



projet ExtraForEst :

identification des composés chimiques
présents dans les principales essences
des régions Grand Est et Bourgogne Franche Comté
afin d'approvisionner de potentiels
nouveaux marchés de la chimie verte

Francis Colin

francis.colin@inrae.fr

UMR
Silva

et l'équipe ExtraFor_Est



UNIVERSITÉ
DE LORRAINE

AgroParisTech



INSTITUT NATIONAL
DE L'INFORMATION
GÉOGRAPHIQUE
ET FORESTIÈRE



Crittbois
RESSOURCES & TRANSFERTS TECHNOLOGIQUES

Journée chimie verte
du bois
CCI Côte d'Or
24 nov. 2020
Châtillon s/S



Contexte et objectifs

Journée chimie verte
du bois
CCI Côte d'Or
24 nov. 2020
Châtillon s/S



De nombreuses feuilles de route



PROGRAMME NATIONAL DE LA FORÊT ET DU BOIS 2016-2026

#FBRI2025
Plan recherche & innovation 2025
filère forêt~bois
«accompagner les industries françaises dans leur transformation vers la bio-économie pour mieux valoriser la ressource nationale »

DOCUMENT D'ORIENTATION
#inra2025
Répondre aux besoins humains, avec une part des fonctions d'usage (habillement, bioénergies, hygiène, habitat) remplies par les produits et procédés «bioéconomiques»

LA NOUVELLE FRANCE INDUSTRIELLE

Présentation des feuilles de route des 34 plans de la nouvelle France industrielle

L'utilisation des ressources végétales doit également être soutenue, en cohérence avec les atouts dont dispose la France dans les domaines agricole et forestier, car elle offre des opportunités de développement industriel (production de nouveaux polymères ou de molécules à forte valeur ajoutée, par exemple pour le secteur de la cosmétique).

SCHÉMA STRATÉGIQUE 2016 - 2020

Département EFPA

« Etudier la variabilité des propriétés du bois à différentes échelles et son effet sur l'utilisation du matériau »

ADEME Feuille de route R&D de la filière Chimie du végétal

Caractériser, quantifier, organiser la collecte et clarifier les débouchés des ressources biomasse, afin de sécuriser l'approvisionnement

....

UNE STRATÉGIE BIOÉCONOMIE POUR LA FRANCE

Enjeux et vision

Janvier 2017

Journée chimie verte du bois
CCI Côte d'Or
24 nov. 2020
Châtillon s/S



Les molécules du bois

Structures du bois



Lignine 20 – 25%

Hémicelluloses 20 – 25%

Cellulose 45 - 50%

Chimie lourde, de base

- Papiers, cartons
- Textiles : acétate de cellulose, viscose, rayonne, modal,
- Biocarburant : éthanol
- Cellophane, ouate de cellulose...
- Synthons, molécules plateforme

Extractibles



0 - 40%

Polyphénols

Tanins

Lignanes

Flavonoïdes

Stilbènes

Chimie de commodités

- Tanins pour adhésifs, résines, mousses isolantes

Exsudats



→ 3,5 kg / arbre / an

Oléorésines

Terpènes

Ac. résiniques

Chimie fine, de spécialité

- Tanins pour tanner, pour le vin, pour l'alimentation animale
- Cosmétique, pharmaceutique, compléments alimentaires détergence, peintures,...



Nouveau contexte → contexte fluctuant dans le temps...et l'espace

- Changements climatiques : augm. T, épisodes plus fréquents de sécheresses et de vents forts,
- Crises sanitaires : chalara, scolytes,... → perturbatio des opérations sylvicoltes, des récoltes, des appro.
- Préférences sociétales : vers la forêt « laissée à elle-même »
- Crises sanitaires humaines : COVID-19 ; ralentissement temporaire de l'activité économique
- Crise des connexes
 - Variable selon les régions ; dépend de la présence de clients primaires
 - Des clients primaires ferment ou réorientent leur production
 - Prix du pétrole bas, hivers doux → faible conso. pour l'énergie
 - Touchent différemment écorce, sciure, plaquettes industrielles
 - Pour écorce, cela dépend des espèces (épicéa fibreuse → énergie ; les autres → horticulture)

