

CR 3^{ème} réunion publique du projet Extraforest 18 octobre 2018 AgroParisTech centre de Nancy

Programme prévisionnel de la demie journée

Première partie.

Présentation Francis Colin (FC)

En tant que coordinateur, Francis Colin a rappelé que cette 3^{ème} réunion publique du projet succédait à

- la 1^{ère} réunion, le 5 avril VERIFIER qui portait sur un retour sur la réaction de la filière à l'émergence d'une nouvelle filière forêt-chimie
- la 2^e réunion focalisée sur la présentation du prototype d'outil d'aide à la décision (OAD).

La réunion d'aujourd'hui, labellisée comme la précédente par le TIGA « des hommes et des arbres » a pour objectif de présenter les premiers résultats des analyses d'échantillons, notamment sur le sapin.

Francis Colin a présenté succinctement le projet « Extractibles des Forêts de l'Est » (EXTRAFORREST) :

- L'opportunité : une demande croissante de biomolécules à mettre en regard de l'abondance et de la diversité de la ressource chimique dans la forêt française, et dans le Nord-Est de la France (Grand-Est + Bourgogne Franche Comté) en particulier ;
- Les objectifs : Mieux connaître les ressources chimiques en forêt en en industrie du bois en termes de quantités, composition, fractions les plus riches ; faire connaître ces ressources aux acteurs de la filière forêt-bois et de la chimie ; construire et approvisionner en données un OAD ;
- les composés chimiques du bois en distinguant les composés formant les structures (cellulose, hémicelluloses et lignines) et les composés non structuraux, récupérés par gemmage ou comme extractibles par des solvants organiques et/ou l'eau ; le premier type est valorisé par les produits bois d'œuvre, bois d'industrie, bois énergie et par la chimie lourde (papeterie, production d'éthanol, de celluloses de spécialités...) dans des marchés de volumes importants et valeur ajoutée modérée tandis que le second type peut être valorisé dans les domaines tels que la cosmétique, pharmaceutique, alimentaire, les matériaux innovants...dans des marchés de moindre importance à plus forte valeur ajoutée ;
- Grand Est et Bourgogne Franche-Comté constituent des régions fortement boisées disposant d'un dense réseau d'industries du bois mais ou de grandes unités d'extraction sont absentes contrairement à la Grande Aquitaine ;
- Les financements proviennent du MAA, du FEDER Lorraine, du Labex Arbre, de l'ADEME et de la région Grand-Est, pour un total de plus de 1 200 000 Euros sans compter le salaire des permanents ; le projet dure du 1^{er} juillet 2017 au 31 décembre 2021 ; il a donc une durée de 54 mois, divisée en 9 semestres ;
- Les pôles FibresEnergieVie et IAR ont labellisé le projet ;
- La rencontre d'aujourd'hui est labellisée par le TIGA « Des hommes et des arbres » ;
- Les laboratoires de R&D et les personnes qui doivent acquérir les connaissances sont : le LERMAB, le Critt Bois, l'IGN, le BETA, l'UMR INRA-SILVA ; interviennent secondairement l'UMR Biofora de Orléans, l'ONF (C Deleuze, F Lévy), et le FCBA (Alain Bouvet) ; Un oubli : Béatrice Richard qui analyse les données de la littérature
- Les 3 grandes tâches : T0 Management, T1 Acquisition de connaissances, T2 diffusion des connaissances.
- La base de données Wood_DB, la prestation d'étude des marchés, la prestation de stratégie de communication ;
- Quatre comités consultatifs formés d'acteurs de la filière forêt-bois et de la chimie accompagnent les recherches académiques : 1. Echantillonnage – Ressource ; 2. OAD ; 3. Aspects humains ; 4. d'aide à la diffusion ;
- moyens techniques au service du projet : Moyens techniques : dans l'Infrastructure Scientifique Collective Silvatech (Nicolas Angeli, Julien Ruelle, Charline Mola) : tomographie à rayons X, analyses chimiques → chromatogramme...

