

Prix Thèses des Bois

Mardi 11 Juillet 2017 - 8H30 à 18H00 à l'Amphi Sylvae
Campus Bordeaux Sciences Agro, 1 Cours du Général de Gaulle 33170 Gradignan

Programme

- 8h30 :** Accueil des participants - Petit déjeuner
- 8h50 - 9h00 :** Présentation de la journée Thèses des Bois
Christine DELISEE - Bordeaux Sciences Agro
Vice-Présidente du Conseil Scientifique de Xylofutur
- 9h00 - 9h30 :** La dispersion des glands et ses conséquences pour la régénération et l'expansion d'un peuplement de chêne.
Présentation : Gabriel GERZABEK - UMR 1202 Blogeco - INRA - Université de Bordeaux
Encadrant : Arndt HAMPE
- 9h30 - 10h00 :** Vers l'aménagement d'un système Forêt-Bois à la fois ancré au territoire et résilient : l'Economie Circulaire des bioressources forestières
Présentation Stéphane ESPARON - GREThA UMR CNRS 5113 - Bordeaux Sciences Agro
Encadrant : Jean-Christophe PEREAU
- 10h00 - 10h30 :** Diversité des patrimoines et valorisation de la biomasse forestière : Quelles mutations des filières forêt bois ?.
Présentation : Alienor de ROUFFIGNAC - IRSTEA Bordeaux - Laboratoire REGARDS - Université de Reims Champagne Ardenne URCA
Encadrant : Martino NIEDDU
- 10h30 - 11h00 :** Valorisation du hêtre par de nouveaux traitements biosourcés non-biocides.
Présentation : Clément L'HOSTIS - LERMAB/CIRAD - Université de Lorraine
Encadrant : Philippe GERARDIN
- 11h00 - 11h10 :** PAUSE
- 11h15 - 11h45 :** Optimisation multi-objectif d'un isolant thermique à base de fibre de bois.
Présentation : Mohamad Hussein HOBALLAH - LIMBHA - Ecole Supérieure du Bois - Nantes
Encadrant : Mark IRLE

- 11h45 - 12h15 :** Synthèse de tensioactifs cationiques à partir de ressources renouvelables.
Présentation : **Clément JOURNOUX-LAPP** - IC2MP - Université de Poitiers / Société ARD
Encadrant : **Karine De OLIVEIRA VIGIER**
- 12h15 - 13h30 :** **DEJEUNER**
- 13h30 - 14h00 :** Régulation de la formation du bois chez l'Eucalyptus lors du développement et en réponse à des contraintes de l'environnement.
Présentation : **Raphaël PLOYET** - Laboratoire de Recherche en Sciences Végétales - Université Toulouse III Paul Sabatier - CNRS
Encadrant : **Jacqueline GRIMA-PETTENATI**
- 14h00 - 14h30 :** Classement mécanique des sciages feuillus.
Présentation : **Younes FAYDI** - LaBoMaP - Arts et Métiers Cluny
Encadrant : **Robert COLLET**
- 14h30 - 15h00 :** Gestion des impacts des tempêtes sur le secteur forêt bois via une approche systémique et intégrée à l'échelle régionale.
Présentation : **Simon RIGUELLE** - Gembloux Agro-Bio Tech - Université de Liège (BELGIQUE)
Encadrant : **Dr Benoit JOUREZ**
- 15h00 - 15h10 :** **PAUSE**
- 15h10 - 15h40 :** Vulnérabilité et tolérance de la subéraie Tunisienne face aux changements climatiques : Réponses au stress hydrique et diversité génétique en Kroumirie et dans les zones reliques.
Présentation : **Nesrine TLILI** - Laboratoire de Recherche Ecologie Forestière INRGREF : Institut National de Recherches et Génies Rural Eau et Forêts.
Encadrant : **Youssef AMMARI**
- 15H40 - 16h10 :** Comprendre les interactions pouvant exister entre photodégradation et dégradation biologique de finis translucides.
Présentation : **Antoine COGULET** Université Laval - Québec - CANADA
Encadrant : **Pierre BLANCHET**
- 16h10 - 17h10 :** **DELIBERATION DU JURY**

Mercredi 12 Juillet 2017 de 13h00 à 13h30

Remise des Prix Thèses des Bois 2017

**LORS DE L'ASSEMBLEE GENERALE PUBLIQUE DE Xylofutur
9h30-13h30**

**Campus Bordeaux Sciences Agro
Bâtiment Brémontier - AMPHI Sylvae - 1, Cours du Général de Gaulle 33175 Gradignan**

- 13h00 - 13h20 : RESTITUTION DES LAUREATS des THESES DES BOIS 2017**
Chacun des trois lauréats expose ses travaux en 180 secondes.
- 13h20 - 13h30 : ATTRIBUTION ET REMISE DES PRIX**
Par Xylofutur, Solvay - Fondation Bordeaux Université et GRD Bois.



La dispersion des glands et ses conséquences pour la régénération et l'expansion d'un peuplement de chêne.

Gabriel GERZABEK - UMR 1202 Biogeco - INRA/Université de Bordeaux
Contact Scientifique : gabriel.gerzabek@gmail.com

Résumé en Français, 550 mots :

150 années de plantation de pins ont transformé le paysage des Landes de Gascogne en l'une des plus grandes forêts plantées d'Europe. Cette dynamique s'est accompagnée de la colonisation de la région par le chêne, suivant un processus d'expansion, possible sous-produit de cette gestion forestière. Aujourd'hui, de petits peuplements de chênes épars sont une caractéristique de ce territoire. Les pratiques de gestion actuelles, encouragées par des études mettant en évidence leurs effets bénéfiques sur la santé des monocultures de pins et la biodiversité, tendent à tolérer leur expansion. En outre, ces peuplements de chênes ont une valeur patrimoniale et récréative appréciée des locaux. Leur conservation et leur développement relèvent donc d'un intérêt socio-économique considérable. La régénération du chêne peut être améliorée à la faveur de mesures simples et peu coûteuses (e.g. éclaircies ou le contrôle de la végétation), pourvu que celles-ci soient guidées par une connaissance profonde des processus en jeu dans la reproduction des chênes. Cette thèse explore deux processus clés : la dispersion des glands de chêne et l'établissement subséquent des jeunes plantules.

Le vecteur de dispersion principal des glands est le geai du chêne, une espèce réputée pour transporter et stocker de grandes quantités de glands qui finiront éventuellement par germer et devenir des arbres. Il est communément admis que les geais influencent les patrons spatiaux de régénération des chênes. Cependant, les évidences scientifiques attestant de cette influence restent faibles, essentiellement à cause de la difficulté à suivre le gland de l'arbre mère au site où la plantule pourra éventuellement s'établir. Pour dépasser cette barrière méthodologique, j'ai adopté une approche combinant la génétique et l'écologie. J'ai cartographié et génotypé >800 plantules dans un peuplement de chênes avant d'utiliser une analyse de parenté afin d'identifier leur arbre mère et ainsi estimer le succès de dispersion de chaque arbre. De plus j'ai effectué un suivi des plantules génotypées durant trois années. En combinant données génétiques et écologiques je me suis appliqué à répondre aux questions suivantes : 1) Quels traits déterminent l'attractivité d'un arbre vis-à-vis des disperseurs ? *Les disperseurs ont systématiquement préféré les arbres les plus fertiles; ce résultat souligne le rôle essentiel des grands arbres en tant que source pour la régénération du chêne.* 2) Pour un arbre, disperser un grand nombre de glands implique-t-il une régénération importante ? *Les plantules des arbres fertiles subissent une mortalité supérieure, la domination initiale de ces arbres devrait donc diminuer durant le processus d'établissement.* 3) La diversité génétique des plantules varie-t-elle durant l'établissement ? *La diversité génétique est restée élevée malgré une mortalité de 70%, ce qui suggère que même des peuplements de taille modeste n'encourent pas de risques génétiques, tel que la consanguinité.*

Cette thèse fournit un tableau détaillé de la dynamique et la génétique de la régénération naturelle des chênes avec des implications quant à la gestion des forêts de chênes des Landes de Gascogne. Quatre participations à des congrès internationaux ainsi que deux articles scientifiques, publiés ou en révision dans des journaux prestigieux attestent de son intérêt académique :

- 1) Gerzabek *et al.*, 2017. Temporal change and determinants of maternal reproductive success in an expanding oak forest stand. *Journal of Ecology* **105**: 39-48.
- 2) Gerzabek *et al.*, Drivers of individual oak tree selection by acorn dispersing animals inferred from a genotyped seedling cohort. *Ecology*, in 2nd review.

Mots-clés :

Dispersion de graines, régénération, contribution maternelle, inégalités reproductives, Quercus sp., expansion démographique, analyse de parenté, recrutement de plantules.



Acorn dispersal and its consequences for forest stand regeneration and expansion.