Journée chimie
verte du bois
CCI Côte d'Or
24 nov. 2020
Châtillon s/S



UNIVERSITÉ
DE LORRAINE

AgroParisTech

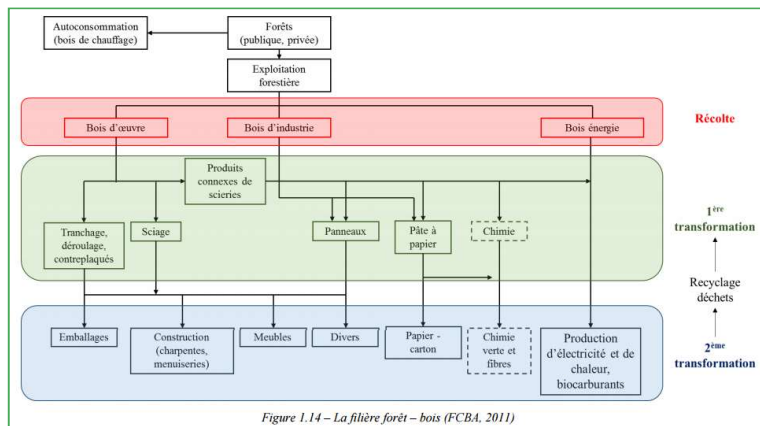


INSTITUT NATIONAL
DE L'INFORMATION
GÉOGRAPHIQUE
ET FORESTIÈRE

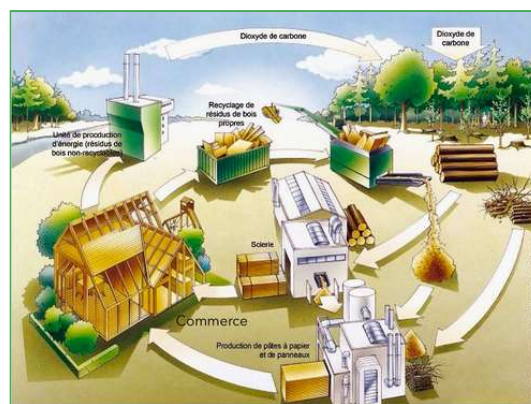
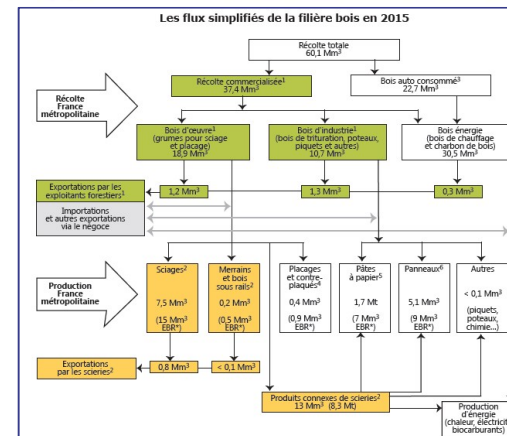


Crittbois
RESSOURCES & TRANSFERTS TECHNOLOGIQUES

Filières forêt-Bois : la filière forêt-chimie ne figure pas



Agreste Primeur n° 341 - décembre 2016



ENSTIB

La chimie du bois figure très rarement.

Journée chimie verte du bois
CCI Côte d'Or
24 nov. 2020
Châtillon s/S



Filière forêt-chimie ? En rouge : ExtraFor_Est

Marchés

Ressource

En forêt
Plaquettes ?

Connexes
industriels : écorce,
nœuds, sciure,
plaquettes

Exploitation / transformation

Sélection des
fractions riches

Collecte

Transport

Plateforme

Prétraitements

Broyage

Granulométrie

Procédés de :

Fractionnement
Extraction
Purification
Fonctionnalisation
Evaluation des
propriétés /
objectivation
Formulation

Catalogue de
produits avec
leurs propriétés

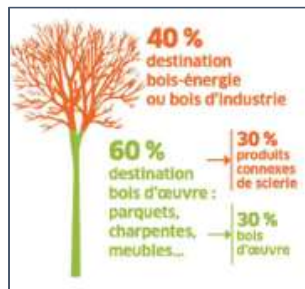
Produit 1
Produit 2
Mélange a
Mélange b

Clients de
l'industrie
chimique

Cosmétique
Nutraceutique
Nutrition animale
Nutrition humaine
Biocontrôle

...

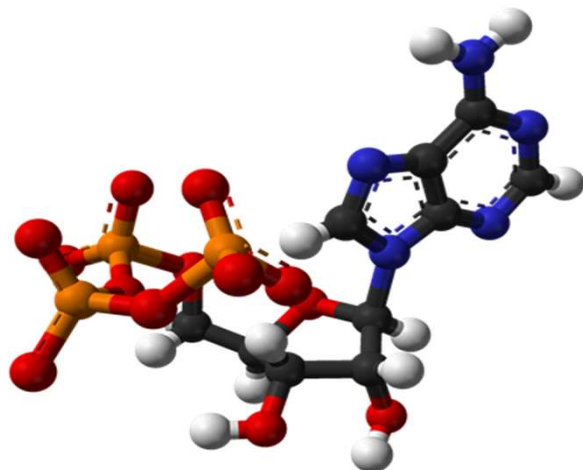
Clients finaux



Journée chimie
verte du bois
CCI Côte d'Or
24 nov. 2020
Châtillon s/S



ExtraFor_Est : contexte, questions et objectifs



La « société » et la « chimie » demandent des biomolécules

- Les forêts françaises présentent une ressource abondante et une grande diversité chimique ;
- les industries du bois produisent de grandes quantités de connexes parfois difficiles à écouler.



Questions

Quelles sont les quantités présentes ?

Les fractions les plus riches ?

Peut-on en disposer facilement ?

Quels sont les marchés les plus porteurs ?

Quelle est la faisabilité d'une filière forêt-chimie ?