Présentation du TIGA DHDA Mathieu Ruillet (Chargé d'animation. Promotion. Communication | projet TIGA "Des Hommes et des Arbres, les racines de demain")

Un consortium de 70 acteurs publics et privés, s'est structuré autour de l'appel à projet TIGA DHDA, lauréat d'une première phase de sélection ; le TIGA est actuellement en phase de construction de programme pour concourir à la 2^e phase de l'appel qui aura lieu fin avril 2019. Le TIGA sera financé sur fonds propres et subventions de la Caisse des Dépôts et Consignation d'où la nécessité de faire la collecte de projets entrepreneuriaux ; d'autres projets intéressants pourraient être agrégés mais ils seront moins "bancables".

Deuxième partie : les écorces

Présentation de la structure des écorces : Francis Colin (FC)

2 méristèmes assurent la croissance radiale : 1. le cambium qui forme le bois ou xylème vers l'intérieur du tronc et le phloème ou liber vers l'extérieur et 2. le phellogène qui produit vers l'extérieur le liège ou suber (ou phellem en anglais) et vers l'intérieur, le phelloderme.

Périderme = phellogène le plus interne + nouvelles couches de liège et de phelloderme = dernier périderme formé. Les anciennes couches de périderme sont repoussées vers l'extérieur et constituent le rhytidome.

Circulation vers le haut de sève brute (eau + minéraux) dans le xylème et vers le bas de sève élaborée (eau + composés carbonés issus de la photosynthèse) dans le phloème. En plus existent des circulations longitudinales et latérales dans les parenchymes (notamment des rayons ligneux). Il existe différents types de rhytidomes : lisses (hêtre), en plaque (platane), en lanières, en écailles (sapin)...L'aspect du rhytidome intervient sur la précision des mesures. L'écorce est constituée de tous les tissus à l'extérieur du cambium. Le phloème récent constitue l'écorce interne qui est la partie de l'écorce la plus riche en extractibles ; l'écorce externe est tout le reste de l'écorce.

Données Ecorce Alain Bouvet (AB), FCBA

Un des objectifs du projet EMERGE (ANR 2009-2012, coordinatrice C Deleuze, ONF) était de rassembler collectivement des données pour produire des tarifs robustes et génériques de biomasse (Voir numéro spécial Emerge dans RDVT + tableau concernant les écorces dans le mémento FCBA 2018). Les données présentent une grande richesse en données sur les écorces ; leur traitement n'était pas dans les objectifs initiaux du projet. Ces données, collectées à la jauge à écorce (donc pas très précises) sont de 2 types :

- Données inventaire fournies par l'IGN : épaisseur d'écorce à 1,3m sur 500 000 arbres, dont 25000 sapins
- Données recherche (expérimentations sylvicoles) : épaisseurs d'écorce à différentes hauteurs dans les arbres

On dispose de quelques circonférences sur/sous écorce et de quelques images scanner de tomographie à rayon X. Les données recherche contiennent 13000 arbres, dont 750 sapins.

Sur sapin on dispose d'une bonne gamme de diamètre – hauteur d'arbres, y compris dans les données recherche. On observe une grande variabilité des épaisseurs et taux d'écorce.

Un très fort effet de l'altitude a été constaté sur les données IGN : plus on monte en altitude, plus l'écorce est épaisse ; ceci est constaté à la fois pour le sapin et l'épicéa. Mais pour le sapin, pour une même altitude les épaisseurs sont différentes dans le massif central et dans le jura et les alpes. Il y aurait donc de fortes différences entre massifs.

A l'échelle de l'arbre, un fort effet de la taille de l'arbre a été observé à partir des données recherche collectées à plusieurs hauteurs dans l'arbre : le taux d'écorce a tendance à augmenter en montant dans la grume. Cette tendance est générale pour plusieurs espèces (sapin, épicéa, chêne...) mais est inverse pour le Douglas et surtout les pins. EXTRAFOREST permet de reprendre l'analyse de ces données en fonction des attentes du projet.

Question à l'issue de l'exposé

Question de PG (Philippe Gérardin) : on observe une courte et légère remontée du taux dans le haut du houppier : est-ce un artefact ? Car on observe des choses un peu similaires avec les taux d'extraits.

