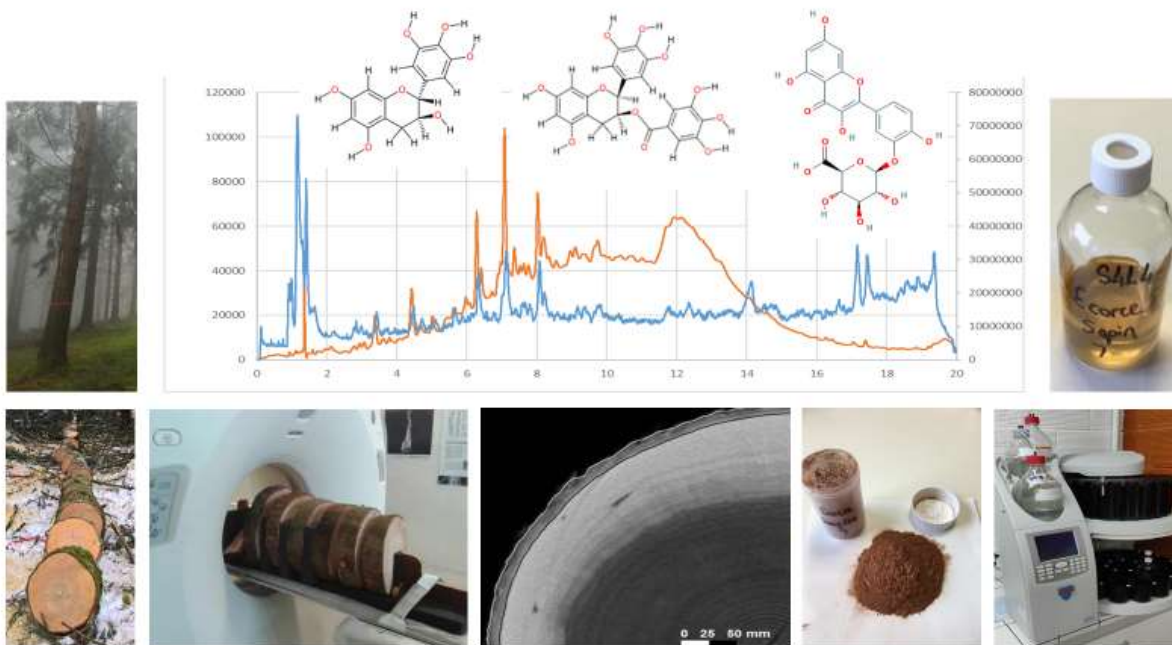


BARK-TAN-BIO



Within- and between- tree Biodiversity of softwood BARK TANnins

Responsable scientifique : Francis COLIN, UMR 1434 Silva

Partenaires Labex : LERMAB, CRITBois,

Collaborations : INRA-BioForA Orléans ONF R&D Dôle,

Contexte —

Avec une biomasse d'écorce de résineux récoltée annuellement en Europe de 25 millions de m³ (EUROSTAT, 2015), il y a moyen d'en utiliser une partie pour produire des biomatériaux et des biomolécules plutôt que seulement de l'énergie ou des substrats horticoles comme c'est le cas actuellement. La grande biodiversité chimique présente dans la ressource forestière doit néanmoins être finement étudiée afin d'identifier les fractions les plus riches. Cette biodiversité intervient entre les espèces, entre les arbres ou même au sein de l'écorce entre le haut et le bas de l'arbre, et dépend finalement du génotype, de la sylviculture et des facteurs pédo-climatiques.

Objectifs —

Le projet avait pour but de quantifier la biodiversité des produits chimiques de l'écorce, en particulier pour détecter les fractions les plus riches et la présence de tanins condensés, particulièrement adaptés à la production de mousses isolantes, d'adhésifs et de résines époxy.

