



Valorisation du chêne et hêtre : quelles innovations pour demain ?

Philippe GERARDIN

Laboratoire d'Etudes et de Recherche sur le Matériau Bois
Université de Lorraine

Journée de sensibilisation à la chimie verte du bois, CCI Côte-d'Or Dijon Métropole, 24 novembre 2020

Quelques chiffres

Description de la forêt française

Memento FCBA 2020

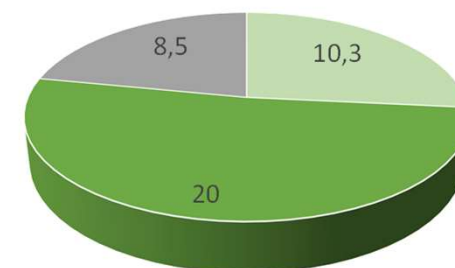
Caractéristiques des forêts de production hors peupleraies

| Région | Surface (x 1 000 ha) | Volume sur pied (Mm ³ BFT) | Production biologique (Mm ³ /an BFT arbres vifs) |
|------------------------------|----------------------|---------------------------------------|---|
| Auvergne - Rhône-Alpes | 2 399 ± 44 | 529,9 ± 22 761 | 15,4 ± 610 |
| Bourgogne - Franche-Comté | 1 717 ± 29 | 386,6 ± 14 739 | 11,1 ± 390 |
| Bretagne | 396 ± 19 | 72,6 ± 6 943 | 2,5 ± 213 |
| Centre - Val-de-Loire | 957 ± 24 | 173,2 ± 9 604 | 5,4 ± 253 |
| Corse | 400 ± 32 | 42,4 ± 9 984 | 0,9 ± 201 |
| Grand Est | 1 893 ± 30 | 415,5 ± 16 106 | 12,4 ± 405 |
| Hauts-de-France | 416 ± 20 | 76,7 ± 6 511 | 2,4 ± 185 |
| Île-de-France | 260 ± 12 | 47,4 ± 4 871 | 1,3 ± 110 |
| Normandie | 414 ± 19 | 79,7 ± 7 024 | 2,5 ± 193 |
| Nouvelle-Aquitaine | 2 773 ± 44 | 399,9 ± 16 972 | 16,1 ± 629 |
| Occitanie | 2 349 ± 52 | 325,7 ± 17 757 | 9,3 ± 488 |
| Pays-de-Loire | 370 ± 18 | 61,6 ± 6 203 | 2,3 ± 198 |
| Provence-Alpes - Côte d'Azur | 1 435 ± 40 | 123,8 ± 10 169 | 3,1 ± 223 |
| TOTAL France | 15 781 ± 115 | 2 735,1 ± 46,1 | 84,6 ± 1 296 |

BFT : Bois Fort Tige sur écorce.
à 2018

Source : e-IGN 2020, campagnes 2014

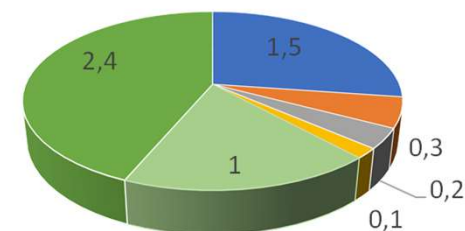
Récolte totale : 38,9 Mm³



4^{ème} région
14%

Bois d'industrie Bois d'œuvre Bois énergie

Bois d'oeuvre feuillus : 5,4 Mm³



Peuplier Feuillus précieux Autres feuillus
Châtaignier Hêtre Chêne

Chêne et Hêtre



Le hêtre

Caractéristiques : bois à aubier indifférencié, peu durable, facilement imprégnable, dur et solide offrant de bonnes propriétés mécaniques, se prêtant au collage, au tournage et au cintrage, très nerveux, faible stabilité dimensionnelle

Applications : agencement et menuiserie intérieure, ameublement, parquets



Le chêne

Caractéristiques : bois à aubier différencié dense, mi-dur et mi-lourd ayant une bonne stabilité dimensionnelle, bonne résistance en compression, peu imprégnable, bonne durabilité naturelle du duramen du fait de sa forte teneur en tannins