Réponse de AB : Peut-être un artefact, ces modèles sont à reprendre

Question de FC et Jean-Pierre Renaud : combiner dans l'analyse épaisseur d'écorce et taux d'extrait : est-ce que l'effet d'altitude est renforcé ou compensé ? Cela pourrait jouer sur les approvisionnements

Question de FC : est-ce que l'IGN continue les prises de données ?

Réponse de Antoine Colin (AC) : Non, on estime avoir une BD importante

Réponse AB : On continue, mais avec une moindre intensité, par ex dans le cadre de projets comme INSENSE.

Question FC : Y-a-t-il eu d'autres travaux sur les écorces en France ?

Réponse AB n'en connaît pas.

Taux d'écorce intra-arbre Rodolphe Bauer, doctorant Extraforest

Etat de la biblio : des taux d'écorce globaux peuvent être trouvés ; Ex.mémento FCBA ; Ex : Linda et al 2004

Pour le sapin les chiffres font état de 11-12 % en volume en global **sur bois fort ?**

Des modèles dendrométriques ont été construits : Stängle et al 2018 ; Jenkins et al, 2004 ;

Ils ne permettent pas d'avoir directement un volume ; leur pertinence dans le contexte régional de Extraforest est à vérifier.

Analyse des données recherche du FCBA

On observe une épaisseur d'écorce qui varie en fonction de la hauteur : tendance légère à la diminution pour le sapin, mais avec un fort bruit.

Quand on passe en proportion = épaisseur / épaisseur à 1,30 m le nuage de points est beaucoup moins bruité

Et quand on passe au rapport surface d'écorce / surface du bois, la tendance est encore plus nette ;
Quand on considère le volume d'écorce en fonction de la hauteur totale il y a peu de variabilité pour les petits, mais beaucoup plus pour les gros. Quand on considère la proportion d'écorce en fonction de la hauteur totale, la tendance est assez floue.

Analyse des données sapin du projet extraforest

8 sapins débités et scan des rondelles et comparaison avec le modèle Emerge de proportion d'écorce en fonction du diamètre :

le modèle est validé si on se ramène à la surface d'écorce en fonction du diamètre de la rondelle.

La question est maintenant de passer à un modèle de volume. C'est le but du travail de thèse.

Pour passer à la biomasse d'écorce, il faut disposer de la masse volumique anhydre. On constate que l'écorce est plus dense que le tronc et qu'elle diminue vers le haut de l'arbre.

La question est de savoir si le scanner est-il bien calibré pour mesurer la densité des écorces ? Ceci est un point à vérifier.

Enfin il faut constater que notre échantillon est encore faible.

Questions à l'issue de l'exposé.

Question de FC : A quoi attribuer la densité plus forte de l'écorce ?

Réponse de Antoine Billard : certainement à la quantité d'extractibles et de minéraux.

Question Jacky Vandeputte : Pensez-vous faire des ACP pour détecter les influences des différents facteurs ?

Réponse de AB + FC : Oui, on peut faire cela

Antoine Colin : peut-on trouver des mesures de densité d'écorce dans la littérature ?

Réponse d'Antoine Billard : Non

Fleur Longuetaud : on trouve quelques publis qui dégagent la même tendance : écorce + dense que le tronc.

Jean-Baptiste : Voir la BD TRY sur les traits d'espèces

La chimie de l'écorce (P. Gérardin, LERMAB)

L'état des connaissances

En chimie on distingue plutôt écorce interne et écorce externe (tissus morts). Cela représente entre 10 et 20 % du bois. Les extractibles sont présents en teneur souvent plus importante dans l'écorce que dans les autres tissus, en lien probablement avec leur rôle de protection. Il pourrait être intéressant d'intégrer aussi la valorisation du reste de la matière, une fois qu'on a extrait.

Par rapport au bois du tronc, la composition des écorces présente :

- moins de polysaccharides
- plus d'extractibles
- plus de polyphénols et subérine (50 % de composés phénoliques)
- une forte teneur forte en éléments minéraux (qui provoquent l'encrassement des chaudières).

Des teneurs variables sont observées entre écorce interne et externe.

Les écorces contiennent des composés phénoliques présentant des propriétés antioxydantes, des tanins condensés, des tanins hydrolysables, de la subérine, des constituants insolubles, très inertes, avec des propriétés pour la création de matériaux intéressantes

Par ailleurs, on observe une grande variabilité inter et intra spécifique.

