



Durabilité du Bois



Marie-France Thévenon
BioWooEB
CIRAD
Montpellier

Arnaud Besserer
ENSTIB
LERMAB
Epinal



Durabilité du Bois

Durabilité « biologique »
Durabilité « naturelle »

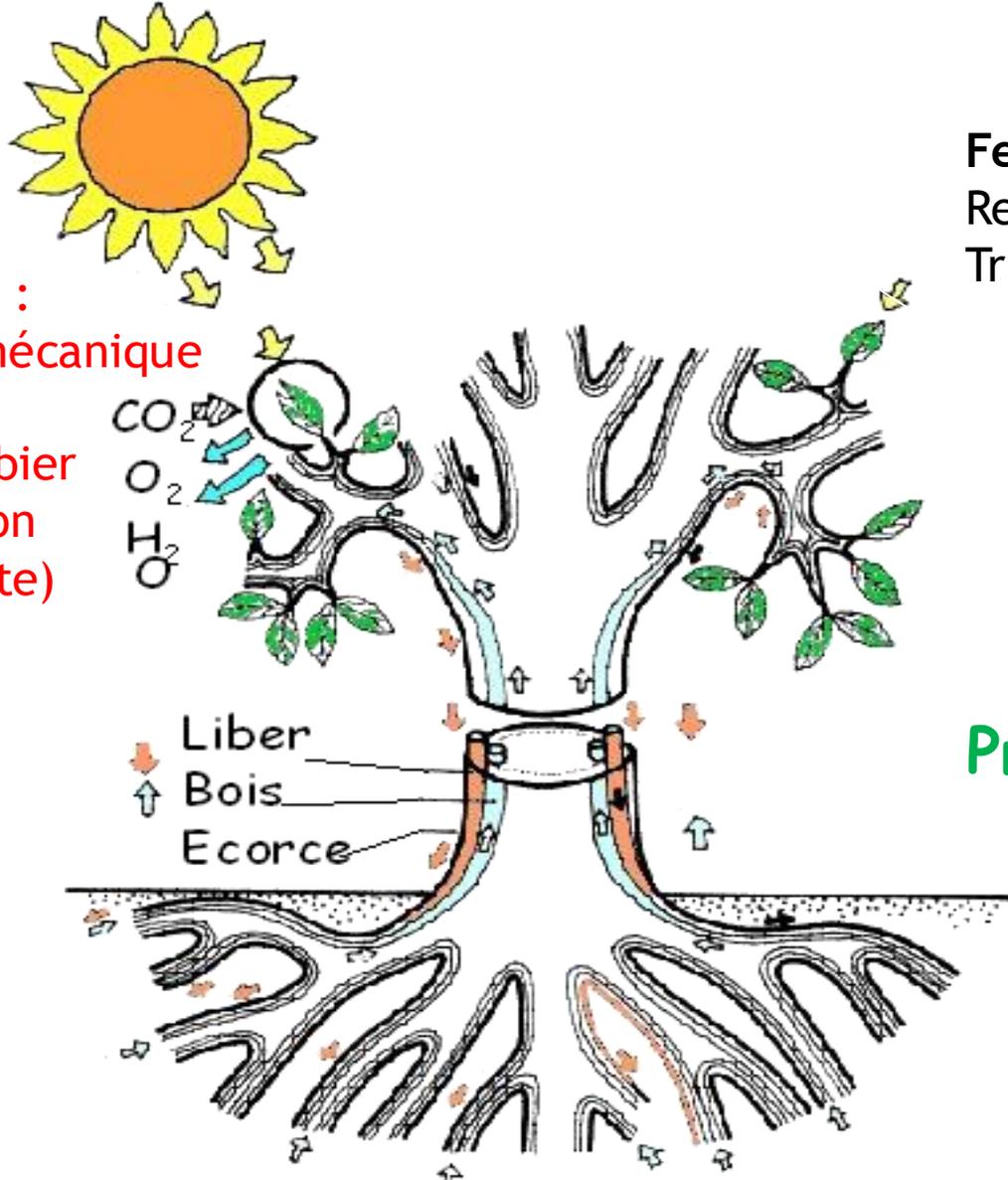
Marie-France Thévenon
BioWooEB
CIRAD
Montpellier

Arnaud Besserer
ENSTIB
LERMAB
Epinal



Arbre et Bois

Fonctions :
 Soutien mécanique
 +
 Dans l'aubier
 Conduction
 (sève brute)
 &
 Stockage
 (amidon)



Feuillage
 Respiration (Rejet CO_2)
 Transpiration (Rejet H_2O)

PHOTOSYNTHESE

Absorption CO_2

Rejet O_2

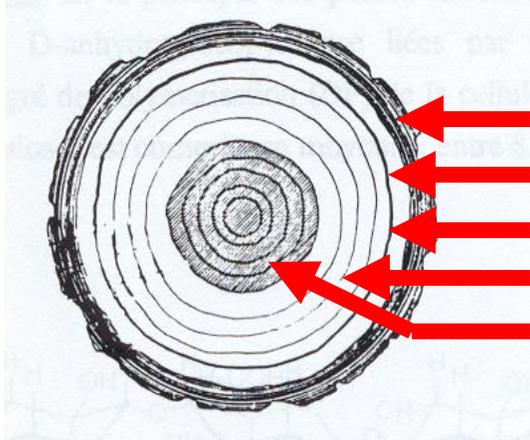
Production Sucre

↓
Production de matière

↓
Bois



Bois : Structure et Composition



Ecorce externe
 Ecorce interne
 Cambium
 Aubier
 Duramen

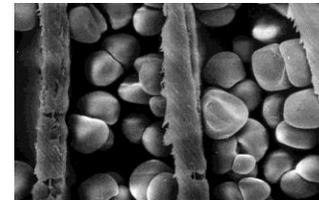
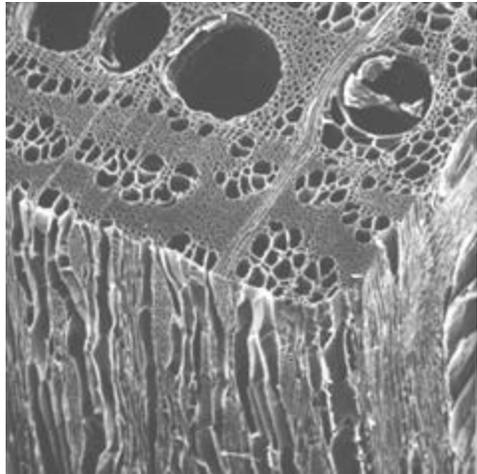
-  Cellulose
-  Hémicelluloses
-  Lignine
-  Extractibles
-  Matières minérales
(K, Ca, Mg, Si)

+

Sève
 Réserves (amidon)

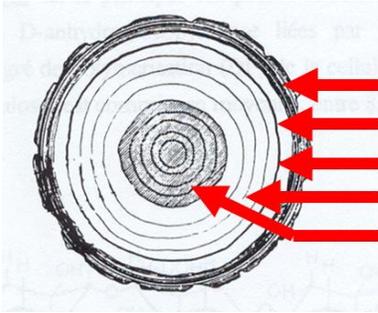
 Duramen

 Aubier

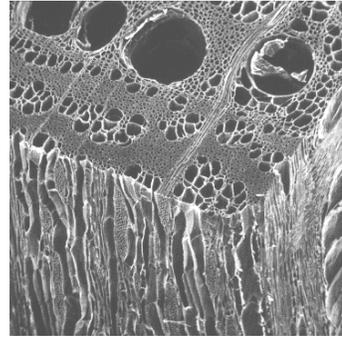




Bois : Structure et Composition



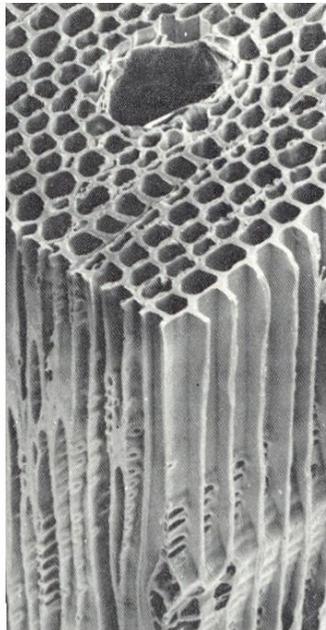
Ecorce externe
 Ecorce interne
 Cambium
 Aubier
 Duramen



- Cellulose
 - Hémicelluloses
 - Linine
 - Extractibles
 - Matières minérales (K, Ca, Mg, Si)
- +
 Sève
 Réserves (amidon)

Duramen
 Aubier

Matériau hygroscopique



Série d'espaces

- limités
- orientés
- communicants
- entourés de sources trophiques potentielles

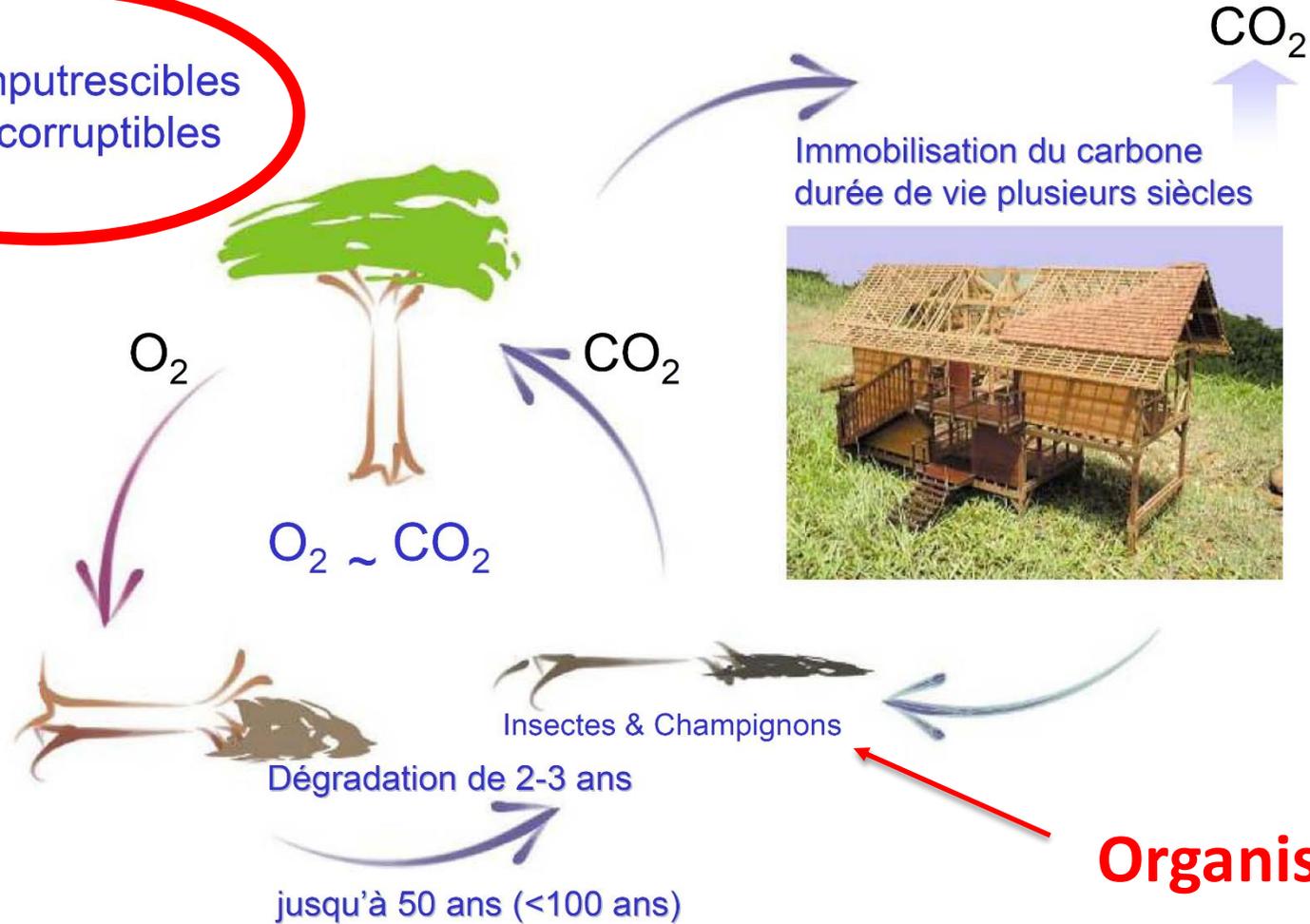


Compartiment trophique
 &
 Habitat
 pour des organismes
 colonisateurs



Faire durer un matériau biodégradable ?