Abstract in English, 550 words:

150 years of maritime pine afforestations have converted the Landes de Gascogne from a largely treeless region into the major continuous area of planted forest in Europe. Since then, the region has also been vigorously colonized by oaks in an expansion process that was probably a byproduct of the pine forest management. Today, small, scattered oak stands are a widespread phenomenon in the area. Current silvicultural management practices tend to tolerate or even support them, encouraged by ecological investigations that have demonstrated their beneficial effects for the health of surrounding pine plantations and the biodiversity of these ecosystems. In addition, such oak stands provide diverse non-timber products appreciated by local communities (e.g. game, mushrooms). Their conservation and further development hence are of considerable socio-economic interest. Oak regeneration can be greatly enhanced by simple measures such as thinning or vegetation control if these are guided by a sound understanding of the natural processes driving oak reproduction. The present thesis explores two key processes: the dispersal of oak acorns and the resulting seedling establishment.

The most important disperser of oak acorns is the common jay, a species that is famous for its behaviour to transport and store huge amounts of acorns that eventually germinate and produce new trees. It is widely believed that jays must strongly influence spatial patterns of oak regeneration. However, scientific evidence for this assumption remains weak because of the difficulty to follow acorns from the mother tree to the site where the seedling eventually establishes. I adopted a combined genetic and ecological approach to solve this long-standing problem. I mapped and genotyped >800 seedlings in a small oak forest stand and performed parentage analyses to identify their mother trees. This allowed me to estimate the dispersal success of each single tree in the stand. Moreover, I monitored the fate of all genotyped seedlings through 3 years. My combined genetic and ecological data allowed me to address the following questions: 1) Which traits determine whether an oak tree attracts many acorn-dispersing jays or not? Jays systematically preferred highly fecund trees for foraging; this finding underlines the role of large trees as sources for oak regeneration in the landscape. 2) Does abundant acorn dispersal automatically imply abundant regeneration? Fecund trees tended to experience disproportionately high seedling mortality, indicating that their initial reproductive dominance declines through the establishment process. 3) Does the genetic diversity of the seedlings change during the establishment process? Genetic diversity remained high even after 70% seedling mortality, suggesting that even very small oak stands are little constrained by genetic issues such as inbreeding.

The present thesis provides a picture of unprecedented detail upon the dynamics and genetics of oak forest regeneration, with numerous implications that can inform the management of oak forest stands in the Landes de Gascogne. Its academic interest is evidenced by four contributions at international congresses and two scientific articles published or under review in highly prestigious journals:

- 1) Gerzabek G, Oddou-Muratorio S, Hampe A. 2017. Temporal change and determinants of maternal reproductive success in an expanding oak forest stand. *Journal of Ecology* 105: 39-48.
- 2) Gerzabek G, Klein EK, Hampe A. Drivers of individual oak tree selection by acorn dispersing animals inferred from a genotyped seedling cohort. *Ecology*, in 2nd review.

Keywords:

Seed dispersal, regeneration, maternal contribution, reproductive inequalities, *Quercus* sp., demographic expansion, parentage analysis, seedling recruitment.

Vers l'aménagement d'un système Forêt-Bois à la fois ancré au territoire et résilient : l'Économie Circulaire des bioressources forestières

Stéphane ESPARON

**Groupe de Recherche en Économie Théorique et Appliquée (GREThA UMR CNRS 5113)/
Bordeaux Sciences Agro**

Contact scientifique : stephane.esparon@agro-bordeaux.fr

Les politiques publiques soutiennent le déploiement de la Bioéconomie et de l'économie circulaire (EC). Ces nouveaux modèles de production aspirent à découpler la croissance économique de l'épuisement des ressources naturelles. Parmi les champs de mise en œuvre qui constituent ces modèles, l'écologie industrielle et territoriale (EIT) vise spécifiquement à optimiser les boucles de matière en appui sur le fameux adage « Les déchets des uns deviennent les matières premières des autres ». Or des études ont montré que les capacités holistes des systèmes, telle la durabilité, peuvent être influencées par l'organisation des éléments qui les constituent. Ce qui nous amène à la question suivante : la restructuration induite par les boucles de recyclages au sein des systèmes productifs, influence-t-elle la durabilité de ces systèmes ?

L'objectif de cette thèse a été d'explorer l'influence du développement de ce type de collaboration sur la durabilité du secteur forêt-bois et cela dans un territoire de proximité. Plus précisément, nous avons étudié les mécanismes qui influent sur la durabilité systémique, c'est-à-dire la capacité à perdurer dans le temps d'un système productif forestier local.

Le territoire forestier des Landes de Gascogne est un écosystème industriel propice à l'étude d'innovations organisationnelles et d'aménagement du territoire. Dans le périmètre d'une collectivité territoriale située au sein du massif landais, nous avons scénarisé les flux de fournitures à base de bois qui transitent par les acteurs du système forestier, c'est-à-dire les acteurs de la gestion, de la production, de la 1^{re} transformation, de la 2^{de} transformation, de la distribution, des consommateurs, mais également les acteurs de la récolte des déchets à base de bois et de la valorisation de ces déchets.

Au moyen d'une analyse comparative de ces scénarii, nous avons observé des indicateurs d'analyse de réseau qui exprime la robustesse (1), la flexibilité (2) et la stabilité (3) de notre système expérimental. Ces trois items étant des mécanismes qui interviennent dans la durabilité d'un système.

Les résultats montrent que le déploiement de collaborations en cycle court, donc l'augmentation de l'ancrage territoriale restructure nécessairement le système forestier dans son ensemble. La densification des relations à l'échelle locale améliore la stabilité du système. A contrario, l'accès à l'importation et à l'exportation est favorable à la flexibilité du système. La robustesse est davantage liée à la richesse et à la diversité des activités présentes dans le système. Au-delà de ces résultats, une contribution conceptuelle de la thèse est celle du réseau de création de valeurs élargi (RCVFE) comme cadre pertinent d'observation de l'ensemble des activités qui participent à la valorisation d'une ressource dans un territoire. Une seconde contribution est la proposition de la communauté de communes comme périmètre adéquat pour étudier les relations entre la ressource, la consommation et la fin de vie des biens usagés.

Cette étude a été l'occasion de développer un protocole expérimental ad hoc. Il est nécessaire de la dupliquer et de la déployer sur d'autres territoires et d'autres objets afin de perfectionner à la fois la méthode et l'exploitation des résultats.

À terme, ces travaux seront des appuis aux gouvernances territoriales permettant de construire des systèmes productifs territoriaux plus résilients face aux perturbations à la fois naturelles (tempête, incendie...) et socioéconomiques (implantation et disparition d'activité...).

Mots-clés : système, réseau d'acteurs forêt-bois, durabilité systémique, écologie industrielle et territoriale, économie circulaire, analyse de réseaux, communauté de communes, intercommunalité, métabolisme territorial, modélisation

Towards the development of a Forest-Wood system that is both anchored to the territory and resilient: the circular economy of forest bioresources

Stéphane ESPARON

**Groupe de Recherche en Économie Théorique et Appliquée (GREThA UMR CNRS 5113)/
Bordeaux Sciences Agro**

Contact: stephane.esparon@agro-bordeaux.fr

Public policies support the deployment of the Bioeconomy and the circular economy. These new production models want to disconnect economic growth from the depletion of natural resources. Among the implementation fields that make up these models, industrial and territorial ecology's aim is specifically to optimize the loops of material, hence the famous adage "The waste of some become the raw materials of others". Studies have shown that the systems holistic capacities, such as durability, can be influenced by the organization of the system's elements. Which brings us to the question: does the restructuring induced by the recycling loops within the productive systems influence the durability of these systems?

The aim of this thesis was to explore the influence of this collaboration type on the forest-wood sector durability at a local scale. More specifically, we observed the mechanisms that influence systemic durability (defined as the ability to survive over the time) of a local forest productive system.

The Landes de Gascogne forestry territory is an industrial ecosystem suitable to organizational innovations studies and land-use planning studies. So, in the perimeter of a territorial conurbation communities within Les Landes, we builded several scenarios of wood-based supplies flows passing through the actors of the forest system, which implies the actors of management, production, processing and distribution, consumers, but also actors involved in the collection of wood-based waste and the upgrading of this waste.

Using a comparative analysis of these scenarios, we have observed network analysis indicators which express the robustness (1), the flexibility (2) and the stability (3) of our experimental system. These three items are mechanisms that are involved in the system durability.

The results show that the deployment of collaborations in short cycle, which also imply a territorial anchoring, necessarily restructures the forest system as a whole. The local relationships intensifications improve the system's stability. Conversely, access to imports and exports is conducive to the system's flexibility. Robustness seem is mostly related to the richness and diversity of system's activities. Beyond these results, a conceptual contribution of the thesis is the broadened value creation network as a relevant framework for observing all the activities involved in the valorization of a resource in a territory. A second contribution is the proposal of the communes communities as an adequate perimeter to study the relations between resources, consumption and end of life of the used goods.

