

ETUDE SUR LE TRI MÉCANIQUE DU MÉLÈZE FRANÇAIS ET HAUT ALPIN

- **POTENTIEL DU MÉLÈZE FRANÇAIS COMME BOIS DE STRUCTURE**
- **POSITIONNEMENT DU MÉLÈZE DES HAUTES ALPES DANS L'ÉCHANTILLONNAGE FRANCE**
- **INTÉRÊT DU CLASSEMENT MÉCANIQUE PAR MACHINE HOMOLOGUÉE : TRIOMATIC**



SOMMAIRE

1.	INTRODUCTION	5
2.	MAPPING DE L'ÉTUDE.....	7
3.	ECHANTILLONNAGE	9
4.	CLASSEMENT OPTIMAL.....	11
1)	Comparaison de l'échantillonnage de l'étude avec la base de données nationale (source FCBA).....	12
2)	Conclusion sur l'échantillonnage de l'étude	13
5.	CLASSEMENT VISUEL, CONCEPT	15
6.	CLASSEMENT MACHINE, CONCEPT.....	15
7.	COMPARAISON DE CLASSEMENTS, CONCEPT.....	17
8.	COMPARAISON CLASSEMENT MACHINE - CLASSEMENT VISUEL.....	19
1)	Comparaison des classements sur l'échantillonnage total.....	19
2)	Comparaison des classements sur l'échantillonnage Hautes Alpes.....	20
3)	Conclusion sur la comparaison des méthodes de classement.....	21
9.	PERFORMANCES DE LA TRIOMATIC SUR LE MÉLÈZE FRANÇAIS.....	23
1)	Conclusion sur les performances du classement de la Triomatic sur le Mélèze de France.....	25
1.	Classe C35	25
2.	Classe C30	26
3.	Classe C24	26
4.	Classe C18	27
10.	CONCLUSION.....	29

1. INTRODUCTION

Le Pays du Grand Briançonnais est caractérisé par des forêts largement dominées par le mélèze. En effet, cette essence ne concerne pas moins de 80 % des surfaces forestières totales du pays. Fort de ce constat, le Pays a souhaité faire de la valorisation de cette essence un enjeu de sa charte forestière de territoire. Grâce aux financements obtenus dans le cadre du PIT des Hautes Vallées, le Pays a pu commander une étude au bureau d'étude CBS visant à une meilleure valorisation du mélèze.

Le but de la mission est d'évaluer le potentiel de performance mécanique du Mélèze français afin de pouvoir réaliser une étude économique sur sa pertinence comme matériau de structure, et notamment en charpente, tout en différenciant l'échantillonnage des Hautes Alpes de celui du reste de la France.

L'échantillonnage sera collecté selon les prérogatives d'un organisme technique, le FCBA, afin de garantir la représentativité de la ressource. Les prérogatives portent essentiellement sur l'origine du bois (massif), le nombre de pièces (sciages) et sur les différentes sections à étudier.

Un classement optimal de l'échantillonnage sera réalisé par le biais d'une campagne de tests destructifs selon la norme européenne en vigueur, la norme EN408 (norme de flexion quatre points pour le bois de structure).

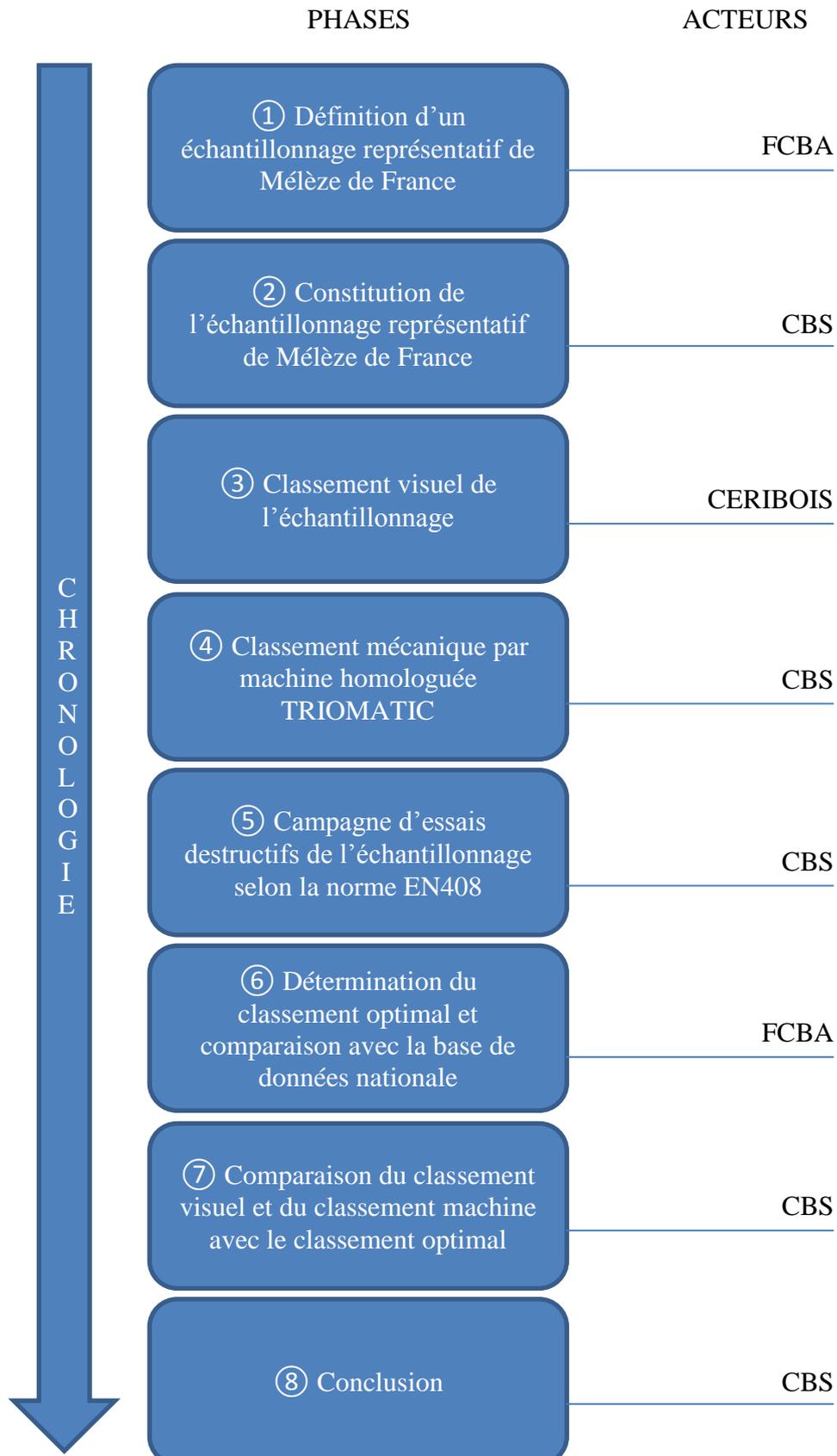
Le classement optimal de l'échantillonnage sera ensuite comparé à la base de données du FCBA pour observer si l'échantillonnage collecté ne présente pas de singularité particulière par rapport à la référence nationale.