La valorisation actuelle principale concerne la combustion ; elle serait compatible *a priori* avec une extraction préalable. Vient ensuite le paillage, et enfin la valorisation en tant que matériau notamment d'emballage : liège, Mont Dore, fabrication de colles et de résine, support de filtration ;

L'industrie agroalimentaire, la cosmétique ou pharmaceutique en consomme un peu (taxifoline, ac. salicylique,...).

Premiers résultats de recherche obtenus par les post-doc Sedat Cosgun et Maree Brennan sur le sapin

Matériau de base : collection de rondelles, avec ou sans nœuds, échantillonnées à 13 hauteurs dans 8 sapins, définies par la mesure ou par le point qualitatif dans l'arbre (ex 1ère branche verte) ; ces 8 tiges ont été soumises à des sylvicultures contrastées.

Ensuite ont été pratiqués les Ecorçage, broyage, extraction et enfin analyses qualitative (selon différentes méthodes de chromatographie) et quantitatives ; différents solvants ont été utilisés : EtOH, Eau & EtOH (considéré comme un compromis intéressant pour l'étude), Eau

L'analyse quantitative montre :

- Concernant la variabilité autour de la rondelle : pas de différences significatives (-> un seul lot par la suite)

Concernant la variabilité de la teneur en extractibles en fonction de la hauteur dans l'arbre et les arbres : on observe moins de variabilité en haut que dans le houppier ; taux plus élevés en haut qu'en bas, avec des modèles croissants ou à max près ou au-dessus de la base du houppier ; de façon générale on observe des teneurs plus importantes qu'attendues, de l'ordre de 20-25 % ; a priori pas d'effet significatif du mode de sylviculture ; à noter que pour l'épicéa, les premiers résultats montrent une tendance équivalente entre le bas et le haut de la tige (plus de composés vers le haut)

L'analyse qualitative montre :

Sur les chromatogramme un grand nombre de pics -> on obtient donc des mélanges complexes ; les profils sont relativement similaires entre les arbres, mais avec des différences d'importance des pics existent. Quelques composés surtout flavonoïdiques ont été identifiés : catéchine et variantes, Gallocatéchine et variantes

Questions à l'issue de l'exposé

Question : Jean-Bap Pichancourt (pHD) : Est-ce qu'on peut reconstituer les masses en carbone des composés pour affiner les bilans en carbone

Réponse PG : on n'a identifié pas toutes les molécules mais pour chaque molécule on connaît le nombre de carbones

Pierre-Louis Bombeck (PLB) : On pourrait s'attendre à des écorces plus riches dans le bas de l'arbre (plus vieilles). Obtient-on les mêmes profils avec d'autres solvants ?

Réponse PG : avec hexane, acétone, toluène-éthanol successivement en séquence. Même tendance avec le premier, mais pour les autres la tendance est plus compliquée. On devrait avoir probablement la même tendance avec l'eau.

PLB : On peut imaginer que le vieillissement ait aussi altéré une part des extractibles

Jacky Vandeputte (JV) : Il faut aller probablement très loin dans l'analyse structurale avant de comprendre les aspects biologiques. Métabolisme des extractibles : qu'est-ce que l'on sait ?

Réponse PG : biosynthèse des polyphénols (voir annexe de ce rapport). Le rôle le plus évoqué est le rôle de défense. Des projets (STRESSWOOD, MJcontrol...) visent à comprendre le rôle de différents stress sur la production de ces métabolites secondaires.

Question Henri Cuny (HC) : que sait-on sur la distribution dans le tronc, du lieu de production et de synthèse ?

PG : ...ce qui est sûr c'est qu'on observe des formes glycosylées pour le transport. Des résultats laissent penser que la synthèse est proche des lieux de blessure

JV : Des composés déjà repérés présentent-ils des intérêts économiques ?

PG : Un lignane, des flavonoïdes, des di ou trimères...ce genre d'extrait ne permet pas de se lancer dans la séparation. Rechercher plutôt des valorisations d'extraits globaux.

AC : En terme de hiérarchisation des usages, il semblerait que ce soit l'écorce de la surbille qui soit la partie d'écorce la plus riche.