This study was an opportunity to develop a suitable experimental protocol, so it is necessary to duplicate it and to deploy it on other territories and objects, in order to perfect both the method and the exploitation of the results.

Going forward, these works will be a support to territorial policies, allowing the construction of more resilient territorial productive systems face to both natural (storms ...) and socio-economic (establishment and disappearance of activities) disturbances.

Keywords: system, forest-wood network, systemic durability, industrial ecology, territorial ecology, circular economy, network analysis, municipalities conurbation, territorial metabolism, modelisation,

Diversité des patrimoines et valorisation de la biomasse forestière : Quelles mutations des filières forêt bois ?

**Aliénor de ROUFFIGNAC - IRSTEA Bordeaux / Laboratoire REGARDS
Université de Reims Champagne Ardenne URCA**

Contact Scientifique : alienor.de-rouffignac@irstea.fr

Résumé en Français, 550 mots :

Le changement climatique impose désormais de nouvelles perspectives ou contraintes de développement aux filières industrielles à fort impact environnemental telles que la filière forêt bois papier. Dans le contexte actuel de transition et de développement de la bioéconomie, l'objectif de la thèse est d'identifier des perspectives de transformations de la filière forêt bois engendrées par le développement de la bioraffinerie de biomasse forestière, qu'elle soit intégrée à l'industrie papetière ou « stand alone » c'est-à-dire construite de manière ex nihilo. La bioraffinerie forestière, qu'elle soit destinée à produire du biocarburant ou des produits chimiques nécessite des investissements importants. La taille des usines papetières et les business modèles des bioraffineries « stand alone » nécessitent un approvisionnement important en biomasse afin d'être viable économiquement.

L'intégration d'un projet d'une telle envergure implique une réorganisation de la chaîne de valeur et de la structure de la filière forêt bois, construite à partir d'interactions sociales. En amont, avec une gouvernance de la ressource à réinventer, au niveau de la logistique et de la chaîne des procédés à sélectionner, ainsi qu'en aval avec des stratégies d'intégration sur les différents marchés. Cette réorganisation de la filière représente une opportunité d'implication de tout un panel d'acteurs de la filière forêt bois, ainsi que d'autres acteurs en périphérie de cette filière. Notamment les autres usagers de la ressource, les organismes de recherche pour l'optimisation des procédés, les politiques publiques, jusqu'aux concurrents potentiels des produits finaux, c'est-à-dire la pétrochimie et la chimie classique ainsi que les différents secteurs de l'énergie en particuliers ceux des biocarburants.

Les valeurs et les intérêts de ces différents acteurs sont naturellement divergents et oscillent entre des logiques de préservation ou d'usage de la ressource. Ces différentes logiques sont conditionnées par des patrimoines productifs spécifiques aux acteurs eux même et aux territoires dont ils dépendent. Les stratégies de ces différents acteurs vont donc entrer potentiellement en conflits. C'est l'analyse de ces conflits qui permettront d'éclairer les perspectives de transformation de la filière forêt bois et du territoire dans lequel s'implante la bioraffinerie.

L'intérêt de comprendre les dynamiques de la filière forêt autour de la bioraffinerie à travers les interactions et les dynamiques historiques des parties prenantes est multiple. Premièrement, ils mettent en lumière les possibles voies de valorisation de la biomasse forestière, notamment la bioraffinerie lignocellulosique, et permet de questionner l'incertitude technologique et institutionnelle qui contextualise l'évolution de la filière. Deuxièmement, la thèse interroge sur les modalités d'articulation entre patrimoine productifs et patrimoines naturels, faisant appel aux interactions entre parties prenantes dans un contexte d'ancrage territorial. Ces différentes dynamiques sociales et territoriales



sont alors à évaluer dans la double optique de durabilité et de développement de la ressource forestière mobilisée.

Afin de répondre à ces enjeux, nous avons choisi de réaliser un travail empirique basé sur une étude comparative de différents territoires, le Québec et la France, impactés par ces problématiques. La thèse s'articule donc autour de deux cas d'études de bioraffinerie lignocellulosiques. La première est l'usine papetière de Tartas dans les landes qui s'est progressivement transformée en bioraffinerie de produits chimiques depuis son rachat par l'entreprise québécoise Tembec en 1994. La seconde est la bioraffinerie « stand alone » en construction de la Tuque au Québec, portée cette fois par des acteurs publics et destinée à la production de biocarburants de deuxième génération.

Mots-clés : filière forêt bois, patrimoine, bioéconomie, bioraffinerie, biomasse, chimie verte

Diversity of heritages and valorization of forest biomass: What are the changes in the forest-based sectors?

Abstract in English, 550 words:

Climate change now requires new development opportunities and restrictions to industrial sectors with high environmental impact such as forest-based industries. In the current context of transition and development of the bioeconomy, the objective of the thesis is to identify prospects of transformations in the forest-based sectors, generated by the development of the forest biomass biorefineries, those integrated into the paper industries facilities or "stand alone", which are constructed ex nihilo. Forest biorefinery, regardless of whether they are designed to produce biofuel or chemicals, requires significant investment. The factories' size and the business models of "stand alone" biorefineries require a significant supply of biomass in order to be economically viable.

The integration of a project of this size implies a reorganization of the value chain and the structure of the forest-based sector, built on the basis of social interactions. Upstream, with a governance of the resource to be reinvented, at the level of logistics and the selection of processes, as well as downstream with strategies of integration in the different markets. This reorganization of these sectors represents an opportunity for involvement of a wide range of stakeholders in the forest-based sector, as well as other players at the periphery of these sectors. In particular, other users of the resource, research organizations for process optimization, public policies, potential competitors of final products, i.e. petrochemicals and classical chemistry, as well as different sectors of energy, such as biofuels.

The values and interests of these different stakeholders are naturally divergent and oscillate between logics of preservation, or use of the resource. These different logics are conditioned by productive heritages specific to the actors themselves and the territories on which they depend. The strategies of these different stakeholders will thus potentially enter into conflicts. It is the analysis of these conflicts that will shed light on the prospects of transformation of the forest-based sectors and the territory in which the biorefinery is established.

The importance of understanding the dynamics of the forest-based sectors through the interactions and the historical dynamics between biorefinery stakeholders is significant. First, it highlights the possible ways of exploiting forest biomass, in particular by lignocellulosic biorefinery, and allows questioning the technological and institutional uncertainty that contextualizes the evolution of the sector. Secondly, the thesis questions the modalities of articulation between productive heritage and natural heritage, using interactions between stakeholders in a context of territorial anchoring. These different social and territorial dynamics should then be discussed from the dual perspective of sustainability and development of the forest biomass mobilized.

In order to meet these challenges, we decided to carry out an empirical work based on a comparative study of different territories, Quebec and France, impacted by these issues. The thesis is thus based on two cases studies of lignocellulosic biorefinery. The first is the Tartas paper mill in the South-West of France, which has gradually been transformed into a chemical biorefinery since its acquisition by the Quebec-based company Tembec in 1994. The second is the stand alone biorefinery under construction at La Tuque Quebec. The project is held by public stakeholders and is dedicated for the production of second-generation biofuels.

Keywords: forest-based sector, heritage, bioeconomy, biorefinery, biomass, green chemistry

Valorisation du hêtre par de nouveaux traitements biosourcés non-biocides

Clément L'HOSTIS - LERMaB/CIRAD

Contact Scientifique : clement.l-hostis@univ-lorraine.fr

Le hêtre, essence abondante en Lorraine, reste largement sous-exploité. En effet, sa faible durabilité, et son instabilité dimensionnelle rendent impossible son utilisation en extérieur en l'état, et limitent ses possibilités d'emploi.

L'utilisation de produits biocides, actuellement majoritaires pour conférer au bois une durabilité supplémentaire, pose certaines difficultés :

Ces produits de préservation ne sont pas fixés au bois par des liaisons chimiques fortes, ce qui induit un lessivage au cours du temps, et par le biais des eaux de ruissellement, une pollution de l'environnement. Leur haute toxicité, qui est nécessaire afin de garantir leur efficacité, devient alors problématique. Les réglementations (REACH, directive biocides) tendent donc à limiter, voir interdire leur utilisation.

L'approche développée ici, consiste en l'imprégnation du bois par une solution aqueuse de produits biosourcés et non-biocides (acide citrique, acide tartrique, anhydride succinique, glycérol), facilement accessibles sur le marché, suivie par une étape de chauffage permettant leur polymérisation et leur greffage au bois.

Ainsi, la structure chimique du bois est modifiée, limitant la reprise d'humidité, et l'attaque fongique, produisant un matériau avec une faible variabilité dimensionnelle, et une grande résistance à la biodégradation. De plus, la formation d'un polymère dans les parois cellulaires du bois compense la dégradation des macromolécules du bois, et en particulier des hémicelluloses, couramment observée dans le cas d'un traitement thermique classique : Le bois ainsi modifié, ne présente donc pas de faiblesse mécanique particulière.

