Unité de Recherche Production et valorisation des bois tropicaux, Cirad
http://www.cirad.fr/ur/bois_tropicaux

Direction de la recherche et de la stratégie

UPR n° 40 *Bois tropicaux*

DOSSIER D'EVALUATION

Unité Propre de Recherche
Production et valorisation des bois tropicaux

Mai 2007

SOMMAIRE

I – PARTIE DESCRIPTIVE

1 - Dispositif géographique 4

2 - Evolution récente ou en cours du dispositif géographique 5

3 - Effectif actuel 5

4 - Evolution de l'Unité 6
41 - Evolutions des effectifs 7
42 - Mouvements de personnels 7

Annexe 1 : Historique succinct de l'UPR Bois tropicaux 10
Annexe 2 : Détail des ressources humaines, doctorants encadrés ou co-encadrées en 2007 .. 12
Annexe 3 : Chapitre « Bois » du rapport de la troisième revue externe du Cirad-Forêt 16

II – PARTIE ANALYTIQUE

1 - Politique et stratégie scientifique de l'unite propre de recherche 23
11 - Enjeux de développement et problématiques scientifiques 23
12 - Questions de recherche et hypothèses à tester 28

2 - Résultats bibliométriques 31

3 - Laboratoire de Recherche de Pariacabo 32
31 - Justification du positionnement de l'UPR Bois tropicaux en Guyane 32
32 - Les objectifs du laboratoire de recherche sur les bois de Guyane 33
33 - Des actions de recherche avec l'UMR Ecofog, et de valorisation & transfert au CTBG ... 33

4 - Durabilité et préservation des bois 43
41 - Contexte et justification des recherches 43
42 - Identification, extraction et analyse de l'effet biocide de métabolites secondaires d'espèces à durabilité naturelle élevée en vue de leur utilisation en tant que matière active de protection du bois - rôle de ces métabolites dans le phénomènes de duraminisation du bois 44
43 - Elaboration de composites bois à durée de vie améliorée 51
44 - Mise en place du système qualité 57

5 - Xylométrie et procédés innovants 60
51 - Contexte et justification des recherches 60
52 - Evaluation des performances des bois et produits dérivés par le développement de méthodes non invasives et/ou rapides 61
53 - Développement de procédés spécifiques de conditionnement ou de transformation des bois de plantation : traitement bi-oléothermique 76
54 - Analyse et modélisation de l'hétérogénéité des propriétés du bois dans l'arbre sur deux essences de référence (Eucalyptus et Teck) - analyse des relations génétique è environnement è qualité du bois è performances du produit final (cas spécifique du Teck) 80
55 - Développement de produits innovants au DPI&F – QFRI (Brisbane – Australie) 85

6 - Connaissance et mise en oeuvre des bois 87
61 - Amélioration des connaissances sur les bois tropicaux et méditerranéens 87
62 - Transformation, mise en œuvre et développement de l'utilisation des bois 94

7 - Economie sectorielle 103
71 - Réseaux d'entreprises et stratégies industrielles 103
72 - Allocation des ressources et développement durable de systèmes de production de bois tropicaux 108

8 - Autres productions, impact des recherches 116
81 - Enseignements et formations 116
82 - Partenariat scientifique 120
83 - Valorisation des résultats 124
84 - Positionnement scientifique 129
85 - Portefeuille de projets 132

9 - Projet d'avenir de l'unité propre de recherche 133
91 - Résumé du projet 133
92 - Contexte scientifique et démarche 134
93 - Programme des travaux 136
94 - Produits et résultats 141
95 - Valorisation 142
96 - Perspectives de positionnement 142

10 - Modes d'organisation et de fonctionnement de l'unité propre de recherche 144
10.1 - Management et animation collective 144
10.2 - Besoin en formation permanente 144
10.3 - Intégration Qualité-Sécurité-Environnement 145

11 - Synthèse de la partie analytique 147

ANNEXES
1 - Résumés de thèses
2 - Publications
3 - Programme des formations professionnelles
4 - Portefeuille de projets
5 - Formations suivies par les agents de l'Unité

1 – PARTIE DESCRIPTIVE

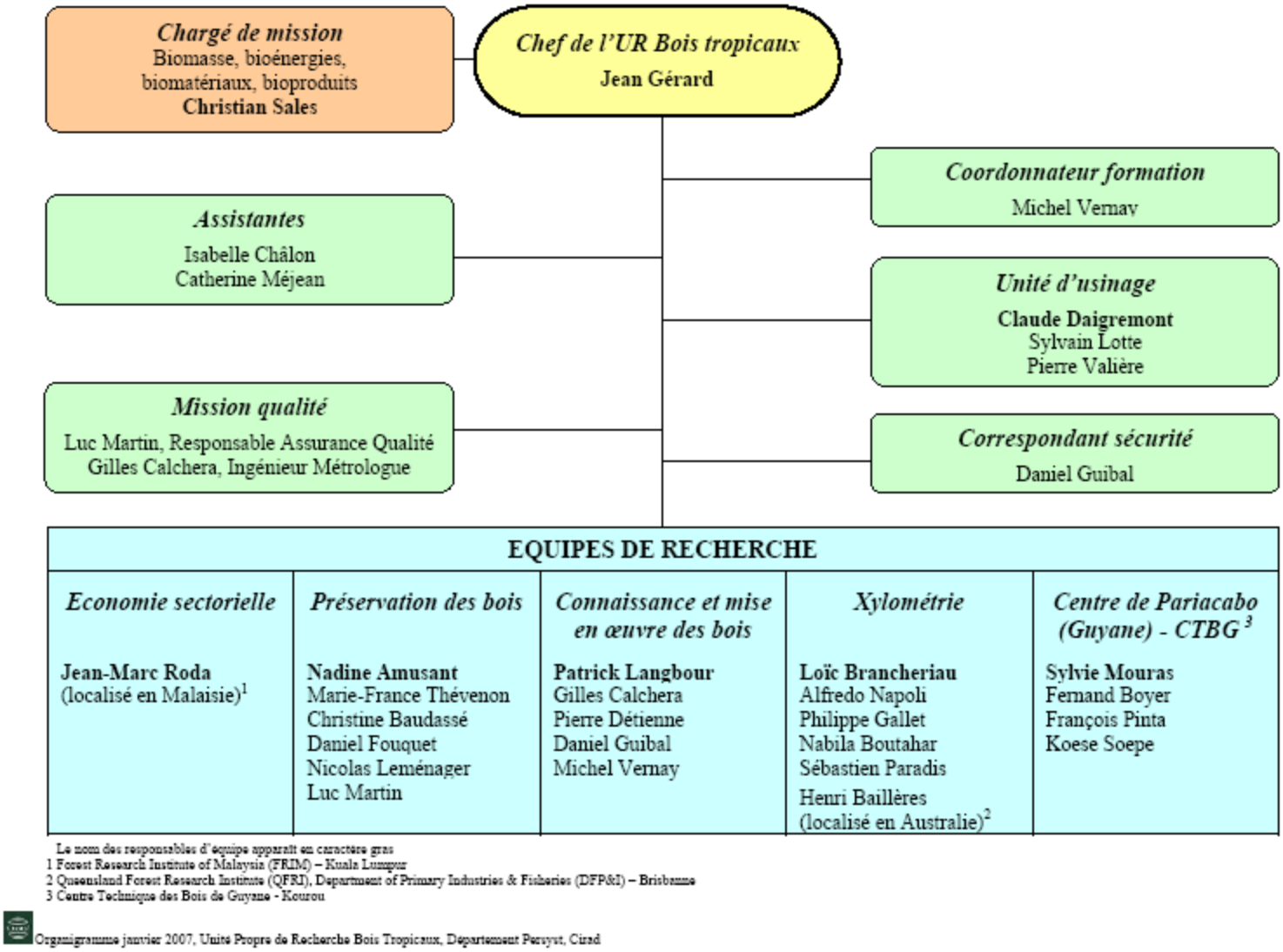
Unité Propre de Recherche ***Production et valorisation des bois tropicaux*** **(**UPR 40 ***Bois tropicaux*****)**

Département ***Performances des systèmes de production et de transformation tropicaux*** **(PERSYST)**

Responsable de l'Unité

Jean GERARD
CIRAD – Département PERSYST
TA B-40/16, 73 rue J.F. Breton
34398 Montpellier Cedex 5 (FRANCE)
téléphone fixe : + 33 4 67 61 65 16
fax : +33 4 67 61 57 25
mobile : +33 6 88 90 31 59
jean.gerard@cirad.fr

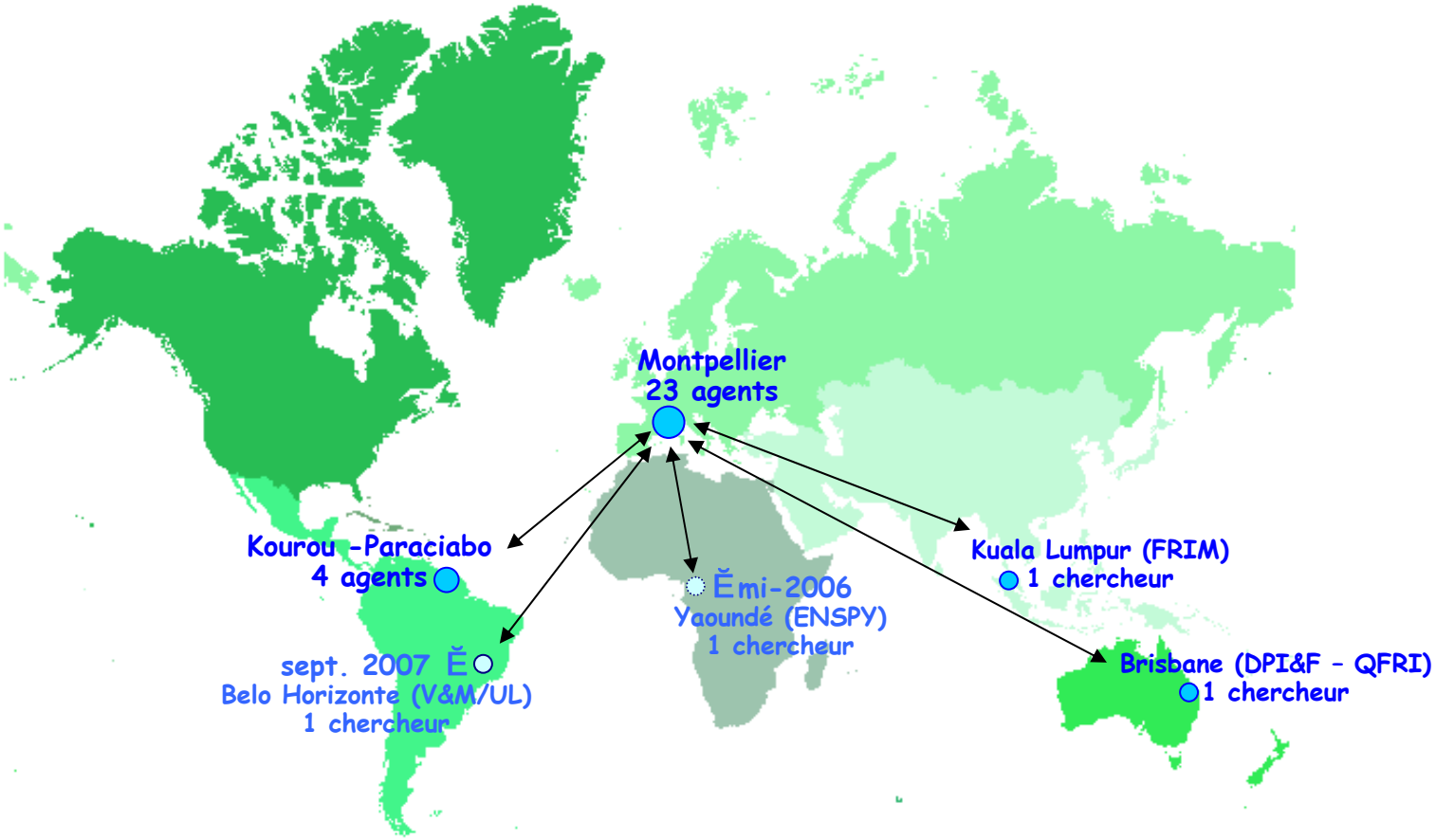
Organigramme de l'Unité



L'Unité est organisée en :
* Cinq équipes de recherche
* Une équipe d'appui (Unité d'usinage)
* Un chargé de mission *Biomasse, bioénergies, biomatériaux, bioproduits*
* Deux assistantes

Quatre agents affectés dans les équipes occupent simultanément une fonction spécifique :
- correspondant formation
- correspondant sécurité
- mission qualité

1 - Dispositif géographique



Le positionnement géographique actuel (avril 2007) de l'Unité est le suivant :
* Cirad-Montpellier : 23 agents dont 13 cadres
* Cirad-Guyane (Centre de Pariacabo) : 4 agents dont 2 cadres
* Malaisie (Kuala Lumpur) : 1 chercheur positionné au FRIM[1]
* Australie (Brisbane) : 1 chercheur positionné au DPI&F - QFRI[2]

[1] Forest Research Institute of Malaysia
[2] Department of Primary Industries & Fisheries - Queensland Forest Research Institute

2 - Evolution récente ou en cours du dispositif géographique

2006

Æ Patrick Langbour, localisé au Cameroun depuis 2004 au sein de l'ENSPY[3] (Yaoundé) pour des activités de formation, d'accompagnement technique d'opérateurs locaux (nationaux ou régionaux), et de recherche dans le domaine de la durabilité des bois et de l'économie sectorielle de la filière bois, s'est repositionné sur Montpellier en juillet 2006.

Æ Henri Baillères, responsable de l'équipe *Xylométrie* lorsqu'il était à Montpellier, est positionné au DPI&F – QFRI[4] (Brisbane - Australie) depuis mai 2006, pour une durée de 3 ans. Il pilote une équipe de recherche dans le domaine des systèmes de production, de l'amélioration de la qualité, et de la valorisation des bois d'œuvre de plantation, essentiellement feuillus (principalement Eucalyptus, Teck et Acajou dans un premier temps). Ces recherches s'inscrivent dans la continuation des travaux actuellement conduits par l'équipe *Xylométrie*.

Æ Jean-Marc Roda, chercheur en stratégie industrielle et organisation de la production des produits forestiers tropicaux, est positionné au FRIM[5] (Kuala Lumpur - Malaisie) depuis septembre 2006 pour une durée de 3 ans. Il est en charge du montage et de la réalisation de projets de Recherche & Valorisation concernant le développement d'analyses stratégiques de la gestion des systèmes de production en Asie du Sud-est, de leur organisation industrielle, et de leurs répercussions sur le reste du monde tropical.

Les travaux et les premiers résultats déjà obtenus par ces deux chercheurs récemment expatriés sont détaillés dans la partie 2.

2007

Durant le second semestre 2007, Alfredo Napoli, récemment affecté dans l'Unité (précédemment dans l'UPR *Biomasse Energie*) sera positionné au Brésil (Belo Horizonte) dans le cadre d'une double coopération avec le Groupe *Vallourec & Mannesmann* et l'Université de Lavras dans le domaine de la pyrolyse par une approche basée sur la compréhension des relations matière première x procédés de pyrolyse x produits finaux,

3 - Effectif actuel

Localisation	Equipes de recherche représentées	Nombre d'agents	Nombre de cadres	Nombre de non cadres	Nombre de personnes accueillies
Montpellier	3	23	13	10	1
Guyane	1	4	2	2	-
Australie	1	1	1	-	-
Malaisie	1	1	1	-	-
TOTAL		**29**	**17**	**12**	1

[3] Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé
[4] Department of Primary Industries & Fisheries - Queensland Forest Research Institute
[5] Forest Research Institute of Malaysia

4 - Evolution de l'Unité

L'UPR 40 *Bois tropicaux* a été officiellement créée en janvier 2005 dans le cadre de l'avant-dernière réforme du CIRAD.

Son projet scientifique a été validé en 2004 par la direction scientifique du CIRAD et l'on peut considérer que dès 2004, sa structuration et ses modalités de fonctionnement actuelles ont été entérinées et mises en application.

Comme convenu avec la Direction de la Recherche et de la Stratégie, les résultats présentés et cette première évaluation de l'Unité portent sur la période 2003-2006.

Un historique plus approfondi des activités Bois du CIRAD, précédemment du CTFT, est donné en annexe 1 de ce chapitre.

La dernière évaluation des activités « Bois » du CIRAD a été réalisée lors de la 3ème revue externe[6] du Cirad-Forêt (mars 1999 - janvier 2000). La partie des conclusions de cette revue relatives au Programme Bois est donnée en annexe 3 de ce chapitre.

L'UPR *Bois tropicaux* est issu du *Programme Bois* qui lors de la création des UR a été scindé en deux Unités :

- l'UPR 40 *Bois tropicaux* dont les thématiques de recherche couvrent des domaines relatifs aux bois d'œuvre / bois matériaux,
- l'UPR 42 *Biomasse Energie*

Lors de l'élaboration de la réforme du CIRAD qui a conduit à la mise en place des UR, il avait été initialement proposé par le Département Forêt que deux unités de recherche soient constituées sur les thématiques « bois d'œuvre / bois matériaux » :

UPR 40 *Systèmes de production et de valorisation des bois d'œuvre tropicaux*

UPR 41 *Durée de vie des bois et développement de traitements à faible impact environnemental*

Deux projets d'UR avaient été élaborés.

Lors de la validation définitive des Unités par la Direction Scientifique du CIRAD et afin d'en limiter le nombre, il a été décidé de regrouper les effectifs et les activités de ces deux UR (en projet) pour en constituer une seule, l'actuelle UPR 40 (d'où l'absence d'UPR n° 41 au CIRAD).

Ce regroupement est en cohérence avec la nature même des activités conduites et de la thématique générale « Bois matériau – bois d'œuvre » abordée.

[6] **Président de la Revue** : Bernard Delay (Directeur de recherche au CNRS, Directeur du Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive)
Membres : Didier Babinet (Président de l'Institut National du Bois), Daniel Guitard (Professeur à l'Université de Bordeaux I), Abdou S. Ouedraogo (Chef de la Division Forestière à l'*International Plant Genetic Resources Institute*), Bernard Saugier (Professeur à l'Université d'Orsay), Frantz Schmithüsen (Professeur au Polytechnicum de Zürich)
Secrétaire : Claude Freud (Chargé de mission à la Direction Scientifique du CIRAD)

41 - Evolutions des effectifs

Périodes	Nom de l'entité	Nom du responsable	Nombre d'agents*	Nombre de cadres*	Remarques
2003	Programme *Bois*	C. Sales	27	16	-
2004			28	16	-
2005	UPR *Bois tropicaux*	C. Sales (1er semestre) J. Gérard (2ème semestre)	28	17	-
2006		J. Gérard	27	16	dont 1 post-doc
2007			29	17	-

* : pour la période 2003-2004, agents relevants de la future UPR 40

Les listes des agents de l'Unité, des doctorants encadrés ou co-encadrés, des thèses soutenues sur la période d'évaluation sont données en annexe 2 de cette partie descriptive.

