



# ESSAIS DE CLASSEMENT MECANIQUE D'ESSENCES LOCALES ARDECHE - DROME

## Rapport final

- Etude comparative des différents appareils de classement mécanique
- Méthodologie d'homologation de ces appareils
- Essais et approche technico-économique

Etude réalisée grâce aux concours de :



Année 2006

## Sommaire

Partenaires.....	p 3
Introduction.....	p 4
Etude comparative des différents appareils de classement mécanique.....	p 5
Contraintes sur le bois.....	p 5
Contrôle de la production.....	p 5
Machines de classement existantes et homologuées.....	p 6
Etude comparative et choix d'une machine pour les essais.....	p 15
Méthodologie d'homologation d'une machine de classement mécanique.....	p 17
Normes.....	p 17
Exigences sur les machines.....	p 18
Essais de type initiaux pour les machines de classement.....	p 18
Vérification des données « sortie machine ».....	p 19
Essais et approche technico-économique.....	p 22
Echantillonnage.....	p 22
Comparaison classement VISUEL et classement par MACHINE.....	p 24
- <i>Etude du lot de Pin sylvestre.....</i>	<i>p 26</i>
- <i>Etude du lot de Sapin.....</i>	<i>p 30</i>
- <i>Etude du lot de Pin noir.....</i>	<i>p 33</i>
- <i>Conclusion sur les résultats des essais.....</i>	<i>p 37</i>
- <i>Un système de classement en cours de développement :             Le BING.....</i>	<i>p 38</i>
Classement mécanique, aspects économiques et investissement.....	p 42
Conclusion générale et perspectives.....	p 50
Bibliographie.....	p 51
Annexes.....	p 53

## Partenariat

Maître d'ouvrage : FIBRA déléguée à FIBOIS Ardèche-Drôme

Maître d'œuvre : Néopolis

Partenaires financiers :

- Département de l'Ardèche
- Département de la Drôme
- Région Rhône-Alpes

Partenaires techniques :

- ASYBE (Association des Sylviculteurs du Bassin de l'Eyrieux)
  - Scierie Blanc
  - Scierie Sovignet
  - ONF Drôme-Ardèche
- 
- Scierie RICHARD
  - Département des Forêts du CIRAD - Unité de Recherche Bois
  - CCI Lozère - Mission Bois

## Introduction

Plus de la moitié de la surface des départements Ardèche et Drôme est couverte de forêts dont le potentiel sylvicole n'est plus à démontrer, avec des massifs d'importance comme le Plateau Ardéchois, le Diois, le Vercors,...

La production locale de bois d'œuvre est assez dynamique.

Toutefois, la réglementation sur la commercialisation du bois massif destiné à un usage en structure évolue, sous l'impulsion de la Directive européenne sur les Produits de Construction :

Avant la fin de l'année 2007, ces bois devront être marqués CE, sous la responsabilité du fabricant.

Ce marquage CE va imposer, en autres, aux entreprises de connaître de façon précise les caractéristiques de résistance mécanique du bois vendu pour un usage en structure.

Pour cela, deux possibilités :

- Le classement visuel
- Le classement par machine

Les appareils et les techniques de classement par machine sont peu ou pas connus en France et encore moins utilisés.

Le but de cette étude est d'optimiser la valorisation de trois essences locales (Sapin pectiné, Pin sylvestre, Pin noir) grâce à une étude technico-économique comparant le classement visuel et le classement par machine des bois utilisés en structure.

Cette étude permettra de répondre à deux questions :

- Le classement par machine est-il plus avantageux que le classement visuel pour les bois locaux ?
- La plus value apportée par le classement par machine permet-elle l'installation d'une unité de classement en Drôme-Ardèche ?

Pour cela, après avoir comparé les différents appareils de classement, il s'agit de trouver des réponses grâce à des échantillons de bois représentatifs de la production départementale.

# Partie I :

## Etude comparative des différents appareils de classement mécanique

### Contraintes sur le bois

Ces contraintes sont fixées par la norme EN 14081

Taux d'humidité moyen maximal 20%, sans relevé excédant 24%

Si le bois a été classé avant le façonnage il existe des tolérances pour ne pas avoir à reclasser le bois : réduction inférieure à 5 mm pour des dimensions inférieures ou égales à 100 mm ou 10 mm pour des dimensions supérieures à 100 mm.

Un classement visuel préalable est nécessaire pour éliminer les défauts que la machine ne pourrait pas voir : fentes, déformations, flâches, dégâts biologiques et pente de fil.

Remarque :

Les machines qui utilisent la flexion ne peuvent pas prendre en compte les défauts en bout de pièce, il faut donc classer ces bouts visuellement.

### Contrôle de la production

Pour chaque lot doivent être contrôlés :

- Origine du bois
- Essence
- Dimensions par rapport à la commande
- Taux d'humidité

Pour chaque lot on doit conserver :

- Numéro de tâche ou de commande et nom du client
- Population d'essences de bois
- Classes et norme de classement
- Dimensions du bois et état de surface du bois (raboté ou scié) ;
- Pour du bois classé sec, son taux d'humidité
- Date et équipe de travail
- Nom de la personne chargée du classement ou de l'opérateur de la machine
- Nombre de pièces dans chaque classe et le nombre de pièces refusées par la machine
- Tous les réglages machine

Informations à faire apparaître sur le produit : marquage de façon claire et indélébile

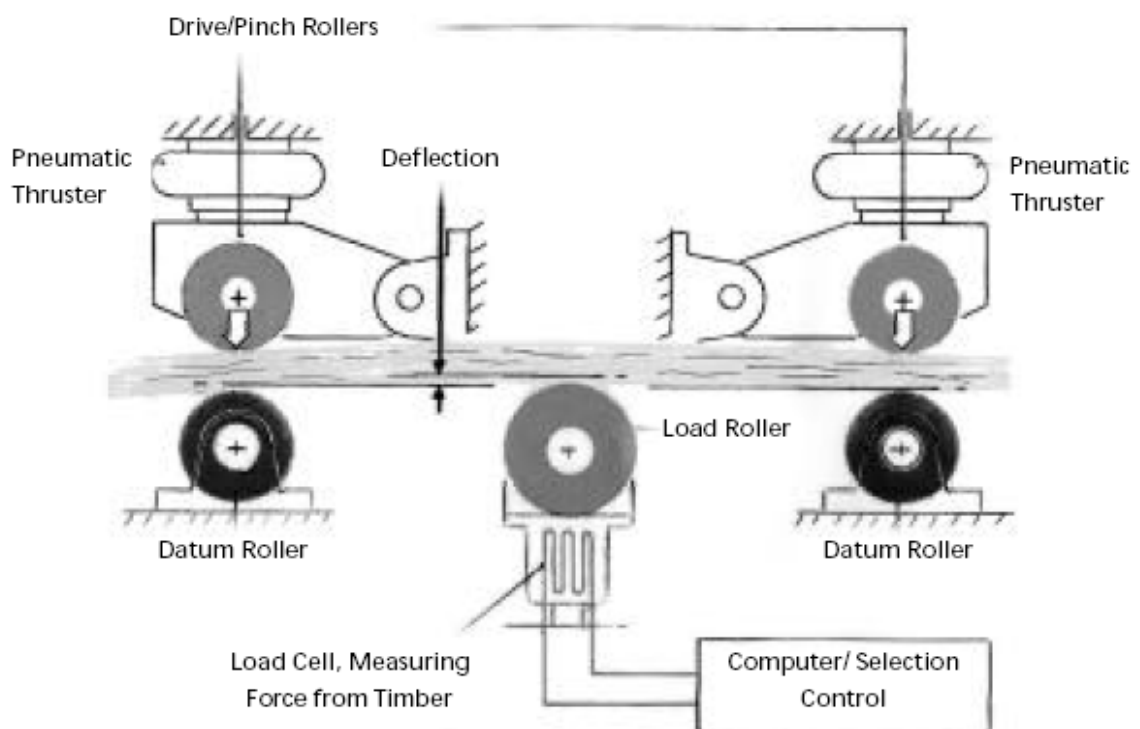
- Le nom ou la marque d'identification du producteur.
- La référence identifiant la documentation contenant l'information requise
- Si le bois est classé par machine, alors la lettre M et la classe de résistance selon l'EN 338 le cas échéant, sinon la lettre M et la classe de résistance et la norme de classement
- Si le bois est classé visuellement, alors la classe de résistance comme prescrit par l'EN 1912, sinon la classe de résistance et la norme de classement si elle n'est pas incluse dans l'EN 1912.
- Toute restriction à un usage particulier
- La mention CLASSE SEC, le cas échéant
- Si le bois est traité par un produit de préservation, marquage supplémentaire selon PR EN 15228.
- Pour une essence unique, le code d'essence conformément à l'EN 13556 et pour un groupement d'essences, le code d'essence.
- La référence de la présente norme européenne, i.e. EN 14081-1.
- Si le bois est classé par machine, le code d'identification du pays ou de la région d'origine, conformément à l'EN ISO 3166-1.

### Machines de classement existantes et homologuées

- COOK BOLINDER Stress Grader (Tecmach) modèle SG-AR, SG-AF et SG-TF -

Le principe utilisé est celui de la flexion 3 points :

- Principe :



La machine Cook-Bolinder fonctionne en appliquant une force constante et connue sur la pièce à tester. La pièce traverse la machine grâce à des rouleaux entraîneurs.

Les mesures sont effectuées tous les 10 cm sur la longueur de la planche (sauf 60 cm aux extrémités). Les effets du voile et du gauchissement sont pris en compte si la planche est passée une 2<sup>ème</sup> fois sur l'autre face dans la machine et une moyenne est calculée.

Selon la provenance des bois et l'essence, diverses classes de résistance mécanique et sections ont été validées selon la norme EN 14081-4

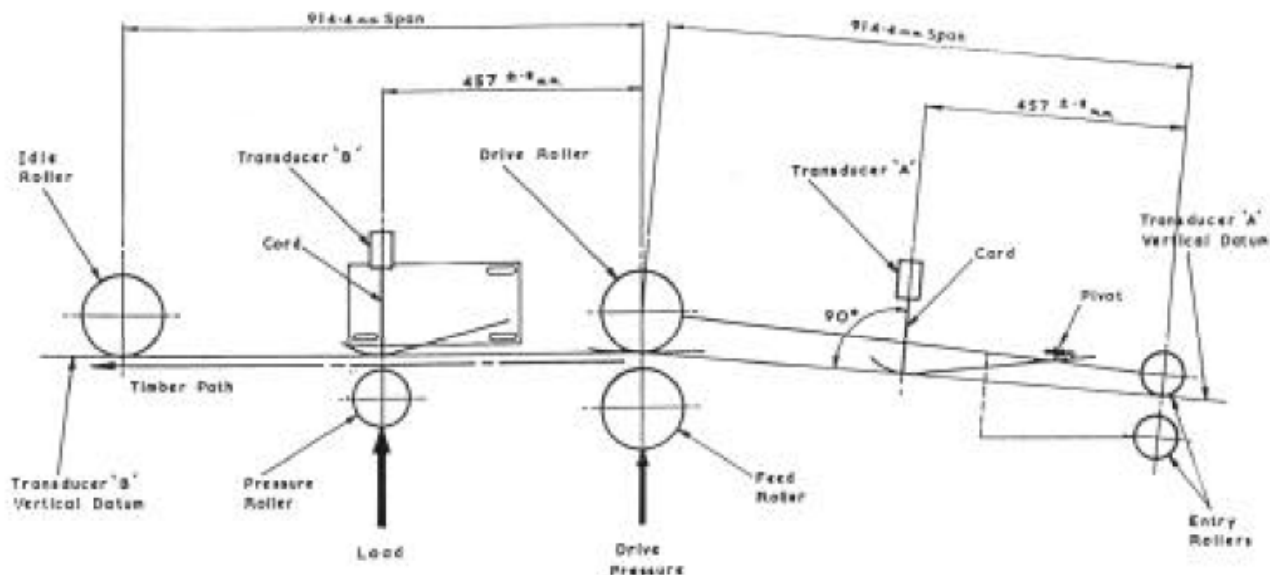
essence	Pays de provenance	gamme de sections (mm)	classes de résistance validées	vitesse max de passage dans la machine (m/min)
Sapin / Epicéa	GB, Irlande	35 < ép. < 75 60 < l < 300	C16, C24	150
Sapin / Epicéa / Pin sylvestre	Estonie, Finlande, Lettonie, Norvège, Russie, Suède	30 < ép. < 75 60 < l < 300	C18, C24, C27, C30, C35, C40	150
Pin sylvestre / Pin noir	GB, Irlande	35 < ép. < 75 60 < l < 300	C16, C24	150
Pin sylvestre	Espagne	35 < ép. < 75 60 < l < 300	C16, C27	100
Pin noir	Espagne	40 < ép. < 70 100 < l < 200	C18, C30	100
Pin radiata	Chili	44 < ép. < 50 60 < l < 300	C16, C24, C27	150

Le débit sera donc pour des pièces de 45x120 d'environ 48 m<sup>3</sup> par heure pour la vitesse de 150 m/min

- Machines COMPUTERMATIC et MICROMATIC Modèle MK 5B



Ces machines fonctionnent de la même façon que celle décrite ci-dessus : flexion 3 points avec une prise de mesure tous les 150 mm, le long de la planche. Il y a deux capteurs, le premier mesure le gauchissement et le second la flèche sous une charge connue



La longueur minimum est 1,80 m.

Selon la provenance des bois et l'essence, diverses classes de résistance mécanique et sections ont été validées selon la norme EN 14081-4.

essence	Pays de provenance	gamme de sections (mm)	classes de résistance validées	vitesse maximum de passage dans la machine (m/min)
Sapin / Epicéa	GB, Irlande	35 < ép. < 75 60 < l < 300	C16, C24	105
Sapin / Epicéa / Pin sylvestre	Estonie, Finlande, Lettonie, Norvège, Russie, Suède	30 < ép. < 75 60 < l < 300	C18, C24, C27, C30, C35, C40	105
Pin sylvestre / Pin noir	GB, Irlande	35 < ép. < 75 60 < l < 300	C16, C24	105
Pin radiata	Chili	44 < ép. < 50 60 < l < 300	C16, C24, C27	105

Grâce à cette vitesse on peut disposer, pour des sections de par exemple 45x120, d'une capacité machine d'environ 34 m<sup>3</sup> par heure.



- Machine MICROTEC : Goldeneye 706 (Goldeneye 702 + Viscan)



Cette machine utilise le système rayon X (Goldeneye) couplé à un système vibratoire (Viscan) pour améliorer la précision de la détermination des classes de résistance élevées.

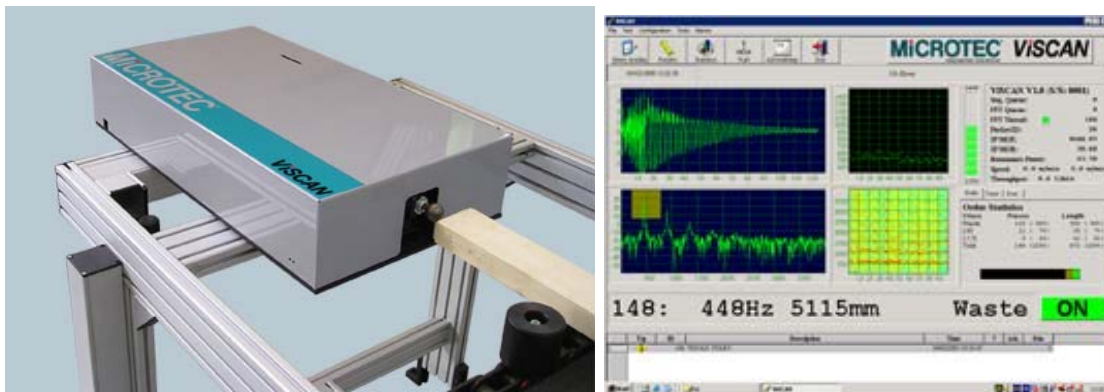
Le faisceau de rayons X réagit par rapport aux variations de densité du bois (nœuds, fentes,...). Plus la densité est forte, plus l'intensité de l'irradiation est faible

Selon la provenance des bois et l'essence, diverses classes de résistance mécanique et sections ont été validées selon la norme EN 14081-4.