L'analyse de cycle de vie des procédés a permis de montrer que, l'impact de ces technologies sur la pollution des eaux et des sols, ainsi que sur la santé humaine est réduit par rapport aux traitements biocides classiques.

De plus, l'étude de la viabilité économique a mis en lumière un fort potentiel de rentabilité des traitements étudiés, comparables à d'autres bois modifiés, tels que les bois Accoya® et Kebony®, produits respectivement aux Pays-Bas et en Norvège, et pour lesquels les marchés sont en très forte croissance.

Il apparaît donc viable de commercialiser ce matériau, produit localement, et possédant des propriétés permettant de concurrencer ceux existant actuellement, en utilisant des produits biosourcés, et non-biocides, et apportant un intérêt du point de vue environnemental.

Mots-clés : hêtre, ressource locale, biosourcé, stabilité dimensionnelle, durabilité, viabilité économique

Beech wood valorization using new bio-based non-biocidal treatments

Beech, an abundant species in Lorraine, remains largely under-exploited. Its low durability and dimensional instability make it actually impossible to be used outdoors, without preservative technique, and limit its possibilities of implementation.

The use of biocidal products, currently majority in order to improve wood durability, poses certain difficulties:

These preservative products are fixed to wood by weak chemical bonds, which induce leaching over time, as well as environmental pollution through water runoff. Their high toxicity, which is necessary to guarantee their effectiveness, then becomes problematic. The regulations (REACH, biocidal directive) thus tend to limit or prohibit their use.

The approach developed here consists of impregnating the wood with an aqueous solution of both bio-based and non-biocidal products like citric acid, tartaric acid, succinic anhydride, and glycerol, which are easily accessible on the market, followed by a heating step which allows them to be polymerized and grafted to wood.

This modifies the chemical structure of the wood, limits the moisture uptake and the fungal attack, and produces a material with low dimensional variability and a high resistance to biodegradation. Moreover, the formation of a polymer in the wood cell wall compensates for the degradation of wood macromolecules (in particular hemicelluloses) commonly observed in the case of a conventional heat treatment. The modified wood, therefore, does not present any particular mechanical weakness.

Process life cycle analysis has shown that the impact of these technologies on water and soil pollution and human health is reduced compared to conventional biocidal treatments.

In addition, the study of economic viability highlighted a high potential for profitability of the treatments studied, comparable to other modified woods such as Accoya® and Kebony®. These alternatives are produced in the Netherlands and Norway, respectively, and enjoy fast-growing markets.

It is therefore viable to commercialize this material, which is produced locally, which possesses properties that make it able to compete with those currently existing, and which uses bio-based and non-biocidal compounds, bringing an interest from the environmental point of view.

Keywords: Beech, local resource, bio-based, dimensional stability, sustainability, economic viability



Optimisation multi-objectif d'un isolant thermique à base de fibre de bois

Mohamad Hussein Hobballah - LIMBHA/ Ecole Centrale Nantes

Contact Scientifique : amadou.ndiaye@inra.fr

Résumé en Français:

Cette thèse, portée par l'Ecole Supérieure du Bois, est réalisée au sein du Laboratoire I2M de Bordeaux, s'inscrit dans une dynamique de développement des composites biosourcés. L'objectif de ce travail est de développer un cadre méthodologique et générique d'éco-conception de procédés de fabrication des matériaux biosourcés couplant différents méthodes et techniques : recueil de connaissance auprès des experts (interview, enquêtes), modélisation des connaissances (graphes causal, tableaux, arbres hiérarchiques), de modélisations mathématiques et informatiques (Modèle linéaire, Modèle non-linéaire, réseaux Bayésienne, Logique floue), optimisation multiobjectif avec des algorithmes métaheuristiques et aide à la décision multicritère (ELECTRE, MAUT, UTADIS). Cette méthodologie a été déployée sur un problème d'optimisation d'un isolant thermique biosourcé à base de fibre de bois. Quatre critères de développement ont été retenus en concertation avec les industriels partenaires du projet : minimisation du coût de production, de l'impact environnemental et de la résistance thermique et maximisation de la reprise en épaisseur. Une méthode de recueil des connaissances auprès des experts a été proposée : définir et conduire une enquête auprès des experts pour préciser les connaissances importantes à recueillir puis, définir une procédure adaptée pour procéder à des interviews structurés et semi-structurés des experts. En résultat, les connaissances nécessaires à la construction des fonctions objectif ont été recueillies. Pour visualiser et intégrer les connaissances venant des différents experts, un graphe causale, un modèle de connaissances, a été élaboré. Ce modèle a permis de visualiser les variables d'intérêt et leurs influences entre elles et sur les objectifs à optimiser. Il a aussi permis de circonscrire les expérimentations à conduire et leurs nécessaires répétitions. Les mesures expérimentales obtenues par les partenaires ont permis, avec l'aide du graphe causal, d'établir les modèles mathématiques des objectifs de l'optimisation. Les modèles ont été optimisés simultanément par l'utilisation d'un algorithme métaheuristique, NSGA-II, adapté au calcul de l'ensemble des solutions optimales au sens de Pareto. Les solutions optimales ont fait l'objet d'une fouille de données afin de générer des règles de conception optimale et de visualiser l'ensemble des solutions optimales, pour aider à la réflexion des experts et ainsi à l'affinage des modèles et/ou des connaissances recueillies. La méthodologie est itérative, après chaque visualisation et génération des connaissances, les modèles et les connaissances sont questionnés et affinés si besoin. Enfin, une méthode interactive d'aide à la décision multicritère a été mise en œuvre pour aider à déterminer les meilleures solutions parmi toutes celles du front de Pareto.

Mots-clés : Fibre de Bois, Isolation thermique, Coût de production, Optimisation multiobjectif, Recueil des connaissances, fouille des données, modélisation, décision multicritère.



Multi-objective optimization of a thermal insulation material based on wood fibers

Abstract in English:

This thesis is co-ordinated by Ecole Supérieure du Bois and was carried out within the I2M Laboratory of Bordeaux and is concerned with the development of bio-sourced composites. The objective of this work is to develop a methodological and generic framework for eco-design of bio-sourced materials manufacturing processes, coupling knowledge acquisition tools from experts (interviews, surveys), knowledge modeling (causal graphs, tables, Hierarchical trees), traditional modeling techniques (linear model, nonlinear model, Bayesian networks, fuzzy logic), multiobjective optimization using metaheuristic algorithms, and finally, multicriteria decision support tools (ELECTRE, MAUT, UTADIS). This methodology has been applied to a problem of optimization of a bio-sourced insulation material based on wood fiber. Four development criteria were chosen in consultation with the industrial partners of the project: minimization of the production costs, environmental impact and thermal resistance, and maximization of the thickness recovery. A method of collecting knowledge from experts was proposed and it consists in: establishing and carrying out surveys of experts opinions to precise the important knowledge to be collected and then, defining a suitable procedure for conducting structured and semi-structured interviews with experts. As a result, the knowledge needed to construct the objective functions was collected. To visualize and integrate knowledge coming from different experts, causal graph, a knowledge model, has been developed using acquired knowledge. This model permitted the visualization of the variables of interest and their influences on the objectives to be optimized. It also helped in the definition of the experiments to be conducted. The experimental measurements obtained from the partners made it possible, with the aid of the established causal graph, to construct the mathematical models of the objectives of the optimization. The models were optimized simultaneously using a metaheuristic algorithm, NSGA-II, which is adapted to the calculation of the set of optimal solutions in Pareto sense. Optimal solutions were subject of data mining to generate optimal design rules and to visualize all the optimal solutions in order to help the experts analyzing the results and hence, refining the models and/or the acquired knowledge. This methodology is iterative, after each visualization and generation of knowledge, models and generated knowledge are questioned and refined if necessary. Finally, an interactive method of multicriteria decision support has been implemented to help determining the best solutions among all those on the Pareto front.

Keywords: Wood fiber, Thermal insulation, Production costs, Multi-objective optimization, Knowledge collection, data mining, modeling, multicriteria decision.

Synthèse de tensioactifs cationiques à partir de ressources renouvelables

Clément JOURNOUX--LAPP^{1, 2}, S. MARINKOVIC¹, B. ESTRINE¹, K. DE OLIVEIRA VIGIER², F. JEROME²

¹ IC2MP, 1 rue Marcel Doré 86000 POITIERS

² ARD, Route de Bazancourt 51110 POMACLE

Suite à la raréfaction des ressources pétrolières et aux nouvelles problématiques environnementales, de nombreuses recherches se sont tournées vers l'utilisation de ressources renouvelables et la conception de composés à haute valeur ajoutée respectueuse de l'environnement. ARD (Agro-industries Recherche et Développement) est une entreprise localisée à Reims et spécialisée dans la valorisation non alimentaire d'agroressources dans le but de synthétiser des tensioactifs à haute valeur ajoutée. D'une manière générale, le marché global des tensioactifs représente plus de 15 milliards de tonnes par an. Cependant seulement 9% est consacré aux tensioactifs cationiques, en raison notamment des problèmes de biodégradabilité et d'écotoxicité qu'ils peuvent engendrer.