Approches —

L'épicéa commun, le sapin et le douglas ont été choisis comme représentants de la ressource forestière régionale et particulièrement transformés dans les industries du bois régionales, produisant donc des sous-produits d'écorce. Huit arbres de chaque essence ont été échantillonnés dans des peuplements expérimentaux de l'ONF et dans deux traitements contrastés (témoin et éclaircie forte). Des rondelles de tronc avec ou sans branches ont été récupérées à des hauteurs fixées sous ou au-dessus de la base du houppier. L'épaisseur, le volume par arbre, l'infradensité, la biomasse, les taux d'extractibles à différentes hauteurs avec le solvant " vert " eau chaude + éthanol (50/50) et les quantités d'extractibles par arbre ont été analysés ou estimés.

Résultats clés - Le rendement moyen et maximal en extractibles atteint des valeurs étonnamment grandes, comparées à celles référencées dans la littérature : 21,5% & 34,4% d'extraits (par rapport à la biomasse sèche d'écorce) respectivement pour le sapin, 20,4% & 44,5% pour l'épicéa, 22,2% & 38,4% pour le douglas. Une diminution générale du rendement avec la distance relative à la cime des arbres (RDT) a été observée et, inversement, une augmentation générale des polyphénols. Ceci reflète probablement une quantité importante de sucres au sommet de l'arbre. Dans les extraits recueillis, les principaux composants sont l'acide quinique (jusqu'à 2,8% des extraits) et la gallocatéchine (jusqu'à 1,5%) pour le sapin, le piceatannol-3-O-glucoside (jusqu'à 8%) et un composant non encore identifié (jusqu'à 1%) pour l'épicéa, la taxifoline (10% en moyenne jusqu'à 60% à la base de l'arbre) et l'ériodictyol (jusqu'à 2,5%) pour le douglas. Les tanins sont présents entre 70 et 90 % des extraits ; leur composition précise est en cours d'analyse. Par ailleurs des relations de calibration NIRS-extraits des écorces ont été établies par le CRITBois.

En moyenne les densités d'écorce sont supérieures aux densités du bois sans nœuds pour les trois essences : épicéa (453 contre 353 kg/m³) ; sapin (514 vs 374) et douglas (443 vs 429) ; les densités d'écorce diminuent légèrement avec RDT croissant pour le sapin alors que pour l'épicéa on observe à l'inverse une légère augmentation générale à partir de 10% de RDT et une courte diminution avant. Sur le Douglas, il a été observé une augmentation générale sigmoïdale avec (seulement pour le douglas) des densités d'écorce inférieures aux densités du bois sans nœuds en dessus de 25 % de RDT.

Principales conclusions, y compris les principaux points de discussion - Nous avons quantifié la biodiversité du rendement global, de la composition chimique, des quantités de matières extractibles globales ou de certaines familles, entre les 3 espèces étudiées, entre des arbres d'une même espèce et au sein des arbres entre les fractions d'écorce supérieures et inférieures. Il y a évidemment des fractions qui sont plus riches que d'autres, par exemple l'écorce en bas du douglas pour la taxifoline. Ceci met en évidence la nécessité de rechercher avec soin les fractions d'écorce les plus riches en telle ou telle molécule, qui méritent d'être mieux valorisées qu'en combustible ou substrat horticole. Les co-produits « écorce » doivent ensuite être collectés dans des unités industrielles bien identifiées qui devront à terme séparer les écorces des différentes espèces transformées (par exemple les écorces de sapin et d'épicéa généralement mélangées jusqu'à présent).

Perspectives - Dans ExtraFor_Est qui finit le 31 décembre 2021, qui a inclus Bark-Tan-Bio jusqu'au 31 décembre 2019, l'écorce de chêne et de hêtre est actuellement analysée. Grâce à la banque nationale de données d'épaisseur d'écorce complétée et gérée par FCBA qui est partenaire du projet, des relations statistiques ont été établies pour estimer le volume d'écorce de l'arbre (BV) en fonction de D130 et H la hauteur de l'arbre, avec ou sans l'épaisseur d'écorce à 1,30m (BTBH) introduite, épaisseur qui s'est révélée dépendre de l'altitude. Sapin et épicéa : $BV=a \cdot D130 \cdot BTBH \cdot H$ avec $BTBH=(d.alt+e) \cdot D130^f$; Douglas: $BV=a \cdot DBH \cdot BTBH \cdot H+b$ avec $BTBH=(d.alt+e) \cdot DBH^{(f-(g.alt+h)+i)}$. De telles relations sont également en préparation pour le chêne et le hêtre.