?? : Distribution des molécules hydrophiles ?

PG : étude des pics en cours. On peut commencer une répartition à partir de la quantification des pics. Il faudra faut passer à d'autres méthodes pour les oligomères plus gros.

Stéphane Dumarçay : Il faut faire des dosages successifs pour capter toutes les espèces et boucler le bilan matière.

La ressource en forêt et dans la filière (Henri Cuny et JB Pichancourt)

Par cette action on passe de l'échelle de la molécule à la ressource en passant par l'arbre

Mieux connaître les quantités régionales d'extraits : 1. dans le stock sur pied, 2. Dans la récolte annuelle et (3) dans la récolte potentielle future.

Ensuite quantification des flux le long de la filière par outil CAT (Chemicals accounting tool)

A noter : pour l'instant pas de prise en compte de l'effet des paramètres économiques

Stock en forêt : Données IGN X taux extraforest = quantité d'extractibles

Filière

CAT (Chemical Accounting ToolFortin, code GPLv3), avec des applications carbone, nutriments, et extractibles développés dans le cadre d'extraforest (Pichancourt et al, soumis)

Bilan des composants et flux le long de la filière

Permet d'évaluer l'impact d'une modification de la filière

Utilisation dans CAPSIS, en stand alone, et à venir : en réseau

La filière est reconstituée avec les données de la DRAAF 2016

Représentation des flux de biomasse, y compris celui correspondant à la décomposition des rémanents en éléments

Possibilité de paramétrer la part allouée à la chimie des extractibles, pour le BO et BI (ici scénario de 20 % des écorces mobilisées pour les extractibles).

Possibilité de paramétrer la variabilité (stochasticité) des valeurs dans l'arbre
Ventilation de la biomasse dans les différents produits de première transformation
(Dans la simulation présentée, représentant ~le fonctionnement actuel de la filière, 10 m3 / ha.an pourraient être extraits de la filière)

Perspectives

Affiner les hypothèses de calcul

Etendre les calculs :

Autres compartiments de l'arbre (noeuds/ duramen / branches)

Questions à l'issu de l'exposé

Jacques Hébert, Liège : de quelle densité parle-t-on ?

Fleur Longuetraus : Il s'agit de l'infradensité

JH : est-ce que les teneurs en labo et le lonf des filière sont les mêmes, compte tenu des conditions subies par les écorces dans la filière ?

JC : Il faudra tenir compte de l'évolution des teneurs au fil et à mesure du parcours dans la filière

JBP : On peut paramétrer la durée des extractibles dans le bois

Pierre-Louis Bombeck : Comment tient-on compte des échanges transfrontaliers ?

JBP : Il suffit de créer et de paramétrer le flux correspondant si on dispose des données

Jean-Luc Matte DRAAF : On n'a pas de détail régional dans les statistiques des douanes

AC : On entre des données de récolte qui viennent de l'IFN. On pourrait travailler à une BD commune.

FC : Le choix des régions GE et BFC...présente l'inconvénient que ces régions ont beaucoup de frontières

AC : ce qui compte le plus, c'est la mobilisation de bois qui entre dans la filière BO ou BI et son évolution. C'est ce qui donnera la part d'écorce réellement mobilisable.

Nicolas Attenot (Biolie) : Quid de la quantité réellement récupérable, qui dépend de la façon dont les unités de transformation traitent leurs écorces (mélange des essences ou pas par exemple). Les écorces sont des mélanges d'écorces de différentes des essences ou pas par exemple).

FC : On travaille d'abord sur les ressources en forêt ; on passera ensuite à l'évolution des taux le long des filières ; on progresse pas à pas ! On affinera les simulations en fonction des autres résultats du projet.

Armand Klem (NSG) : L'arrosage des bois l'été induit un lessivage, qui en 3 à 4 semaine élimine l'essentiel des extractibles. Les pratiques pourront être modifiées, mais cela dépendra de la valeur ajoutée que l'on pourra récupérer.

JV : En agriculture, des modèles développés permettent d'assurer une aide à la décision (BIOSCO). Il faut probablement affiner l'outil avec des données plus proches de la filière. Se rapprocher de BIOSCO.