Applications : ébénisterie, menuiserie intérieure (parquets, escaliers, panneaux contrecollés), menuiserie extérieure, tonnellerie, charpente traditionnelle, platelage, pilotis, traverses de chemin de fer

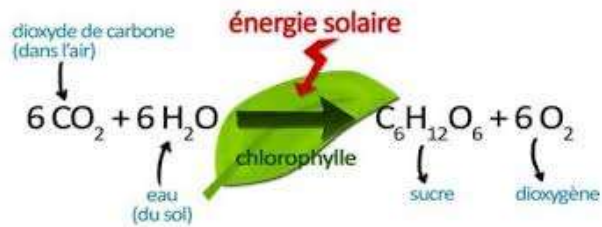
Pourquoi cet intérêt?

Un contexte nouveau : réchauffement climatique et développement durable
Le Bois, un matériau abondant d'origine renouvelable, capable de stocker et fixer le dioxyde de carbone via la photosynthèse.



Quelles conséquences sur les usages?

Matériau renouvelable
issu de la photosynthèse



Applications pour les matériaux et la construction en permettant de stocker le carbone et en limitant les rejets de CO₂

Applications dans le domaine de l'énergie avec un bilan carbone neutre

Application pour la chimie en limitant la dépendance aux ressources fossiles pour limiter les rejets de CO₂

Augmentation des usages aussi bien pour des applications traditionnelles que pour de l'innovation

Dans un contexte fort de bioéconomie et d'économie circulaire

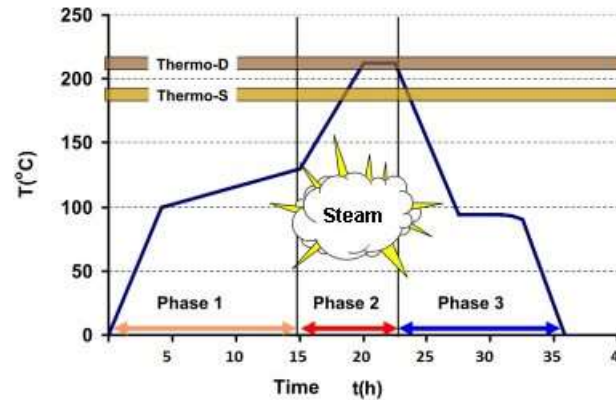
Innovations dans le domaine des matériaux

- Modification Thermique
- Modification Chimique
- Nouveaux assemblages

Modification Thermique

Principe : effectuer une dégradation contrôlée des constituants du bois en effectuant une pyrolyse douce pour des températures comprises entre 180 et 220°C.

Différents procédés faisant appels à des systèmes de chauffage différents (convection ou conduction) et à différentes atmosphères inertes (vapeur d'eau, azote, vide, gaz de combustion...)



Avantages

- amélioration de la durabilité aux agents de pourritures
- amélioration de la stabilité dimensionnelle
- matériau moins hydrophile et plus hydrophobe
- Teinte

Inconvénients

- couleur
- affaiblissement mécaniques
- durabilité aux insectes
- Maitrise du procédé