Bois imputrescibles
Bois incorruptibles



Organismes lignivores

Le bois, un matériau biodégradable



Mise en œuvre dans une classe d'emploi

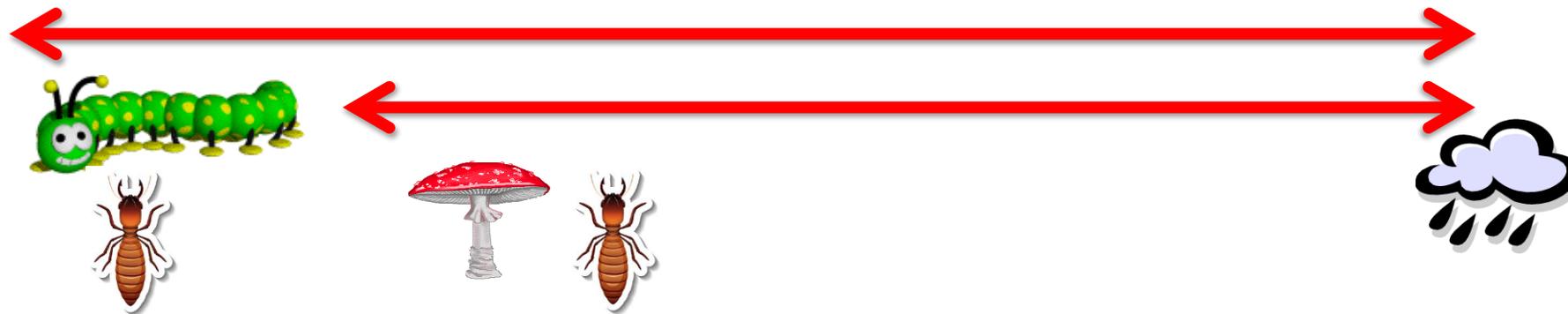
**Durabilité du bois et des matériaux
à base de bois — Classes d'emploi : définitions,
application au bois massif et aux matériaux
à base de bois**

NF EN 335
3 Mai 2013

1	2	3.1	3.2	4
Interior, entirely protected from the weather, not exposed to wetting	Interior or under cover protected from the weather, occasional, not continuous wetting (condensation)	No contact with the ground, subjected to frequent wetting over short periods. Completely dries out between two periods of wetting.	No contact with the ground, subjected to frequent wetting over long periods, but not continuous. Completely dries out between two periods of wetting.	Exterior in contact with the ground or a surface subjected to recurrent wetting or immersion in fresh water, design conducive to significant water retention, leading to very significant wetting.

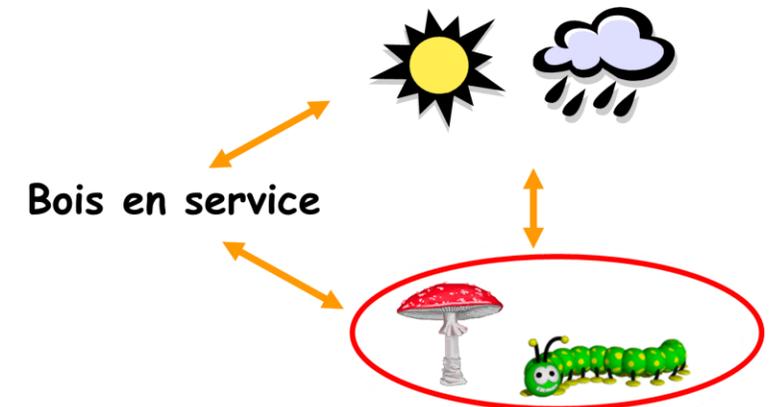
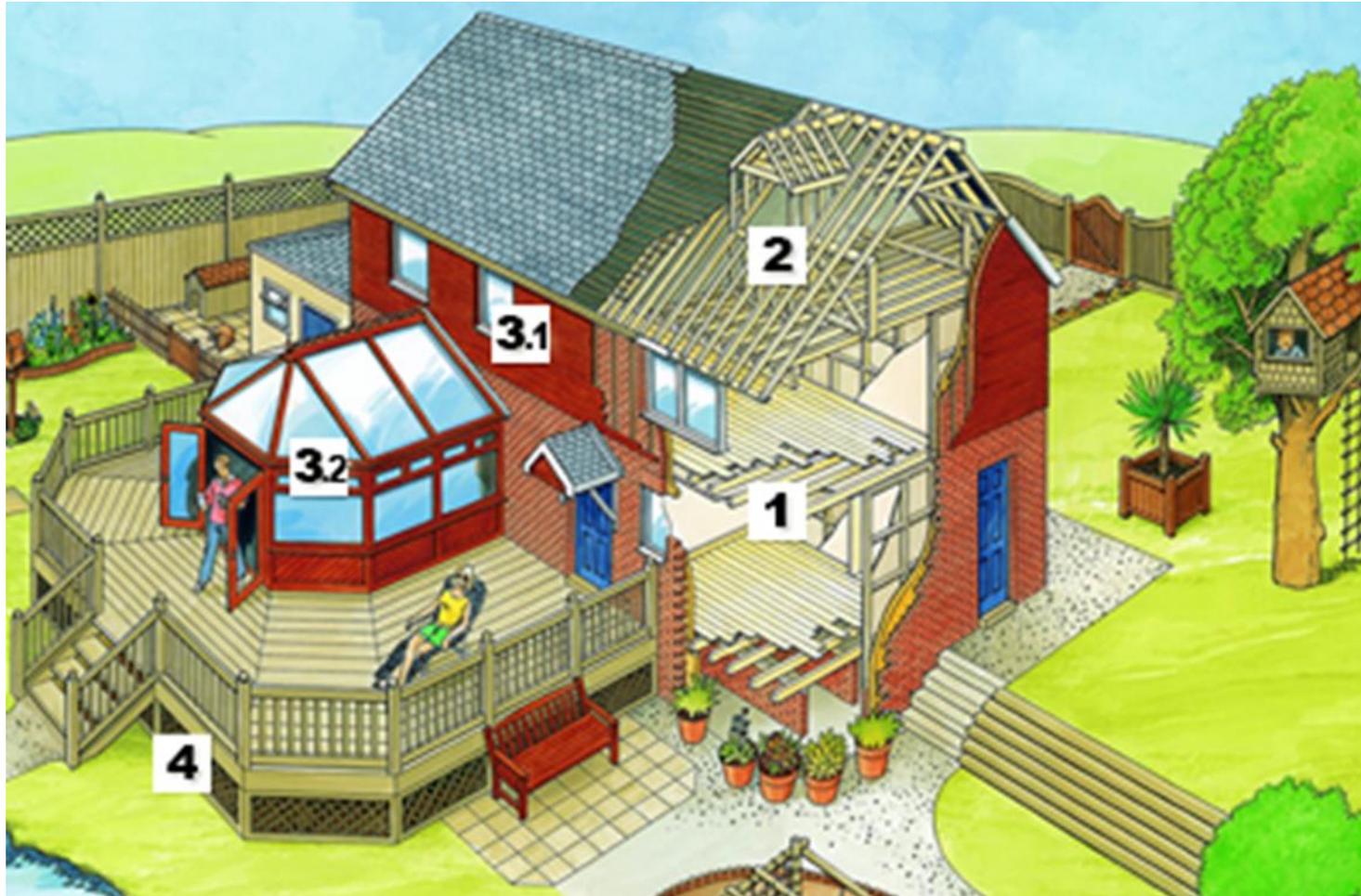
+ Classe d'Emploi 5

Contact Eau salée



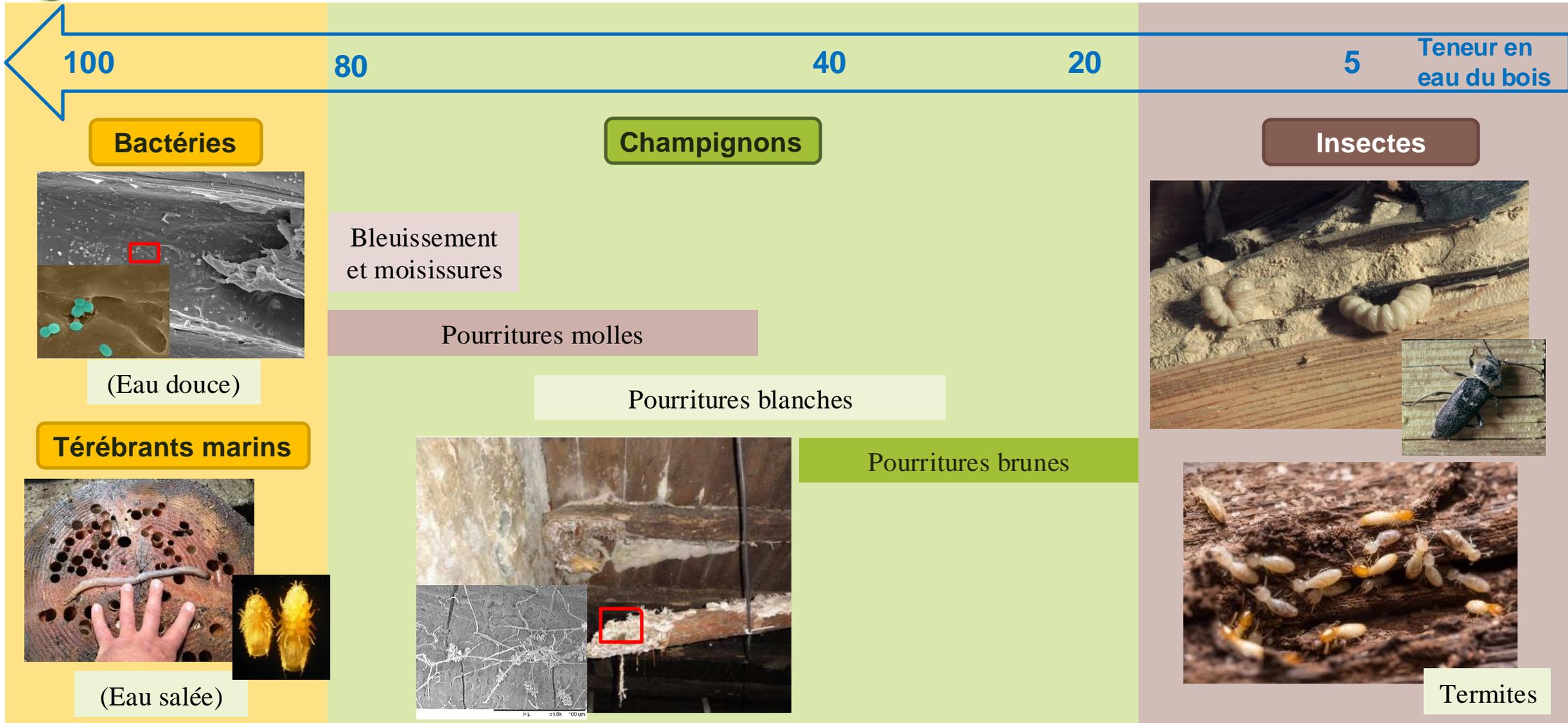


Le bois en service





Teneur en eau du bois et dégradation biologique





Insectes à larve xylophage - Coléoptères

Capricorne



Résineux

Larve dégrade le bois sec

Température importante (dormance en dessous de 10°C en général)

