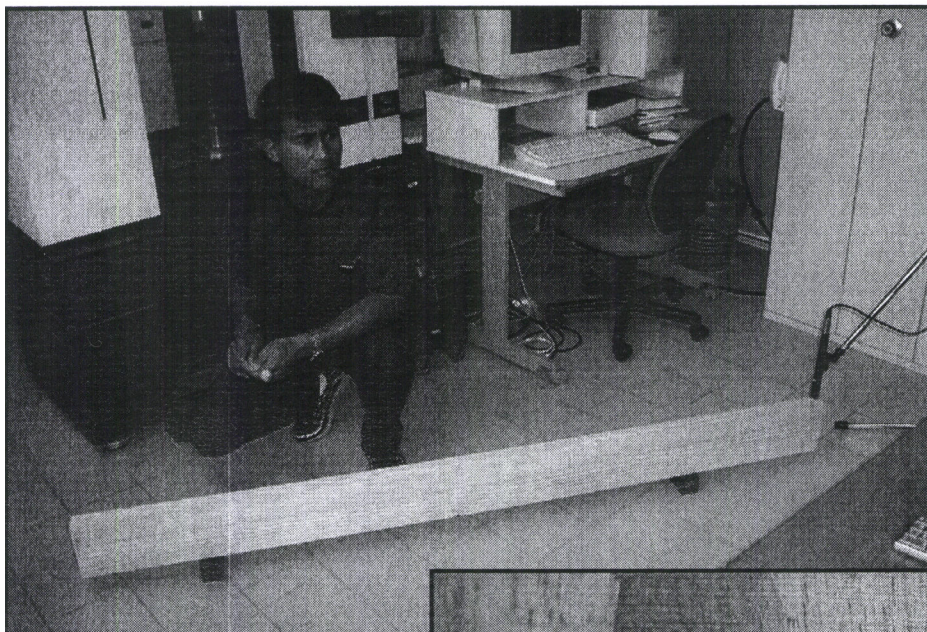


Caractérisation technologique et règles de classement des bois de *Pinus caribaea* et *Pinus elliottii* de Nouvelle-Calédonie

Rapport de l'étude conduite en 2004 et 2005



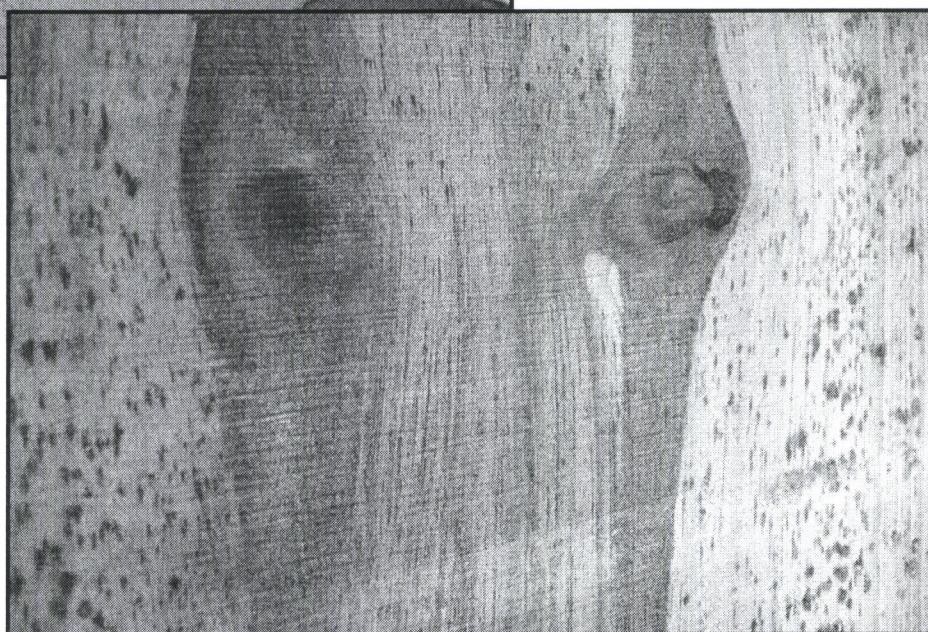
Jean Gérard

CIRAD Forêt

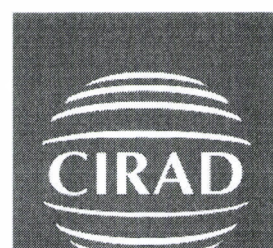
Unité de
Recherche
*Production et
valorisation des
bois tropicaux*

Mai 2005

Etude CIRAD / AICA-
CPBL réalisée grâce
au soutien financier
de la Province Nord
et de la Province
Sud de Nouvelle-
Calédonie



CIRAD-Dist
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE
Baillarguet



000100344

SOMMAIRE

PREAMBULE	4
1 - RAPPEL DU CONTEXTE ET DES ENJEUX DE L'OPERATION.....	5
2 - OBJECTIFS DE LA CAMPAGNE DE QUALIFICATION ET DE CARACTERISATION.....	5
3 - MATERIEL VEGETAL UTILISE.....	6
31 - <i>ORIGINE DES BOIS.....</i>	6
32 - <i>ECHANTILLONNAGE SUR LE PLATEAU DE TANGO.....</i>	6
33 - <i>ECHANTILLONNAGE AU COL D'AMIEU.....</i>	6
34 - <i>SELECTION ET REPERAGE DES ARBRES ECHANTILLONNES.....</i>	7
4 - DEBIT ET CONDITIONNEMENT DES BOIS EN NOUVELLE- CALEDONIE.....	7
41 - <i>SCIAGE</i>	7
42 - <i>EMPLIAGE ET SECHAGE</i>	9
43 - <i>TRAITEMENT DE PRESERVATION.....</i>	9
5 - ORGANISATION DES MESURES ET ESSAIS DE CARACTERISATION TECHNOLOGIQUE A MONTPELLIER.....	10
6 - DESCRIPTIF DES ESSAIS, MESURES ET EXPERIMENTATIONS.....	11
61 - <i>SUR LES PLATEAUX DIAMETRAUX : séchage artificiel.....</i>	11
62 - <i>SUR LES AVIVES.....</i>	12
621 - <i>Relevés des défauts intrinsèques du bois et classement visuel</i>	12
622 - <i>Propriétés physiques et mécaniques : détermination de la masse volumique, du module d'élasticité longitudinal par méthode vibratoire, et de la contrainte de rupture en flexion statique.....</i>	14
6221 - <i>Masse volumique.....</i>	14
6222 - <i>Module d'élasticité longitudinal</i>	15
6223 - <i>Méthode utilisée pour déterminer le module d'élasticité longitudinal</i>	15
6224 - <i>Contrainte de rupture en flexion statique.....</i>	17
6225 - <i>Correction de l'humidité.....</i>	18
63 - <i>SUR LES EPROUVETTES SANS DEFAUT.....</i>	18
631 - <i>Dureté Monnin</i>	19
632 - <i>Retrait radial total et retrait tangentiel total</i>	19
633 - <i>Point de saturation des fibres</i>	20
634 - <i>Contrainte de rupture en compression parallèle.....</i>	20
635 - <i>Masse volumique, module d'élasticité, contrainte de rupture en flexion</i>	20

7 - LANCEMENT DE LA CAMPAGNE DE CARACTERISATION ET FORMATION AUX TECHNIQUES DE LABORATOIRE	21
8 – RESULTATS	21
81 - SECHAGE ARTIFICIEL	21
82 - CLASSEMENT VISUEL.....	22
821 - Organisation des résultats	22
822 - Répartition des choix par peuplement	24
823 - Mise en évidence des défauts les plus discriminants	25
824 - Répartition des avivés suivant les nouveaux choix simplifiés définis dans les Référentiels Techniques.....	28
83 - CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET MECANIQUES SUR PIECES EN DIMENSION D'EMPLOI.....	29
831 - Résultats par peuplement.....	29
832 - Relation module d'élasticité longitudinal / contrainte de rupture en flexion.....	32
833 - Détermination des grandeurs caractéristiques	33
84 - CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET MECANIQUES SUR EPROUVETTES SANS DEFAUT	35
841 - Résultats pour les huit caractéristiques	35
842 - Influence des infiltrations de résine sur certaines caractéristiques des bois....	37
9 – CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	39
Bibliographie	42
Annexe 1 : Convention ERPA – AICA – CIRAD	43
Annexe 2 : TDR : Préparation et envoi des échantillons de <i>Pinus caribaea</i> et <i>P. elliottii</i> au CIRAD Montpellier	47
Annexe 3 : TDR : Protocole d'essais technologiques sur les échantillons de Pinus au CIRAD-Forêt de Montpellier.....	50
Annexe 4 : TDR : Stage de formation de M. Pascal Tarman au Cirad-Forêt de Montpellier	52
Annexe 5 : Compte-rendu synthétique de la mission de M. Pascal Tarman au Cirad-Forêt (1 ^{er} juin - 8 juillet 2004)	55
Annexe 6 : Extraits de la norme NF EN 384 (août 2004) : <i>Détermination des valeurs caractéristiques des propriétés mécaniques et de la masse volumique</i>	59
Annexe 7 : Caractéristiques déterminées sur éprouvettes sans défaut, par billon	62

PREAMBULE

La campagne de caractérisation technologique et l'établissement des règles de classement des bois de *Pinus caribaea* et *Pinus elliottii* de Nouvelle-Calédonie a été réalisée grâce au soutien financier de la Province Nord et de la Province Sud de Nouvelle-Calédonie.

Cette étude a été conduite en 2004 et en 2005 dans le cadre d'une convention passée entre l'Etablissement de Régulation des Prix Agricoles de Nouvelle-Calédonie (ERPA), l'Association Interprovinciale des Centres Agricoles (AICA) et le CIRAD-Forêt (convention en annexe 1).

Elle a pu être menée à bien grâce à l'appui et au soutien permanents des représentants et responsables de l'ERPA, de l'AICA/CPBL, de la DDR, de la DDEE et de toutes les entreprises du bois néo-calédoniennes impliquées dans l'opération.

1 – RAPPEL DU CONTEXTE ET DES ENJEUX DE L'OPERATION

Les essais technologiques réalisés jusqu'à présent sur les Pinus calédoniens ont essentiellement concerné des bois jeunes dont les propriétés sont très différentes de celles de bois adultes.

Ainsi, les essais de qualification physique et mécanique réalisés au Centre Technique Forestier Tropical (Nogent sur Marne) en 1981 ont été conduits sur des arbres de 6 ans : les résultats obtenus (les seuls qui disponibles jusqu'à présent) ne sont en aucun cas représentatifs de la valeur technologique réelle de la ressource actuellement exploitée ou qui le sera dans les années à venir.

Aujourd'hui, les utilisateurs de Pinus de Nouvelle-Calédonie ne disposent donc d'aucune référence technique sur lesquelles ils peuvent s'appuyer, ceci au détriment de l'emploi de cette essence et des possibilités d'extension de sa valorisation.

2 – OBJECTIFS DE LA CAMPAGNE DE QUALIFICATION ET DE CARACTERISATION

Les essais menés sur un échantillonnage représentatif de Pinus calédonien (Pinus caribaea et Pinus elliottii) doivent permettre de qualifier précisément ces bois, de comparer leurs caractéristiques à celles d'essences concurrentes importées, et de répondre aux besoins d'informations exprimés par les opérateurs de la filière aval (transformateurs, revendeurs, constructeurs, prescripteurs).

Les résultats obtenus présentent un double intérêt technique et commercial :

** Sur un plan technique, la connaissance des contraintes caractéristiques des bois est nécessaire pour alimenter les codes de calcul utilisés pour les emplois en structure.*

** Sur un plan commercial, la connaissance précise des caractéristiques technologiques du Pinus constituera une base argumentaire indispensable pour sa promotion, pour préciser son positionnement par rapport aux résineux importés, et pour le développement de son utilisation.*

L'organisation des opérations de sélection de l'échantillonnage à étudier, de prélèvement et de préparation des échantillons, ainsi que le descriptif des mesures réalisées pour les essais de séchage naturel en Nouvelle-Calédonie sont présentés en annexe 2.

Les résultats d'essais et des analyses correspondantes, ainsi que toutes les informations techniques nécessaires à une meilleure utilisation du Pinus ont été repris dans des Référentiels Techniques (jointes au rapport de mission en Nouvelle Calédonie, nov. 2004, J. Gérard).

Ces Référentiels constituent un document de synthèse ayant pour vocation de constituer une base de travail sur laquelle pourront s'appuyer les opérateurs de la

filière (producteurs, négociants et revendeurs, transformateurs et fabricants) lors de toute opération ayant pour finalité la mise en œuvre et l'utilisation de cette essence.

Ces référentiels doivent contribuer au développement et à l'amélioration de l'utilisation du Pinus dans tous les emplois où ses caractéristiques technologiques lui permettent de se positionner de façon satisfaisante face à des matériaux concurrents.

3 - MATERIEL VEGETAL UTILISE

31 - ORIGINE DES BOIS

Les bois destinés aux essais technologiques devaient être représentatifs de la ressource néo-calédonienne arrivée à maturité et actuellement (ou prochainement) exploitée.

Les prélèvements ont été effectués dans les deux principales zones de production de Pinus qui passeront en coupe rase dans les prochaines années : les plantations du plateau de Tango et les plantations du Col d'Amieu.

Sur les 2 zones, six parcelles ont été retenues car considérées comme représentatives qualitativement et quantitativement de la ressource à venir.

Dans chacune des parcelles, 12 arbres ont été repérés puis marqués en vue de leur abattage puis de leur sciage.

32 - ECHANTILLONNAGE SUR LE PLATEAU DE TANGO

Sur Tango, trois parcelles de type 1 ont été sélectionnées :

- parcelle 75-10 considérée comme de type 1 moyen (circonférence moyenne : 123cm),
- parcelle 76-030 considérée comme de type 1 moyen (circonférence moyenne : 109 cm),
- parcelle 75-001 de bonne qualité type 1 (circonférence moyenne : 128 cm).

Les caractéristiques de ces parcelles (plantation, opérations sylvicoles, inventaires) ainsi que le descriptif des opérations d'abattage, de billonnage, de sciage et de conditionnement réalisées préalablement aux essais sont présentés dans le document *Essais technologiques du Pinus caribaea en Province Nord - 1^{ère} phase : abattage et sciage* (Dessert A., DDEE, District Forestier de Koumac, avril 2004).

33 - ECHANTILLONNAGE AU COL D'AMIEU

Au Col d'Amieu, trois parcelles ont été de la même façon sélectionnées car considérées comme représentative de la ressource à exploiter :

- 1 parcelle de *Pinus caribaea*
- 2 parcelles de *Pinus elliottii*

Ces 3 parcelles correspondent à des peuplement âgés de 25 à 28 ans donc comparables entre eux et comparables aux peuplements sélectionnés sur Tango.

Le choix des 2 parcelles de *Pinus elliottii* est lié à la prépondérance de cette espèce qui représente à peu près les trois quarts des boisements sur le site.

Les 2 espèces *caribaea* et *elliottii* présentent de grandes similitudes quant à la structure de leur bois (nodosité de même type) et à leurs caractéristiques, même si *Pinus elliottii* est réputé comme présentant des caractéristiques mécaniques supérieures, phénomène qui pourrait être en fait lié aux conditions de croissance des arbres (*P. elliottii* mieux adapté en altitude que à *P. caribaea*).

Les résultats des essais montreront que les différences observées entre les 2 parcelles de *P. elliottii* sont supérieures à celles observées entre les deux espèces de *Pinus*.

34 - SELECTION ET REPERAGE DES ARBRES ECHANTILLONNES

La sélection des arbres a été effectuée essentiellement en fonction du diamètre, les arbres à retenir devant dans la mesure du possible présenter un diamètre supérieur à 35 cm (1,10m de circonférence) à une hauteur de 1,3m.

Pour chaque arbre, les opérations suivantes ont été effectuées :

- marquage du tronc à l'aide d'un numéro, 1 à 36 pour les arbres de Tango, 50 à 85 pour le Col d'Amieu,
- prise des coordonnées GPS,
- mesure de la circonférence à 1,3m,
- hauteur totale et hauteur des premières branches,
- relevés des défauts des tiges.

Les grumes ont été tronçonnées en billons de 2m ou 2,5m, le diamètre retenu fin de découpe étant de 18-20 cm sous écorce.

4 - DEBIT ET CONDITIONNEMENT DES BOIS EN NOUVELLE-CALEDONIE

41 - SCIAGE

Les bois provenant des peuplements de Tango ont été débités à la SEFCA à Netchaot à l'aide d'une scie mobile Wood Mizer (ruban de 30mm de large).

Les bois provenant du Col d'Amieu ont été débités à la SEFPM sur la scie de tête à ruban Gillet (volant de 140) puis sur la scie de reprise à ruban (volant de 120).

La codification adoptée pour les arbres et les billons a été reportée sur les sciages, avec pour les avivés un code supplémentaire pour indiquer la position de la pièce à l'intérieur de la bille.

* Les plateaux diamétraux des billes de pied des 72 arbres ont été débités en 55mm d'épaisseur et réservés pour les essais au Cirad Montpellier.

* La répartition des autres débits est donnée en fonction de leurs dimensions dans les deux tableaux suivants :

Avivés Tango

Longueur (m)	Epaisseur (mm)	Largeur (cm)	Quantité	Volume (m ³)	% en volume
2	3	10,5	15	0,095	0,46
		15,5	5	0,047	0,23
	5,5	5,5	26	0,157	0,76
		7,5	6	0,050	0,24
		10,5	23	0,266	1,29
		15,5	23	0,392	1,9
		20,5	3	0,068	0,33
2,5	2,5	10,5	2	0,013	0,06
		15,5	2	0,019	0,09
	3	10,5	40	0,315	1,53
		15,5	60	0,698	3,38
		20,5	1	0,015	0,07
	4	10,5	1	0,011	0,05
		15,5	1	0,016	0,08
	5,5	5,5	23	0,174	0,84
		7,5	81	0,835	4,04
		10,5	141	2,04	9,86
		15,5	271	5,78	27,97
		20,5	246	6,93	33,58
	12,5	12,5	30	1,17	5,67
TOTAL			1000	19,086	

Avivés Col d'Amieu

Longueur (m)	Epaisseur (mm)	Largeur (cm)	Quantité	Volume (m³)	% en volume
2,5	2,5	15,5	14	0,136	0,61
		10,5	2	0,013	0,06
	3,5	38,5	1	0,034	0,15
		30,5	9	0,240	1,08
		25,5	97	2,164	9,77
		20,5	257	4,610	20,81
		15,5	322	4,367	19,71
		10,5	91	0,836	3,77
		5,5	30,5	21	0,881
	25,5		47	1,648	7,44
	20,5		162	4,566	20,61
	15,5		112	2,387	10,77
	10,5		19	0,274	1,24
TOTAL			1154	22,156	

42 - EMPILAGE ET SECHAGE

Les piles d'avivés ont été constituées avec des pièces de même longueur et de même épaisseur, avec un baguettage relativement serré : 6 baguettes (15x25 mm ou 25x25mm) par rang pour les pièces de 2,5 de longueur et 5 baguettes pour les pièces de 2m.

