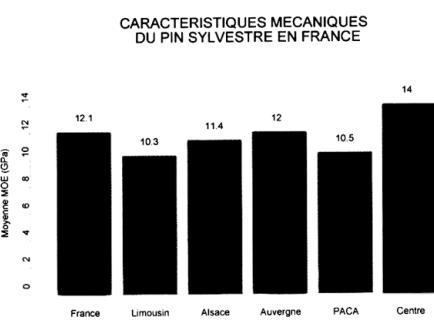
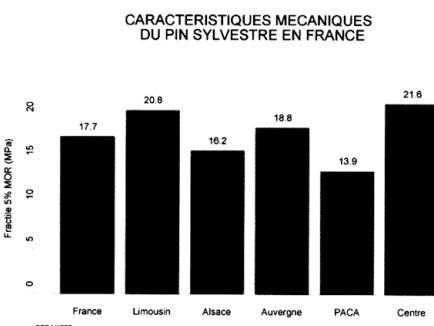
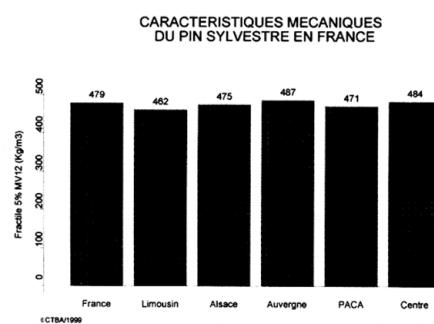
Sur la France entière, 95 % du pin sylvestre est utilisable en structure. De plus, la plupart des avivés (76%) se trouvent dans la meilleure classe de résistance.

Les régions présentant le plus haut rendement dans la plus haute classe de résistance sont les régions Centre, Auvergne et Alsace.

7.- Le classement par machines

Les différences de rendements observées entre les classements par méthode visuelle et optimale, incite à explorer d'autres formes de classement pour s'approcher du potentiel optimal.

Ces types de classement ne reposent non plus sur des corrélations entre les critères visuels et les caractéristiques mécaniques mais sur des mesures directes des caractéristiques méca-



| Variables | Moyenne | Ecart-type | Mini | Maxi | Effectif |
|---|---------|------------|------|------|----------|
| Masse volumique à 12 % d'humidité MV (Kg/m³) | 557 | 57 | 408 | 796 | 2149 |
| Contrainte de rupture MOR (MPa) | 44 | 20 | 5 | 122 | 2149 |
| Module d'élasticité à 12% d'humidité MOEL à 12% (GPa) | 12 | 4 | 3 | 33 | 2146 |

Tab. III : Caractéristiques physiques et mécaniques - valeurs moyennes pour le pin sylvestre en France.

| REGIONS | ST I | ST II | ST III | Rejet |
|-----------------------|-----------|------------|------------|------------|
| Auvergne | 11% | 31% | 21% | 37% |
| Alsace | 6% | 34% | 23% | 36% |
| Limousin | 6% | 30% | 23% | 41% |
| Centre | 6% | 27% | 25% | 42% |
| PACA | 1% | 29% | 23% | 47% |
| France entière | 7% | 30% | 23% | 40% |

Tab. IV : Classement visuel du pin sylvestre par régions selon la norme NFB 52001

Fig. 1 : Caractéristiques mécaniques du pin sylvestre en France - différences régionales

niques et physiques du matériau. Aujourd’hui des machines de classement permettent une telle approche du classement des sciages. A titre d’exemple, un classement par machine sur la région Centre donne un pourcentage de pièces en rejet inférieur à 4%, contre 41% en classement visuel, mais permet de classer 30 à 60% de la population en classe C30.

Conclusion

Le pin sylvestre possède intrinsèquement d’excellentes propriétés mécaniques : sur la France entière, 95 % du pin sylvestre est potentiellement utilisable en structure.

Les différences régionales en terme de caractéristiques mécaniques sont marquées. Le pin sylvestre de la région Provence-Alpes-Côte d’Azur se distingue par des propriétés mécaniques plus faibles que ceux étudiés dans les autres régions.

Cependant, en adoptant un classement visuel selon la norme NF B 52 001, 53 % des sciages de pin sylvestre sont aptes à un emploi traçant (charpente traditionnelle). Ce taux pourrait être optimisé en utilisant un classement par machine.