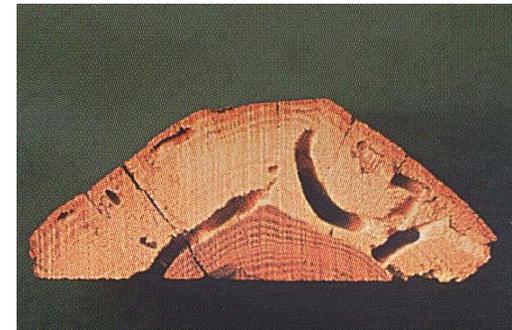
Humidité du bois moins importante (mais peut jouer un rôle sur les cycles de vie)

Dégradation du bois

Grains d'amidon (= aubier)

Certaines larves peuvent dégrader un peu la cellulose (faible activité cellulolytique)

Hespérophanes



Chêne vert



Cycle de vie

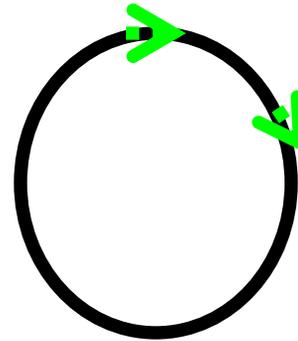
Hylotrupes bajulus



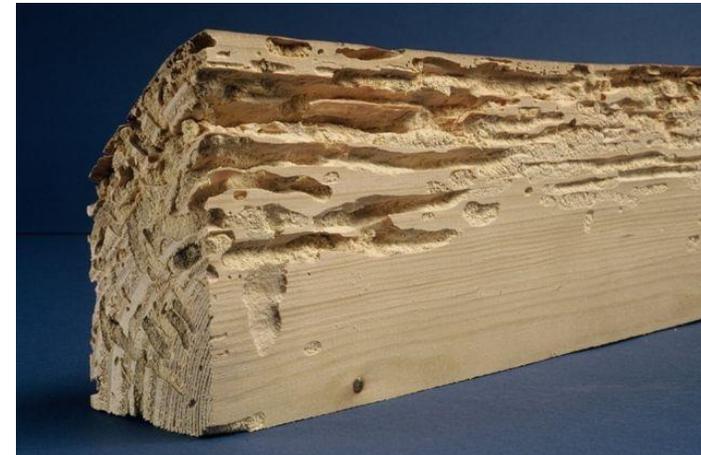
Capricorne adulte



Larve xylophage



Nymphe





Termites

Insectes sociaux (Blattoptères)

Termitière

Larve/adulte : morphologie



Environ 2500 espèces dans le monde

1200 espèces se nourrissant d'humus

Une centaine d'espèces s'attaquant au bois œuvré



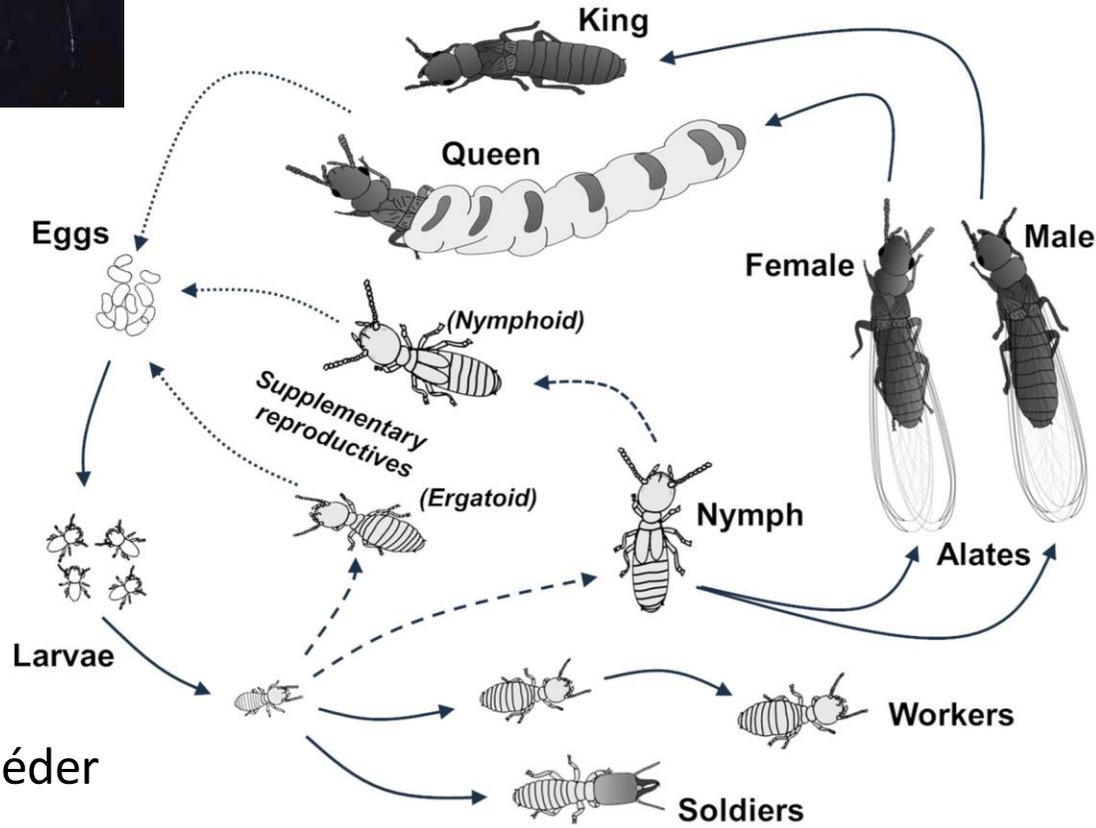
Termites



Insectes sociaux
Très organisés

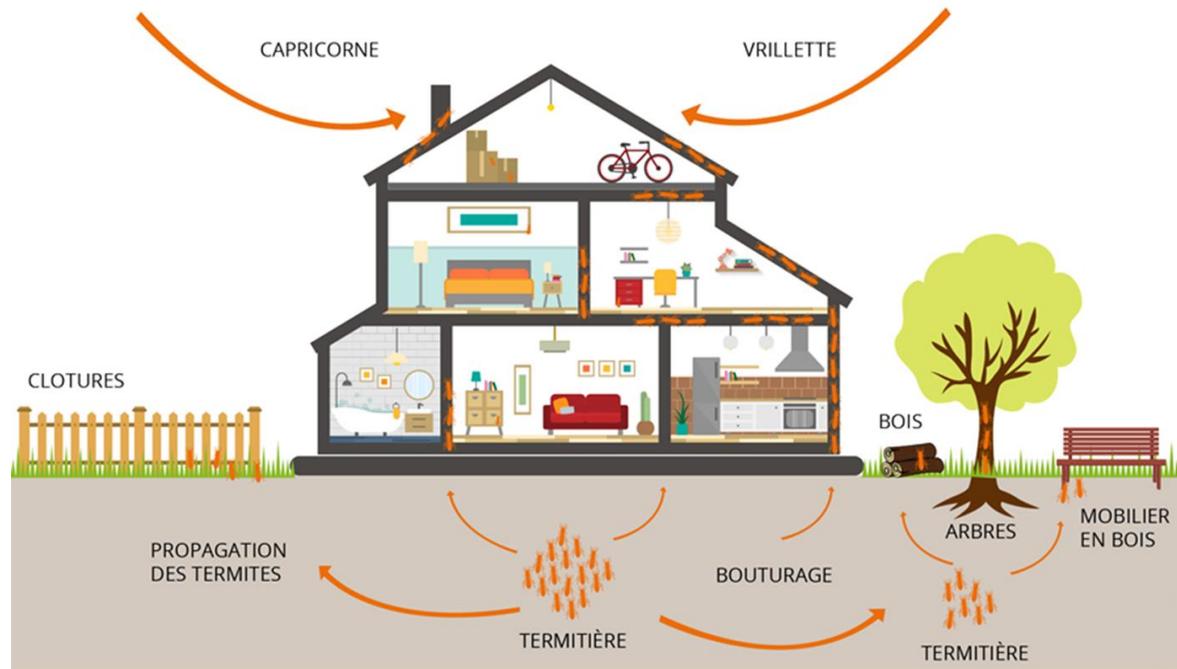
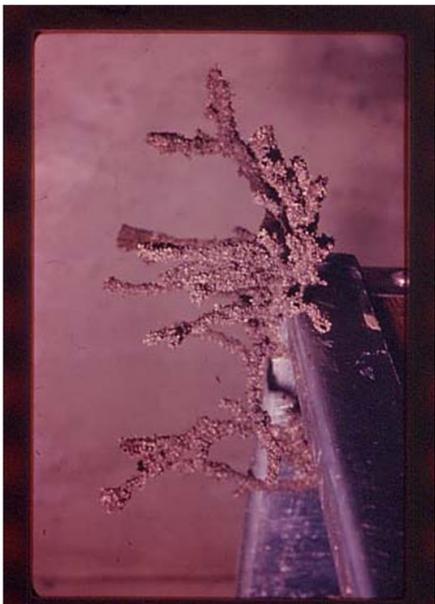
Dégradation du bois
Dégradation de la cellulose
"Bio-raffinerie"
Trophallaxie

Capables de traverser
d'autres matériaux pour accéder
au bois

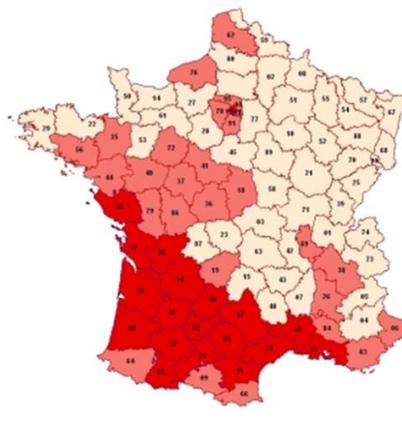




Termites



Modes de propagation des insectes xylophages



Observatoire national termites

<http://termite.com.fr>

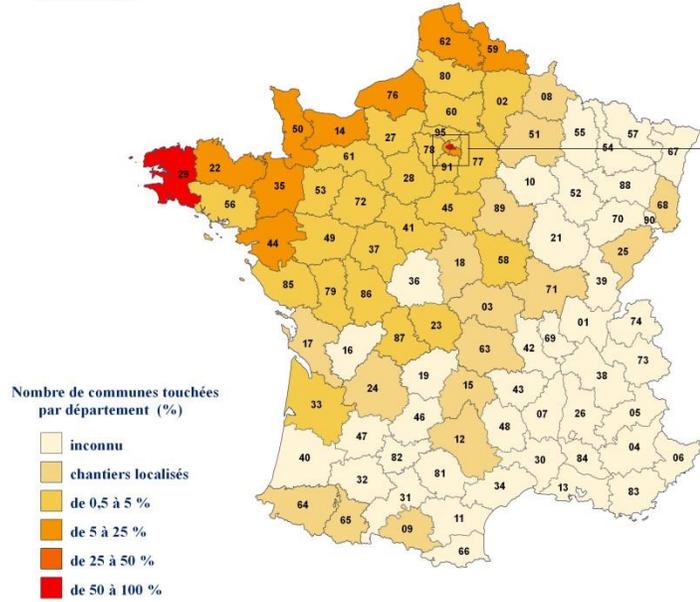
Biologie, populations, Lutte anti-termite, Réglementation...