L'empilage a été particulièrement soigné avec un bon alignement vertical des baguettes.

Les piles constituées ont une largeur de 0,80m et une hauteur de 0,70m.

Au total, entre les 2 provenances de Pinus, 31 piles ont été ainsi constituées (18 pour Tango et 13 pour le col d'Amieu).

Le protocole de séchage utilisé est donné en annexe 2.

43 - TRAITEMENT DE PRESERVATION

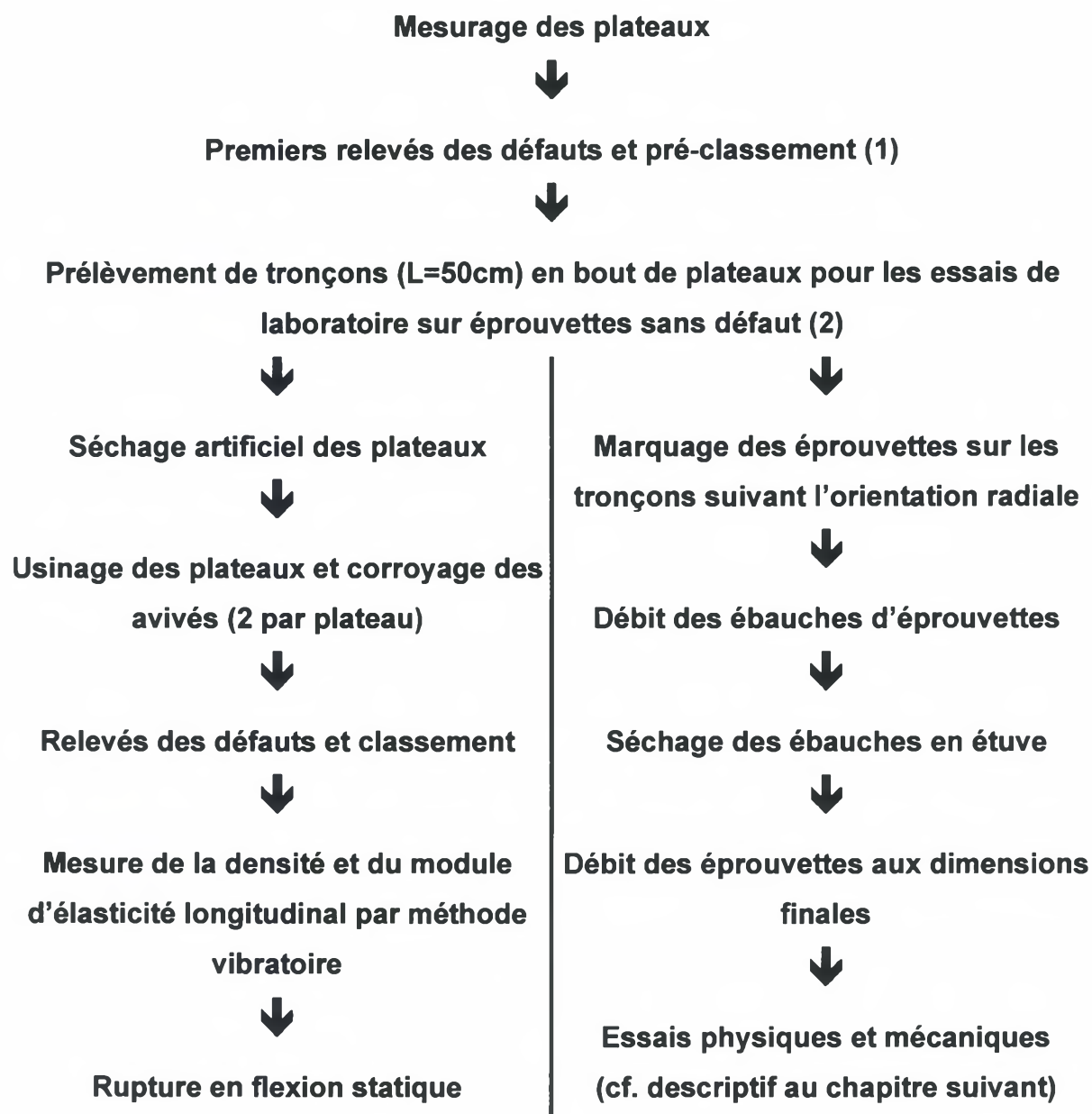
Avant expédition, les plateaux diamétraux ont été traités sous vide en autoclave.

Ce traitement a permis une conservation parfaite des bois qui sont arrivés à Montpellier dans un très bon état sanitaire malgré un voyage prolongé (près de 3 mois).

5 - ORGANISATION DES MESURES ET ESSAIS DE CARACTERISATION TECHNOLOGIQUE A MONTPELLIER

Les 72 plateaux diamétraux expédiés mi-mars de Nouméa ont été réceptionnés fin mai au Cirad-Montpellier.

Après réception, ces bois ont ensuite suivi le cheminement suivant :



(1) : Ces premiers relevés de défauts sur les plateaux avant usinage n'ont pas donné de résultats probants :

- les défauts étant souvent partiellement masqués du fait de l'état de surface brut des bois,
- la présence de fentes médianes, attendue sur ce type de débit, perturbait le relevé des défauts.

(2) : Compte tenu de l'arrivée tardive des bois et afin d'accélérer le lancement des essais technologiques durant la période de formation de Pascal Tarman, les ébauches d'éprouvettes sans défaut ont été prélevées dans les tronçons non séchés puis ont été passées en étuve avant usinage définitif.

6 - DESCRIPTIF DES ESSAIS, MESURES ET EXPERIMENTATIONS

Les Termes de Référence des essais technologiques au CIRAD-Forêt à Montpellier sont donnés en annexe 3.

61 - SUR LES PLATEAUX DIAMETRAUX : séchage artificiel

Les plateaux diamétraux, dans lesquels ont été ensuite débités les avivés destinés au classement et aux mesures mécaniques, ont servi de support pour les essais de séchage artificiel en séchoir à air chaud climatisé (séchoir traditionnel semi-industriel piloté en temps-température-humidité par ordinateur).

Compte tenu du taux de siccité des bois relativement bas en raison de la durée prolongée du transport (taux variant entre 25 et 35%), deux tables de séchage (et non trois comme initialement prévu) ont été testées.

Les 72 plateaux ont été regroupés en 3 lots, deux de ces lots étant constitués pour moitié de *Pinus elliottii* et pour moitié de *Pinus caribaea*, chaque lot regroupant les bois issus de 2 parcelles différentes.



Entrée en séchoir d'un lot de bois



Le lot entièrement constitué de *Pinus caribaea* a été séché à l'aide de la table la plus lente, les deux autres lots « mixtes » ont été séchés en suivant la table la plus rapide.

Sur les piles de bois ont été appliquées des charges pour limiter les risques de déformation.

Les deux sections transversales des plateaux ont été enduites de produit anti-fentes (Mobilcer) afin de limiter les risques de déformations.

Le suivi de la cinétique de séchage des bois s'est fait de manière conventionnelle à l'aide de sondes enregistreuses préalablement fixées dans des plateaux témoins.

A l'issue du séchage ($H_{\text{objectif}} < 12\%$), les plateaux ont été examinés (relevés d'éventuels défauts de séchage) pour estimer l'impact du mode de séchage adopté sur la qualité finale des bois.

62 - SUR LES AVIVES

621 - Relevés des défauts intrinsèques du bois et classement visuel

Un des objectifs majeurs de la campagne de caractérisation est l'établissement de règles de classement visuel spécifiques au Pinus calédonien à partir d'une adaptation des règles européennes de classement des résineux, ceci afin de valoriser au mieux la ressource et associer les différentes utilisations ciblées à des choix et qualités de bois qui restaient à définir.

Ces choix doivent relever de règles simples facilement applicables en scierie.

A une utilisation donnée, il est nécessaire d'associer le choix le mieux adapté qui tienne compte des contraintes propres à cette utilisation, en évitant autant que possible de surclasser ou sous-classer les bois.

La définition de ces choix s'est faite selon le processus suivant :

- a) Relevé systématique des défauts d'aspect sur les avivés : nature des défauts (type de nœud, poches/infiltrations de résine, fentes, entre-écorce ...), importance des défauts, fréquence, localisation sur la planche (faces, rives).
- b) Etude de la distribution de ces défauts.
- c) Identification des défauts les plus fréquents et des défauts les plus discriminants.
- d) Etablissement de premiers critères de classement permettant une répartition homogène des avivés en un nombre limité de choix (nombre à définir).
- e) Comparaison et calage par rapport aux règles européennes de classement.
- f) Définition finale des choix conduisant à l'établissement des règles de classement visuel.

Les choix définitifs ont été formalisés en collaboration avec les scieurs calédoniens et certains opérateurs de la seconde transformation de façon à définir des critères de sélection des bois réalistes qui tiennent compte des particularités de la ressource locale.

Les critères de choix des bois et la base de classement initialement utilisée sont donnés dans la plaquette « Classement d'aspect des bois résineux – méthode visuelle » diffusée par le CTBA (cf. ci-dessous).

Classement d'aspect des bois résineux (méthode visuelle)

CRITERES CHOIX		NŒUDS				
		Classement sur 2 faces (préfixe G2-) ou sur 4 côtés (préfixe G4-)				
		0	1	2	3	4
Dimension des nœuds sur la face classée	Sains adhérents	10% de la largeur de la pièce + 10mm.	10% de la largeur de la pièce + 20mm	10% de la largeur de la pièce + 35mm	10% de la largeur de la pièce + 50mm.	Non limité dans la mesure où la solidité et / ou la mise en œuvre de la pièce ne sont pas compromises.
	Morts ou partiellement adhérents	10% de la largeur de la pièce	10% de la largeur de la pièce + 10mm.	10% de la largeur de la pièce + 20mm	10% de la largeur de la pièce + 50mm	
	A entre écorce	Exclus	10% de la largeur de la pièce	10% de la largeur de la pièce + 15mm	10% de la largeur de la pièce + 40mm	
	Pourris ou sautants	Exclus	Exclus	10% de la largeur de la pièce + 15mm	10% de la largeur de la pièce + 40mm	
Nombre total de nœuds sur la face classée	Sur le mètre linéaire le plus pénalisé par les nœuds	2	4	6	Non limité	
Dont nœuds :	A entre écorce	0	1	2	5	
	Sautants ou pourris	0	0	2	5	
	Plats ou tranchants	0	4	6	Non limité	
CRITERES CHOIX		Classement sur 4 côtés (préfixe G4-)				
		0	1	2	3	4
sur les rives	Sains adhérents	50% de l'épaisseur	90% de l'épaisseur	100% de l'épaisseur	100% de l'épaisseur	Non limité dans la mesure où la solidité et / ou la mise en œuvre de la pièce ne sont pas compromises.
	Morts ou partiellement adhérents	33 % de l'épaisseur	(Pas plus que le maximum permis pour un nœud de face) 67% de l'épaisseur	75 % de l'épaisseur	100 % de l'épaisseur	
	A entre écorce	0	33% de l'épaisseur	50% de l'épaisseur	90% de l'épaisseur	
	Sautants ou pourris	0	(Pas plus que le maximum permis pour un nœud de face) 0	50% de l'épaisseur	90 % de l'épaisseur	
Nombre total de nœuds sur les rives	Sur le mètre linéaire le plus pénalisé de chaque rive	1	2	4	Non limité	
Dont nœuds :	A entre écorce sautants ou pourris	0	1 0	2	3	

CRITERES CHOIX		AUTRES SINGULARITES ET ALTERATIONS BIOLOGIQUES				
		Classement sur 2 faces (préfixe G2-) ou sur 4 côtés (préfixe G4-)				
		0	1	2	3	4
Entre écorce sur la face classée	Nombre sur le mètre le plus pénalisé	0	2	2	4	Non limité
	Longueur totale	0	100 mm	200 mm	300 mm	
Poches de résine sur la face classée	Nombre sur le mètre le plus pénalisé	2	4	4	4	
	Longueur totale	75 mm	100 mm	200 mm	300 mm	
Bois résiné sur n'importe quel côté	% de la surface	Exclu	Exclu	30% de la surface	50% de la surface	
Bois de compression sur n'importe quel côté	% de la surface	Exclu	10% de la surface	30% de la surface	50% de la surface	
Pente de fil anormale sur n'importe quel côté	Incluant la ronce, le fil tranché et les déviations semblables	Exclue	Exclue	Permise	Permise	Permise
Pourriture sur n'importe quel côté	Présence	Exclue				Petites tâches permises
Discolorations ou échauffures sur n'importe quel côté	Profonde % de la surface	Exclues	Exclues	10% de la surface	50% de la surface	Permisses
	Superficielle % de la surface	Exclues	Exclues	20% de la surface	100% de la surface	Permisses
Dégâts d'insectes sur n'importe quel côté	Présence de piqûres non actives	Exclus	Exclus	Exclus	Piqûres noires sur 15% de la surface	Permisses
Flache	Largeur sur la face	3 mm	5 mm	10 mm	20 mm	30 mm
	Epaisseur sur la rive	3 mm	5 mm	10 mm	20 mm	20 mm
	Longueur (% de la longueur de la pièce sur chaque arête)	20 %	20 %	30 %	50 %	100 %
Moelle	Présence	Exclue	Permise	Permise	Permise	Permise
Fentes sur la face classée	Fente en bout à chaque extrémité (% de la largeur de la pièce)	100 %	100 %	150 %	200 %	500 %
	Fentes de face (% de la longueur de la pièce)					
	Epaisseur < 60mm	10 %	25 %	35 %	75 %	100 %
	Epaisseur > 60 mm	10 %	33 %	50 %	90 %	100 %
Fentes traversantes (% de la longueur de la pièce)		Exclues	Exclues	Exclues	20 %	40 %
Déformations		Voir Norme NF EN 1611-1				

Ce document, établi pour les Pins tempérés, le Sapin et l'Epicéa, et le Douglas, énumère de façon presque exhaustive tous les défauts qu'il est possible de rencontrer sur ces espèces.

En pratique, pour une espèce donnée dans une zone de production donnée, seuls certains de ces défauts sont observés et peuvent être retenus comme critères discriminants pour l'établissement de règles de classement adaptées.

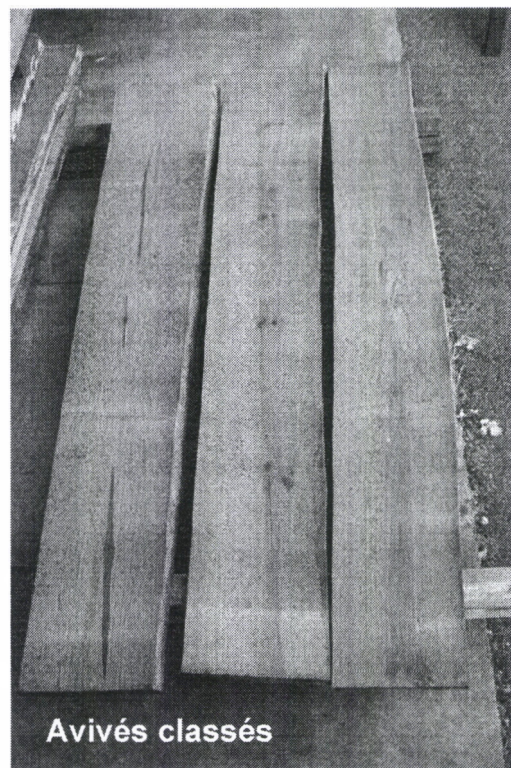


Relevé des défauts

La simplification de ces critères initialement présentés de façon quasi exhaustive se fait au moment même du classement, lors de l'examen visuel des planches : le relevé des défauts met en évidence que seuls certains mentionnés dans la base de référence doivent être pris en compte lors du classement.

Ces relevés ont été initiés sur les 143 avivés obtenus à partir des plateaux diamétraux reçus à Montpellier (1 seul plateau diamétral ne présentant aucune fente centrale a été usiné et testé en l'état).

L'essentiel de ces relevés a été réalisé en Nouvelle-Calédonie sur les avivés ayant fait l'objet d'un séchage naturel (plus de 2000 pièces).



Avivés classés

622 – Propriétés physiques et mécaniques : détermination de la masse volumique, du module d'élasticité longitudinal par méthode vibratoire, et de la contrainte de rupture en flexion statique

6221 - Masse volumique

La masse volumique (exprimée en kg/m^3) est déterminée sur des bois stabilisés en chambre conditionnée (humidité de l'air : $65\% \pm 2\%$; température : $25^\circ \pm 1^\circ$), conditions correspondant à une humidité théorique du bois de 12%.

En pratique et comme cela a été observé sur de nombreuses espèces tropicales et sub-tropicales, l'humidité de stabilisation des bois à ces conditions est souvent différente de 12%.

Elle est supérieure à cette valeur lorsque la pièce ou l'échantillon de bois est en phase de désorption et inférieure à cette valeur lorsque le bois est en phase de sorption.

Ce phénomène d'hystérésis est à l'origine de ce décalage sachant qu'en pratique, on se situera le plus souvent dans une phase de désorption (séchage du bois) que de sorption (réhumidification).

La masse volumique est une caractéristique technologique de base, la première à déterminer pour qualifier un bois. Elle est reliée, plus ou moins étroitement, avec les principales propriétés physiques et mécaniques du bois ainsi qu'avec certaines caractéristiques de mise en œuvre.

La masse volumique est déterminée en même temps que le module d'élasticité longitudinal en utilisant la méthode acoustique mise au point par le Cirad-Forêt (voir ci-après).

6222 - Module d'élasticité longitudinal

Le module d'élasticité longitudinal (exprimé en MPa) ou module d'Young est déterminé sur des bois stabilisés suivant les mêmes conditions que celles définies pour la masse volumique.

En pratique, lorsque ces conditions ne peuvent pas être remplies, on utilise des formulations de calage qui permettent d'obtenir des valeurs ramenées à une humidité (théorique) de 12% à partir de valeurs déterminées dans des conditions différentes (cf. §6225).

C'est une propriété de première nécessité technologique pour les emplois en structure où les pièces de bois sont fréquemment sollicitées en flexion statique suivant leur plus grande direction, parallèlement aux fibres.

Cette propriété caractérise la proportionnalité entre la charge et la déformation. Elle constitue un indicateur de la rigidité du bois.