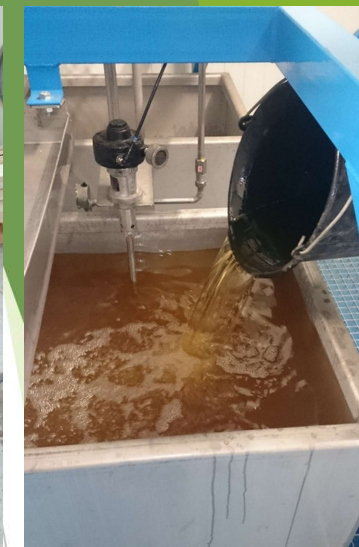




Quelques
exemples
d'applications



Modification Chimique du Hêtre

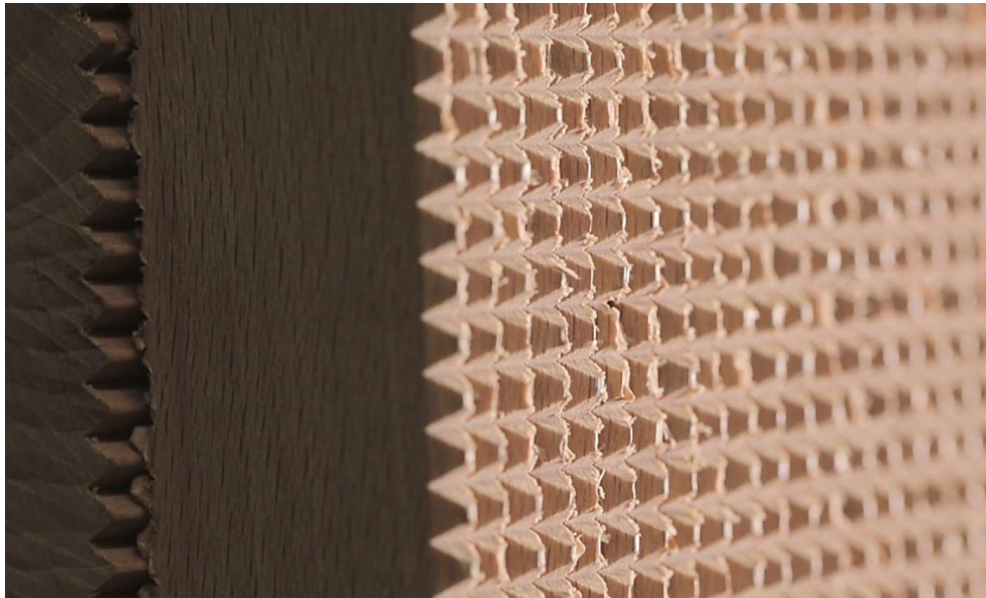


Essais à l'échelle laboratoire et pilote
chez MSL



Développement de nouveaux assemblages

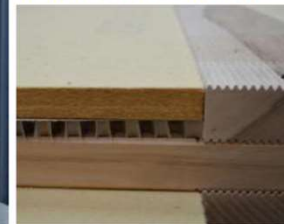
Panneaux en lamellé-collé de hêtre déjà commercialisés



Croisement des lames



Insertion d'isolant au



Lame d'air



Assemblage par picots de lame de bois de moindre qualité
Création de parois intérieures
Valorisation des feuillus locaux
Développements au laboratoire (JF Bocquet)

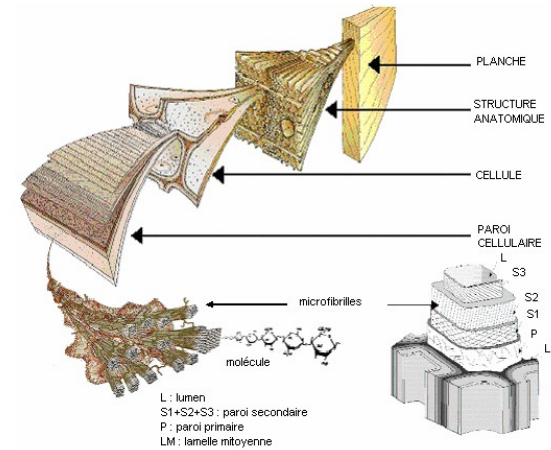
Innovations dans le domaine de la chimie

- Valorisation des extractibles
- Valorisation des polymères

Chimie du bois

Bois

| | |
|------------------------------|---|
| Substances macromoléculaires | Lignine (25-30%) Cellulose (45-50%) Hémicelluloses (15-20%) |
| Extractibles | (5-10%) |



Substances macromoléculaires
substances que l'on retrouve dans toutes les essences ligneuses
cellulose, hémicelluloses, lignine



