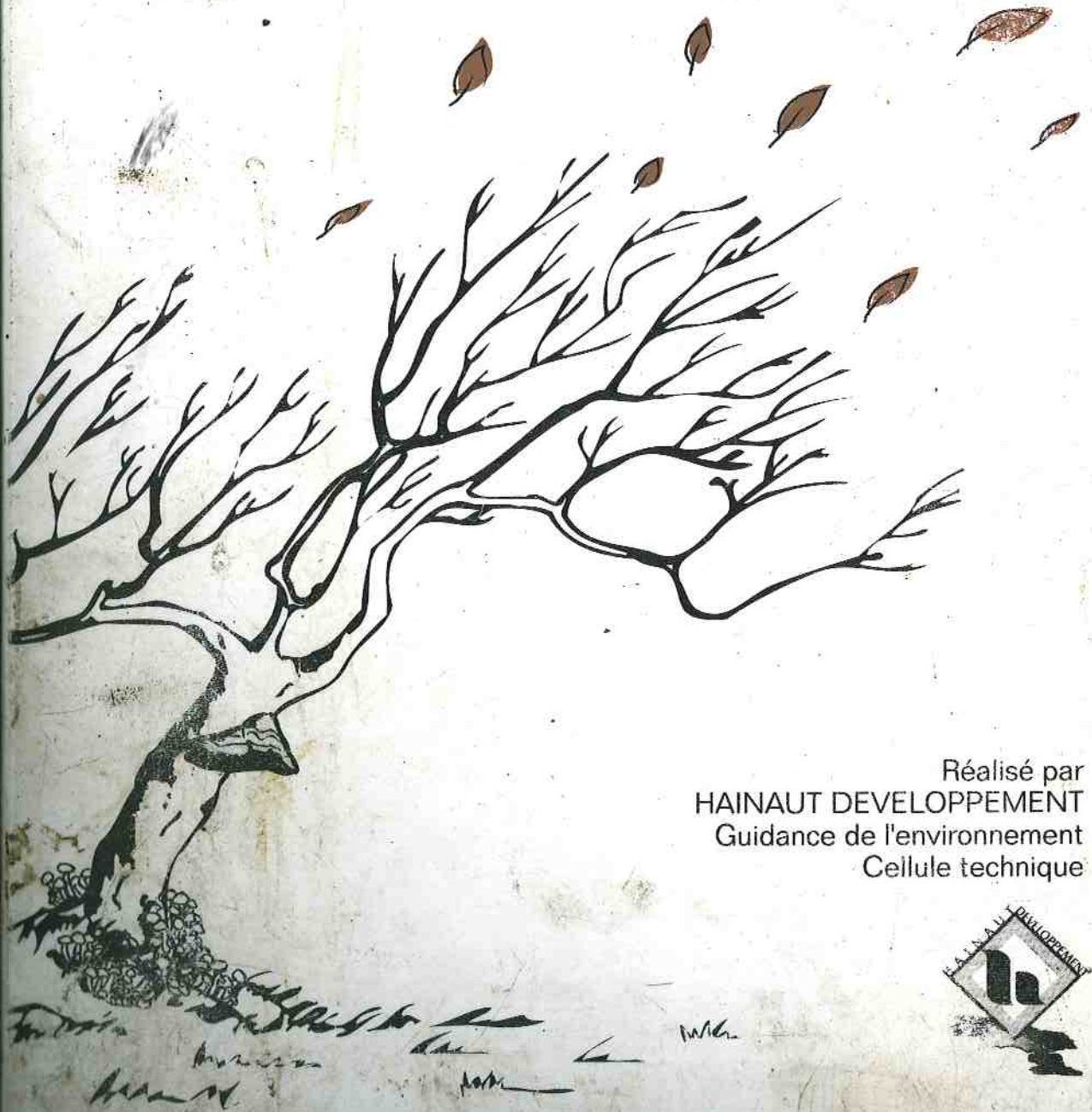


DYNAMIQUE DE DEGRADATION DES ARBRES PAR DES CHAMPIGNONS LIGNIVORES



Réalisé par
HAINAUT DEVELOPPEMENT
Guidance de l'environnement
Cellule technique



DYNAMIQUE DE DEGRADATION
DES ARBRES PAR DES
CHAMPIGNONS LIGNIVORES



Réalisé par
HAINAUT DEVELOPPEMENT
Guidance de l'environnement
Cellule technique

*Sous la présidence de
Gérald MOORTGAT, Député permanent
et Président de Hainaut Développement*



Crédits photographiques et collaborations :
Les photos non référencées sont de
Hainaut Développement
Cellule technique, 4 rue P-J Duménil B-7000 MONS (Belgique)

a.s.b.l. Cercle de Mycologie de Mons
Secrétariat : rue Antoine Clesse, 18 B-7000 MONS (Belgique)
Mrs Jean-Jacques Wuilbaut et Yves Denever

s.a. Aliwen
Avenue Georges Lemaître, 57 B-6041 GOSSELIES (Belgique)
Dr. Ir. Murielle Eyletters et Ir. Benoît Buntinx

Infographie et illustration de couverture :
Bruno Decant - Hainaut Développement

Les ayants droits peuvent se faire connaître auprès de nos services.
Toute reproduction même partielle de ces fiches est soumise à
autorisation.

Editeur responsable :
M. Gérard MOORTGAT, Député permanent
50, rue de Nimy
B-7000 Mons (Belgique)

Dépôt légal : D/2004/9156/01

EDITORIAL



Un des soucis majeurs pour les gestionnaires publics ou privés de parcs et jardins est de pouvoir évaluer l'état de dangerosité des arbres vieillissants. Ceux-ci sont des êtres vivants qui connaissent une phase juvénile puis un stade adulte et finissent par vivre une période de déclin que l'on pourrait qualifier de phase de décrépitude, le tout échelonné sur quelques dizaines d'années voire quelques centaines d'années. C'est dire l'importance de conserver leur vitalité car ils sont fragiles... Un immense patrimoine vivant qui agrmente, oxygène, embellit la ville doit être géré avec le plus grand soin.

Pour qu'un chêne soit adulte, il lui faut 200 ans et sa vie ne s'arrête pas là pour autant qu'il dispose des éléments nécessaires au maintien de sa vitalité. Le plus vieux des témoins du royaume (chêne de Liernu) n'atteint-il pas l'âge vénérable de 800 ans !

Toutefois, il est fréquent que nos arbres soient les cibles de diverses agressions. Entre une pelle excavatrice qui creuse au pied de ses racines, un véhicule qui quitte la route et vient heurter son tronc, une sécheresse qui perdure, une gélivure qui crevasse son écorce, une maladie ou un insecte qui l'affaiblit, bref un cortège d'éléments qui à un moment ou l'autre de la vie de l'arbre peut le mettre en difficulté, en situation de stress.

A l'occasion du colloque international relatif à la dynamique de dégradation des arbres par des champignons lignivores organisé conjointement par l'association Arboresco, la Province de Hainaut, et la Ville de Tournai en septembre 2004, Hainaut Développement vous propose ces quelques fiches afin de mieux faire connaître le monde des champignons et notamment les principaux lignivores. Il y sera question plus précisément d'en étudier leur biologie, leurs mécanismes d'action, de savoir comment les identifier. Les principaux outils ainsi que les techniques les plus récentes appliquées pour évaluer l'état de dégradation d'un végétal vous sont présentés.

J'ose espérer que ces éléments puissent vous être utiles

Gérald Moortgat
Député Permanent
Président de Hainaut Développement



TABLE DES MATIERES

1	Définitions et description générale d'un champignon
5	Modes de vie
6	Modes d'action
12	Les différents types de pourritures
16	La systématique ou classification des champignons
21	Les polypores
22	Attaques et colonisation du bois
24	Fiches signalétiques de quelques lignivores souvent rencontrés dans nos régions
69	Les outils du diagnostic
79	Diagnostic d'un tilleul de Hollande contaminé par un champignon lignivore
85	La fluorescence Chlorophyllienne
88	Notion de la théorie de la compartimentation
107	Publications
112	Bibliographie

Définitions et description générale d'un champignon



Le champignon tel que nous le voyons est le fruit d'un organisme qui vit dans le sol ou dans tout autre substrat organique mort ou vivant. Il est constitué d'un appareil végétatif appelé mycélium qui est souvent presque invisible et peut avoir une longue vie souterraine ou dans le substrat.

Il est constitué par un enchevêtrement de filaments blancs d'une extrême finesse qui se ramifient et se développent en tous sens. Les deux fonctions principales du mycélium sont la sécrétion des enzymes puissantes capables de décomposer la matière organique la plus résistante (bois par exemple) et l'absorption des éléments carbonés nécessaires à la survie de ses cellules. Il possède un grand pouvoir de pénétration dans le substrat. Si la nourriture vient à manquer, il se déplace ou se met au repos.



> *Macrolepiota rhacodes* (Vittadini) Singer
Lépiote déguenillée

S'il n'y a plus de nourriture, il meurt.

Ce phénomène est visible chez les polypores qui parasitent les troncs d'arbres : en une saison, le bois se ramollit puis pourrit avant d'être complètement absorbé par d'autres espèces (par exemple, d'autres champignons lignicoles).

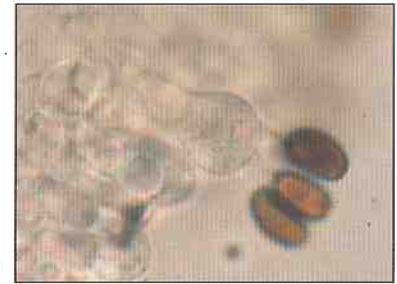
Lorsque le mycélium a accumulé suffisamment de réserves et que les conditions sont favorables, il fructifie en produisant à l'extérieur un carpophore aussi appelé sporophore (partie visible du champignon).

Grâce à sa surface fertile appelée hyménium, il produit les spores qui vont assurer la reproduction de l'espèce.

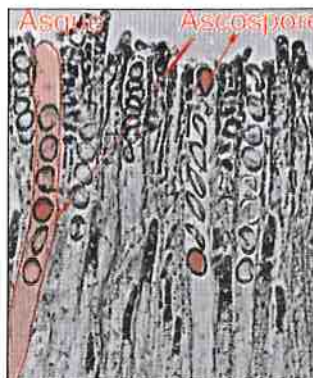


Aidés du microscope, les scientifiques ont réussi à monter que l'hyménium est formé d'éléments de deux types différents selon le groupe auquel le champignon appartient :

des basides, sorte de bourgeons portant souvent quatre basidiospores externes pour le groupe des basidiomycètes, des asques, sorte de sac, renfermant en général huit ascospores internes pour les ascomycètes.



> Coupe dans une lamelle d'un champignon basidiomycète (*Coprinus sp*) montrant les basides et les basidiospores



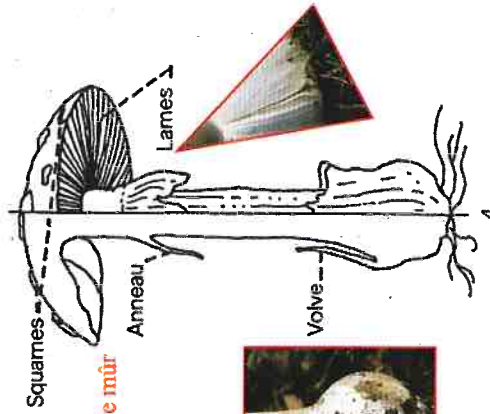
> Coupe dans l'hyménium d'un ascomycète montrant asques et ascospores.

Cette sporulation est toujours extrêmement abondante ; un seul carpophore peut pour certaines espèces libérer 1000 spores par seconde pendant plusieurs jours. Individuellement, ces «graines microscopiques » de quelques microns sont invisibles à l'œil nu. L'ensemble des spores produites constitue la « sporée » visible à l'œil nu.

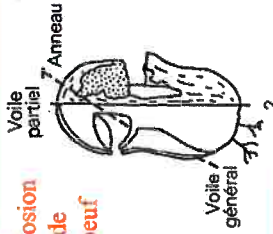
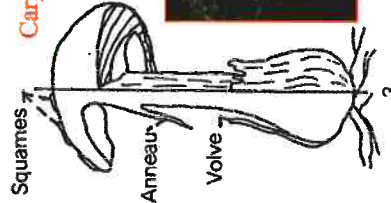
Sa couleur est un critère important d'identification des champignons. Ces spores se répandent autour du champignon. Pour germer, elles doivent trouver un terrain propice et des conditions climatiques favorables. Une spore s'installe dans le substrat, elle donne un mycélium primaire polarisé. Si ce filament a la chance de rencontrer un autre filament primaire d'une autre polarité (car pour le mycélium, on ne parle pas de sexe mais bien de polarité) les deux mycélium primaires vont s'unir pour donner un mycélium secondaire défini, capable de grandir, de fortifier et de fructifier. C'est l'ensemble de ces filaments entremêlés qui forme la masse mycélienne, base de nouveaux champignons. Lorsque la saison est venue et que la nature réunit les conditions d'humidité et de chaleur propices, les carpophores vont se développer et sortir du substrat spécifique de l'espèce.

Développement d'une amanite épaisse

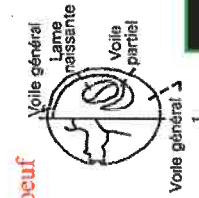
Amanita spissa (Fr.) Kummer



Carpophore mûr



Ecllosion de l'oeuf



L'oeuf



Coprin chevelu

Coprinus comatus (Mill.) Fr. Pers.



Déliquescence des lames et des lamelles en un liquide noir "d'encre" contenant les spores



Début des lames et lamelles



Lames et lamelles se liquéfiant en un liquide noir appelé "encre"



Spores X400

Production de spores par les coprins

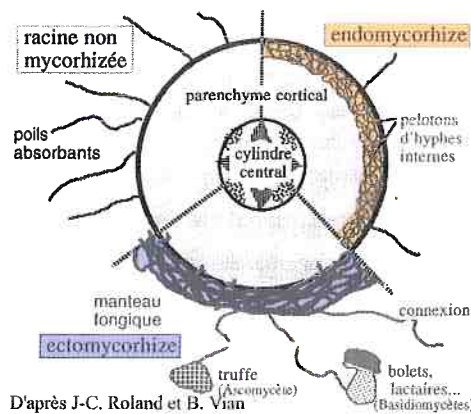


HAINAUT DEVELOPPEMENT
Guidance de l'environnement - Cellule technique

Modes de vie

Les champignons forment, dans le monde végétal, une classe à part. Ils sont privés de chlorophylle, cette substance qui permet aux plantes vertes d'utiliser l'énergie solaire pour tirer leur nourriture de l'atmosphère. Les végétaux chlorophylliens sont capables de fabriquer leurs constituants carbonés par photosynthèse en transformant le CO₂ contenu dans l'air en diverses substances organiques. On les dit « autotrophes ».

Etant incapables d'assimiler seuls les substances élémentaires vitales, ils doivent pour survivre consommer des molécules élaborées par d'autres organismes. On les dit « hétérotrophes » et ont trois modes d'alimentation : le saprophytisme, le parasitisme et la symbiose.



D'après J-C. Roland et B. Vian

Les symbiotiques vivent en association à bénéfice réciproque entre les racines de l'arbre et le mycélium d'un champignon. Celui-ci apporte à l'arbre l'eau et les sels minéraux et reçoit en retour la matière organique indispensable à son alimentation. Cet échange se fait grâce aux mycorhizes, petits filaments mycéliens qui viennent entourer d'un manchon les racines des arbres assurant ainsi les échanges bénéfiques.

Les saprophytes s'attaquent surtout aux végétaux morts. Les terricoles s'installent sur les sols riches en matières organiques : feuilles, brindilles, faines, larves, champignons en décomposition...

Les lignicoles envahissent les vieilles souches, les troncs d'arbres morts et les branches jonchant le sol. Les saprophytes sont « les éboueurs de la nature » ; ceux-ci transforment leur substrat en terreau rendant ainsi les éléments minéraux assimilables par les racines des arbres. Ces champignons détruisent à la fois les celluloses et les lignines du substrat.



> Scléroderme verruqueux (*Scleroderma verrucosum* (Bull.: Pers.) Pers.)





> Polypore hérissé sur le tronc d'un frêne
(*Inonotus hispidus* (Bull.: Fr.) Karsten)

> Ganadermes aplanis sur le tronc d'un vieux tilleul
(*Ganoderma lipsiense* (Batsch) Athinson)



Les parasites se nourrissent uniquement au dépens d'un organisme vivant. Ceux-ci sont redoutables pour les arbres car ils attaquent le bois d'aubier vivant, en phase de croissance, juste derrière l'écorce. Les parasites dits «violents» tuent rapidement l'organisme colonisé et peuvent se transformer en saprophytes pour continuer leur développement.

.....

Modes d'action

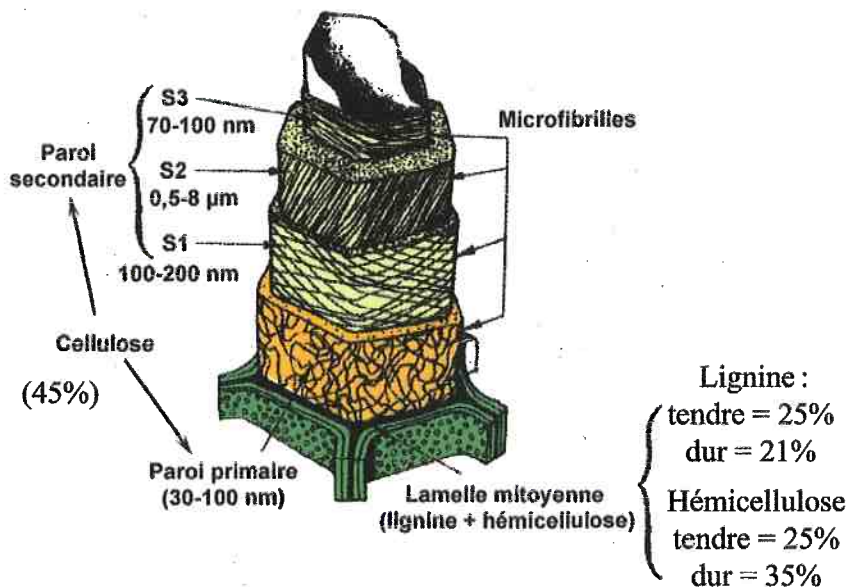
Le mode d'action de ces champignons diffère selon qu'ils détruisent les celluloses des parois cellulaires du bois en laissant intacte la lignine (pourriture rouge cubique) ou qu'ils digèrent la lignine laissant intactes les celluloses (pourritures blanches).