P.J.

Résumé

Les caractéristiques mécaniques et physiques du pin sylvestre ont été mesurées sur 245 arbres répartis en : Alsace, Auvergne, PACA, Limousin et Centre. Elles sont élevées et révèlent un fort potentiel d'utilisation en structure, avec des différences régionales marquées. En classement visuel, seulement 60 % du pin sylvestre est utilisable en structure (la nodosité de rive est le critère limitant). Le classement visuel génère un rejet très important des sciages. Les différences de rendements observées entre les classements par méthode visuelle et un classement optimal, incitent à explorer d'autres formes de classement, reposant sur des mesures directes effectuées par machine.

| | Classes | MOR en MPa | MOE en GPa | MV en Kg/m3 | rendement en % |
|----------|---------|---------------|---------------|----------------|-------------------|
| Limousin | C30 | 30.34 | 12.71 | 475 | 47.7 |
| | C18 | 19.31 | 9.03 | 454 | 48.3 |
| | Rejet | 15.70 | 5.92 | 480 | 4.0 |
| Alsace | C30 | 30.48 | 12.64 | 483 | 75.8 |
| | C18 | 18.32 | 9.75 | 467 | 18.2 |
| | Rejet | 10.92 | 7.83 | 438 | 6.0 |
| Auvergne | C30 | 30.16 | 13.34 | 497 | 77.2 |
| | C18 | 19.53 | 9.62 | 478 | 16.8 |
| | Rejet | 8.19 | 7.52 | 478 | 6.0 |
| PACA | C30 | 30.33 | 12.45 | 480 | 55.0 |
| | C18 | 18.66 | 9.76 | 467 | 24.5 |
| | rejet | 9.16 | 6.41 | 462 | 20.5 |
| Centre | C30 | 30.20 | 15.09 | 493 | 86.9 |
| | C18 | 18.26 | 10.74 | 459 | 11.7 |
| | rejet | 11.87 | 9.55 | 465 | 1.4 |
| France | C30 | 30.10 | 13.49 | 485 | 76.4 |
| | C18 | 18.07 | 9.60 | 464 | 19.2 |
| | rejet | 8.32 | 7.52 | 455 | 4.4 |

Tab. V : Caractéristiques mécaniques du pin sylvestre dans les régions échantillonnées

Remerciements

Cette étude a été financée par :

- Le Ministère de l’Agriculture de la pêche et de l’Alimentation
- La Région Centre
- Arbocentre
- La Région Auvergne
- Auvergne-Promobois

- La Région Alsace
- La Région Provence-Alpes-Côtes-d’Azur
- La Région Limousin
- La Préfecture de Haute-Vienne

- En collaboration avec :
- Le Centre Régional de la Propriété Forestière,
- L’Office National des Forêts

Summary

Characterising the mechanical properties of the Scots pine

The mechanical and physical characteristics of the Scots pine were measured on 245 trees in five regions of France : Alsace, Auvergne, Limousin, the Centre and Provence-Alpes-Côte d’Azur. The results are good and indicate a strong potential for structural (timber) use (95%), with marked regional variation. When assessed visually, only 60% of the Scots pine are suitable for structural use (knots on plank edges is the limiting factor). Visual inspection resulted in high level of rejection of sawn wood. This difference in usable yield between the classification by sight and the optimal theoretical yield suggests that other forms of classification based on direct mechanised measurement need to be explored.

Riassunto

Caratterizzazione delle qualità meccaniche del pino silvestre

Le caratteristiche meccaniche e fisiche del pino Silvestre sono state misurate su 245 alberi ripartiti su 5 regioni : Alsazia, Alvernia, PACA, Limosino e Centro. Sono alte e rivelano un potenziale forte d'utilizzazione in struttura (95%), con differenze regionali segnate. In classificazione visuale, soltanto 60% del pino silvestre è utilizzabile in struttura (la nodosità di riva è il criterio limitante). La classificazione visuale genera un rigetto importante delle segature. Le differenze di rendimento osservate tra le classificazioni dal metodo visuale e una classificazione ottimale, incitano a esplorare altre forme di classificazioni, poggiando su misure dirette effettuate da macchina.