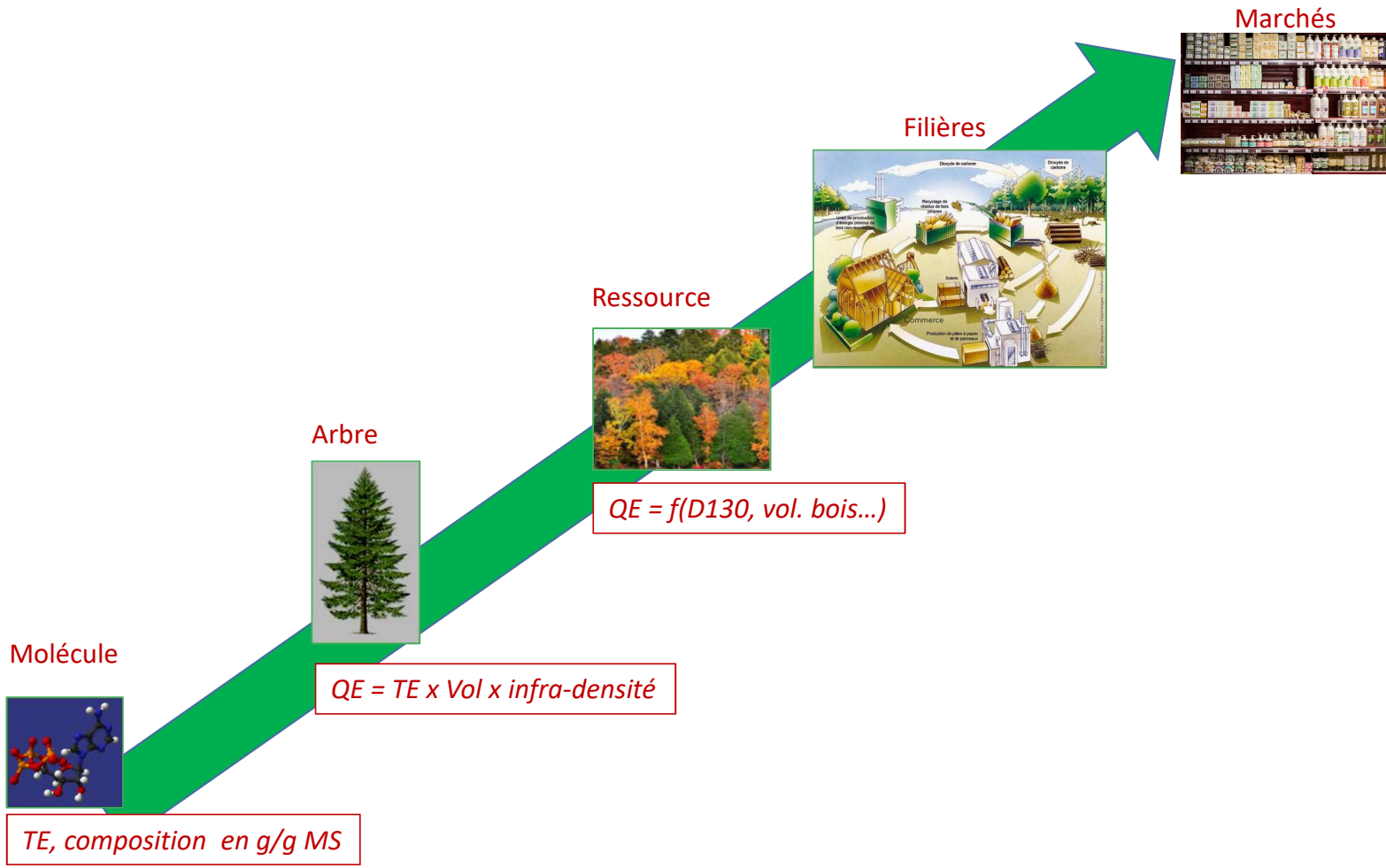
Objectifs

Répondre à ces questions

et communiquer

pour rapprocher 2 communautés :
celle de la filière forêt-bois et celle de la chimie

Philosophie : analyse multi-échelle de la bio-diversité chimique



Journée chimie verte du bois
 CCI Côte d'Or
 24 nov. 2020
 Châtillon s/S



Ressources, matériel et méthodes

Journée chimie
verte du bois
CCI Côte d'Or
24 nov. 2020
Châtillon s/S





Une « équipe » ExtraFor_Est évolutive

V. Reneaume
L. de Salins



C. Deleuze, H.
Rakotoarison



A. Bouvet



JB. Pichancourt



IPP + équipes gestion

C. Ranger
J. Hagenmuller
Karine Collet
L. Le Maout
C. Beauregard
N. Bissieux
A. Vuillaume
M. Malik
Murielle Gillard

Doc : A. Billard, R. Bauer
Post-doc : **Mojtaba Houballa**
M2 : **Gaini Saptakhanova**
AI : **Adrien Contini**

C. Martin
M2 Théo Brisset
E. Auer
E. Saint-Mihiel

Apprenti APT
Louis Théry

F. Longuetaud
F. Mothe, J. Dlouha, B.
Richard, D. Rittié, L. Dailly, F.
Vast, V. Rousselet,
F. Bordat, C. Mola, A. Motz, J.
Ruelle, F. Colin

A. Bénard
D. Maurice
M2 Jean Weber

H. Wernsdorfer
M. Blondet

Post-doc : **Sylvain Cosgun**
Doc : **Clément Fritsch**
Diffusion : **P. Gérardin**

S. Dumarçay
C. Gérardin
H. Chapuis
P. Gérardin

A. Colin
H. Cuny
C. Bastick
E. Roos

Pôle national
d'expertise sur
les ressources
forestière
et le carbone



S. Caurla



Journée chimie
verte du bois
CCI Côte d'Or
24 nov. 2020
Châtillon s/S



Un continuum de projets contractuels depuis 2012

2012 – 2015	Thèse Zineb Kebbi-Bekeder : les extractibles des nœuds + post-doc OSU Corvallis (USA)
2017 – 2019	Labex_Arbre « Bark-Tan-Bio » : (terminé)
2017 – 2021	ExtraFor_Est_MAAF
2018 - 2021	ExtraFor_Est_FEDER Lorraine
2017 – 2021	ADEME ½ bourse doc. Antoine Billard
2017 – 2021	Région Grand_Est ½ bourse doc. Antoine Billard
2018	Labex_Arbre « Wood properties linked with growth models in CAPSIS »
2019	Labex_Arbre « Yulee : collaboration Silva – Univ. Georgia et Rayonier USA»
2019	CPER Forbois-2020 : Cellule semi-industrielle de séchage
2020	...des projets déposés Labex Arbre (BioBark) et en cours d'élaboration

Total : depuis 2017 2 668 000 euros, non comptés les salaires des permanents des organismes participants

Collaboration
privilegiée avec :