Importance des chantiers champignons lignivores en France

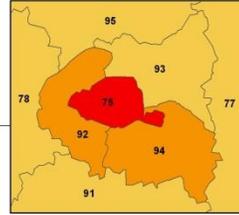


REPARTITION DES CHANTIERS CHAMPIGNONS LIGNIVORES

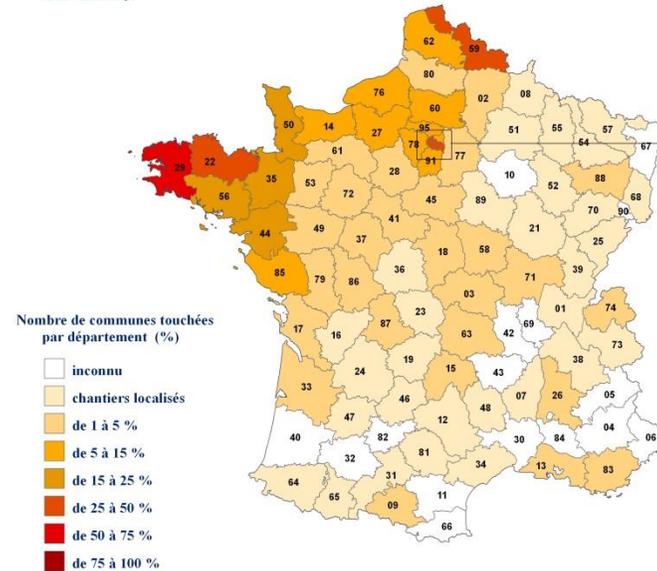


Cette carte est la synthèse des déclaratoires de chantiers des entreprises titulaires de la certification CTB-A+.

2012

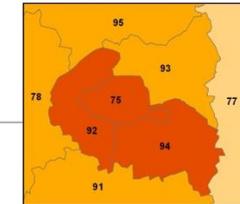


REPARTITION DES CHANTIERS CHAMPIGNONS LIGNIVORES



Cette carte est la synthèse des déclaratoires de plus de 13000 chantiers des entreprises titulaires de la certification CTB-A+. 1679 communes sont concernées.

2015

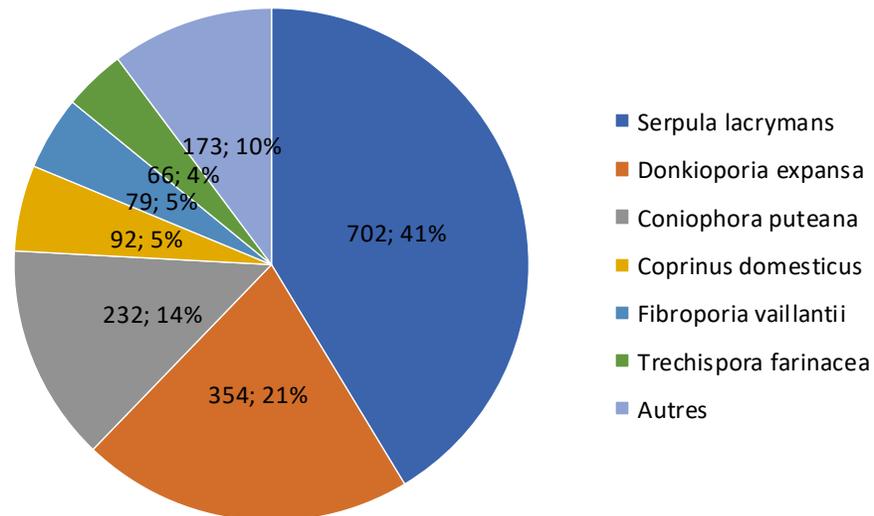




Fréquence d'apparition dans le bâtiment

- Présence de champignons lignivores généralement due à des défaut de construction
- En France et pays Europe du Nord (Be, NI, S, Dk)
 - Mérule (résineux) + *Coniophora puteana* (feuillus) = 70% des cas
 - Pourriture blanche/fibreuse = 30% des cas
- En extérieur (classe 4) : Lenzites = *Gloeophyllum sepiarium* et plus rarement *Gloeophyllum trabeum*

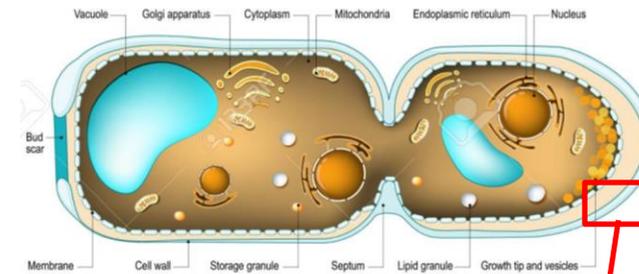
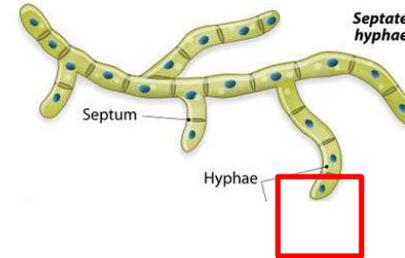
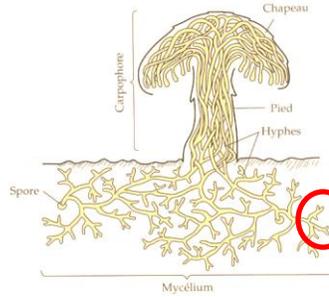
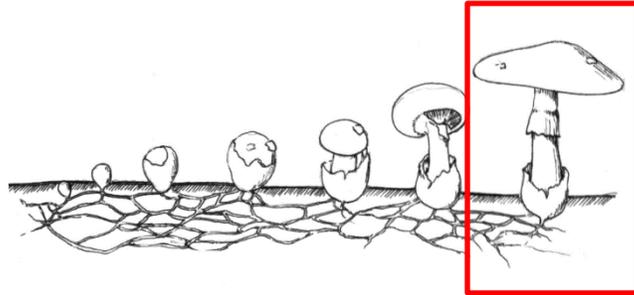
Source: Insectes et champignons du bois.Ed. FCBA (dispo Centre doc)



Source: données 2015-2016 SEMHV



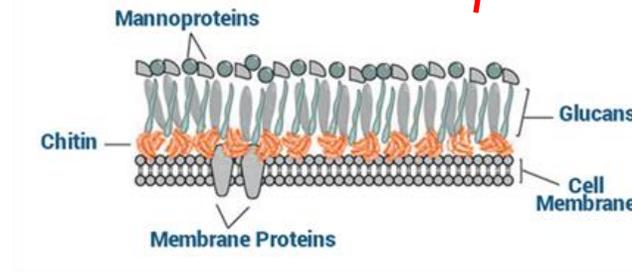
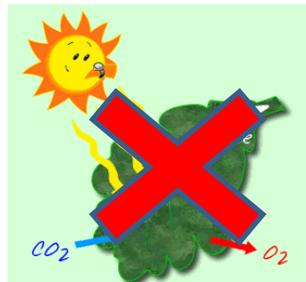
Les champignons : structure



Thallophytes : organisme possédant un thalle (appareil végétatif ne présentant ni feuilles, ni tiges, ni racines)
Thalle de mycète = mycélium formé d'hyphes (=filaments)

Absorbent la matière organique pour de développer

Noyau= eucaryotes



Paroi cellulaire complexe, contient de la chitine



Les causes majeures des pathologies

1/ Manque de protection lors du stockage des grumes

2/ Mauvaises conditions de coupe, de stockage ou de manipulations des sciages

3/ Dégâts ou manque de protection lors de la mise en œuvre finale



Forte humidité du bois (RH>20-30%)



Pathologies



Les Champignons

Lignicoles  80-100%

Saproxylophages  20-80%

Vivent dans ou sur le bois **mais** n'altèrent pas la structure

Vivent dans le bois **et** altèrent la structure

- **Bleuissement**



- **Moisissures**



- **Pourritures :**

- **Brunes**

 20-40%



- **Blanches**

 40-60%



- **Molles**

 60-80%

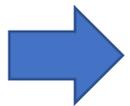


Utilisation des macro-polymères du bois comme source de nourriture
Forte perte de résistance mécanique

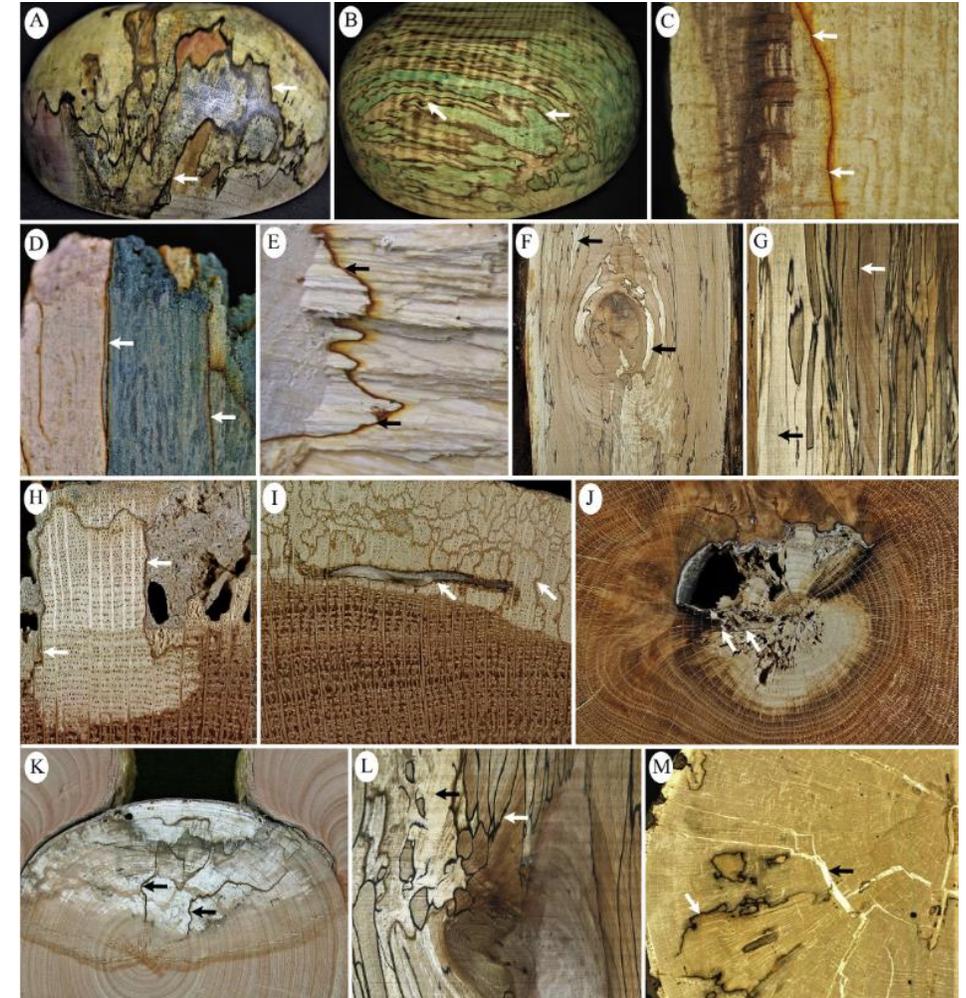
Le spalting

Altérations superficielles causées par des champignons:

- Pigmentation (induite par le bois et localisée dans les hyphes)
- Pourriture blanche
- Lignes de zone (antagonisme de champignons)



- Plusieurs types de champignons impliqués
- Aspect esthétique mais altérations des propriétés mécaniques



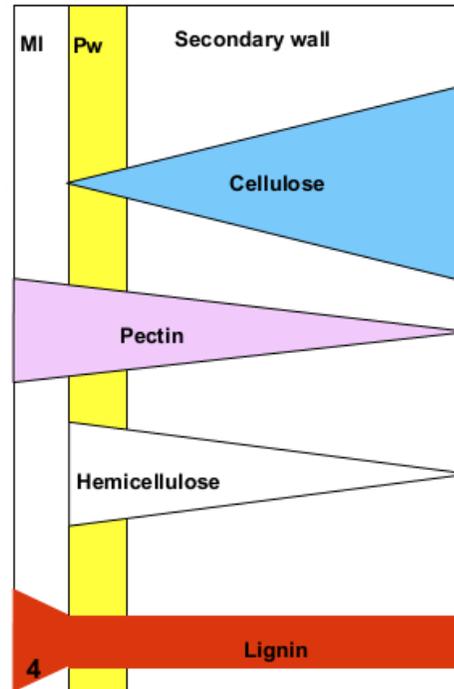
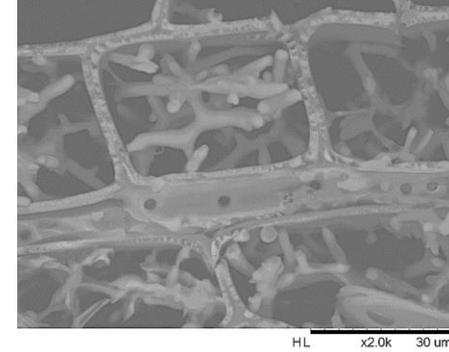
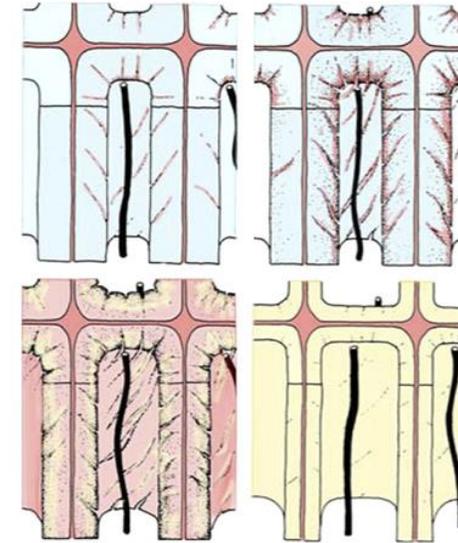
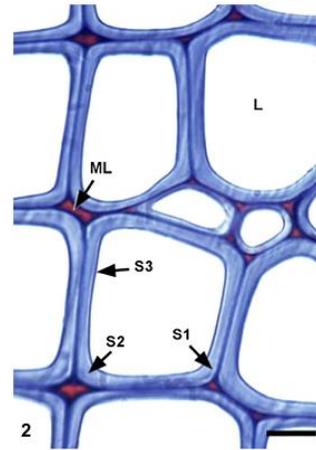


Les champignons saproxylophages- Pourritures brunes

Aspects des dégâts



Bois attaqué brun et forme des cubes

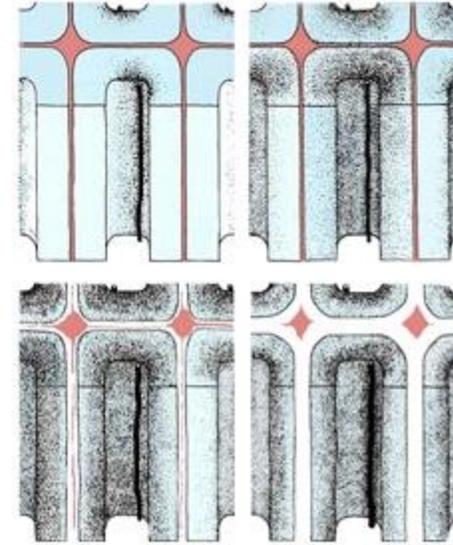
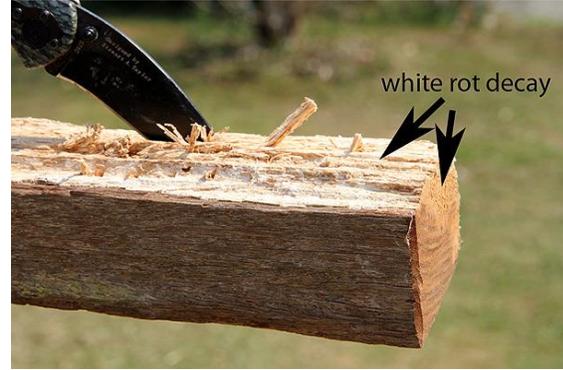


Dégradation des sucres →

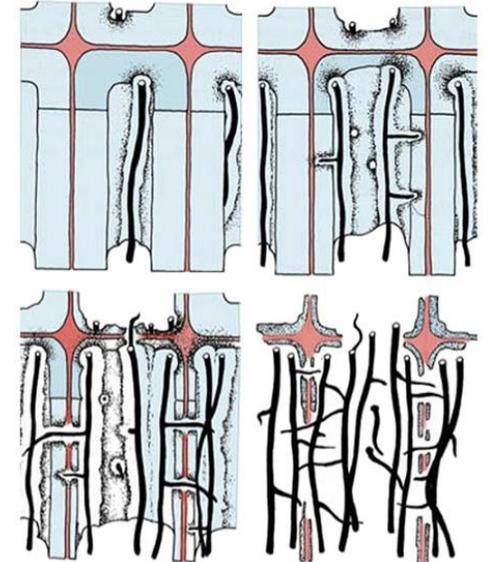
- Diminution de l'épaisseur des parois (S2, S3)
- Le bois devient cassant



Les champignons saproxylophages- Pourritures blanches



Délignification sélective
(*Heterobasidion annosum*)



Dégradation simultanée
(*Fomes fomentarius*)



Pourritures blanches

Bois attaqué blanc et se défibre facilement

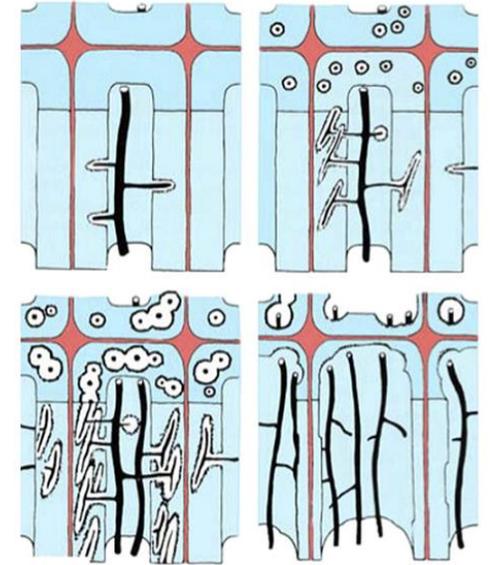
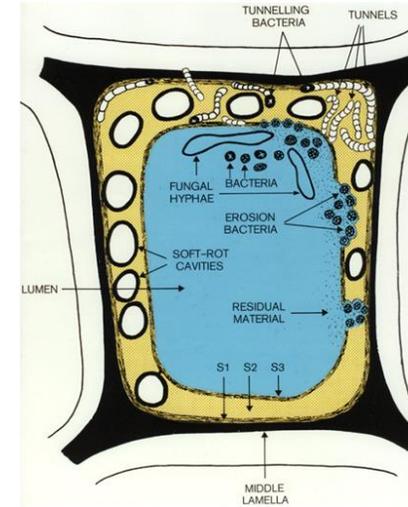
Dégradation des sucres + lignine →

- Diminution de l'épaisseur des parois (S2, S3)
- Perte de cohésion entre les cellules





Les champignons saproxylophages- Pourritures molles



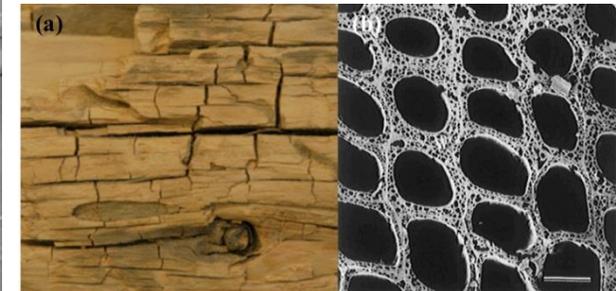
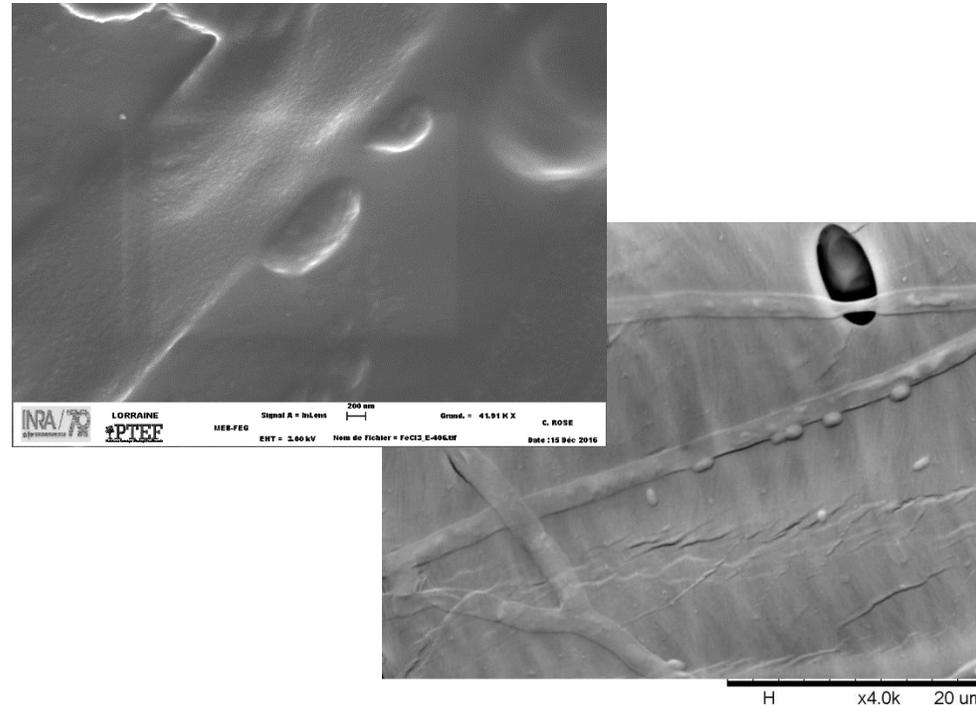
Pourriture molle
(*Kretzschmaria deusta*)