Il n'y a pas de délimitation stricte entre ces différents modes de vie. On trouve souvent des intermédiaires entre parasites, mycorhiziques et saprophytes. La protection de notre patrimoine forestier passe aussi par le respect de la flore fongique.

Pour mieux comprendre les divers mécanismes de la dégradation des celluloses et de la lignine des parois cellulaires végétales, nous devons rappeler quelques notions de base de cytologie et d'histologie.

- Structure des parois cellulaires végétales.

Structure anatomique d'une fibre de bois

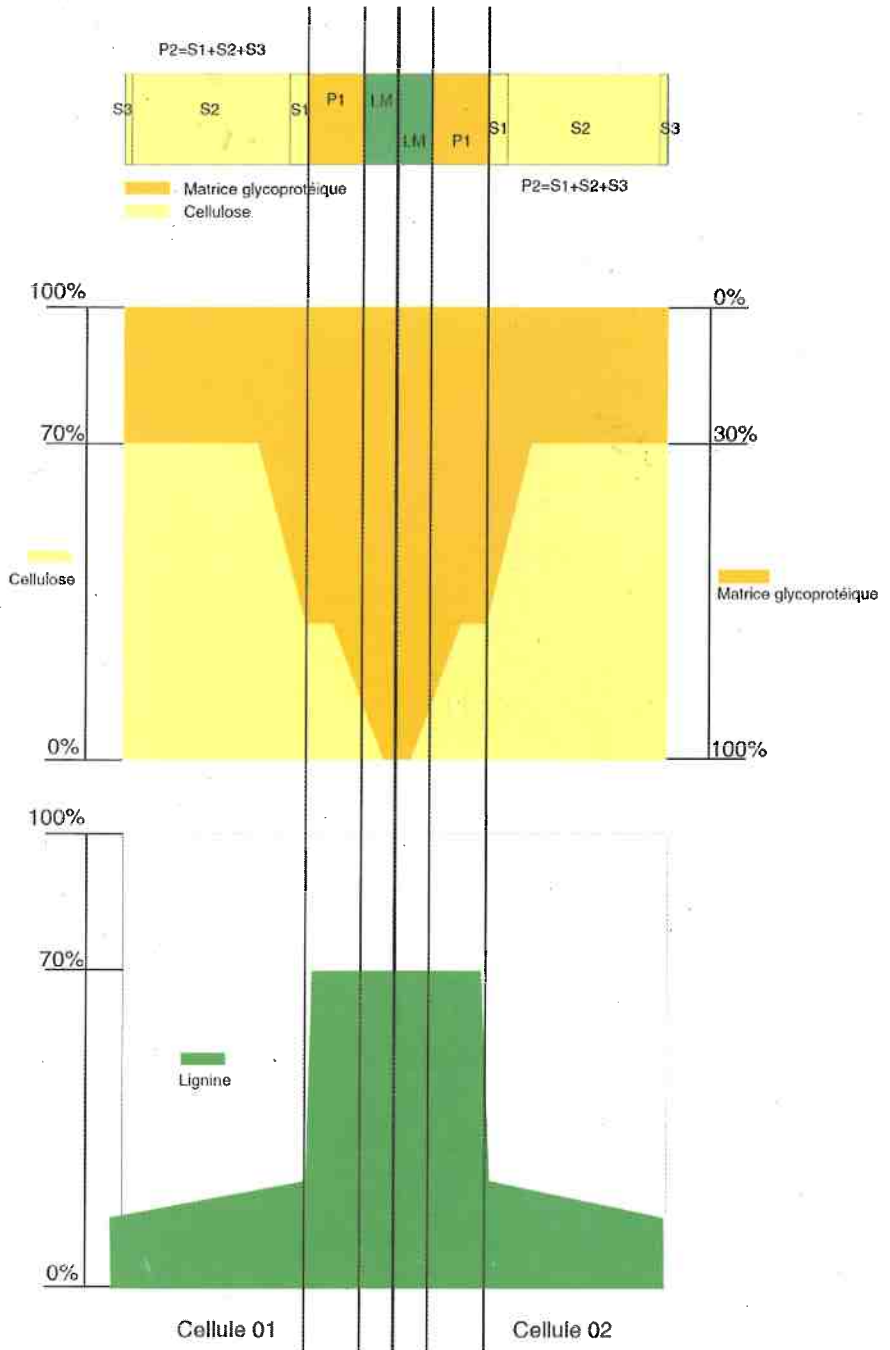


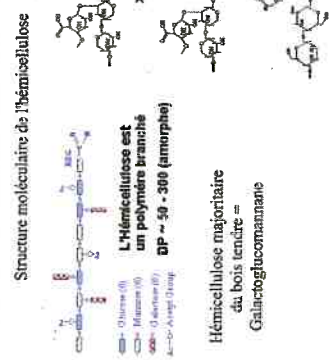
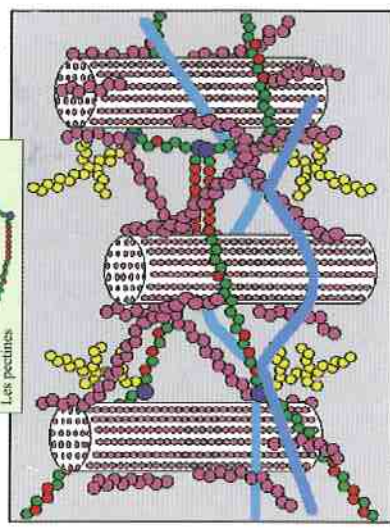
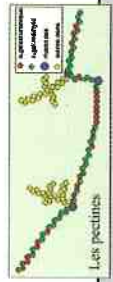
L'existence d'une paroi rigide est l'une des différences essentielles qui distinguent les végétaux et les animaux. Cette rigidité permet, par empilement, la réalisation de structures dressées occupant l'espace et assurant l'utilisation maximale de la lumière. Elle permet également le maintien d'une forte pression osmotique nécessaire à l'absorption de l'eau du sol.

Pour assurer une résistance à la traction comme à la compression, l'évolution a très tôt sélectionné une structure composite à éléments microfibrillaires (résistant à la traction) noyés dans un ciment amorphe ou matrice (supportant la compression). Le dépôt ultérieur de la lignine assure un port arborescent. La paroi cellulaire végétale est ainsi composée d'une lamelle moyenne, d'une paroi primaire et d'une paroi secondaire dont les composants principaux sont des glucides : les protopectines, les hémicelluloses et les celluloses.

La lamelle moyenne (LM) est composée de substances pectiques et d'incrustations de lignine. La paroi primaire (P1), quant à elle est formée de composés pectiques, d'hémicelluloses (C5 : xylose et arabinose et C6 macromolécules), de cellulose constituée d'un seul sucre : le glucose et enfin d'incrustations de lignine. Les fibrilles de cellulose sont organisées en structure dispersée dans la paroi primaire et sont insérées dans la matrice amorphe de protopectines et d'hémicelluloses.



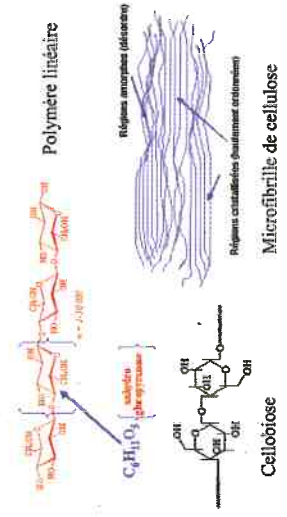




Structure de la paroi primaire



Structure moléculaire de la cellulose



Ainsi, cette structure est-elle comparable à un filet fermé dans lequel les nœuds ne sont pas fixes mais peuvent coulisser ce qui lui confère des propriétés de déformation plastique, d'extensibilité et d'élasticité.

L'ensemble lamelle moyenne (LM) et paroi primaire (P1) forme la lamelle moyenne composée (LMC) fortement lignifiée et rigide. Lorsque la cellule atteint sa taille et sa forme définitives, une deuxième couche nettement plus épaisse composée des sous-couches S1, S2-riche en cellulose et S3-riche en lignine forme la paroi secondaire (P2) et se superpose à la paroi primaire.

Elle ne contient pas de protopectines et est principalement constituée de celluloses sous forme de microfibrilles organisées selon une structure parallèle. L'orientation des fibrilles varie d'une couche à l'autre au sein de la paroi secondaire.

Les espaces interfibrillaires de la paroi secondaire peuvent être comblés par des incrustations de lignine. C'est la lignification. Celle-ci fait perdre à la paroi cellulaire beaucoup de son élasticité et de sa plasticité d'origine et ainsi sa capacité de croissance. Elle gagne cependant en rigidité.

On peut comparer la paroi cellulaire rigidifiée par la lignine à un mur de béton armé : les fibrilles de celluloses correspondent aux armatures en acier. L'un et l'autre assurent la résistance aux tensions. La lignine occupant les espaces interfibrillaires correspond au béton entre les armatures en acier. L'un et l'autre assurent la résistance aux pressions.

Lors de la lignification, la lignine, substance non glucidique, s'installe dans certaines cellules végétales-vaisseaux du bois, cellules scléreuses... à la fin de la formation des parois primaires et secondaires. Le dépôt de lignine occupe tout l'espace laissé libre par les celluloses et les polymères de la matrice : la lignine se polymérise dans les trois dimensions donnant naissance à un réseau macromoléculaire massif.

C'est au niveau de la lamelle moyenne, pratiquement composée de dérivés pectiques, que les espaces disponibles sont les plus grands. Les dépôts de lignine y assurent une soudure irréversible des cellules.

La lignification s'accompagne d'un gonflement des parois à l'origine des contraintes de croissance qui assurent le port des végétaux ainsi que l'apparition de tension ou de compression dans les bois écartés de leur position normale.

Ces tensions peuvent atteindre plusieurs centaines de KG/CM³ et assurent au bois sa rigidité et sa résistance à la compression. Une fois déposée, la lignine n'a plus aucun rôle dans le métabolisme. Certains champignons, comme des polypores, sont capables d'assurer la lignolyse.



Un intérêt fondamental du repérage des champignons lignivores pour l'évaluation des risques mécaniques des arbres réside dans les informations qu'elle peut apporter sur les effets mécaniques des pourritures.

> Rupture d'un peuplier contaminé par du ganoderme (*Ganoderma sp*)

> Basculement d'un marronnier dans un parc à Tournai

La présence de pourriture dans les arbres est un problème majeur vis-à-vis de la sécurité du public, car il en résulte souvent un affaiblissement du tronc, des branches ou des racines, qui accentue le risque de rupture.



Il est cependant courant d'observer dans des arbres des petits foyers de pourriture qui n'occasionnent aucun affaiblissement mécanique.

Il n'est donc pas justifié de considérer un arbre comme dangereux d'après une simple détection de bois pourri. Il s'agit en fait, dans la mesure du possible, de distinguer, lors d'une évaluation d'état mécanique, les pourritures entraînant un risque de celles dont l'incidence sur la sécurité est faible ou négligeable.

Des décisions de gestion appropriée peuvent alors être prises afin que les arbres à risques soient identifiés et que d'autres, relativement en bon état, ne soient pas abattus sans raison ou soumis à des traitements inutiles.

.....



Les types de pourriture

Les principaux types de pourritures abordés sont : les pourritures blanches, la pourriture alvéolaire et la pourriture cubique parfois appelée aussi pourriture rouge.

- Les pourritures cubiques,

dans lesquelles la cellulose et les hémicelluloses sont dégradées quasiment sans aucune altération de la lignine, sont exclusivement provoquées par l'action de systèmes enzymatiques et non enzymatiques des basidiomycètes.

Dans ce système, le couple peroxyde d'hydrogène/fer ferreux provoque des réactions d'oxydation dans la molécule de cellulose, augmentant ainsi l'activité des endocellulases qui coupent la molécule de façon aléatoire tout au long de la chaîne.



Ce découpage des microfibrilles de cellulose en petits morceaux entraîne une perte prononcée de résistance à la tension dès les premiers stades de l'infection. D'autres enzymes peuvent ensuite mettre à la disposition du champignon de l'énergie et du carbone en dégradant les fragments de chaînes et les sous-unités de glucose qui les composent. Les champignons de pourriture cubique altèrent un peu la lignine, mais ne possèdent pas les enzymes capables de la dégrader substantiellement.



Par ailleurs, leurs hyphes ne peuvent pas éroder directement la paroi cellulaire lignifiée depuis le lumen vers l'extérieur, à cause notamment de la couche la plus interne de la paroi, la couche S3, qui résiste particulièrement bien à la pénétration physique. Dans ce type de pourriture, les hyphes doivent donc libérer des sécrétions cellulolytiques qui diffusent vers l'intérieur de la paroi cellulaire jusqu'à la couche S2 riche en cellulose.

L'activité d'une seule hyphe peut suffire à provoquer la dégradation d'une proportion significative des constituants pariétaux. Une altération partielle de la lignine pourrait faciliter cette diffusion, puisque la paroi cellulaire intacte est supposée imperméable aux grosses molécules comme les enzymes.

On peut supposer cependant que les molécules du système non enzymatique, qui provoquent la dégradation des chaînes de celluloses, diffusent à travers la paroi cellulaire même lorsque la lignine est intacte.

- La pourriture alvéolaire

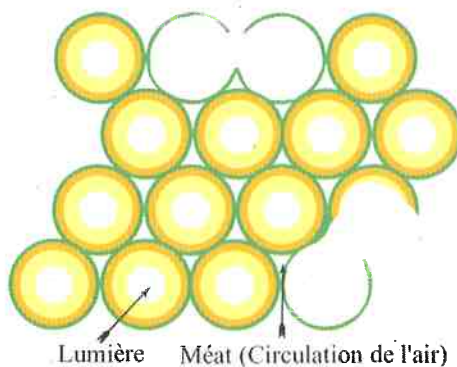
est provoquée principalement par les ascomycètes, et est caractéristique de nombreux champignons purement saprophytes.

Dans ce type d'altération, la cellulose est dégradée en premier, ensuite la lignine est lentement dégradée. Les hyphes créent des tunnels dans la couche S2 dégradant ainsi progressivement la paroi secondaire.



La lamelle moyenne composée (LMC) restante devient de plus en plus mince au fur et à mesure que la lignine est dégradée.

Le bois altéré devient de plus en plus cassant et friable au fur et à mesure que l'infection progresse.



D'après W. MOORE

- Les pourritures blanches

sont provoquées par les basidiomycètes et les ascomycètes. La lignine et la cellulose sont digérées à différentes vitesses selon l'espèce de champignon et selon la combinaison hôte/champignon.

Les hyphes produisent des enzymes, phenoloxydases, pour la digestion de la lignine. Les fibrilles de cellulose sont dégradées uniquement au bout des chaînes de glucose et ne sont pas découpées en longueur.

Deux types de pourriture blanche sont reconnus :

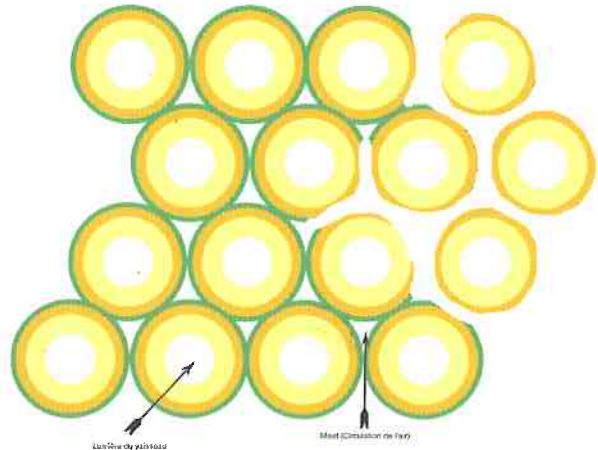
- le type 1 : Délignification sélective
- le type 2 : Pourriture simultanée



Typiquement, dans le cas d'une pourriture blanche de type 1, la lignine est dégradée en premier, puis la cellulose.

Par exemple, *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref., *Ganoderma* sp
Meripilus giganteus (Pers. Ex. Fr.) Karst. et bien d'autres.

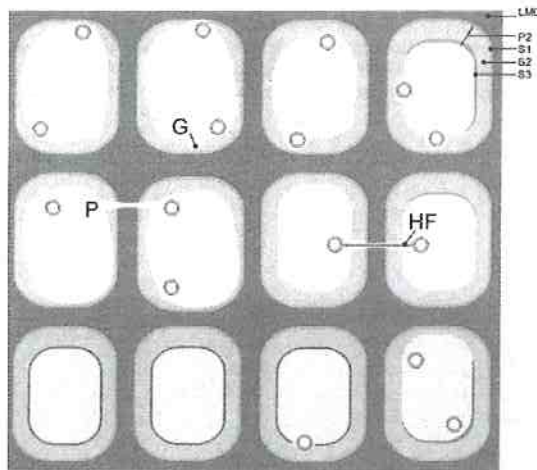
Les hyphes se situent principalement dans la lamelle moyenne composée (LMC) qui devient de plus en plus mince au fur et à mesure que la dégradation progresse. Avec la perte de la LMC, les cellules se décollent entre elles. Le bois dégradé est caractérisé par la perte de sa rigidité et tant qu'il reste de la cellulose, il conserve son élasticité.



D'après W. MOORE

Le deuxième type de pourriture blanche, la simultanée, se produit chez les feuillus et rarement chez les résineux.

Dans ce cas, la lignine ainsi que les celluloses et les hémicelluloses sont dégradées à la même vitesse par des enzymes excrétées par les hyphes situées dans la cellulose de la paroi secondaire (P2).



D'après W. MOORE

Cette forme de dégradation se produit à proximité de hyphes dit de forage (HF) et conduit à la formation de gouttières d'érosion le long de leur parcours sur la paroi cellulaire. Le bois dégradé est caractérisé par une perte en rigidité et en élasticité.