La glycine bêtaïne est un co-produit de l'industrie sucrière de la betterave à sucre. Actuellement, peu de recherches ont été réalisées afin d'apporter une valeur ajoutée à ce composé zwitterionique. L'objectif de ces travaux consiste à effectuer une estérification entre la glycine bêtaïne commerciale et le D-glucose qui peut être obtenu à partir du bois dans le but de synthétiser un tensioactif cationique biosourcé. Toutefois, la glycine bêtaïne étant un composé inerte chimiquement, nous avons dû l'activer par l'ajout d'acides.

Notre étude s'est d'abord focalisée sur la réaction d'estérification entre la glycine bêtaïne acidifiée et un polyol simple, le glycérol (Figure 1). La conversion de la glycine bêtaïne a été suivie par RMN ¹H et ¹³C tandis que la conversion du glycérol a été suivie par GC. Une conversion de la bêtaïne acidifiée de 90% est obtenue en 5 heures. Plusieurs paramètres ont été étudiés : quantité d'acide, stabilité des esters en solution aqueuse, nature et effet du contre-ion de la glycine bêtaïne acidifiée. Pour ce dernier paramètre, compte-tenu des différences de réactivité observées, une étude de modélisation a été effectuée afin de comprendre l'effet de la nature du contre-ion sur la réactivité de la glycine bêtaïne.

Cette étude a permis de mettre en évidence la structure particulière de la glycine bêtaïne une fois complexée avec un acide. En effet, les calculs d'énergies libres de Gibbs (ΔG) ont permis de montrer qu'à 150°C la glycine bêtaïne libérait cet acide. Ce phénomène a été prouvé expérimentalement par dosage de l'acide libéré et par ATD/ATG couplée à la masse. Cela nous a permis de mettre en évidence le mécanisme d'estérification de la glycine bêtaïne par une double approche théorique et expérimentale.

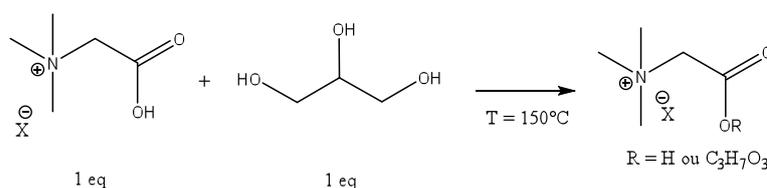


Figure 1 : Equation de la réaction d'estérification étudiée

Mots-clés : glycine bêtaïne, glycérol, estérification, modélisation, tensioactif, sucres

Synthesis of cationic surfactant from renewable resources

Clément JOURNOUX--LAPP^{1, 2}, S. MARINKOVIC¹, B. ESTRINE¹, K. DE OLIVEIRA VIGIER², F. JEROME²

¹ IC2MP, 1 rue Marcel Doré 86000 POITIERS

² ARD, Route de Bazancourt 51110 POMACLE

Due to the rarefaction of petroleum-based resources and environmental concerns, many researches are devoted to the use of renewable resources and the eco-friendly conception of high value added products. ARD (Agro-industries Recherches et Développement) is located in Reims and is specialized in valorization of non-food agro resources in order to synthesize high value added surfactants. The global market of surfactants represents more than 15 billion per year. Therefore, only 9% are dedicated to cationic surfactants mainly due to biodegradability and eco-toxicity concerns.

N,N,N-trimethylglycine is a sugar industry co-product produced from sugar beet. Up to now, few researches are devoted to the synthesis of high value added compounds from this zwitterionic molecule. The aim of this work is to carry out the esterification between commercial *N,N,N*-trimethylglycine and D-glucose that can be obtained from wood feedstocks in order to produce bio-sourced cationic surfactants. The main challenge is the reactivity of *N,N,N*-trimethylglycine which is very low. As a consequence, *N,N,N*-trimethylglycine was activated by adding acids.

In a first step, the esterification reaction of *N,N,N*-trimethylglycine and glycerol (a polyol model) was investigated. Conversion of *N,N,N*-trimethylglycine was followed by NMR 1H and 13C whereas glycerol conversion was performed by GC. Conversion of 90% of acidified *N,N,N*-trimethylglycine was obtained in 5 hours. Some parameters were investigated: quantity of acid, stability of synthesized esters, nature and effect of counter-anions. For this last parameter, the reactivity of acidized *N,N,N*-trimethylglycine varied with the nature of the counter-anions. To understand this behavior, modelisation was carried out.

This study highlighted that *N,N,N*-trimethylglycine has a special conformation when it is complexed with catalytic acid. According to calculations of free Gibbs energies (ΔG), it shows the potential release of the acid complexed with *N,N,N*-trimethylglycine at 150°C. This result was also demonstrated by titration of released acid and by ATG/ATG mass coupling analysis. Finally, thanks to theoretical and experimental approaches, the mechanism of esterification of *N,N,N*-trimethylglycine was determined.

Keywords: *N,N,N*-trimethylglycine (glycine betaine), glycerol, esterification, modelisation, surfactants, sugars.

Régulation de la formation du bois chez l'*Eucalyptus* lors du développement et en réponse à des contraintes de l'environnement.

**Raphael PLOYET - Laboratoire de Recherche en Sciences Végétales /
Université Toulouse III Paul Sabatier - CNRS**
Contact Scientifique : grima@lrsv.ups-tlse.fr

Du fait de sa croissance exceptionnelle et des propriétés supérieures de son bois, le genre *Eucalyptus* est devenu le feuillu le plus planté au monde émergeant comme ressource de biomasse pour la production de papier et de biocarburants de seconde génération. Le bois est composé de parois secondaires (PS) lignifiées et sa formation est régulée par un réseau complexe et mal connu, de facteurs de transcription (FT). Les PS sont composées de 80% de polysaccharides (cellulose principalement), ciblés pour le papier, le bioéthanol et autres produits à haute valeur ajoutée, tandis que la lignine (20%), est responsable de la récalcitrance de la biomasse à la dégradation enzymatique mais confère un haut pouvoir calorifique pour la combustion. Pour les sélectionneurs, la productivité et la qualité du bois sont deux traits importants à améliorer. Malgré son adaptabilité remarquable à différents sols et climats, sa croissance varie fortement suivant ces facteurs. L'*Eucalyptus* est largement planté sur des sols érodés en régions tropicales et sub-tropicales. Dans ces régions, les plantations industrielles font face à des épisodes de sécheresse plus fréquents, en combinaison à des manques de nutriments, nécessitant l'apport de grandes quantités de fertilisants coûteux. Dans les régions tempérées telles que l'Europe du Nord, la principale limitation à l'implantation de cet arbre dépourvu d'endodormance, est l'exposition au froid. Ces contraintes abiotiques sont aggravées par le contexte de changement climatique. Cependant, leur impact sur la formation du bois reste peu documenté. Étant donné l'importance économique de l'*Eucalyptus*, la sélection de clones adaptés et le développement de pratiques culturales plus durables, sont cruciales et nécessitent une meilleure connaissance de sa réponse au froid et à la sécheresse. Le peu de littérature disponible, suggère que ces stress affectent la formation de la PS et la structure du xylème. Cependant, ces résultats sont parfois contradictoires et obtenus sur des tissus différents du bois. Les travaux du laboratoire, ont démontré que les températures basses provoquent un dépôt de paroi secondaire précoce dans les cellules du xylème en développement, caractérisé par un fort dépôt de lignine. Ces observations suggèrent que la régulation de l'activité cambiale et la biosynthèse de PS sont impactées par le froid. Via des approches ciblées et des réseaux de corrélation, nous avons identifié plusieurs FT situés au croisement de la réponse aux stress et de la régulation du dépôt de PS. En se basant sur ce travail, nous avons tiré profit d'un dispositif expérimental dans lequel un clone commercial d'*E. grandis* est soumis à une exclusion d'eau de pluie combinée à une fertilisation au potassium. Dans le but de caractériser l'effet du stress hydrique et de la nutrition sur la formation du bois, nous avons conduit des analyses globales de transcriptomique (RNAseq) et métabolomique (GC/LC-MS), combinées à des analyses de structure et de composition du bois. L'intégration de ces données a révélé une forte interaction entre les réponses au potassium et les réponses à la disponibilité en eau, avec pour conséquence la régulation de l'activité cambiale et la répression du dépôt de paroi. Plusieurs FT non caractérisés constituent des candidats prometteurs dans la régulation de ces processus. Leur caractérisation fonctionnelle chez le peuplier et l'*Eucalyptus*, a révélé des nouveaux régulateurs de la biosynthèse de la paroi secondaire, et des FT potentiellement impliqués dans la régulation de l'activité cambiale, en réponse aux contraintes de l'environnement.