Bois attaqué brun et spongieux

Les hyphes forment des tunnels dans les parois

Dégradation des sucres → Formation de cubes et brunissement du bois

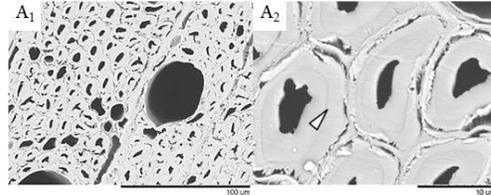
Interaction fréquentes avec les bactéries



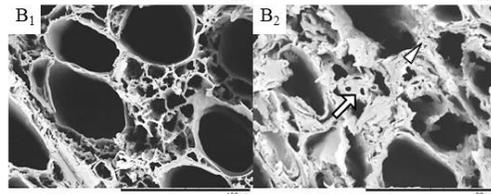


Dans un environnement donné, une pièce de bois est exposée à plusieurs microorganismes de dégradation

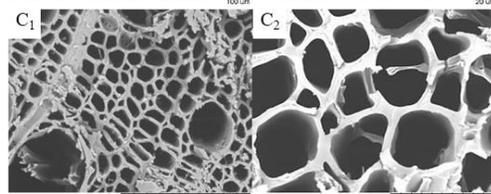
Sound wood



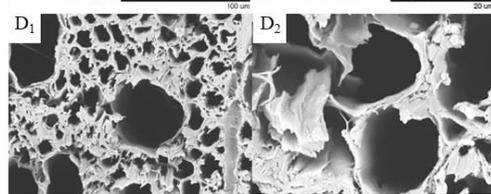
Soft rot



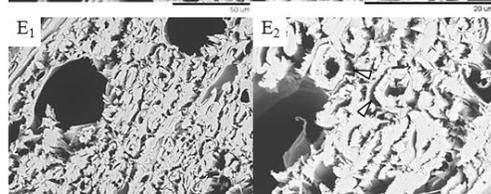
Brown rot



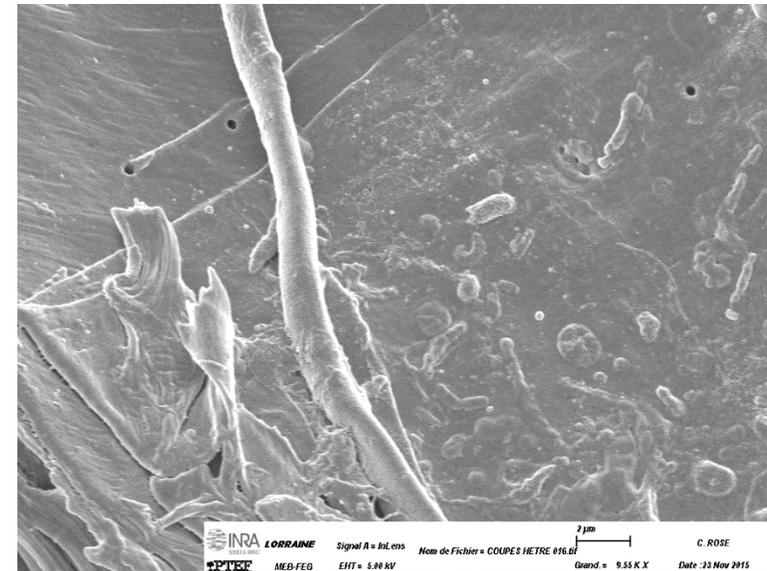
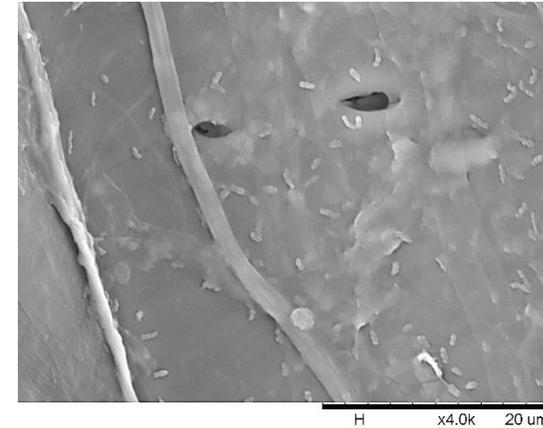
Non-selective white rot



Selective white rot

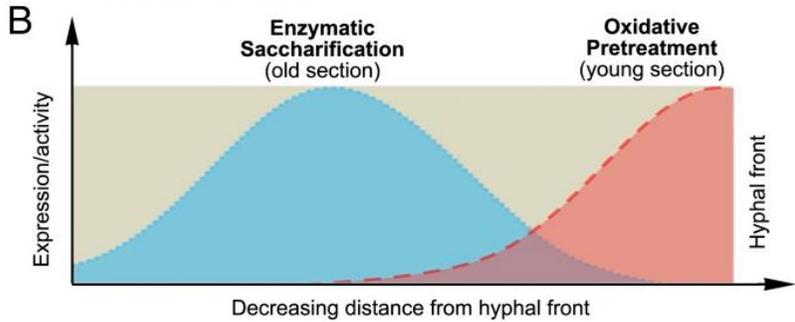
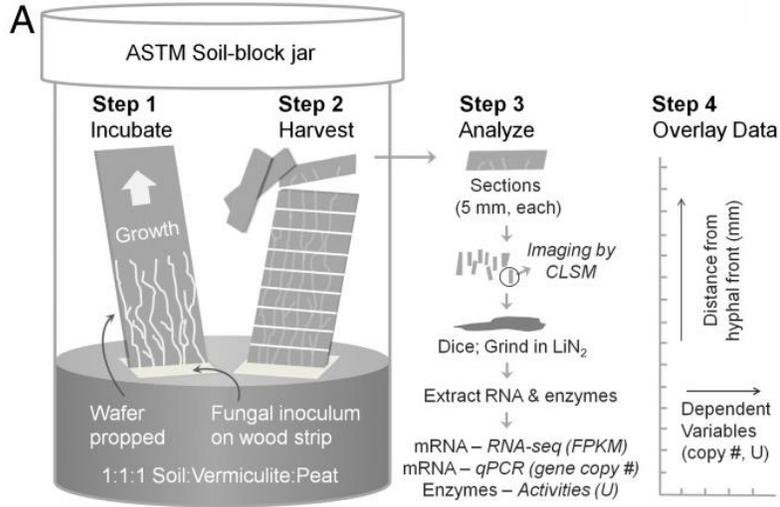


Bacteria

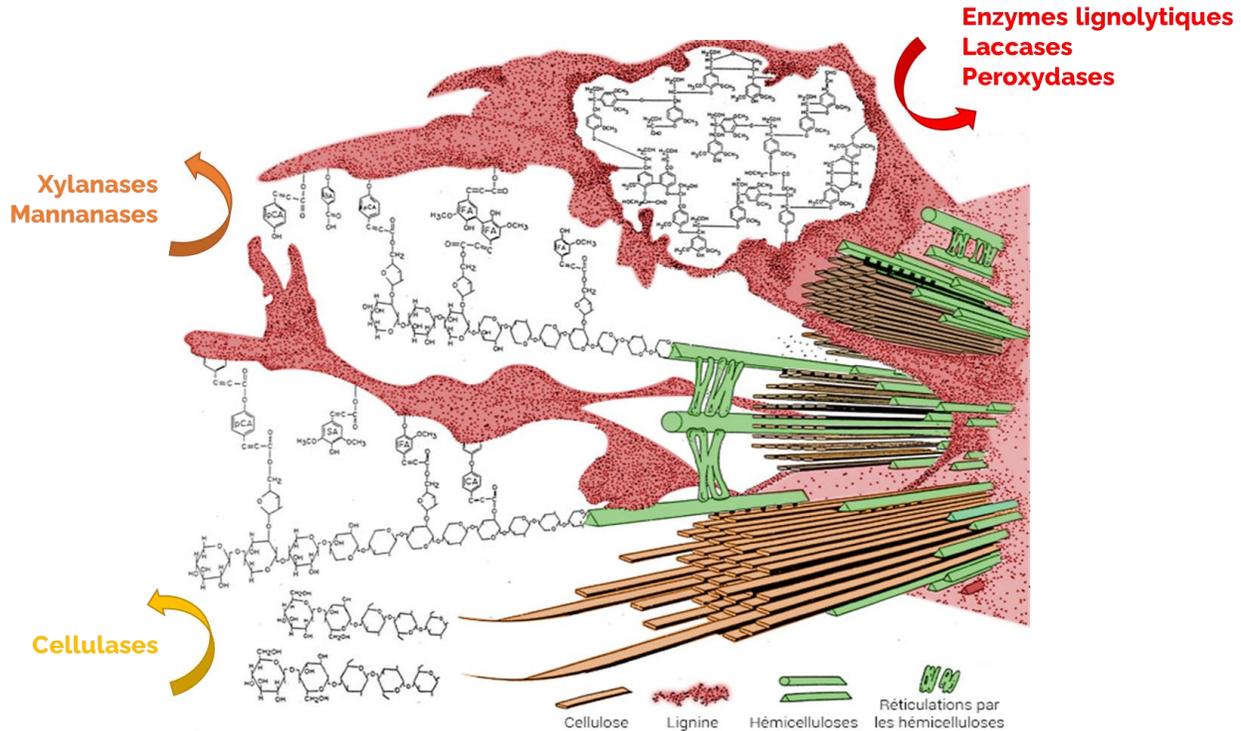
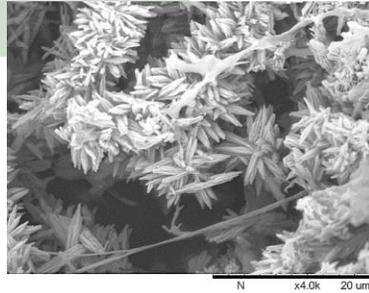
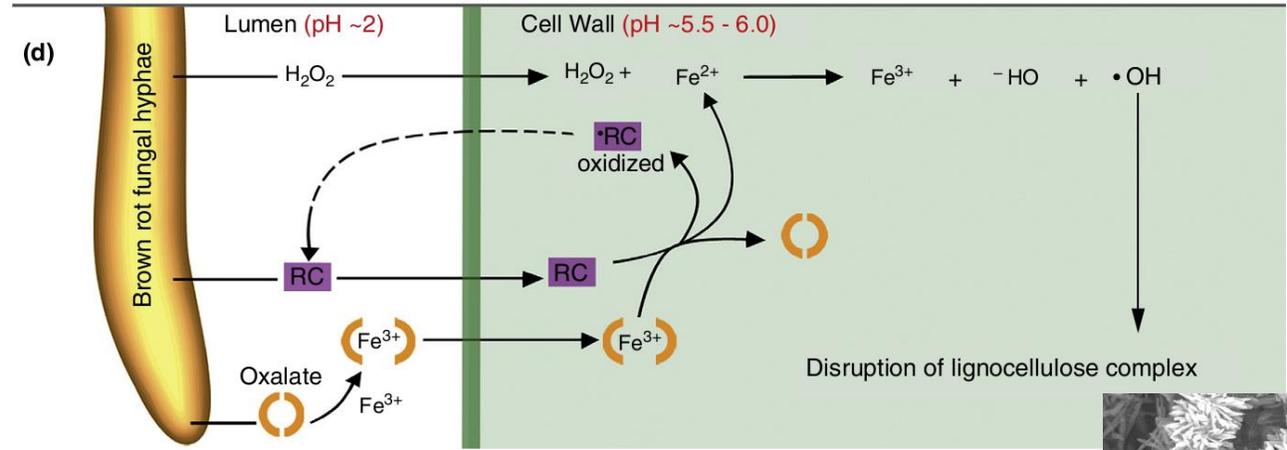