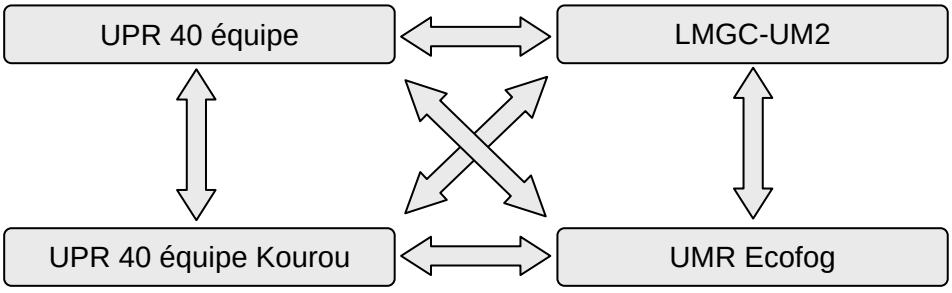
42 - Mouvements de personnels

Année	Mouvement	Nom	Date d'entrée	Localisation avant le mouvement	Localisation après le mouvement
2003	Passage contrat CDD CDI	Nicolas LEMENAGER	2002	Montpellier	Montpellier
	Recrutement après thèse (07-2003)	Nadine AMUSANT	2003	Guyane (en thèse)	Montpellier
	Recrutement	Luc MARTIN	2003	CIRAD (contrat d'apprentissage)	Montpellier
2004	Positionnement Guyane (02-2004)	Anne THIBAUT	1967 (1)	Montpellier	Guyane
	Positionnement Guyane (2) (02-2004)	Bernard THIBAUT	1994	Montpellier	Guyane
	Expatriation Cameroun (09-2004)	Patrick LANGBOUR	1996	Montpellier	Yaoundé
2005	Passage de l'équipe Energie à UPR 40	Isabelle CHALON	1997 (3)	Montpellier	Montpellier
	Recrutement (02-2005)	Nabila BOUTAHAR	2005	-	Montpellier
	Recrutement Post-doc (03-2005)	Santosh RATHI	2005	-	Montpellier
	Passage à DIR Forêt (07-2005)	Christian SALES	1997 (4)	Montpellier	Montpellier
2006	Passage à l'UPR 39 (02-2006)	Alba ZAREMSKI	1994	Montpellier	Montpellier

	Passage à l'UMR Ecofog (01-2006) (6)	Anne THIBAUT	1967 (1)	Guyane	Guyane
	Passage à l'UMR Ecofog (01-2006) (6)	Jacques BEAUCHENE	1996	Guyane	Guyane
	Affectation en Australie (05-2006)	Henri BAILLERES	1994	Montpellier	Brisbane
	Retour d'expatriation (08-2006)	Patrick LANGBOUR	1996	Yaoundé	Montpellier
	Fin Post-doc (09-2006)	Santosh RATHI	2005	Montpellier	-
	Affectation en Malaisie (09-2006)	Jean-Marc RODA	1999	Montpellier	Kuala Lumpur
2007	Affectation à l'UPR 40 (01-2007)	Christian SALES	1997 (4)	Montpellier	Montpellier
	Affectation à l'UPR 40 (02-2007)	Alfredo NAPOLI	1999	Montpellier (UPR 42)	Montpellier
	Affectation à l'UPR 40 (04-2007)	Philippe GALLET	1990 (5)	Montpellier (UPR 42)	Montpellier

(1) : entrée au Programme Bois en 1995 (2) : fin de la mise à disposition par le CNRS liée à l'expatriation en Guyane (3) : entrée au Programme Bois en 2000 (4) : précédemment au CTFT de 1972 à 1988 (5) : entrée à l'UPR 42 en 2005

(6) : Le passage de deux agents de l'équipe Guyane de l'UPR 40 vers l'UMR Ecofog s'est inscrit dans la logique des collaborations étroites engagées depuis sa création avec cette UMR. En Guyane, les relations privilégiées entretenues entre l'équipe Bois du site de Pariacabo et cette UMR relèvent des mêmes mécanismes que celles qui régissent les relations entre l'équipe montpelliéraine de l'UPR 40 et l'équipe Mécanique du Bois du LMGC[7] (UMR CNRS – Université de Montpellier 2)[8]. Ces relations scientifiques « guyano-guyanaises » renforcent l'accrochage scientifique local de l'UPR 40. De façon similaire à la situation montpelliéraine, ce partenariat se devait d'être formalisé, formalisation qui s'est traduite par l'intégration de ces deux chercheurs de l'équipe guyanaise dans l'UMR Ecofog dont Bernard Thibaut[9] est devenu Directeur en 2006. En pratique, ces deux chercheurs sont localisés dans le Laboratoire Bois de Pariacabo avec l'équipe guyanaise de l'UPR, assurant ainsi une cohérence de l'activité Bois en Guyane. Cette formalisation des relations UPR 40 – UMR Ecofog est déterminante pour assurer le renforcement du partenariat quadrangulaire :



[7] LMGC : Laboratoire de Mécanique et de Génie Civil

[8] Ce partenariat historique a été récemment formalisé grâce au nouveau positionnement de l'UPR 40 en tant qu'équipe associée du Département Mécanique et Génie Civil de l'UM2 dans lequel évolue le LMGC. A ce titre, l'UPR 40 est devenue officiellement laboratoire d'accueil pour l'école doctorale correspondante ce qui conforte son positionnement scientifique tant au niveau national qu'international.

[9] Simultanément Responsable de l'équipe Mécanique du Bois du LMGC et chef de Programme (1995-1997) puis conseiller scientifique et responsable d'équipe (1998-2004) au Programme Bois.

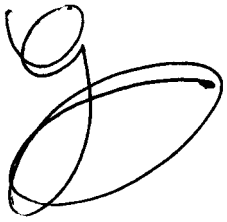
5 - Moyens financiers

Ressources annuelles

Origine des ressources	2003	2004	2005	2006
Ressources BCRD[10]	1 460 000	1 432 000	1 406 000	1 439 000
Ressources propres	544 000	654 000	550 000	626 000
TOTAL GENERAL	2 004 000	2 086 000	1 956 000	2 064 000

Le 7 mai 2007

Jean GERARD, Chef de l'UPR ***Bois tropicaux***



[10] *Budget Civil de Recherche et Développement*, devient SCSP (*Subvention pour Charges de Service Public*) à partir de 2007.

Historique succinct de l'UPR *Bois tropicaux*

Les activités de l'UPR 40 s'inscrivent dans le prolongement et la continuation des recherches en Sciences du Bois appliquées aux bois tropicaux initiées en France depuis 1929.[11]

Depuis cette date et jusqu'au début des années 60 marquées par la politique française de décolonisation, la structure dédiée à ces activités a conservé pendant toute cette période une mission et une démarche scientifique axée sur la connaissance des ressources ligneuses tropicales (avec une forte priorité donnée aux territoires sous contrôle français d'Afrique et d'Asie) dans le but d'alimenter l'industrie française en matière première répondant aux besoins de la filière bois nationale.

Au fil du temps, la structure a changé de nom, passant du *Laboratoire de recherche sur les bois coloniaux* au *Centre Technique Forestier Tropical* tout en gardant les mêmes objectifs et missions.

Cette histoire et la gestion attentive et rationnelle de son héritage amène le Cirad a détenir de nos jours la première base de données au monde sur les propriétés technologiques des bois tropicaux construite à partir de protocoles d'essais parfaitement contrôlés et fiables et non à partir de compilation de données bibliographiques hétérogènes et de fiabilité souvent douteuse comme peuvent l'être la plupart des références « concurrentes ».

La xylothèque et la base de données d'anatomie des bois que furent construites sur cette même période correspondent à la même démarche.

Les années 70 ont marqué un tournant décisif avec le développement économique de certains pays tropicaux, leur démographie galopante, la croissance exponentielle de la demande en bois des marchés locaux pour accompagner ce développement et l'émergence des filières de transformation en zones tropicales.

Cette évolution d'abord amorcée en Asie du sud-est, s'est étendue progressivement à l'Amérique du sud, plus particulièrement au Brésil où la filière bois a fortement tiré profit du défrichement et de la conquête des zones forestières par les activités agricoles (fronts pionniers).

L'Afrique a suivi beaucoup plus tardivement cette voie et l'émergence de filières locales organisées et d'un poids significatif remonte à la dernière décennie.

Peu avant la création du Cirad, le domaine des Sciences du Bois appliquées aux bois tropicaux avait déjà été amené à faire des choix stratégiques décisifs. Ce fut d'abord l'abandon du secteur de la chimie du bois et de la cellulose. Le développement des plantations tropicales à croissance rapide a limité l'intérêt des recherches spécifiques sur la fabrication de cellulose à partir de la forêt humide naturelle à structure hétérogène. Des organismes tels que l'Ecole de papeterie de Grenoble et le Centre Technique du Papier étaient alors en mesure de conduire de manière plus efficace les actions de R&D de ce secteur d'activité.

Progressivement, des domaines de recherche pour lesquels la spécificité tropicale n'était plus déterminante sont apparus d'un moindre enjeu stratégique : usinage, finition et collage, séchage. Simultanément, l'équipe engagée en chimie du bois s'est davantage tournée vers

[11] Les origines remontent même encore plus loin : elles sont liées à des dates historiques telles que le lancement en 1916 d'un important programme destiné à répondre aux besoins croissants de la France en bois tropicaux destinés à l'aviation, puis la création du service forestier colonial en 1923 et d'un laboratoire de recherche sur les bois coloniaux à Nogent sur Marne en 1924. La section technique forestière de Nogent, animée par des ingénieurs du carré colonial qui ne peuvent rejoindre l'outre-mer à cause de la guerre, constitue en fait l'ancêtre direct du CTFT.

un secteur émergent et stratégique pour les pays du sud, la production d'énergie à partir de la biomasse ligneuse.

Ainsi quand le Programme Bois s'est structuré au début des années 90, faisant suite à la Direction des Recherches Bois, il s'est organisé autour de quatre thématiques socio économiquement stratégiques pour les pays tropicaux forestiers. Ces thématiques s'appuyaient sur des démarches scientifiques pour lesquelles le domaine d'expérimentation offert par les bois tropicaux était d'un très haut niveau de pertinence :

* Connaissance des bois de forêts naturelles et développement d'outils permettant leur valorisation optimale

* Mise au point de méthodologies et d'outils spécifiques d'exploration rapide de la qualité des espèces à croissance rapide

* Méthodes de lutte contre les agents biologiques pathogènes des bois

* Développement des voies de traitement par pyrolyse du bois et des déchets ligneux pour répondre aux besoins énergétiques des populations du sud

L'importance stratégique de cette dernière thématique et l'extension de la démarche à l'ensemble des matières premières issues de la biomasse a conduit tout naturellement à la création de l'UPR 42.

A partir de 1998, il est très clairement apparu que les problématiques résultant de l'évolution attendue et souhaitée des filières bois en milieu tropical n'étaient plus réduites aux seuls domaines technologiques. L'organisation des filières et la structuration des réseaux commerciaux dirigés par les filières asiatiques conduisaient à se doter de compétences humaines et de méthodologies permettant d'affronter cette évolution à la fois soudaine et incontournable. Le projet scientifique de l'UPR 40 s'est inscrit dans ce contexte en forte évolution.

Détail des ressources humaines

17 cadres en CDI

Nom	Prénom	Doctorat ou HDR	Localisation
AMUSANT	Nadine	Docteur	Montpellier
MOURAS	Sylvie	Docteur	Guyane
THEVENON *	Marie-France	Docteur *	Montpellier
BAILLERES	Henri	Docteur	Australie
BRANCHERIAU *	Loïc	Docteur *	Montpellier
CALCHERA	Gilles		Montpellier
DAIGREMONT	Claude		Montpellier
DETIENNE	Pierre		Montpellier
FOUQUET	Daniel		Montpellier
GERARD	Jean	Docteur	Montpellier
LANGBOUR	Patrick	Docteur	Montpellier
MARTIN	Luc		Montpellier
NAPOLI	Alfredo	Docteur	Montpellier
PINTA	François	Docteur	Guyane
RODA	Jean-Marc	Docteur	Malaisie
SALES	Christian	HDR	Montpellier
VERNAY	Michel		Montpellier

*** : HDR en préparation**

10 agents de maîtrise ou collaborateurs en CDI

Nom	Prénom	Activités	Localisation
BAUDASSE	Christine	Laboratoire	Montpellier
BOUTAHAR	Nabila	Laboratoire	Montpellier
BOYER	Fernand	Expertises	Guyane
GALLET	Philippe	Electronique	Montpellier
GUIBAL	Daniel	Laboratoire	Montpellier
LEMENAGER	Nicolas	Laboratoire	Montpellier
LOTTE	Sylvain	Atelier/Formateur	Montpellier
PARADIS	Sébastien	Informatique	Montpellier
SOEPE	Koese	Atelier	Guyane
VALIERE	Pierre	Atelier	Montpellier

2 assistantes en CDI

Nom	Prénom	Activités	Localisation
MEJEAN	Catherine	Assistante	Montpellier
CHALON	Isabelle	Assistante	Montpellier

DOCTORANTS ENCADRES OU CO-ENCADREES EN 2007

France métropole & Europe

DLOUHA Jana (Tchéquie) : ***Déterminants structuraux et biomécaniques du comportement viscoélastique des bois tropicaux*.** 2006-2008. Collaboration Université Mendel d`Agriculture et Foresterie (Brno, Tchéquie) / LMGC-UM2 / CIRAD. [P. Langbour].

GORETTA Nathalie: ***Segmentation d'images hyper-spectrales par combinaison d'approches chimiométriques et spatiales***. 2004-2007. Collaboration UMR ITAP du CEMAGREF / CIRAD (Directeurs de thèse G. Rabatel – V. Bellon-Maurel, ITAP, participation UPR 40 à l'encadrement de la thèse). Ecole doctorale *Information - Structure – Système* (I2S). [H. Baillères].

LYON Florent : ***Amélioration de la durée de vie d'essences peu durables à l'aide d'un traitement combiné à base de borates et d'huiles***. 2004-2007. Collaboration LMGC / CIRAD. Ecole doctorale *Information - Structure – Système* (I2S). [MF Thévenon].

Guyane

ROYER Mariana : ***Molécules responsable de la stabilité des bois : cas des trois essences remarquables de Guyane***. 2005-2007. Co-Direction UMR Ecofog / UPR 40. Université Antilles-Guyane. [S. Mouras, J. Beauchêne].

Pays du sud ou émergents

BOBELE NIAMKE Florence (Côte d'Ivoire) : **Etude des mécanismes de durabilité naturelle mis en place chez le Teck**. 2006-2009. Collaboration CIRAD / Université de Cocody (Abidjan – Côte d'Ivoire). Thèse en alternance franco-ivoirienne (financement SCAC). [N. Amusant].

DA SILVA Renato (Brésil) : **Sélection de caractéristiques du bois appropriées pour l'amélioration de l'utilisation du bois d'Eucalyptus sous forme de charbon**. 2006-2008. Collaboration CIRAD / Université de Lavras (Brésil). Projet européen Alpha-Gema. [A. Napoli, H. Baillères].

DIKRALLAH Adil (Maroc) : ***Détection et caractérisation in situ des défauts du bois de cèdre (Cedrus atlantica) par des méthodes acoustiques et mécaniques***. 2003-2007. UFR *Sciences et Technologies du Bois*. Co-encadrement Université Mohamed V - Faculté des Sciences de Rabat / CIRAD. [L. Brancheriau].

EL HANBALI Fadwa (Maroc) : ***Valorisation d'insecticides phytochimiques issus de cinq espèces forestières marocaines***. 2004-2007. Collaboration CIRAD / Université des Sciences et Techniques de Mohammedia (Maroc). [N. Amusant].

FANG Changhua (Chine) : ***Etude du bois de Peuplier en vue de la valorisation pour le déroulage et le papier***. 2004-2007. Cotutelle Université d'Agriculture de Anhui (Hefei) / UMII-LMGC.Co-direction LMGC-UM2 / CIRAD. Ecole doctorale *Information Structure Système* (I2S). [J. Gérard].

ZAHRI Sophia (Maroc) : ***Mesure des durabilités naturelles et conférées du bois par l'utilisation de la Spectroscopie dans le Proche Infra Rouge***. 2005-2007. Collaboration CIRAD / Université de Pau et des Pays de l'Adour. Ecole doctorale *Ecole des sciences exactes et de leurs applications*. [H. Baillères, G. Chaix].

THESES SOUTENUES EN 2002

BRANCHERIAU Loïc : ***Expertise mécanique des sciages par analyses des vibrations dans le domaine acoustique***. 1999-2002. Université de la Méditerranée – Aix Marseille II – Ecole Supérieure de Mécanique de Marseille. Spécialité *Mécanique* option *Acoustique*. [H. Baillères]

KOKUTSE Adzo Dzifa (Togo) : ***Analyse de la qualité du bois de teck (Tectona grandis L.f) en plantation au Togo : formation de bois de cœur, propriétés mécaniques et***

durabilité. 1999-2002. Université Bordeaux I. Ecole doctorale de *Sciences Physique et de l'Ingénieur*, spécialité *Sciences du Bois*. Co-encadrement CIRAD - Programme Bois. [H. Baillères]

THESES SOUTENUES EN 2003

AMUSANT Nadine : ***Durabilité naturelle et couleur des bois de Guyane : mesure, variabilité et déterminisme chimique – Application à Dicorynia guianensis (Angélique), Sextonia rubra (Grignon), Eperua falcata (Wapa) et Eperua grandiflora (Wapa courbaril)***. 1999-2003. Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts, Spécialité *Sciences Forestières et du Bois*. Laboratoire du CIRAD et IRD Guyane. [J. Beauchêne].

BERARD Pierre : **Etude et optimisation d'un traitement oléo-thermique pour améliorer l'aspect et la durée de vie du produit**. 1999-2003 UM2-LMGC / CIRAD. Ecole doctorale *Mécanique des matériaux et des milieux complexes, des structures et des systèmes.* [B. Thibaut].

THESES SOUTENUES EN 2004

RANGSRI Wetchayan (Thaïlande) : ***Etude expérimentale et numérique de l'essai d'indentation du bois.*** 2001-2004. Cotutelle Université de Chiangmai / UM2-LMGC. Co-direction LMGC-UM2 / CIRAD. Ecole doctorale *Information Structure Système* (I2S). [B. Thibaut]

THESES SOUTENUES EN 2005

FARAJI Farshid (Iran) : ***Etude de la durabilité d'un composite multicouche en mélange de placages de durabilités variables***. 2003-2005. Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts, Spécialité Sciences Forestières et du Bois. Ecole doctorale *Ressources, procédés, produits, environnement*. [MF Thévenon].