ExtraFor_Est permet actuellement de passer de l'arbre à la ressource régionale en extractibles, grâce à la collaboration avec l'IGN. Sur la base des chiffres donnés plus haut et des données de l'Inventaire Forestier National, les estimations de récolte annuelle sont les suivantes sur la période 2014-2018. En Bourgogne Franche-Comté, pour chacune des 3 essences, les 51 à 55 000 T d'écorces récoltées peuvent fournir environ 11 000 T d'extractibles totaux, tandis qu'en Grand Est, les valeurs sont plus contrastées : pour le douglas, peu représenté, la biomasse d'écorces récoltée de 15 000 T peut offrir 3 000 T de matières extractibles ; pour le sapin : 54 000 T → 12 000 T ; pour l'épicéa : 70 000 T → 14 000 T. Nous abordons ensuite les filières forêt-bois avec le logiciel CAT (*Carbon accounting Tool* [Pichancourt et al., 2018]) et sa conversion en Chat (*Chemicals accounting tool*) qui simulent les flux de co-produits.

Valorisation scientifique —

- La présentation (de l'avant-projet avant 2017 et) du projet durant les rencontres suivantes : la conférence internationale WoodChem (2017 et 2019), la conférence IUFRO WoodQC les 12-17 juin 2016 au Québec, les journées du GDR Bois (Cluny 2018, Epinal 2019), les journées du réseau EFPA « CaQsis » (2016 au CNRS CEFE, Montpellier 5-7 avril ; 2018 PIAF de Clermont Ferrand 27-29 mars ; 2019 IRSTEA Aix en Provence 26-28 mars) ; 21st International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium» 24-27 septembre 2019 à Freiburg ; journée du Labex Arbre en 2018 et février 2020
- La rédaction d'articles de rang A :
 - Pichancourt JB et al., 2020. Supporting decision-making for the sustainable supply of species-based molecular products: the case of the Silver Fir bioeconomy in the French Grand-Est region (in preparation)
 - Rodolphe Bauer, Fleur Longuetaud, Frédéric Mothe, Alain Bouvet, Antoine Billard, Francis Colin, 2020. Models of bark volume and biomass for French resource of Norway spruce, Silver fir and Douglas fir (in preparation for Biomass & Bioenergy)



- Antoine Billard, Rodolphe Bauer, Frédéric Mothe, Mathieu Jonard, Francis Colin, Fleur Longuetaud, 2020. Taking into account within-tree density variations helps to improve biomass estimates by reducing biases (in preparation for Biomasse & Bioenergy)
- Maree Brennan, Clément Fritsch, Sylvain Cosgun, Stéphane Dumarçay, Francis Colin, Philippe Gérardin. 2020. Yield and compositions of bark phenolic extractives from three commercially significant softwoods show intra- and inter-specific variation (redaction completed for submission to Forest Ecology & Management)
- Maree Brennan; David Hentges; Sylvain Cosgun; Stéphane Dumarçay; Francis Colin; Christine Gerardin; Philippe Gerardin Pichancourt JB et al., 2020. Intra- and inter-specific variability of extractive composition of knotwood from three industrially important softwood species (submitted)
- Maree Brennan, Clément Fritsch, Sylvain Cosgun, Stéphane Dumarçay, Francis Colin, Philippe Gérardin, 2019. Quantitative and qualitative composition of *Abies alba* bark polyphenols according to longitudinal position, Annals of Forest Science (accepted)