Un classement visuel par un organisme spécialisé (CERIBOIS) ainsi qu'un classement mécanique par une machine homologuée selon la norme EN14081-4, la TRIOMATIC, viendront compléter l'étude. Ces classements (visuel et par machine) seront comparés au classement optimal obtenu ultérieurement lors de la campagne d'essais destructifs afin d'évaluer leur pertinence respective.

Le bureau d'étude CBS prend en charge le suivi de l'étude pour le mandant, le Pays du Grand Briançonnais.

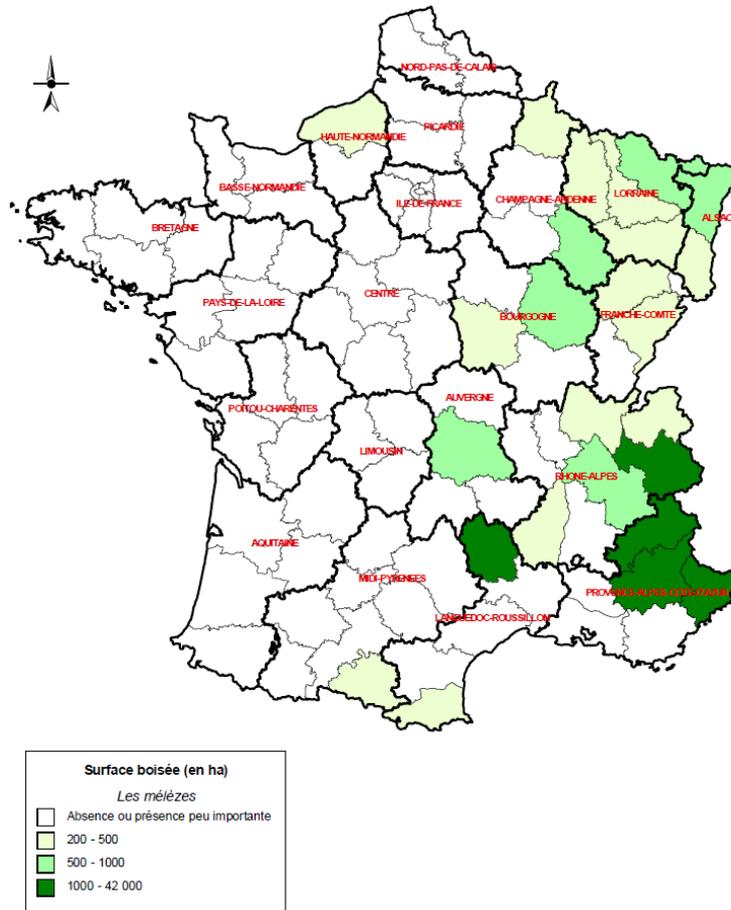
2. MAPPING DE L'ÉTUDE

L'étude présente plusieurs phases qui sont résumées selon le schéma suivant, dans l'ordre chronologique :



3. ECHANTILLONNAGE

L'échantillonnage a été réalisé selon les prérogatives du FCBA, organisme technique certificateur, à travers la répartition de l'essence sur le territoire comme illustrée sur la figure suivante :



Pour respecter le protocole d'échantillonnage, quatre sections distinctes ont été choisies. Celles-ci se rapprochent des sections usuelles tout en essayant de tirer au maximum les dimensions afin d'avoir une gamme la plus large possible.

Un sous-échantillonnage des Hautes-Alpes a été sélectionné, en complément d'un autre sous-échantillonnage, cette région étant illustrative de la ressource nationale.

Par résumer, les quatre sections retenues sont les suivantes :

Région	SECTIONS				Total
	40x100	50x150	70x220	180x180	
Hautes Alpes	40	41	35	29	145
Autre	39	40	35	26	140
Total	79	81	70	55	285

L'échantillonnage est donc constitué de 285 sciages, dont 145 issus des Hautes-Alpes.

4. CLASSEMENT OPTIMAL

Le classement optimal est le résultat obtenu en fin d'étude suite à la campagne d'essais destructifs réalisés selon la norme européenne EN408. Il s'agit, en d'autres termes, de casser les échantillons (sciages) sur un banc de flexion quatre points. Ce classement constitue la référence à partir de laquelle les autres classements (visuel et machine) seront comparés.

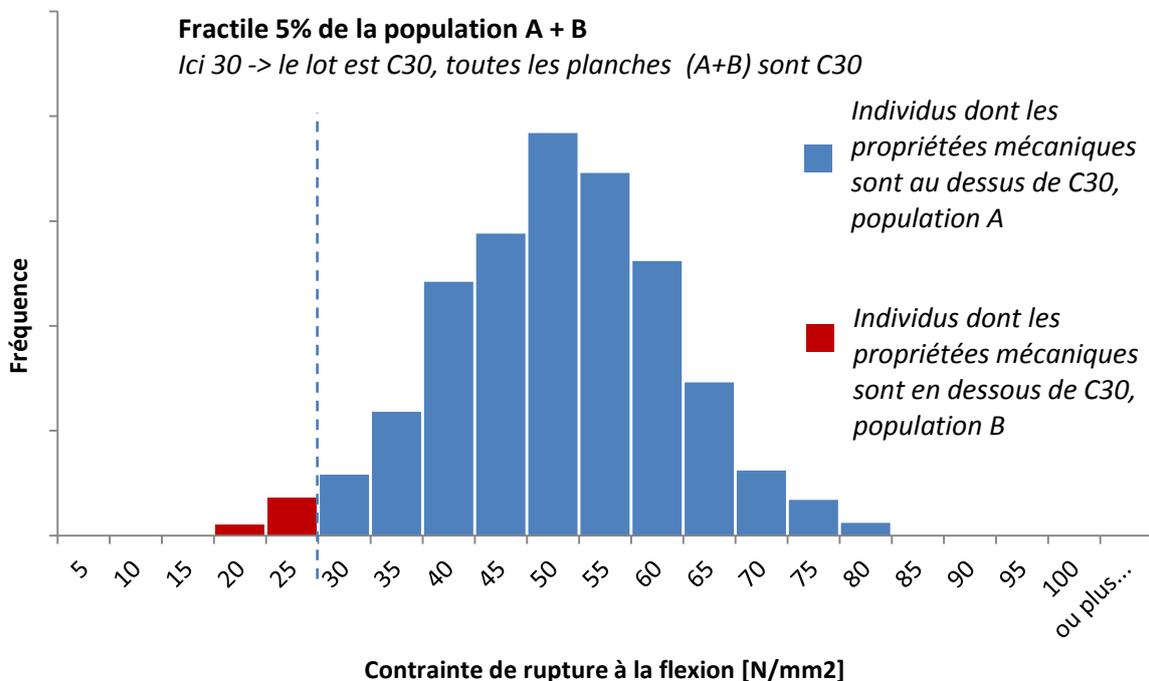
Par ailleurs, puisque l'objectif est de présenter le potentiel de l'essence en structure, les résultats sont présentés selon les classes usuelles de structure à savoir : C16 – C18 – C24 C30 – C35.