Essence	Pays de provenance	gamme de sections (mm)	classes de résistance validées	vitesse maximum de passage dans la machine (m/min)
Sapin / Epicéa	Allemagne, Autriche	30 < ép. < 55 80 < l < 280	L24, L35	300
Sapin / Epicéa	GB, Irlande	35 < ép. < 80 70 < l < 260	C16	300

Appareil VISCAN de mesure vibratoire :

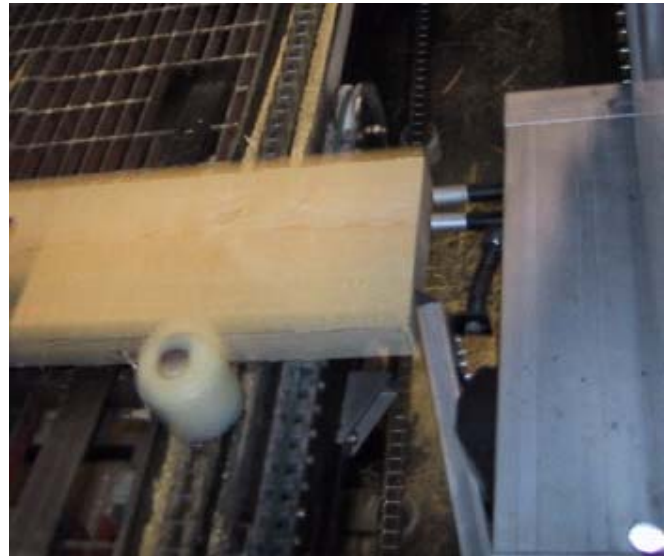
Les planches vibrent en passant sur l'appareil, l'interféromètre laser mesure la fréquence intrinsèque directement sur la planche, sans contact, le logiciel analyse ces vibrations et convertit ensuite la fréquence en module d'élasticité.



Vitesse de mesure	150 planches/min
Longueur de la planche	3 - 6 m
Epaisseur de la planche	20 - 120 mm
Largeur de la planche	80 - 280 mm

On aura donc un équivalent volumique maximal d'environ 243 m<sup>3</sup> par heure pour des planches de 45x120x5100.

## - Machine Dynagrade



Les planches se déplacent transversalement et déclenchent un mécanisme d'impact à ressort. Des micros sur l'unité principale capturent alors les vibrations émises en bout de planche, pendant que des lasers mesurent les dimensions de la pièce de bois. Un logiciel compile ensuite toutes ces données et donne le module d'élasticité.

Selon la provenance des bois et l'essence, diverses classes de résistance mécanique et sections ont été validées selon la norme EN 14081-4.

essence	Pays de provenance	tolérances de sections (mm)	classes de résistance validées
Sapin / Epicéa / Pin sylvestre	Estonie, Finlande, Lettonie, Norvège, Russie, Suède	34 < ép. < 75 60 < l < 300	C16, C18, C24, C27, C30, C35
Pin sylvestre	Estonie, Finlande, Lettonie, Norvège, Russie, Suède	30 < ép. < 75 60 < l < 225	C16, C18, C24, C27, C30, C36
Sapin / Epicéa / Pin sylvestre	Estonie, Finlande, Lettonie, Norvège, Russie, Suède	40 < ép. < 45 95 < l < 195	LS11, LS15, LS22, LS26

Il existe 3 modèles de machines Dynagrade, en fonction de la cadence souhaitée :

- Modèle Std : < 100 pcs/min
- Modèle HC : < 150 pcs/min
- Modèle XHC : < 240 pcs/min

La capacité de production (pour des planches de bois de 45 x 120 x 5100) sera donc au maximum (modèle XHC) d'environ 165 m<sup>3</sup> par heure.

## - Machine Raute Timgrader

Selon la provenance des bois et l'essence, diverses classes de résistance mécanique et sections ont été validées selon la norme EN 14081-4

essence	Pays de provenance	tolérances de sections (mm)	classes de résistance validées	vitesse maximum de passage dans la machine (m/min)
Sapin / Epicéa Pin sylvestre	Estonie, Finlande, Lettonie, Norvège, Russie, Suède	30 < ép. < 75 60 < l < 225	C18, C24, C27, C30, C35, C40	124

D'autres machines sont en cours d'homologation avec cette fois du bois d'origine française :

Il s'agit de la TRIOMATIC (technologie ultrasons) et du Bing (méthode vibratoire)

## - La machine TRIOMATIC

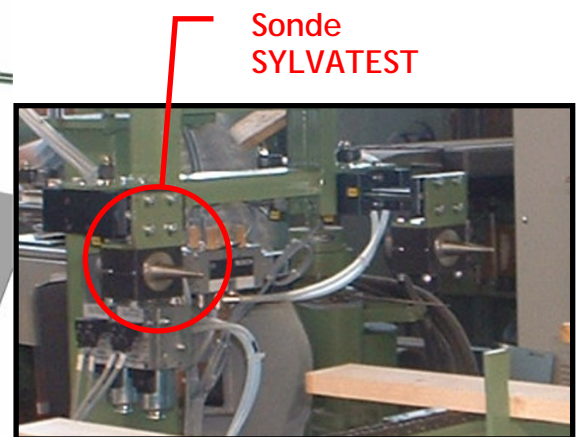
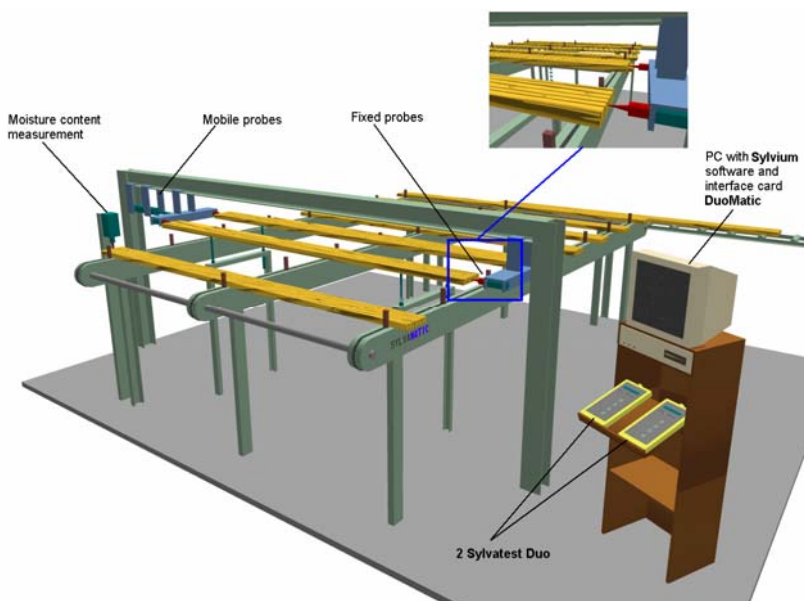
Il s'agit de l'application industrielle de la technique portative « Sylvatest », mesure couplée à une mesure de la densité et de l'humidité.

Principe du Sylvatest :



Des ultrasons sont émis par la sonde émettrice et la sonde réceptrice permet de mesurer la vitesse à laquelle ces ultrasons

ont traversé la pièce de bois, dans le sens de sa longueur.



La cadence :

Les planches arrivent sur la machine et la mesure est prise transversalement. Il faut compter 5 secondes pour la mesure simultanée de 2 planches (2 paires de sondes).

S'il n'y a qu'une paire, le temps de mesure reste à 5 secondes, mais pour une seule planche.

De même, s'il y a 4 paires de sondes, le délai est de 5 secondes pour 4 planches.

Pour la configuration « 2 sondes » on est donc sur un volume horaire (pour des planches de 45x120 en 5,10 m de long) d'environ 40 m<sup>3</sup>.

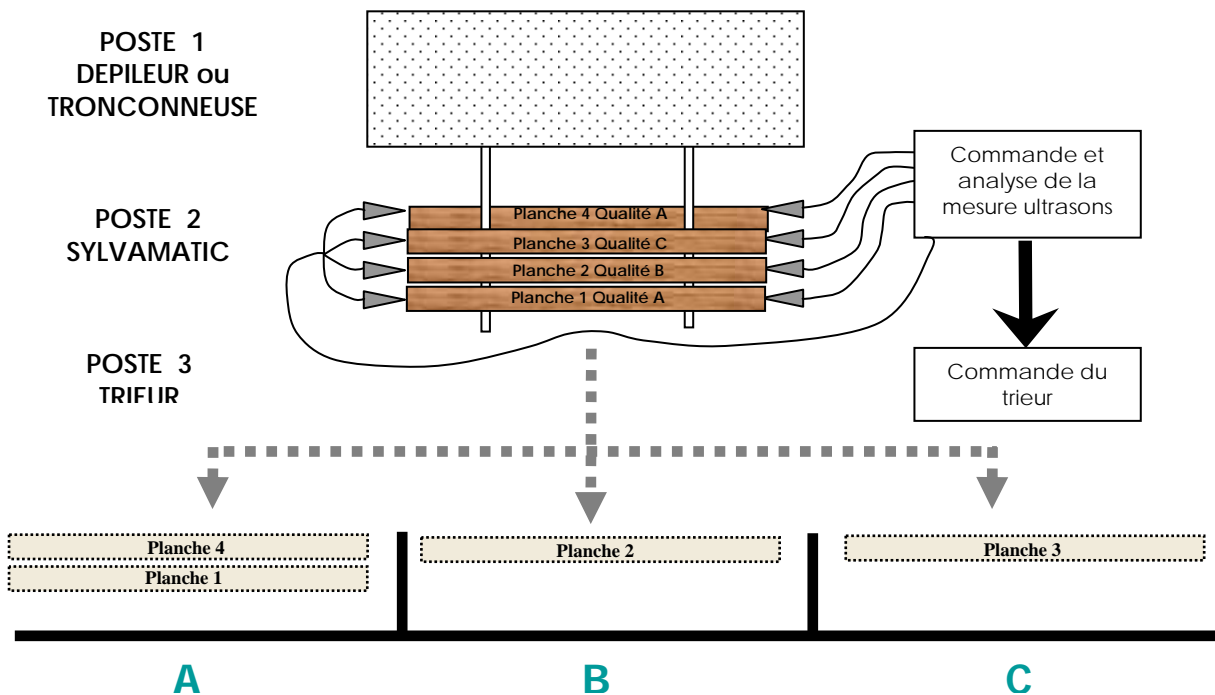
Le taux d'humidité est mesuré pour chaque planche. Sa valeur corrige la vitesse et la densité obtenues et affecte le module calculé.

Tolérances dimensionnelles :

Pour la mesure de classement avec les ultrasons, il n'y a pas de dimensions maximum ou minimum. Il faut toutefois que les bois soient assez rectilignes, mais cela est valable également pour le reste de la mécanique de la machine: un dépilleur par exemple ne peut pas dépiler des bois trop déformés.

Pour les mesures ultrasons, on peut, dans les cas de fortes variations de températures, entrer une plage de température lors des mesures, et les résultats sont automatiquement corrigés.

La TRIOMATIC peut être montée en série avec un dépilleur qui orientera automatiquement le tri des bois classés selon leur classe de résistance.



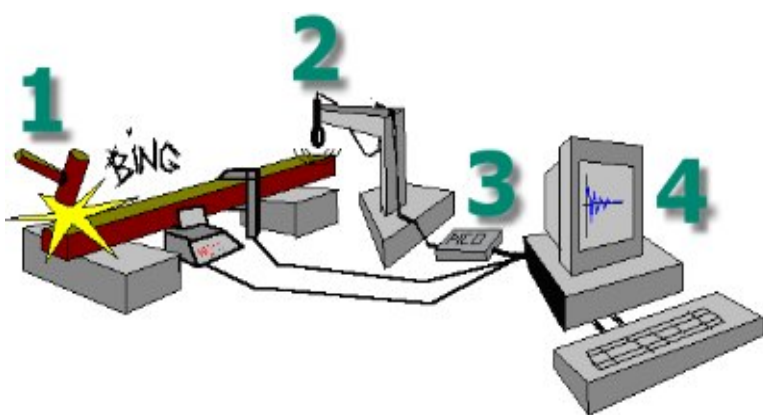
## - La méthode de classement « BING »

Le prototype de machine de classement « BING » (CIRAD Forêt et CTBA : Projet ADEME/DERF) est entièrement automatisé et permet l'obtention très rapide des valeurs des propriétés mécaniques d'une pièce de bois, par analyse du spectre de ses vibrations naturelles

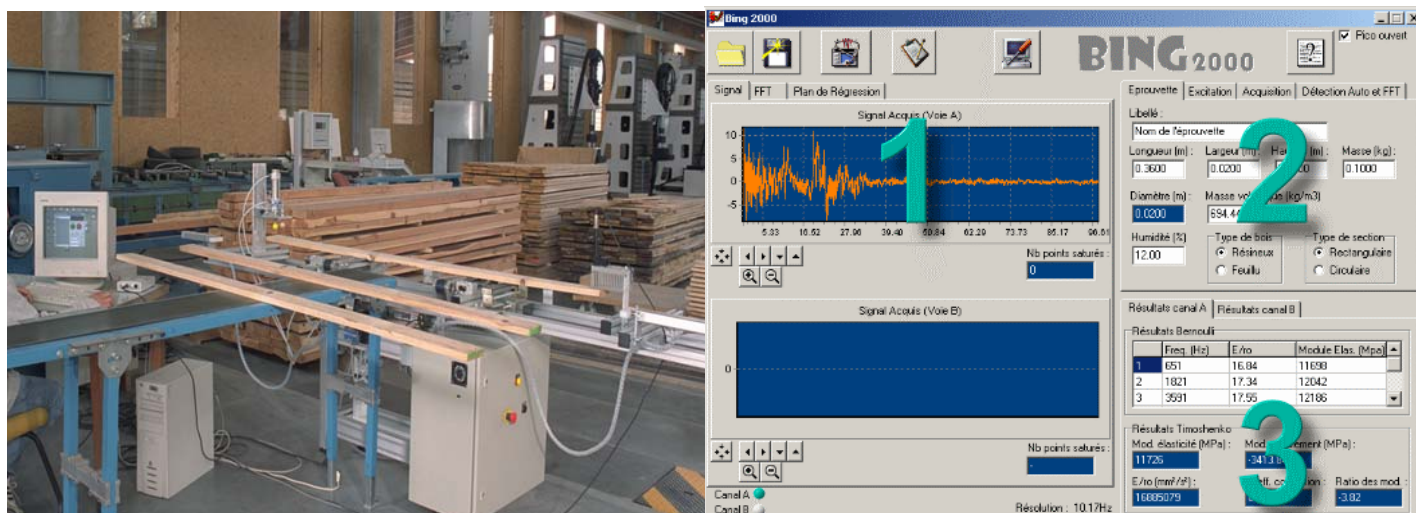
- après percussion on récupère le signal le long d'une pièce de bois, par microphone ou accéléromètre
- analyse modale du signal par un logiciel qui en extrait les propriétés mécaniques de la pièce testée

Ce dispositif conçu initialement pour des éprouvettes normalisées peut être utilisé pour des pièces couvrant une large gamme de dimensions.

Le principe de fonctionnement du système Bing 2000 peut être décomposé en 4 étapes :



- 1) Percussion de la pièce en appui sur des élastiques (vibrations libres),
- 2) Acquisition du signal à l'aide d'un microphone ou d'un accéléromètre
- 3) Numérisation du signal par l'intermédiaire d'une carte externe spécifique connectée sur le port parallèle du PC,
- 4) Traitement des données par le logiciel BING 2000



## Etude comparative et choix d'une machine pour les essais

- Comparaison Classement visuel / Classement machine

*(Voir également les données chiffrées et les conclusions de l'étude technique)*

Le classement visuel s'opère par observation des défauts et singularités du bois (largeur des cernes, diamètre des nœuds, fentes, ...) selon la norme NFB 52-001 et chacune des 3 classes visuelles définies, ST-I, ST-II, ST-III, est associée à une classe de résistance mécanique, respectivement C30, C24, C18.