L'amadouvier, *Fomes fomentarius* (L. Fr.) Fr. provoque une pourriture simultanée typique. Nous avons eu l'occasion de l'observer sur du bois de marronnier d'Inde.

Type de pourriture	
Espèce	
Champignons se développant sur des arbres debout	
<i>Heterobasidion annosum</i>	Pourriture blanche du bois de cœur des conifères
<i>Phaeolus schweinitzii</i>	Pourriture brune du bois de cœur des conifères
<i>Armillaria mellea</i>	Pourriture blanche du bois de cœur et de l'aubier des feuillus
<i>Armillaria ostoyae</i>	Pourriture blanche du bois de cœur et de l'aubier des conifères
<i>Oudemansiella mucida</i>	Pourriture blanche de l'aubier du hêtre
<i>Fistulina hepatica</i>	Pourriture brune du bois de cœur du chêne
<i>Fomes fomentarius</i>	Pourriture blanche du bois de cœur et de l'aubier du hêtre et du bouleau
<i>Ganoderma appplanatum</i>	Pourriture blanche du bois de cœur du hêtre
<i>Pleurotus ostreatus</i>	Pourriture blanche du bois de cœur des feuillus, rare sur les conifères
<i>Polyporus squamosus</i>	Pourriture blanche du bois de cœur des feuillus, surtout l'érable et l'orme
<i>Piptoporus betulinus</i>	Pourriture brune de l'aubier du bouleau
<i>Laetiporus sulphureus</i>	Pourriture brune des feuillus, surtout du chêne et du châtaignier
Champignons se développant sur des souches et du bois tombé	
<i>Bjerkandera adusta</i>	Pourriture blanche des feuillus
<i>Coriolus versicolor</i>	Pourriture blanche des feuillus
<i>Stereum hirsutum</i>	Pourriture blanche des feuillus, surtout du chêne
<i>Stereum sanguinolentum</i>	Pourriture blanche des conifères
<i>Chondrostereum purpureum</i>	Pourriture blanche des feuillus, surtout du hêtre et du bouleau
<i>Daedalea quercina</i>	Pourriture brune des feuillus, surtout du chêne
<i>Pseudotrametes gibbosa</i>	Pourriture blanche du hêtre
<i>Coniophora puteana</i>	Pourriture brune de tout bois, commun dans le bois de construction



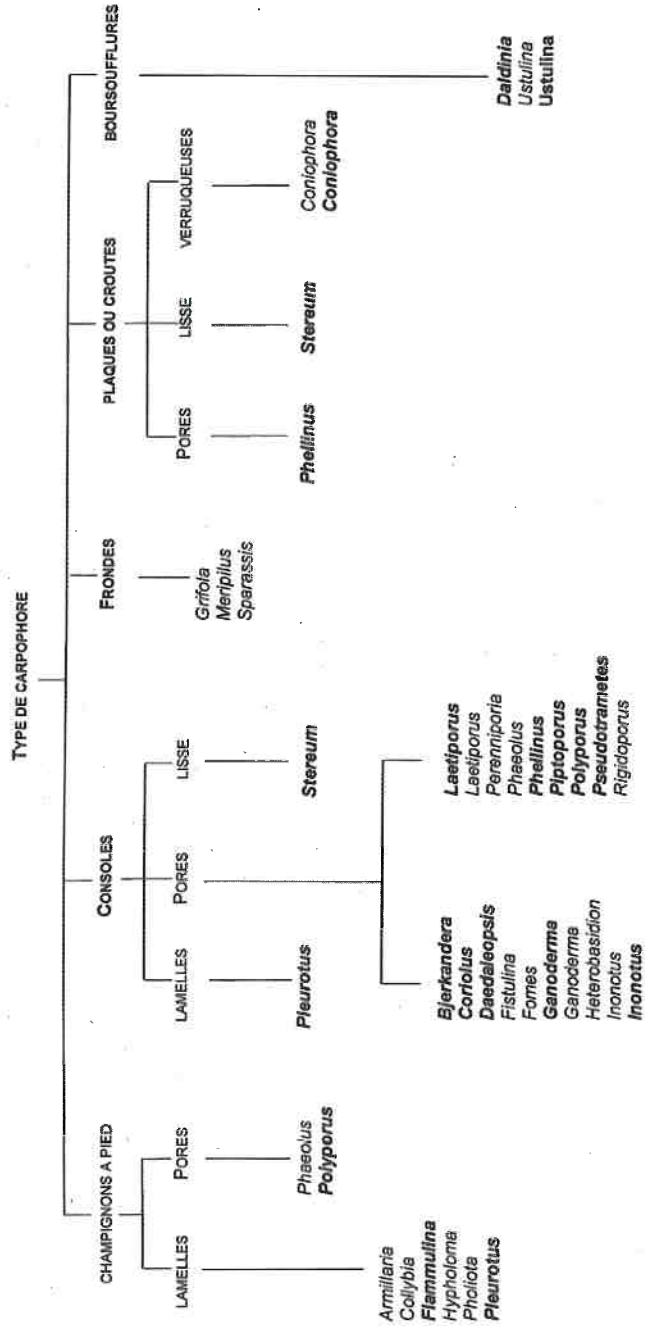
C'est parmi le groupe VIII des APHYLLOPHOROMYCETIDEAE que l'on retrouve les polypores. Nouvel ordre des groupes (R. Courtecuisse, 1994)

I. BOLÉTALES	II. RUSSULALES
1. BOLETS	2. RUSSULES 3. LACTAIRES
III. TRICHOLOMATALES & ENTOLOMATALES	IV. CORTINARIALES
4. HYGROPHORES 5. PLEUROTÉS 6. CLITOCYBES 7. TRICHOLOMES 8. TRICHOLOMATACÉES 9. MARASMES 10. COLLYBIÉS 11. MYCÈNES 12. ENTOLOMES	13. CORTINAIRES 14. HÉBÉLOMES 15. INOCYBES 16. PHOLIOTES 17. HYPHLOMES
V. PLUTÉALES	VI. AGARICALES & AMANITALES
18. PLUTÉES 19. VOLVAIRES	20. COPRINS 21. AGARICS 22. LÉPIOTES 23. AMANITES
VII. GASTEROMYCETIDEAE	VIII. APHYLLOPHOROMYCETIDEAE
24. GASTÉROMYCÈTES	25. CHANTERELLES 26. CLAVAIRES 27. HYDNES 28. POLYPORES
IX. AURICULARIALES & TRÉMELLALES	X. ASCOMYCÈTES
29. TRÉMELLES 30. AURICULARIA	31. PEZIZOMYCETIDEAE



L'identification des Champignons Lignivores sur les Arbres Vivants (d'après David ROSE)

1. Espèces en *italiques* dont pourriture des racines et/ou le base de tronc.
2. Espèces en *italiques fortes* dont pourriture des hauts (tronc supérieur, branches etc.)





Quelques champignons polypores



Fomes fomentarius (L. : Fr.) Fr.



Trametes gibbosa (Pers. : Fr.) Fr.



Fistulina hepatica Schaeff. : Fr.



Piptoporus betulinus (Bull. : Fr.) Karst.



Laetiporus sulphureus (Fr.) Murr.



Ganoderma applanatum (Pers. ex Wallr.) Pat.





Quelques champignons polypores



Phellinus tuberculatus
(Baumg.) Niemelä



Polyporus squamosus Fr.



Fomes fomentarius (L.:Fr.) Fr.



Heterobasidion annosum (Fr.) Bref.



Polyporus ciliatus Fr.



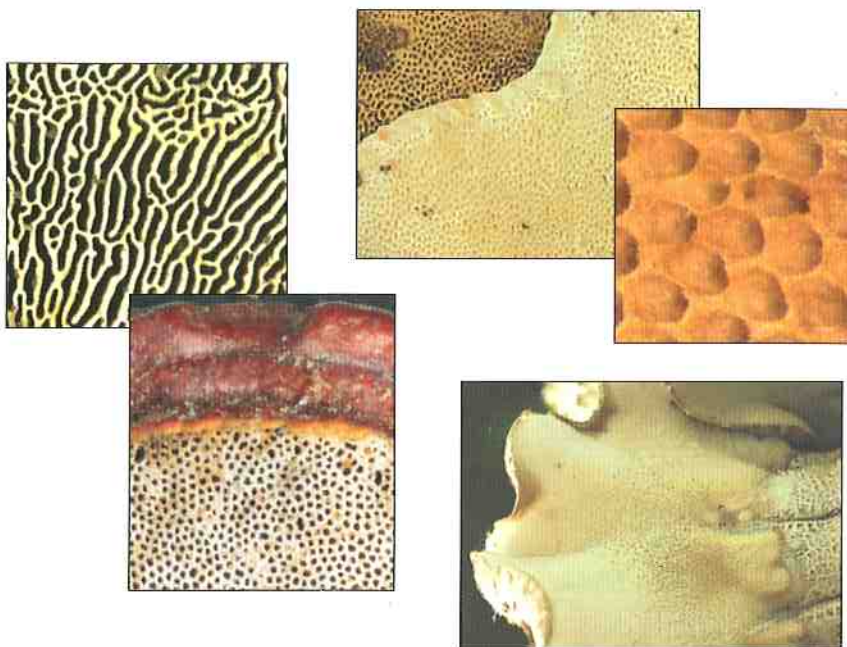
Meripilus giganteus (Pers.: Pers.) Karst.

Les polypores

Nom donné à des champignons dont la majorité vivent sur les bois morts ou travaillés, mais aussi sur les arbres encore sur pied.

Pour beaucoup d'entre eux, l'hyménium est tubulé poré, directement creusé dans le chapeau, dont la consistance est presque toujours ligneuse coriace.

Les tubes ne sont jamais séparables de la chair. Dans le cas de polypores pérennes, une nouvelle couche de tubes s'ajoute chaque année à la précédente pour former une structure tubulée stratifiée et ce, durant toute la vie du champignon. Mais tous n'ont pas ces caractéristiques, la grandeur et la forme des pores sont très variables. L'hyménium poré peut même faire place à des lamelles rayonnantes anastomosées ou à des plis plus ou moins serrés formant parfois un labyrinthe.



Les polypores peuvent être pourvus d'un pied distinct ou réduit, entier ou ramifié. Les formes et la structure de ces champignons sont très diversifiées.



Attaque et colonisation du bois

L'attaque de l'arbre vivant est le fait de parasites ou de « saprophytes agressifs ». On distingue souvent les pourritures qui infectent l'arbre par le haut et se développent du haut vers le bas, de celles qui pénètrent par le pied et envahissent le tronc en remontant. Les premières sont essentiellement engendrées par des spores qui germent et pénètrent le bois à la faveur de blessures (branches taillées ou cassées), d'ouvertures naturelles (lenticelles, cicatrices foliaires) ou provoquées par des insectes xylophages, de tissus affaiblis par le sec ou par une attaque microbienne.



> Le polypore
écailléux
*Polyporus
squamosus*
(Huds.: Fr.) Fr.



> Le tramète bossu
Trametes gibbosa (Pers.: Fr.) Fr.

Les secondes ont différentes origines : transmission du mycélium des racines d'un arbre malade à celles d'un arbre sain, directe dans le cas du dangereux parasite *Heterobasidion annosum*, ou indirecte, par l'intermédiaire de rhizomorphes (ex : *Armillaria mellea*). Certains champignons s'établissent d'abord dans l'aubier racinaire avant d'envahir le cœur du bois.



Sous forme de spores ou de fractions de mycélium, certaines espèces entrent par des blessures mineures, d'où elles sont transportées de manière diffuse par la sève circulante.

> Le schyzophylle commun
Schyzophyllum commune Fr.: Fr.

Des dégâts peuvent alors se manifester, sans voie d'entrée apparente, dans tout organe physiologiquement affaibli.



Quand le champignon a pénétré, la colonisation axiale du tronc peut être rapide, les hyphes croissant dans les vaisseaux sans être arrêtées par des barrières cellulaires.

La colonisation radiale est plus lente, car elle implique la rupture préalable des cloisons des ponctuations, la colonisation des parois du parenchyme non lignifié et le passage par les rayons médullaires. Le mode de colonisation dépend donc étroitement de l'anatomie du bois.

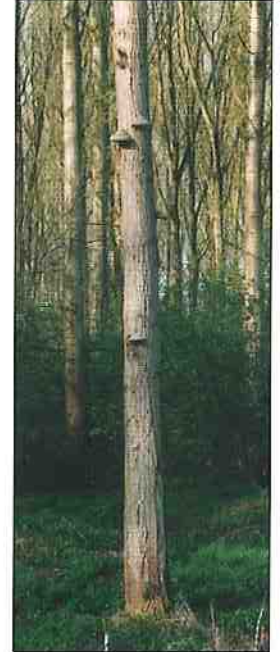
> Tronc en voie de décomposition par l'action de l'amadouvier
Fomes fomentarius (L.: Fr.) Fr.



> Consoles de Ganoderme aplani
Ganoderma lipsiense (Batsch) Atkinson

Des basidiomycètes, plus particulièrement des polypores, causent les plus importants dégâts, engendrant des pourritures brunes ou blanches du bois de cœur du tronc ou des branches charpentières.

D'autres destructeurs sont des envahisseurs opportunistes de l'aubier. Celui-ci, lorsqu'il est fonctionnel, est normalement saturé d'eau et donc trop mal aéré pour permettre la croissance mycélienne. Suite à des blessures importantes, la colonne d'eau des vaisseaux actifs est rompue; de ce fait, les tissus sont desséchés et aérés, ce qui facilite grandement la colonisation. Même, s'ils ont attaqué l'arbre vivant en tant que parasites, les champignons continuent en général à se développer en tant que saprophytes après la mort de leur hôte.



Fiches signalétiques
de quelques champignons lignivores
souvent rencontrés dans nos régions



L'armillaire couleur de miel

Armillaria mellea (Vahl : Fr.) Kummer

Ordre : Tricholomatales
Famille : Tricholomataceae

L'armillaire est une espèce collective comportant en nos régions cinq espèces linnéennes à pouvoir pathogène variable dont trois sont très communes :



> *Armillaria bulbosa*: parasite de faiblesse et saprophyte sur feuillus,

> *Armillaria ostoyae*: parasite primaire ou de faiblesse sur résineux



Armillaria mellea:

parasite primaire sur arbres feuillus, fruitiers et résineux, parasite de faiblesse sur le chêne.

Fruetifications: fasciculées, plus rarement isolées

Chapeau: conique au début, hémisphérique convexe avec marge enroulée, ornée de débris de voile partiel, puis aplati convexe ou un peu déprimé

Couleur: brun olive à jaune pâle, le centre est plus foncé

Chair: blanchâtre, mince

Lames: : blanchâtres, se tachant de brun rouge, largement adnées au pied et décurrentes en filet

Pied: cylindrique, souvent arqué, d'abord plein puis creux avec l'âge

Anneau: membraneux blanc bordé de jaune, persistant



Photo: Y. Deneyer CMMS 2004



Microscopie:

Spores elliptiques à paroi mince de 7-9 x 5,5-6,5 μ

Pourriture:

induisent une pourriture blanche fibreuse généralement très humide
Redoutables parasites (cause du pourridé agaric), elles insinuent entre le tronc et l'écorce des rhizomorphes noirs anastomosés durs comme du cuir.



Conséquence pour l'arbre:

l'armillaire est une espèce terricole, qui se développe dans le système racinaire des arbres.

Le champignon peut se comporter en parasite cortical détruisant l'assise cambiale.

Il forme alors des palettes mycéliennes blanches sous-corticales.

L'arbre colonisé dépérit et se dessèche rapidement. Lorsque l'arbre arrive à freiner l'extension du champignon, l'armillaire se comporte en agent lignivore. Elle s'infiltré dans le bois de cœur des grosses racines et provoque leur décomposition.



Petit à petit, elle progresse jusqu'au collet et peut même remonter de 50 cm à 1 m dans le tronc de l'arbre.

Activité lignivore:

l'armillaire peut progresser rapidement dans les racines d'ancrage. Ces altérations ne sont généralement pas efficacement compartimentées. Lorsque l'ensemble des mâts racinaires est dégradé, la stabilité de l'arbre est menacée.

Diagnostic mécanique:

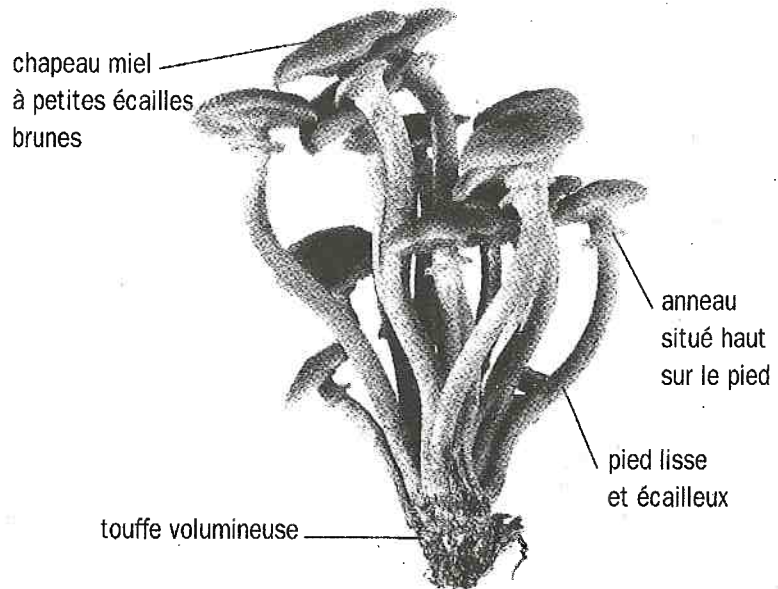
un arbre dont les mâts racinaires sont infectés par l'armillaire peut très bien ne pas exprimer de symptômes maladifs et conserver une vigueur satisfaisante. Grâce à l'émission d'un abondant chevelu racinaire au niveau de son collet, il bénéficie d'une alimentation hydrique suffisante. C'est la présence de touffes de carpophores au pied et autour de l'arbre qui doit alerter le gestionnaire.