Pour rappel, les bois au-delà de C30 (donc C30 et C35) sont considérés comme des bois de hautes performances mécaniques.

Le classement des bois s'effectue selon des combinaisons de classes. Basé sur le concept du fractile 5%, le nombre de pièces appartenant à une classe peut évoluer selon la combinaison de classes choisie.

Le fractile 5% se définit comme tel : toute population a la classe de son fractile 5% inférieur. Par exemple, si le fractile 5% d'un lot est 30 N/mm², le classement de ses individus (planches dans le cas du bois) est C30. Cela peut être illustré par le schéma suivant :

Distribution des propriétés mécaniques du lot



De plus, la norme prévoit un maximum de trois classes dans une même combinaison. Pour améliorer des rendements, il est conseillé de réduire le nombre de classes au sein des combinaisons à deux voire une seule classe de résistance.

1) Comparaison de l'échantillonnage de l'étude avec la base de données nationale (source FCBA).

Cette étape permet d'évaluer la qualité de l'échantillonnage constitué avec les données recensées jusqu'alors par un organisme technique, ici le FCBA.

Les classements optimaux sur deux combinaisons de classes identiques sont alors observés.

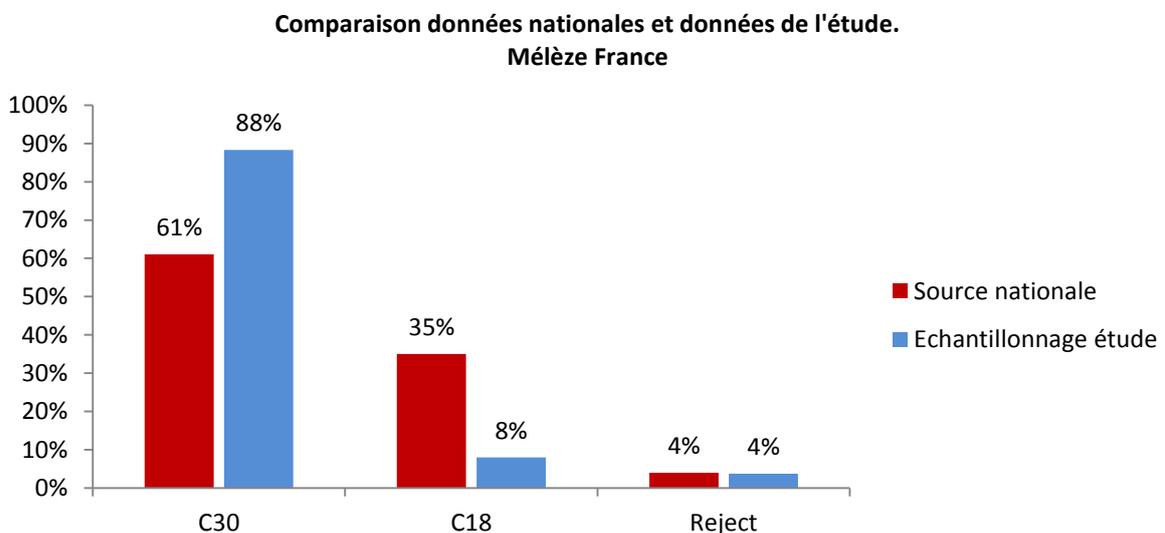
Les données fournies par le FCBA concernant le Mélèze de France sont rappelées par le tableau 1 à travers la combinaison de classes C18-C30.

Sur cette même combinaison de classes, l'échantillonnage de l'étude affiche les résultats traduits par la figure 1.

Tableau 1 : Base de données nationale pour le Mélèze (source FCBA), avec MOR (module de rupture en flexion), MOE (module d'élasticité longitudinal) et MV (masse volumique) sur le classement optimal avec la combinaison de classes C18/C30.

Les classes	MOR (fractile à 5%)	MOEL (moyenne)	MV (fractile à 5%)	Nombre de pièces	Les rendements
C 30	32	12,0	527	961	61%
C 18	22	9,0	504	552	35%
Rejet	17	6,7	505	63	4%
Total (*)				1576	100%

Figure 1 : Comparaison sur une même combinaison de classes de résistance (C18-C30) des données Mélèze France. Source nationale vs. Echantillonnage de l'étude.



Il est observé que l'échantillonnage de l'étude est sensiblement meilleur que l'échantillonnage national, avec un décalage dans la haute classe de résistance (C30). Cependant, les rejets étant similaires, les deux échantillonnages ne sont pas fondamentalement biaisés par des pièces de mauvaises qualités.