Toutefois, le classement visuel, bien que d'apparence plus « facile » à mettre en œuvre, peut engendrer :

- ✓ Un coût élevé en matière de main d'œuvre :

Recrutement et/ou formation de classeurs aux normes en vigueur dans les *pays d'origine* des bois testés, avec obligatoirement deux personnes mobilisées pour la manutention des sciages.

- ✓ Des problèmes de rentabilité et de rendement :

Risque de sous-estimation des performances mécaniques des bois testés. Il faudra compter environ une journée de travail pour un classeur expérimenté pour trier 20m<sup>3</sup> de sciages.

- ✓ Des problèmes de représentativité des essences :

Il n'existe pas de norme pour toutes les essences (exemple : châtaignier) ce qui signifie l'abandon, pour un temps, de l'emploi de certaines essences en structure, tant que la réglementation européenne correspondante n'a pas été publiée, alors que pour une machine, les essais de type initiaux suffisent et peuvent être menés en interne.

- L'investissement initial

*Tous les prix ci-dessous sont donnés Hors Taxes*

Pour le tri par machine, le premier critère à prendre en compte est bien sûr celui de l'investissement. Très peu de données publiques existent et les fabricants ne sont pas en mesure de donner de prix par téléphone, tant celui-ci dépend du cahier des charges du client.

Toutefois on arrive à distinguer plusieurs ordres de prix donnés hors coûts d'intégration dans le circuit de production (+ 20 à 30 %)

Les machines MICROMATIC (Goldeneye + Viscan) représentent un investissement entre 250 000 et 350 000 € selon les options choisies.

Les autres machines (Cook Bolinder, Dynagrade, Raut Timgrader) toutes développées par des constructeurs étrangers, représentent un investissement entre 150 000 et 250 000 €.

La Triomatic « de base », pour l'ensemble {une paire de sondes + module de densité + module d'humidité + matériel informatique et câblage} représente une enveloppe financière de 70 000 €.

Dans le cas du BING, sa version industrielle devrait atteindre un prix d'acquisition bien inférieur à celui des autres machines de classement existantes : entre 30 000 et 50 000 €.

- **Adéquation avec la filière bois Ardèche - Drôme.**

Si l'intérêt du tri par machine par rapport au tri visuel semble se confirmer, il faut vérifier la « compatibilité » de ces machines au contexte local.

L'investissement initial est très (voire trop) important pour les petites et moyennes entreprises, (scieries) qui en termes de retour sur investissement ne peuvent rentabiliser cette nouvelle unité d'autant plus que les cadences de ces machines sont très supérieures à celles des lignes de production des entreprises locales. Leur intégration dans les unités de production est problématique.

La TRIOMATIC et le BING se détachent de par leur plus faible coût initial, leur modularité en fonction de la production de l'entreprise et de la simplicité du matériel (réduction des frais de maintenance).

- **Conclusion**

Le BING, bien qu'économiquement et techniquement très intéressant, est encore au stade étude et développement.

Pour l'étude technique du projet classement mécanique de FIBOIS 07/26 le choix s'est tourné vers le système TRIOMATIC, car à l'heure actuelle, c'est le seul qui paraît adapté à la filière locale et qui est déjà en fonctionnement dans un contexte industriel réel.

De plus la possibilité offerte de rajouter une ou plusieurs paires de sondes à la machine en fonction de la production de l'entreprise est tout à fait pertinente dans notre contexte local.



## Partie 2 : Méthodologie d'homologation d'une machine de classement mécanique

### Normes

Cette homologation est décrite dans les normes suivantes: (parution mai 2006)

- EN 14081-1, Structures en bois - Bois de structure de section rectangulaire classé selon la résistance  
Partie 1 : Exigences générales
- EN 14081-2, Structures en bois - Bois de structure de section rectangulaire classé selon la résistance -  
Partie 2 : Classement mécanique - Exigences supplémentaires concernant les essais de type initiaux.
- EN 14081-3, Structures en bois - Bois de structure de section rectangulaire classé selon la résistance -  
Partie 3 : Classement mécanique - Exigences complémentaires relatives au contrôle de la production en usine.
- EN 14081-4, Structures en bois - Bois de structure de section rectangulaire classé selon la résistance -  
Partie 4 : Classement par machine - Réglages pour les systèmes de contrôle par machine.

Une machine de classement mécanique du bois doit être capable de fournir des mesures précises de propriétés déterminées. Les réglages initiaux de la machine font partie intégrante de la capacité de la machine à fournir des classements de précision acceptable.

Pour comparer la performance de plusieurs machines de classements, il faut partir de la « machine parfaite » qui classerait tous les bois à leur performance mécanique maximale (mesure par essai destructif).

Cette comparaison peut utiliser une approche du point de vue des coûts par rapport aux pièces qui sont sous classées ou surclassées.

Les machines ayant tendance à surclasser les pièces sont peu fiables car la sécurité n'est alors pas assurée.

Les machines ayant tendance à sous classer les planches auront une incidence en termes de coût uniquement (besoin de plus de matière lors du dimensionnement)

Pour pouvoir transposer les réglages des machines, un modèle initial prenant en compte des variables significatives, doit être développé, à partir d'un échantillonnage découpé en plusieurs sous-échantillons représentant chacun une zone de provenance des bois, puis ajusté en fonction des dimensions et de l'humidité des bois testés.

Plus les machines sont sophistiquées, plus elles peuvent fournir de classes de mesures pour le même réglage : une machine sophistiquée pourra par exemple fournir 3 classes (C18, C22, C30)

### **Exigences sur les machines**

- ▶ Pour être conforme à la norme, le fabricant de la machine doit pouvoir fournir :
  - Précisions et description du fonctionnement mécanique et électrique de la machine
  - Un logiciel informatique compatible pour le classement du bois
  - Les performances environnementales de la machine
  - Les instructions d'installation, de maintenance et d'utilisation
  - Méthode, ampleur et fréquences des phases d'étalonnage
  - Définitions, pour les bois des groupes d'espèces, dimensions, tolérances, état de surface, humidité, classes, températures de fonctionnement, vitesse, limites de gauchissement
  - Possibilité de modularité de la machine
  - Procédure de vérification et de réglage pour tous les composants pouvant affecter les performances de classement de la machine
  
- ▶ La machine pendant les phases de mesure ne doit pas abîmer le bois
  
- ▶ La machine doit permettre de comparer les propriétés mécaniques mesurées à des valeurs présélectionnées lors des réglages initiaux (étalonnage)
  
- ▶ Les dispositifs d'amenée et de sortie de la machine ne doivent pas perturber les mesures
  
- ▶ La machine doit être équipée d'un dispositif permettant d'assurer la lisibilité et la traçabilité des pièces

### **Essais de type initiaux pour les machines de classement**

Pour chaque nouvelle essence à tester on doit réaliser un test de type initial

L'échantillon global doit être divisé en au moins 4 sous-échantillons (même espèce, provenant de différentes zones d'approvisionnement)

Ils doit y avoir au moins 100 pièces dans chaque sous-échantillon et l'échantillon global doit au moins comporter 900 pièces.

Quand une machine a déjà été étalonnée une fois (pour une autre essence), l'échantillon global doit contenir 450 pièces.

Pour être considérée comme étalonnée une classe doit comporter au moins 20 pièces.

Le bois testé doit être représentatif de la future production en termes d'approvisionnement, dimensions, qualité, état de surface, et cela à la cadence maximum de production.

Si pour cet essai de type initial (ETI) il n'y a pas de tri visuel préalable, il faut s'assurer que la proportion de pièces avec des défauts non détectables soit la même que lors de la production future. (Cela devra être précisé dans le rapport final)

L'étalonnage doit concerner au moins 3 dimensions de bois différentes.

Pour l'étalonnage des classes de résistances supérieures à C30 il se peut qu'il y ait besoin de plus de pièces car la probabilité d'avoir des erreurs dans le modèle est plus importante.

Pour le développement d'un modèle mathématique associé à cet ETI, ces variables (dimensions, nombre de pièces) doivent être connues.

Pour d'autres sections les réglages doivent être ajustés mais peuvent dériver du modèle initial.

### **Vérification des données « sortie machine »**

Les propriétés déterminées par la machine doivent être vérifiées selon la Norme EN384 - (Août 2004) - Bois de structure - Détermination des valeurs caractéristiques des propriétés mécaniques et de la masse volumique.

Les valeurs réelles déterminées par la Norme doivent être supérieures ou égales à celles données par la machine

Les pièces sont classées dans la classe la plus haute possible, une fois que leurs propriétés mesurées ont été ajustées (facteur  $k_v$  de la EN 384 où  $k_v = 1,12$ )

Les valeurs caractéristiques mesurées doivent être conformes à la EN 338.

Quand on veut mesurer plusieurs classes à la fois, il faut commencer par la plus haute.

L'ordonnement des pièces est donné par la résistance des pièces à la flexion puis par le module d'élasticité, etc. pour les autres propriétés. On réussit donc à classer les pièces de bois en fonction de leurs propriétés.

Les réglages pour la production doivent être calculés comme la valeur moyenne des réglages de chaque sous-échantillon. Si l'écart-type est supérieur à 15% par rapport à cette moyenne, le réglage de production tiendra compte de ces 15%

Ce sont ces réglages de production qui pourront conférer aux pièces de bois l'appellation de « sortie machine »

En comparant alors les classements « sortie machine » et les classements optimums, grâce à trois matrices (matrice de grandeur, matrice de coût élémentaire, matrice de coût global) on peut alors dire si la machine donne des mesures acceptables ou non.

La matrice de grandeur permet de croiser le nombre de pièces réparties dans chaque classe « sortie machine » au nombre optimal de pièces dans ces mêmes classes.

*Exemple :*

Classement optimum	Valeurs « sortie machine »			
	C35	C27	C22	Rejet
C35	207	32	16	2
C27	10	168	12	1
C22	4	13	84	2
Rejet	0	2	2	24

La matrice de coût global sera de la même forme :

*Pour l'exemple ci-dessus :*

Classement optimum	Valeurs « sortie machine »			
	C35	C27	C22	Rejet
C35	0	0,06	0,13	0,2
C27	0,04	0	0,05	0,08
C22	0,04	0,13	0	0,13
Rejet	0	0,04	2	0

On passe d'une matrice à l'autre grâce à la matrice des coûts élémentaires (valeurs tabulées ou calculées si hors table) selon le calcul :

$$(\text{Valeur cellule})_{\text{coût global}} = \frac{(\text{Valeur cellule})_{\text{grandeur}} \times (\text{Valeur coef})_{\text{coûts élémentaires}}}{(\text{Nbre total pièce colonne})_{\text{grandeur}}}$$

Pour les pièces rejetées la valeur caractéristique correspond à 75% de la valeur supérieure

Pour que l'ETI soit valide aucune valeur de cellule dans la matrice de coût global ne doit être supérieure à 0,2

Les réglages machine doivent être basés sur les valeurs les plus défavorables

Il faut vérifier la « répétitivité » de chaque classe définie par la machine : pour chaque classe, il faut passer 5 fois 100 mêmes pièces. La classe la plus fréquemment obtenue au cours de ces 5 passages doit se rapporter au classement optimum.

Après cet ETI, au moins 40 pièces de la classe la plus haute doivent être passées dans la machine et 1 sur 3 doivent être prélevées et testées selon les normes EN 384 et EN 408 et celles-ci doivent correspondre aux critères définis ci-dessus.

## Partie 3 : Essais et approche technico-économique

### Echantillonnage

L'étude porte sur trois essences présentes en proportions élevées dans les massifs forestiers de l'Ardèche et de la Drôme

Il s'agit de :

- Pin sylvestre (*Pinus sylvestris*), en provenance du Nord Ardèche, fourni par l'ASYBE, scié par la scierie SOVIGNET
- Sapin pectiné (*Abies alba*), en provenance du Plateau Ardéchois, fourni par l'ONF 26/07, scié par la scierie BLANC
- Pin noir (*Pinus nigra*), en provenance du Diois, fourni par l'ONF 26/07, scié par la scierie FAYARD

Le séchage des bois a été effectué par la scierie RICHARD, où les bois ont été amenés à un taux d'humidité de 20 %, pour être en conformité avec les normes de classement. (Sauf le Pin sylvestre, sec à l'air)

*Volumes et rendements :*

	Volume mobilisé (bois rond, sous écorce - m3)	Volume scié (avivés - m3)	Rendement sciage (%)	Volume classé (avivés - m3)	Pertes liées au classement mécanique (% sur les avivés sciés)
Pin sylvestre	31,783	10,913	34	10,498	3,8
Sapin	28,814	10,373	36	9,998	3,6
Pin noir	31,174	10,911	35	10,768	1,3

*(Voir les fiches de cubage en annexe)*

Le volume bois rond de Sapin est inférieur aux volumes fournis initialement par l'ONF car 3 des grumes n'ont pas pu être sciées (bois tordu ou pourri). L'attention doit être attirée sur la qualité moyenne du lot de bois de Sapin (cela s'est retrouvé tout au long de l'étude, au sciage, au séchage, et pendant les divers classements).

Les sections (mm) demandées pour les sciages ont été celles couramment utilisées en charpente et ossature bois :

- Pannes : 120 x 240
- Montants d'ossature / sections lamellé-collé : 45 x 120
- Chevrons : 60 x 80

Au niveau des longueurs, on a, selon les essences et les longueurs initiales des grumes :

- Pour le Pin sylvestre : 3,10 m +/- 10 cm
- Pour le Sapin : 5,20 m +/- 10 cm
- Pour le Pin noir : 6 m +/- 10 cm

Les rendements au sciage sont assez faibles. Cela est dû au fait que les sections demandées (et seulement celles-ci) ne permettent pas la production de liteaux ou autres bois de faibles sections ce qui en production normale fait augmenter les rendements du sciage.

Après le sciage et le séchage, quelques sciages de chaque essence (voir tableau ci-dessus) n'ont pas pu être passés dans la machine car trop altérés (roulure, pourriture,..) ou trop déformés.

Le nombre d'échantillons, par essence est repris dans le tableau ci-dessous :

	volume classé (avivés - m3)	Nombre de planches classées
Pin sylvestre	10,498	483
Sapin	9,998	193
Pin noir	10,768	205

Remarque :

Le nombre de planches de Pin sylvestre classées est plus grand, pour un même volume, à cause des faibles longueurs (3,10 m)

Ce nombre est assez important pour permettre des calculs significatifs sur l'échantillonnage.

- Préparation des échantillons

Afin de pouvoir comparer les différents classements, chaque planche a été marquée au moyen de plaquettes forestières (habituellement utilisées pour les grumes) pour assurer un suivi individuel entre les étapes de l'étude.

## Comparaison classement VISUEL et classement par MACHINE

*Note préliminaire :*

*Les bois utilisés pour cette étude ont été des sciages « tout venant », représentatif de la production locale et donc n'ayant subi aucun tri qualitatif préalable, contrairement à l'étude menée en 2004 sur le Pin noir, dont les échantillons avaient été pré-triés.*

*Cela explique la grande variabilité des mesures ci-après, mais illustre au plus juste la réalité de la qualité mécanique de la production locale.*

Mode opératoire :

### 1. Classement visuel :

Le classement visuel des sciages a été effectué selon les règles de classement décrites dans la norme PR NF B52-001 de Mai 2006 intitulée « Règles d'utilisation du bois dans la construction - Classement visuel pour l'emploi en structures des bois sciés français résineux et feuillus »

Cette norme permet de classer les bois en 3 ou 4 catégories en fonction de plusieurs critères identifiés sur les 4 faces de chacune des planches :

- Mesure des cernes d'accroissement
- Mesure du diamètre des nœuds
- Poches de résine
- Entre-écorce
- Fentes
- Pente de fil
- Flaches
- Altérations biologiques
- Flèche
- Gauchissement
- Tuilage

Tous ces critères varient d'une essence à l'autre.

Par rapport à l'ancienne version de la norme des campagnes d'essais ont permis de modifier le tableau des Pins pour y introduire une classe ST-IV et d'ouvrir des tableaux pour les essences suivantes : Sapin - épicéa < 20000 mm<sup>2</sup> et > 20000 mm<sup>2</sup>, Douglas < 18000 mm<sup>2</sup> et > 18000 mm<sup>2</sup>, Mélèze, Gonfolo et Angélique

Pour notre étude, cette nouvelle mise à jour permet d'affiner notre tri visuel

Les fiches correspondant aux essences de l'étude sont jointes en annexe.