Mots-clés : formation du bois, stress abiotiques, facteur de transcription, *Eucalyptus*

Regulation of wood formation in *Eucalyptus* during development and in response to environmental constraints.

Due to its outstanding growth combined to superior wood properties, *Eucalyptus* genus has become the most planted hardwood and emerged as an invaluable source of renewable biomass feed-stocks for paper and second-generation biofuels production. Wood is composed of lignified secondary cell walls (SCWs) and its formation is tightly regulated by a complex and mostly unknown transcription factors (TFs) network. SCWs are composed by 80% of polysaccharides (mainly cellulose) targeted for paper, bioethanol and other value-added bioproducts, whereas lignin (20%) is responsible for biomass recalcitrance to enzymatic degradation but confers a high calorific value and increase wood energetic potential for combustion. For *Eucalyptus* breeders, both wood productivity and quality are important traits to improve. Despite its remarkable adaptability to various soils and climate environment *Eucalyptus* growth rate strongly varies according to these factors. *Eucalyptus* is extensively grown in highly weathered soils in tropical and subtropical regions. In these regions, industrial plantations are facing more frequent drought episodes in combination to nutrient starvation, requiring high amounts of expensive fertilizers. In temperate regions such as North of Europe, the main limitation for the expansion of this non-dormant tree is cold exposure. These abiotic constraints are emphasized by the actual context of climate change. However, their impacts on wood formation and quality remain poorly documented. Regarding the economical importance of *Eucalyptus* wood, the selection of adapted clones and the development of more sustainable cultural practices are crucial and requires an improved understanding of tree response to cold and water stress. Scarce data from literature suggest that these stresses affect the expression of SCW related genes and influence SCW deposition as well as xylem cell patterning. However, these results are highly heterogeneous among different species and mainly focused on non-woody tissues. Previous work from our lab demonstrated that low temperature triggers a precocious SCW deposition in developing xylem cells, characterized by a strong lignin deposition. These observations suggested that regulatory processes controlling cambium activity and SCW formation could be directly influenced by cold. Using targeted approaches and gene correlation networks, we identified several TFs potentially involved at the cross roads of stress responses and SCW formation. Building on this work, we took advantage of a field experimental design using a highly productive *Eucalyptus grandis* clone submitted to both rainfall exclusion and K fertilization. Our aim was to perform large scale analyses of transcriptome (RNAseq) and metabolome (GC/LC-MS), combined with wood structural and biochemical properties analyses, in order to characterize the effect of water stress and nutrition on wood formation and quality. Data integration analyses revealed inter-connected regulations in response to potassium supply and water availability, to control cambial activity and strongly repress SCW deposition. Several uncharacterized MYB TFs were identified, which are highly promising candidates to regulate these processes. Their functional characterization in transgenic poplars and *Eucalyptus* revealed new key regulator of SCW biosynthesis in wood, and TFs potentially involved in the regulation of cambial activity, in response to environmental constraints.

Keywords: wood formation, abiotic stress, transcription factor, *Eucalyptus*



Classement mécanique des sciages feuillus

Younes FAYDI - LaBoMaP/Arts et métiers Cluny

Contact Scientifique : younes.faydi@ensam.eu

Résumé en Français, 550 mots :

Le bois est un matériau qui offre de très bonnes performances mécaniques, thermiques et environnementales ce qui en fait un matériau très intéressant pour la construction. Cependant l'hétérogénéité de ce matériau implique le classement pour la résistance de chaque sciage. Le laboratoire LaBoMaP, auquel j'appartiens, travaille sur cet axe de recherche afin de développer de nouvelles méthodes de classement mécaniques.

Il existe plusieurs machines pour classer le bois mais elles ont été conçues principalement pour les résineux alors que les feuillus ont été très peu étudiés. L'objectif de ma thèse est de valoriser les feuillus et plus particulièrement le chêne de qualité secondaire qui représente 60 % du parc forestier en France. Cette valorisation commence par démontrer que cette ressource (le chêne de qualité secondaire) possède les propriétés mécaniques nécessaires et suffisantes pour son emploi en structure. Une large campagne expérimentale menée dans le cadre de ma thèse a permis de confirmer les travaux réalisés par Collet et al [1] et de confirmer la potentialité de l'usage du chêne de qualité secondaire dans la construction, en particulier son usage serait parfaitement adapté au cas de l'ossature bois.

Une machine de classement doit être compatible avec la demande du marché (cadence/efficacité/coût). Une des méthodes couramment appliquée en industrie est l'analyse vibratoire [2]. Elle consiste à relever la première fréquence de résonance du sciage et à la relier au module élastique (MOE). En l'appliquant sur un premier lot de 164 planches de chêne, on a vérifié son efficacité pour prédire le MOE. En s'appuyant sur l'expertise du CIRAD, on a approfondi cette analyse en considérant chaque élément du spectre fréquentiel comme une variable explicative dans un modèle statistique employant la méthode des moindres carrés partiels.

Une deuxième technologie élaborée par l'équipe bois du LaBoMaP consiste à détecter l'orientation des fibres sur une surface de chêne grâce à une ligne de points laser. Cette technologie ne fonctionnait jusqu'alors que sur certaines essences. A partir de la cartographie d'angles des fibres, on a développé un modèle de comportement mécanique. En effet, la présence de fortes variations d'angle des fibres est révélatrice de la présence des nœuds qui constituent des zones de fragilité. Le modèle convertit les angles présents dans ces zones en résistances de rupture et identifie les zones probables de rupture.

Sur un deuxième lot testé de 317 planches, les prédictions du modèle ont été comparées aux valeurs de référence obtenues par essais destructifs en flexion quatre points. L'analyse vibratoire permet de prédire le MOE avec un coefficient de détermination R^2 égal à 0.87. La mesure de la pente de fil permet quant à elle la prédiction de la résistance à la rupture avec un $R^2 = 0.7$.

Grâce à ces performances de prédiction, en prenant comme exemple la classe D18/Rejet, le modèle développé permet de classer correctement 93% des sciages de qualité D18 alors que la méthode visuelle classe uniquement 28 % de ces sciages correctement. Ce travail montre que la méthode vibratoire développée associée à la mesure de la pente de fil permet un classement beaucoup plus efficient que le classement visuel et comparable à un classement machine sur les résineux.

Mots-clés : Classement mécanique, chêne de qualité secondaire, pente de fil, Analyse vibratoire

Mechanical grading of Hardwoods

Abstract in English: 550 words:

In construction sector, wood is one of privileged materials by industrials regarding its economic and environmental qualities. However, wood is a heterogeneous material showing different grades according to its defects. The grading process is then necessary. The laboratory, LaBoMaP, where I do my research, devotes a major axis for mechanical grading of wood.

A number of grading technologies exists in commercial market but concerns only softwood. Indeed, few studies have been done for hardwood which constitutes 60 % of French forest resource. The goal of my research aims to valorize local softwood especially low-grade oak.

In terms of Non Destructive Testing (NDT), the developed machine must be more efficient than visual grading, affordable for French sawmills and respecting the industrial cadence. Vibratory method based on resonance frequencies is one of typical methods. It allows relying the first Eigen frequency to modulus of elasticity (MOE). Indeed, at the first, this method was applied for 164 oak boards and has shown the good prediction of MOE. This analysis was improved by exploiting the whole frequencies spectrum. A statistical model has been developed thanks to CIRAD experience. It consists in making each element of spectrum as a predictive variable of MOE and MOR in partial least square method.

A second technology has been developed inside wood team of LaBoMaP. It consists in predicting mechanical properties from fiber deviation. Indeed, the variation of grain angle attests the presence of knots where the angles are high. These knots are mostly the weakest zones in the lumber. The model, developed here converts these regions from angle to strength using Hankinson formula and looks at the most penalized region.

With 317 boards tested, vibratory method leads to a determination coefficient R^2 between Static and Dynamic MOE of 0.87. The grain angle predicts MOR with an $R^2 = 0.7$.

In terms of grading, the example D18/Waste shows that the grading machines lead to 93% of efficiency compared to only 28 % of efficiency for visual grading. This proof that vibratory testing associated to grain angle improves the grading and allows the valorization of local oak.

Keywords: Mechanical grading, Oak, Grain angle, Vibratory analysis

References

- [1] Collet R, Bleron L, Croisel J, Larvin JD (2011) The processing of small low-grade French oaks into solid cross laminated panels. International Scientific Conference on Hardwood Processing
 [2] Brancheriau L (2002) Expertise mécanique des sciages par analyses des vibrations dans le domaine acoustique. Thèse de l'université Aix Marseille 2.