Les mécanismes de dégradation du bois



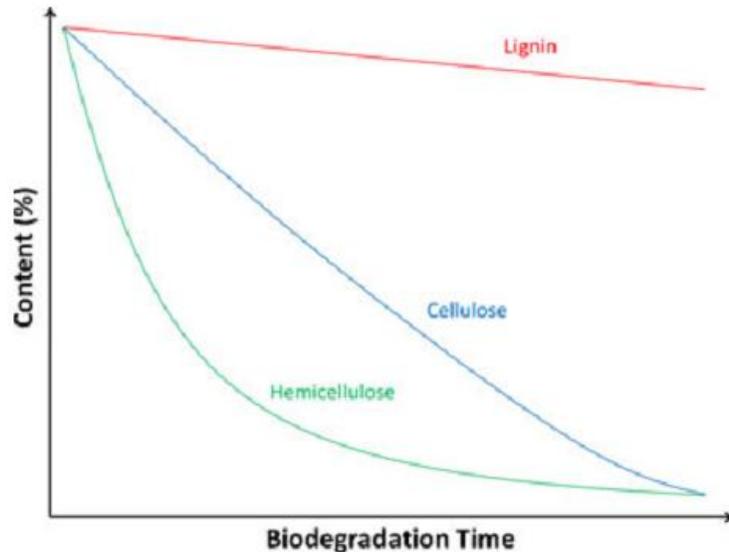
(Presley et Schilling 2017)



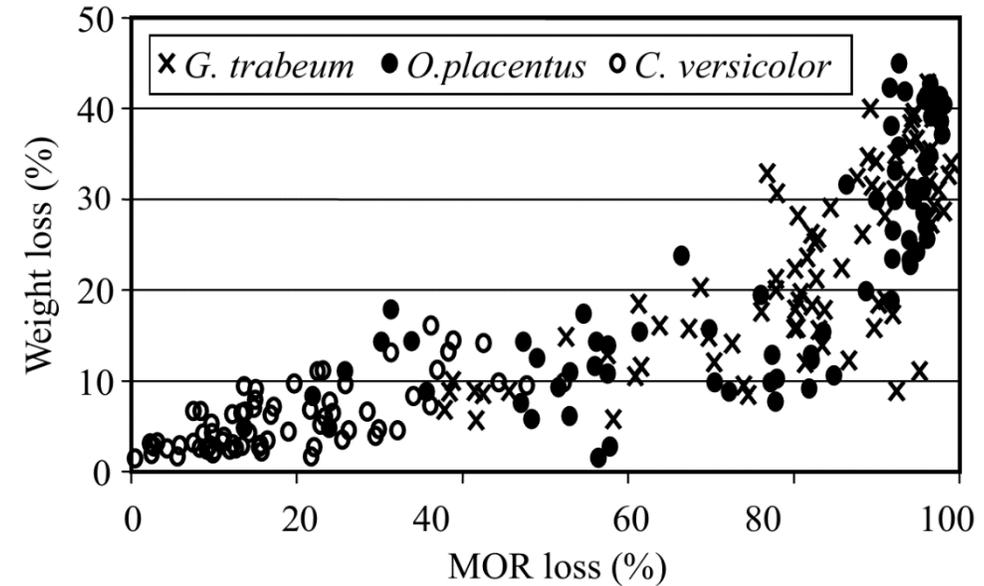


La dégradation des constituants pariétaux

Profil de dégradation typique d'une pourriture brune



Relation entre perte de masse et perte de résistance mécanique



Curling et al., 2002

- Résistance mécanique :
- rôle très important des hémicelluloses
 - pas proportionnel à perte de masse



Les térébrants marins

Mollusques

Tarets



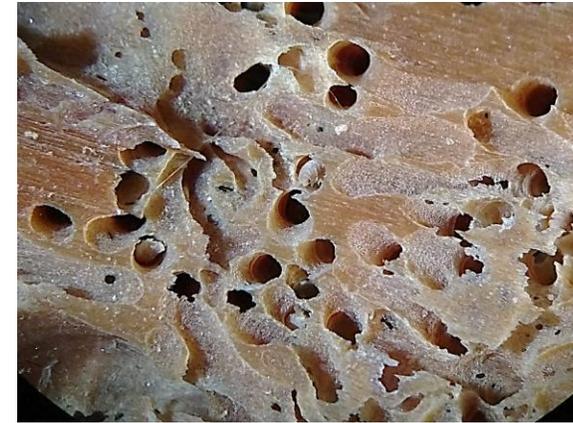
Dégâts :
Galeries calcifiées
Trous
Dégradent tout le volume du bois

Pholades



Crustacés

Limnories

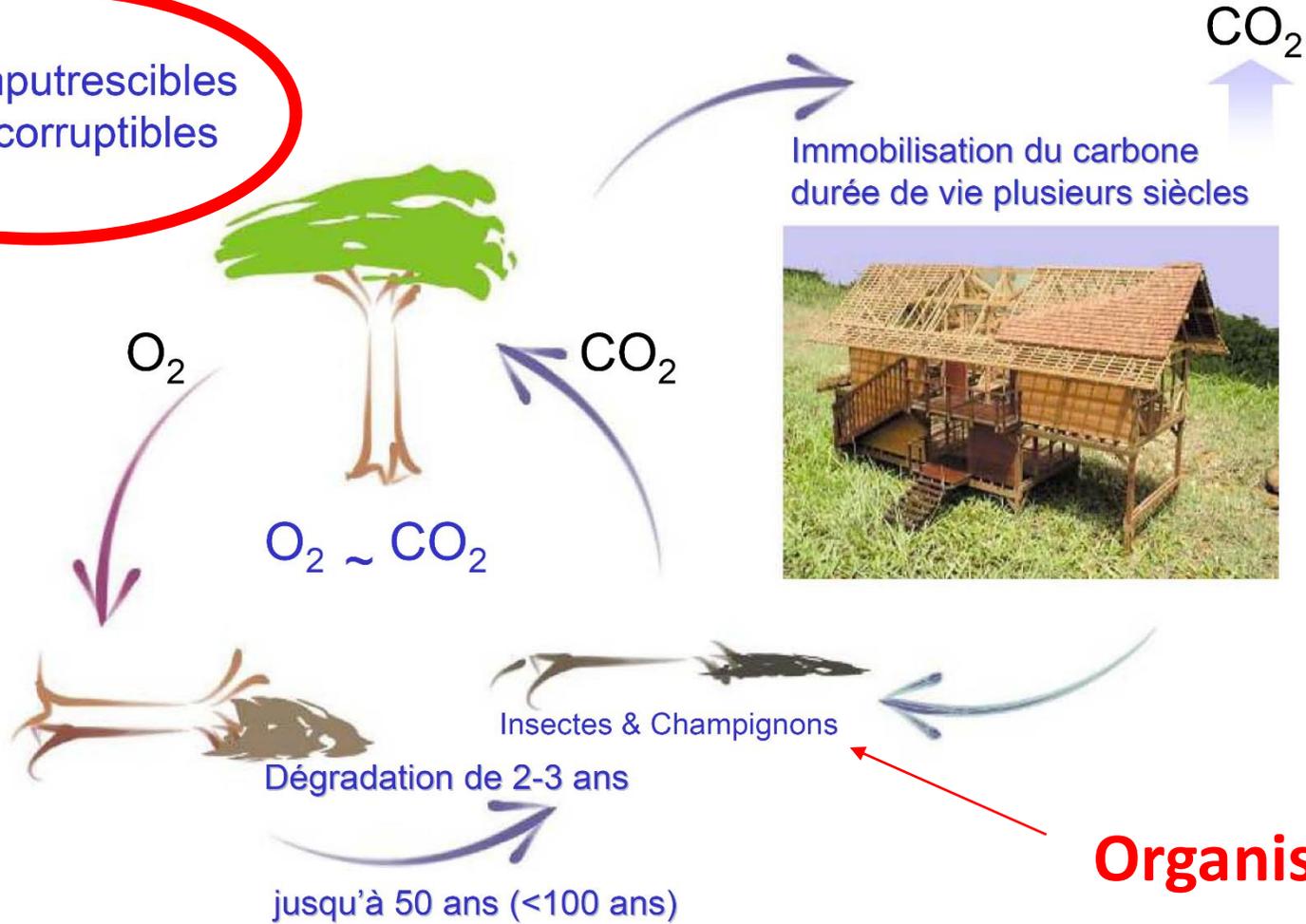


Dégâts :
Galeries parallèles au fil du bois
Augmentent porosité du bois et sensibilité à l'abrasion



Faire durer un matériau biodégradable ?