Le classement visuel du bois de notre étude à été effectué avec l'appui technique de Michel VERNAY de l'Unité de Recherche Bois du département des Forêts du CIRAD de Montpellier.



## 2. Classement par machine :

Le classement par machine a été réalisé sur un site industriel en Belgique (entreprise ECOLAM spécialisée dans la fabrication de lamellé-collé), sur une machine TRIOMATIC.

Le choix de cette entreprise a été imposé par le fait qu'une telle installation industrielle n'existe pas en France et que les formalités douanières de transport de bois vers la Suisse, où la machine est également installée, pays hors Union Européenne, sont plus contraignantes.

*Pour des données plus techniques sur la justification du choix de la machine et le mode opératoire, se reporter à la partie « Etude comparative des différents appareils de classement mécanique »*

Le classement par machine a été effectué selon la norme NF EN 14081 « Structures en bois - Bois de structure de section rectangulaire classé selon la résistance » de mai 2006 (Partie 1, 2 3 et 4) qui concerne le classement par machine du bois.

Pour ce classement, notre prestataire a été le groupe CBS-CBT, (Jean-Luc Sandoz et Yann Benoît), développeur de ce type de machine.

### Rappels

Des tableaux donnent des correspondances nécessaires à la suite de l'analyse des données de terrain :

► Correspondance entre les catégories visuelles et les classes de résistance mécanique :

Classe visuelle	ST I	ST II	ST III
Classe de résistance mécanique	C 30	C 24	C 18

Selon la norme NF B 52-001

C'est ce tableau qui va nous obliger à fixer les 4 catégories de résistance des bois utilisées pour la suite de l'étude, pour pouvoir comparer classement visuel et classement par machine :

- Déclassé
- C18
- C24
- C30 et plus

► Correspondance entre les classes de résistance mécanique et le module d'élasticité du bois (MOE) en mégapascals (MPa)

Classe mécanique	C 14	C 16	C 18	C 22	C 24	C 27	C 30	C 35	C 40	C 45
MOE	7000	8000	9000	10000	11000	11500	12000	13000	14000	15000

Selon la norme NF EN 338 : « Bois de structure - Classes de résistance (sept. 2003)»

## Résultats

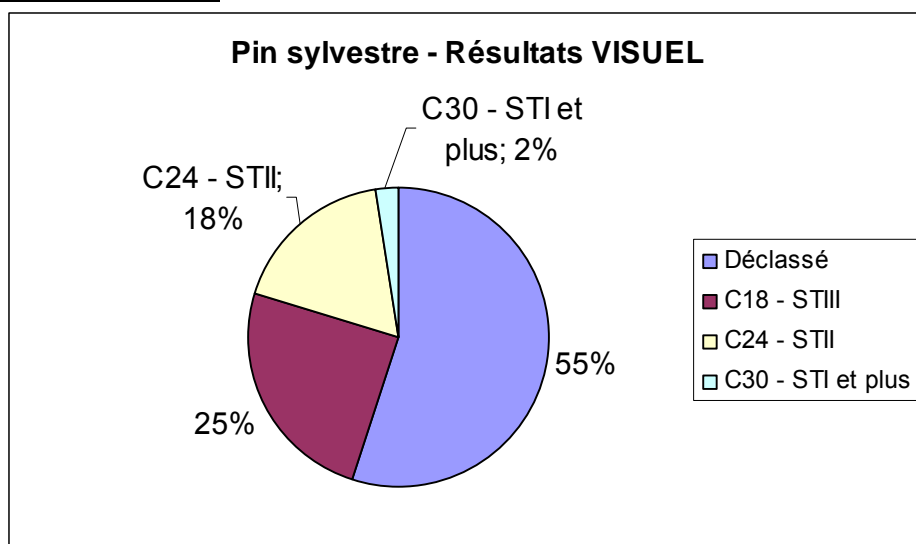
Les résultats des tris sont présentés essence par essence, sans tenir compte des différentes sections qui n'influent pas de manière significative sur la mesure de la résistance de la planche.

En effet, la mesure du module d'élasticité est directement corrélée avec le volume de la planche, la section est donc prise en compte dans le résultat de la mesure.

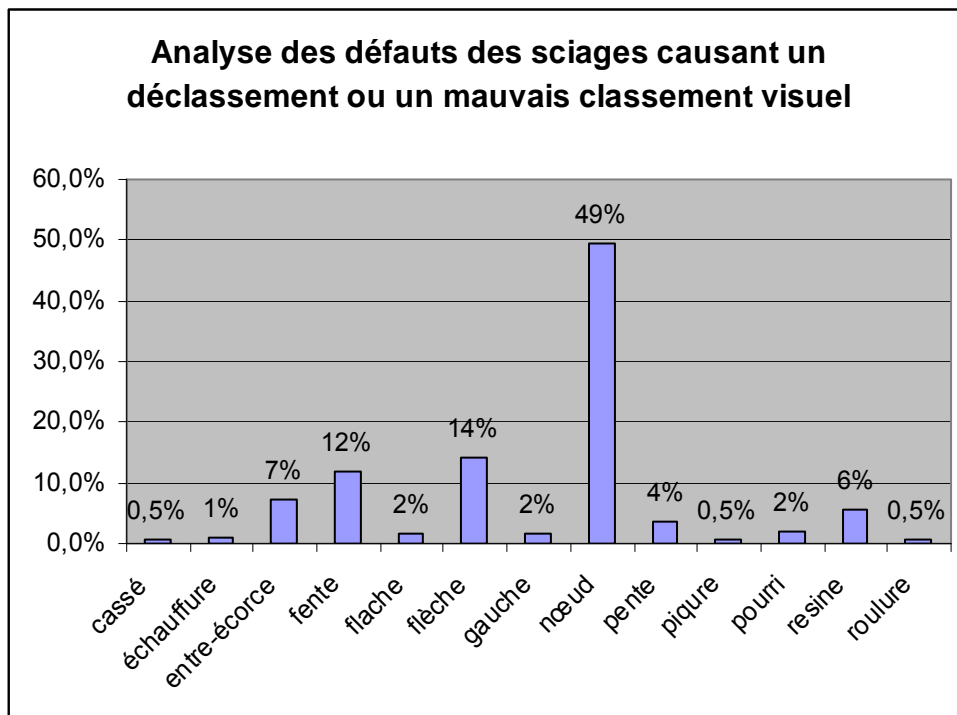
### ETUDE DU LOT DE PIN SYLVESTRE

Pour cette essence, 483 planches ont été classées, pour un volume de 10,498 m<sup>3</sup>. L'aspect général du lot est de moyen à bon.

- Classement visuel



Graph. 1



Graph.2

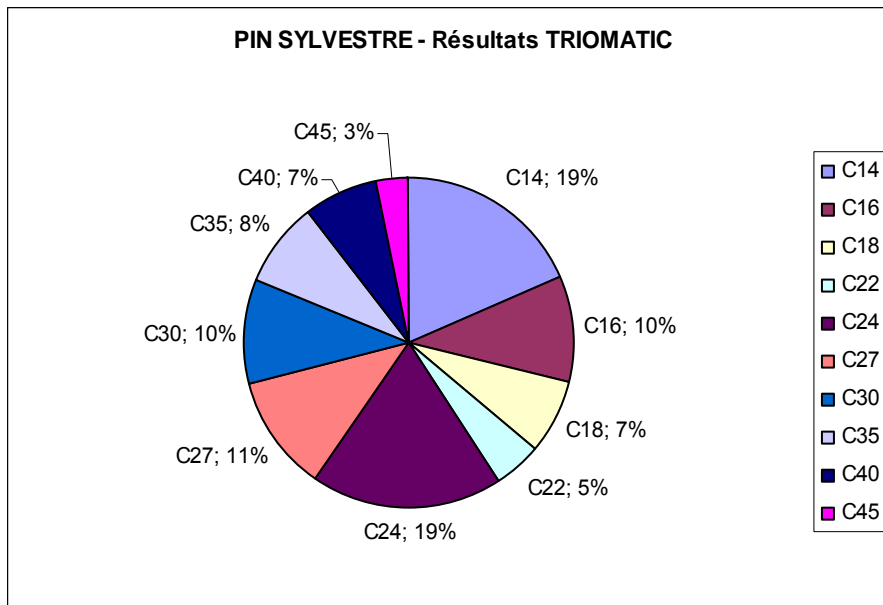
Le constat est que, plus de la moitié du lot est déclassé (55% - voir *Graph. 1*)  
 La part des bois « hautes performances » est réduite à 2%.

Au regard du *Graph. 2*, où une partie (192 planches déclassées choisies au hasard dans le lot) des échantillons déclassés ont été analysés :

- 49% des bois ont été déclassés à cause des nœuds.
- Les déformations (16% des bois déclassés) sont aussi très pénalisantes pour le lot.
- Les bois fendus (12%) sont surtout présents pour les grosses sections (pannes).
- Comme le bois a été séché à l'air, la part des altérations du bois est à noter, avec un total de 4% (roulure, échauffure, piqûres d'insectes, pourritures dues aux champignons).

De nombreuses planches ont été infestées par un champignon de bleuissement. Leur proportion n'a pas été relevée, ce champignon n'affectant en rien les propriétés mécaniques du bois. Toutefois, de telles dégradations esthétiques sont à minimiser autant que possible (charpente traditionnelle apparente surtout) et ce n'est pas très favorable sur le plan commercial : certain fabricants de lamellé collé refusent les lots où du bleu s'est installé. D'autre part les champignons de bleuissement favorisent l'attaque des insectes et autres champignons, cette fois lignivores.

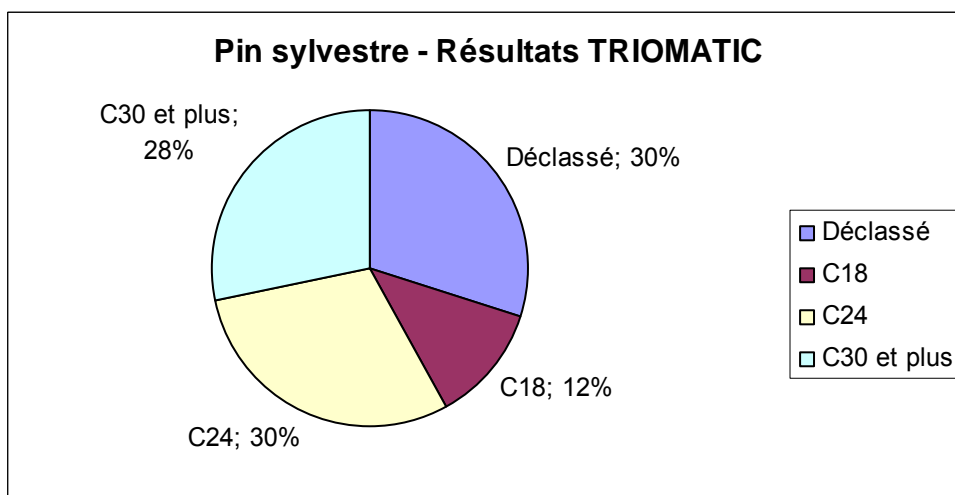
- Classement par machine



graph.3

La machine TRIOMATIC permet un classement mécanique très précis des sciages, toutes les classes de résistance sont balayées : cela à pour avantage de pouvoir répondre très précisément en cas d'une demande particulière, pour le dimensionnement optimisé d'une poutre par exemple.

Pour une meilleure lisibilité de notre étude, et surtout au niveau commercial (prix des sciages) nous allons conserver les 4 classes annoncées plus haut, les résultats sont regroupés sur le graphique 4 ci-dessous :



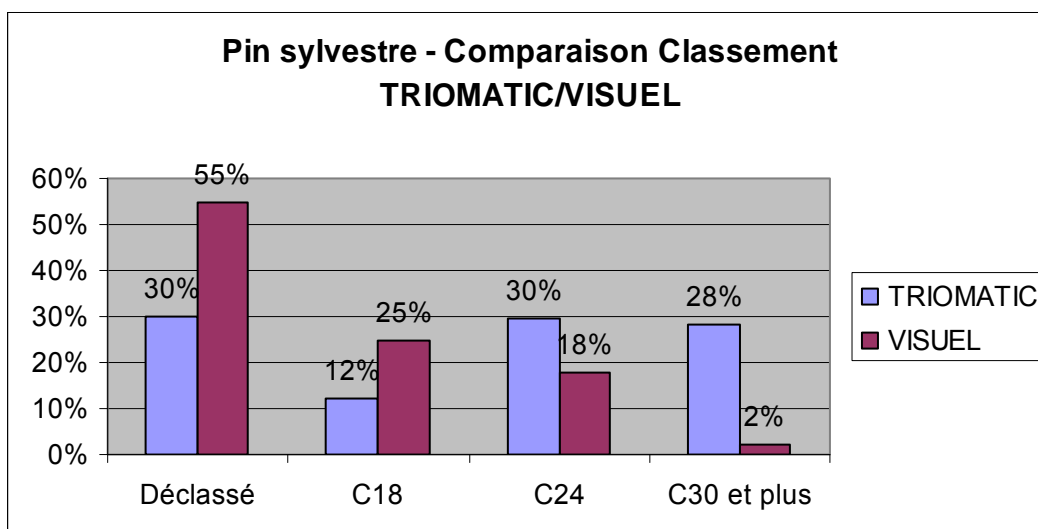
Graph. 4

Ce dernier graphique montre que les bois ont une qualité moyenne élevée :

- 28 % des bois sont de « haute performance » : C30 et plus, jusqu'à C 45
- 30 % en C24

La part des bois déclassés ne représente plus que 30% du lot.

- Comparaison

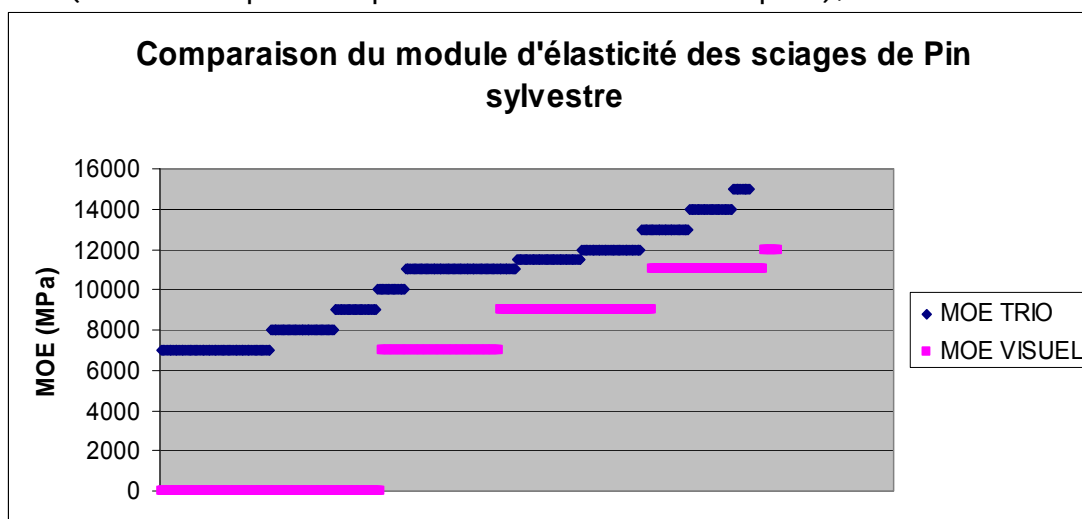


Graph. 5

Dans le cas du Pin sylvestre, le classement par machine permet une réduction de près de 50% du taux de déclassé des sciages (de 55% en visuel à 30% par la machine).

Les classes de résistance C30 et plus, quasi non présentes lors du tri visuel représentent maintenant près du tiers du lot et 58% des planches du lot ont un classement mécanique supérieur à C24, permettant une utilisation en charpente industrielle et lamellé-collé (contre 20% pour le tri visuel).

70 % du lot de Pin sylvestre est utilisable en charpente traditionnelle et en ossature bois (utilisations pour lesquelles la classe C18 est requise), contre 45% en tri visuel.