- Le LERMAB
- L'IGN
- L'ONF

Journée chimie
verte du bois
CCI Côte d'Or
24 nov. 2020
Châtillon s/S



UNIVERSITÉ
DE LORRAINE

AgroParisTech



INSTITUT NATIONAL
DE L'INFORMATION
GÉOGRAPHIQUE
ET FORESTIÈRE



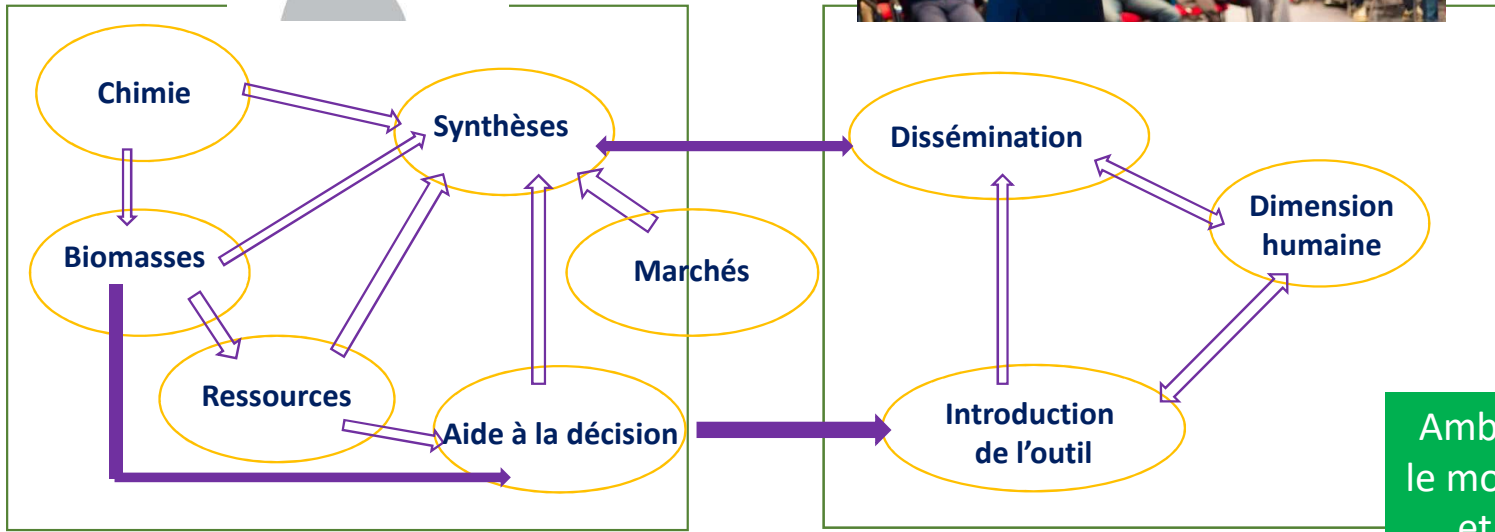
Crittbois

RESSOURCES & TRANSFERTS TECHNOLOGIQUES

Organisation : de nouvelles connaissances ...communiquées rapidement

Tâche 1 : Connaissances

Tâche 2 : Diffusion



Ambition : créer du lien entre le monde des filières forêt-bois et de l'industrie chimique

Journée chimie verte du bois
CCI Côte d'Or
24 nov. 2020
Châtillon s/S

Echantillonnage ExtraFor_Est

2 régions



6 espèces



5 compartiments : (branches), nœuds, duramen, aubier, écorce



Journée chimie verte du bois
CCI Côte d'Or
24 nov. 2020
Châtillon s/S

Le matériel ONF échantillonné dans ExtraFor_Est

	1	2	3	4	
Espèce	Sapin	Épicéa	Douglas	Chêne	Hêtre
Peuple-ment	Saint-Prix (Saône-et-Loire)	Mas-Dorier (Puy-de-Dôme) + 1 Champenoux	Mélagues (Aveyron)	Goviller (Meurthe-et-Moselle)	Goviller (Meurthe-et-Moselle)
Echantil-lon	4 témoins (51 ans) et 4 d'une modalité très dynamique (45a)	4 témoins et 4 d'une modalité très dynamique (53a) + 1	4 témoins et 4 d'une modalité très dynamique (48a)	5 d'éclaircies (jeunes) et 5 de récolte finale	5 d'éclaircies (jeunes) et 5 de récolte finale
Nb total par espèce	8	8 + 1	8	10	10
Total	44 + 1				



Journée chimie verte du bois
CCI Côte d'Or
24 nov. 2020
Châtillon s/S

Découpe des arbres échantillon



Rondelles de branches (C)

Rondelles de nœuds (B)

7 rondelles par arbres * 8 arbres
= 56 rondelles par essence

Rondelles de troncs (A)

15 rondelles par arbres * 8 arbres
= 120 rondelles par essence



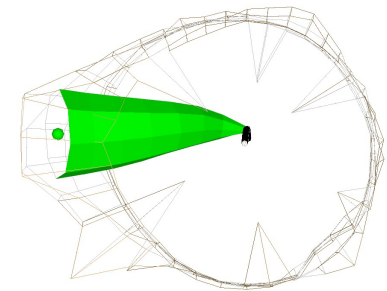
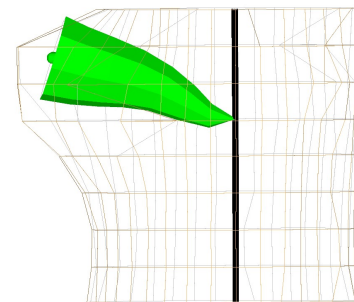
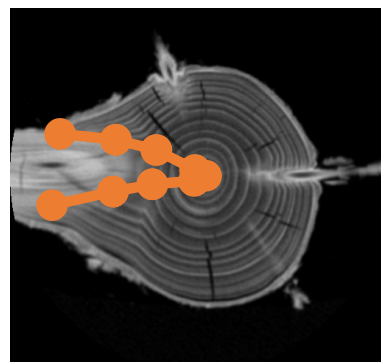
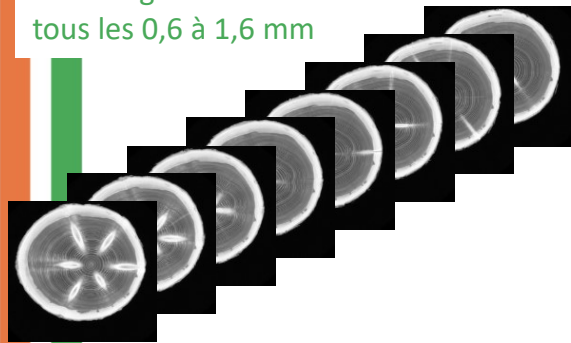
Journée chimie verte du bois
CCI Côte d'Or
24 nov. 2020
Châtillon s/S

Méthodologie



Le tomographe fournit une image du billon tous les 0,6 à 1,6 mm

Mesures sur les troncs : densité fraîche du tronc et de l'écorce, densité anhydre du tronc et de l'écorce, infradensité = Masse sèche / Volume frais