A partir des valeurs obtenues lors des essais, deux grandeurs sont ensuite été déterminées :

- la valeur moyenne,
- la valeur caractéristique qui tient compte de la dispersion des résultats et correspond à un fractile de la distribution enregistrée.

6223 - Méthode utilisée pour déterminer le module d'élasticité longitudinal

Le dispositif présenté a été utilisé pour l'ensemble des essais réalisés à Montpellier, tant sur les pièces en dimension d'emploi que sur les éprouvettes sans défaut (360 x 20 x 20 mm), puis transféré en Nouvelle-Calédonie pour la campagne de caractérisation sur pièces en dimensions d'emploi.

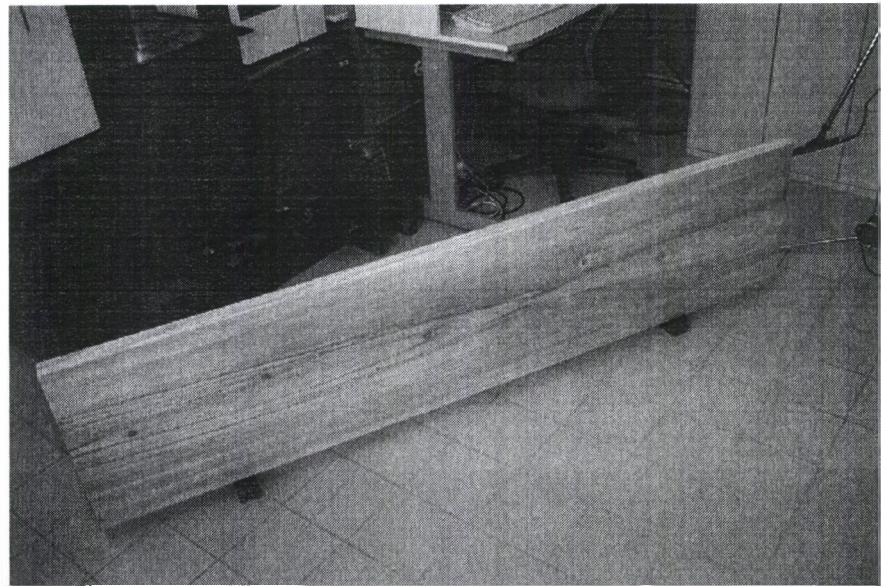
*** Présentation**

Le CIRAD-Forêt a développé un appareillage permettant l'obtention très rapide des modules d'élasticité et de cisaillement en flexion et du module d'élasticité en compression, par analyse du spectre des vibrations naturelles d'une pièce en bois.



Mesure du module d'élasticité par méthode vibratoire

La méthode retenue utilise le principe de l'analyse spectrale des vibrations naturelles de flexion. Ce procédé permet de déterminer les fréquences propres d'une poutre à partir de sa réponse à une excitation due à une impulsion appliquée à une des extrémités de façon à solliciter simultanément tous les modes propres de vibration.



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

La méthode de détermination du module d'élasticité en flexion repose sur la recherche puis l'interprétation du spectre des fréquences propres issues des vibrations naturelles en appliquant les modèles développés par Bernoulli (modèle le plus simple) ou/et Timoshenko (modèle plus élaboré).

*** Principe de fonctionnement**

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

- Percussion de la pièce en appui sur des supports en mousse ou élastiques (vibrations libres),
- Acquisition du signal à l'aide d'un microphone ou d'un accéléromètre

- Numérisation du signal par l'intermédiaire d'une carte externe spécifique connectée sur le port parallèle du PC,
- Traitement des données selon la séquence suivante :
 - Récupération des données enregistrées par la carte externe
 - Transformée de Fourier rapide (FFT)
 - Analyse spectrale : sélection manuelle ou automatique des modes de vibration

Le dispositif est commercialisé sous l'appellation « Bing 2000 » (pour plus d'informations, consulter le site http://www.indexld.com/bing/presentation_bing.htm).

*** Relation avec l'essai statique**

Une excellente corrélation avec un essai statique de flexion quatre points a été observée aussi bien pour des éprouvettes avec des élancements faibles que des pièces de structure.

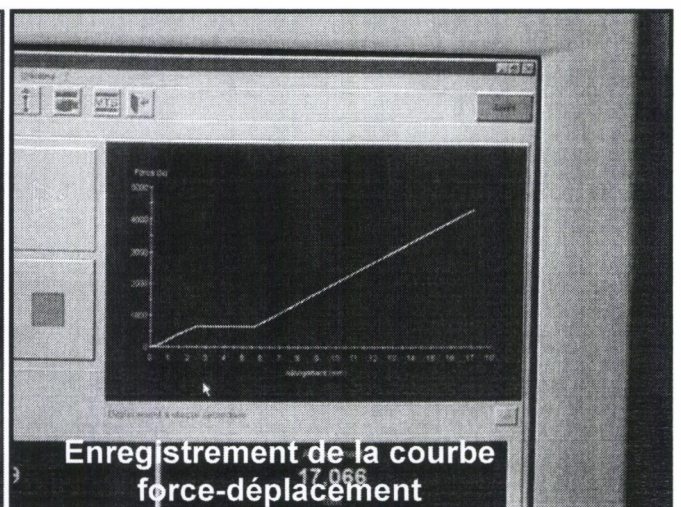
En comparaison avec d'autres essais non-destructifs (ultrasons, classement visuel), la méthode vibratoire s'est aussi révélée la meilleure pour la prédiction de la résistance mécanique (contrainte de rupture).

Cette méthode permet d'obtenir le module d'élasticité avec une très bonne répétitivité et précision et peut donc être envisagée comme un outil efficace de classement. Une opération de ce type a déjà été conduite avec succès en Guyane sur des bois de structure. Un projet de normalisation est en cours.

6224 - Contrainte de rupture en flexion statique

La contrainte de rupture en flexion statique F_{12} (exprimée en MPa) déterminée sur les bois à 12% d'humidité correspond à la contrainte qu'il est nécessaire d'appliquer sur la zone centrale d'une éprouvette reposant sur deux appuis pour arriver à sa rupture.

Cette caractéristique a été déterminée sur les avivés débités dans les plateaux diamétraux reçus à Montpellier ainsi que sur des éprouvettes normalisées sans défaut (36 x 2 x 2 cm , voir § suivant).



6225 - Correction de l'humidité

Pour les trois caractéristiques déterminées sur les pièces de dimension commerciale, notamment celles testées en Nouvelle-Calédonie du fait de leur séchage à l'air libre, une correction a été apportée aux valeurs consignées lors des essais de façon à les ramener à une humidité de référence de 12%. Pour ce faire, leur humidité a été estimée en fonction de la période d'essai et en utilisant les abaques de séchage.

Pour les essais réalisés à Montpellier, les bois avaient été séchés entre 10 et 12% donc la correction était moins impérative.

Les formulations utilisées sont les suivantes :

* *Masse volumique*

$$MV_{12} = MV_H [100 + \alpha(H - 12)] / [100 + (H - 12)]$$

Avec α = coefficient de retrait volumique (en % par %) ; une valeur moyenne de 0,40 a été utilisée (source : Plumptre 1984)

* *Module d'élasticité longitudinal* (équation empirique)

$$E_{12} = E_H / [1 + 0,0143(H - 12)] \quad (\text{Boström 1995 d'après Kollmann et Côté 1968})$$

* *Contrainte de rupture en flexion statique* (équation empirique)

$$\sigma_{12} = \sigma_H / [1 + 0,0295(H - 12)] \quad (\text{Boström 1995 d'après Kollmann et Côté 1968})$$

63 - SUR LES EPROUVETTES SANS DEFAUT

Sur les éprouvettes sans défaut, huit propriétés physiques et mécaniques de référence ont été déterminées :

* **Propriétés physiques** : masse volumique, retrait radial total, retrait tangentiel total, point de saturation des fibres, dureté Monnin

* **Propriétés mécaniques** : module d'élasticité longitudinal, contrainte de rupture en compression parallèle, contrainte de rupture en flexion.

Initialement, la détermination de la dureté Monnin n'était pas prévue ; cette caractéristique a cependant été déterminée car jugée utile compte tenu des possibilités d'utilisation du Pinus en revêtement de sol (intérieur ou extérieur).

631 - Dureté Monnin

La dureté Monnin (s'exprime sans unité) est un indicateur de la résistance à la pénétration sur la face radiale du bois, d'un cylindre métallique de rayon donné, appliqué suivant une génératrice, sous un effort continu.

L'essai correspondant est réalisé sur des éprouvettes de section carrée de 20mm de côté et d'au minimum 100mm de longueur parallèlement au fil du bois. Le protocole d'essai est défini dans la norme NF B 51-013.

La dureté est une propriété particulièrement importante à connaître lorsqu'il est envisagé une utilisation des bois sous forme de revêtement de sol.

Classes de dureté :

$D < 1,5$: bois très tendre

$1,5 < D < 3$: bois tendre

$3 < D < 6$: bois mi-dur

$6 < D < 9$: bois dur

$D > 9$: bois très dur

632 - Retrait radial total et retrait tangentiel total

Jusqu'au point de saturation des fibres (= PSF, cf. définition ci-après), le bois ne se rétracte pas en séchant ; en revanche, en dessous de ce seuil, il est soumis à des variations dimensionnelles quand son humidité varie.

Le retrait du bois (qui s'exprime en %) en dessous du PSF intervient suivant les trois directions du bois : longitudinale, tangentielle et radiale.

Le retrait longitudinal est très faible par rapport aux deux autres, de l'ordre de quelques dixièmes de pour-cent, mais il peut avoir une influence notable sur les variations dimensionnelles de pièces de grandes longueurs. Très peu de données sont disponibles sur cette caractéristique qui reste délicate à mesurer en laboratoire.

Le retrait tangentiel total et le retrait radial total sont habituellement déterminés pour qualifier le comportement du bois lors du séchage ou plus généralement lors de variations d'humidité.

Le retrait total R par rapport à l'état saturé (R_t pour le retrait tangentiel ou R_r pour le retrait radial) est donné par la relation : $R = (D_s - D_o) / D_s \times 100$
où D_s et D_o sont respectivement les dimensions des échantillons dans la direction considérée à l'état saturé puis à l'état anhydre.

L'essai standard est réalisé sur des plaquettes carrées de 40mm à 50mm de côté et 10mm d'épaisseur (parallèlement au fil du bois). Le protocole d'essai est défini dans la norme NF B 51-006 (sept. 1985).

Classes de retrait tangentiel total :

$R_t < 6,5 \%$: retrait faible

$6,5 \% < R_t < 10 \%$: retrait moyen

$R_t > 10 \%$: retrait fort

Classes de retrait radial total :

$R_r < 3,8 \%$: retrait faible

$3,8 \% < R_r < 6,5 \%$: retrait moyen

$R_r > 6,5 \%$: retrait fort

633 - Point de saturation des fibres

Dans un bois vert, une partie de l'eau remplit plus ou moins complètement les vides cellulaires et intercellulaires. L'évacuation de cette *eau libre* s'effectue sans retrait du bois.

Lorsque l'eau libre a entièrement disparu, le bois ne contient plus que de l'*eau liée* qui imprègne les membranes des cellules, et dont le départ lors du séchage va occasionner des phénomènes de retraits à l'origine de déformations du bois.

Le Point de Saturation des Fibres (ou PSF) qui s'exprime en % correspond au taux d'humidité du bois saturé en eau liée, taux en dessous duquel le bois va commencer à sécher en se déformant. Le PSF varie de 20 à 40% suivant les essences, mais se situe le plus souvent aux environs de 30%.

Classes de Point de Saturation des Fibres :

$PSF < 25 \%$: faible

$25 < PSF < 35 \%$: moyen

$PSF > 35 \%$: élevé

634 – Contrainte de rupture en compression parallèle

La contrainte de rupture en compression parallèle C_{12} déterminée sur les bois à 12% d'humidité correspond à la contrainte (exprimée en MPa) qu'il est nécessaire d'appliquer suivant le sens parallèle au fil du bois pour obtenir la rupture d'une éprouvette de 4 cm^2 de section (dimensions de l'éprouvette : 6 x 2 x 2 cm).

Classes de contrainte de rupture en compression parallèle :

$C_{12} < 45 \text{ MPa}$: Contrainte faible

$45 \text{ MPa} < C_{12} < 75 \text{ MPa}$: Contrainte moyenne

$C_{12} > 75 \text{ MPa}$: Contrainte élevée

635 – Masse volumique, module d'élasticité longitudinal, contrainte de rupture en flexion statique

Voir § 622

7 - LANCEMENT DE LA CAMPAGNE DE CARACTERISATION ET FORMATION AUX TECHNIQUES DE LABORATOIRE

La campagne de caractérisation à Montpellier a été initiée fin mai 2004 et son lancement a correspondu avec le début du stage de Pascal Tarman au Cirad.

Les objectifs de ce stage étaient les suivants :

- Formation à l'ensemble des techniques de caractérisation et de qualification des bois utilisées en routine au Cirad-forêt.
- Participation à la réalisation des essais programmés dans le cadre de la campagne de caractérisation du Pinus.
- Elargissement de la campagne d'essais initiée au Cirad-forêt à l'ensemble des bois débités lors des essais de sciage, après transfert en Nouvelle-Calédonie du dispositif vibratoire.

Les termes de référence de ce stage sont donnés en annexe 4.

Un compte-rendu synthétique du stage est donné en annexe 5.

8 - RESULTATS

81 – SECHAGE ARTIFICIEL

Les 2 tables de séchage testées n'ont pas donné de résultats différents quant à l'apparition et au développement de défauts de séchage (fentes ou déformations).

Il faut cependant noter que 2 facteurs ont pu biaiser les résultats :

- compte tenu de leur transport prolongé, les bois sont arrivés à Montpellier puis ont été passés en séchoir alors qu'ils étaient déjà ressuyés, certains étant déjà passés en dessous du point de saturation,
- les plateaux qui ont été séchés sont des plateaux diamétraux correspondant à des débits plein quartier ; cette orientation est la plus favorable lors du séchage et correspond théoriquement à celle qui occasionne le minimum de défauts.

Indépendamment de ces facteurs, les bois ont séché sans développement de défauts apparents : pas de déformation (flèche, tuilage), pas de fente en bout ouvertes, très peu de gerces.

La table la plus rapide qui a été testée avait déjà été éprouvée lors d'essais de séchage de Pin d'Alep, essence aux propriétés comparables à celles du Pinus calédonien.

Cette table est suffisamment modérée pour assurer un séchage sans problème mais suffisamment rapide pour éviter tout risque de développement de bleuissement (en dehors du bleuissement déjà présent sur les bois).

La table suivante a donc été retenue et reprise dans les Référentiels Techniques :

Humidité du bois	Température sèche	Humidité relative de l'air
plus de 50 %	55 °C	74 %
50-40 %	55 °C	69 %
40-35 %	55 °C	66 %
35-30 %	63 °C	62 %
30-27 %	63 °C	59 %
27-24 %	63 °C	59 %
24-21 %	63 °C	56 %
21-18 %	65 °C	53 %
18-15 %	65 °C	50 %
15-12 %	65 °C	47 %
12-9 %	75 °C	41 %

Cette table permet de sécher des pièces de Pinus de 55 mm d'épaisseur depuis l'état vert jusqu'à 10-12% d'humidité en environ 2 semaines.

82 – CLASSEMENT VISUEL

821 – Organisation des résultats

A Montpellier et en Nouvelle-Calédonie, le relevé des défauts sur les sciages pour déterminer le classement associé s'est fait sur des bois corroyés de façon à révéler de la meilleure façon possible la présence de ces défauts.

Le relevé s'est fait sur les 4 faces de chaque pièce conformément aux préconisations des règles européennes.

Pour les avivés caractérisés en Nouvelle-calédonie, chaque pièce était repérée à l'aide d'un triple code correspondant successivement au n° de l'arbre (1 à 86), au numéro de l'avivé, puis au numéro d'ordre donné par le CPBL (série croissante de 1 à 2000).

Sur le terrain, les relevés de défauts ont été faits sur papier libre (l'utilisation d'un formulaire-cadre s'est avérée inadaptée) puis ces relevés ont été saisis dans un cadre reprenant tous les défauts répertoriés (voir un extrait de ces relevés dans le tableau page suivante).

L'affectation de chaque avivé dans un choix donné suivant le système de classement à 5 choix s'est faite à partir de ces relevés.

Les notations F1, F2, R1, R2 correspondent respectivement aux relevés de défauts sur la première face, la deuxième face, la première rive, la deuxième rive.