MARTIN Patrick : ***Comportement en flexion de poutres lamellées clouées boulonnées***. 2002-2005. Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts, Spécialité *Sciences Forestières et du Bois*. Université Antilles-Guyane. Co-direction UMR Ecofog / UPR 40. [J. Beauchêne].

RODA Jean-Marc : ***Réseaux d'entreprises et stratégies industrielles dans les forêts tropicales***. 2001-2005. Université Paris7, UMR 7135 *Sociétés en développement dans l'espace et dans le temps*. Ecole doctorale *Economies, sociétés, espaces et civilisations*.

ZAREMSKI Alba **: *Les Aphyllophorales impliquées dans la dégradation du bois : caractérisation taxinomique, phylogénie et détection précoce des champignons dans le bois.*** 2001-2005. Université de Provence - Aix-Marseille I, Ecole doctorale *Biosciences de l'Environnement, Chimie et Santé.*

THESES SOUTENUES EN 2006

BREMAUD Iris : ***Diversité des bois utilisés ou utilisables en facture d'instruments de musique - Etude expérimentale des propriétés vibratoires en direction axiale de types de bois contrastés en majorité tropicaux - Relations à des déterminants de microstructure et de composition chimique secondaire.*** 2003-2006. Co-direction UM2-LMGC / CIRAD. Ecole doctorale *Information - Structure – Système* (I2S). [MF Thévenon].

DJENONTIN TINDO Sébastien (Bénin) : ***Etude de graines oléagineuses du Bénin – Caractérisation chimique – Fractionnement et activité termicide***. 2003-2006. Université de Montpellier II / Université d'Abomeu-Calavi (Directeur de thèse Daniel Pioch UMR GPEB - Participation UPR 40 à l'encadrement de la thèse sur la partie recherche d'activité termicide). [N. Amusant]

GRENIER David : ***Développement du procédé de bi-oléothermie pour les bois de construction : mesure et modélisation des transferts de matière et de chaleur lors***

des opérations de friture-séchage et de refroidissement-imprégantion. 2002-2006. Co-direction Cirad / Ecole des Mines d'Alès. Ecole doctorale *Biosciences, environnement et santé.* Université de Provence Aix-Marseille I. Bourse Cifre. [H. Baillères].

RUELLE Julien: ***Analyse de la diversité du bois de tension de 3 espèces d'angiospermes de forêt tropicale humide de Guyane***. 2004-2006. Université des Antilles et de la Guyane. Co-Direction UMR Ecofog / UPR 40. [J. Beauchêne, S. Mouras].

VINCENT Pierre: ***Etude expérimentale des couplages thermo-hygro-mécaniques du matériau bois dans une large plage de température, humidité et vitesse de sollicitation***. 2003-2006. Co-direction UM2-LMGC / CIRAD. Ecole doctorale *Information - Structure – Système* (I2S). [B. Thibaut]

Les résumés des thèses soutenues sont donnés en annexes générales du document

Chapitre « Bois » du rapport de la troisième revue externe du Cirad-Forêt (mars 1999 – janvier 2002)

4.3. BOIS

Le Programme Bois a vocation à assurer le transfert des connaissances scientifiques et technologiques vers les utilisateurs industriels potentiels de la filière Forêt-Bois, dans une perspective de développement. Ce programme est un outil privilégié en matière de Recherche & Développement (R&D).

Pour remplir ce rôle, le Programme Bois doit s'appuyer, en amont, sur les résultats des travaux conduit par des unités de recherche ayant une vocation plus marquée pour la Recherche Fondamentale et, d'autre part, s'appuyer en aval sur des liens étroits tissés avec le monde industriel, afin d'assurer le transfert de techniques et de méthodes.

Le Programme Bois est structuré en 5 thèmes. Cette structuration résulte de la réforme "Cirad 98" :

- Thème 1 : Développement des connaissances sur les bois de forêt naturelle et utilisation rationnelle de leur diversité.
- Thème 2: Qualité et valorisation des bois de plantation.
- Thème 3: Amélioration de la compétitivité des filières de première transformation et de conditionnement.
- Thème 4: Amélioration de la qualité et de la pérennité des ouvrages en bois.
- Thème 5: amélioration des performances des procédés thermochimiques appliqués au bois et aux déchets de la filière.

➢ **1)**Le thème 1

Il mobilise un effectif de 6 agents qui œuvrent sur deux sites (3 agents à Montpellier – 3 agents à Kourou).

Les taches essentielles de ce thème se résument en :

- la collecte de données sur les propriétés physiques et mécaniques des bois tropicaux, pour l'enrichissement qualitatif et quantitatif de la base de données existante;
- la modernisation, en informatisant le support de la base pour faciliter la consultation par les utilisateurs.

A noter que la palette des paramètres traditionnellement inventoriés est enrichie, notamment, par l'adjonction de caractéristiques colorimétriques.

L'accent est actuellement mis sur la connaissance des bois guyanais. Ce choix, conjoncturel, accompagne le développement de la collaboration des agents de Montpellier avec l'antenne de Kourou et la mise en place d'une action concertée avec Bélem (Brésil), qui prévoit, notamment, l'affectation prochaine d'un agent.

Le thème 1 semble privilégier son ancrage vers l'Amérique du sud au détriment momentané de la caractérisation des essences secondaires africaines. Sachant l'intérêt croissant des pays de l'Afrique de l'Ouest et de l'Afrique Centrale pour ces questions, le risque est grand de voir des partenaires potentiels rechercher des collaborations scientifiques ailleurs (Hollande, Angleterre, Canada,..)

➢ **2)** Le thème qui s'intéresse à la qualité et à la valorisation des bois de plantation (thème 2) concerne deux agents auxquels est associé un doctorant.

Il est axé sur deux projets :

(i) Modélisation des propriétés physico-mécaniques du bois dans l'arbre, compte tenu de données dendrométriques collectées sur la plante entière. L'essence cible est l'Eucalyptus du Congo. Des approches nouvelles portant sur l'analyse de la couleur visent à établir la liaison couleur-durabilité. Une collaboration est recherchée avec le CSIR, Afrique du Sud, l'Université du Natal à Durban et des opérateurs industriels (SAFCOL (plantations), SAPPI (papier), MONDI (sciage)).

(ii) Développement d'une méthode d'essais non destructifs (BING) basée sur l'analyse spectrale des vibrations des pièces de bois testées. L'originalité est de tenter d'appliquer la méthode aux bois ronds (poteaux ou perches). Ce travail est développé en collaboration avec un laboratoire universitaire, le LMA de Marseille.

L'orientation africaine des partenariats du thème 2 compense le déficit ressenti en ce domaine à propos du thème 1. Tenter de qualifier les éléments en bois rond par une méthode vibratoire n'est pas en soi tout a fait original (voir travaux de Hotlzmeister, Université de Sao Paulo, Brésil), ce qui est certainement plus original est d'envisager d'utiliser l'analyse du spectre fréquentiel pour accéder à la localisation et l'identification de singularités internes. Vu sous cet angle, il s'agit très certainement d'une étude à caractère fondamental qui doit être conduite en étroite collaboration avec un laboratoire universitaire mieux armé, tant sur le plan des moyens matériels d'investigation, que sur celui des compétences scientifiques pointues requises. En effet, le risque de non-aboutissement de l'étude dans un délai et avec des moyens raisonnables est grand. Un suivi de ce projet est en conséquence nécessaire pour prévenir en temps opportun un enlisement possible. En revanche, lorsque seront acquis les principes conduisant à une technique avérée, il sera parfaitement dans le rôle de l'équipe concernée du programme d'en assurer la transposition industrielle.

➢ **3)** Le thème 3 qui porte sur l'amélioration de la compétitivité des filières de première transformation et de conditionnement, concerne quatre agents basés à Montpellier et un agent basé à Yaoundé qui travaille sur les questions de présentation : qualification de produits, dans le cadre d'une habilitation normative, (accréditation EN 45001), identification des substances chimiques responsables de la durabilité naturelle des champignons lignivores

Dans le domaine de la production industrielle, il s'agit de proposer aux professionnels des aménagements organisationnels devant contribuer à l'amélioration des rendements de production pour les techniques de première transformation (sciage) et les procédés de traitement (séchage, imprégnation,...)

Ce thème réaffirme dans ses objectifs la tâche de répondre aux sollicitations émanant des entreprises installées en régions forestières tropicales. Il se positionne en prestataire de service du type ingénieur-conseil dans les domaines de la préservation, du séchage et

de la première transformation. Il est fait référence, à des partenariats en amont, en matière de recherche de base, et en aval, vers les industriels. Dans le temps imparti et à travers les documents disponibles, il n'est pas facile d'apprécier la qualité scientifique des travaux réalisés. Il s'agit certainement d'une bonne démarche d'ingénierie.

➢ **4)** Le thème 4 concerne l'amélioration de la qualité et de la pérennité des ouvrages en bois, trois agents contribuent au développement de ce thème dont les objectifs généraux sont tournés vers:

- la mise au point, le développement et la promotion de systèmes constructifs adaptés. La cible particulièrement visée est celle de la réalisation de logements bon marché incorporant du bois;
- la proposition et la promotion de plans d'entretien adaptés. La mise en place de tests de durabilité des finitions en milieu tropical est programmée.

Le thème contribue ainsi au développement du Centre Technique du Bois de Guyane (Cirad, DDE, DAF, Région Guyane), sous la forme d'une cellule d'appui au secteur du bâtiment et Industries de transformation (SIMKO).

La pertinence technique de l'appui aux professions est avérée. Les objectifs annoncés correspondent à des besoins des utilisateurs. En revanche, le caractère scientifique et l'originalité de la démarche spécifique à ce thème est difficile à cerner. De nombreuses interférences existent avec les actions d'autres thèmes du programme. La compétence spécifique pour ce thème ne semble pas être présente si on se réfère aux profils des recrutements. En l'état, la question doit être posée sur l'existence de ce thème et de l'insertion des actions au sein de certains des autres thèmes, notamment Thème 1 et Thème 3.

➢ **5)** Le thème 5 traite de l'amélioration des performances des procédés thermochimiques appliqués au bois et aux déchets de la filière.

Ce thème s'appuie sur quatre agents à Montpellier et un agent affecté au Cameroun, auxquels étaient associés en 98, trois doctorants.

Pour l'essentiel ce thème vise deux objectifs :

(i) Promouvoir la pyrolyse contrôlée sous pression, par rapport et en substitution à la meule classique. Le rendement en volume est double et la qualité du charbon produit par ce procédé est un meilleur absorbeur pour le traitement des eaux que les charbon de bois obtenus par la voie traditionnelle. D'autre part, la promotion de ces technologies est un appui au développement en ce qu'elle permet la transformation progressive d'activités artisanales du secteur informel en des PME, PMI .

(ii) Apporter un appui technique aux différentes professions de la filière, notamment dans l'objectif d'une industrialisation progressive du traitement des déchets de bois.

De l'avis des spécialistes, des acquis scientifiques fondamentaux existent en matière de valorisation énergétique et technologique des déchets de bois. Il est parfaitement

judicieux de mettre l'accent sur le transfert de ces résultats de la recherche vers les applications et le développement industriel.

En conclusion :

Au cours des quatre dernières années, le Programme Bois du Cirad-forêt a subi, comme l'ensemble du Cirad-forêt, des mutations imposées.

Suite au transfert de Nogent à Montpellier et aux départs naturels à la retraite, les équipes constitutives ont perdu près de la moitié de leurs effectifs en techniciens et cadres, c'est à dire perdu du savoir et du savoir-faire. Les restructurations successives, conséquences du transfert géographique et de la réforme du Cirad (98) font que les thèmes mis en place n'ont pas eu le temps d'adapter leur fonctionnement pour atteindre un régime optimal de croisière. Ces considérations sont de nature à très fortement relativiser les commentaires qui suivent.

Si une première conséquence des embauches de ces dernières années est un rajeunissement des personnels qui peut être jugé salutaire ; force est de constater que ces embauches n'ont pas encore permis de totalement retrouver le potentiel humain nécessaire, sur le plan scientifique, mais aussi sur le plan de la connaissance du tissu industriel. Un déficit en communication avec les professions et les industries est nettement ressenti.

Le recrutement de jeunes docteurs constituera, à coup sûr, un investissement à long terme, toutefois ces embauches ne combleront pas le manque de compétences en matière d'animation de la recherche (HDR) qui est décelable au sein de chacun des thèmes.

Il est utile d'encourager les cadres de recherche qui ont les aptitudes requises à présenter l'habilitation à Diriger des Recherches (HDR).

Le programme Bois doit affirmer sa vocation à travailler pour, et avec, les pays producteurs de bois tropicaux en vue de contribuer à la valorisation sur place de la ressource forestière dans le contexte d'une gestion durable et une exploitation intégrée du patrimoine forestier. La qualification technologique des bois tropicaux, (à titre gracieux), au seul profit des importateurs ou transformateurs français, ne constitue plus de nos jours un objectif scientifique recevable.

Les documents disponibles ne permettent pas de connaître la qualification de chaque agent, notamment le niveau reconnu en matière d'aptitude à la recherche et au management de la recherche : docteur (habilité ou non à diriger les recherches), ingénieur, technicien supérieur, agent de maîtrise. L'affichage de telles compétences est de nature à faciliter l'appréciation de la production scientifique des équipes concernées, et constitue un élément important de pilotage.

Le programme Bois accueille de nombreux stagiaires (techniciens, ingénieurs, doctorants) et contribue ainsi à une formation pratique tant sur le plan technique que sur celui de la recherche.

Il convient de noter que le volume de ces activités, notamment en ce qui concerne l'accueil des doctorants en cours de thèse, est actuellement important. Ceci tient pour une grande part aux liens privilégiés judicieusement noués avec l'équipe Bois du

Laboratoire de Mécanique et de Génie Civil (LMGC) de l'Université Montpellier II, d'une part, avec l'Université Technique de Compiègne d'autre part.

Deux remarques s'imposent:

(i) Les contenus scientifiques des projets développés par les différents thèmes du programme Bois, doivent pouvoir affirmer et justifier leurs différences par rapport aux contenus scientifiques des recherches menées par l'équipe Bois du LMGC. Les actions menées en commun doivent bien sûr être de même clairement affichées.

(ii) L'accueil de doctorants et la supervision scientifique de leurs travaux par des agents du programme bois impliquent des capacités d'encadrement scientifique reconnues, notamment par les universités partenaires. Il convient, par évolutions internes, par des recrutements, ou à travers des conventions externes, que le programme s'attache à renforcer sa capacité d'encadrement scientifique. Le programme Bois s'appuie actuellement sur trois scientifiques habilités à diriger les recherches, un objectif raisonnable est d'un HDR par thème

Les objectifs généraux du programme « Bois » sont clairement lisibles. Il convient de laisser à ce programme le temps de s'adapter et de trouver le bon mode de fonctionnement.

Les thématiques affichées sont pertinentes, car adaptées aux objectifs. La production scientifique de l'ensemble de l'équipe doit être améliorée sur deux points complémentaires:

- par des publications de haut niveau scientifique soumises à des revues internationales à comité de lecture;
- par des publications à caractère technique, dans des revues des professions de la forêt et du Bois, visant à une vulgarisation des techniques, méthodes et procédés mis en œuvre et développés par le programme Bois.

4.4. LA GUYANE

Le cas de la Guyane concerne les trois programmes et est particulièrement important, c'est pourquoi nous le traitons à part.

Les trois programmes du Cirad-forêt sont présents en Guyane avec des effectifs et des activités très différents :

Arbre et plantations : 1 chercheur, 4 personnels techniques, c'est une activité conservatoire et la poursuite de ce programme en Guyane demande la mise au point de projets significatifs concrets en liaison avec le programme "Forêts naturelles".

Forêts naturelles : 3 chercheurs, 9 personnels techniques, des programmes fort intéressants sont en cours sur les ressources végétales, la dynamique forestière, les bases de données. Les actions de recherche se font parfois sous le contrôle de chercheurs basés à Montpellier avec une capacité d'autonomie insuffisante des chercheurs sur le terrain. Ce programme a développé à Kourou un laboratoire de Génétique et d'Ecologie Moléculaire avec des personnels très compétents pour les aspects méthodologiques. En revanche ces

II – PARTIE ANALYTIQUE

1 – Politique et stratégie scientifique de l'unite propre de recherche

11 – Enjeux de développement et problématiques scientifiques

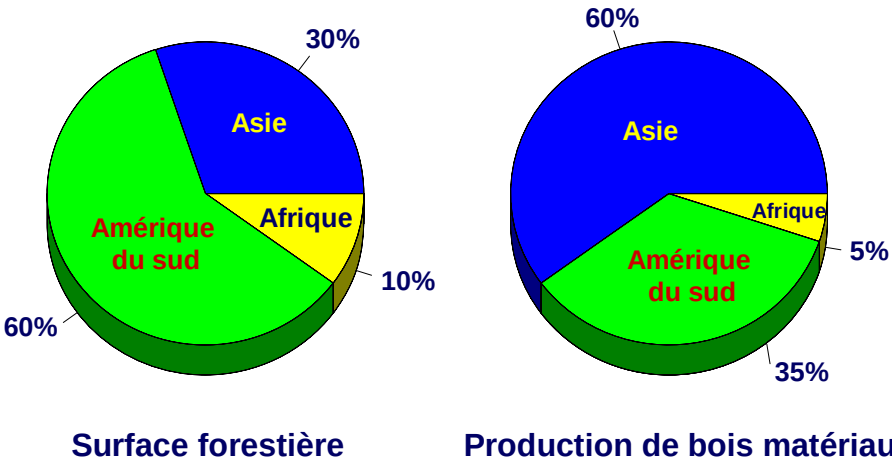
11.1 – Contexte

Le développement des activités humaines est à l'origine de la disparition de plusieurs millions d'hectares de forêts. Dans les pays industrialisés, ce phénomène s'est inversé depuis peu (quelques décennies à une centaine d'années selon les régions). En régions tropicales, il perdure et s'intensifie même dans certaines sous régions. Les Sommets de la Terre, notamment le 2ème (Rio de Janeiro, 1992) puis le 3ème (Johannesburg, 2002), ont été à l'origine d'une prise de conscience générale concernant notamment les risques encourus par les ressources naturelles renouvelables couplées aux menaces pesant sur le maintien de la biodiversité, en relation avec les problématiques de développement.

Les surfaces forestières couvrent environ 3 900 millions d'hectares dont 50% sont situés en zone tropicale. La consommation mondiale de bois matériau au début des années 2000 était d'environ 1 700 millions de m^3 en équivalent bois rond. Elle devrait atteindre près de 3 000 millions de m^3 en 2010 (estimation FAO 2004).