XX : Richesse des cimes des arbres, actuellement peu valorisées...cibler spécialement cette fraction de la biomasse, en créant une filière spécifique ?

XX : Il faut vraiment chercher à quantifier ce qui peut réellement entrer dans des filières d'extractions : Volumes, qualités, saisonnalité : il faut interroger les acteurs de la filière.

Autres projets régionaux sur les écorces (Eric Masson [EM], CRITTbois)

Projet MIB : molécules d'intérêt du bois

Rassemble 3 CRT (Critt bois, Aérial, Rittmo). Projet organisé en 3 WP :

WP1 : identification des familles de molécules issues du bois avec intérêt économique

WP2 : méthodologie d'extraction et de valorisation

WP3 : faisabilité technico-éco de mobilisation

WP4 : approche biblio confiée au CRITTBOIS par :

- espèces abordées : Epicea, Sapin, Pin sylvestre, Douglas, Chêne, Hêtre
- Compartiment
- Familles chimiques

Ces infos sont rassemblées dans une BD et sur des fiches de synthèse

Valorisation actuelle surtout énergétique et horticulture

WP2 :

Etude des valorisations aval : préparation des écorces, extractions ; différents solvant, analyse des extraits

Contribution du CRT Aérial : analyse de l'activité antioxydante selon 2 méthodes (globale ou analytique)

Ex : extrait d'épicéa >> extrait de douglas en activité globale

Méthode analytique par chromatographies successives, permettant un screening des composés

Contribution du CRT Rittmo : biostimulation de la croissance (salades en hydroponie) et biocontrôle (effet sur la croissance des champignons phytopathogènes) ; Evaluation des extraits bruts pour l'agriculture

Projet ECO-VALUE : valorisation des écorces par liquéfaction catalytique

(Projet Institut Carnot)

Biomasse liquéfiée en réacteur (avec nombreux paramètres susceptibles d'être modulés)

Préparation et prétraitement

Liquéfaction catalytique ; Séparation des phases :

-> bio-huile : étude de l'intérêt pour la production de polymères ou additifs biosourcés

(imprégnation du bois, liants, colles...)

-> Charbons et évaluation de l'intérêt et de l'écotox en agronomie.

Question à l'issu de l'intervention

JBP : quelle fraction de biohuile ?

EM : dépend beaucoup des conditions de la catalyse (et notamment du catalyseur)

JV: Projet Biochar2020 (pyrolyse). Il faudrait se rapprocher d'eux. Pas beaucoup de monde sait faire de la catalyse hydrothermique

JV : Eth Eau dans extraforest : faire un comparatif des effets de différents solvants

JV : Mesure des propriétés : cadrer beaucoup les choix d'évaluation, en fonction des applications de base ciblées.

FC : Concernant le projet MIB, est-ce que les fiches sont disponibles ? Contiennent-elles les brevets ?

EM : Oui, au CRITT ; les brevets ont été recensés ; ne sont pas sur les fiches

Les nœuds (Antoine Billard [AB])

Ce que dit biblio : Les nœuds sont plus denses que le tronc (845 kg/m³ en épicéa), Gartner 1995 ; Nœuds également plus denses chez épicéa et pin, et masse volumique qui diminue vers le haut de la tige (Lehtonen...)

Travail sur les 8 sapins échantillonnés dans extraforest

Détourage des nœuds sur les images scanner -> représentation 3D du nœud dans le billon

Résultats illustrés sur un sapin : profil de tige du tronc le long de la tige : très variable

Nœuds beaucoup plus denses (presque le double) que le tronc et décroissance de la densité le long de la tige vers le haut

La densité des branches est intermédiaire entre celle des branches et celle du tronc

Sur les 8 arbres, au global (*volume de référence à vérifier*)

En faisant les hypothèses : Ecorce : 10 % du volume BF ; Nœud: 10 % du volume BF ; Branches : 10 % du volume total et en prenant les valeurs d'infra densité trouvées aussi bien pour les nœuds que pour l'écorce, la biomasse d'un arbre a pu être calculée, mettant en évidence une biomasse nettement plus forte que celle obtenue en prenant une valeur d'infradensité classiquement utilisée pour le sapin comme unique valeur d'infradensité de l'arbre quel que soit le compartiment. Donc la prise en compte de cette variabilité de l'infradensité dans l'arbre fait varier fortement la biomasse ligneuse estimée !