La frappe à la base de l'arbre à l'aide d'un maillet et l'utilisation d'outils spécialisés (pénétrromètre, marteau à ondes sonores...) permettent de détecter l'infection. Si le champignon a déjà infecté un sujet d'un groupe ou alignement d'arbres, il faut vérifier l'état sanitaire de ses voisins car l'armillaire est réputée se transmettre par contact racinaire entre un arbre malade et un sujet sain par les rhizomorphes émis.

Éléments de décision:

il est très difficile d'évaluer l'importance des dégradations du système racinaire et ses conséquences sur la stabilité de l'arbre. Une excavation du sol et la vérification méticuleuse de l'état des principaux mâts racinaires d'ancrage sont indispensables. Cependant, en fonction du double comportement, aucune issue favorable à terme ne peut s'envisager pour l'arbre. Il sera indispensable de suivre régulièrement l'évolution de la contamination.



Le lenzite du chêne ou dédalée *Daedalea quercina* L.: Fr.

Ordre : Polyporales
Famille : Daedaleaceae

Sur bois mort de *Quercus* (Chênes) et *Castanea* (Châtaigniers), en général sur troncs, poutres ou bois d'œuvre, parfois aussi en parasite de faiblesse.

Tout au long de l'année, annuel ou pérenne.

La dédalée du chêne est facile à identifier. Les autres polypores lamellés sont différents d'aspects et leurs lames sont ramifiées, par exemple : *Lenzites betulina*, *Daedalopsis tricolor*, *Gloeophyllum* sp.



Fructification:

console dimidiée largement fixée au support

Surface pileïque: inégale, bosselée, plus ou moins zonée concentriquement

Couleur: brun-gris, feutré-apprimé

Margé: aiguë ocre brunâtre



Chair: brun clair, subéreuse

Face inférieure: labyrinthée de couleur beige, lames larges et épaisses distantes de 1 à 2 mm

Pied: absent

Microscopie: spores elliptiques de 5-7 x 2,5-3,5 μ

Structure trimitique

D1 : Hyphes génératrices à parois minces cloisonnées et bouclées

D2 : Hyphes squelettiques jaunâtres à parois épaisses

D3 : Hyphes conjonctives pleines jaunâtres, ramifiées et noueuses



La fistuline hépatique ou Langue de boeuf

Fistulina hepatica Schaeff.: Fr.

Ordre : Polyporales
Famille : Fistulinaceae

Sur bois mort ou vivant de *Quercus* (Chênes) le plus souvent à la face infère du bois ou sur tronc, rarement sur *Castanea* (Châtaigniers).
Isolé, été-Automne, annuel



Fructifications: linguiforme ou en forme de console sessile

Surface pileïque: convexe ou aplatie, gluante

Couleur: saumon à orange rouge devenant rouge vineux à rouge brun

Chair: molle, juteuse, blanchâtre à jaunâtre au début, passant à l'orange vineux par la suite

Face inférieure: porée, blanchâtre à jaunâtre se tachant de brun rouge au toucher ou chez les spécimens plus âgés

Pores: arrondis, 2 à 3 par mm

Pied: latéral, court et puissant



Pourriture:

induit une pourriture rouge cubique, elle se différencie de celle du polypore soufré par l'absence de plaques mycéliennes blanches dans les fissures entre les «cubes» de bois.

Conséquence pour l'arbre:

la fistuline hépatique colonise surtout la partie basse des troncs et remonte parfois dans les fûts à quelques mètres de hauteur. Elle se comporte en saprophyte exclusif du duramen.

Activité lignivore:

elle est faible. La dégradation du bois s'effectue très lentement. A l'intérieur des tissus duramenisés, le champignon semble d'abord s'intéresser aux tanins situés dans les lumens cellulaires, avant de s'attaquer aux parois. Ces tanins sont habituellement considérés comme des composés antifongiques. La fistuline peut être associée à d'autres agents lignivores plus actifs comme le polypore *Grifola frondosa*.

Diagnostic mécanique:

les cas de rupture d'arbres colonisés par *Fistulina* sont rares et l'existence de fructifications à la base du tronc ne correspond pas toujours à une pourriture étendue. Cependant une vérification, à l'aide du pénétromètre, s'impose pour s'assurer de leur stabilité



L'amadouvier
Fomes fomentarius (L.: Fr.) Fr.

Ordre : Polyporales
 Famille : Fomitopsidaceae

Parasite ou saprophyte de feuillus, très rare sur conifères.
 Tout au long de l'année, pérenne



Fructification: en forme de console ou ongulée (= forme de sabot) largement fixée au support

Surface pileïque: concentriquement ondulée, sillonnée, lisse, recouverte d'une croûte dure, glabre.

Couleur: brun foncé, ocre brun à rouge brun dans la jeunesse puis gris clair et foncé

Marge: obtuse, blanchâtre en période de croissance

Chair: brun clair, subéreuse, zonée concentriquement. Au point d'insertion, présence d'un noyau mycélien mou, concolore mais marbré de blanc



Face inférieure: porée, crème puis ocre clair à brunâtre

Pores: arrondis 3-5/mm

Tubes: stratifiés de couleur brune

Pied: absent

Microscopie: spores elliptiques-cylindriques, lisses de 12-20 x 3,5-7,5 μ

Structure trimitique

- D1 : Hyphes génératrices à parois minces cloisonnées et bouclées
- D2 : Hyphes squelettiques brunâtres à parois épaisses
- D3 : Hyphes conjonctives fortement ramifiées et noueuses

Pourriture: induit une pourriture blanche fibreuse de type simultanée

La réaction au KOH peut aider en cas de doute : il suffit de déposer un fragment de la croûte dans le KOH et de le disposer ensuite sur un papier blanc; s'il se forme une tache rouge, il s'agit de *Fomes fomentarius*.

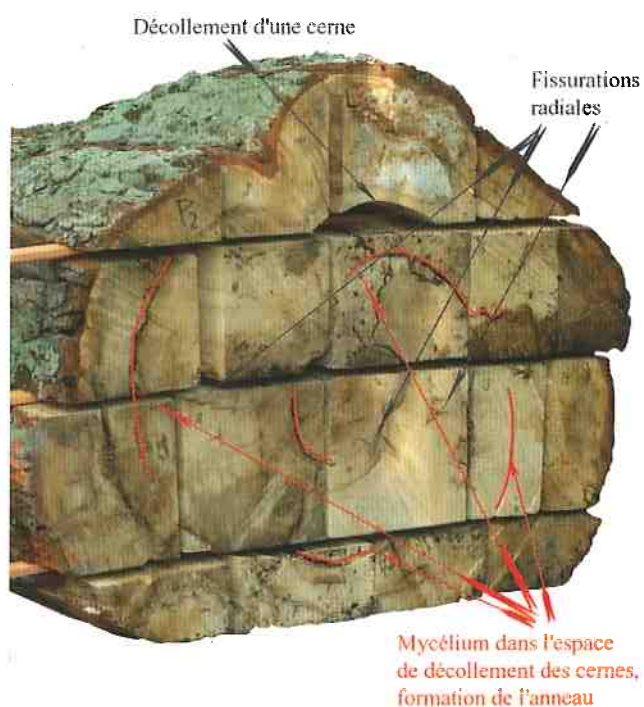


Conséquence pour l'arbre:

l'amadouvier s'installe généralement sur la partie épigée des arbres. Il atteint le bois de cœur à la faveur d'une blessure lorsque les tissus duramenisés sont mis à nu. Les spores ont le pouvoir d'infecter directement une plaie fraîche.

Activité lignivore:

la dégradation du bois est très rapide. Dans beaucoup de cas, l'arbre subit au préalable d'importantes fissurations internes. Dans le bois de cœur, un décollement de cerne tapissé par une épaisse plaque mycélienne formant un anneau continu est visible; il s'ensuit la formation de plusieurs fissures radiales colonisées à leur tour par le champignon. Les fissures radiales internes génèrent à l'extérieur de l'arbre de longues nervures longitudinales lorsqu'elles gagnent les tissus périphériques. Les fructifications de l'amadouvier apparaissent souvent au niveau d'une nervure qui constitue un point de sortie pour le champignon.



Diagnostic mécanique:

la sonorité obtenue en frappant avec un maillet est généralement très sourde; elle résulte des décollements de cernes et de la fissuration «en étoile» sans qu'une importante dégradation du bois ne soit toujours présente. Le pénétromètre permet de mettre en évidence les fissurations internes.



Éléments de décision:

les ruptures d'axes infectés sont la plupart du temps nettes et brutales. Elles peuvent survenir avant que les seuils habituels de dangerosité d'un axe ne soient dépassés.

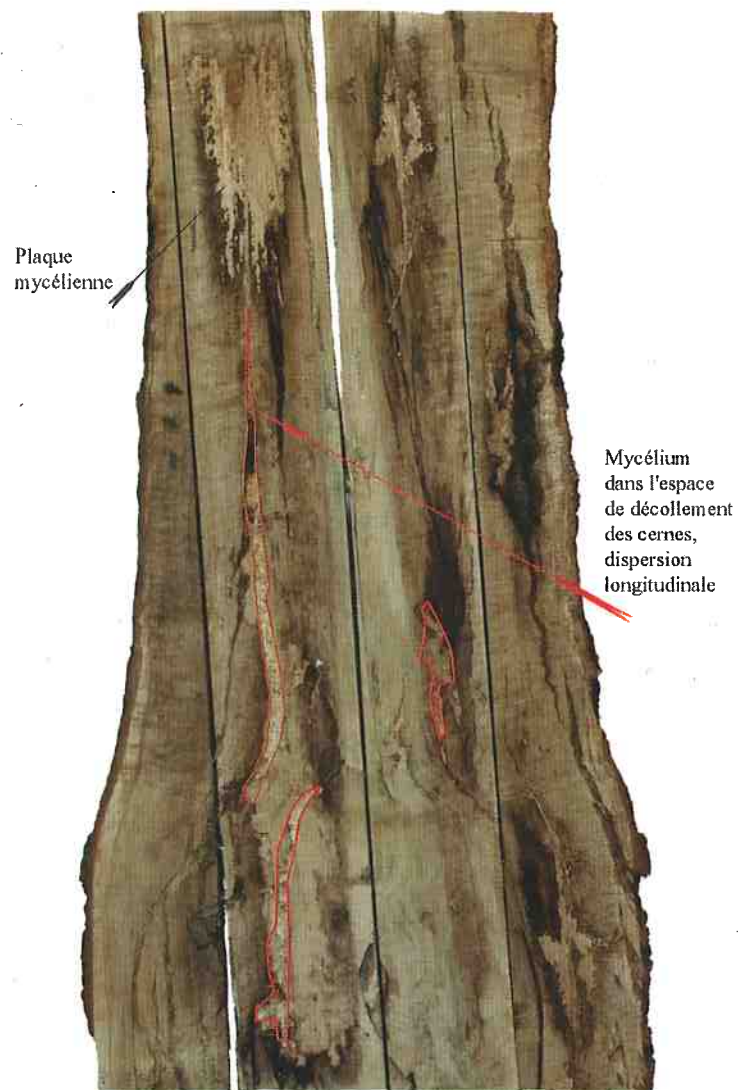


Certaines casses semblent être directement liées à la présence de fissures internes et non, comme c'est le cas chez la plus part des champignons lignivores, à la dégradation du bois.

Lorsque plusieurs fissures longitudinales apparaissent sur un tronc, la rupture devient possible; l'abattage de l'arbre est systématiquement recommandé s'il représente le moindre danger pour le public.

Dans le cas d'une contamination par *Fomes fomentarius*, rien, aucun soin ne pourra entraver la dégradation mécanique du sujet.





> Coupe longitudinale dans le tronc d'un marronnier d'Inde (*Aesculus hippocastanum* L.) atteint d'amadouvier (*Fomes fomentarius*)



Le fomes des pins

Fomitopsis pinicola (Fr.) Karsten



Ordre : Polyporales
Famille : Fomitopsidaceae

Saprophyte sur bois mort de feuillus et de conifères, plus rarement parasite; Colonise les troncs debout ou couchés ainsi que les souches. Tout au long de l'année, pérenne.

De vieux exemplaires de ce champignon peuvent être confondus avec *Fomes fomentarius*.

Distinction: la croûte du *Fomes* ne fond pas sous l'effet d'allumette contrairement à celle du *Fomitopsis*. La trame de couleur crème permet de distinguer facilement cette espèce de celles du genre *Phellinus* qui sont à chair brune

Fructification: en forme de console ou ongulée (= forme de sabot) largement fixée au substrat

Surface pileïque: irrégulièrement bosselée, à larges zones de croissance concentriques, lisse, recouverte d'une croûte dure fondant sous l'effet d'une allumette

Couleur: gris noirâtre, zone de croissance orange-rouge ou jaune-rouge

Marge: arrondie blanche, un peu ondulée

Chair: crème à ocracée, dure et tenace, épaisse au point d'insertion

Face inférieure: porée, jaunâtre puis crème

Pores: arrondis 4-5/mm

Tubes: nettement stratifiés

Pied: absent

Microscopie:

spores elliptiques-lisses de 6-8,5 x 3-3,5 μ

Structure trimitique

D1 : Hyphes génératrices larges cloisonnées et bouclées

D2 : Hyphes squelettiques larges à parois épaisses

D3 : Hyphes conjonctives à parois épaisses ramifiées courtes et larges

Pourriture : induit une pourriture rouge cubique



Conséquence pour l'arbre:

le champignon peut provoquer la carie des cœurs des arbres vivants, mais son rôle est de décomposer le bois des arbres tués par d'autres agents pathogènes ou abattus. L'infection entre le plus souvent par une blessure déjà existante sur l'arbre. Comme *Fomitopsis* colonise la plupart du temps du matériel mort, les foyers d'infections peuvent être nombreux. Le bois infecté devient d'abord jaune pâle à brunâtre puis brun rougeâtre. Il devient alors friable par sections cubiques. Le pourtour des «cubes» présente des fructifications rouges en larges bandes. Le bois devient alors très cassant. Les plans de ruptures sont nets et très marqués. Des «cubes» typiques de cette pourriture sont présents de part et d'autre de la cassure.

Les ganodermes (*Ganoderma sp.*)

Ganoderma adspersum (Schulz.) Donk

Ordre : Ganodermales

Famille : Ganodermataceae

Parasite de feuillus et de Abies (sapins), souvent dans les parcs et allées.

Tout au long de l'année, pérenne

Fructification: en forme de console largement fixée au substrat

Surface pileïque: ondulée, bosselée, à peine zonée, croûte dure sillonnée, lisse, recouverte d'une croûte dure, glabre, mate, résistante à la pression

Couleur: rouge brun

Marge: en bourrelets crème à jaunâtre

Chair: très épaisse sans inclusions blanchâtres, fibreuse et subéreuse, faiblement zonée concentriquement, rouge brun foncé

Face inférieure: finement porée, crème, se tachant de brun à l'état frais, sans galles



Pores: arrondis 4-5/mm

Tubes: stratifiés

Pied: absent

Microscopie: spores elliptiques, verruqueuses et brunes 8,5-12 x 6,5-8,0 μ

Structure trimitique

D1 : Hyphes génératrices cloisonnées et bouclées

D2 : Hyphes squelettiques brunes à parois épaisses

D3 : Hyphes conjonctives brunes à parois épaisses, ramifiées

Pourriture: Induit une pourriture blanche fibreuse



Le ganoderme applani *Ganoderma lipsiense* (Batsch) Atkinson

Ordre : Ganodermales
Famille : Ganodermataceae

En général sur bois mort de feuillus, mais aussi parasite de faiblesse ou de blessure, plus rarement sur conifères.

Tout au long de l'année, pérenne

Fructification: en forme de console orbiculaire largement fixée au support



Surface piléique: concentriquement ou irrégulièrement, sinueuse, lisse et mate, croûte cédant à la pression et souvent recouverte de la sporée du carpophore



Couleur: brun clair au début, puis brun cannelle à gris, noir dans la vieillesse

Marge: à bourrelets blanchâtres

Chair: rouge-brun à brun foncé entremêlé ou rayée de stries blanches, subéreuse

Face inférieure: finement porée, blanche à crème se tachant de brun au toucher, souvent pourvue de galles d'insecte

Pores: arrondis 5-6/mm

Tubes: stratifiés marbrés de blanc (mycélium)

Microscopie: spores elliptiques tronquées brun clair, inégales 7-9 x 4,5-6 μ



Structure trimitique

D1 : Hyphes génératrices cloisonnées et bouclées

D2 : Hyphes squelettiques brunâtres à parois épaisses

D3 : Hyphes conjonctives fortement ramifiées à parois épaisses

Pourriture: induit une pourriture blanche fibreuse de type sélective

Conséquence pour l'arbre:

le ganoderme aplani colonise principalement la partie hypogée des arbres. Le champignon s'installe dans le système racinaire et gagne ensuite le collet, puis remonte parfois dans le tronc jusqu'à plusieurs mètres de hauteur.

Les fructifications sont visibles principalement entre les contreforts racinaires ou dans la partie inférieure du tronc.

Activité lignivore:

les constituants de la lignine sont préférentiellement décomposés. Sur les vieux arbres, la compartimentation du foyer de pourriture est imparfaite et l'altération s'étend dans le sens radial

Diagnostic de l'arbre:

les fructifications sont parfois confondues avec celles de l'haplopor du frêne (*Perreniporia fraxinea*). Lorsque le système racinaire est très atteint, l'arbre perd de sa vitalité et enclenche une descente de cime.

L'altération de la base du tronc se détecte lors de la frappe au maillet ou lors de mesure au pénétromètre (ou autre technique d'imagerie).

Enfin, les arbres atteints présentent souvent un empatement excessif et des contreforts racines proéminents.

**Élément de décision:**

les ruptures d'arbres infectés par les ganodermes sont nombreuses. Dans des lieux publics ou fortement fréquentés, ce champignon est à craindre pour le danger que représentent les arbres colonisés. Pour des arbres d'alignement par exemple, sa seule présence doit conduire à l'abattage du sujet contaminé.

Pour des arbres classés, dans les parcs ou en milieu urbain, il est indispensable d'investiguer plus profondément au niveau racinaire afin de préciser l'étendue de la dégradation et ainsi de pouvoir décider du maintien ou de l'abattage de l'arbre.