Les régions tropicales consomment le quart de la production mondiale de bois matériau, consommation en constante augmentation, contrairement aux pays du nord où la demande stagne. Cette consommation devrait représenter le tiers de la demande mondiale en 2012. L'approvisionnement en bois des pays tropicaux est essentiellement assuré par leur propre production. Depuis une décennie, les échanges sud-sud prennent de l'ampleur, fortement conditionnés par un infléchissement de la stratégie d'approvisionnement des pays asiatiques émergents.

Les bois tropicaux sont essentiellement transformés et consommés sur place, et les exportations de produits bruts ne concernent qu'une faible part de la production (10% des grumes, 20% des sciages) avec toutefois des situations très contrastées selon les continents.



Surface forestière **Production de bois matériau**

L'Amérique du sud consomme plus des trois quarts de sa production (95% pour le Brésil). L'Asie est le principal utilisateur de bois tropicaux, le Japon, la Corée et la Chine représentant plus de 70% des importations mondiales. Les approvisionnements sud asiatiques se diversifient du fait de l'épuisement des ressources forestières régionales surexploitées, et s'orientent vers l'Afrique pour les grumes et l'Amérique (côte pacifique) pour les sciages. La transformation, après avoir été concentrée au Japon et en Corée, s'est développée progressivement en Malaisie, en Indonésie, en Inde et se déplace à présent vers la Chine, le Vietnam et la Thaïlande.

Les forêts plantées dont la surface est multipliée par 2 tous les 15 ans couvriront 200 millions d'hectares en 2012, la moitié des plantations étant située en régions tropicales. A l'exception de quelques essences spécifiques (Teck, Hévéa,…), elles ont été initialement mises en place pour fournir localement du bois de feu ou alimenter les usines de pâte à papier.

Une partie de ces ressources arrivées à maturité a été progressivement orientée vers la production plus rémunératrice de bois matériau. Cette évolution est liée à deux démarches dont les effets se conjuguent :

- augmentation croissante de la demande locale en matériau, en relation avec une accélération démographique,

- dans les pays du nord importateurs, recherche d'approvisionnements en matériaux plus facilement acceptables par les marchés éco-sensibles.

11.2 – Enjeux sociaux et enjeux économiques

Dans les pays tropicaux et sub-tropicaux, 350 à 400 millions de personnes tirent des revenus significatifs de la production de bois ou de produits forestiers non ligneux. Cette activité génère des emplois directs et indirects, contribue au développement économique local et régional, favorise l'entretien des infrastructures d'intérêt public, et induit des recettes fiscales pour les états. Dans les principaux pays forestiers tropicaux, la part des filières bois dans le PIB varie entre 3 à 6%, mais peut dépasser 10% pour certains (RCA, Ghana, Malaisie, Iles Salomon…).

Dans la majorité des pays situés en zone tropicale humide, la forêt constitue la principale et indispensable source de matériau, d'énergie et de revenu pour les états comme pour les populations.

Dans ces pays, le bois est un matériau de construction indispensable :

- au développement des infrastructures de génie civil,

- à la construction et à l'aménagement des bâtiments collectifs,

- à la satisfaction des besoins en logement des populations.

Produit et transformé par des filières essentiellement locales constituées d'artisans et de petites et moyennes entreprises, il constitue une matière première accessible pour les populations aux revenus limités et contribue de façon majeure à la création d'emplois.

Les deux principaux domaines d'utilisation du matériau bois sont :

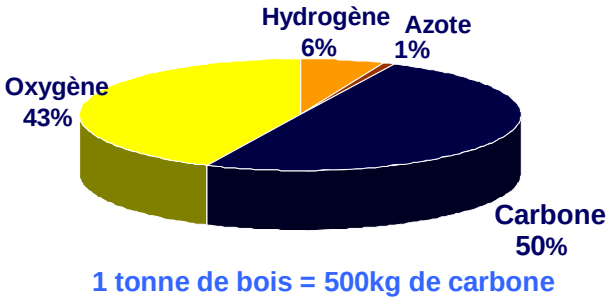
- la construction et l'habitat (80%),
- l'emballage et le transport de marchandises (20%).

Son utilisation reste cependant soumise à des contraintes multiples qui en font un matériau perçu comme complexe et difficile à utiliser du fait de son origine biologique.

Sa **stabilité physique et biologique** conditionne sa mise en œuvre dans des conditions satisfaisantes et la pérennité des ouvrages constitués (durée de service**).** Elle représente un **axe majeur de recherche et d'innovation scientifique et technologique.**

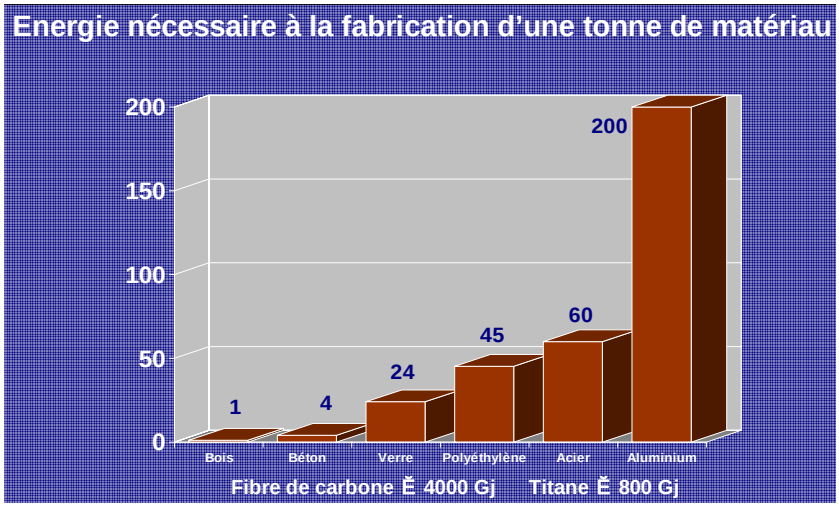
11.3 – Enjeux environnementaux

Le bois est le seul matériau qui stocke du carbone au cours de son élaboration et le conserve durablement après sa mise en œuvre sur toute la durée de vie des produits fabriqués (le plus souvent plusieurs dizaines d'années). Pour produire un mètre cube de bois, un arbre transforme en moyenne une tonne de CO_2, et une tonne de bois stocke durablement 500kg de carbone.



1 tonne de bois = 500kg de carbone

La fabrication de composants à base de bois est très peu consommatrice d'énergie. Comparé aux autres matériaux conventionnels spéciaux à haute performance, le bois présente un bilan très avantageux sur l'ensemble du cycle de vie, de la forêt jusqu'à l'élimination finale.



Les adjuvants et produits auxiliaires utilisés pour la préservation du bois ou les collages et finitions sont de plus en plus respectueux de l'environnement : directive européenne sur les biocides et extensions internationales, élimination des COV[1] et remplacement par des produits en phase aqueuse, produits à forts taux d'extraits secs, **recherche et utilisation de molécules naturelles présentes dans certaines essences.**

Les déchets et sous-produits de la filière bois représentent une quantité importante de matière première (de 60 à 70% par rapport au volume de bois rond entrant au premier stade de transformation). **L'amélioration des rendements par une meilleure organisation des filières et par l'évolution des technologies constitue un domaine d'action prioritaire**. Le matériau offre de nombreuses solutions de recyclage sous forme de co-produits. Pour certains d'entre eux difficilement valorisables sous forme de matériau, il constitue aussi une source importante d'approvisionnement énergétique (voie de valorisation explorée en partenariat avec l'UPR 42 *Biomasse Energie*).

L'assimilation des activités d'exploitation forestière à des actions de déforestation relègue très souvent au second plan les atouts environnementaux du bois et conduit parfois même à les ignorer totalement au profit de matériaux à fort impact environnemental.

Le phénomène de déforestation en région tropicale est une réalité incontestable, le même phénomène ayant touché les forêts tempérées aux 18 et 19ème siècles. Ses origines sont multiples et il est admis que la pression démographique couplée à une agriculture itinérante et à la constitution de pâturages sur brûlis jouent un rôle prépondérant. La mise en œuvre

[1] Composés organiques volatils

d'une gestion durable des ressources forestières en zone tropicale humide repose sur la mise en place de plans d'aménagement cohérents qui permettent une production sécurisée dans le temps de la matière première bois nécessaire au développement des pays producteurs.

Le développement des filières de transformation joue un rôle essentiel dans la prise en compte des principes de gestion durable en favorisant :

- la valorisation des essences secondaires dont dépend directement la viabilité financière des plans d'aménagement durable et leur mise en application, aujourd'hui fortement conditionnée par la possibilité d'élargir et d'homogénéiser les prélèvements en forêt en sortant du cadre conventionnel des essences-phares autour desquelles s'est structurée jusqu'à présent l'exploitation forestière,
- en réduisant les pertes de matière aux différentes étapes des systèmes de production,
- en faisant évoluer les pratiques commerciales et les règles de classement des produits semi-élaborés,
- en intensifiant la mise en place de plans d'action qualité,
- en se dotant des outils de suivi et de contrôle de la traçabilité des produits,
- en améliorant la durée de service des produits élaborés à base de bois.

11.4 – Problématiques scientifiques induites et objectifs de l'unité

Un premier niveau d'analyse de ces enjeux sociaux, économiques et environnementaux dans les pays tropicaux forestiers conduit à définir la finalité première des travaux conduits par l'UPR *Bois tropicaux* dans ses différents domaines de compétence :

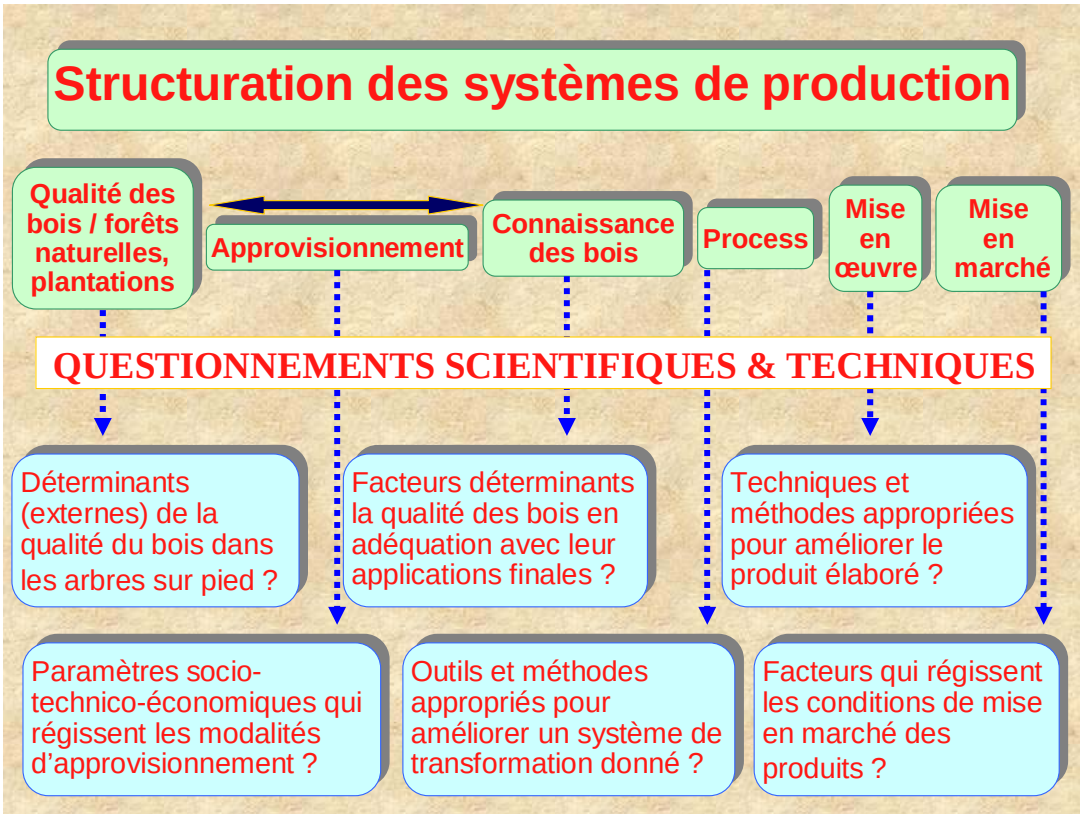
Améliorer les connaissances, les modalités de transformation et de mise en œuvre, la mise en marché et l'utilisation des bois tropicaux et méditerranéens[2]

Les recherches conduites par l'Unité doivent concourir à :

- améliorer la qualité des bois et produits dérivés obtenus grâce à des pratiques sylvicoles et une sélection génétique maîtrisées,
- alimenter les filières bois en matière première de qualité contrôlée dans un cadre général de gestion durable des écosystèmes forestiers, et répondant aux exigences de performance des marchés de consommation dans les pays producteurs et les pays consommateurs,
- favoriser le développement économique local par l'amélioration des filières locales de transformation,
- maîtriser les impacts négatifs sur l'environnement des méthodes de traitement et de préservation des bois, produits dérivés et ouvrages associés.

[2] L'extension des activités de l'Unité aux ressources forestières méditerranéennes est essentiellement liée à l'arrivée du Programme Bois à Montpellier fin 1994 (transfert depuis le site de Nogent/Marne), au cœur de la zone méditerranéenne française.
Cette nouvelle localisation a permis de lancer très rapidement de nouvelles actions de recherche liées à l'émergence de nouvelles demandes relatives à la valorisation de ces ressources forestières très spécifiques :
- demande locale (département de l'Hérault, région LR),
- demande de partenaires scientifiques euro-méditerranéens (Espagne, Italie, Grèce),
- demande de partenaires scientifiques sud-méditerranéens : Maghreb (principalement Maroc puis Algérie), Moyen-Orient (Syrie, Iran).

Les problématiques scientifiques qui sous-tendent les activités de recherche de l'Unité sont identifiées pour chacune des phases des systèmes de production Bois sur lesquels intervient l'Unité. Le mécanisme d'identification des problématiques de recherche est illustré sur le schéma suivant. Ces systèmes de production dont la structuration, l'organisation et les modalités de fonctionnement peuvent être éminemment variables constituent en réalité des continuums. Le schéma de représentation en six phases chronologiquement consécutives reste très théorique mais permet de guider la structuration de l'Unité en tenant compte des compétences disponibles.



L'expression du questionnement scientifique sous la forme des six interrogations précédentes conduit à structurer la démarche de l'équipe autour de quatre axes thématiques :

Axe thématique 1 : Facteurs techniques et socio-économiques de production et de mise en marché des bois

Axe thématique 2 : Facteurs explicatifs de la variabilité intra et inter arbres en relation avec la génétique et la croissance

Axe thématique 3 : Méthodes de traitement des bois à faible impact environnemental et facteurs explicatifs de la durabilité naturelle

Axe thématique 4 : Méthodes non-invasives de mesure des caractéristiques du matériau bois et de contrôle de la qualité

L'axe 1 contribue à l'amélioration et à l'approfondissement des connaissances sur les caractéristiques du matériau bois, sur les outils, technologies et méthodes appropriées pour améliorer la transformation, la mise en œuvre puis la mise en marché à différentes échelles des produits élaborés.

L'axe 2 contribue à identifier et comprendre les déterminants de la qualité des bois, notamment par l'analyse de l'hétérogénéité des propriétés du bois dans l'arbre et l'étude des relations génétique - qualité des bois (intégration de données expérimentales acquises à partir de méthodes innovantes développées dans le cadre de l'axe 4).

L'axe 3 contribue à la compréhension de l'origine et des mécanismes de détérioration biologique du matériau bois par les différents agents de dégradation, au développement des techniques d'amélioration des performances de durabilité naturelle du matériau bois et de ses produits dérivés.

L'axe 4 contribue à la conception et l'élaboration d'outils et de méthodes permettant de déterminer les caractéristiques du matériau bois et des produits dérivés de façon peu onéreuse, rapide, fiable et non invasive (application notamment de méthodes vibratoires et de la Spectroscopie Proche Infra Rouge).

12 – Questions de recherche et hypothèses à tester

Axe thématique 1 : Facteurs techniques et socio-économiques de production et de mise en marché des bois

Hypothèse : La variabilité interspécifique des caractéristiques technologiques des bois d'œuvre tropicaux constitue un frein au développement de leur mise en marché.

QUESTION : Comment caractériser les différents modes d'expression de la variabilité des bois d'œuvre tropicaux ?

QUESTION : Comment limiter la pression sur les essences-phares en élargissant et en homogénéisant les prélèvements dans les forêts aménagées ?

QUESTION : Quelles sont les contraintes limitant le développement de l'utilisation des essences secondaires et comment s'en affranchir ?

Hypothèse : Les importations de bois d'œuvre des pays occidentaux évoluent vers les produits manufacturés dans un contexte déterminé par les processus de certification et de traçabilité des bois.

QUESTION : Comment appuyer les opérateurs dans leurs démarches et stratégies de développement de la valeur ajoutée de leurs produits (recherche d'adéquations marchés-qualité-produits) ?

QUESTION : Quels sont les meilleurs outils techniques et organisationnels permettant d'assurer la traçabilité des produits ligneux tropicaux ?

Hypothèse : Le renforcement et la diversification des filières bois contribuent au développement des pays du sud.

QUESTION : Comment s'organisent et fonctionnent les principaux réseaux d'acteurs intervenant sur les filières (mondiale, régionales, …) des bois tropicaux ?

QUESTION : Quelles mesures ou nouvelles organisations de la production sont pertinentes, possibles, souhaitables, dans le cadre du développement de critères de « corporate responsability » pour les produits forestiers tropicaux qui s'échangent à l'international ?

Axe thématique 2 : Facteurs explicatifs de la variabilité intra et inter arbres en relation avec la génétique et la croissance

Hypothèse : L'analyse et la modélisation de l'hétérogénéité des propriétés intra-arbre permet une description pertinente de chaque individu en vue d'une application à court et moyen terme aux eucalyptus et au teck.

QUESTION **:** Est-il possible de prédire de manière précise, rapide et peu onéreuse les caractéristiques moyennes d'une tige à partir d'un nombre de points de mesure limité ?

QUESTION **:** Les paramètres des modèles permettent t-ils d'analyser l'impact des facteurs génétiques, sylvicoles et environnementaux sur les principales caractéristiques du bois ?

QUESTION **:** Comment prendre en compte la diversité des caractères liés à la qualité du bois pour améliorer les populations en forêt plantée ?

Axe thématique 3 : Méthodes de traitement des bois à faible impact environnemental et facteurs explicatifs de la durabilité naturelle

Hypothèse : Il est possible de prévoir les caractéristiques de durabilité biologique des bois et leur variabilité en fonction de leurs constituants (notamment métabolites secondaires) et de leur structure, des caractères génétiques et des conditions de croissance des arbres.