Extrait d'enregistrement des relevés de défauts sur les avivés de Pinus

N° avivé	Réf. class	Nœuds S : sain B : baïonnette N : noir E : à entreécorce T : sautant P : pourri PL : plat M : moustache G : groupé ; mm								Entre écorce	Poche de résine		Bois résiné		Fentes de face	Fentes en bout	Bleuiss. T : traces M : marqué	Bois de cœur	Autres défauts et commentaires	Dimensions avivé
		Type Nbre	Ø	Type Nbre	Ø	Type Nbre	Ø	Type Nbre	Ø	L tot. (cm)	Nbre	L tot. (cm)	L (cm)	larg (cm)	L tot. (cm)	L tot. (cm)		L x l (cm)		L x l x e (cm)
73 3	F 1	S	10	S	15	PL	10			7					7		T	148X4	MOELLE	240 15 4,5
	R 1	N	30	S	40												T			
	F 2	S	70	PL	50	PL	35										T	94X3	MOELLE	
	R 2	T	10														T			
69 1	F 1	N3	5								1	10					T			240 15 5
	R 1										2	13					T		FLACHE	
	F 2																T		FLACHE	
	R 2																T		FLACHE	
63 1	F 1	P	30							2,5	6	46	14	0,5			T			240 15 5
	R 1										1	15					T		FENTE/FLACHE	
	F 2										8	118	60	2			M		FLACHE	
	R 2									3	3	38					T			
66 1	F 1	E	30	E	20	P	20				1	6					T		DISCOLORE	240 15 5
	R 1															25	T			
	F 2	N	10							1	4	36					T		FLACHE	
	R 2																T		FLACHE	
82 1	F 1	N	10										35	0,5			T			240 15 5
	R 1																T			
	F 2																M			
	R 2																T			
75 1	F 1	S	30	N	15	P	15	T	30				35	0,5			T	15X5		240 15 5
	R 1																T			
	F 2	N2	15	E	20												T			
	R 2	T	10	N	10												T			
80 1	F 1	N2	10														T	53X5		240 15 5
	R 1																T		FLACHE	
	F 2	N	5														T		FLACHE	
	R 2																T			

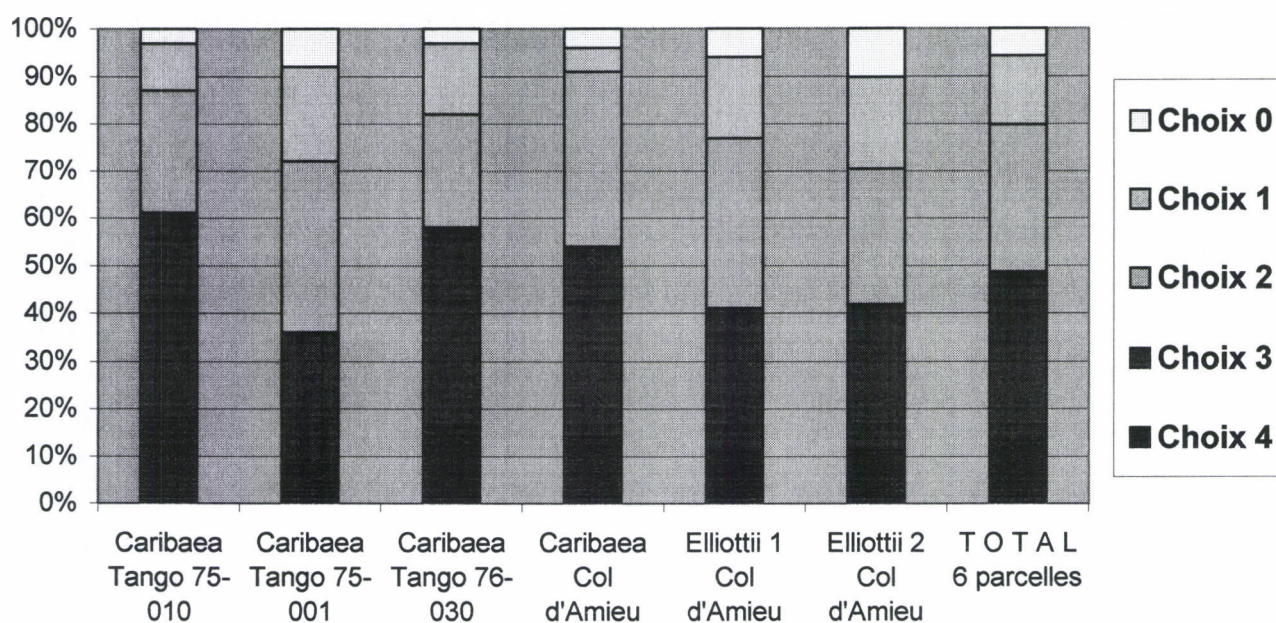
822 – Répartition des choix par peuplement

La répartition des choix en pourcentage pour l'ensemble des peuplements puis pour chacune des six parcelles est donnée dans le tableau :

%	Caribaea Tango 75-010	Caribaea Tango 75-001	Caribaea Tango 76-030	Caribaea Col d'Amieu	Elliottii 1 Col d'Amieu	Elliottii 2 Col d'Amieu	TOTAL 6 parcelles
Choix 0	3	8	3	4	6	10	6
Choix 1	10	20	15	5	17	19	14
Choix 2	26	36	24	37	36	28	31
Choix 3	43	27	42	40	30	30	35
Choix 4	18	9	16	14	11	11	13

Cette répartition est représentée sur le graphe ci-après.

REPARTITION DES CHOIX PAR PARCELLE



La répartition des choix entre les parcelles est relativement homogène même si les parcelles Caribaea Tango 75-001 et les 2 parcelles Elliottii du Col d'Amieu présentent une proportion de choix « 2 et mieux » supérieure à la moyenne.

Cette différence n'est cependant pas très significative ; en effet, cette répartition par parcelle est directement liée à la sélection opérée sur les 12 arbres échantillonnés.

823 – Mise en évidence des défauts les plus discriminants

Comme cela a été précisé précédemment, les défauts répertoriés de façon quasi exhaustive dans la plaquette « Classement d'aspect des bois résineux » ne se retrouvent pas systématiquement sur les sciages de Pinus dont le classement (et le déclassement) est lié à la présence et au caractère plus ou moins marqués de certains de ces défauts.

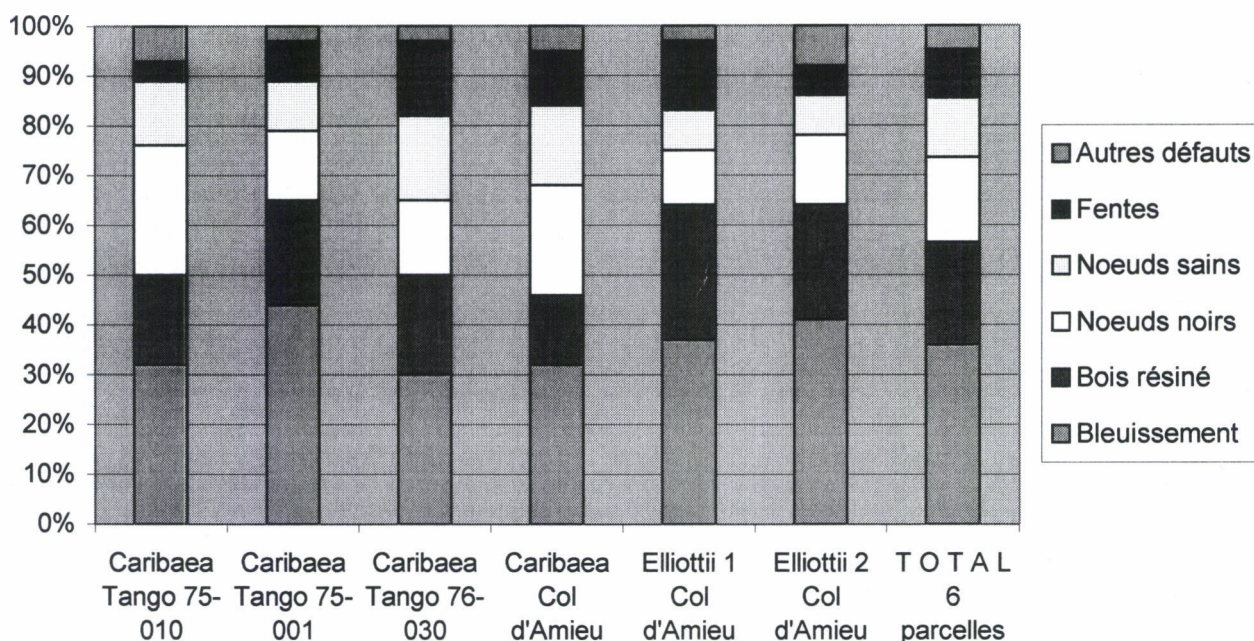
A l'issue du classement, il a paru intéressant d'identifier le poids respectif de ces défauts, leur incidence sur le choix retenu et leur impact sur le déclassement des bois.

Le tableau ci-dessous indique pour chacune des parcelles l'impact de la présence et de l'importance des principaux défauts répertoriés sur le déclassement des avivés : pour chaque avivé, on a identifié le défaut le plus pénalisant à l'origine de son déclassement (déclassement d'un ou plusieurs niveau(x) de choix).

%	Caribaea Tango 75-010	Caribaea Tango 75-001	Caribaea Tango 76-030	Caribaea Col d'Amieu	Elliottii 1 Col d'Amieu	Elliottii 2 Col d'Amieu	TOTAL 6 parcelles
Bleuissement	32	44	30	32	37	41	36
Bois résiné	18	21	20	14	27	23	21
Nœuds noirs	26	14	15	22	11	14	17
Nœuds sains	13	10	17	16	8	8	12
Fentes	4	8	15	11	14	6	10
Autres défauts	7	3	3	5	3	8	5

Ce classement relatif des défauts en fonction de leur impact sur le déclassement est représenté sur le schéma ci-après.

IMPACT DES DEFAUTS SUR LE DECLASSEMENT DES AVIVES



Bleuissement

Le bleuissement est le principal défaut observé sur les avivés et la principale cause de déclassement des bois. Il est très fréquent aussi bien chez *Pinus caribaea* que chez *Pinus elliotii* et se développe souvent dans la grume, avant l'opération de sciage (infestation des grumes au niveau de fentes ou blessures).

Il faut rappeler que le bleuissement ne remet en aucune façon en cause la résistance mécanique du bois ; son impact est uniquement esthétique.

De ce fait, pour tous les emplois en structure où les qualités mécaniques priment sur l'aspect du bois, il ne doit pas être considéré comme un défaut rédhibitoire.

Dans les règles de classement simplifiées établies pour le Pinus par rapport aux règles européennes et notamment pour les utilisations en structure, le niveau de tolérance a été augmenté ; l'application stricte des critères définis dans ces règles aurait pénalisé outre mesure les avivés et induit un déclassement disproportionné par rapport à la qualité effective des bois.

Nœuds sains et nœuds noirs

Lors de l'opération de classement, la quantification des nœuds est une opération souvent peu évidente et sujette à controverse.

Selon la norme européenne NF EN 1310 (juin 1997) « Bois ronds et bois sciés. Méthode de mesure des singularités » (norme citée mais non explicitée dans la plaquette *Classement résineux* éditée par le CTBA), il est précisé :

- en classement d'aspect des bois par la méthode visuelle, la dimension d'un nœud correspond à la moyenne du plus grand diamètre et du plus petit diamètre,
- en classement structure des bois par méthode visuelle, la mesure des nœuds doit prendre en compte non seulement la dimension du nœud mais également *l'incidence du nœud sur la déviation locale de fil*, et le diamètre des nœuds est mesuré perpendiculairement à l'axe de la pièce ; ceci revient en pratique à avoir une mesure comprise entre le plus petit et le plus grand diamètre suivant l'orientation du nœud en question.

La technique de mesure dans le deuxième cas est à peu près acceptée par tous car elle correspond à l'impact réel du nœud sur la résistance mécanique de la pièce. En revanche, elle est controversée dans le premier cas car l'impact du nœud sur l'aspect de la pièce serait sous-estimé.

En pratique pour le Pinus calédonien, on a retenu un système de classement simple et applicable en scierie, intermédiaire entre les 2 systèmes précédemment décrits. La simple mesure du plus grand diamètre du nœud (sans prendre en compte la déviation locale de fil) au lieu du diamètre moyen (déterminé après mesure des deux diamètres) peut être pénalisante pour les bois très nouveaux mais ce n'est pas le cas du Pinus calédonien. Elle a l'avantage d'être simple et facilement appréciable pour le classeur.

La présence de nœuds (sains + noirs) constitue la deuxième cause de déclassement des bois, phénomène classique chez les résineux.

Les nœuds sains peuvent être considérés comme faisant parti intégrante du matériau bois tandis que les nœuds noirs (à entre-écorce ou pourris) sous souvent tendance à se décoller.

Ils constituent un facteur de déclassement majeur aussi bien mécaniquement qu'esthétiquement

Bois résiné (et poches de résine)

Ce défaut constitue le troisième facteur de déclassement des bois (ou deuxième si l'on considère de façon séparée les nœuds sains et les nœuds noirs).

D'une façon générale, les défauts de résine correspondent à une réaction de l'arbre à des traumatismes extérieurs qui peuvent être nombreux en Nouvelle-Calédonie : vents, cyclones, incendies...

Les infiltrations de résine sont parfois très marquées sur certaines billes et pénalisent la majeure partie des avivés débités.

Sur un plan technologique, les zones de bois résiné constituent un handicap : difficulté de clouage, encrassement des lames et des outils de coupe lors du sciage et de l'usinage.

Les caractéristiques du bois sont aussi affectées (voir § 842) avec comme effet induit une hétérogénéité de comportement à l'intérieur d'une même pièce.

Fentes

Les fentes sont relativement peu fréquentes même si elles pénalisent une petite partie des avivés.

Ce sont rarement des fentes de séchage mais des fentes déjà présentes dans les grumes (fentes de type « coup de vent » ou fentes d'abattage).

824 – Répartition des avivés suivant les nouveaux choix simplifiés définis dans les Référentiels Techniques

A partir des résultats obtenus lors de l'opération de classement et compte tenu de la nécessité d'adapter les règles générales de classement aux spécificités de la ressource calédonienne en Pinus, un nombre limité de choix (3 choix A, B et C) a été défini d'un commun accord avec les opérateurs de la filière.

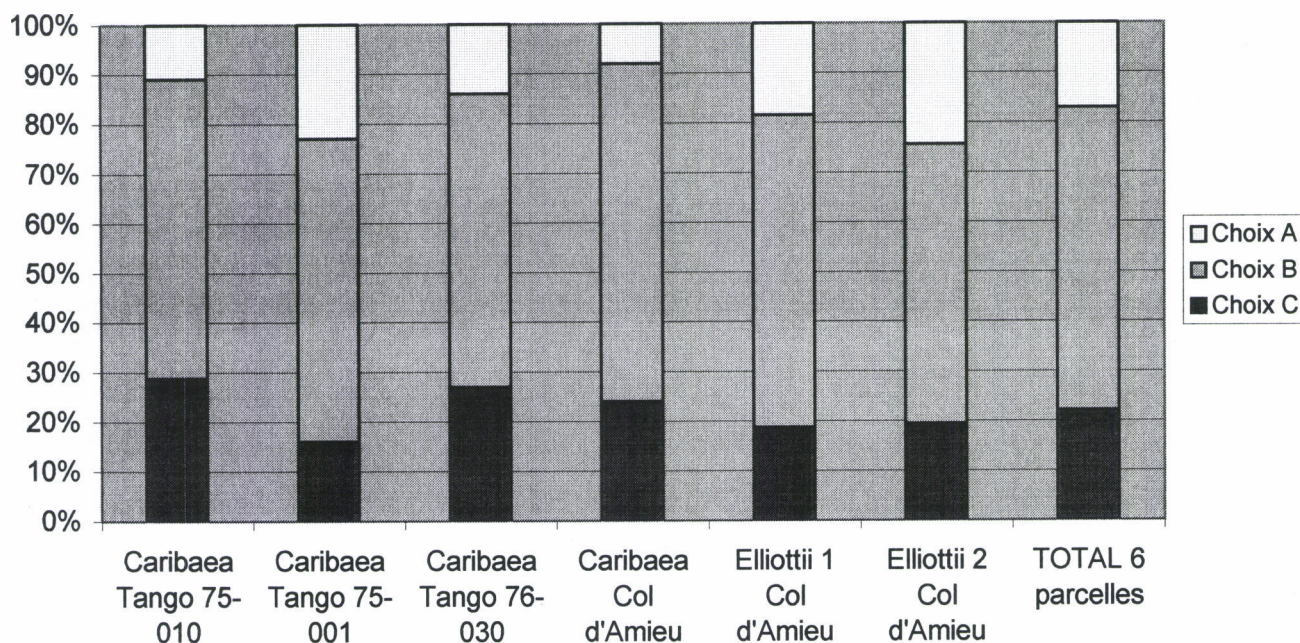
Ces choix sont définis par des critères simples et faciles à prendre en compte en sortie de scierie. Ces choix sont décrits dans les Référentiels Techniques.

Comme pour les 5 choix pris initialement comme référence, la répartition des avivés issus des 6 parcelles été déterminée pour les 3 nouveaux choix « Pinus ».

Cette répartition est donnée dans le tableau ci-dessous et présentée sur le graphe ci-après.

%	Caribaea Tango 75-010	Caribaea Tango 75-001	Caribaea Tango 76-030	Caribaea Col d'Amieu	Elliottii 1 Col d'Amieu	Elliottii 2 Col d'Amieu	TOTAL 6 parcelles
Choix A	11	23	14	8	19	24	17
Choix B	61	61	59	68	63	55	61
Choix C	29	16	27	24	19	19	22

REPARTITION DES CHOIX A, B et C PAR PARCELLE



Le choix B tel qu'il a été défini correspond à un choix « Structure » qui correspond à l'utilisation principale du Pinus en Nouvelle-Calédonie.

En toute logique, il représente la majeure partie des bois produits. Le choix C représente entre 1/3 et 1/5 de la production, le choix A entre 1/4 et 1/10 de la production.

Un tel classement est donc en accord avec la réalité du marché calédonien, même si l'on peut regretter que le système ne soit pas réellement discriminant, mais était-ce vraiment souhaité ?

83 – CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET MECANIQUES SUR PIECES EN DIMENSION D'EMPLOI

831 – Résultats par peuplement

* Contrainte de rupture en flexion statique

Cette caractéristique a été déterminée pour les avivés débités dans les plateaux diamétraux reçus à Montpellier (143 pièces).

L'essai a été réalisé sur une presse universelle Adamel (10 tonnes) équipée d'un bâti spécifiquement conçu pour les pièces en dimension d'emploi et équipé d'un grillage de protection anti-projections.

Les résultats obtenus sont les suivants :

σ (MPa)	Moyenne (MPa)	Ecart type (MPa)	Coefficient de variation	Valeur mini. (MPa)	Valeur maxi. (MPa)
Caribaea Tango 75-010	69	8	12%	54	97
Caribaea Tango 75-001	75	9	13%	61	95
Caribaea Tango 76-030	72	12	17%	43	93
Caribaea Col d'Amieu	76	11	15%	57	98
Elliottii 1 Col d'Amieu	78	14	18%	53	98
Elliottii 2 Col d'Amieu	83	14	17%	57	95
Ensemble 6 parcelles	75	11	16%	43	98

* Tango : la moyenne de la parcelle 75-001 est significativement différente (supérieure) de celle de la parcelle 75-010.

* Col d'Amieu : la moyenne de la parcelle d'*Elliottii* 2 est significativement supérieure aux deux autres alors que celle de la parcelle *Elliottii* 1 n'est pas significativement différente de *Caribaea*. La différence est davantage significative entre les deux *Elliottii* qu'entre *Elliottii* et *Caribaea*.

*** Module d'élasticité longitudinal et masse volumique**

Ces deux caractéristiques ont été déterminées sur l'ensemble des avivés débités (143 à Montpellier et 2000 avivés en Nouvelle-Calédonie).

Le dispositif Bing a été utilisé, d'abord à Montpellier puis en Nouvelle-Calédonie.

Les résultats obtenus sont les suivants :

	Masse volumique (en kg/m³)		
	Moyenne	Ecart type	Coef. de var.
Caribaea Tango 75-010	647	67	10%
Caribaea Tango 75-001	602	77	13%
Caribaea Tango 76-030	599	70	12%
Caribaea Col d'Amieu	644	74	12%
Elliottii 1 Col d'Amieu	675	75	11%
Elliottii 2 Col d'Amieu	672	85	13%
Ensemble 6 parcelles	640	78	12%

	Module d'élasticité longitudinal (MPa)		
	Moyenne	Ecart type	Coef. de var.
Caribaea Tango 75-010	12877	3344	26%
Caribaea Tango 75-001	11685	2797	24%
Caribaea Tango 76-030	11146	3086	28%
Caribaea Col d'Amieu	12518	2128	17%
Elliottii 1 Col d'Amieu	12116	2916	24%
Elliottii 2 Col d'Amieu	12998	2714	21%
Ensemble 6 parcelles	11939	2990	25%

* Tango : la moyenne des deux caractéristiques pour la parcelle 75-010 est significativement supérieure à celle des deux autres.