Le ganoderme luisant *Ganoderma carnosum* Pat.

Ordre : Ganodermales
Famille : Ganodermataceae

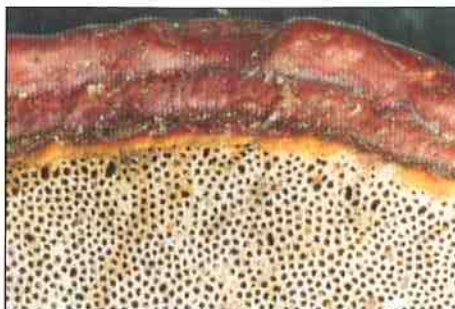
Sur souches de résineux, plus rarement sur feuillus.
Annuel et peu fréquent

Fructification: stipitée et spatulée ou plus large que longue, irrégulièrement arrondi ou réniforme

Surface pileïque: ondulée, bosselée parfois zonée concentriquement, croûte lisse un peu molle

Couleur: acajou ou noir-rouge

Marge: étroite et sinucuse, d'abord blanche devenant concolore au chapeau



Chair: brun clair, subéreuse et tenace

Face inférieure: porée, gris blanchâtre

Pores: arrondis 3-4/mm

Tubes: brun clair

Pied: latéral, cylindrique ou aplani, rarement ramifié, brillant de couleur brun rouge

Microscopie: spores largement elliptiques 11-13,5 x 7,5-8,5 μm

Structure trimitique

D1 : Hyphes génératrices peu nombreuses cloisonnées et bouclées

D2 : Hyphes squelettiques brunâtres à parois épaisses

D3 : Hyphes conjonctives fortement ramifiées à parois épaisses ou pleines

Pourriture: induit une pourriture blanche fibreuse de type sélective

Conséquence pour l'arbre:

le ganoderme luisant colonise principalement la partie hypogée des arbres.
Le champignon s'installe dans le système racinaire et gagne ensuite le collet

Activité lignivore:

modérément actif, il semble progresser à la fois dans les parties duramenisées et dans l'aubier

Diagnostic de l'arbre:

de part ces caractéristiques précédemment décrites, ce champignon est facile à reconnaître. Bien qu'annuelles, les fructifications persistent plusieurs mois au pied des arbres.

***Ganoderma resinaceum* Boud. in Pat.**

Ordre : Ganodermales
 Famille : Ganodermataceae



Parasite de feuillus, souvent à la base des troncs.

Toute l'année, pérenne et assez rare.

Le liquide émis à la coupure se transforme en quelques minutes en une masse résineuse dure.

La croûte laquée du chapeau fond sous l'effet d'une allumette.

Fructification: console largement appuyée au substrat mais seulement fixée par le centre

Surface pileïque: ondulée, zonée, lisse, résineuse molle dans la jeunesse, croûteuse et dure dans la vieillesse

Couleur: orange brun devenant rouge brun noirâtre

Marge: noduleuse jaune à orange jaune

Chair: brun clair, fibreuse et coriace

Face inférieure: finement porée, blanchâtre, se tachant de brun au toucher, sans galle

Pores: arrondis 3/mm

Tubes: indistinctement stratifiés

Pied: absent

Microscopie:
 spores largement elliptiques 10-13 x 7-9 μm

Structure trimitique

D1 : Hyphes génératrices larges cloisonnées et bouclées

D2 : Hyphes squelettiques brunâtres à parois épaisses

D3 : Hyphes conjonctives brunes, ramifiées à parois épaisses

Pourriture: induit une pourriture blanche fibreuse de type sélective



	Ganoderma applanatum	ganoderma adpersum	Ganoderma carnosum	Ganoderma resinaceum
Nom vernaculaire	Ganoderme aplani		Ganoderme luisant	
Hôte	Feuillus, rarement résineux Fagus(Hêtre), Acer(Erable), Tilia(Tilleul), Populus(Peuplier)...	Feuillus et résineux Fagus(Hêtre), Acer(Erable), Tilia(Tilleul),Platanus(Platane), Quercus(Chêne)...	Feuillus et résineux Fagus(Hêtre), Acer(Erable), Tilia(Tilleul), Platanus(Platane), Quercus(Chêne)...	Feuillus Principalement Quercus(Chêne)
Forme de la fructification	- Console bosselée à sillons concentriques, peu épaisse	- Console largement fixée au substrat, épaisse	- Console aplaniée en forme de rein ou d'éventail, parfois un pied latéral	- Console au substrat par le centre
Couleur du carpophore (Face sup.)	Brun rouille (sporée) Noirâtre dans la vieillesse	Rouge-brun devenant noir-brun avec l'âge	Brun-rouge brillant	Cuivre-brun devenant rouge-brun à noirâtre
Croûte	Lisse, mince, cède facilement à la pression du doigt	Ondulée, dure, résistante à la pression du doigt	Laquée à zones concentriques plus ou moins marquées	Lisse, ondulée largement zonée, molle à l'état jeune, dure dans la vieillesse
Marge	Blanche	En bourrelet couleur crème à jaunâtre	Etroite et blanche dans sa jeunesse puis jaunâtre rouge devenant concolore au chapeau	Crème à jaune-orangé
Sporee	Brun rouille	Rouge - brun	Brune	
Face inférieure (Pores)	Blanche, brunit à la pression, pores minuscules, souvent présence de galles	Blanc-creme, sans galles	Blanc pur à l'état jeune, brun rouille en vieillissant	Blanchâtre-creme se colorant en brun au toucher, sans galles

Tubes Coupe transversale	5 à 15 mm, stratifiés marbrés de blanc	10 à 15 mm, stratifiés sans inclusions blanches	5 à 15 mm, non stratifiés	8 à 10 mm indistinctement stratifiés sans trame entre les couches
Trame	Plus mince que les tubes, brun foncé marbrée de stries blanches	Très épaisse, plusieurs fois la longueur des tubes, fibreuse, subéreuse, roue-brun foncé, sans stries blanches	Peu épaisse	Mince, zonée concentriquement, brun clair (couleur de liège), fibreuse et coriace
Console	Pérenne, isolée ou en groupe, imbriquée ou superposée	Pérenne	Isolée ou en petit groupe, se désagrège au cours de l'hiver	Pérenne
Spores	8 X 6 µm	Beaucoup plus grande que G. Applanatum		10 à 13 µm X 7 à 9 µm
Particularité	En Europe du Nord, souvent présence de galles en forme de "tétine" à la face inférieure occasionnées par un diptère Agathomia wankowiczii.			Couche jaunâtre sous la croûte laquée et émission à la coupure d'un liquide qui se transforme rapidement en résine Croûte laquée fond sous la flamme
Partie de l'arbre altérée	Partie hypogée	Partie hypogée	Partie hypogée	Partie hypogée
Type de pourriture	Pourriture blanche	Pourriture blanche	Pourriture blanche	Pourriture blanche



Pourriture : blanche fibreuse

Mycélium



Le bois atteint perd progressivement de sa rigidité tout en conservant une grande élasticité

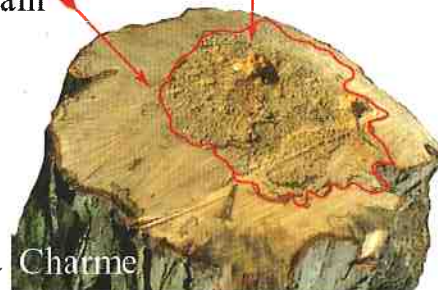
Aubier sain



Hêtre

Partie infectée

Aubier sain



Charme

Le polypore des pins

Heterobasidion annosum (Fr.) Bref.

Famille : Perenniporiaceae

Sur bois vivant ou mort de conifères, plus rarement sur feuillus, souvent à la base du tronc ou sur les racines. Parasite important des pessières.
Toute l'année, pérenne.



Fructification: en forme de console dimidiée largement fixée au substrat, chapeau large

Surface piléique: résupinée, bosselée, noduleuse

Couleur: brun clair à brun noir

Marge: sinueuse, aigue, brun rougeâtre, zone de croissance blanchâtre

Chair: blanchâtre à crème

Face inférieure: finement porée

Pores: arrondis-anguleux 3-5/mm

Tubes: stratifiés

Pied: absent

Microscopie: spores arrondies 4,5-6 x 4-4,5 µm

Structure dimitique

D1 : Hyphes génératrices cloisonnées, non bouclées

D2 : Hyphes squelettiques à parois épaisses

Pourriture: induit une pourriture blanche

Remarque:

des confusions sont possibles avec *Fomitopsis pinicola*.

Le champignon est dangereux et peut coloniser de très jeunes arbres qui une fois atteints se caractérisent par un écoulement de résine et un épaissement de la base du tronc.



L'Inonotus du chêne ou polypore radié *Inonotus dryadeus* (Pers.: Fr.) Murr.

Ordre : Hyménochaetales

Famille : Coltriciaceae

Parasite des chênes, surtout à la base des troncs. Été-automne, annuel.



Fructification: tuberculeuse ou en forme de console largement adhérente au substrat

Surface pileïque: bosselée, mate, finement feutrée, ornée de fines gouttes de sudation rouge-brun en période de croissance

Couleur: crème au début, puis orange-brun à brun tabac

Marge: épaisse jaune clair ou plus pâle

Chair: molle, succulente rouge-brun

Tubes: longs

Face inférieure: finement porée, blanc-gris à jaune-brun

Pores: arrondis 2-5/mm

Pied: absent

Microscopie: spores largement elliptiques 7,5-8,5 x 5,5-6,5 μm

Structure dimitique

D1 : Hyphes génératrices cloisonnées, non bouclées

D2 : Hyphes squelettiques brunâtres à parois épaisses

Caractéristique: soies à parois épaisses brunes, ventruës ou en crochet avec une base élargie

Pourriture: induit une pourriture blanche fibreuse

Conséquence pour l'arbre:

L'Inonotus du chêne colonise principalement la partie hypogée des arbres. Le champignon s'installe dans le système racinaire à partir de plaies accidentelles. Il se développe principalement à la face inférieure des racines. Il se répand d'abord dans l'aubier avant d'envahir le bois de cœur, gagne ensuite le collet, puis remonte parfois dans la partie inférieure du tronc.

Activité lignivore:

le bois dégradé est très clair et spongieux. Sec, il se casse facilement avec les doigts en petits cubes. La décomposition du bois est assez lente sur les arbres vivants. Contrairement à d'autres lignivores, il n'est pas prouvé que l'inonotus du chêne puisse passer d'un arbre à l'autre

Élément de décision:

la rupture des mâts racinaires par le champignon est responsable du basculement des arbres infectés. Aussi, il faut dégager les principaux mâts racinaires et les contreforts pour effectuer des sondages au pénétromètre qui permettront d'évaluer l'importance de la dégradation.

Si celle-ci est importante, la décision d'abattage de l'arbre doit être prise. Dans le cas contraire, le risque de rupture est momentanément écarté. Des contrôles réguliers de l'évolution de la contamination devront être prévus.

Le polypore hérissé (hispide) *Inonotus hispidus* (Fr.) Karts.



Ordre : Hyménochaetales
Famille : Coltriciaceae

Parasite sur tronc et branches des feuillus (Pommiers, noyers, platanes, ...).
Isolé ou en groupe.

Bien qu'annuelles, les vieilles fructifications de teinte noire restent accrochées au substrat durant la période hivernale. La détection du champignon après la chute des feuilles est donc aisée.
Été, annuel.

Fructification: dimidiée ou en forme de console largement fixée au substrat

Pied : absent

Surface pileïque: faiblement ondulée-bosselée, lisse puis mate, feutrée par la présence de touffes d'hyphes agglutinées

Couleur: orangé foncé à rouge-brun, brun-noir dans la vieillesse



Face inférieure: porée, présence de gouttelettes de sudation jaune au début puis brunâtre

Pores: arrondis à anguleux 2-3/mm



Marge: noduleuse blanchâtre à jaune soufre

Chair: épaisse, molle, spongieuse, jaune-ocre devenant immédiatement brunâtre à la coupe

Tubes: longs



Microscopie:

spores ovales brunâtres à parois épaisses
7-10 x 6-7,5 µm

Structure monomitique

D1 : Hyphes génératrices larges, non bouclées

Caractéristique: soies à parois épaisses brunes, ventrues avec une base élargie

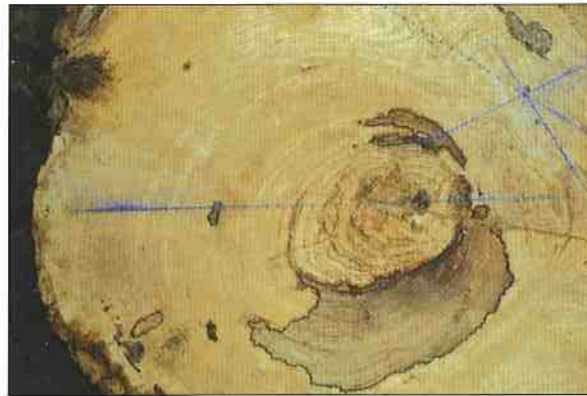
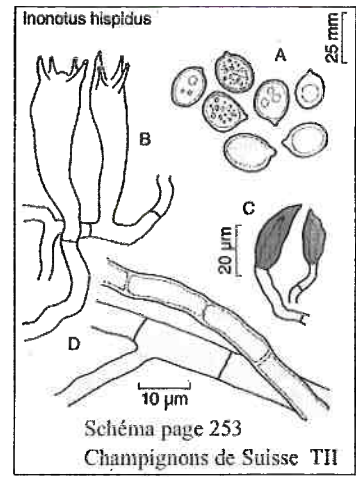
Pourriture: induit une pourriture blanche fibreuse

Conséquence pour l'arbre:

le polypore hérissé s'observe dans la partie épigée des arbres. Ce champignon saprophyte s'installe dans le bois de cœur à la faveur d'une blessure importante.

Il semble posséder un certain pouvoir parasite lui permettant de perturber l'élaboration du cal de recouvrement de la plaie laissant apparaître dans sa partie centrale, une plaque d'aubier noirci et partiellement dégradé.

Il s'ensuit alors une zone chancreuse. Sa progression dans le bois sain est modérée. Sur les platanes notamment, la compartimentation de l'altération est particulièrement remarquable



Élément de décision:

le champignon est particulièrement redouté sur les frênes et les sophoras. La décision d'abattre ou de maintenir un sujet infecté dépendra des résultats obtenus lors des mesures au pénétromètre ainsi que de l'observation de l'état de vitalité du cal de recouvrement.

Le polypore soufré *Laetiporus sulphureus* (Fr.) Murr.

Ordre : Polyporales
Famille : Polyporaceae

Sur bois vivant et mort de feuillus (surtout Prunus, Robinia...), plus rarement des conifères.
Printemps-automne, annuel.

Fructification: en forme de console dimidiée, flabelliforme, plusieurs carpophores imbriqués.
Surface du chapeau veloutée et zonée



Couleur: : jaune-soufre à orange, paille-grisâtre dans la vieillesse

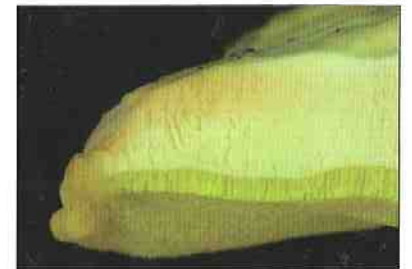
Marge: noduleuse blanchâtre à jaune soufre

Chair: charnue et tendre à l'état jeune devenant plus tard crayeuse et cassante

Face inférieure: porée, ondulée, jaune-soufre un peu verdâtre, parfois présence de gouttelettes de sudation

Pores: irrégulièrement arrondis à allongés 2-5/mm

Tubes: longs, non détachés



Pied: absent

Microscopie: spores arrondies 5-6,5 x 3,5-4,5 μm

Structure dimitique

D1 : Hyphes génératrices cloisonnées mais non bouclées

D2 : Hyphes conjonctives cloisonnées, non bouclées mais avec des excroissances irrégulières

Caractéristique: soies à parois épaisses brunes, ventrues avec une base élargie.



Pourriture:

induit une pourriture brun-rouge cubique dont les fissures sont tapissées de plaques mycéliennes

Conséquence pour l'arbre:

le polypore soufré est un saprophyte qui contamine le bois de cœur et épargne l'aubier. Seuls les tissus lignifiés sont colonisés, les tissus périphériques étant épargnés. Le champignon colonise principalement le tronc et les grosses charpentières



Il est aussi parfois observé à la base des troncs.



La décomposition du bois est rapide et les cas de ruptures sont nombreux.

L'arbre réagit à l'infection par la compartimentation. La barrière 4 s'oppose à l'extension radiale du champignon. La pourriture étant bien confinée dans les parties lignifiées, l'arbre peut ne pas présenter de symptômes extérieurs de dépérissement. La présence de pourriture brune cubique est détectée à l'aide d'un maillet lors de la frappe du tronc et des autres outils du diagnostic.

Élément de décision:

les mesures de l'épaisseur du bois sain restant doivent être précises. En fonction de ces données, on déterminera les seuils de « risque acceptable » qui motiveront la décision de maintien ou d'abattage de l'arbre.

Polypore soufré

Laetiporus sulphureus



Pourriture : brune cubique



Pourriture rouge cubique dont les fissures sont tapissées de mycélium.

Fructification annuelle constituée de nombreux chapeaux en forme d'éventail, imbriqués ou superposés parfois très volumineuse.
Face supérieure lisse, bosselée de teinte jaune orangé vif.
Face inférieure jaune soufre.



Parasites de blessures, il s'installe dans le bois de coeur et épargne l'aubier.
Il est donc saprophyte.
Le champignon colonise principalement le tronc et les charpentières mais est aussi parfois observé au collet ou sur les racines.



Décomposition très rapide du bois
Les cas de rupture d'arbres sont nombreux



Le polypore géant *Meripilus giganteus* (Pers.: Pers.) Karst.



Ordre : Polyporales
Famille : Grifolaceae

Sur des souches et le système racinaire des feuillus, principalement sur *Fagus*.
Été-automne, annuel.