QUESTION **:** Quels sont les facteurs explicatifs de la durabilité naturelle (et de sa variation) de certaines essences tropicales et méditerranéennes vis-à-vis des organismes lignivores ?

QUESTION **:** Comment prédire la résistance aux attaques des agents biologiques de détérioration de matériaux constitués de mélange d'essences ?

QUESTION **:** Peut on utiliser la biodiversité pour la réalisation de matériaux à base de bois (composites et produits dérivés) à durée de service prédéfinie ?

Hypothèse : Les substances extractibles entrent en jeu dans les mécanismes de durabilité naturelle pour la grande majorité des essences de bois, et interviennent aussi sur les propriétés et la stabilité physiques de certaines essences.

QUESTION : Peut-on isoler, identifier ces extractibles (familles de composés chimiques et/ou molécules) et comprendre leurs modes d'action et leurs synergies afin d'évaluer leur potentialités d'utilisation pour une lutte contre des organismes pathogènes du bois ou des végétaux ?

QUESTION : Peut on proposer des méthodes de lutte innovantes et développer des produits de traitement à faible impact environnemental ?

Axe thématique 4 : Méthodes non-invasives de mesure des caractéristiques du matériau bois et de contrôle de la qualité

Hypothèse : Les méthodes d'analyses vibratoires permettent une qualification mécanique globale et locale du bois dans les arbres sur pied, les bois bruts et produits élaborés, ceci tout au long de la chaîne de transformation et après mise en service.

QUESTION **:** Est-il possible d'obtenir une représentation des performances mécaniques du bois à l'intérieur d'un arbre sur pied par un système tomographique ?

***QUESTION* :** L'analyse modale de pièces de bois brut ou de produits élaborés permet-elle de répondre aux normes internationales de classement mécanique et de concevoir des systèmes de mesure et de classement automatisés conformes aux exigences des certifications de qualité attendues par le marché ?

***QUESTION* :** Des singularités, des faiblesses mécaniques ou des défauts peuvent-ils être détectés *in situ* à partir d'un système d'analyse de la propagation d'ondes mécaniques à basse fréquence ?

Hypothèse : La spectroscopie proche infrarouge est une technologie d'avenir, efficace et rapide pour la qualification des propriétés physiques, mécaniques, chimiques et biologiques de nombreux produits et matériaux.

***QUESTION* :** Est-il possible de construire des calibrations suffisamment précises et robustes pour un ensemble de propriétés de référence en vue d'une application à grande échelle pour la caractérisation d'essences tropicales ?

***QUESTION* :** La spectroscopie proche infrarouge est-elle une méthode pertinente pour vérifier et valider la traçabilité ou la certification des produits-bois ?

2 – Résultats bibliométriques

La typologie utilisée pour le bilan des publications est intermédiaire entre celle préconisée par la DRS dans le modèle de dossier d'évaluation et celle d'Agritrop. Elle a été retenue car apparaissant comme la plus réaliste et reflétant le mieux la diversité de la production technique et scientifique de l'Unité.

La liste complète des publications est fournie en annexe de la partie 2.

Type de publication / année	1997	1998	1999	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007[3]	accepté	soumis	total
Articles de périodiques à facteur d'impact					6	8	4	6	8	3	5	3	43
Articles de périodiques à comité de lecture					4	6	10	9	1	2	1	1	34
Articles de périodiques sans comité de lecture					7	7	2	2	0	1	0	0	19
Ouvrages					0	0	0	3	0	0	0	0	3
Chapitres d'ouvrages					3	3	1	1	1	1	0	0	10
Actes, Communications de congrès					18	58	35	21	27	5	1		165
Brochures techniques, plaquettes, fiches techniques…					2	5	3	3	12		1	0	26
CD-Rom, Logiciels	1				2	5	2	1	2	2	0	0	15
Brevets, Marques		1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	5
Thèses					2	2	1	3	6	0			14
Mémoires					0	2	4	3	2	0	0	0	11
Rapports					11	17	7	33	21	3	0	0	92
Communications orales					1	3	2	7	9	5			27
												grand total	464

[3] Les 3 premiers mois de 2007

3 - Laboratoire de Recherche de Pariacabo

31 - Justification du positionnement de l'UPR *Bois tropicaux* en Guyane

La Guyane est la seule région française comme européenne disposant d'un massif de forêt tropicale humide continu de près de huit millions d'hectares caractérisé par une très grande biodiversité (près de 1200 espèces ligneuses forestières). La forêt représente plus de 90% du territoire guyanais et plus de la moitié de la surface forestière nationale.

Ce massif forestier comprend une zone de production de 1,5 millions d'hectares, essentiellement côtière, ayant vocation à être aménagée par l'ONF (800 000 hectares le sont déjà), et qui produit actuellement 65 000 m^3 de bois en moyenne par an (relative stabilité de la production depuis 5 ans). Une dizaine de scieries débitent ces bois et produisent environ 25 000 m^3 de sciages consommés à 90% par le marché local, le restant étant exporté vers les Antilles (bois d'emballage et de construction). Environ 80% de ce volume est réalisé avec quatre essences Gonfolo (*Qualea spp.* et *Ruizterania spp.*), Angélique (*Dicorynia guianensis*), Grignon (*Sextonia rubia*), Amarante (*Peltogyne spp.*), mais 30 à 50 essences sont exploitées, en fonction de leur fréquence en forêt.

Le faible poids de la filière-bois guyanaise par rapport à l'importance de la surface forestière disponible est dû à différents facteurs :

- forêt de production très diversifiée avec parfois jusqu'à 300 espèces différentes à l'hectare d'où l'impossibilité de constituer des lots commerciaux homogènes d'un volume suffisant,
- difficulté de mobilisation des bois : construction et entretien des pistes forestières très coûteux assurés jusqu'à présent sur financements européens non sécurisés dans le temps, inaccessibilité complète de certaines zones pour l'exploitation (relief marqué, monts et bas-fonds notamment),
- coûts de mise à disposition, de transport et de transformation élevés,
- concurrence des produits bois des pays voisins, notamment du Brésil,
- déficit chronique de personnels formés dans les entreprises.

En contrepartie, la filière bois régionale dispose d'un fort potentiel de développement compte tenu :

- de la très forte croissance démographique qui induit une croissance de la construction (logements, écoles ...) donc une augmentation du volume de bois utilisé sur le marché local,
- d'un attrait accru pour le matériau bois dans les constructions publiques grâce à ses atouts environnementaux et le développement de démarches favorisant son utilisation (charte bois - environnement - construction, démarche HQE[1], principes de développement durable, loi sur la qualité de l'air qui oblige à utiliser un minimum de bois dans les constructions ...),
- de la démarche d'éco-certification engagée par l'ONF et qui devrait contribuer à mieux positionner les bois de Guyane à l'export.

Les enjeux pour la forêt guyanaise sont de plusieurs types, et les attentes variées selon les acteurs concernés par la forêt, notamment pour le secteur bois :

- comment faire en sorte que la forêt contribue effectivement au développement social et économique de la région et de sa population, en particulier par la création d'emplois liés à la valorisation de ses ressources ligneuses ?

[1] Haute Qualité Environnementale

- peut-on faire la preuve en Guyane qu'une gestion durable appliquée à une forêt tropicale de surface significative peut être créatrice de richesses et d'emplois en conciliant rentabilité économique et maintien de la biodiversité ?

La biodiversité peut se décliner aux trois niveaux de la convention sur la diversité biologique (niveau écosystème, niveau espèce et niveau infraspécifique), mais se décline également au niveau du bois en terme de variabilité sur ses propriétés.

Les recherches conduites en Guyane sur les produits forestiers ligneux ont pour objectif général une meilleure connaissance de leurs comportements technologiques, de leurs propriétés intrinsèques et de la variabilité de ces propriétés afin de pouvoir proposer aux opérateurs privés - artisans, PMI-PME - des voies de valorisation, de transformation et d'utilisation les mieux adaptées aux caractéristiques de la ressource et des utilisations ciblées (construction, ameublement, …).

32 - Les objectifs du laboratoire de recherche sur les bois de Guyane

Installé sur la base de Pariacabo à Kourou depuis 1975 pour développer les connaissances sur les bois guyanais, sur leur diversité et sur leurs propriétés, ce laboratoire s'est progressivement étoffé et doté d'équipements performants et appropriés qui lui permettent aujourd'hui de couvrir une large gamme de disciplines des Sciences du Bois, anatomie-structure, physique et mécanique, durabilité naturelle, préservation, usinage, mise en œuvre, ceci dans des conditions d'utilisation variées.

Il intervient principalement sur deux des quatre axes thématiques de l'Unité :

Axe thématique 1 - Facteurs techniques et socio-économiques de production et de mise en marché des bois

* Connaissance des bois et caractérisation de nouvelles essences de la forêt guyanaise (dans le cadre de l'aménagement durable des ressources forestières guyanaises).

* Comportement technologique et mise en œuvre appropriée des essences guyanaises.

* Mise au point puis application de méthodologies spécifiques pour la création d'un observatoire de la filière bois Guyane puis de la région Amazonienne.

Axe thématique 3 : Méthodes de traitement des bois à faible impact environnemental et facteurs explicatifs de la durabilité naturelle

* Analyse du rôle des extractibles dans la durabilité naturelle des bois (en concertation directe avec l'équipe montpelliéraine et localement avec l'IRD et le CNRS, notamment avec les chimistes localisés en Guyane et spécialistes de l'analyse et l'identification des substances naturelles).

* Développement de nouvelles méthodes d'essai de champs et de laboratoire pour la détermination de la durabilité naturelle des bois ou de l'efficacité des produits de préservation.

33 - Des actions de recherche avec l'UMR Ecofog, et de valorisation & transfert au CTBG

Æ Les activités scientifiques de l'équipe Guyane de l'Unité sont conduites en étroite collaboration avec **l'UMR Ecofog** dont les chercheurs impliqués dans la thématique Bois sont issus de l'UPR 40 (cf. § *Evolution des ressources humaines – Mouvements de personnels*, note 6). L'équipe Guyane est aussi fortement impliquée dans le milieu

scientifique guyanais à travers ses interventions dans les formations de l'Université Antilles Guyane – UAG (voir § 222 *Enseignement - Formations*).

L'UMR Ecofog est organisée en trois équipes[2] dont l'équipe du Laboratoire *Matériaux et Molécules en Milieu Amazonien* (L3MA) positionnée sur deux thématiques :

* Durée de vie des matériaux en ambiance amazonienne

* Diversité et valorisation des bois guyanais

L'équipe Guyane de l'UPR 40 intervient sur la composante Bois de la première thématique[3], et sur la deuxième thématique, notamment sur le volet « analyse des déterminants inter et intraspécifiques de la variabilité des propriétés des bois guyanais et étude de ces propriétés en relation avec leurs possibilités de valorisation ».

Æ Les activités de valorisation, transfert et expertise sont conduites dans le cadre du **Centre Technique des Bois Guyanais (CTBG)** qui concrétise l'engagement du Cirad dans l'appui au développement de la filière-bois guyanaise.

Ces activités sont conduites au sein même du Laboratoire de Recherche des bois de Guyane (le CTBG ne constitue pas une structure à part entière).

Ces activités d'assistance et d'accompagnement technique, d'appui à la filière bois, de valorisation et de transfert de connaissance répondent à une demande régionale confirmée par la forte implication financière du département, de la région et de l'état : financements du CTBG dans le cadre du CPER[4] (2002-2005) puis par la DDE[5] (2005-2007) (pour des actions plus ponctuelles, autres financements de la région, du département, du SPIOM[6]…).

Les activités du CTBG s'articulent autour de quatre axes principaux : (a) normalisation et certification de qualité, (b) expertises et études techniques, (c) observatoire de la filière, (d) communication et information.

Dans le cadre du CTBG, des actions ponctuelles d'expertise et de contrôle qualité sont aussi réalisées à la demande d'opérateurs privés, maîtres d'œuvre, donneurs d'ordres, collectivités locales : identifications anatomiques, réception de bois, contrôles d'humidité, diagnostics post mise en œuvre, contrôles d'état sanitaire de structure, appui à la conception de systèmes d'assemblage…

Dans le cadre du CTBG, un bulletin d'information trimestriel ***Guyan'Info Bois*** destiné aux acteurs de la filière-bois guyanaise permet de diffuser les résultats d'études et de recherche du Cirad, les informations d'ordre réglementaire et normatif concernant la filière ainsi que des informations plus générales concernant les marchés des produits en bois.

34 - Classement mécanique, normalisation et marque de qualité

Pour la Guyane, l'éligibilité des essences de bois régionales pour la conception de charpentes selon les nouveaux modes de calcul européens constitue un enjeu majeur.

[2] Les deux autres équipes d'Ecofog : *La diversité fonctionnelle, sa caractérisation et son rôle dans le fonctionnement de l'écosystème*, *Diversité, organisation et dynamique des écosystèmes forestiers*
[3] Cette thématique traite aussi de la corrosion des matériaux métalliques et de la dégradation des polymères chargés.
[4] Contrat de Plan Etat Région
[5] Direction Départementale de l'Equipement
[6] Secteur Pilote d'Innovation Outre-Mer)

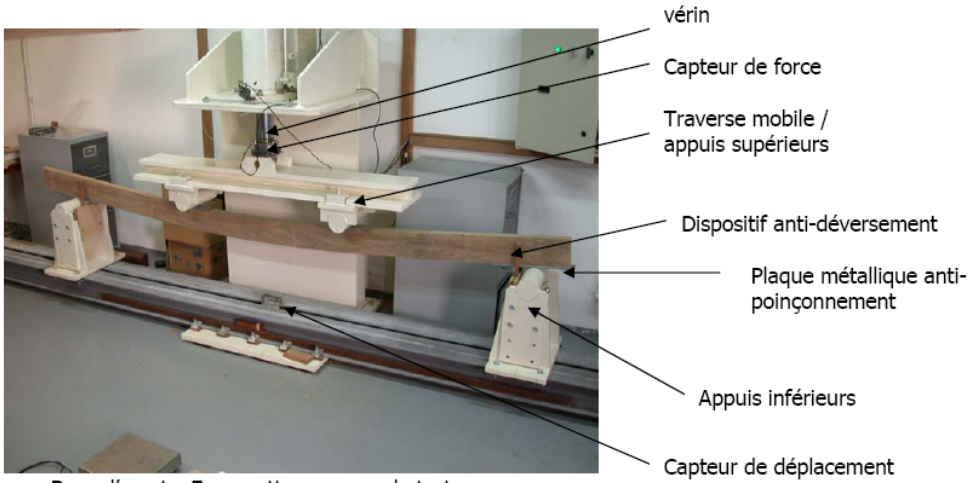
Quatre essences phares de Guyane ont donc été testées en grandeur d'emploi afin de leur attribuer un classement mécanique selon les normes européennes (EN 338).

Ce classement permet aux concepteurs de structures de réaliser le dimensionnement d'ouvrages selon l'Eurocode 5.

La norme EN 338 définit des classes de résistance pour les feuillus (classes D) et les résineux (classes C), indépendamment des essences. A chaque classe correspond une valeur caractéristique minimum pour un certain nombre de propriétés mécaniques. La norme française NF 52.001 attribue une classe de résistance à chaque essence métropolitaine utilisée en structure. Il restait donc à caractériser les essences de Guyane afin de les affecter à une ou plusieurs classes de résistance en fonction de leur qualité (classement visuel).

Les essais ont porté sur la détermination des caractéristiques des bois en flexion : module d'élasticité longitudinal et contrainte à la rupture en dimension d'emploi (principaux paramètres de dimensionnement des structures).

Les essais ont été réalisés à l'aide d'un équipement dont s'est doté le laboratoire pour tester la résistance de bois en vraie grandeur (photo ci-dessous).



Banc d'essai – Eprouvette en cours de test.

Le tableau suivant résume les résultats obtenus.

Essence	Gonfolo	Jaboty	Goupi	Alimiao
Contrainte caractéristique en flexion	42,7 MPa	39,5 MPa	46,3 MPa	46,5 MPa
Module d'élasticité moyen à 12 %	15 895 MPa	10 577 MPa	16 049 MPa	18 044 MPa
Masse volumique caractéristique à 12%	614 kg/m^3	544 kg/m^3	764 kg/m^3	734 kg/m^3
Classement mécanique suivant EN 338	D 40	D 35	D 40	D 40

Ce classement mécanique est associé à un classement visuel des sciages. Les critères de classement définis dans le référentiel technique de la marque « Bois guyanais classés »

(lancée en 1993 par le Cirad puis tombée en désuétude) ont été redéfinis afin d'intégrer les exigences du projet de norme harmonisée sur les sciages de structure[7].

Trois scieries ont manifesté leur intérêt pour cette démarche, longue à mettre en place car elle nécessite la disponibilité de l'entreprise et une réflexion au préalable sur l'organisation du travail et le choix des personnes en charge du classement d'une part et de la traçabilité des contrôles d'autre part.

Le couple classement visuel – classe mécanique a été introduit à la demande du Cirad dans la norme française NF B 52.001 *Classement visuel pour l'emploi en structure des bois sciés français résineux et feuillus*.

Après une phase d'enquête publique, la nouvelle version de la norme est sortie en mai 2006.

Dans un proche avenir, cette démarche devrait aboutir à la mise en place du marquage CE sur les sciages de structure pour répondre à la réglementation européenne sur les produits de construction.

35 - Comportement de produits de finition en climat tropical

La durabilité des bois et la tenue dans le temps de leur aspect esthétique sont des paramètres importants pour l'utilisation des bois dans la construction. De nombreuses recherches sont menées au niveau européen sur l'amélioration de la tenue dans le temps des finitions extérieures pour le bois, mais essentiellement en climat européen et sur des bois européens. Les spécificités du climat et de l'activité biologique beaucoup plus agressifs en Guyane devaient être prises en compte.

Site de vieillissement des lasures.

Un total de vingt quatre produits de finition a été testé sur une période de quatre ans.

Un type d'exposition aux intempéries a été choisi, les éprouvettes étant déposées sur un support de façon à ce que leur plan fasse un angle de 45° avec le sol (cf. photo).

Des essences d'aspect varié ont été retenues pour les tests de façon à apprécier la part des caractéristiques du bois dans les dégradations de la finition : l'Angélique (*Dicorynia guianensis*), le Grignon (*Sextonia rubia*), le Saint Martin Jaune (*Hymenolobium spp.*), le

[7] L'intérêt initial d'une marque de ce type est de positionner les bois à l'exportation sur le marché européen ou américain où les produits déjà présents font l'objet de démarches analogues. Un atout majeur des bois guyanais sur marché européen est leur provenance de forêt aménagée. Sans aller jusqu'à inclure une démarche d'éco-certification qui est du ressort de l'ONF, la marque de qualité pourrait introduire des critères de traçabilité sur la provenance des bois et faire référence au plan d'aménagement correspondant.
Le deuxième intérêt de la marque est de répondre à l'exigence réglementaire de la Directive Européenne sur les produits de la construction. Cette Directive stipule que les produits de la construction sont soumis au marquage CE qui garantit que les produits sont conformes aux exigences techniques définies dans les normes européennes harmonisées. Les modalités du marquage dépendent de l'usage du produit et le marquage est exigé à la publication de la norme harmonisée.