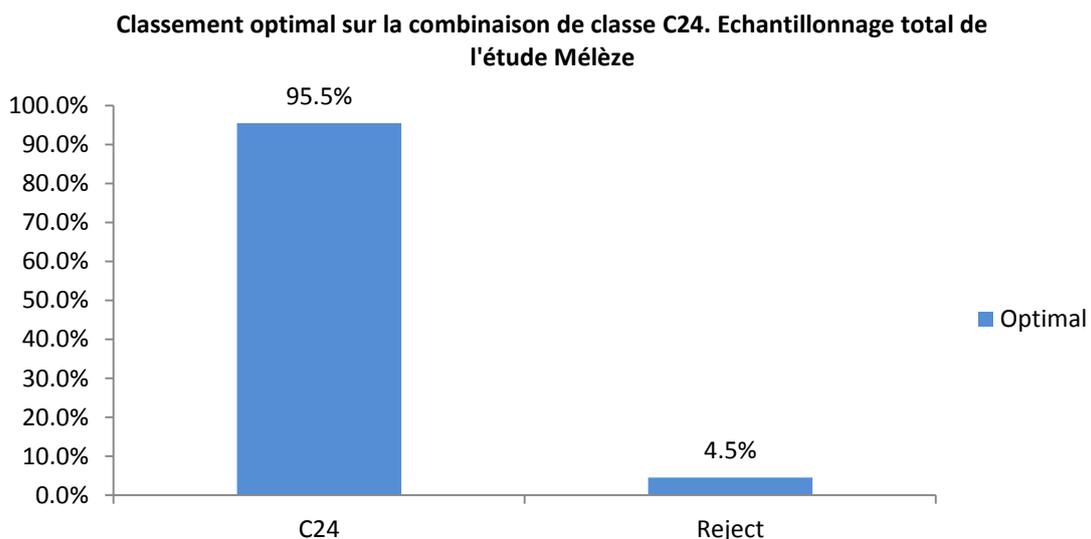
Par la suite, pour évaluer la pertinence des classements, visuel et machine, la référence sera le classement optimum de l'échantillonnage de l'étude.

2) Conclusion sur l'échantillonnage de l'étude

L'échantillonnage de l'étude est un échantillonnage présentant des classes de résistance élevées, donc adaptées au marché de la structure.

Bien plus, avec un classement sur la seule classe C24 (figure 2), il est observé que 95.5% des sciages sont C24. Cela signifie que l'échantillonnage total est au minimum C24 puisque la norme est basée sur le fractile 5% et que moins de 5% des pièces (4.5% < 5%) ne respectent pas la classe choisie (C24).

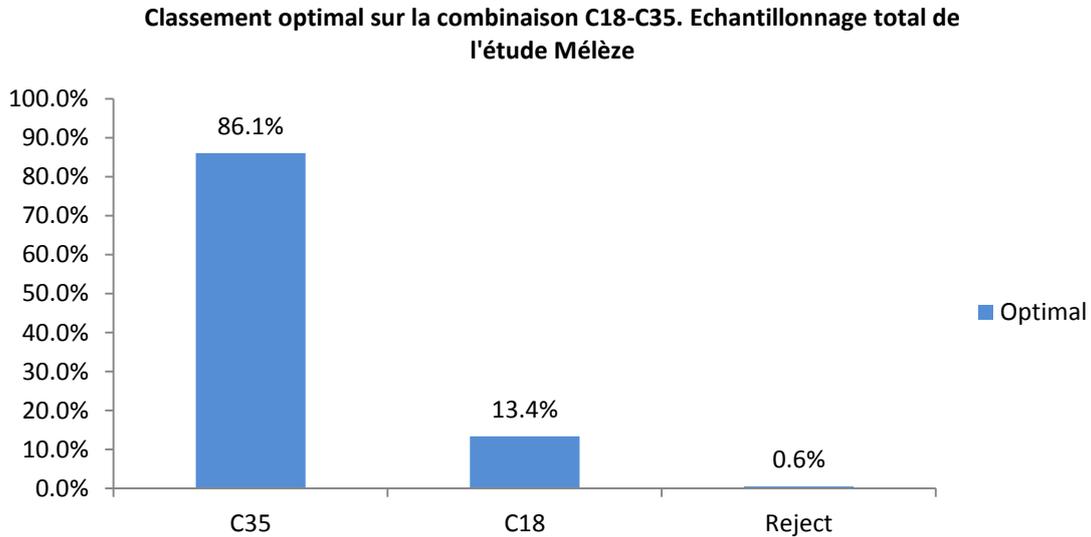
Figure 2 : *Classement optimal de l'échantillonnage de l'étude sur la combinaison de classe C24. Moins de 5% des sciages ne respectent pas la classe demandée, ce qui signifie que l'échantillonnage total est au minimum cette classe : C24.*



Enfin, en complément de la figure 1, la figure 3 confirme la présence de sciages de très hautes performances mécaniques (au-delà de C30). En effet, sur une combinaison à deux

classes dont l'une identique (C18, comme pour la figure 1), il est remarqué un fort pourcentage de sciages C35 et plus, à hauteur de 86.1% pour un rejet quasi nul (0.6%).

Figure 3 : *Classement optimal de l'échantillonnage de l'étude sur la combinaison de classe C18-C35.*



Ce chapitre souligne la qualité de l'échantillonnage de Mélèze constitué pour l'étude et sa prédisposition pour le marché de la structure avec un positionnement global en C24 et un potentiel élevé de hautes classes de performances (au-delà de C30).

5. CLASSEMENT VISUEL, CONCEPT

Le classement visuel a été établi selon la norme en vigueur NFB52001 et a été réalisé par un organisme spécialisé, CERIBOIS.

Pour rappel, le classement visuel permet un classement sur 3 classes : C18-C24-C30. La norme du classement visuel ne permet pas de classer au-delà de C30.

A noter également que pour le Mélèze, le classement visuel s'arrête pour des sections dépassant les 20'000mm². En d'autres termes, selon la norme, il n'est pas possible de classer des pièces de Mélèze avec des sections au-delà des 20'000 mm².

Or, dans l'échantillonnage de l'étude, la plus grosse section dépasse cette limite. En effet, les sciages de 180x180 sont au-delà avec une section de 32'400 mm².

Cependant, dans le cadre de l'étude, il a été décidé de classer tout de même ces pièces en extrapolant la norme. Bien entendu, le classement visuel pour ces pièces est favorable puisque le classement de certaines singularités s'effectue sur un ratio entre le défaut et les dimensions de la pièce et que si la pièce change d'échelle, le défaut, lui, reste identique.

En d'autres termes, le classement visuel effectué sur les pièces dépassant la limite de section définie par la norme aura tendance à « surévaluer » la classe de résistance de ces sciages.

Les résultats du classement visuel sont présentés avec l'ensemble des autres résultats afin de faciliter la comparaison des classements (chapitre Comparaison de classements).

6. CLASSEMENT MACHINE, CONCEPT

Outre le classement visuel effectué sur l'échantillonnage, un classement par machine homologuée selon la norme en vigueur EN14081-4 a été réalisé dans le but d'identifier la pertinence de ce classement par rapport au classement visuel.

La machine de classement choisie est la Triomatic qui, depuis, est homologuée sur le Mélèze de France et d'Italie.

Le fonctionnement de la Triomatic repose sur la technologie ultrasonore. Des ondes ultrasonores sont émises dans le bois et une vitesse de propagation est calculée. Plus l'onde est rapide, meilleur est le bois.

D'autres modules de mesure viennent compléter la technologie ultrasonore pour affiner les résultats, comme la mesure hygro-densitométrique du bois (humidité et densité).