Graph. 6

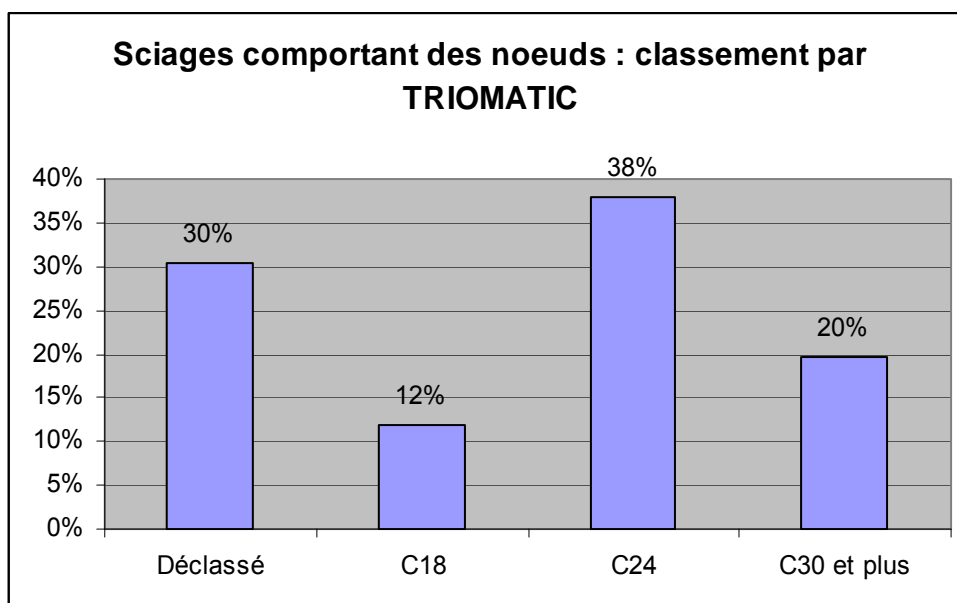
Le graphique 6 ci-dessus met bien en évidence la tendance d'ensemble sur le lot de Pin sylvestre : la courbe bleue représentant le module d'élasticité des sciages donnés par la machine est nettement au dessus de la courbe rose des modules d'élasticité déterminés visuellement.

La valeur moyenne du module d'élasticité des planches non déclassées du lot de Pin sylvestre est de 11060 MPa par tri mécanique contre 9933 par tri visuel.

- Analyse du lot de planches déclassées visuellement

Le graphique 2 ci-dessus montre que 49% des planches déclassées l'on été à cause des nœuds.

Le passage dans la machine Triomatic de ces 92 planches déclassées « avec nœuds » donne le graphique 7 représenté ci-dessous.



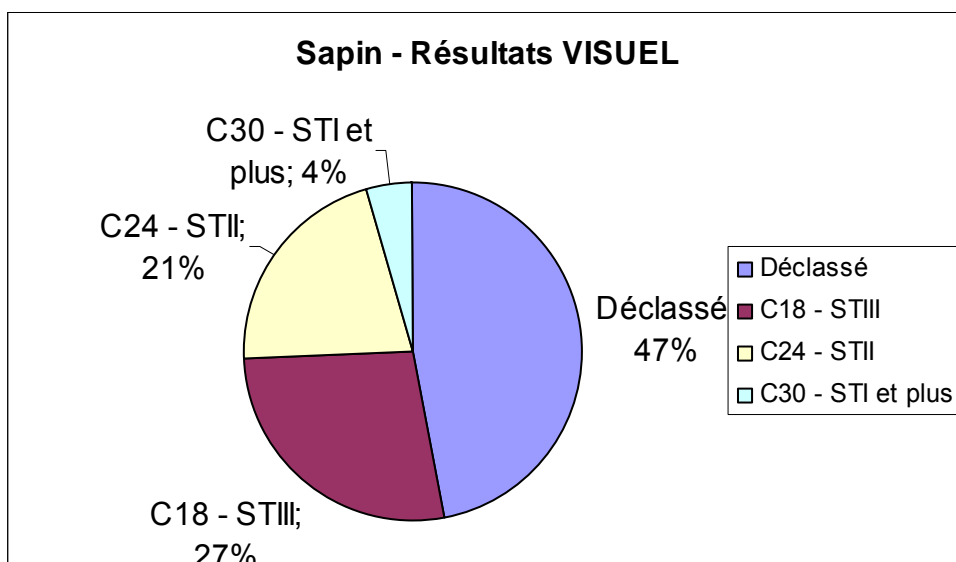
Graph.7

- 30 % des sciages sont bel et bien déclassés
- 70 % des sciages comportant des nœuds ont donc été déclassés à tort, étant au moins C18. 58 % des sciages ont une classe de résistance supérieure ou égale à C24 et même 20% de ces sciages déclassés visuellement sont des bois « hautes performances » (C30 et plus).

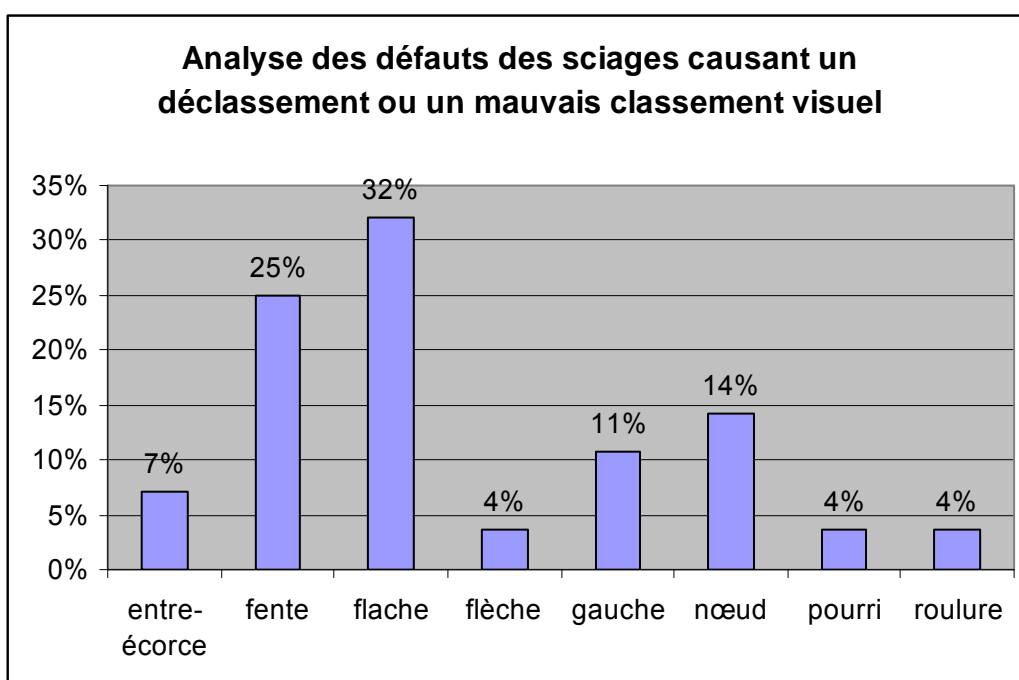
### ETUDE DU LOT DE SAPIN

Pour cette essence, 193 planches ont été classées, pour un volume de 9,998 m<sup>3</sup>. L'aspect général du lot est médiocre à moyen (voir partie « ECHANTILLONAGE »).

- Classement visuel



Graph. 8



Graph. 9

Près de la moitié du lot est déclassé (47% - voir *Graph. 9*)  
 La part des bois « hautes performances » est réduite à 4%.

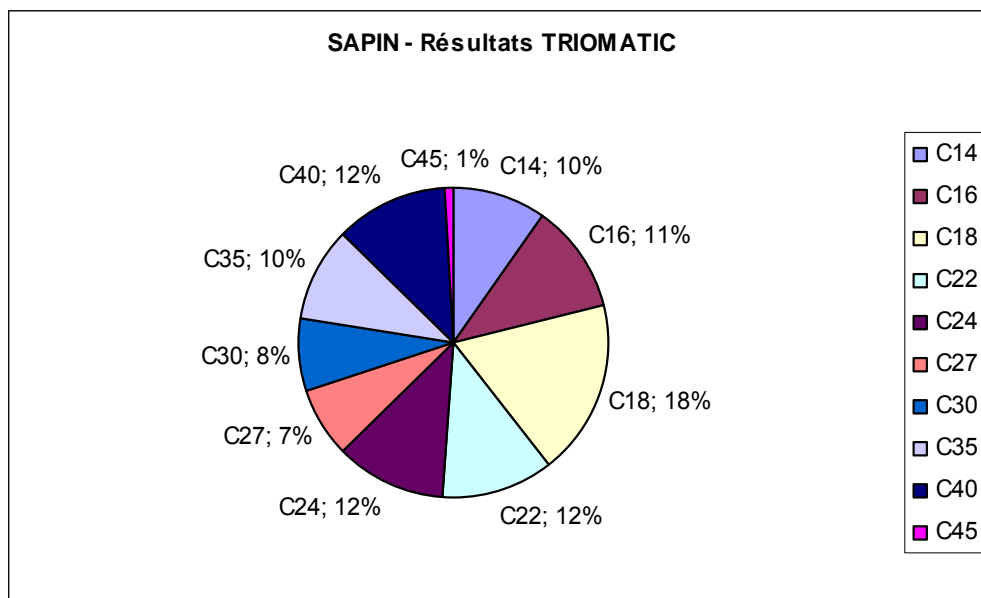
Au regard du *Graph. 2*, où une partie (28 planches déclassées choisies au hasard dans le lot) des échantillons déclassés ont été analysés :

- 32% des bois ont été déclassés à cause des flaches : les grumes sciées pour l'étude étaient de très faible diamètre, de fait les pannes en 12x24 ont été très difficiles à débiter, les diamètres fin bout (voir fiche de cubage en annexe) pouvant descendre jusqu'à 101 mm.
- Les bois fendus (25%) sont surtout présents pour les grosses sections (pannes), mais sont aussi dus au séchage : les délais imposés par l'étude pour le séchage étaient très courts et le Sapin a été plus difficile à sécher que le Pin noir. (Bois nerveux).

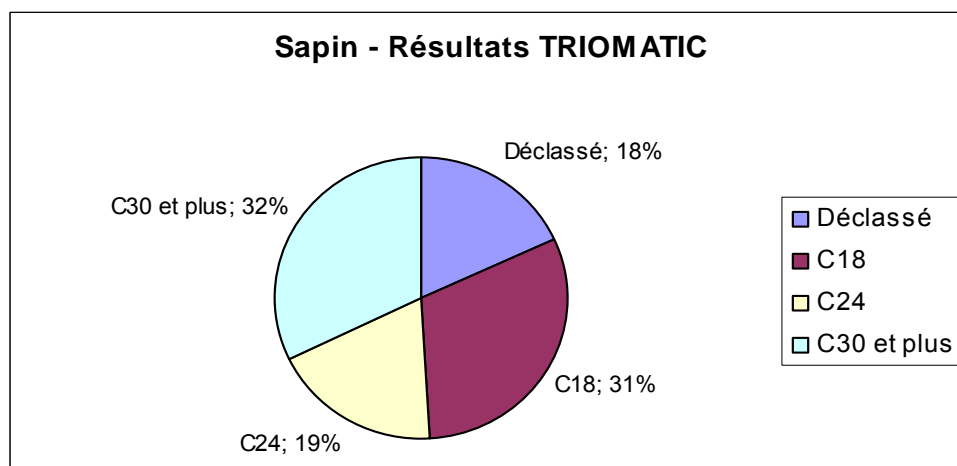
- Les déformations (15% des bois déclassés) sont aussi très pénalisantes pour le lot
- 14% des bois ont été déclassés à cause des nœuds, ce qui est faible, en comparaison avec le Pin sylvestre (voir ci-dessus - Graph. 2)
- Les altérations du bois représentent total de 8% (roulure, pourritures dues aux champignons), ce qui est important, sans compter les 3 grumes rejetées au sciage.

Les remarques concernant le bleuissement sont les mêmes que pour l'étude du lot de Pin sylvestre (voir ci-dessus).

- Classement par machine



Graph. 10



Graph. 11

Le graphique 10 montre les classes précises de résistance mécanique des planches du lot de Sapin, de C14 à C 45.

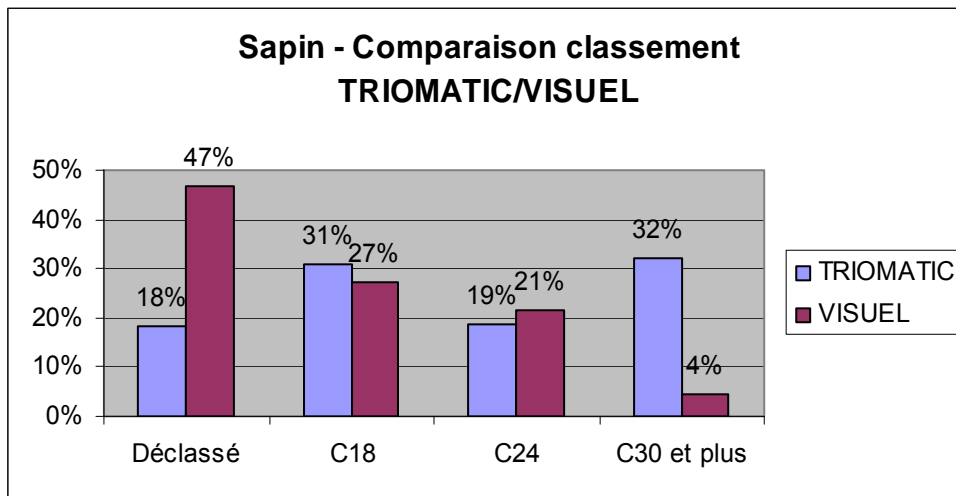
Le graphique 11 regroupe les sciages dans nos 4 classes :

- 32 % des bois sont de « haute performance » : C30 et plus, jusqu'à C 45
- 19 % en C24



La part des bois déclassés ne représente plus que 18% du lot.

- Comparaison



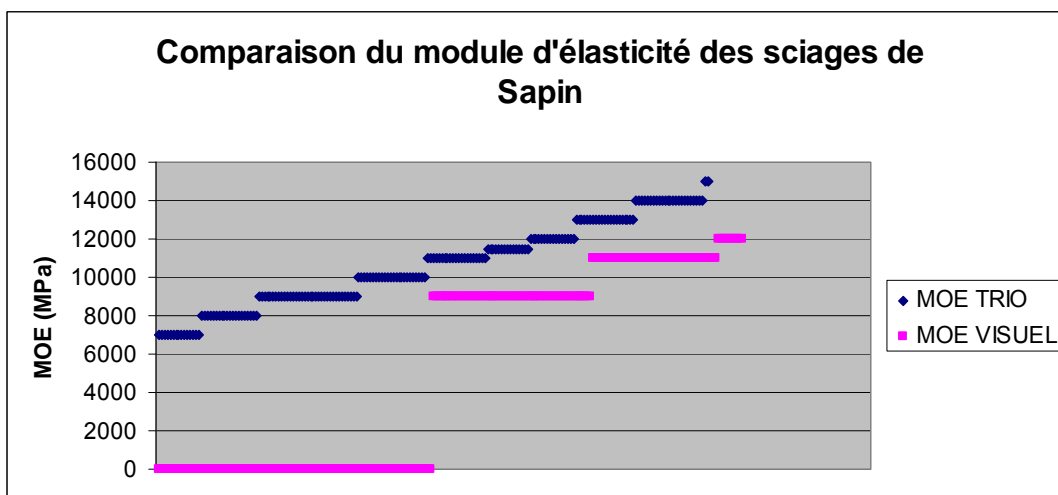
Graph. 13

Dans le cas du Sapin, le classement par machine permet une réduction de près de 60% du taux de déclassement des sciages. (de 47% en visuel à 18% par la machine).

Les classes de résistance C30 et plus, quasi non présentes lors du tri visuel représentent maintenant près du tiers du lot, et 51% des planches du lot ont un classement mécanique supérieur à C24, permettant une utilisation en charpente industrielle et lamellé-collé (contre 25% pour le tri visuel).

82 % du lot de Sapin est utilisable en charpente traditionnelle et en ossature bois (utilisations pour lesquelles la classe C18 est requise), contre 53% en tri visuel.