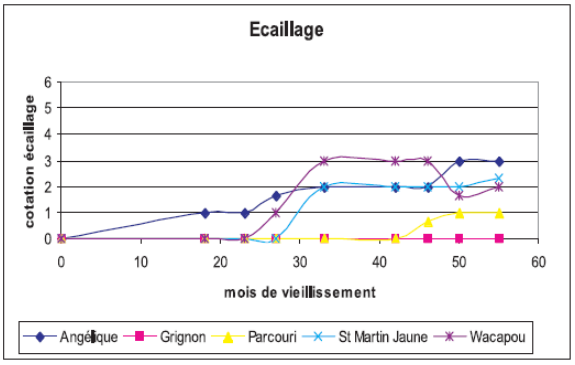
Wacapou (*Vouacapoua americana*), le Parcouri (*Platonia insignis*) et le Gonfolo (*Qualea spp.* et *Ruizterania spp.*).

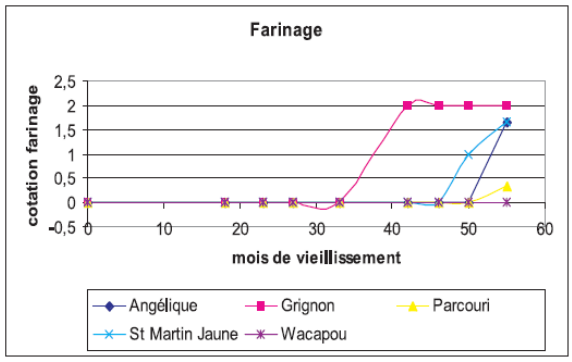
La durabilité des finitions a été estimée à l'aide des paramètres suivants :

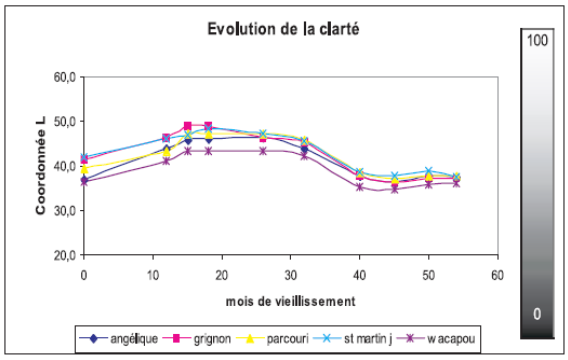
- couleur : quantifiée dans le système CIE L*a*b*,

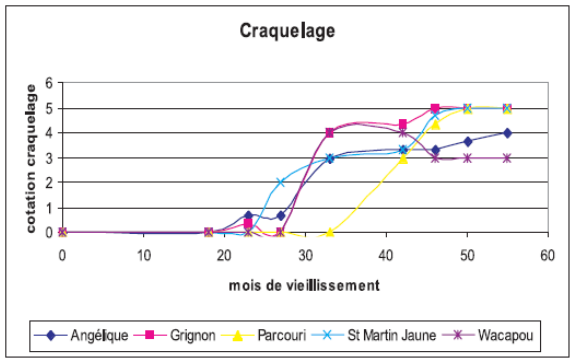
- l'aspect de surface : quantifié dans une échelle de 0 à 5 pour cinq critères : cloquage, écaillage, craquellement, farinage, moisissure, qui traduisent les principaux modes de dégradation d'une finition.

L'évolution de certains de ces paramètres est présentée sur les graphes ci-dessous.









Ces essais ont notamment mis en évidence les progrès réalisés par les dernières générations de produits puisque de quelques mois, certaines lasures sont passées de 2 à 3 ans de tenue sous l'exposition la plus défavorable. Quatre références ont tenu deux ans et plus.

Les essais ont montré que pour être efficaces, ces lasures doivent être choisies pigmentées dans des tons foncés tels que Teck, Chêne doré, Noyer, Acajou.

36 - Caractérisation des bois de Guyane en réaction au feu

La tenue au feu des produits de construction est un élément important dans la conception des bâtiments, notamment ceux destinés à recevoir du public. Certains classements en réaction au feu sont exigés pour les revêtements de sol, de mur ou de plafond. Jusqu'à maintenant, le classement des produits à base de bois massif était un classement conventionnel déterminé à partir d'essais sur le chêne et les résineux. Aucun essai n'avait

été réalisé jusqu'ici sur des bois guyanais alors que la densité élevée de certains d'entre eux laissait présager un meilleur classement. L'enjeu est important : pour les revêtements de mur par exemple, le classement en réaction au feu exigé dans les bâtiments recevant du public est M2. Le classement conventionnel M3 des bois oblige soit à refuser des revêtements muraux en bois (lambris ou bardage intérieur par exemple), soit à rajouter sur les bois une peinture intumescente (dont l'esthétique est souvent discutable).

Les essais de caractérisation en réaction au feu ont donc été réalisés sur cinq essences de Guyane utilisées dans la construction : Gonfolo (*Qualea spp.* et *Ruizterania spp.*), Grignon (*Sextonia rubia*), l'Angélique (*Dicorynia guianensis)*, Ebene verte (*Tabebuia spp.*) et Amarante (*Peltogyne spp.*), en collaboration avec le CSTB[8], laboratoire agrée pour ce type d'essais.

Supprimé :

Les résultats sont les suivants :

Essence	Classement pour usages muraux		Classement pour usage en revêtement de sol	
	Euroclasse	Classe « France »	Euroclasse	Classe « France »
Grignon	D S2	M3	Cfl S1	M3
Gonfolo	D S1	M3	Cfl S1	M3
Angélique	C S1	M2	Cfl S1	M2
Amarante	C S2	M2	Bfl S1	M2
Ebène Verte	D S2	M3	Bfl S1	M3

Deux essences de Guyane ont donc pu être classées M2 en revêtement mural : l'Angélique et l'Amarante.

Ces résultats ont été diffusés à tous les professionnels concernés (SDIS, bureaux de contrôle, architectes, entreprises de la filière bois …) et ont fait l'objet d'une application directe puisque le prototype de classe scolaire mis au point par deux entreprises de Guyane a eu l'aval des services de sécurité.

37- Observatoire de la filière-bois

L'objectif initial de l'Observatoire de la filière-bois en Guyane était de mesurer les flux de produits à base de bois entrant et sortant de Guyane et d'analyser qualitativement et quantitativement les modalités de fonctionnement de la filière bois locale.

La méthodologie d'analyse a été mise en place et l'Observatoire a été structuré en étroite concertation avec l'ensemble des parties prenantes, organisations professionnelles, chambres consulaires, DAF, ONF pour sa mission de Serfob, Région, DRIRE … afin que chacun formalise ses attentes et définisse le type d'intrant proposé.

Les objectifs de l'Observatoire ont été élargis pour tenir compte de la demande et des manques relatifs à la connaissance du fonctionnement du secteur de la 2ème transformation. L'ensemble des pouvoirs publics (Etat et Collectivités Locales) souhaitait avoir davantage

[8] Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

d'informations quantifiées afin de mieux orienter les politiques à mener pour le développement de la filière.

L'Observatoire permet de fournir des données et informations validées sur cinq familles de paramètres caractérisant les systèmes de production du bois en Guyane :

- structure de la filière : nombre d'entreprises, répartition par activité, par localisation, degré de spécialisation…
- poids économique de la filière : chiffre d'affaire global et répartition des entreprises par tranches de CA, importations/exportations…
- emploi : nombre d'emplois et répartition par secteur, type de poste, rémunération moyenne, niveau de formation…
- investissements et financements : niveau d'investissements global, répartition par secteur, sources de financements des investissements…
- données techniques : volumes et essences exploitées, répartition des coûts, capacités de séchage, de traitement…

Un système informatique de gestion de base de données a été réalisé afin de stocker et structurer les données recueillies. Les caractéristiques des informations devant être agglomérées et restituées par la base (outils d'analyse des données) ont été précisées ainsi que le type de sortie de ces données dans une optique de valorisation.

Les données ont été collectées lors d'enquêtes dans les entreprises de première transformation (exploitation forestière et scieries) et de deuxième transformation (menuiserie et charpente). Les modalités de diffusion des données collectées ont été définies dans un cadre très strict par souci de confidentialité.

Un bilan des évolutions des échanges sur quatre années a permis de mettre en avant les forces et faiblesses de la filière et d'établir un diagnostic pour les pouvoirs publics destiné à l'élaboration de la politique de développement industriel local.

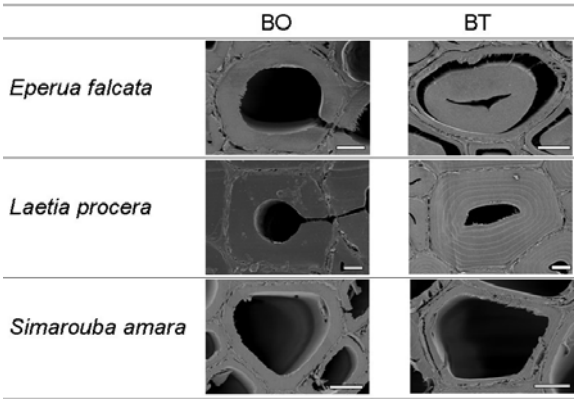
A moyen terme, l'activité de l'Observatoire de la filière permettra une analyse de l'évolution de chaque secteur d'activité en intégrant l'influence de facteurs externes tel que l'impact de la concurrence des bois transformés au Brésil ou le niveau d'octroi de mer sur les produits en bois ou à base de bois.

38 – Connaissance des bois – Relations structure-composition chimique-propriétés

Les études menées par le Cirad Forêt sur les propriétés physiques, mécaniques, de durabilité naturelle déterminées pour plus de 200 espèces guyanaises ont mis évidence une grande variabilité de comportement, notamment en terme de **stabilité physique, biologique** (comportement vis-à-vis des agents biologique de détérioration) et **mécaniques**.

Cette variabilité s'exprime à un niveau microstructural et ultrastructural qui permet d'expliquer les variations de propriétés physiques et mécaniques du bois en relation avec sa structure anatomique.

Les travaux de Julien Ruelle (cf. résumé de thèse en annexe) ont notamment porté sur l'étude des bois de tension, qui ont une influence sur le retrait, la densité et le module d'élasticité. Les travaux ont contribué à répondre aux questions suivantes :



. Quelles sont les variations anatomiques et structurales entre le bois de tension et le bois opposé (graphe ci-contre) ?

. Ces variations de structure s'accompagnent-elles de variations en terme de comportement du bois ?

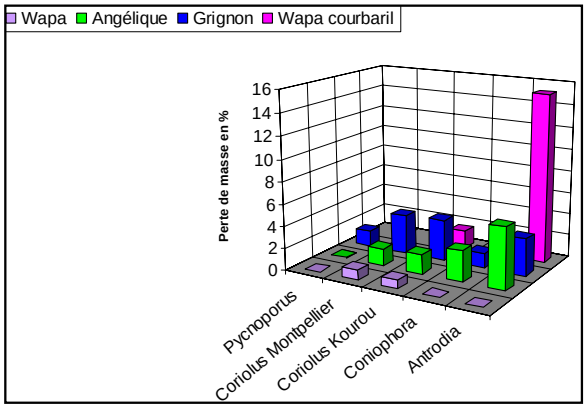
. Quels paramètres de structure participent à l'explication du comportement du bois ?

Le terme « bois de tension » recouvre différents types de structure suivant la stratégie de l'arbre.

Ces recherches ont notamment montré que la structure des fibres de bois de tension diffère entre les espèces. Le bois de tension des trois espèces étudiées présente des variations communes pour les paramètres relatifs à la cellulose, notamment un angle des microfibrilles plus faible et un diamètre des agrégats et des cristallites de cellulose plus élevé. A l'échelle de la composition chimique des parois, on a observé une variation de la lignification entre les différents types de bois. La quasi totalité des propriétés étudiées présente une variation depuis le bois opposé jusqu'au bois de tension. L'analyse de l'évolution des propriétés longitudinales en fonction de l'angle des microfibrilles a été confrontée aux relations prédites par un modèle de comportement du bois. Les écarts du modèle à l'expérience seraient indicateurs d'un changement de nature physico-chimique brutal entre le bois de tension et le bois normal. Les variations observées au niveau de la cellulose et de la lignine pourraient être à l'origine de ces changements de comportement.

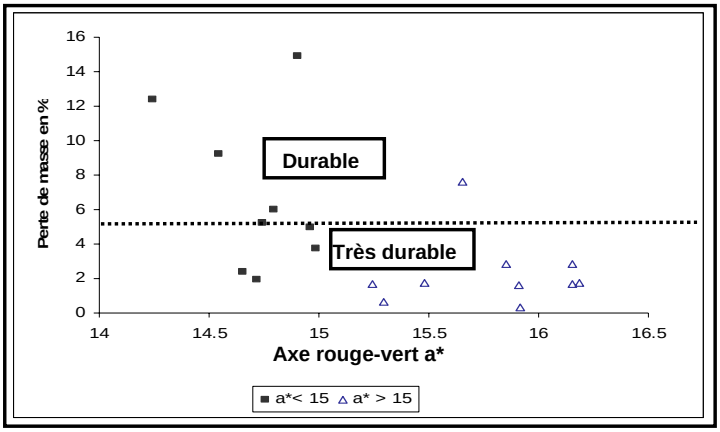
* Les bois de Guyane présentent une grande variabilité interspécifique de comportement vis à vis des agents de dégradation, principalement termites et champignons. Au sein d'une même essence, des hétérogénéités importantes de résistance ont également été observées liées au phénomène complexe de duraminisation et de vieillissement dans le temps des produits du métabolisme secondaire (extractibles).

L'étude de la variabilité de la durabilité naturelle d'essences guyanaises a fait l'objet d'une thèse qui s'est déroulée au Cirad sous la codirection de l'Engref et de l'Ird (Nadine Amusant, 2003, cf. résumé de thèse en annexe).



L'objectif du travail était de mettre en évidence les structures de cette variabilité afin de mieux connaître la durabilité naturelle du bois. Le travail a concerné quatre essences : l'Angélique (*Dicorynia guianensis*), le Grignon (*Sextonia rubia*), le Wapa (*Eperua falcata*) et le Wapa courbaril (*Eperua grandiflora*), (schéma récapitulatif des pertes de masses pour les 4 essences ci-contre).

L'étude a porté sur la variabilité inter-arbre et intra-arbre et a mis en évidence l'influence de paramètres tels que la taille de l'arbre, la hauteur et la position radiale, sur la durabilité naturelle. En général, cette durabilité est peu influencée par la hauteur de prélèvement, mais elle diminue du duramen externe vers le duramen interne.



Par ailleurs, les essais s'étalant sur une longue période, l'étude a été orientée sur les possibilités d'utiliser la couleur comme indicateur de classement de la durabilité, à partir des paramètres colorimétriques du système CIE L*a*b*[9] (graphe ci-contre).

La résistance de l'Angélique et du Wapa courbaril peut être classée en fonction du paramètre a* (axe vert-rouge) : la durabilité naturelle augmente avec ce paramètre (couleur rouge).

Il est à souligner que les résultats de thèse ont permis à Nadine Amusant de recevoir le 1er Prix des Assises Régionales de la Recherche en Guyane – Thème « Ressources naturelles et écosystèmes ».

Enfin, à travers l'exemple du Wapa et du Wapa courbaril, espèces botaniquement très proches mais de durabilité naturelle différente, le rôle des extractibles a été mis en évidence : ces deux espèces diffèrent par la composition qualitative et quantitative de leurs extractibles. Seul l'extrait diterpénoïque issu du Wapa présente une activité antifongique. De plus, le Wapa se caractérise par des teneurs en extractibles supérieures à celles du Wapa courbaril, ce qui pourrait expliquer la meilleure durabilité du Wapa.

Dans la continuité de ces travaux et de ceux conduits par Iris Brémaud à Montpellier (cf. résumé de thèse et chapitre « Connaissance des bois »), de nouvelles actions de recherche ont été engagées en 2006 sur la nature, le rôle et la localisation des métabolites secondaires interférant sur la stabilité dimensionnelle, la viscoélasticité et la durabilité naturelle des bois (thèse en cours de Mariana Royer, UMR Ecofog – UPR 40). L'objectif est de déterminer la nature de ces substances pour quelques espèces guyanaises sélectionnées, d'évaluer leur impact sur ces trois aspects de la stabilité des bois en service, de mieux connaître les molécules responsables de propriétés technologiques majeures des bois (physiques, mécaniques et biologiques), et si possible, de commencer à identifier leurs modes d'action.

39 - Efficacité des produits de préservation

L'efficacité des produits de préservation du bois ou des produits de lutte contre les termites dans le bâtiment est mesurée selon des normes de laboratoire qui se réfèrent aux xylophages d'Europe.

[9] Modèle de représentation des couleurs développé par la CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) ; ce système donne une représentation globale de la couleur suivant trois axes : l'axe noir-blanc qui traduit la clarté (coordonnée L, croissant de 0 à 100 du noir au blanc), l'axe vert-rouge (coordonnée a, croissant de -120 à +120 du vert au rouge, le 0 correspondant au gris) et l'axe bleu-jaune (coordonnée b, croissant de -120 à +120 du bleu au jaune, le 0 correspondant au gris).

L'efficacité de ces produits doit être évaluée par des essais de champs mettant en œuvre les xylophages locaux (insectes ou champignons), dans leur climat et leur habitat naturel (photo ci-contre). Plusieurs catégories de produits ont été testées :

- des produits de traitement anti-termite des sols et des murs,
- des produits de traitement des bois mis en œuvre,
- des pièges à termites.

Les essais doivent se prolonger sur une durée de 5 ans.

Site et bâti d'exposition des éprouvettes

4 – Durabilité et préservation des bois

41 – Contexte et justification des recherches

La prise en compte des facteurs environnementaux et de protection de la santé humaine dans les réglementations concernant les produits de traitement du bois est à l'origine du renforcement et du développement des recherches dans ce domaine.

L'interdiction et la restriction d'utilisation progressive de quelques biocides représentant une grande part du marché ont conduit à un repositionnement de la stratégie de recherche.

En régions tropicales, le bois de nombreuses essences forestières est naturellement durable c'est-à-dire résistant aux agents biologiques de détérioration (champignons lignivores et insectes xylophages) ; dans ces régions, les termites sont sans doute les agents de détérioration du bois les plus virulents et les plus redoutés, à l'origine de nombreux sinistres dans des ouvrages en bois.