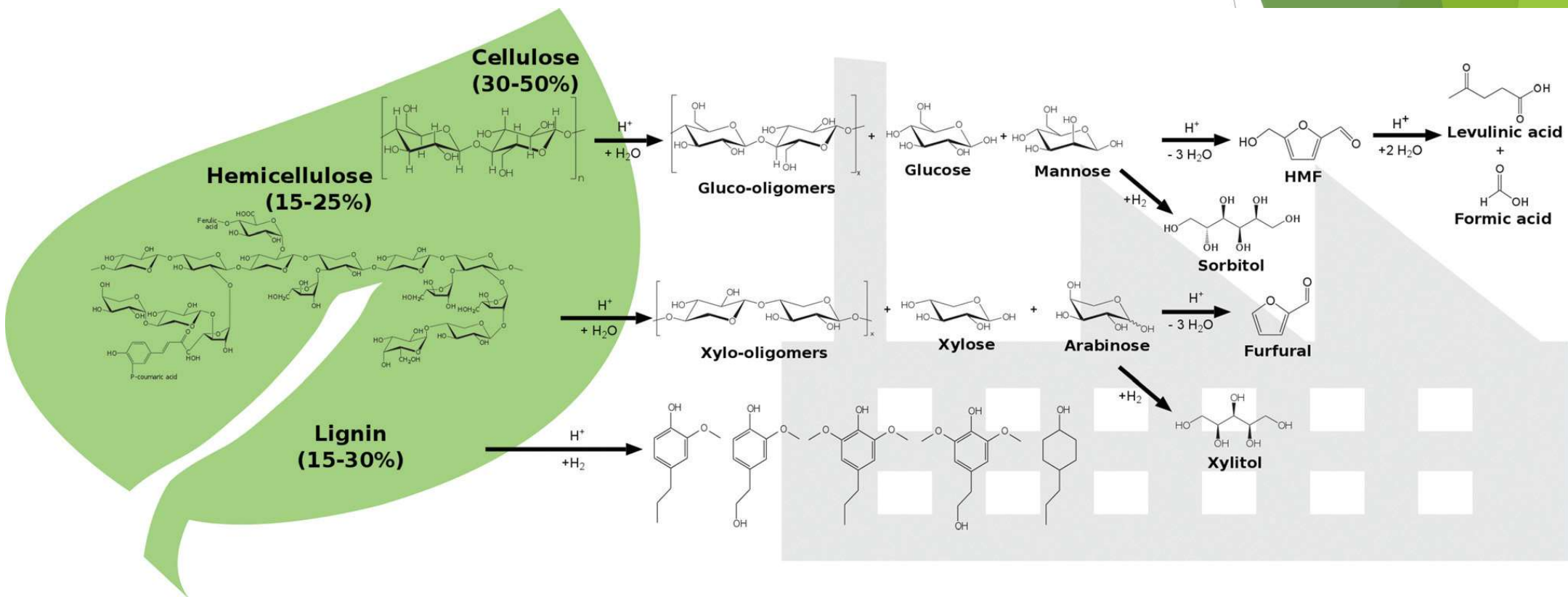
Chimie de commodité (chimie lourde)

Chimie de spécialité (chimie fine)



Métabolites secondaires (extractibles)
substances dont le rôle dans le métabolisme primaire et la croissance de la plante n'est pas direct, leur présence n'est pas systématique
flavonoïdes, terpènes, lignanes ...

La chimie des polymères du bois



Green Chem., 2014, 16, 4816-4838

La chimie des extractibles du bois

Extractibles : substances de faible masse moléculaire pouvant être extraites par différents solvants