* Col d'Amieu : les 2 parcelles de *P. elliotii* sont significativement différentes pour le module moyen tandis que la masse volumique moyenne des 2 parcelles de *P. elliotii* est significativement différente de celle de la parcelle de *P. caribaea*.

Pour les 3 caractéristiques, la mise en évidence de ces différences statistiquement significatives est d'un intérêt très relatif et ne permet pas une discrimination nette entre les parcelles.

Alors que les 3 propriétés sont corrélées entre elles (notamment la masse volumique avec les 2 propriétés mécaniques), ces différences significatives peuvent s'exprimer différemment, voire de façon opposée, suivant les caractéristiques considérées.

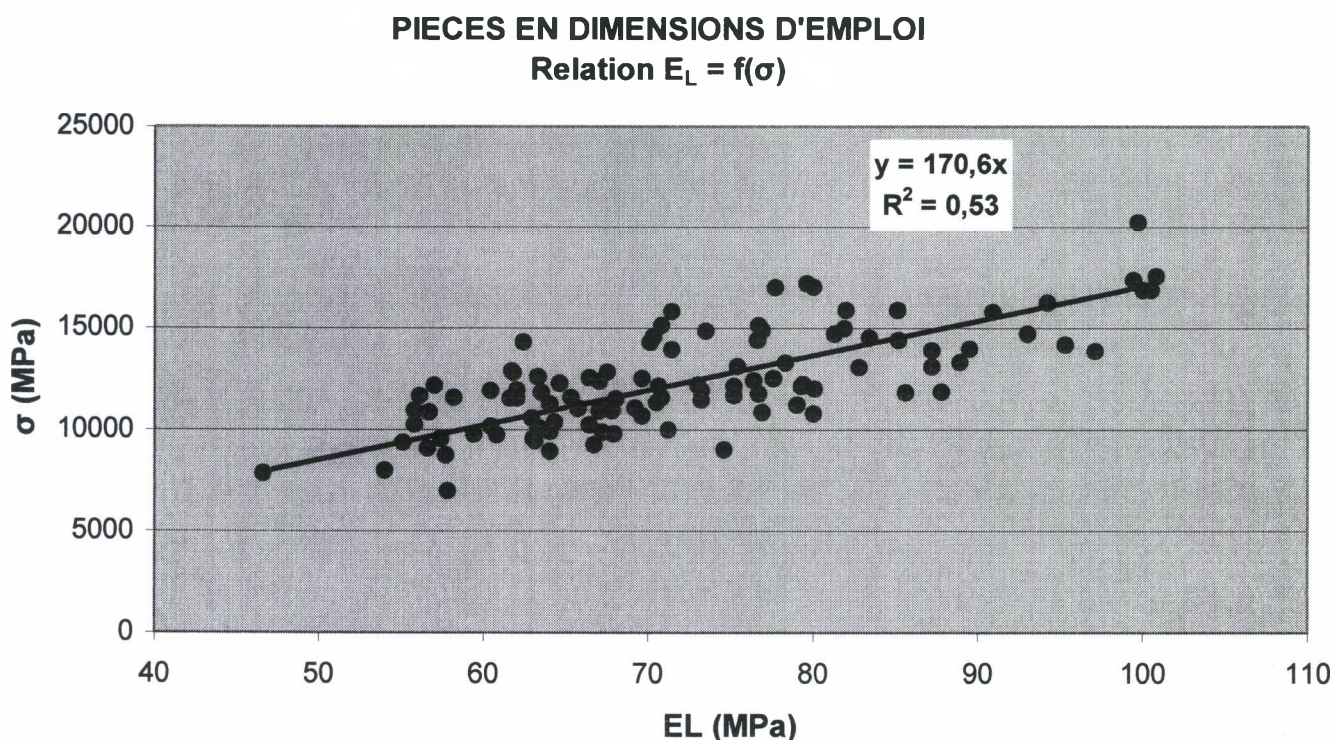
Il est de plus nécessaire de tenir compte de l'incertitude liée à l'imprécision de la connaissance du taux d'humidité des bois lors de l'essai (estimée à partir des abaques de séchage).

832 – Relation module d'élasticité longitudinal / contrainte de rupture en flexion

Les essais sur pièces de dimensions commerciales conduits à Montpellier ont permis de déterminer simultanément sur chaque avivé le module d'élasticité longitudinal et la contrainte de rupture en flexion.

La connaissance de ces 2 caractéristiques pour chaque pièce a conduit à établir une loi de passage de type $\sigma = f(E_L)$ permettant ainsi d'estimer la contrainte de rupture à partir de la simple connaissance du module d'élasticité longitudinal et d'appliquer cette loi aux avivés testés en Nouvelle-Calédonie.

La relation obtenue est illustrée sur le schéma ci-dessous.



La relation obtenue est relativement de bonne qualité par rapport à ce qui a pu être obtenu pour d'autres bois lors d'essais comparables, même pour des feuillus réputés plus homogènes (bois de Guyane).

La forte dispersion des valeurs obtenues tant pour la contrainte de rupture que pour le module d'élasticité a sans doute contribué à améliorer la qualité de la relation.

833 – Détermination des grandeurs caractéristiques

Comme cela a été évoqué lors des échanges avec les représentants des organismes de contrôle Veritas et Socotec durant la mission en Nouvelle-Calédonie en novembre 2004, on observe de fortes carences en matière de normalisation sur le Territoire et en conséquence des besoins importants dans ce sens.

En particulier pour le bois, le besoin de références techniques est d'autant plus important et vital pour la filière calédonienne que l'utilisation de matériaux concurrents (béton, acier) tend à se développer au détriment du bois, notamment du fait des lacunes en matière de réglementation.

Bien que le développement de l'utilisation du Pinus ait été jusqu'à présent limité par l'absence de données disponibles sur ses caractéristiques technologiques, l'emploi du *Pinus radiata* importé de Nouvelle-Zélande repose beaucoup plus sur les habitudes commerciales acquises avec le temps (essence en situation de monopole sur le Territoire tant que les peuplements de Pinus n'étaient pas matures) que sur une réelle base de connaissances techniques sur ce bois.

Actuellement en Nouvelle-Calédonie, tous les calculs de structure-bois sont effectués en utilisant les contraintes admissibles définies dans les Règles de calcul et de conception des charpentes en bois, ou **CB71**.

Ces contraintes admissibles sont déterminées forfaitairement en utilisant différents coefficients de sécurité, une seule distinction étant faite entre le chêne et les résineux.

Il faut rappeler que ces règles ont été définies pour les essences tempérées, notamment les résineux tempérés.

Aujourd'hui, l'utilisation de plus en plus répandue des Eurocodes, notamment l'Eurocode 5 « Calcul des structures en bois » implique la prise en compte de valeurs caractéristiques qui tiennent compte de la dispersion des résultats obtenus lors de campagnes d'essais.

Ces valeurs caractéristiques correspondent à un fractile de la distribution statistique d'une propriété du bois. Pour les propriétés de résistance, le module d'élasticité et la masse volumique, ce fractile est à 5 % d'exclusion.

Les classes de résistance des bois (résistance croissante de C14 à C40 pour les résineux) sont définies à partir des valeurs caractéristiques des propriétés mécaniques et de la masse volumique.

Les résultats obtenus à l'issue des essais sont donc de deux types :

- des valeurs moyennes et des indicateurs de dispersion qui permettent de caractériser le matériau et de le comparer à des essences de même techno-type, le plus souvent concurrentes (cf. § 84),
- des valeurs caractéristiques qui sont déduites des précédentes, qui intègrent la dispersion des résultats, et qui constituent des données de base pour les calculs de structure.

Le principe de calcul des valeurs caractéristiques (dans le cas présent de la masse volumique, du module d'élasticité longitudinal et de la contrainte de rupture en flexion) est détaillé dans la norme NF EN 384 (août 2004) : *Détermination des valeurs caractéristiques des propriétés mécaniques et de la masse volumique*.

Des extraits de cette norme correspondant à l'explication de la technique de calcul sont donnés en annexe 6.

Les valeurs caractéristiques du Pinus ont été établies suivant les principes définis dans cette norme :

Valeur caractéristique de la résistance en flexion	Valeur caractéristique du module d'élasticité longitudinal	Masse volumique caractéristique
$F_{m,k}$	$E_{0,05}$	ρ_k
53 N/mm ² (ou MPa)	7500 N/mm ² (ou MPa)	470 kg/m ³

Ces valeurs caractéristiques correspondent à une classe de résistance C24
(cf. tableau page suivante)

De ces grandeurs peuvent être déduites les valeurs caractéristiques suivantes :

$f_{t,0,k}$: valeur caractéristique de la résistance en traction longitudinale

$f_{c,0,k}$: valeur caractéristique de la résistance en compression longitudinale

$f_{v,k}$: valeur caractéristique de la résistance en cisaillement

$f_{t,90,k}$: valeur caractéristique de la résistance en traction perpendiculaire

$f_{c,90,k}$: valeur caractéristique de la résistance en compression perpendiculaire

en utilisant les équations données dans la norme NF EN 384 :

$$f_{t,0,k} = 0,6 f_{m,k}$$

$$f_{c,0,k} = 5 (f_{m,k})^{0,45}$$

$$f_{v,k} = 0,2 (f_{m,k})^{0,8}$$

$$f_{t,90,k} = 0,001 \rho_k$$

$$f_{c,90,k} = 0,015 \rho_k$$

		Peuplier et résineux uniquement								
		C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40
Propriétés de résistance, en N/mm²										
Flexion	$f_{m,k}$	14	16	18	22	24	27	30	35	40
Traction axiale	$f_{t,0,k}$	8	10	11	13	14	16	18	21	24
Traction transversale	$f_{t,90,k}$	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Compression axiale	$f_{c,0,k}$	16	17	18	20	21	22	23	25	26
Compression transversale	$f_{c,90,k}$	4,3	4,6	4,8	5,1	5,3	5,6	5,7	6,0	6,3
Cisaillement	$f_{v,k}$	1,7	1,8	2,0	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8
Propriétés de rigidité, en KN/mm²										
Propriété de rigidité en module moyen d'élasticité axial	$E_{0,mean}$	7	8	9	10	11	12	12	13	14
Module d'élasticité axial (au 5 ^e percentile)	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,7	7,47	8,0	8,0	8,7	9,4
Module moyen d'élasticité transversal	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,33	0,37	0,40	0,40	0,43	0,47
Module moyen de cisaillement	G_{mean}	0,44	0,50	0,56	0,63	0,69	0,75	0,75	0,81	0,88
Masse volumique, en kg/m³										
Masse volumique	ρ_k	290	310	320	340	350	370	380	400	420
Masse volumique moyenne	ρ_{mean}	350	370	380	410	420	450	460	480	500

84 – CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET MECANIQUES SUR EPROUVETTES SANS DEFAUT

841 – Résultats pour les huit caractéristiques

Les résultats obtenus sur les éprouvettes sans défaut pour les huit caractéristiques sont donnés par parcelle dans le tableau suivant (les données détaillées par billon sont fournies en annexe 7) :

Moyenne (écart-type)	Masse volumique (kg/m³)	Module d'élasticité longitudinal (MPa)	Dureté Monnin	Contrainte de rupture en compression (MPa)	Contrainte de rupture en flexion (MPa)	Retrait radial total (%)	Retrait tangential total (%)	PSF (%)
Caribaea Tango 75-010	665 (58)	10556 (1666)	4,0 (0,9)	45 (3)	90 (12)	4,8 (0,7)	7,7 (0,6)	28 (0,9)
Caribaea Tango 75-001	687 (61)	9390 (2266)	4,2 (1,0)	44 (6)	90 (10)	4,8 (0,8)	7,8 (0,6)	27,8 (0,7)
Caribaea Tango 76-030	688 (104)	11433 (3576)	4,4 (1,2)	47 (8)	93 (15)	4,8 (1,1)	7,7 (1,3)	28 (1,1)
Caribaea Col d'Amieu	684 (67)	11859 (2196)	4,4 (0,9)	51 (8)	100 (17)	4,5 (0,7)	8,1 (0,9)	27,7 (1,0)
Elliottii 1 Col d'Amieu	684 (52)	9564 (2618)	4,9 (1,0)	45 (6)	97 (14)	5,9 (1,2)	6,6 (0,4)	28,6 (1,4)
Elliottii 2 Col d'Amieu	704 (63)	9861 (2373)	4,8 (1,0)	44 (6)	101 (10)	6,1 (0,6)	7,1 (0,4)	28,8 (0,8)
TOTAL 6 parcelles	685 (68)	10424 (2602)	4,5 (1,0)	46 (6,5)	95 (14)	5,2 (1)	7,5 (0,9)	28,2 (1)

Commentaires :

Certaines propriétés comme la dureté, la contrainte de rupture en compression et le point de saturation des fibres apparaissent très homogènes avec très peu de variations entre parcelles.

* Le point de saturation du bois se situe légèrement en dessous de la moyenne de 30% ce qui révèle un bois qui n'est pas particulièrement nerveux, sous réserve qu'il soit séché correctement.

* On note en revanche une forte variation de l'anisotropie des retraits de séchage entre les parcelles, ($R_t - R_r$) variant de 0,7% (Elliottii 1) à 3,6% (Caribaea col d'Amieu).

* La masse volumique moyenne des bois issus de Elliottii 2 est significativement supérieure à celle des autres parcelles alors que son module d'élasticité est plus faible.

* Les différences observées entre parcelles pour les caractéristiques déterminées sur pièces en dimension d'emploi ne se retrouvent pas pour les caractéristiques sur éprouvettes sans défaut.

Ce phénomène met en évidence et confirme le fait que les deux types d'essais ont des significations très différentes : les essais sur petites éprouvettes permettent de qualifier le matériau tandis que ceux réalisés sur grandes pièces permettent de caractériser la structure que constitue intrinsèquement chaque avivé.

842 – Influence des infiltrations de résine sur certaines caractéristiques

L'analyse des défauts les plus pénalisants lors de la campagne de classement a mis en évidence l'influence des infiltrations de résine sur la qualité des bois.

Il est dans un premier temps nécessaire de faire clairement la différence entre :

- les infiltrations de résine, défaut le plus fréquent qui correspond à des zones de bois dont la structure semble avoir été modifiée, dont la coloration est beaucoup plus sombre que celle du bois normal (ocre à rouge), et qui sont « imbibées » de résine,
- les poches de résine qui correspondent à des traumatismes ponctuels du bois (équivalent à une blessure interne), qui sont souvent très localisées, et au niveau desquelles la résine s'écoule.

Les infiltrations de résine sont le plus souvent localisées au voisinage du cœur, éventuellement à proximité de nœuds « entrant » au niveau desquels elles se prolongent.

Aucune mesure comparative conventionnelle du taux de résine entre le bois « normal » et le bois « résineux » n'a été réalisée dans le cadre de la campagne de caractérisation.

Cependant, la simple pesée d'échantillons résineux avant et après passage à l'étuve à 103°C (étuve dessicante), passage durant lequel la résine a tendance à couler et à s'évacuer du bois, a montré que ce taux peut atteindre 20 voire 30% de la masse initiale du bois.

Il est nécessaire de rappeler les effets induits par les infiltrations de résine sur les opérations de transformation mécanique puis de mise en œuvre : encrassement des lames de scie et des outils d'usinage, durcissement du bois pouvant poser problème au clouage, problèmes d'adhérence des produits de finition, coulures après mise en œuvre ...

L'effet de la résine sur certaines caractéristiques du bois a été spécifiquement mis en évidence en effectuant des mesures sur des séries d'éprouvettes « jumelles » prélevées sur une même position radiale (donc le long d'une même tangentielle) de part et d'autre de la limite de bois résineux et de bois normal.

Un tel prélèvement sur une même tangentielle (donc à position radiale fixe) permet de s'affranchir des variations radiales de propriétés, variations qui sont les plus marquées à l'intérieur de la tige.

Le tableau ci-dessous présente les résultats obtenus sur 10 couples d'éprouvettes jumelles (une éprouvette « normale » et 1 éprouvette résineuse par couple) pour les mesures de masse volumique et de retraits linéaires transverses de séchage (retrait radial et retrait tangentiel).

N° éprouvette	Masse volumique (kg/m ³)		Retrait tangentiel (%)		Retrait radial (%)	
	bois normal	bois résineux	bois normal	bois résineux	bois normal	bois résineux
13.3.1	636	937	6,5	4,9	3,6	3,2
27.13.1	635	907	4,4	3,7	3,3	3,1
31.4.1	500	715	5,8	4,98	3,7	2,9
58.5.2	513	681	5,5	4,5	3,9	3,3
66.14.1	565	731	7,4	3,6	5,3	3,2
66.15.2	678	1009	7	4,9	5,8	4,4
75.3.2	710	1013	7,5	5,8	6,3	5,1
81.13.2	603	849	8,6	6,7	6,5	5,9
84.5.1	568	695	7,8	4,3	3,9	2,2
84.6.1	698	828	7,9	5,8	4,3	2,5

Le tableau met en évidence cet effet de la présence de la résine sur chacune des caractéristiques :

- La masse volumique augmente entre 20 et 50%

- Le retrait radial diminue entre 15 et 50%
- Le retrait tangentiel diminue entre 10 et 40%
- L'anisotropie de retrait ($R_t - R_r$) diminue systématiquement, de façon variable mais jusqu'à 80% pour certaines éprouvettes (la résine rend le bois localement plus homogène).

Indépendamment de l'effet négatif de la résine sur le comportement du bois lors de son usinage et de sa mise en œuvre, l'influence de cette résine pourrait être au premier abord considérée comme favorable au bois car induisant :

- une augmentation de la masse volumique,
- une diminution des retraits de séchage,
- une diminution de l'anisotropie de séchage.

Cependant, compte tenu de sa répartition très irrégulière dans la tige, elle constitue avant tout une source majeure d'hétérogénéité à l'intérieur du bois.

Cette hétérogénéité de caractéristiques est à l'origine de variations de comportement du bois à l'intérieur d'une même pièce, variations qui constituent un des facteurs d'instabilité des bois en générant des contraintes résiduelles (essentiellement de séchage) qui en se libérant occasionnent des déformations.

L'effet de la résine est très marqué pour les 3 caractéristiques présentées.