Gestion des impacts des tempêtes sur le secteur forêt bois via une approche systémique et intégrée à l'échelle régionale

Simon RIGUELLE - Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège (BEL)

Contact Scientifique : jhebert@ulg.ac.be

Résumé en Français, 550 mots :

Les tempêtes sont l'un des phénomènes naturels les plus destructeurs auxquels les forêts sont exposées dans le monde et en Europe. Les violentes tempêtes hivernales peuvent conduire à de graves dommages pour la ressource forestière et par conséquent impacter à moyen et long terme la gestion durable des forêts et la compétitivité du secteur forêt bois. Ce fut le cas en 1990 en Belgique, et plus récemment en 1999 et 2009 dans les Landes (Région Nouvelle-Aquitaine).

Les impacts directs et indirects des tempêtes peuvent conduire à d'énormes pertes économiques et à des situations humaines difficiles, tant pour les propriétaires que pour les gestionnaires, qu'ils soient publics ou privés. Dans ce contexte, cette thèse a eu pour objectif de développer des outils et des procédures afin de prendre en considération les enjeux complexes et multidimensionnels associés au risque de tempête, et ce dans le but prioritaire d'en atténuer les impacts économiques, environnementaux et sociétaux sur le secteur forêt bois.

Le premier volet de ce travail visait à questionner et repenser la gestion de ces phénomènes au travers du filtre de nouvelles approches intégrées et systémiques. Dans une première étape, un aperçu des pratiques classiques - historiques - de gestion du risque dans le secteur forestier est présenté. Des analyses AFOM (Atouts-Faiblesses-Opportunités-Menaces) ont été utilisées pour mettre en évidence les principales difficultés et opportunités émergeant du processus actuel de gestion des chablis en Europe de l'Ouest. Dans un deuxième temps, un cadre intégré est proposé afin de traiter ces questions stratégiques et saisir les opportunités découlant de la prise de décision en contexte incertain. Une approche systémique est également proposée pour la gestion des risques au niveau régional, national ou supranational. Ce travail met également en évidence les principaux défis, notamment en matière d'innovation, que les pouvoirs publics doivent relever pour soutenir efficacement la filière bois.

Dans la seconde partie de la recherche, trois aspects particuliers de la gestion des crises résultant des dégâts de tempête ont été abordés plus en détail: la planification d'urgence, le développement d'outils d'aide à la décision et la planification du stockage du bois à l'échelle régionale. Ces sujets ont été illustrés par des exemples issus de la forêt wallonne, en Belgique, mais peuvent être transposés au cas de la filière bois des Landes de Gascogne. Une partie significative de la réflexion s'appuie d'ailleurs sur des cas concrets relevés suite à la tempête Klaus.

En particulier, le développement d'un système d'aide à la décision basé sur la modélisation de la filière bois illustre comment l'analyse systémique peut aider, d'une part, à la conception de stratégies équilibrées pour la filière forêt-bois régionale en cas de graves dommages forestiers, et, d'autre part, à identifier les problèmes qui devraient être réglés avant la prochaine tempête pour améliorer la résilience et la résistance de la filière.

Cette thèse a mis en lumière que la prise de décision dans l'incertitude demeure un défi majeur pour la communauté forestière, en particulier dans le contexte du changement climatique global. Cependant, des approches systémiques et intégrées de gestion des risques, inscrites dans le cadre d'une réelle gouvernance des risques forestiers, peuvent contribuer à réduire ces incertitudes et à guider décideurs, chercheurs, gestionnaires forestiers et industriels. Finalement, l'importance de la communication avec les acteurs et la prise en compte de leurs attentes est mise en exergue.

Mots-clés : tempête ; ressource forestière ; gestion du risque ; approche systémique ; aide à la décision

Dealing with storm impacts on the forest sector through integrated and systemic approaches at the regional level

Abstract in English, 550 words:

Wind is one of the most damaging natural hazards that forests are facing worldwide and in Europe. Destructive storms lead to severe forest damage and consequently cause disruptions in daily forest management and timber supply chains. Major dysfunctions can happen at each step of forest-wood chains and at each level of management, leading to huge economic losses and long-lasting crises within public organisations and private companies. It was the case in 1990 in Belgium and also in 1999 and 2009 in New Aquitaine region (France).

In this context, the first part of this work aimed at handling those complex and multi-faceted storm-related issues with new approaches in order to mitigate economic, environmental and societal impacts of storms on the forest-based sector. In a first step, an overview of risk management practices in forestry is presented, as well as major determinants of storm damage risk management. SWOT analyses are also used for highlighting main issues and opportunities in current windthrow management process. In a second step, an integrated framework is proposed for tackling those strategic issues and seizing opportunities arising from the uncertain decision-making context. A systemic perspective is also presented for managing storm damage risk at regional, national or supranational level with a holistic perspective. In regards to those original approaches, the thesis also highlights some of the crucial challenges public authorities might address for enhancing their efficiency in this process.

The second part of the research was dedicated to three particular aspects of storm damage management: contingency planning, the development of decision-supporting tools for the forest community, and timber storage planning at the regional level. Those topics are illustrated by case studies taking place in Wallonia, Belgium. However, the strategy can be transposed to the specificity of the timber industry in the Southwest of France. A significant part of the reflection is in fact based on concrete cases following the storm Klaus.

In particular, the development of a model-based decision support system (DSS) illustrates how systemic analysis can help on the one hand designing balanced strategies for the regional forest-based sector in case of severe wind damage and on the other hand identifying bottlenecks that should be solved before the next huge storm to enhance systemic resilience and resistance. Regarding timber conservation, a GIS-based methodology for locating optimal areas for sprinkling storage at the regional scale is presented, together with an applied study on the influence of anaerobic storage process on the quality of spruce logs.

From a wider perspective, this thesis reveals that taking decision under uncertainty will remain a key challenge to address in forestry, especially in the context of climatic change. However, original methodologies focusing on systemic and integrated risk management approaches can help in this effort. Finally, the work emphasises the urgent need of effective risk management policies at regional, national, and international levels to guide researchers, deciders, forest managers and industrialists. It also highlights the need to strengthen communication among stakeholders.

Keywords: storm damage; risk management; decision-support system; forest sector

Vulnérabilité et tolérance de la subéraie Tunisienne face aux changements climatiques : Réponses au stress hydrique et diversité génétique en Kroumirie et dans les zones reliques

**Tlili Nesrine - Laboratoire de Recherche 'Ecologie Forestière' à l'INRGREF
'Institut National de Recherches et Génies Rural Eaux et Forêts''.**

Contact Scientifique : adresse mail : tlili.nesrine@yahoo.fr

Police Trébuchet 11

Résumé en Français, 550 mots :

La Subéraie tunisienne est présentée sous forme de superficies variables dans plusieurs zones du Nord du Pays avec une aire de répartition potentielle en Kroumirie et Mogods. Elle rend au pays d'importants biens et services écologique, économique et social. Cependant, la subéraie connaît, une dégradation accentuée et une régression continue. Les changements globaux, en particulier ceux climatiques, récemment observés viennent vraisemblablement accélérer sa dégradation. Ainsi, la mise en place d'une stratégie nationale spécifique ayant pour objectifs d'assister sa réhabilitation et de la soumettre à une gestion rationnelle.

Le présent travail de thèse vient contribuer à cet effort et se fixe comme objectif d'évaluer l'état actuel de la subéraie par (1) décrire ses facteurs écologiques moyennant diverses analyses de ses données environnementales (2) étudier les réponses éco-physiologiques du Chêne liège sous l'effet du stress hydrique et (3) analyser la diversité génétique de l'espèce à travers son aire de répartition potentielle et dans des zones reliques.

Les principaux résultats obtenus à l'issue de ce travail de thèse nous ont permis de déduire à travers l'analyse des paramètres biométriques, l'existence d'une relation étroite entre les conditions du milieu et la distribution du Chêne liège. Le gradient climatique et altitudinal ont permis alors de comprendre la dynamique des différentes populations de chêne liège.

Les résultats des études éco-physiologique, biochimique et de caractérisation morphologique réalisés sur ces jeunes plants soumis à un déficit hydrique ont permis d'identifier les provenances les plus vulnérables face à un éventuel durcissement du climat. Ainsi, des différences inter-populations ont été identifiées, ce qui a conduit à la sélection des meilleurs écotypes ayant montré une bonne adaptation aux stress hydriques appliqués.

Enfin, les résultats de la caractérisation moléculaire intra-spécifique réalisée sur des arbres adultes a permis de comprendre la capacité d'adaptation du Chêne-liège aux variations environnementales. La diversité génétique mesurée en zones reliques s'est montrée plus grande que dans celle de la Kroumirie avec un taux d'introgession très élevée entre le chêne liège et le chêne vert.