La similitude pour les classes intermédiaires entre classement visuel et par machine s'explique par un décalage « vers le haut » de la qualité globale du lot : ce ne sont pas les mêmes planches qui sont C 24 par tri visuel et C 24 en tri mécanique.



Graph. 14

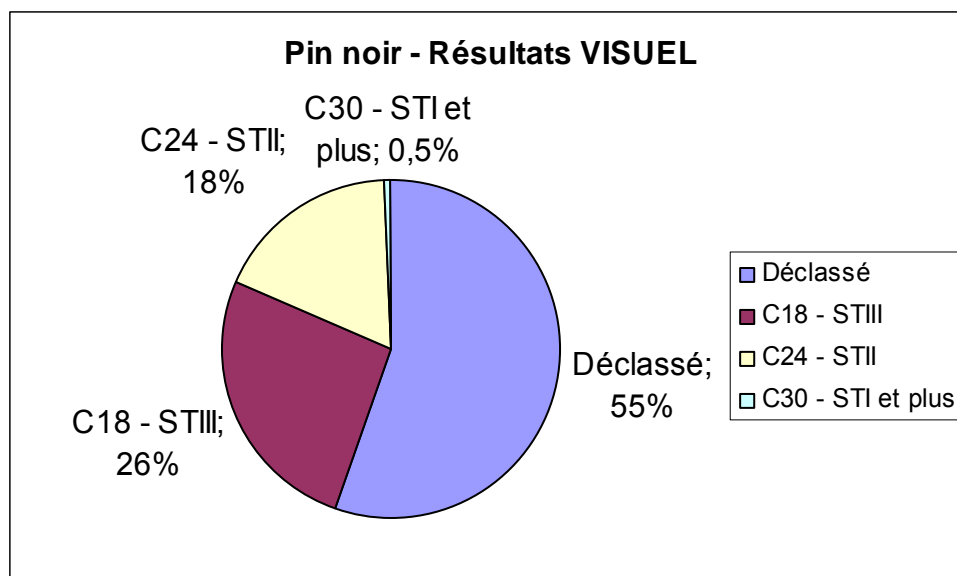
Le graphique 14 ci-dessus met bien en évidence la tendance d'ensemble sur le lot de Sapin : la courbe bleue représentant le module d'élasticité des sciages donnés par la machine est nettement au dessus de la courbe rose des modules d'élasticité déterminés visuellement.

La valeur moyenne du module d'élasticité des planches non déclassées du lot de Sapin est de 10634 MPa par tri mécanique contre 9849 MPa par tri visuel.

### ETUDE DU LOT DE PIN NOIR

Pour cette essence, 205 planches ont été classées, pour un volume de 10,768 m<sup>3</sup>. L'aspect général du lot est « moyen » au niveau rectitude des sections, « bon » au niveau des dégradations (voir aussi partie « ECHANTILLONAGE »).

- Classement visuel

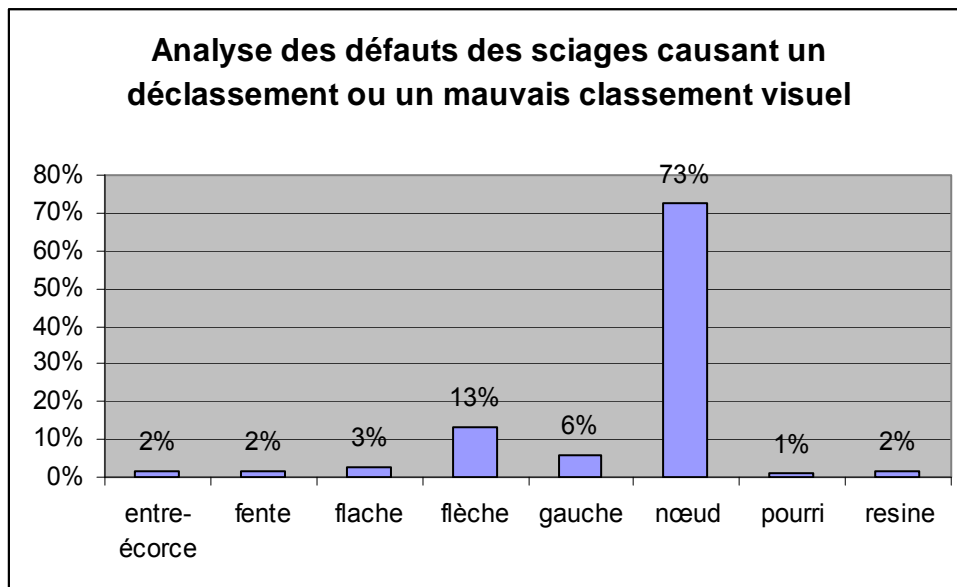


Graph. 15

Plus de la moitié du lot est déclassé (55% - voir Graph. 15)

La part des bois « hautes performances » est négligeable : 0,5%.

Les bois de grosse section (pannes) sont toujours au mieux ST-III par le classement visuel car des fentes sont apparues au séchage (non traversantes).



Graph. 16

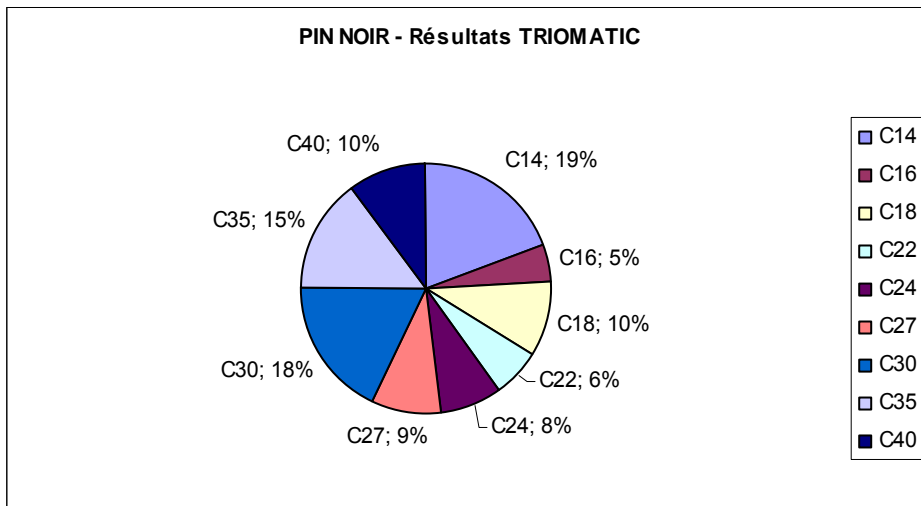
Au regard du *Graph. 16*, où une partie (120 planches déclassées choisies au hasard dans le lot) des échantillons déclassés ont été analysés :

- Les déformations (19 % des bois déclassés) sont très pénalisantes pour le lot. Cela est dû au fait que les sections plus faibles (6x8 - chevrons) tronçonnées à 6 m de long se sont énormément déformées : certains chevrons avaient une flèche de rive supérieure à 10 cm sur 6m.

- **73 % des bois ont été déclassés à cause des nœuds.**

Pour le Pin noir également, les remarques concernant le bleuissement sont les mêmes que pour l'étude du lot de Pin sylvestre (voir ci-dessus).

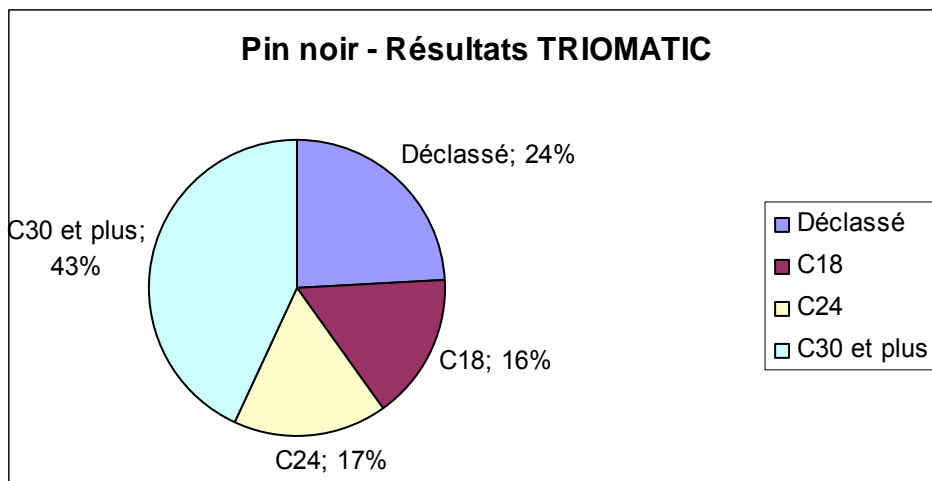
- Classement par machine



Graph. 17

Le graphique 17 montre les classes précises de résistance mécanique des planches du lot de Sapin, de C14 à C 40

Comme pour le tri visuel, la flèche de certaines planches a posé problème pour le passage à la machine, au niveau de la chaîne d'amenée.



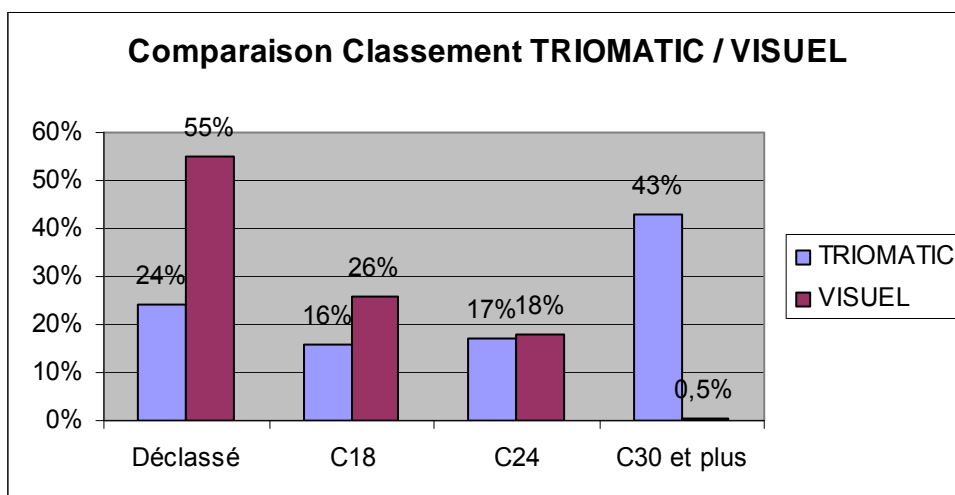
Graph. 18

Le graphique 18 regroupe les sciages dans nos 4 classes :

- 43 % des bois sont de « haute performance » : C30 et plus, jusqu'à C 40. Cette proportion très importante de ces bois de qualité mécanique supérieure avait été révélée par l'étude Pin noir de 2004.
- 17 % en C 24

La part des bois déclassés ne représente plus que 24 % du lot.

- Comparaison



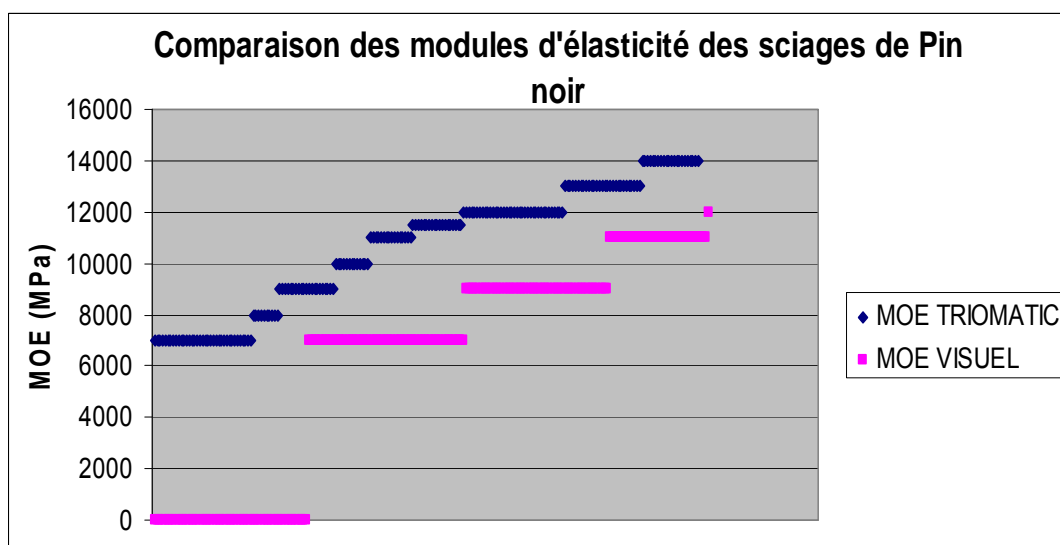
Graph. 19

Dans le cas du Pin noir, le classement par machine permet une réduction de plus de 60% du taux de déclassement des sciages. (De 55% en visuel à 24% par la machine).

Les classes de résistance C30 et plus, quasi non présentes lors du tri visuel représentent maintenant 43 % du lot, et 60 % des planches du lot ont un classement mécanique supérieur à C24, permettant une utilisation en charpente industrielle et lamellé-collé (contre 25% pour le tri visuel).

76 % du lot de Pin noir est utilisable en charpente traditionnelle et en ossature bois (utilisations pour lesquelles la classe C18 est requise), contre 45 % en tri visuel.

La similitude pour les classes intermédiaires entre classement visuel et classement machine s'explique par un décalage « vers le haut » de la qualité globale du lot avec ici, pour le Pin noir la particularité de compter une très forte proportion de classements élevés.



Graph. 20

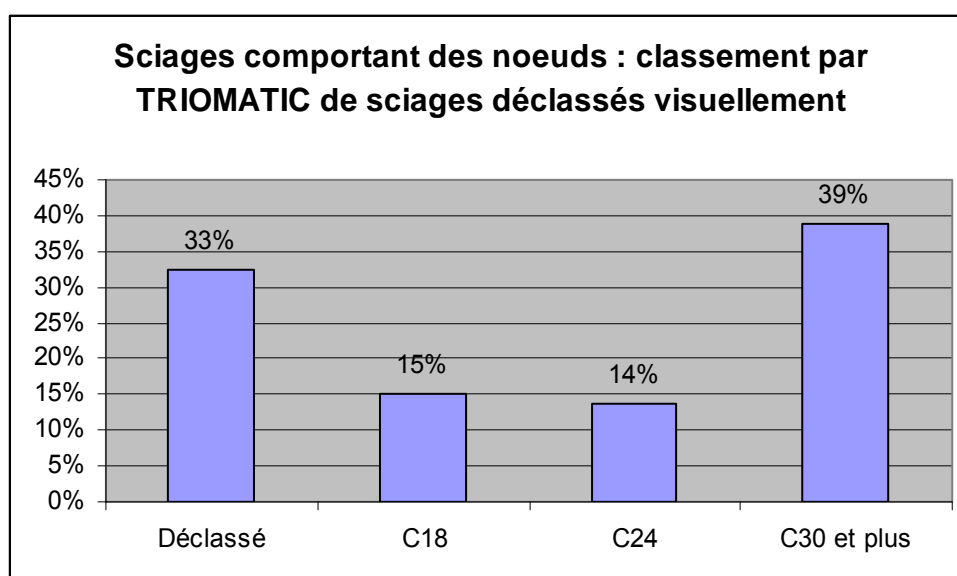
Le graphique 20 ci-dessus met bien en évidence la tendance d'ensemble sur le lot de Pin noir : la courbe bleue représentant le module d'élasticité des sciages donnés par la machine est nettement au dessus de la courbe rose des modules d'élasticité déterminés visuellement.

La valeur moyenne du module d'élasticité des planches non déclassées du lot de Pin noir est de 11145 MPa par classement machine contre 9733 par classement visuel.

- Analyse du lot de planches déclassées visuellement

Le graphique 16 ci-dessus montre que 73 % des planches déclassées l'on été à cause des nœuds.

Le passage dans la machine Triomatic de ces 80 planches déclassées « avec nœuds » donne le graphique 21 représenté ci-dessous.