La figure 4 présente une machine Triomatic dans son environnement industriel.

Figure 4 : *Machine de classement mécanique homologuée dans son milieu industriel. Machine Triomatic (van Hoorebeke Timber, Gand, Belgique).*



Comme pour le classement visuel, les résultats du classement machine sont présentés avec les autres résultats afin de faciliter la comparaison des classements (chapitre Comparaison de classements).

7. COMPARAISON DE CLASSEMENTS, CONCEPT

Le second objectif de l'étude, outre d'identifier la présence de Mélèze en bois de structure en France en général et dans les Hautes Alpes en particulier (but du classement optimal sur l'échantillonnage), est d'observer s'il est possible de classer les sciages en conséquence, soit par méthode visuelle soit à l'aide d'une machine de classement homologuée.

Bien entendu, quelle que soit la méthode utilisée, elle sera défavorable par rapport au classement optimal puisque ce dernier représente la référence en termes de classement.

Bien entendu également, le classement optimal n'est pas une méthode de classement à proprement parler puisqu'il nécessite la rupture du sciage sur un banc d'essais.

En d'autres termes, le second objectif de l'étude est de qualifier les méthodes de classement du Mélèze en comparant les résultats obtenus par méthodes non-destructives (visuelle ou machine) à la réalité (classement optimal) et en classant ces méthodes non destructives entre elles.

Comme pour le classement optimal, les comparaisons doivent s'effectuer selon des combinaisons incluant, une, deux voire trois classes de résistance.

Concernant le classement visuel, puisqu'il ne peut s'effectuer que sur trois classes : C18-C24-C30 correspondant respectivement aux anciennes classes ST3-ST2-ST1, il n'est indiqué que sur cette combinaison de classes.

Pour les autres combinaisons de classes, la comparaison ne peut se faire qu'entre la machine et l'optimal.

Enfin, dans un souci de clarté, un code couleur est défini :

Classement optimal : 

Classement machine Triomatic : 

Classement visuel : 

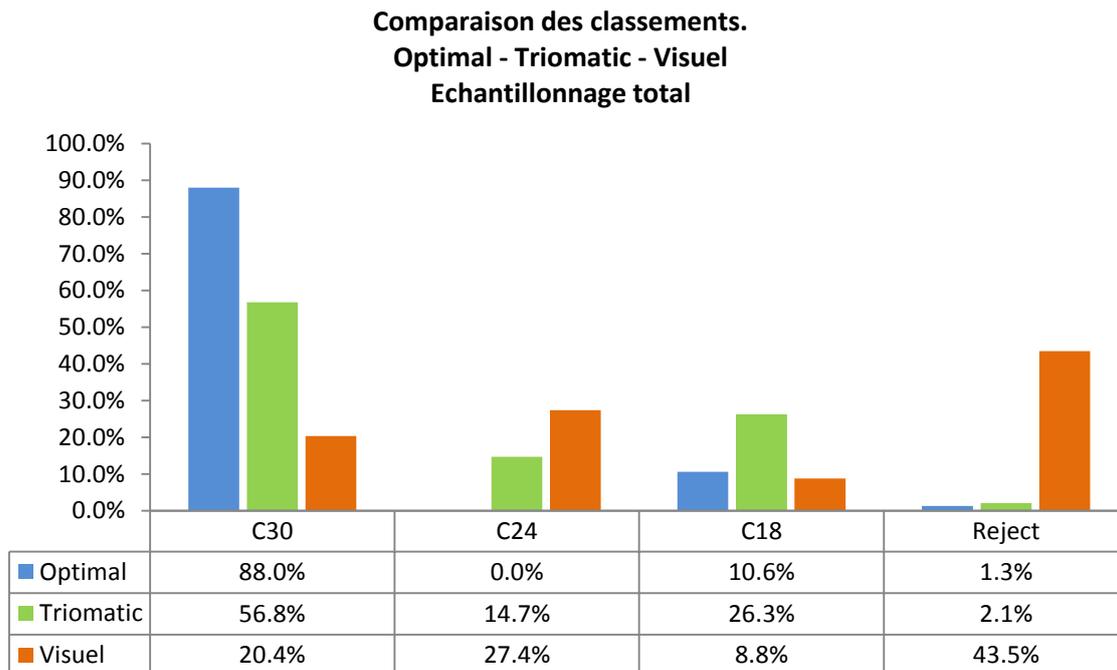
8. COMPARAISON CLASSEMENT MACHINE - CLASSEMENT VISUEL

Comme expliqué auparavant, la seule comparaison possible entre le visuel et la machine concerne la combinaison de classes C18-C24-C30.

1) Comparaison des classements sur l'échantillonnage total.

A titre de référence, le classement optimal est indiqué, respectivement pour l'échantillonnage total (figure 5) et pour l'échantillonnage issu des Hautes Alpes (figure 6).

Figure 5 : *Comparaison des méthodes de classement sur la combinaison de classes C18-C24-C30. Optimal – Triomatic – Visuel. Echantillonnage total.*



Les résultats indiquent, à travers cette combinaison de classes, que s'il existe jusqu'à 88.0% de C30 et plus dans l'échantillonnage total, la machine arrive à en détecter 56.8% et le visuel 20.4%.

D'autre part, les rendements s'améliorent à partir de C24 avec des rendements pour l'optimum de 88.0% (88.0% + 0.0%), pour la machine de 71.5% (56.8% + 14.7%) et pour le visuel de 47.8% (20.4%+14.7%).