Journée chimie verte du bois
CCI Côte d'Or
24 nov. 2020
Châtillon s/S

Définitions et état de l'art des infra-densités

$$\text{Infradensité} = \frac{\text{Masse anhydre de bois}}{\text{Volume vert de bois}}$$

$$\text{Biomasse sèche} = \text{Infradensité} * \text{Volume vert de bois}$$

$$\text{Quantité de composés extractibles} = \text{taux (g/g MS)} * \text{Biomasse sèche}$$

Données espèces : 3 grandes sources actuellement disponibles :

- Projet CARBOFOR
- Fiches TROPIX (CIRAD)
- Fiches Wood Density Database (WDD)

Données prises dans le bois hors nœuds à 1,30 m

Source	Sapin (kg/m ³)	Epicéa (kg/m ³)	Douglas (kg/m ³)
CARBOFOR	380	370	430
Tropix	404	372	448
WDD	353	370	453

Des connaissances complémentaires sont nécessaires sur les infra-densités des différents compartiments des différentes espèces

Journée chimie verte du bois
CCI Côte d'Or
24 nov. 2020
Châtillon s/S

Analyses chimiques

- Broyage et tamisage
- Extraction à l'eau chaude (60°C) ou au mélange éthanol – eau chaude (50/50) ;
thermo Scientific Dionex ASE 350 (Accelerated Solvent Extractor)



- Analyses chimiques des extraits : GPC, HPLC, MALDI-ToF,...



Données d'écorce FCBA + ExtraFor_Est

Base de données	Espèce	Origine des données	Nombre de mesure	Nombre d'arbres	Méthode de mesure
Emerge (archivée et analysée par le FCBA)	Sapin	CTFT	17 262	751	Jauge à écorce
		INRA	3 959	173	Ecorçage
		Total	21 221	924	
	Epicéa	CTFT	20 536	836	Jauge à écorce
		INRA	924	41	Ecorçage
		FCBA	1 198	155	Jauge à écorce
		Total	22 658	1032	
	Douglas	CTFT	2 080	81	Jauge à écorce
		INRA	298	21	Ecorçage
		FCBA	2 553	233	
		Total	4 931	375	
	Chêne	CTFT	46 976	2 270	Jauge à écorce
		INRA	66	3	Ecorçage
		Total	47 042	2 273	
	Hêtre	CTFT	30 916	1 418	Jauge à écorce
INRA		31	1	Ecorçage	
Total		30 947	1 419		
Extraforest	Sapin	Extraforest	120	8	Scanner RX et lecture optique
	Douglas		120	8	
	Epicéa		120	8	
	Chêne		75	5	
	Hêtre		75	5	
Modelfor	Sapin	Modelfor	344	29	Scanner Rxet lectures optiques
	Douglas		404	30	
Autres projets	Chêne	INRA	1044	84	Lecture optique
	Hêtre		1084	65	

Journée chimie verte du bois
CCI Côte d'Or
24 nov. 2020
Châtillon s/S



Informations sur les données IFN de l'IGN

L'inventaire forestier national (IFN) est une enquête statistique continue des forêts métropolitaines françaises entreprise par l'IGN. Chaque année, l'IGN recense toute la zone forestière métropolitaine, dans les forêts aussi bien publiques et privées, qu'elles soient disponibles ou non pour l'approvisionnement en bois.

La conception de l'IFN comporte tout d'abord une grille d'échantillonnage systématique avec un échantillon systématique de 10 % de la grille mesuré chaque année (Colin et al., 2017 ; Hervé, 2017). Chaque année, l'échantillonnage est réalisé en deux phases.

Dans la première phase, environ 80 000 parcelles de photos sont interprétées pour évaluer la couverture et l'utilisation des terres.

Dans la deuxième phase, environ 7 000 parcelles temporaires au sol sont établies sur un sous-échantillon de parcelles photographiques de la première phase qui ont l'utilisation des terres forestières. Sur chaque parcelle, chaque arbre ayant un DBH d'au moins 7,5 cm est mesuré. Les mesures comprennent le DBH et le Htot.

En règle générale, cinq IFN annuels sont combinés pour calculer les statistiques relatives à la ressource forestière.

De plus, depuis 2010, l'IFN français fournit des mesures directes des enregistrements basés sur un ré-inventaire partiel des parcelles temporaires inventoriées 5 ans plus tôt. Par exemple, en 2014, l'IFN est revenu sur les parcelles inventoriées en 2009, ceci peut servir à donner une estimation de la récolte annuelle moyenne entre 2009 et 2014.

Dans les régions du Grand Est et de Bourgogne-Franche-Comté, l'IFN français visite environ 1 650 nouvelles parcelles d'inventaire chaque année (870 parcelles et 780 respectivement). Dans le travail réalisé, nous avons utilisé les observations effectuées sur les arbres abattus au cours des périodes 2014-2018 pour déduire la quantité de volumes d'écorce récoltée chaque année dans les deux régions entre 2009 et 2018.