Réactions et questions à l'issu de l'exposé

Myriam Legay : tenir compte de la variabilité des infradensités change grandement nos estimations de biomasse !

FC : Les causes de l'augmentation du tronc au branche et des branches au tronc ?

AB : La largeur de cerne (cernes plus petits plus denses pour les branches des résineux), le bois de compression sur la face inférieure des branches, les extractibles dans les nœuds

Les nœuds: composition chimique et valorisation (S Dumarçay, Lermab)

Les caractéristiques du nœud, base de la branche insérée dans le tronc

Fonctions : soutien mécanique de la branche, circulation de la sève, barrière contre les pathogènes

Du point de vue techno : défaut ; Depuis les années 2000, recherches autour de la composition chimique des nœuds

(essor de la chimie verte, déclin de la papeterie...) → le nœud n'est plus un défaut

Mise en évidence de sa richesse en lignane

M2 Vernier en 2011, en collaboration avec Norske Skog (sur un mix représentatif de ce qui est processé), nœuds, tours de nœuds et bois normal : a trouvé des Taux très élevés de lignanes dans les nœuds et des composés spécifiques en nombre restreint

Deux suites à ce M2 : Projet LBS (Le Bois Santé) et Thèse INRA-CJS de Zineb K-B : variabilité selon résineux vs feuillus, variation intraspécifique et intra-individuelle.

Un screening large, à raison d'un arbre par essence (un lot d'essences majeures, un lot plus exploratoire) → taux tjrs plus élevé dans les nœuds (sauf pour if et noyer) ; Résineux plus riches que les feuillus ; Chêne en tête des feuillus ; Extractions successives avec des solvants variés ; Mélèze avec un profil de feuillus ; Forte proportion d'extraits hydrophiles (extraction eau et acétone) dans les feuillus

Tableau des molécules majoritaires selon les essences : Nœuds vs duramen : des différences chez les résineux, pas chez le chêne (acide gallique) ; ceci signifie qu'il n'est pas nécessaire d'isoler les nœuds chez les feuillus au contraire de chez les résineux où les composés sont différents dans et autour des nœuds

Etude de la variabilité au sein d'une essence : 15 arbres dans le dispositif ONF de Mont-Sainte-Marie (modalités * statut social) ; le profil vertical des concentrations dans les nœuds montre une tendance à l'appauvrissement vers le haut ; cette tendance Dépend de la fraction, ie du solvant, et donc des composés (tendance forte surtout pour les lignanes). A noter que les profils chromatographiques sont constants le long de la tige

Rappel : valorisation des lignanes : Antiviral, anticancéreux, anti-inflammatoire, antimicrobien, immunosuppresseur

Ce sont de puissants antioxydants hydrosolubles, avec des activités sur des cibles très diverses
Les études actuelles de valorisation concernent l'utilisations d'extraits bruts (les mélanges sont trop complexes pour que la purification paraisse intéressante)

⇒ Donc au total les résineux plutôt plus intéressants que les feuillus, qui présentent cependant l'avantage de présenter une composition similaire entre nœuds et bois (pas de séparation nécessaire)

Questions à l'issu de l'exposé

Jean-Luc David-Vaudey : (PME Savoie Pan collectant des connexes de scierie en Savoie) : demande de précision de la richesse du pin sylvestre. Intérêt de l'exploitation par câble pour la récupération des houppiers, branches

FC : Pin sylvestre espèce importante mais pas abordée dans le projet

Conclusion de la journée. FC fait une demande de retour sur la méthode de la journée

- Bernard Kientz (GIPEBLOR) : Suite des exposés un peu trop longue

- Général : Demande d'accès aux documents (à voir avec les auteurs ; prendre les résultats préliminaires avec précaution)

- Associée à Jean-Luc David-Vaudey : nécessité d'un travail d'assemblage des résultats à faire en aval ; exemple d'application : au final y-a-t-il plus de kilos d'extractible par unité de volume dans le haut d'un arbre?