La diffusion des résultats auprès des acteurs de la filière forêt-bois et des industriels de la chimie est un objectif contractuel des projets Bark-Tan-Bio et ExtraFor_Est. Cette activité, orchestrée par le bureau de communication ohwood suivant une stratégie de co-construction (animer les réseaux et les rencontres, diffuser les avancements du projet) et de rayonnement (influencer des cibles clés, mobiliser la presse), s'est concrétisée par :

- des relations constantes avec la presse : 482 journalistes contactés, 1 dossier de presse, 6 communiqués de presse, ayant eu 16 retombées (Reportage dans le 19-20 FR3 Grand Est, article dans IGN Magazine en nov. 2019, 2 articles dans Formule Verte en avril 2019, Newsletter Fransylva août 2019, relais au pôle technologique Sud Champagne, Newsletter des Coopératives forestières sept. 2019, Newsletter de filière forêt bois oct. 2019, relai dans Forêt de France n°629, article dans Le Journal de Saône et Loire oct. 2019, Article dans « Le bois international », information dans Agri72 mai 2019, relai dans Newsletter de Fibois mai 2019, Newsletter de AgraFil de mai 2019, Newsletter dans « L'essentiel de la Métropole du Grand Nancy avril 2019... »), 1 partenariat média (Forestopic) avec 5 articles de fond relayés dans l'agora du média.
- des relais de diffusion régulièrement animés : 1 site internet (<https://www6.inrae.fr/extraforest>), 3 newsletters informant 845 abonnés, 2 comptes réseaux sociaux LinkedIn (92 posts) & Twitter (129 tweets)
- des leviers d'influence : un comité consultatif composé de 15 membres investis, la tenue de réunions publiques tous les 6 mois environ avec 60 participants en moyenne (la 6^e se tiendra le 30 janvier à AgroParisTech Nancy) ; participations fin 2019 à 2 concours : La Canopée, organisé par ForInvest, et Les Trophées de la Bioéconomie, organisés par le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation.
- La rencontre d'acteurs de la filière forêt bois prêts à s'investir dans la chimie des écorces : coopérative bois forêts de l'Est, CCI Côte d'Or, Préfecture de la Nièvre, Gilles de Montalembert « facilitateur / médiateur » pour l'industrialisation de la région de La Roche-en-Brénil (Morvan), plusieurs industriels de la filière forêt-bois, les acteurs du Grand-Est rassemblés autour du projet régional de plateforme pilote d'extraction de composés du bois

Effet levier du projet —

Le projet Bark-Tan-Bio a eu un effet levier considérable puisqu'il a permis d'être relayé dans le cadre du projet « Extractibles des Forêts de l'Est » (ExtraFor_Est), lauréat de l'AAP 2017 du Ministère de l'agriculture, de l'agro-industrie et de la forêt (maintenant MAA), AAP intitulé « Innovation, investissement pour l'amont forestier ». Ce dernier projet a pu être complété par un financement du FEDER Lorraine, et enfin d'une contribution de l'ADEME et de la région Grand-Est pour financer une thèse. Les financements assemblés atteignent un montant de 1 250 000 Euros. Une prestation de communication confiée au bureau ohwood et une prestation d'étude des marchés des composés chimiques issus du bois et des forêts, confiée au bureau d'étude du pôle de compétitivité IAR, ont été financées. Cette communication des résultats a contribué d'une part à rapprocher des industriels du bois et des chimistes du LERMAB et d'autre part à faire émerger une initiative régionale visant à créer une plateforme d'extraction de produits du bois notamment bio-molécules dans le pays d'Epinal.

Pour prolonger le projet ExtraFor_Est dont la fin est prévue le 31 décembre 2021, il est envisagé de déposer de nouveaux projets pour 1) étudier d'autres espèces, 2) mieux évaluer la biodiversité chimique géographique 3) aborder d'autres régions et 4) se positionner davantage au niveau industriel (CAPEX, OPEX...pilote industriel).