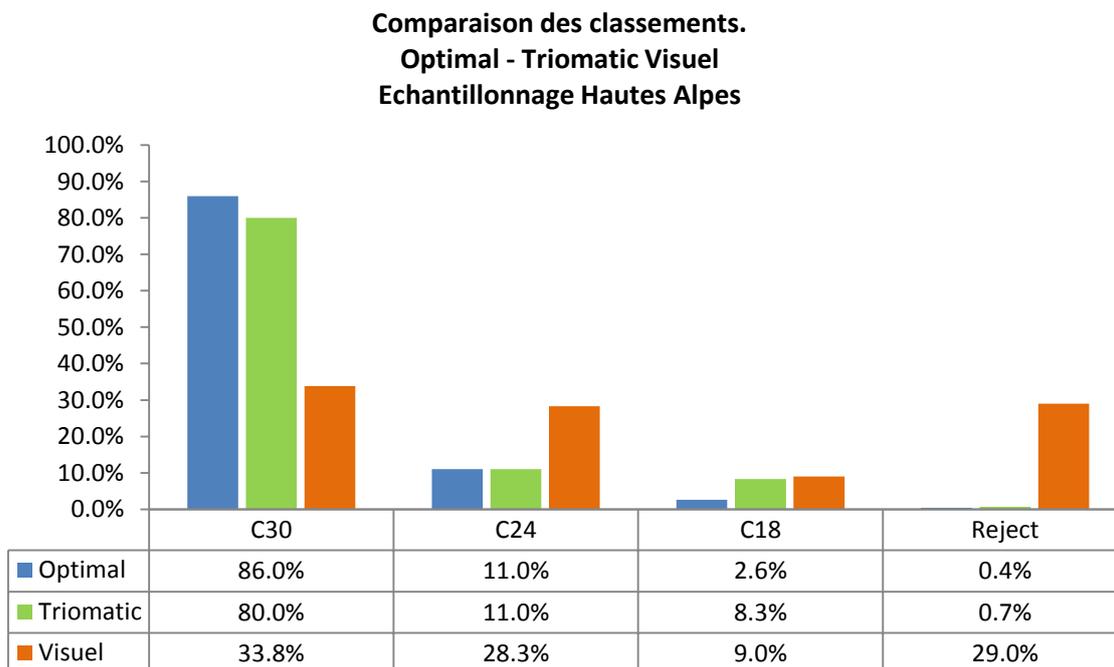
Enfin, il est intéressant de noter qu'en termes de rejet, une grande différence entre les méthodes non destructives de classement existe : 2.1% pour la machine contre 43.5% pour le visuel.

En termes de valorisation de bois de structure, cela signifie qu'avec la méthode visuelle, proche de la moitié de l'échantillonnage est inutilisable (43.5%) alors même que cette méthode est favorable puisqu'elle a tendance à surclasser les pièces de grosses sections (cf. chapitre Classement Visuel). Pourtant la réalité (classement optimal) indique que seulement 1.3% est en rejet, ce qu'arrive à confirmer le classement Triomatic avec 2.1% de rejet.

2) Comparaison des classements sur l'échantillonnage Hautes Alpes.

La figure 6 présente le même graphique que la figure 5, mais uniquement sur l'échantillonnage Hautes Alpes.

Figure 6 : *Comparaison des méthodes de classement sur la combinaison de classes C18-C24-C30. Optimal – Triomatic – Visuel. Echantillonnage Hautes Alpes.*



La figure 6 montre que s'il y a un peu moins de C30 que dans l'échantillonnage total (88.0% contre 86.0%) il y a également moins de rejet (1.3% contre 0.4%).

D'autre part, la machine Triomatic semble encore mieux réagir car elle arrive cette fois à atteindre 80.0% de C30 sur les 86.0% disponibles.



Concernant les rejets, optimal et machine font jeu égal avec 0.4% et 0.7% respectivement, alors que le visuel en fait état encore de 29%, proche d'un tiers de l'échantillonnage Hautes Alpes.

3) Conclusion sur la comparaison des méthodes de classement.

Outre l'aspect qualitatif de la ressource déjà annoncé dans le chapitre Classement optimal, ce chapitre présente les résultats des méthodes non destructives de classement sur la seule combinaison de classes le permettant, la combinaison C18-C24-C30 reprenant respectivement pour le visuel les anciennes classes ST3-ST2-ST1.

Il est à noter que si, sur l'échantillonnage total, la machine a un rendement de 56.8% de haute classe (C30) sur les 88.0% disponibles, elle permet néanmoins une forte valorisation avec de très faibles rejets.

Le visuel, quant à lui, permet une valorisation de 20.4% en haute classe contre les 88.0% disponibles, mais plonge les rendements avec 43.5% de rejets alors qu'en réalité il n'y a que 1.3%.

A propos de l'échantillonnage Hautes Alpes, la Triomatic se montre plus efficace sur la haute classe (C30) en distinguant 80.0% sur les 86.0% disponibles tout en conservant un niveau de rejets très faible.

Le visuel se montre également plus pertinent avec 33.8% en haute classe (C30) mais en conservant toutefois un niveau encore élevé de rejets (29.0%).

Enfin, les deux figures 5 et 6 montrent également qu'en termes de ressources Mélèze, s'il y a un peu moins de haute classe (C30) dans les Hautes Alpes, cette différence est très faible (2.0%), cette essence a un beau potentiel pour la construction avec un très faible rejet.

9. PERFORMANCES DE LA TRIOMATIC SUR LE MÊLÈZE FRANÇAIS

Ce chapitre a pour objectif de présenter les résultats de classement de la Triomatic sur d'autres combinaisons de classes que celle présentée précédemment afin d'évaluer le potentiel de classement de la ressource par la machine.

Le visuel ne sera pas présenté puisque ne permet pas un classement autre que celui sur la combinaison de classes présenté dans le paragraphe précédent.

L'analyse porte sur les combinaisons de classes usuelles en structure.

Les figures suivantes présentent les résultats sur les différentes combinaisons de classes.

Figure 7: Classement mécanique du Mèlèze France, Optimal et Triomatic. C16-C24-C35