On croit souvent cette espèce terrestre, mais elle vient toujours sur le bois, même enfoui ou sur des racines

Fructification: formée de plusieurs chapeaux imbriqués, étagés atteignant parfois un mètre, naissant d'une souche collective tubéreuse importante. Chaque chapeau est dimidié à flabelliforme avec un point d'attache en forme de pied, plus ou moins ondulé, flexueux et épais, surface zonée et ridée radialement

Couleur: jaune-brun à rouge-brun foncé

Marge: ondulée blanchâtre dans la jeunesse, devenant noirâtre avec l'âge.



Chair: tendre et fibreuse, blanchâtre à crème



Face inférieure: porée, blanchâtre à crème, se tache de noir au toucher, ce qui distingue cette espèce de *Bondarzewia montana* et de *Grifola frondosa*

Pores: arrondis 3-5/mm

Tubes: longs, non détaches



Pied: absent

Microscopie: spores elliptiques
5,5-6,5 x 4,5-5,5 μm

Structure monomitique

D1 : Hyphes non bouclées à parois épaisses

Pourriture:

induit une pourriture blanche fibreuse. Le bois atteint est spongieux et très humide.

Conséquence pour l'arbre:

la pourriture reste cantonnée dans le système racinaire et ne remonte que très rarement dans le tronc. Les arbres atteints présentent parfois des symptômes extérieurs de dépérissement tels que des feuilles nanifiées et peu colorées. C'est un champignon très actif. Les fructifications apparaissent souvent entre les contreforts racinaires, mais peuvent également être éloignées de la base du tronc. Elles disparaissent entièrement au cours de l'hiver. Ce décomposeur de souche provoque une perte d'ancrage sur les arbres vivants. Ceux-ci basculent en entraînant une motte réduite entourant les mâts racinaires décomposés.

**Élément de décision:**

la seule présence de fructification ne suffit pas à la prise de décision. Une excavation méthodique des mâts racinaires de surface et une observation méticuleuse de leur état sanitaire sont indispensables. La décision de maintien ou d'abattage dépendra du nombre de ceux-ci atteints par la pourriture et de leur répartition dans la surface d'ancrage de l'arbre. En cas de maintien, un suivi régulier du sujet est nécessaire pour estimer l'évolution de la contamination.



L'haplopore du frêne *Perenniporia fraxinea* (Fr.) Ryv.

Ordre : Polyporales
Famille : Polyporaceae

Parasite le plus souvent sur frêne (*Fraxinus*) et autres feuillus. Fréquemment à la base des troncs. Aussi sur souches et bois mort. Toute l'année, pérenne



Fructification: en forme de console largement fixée au substrat, inclut souvent des débris végétaux

Surface pileïque: ondulée, bosselée, lisse et mate.

Couleur: crème à ocracé clair devenant brunâtre à noirâtre

Marge: ondulée crénelée, crème-orange au début puis brunâtre.



Face inférieure: finement porée, crème jaunâtre se teintant de rose en séchant

Pores: arrondis et anguleux, 3-5/mm

Tubes: les couches de tubes sont séparées par une assise de trame

Chair: : tubéreuse, coriace, couleur de bois clair, faiblement zonée, se colore de brun par le Melzer



Pied: absent

Microscopie: spores ovales 6,5-8,5 x 5-6,5 μm



Structure dimitique

D1 : Hyphes génératrices larges, cloisonnées et bouclées

D2 : Hyphes squelettiques à parois épaisses, ondulées

Pourriture:

induit une pourriture blanche fibreuse

Conséquence pour l'arbre:

le champignon colonise surtout la partie hypogée des arbres. A partir des racines infectées, il peut remonter à la base du tronc. Ce saprophyte s'installe dans le bois lignifié.

Assez actif chez les sujets affaiblis, le champignon progresse plus lentement dans les arbres sains.

Quelquefois, les arbres atteints par l'haplopora développent un empattement de la base du tronc (culot de bouteille).



Élément de décision:

les cas de rupture dus à ce champignon sont rares.

Des mesures au pénétromètre donneront une image représentative du niveau de dégradation du bois. La décision de l'abattage ou du maintien de l'arbre sera prise en fonction de ces mesures.



Carie brune cubique du pied *Phaeolus schweinitzii* (Fr.: Fr.) Pat.

Ordre : Polyporales
Famille : Polyporaceae

Saprophyte sur souches ou racines pourries, plus rarement parasite. Plus fréquent sur conifères, parfois sur feuillus.

Du printemps à l'automne, annuel.

Fructification: formée de chapeaux arrondis à discoïdes englobant des branches ou des plantes herbacées. Elles sont en forme de console lorsqu'elles prennent naissance sur des plaies situées à la base de l'arbre, ou pédonculées et plus ou moins en forme d'entonnoir lorsqu'elles poussent sur le sol, sous l'arbre.



Surface pileïque: feutrée, excroissances noduleuses, bosselée

Couleur: jaune foncé à orangé, centre plus foncé, à rouge-brun

Marge: jaune-soufre à vert-jaune, devenant brun-rouge à noire.

Chair: brune, tendre et juteuse

Face inférieure: constituée de pores labyrinthés vert-jaune se tachant de brun au toucher



Pores: arrondis 3-5/mm

Tubes: atteignant 10 mm

Pied: plein, irrégulièrement cylindrique à tubéreux

Microscopie: spores elliptiques ovales 5-8,5 x 3,5-4,5 μm

Structure monomitique

D1 : Hyphes brunâtres non bouclées mais parfois ramifiées à angle droit



Pourriture: induit une pourriture rouge cubique, de fines couches de mycélium blanc sont parfois visibles entre les blocs de pourriture

Conséquence pour l'arbre:

le champignon est un parasite virulent pour les épicéas, surtout les peuplements âgés. Il persiste longtemps dans les racines des arbres tombés. L'agent de la carie brune cubique réduit le volume de bois et s'étend souvent jusqu'à +/- 3 mètres de hauteur dans le cœur des racines et du pied.

Le phellin des groseilliers *Phellinus ribis* (Schum.: Fr.) Karst.

Ordre : Hymenochaetales
Famille : Hymenochaetaceae

Sur feuillus et arbustes d'ornement, notamment, les genres *Ribes* (Groseilliers) et *Euonymus* (Fusain).
Toute l'année, pérenne.



Fructification: en forme de console orbiculaire entourant parfois totalement la base de l'hôte, congrescente

Surface pileïque: lisse à bosselée

Couleur: brun-rouille puis brun noirâtre

Marge: sinueuse, mince et aigüe

Chair: consistance subéreuse et tenace, de couleur rouille

Face inférieure: porée, brun-cannelle à brun-rougeâtre

Pores: arrondis 6-7/mm

Tubes: courts

Pied: absent

Pourriture: induit une pourriture blanche



Poypore du tremble *Phellinus tremulae* (Bondarzew) Bondarzew & Borisov



Ordre : Hymenochaetales
Famille : Hymenochaetaceae

Parasite ou saprophyte sur *Populus tremula* (Tremble) mais aussi plus rarement sur d'autres feuillus. Toute l'année, pérenne.

Fructification: console en forme de sabot, parfois tubéreuse, forme souvent un angle aigu avec l'horizontale

Surface pileïque: lisse, croûteuse, fendillée longitudinalement avec l'âge

Couleur: gris à noirâtre **Marge :** plus clair et aigüe

Chair: mince, subéreuse brun foncé

Face inférieure: finement porée, gris, brun-tabac ou brun foncé

Tubes: nettement stratifiés **Pores :** fins, arrondis-anguleux, 5-6/mm

Spores: subglobuleuses, lisses, hyalines, 4,8-5,6 x 3,5-5 μm

Pied: absent

Pourriture: induit une pourriture blanche



Le phellin des arbres fruitiers *Phellinus tuberosus* (Baumg.) Niemelä

Ordre : Hymenochaetales
Famille : Hymenochaetaceae



Fréquent sur les troncs vivants ou morts et les branches de divers Prunus.
Toute l'année, pérenne.

Fructification: semi-piléée ou à chapeaux en général décurrents noduleux, à bourrelets imbriqués. La fructification est résupinée si le champignon croît à la face infère d'une branche

Surface piléique: inégale, lisse et mate,
Couleur: gris-brun, souvent teintée de vert par des algues

Marge: en bourrelets gris-brun à cannelle

Chair: subéreuse, tenace brun rouille (couleur fauve)

Face inférieure: finement porée de couleur brun rouille

Pores: arrondis 4-5/mm

Tubes: les tubes stratifiés

Pied: absent

Microscopie: Spores ovales à arrondies 5-7 x 4-5,5 µm

Structure dimitique:

D1 : Hyphes génératrices à parois minces cloisonnées et non bouclées

D2 : Hyphes squelettiques larges brunes à parois épaisses

Présences de soies ventrues et fusiformes brunes



Pourriture: induit une pourriture blanche fibreuse. Le bois atteint est souvent parcouru par des traînées brunes noirâtres

Conséquence pour l'arbre:

le phellin des arbres fruitiers colonise exclusivement la partie épigée des arbres. Dans de nombreux alignements, les Prunus sp variété horticole, sont fortement infectés par le phellin. Les tailles répétitives et souvent drastiques, ainsi que les blessures dues au choc des véhicules sont à l'origine de cette constatation. Le champignon est souvent bien compartementé dans les tissus internes

Éléments de décision: les cas de rupture ne concernent généralement que des axes secondaires des arbres contaminés. Bien souvent, des tailles réduisant le houppier suffisent à maintenir des conditions acceptables de sécurité.

Le polypore du bouleau

Piptoporus betulinus (Bull.: Fr.) Karst.

Ordre : Polyporales
 Famille : Polyporaceae

Parasite-saprophyte spécifique du bouleau
 Été-automne, annuel.

Fructification: conchoïde ou en forme de console fixée latéralement par une portion bossue en guise de pied

Surface pileïque: lisse, laquée et pelliculaire.

Couleur: crème-blanc dans la jeunesse, ocre-brun à gris-brun et souvent fendillée plus tard

Chair: blanche subéreuse, molle et juteuse

Face inférieure: finement porée, blanche à crème

Pores: arrondis 3-4/mm

Tubes: longs

Microscopie: spores allantoïdes 5-7 x 1,5-2 μ m

Structure dimitique

D1 : Hyphes génératrices à parois minces, larges, cloisonnées et bouclées

D2 : Hyphes squelettiques à parois épaisses, rarement cloisonnées et peu ramifiées

Pourriture: induit une pourriture blanche (aussi parfois cubique selon les auteurs)



Le polypore écailleux *Polyporus squamosus* Fr.

Ordre : polyporales
Famille : Polyporaceae

Parasite ou saprophyte des feuillus, souvent dans les parcs et dans les alignements.

Ce grand et beau polypore est facilement reconnaissable. Il apparaît souvent en parasite de blessure et croît jusque dans la couronne des arbres.

Printemps-été, annuel.



Fructification: formée de chapeaux arrondis-ovales, flabelliformes, fixés latéralement. Surface du chapeau avec des squames concentriques brun-foncé

Couleur: jaune à ocre-jaune

Chair: coriace, dure, blanche à crème, farineuse

Face inférieure: porée, crème à jaune pâle

Pores: grands, irrégulièrement anguleux, 0,5-1/mm

Tubes: non détachables



Pied: court, plein, atténué à la base et feutré de brun-noir

Microscopie:

spores cylindriques à étroitement ovales, 11-15,5 x 4,5-5,5 μm

Structure dimitique

D1 : Hyphes génératrices à parois minces cloisonnées et bouclées

D2 : Hyphes conjonctives à parois épaisses et ramifiées

Présences de soies ventruées et fusiformes brunes

Pourriture: induit une pourriture blanche fibreuse.



Polypore écailleux

Pourriture : blanche fibreuse

Polyporus squamosus

Mycélium



Sur Tilleul sp.



Jeunes carpophores sur tilleuls
Souvent parasites de blessures
Jusque dans la couronne des arbres

Parasites de blessures



Face supérieure du chapeau
Couleur ocre-brun, squames
concentriques brun clair
à brun foncé

Parties
du bois
dégradé
par le
champignon



Face inférieure du chapeau
Couleur crème à jaune pâle
Tubes à gros pores irrégulièrement
anguleux-ovales (1/2 à 1 pore/mm)

Barrière
de
compartimentation

Aubier sain



Élaboré à partir de "Champignons" - ÉDITIONS DE HAINAUT
SOCIÉTÉ DES ÉDITEURS SCIENTIFIQUES DE HAINAUT
Chemin de la Vallée de la Sambre, 1700 - MARIUS
Tel: 049 1 233 388 Fax: 049 1 233 389
www.hainaut.be

Le polypore amer *Oligoporus stypticus* (Pers.: Fr.) Gilbn. Ryv.

Ordre : Polyporales
Famille : Polyporaceae

Parasite de faiblesse ou saprophyte sur souche, bois mort ou tronc tombé de conifères.
Été-automne, annuel.

Fructification: en forme de console largement fixée au substrat, épaisse, triangulaire à la coupe, isolée ou parfois plusieurs carpophores

Pied: absent.

Surface pileïque: plane, finement feutrée, bosselée-ondulée.

Couleur: blanche au début, puis ocracé-crème



Chair: cassante, tendre, fibreuse, de couleur blanche, amère et astringente

Face inférieure: porée, un peu labyrinthée, blanche

Pores: arrondis à allongés

Tubes: une couche formant la face inférieure du champignon

Microscopie: spores elliptiques lisses 3,5-5 x 2-2,3 μm

Structure monomitique:
hyphes subhyméniales à parois minces
hyphes de la trame du chapeau à parois épaisses



> *Oligoporus caesius* (Schrad.: Fr.) Gilbn. Ryv.
Se distingue de *O. stypticus* par sa couleur blanche bleutée et ses pores arrondis-anguleux parfois déchirés.

> *Oligoporus subcaesius* (David) Donger.
Sur feuillus, est plus épais et moins bleu que *O. caesius*

Pourriture: tous induisent une pourriture rouge cubique.

Le tramète bossu

Trametes gibbosa (Pers.: Fr.) Fr.



Ordre : Polyporales
Famille : Coriolaceae

Parasite de faiblesse sur feuillus,
isolé ou en troupe imbriqué.
Tout au long de l'année, annuel.

Fructification: en forme de console largement fixée au substrat

Surface piléique: bosselée-ondulée, parfois zonée, nettement umbonée au point d'attache, veloutée ou feutrée

Couleur: blanchâtre dans la jeunesse, ocracée à jaune brunâtre par la suite ou verdâtre à cause des algues

Chair: tenace et élastique, blanche à crème

Face inférieure: porée, blanchâtre à crème puis gris-ocre dans la vieillesse

Pores: allongés radialement, presque lamellés près de la marge

Tubes: longs, épais

Pied: absent

Microscopie: spores : 4-5,5 – 2-2,5 µm

Structure trimitique

hyphes génératrices larges, cloisonnées et bouclées

hyphes squelettiques à parois épaisses

hyphes conjonctives à parois ramifiées et larges

Remarque:

le tramète pubescent (*Trametes pubescent* (Schum.: Fr.) Pil.) ressemblant à *T. gibbosa* a des carpophores minces et finement feutrés, une surface piléique blanche ou crème dans la jeunesse, ocre-jaune plus tard, plus souvent en grande colonie

Pourriture: induit une pourriture blanche



Le tramète versicolore

Trametes versicolor (Fr.) Pil.

Ordre : Polyporales
Famille : Coriolaceae

Parasite de faiblesse sur feuillus, conifères et sur bois mort. Ce champignon n'est pas spécifique. En colonie ou imbriqué, plus rarement isolé.

Tout au long de l'année, annuel.



Fructification: chapeau dimidié, flabelliforme ou en rosette

Surface piléique: sinueuse, ridée radialement finement veloutée

Couleur: : concentriquement teintée de couleurs différentes, zones noirâtres, brunâtres, rougeâtres et jaunâtres, souvent un peu brillante



Chair: coriace et tenace

Face inférieure: porée, blanchâtre à crème ou jaune-ocre

Pores: arrondis-anguleux ou allongés, 2-5/mm

Tubes: courts

Pied: absent

Microscopie:

spores 6-7 x 1,5-2 μm Hyphes génératrices larges, cloisonnées et bouclées

Structure trimitique

hyphes génératrices à parois minces, larges, cloisonnées et bouclées

hyphes squelettiques à parois épaisses

hyphes conjonctives à parois ramifiées et larges

Remarque:

il existe deux espèces voisines de *Trametes* qui se développent en saprophytes sur le bois morts des feuillus, plus rarement des conifères, il s'agit de *Trametes multicolor* (Schaeff.) Jül. dont la chair est plus mince (<5mm) même au point d'insertion

et de *Trametes hirsuta* (Wulf.: Fr.) Pil. à la surface piléique zonée fortement hirsute alternant avec des zones poilues feutrées, plus particulièrement vers le centre

Pourriture: tous induisent une pourriture blanche.

Le lenzite du bouleau *Lenzites betulina* (L.: Fr.) Fr.

Ordre : Polyporales
Famille : Coriolaceae

Parasite de faiblesse, mais surtout sur bois mort de chênes, bouleaux et hêtres.
Tout au long de l'année, annuel, peu fréquent



Fructification: chapeau dimidié, flabelliforme ou en rosette
Surface pileïque: lisse, étroitement zonée concentriquement
Couleur: ocre clair à gris-ocre, souvent colonisé par des algues vertes.
Chair: blanchâtre et tenace
Face inférieure: à hyménophore lamellé, lames à arêtes lisses ou faiblement crénelées, entremêlées de lamellules, fourchues, crème à ocre, gris-brun
Pied: absent



Microscopie: spores 4,5-5,0 x 2-2,5 µm, lisses, hyalines

Structure trimitique

hyphes génératrices larges, cloisonnées et bouclées
hyphes squelettiques à parois épaisses
hyphes conjonctives du sous-hyménium ramifiées à excroissances subulées

Pourriture: induit une pourriture blanche

Remarque: ne pas confondre avec d'autres polypores à hyménophore lamellé tels que *Daedalopsis confragosa* var. *tricolor* (Bull. ex Mérat) Bond. & Sing. et certaines espèces de *Gloeophyllum*



La stérée pourpre

Chondrostereum purpureum (Fr.) Pouz.