Journée chimie verte du bois
CCI Côte d'Or
24 nov. 2020
Châtillon s/S



UNIVERSITÉ
DE LORRAINE

AgroParisTech



INSTITUT NATIONAL
DE L'INFORMATION
GÉOGRAPHIQUE
ET FORESTIÈRE



Crittbois
RESSOURCES & TRANSFERTS TECHNOLOGIQUES



Résultats

Journée chimie
verte du bois
CCI Côte d'Or
24 nov. 2020
Châtillon s/S



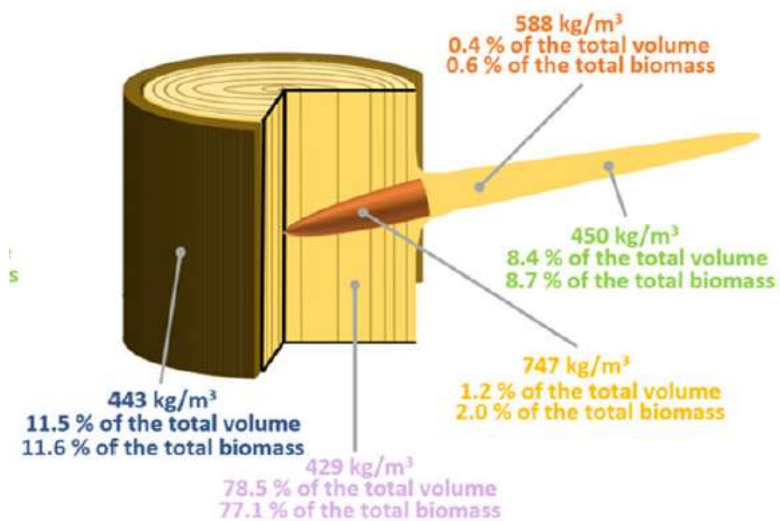


Les connaissances nouvelles

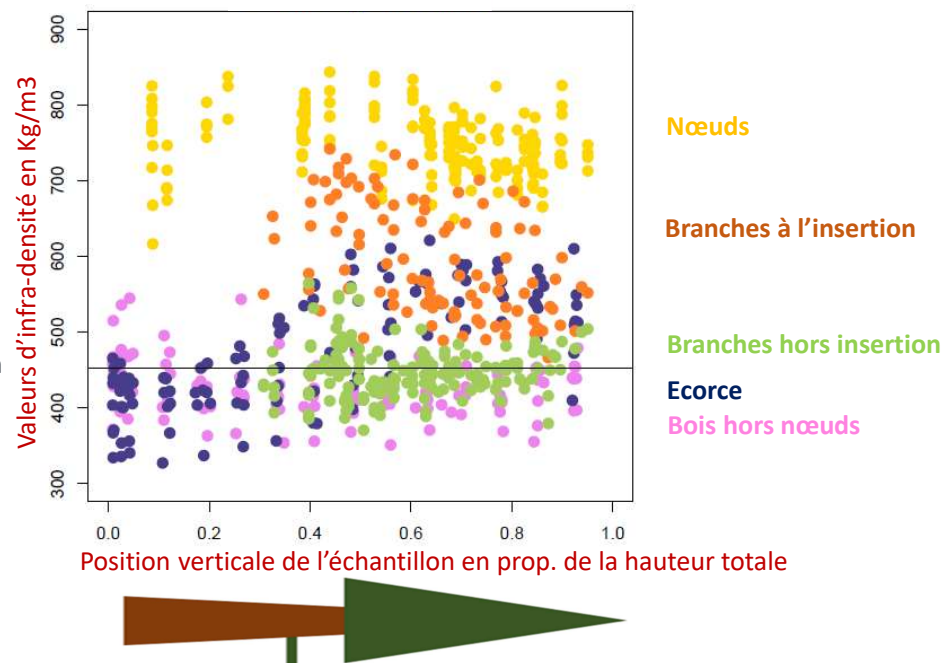
Journée chimie
verte du bois
CCI Côte d'Or
24 nov. 2020
Châtillon s/S



Infra-densités Ex. Douglas



WDD et ID à 1,30m



Source	Sapin (kg/m ³)	Epicéa (kg/m ³)	Douglas (kg/m ³)
CARBOFOR	380	370	430
Tropix	404	372	448
WDD	353	370	453

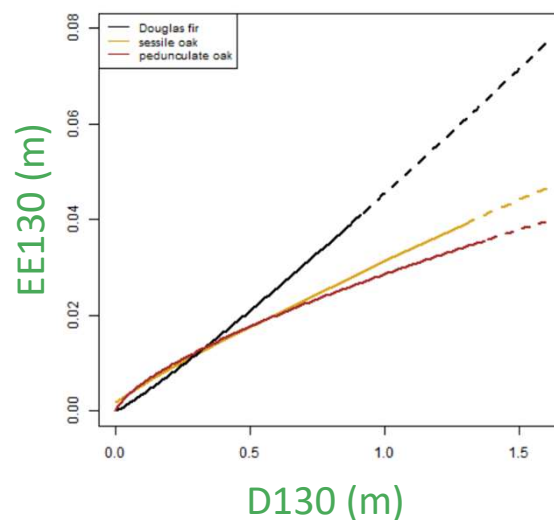
in Billard &, 2020. Improving aboveground biomass estimates by taking into account density variations between tree components. *Annals of Forest Science*

Journée chimie verte du bois
CCI Côte d'Or
24 nov. 2020
Châtillon s/S



Epaisseur d'écorce à 1,30 m Ex. Douglas

Douglas fir	Wilhelmsson et al. (2002)	0.76
	Cao and Pepper (1986)	0.76
	Gordon (1983)	0.76
	Equation 7 $EE_{130} = a \cdot D_{130}^b$	0.77



Pas d'effet
altitude
sur a

Journée chimie
verte du bois
CCI Côte d'Or
24 nov. 2020
Châtillon s/S





Volume d'écorce par arbre

		R ²
Douglas fir	Equation 17	0.95
	Equation 18	0.95
	Meyer (1946)	0.89
	Kozak and Yang (1981)	0.95

$VE = a.D130^c . EE130^d.HTOT^e$

In Bauer R. et al., 2020. Modelling bark resources for six main forest species
 In the "Grand Est" and "Bourgogne-Franche-Comté" French regions.
 En fin de préparation pour *Annals of Forest Science*