- Avoir un digest de l'ensemble, pour commencer à poser des questions industrielles

- Ressources : des résultats très globaux...vs fraction utilisable : des choses à affiner sur ce qui peut être rendu disponible

- il existe des préconisations d'écorcer le bois bûche pour des raisons de qualité de l'air...

- JV Cette demie journée illustre bien les enjeux. Regarder les analogies avec le volet agricole. Création des outils AD : aller plus profondément, créer des groupes de travail par ex. avec des acteurs des filières
- Questions de connaissance : systèmes métaboliques, connaissance des molécules. Il faut bien se mettre d'accord sur les choix de ciblage des études. Il faut bien noter toutes les problématiques évoquées dans la discussion. Il y aura la question de la propriété industrielle. Bien raisonner les phases de séparation en GT / regroupement en fonction des attentes du projet par rapport aux contributions des partenaires
- Politique de diffusion de l'information est très intéressante dans ce projet : on peut injecter nos questionnements au fur et à mesure du développement du projet
- Pas encore beaucoup de résultats sur le rendement des molécules et les livrables. Extraits ou mix : à anticiper plus au début du projet.
- Considérer les contraintes des marchés : traçabilité, par ex. Le potentiel en masse et la part atteignable en fonction des contraintes.
- L'intéressant, c'est la partie commerciale. Qu'est-ce que l'on fait de ces matières premières ? Combien ? Quand ?
- AC : Il faudra faire le tri des questions auxquelles on peut répondre dans le projet. Les connaissances produites serviront de bases à des projets plus appliqués.
- FC : le projet a pour ambition de connaître les ressources ; c'est un préalable à toute démarche industrielle ; il faut de la Matière première ;
- Armand Klem (NSG) : Ex d'un brevet sur un produit pour le confort respiratoire à base de lignanes. Depuis 3 ans, difficulté pour percer sur ce marché. Il faut bien voir que des sociétés reçoivent des productions de produits actifs à raison de 1 par semaine !
- Il faut se différencier, et donc pour cela positionner le produit par rapport aux produits connus. Il faut réunir tous les acteurs de la chaîne de valeur, avec des pas de temps différents selon les domaines d'usage.
- PG : soyons optimistes ; on progresse ! Après d'autres dispositifs peuvent prendre le relai.
- Mathieu Ruillet (TIGA DHDA) : Il faut qu'un entrepreneur se saisisse du sujet !
- La technologie n'est pas l'aspect le plus compliqué. Est compliqué plutôt le choix des segments de marché à privilégier.
- Armand Klem (NSG) : considérer que les différents marchés induisent des contraintes différentes
- FC une étude de marché va suivre en 2019
- Avoir des idées sur les quantités disponibles et à fournir pour les marchés sélectionnés
- FC : cela viendra avec l'assemblage des connaissances

Annexe

Sont à l'origine de la plupart des molécules phénoliques chez les végétaux, deux acides aminés aromatiques : la phénylalanine et la tyrosine. Par désamination, la phénylalanine donne le précurseur immédiat des phénols : l'acide cinnamique. Ensuite vient la séquence des phénylpropanoïdes permettant la formation des principaux acides hydroxycinnamiques présents dans les végétaux sous forme d'esters ou de glucosides. Les formes métaboliquement actives des acides hydroxycinnamiques sont leurs esters avec le coenzyme A, ce qui donnera par la suite les principales classes de composés phénoliques :

- voie des acides de la série benzoïque (acide gallique) par beta-oxydation. L'acide gallique combiné à des sucres simples donnera des tanins hydrolysables.
- voie des esters chlorogéniques par estérification avec un acide alcool
- voie des coumarines, par cyclisation interne des molécules, suivie de modifications complémentaires (glycosylation, prénylations...).
- voie des lignines par réduction, formation des monolignols puis polymérisation oxydative initiée dans la paroi cellulaire par les peroxydases.

- voie des flavonoïdes avec un squelette moléculaire de base à double origine : 3 molécules d'acétyl CoA forme le premier cycle (A), une molécule de 4-coumaryl CoA forme le deuxième cycle (B) et l'hétérocycle (C). Cette condensation chimique va donner naissance à la chalcone.