Il l'est beaucoup moins pour les caractéristiques mécaniques du bois d'où des « perturbations » dans les corrélations, normalement très élevées, entre la masse volumique et les caractéristiques mécaniques (notamment module d'élasticité longitudinal).

9 – CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les Référentiels Techniques constituent un des produits principaux de l'étude puisqu'ils reprennent de façon synthétique l'ensemble des résultats obtenus (séchage naturel, séchage artificiel, règles de classement, caractéristiques technologiques) avec un élargissement vers certains domaines (préservation) qui n'ont pas été abordés pendant la campagne mais qui restent d'un intérêt majeur pour le Pinus.

Ces référentiels doivent contribuer au développement et à l'amélioration de l'utilisation du Pinus dans tous les emplois où ses caractéristiques technologiques lui permettent de se positionner de façon satisfaisante face à des matériaux concurrents.

Ce document n'est pas figé et doit évoluer en intégrant toutes données et informations nouvelles visant à améliorer la connaissance de cette essence et renforcer son positionnement.

Il a fait jusqu'à présent l'objet d'un relatif consensus, dans la limite des acteurs qui se sont réellement impliqués dans l'opération.

Ce consensus doit maintenant s'élargir avec une appropriation du contenu de ces référentiels par les opérateurs de la filière qui sont restés jusqu'à présent en marge de l'étude (notamment les négociants-importateurs et les opérateurs de la seconde transformation).

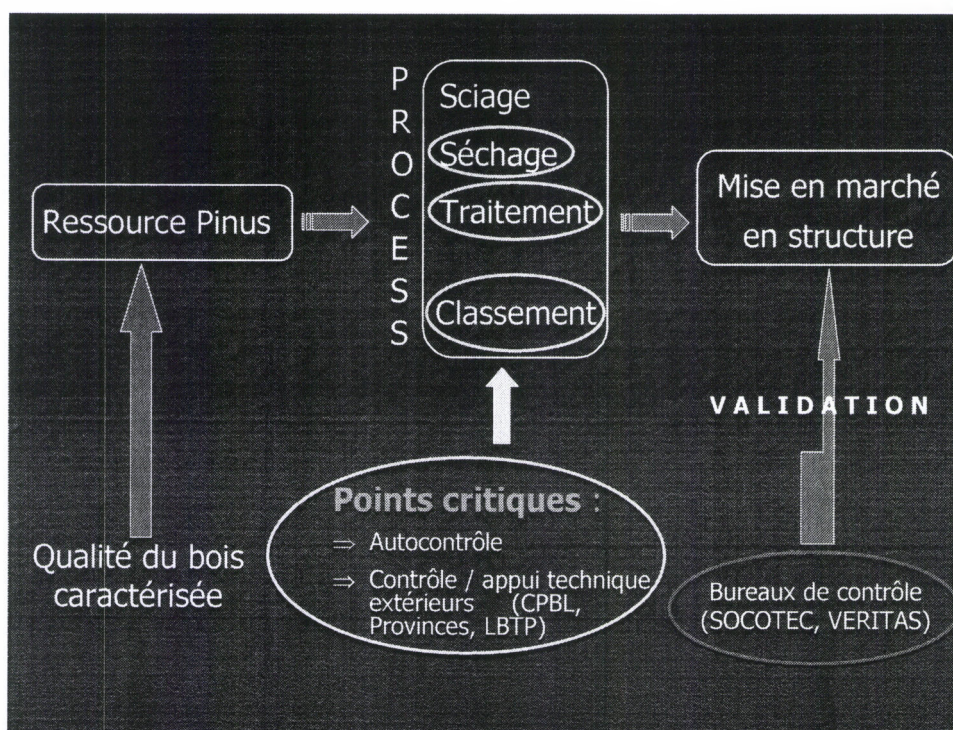
Il s'agit maintenant, autant que faire se peut, de mettre en application le contenu de ce document, notamment en matière de classement des sciages.

Cette mise en application passe par une formation des acteurs concernés de la filière.

Cette formation (ou plutôt information-formation) pourrait être organisée de façon groupée au sein des structures d'animation de la filière (Provinces, AICA-CPBL, ERPA) et/ou directement sur site dans les entreprises (possibilité de sites « tournants » entre plusieurs entreprises).

Au-delà de cette formation, la mise en application des référentiels techniques nécessite l'instauration d'un système de contrôle : contrôle par un organisme extérieur compétent mais neutre (en toute logique le CPBL) mais aussi auto-contrôle en entreprise, sachant que les bureaux de contrôle officiels (Veritas, Socotec) ont en toutes logiques un rôle clef à jouer dans la validation du processus.

Le schéma ci-dessous illustre les différentes phases du système et ses intervenants.



Par ailleurs sur un plan technique, il a été évoqué lors de la mission de novembre 2004 la nécessité d'engager une campagne de caractérisation sur les essences concurrentes du Pinus, principalement le Pin radiata et le Douglas, de façon à pouvoir positionner précisément chacune de ces essences les unes par rapport autres.

La seule et simple utilisation de références issues de la littérature n'est pas satisfaisante compte tenu du risque important de comparer des données et résultats d'essais non comparables car obtenus suivant des conditions expérimentales différentes.

Le CPBL est en mesure d'organiser ce type de campagne d'essai, en utilisant notamment le dispositif d'essais non-destructif acquis durant l'opération Pinus.

Tout le long de la campagne d'étude et de caractérisation, l'accent a été mis sur l'influence majeure de l'opération de séchage sur la qualité des produits.

Un simple séchage naturel des bois ne sera plus suffisant à court ou moyen terme.

Pour anticiper les éventuels investissements que pourraient engager certaines entreprises de la filière dans le domaine du séchage artificiel et pour préparer son rôle d'appui technique dans ce domaine, appui technique pour lequel il sera immanquablement sollicité, il serait judicieux que le CPBL s'équipe lui-même d'un séchoir de type artisanal ou semi-industriel (quelques m³ de capacité).

Un tel équipement permettrait de mener des essais et expérimentations en grandeur réelle dont les résultats pourront être directement transférés aux entreprises de la filière.

Bibliographie

AFNOR, 1995 : **Bois de structure – Détermination des valeurs caractéristiques des propriétés mécaniques et de la masse volumique**. Norme européenne NF EN 384, 13 pages.

AFNOR, 1999 : **Classement d'aspect des bois résineux – Partie 1 : épicéas, sapins, pins, et Douglas européens**. Norme européenne NF EN 1611-1, octobre 1999, 8 pages.

AFNOR, 1997 : **Méthode de mesure des singularités**. Norme européenne NF EN 1310, juin 1997, 21 pages.

AFNOR, 1998 : **Classement visuel pour l'emploi en structure des principales essences résineuses et feuillues**. Norme NF B52-001, décembre 1998, 14 pages.

Boone R.S., Chudnoff M., 1972 : **Compression wood formation and other characteristics of plantation-grown *Pinus caribaea***. Forest Service Research Paper, Institute of Tropical Forestry, Puerto Rico, n°ITF-13, 16pages.

CTFT, 1981 : **Compte rendu sur l'étude du *Pinus caribaea* de Nouvelle-Calédonie**. Rapport interne, Centre Technique Forestier Tropical, Nogent sur Marne, 32 pages.

Dessert A., 2004 : **Essais technologiques du *Pinus caribaea* en Province nord - 1^{ère} phase : abattage et sciage**. Rapport interne, DDEE, District Forestier de Koumac.

Gérard J., 2003 : **Etude des modalités de développement de l'utilisation et de la mise en marché des bois issus des peuplements de *Pinus caribaea* de Nouvelle-Calédonie**. Rapport d'étude, convention CIRAD-IAC-ERPA, 98 p.

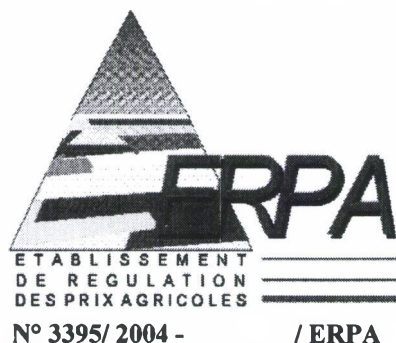
Gérard J., 2005 : **Mission d'appui technique pour la pré-définition de règles de classement visuel et de référentiels techniques des sciages et des bois ronds de *Pinus caribaea* et *Pinus elliottii* de Nouvelle-Calédonie**. Rapport de la mission effectuée en novembre 2004, convention ERPA, AICA, CIRAD, 27 pages + annexes.

Groupe de Coordination des Textes Techniques, 1984 : **Règles de calcul et de conception des charpentes en bois – Règles CB 71**. Editions Eyrolles, juin 1984, 181 pages.

Plumptre, 1984 : ***Pinus caribaea* – volume 2 : wood properties**. Tropical Forestry Paper n°17, Unit of Tropical Silviculture, Commonwealth Forestry Institute, University of Oxford, Grande-Bretagne.

STEP / EUROFORTEH, 1996 : **Structure en bois aux états limites – 1. Introduction à l'Eurocode 5 Matériaux et bases de calcul**. Editions Eyrolles, 350 pages.

Thörnqvist T., 1993 : **Juvenile wood in Coniferous trees**. Swedish Council for Building Research, Stockholom, Suède, 110 pages.



CONVENTION

RELATIVE AU FINANCEMENT D'UNE OPERATION DE PROMOTION DES BOIS DE PINUS DE NOUVELLE-CALÉDONIE.

ENTRE :

- **L'ETABLISSEMENT DE REGULATION DES PRIX AGRICOLES**, domicilié 5, av. Paul DOUMER, BP 3596 à NOUMEA, ci-après dénommé « **ERPA** », représenté par son directeur, M. Robert COSTA, d'une part
- **L'ASSOCIATION INTERPROVINCIALE DES CENTRES AGRICOLES**, domiciliée BP 37 98870 BOURAIL, ci-après dénommée « **AICA** », représentée par son Directeur, **Monsieur Alain HAURY**,

ET

- **LE CENTRE DE COOPERATION INTERNATIONALE EN RECHERCHE AGRONOMIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT, DEPARTEMENT DES FORÊTS**, domicilié Campus International de Baillarguet, TA 10/B, 34398 MONTPELLIER Cedex 5, ci-après dénommé « **CIRAD-Forêt** », représenté par son directeur, M. Jacques VALEIX, d'autre part

Vu la délibération n° 2004-17 du 20 janvier 2004 relative aux interventions de l'ERPA sur la filière bois.

IL EST CONVENU ET ARRETE CE QUI SUIIT :

Article 1: Objet

La présente convention fixe les conditions techniques, administratives et financières de :

- l'envoi au CIRAD-Forêt d'échantillons de bois de pinus caribaea et pinus elliotii en provenance des provinces Nord et Sud,
- la réalisation par le CIRAD-Forêt d'essais technologiques sur ces échantillons de bois, et l'organisation par le CIRAD-Forêt d'un stage de formation pour un agent de l'AICA/CPBL (M. Pascal TARMAN)
- la fourniture de matériel (dispositif de mesure par méthode vibratoire et ordinateur portable).

PREPARATION ET ENVOI DES ECHANTILLONS DE PINUS

Article 2: Engagements de l'AICA

L'AICA s'engage à veiller, dans la limite de ses compétences et pour ce qui la concerne, notamment avec les moyens humains et matériels du Centre de Promotion des Bois Locaux (C.P.B.L.) et en relation avec les services techniques forestiers des provinces Nord et Sud, au respect du protocole (*annexe 1 à la convention*) de prélèvement et préparation des échantillons de bois de *Pinus caribaea* et *Pinus elliotii* à envoyer au CIRAD-Forêt à Montpellier.

Article 3: Prise en charge du coût d'envoi des échantillons de pinus caribaea et elliotii

L'ERPA prendra en charge le coût du transport terrestre et maritime de ces échantillons de bois entre le lieu de stockage au CPBL (Port Laguerre) et le CIRAD-Forêt à Montpellier, dans la limite des crédits inscrits à cet effet, précisés à l'article 8 suivant.

ESSAIS TECHNOLOGIQUES SUR PINUS CARIBAEA ET PINUS ELLIOTII

Article 4: Engagements du CIRAD-Forêt

Le CIRAD-Forêt s'engage à respecter le protocole d'essais et à les mener à bien conformément aux termes de références annexés à la présente convention (*annexe 2*).

Article 5: Prise en charge du coût des essais technologiques

L'ERPA prendra en charge le coût des essais technologiques réalisés par le CIRAD-Forêt à Montpellier, tel que défini à l'article précédent, dans la limite des crédits inscrits à cet effet, précisés à l'article 8 suivant.

STAGE DE FORMATION ET FOURNITURE D'UN DISPOSITIF DE MESURE PAR METHODE VIBRATOIRE

Article 6: Engagements du CIRAD-Forêt

Le CIRAD-Forêt s'engage, conformément aux termes de références annexés à la présente convention (*annexe 3*), à organiser un stage de formation et fournir au stagiaire le matériel nécessaire à la mise en œuvre d'une méthode vibratoire de mesure du module d'élasticité longitudinal, facilement transférable en Nouvelle-Calédonie.

Article 7: Prise en charge du coût du stage de formation et du matériel vibratoire

L'ERPA prendra en charge le coût de la formation réalisée par le CIRAD-Forêt à Montpellier et du matériel tel que définis à l'article précédent, dans la limite des crédits inscrits à cet effet, précisés à l'article 8 suivant.

L'agent de l'AICA ayant suivi la formation au CIRAD-Forêt de Montpellier se chargera du rapatriement du matériel (dispositif de mesure par méthode vibratoire et ordinateur portable) en Nouvelle-Calédonie.

COÛT GLOBAL DES OPERATIONS PREVUES

Article 8: Coût de l'opération et répartition du financement

En ce qui concerne l'ERPA, la prise en charge du coût des opérations définies aux articles précédents est arrêté à un montant maximum de **trois millions neuf cent quatre vingt douze mille treize Francs CFP** (3.992.013 F CFP) se répartissant comme suit:

<u>1</u>	<u>Envoi des échantillons de pinus au CIRAD-Forêt Montpellier</u> - $7 \text{ m}^3 * 58.451 \text{ F.CFP} / \text{m}^3$ (Paiement au transitaire)	409.428 F CFP (3.431 euros)
<u>2</u>	<u>Essais technologiques réalisés par le CIRAD-Forêt et formation de M. P. TARMAN</u> - Technicien 5.900 euros * 2,5 mois - Ingénieur 7.500 euros * 1 mois	2.655.137 F CFP (22.250 euros)
<u>3</u>	<u>Fourniture par le CIRAD-Forêt du dispositif vibratoire et d'un ordinateur portable</u>	692.126 F CFP (5.800 euros)
<u>4</u>	<u>Taxes payables à l'importation sur le dispositif de mesure par méthode vibratoire et ordinateur portable (34%) (Paiement à l'AICA)</u>	235.322 F CFP (1.972 euros)
	INTERVENTION MAXIMALE DE L'ERPA:	3.992.013 F CFP (33.453 euros)

Equivalence euros/F CFP sur la base de 1 euro = 119,332 F CFP

Article 9: Modalités de paiement

Dans la limite des crédits inscrit à l'article 8 ci-dessus et sur présentation des factures acquittées, l'ERPA versera au transitaire responsable de cet envoi, le coût du transport des échantillons de bois de pinus entre Nouméa et le CIRAD Forêt de Montpellier.

Dès la signature de la convention, l'ERPA versera au CIRAD-Forêt une première enveloppe forfaitaire d'un million sept cent quatre vingt neuf mille neuf cent quatre vingt francs CFP (quinze mille euros).

La deuxième tranche de paiement par l'ERPA au CIRAD-Forêt, d'un montant maximal d'un million cinq cent cinquante set mille deux cent quatre vingt trois Francs CFP (treize mille cinquante euros), sera versée, dans la limite des montants inscrits au précédent article, sur fourniture du rapport de présentation des résultats des essais réalisés conformément aux termes de références annexés à la présente convention, d'un certificat de prise en charge par l'AICA du dispositif vibratoire et de l'ordinateur portable ainsi que des factures.

Dans la limite des crédits inscrit à l'article 8 ci-dessus et sur présentation des justificatifs de paiement, l'ERPA versera à l'AICA le montant des taxes acquittées lors de l'importation du dispositif de mesure par méthode vibratoire et ordinateur portable.

Article 10 : Durée

La présente convention s'applique pour une durée de huit mois à compter de sa date de signature.

Article 11 : Dispositions diverses

Tous les articles de la présente convention sont de rigueur. Elle pourra faire l'objet d'avenants.

Tout litige relatif à l'application de la présente convention sera du ressort du Tribunal compétent en la matière à Nouméa - Nouvelle Calédonie.

La présente convention est dispensée de frais de timbre et d'enregistrement.

FAIT à NOUMEA,

, en 5 exemplaires originaux

Le directeur de l'AICA

Pour le Directeur du CIRAD-Forêts,
le représentant du CIRAD en Nouvelle-Calédonie,
Directeur de l'Institut Agronomique Calédonien

Alain HAURY

Thierry MENNESSON

Le directeur de l'E.R.P.A.

Robert COSTA

TERMES DE REFERENCE
Préparation et envoi des échantillons de *Pinus caribaea* et *P. elliottii*
au Cirad-Montpellier

1. Identification et marquage des arbres :

- Désignation de 12 *pinus caribaea* sur une parcelle du Col d'Amieu et de 24 *pinus elliottii* sur 2 parcelles du Col d'Amieu, tous d'un diamètre supérieur à 35 cm ou 1,10 m de circonférence sur écorce pour la bille de pied relevé à 1,30 m du sol.
- Une procédure de désignation adaptée aux bois issus du Plateau de Tango sera élaborée par le service compétent de la province concernée.

2. Abattage des pins, numérotage de la tige :

- Un numéro sera apposé au gros bout de chaque grume à l'aide d'un marqueur indélébile,
- Débardage et entreposage sur plate-forme.
- Billonnage des grumes à 2,5 m (ou 2 m pour les surbilles) avec identification de chaque billon, par report du numéro de la grume à l'aide d'un marqueur indélébile, et ajout d'un numéro de positionnement du billon au sein même de celle-ci, en commençant la numérotation par le pied, ex: 51-1, 51-2 etc... et relevé des diamètres "**sur et sous**" écorce aux **deux** extrémités de chaque billon. Calcul des volumes de chaque arbre et de l'ensemble du lot.
- Transport rapide des billons à la scierie dans les 48 heures maximum suivant l'abattage. Sinon, les parties tronçonnées et blessées devront être traitées avec une solution de préservation insecticide et fongicide.

Cette intervention sera réalisée par la scierie avec l'aide du CPBL pour le numérotage, le relevé des diamètres des grumes, les cubages et le traitement de préservation si celui-ci s'avère nécessaire.