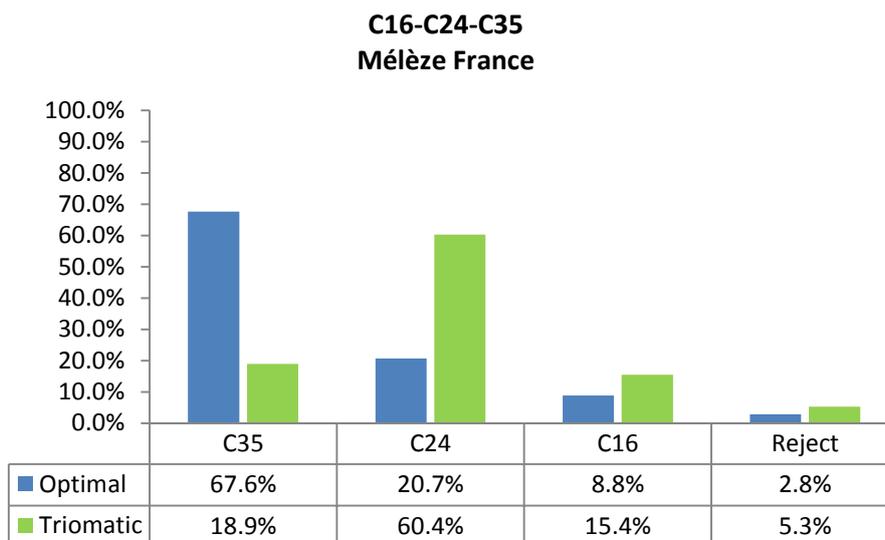


Figure 8: *Classement mécanique du Mélèze France, Optimal et Triomatic. C18-C35*

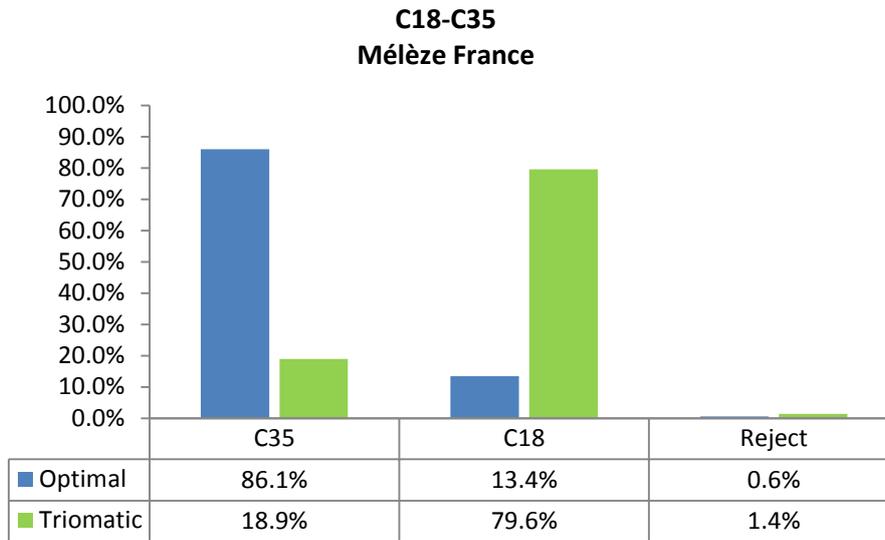


Figure 9: *Classement mécanique du Mélèze France, Optimal et Triomatic. C18-C30*

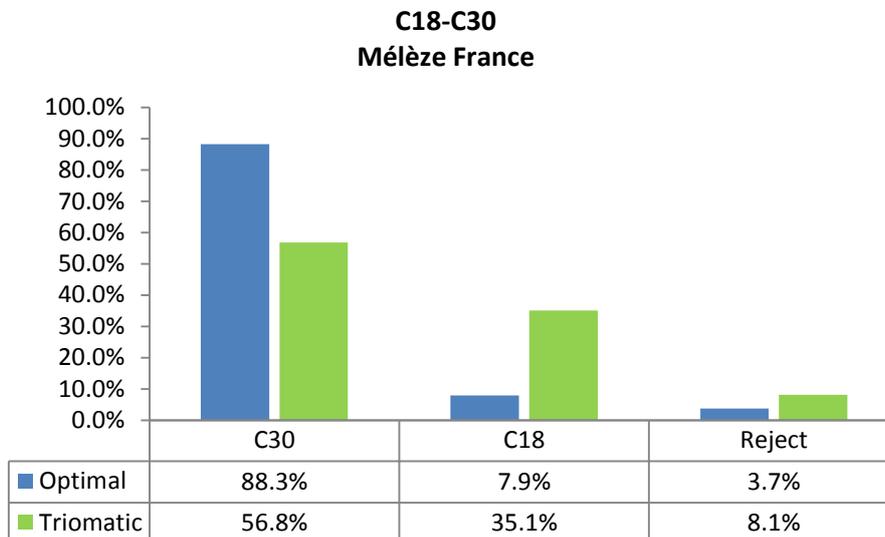


Figure 10: *Classement mécanique du Mélèze France, Optimal et Triomatic. C24*

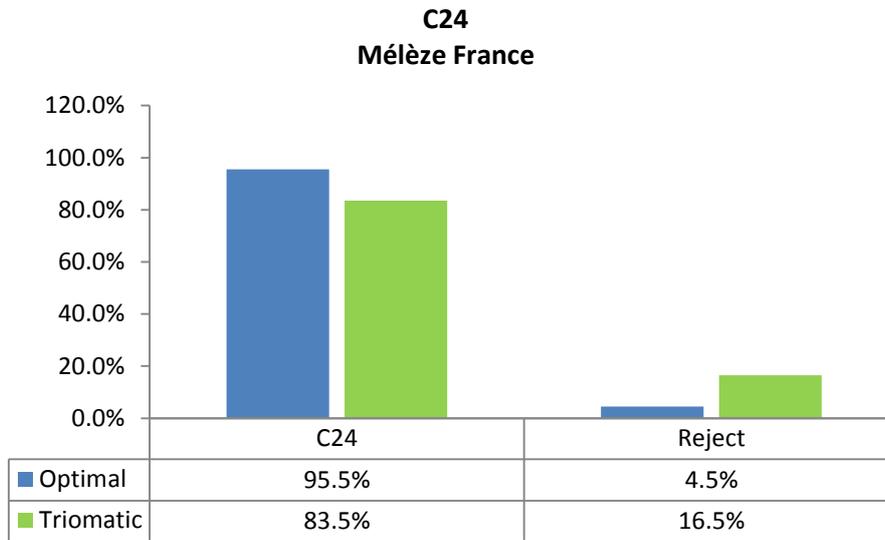
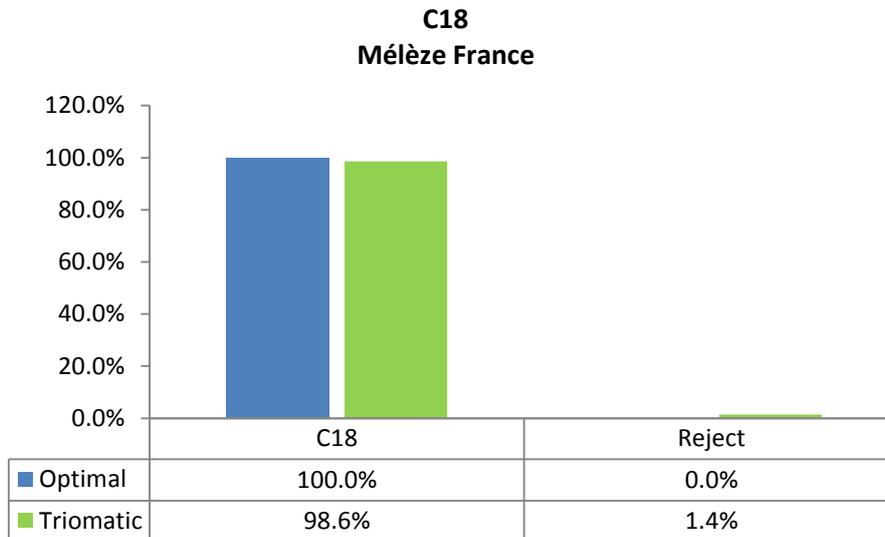


Figure 11: *Classement mécanique du Mélèze France, Optimal et Triomatic. C18*



1) Conclusion sur les performances du classement de la Triomatic sur le Mélèze de France.