Les résultats de cette étude constituent une contribution plus poussée dans la compréhension de l'écologie du chêne-liège ; serviront d'outil d'aide à la conservation et à la réhabilitation de l'écosystème chêne liège en condition des changements climatiques prospectifs.

Mots-clés : La Subéraie Tunisienne, changements globaux, chêne liège, Kroumirie, zones reliques, gradient climatique et altitudinal, déficit hydrique, diversité génétique, introgession.

Vulnerability Analyses of Tunisian cork oak forest to climate change: Understanding community dynamics, Stress and genetic diversity in Kroumirie and marginal areas

Abstract in English, 550 words:

In Tunisia, Cork oak forest is presented in different areas from the north with a potential range in kroumirie and Mogods. They provide a wide range of environmental activities, biodiversity conservation, soil, resilience to climate change and desertification. Indeed, climatic disturbances manifested during the last decades deteriorated the Tunisian Cork oak forest which is located in a region with contrasting climatic conditions characterized by heavy rainfall most often of stormy character. Then, the establishment of specific national strategy to attend their rehabilitation and submit to rational management would be the result to protect and conserve this species.

This work intends to (i) Describe ecological factors of cork oak forests by multivariate analyses of environmental data, (ii) Assessing the Climatic information in Vegetation Model : Regional topo-climate in Mediterranean Forests of Northern Tunisia, (iii) evaluate physiological responses to different levels of drought stress and (iiii) study genetic diversity of cork oak in kroumirie and relicts areas.

The biometric study carried on field has allowed us to highlight the close relationship between environmental conditions and distribution of cork oak. Then, assessing regional topo-climate in forests of Northern Tunisia was proposed in order to check the ecological fidelity of this species. Climate and altitudinal gradient has allowed to understand the dynamics of growth for different populations of cork oaks.

A functional approach was conducted on seedlings of cork oak; Morphological, physiological and biochemical responses to different levels of drought stress were investigated. The results serve as guidelines for the best populations persist under adverse conditions and making the populations of cork oak vulnerable to the future climatic conditions.

Finally, because studying genetic diversity within Cork oak may be useful for understanding species adaptation to environmental changes. A genome scan approach with SSR was conducted on 96 adult individuals to identify genetic differences between populations. A greater genetic diversity measured was found in relicts area relative to kroumirie area. In relicts areas, a very big introgression between *Q. suber* and *Q. ilex* has been identified.

The results of this study are a contribution to research on the ecology of the cork oak and provide insights into the potential evolution of its growth response to future climate change.

Keywords: Cork oak forest, climate changes, drought stress , Kroumirie and relicts area, climatic and altitudinal gradient, genetic diversity inter- specific variability, introgression



Comprendre les interactions pouvant exister entre photodégradation et dégradation biologique de finis translucides

Antoine Cogulet - Université Laval, département des sciences du bois.
antoine.cogulet.1@ulaval.ca

En applications extérieures tel que pour du bardage, le bois subit de nombreuses dégradations dues à son exposition à l'environnement. Le terme communément utilisé par la communauté scientifique pour décrire ce phénomène est "intempérie". Les intempéries comprennent la photodégradation, la dégradation biologique, les phénomènes d'érosion, les variations de chaleur ou encore la présence de polluants atmosphériques. Parmi les stratégies disponibles pour protéger le bois, la plus répandue est l'utilisation de finis qui forment une couche protectrice. Même si cette dernière permet d'améliorer la durée de vie du produit, elle est également susceptible de se dégrader en raison des intempéries.

Jusqu'à présent, la principale stratégie utilisée par la communauté scientifique afin d'obtenir une meilleure compréhension de ces phénomènes a été l'élaboration de protocoles isolant les dégradations les unes des autres. Malgré les avancées réalisées, cette stratégie ne représente pas fidèlement la réalité d'une exposition extérieure, notamment les possibles effets synergiques entre les dégradations. Par exemple, certaines moisissures comme les moisissures à taches noires sont capables de métaboliser les sous-produits de la photodégradation de la lignine. Dans le but de découvrir les interactions qui existent entre photodégradation et dégradation biologique, des échantillons de bois protégés avec une finition transparente ont été photodégradés. Deux moisissures à taches noires ont par la suite été inoculées (*Aureobasidium pullulans* ou *Epicoccum nigrum*). La colonisation des échantillons a pu être suivie par l'utilisation d'une échelle visuelle ainsi que par des analyses colorimétriques. Les changements chimiques ont été caractérisés par un spectroscope infrarouge avec transformateur de Fourier (IR-TF). Les modifications physiques ont été évaluées par une étude d'adhérence du fini ainsi que par des observations microscopiques. Les résultats issus de l'évaluation visuelle démontrent que plus les échantillons sont photodégradés, plus la colonisation est forte. Aucune information pertinente sur l'habileté des moisissures à coloniser les échantillons photodégradés n'a pu être extraite des analyses infrarouges.

Il semble que les moisissures profitent de modifications physiques du fini plutôt que de modifications chimiques. L'adhérence et l'épaisseur du fini ont diminué suite à la photodégradation. Ces modifications ont été associées à une plus grande colonisation. La colonisation elle-même a eu un impact sur l'adhérence du fini, mais cet effet a été limité à une courte période suivant l'inoculation. L'habileté des moisissures à taches noires à coloniser les échantillons n'est pas seulement due à leur capacité à métaboliser les sous-produits de la photodégradation de la lignine. En effet, leur aptitude à pénétrer physiquement le fini semble également être un paramètre critique dans ce phénomène. Les observations microscopiques ont permis de mettre en évidence la présence de bulles piégées dans le fini. Éventuellement, celles-ci éclatent notamment due à la diminution de l'épaisseur du fini. Cela entraîne la formation de cavités à sa surface. Ces zones de plus faible résistance pourraient être utilisées par les moisissures pour pénétrer profondément la protection.

Cette étude a permis de mettre en avant l'importance des modifications physiques du fini dans la colonisation. Il est ainsi possible de prendre en compte en laboratoire certains effets synergiques entre les dégradations. Des améliorations pourront être proposées pour corriger les défauts qui apparaissent suite à la photodégradation. La durabilité des finis pour bois pourrait en être augmentée.

Mots-clés : photodégradation- Dégradation biologique - fini - moisissures.



Understanding the interactions between photodegradation of clear coatings and biological degradation by black stain fungi

Wood used for outdoor applications, such as siding or decking, undergoes surface degradation, due to a range of environmental factors. The term commonly used for this phenomenon is 'weathering'. Weathering includes photodegradation, biological degradation, erosion by water, wind-driven particles, heat, atmospheric pollutants etc. Among strategies available to protect wood, application of coatings or paints is the most widespread. Even if they allow to improve the product life time, the protective layer is also prone to degradation due to the same phenomena identified for wood weathering.

Research to understand the factors that contribute to weathering has generally involved separate laboratory experiments on each aspect. This has allowed great advances in the comprehension of wood degradation, but has not led to test methods that accurately represent outdoor exposure. For example, photo-degradation and biological disfigurement are linked as black stain *fungi* are able to use lignin breakdown products from photodegradation.

In order to better understand the relationship between photodegradation and biological degradation, wood samples painted with clear coatings were degraded under a xenon lamp at several periods of time and then inoculated with two black stain *fungi* (*Aureobasidium pullulans* and *Epicoccum nigrum*). *Fungal* colonization was followed with a visual scale similar to AWPA E24 and colorimetric analysis. Chemical changes were monitored by fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), and physical changes characterized by microscopic analysis and coating adhesion tests. Results obtained with the visual scale show that the higher the extent of photodegradation is and the stronger the sample colonization will be. The microscopic analysis revealed coating thickness, porosity and degradation after both photodegradation and biological degradation. Results obtained from FTIR do not provide relevant information to understand how *fungi* take advantage of the photodegradation process to colonize the samples. Black stain colonization was instead associated with physical changes to the coating. Coating adhesion and thickness were significantly decreased with the appearance of numerous bubbles. These modifications lead to a greater *fungal* colonization. *Fungal* colonization was in turn associated with a decrease in coating adhesion but its impact is restricted to short period of time following the inoculation.

Statistical analysis found no synergistic effect between the colonization and the photodegradation, only an additive one. The ability of the black stain fungi to colonize photodegraded wood is not only due to their capacity to metabolize lignin breakdown products, but also to their ability to physically penetrate the coating. The physical degradation of the coating due to the photodegradation may help them in this way. The bubbles present in the coating appeared to be more readily bursted when coating thickness decreased. The development of this new protocol taking into account the synergetic effect between photodegradation and biological degradation enabled the detection of bubbles as a potentially significant pathway for black stain colonization. Improved coating formulations and application methods that reduce the presence of bubbles in the film may lead to longer coating service life. Taking into account possible interactions between weathering factors could be central to provide better protection to wood.

Keywords: photodegradation- biological degradation - coating - *fungi*.