Graph. 21

- 33 % des sciages sont bel et bien déclassés
- 67 % des sciages comportant des nœuds ont donc été déclassés à tort, étant au moins C18. 53 % des sciages présentent une classe de résistance supérieure ou égale à C24 et même 39% de ces sciages déclassés visuellement sont des bois « hautes performances » (C30 et plus).

### CONCLUSION SUR LES RESULTATS DES ESSAIS

L'hypothèse initiale que le classement visuel est défavorable aux bois locaux est vérifiée sur les trois essences de l'étude. La part de bois déclassé est considérablement réduite lorsque la caractérisation de la résistance mécanique des bois est effectuée par une machine : jusqu'à 60% d'amélioration dans le cas du Pin noir.

L'utilisation traditionnelle des bois (charpente traditionnelle et ossature) impose un classement C18. La réglementation impose un classement C24 pour la charpente industrielle et C30 ou plus pour le lamellé-collé hautes performances.

Pour l'approvisionnement de ces deux derniers marchés, plus exigeants, les performances mécaniques des lots de bois doivent être connues et les volumes fournis doivent être suffisants pour satisfaire cette demande industrielle.

Le fort taux de déclassement et de classement C18 lors du classement visuel ne permet pas aux bois locaux de répondre à ces marchés.

La caractérisation des propriétés mécaniques par machine pourrait permettre aux bois locaux à la fois de satisfaire aux exigences réglementaires mais aussi de gagner de nouveaux marchés demandeurs de gros volumes de sciages et très intéressants en matière de valorisation économique du bois. (Voir plus loin).

### **UN SYSTEME DE CLASSEMENT EN COURS DE DEVELOPPEMENT : LE BING**

Conjointement au classement visuel, le CIRAD nous a offert l'opportunité d'utiliser le Bing, appareil de mesure de résistance mécanique du bois par analyse des vibrations.

Le principe de fonctionnement du Bing est décrit dans la partie « Etude comparative des différents appareils de classement mécanique »

L'appareil utilisé pour les essais sur les lots de Pin sylvestre et de Sapin était la version « portative » du Bing.

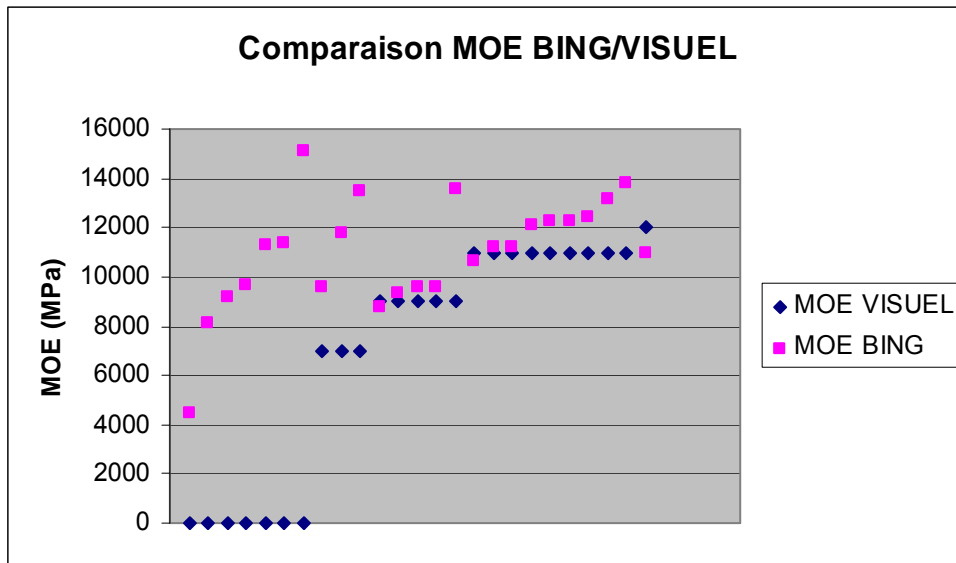
Une installation industrielle est en cours de développement au CIRAD de Montpellier (Unité de Recherche Bois du département des Forêts) grâce à un projet de coopération entre la CCI de Lozère (Mission Bois), l'interprofession Languedoc Roussillon (ARFOBOIS) et le CIRAD.

Les premiers résultats sur l'opérationnalité de cette nouvelle machine de classement seront connus à partir de décembre 2006.

L'appareil portatif de mesure du module d'élasticité a été utilisé par David Grenier, Doctorant au CIRAD.

L'appareil portatif ne permettant pas de hauts rendements, seule une partie des planches du lot de Pin sylvestre et du lot de Sapin ont été testées.

- Résultats pour le Pin sylvestre

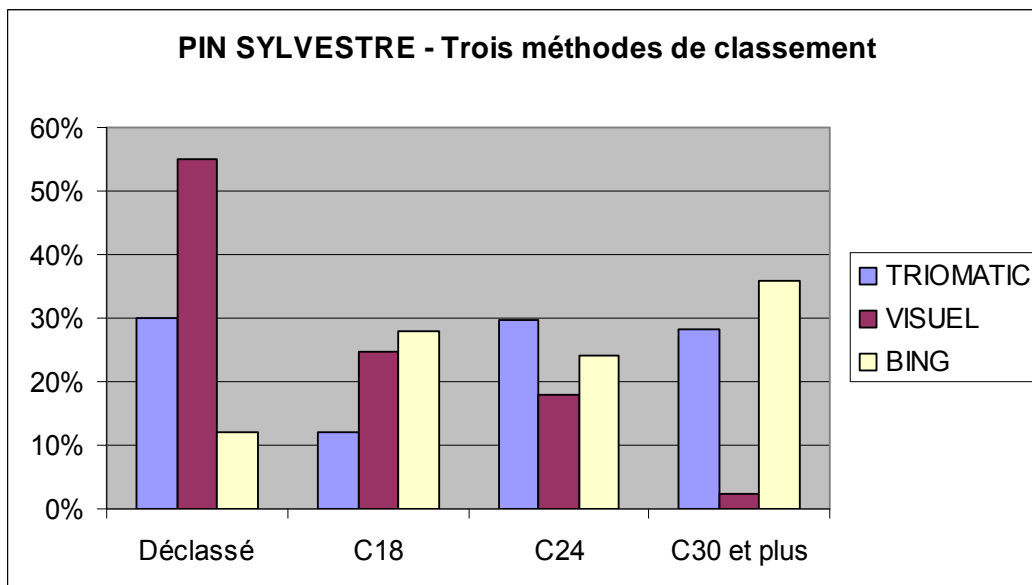


Graph. 22

Le graphique 22 ci-dessus met bien en évidence la tendance d'ensemble sur le lot de Pin sylvestre passé au Bing : la courbe rose représentant le module d'élasticité des sciages donnés par la machine est nettement au dessus de la courbe bleue des modules d'élasticité déterminés visuellement.

La valeur moyenne du module d'élasticité des planches non déclassées du lot de Pin sylvestre est de 11436 MPa par tri au Bing contre 9833 par tri visuel.

La valeur moyenne du module d'élasticité des planches déclassées du lot de Pin sylvestre est de 9900 MPa par classement au Bing.

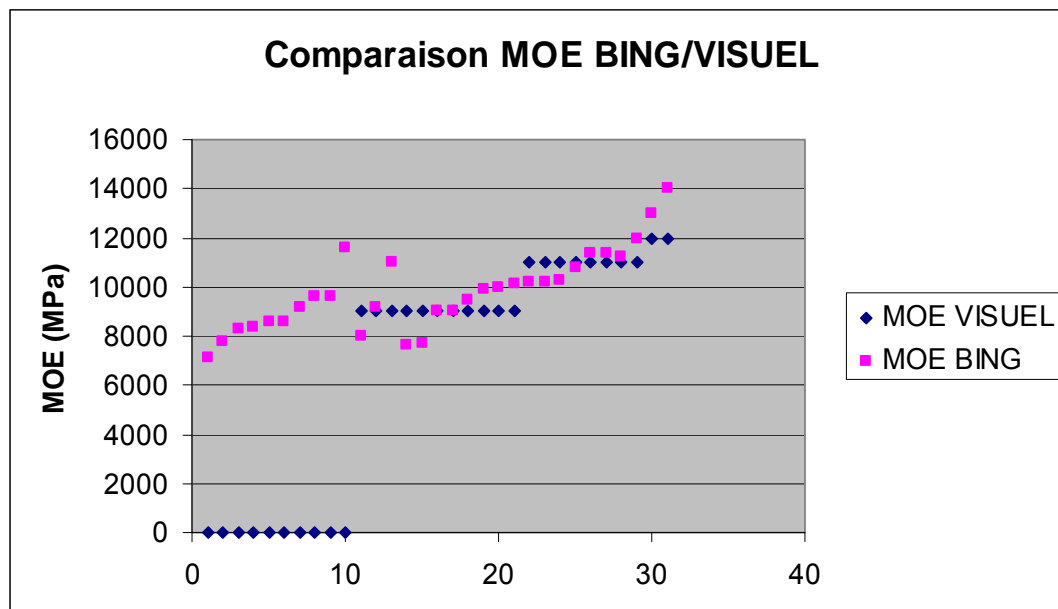


Graph.23



Sur le graphique 23 ci-dessus, on observe que le classement au Bing est sensiblement le même que le classement par la machine TRIOMATIC, avec une amélioration de la qualité mécanique globale du lot dans le cas du Bing. Le « côté » défavorable du classement visuel est également mis en évidence

- Résultats pour le Sapin

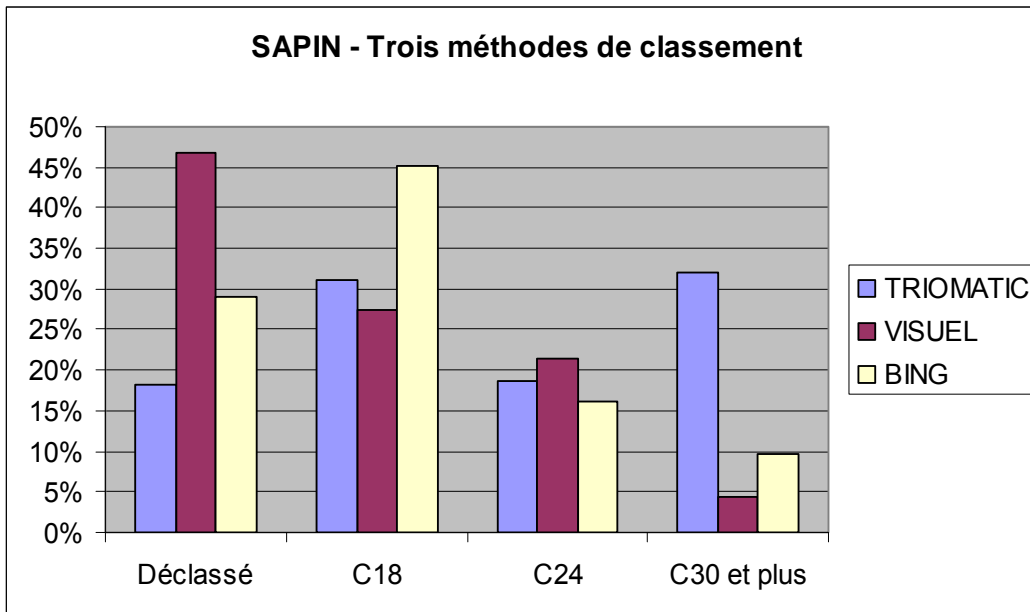


Graph.24

Le graphique 24 ci-dessus met en évidence la tendance d'ensemble sur le lot de Pin sylvestre passé au Bing : la courbe rose représentant le module d'élasticité des sciages donnés par la machine est au dessus de la courbe bleue des modules d'élasticité déterminés visuellement. La différence entre les deux courbes n'est pas aussi significative que pour le Pin sylvestre : comme nous l'avons vu plus haut, le Sapin est globalement moins performant mécaniquement. Cela peut s'expliquer aussi par l'échantillonnage passé au Bing.

La valeur moyenne du module d'élasticité **des planches non déclassées** du lot de Sapin est de 10264 MPa par classement au Bing contre 10048 par tri visuel.

La valeur moyenne du module d'élasticité **des planches déclassées** du lot de Sapin est de 8880 MPa par classement au Bing.



*Graph.25*

Sur le graphique 25 ci-dessus, le « côté » défavorable du classement visuel est également mis en évidence, avec un fort taux de déclassement.

On observe que les performances mécaniques du lot classé par le bing sont globalement moins élevées que celles du lot classé par la Triomatic.

Cela peut venir de l'échantillonnage mais aussi du fait que le système de mesure utilisé n'est que la version portative du bing, qui n'a pas subi les étapes d'homologation décrites dans la partie « Méthodologie d'homologation d'une machine de classement mécanique », qui peut donner une bonne idée de la qualité mécanique globale d'un lot de bois mais ne permet pas encore de caractériser précisément le bois.

## Classement mécanique, aspects économiques et investissements

En considérant que le marquage CE sera obligatoire avant la fin 2007 pour les bois massifs utilisés en structure nous allons seulement comparer les prix des bois classés selon leur résistance mécanique.

- Correspondance entre le classement d'aspect et les classes de résistance mécanique

Les prix des sciages publiés périodiquement dans le Bois International sont utilisés comme référence pour notre étude. Il s'agit toutefois de prix donnés en fonction du classement d'aspect des sciages.

La norme NF B 52-001 donne la correspondance entre le classement d'aspect (NF EN 1611-1) et les classes de résistance mécanique :

Choix d'aspect	G4-0	G4-1	G4-2	G4-3
Cl. de résistance	C 24	C 18	C 18	Exclus

- Prix de référence des bois

Par extrapolation, on admet les correspondances suivantes pour la suite :

choix 0A	(C30)
choix 0B	C24
choix 1	C18
choix 2	
choix 3 et 4	Déclassé

Le choix OA est une particularité française et n'a pas d'équivalent au niveau des normes. Comme il s'agit du choix de meilleure qualité « sans nœuds » on considère que choix OA correspondant à la classe de résistance C30

D'où le tableau de prix ci-dessous :

Prix et indices nationaux des sciages résineux du 1<sup>er</sup> au 5 avril 2006  
(Bois International n°18 - 13 mai 2006)

	Pin sylvestre	Sapin	Pin noir
(C30)	289	281	320
C24	280	212	220
C18	200	172	174
déclassé	110	99	99

*Les prix sont entendus en € HT départ / m<sup>3</sup> / camion*

Grâce à ces prix au m<sup>3</sup>, il est possible de comparer le prix de vente selon les essences, les classements et les sections :

- Gain financier représenté par le classement mécanique par machine

En ramenant le prix au m<sup>3</sup> par rapport au volume des sciages, nous obtenons les tableaux suivants :

PIN SYLVESTRE	Dimensions sciages en mm	P.U. de la planche selon la classe (€ HT)			
		Déclassé	C18	C24	C30
Pannes	120x240x5100	16,2	29,4	41,1	42,4
Montants d'ossature / BLC	45x120x5100	3,0	5,5	7,7	8,0
Chevrons	60x80x5100	2,7	4,9	6,9	7,1

SAPIN	Dimensions sciages en mm	P.U. de la planche selon la classe (€ HT)			
		Déclassé	C18	C24	C30
Pannes	120x240x5100	14,5	25,3	31,1	41,3
Montants d'ossature / BLC	45x120x5100	2,7	4,7	5,8	7,7
Chevrons	60x80x5100	2,4	4,2	5,2	6,9

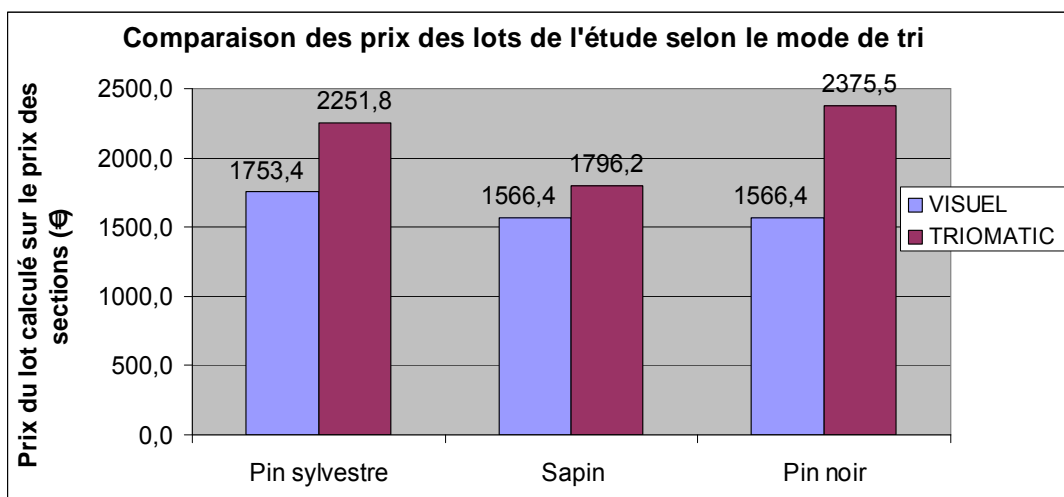
PIN NOIR	Dimensions sciages en mm	P.U. de la planche selon la classe (€ HT)			
		Déclassé	C18	C24	C30
Pannes	120x240x5100	14,5	25,6	32,3	47,0
Montants d'ossature / BLC	45x120x5100	2,7	4,8	6,1	8,8
Chevrons	60x80x5100	2,4	4,3	5,4	7,8

La différence de prix à l'unité des sciages est extrêmement marquée et cela pour toutes les essences. Mieux le bois est classé, mieux il sera vendu, cela variant du simple au triple pour une planche de même section. Cela renforce l'idée que le bois doit être classé au plus juste, c'est-à-dire par machine, pour tirer sur chaque lot de bois le meilleur prix.