Ordre : Corticales
Famille : Corticiaceae

Parasite de faiblesse sur feuillus, plus rarement de conifères provoquant la mort de son hôte. Ce champignon est visible toute l'année, en troupes nombreuses formant des rangées superposées d'individus.
Saprophyte sur bois mort.

Fructification: : complètement résupinée ou étalée avec des petits chapeaux plats ou à marge ondulée, de +/- 1 mm d'épaisseur

Surface pileïque: feutrée, ondulée, plus ou moins zonée

Marge: aigüe, blanchâtre, lobée, ondulante

Couleur: pourprée à l'état jeune, puis gris blanchâtre

Chair: : fine (+/- 0,5 mm), brun foncé, coriace, douce au goût devenant cornée en séchant

Face inférieure: lisse, ondulée-bosselée, de couleur rose-violet ou même brun-violet avec l'âge.

Pied: absent



Microscopie: spores elliptiques – cylindriques 6,5-8 x 2,5-3,5 µm

Au contraire des autres *Stereum*, ses spores ne bleussent pas au contact de réactifs iodés



Structure monomitique

hyphes larges, cloisonnées, bouclées

Contrairement aux autres *Stereum*, les hyphes terminaux plus ou moins renflés sont absentes

Pourriture: induit une pourriture blanche.

Conséquences pour l'arbre:

ce champignon est à l'origine de « la maladie du plomb ». Il libère une substance qui provoque le détachement de l'épiderme des feuilles. Le feuillage attaqué présente un éclat terne blanchâtre qui peut avoir un aspect argenté, plombé ou laiteux. Plusieurs branches peuvent être contaminées. La réceptivité des arbres augmente avec les dégâts causés par le gel et la sécheresse. Un printemps froid et humide suivi par un été pluvieux favorise l'attaque du champignon.

Le polypore en touffe ou Poule des bois

Grifola frondosa (Dicks.: Fr.) S.F.Gray

Ordre : Polyporales
Famille : Grifolaceae

A la base des troncs de feuillus (*Fagaceae* principalement), rare mais fidèle à la station.
Été-automne, annuel.

Fructification: fasciculée de forme irrégulièrement arrondie, formée de nombreux chapeaux en forme de feuilles

Surface pileïque: fibreuse-sillonnée radialement, glabre

Couleur: ocre-brun à gris-brun



Chair: blanche fibreuse et molle

Face inférieure: finement porée, blanchâtre à crème

Pores: anguleux à arrondis 2-4/mm

Pied: court, central à toute la fructification, ramifié, blanchâtre à crème

Microscopie: spores elliptiques 5-7 x 3,5-5 µm

Structure monomitique (ou dimitique selon les auteurs)

Pourriture: induit une pourriture blanche

Ne pas confondre avec:

Sparassis laminosa Fr.

Sur terre et en relation avec le bois, en forme de chou-fleur plus dense et plus commune que *S. crispa*. En forêt de conifères et aussi de feuillus, plus particulièrement *Quercus* et *Fagus*.



Sparassis crispa Wulf.: Fr.

Sur terre, en relation avec le bois, en forme de grosse éponge, de couleur crème-ocre à bordures brunâtres. Typique des forêts de conifères.



Le schizophylle commun *Schizophyllum commune* Fr.: Fr.

Ordre : Polyporales
Famille : Schizophyllaceae

Très commun, solitaire ou en colonie, généralement sur bois de feuillus, rarement sur résineux. Ce champignon est fortement hygroscopique. Tout au long de l'année.

Fructification: en forme d'éventail conchoïdes, flabelliformes, faiblement fixée au substrat par un point ou sessile

Surface: villose à hirsute, feutrée. Zonée concentriquement et radialement ondulée ou faiblement cannelée

Marge: crénelée, dentée enroulée dans la jeunesse.



Couleur: gris blanchâtre à rose blanchâtre, teintée de verdâtre avec l'âge par des algues

Chair: tenace, mince et ocre

Face inférieure: lamellée, lames disposées radialement depuis le point d'insertion, arrête fendue et retroussée à l'état sec. Couleur rose carné avec parfois un aspect lilas

Pied: parfois existant mais alors très court

Microscopie:
spores cylindriques un peu arquées
5,6-7 x 1,8-2,3 μm

Pourriture: induit une pourriture blanche et fibreuse de l'aubier

Conséquence pour l'arbre:
attaque les parties épigées (branches, charpentières et tronc). Le champignon s'installe sur les plaies superficielles et colonise l'aubier ainsi mis à nu. Il représente peu de danger pour le tronc et les grosses charpentières mais peut parfois favoriser l'installation d'autre lignivores plus dangereux. Surtout responsable de la rupture de petite branches colonisées. Celles-ci doivent être éliminées lors des élagages.



Lustuline

Ustulina deusta (Fr.) Petrak

Famille : Sphaeriaceae

Sur troncs, racines et souches de feuillus.
De la fin du printemps à l'automne, pérenne.



Fructification:

constituée à maturité, d'une croûte noire et cassante incluant les périthèces globuleux et noirs dont l'ostiole rend la surface de la croûte bosselée-onduleuse et finement ponctuée.

Les zones de croissance apparaissent au printemps jusqu'en été et forment des surfaces blanchâtres à grisâtres farineuses.

C'est le stade imparfait (conidies).



C'est seulement par la suite que se forment les périthèces et les ascques contenant des ascospores.

Microscopie:

spores : elliptiques un peu aplaties sur une face, lisses, brun-foncé, avec une fente germinative. 33-33 x 7-8 μm

Asques:

octosporés avec un anneau apical

On observe également des paraphyses filiformes



Pourriture:

induit une pourriture alvéolaire.

La dégradation de la cellulose intervient dans la paroi secondaire (S1 et S2). Les hyphes se développent à l'intérieur de la paroi et forment des alvéoles caractéristiques.

La cellulose de la paroi primaire est épargnée.



Ustulina deusta (Fr.) Petrak

est un champignon ascomycète lignivore, c'est-à-dire qu'il détruit le bois en induisant une pourriture alvéolaire.



Photo W. Moore.



Sur Platane d'Orient



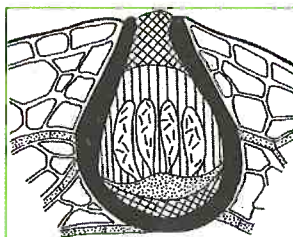
Ostioles des périthèces.



Les spores elliptiques (ascospores), au nombre de huit sont contenues dans des sacs allongés appelés asques.



Coupe d'un périthèce.



Les asques sont logées dans des périthèces globuleux noirs inclus dans la croûte.

.....

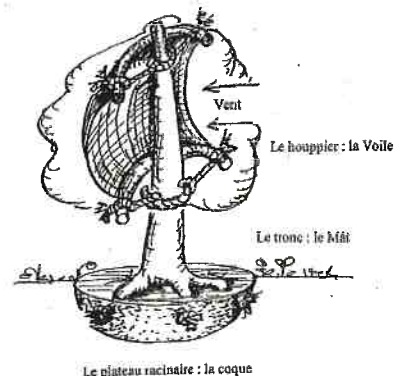
Les outils du diagnostic

- Introduction

D'un point de vue mécanique, un arbre peut être comparé à la structure d'un bateau, avec le houpier qui représente la voile dans laquelle le vent vient exercer une charge, le tronc qui représente le mât et le plateau racinaire qui représente la coque. La force du vent est transmise par l'intermédiaire du tronc et redistribuée dans le sol par l'intermédiaire des racines.

> L'arbre, une chaîne d'éléments porteurs selon C. Mattheck.

Un arbre subit à la fois des stress internes (dus à son propre poids) et des forces d'origine externe, principalement le vent. Le chargement induit par le vent est probablement le plus dangereux puisqu'il introduit à la fois des stress de flexion (ploiement) et de cisaillement.



L'arbre est une structure qui est auto-optimisée d'un point de vue mécanique. Si une telle structure est chargée équitablement et si tous les points de sa surface doivent résister au même stress, elle ne présentera ni de surfaces surchargées (points de rupture), ni de surfaces sous chargées (matière gaspillée). On peut donc dire qu'une structure optimale a un stress uniforme réparti sur toute sa surface.

Si l'arbre ne subit aucune blessure au désordre mécanique, sa structure sera optimisée pour répartir le stress de manière uniforme en chaque point de sa surface.

Lorsqu'on lui inflige une blessure, son cambium est capable de mesurer l'étendue d'un stress induit par une entaille et d'immédiatement produire localement une quantité particulièrement abondante de nouveau matériau (par exemple, un cerne annuel anormalement grand).

- Les outils d'aide au diagnostic

La compréhension des phénomènes de rupture et de basculement ainsi que la reconnaissance des principaux symptômes visuels extérieurs nous permettent de déceler la présence d'une zone de faiblesse mécanique et dans certains cas d'en déduire sommairement sa forme au cœur de l'arbre. Il est maintenant important de connaître le pourcentage de bois sain résiduel afin de déduire les risques réels de rupture.

Pour ce faire, plusieurs outils de diagnostic sont à la disposition du gestionnaire. Le diagnostic de l'état des arbres urbains a motivé de nombreuses recherches pour mettre au point des outils fiables de la qualité interne (Matteck et Breloer, 1994, Drenou, 1997).



Les outils fondés sur un percement et la mesure de la force nécessaire à l'avancement de la mèche (Pénétrromètre) sont actuellement les plus opérationnels. Ceux fondés sur la propagation d'une onde mécanique sont très prometteurs mais leur fiabilité reste à améliorer.

Dans tous les cas, l'utilisation de nouveaux outils doit être envisagée dans le cadre d'une méthode globale de diagnostic basée sur les différents points suivants (P. Averseng, comm.pers.) :

- 1- Une analyse stationnelle : historique de l'inventaire, étude du biotope et environnementale des arbres à diagnostiquer
- 2- Une analyse individuelle par arbre : diagnostic visuel de l'état physiologique: symptômes de dépérissement, inventaires de tous les défauts externes et révélateurs de défauts internes.
- 3- Une synthèse des résultats, arbre par arbre, essence par essence, et par unité de gestion.

Les outils de gestion spécialisés interviennent alors comme une aide au diagnostic et ne sont en aucun cas utilisés systématiquement mais seulement dans les cas litigieux, pour confirmer et surtout quantifier l'appréciation de l'expert.

Une analyse visuelle bien conduite peut considérablement améliorer le diagnostic.

Des travaux de recherche à court terme, utilisant l'expérience des gestionnaires, le savoir-faire des experts du diagnostic des arbres urbains, les connaissances scientifiques des botanistes et des spécialistes de la qualité des bois sur le fonctionnement cambial et le développement des arbres, sont nécessaires pour formaliser des méthodes de diagnostic fiables et pratiquement utilisables, validées par quelques expérimentations directes.

Le développement et la diffusion de ces méthodes auprès des chefs de chantier et du personnel spécialisé sera alors un problème de formation professionnelle. En ce domaine, les diverses formations organisées pour les élagueurs et les agents des gestionnaires des patrimoines arborés urbains, d'alignements ou de parcs pourront être utiles.

1) Le maillet

Avec un peu d'expérience, il est parfois possible d'affiner un diagnostic avec un maillet en bois ou un marteau en caoutchouc afin de découvrir l'endroit où se trouve la paroi résiduelle la plus fine de bois sain. Cependant, il faut bien admettre que le signal sonore révélé par le maillet peut être ambigu dans bien des cas et conduire à des erreurs d'appréciation.

2) Le marteau à ondes sonores

Un appareil plus sophistiqué mais également plus coûteux est un marteau à ondes sonores relié à un transducteur sonore, un oscilloscope et une imprimante thermique. Un second transducteur est placé de l'autre côté du tronc. Une version moins coûteuse utilise deux vis insérées de manière diamétralement opposée dans le tronc.

Un coup de marteau sur une des vis envoie un signal sonore à travers le tronc jusqu'à l'autre vis qui reçoit le signal. Un temps de transmission long indique la présence de bois dégradé. Un temps de transmission court indique l'absence de défaut.

Cette méthode est efficace dans le cas où la zone de dégradation est relativement grande par rapport au rayon du tronc.

Malheureusement, certains types de dégradation (*Ustulina deusta*) ne peuvent pas être détectés par cette méthode, en tout cas aux premiers stades de la dégradation.

3) Le pénétromètre

Le résistographe est un appareil qui enregistre la quantité d'énergie nécessaire pour enfoncer une mèche en rotation, à vitesse constante, dans le bois sur une certaine profondeur. Cette mesure d'énergie est naturellement une mesure des propriétés mécaniques du bois traversé par la mèche. Une baisse rapide de l'énergie de forage à une certaine profondeur peut indiquer la présence d'une zone de forte dégradation, peut-être compartimentée, alors qu'une baisse progressive de l'énergie de forage peut mener à la conclusion que la qualité du bois se détériore graduellement avec la profondeur.

Certains auteurs estiment que la perforation du bois est néfaste puisqu'elle entraîne la perforation des éventuelles barrières de protection (compartimentation) dont le rôle est de contenir une zone attaquée par un agent lignivore.

Le résistographe, bien que déjà beaucoup utilisé sur le terrain, fait encore l'objet de recherches, notamment pour comprendre quelle propriété mécanique du bois est la mieux corrélée avec l'énergie de forage (module d'élasticité, énergie de rupture, etc.).

Cet appareil donne de meilleurs résultats dans la détection de dégradation causée par des champignons de type pourriture brune (*Fomitopsis pinicola* ou *Laetiporus sulphureus*) que par des champignons de type pourriture blanche (*Polyporus squamosus*), principalement aux premiers stades de la dégradation.

4) Le fractomètre

Lors d'une inspection, les mesures indiquent parfois que l'épaisseur du bois entourant une déféctuosité est très proche du minimum requis pour garantir une marge de sécurité acceptable. Il est alors important de mesurer la résistance de ce bois.



Pour ce faire, on prélève un échantillon (une carotte) à l'aide d'une tarière de Pressler à l'endroit détecté par la présence d'un symptôme extérieur particulier. Cette carotte est alors rompue à des intervalles de 1 cm en faisant tourner manuellement un rotor dans le fractomètre. Pour chaque rupture de l'échantillon, on mesure le moment de flexion sur l'échelle de l'appareil ainsi que l'angle de flexion juste avant la rupture. La surface sous la courbe mesure l'énergie qui doit être produite pour rompre l'échantillon de bois.

5) Le tomographe à impulsions

Le tomographe à ondes sonores existe depuis quelques années, mais il a été récemment modernisé. Le tomographe à impulsions fonctionne sur la même base qu'un marteau à ondes sonores amélioré.

Plusieurs sondes sont connectées entre elles et positionnées dans l'écorce à l'aide de clous, de manière à couvrir toute la circonférence du tronc. Le système est relié à un ordinateur portable.

Une impulsion mécanique ou électrique est donnée sur chaque sonde. Les sondes réceptrices reçoivent chacune un signal sonore en provenance de la sonde émettrice après un temps t .

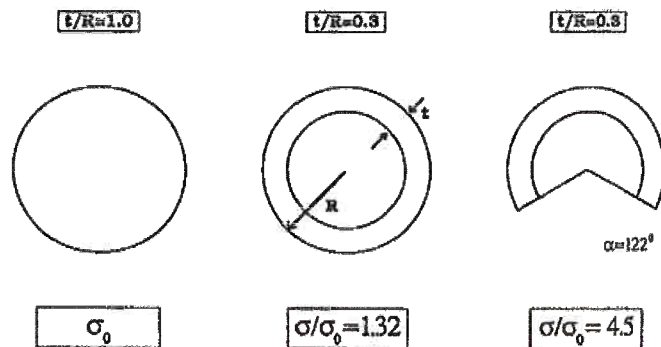
En fonction de la distance séparant chaque sonde, l'ordinateur calcule les vitesses de propagation du son dans toute les directions, et reconstitue ainsi toute la surface du tronc étudiée.

L'avantage du tomographe est qu'il permet de reconstituer l'intérieur du tronc, même en trois dimensions. Les principaux inconvénients sont que le système n'est pas encore 100% fiable, le temps nécessaire pour mesurer un arbre est très long.

6) Méthode VTA : application pratique à l'arboriculture

La procédure d'évaluation de solidité/stabilité des arbres basée sur la méthode Visual Tree Assessment (VTA) développée par le centre de recherche de Karlsruhe (Claus Mattheck).

L'objectif est de déterminer avec la plus de précision quelle est l'étendue de la zone potentiellement dangereuse et donc quel est le pourcentage de bois sain résiduel. À partir de cette estimation, il est possible de déterminer le risque de rupture en se basant sur la théorie des seuils de risque acceptables décrite par Mattheck.



En pratique, les arbres dotés d'une cavité fermée ou presque fermée sont peu enclins à se rompre par flexion. Lorsque la paroi résiduelle de bois sain (PRBS) est inférieure à 30-35% du rayon du tronc, la rupture résulte généralement de l'aplatissement de la section. En présence d'une cavité ouverte sur plus de 120° de la circonférence, la rupture par flexion est plus probable (© Mattheck, 1994).

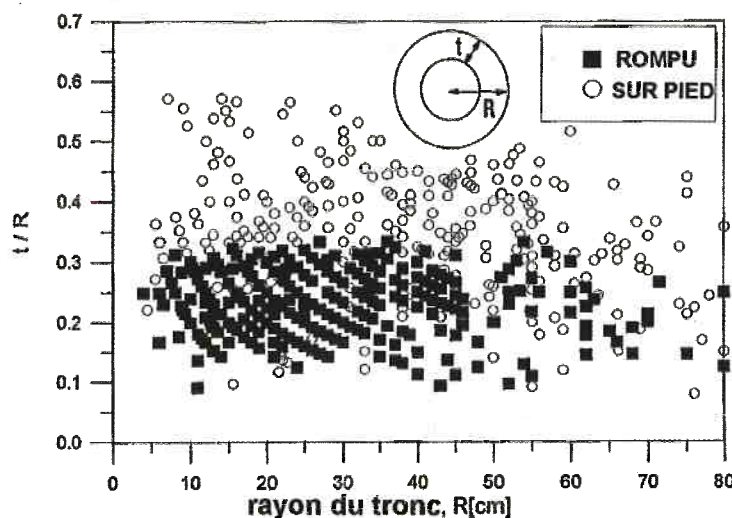


Diagramme VTA basé sur une étude de terrain montrant que la rupture se produit quand le rapport t/R est inférieure à 0,3 – 0,32. Dans le cas d'arbres creux dont la couronne a été fortement réduite, la rupture se produit avec un rapport t/R inférieur à 0,25 (© Mattheck, 1994).