Journée chimie
 verte du bois
 CCI Côte d'Or
 24 nov. 2020
 Châtillon s/S



UNIVERSITÉ
DE LORRAINE

AgroParisTech



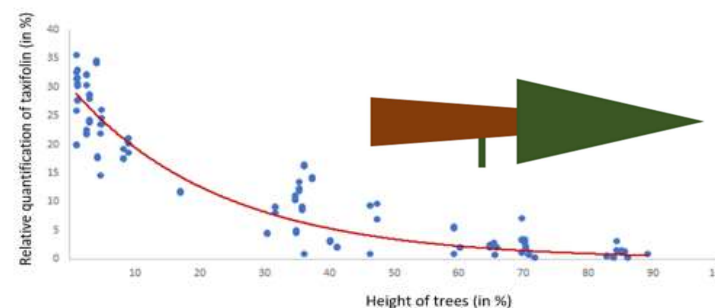
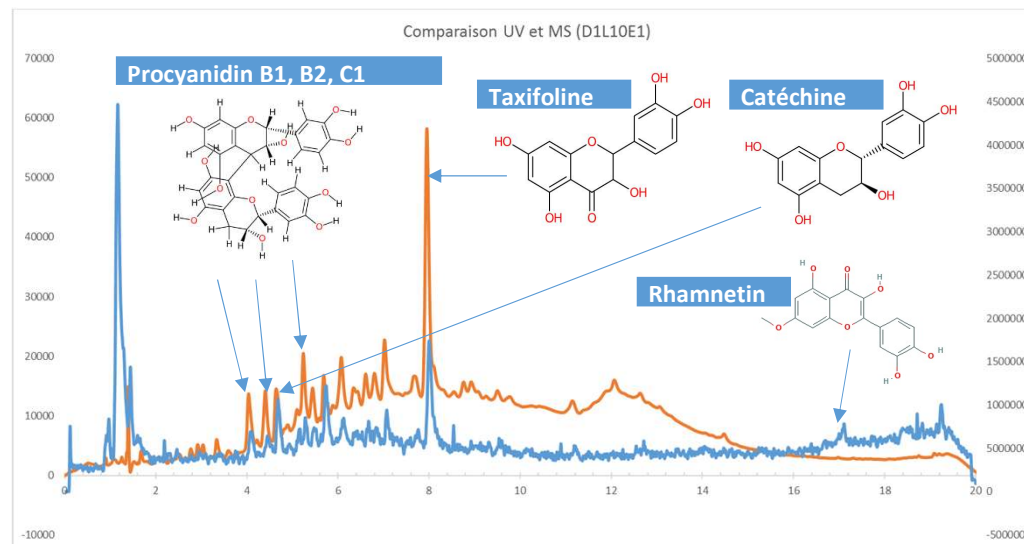
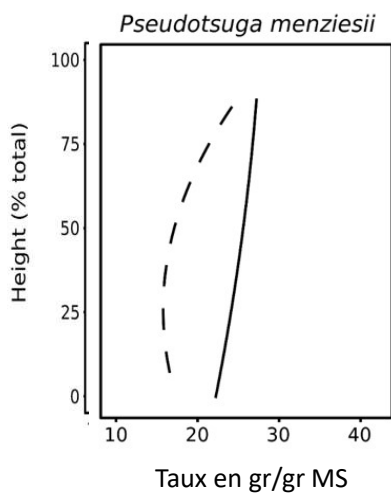
INSTITUT NATIONAL
DE L'INFORMATION
GÉOGRAPHIQUE
ET FORESTIÈRE



Crittbois
RESSOURCES & TRANSFERTS TECHNOLOGIQUES

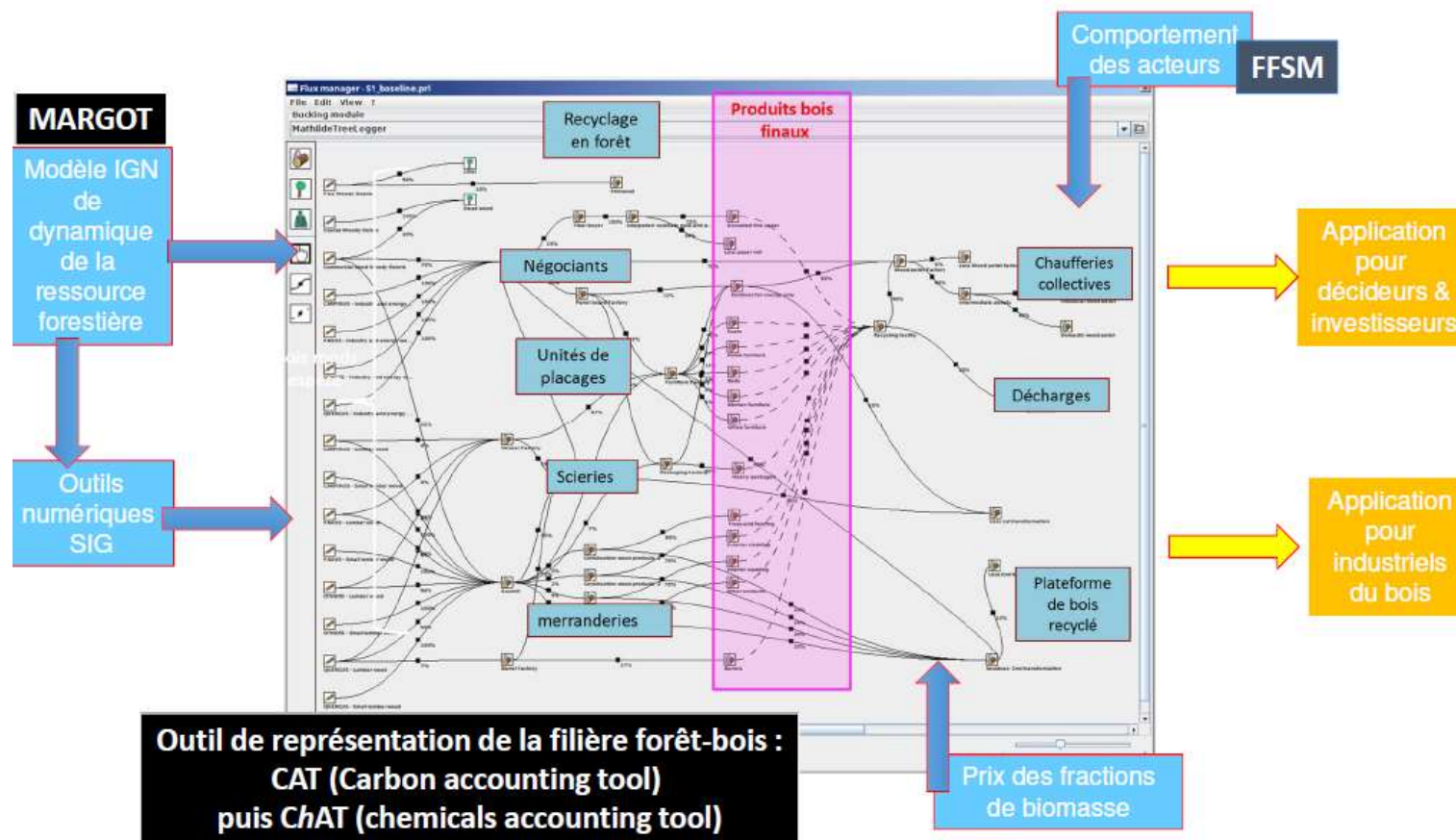
Analyse des extractibles cas de l'écorce du Douglas