Bois imputrescibles
Bois incorruptibles



Organismes lignivores

Le bois, un matériau biodégradable



Figure A.1 — Carte ind (données Météo)



Normes et classes d'emploi

FD P20-651

- Conditions climatiques d'humidification par canton
- Carte indicative des vents de pluie dominants
- Relation entre massivité et épaisseur
- Classe d'emploi et conception
- Essence de bois et durabilité naturelle
- Essences de bois à durabilité conférée



Détermination de la classe d'emploi du bois

Risques Biologiques associés

NF B 50-105-3

NF DTUs

NF EN 335

- Occurrence des principaux agents biologiques dans les différentes classes d'emploi
- Spécification pour le traitement préventif des bois et matériaux à base de bois en France métropolitaine

Exemple DTU 31-2 :
Conception
Fabrication
Mise en œuvre du bois et matériaux à base de bois

- Définition des classes d'emploi
- Récapitulatif des classes d'emploi et des agents biologiques attaquant le bois et les matériaux à base de bois

Tableau 1 — Récapitulatif des classes d'emploi et des agents biologiques attaquant le bois et les matériaux à base de bois

Classe d'emploi	Usage général ^a	Occurrence des agents biologiques ^{b, c}				
		Champignons de discoloration	Champignons lignivores	Coléoptères	Termites	Térébrants marins
1	À l'intérieur, au sec	-	-	U	L	-
2	À l'intérieur, ou sous abri, non exposé aux intempéries. Possibilité de condensation d'eau	U	U	U	L	-

Tableau 1 — Occurrence des principaux agents biologiques dans les différentes classes d'emploi

Classe d'emploi	Insectes	Champignons
1	France métropolitaine : — Cérambycidsés (G) — Anobidés (G) DOM : Classe d'emploi non pertinente — Lyctidés : (G) — Termites souterrains (R) — Termites de bois sec (R)	/
2	France métropolitaine : Comme en classe 1 DOM : — Cérambycidsés (G) — Lyctidés (G) — Bostryches (G) — Termites de bois sec (G) — Termites souterrains (G) — Termites arboricoles (R)	— pourriture cubique ^b (G) — bleuissement (G) ^a — moisissures (G) ^a

Tableau 2 — Spécifications pour le traitement préventif des bois et matériaux à base de bois en France métropolitaine

Classe d'emploi	Bois et matériaux à base de bois imprégnables		Bois et matériaux à base de bois réfractaires		Exigences de rétention dans la zone d'analyse (Les valeurs critiques sont définies selon NF EN 599-1)	
	Exigences de pénétration (NF EN 351-1)	Zone d'analyse	Exigences de pénétration (NF EN 351-1)	Zone d'analyse	Objectif de rétention	Pourcentage à retrouver
1	NP1	3 mm	NP1	3 mm	R1	50 % valeur critique classe 1
2	NP1	3 mm	NP1	3 mm	R2	50 % valeur critique classe 2
3	3.1	NP3 ^b	NP1	3 mm	R3	50 % valeur critique classe 3
	3.2 ^a	NP5 ^b	Tout l'aubier ^c	NP3 ^b	R3	100 % valeur critique classe 3
4 ^a	NP5 ^b	Tout l'aubier ^c	NP4 ^b Bois ronds uniquement	25 mm	R4	100 % valeur critique classe 4
5 ^a	NP6 ^b	Tout l'aubier ^c	Impossible Essences non compatibles		R5	100 % valeur critique classe 5



La durabilité naturelle - EN 350

ISSN 0335-3931

norme française

NF EN 350
28 Octobre 2016

Indice de classement : B 50-103

ICS : 79.040

**Durabilité du bois et des matériaux
dérivés du bois — Méthodes d'essai
et de classification de la durabilité vis-à-vis
des agents biologiques du bois
et des matériaux dérivés du bois**

Echantillonnage

Méthodes d'essai

Classification de la
Durabilité naturelle



Tableaux

Données de

Durabilité naturelle

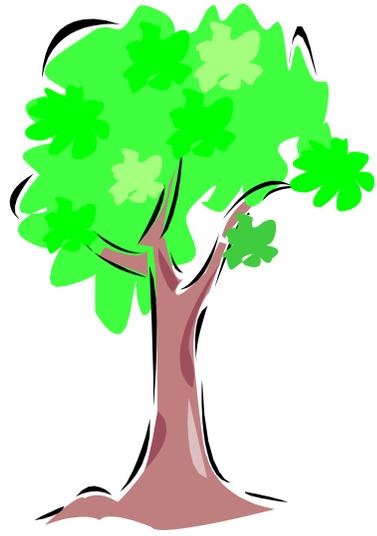
N°	Scientific name	Code acc. to EN 135 56	Common name	Origin	Density / kg/m ³ at 12 % MC	Durability of heartwood				Treatability		Sap wood width	Additional data / information when available
						Fungi	Hylotrupes	Anobium	Termites	Heartwood	Sapwood		
1	<i>Abies alba</i> Mill. (syn. <i>Abies pectinata</i>) <i>A. excelsior</i> Franco [= <i>A. grandis</i> (Dougl.) Lindl] <i>A. procera</i> Rehde	ABAL ABGR APGR	E: Fir F: Sapin D: Tanne, Weißtanne	Europe N America	440-460-480	4 (4)	S	S	S	2-3	2v	x	Prone to blue stain Not resistant to marine borers



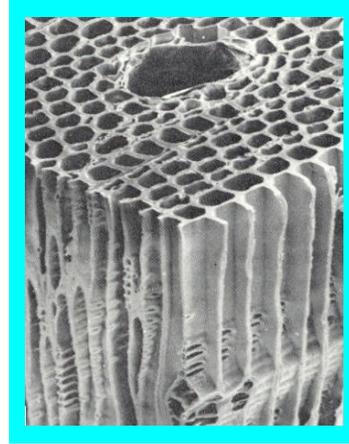
Durabilité du Duramen / Aubier considéré comme "non durable"



La durabilité naturelle



Arbre



Bois

Bois

**Durabilité naturelle
dans
Une classe d'emploi
Pour un usage donné
&
Pour une durée
de service attendue**

★ Génétique

★ Environment

★ Anatomie

★ Densité

★ Composition Chimique

▲ Lignine

▲ Extractibles

▲ Silice



Durabilité naturelle/ Classe d'emploi EN 460 (2014 – 2023)

Durabilité du bois
et des matériaux dérivés du bois

Durabilité naturelle du bois massif

Guide d'exigences de durabilité du bois
pour son utilisation selon les classes de risque

Durabilité du bois et des matériaux à base
de bois - Guide pour déterminer la
performance

Classe de risque	Classe de durabilité				
	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	(0)	(0)
3	0	0	(0)	(0) — (x)	(0) — (x)
4	0	(0)	(x)	x	x
5	0	(x)	(x)	x	x

Légende :

- 0 durabilité naturelle suffisante,
- (0) durabilité naturelle normalement suffisante, mais pour certains emplois un traitement de préservation peut être recommandé (voir annexe A),
- (0) — (x) la durabilité naturelle peut être suffisante, mais en fonction de l'essence de bois, de sa perméabilité (voir 6.1) et de son emploi final (voir annexe A), un traitement de préservation peut s'avérer nécessaire,
- (x) le traitement de préservation est normalement recommandé, mais pour certains emplois la durabilité naturelle peut être suffisante (voir annexe A),
- x traitement de préservation nécessaire.



Durabilité naturelle/ Classe d'emploi/ Performance

Pas de document normatif
au niveau Européen

En France
FD P 20 651 (2011)



Durabilité des éléments et ouvrages en bois

Le présent document constitue un guide pour l'élaboration des DTU et des normes de conception afin d'appréhender de manière homogène le comportement des éléments et ouvrages en bois en matière de maîtrise de la durabilité biologique.



Figure A.1 — Carte ind (données Météo)



Normes et Documentation

FD P20-651

- Conditions climatiques d'humidification par canton
- Carte indicative des vents de pluie dominants
- Relation entre massivité et épaisseur
- Classe d'emploi et conception
- Essence de bois et durabilité naturelle
- Essences de bois à durabilité conférée



Détermination de la classe d'emploi du bois

Risques Biologiques associés

NF DTUs

Exemple DTU 31-2 :
Conception
Fabrication
Mise en œuvre du bois et matériaux à base de bois

NF EN 335

- Définition des classes d'emploi
- Récapitulatif des classes d'emploi et des agents biologiques attaquant le bois et les matériaux à base de bois

Tableau 1 — Récapitulatif des classes d'emploi et des agents biologiques attaquant le bois et les matériaux à base de bois

Classe d'emploi	Usage général ^a	Occurrence des agents biologiques ^{b, c}				
		Champignons de discoloration	Champignons lignivores	Coléoptères	Termites	Térébrants marins
1	À l'intérieur, au sec	-	-	U	L	-
2	À l'intérieur, ou sous abri, non exposé aux intempéries. Possibilité de condensation d'eau	U	U	U	L	-

Tableau 1 — Occurrence des principaux agents biologiques dans les différentes classes d'emploi

Classe d'emploi	Insectes	Champignons
1	France métropolitaine : — Cérambycidsés (G) — Anobidés (G) DOM : Classe d'emploi non pertinente — Lyctidés : (G) — Termites souterrains (R) — Termites de bois sec (R)	/
2	France métropolitaine : Comme en classe 1 DOM : — Cérambycidsés (G) — Lyctidés (G) — Bostryches (G) — Termites de bois sec (G) — Termites souterrains (G) — Termites arboricoles (R)	— pourriture cubique ^b (G) — bleuissement (G) ^a — moisissures (G) ^a

NF B 50-105-3

- Occurrence des principaux agents biologiques dans les différentes classes d'emploi
- Spécification pour le traitement préventif des bois et matériaux à base de bois en France métropolitaine

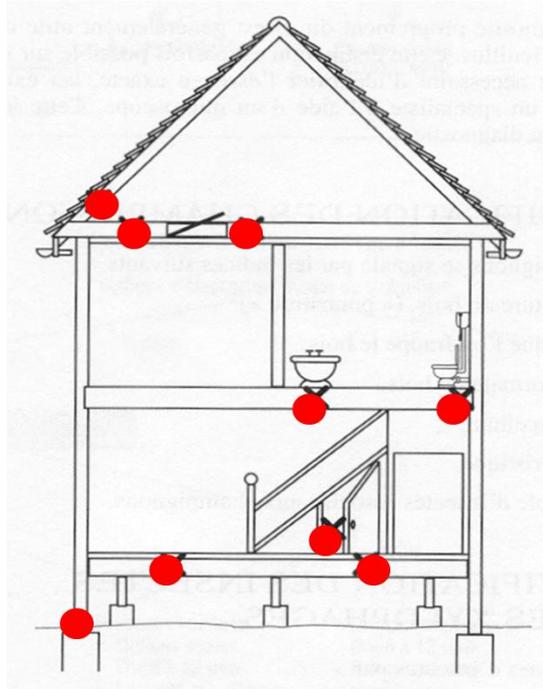
Tableau 2 — Spécifications pour le traitement préventif des bois et matériaux à base de bois en France métropolitaine

Classe d'emploi	Bois et matériaux à base de bois imprégnables		Bois et matériaux à base de bois réfractaires		Exigences de rétention dans la zone d'analyse (Les valeurs critiques sont définies selon NF EN 599-1)	
	Exigences de pénétration (NF EN 351-1)	Zone d'analyse	Exigences de pénétration (NF EN 351-1)	Zone d'analyse	Objectif de rétention	Pourcentage à retrouver
1	NP1	3 mm	NP1	3 mm	R1	50 % valeur critique classe 1
2	NP1	3 mm	NP1	3 mm	R2	50 % valeur critique classe 2
3	3.1	NP3 ^b	NP1	3 mm	R3	50 % valeur critique classe 3
	3.2 ^a	NP5 ^b	Tout l'aubier ^c	NP3 ^b	R3	100 % valeur critique classe 3
4 ^a	NP5 ^b	Tout l'aubier ^c	NP4 ^b Bois ronds uniquement	25 mm	R4	100 % valeur critique classe 4
5 ^a	NP6 ^b	Tout l'aubier ^c	Impossible Essences non compatibles		R5	100 % valeur critique classe 5



Dispositions constructives

Choisir le système constructif le plus adapté



Zones à risques

⚡ Température

⚡ Hygrométrie

Projet Bois

Choix + Mise en oeuvre
Budget

Durabilité naturelle
Ou
Durabilité Conférée ?



En résumé....

- ★ Durabilité naturelle : c'est finalement compliqué !
- ★ Evaluation / Variabilité
- ★ Durabilité naturelle / Mise en œuvre / Performance
- ★ Importance du vieillissement
- ★ Prédiction
- ★ Et n'oublions





En résumé....

- ★ Fin de Service du « Produit Bois »
- ★ Ré-emploi
- ★ Déconstruction, Recyclage





En conclusion

« La vie réelle est agaçante »



On compte sur vous pour que ça change !