1. Classe C35

Concernant la très haute classe de performance mécanique (C35), les figures 7 et 8 montrent que la machine atteint 18.9% de rendement contre respectivement 67.6% et 86.1% pour l'optimal selon la combinaison de classes choisie. Ce rendement peut sembler faible mais



pourrait être amélioré par de nouveaux capteurs. Cependant, il est important de noter que le pourcentage de rejet reste très faible, ce qui est très positif (cela permet une valorisation du lot de bois testé).

D'autre part, pour rappel, selon la norme EN14081, dès qu'un classement machine au-delà de C30 s'exécute, l'opérateur a pour obligation de casser 2% de sa production dans la classe la plus élevée pour contrôler les réglages de sa machine. Cette mesure très conservatrice est très peu incitative quant à l'utilisation d'une machine au-delà de la classe C30.

En conclusion, si du Mélèze de très haute performance existe, il faut considérer qu'une machine peut en détecter à hauteur de 20% (18.9% exactement pour la Triomatic), ce que ne peut pas permettre le classement visuel qui s'arrête à C30.

2. Classe C30

La classe de résistance mécanique C30 est considérée comme une haute classe de résistance. Elle est accessible par le classement visuel, mais avec des rendements faibles (cf. chapitre Comparaison entre classement machine et classement visuel).

L'avantage de cette classe est qu'elle est la classe de résistance la plus élevée avant les mesures dissuasives de contrôle de production demandées par la norme EN14081 (cf classe C35).

Les figures 5 et 9 présentent les résultats de la Triomatic sur la classe C30. Il est observé qu'en utilisant une combinaison à trois classes ou deux classes, le rendement sur le C30 n'est pas affecté du tout (56.8% dans les deux cas). Cela veut dire, qu'il n'y a pas de perte due au choix de combinaison de classes pour le C30 ce qui est très positif.

D'autre part, encore une fois, le rejet reste faible avec le classement Triomatic. Le classement en trois classes (figure 5) semble même plus favorable avec un taux de rejet de 2.1% contre 8.1% en deux classes.

En d'autres termes, le classement machine en C30 se révèle performant avec 56.8% de rendement contre seulement 20.4% en visuel.

3. Classe C24

L'optimal sur cette classe montre que l'échantillonnage total est C24 puisque moins de 5% ne respecte pas les critères de la classe.

La figure 10 confirme la performance du classement machine sur cette avec un rendement de 86.5%.

4. Classe C18

La figure 11 présente les résultats obtenus sur la classe C18 avec un rendement Triomatic de 98.6% pour seulement 1.4% de rejet.

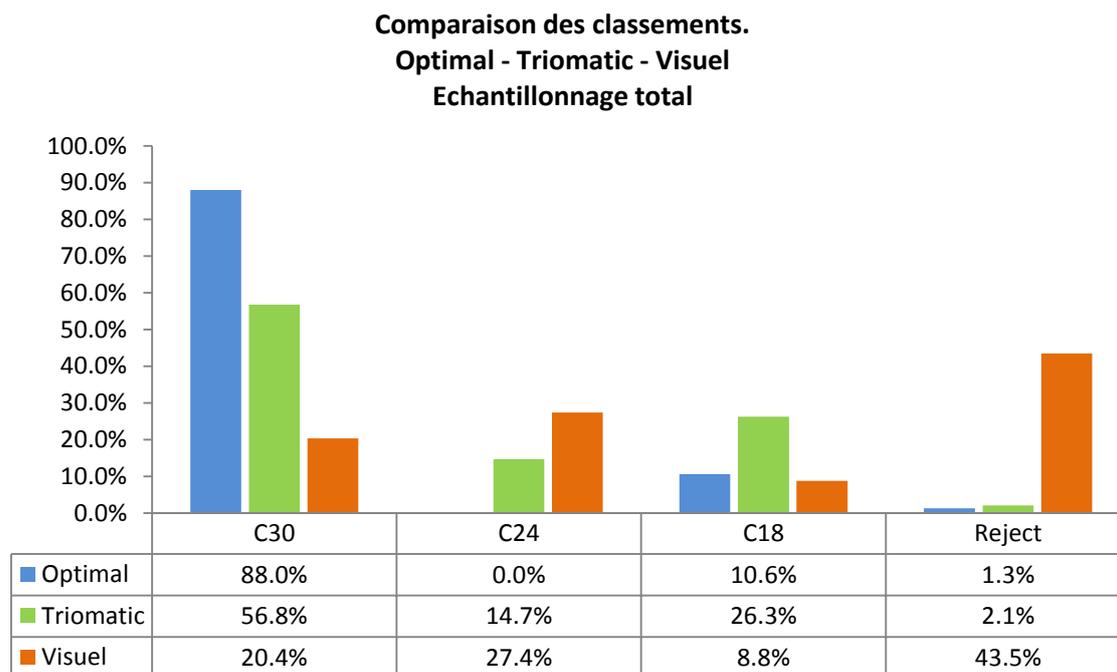
10.CONCLUSION

L'étude demandée par le Pays du Grand Briançonnais à CBS concernant la caractérisation du Mélèze de France en général et des Hautes Alpes en particulier a permis de quantifier tant la qualité de la ressource Mélèze (classement optimal à partir d'essais destructifs) que les possibilités de classement mécanique par méthodes non destructives :

- Le classement visuel
- Le classement machine Triomatic

L'échantillonnage collecté, un peu meilleur que l'échantillonnage national, est C24.

La figure 5(rappelée ci-dessous), comparant les différents classements sur une combinaison de classes commune présente les rendements de chaque méthode.



Le classement visuel permet un classement sur la plus haute classe (C30) à hauteur de 20.4% mais conserve un taux de rejets élevé (43.5%).

Avec la machine Triomatic, la très haute classe de performance mécanique C35, a un rendement de 18.9%, alors que la classe C30, plus utilisée, a un rendement de 56.9% quelle que soit la combinaison de classes choisie. Dans tous les cas de figure, le niveau de rejet avec la Triomatic est très faible.



Pour conclure, le potentiel en structure avec le Mélèze français en général et des Hautes Alpes en particulier est réel et les machines de classements, comme la Triomatic, sont en mesure de le valoriser, notamment dans les classes usuelles C24 et C30.

CBS reste à disposition du mandant pour tout complément d'information.