A titre d'exemple, le graphique 26 ci-dessous montre la différence de prix pour les lots qui ont servi pour l'étude, entre le classement par machine et le classement visuel, sous réserve bien sûr de pouvoir vendre chaque planche dans sa classe de résistance optimale.

*Rappel : Tableau sur les volumes des lots de bois classés pour l'étude*

V lot	
10,498	Pin sylvestre
9,998	Sapin
10,768	Pin noir



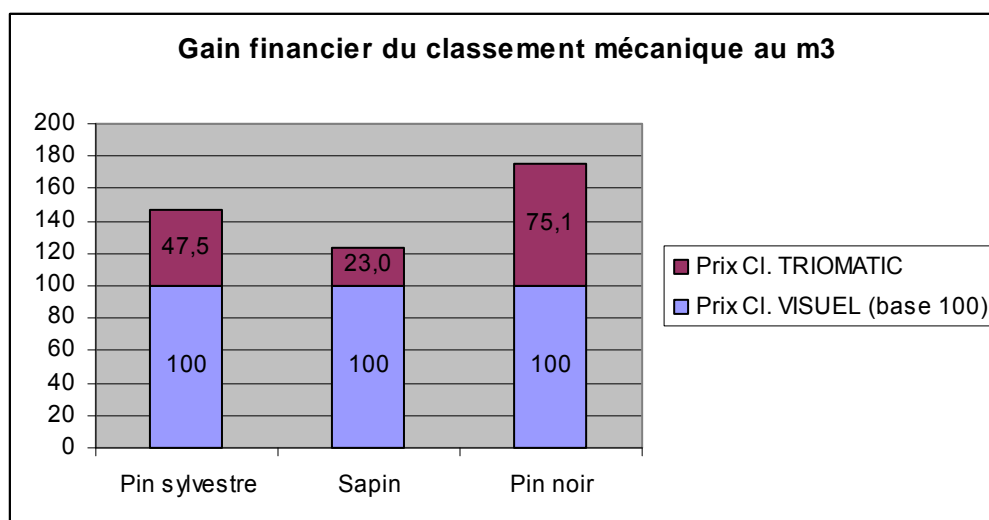
Graph.26

Pour le lot de Pin sylvestre, une plus value de 498,40 € peut être réalisée si le bois est classé par machine.

Pour le lot de Sapin, une plus value de 229,80 € peut être réalisée si le bois est classé par machine.

Pour le lot de Pin noir, une plus value de 809,10 € peut être réalisée si le bois est classé par machine.

Si on considère que l'échantillon de bois utilisé pour notre étude est représentatif de la production Ardèche - Drôme, toujours sous réserve que les bois soient vendus dans leur classe de résistance mécanique optimale, on peut obtenir le graphique 27 ci-dessous :



Graph. 27

Ainsi selon les essences de bois, lorsque le classement est réalisé par machine, on peut réaliser un gain financier de 47,50 €/m<sup>3</sup> pour le Pin sylvestre, 23 €/m<sup>3</sup> pour le Sapin et 75,10 €/m<sup>3</sup> pour le Pin noir

Grâce à cette différence au m<sup>3</sup>, on peut calculer le manque à gagner pour une entreprise en fonction de sa production (volume annuel de sciages vendus, par essence), si celle-ci ne pratique pas le classement par machine :

Volume annuel de sciages (m <sup>3</sup> )	Pin sylvestre (€)	Sapin (€)	Pin noir (€)
50	2 374	1 149	3 757
100	4 747	2 298	7 514
200	9 495	4 596	15 027
300	14 242	6 895	22 541
400	18 990	9 193	30 055
500	23 737	11 491	37 568
1000	47 475	22 982	75 136
2000	94 950	45 964	150 273
3000	142 424	68 946	225 409
4000	189 899	91 928	300 546
5000	237 374	114 911	375 682
6000	284 849	137 893	450 819
7000	332 323	160 875	525 955
8000	379 798	183 857	601 091
9000	427 273	206 839	676 228
10000	474 748	229 821	751 364
11000	522 222	252 803	826 501
12000	569 697	275 785	901 637
13000	617 172	298 767	976 774
14000	664 647	321 750	1 051 910
15000	712 121	344 732	1 127 047

Le tableau ci-dessus montre que même à partir de faibles volumes de sciages vendus en bois de structure, le manque à gagner est conséquent pour les mêmes sciages vendus.

- Autre simulation

Le tableau précédent est valable seulement si tous les bois sont vendus dans leur classe de résistance optimale.

Pour les entreprises locales notamment, le marché des bois hautes performances, n'est pas à l'heure actuelle très développé. Cette 2<sup>ème</sup> comparaison entre classement machine et classement visuel au niveau financier montre la différence de bénéfice entre seulement deux classes de résistances : non déclassé et déclassé

La catégorie « non déclassé » correspond à des bois C18, C24, et C30 et plus qui seront vendus au prix du C18.

Toutefois, comme nous l'avons vu plus haut le taux de déclassement de la machine est beaucoup plus faible que par tri visuel, le manque à gagner en fonction du volume de la production annuelle est indiqué dans le tableau ci-dessous :

Volume annuel de sciages (m <sup>3</sup> )	Pin sylvestre (€)	Sapin (€)	Pin noir (€)
50	1 125	1 095	1 163
100	2 250	2 190	2 325
200	4 500	4 380	4 650
300	6 750	6 570	6 975
400	9 000	8 760	9 300
500	11 250	10 950	11 625
1000	22 500	21 900	23 250
2000	45 000	43 800	46 500
3000	67 500	65 700	69 750
4000	90 000	87 600	93 000
5000	112 500	109 500	116 250
6000	135 000	131 400	139 500
7000	157 500	153 300	162 750
8000	180 000	175 200	186 000
9000	202 500	197 100	209 250
10000	225 000	219 000	232 500
11000	247 500	240 900	255 750
12000	270 000	262 800	279 000
13000	292 500	284 700	302 250
14000	315 000	306 600	325 500
15000	337 500	328 500	348 750

Si tous les bois qui sont C18 au moins sont vendus vraiment comme des C18, grâce au classement machine, le gain est moins important que si les bois sont vendus dans leur classe optimale, mais il reste significatif.

A titre d'exemple, trois configurations d'entreprise sont envisagées ci-dessous :

Entreprise 1 : production annuelle 2800 m<sup>3</sup> de sciages

	volume annuel vendu (m <sup>3</sup> )	Gain classement machine (€)	
		vente optimisée	vente C18/déclassé
Pin sylvestre	500	23 737	11 250
Sapin	2000	45 964	43 800
Pin noir	300	22 541	6 975
Total	2800	92 242	62 025

Entreprise 2 : production annuelle 9100 m<sup>3</sup> de sciages

	volume annuel vendu (m <sup>3</sup> )	Gain tri machine (€)	
		vente optimisée	vente C18/déclassé
Pin sylvestre	2000	94950	45000
Sapin	7000	332323	153300
Pin noir	100	7514	2325
Total	9100	434787	200625

Entreprise 3 : production annuelle 6050 m<sup>3</sup> de sciages

	volume annuel vendu (m <sup>3</sup> )	Gain tri machine (€)	
		vente optimisée	vente C18/déclassé
Pin sylvestre	4000	189 899	90 000
Sapin	2000	45 964	43 800
Pin noir	50	3 757	1 163
Total	6050	239 620	134 963

Remarque : ces exemples sont arbitraires, un outil informatique est à la disposition des entreprises souhaitant chiffrer ce manque à gagner pour leur propre production de sciages pour le bois d'œuvre.



- Investir dans une machine ?

Rappel : le coût initial à l'achat

Il faut compter en plus environ 25% du prix de base de la machine pour son intégration dans la chaîne de production.

coût machine (€ HT)		+25% (Intégration à la chaîne de production) (€ HT)	Coût de maintenance annuelle (€)
GoldenEye	300 000	375 000	5 000
Cook Bolinder	200 000	250 000	5 000
Computermatic	200 000	250 000	5 000
Dynagrade	200 000	250 000	5 000
Raut Timgrader	200 000	250 000	5 000
Triomatic	100 000	125 000	2 200
Bing	50 000	62 500	1 500

Investir dans une machine est un investissement lourd, d'autant plus que l'homologation préalable demande un budget propre, pour réaliser l'ensemble des tests décrits dans la partie « Méthodologie d'homologation d'une machine de classement mécanique », budget supplémentaire pouvant facilement atteindre de 50 000 à 100 000 €, pour étalonner la machine avec les approvisionnements de bois locaux.

Ensuite, il faut compter le temps pendant lequel l'installation et le réglage de la machine dans l'entreprise ne permettront pas de retour immédiat sur investissement.

Toutefois, comme le montrent les tableaux ci-dessus, le manque à gagner si le bois n'est pas classé par la machine est considérable.

Dans le cas le plus défavorable, c'est-à-dire que le bois ne soit pas vendu dans sa meilleure classe de résistance, et est vendu C18 au mieux, le manque à gagner représente tout de même, pour une entreprise de taille moyenne, 62 025 €.

Nous avons vu dans la partie « Etude comparative des différents appareils de classement mécanique » que les machines Bing et Triomatic étaient les plus adaptées au contexte local.

En trois ans, sur une machine Triomatic, en deux ans sur une machine Bing, le montant de l'investissement initial peut être payé par la vente de bois classé par machine.

Ce délai est d'autant plus cours qu'il faut prendre en compte le coût du classement visuel, qui sera obligatoire si le bois n'est pas classé par machine : Un ouvrier spécialisé, qualifié, peut trier en moyenne 30 m<sup>3</sup> par jour de travail.

Si on considère que le salaire journalier moyen chargé d'un ouvrier hautement qualifié est de 250 €, on obtient le tableau ci-dessous, qui donne le coût du classement visuel en fonction des volumes :

*Coût du classement visuel en fonction du volume classé*

Volume (m <sup>3</sup> )	Coût M d'Oe (€)
50	625
100	1 250
200	2 500
300	3 750
400	5 000
500	6 250
1000	12 500
2000	25 000
3000	37 500
4000	50 000
5000	62 500

Volume (m <sup>3</sup> )	Coût M d'Oe (€)
6000	75 000
7000	87 500
8000	100 000
9000	112 500
10000	125 000
11000	137 500
12000	150 000
13000	162 500
14000	175 000
15000	187 500

Ce coût main d'œuvre représente environ la moitié du manque à gagner généré par le classement visuel.

## Conclusion générale et perspectives

Cette étude montre que le classement par machine valorise beaucoup mieux les bois de l'Ardèche et de la Drôme que le classement visuel.

Les essais réalisés sur trois essences locales : Pin sylvestre, Sapin pectiné et Pin noir ont permis de chiffrer en termes économiques cette différence de classement.

Toute la chaîne de production, exploitation forestière - sciage - séchage doit être optimisée afin de diminuer le taux de déclassement et surtout l'étape du séchage, où apparaissent fentes et déformations souvent source de déclassement.

En complément, l'étude bibliographique sur les machines et la méthodologie d'homologation associée, ont permis d'établir un constat :

L'investissement initial pour s'équiper dans ce type de matériel est très lourd, mais le manque à gagner engendré par le seul classement visuel est suffisant pour permettre un retour sur investissement au bout de seulement deux ou trois ans.

Pour le développement de l'installation de telles machines en Ardèche-Drôme, plusieurs pistes sont envisageables :

- Une machine collective :

Un coût initial moindre pour chaque entreprise, limiter les soucis de réglages, de maintenance, problème du lieu d'installation de la machine, du transport du bois vers la machine.

Il faut toutefois rappeler que le bois classé doit être classé sec. Dans le cas d'une installation collective, prévoir le site de classement proche d'un site de séchage serait l'idéal.

- Des machines dans les entreprises :

Proximité classement/production, investissement initial individuel lourd, assurer les réglages et la maintenance en interne ou en sous-traitance.

- Investir dans une machine TRIOMATIC, puis réaliser son homologation pour les essences locales et/ou la provenance des bois utilisés par les entreprises locales.
- Attendre les résultats de l'homologation et investir dans une machine BING, machine pour laquelle les bois ayant servi à l'homologation sont les mêmes que les approvisionnements des entreprises 07/26

Le dernier argument en faveur du classement machine est un argument « psychologique » : le client, particulier, professionnel, industriel n'aura-t-il pas plus confiance dans la machine que dans un classement réalisé par un homme, qui peut toujours commettre des erreurs ?

## Bibliographie

### Normes :

- EN 14081 -1, Structures en bois - Bois de structure de section rectangulaire classé selon la résistance - Partie 1 : Exigences générales
- EN 14081-2, Structures en bois - Bois de structure de section rectangulaire classé selon la résistance - Partie 2 : Classement mécanique - Exigences supplémentaires concernant les essais de type initiaux.
- EN 14081-3, Structures en bois - Bois de structure de section rectangulaire classé selon la résistance - Partie 3 : Classement mécanique - Exigences complémentaires relatives au contrôle de la production en usine.
- EN 14081-4, Structures en bois - Bois de structure de section rectangulaire classé selon la résistance - Partie 4 : Classement par machine - Réglages pour les systèmes de contrôle par machine - Mai 2006
- NF EN 384 - Bois de structure - Détermination des valeurs caractéristiques des propriétés mécaniques et de la masse volumique - Août 2004
- NF EN 338 -Bois de structure - Classes de résistance - Septembre 2003
- PR NF B 52-001 - Règles d'utilisation du bois dans la construction - Classement visuel pour l'emploi en structures des bois sciés français résineux et feuillus - Mai 2006
- NF EN 1611-1 - Bois sciés - Classement d'aspect des bois résineux - Partie 1 : épicéas, sapins, pins et Douglas européens - Octobre 1999

### Publications :

- Julius NATTERER et al. - Classement mécanique du Pin noir d'Autriche par technologie ultrason - EPFL/IBOIS - Mars 2004
- Lars BOSTRÖM - Machine Strength Grading, Comparison of four different systems SP - Swedish National Testing and Research Institute - 1994
- John DALQGAARD SORENSEN - Code Calibration and Timber Experience - Institute of Building Technology and Structural Engineering, Aalborg university, mai 2001
- Jean-Luc SANDOZ / Yann BENOIT - Timber grading machine using ultrasonic and density measurements TRIOMATIC - 2006
- Notice : MPC (Measuring and process control ltd) - Computermatic MK5B - Timber Strength Testing Machine

- Présentation du projet BING - CCI Lozère/ARFOBOIS/CIRAD - juin 2006
- Le Bois International - N°18 - 13 mai 2006

Sites Internet :

- [www.dynagrade.com](http://www.dynagrade.com)
- [www.metriguard.com](http://www.metriguard.com)
- [www.microtec.org](http://www.microtec.org)
- [www.indexld.com/bing](http://www.indexld.com/bing)