Leurs rôles

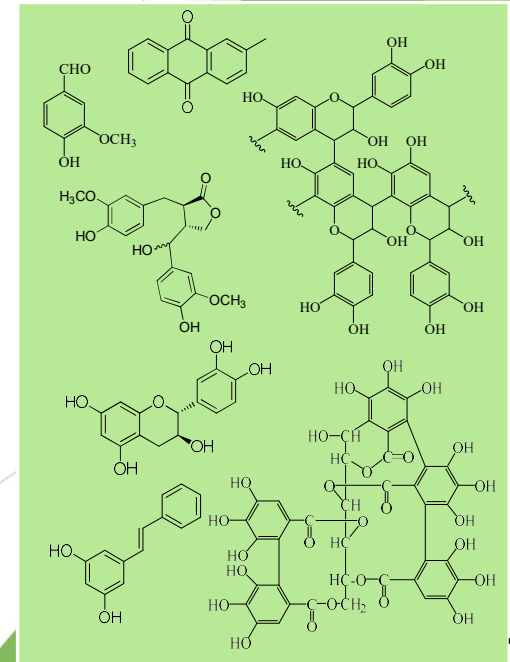
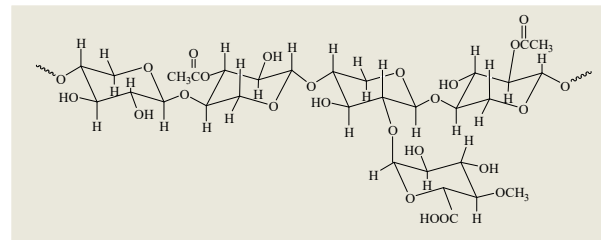
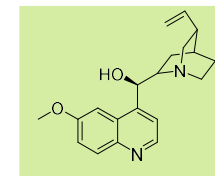
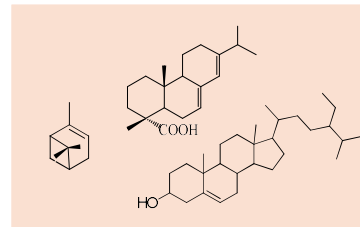
dans l'arbre, impliqués dans les mécanismes de défense, on les appelle également **métabolites secondaires** (substances dont le rôle dans le métabolisme primaire et la croissance de la plante n'est pas direct, leur présence n'est pas systématique)

dans le bois, responsables de la durabilité naturelles des essences, influencent certaines propriétés technologiques (mouillabilité, stabilité dimensionnelle, esthétique...)

Des structures chimiques variées présentant une forte variabilité naturelle



- × Terpènes
- × Composés phénoliques dont
 - Phénols simples
 - Quinones
 - Stilbènes
 - Lignanes
 - Flavonoïdes
 - Tannins condensés et hydrolysables
- × Sucres simples et oligomères
- × Alcaloïdes