Les essences forestières naturellement durables sont une spécificité des régions tropicales tant par leur nombre, leur diversité, que par le potentiel disponible qu'elles représentent.

Une première voie de Recherche & Développement a consisté à mieux cerner le comportement de certaines essences tropicales présentant une très bonne durabilité naturelle puis à favoriser leur utilisation en substitution des traitements chimiques utilisés sur des essences à plus faible durabilité. En s'appuyant sur la richesse de ses bases de données, le CIRAD a joué un rôle moteur dans cette démarche.

Parallèlement, les performances exceptionnelles de certaines essences tropicales ont conduit à intensifier les recherches sur la compréhension du processus de durabilité naturelle et à isoler les composés chimiques présents naturellement dans ces bois et responsables de cette durabilité.

En collaboration avec l'équipe de Guyane de l'Unité et avec l'UMR Ecofog, l'équipe *Durabilité et préservation* a notamment identifié le rôle de certains de ces extractibles dans plusieurs essences commerciales guyanaises.

Des méthodes de traitement à base de produits recomposés à partir de certains extraits naturels ont été proposées et ont conduit au dépôt du brevet « *Utilisation de déchets ou d'extraits de bois en tant qu'insecticide*[1]» en co-propriété avec le CNRS.

Parallèlement à la démarche visant au développement des méthodes de lutte, des recherches sur le comportement des agents biologiques de détérioration ont été menées en entomologie (partenariat avec l'université de Dijon, le CTBA et le CNRS de Tours) et en mycologie (partenariat avec l'UMR/LSTM[2]), les techniques de biologie moléculaire étant

[1] CIRAD, CNRS (50%, 50%)
Inventeurs : JL. Clément et S. Robert (CNRS), D. Fouquet et A. Zaremski (Cirad).
Cabinet de brevets : Grosset-Fournier & Demachy puis SGA²
Brevet français n° 99/16408, déposé le 23/12/1999, brevet délivré le 03/01/2003.
Demande internationale n°PCT / FR00 / 03601 du 20/12/2000.
Brevet européen n°00 990 070.5/1 239 735

[2] Laboratoire des Symbioses Tropicales et Méditerranéennes, UMR 113, Montpelllier - Baillarguet

utilisées comme outil de différenciation et classification des diverses populations de champignons lignivores.

Le volet Mycologie de ces recherches a fait l'objet d'un doctorat conduit par un agent de l'équipe[3].

Le Laboratoire de Préservation apporte une importante contribution à l'enrichissement de la Base de Données Bois du CIRAD (cf. chapitre 6) par la détermination de la durabilité naturelle (résistance aux termites et aux champignons) de nouvelles essences non référencées dans la Base ou insuffisamment caractérisées.

Ainsi, sur les cinq dernières années, 31 essences tropicales ou méditerranéennes ont fait l'objet d'essais de caractérisation, soit pour une amélioration des connaissances à caractère systématique, soit dans le cadre d'opérations contractualisées sur le thème « Connaissance des bois » pour lesquelles un volet « Durabilité naturelle » était demandé.

Les recherches dans lesquelles l'Unité est engagée sont le plus souvent conduites dans le cadre de projets contractualisés, sur financement français ou européen.

Elles concernent deux axes thématiques majeurs :

1) Identification, extraction et analyse de l'effet biocide de métabolites secondaires d'espèces à durabilité naturelle élevée en vue de leur utilisation en tant que matière active de protection du bois - Rôle de ces métabolites dans le phénomène de duraminisation du bois

2) Elaboration de composites bois à durée de vie améliorée

Les résultats obtenus sont présentés pour les projets relevant de chacun des deux axes.

Par ailleurs, les activités du Laboratoire de Préservation sont fortement orientées par son engagement dans une **démarche Qualité** qui a conduit à la mise en place d'un **système Qualité** et à **l'accréditation COFRAC** du Laboratoire.

Les modalités de mise en place et les résultats de cette démarche sont présentés en fin de chapitre.

42 - Identification, extraction et analyse de l'effet biocide de métabolites secondaires d'espèces à durabilité naturelle élevée en vue de leur utilisation en tant que matière active de protection du bois - rôle de ces métabolites dans le phénomènes de duraminisation du bois

[3] Zaremski A., 2005 : *Les Aphyllophorales impliquées dans la dégradation du bois : caractérisation taxinomique, phylogénie et détection précoce des champignons dans le bois*. Université de Provence - Aix-Marseille I, Ecole doctorale *Biosciences de l'Environnement, Chimie et Santé*

42.1 - Potentialités d'utilisation de molécules insecticides pour la préservation des bois à base d'extractibles d'essences naturellement durables

Ce projet financé par l'ADEME a été conduit en collaboration avec le CNRS (Laboratoire de neurobiologie UMR 6035).

Il avait pour objectifs :

- d'évaluer l'activité insecticide potentielle de molécules extraites d'essences naturellement durables, Bois de rose (*Aniba rosaeodora*) et Grignon (*Sextonia rubra*) conformément aux normes en vigueur (EN 117[4], EN 118[5]),

- de contrôler l'écotoxicité des extraits méthanoliques de Bois de rose et de Grignon vis-à-vis des algues et des daphnies.

Le Bois de rose contient :

- des huiles essentielles dans lesquelles ont été identifiées le 1,8-cinéol, l'α-terpinéol et le linanol, ce dernier étant présent majoritairement,

- des alcaloïdes dont l'anibine et des composés secondaires provenant de réactions de condensation lors de la phase d'extraction.

Le Grignon contient :

- des huiles essentielles dans lesquelles ont été identifiés majoritairement le 1,8-cinéol et l'α-terpinéol et dans de moindres proportions le linalol,

- des composés alcaloïdiques non identifiés,

- des composés polyphénoliques de type catéchique.

Les huiles essentielles de Bois de rose présentent une activité anti-termite à un seuil qui se situe entre 10% et 13% (m/m) lors de la mise en place d'un traitement de surface.

De même, les alcools terpéniques testés individuellement sont aussi efficaces mais les seuils d'activité sont plus élevés (notamment l'α-terpinéol). Le champ d'action de ces molécules n'est pas limité aux termites.

Une application des extraits méthanoliques de Grignon et de Bois de rose sous forme de traitement de surface est inefficace. Cependant, lorsque ces extraits sont appliqués par un procédé d'imprégnation sous vide, seul l'extrait méthanolique de Bois de rose se révèle efficace. L'imprégnation sous vide assure un taux de rétention des matières actives supérieur à celui d'un traitement de surface. De plus les composés présents dans l'extrait méthanolique de Grignon sont trop dilués pour manifester une activité biologique.

En combinant dans un rapport de 50% chacun des extraits méthanoliques, l'activité biologique des extraits est améliorée quelle que soit le mode d'imprégnation mis en œuvre.

A travers ce résultat, les alcools terpéniques apparaissent ne pas être les seuls composés responsables de l'activité anti-termite.

L'action des alcaloïdes, dont la teneur est sensiblement augmentée lorsqu'on mélange les deux extraits, n'est pas négligeable.

[4] EN 117 : Produits de préservation du bois - Détermination du seuil d'efficacité contre les espèces *Reticulitermes* (termites européens) (méthode de laboratoire)
[5] EN 118 : Produits de préservation du bois - Détermination de l'efficacité préventive contre les espèces *Reticulitermes* (termites européens) (méthode de laboratoire)

Les essais biologiques réalisés à partir des extraits bruts permettent de confirmer le rôle mineur joué par les composés terpéniques comparativement aux composés alcaloïdiques. Ces essais ont aussi permis de confirmer que l'absence d'activité des extraits méthanoliques observés lors de la mise en place des essais termites (EN 118) repose essentiellement sur une teneur trop faible en matières actives. Sous cette forme, les extraits présents chez le Grignon sont plus actifs, le seuil d'activité se situe en 23% et 43% (m/m).

Pour les mêmes raisons, le seuil d'efficacité du mélange d'extraits bruts est plus bas que celui obtenu avec les éprouvettes traitées avec le mélange d'extraits méthanoliques.

L'extrait brut de Grignon étant plus actif, on améliore l'activité du mélange.

Ce résultat est particulièrement intéressant car on constate qu'en combinant les extraits, l'activité du mélange est améliorée. Ceci permet de plus de diminuer les proportions d'extraits nécessaires à l'obtention d'un traitement efficace.

Dans une dernière phase, le caractère écotoxique des extraits méthanoliques de Grignon et de Bois de rose vis-à-vis des algues et des daphnies a été évalué.

L'extrait méthanolique de Bois de rose est sans effet sur ces organismes aquatiques tandis que l'extrait de Grignon est considéré comme toxique pour les daphnies.

Ces résultats montrent l'importance du rôle que peuvent jouer les extractibles dans l'amélioration de la durabilité de certaines essences en les intégrant dans des formulations de produits de préservation.

Cependant, il est nécessaire de se pencher davantage sur les associations des composés présents dans les extraits et les synergies développées par un choix plus adapté des espèces afin d'éliminer le risque d'obtention de matières actives à trop large spectre d'activité.

42.2 - Etude des possibilités de valorisation des sous-produits de la transformation du bois pour la fabrication de produits de préservation

Ce projet européen CRAFT (2002-2005) a regroupé sept partenaires européens (privés ou organismes de recherche) français et espagnols.

Son objectif général était de développer l'utilisation de déchets de scierie pour des essences naturellement durables afin d'en extraire des substances biocides naturelles utilisables en préservation des bois en remplacement de biocides à haute toxicité et à fort impact environnemental (Aldrine, Lindane, CCA...).

Cinq essences naturellement durables ont été sélectionnées :

Grignon (*Ocotea rubra*)

Cyprès (*Cupressus sempervirens*)

Robinier (*Robinia pseudoacacia*)

Cèdre (*Cedrus atlantica*)

Genévrier (*Juniperus communis*)

Après extraction, l'efficacité des produits biocides obtenus a été testée ainsi que leur éco-toxicité et leurs possibilités d'application industrielle.

Sur un plan scientifique, l'intérêt de ce projet est lié au caractère innovant de la démarche d'identification et d'isolement des biocides d'origine naturelle présents dans le bois et obtenus à partir de produits connexes.

Sur un plan technique, l'intérêt du projet est lié à la mise en application de deux nouvelles technologies d'extraction, extraction à l'aide d'un fluide supercritique au lieu d'un solvant et extraction à l'aide de solvants fluorés.

Le projet est organisé autour de 4 tâches principales :

1 - Etude et caractérisation de la durabilité naturelle des essences sélectionnées

2 – Etude de l'efficacité des méthodes d'extractions (méthodes conventionnelles et nouvelles méthodes, notamment extraction par fluide supercritique)

3 – *Screening tests* : étude de l'efficacité biocide des extraits bruts (contre les insectes et les champignons de pourriture)

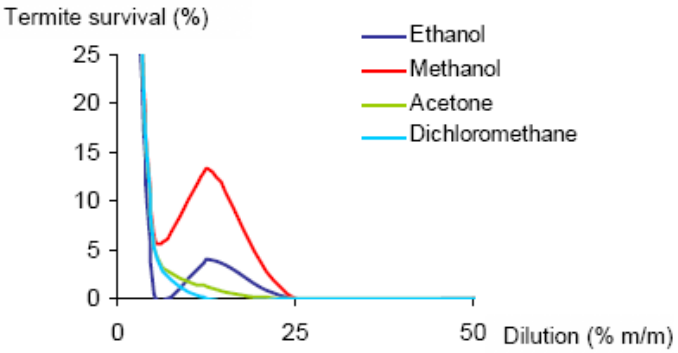
4 – Essais biologiques normalisés

5 – Identification des molécules actives dans les extraits analysés

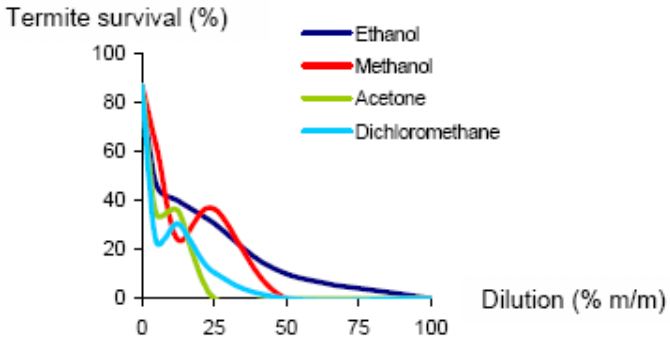
Certains des résultats obtenus sont apparus très prometteurs, même si les perspectives d'application immédiates restent limitées et ne peuvent être envisagées sans recherche complémentaire :

Les résultats des *screening tests* montrent que :

* Les méthodes d'extractions et la nature des solvants utilisés ont une influence sur les extraits obtenus (en qualité et en quantité). L'effet biocide sur les termites varie en fonction du solvant utilisé (graphes ci-dessous).



Taux de survie des termites en présence d'extractibles de Grignon



Taux de survie des termites en présence d'extractibles de Cyprès

* Les essais termites montrent que les extraits du duramen de Cyprès sont particulièrement actifs avec un très fort pouvoir biocide, mais un faible effet répulsif.

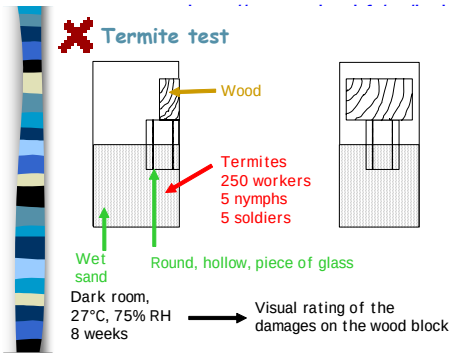
Un effet du même type a été observé pour les extractibles de Grignon, avec un moindre effet biocide, mais un effet répulsif marqué.

* Pour les deux espèces, les extraits obtenus par voie supercritique ont une activité biocide (anti-termites) plus faible que ceux obtenus par voie conventionnelle (soxhlet).

* Les extraits obtenus à partir du Cyprès, du Grignon et du Cèdre n'ont aucun effet biocide vis-à-vis de *Coniophora puteana* (extraction soxhlet).

* L'activité biocide du mélange d'extraits Cyprès + Cèdre n'est pas supérieure à celle des extraits pris individuellement.

Ces essais mettent en évidence la difficulté à évaluer l'efficacité biocide des extraits obtenus mis en solution dans des solvants, et l'importance de la formulation adoptée lorsqu'il s'agit de tester l'efficacité biologique de matières actives.



Dispositif d'essai selon la norme EN 117

L'étude du caractère biocide des extraits vis-à-vis des termites selon la norme EN 117 (détermination du seuil d'efficacité des produits de préservation vis-à-vis des termites *Reticulitermes*) montre que les extraits de Grignon confèrent une bonne protection contre les attaques de termites bien que comme précédemment, il soit nécessaire de mettre au point une formulation appropriée.

Les essais selon la norme EN 118 (détermination de l'efficacité préventive des produits de préservation contre les termites *Reticulitermes*) donnent des résultats similaires.

Spécifiquement sur le Cèdre, les résultats obtenus montrent que :

- Les bois traités uniquement avec le solvant puis séchés subissent une attaque fongique équivalente à celle des témoins.
- Les deux extraits de Cèdre (dichlorométhane et éthylacétate) révèlent une activité biocide contre les champignons de pourriture lorsqu'ils sont utilisés à une concentration relativement élevée (7,4% testé).
- Les deux extraits ne sont pas efficaces contre les champignons de pourriture fibreuse.
- Les facteurs de correction sont d'autant plus élevés que la concentration en extrait augmente ; il est donc nécessaire d'avoir une formulation adaptée pour éviter un délavage des bois traités.

L'identification des molécules actives a été réalisée à l'aide d'une chaîne HPLC[6].

Les analyses statistiques qualitatives et quantitatives des résultats obtenus sur le Grignon et le Cyprès montrent qu'il est quasi impossible d'identifier les molécules ou même les familles de composés actifs présents dans les extraits étudiés.

Ces extraits contiennent de nombreuses molécules différentes issues de famille très diverses : les opérations de purification et d'analyse sont particulièrement difficiles à conduire. De plus, en terme d'activité biologique, il est très rare qu'une seule molécule soit active ; dans la plupart des cas, plusieurs molécules sont actives simultanément et agissent en synergie.

Il apparaît alors particulièrement important d'étudier les variations de composition entre les différents extraits.

[6] High Performance Liquid Chromatography

42.3 - Valorisation d'insecticides phytochimiques issus de cinq espèces forestières marocaines

Ce projet PRAD (2005-2007) est conduit en collaboration avec l'Université Hassan II de Mohammedia avec comme objectif de rechercher à partir de cinq espèces ligneuses marocaines choisies pour leur résistance naturelle, les extraits présentant une forte activité anti-termite. Les recherches ont porté sur des espèces riches en huiles essentielles ce qui permettait de réduire les risques liés à l'écotoxicité des extraits et les problèmes de mise en œuvre des traitements.

Ces extraits seront susceptibles d'être utilisés dans les produits de traitement du bois à faible impact écotoxique. Les espèces retenues sont le Genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*), le Genévrier rouge (*Juniperus phoenicea*), le Genévrier de Phénicie (*Juniperus phoenicia*), le Cèdre (*Cedrus atlantica*) et le Thuya (*Tetraclinis articulata*).

Les différents échantillons de bois ont subi des extractions par hydrodistillation pour obtenir l'huile essentielle et une extraction par le méthanol au soxhlet pour l'obtention des extraits méthanoliques.

Les résultats des essais biologiques sur les huiles essentielles brutes des espèces étudiées ont montré que ces huiles sont toutes toxiques et conduisent à la mort des termites après un délai de trois jours. Les seuils d'activité se situent entre 5% et 25 % (dilution dans un solvant approprié) pour le Cèdre et le Thuya. Les extraits méthanoliques se sont révélés moins efficaces.

Les études phytochimiques des huiles essentielles donnent les résultats suivants :

Essences	Constituants de l'huile essentielle
Juniperus phoenicia	monoterpènes (28%), sesquiterpènes (24%) et cédrol comme constituant majoritaire (13%)
Juniperus thurifera	Cédrol à hauteur de 40%
Juniperus oxycedrus	cadinène (27%)
Tetraclinis articulata	sesquiterpènes (45%) et monoterpènes (17%) avec cédrol (30 %) comme constituant majoritaire
Cedrus atlantica	tel que décrit dans la littérature, essentiellement des sesquiterpènes de type himachalènes a,ß,? (75 %).

Deux essais d'écotoxicité et de vérification de la sensibilité des réactifs biologiques par des substances de référence préconisées par les normes relatives aux deux bio-essais (Test Algue (CEi5072h = 0,7 mg/l) et Test Daphnie (CEi5024h = 1,13 mg/l)) ont donné des résultats conformes aux normes recommandées.