3. Sciage des billons :

- Cette opération devra être réalisée dès la réception des grumes à la scierie.
- Les épaisseurs retenues pour les sciages sont de 75 mm, 55 mm et 30 mm. Par ailleurs, les largeurs seront comprises entre 5,5 – 7,5 – 10,5 – 12,5 – 15,5 et 20,5.
- Les plateaux centraux nécessaires aux essais technologiques seront pris dans la bille de pied, non délinés mais simplement écorcés, ils feront 55 mm d'épaisseur.
- Le cubage des avivés sera relevé sur chaque billon dès la tombée de la scie afin de pouvoir établir les rendements par arbre et sur l'ensemble des sciages.

Le sciage sera réalisé par la scierie.

Les cubages seront relevés par le CPBL.

L'écorçage des plateaux centraux réservés pour l'étude sera réalisé par le CPBL.

4. Nettoyage, empilage et trempage des plateaux destinés aux essais :

- Le nettoyage des plateaux est rendu nécessaire par le fait que des amalgames de sciures ne permettront pas une bonne application de la solution de préservation insecticide et fongicide, les piles seront constituées dès la fin des sciages, le trempage se fera dès la fin de l'empilage.

Les opérations de nettoyage des plateaux et de constitution des piles seront réalisées par le CPBL, le trempage par la scierie.

5. Relevé de l'humidité initiale de chaque avivé témoin :

- Deux méthodes seront utilisées :
 - à l'aide d'un humidimètre,

- par pesage et étuvage d'échantillons de bois prélevés sur des avivés (petits cubes de 3 à 5 cm de coté) retenus pour le test de séchage.

Cette opération sera réalisée par le CPBL dès la fin des sciages.

6. Constitution des piles de séchage :

- Calibrage et façonnage des épingles (avec la réalisation d'une encoche au-dessus des avivés témoins - croquis en annexe).
- Pesée des avivés témoins dès l'enlèvement des échantillons et avant la mise en pile (une balance se trouve au CPBL).
- Constitution des piles en ayant soin d'aligner verticalement les épingles avec un espacement entre épingles de 40 cm environ.
- Empattement au sol de 1 m x 2,50 ou 2 m et 0,6 ou 0,8 mètre de hauteur.
- Positionnement judicieux des avivés témoins dans la pile (croquis ci-joint) puisqu'ils devront être régulièrement manipulés pour les pesées.
- Le cerclage des piles sera réalisé avec soins et bien tendu.

Ces opérations seront réalisées par le CPBL sur le site de la scierie qui mettra sa cerceuse à disposition.

7. Traitement des avivés et livraison des piles :

- Trempage de préservation des avivés à l'aide d'un produit fongicide, insecticide et anti-bleu destiné au traitement temporaire des avivés. La livraison des piles s'effectuera au plus tôt, dès la fin du traitement dans les installations du CPBL de Port Laguerre.

Cette opération sera confiée à la scierie.

8. Mise en place du chantier de séchage dans les installations du CPBL :

- Dès l'arrivée au CPBL, les piles de plateaux centraux destinées à être expédiées au CIRAD FORET de Montpellier seront remisées, bien protégées, sous le hangar.
- Les autres piles d'avivés destinées aux tests de séchage seront partagées en deux lots pratiquement identiques.
 - ↪ Une moitié sera positionnée sous le hangar, à l'abri du soleil et des intempéries,
 - ↪ L'autre moitié placée en extérieur, uniquement protégée du soleil et des intempéries par des tôles posées dessus.
- Certaines piles seront lestées avec des agglomérés de béton (200 kg par pile) afin de vérifier l'efficacité de cette méthode pour limiter la déformation des avivés.

Cette opération sera réalisée par le CPBL.

9. Séchage des échantillons et détermination de l'HI :

- Séchage à l'étuve des échantillons et détermination du taux d'humidité initial.
- Cette opération sera confiée au CPBL, qui devra prendre l'attache du laboratoire d'analyses agroalimentaires de Port Laguerre pour le séchage en étuve.*

10. Contrôle du séchage et constat de fin de séchage :

- Le calendrier des dates de pesées sera arrêté et joint en annexe.
- Les pesées des avivés témoins seront hebdomadaires jusqu'à observation de la stabilisation des poids. Elles tiendront compte du calendrier établi.
- La fin du séchage sera déterminée par l'observation des relevés de pesées et la stabilisation des poids permettra d'en définir la date.

Les pesées seront effectuées par le CPBL et, à chaque fois, un double des relevés sera transmis au service forestier afin de sauvegarder les données.

La date finale de séchage sera arrêtée par les partenaires de cette étude, CPBL, PVF-DDR et SF-DDEE.

11. Expédition des plateaux centraux à destination du CIRAD FORET de Montpellier pour suite de l'étude technologique.

Avec l'aide du CPBL pour le conditionnement et la livraison au port de Nouméa, l'ERPA sera chargé de l'expédition au CIRAD FORET de Montpellier des avivés nécessaires à l'étude technologique.

12. Ouverture des piles, classement visuel des avivés et établissement de règles :

- Observation des déformations des avivés (gauchissement, bombage transversal, flexion longitudinale, gerces ou fêlures, poches de résine, etc).
- Observation du positionnement des avivés défectueux dans le billon, situation de celui-ci dans la grume, aubier ou cœur.
- Etablissement de règles simples et réalistes de classement visuel des avivés s'inspirant des normes CTBA.

Ces opérations seront réalisées conjointement par le CPBL, la DDR, et la DDEE avec le soutien attendu d'un missionnaire du Cirad-Forêt qui formerait au préalable les intervenants, en scierie et chez les négociants, à ce type de classement, et assurerait la mise au point définitive et la rédaction des règles de classement

13. Relevé des données météorologiques :

- Données pluviométriques et des températures à la station météo de la DDR de Port Laguerre.
- Données hygrométriques à la station météo de Tontouta.

Ces données seront recueillies par le CPBL dès la fin du test de séchage auprès des services concernés, puis transmises à l'ERPA pour envoi au CIRAD FORET de Montpellier.

TERMES DE REFERENCE

Protocole d'essais technologiques sur les échantillons de Pinus au Cirad-Forêt de Montpellier

1 – CONTEXTE ET ENJEUX

Les essais technologiques réalisés jusqu'à présent sur les Pinus calédoniens ont essentiellement concerné des bois jeunes dont les propriétés sont très différentes de celles de bois adultes. Ainsi, les essais de qualification physico-mécanique réalisés au Centre Technique Forestier Tropical (Nogent sur Marne) en 1981 ont été conduits sur des arbres de 6 ans : les résultats obtenus (les seuls disponibles aujourd'hui) ne sont en aucun cas représentatifs de la valeur technologique réelle de la ressource actuellement exploitée ou qui le sera dans les années à venir.

Aujourd'hui, les utilisateurs de Pinus de Nouvelle-Calédonie ne disposent donc d'aucune référence technique sur lesquelles ils peuvent s'appuyer, ceci au détriment de l'emploi de cette essence et des possibilités d'extension de sa valorisation.

2 – OBJECTIFS DES ESSAIS

Les essais qui seront menés sur un échantillonnage représentatif de Pinus calédonien (*Pinus caribaea* et *Pinus elliotii*) permettront de qualifier précisément ces bois, de comparer leurs caractéristiques à celles d'essences concurrentes importées, et de répondre aux besoins d'informations exprimés par les opérateurs de la filière aval (transformateurs, revendeurs, constructeurs, prescripteurs).

Les résultats obtenus présenteront un double intérêt technique et commercial :

- * Sur un plan technique, la connaissance des contraintes caractéristiques des bois est nécessaire pour alimenter les codes de calcul utilisés pour les emplois en structure.

- * Sur un plan commercial, la connaissance précise des caractéristiques technologiques du Pinus constituera une base argumentaire indispensable pour sa promotion, pour préciser son positionnement par rapport aux résineux importés, et pour le développement de son utilisation.

3 - ORGANISATION DES OPERATIONS

31 – Réception des bois

Les plateaux de cœur prélevés conformément au plan d'échantillonnage défini conjointement par les partenaires en présence (cf. annexe I) seront réceptionnés au Cirad-Forêt à Montpellier.

Pour chaque plateau, les caractéristiques suivantes seront mesurées ou relevées : poids, dimensions, forme générale, singularités de structure (fréquence et localisation).

Les sciages seront calibrés dans l'atelier de menuiserie du Cirad.

32 – Séchage artificiel

* Essais de séchage traditionnel (séchage à air chaud climatisé) dans un séchoir semi-industriel Cathild.

* Comparaison de trois tables de séchage différentes, pour chacune des deux espèces de Pinus : définition de la table la mieux adaptée (transfert en NC) et de la cinétique de séchage correspondante : vitesse de séchage et de stabilisation (conditions finales de stabilisation : 20°C et 65%HR).

* Comparaison du comportement au séchage des deux espèces de Pinus (pièces de bois d'épaisseurs identiques).

33 – Classement des bois

* A partir des relevés de singularités de structure (phase 31) et des éventuels défauts survenus durant le séchage, classement d'aspect des bois en utilisant comme référence les règles européennes en vigueur pour les Pins.

* Identification des défauts et singularités discriminants lors du classement.

* Première adaptation des règles de classements tenant compte de ces caractéristiques discriminantes afin d'élargir (si nécessaire) la gamme de choix à proposer pour le Pinus.

34 - Caractérisation physique et mécanique

Deux types d'essais seront réalisés :

- Essais mécaniques en dimension d'emploi pour déterminer les contraintes admissibles puis les contraintes caractéristiques nécessaires aux calculs de structure.
- Essais de caractérisation physico-mécanique sur petites éprouvettes pour déterminer les propriétés de référence du bois.

341 - Essais mécaniques en dimension d'emploi

Rappel : ces essais seront réalisés pour partie au Cirad-Forêt à Montpellier (1^{ère} phase), et pour partie en Nouvelle-Calédonie (2^{ème} phase). Le descriptif ci-dessous concerne les essais à Montpellier.

* Matériel utilisé : les plateaux diamétraux séchés et classés visuellement ; ces plateaux seront ensuite débités pour les essais de caractérisation physico-mécanique (cf. 342).

* Propriétés de base à déterminer :

- contrainte de rupture en flexion statique (σ),
- module d'élasticité longitudinal (E_L).

Ces deux propriétés sont deux caractéristiques de référence dans tous les calculs de structure.

* Equipements mis en œuvre

- contrainte de rupture en flexion statique : presse universelle,
- module d'élasticité longitudinal : dispositif vibratoire

* Qualification des bois et établissement de lois de passage de type $\sigma = f(E_L)$ permettant de relier la contrainte de rupture au module d'élasticité (pour essais à venir en NC).

342 - Essais de caractérisation physico-mécanique sur éprouvettes sans défaut

* Prélèvement des éprouvettes dans les plateaux diamétraux après les essais de rupture (protocole « bois de plantation » du Cirad-forêt) :

- traçage des éprouvettes (avec surcotes),
- débits des ébauches,
- usinage des éprouvettes d'essais,
- stabilisation des éprouvettes (pas de stabilisation des ébauches car les bois bruts auront été préalablement séchés).

* Propriétés à déterminer :

- densité,
- paramètres indicateurs du comportement du bois au séchage : retraits transverses (radial et tangentiel), Point de Saturation des Fibres (protocole Cirad),
- propriétés mécaniques de référence : contrainte de rupture en compression, contrainte de rupture en flexion, module d'élasticité longitudinal.

* A partir de l'analyse des résultats d'essais :

- qualification des bois et comparaison des espèces *caribaea* et *elliottii*,
- connaissance du niveau de maturité des bois testés (à partir de l'étude des profils radiaux de propriétés),
- influence des infiltrations de résine sur les propriétés du bois,
- mise en évidence d'éventuelles variations liées à l'origine des bois et leurs conditions de croissance (effet site, effet type, influence de la densité de plantation).

TERMES DE REFERENCE

Stage de formation de M. Pascal TARMAN au CIRAD-Forêt de Montpellier

1 – CONTEXTE

La réalisation d'essais de caractérisation technologique du Pinus néo-calédonien (*Pinus caribaea* et *Pinus elliotii*) est apparue nécessaire pour répondre aux besoins d'information des opérateurs de la filière aval et pour développer ses possibilités d'utilisation (cf. annexe 2). Ces essais auraient pu être entièrement pris en charge par le Programme Bois du Cirad-Forêt à Montpellier. Cependant, il est apparu judicieux qu'ils soient conduits en grande partie en Nouvelle-Calédonie et que le Cirad-Forêt intervienne en appui afin de favoriser un transfert de technologie depuis la métropole vers le territoire.

La formation de Pascal Tarman aux techniques de caractérisation des bois au Cirad-Forêt à Montpellier s'inscrit dans ce cadre.

2 - OBJECTIFS

* Formation à l'ensemble des techniques de caractérisation et de qualification des bois utilisées en routine au Cirad-forêt.

* Participation à la réalisation des essais programmés dans le cadre de la campagne de caractérisation du Pinus.

* Elargir la campagne d'essais initiée au Cirad-forêt à l'ensemble des bois débités lors des essais de sciage, après transfert en Nouvelle-Calédonie du dispositif vibratoire.

3 – CONTENU DE LA FORMATION ET ACTIVITES ASSOCIEES

31 - En collaboration avec l'équipe du Programme Bois, analyse des résultats (qualitatifs et quantitatifs) obtenus lors des premières opérations de la campagne de caractérisation initiée en Nouvelle-Calédonie (échantillonnage, sciage, séchage).

32 - Participation à la phase de classement des sciages :

- relevés et analyse de la distribution des singularités et défauts des bois,
- première adaptation des règles génériques de classement des Pins.

33 – Participation aux essais mécaniques en dimension d’emploi, à l’analyse des premiers résultats obtenus et **formation à l’utilisation du dispositif vibratoire** (le kit complet du dispositif vibratoire sera emporté en Nouvelle-Calédonie à la fin du séjour).

34 – Participation aux premiers essais de caractérisation physico-mécanique sur éprouvettes sans défaut (essais qui se prolongeront au-delà de la période de formation), à l’analyse des premiers résultats obtenus et **formation à l’utilisation des techniques de mesure correspondantes**.

35 – En collaboration avec l’équipe en place, **définition des besoins en petits équipements** pour le CPBL afin de mener à bien sur le territoire des tests et essais de contrôle sur les bois, Pinus et autre essences.

36 - En collaboration avec l’équipe en place, **établissement d’une première ébauche de référentiels techniques et définition de leur contenu**.

37 – Finalisation du protocole pour la 2^{ème} phase des essais à mener en Nouvelle-Calédonie

- * Essais mécaniques à l’aide du dispositif vibratoire
- * Classement des bois
- * Organisation de l’appui à distance du Cirad-forêt

Autres activités : participation à toutes sorties sur le terrain, visites d’entreprises et interventions extérieures au Cirad-forêt en fonction des opportunités qui se présenteront durant la période du séjour ; en particulier, visite du Carrefour International du Bois à Nantes (première semaine de juin).

Compte-rendu synthétique de la mission de M. Pascal Tarman au Cirad-Forêt (1^{er} juin – 8 juillet 2004)

Essais, mesures et expérimentations sur le Pinus

Avant séchage

- . Mesurage des plateaux entiers (3 dimensions)
- . Prélèvement d'un tronçon de 50cm côté « gros bout » pour les essais sur éprouvettes sans défaut
- . Mesurage largeur après prélèvement des tronçons
- . Pesée

Séchage en séchoir par lot de 24 plateaux

- . Après séchage, seconde pesée
- . Un lot était séché à l'arrivée de Pascal, les deux autres l'ont été ensuite.

Classement visuel des plateaux

- . Relevé systématique des défauts sur 2 faces
- . Attribution d'un choix à chaque plateau selon les règles européennes pour les résineux
- . Identification des défauts les plus pénalisants (critères majeurs à prendre en compte et à adapter pour les futures règles spécifiques Pinus).

Marquage des avivés à prélever (essais en grandes dimensions)

- . Par plateau, prélèvement de 2 avivés ; lors du marquage, élimination des défauts majeurs (essentiellement fentes centrales) → avivés de 2m de longueur et en toutes largeurs, avec une largeur minimum de 10cm nécessaire pour les essais de rupture en flexion (suivant la norme, portée = 18 fois la hauteur des pièces).
- . Les 2 avivés prélevés dans un plateau X sont marqués X_A et X_B.

Débit et usinage des avivés

- . Double dédossage des plateaux
- . Délignage → 2 avivés bruts
- . Dégauchissage → rabotage → éboutage
- . Les chutes centrales et périphériques sont récupérées pour des mesures d'humidité

Classement avivés

- . Relevé systématique des défauts sur 4 faces (2 faces principales, 2 rives)
- . Attribution d'un choix à chaque plateau selon les règles européennes pour les résineux (choix global pour chaque avivés)

. Identification des défauts les plus pénalisants (critères majeurs à prendre en compte et à adapter pour les futures règles spécifiques Pinus).

Détermination du module d'élasticité longitudinal en flexion (+ masse volumique et module de cisaillement) par méthode vibratoire sur les avivés

. Apprentissage du principe et du mode de fonctionnement du dispositif vibratoire

. Qualification des 142 avivés (+ 1 plateau laissé entier) :

- prise de dimensions au mm
- pesée au gramme
- mesure vibratoire : prise en compte de 4 pics (4 premières fréquences propres) pour tous les avivés.
- sur quelques pièces (dont le plateau 34 conservé entier et un avivé présentant une fracture interne), détermination du module d'élasticité en compression : seul le premier pic est à prendre en compte (module de Bernoulli), durée d'enregistrement : la plus basse (49ms).

* Compte tenu de l'absence de stabilisation complète des avivés en ambiance contrôlée avant essai, un facteur correctif d'humidité sera déterminé sur un petit lot d'avivés puis appliqué à l'ensemble des pièces testées, y compris en Nouvelle-Calédonie (correction à déterminer par mesures sur quelques pièces stabilisées successivement en ambiance contrôlée à 3 taux d'humidité différents).

Usinage des éprouvettes sans défaut

. Dégauchissage et rabotage des tronçons de 50cm jusqu'à les ramener à une épaisseur de 30mm, si possible centrée sur la moelle.

. Délignage et marquage → ébauches d'éprouvettes (= barreau) de 30x30mm de section ; leur numérotation reprend celle du plateau d'origine (X) + n° 1 à 9 d'un côté de la moelle et n° 11 à 19 de l'autre, numérotation croissante du cœur à la périphérie (éprouvettes X₁, X₂, ... et X₁₁, X₁₂ ...).