Travaux sur les écorces dans le cadre du projet ExtraFor_Est

Protocole d'extraction



Echantillons



Broyage

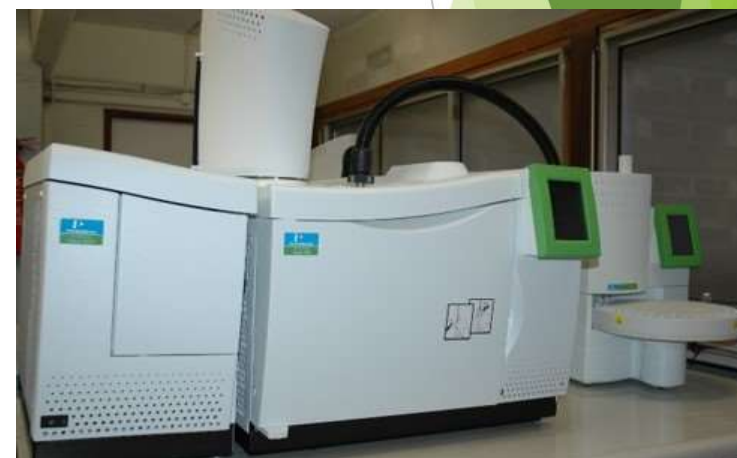


Extraction



Analyse quantitative
et qualitative

Écorces,

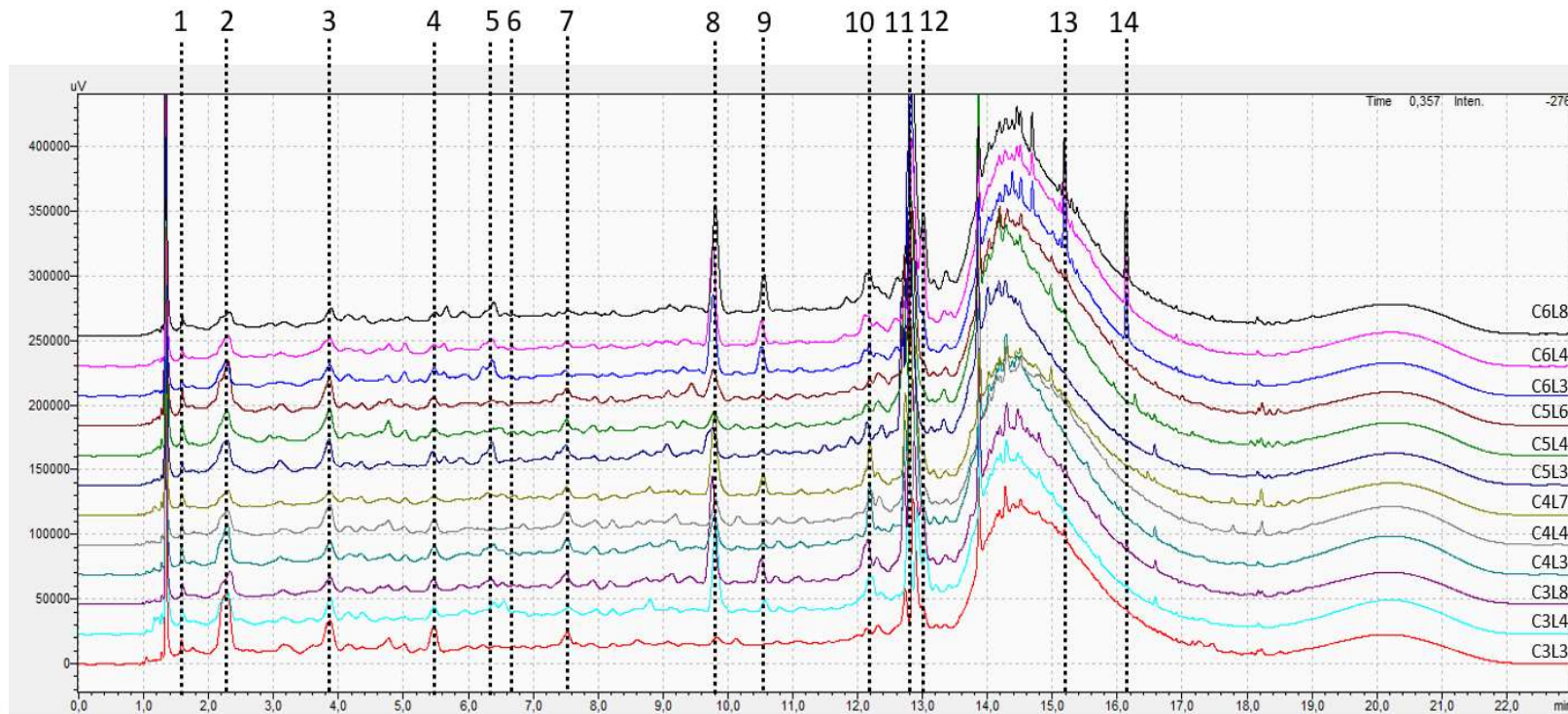


$$\text{Rdt (\%)} = \frac{\text{masse d'extraits secs}}{\text{masse d'écorces sèches}} \times 100$$