Solvant 50/50 eau / éthanol



Journée chimie verte du bois
CCI Côte d'Or
24 nov. 2020
Châtillon s/S

La représentation – modélisation des filières



Journée chimie verte du bois
CCI Côte d'Or
24 nov. 2020
Châtillon s/S



Résultats concernant les connaissances

Extractibles chêne et hêtre

Voir présentation

P. Gérardin (LERMAB)

Ressources

Voir présentation

H. Cuny (IGN)

Marchés

Voir présentation

F. Colin (INRAE Silva)
d'après L. Tiers (IAR)

Bases de données

- Branchaison – nodosité du Douglas
 - Infradensités
- Bibliographie sur les extractibles

Journée chimie
verte du bois
CCI Côte d'Or
24 nov. 2020
Châtillon s/S



UNIVERSITÉ
DE LORRAINE

AgroParisTech



INSTITUT NATIONAL
DE L'INFORMATION
GÉOGRAPHIQUE
ET FORESTIÈRE



Crittbois
RESSOURCES & TRANSFERTS TECHNOLOGIQUES

Diffusion des connaissances

Articles scientifiques de rang A en anglais

- . Brennan & 2020 *Annals of Forest Science*
Quantitative and qualitative composition of bark polyphenols changes longitudinally with bark maturity in *Abies alba* Mill.
- . Brennan &, 2020 *Holzforchung*
Intraspecific variability of quantity and chemical composition of ethanolic knotwood extracts along the stems of three industrially important softwood species: *Abies alba*, *Picea abies* and *Pseudotsuga menziesii*.
- . Brennan &, 2020 *Plant Physiology and Biochemistry*
Yield and compositions of bark phenolic extractives from three commercially significant softwoods show intra- and inter-specific variation.
- . Billard &, 2020. *Annals of Forest Science*
Improving aboveground biomass estimates by taking into account density variations between tree components
- . Pichancourt &, 2020 (soumis) Three steps to decide how to enter the bio-molecular resource economy

Articles de vulgarisation scientifique en français

- . Bonin F. &, 2020. Perspectives d'émergence d'une filière forêt-chimie des extractibles. Points de vue des acteurs du Nord-Est de la France et du Sud-Ouest de l'Allemagne. *Revue forestière française (RFF)*
- . Gérardin P. &, (à paraître). Variabilité intra spécifique des taux d'extrait et de la composition chimique des extraits éthanoliques des nœuds de trois essences résineuses d'importance industrielle. *RFF*
- . Gérardin P. &, (à paraître). Effet de la hauteur de prélèvement sur la composition quantitative et qualitative des polyphénols chez *Abies alba* Mill. *RFF*

Réunions publiques

7 depuis 2017

+ à faire : RdV technique ONF, Forêt Entreprise



Journée chimie verte du bois
CCI Côte d'Or
24 nov. 2020
Châtillon s/S



Résultats concernant la communication

Journée chimie
verte du bois
CCI Côte d'Or
24 nov. 2020
Châtillon s/S





Appuis

- . Resp. Corinne Martin APT
- . Dernier stagiaire M2 Théo Brisset
- . Bureau de communication OhWood (2019)
- Une stratégie et des moyens



Relais de diffusion :

- 1 site internet
- 4 newsletters
- 846 abonnés à la liste de diffusion
- 2 comptes réseaux sociaux (Linkedin & Twitter)
- >100 posts Linkedin et 123 abonnés
- **Twitter : 216** tweets et 39 abonnés



Articles dans la presse – reportages

- 482 journalistes contactés
- 2 dossiers de presse (dernier sept. 2020)
- 7 communiqués de presse
- >20 retombées
- 1 partenariat media (Forestopic) avec 6 articles de fond relayés dans l'agora

Journée chimie verte du bois
CCI Côte d'Or
24 nov. 2020
Châtillon s/S



Et après ?

Journée chimie
verte du bois
CCI Côte d'Or
24 nov. 2020
Châtillon s/S





Filière forêt-chimie ? En rouge : ExtraFor_Est

Marchés

Ressource

En forêt

Connexes
industriels :
écorce, nœuds,
sciure, plaquettes

Exploitation /
transformation

Sélection des
fractions riches

Collecte

Transport

Plateforme

Prétraitements

Broyage

Granulométrie

Procédés de :

Fractionnement
Extraction
Purification
Fonctionnalisation
Evaluation des
propriétés /
objectivation
Formulation

Catalogue de
produits avec
leurs propriétés

Produit 1
Produit 2
Mélange a
Mélange b

Clients de
l'industrie
chimique

Cosmétique
Nutraceutique
Nutrition animale
Nutrition humaine
Biocontrôle

...

Clients finaux

Compléter les essences forestières

Analyser les autres étapes

Besoin de statistiques

+ Communication encore et toujours

Avec sciences de l'innovation, sociologie ?

Journée chimie
verte du bois
CCI Côte d'Or
24 nov. 2020
Châtillon s/S



UNIVERSITÉ
DE LORRAINE

AgroParisTech



INSTITUT NATIONAL
DE L'INFORMATION
GÉOGRAPHIQUE
ET FORESTIÈRE



Crittbois

RESSOURCES & TRANSFERTS TECHNOLOGIQUES



Merci !

Journée chimie verte du bois
CCI Côte d'Or
24 nov. 2020
Châtillon s/S