Ces premiers résultats tendent à montrer que l'application de ces produits ne présenterait pas de danger pour l'environnement. Néanmoins des études complémentaires sur leur profil écotoxicologique et leur devenir dans les différents compartiments touchés sont indispensables pour valider leur non écotoxicité.

L'activité termicide des huiles apparues les plus efficaces lors de la mise en place de tests *screening* (Thuya, Cèdre, Genévrier) a été étudiée conformément à la norme EN 118. Trois concentrations ont été utilisées, 20 %, 10% et 1 %, en dilution dans de l'éther éthylique.

Seule l'huile essentielle de Thuya s'est révélée efficace : le seuil d'activité se situe entre 1 et 10 % (v/v). On note cependant que les autres huiles testées perturbent les termites (taux de mortalité élevé en fin d'essai) ; le traitement présente une certaine toxicité.

De même, les huiles essentielles testées se sont révélées très efficaces vis-à-vis des champignons lignivores (*Coriolus versicolor*) lors de la mise en place de tests screening. L'huile essentielle de Thuya présente une activité fongicide à une concentration de 500 ppm.

Ces résultats très positifs ont donné lieu à une collaboration avec une société industrielle cliente du Laboratoire pour les tests d'efficacité de produit (Sté Dyrup), et à la recherche de nouvelles matières actives à faible impact environnemental. Une étude a été lancée sur les potentialités d'utilisation d'extraits issus d'espèces végétales comme matières actives pouvant être utilisées dans les produits de préservation du bois.

42.4 - Application de la SPIR à l'évaluation de la durabilité naturelle du bois

Présentation des résultats du projet correspondant dans le Chapitre 52.2 *Spectrophotométrie proche infrarouge (SPIR).*

42.5 - Une nouvelle approche de la préservation du bois : la multi-inhibition - Etude de nouvelles formulations à faible impact environnemental

Ce projet a été conduit en collaboration avec deux UMR de l'INRA (UMR 1136 *Interactions Arbres/Micro-Organismes*, UMR 1093 *LERMAB*[7]) et financé par l'ADEME (2002-2005).

Bien que ne relevant pas de l'étude de biocides d'origine naturelle, les résultats de ce projet sont mentionnés dans ce chapitre car ils contribuent à la mise au point de nouvelles formulations à faible impact environnemental.

L'objectif général de ce projet était la mise au point de nouveaux produits de préservation du bois plus respectueux de l'environnement, en particulier l'identification de nouvelles molécules inhibant spécifiquement les mécanismes de dégradation du bois par les pourritures brunes et blanches. Trois grandes familles de molécules susceptibles d'intervenir dans les mécanismes de dégradation ont été ciblées : les chélateurs, les anti-oxydants et les analogues de substrat.

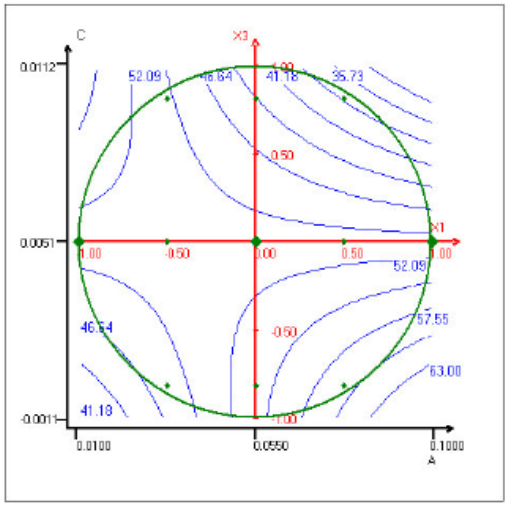
La finalité de ces travaux est d'associer des molécules appartenant à ces trois familles afin d'obtenir une synergie entre leurs propriétés pour une préservation plus efficace du bois.

[7] Laboratoire d'Etudes et de Recherche sur le Matériau Bois

Parmi les différentes molécules envisagées comme chélateur, la 2-hydroypyridine-N-oxyde (2-HPNO) présente les propriétés les plus intéressantes du fait de ses propriétés complexantes mais aussi du fait de son aptitude à se comporter comme un analogue de substrat vis à vis de nombreuses peroxydases, enzymes couramment impliquées dans la dégradation du bois.

Parallèlement à ces essais, l'effet de différents antioxydants industriels sur l'inhibition de la dégradation du bois causée par *Coriolus versicolor* a été évalué. Utilisés seuls, ces produits n'ont pas d'effet sur le développement du champignon.

L'association d'Irganox 1076, antioxydant appartenant à la famille des phénols encombrés, à de la 2-HPNO, a permis de mettre en évidence des effets de synergie entre ces deux produits (graphe ci-contre).



Evolution de la perte de la masse en fonction des concentrations de 2-HPNO (C) et d'Irganox

L'effet de ces différents additifs associés à des biocides de type triazoles a été évalué à des concentrations où ces derniers ne sont plus capables de protéger le bois lorsqu'ils sont utilisés seuls. Il ressort des résultats obtenus que la 2-HPNO et le Tinuvin 770, antioxydant appartenant à la famille des amines encombrées, présentent les effets les plus marqués et permettent de diminuer de moitié la quantité de biocides nécessaire pour protéger le bois.

D'un point de vue environnemental, cette diminution de la quantité de biocide nécessaire est un résultat particulièrement intéressant pour lequel il conviendra toutefois d'évaluer la faisabilité économique en fonction des quantités de produits utilisés.

Des essais complémentaires impliquant la mise en œuvre de formulations industrielles ainsi que l'évaluation de ces dernières selon les standards actuellement en vigueur dans le domaine de la préservation du bois seront également nécessaires pour mieux cerner l'efficacité de ces nouvelles formulations basées sur ce nouveau concept.

43 - Elaboration de composites bois à durée de vie améliorée

43.1 - Méthodologie d'essais biologiques pour évaluer la durabilité de contreplaqués à usage extérieur

Le projet *Biological performance testing methodology to evaluate the durability of plywood as an indicator for exterior construction purposes* (= Méthodologie d'essais biologiques pour évaluer la durabilité de contreplaqués à usages extérieur, = projet « PLYBIOTEST ») a constitué un des projets-phares de l'équipe Préservation sur la période écoulée (2002-2006, prolongement en 2007).

Ce projet européen financé dans le cadre du 5ème PCRDT a regroupé 13 partenaires européens[8] (entreprises privées et centres de recherche) issus de 5 pays de la communauté.

[8] Universiteit Gent (Belgique), Università di Torino (Italie), CIRAD Forêt, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (Allemagne), VTT Building and Transport (Finlande), CTBA (Centre Technique du Bois et de l'Ameublement, France), PANGUANETA s.n.c (Italie), COBLO n.v. (Belgique), FINNFOREST Oyj (Finlande), KOSKISEN Oy (Finlande), SCHAUMAN Wood Oy (Finlande), ALLIN (France), SMURFIT ROL PIN (France)

Le contreplaqué est un produit à base de bois dont les critères de performance sont parfaitement définis pour des utilisations extérieures exposées aux variations climatiques. Cependant, la durabilité naturelle de ce type de panneau reste une caractéristique encore mal définie ce qui ne va pas dans le sens d'un développement de ce type de produit. Les résultats récemment obtenus concernant la durabilité naturelle des bois massifs, notamment au contact du sol, devraient pouvoir être utilisés et transférés après adaptation aux contreplaqués.

Cependant, une application trop directe des résultats obtenus sur bois massif conduit à pénaliser le contreplaqué et à limiter ses potentialités d'utilisation, notamment en cas d'utilisation d'essences non durables.

L'objectif général du projet était de mettre au point et de valider une méthodologie adaptée à la détermination de la durée de vie des contreplaqués en fonction de leurs différents types d'utilisation. Un tel système d'évaluation de la qualité du contreplaqué en tant qu'éco-matériau biodégradable permettrait de mieux les positionner par rapport aux matériaux concurrents, constituant ainsi un réel outil d'aide à la décision pour l'utilisateur.

Le projet était organisé en 6 *workpackages* : (1) conception et fabrication de contreplaqués (à usage extérieur éventuellement), (2) qualification en laboratoire de la durabilité de ces contreplaqués, (3) réalisation d'essais de champ, (4) effet des traitements et revêtements de surface, (5) étude des performances en extérieur des contreplaqués, (6) mise en place d'une nouvelle méthodologie de qualification.

Pour le CIRAD, l'objectif principal des recherches était de corréler différents niveaux de dégradation biologique avec les pertes de performance de différents types de contreplaqués, en combinant les résultats obtenus lors d'essais expérimentaux et conventionnels de durabilité d'une part, et d'essais mécaniques non destructifs d'autre part (analyse de la propagation d'ultrasons et tests d'indentation). L'analyse des résultats obtenus conduit à la définition d'indicateurs du niveau d'attaque biologique des contreplaqués en vue de la mise au point d'une méthode rapide d'évaluation de leurs performances.

Ces essais ont aussi permis de déterminer les performances de contreplaqués revêtus de différents types de finitions.

Des mesures par ultrasons et des essais d'indentation ont été réalisés simultanément sur des bois massifs et sur différents types de contreplaqués fabriqués par les partenaires du projet, ceci avant et après essais biologiques.

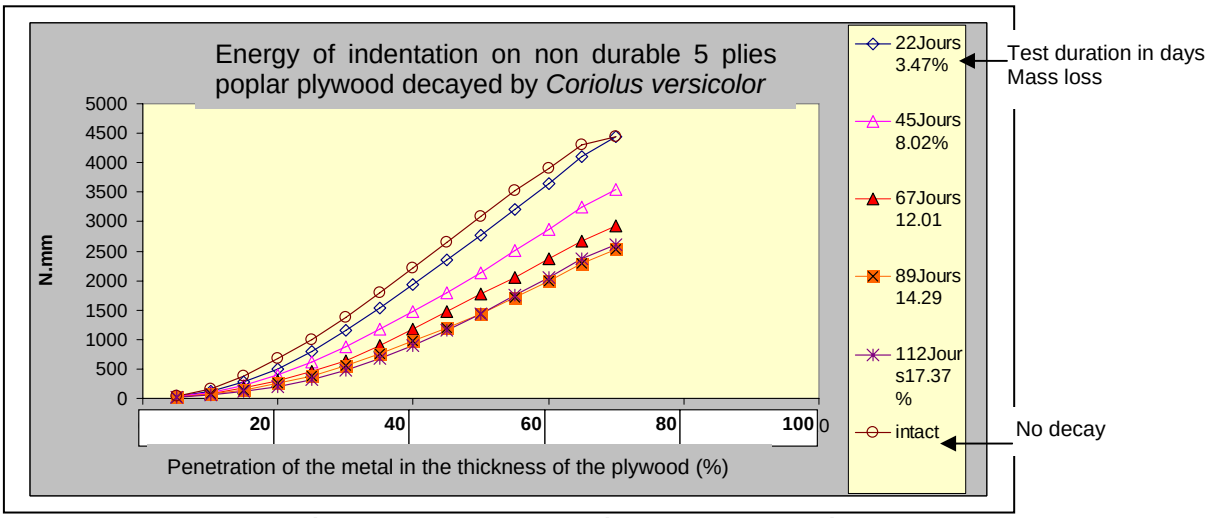
Un dispositif d'essais de cisaillement a été mis au point pour les contreplaqués, la résistance au cisaillement déterminée en fin de série d'essais constituant la référence mécanique (essai destructif) par rapport aux essais d'indentation et de propagation d'ultrasons.

La durabilité naturelle d'échantillons de Châtaignier, de Cyprès, de Cèdre a été déterminée. Compte tenu des résultats obtenus (très bonne durabilité naturelle), ces essences ont été retenues pour la fabrication des placages extérieurs de contreplaqués multi essences (alternance de plis des différentes essences suivant différents modèles).

Ces contreplaqués multi essences ont fait l'objet d'essais de durabilité naturelle puis d'essais mécaniques non destructifs, puis destructifs pour estimer le niveau d'attaque biologique.

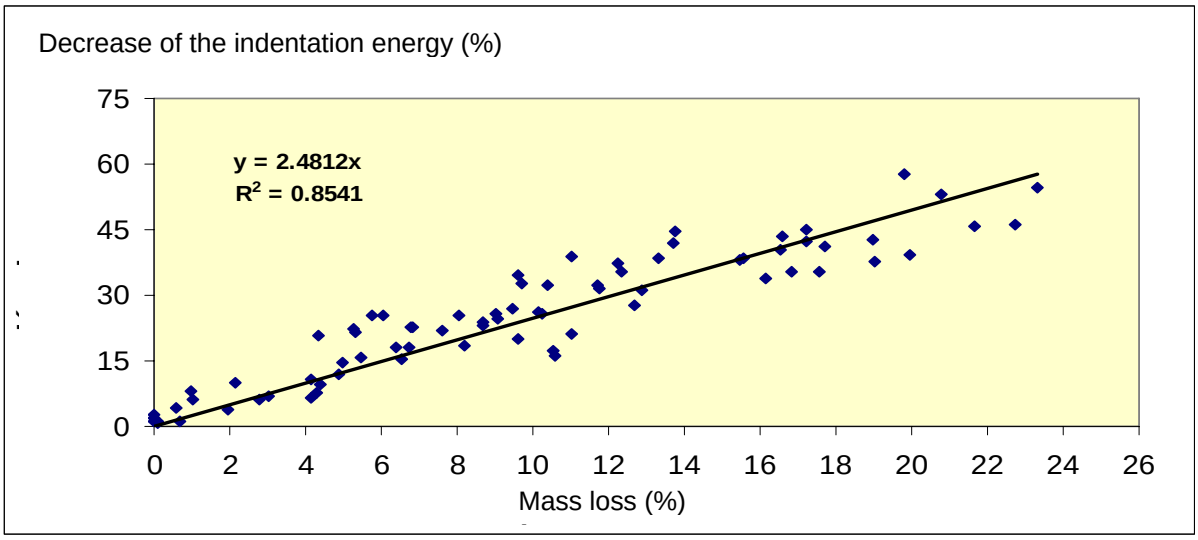
Afin de tester l'efficacité de la méthode par indentation pour déterminer le niveau d'attaque biologique des contreplaqués, des pré essais ont été réalisés sur des contreplaqués constitués de bois très peu durables ou non durables.

L'énergie d'indentation est apparue très bien corrélée à la perte de masse due aux attaques biologique (graphe ci-dessous).



Energie d'indentation mesurée sur des contreplaqués de Peuplier après attaque par *Coriolus versicolor*

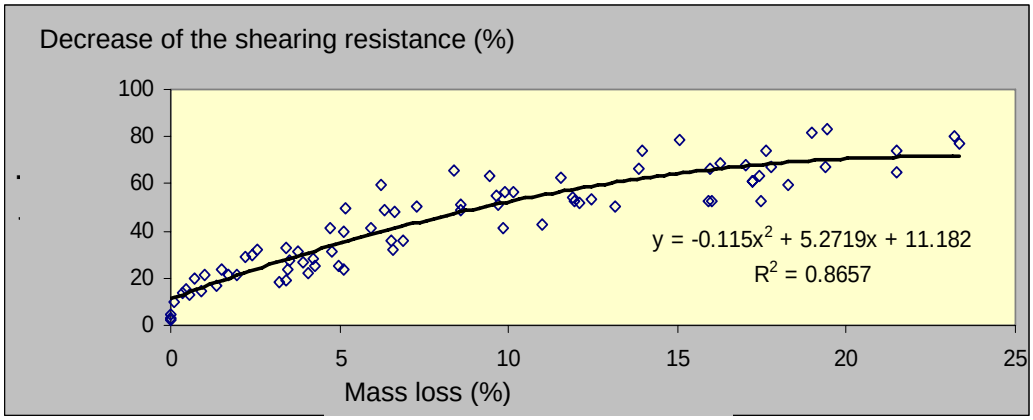
Des essais analogues réalisés sur des contreplaqués mono essence à durabilité naturelle faible ou élevée ont montré une évolution linéaire de la diminution d'énergie d'indentation avec la perte de masse (graphe ci-dessous). Ces résultats mettent en évidence l'intérêt du test d'indentation pour évaluer la durabilité des contreplaqués.



Relation entre la diminution d'énergie d'indentation et la perte de masse due aux attaques fongiques (96 contreplaqués testés, 12 échantillons par contreplaqué)

Les essais d'indentation sont très peu destructifs et des essais de cisaillement qui constituent la référence mécanique (essais destructifs) ont été réalisés sur les même échantillons ; la résistance initiale au cisaillement a été déterminée sur des éprouvettes jumelles.

La perte de masse est très bien corrélée à la diminution de résistance au cisaillement (figure ci-dessous) ; cet essai mécanique apparaît comme le plus fiable pour estimer la perte de performance mécanique des échantillons de contreplaqué.



Relation entre la diminution de résistance au cisaillement et la perte de masse due à l'attaque fongique (96 contreplaqués testés, 12 échantillons par contreplaqué)

Cependant, la comparaison avec l'essai d'indentation montre que :

- la relation entre la perte de masse et la résistance au cisaillement n'est pas linéaire,
- pour des pertes de masse élevées (< 20%), la relation entre les deux variables n'est plus significative, la résistance au cisaillement devenant trop faible,
- l'essai de cisaillement est lourd à mettre en œuvre et long à réaliser,
- c'est un essai totalement destructif.

Les résultats obtenus montrent aussi que l'utilisation en mélange d'essences durables et non durables augmente la durabilité des contreplaqués. La résistance du bois vis à vis des champignons lignivores est d'autant plus grande que le nombre de couches constituées d'essences durables est élevé. La résistance est également améliorée si ces couches sont situées vers l'extérieur des panneaux. Les contreplaqués avec des plis extérieurs en Cyprès sont apparus les plus performants.

43.2 - Etude des possibilités d'utilisation d'espèces durables pour la fabrication de panneaux OSB[9] en vue d'obtenir un matériau naturel résistant aux termites

Cette Action Concertée Incitative en cours de réalisation (2004-2007) a regroupé trois laboratoires français, le Laboratoire de Préservation du CIRAD, le LMGC et le LERMAB.

Ce projet avait pour objectif de concevoir un panneau OSB à usage structurel, véritable éco-matériau résistant aux termites (OSB-Biotermicide) grâce à l'utilisation de lamelles de bois provenant d'espèces durables. Ce concept ne modifie pas les caractéristiques physico-mécaniques du matériau. Le choix des résines assurant la cohésion entre les lamelles doit respecter les contraintes environnementales.

Les objectifs scientifiques du projet sont les suivants :

- conception d'un éco-matériau par le choix d'espèces forestières et de résines adaptées,
- étude du comportement mécanique du panneau en fonction des proportions de bois durables utilisés, et proposition de modèles décrivant le comportement du matériau,
- caractérisation de la durabilité naturelle du panneau OSB vis-à-vis des termites,
- évaluation du niveau de dégradation et de la résistance mécanique des panneaux par des tests destructifs ou non.

[9] Oriented Strand Board