Analyse UHPLC des extraits eau éthanol d'écorces de chêne



Rendement d'extraction compris entre 30 et 40%

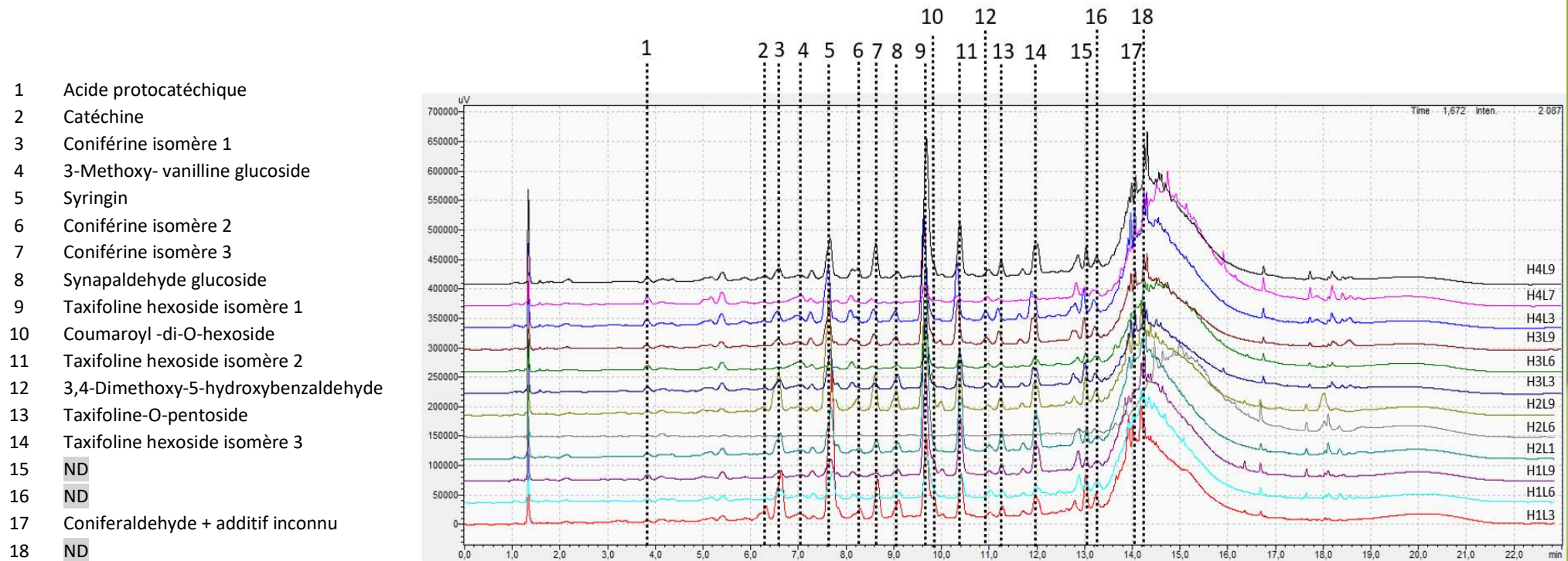


- 1 ND
- 2 Acide gallique
- 3 Acide protocatéchique
- 4 Aldéhyde protocatéchique
- 5 Catéchine
- 6 ND
- 7 ND
- 8 Taxifoline hexoside (isomère 1)
- 9 Taxifoline hexoside (isomère 2)
- 10 Taxifoline hexoside (isomère 3)
- 11 Acide ellagique rhamnoside
- 12 Taxifoline
- 13 Quercétine diméthyle-éther
- 14 Robinétine triméthyle éther

- Nombreux flavonoïdes sous forme libre ou glycosylée
- Reproductibilité relative entre les différentes analyses, même si les quantités de certains produits varient avec la hauteur
- Présence de tannins sous forme de massifs mal résolus, analyses complémentaires par Maldi-Tof

Analyse UHPLC des extraits eau éthanol d'écorces de hêtre

Rendement d'extraction compris entre 20 et 30%



Mêmes constats pour les écorces de chêne

Nécessité de caractériser les propriétés de ces extraits pour définir des applications potentielles, sachant que des similarités existent avec d'autres extraits déjà valorisés comme ceux de châtaignier

Filière extractibles du bois

Ressource disponible mais en partie déjà valorisée
Transformation et procédés globalement maîtrisés
Complémentaire aux filières existantes
Applications en cascades
Maintien des usages actuels (matériaux, énergie...)

Matières premières

Connexes de la première transformation du bois
Déchets forestiers
Bois de seconde qualité, bois industrie...

Préparation de la matière première

séchage, broyage, tri, période de récolte,
variabilité, partie de l'arbre

Procédé d'extraction

Technique : macération, infusion, extraction à la vapeur, hydro-distillation, autoclave, CO₂ supercritique, eau subcritique...

Conditions: durée, température...

Assistance: microondes, ultrasons, enzymes, pression

Solvant : eau, éthanol, solvants bio-sourcés...

Post Traitement

Concentration, centrifugation, lyophilisation,
atomisation, précipitation, distillation,
cristallisation, membranes, chromatographie...

Produit final / Marchés

Extrait constitué de différentes molécules
Molécule pure
Molécule fonctionnalisée
Valeur ajoutée

Nécessité d'identifier et de
mobiliser toute la chaîne de valeur
et de trouver de la valeur ajoutée



Merci de votre attention



www.lermab.univ-lorraine.fr

<https://www6.inrae.fr/extraforest/>