. A chacune des 2 extrémités de chaque barreau, prélèvement d'un tronçon de 1 cm d'épaisseur pour les mesures de retraits transverses de séchage (radial et tangentiel) et du point de saturation des fibres (= PSF).

. Les barreaux sont mis à stabiliser en enceinte climatisée (20° et 65% d'humidité).

. Après stabilisation, mise à dimension finale (rabotage) : 20x20x360mm

Détermination du module d'élasticité longitudinal en flexion (+ masse volumique et module de cisaillement) par méthode vibratoire sur les éprouvettes sans défaut

. Durant le séjour, qualification du premier tiers des éprouvettes (180) :

- prise de dimensions au 1/10 mm pour la section et au mm pour la longueur.
- pesée au décigramme
- mesure vibratoire¹ : prise en compte de 3 pics (3 premières fréquences propres) pour toutes les éprouvettes (le plus souvent, le 4^{ème} pic n'est pas visible contrairement aux essais sur avivés).

Autres essais mécaniques

. Participation aux essais de rupture en flexion et de dureté (indentation + mesure d'empreinte après numérisation) réalisés à l'aide d'une presse mécanique sur un premier lot d'éprouvettes préalablement testées par méthode vibratoire.

¹ Période d'enregistrement plus courte, *trigger* réglé à 5 au lieu de 10 pour les avivés

Retraits de séchage et PSF

Participation aux premières mesures pour la détermination des retraits transverses de séchage et du PSF :

- . saturation des éprouvettes en autoclave,
- . pesée,
- . prises de dimensions (capteur de déplacement) d'un premier lot d'éprouvettes à l'état saturé.

Autres essais présentés (hors Pinus)

Mesure des paramètres colorimétriques [L,a,b]

Durabilité naturelle

- . Essais de résistance aux champignons
- . Essais de résistance aux termites

Autres activités

* Visite du Carrefour International du Bois à Nantes (2 au 4 juin).

* Participation à la formation "Connaissance des bois tropicaux" organisée par le Programme Bois sur 4 demi-journées : J.M. Roda *Commerce international des bois tropicaux*, P. Détienne *Reconnaissance anatomique des bois*, J. Gérard *Propriétés physiques et mécaniques et diversité des bois*, M. Vernay *Bois tropicaux dans la construction* (8-9 juin).

* Visite de l'entreprise *Ebé Bois* (13 - Aubagne) et restitution sur le projet Pin d'Alep, visite de la menuiserie Dao (17 juin).

* Visite de l'entreprise BTM à Sète (*Bois Tropicaux du Midi*, importateur de grumes et sciages tropicaux et nord-américains) et de son unité de séchoir (5 juillet).

Définition de la suite des opérations en Nouvelle-Calédonie

Situation des bois à tester à Nouvelle-Calédonie

* Province Nord

- . 1000 avivés $\rightarrow \approx 19 \text{ m}^3$
- . dimensions :
 - L : 2,5m
 - section : 55mm x [$\approx 75 - 105 - 155 - 205 \text{ mm}$] + 125x125mm

* Province Sud

- . environ aussi 1000 avivés
- . dimensions :
 - L : 2,5m
 - section : 45mm x [$\approx 150 - 200 - 250 - 320 \text{ mm}$]

Les bois sont en séchage naturel : 18 piles pour les bois de Tango et 13 piles pour les bois du Col d'Amieu.

Pour la suite des opérations, l'unité de travail pourra être la pile (30 à 40 plateaux) : sur chaque pile est réalisée la série complète de mesures et essais.

Le classement sera fait sur les bois dégauchis et rabotés (pas de classement sur plateaux bruts comme à Montpellier).

Opérations à réaliser

- * Dégauchissage, rabotage et éboutage des avivés (L = 2,5m)
- * Classement des avivés (idem Montpellier) et relevés des défauts
- * Mesure de l'humidité des bois avant essai (humidimètre Gann à calibrer de façon similaire à celui de Montpellier)
- * Détermination du module d'élasticité longitudinal en flexion (+ masse volumique et module de cisaillement) par méthode vibratoire sur les avivés

Compte tenu de leur fort élancement, les avivés pourront être testées en l'état sans dédoubleage (en théorie, élancement > 10-12 pour avoir un résultat fiable) ; les pièces de 320mm devront être testées séparément ; en fonction des résultats obtenus (valeurs de module obtenues, qualité des spectres), on décidera ou non de réduire leur hauteur.

**Extraits de la norme NF EN 384 (août 2004) :
Détermination des valeurs caractéristiques des propriétés
mécaniques et de la masse volumique**

5.3.1 Détermination d'un échantillon à 5 % d'exclusion

Pour chaque échantillon, la valeur f_{05} à 5 % d'exclusion doit être déterminée à partir de l'équation :

$$f_{05} = f_r$$

f_r est obtenu en classant toutes les valeurs d'essais obtenues pour un échantillon par ordre croissant. La valeur à 5 % d'exclusion est la valeur d'essai pour laquelle 5 % des valeurs sont inférieures ou égales. Si cette valeur n'est pas une valeur d'essai réelle (autrement dit, si le nombre des valeurs d'essai n'est pas divisible par 20), l'interpolation entre les deux valeurs adjacentes est alors requise.

5.4 Propriétés de résistance

La valeur caractéristique de résistance f_k doit être calculée à partir de l'équation :

$$f_k = \bar{f}_{05} k_s k_y \quad \dots (4)$$

où :

$\bar{f}_{05}$ est la moyenne (en N/mm²) des valeurs corrigées à 5 % d'exclusion (f_{05}) pour chaque échantillon, pondérées suivant le nombre de pièces de chaque échantillon. Si la moyenne $\bar{f}_{05}$ est supérieure à 1,2 fois la valeur de f_{05} corrigée la plus faible pour un échantillon, il faut alors soit redéfinir la population de référence pour éliminer la valeur la plus faible, soit donner à $\bar{f}_{05}$ a valeur de 1,2 fois la plus faible des valeurs de f_{05} ;

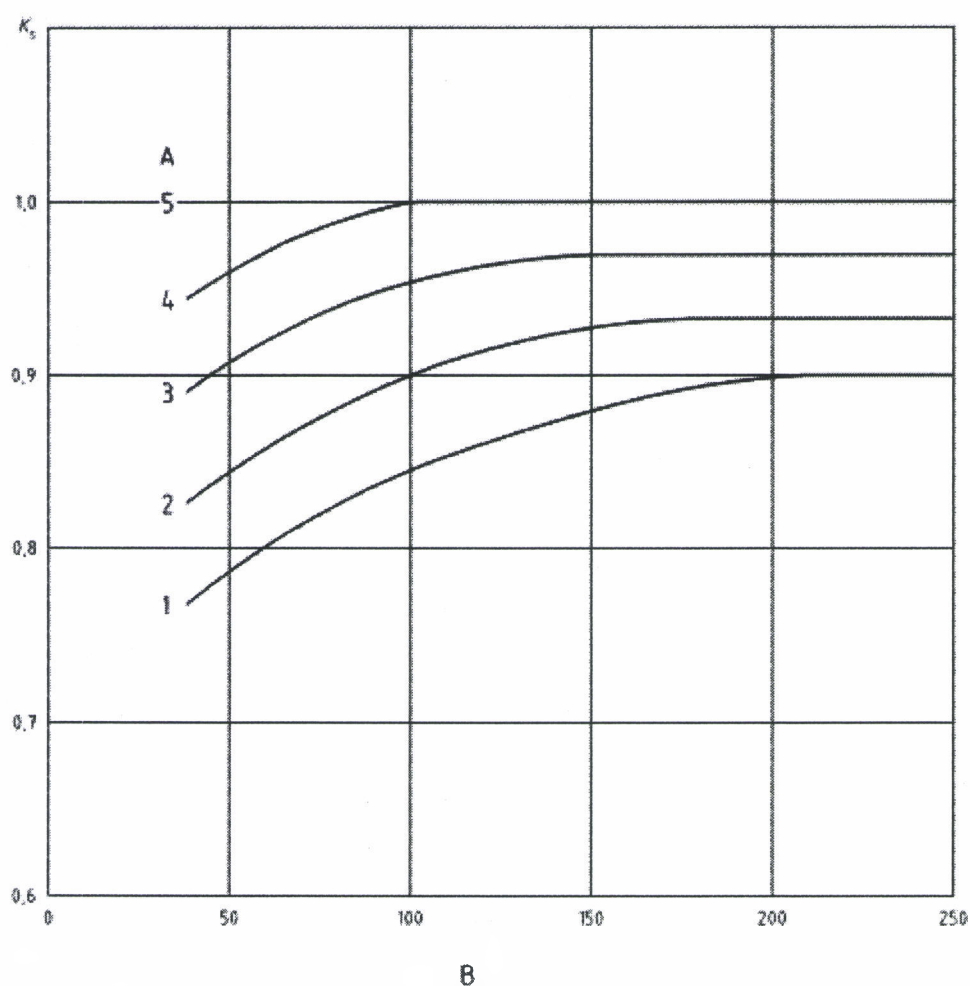
k_s est un coefficient qui permet la correction du nombre et de la dimension des échantillons et doit être déterminé à partir de la Figure 1 ;

k_y est un coefficient qui rend compte de la moindre variabilité des valeurs f_{05} entre les échantillons dans le cas du classement mécanique par rapport au classement visuel ;

$k_y = 1,0$ pour le classement mécanique lorsque f_{mk} est supérieure à 30 N/mm², et pour tous les classements visuels ;

$k_y = 1,12$ pour le classement mécanique lorsque f_{mk} est égale ou inférieure à 30 N/mm².

Les coefficients k_s et k_y ne doivent pas être utilisés pour calculer des valeurs caractéristiques de résistances au cisaillement, à la traction transversale et à la compression transversale.



Légende

A Nombre d'échantillons

B Nombre d'éprouvettes dans les plus petits échantillons

Figure 1 — Les effets du nombre d'échantillons et de leurs dimensions sur le coefficient k_s

5.5 Module d'élasticité

Après avoir ramené la valeur de E pour chaque échantillon (voir 5.3.2) aux conditions de référence (voir 5.3.4), la valeur caractéristique pour $E_{0,mean}$ doit être calculée à partir de l'équation :

$$E_{0,mean} = \frac{\sum E_j n_j}{\sum n_j} \quad \dots (5)$$

où :

n_j est le nombre d'éprouvettes dans l'échantillon j ;

E_j est la valeur moyenne du module d'élasticité pour l'échantillon j (en N/mm²).

6 Masse volumique

La masse volumique caractéristique doit être calculée à partir des mesures de la masse volumique d'échantillons prélevés comme décrit en 5.1.

Les mesures doivent être effectuées conformément à 6.1 de l'ISO 3131:1975. Dans le cas où la teneur en humidité est supérieure à 12 %, la masse volumique doit être diminuée de 0,5 % pour chaque variation de 1 % de teneur en humidité, et dans le cas où la teneur en humidité est inférieure à 12 %, la masse volumique doit être augmentée de 0,5 % pour chaque variation de 1 % de teneur en humidité. Cela repose sur l'hypothèse selon laquelle, à la fois, la masse et le volume sont mesurés à la teneur en humidité d'essai. La masse volumique à 5 % d'exclusion pour l'échantillon ρ_{05} doit être calculée à partir de l'équation :

$$\rho_{05} = \left(\bar{\rho} - 1,65s \right) \text{ kg/m}^3 \quad \dots (6)$$

où :

$\bar{\rho}$ et s sont respectivement la moyenne et l'écart-type des masses volumiques de toutes les éprouvettes l'échantillon (en kg/m^3).

Lorsque seulement une partie des éprouvettes fait l'objet d'essais jusqu'à la rupture, il est permis de déterminer la masse volumique de chacune des éprouvettes à partir de la masse et du volume de l'éprouvette entière et ajustée à la masse volumique du petit prisme sans défaut donnée dans l'ISO 3131:1975, en divisant par 1,05. Cette opération n'inclut pas d'ajustement en ce qui concerne la teneur en humidité, ce qui peut aussi s'avérer nécessaire.

La masse volumique caractéristique ρ_k doit être calculée à partir de l'équation :

$$\rho_k = \frac{\sum \rho_{05,j} n_j}{\sum n_j} \quad \dots (7)$$

où :

n_j est le nombre d'éprouvettes dans l'échantillon j ;

$\rho_{05,j}$ est la valeur de la masse volumique à 5 % d'exclusion pour l'échantillon j .

Caractéristiques déterminées sur éprouvettes sans défaut, par billon

Pinus caribaea

N° Billon	Masse volumique kg/m3	Module d'élasticité Mpa	Dureté Monnin	Contrainte de rupture en compression Mpa	Contrainte de rupture en flexion MPa	Retrait radial total %	Retrait tangential total %	PSF %
1	633	8637	4,1	41,5	71,3	5,0	7,4	27,7
2	657	12621	4,2	47,5	75,4	5,3	8,2	28,0
3	696	10183	5,4	41,8	108,2	4,7	8,3	28,2
4	626	10867	3,8	44,5	88,4	4,3	7,8	27,8
5	631	10054	3,7	43,1	94,1	4,1	7,3	26,6
6	803	9542	5,5	48,9	92,1	4,8	6,2	27,8
7	596	9321	3,1	43,3	75,1	3,8	7,5	27,5
8	656	11003	4,0	43,0	94,3	6,2	7,7	30,2
9	613	13074	3,2	47,6	96,7	4,6	8,2	28,2
10	737	7957	4,9	46,2	84,4	5,3	8,1	28,5
11	669	10368	2,8	39,5	89,9	4,7	7,7	28,9
12	666	13045	3,4	50,4	107,2			27,1
13	683	6532	4,5	44,2	103,2	6,0	6,9	27,4
14	745	11224	4,7	45,4	96,6	4,2	7,7	26,7
15	741	10002	2,9	42,6	85,1	4,4	7,7	27,7
16	628	7809	3,6	42,4	77,5	4,6	7,4	27,3
17	643	8472	4,3	41,4	97,1	5,8	8,0	28,6
18	659	9064	3,6	39,4	81,9	4,1	7,5	27,5
19	790	9406	5,0	54,0	87,6	4,7	8,2	28,5
20	660	7211	3,4	40,7	86,2	4,1	7,8	27,7
21	664	9609	5,6	42,6	83,8	4,7	7,6	28,5
22	747	15386	5,6	60,0	110,5	5,6	8,7	28,9
23	576	8842	2,8	39,3	87,6	3,9	6,8	26,8
24	711	9126	4,1	41,6	78,2	5,9	8,7	28,3
25	535	5950	2,8	36,1	84,4	3,9	6,8	27,9
26	855	15406	6,3	59,3	115,0	6,3	9,5	29,2
27	817	9850	6,1	42,2	76,6	4,9	7,0	27,8
28	645	13434	3,9	46,5	99,1	3,3	6,4	25,9
29	569	7801	3,8	38,3	87,8	4,9	6,7	28,1
30	631	10418	3,9	52,6	102,3			
31	727	15500	5,1	55,5	100,6	5,2	8,2	27,3
32	701	13275	4,6	51,9	93,9	4,6	7,7	27,7
33	818	17595	5,2	55,8	114,8	6,8	10,0	29,2
34	572	8891	2,7	41,7	89,1	3,9	6,7	27,2
35	707	8414	3,6	37,2	61,4	5,4	9,2	29,6
36	679	10667	4,4	45,8	87,5	3,8	6,4	27,8
50	795	9514	5,6	41,1	79,5	4,9	7,6	25,7
52	682	13179	4,2	54,8	101,8	4,8	8,8	28,1
53	757	10591	4,3	45,0	97,1	4,1	7,9	27,0
54	640	10854	3,5	48,6	87,5	3,4	8,7	27,6
55	658	11546	3,9	50,5	97,0	4,6	7,7	29,0
56	674	12193	4,5	54,0	108,0	4,3	8,3	27,5
57	653	12312	3,8	51,2	97,0	5,1	7,9	27,4
58	548	9448	3,0	40,1	76,3	3,7	7,7	28,2
59	659	12902	4,7	53,8	100,5	5,6	9,6	29,4
60	724	10614	6,0	50,3	124,8	4,4	6,1	26,9
61	731	17292	4,9	68,3	132,8	5,2	8,9	27,8
Moyenne :	681	10787	4,2	46,6	92,9	4,8	7,8	27,9
Ecart type :	73	2628	1,0	6,8	14,0	0,80	0,88	0,91
CV% :	10,7	24,4	22,8	14,6	15,0	16,8	11,3	3,3

Pinus elliottii

N° Billon	Masse volumique kg/m3	Module d'élasticité Mpa	Dureté Monnin	Contrainte de rupture en compression Mpa	Contrainte de rupture en flexion MPa	Retrait radial total %	Retrait tangential total %	PSF %
62	576	8493	2,9	42,0	79,2	3,2	5,7	25,4
63	766	15879	5,5	57,3	119,5	8,3	7,0	29,7
64	722	11618	5,6	49,9	107,4	6,5	6,5	28,4
65	661	10278	5,0	43,0	99,5	5,8	7,1	28,5
66	729	9080	5,6	50,0	99,3	6,3	6,2	28,5
67	688	11247	5,4	49,2	83,3	5,7	7,1	27,7
68	714	7024	5,3	43,1	74,9	6,6	6,7	29,0
69	629	6643	3,8	37,0	82,7	5,3	6,5	29,5
70	722	8620	6,7	42,5	113,5	6,7	7,0	30,9
71	646	6393	3,8	34,9	95,4	4,6	6,3	29,5
72	674	10293	4,7	42,2	108,4	5,5	6,6	28,3
73	676	9200	4,8	46,0	103,1	5,9	6,1	27,6
74	732	12664	5,9	52,7	118,8	6,9	7,7	29,3
75	736	10796	5,8	46,0	94,4	6,3	7,4	30,4
76	796	11984	5,7	52,5	102,9	6,4	7,3	28,3
77	738	13864	6,2	47,8	113,4	6,8	7,6	29,0
78	769	9304	5,3	47,0	105,2	6,6	7,0	28,0
79	690	11461	4,3	43,7	82,0	6,1	7,0	28,5
80	699	6438	4,3	36,1	101,3	5,5	7,1	29,2
81	651	8554	3,9	42,1	96,8	5,1	6,9	28,6
82	613	7844	3,7	37,5	93,9	5,8	6,8	29,1
83	745	9527	5,1	46,9	108,4	6,2	6,9	28,6
84	584	9511	3,2	40,3	94,4	5,0	6,4	27,3
85	696	6381	4,5	37,0	100,3	6,7	6,9	29,1
Moyenne :	694	9712	4,9	44,4	99,1	6,0	6,8	28,7
Ecart type :	57	2449	1,0	5,8	12,2	0,97	0,46	1,08
CV% :	8,2	25,2	19,8	13,0	12,3	16,2	6,8	3,8