7) La méthode SIA (Static Integrated Assessment)

ou comment diagnostiquer la tenue mécanique d'un arbre de manière non destructrice.

La méthode SIA, basée sur une analyse « statique » de l'arbre, a été développée au début des années nonante par Lothar Wessolly, docteur de l'Université de Stuttgart.

En contradiction avec la méthodologie développée par Claus Mattheck, Wessolly ne se contente pas de connaître l'épaisseur de bois sain résiduelle afin de déterminer le risque de rupture, il met sur pied une méthodologie qui permet d'estimer la force du vent dans la couronne et d'en déduire, en fonction de nombreux critères, les risques de rupture du tronc ainsi que le risque de basculement.

L'arbre est une construction naturelle qui obéit aux mêmes règles mécaniques que les constructions techniques. L'évaluation de la sécurité des arbres commence par deux questions : quelle est la résistance du matériau et celle de la structure et quelle est l'ampleur de la charge appliquée sur la structure. L'arbre peut se résumer à un oscillateur flexible soumis à une charge unilatérale. Ce modèle physique peut être facilement décrit sous forme d'équations mathématiques.



La charge la plus importante résulte des vents forts agissant dans les couches voisines du niveau du sol. Dans les couches d'air proches du niveau du sol, la vitesse des vents est moindre que celle des vents qui agissent dans les couches plus élevées. Parallèlement, un grand arbre offre un plus grand bras de levier qui développe une plus grande force.

Un calcul intégrant ces deux effets permet de vérifier qu'à superficies de houppiers équivalentes, un arbre deux fois plus haut qu'un autre subit en fait une charge quatre fois plus grande. La hauteur de l'arbre constitue un facteur essentiel lors de l'appréciation de la sécurité.

Le bois vert est le matériau dont est fait un arbre. La limite d'élasticité est atteinte lorsqu'un matériau passe de l'état élastique à l'état plastique. La charge exercée à la limite d'élasticité correspond à la résistance intrinsèque du matériau. Si on compare les bois verts de différentes essences, on se rend compte que le matériau ligneux ne varie pas beaucoup selon l'essence. Dans l'ensemble, la résistance à la pression des bois verts est de l'ordre de 2 kN/cm^2 .

8) Analyse statique intégrée (SIA)

Le diagnostic d'un arbre porte sur la sécurité de rupture et la sécurité d'ancrage. La sécurité de rupture concerne les parties aériennes, les éléments du houppier et le tronc tandis que la sécurité d'ancrage concerne l'empatement, le système racinaire et le sol.

La méthode d'analyse comporte quatre phases :

- 1ère étape : diagnostic visuel de sécurité de rupture
- 2ème étape : diagnostic visuel de sécurité d'ancrage
- 3ème étape : évaluation globale de sécurité
- 4ème étape : analyse approfondie par tests de traction

9) Evaluation globale de sécurité (méthode SIA)

La marche à suivre est présentée dans les diagrammes A, B et C suivants.

Diagramme A :

à partir de la hauteur de l'arbre, de l'essence, de la forme du houppier et du site, on détermine dans un premier temps le diamètre de tronc sous écorce nécessaire pour assurer une sécurité de 100%.

Diagramme B :

le rapport entre le diamètre de tronc mesuré et le diamètre nécessaire pour la sécurité de l'arbre donne un coefficient qui permet de déterminer la sécurité statique globale de l'arbre.

Si la sécurité statique globale est supérieure à 100%, le tronc peut présenter une cavité. L'épaisseur de paroi résiduelle nécessaire pour assurer une sécurité de 100% est alors évaluée à l'aide du diagramme C.

Si, au contraire, la sécurité statique globale est inférieure à 100%, une réduction du houppier sera nécessaire. L'ampleur de la réduction à réaliser peut être déterminée pour chaque forme d'arbre à l'aide du diagramme D, en partant de l'augmentation de sécurité désirée. Cette intervention n'est évidemment justifiée que dans le cas de sites sensibles où l'arbre peut présenter un risque objectif pour le public.

10) Le test à la traction

La résistance d'un arbre peut se mesurer sans sondage par des tests de traction ou pulling tests. Pour ce faire, on exerce une traction sur le houppier sous le contrôle d'un dynamomètre.



Un **élastomètre**, instrument de haute précision conçu pour ce genre de test, est fixé par deux pointes dans l'écorce. Le déplacement des deux pointes donne l'allongement des fibres situées en périphérie du tronc, valeur mesurée en microns qui traduit la réaction de l'arbre à la charge exercée. Cette valeur est ensuite utilisée pour un calcul d'extrapolation effectué à l'aide d'un logiciel spécifique intégrant de nombreux paramètres dont, par exemple, la prise au vent offerte par l'arbre.



Ce calcul permet de connaître la charge exercée par le vent sur le houppier et donne la valeur théorique d'allongement des fibres en conditions d'ouragan.

Si celle-ci dépasse la limite d'élasticité du bois connue pour l'essence (tables), l'arbre n'est pas considéré comme statiquement stable. Cette technique permet de tester le tronc et la charpente et de détecter sans aucun sondage les parties mécaniquement faibles de l'arbre.

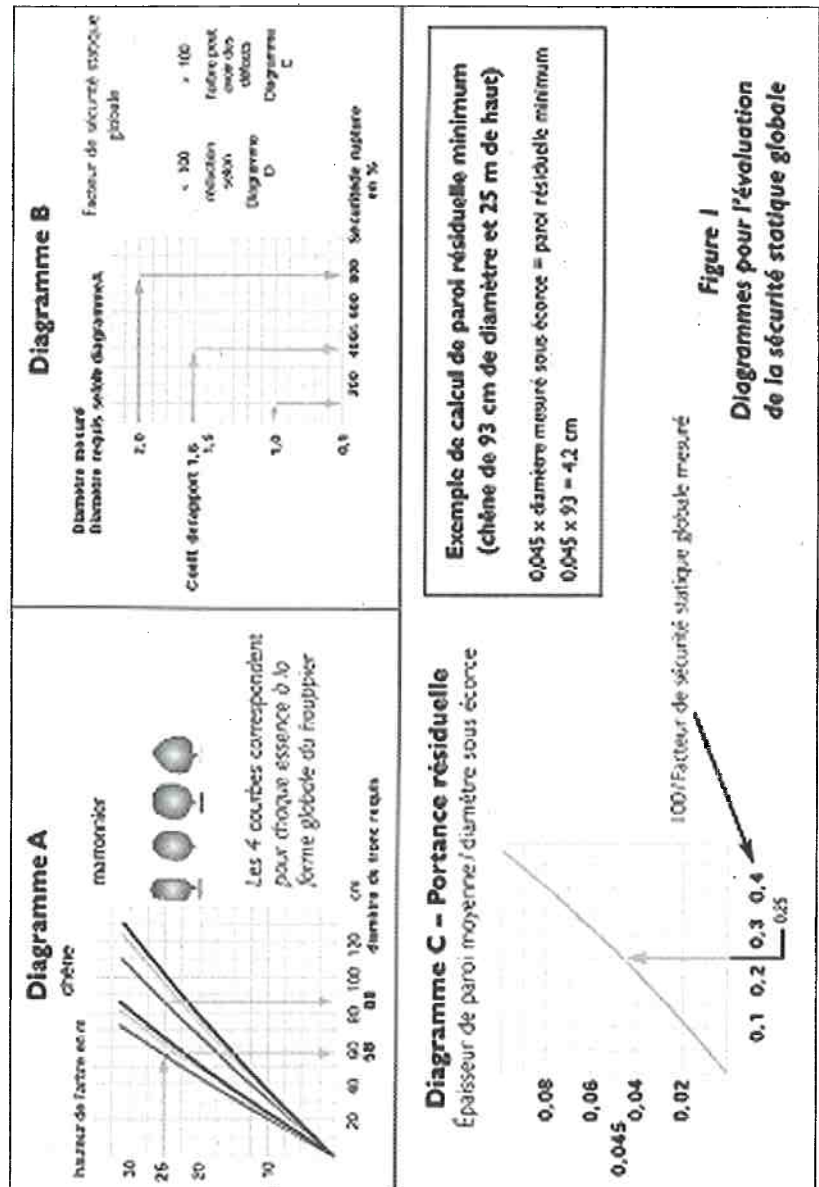


Un **inclinomètre** déterminera la résistance au déracinement d'un arbre en mesurant le degré d'inclinaison. Fixé à la base du tronc, il enregistre l'inclinaison au fur et à mesure que la traction est appliquée à l'arbre.

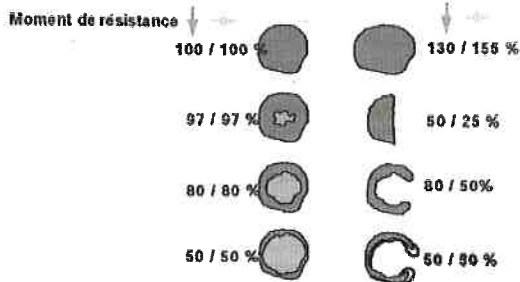
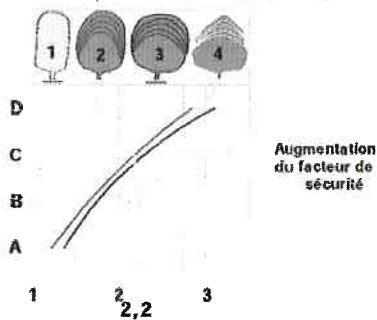
Si l'ancrage est défectueux, l'angle d'inclinaison sera anormalement élevé pour une force de traction donnée. Les valeurs mesurées sont portées sur la courbe générale de basculement, courbe de référence établie à partir de tests de traction effectués sur plus de 1000 arbres. La charge limite de basculement est ainsi évaluée à partir d'angles d'inclinaison très faibles par rapport aux valeurs extrêmes.

Cette technique permet de tester la résistance au basculement des arbres sans aucun sondage est sans excavation du système racinaire.

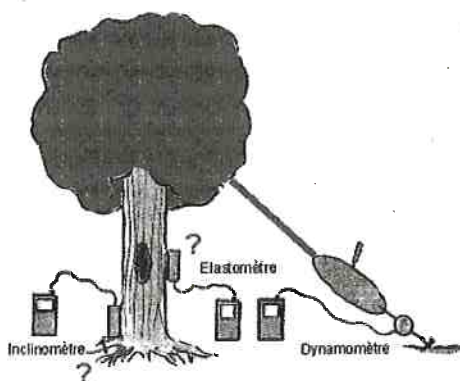
Représentation des diagrammes d'évaluation globale de sécurité (SIA). L'exemple d'un chêne d'un diamètre de tronc sous écorce de 93 cm est présenté (© Wessoly)



Évaluation de la réduction de houppier



Le test de traction



Augmentation du facteur de sécurité en fonction du degré de réduction du houppier. Réduction de portance en fonction de la forme, de l'orientation et de l'ampleur d'une cavité de tronc. Représentation schématique des tests de traction à l'aide d'un élasto-inclinomètre (© Wessoly).

Diagnostic d'un Tilleul de Hollande (*Tilia x Europaea* L.) contaminé par un champignon lignivore

L'étude porte sur un des trois tilleuls de Hollande classés et situés le long d'une route dans la commune rurale des Honnelles (Belgique). Ces arbres entourant une chapelle forment un ensemble historique et paysager remarquable. Le talus bordant la route en déblai accuse une forte déclivité à cet endroit.

L'arbre supposé dangereux est penché vers la route, dans la direction des vents dominants d'ouest. Bien que bénéficiant de la protection des deux autres contre les vents d'ouest, le sujet montre des signes de vitalité réduite : accroissement des pousses annuelles, présence de bois mort et d'écorces incluses.

De nombreux rejets se sont développés après des réductions de charpentières.



Par ailleurs, le tronc de faible empattement montre une profonde cavité ouverte d'environ 80 cm infectée par le polypore écailleux.

D'après la mesure du diamètre du tronc à ce niveau, l'épaisseur de la lame de bois restante serait de +/- 10 cm. Un chicot de charpentière résultant du bris de cette branche durant la semaine du 14 au 18 juillet 2003 est également infecté.

Dans ce cas, la décision du maintien ou d'abattage de l'arbre sera dictée par le souci du gestionnaire de la voirie d'assurer une totale sécurité des usagers.



- Identification du champignon lignivore

Le polypore écailleux induit une pourriture blanche de type simultanée c'est-à-dire que la lignine et la cellulose sont dégradées à la même vitesse. A titre d'exemple, sur la photo XX (Coupe d'un tronc de Tilleul de Hollande contaminé par *P. squamosus*), on distingue une zone fortement dégradée qui occupe le cylindre du bois de cœur. On remarque des lignes concentriques de couleurs plus foncées correspondant à d'anciennes zones de réactions de nature chimique. Le bois d'aubier est parfaitement sain grâce à la dernière zone de réaction se localisant au niveau d'un cerne de croissance.



- Investigation selon trois méthodes différentes

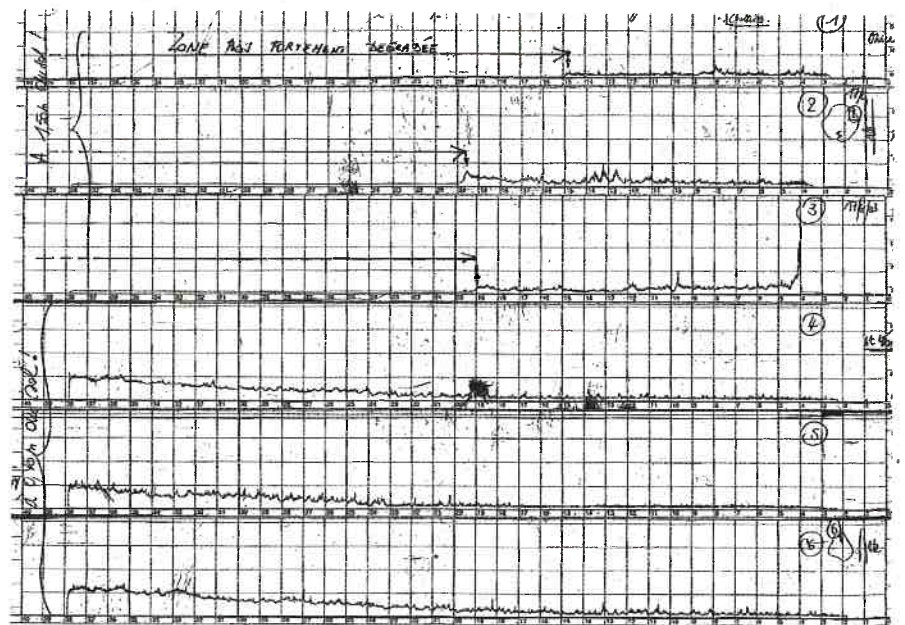
1) Test au pénétromètre

Matériel utilisé : pénétromètre Résistograph F 400

Méthode : 3 percements ont été effectués à 120° à une hauteur de 1,50 m. Trois autres essais ont été menés à une hauteur de 0,40 m par rapport au niveau du point haut (côté terres de culture) ainsi qu'un dernier percement à une hauteur de 0,40 m sur un arbre sain afin de disposer d'une valeur de référence.



Analyse des courbes et interprétation :



Courbes 1,2,3

ces courbes indiquent des zones de bois dégradé qui se manifestent déjà à partir de 8 cm de profondeur pour la C1. Dégradation maximale :

C1 : à 15 cm de profondeur

C2 : à 20 cm

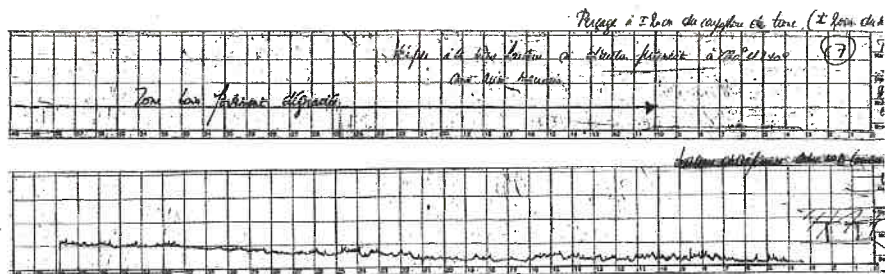
C3 : à 19 cm

De ces mesures, il apparaît probable que la cavité soit plus ou moins circulaire.

Courbes 4, 5, 6

ces courbes n'indiquent aucune zone d'altération du bois.





Courbe 7:

représente la courbe du percement effectué à ± 20 cm du premier carphore de *Polyporus squamosus* situé à $\pm 2,00$ m au dessus du sol du point haut du talus. A cette hauteur, il ne reste autant dire plus de bois sain.

Compte tenu du type de dégradation évoqué précédemment, le tronc pourrait céder à cet endroit.

Courbe de référence:

effectuée à partir de l'arbre n°2, cette courbe est caractéristique d'un bois sain. L'ascendance est régulière et l'amplitude indique que nous avons affaire à un bois relativement tendre.

2) Tests d'inclinométrie et d'élastométrie

(Par le Bureau d'expertise allemand dirigé par Messieurs Wessoly et Lesnino.)

Les différentes étapes :

- Examen visuel de rupture
- Examen visuel de sécurité d'ancrage
- Evaluation globale de sécurité
- Analyse approfondie par des tests de traction
- Evaluation globale de sécurité (Méthode SIA)

Méthode:

un câble de traction relie un point du houppier à un treuil précédé d'un dynamomètre Deux capteurs sensibles sont placés l'un au pied du tronc (inclinomètre), l'autre à une hauteur de $\pm 1,50$ m au dessus du niveau du sol (élastomètre) avant que ne soit exercée une traction sur le houppier.

Théorie:

l'**élastomètre** consiste à mesurer l'allongement de fibres situées en périphérie du tronc, valeur de l'ordre du micron. Cette valeur sera ensuite extrapolée à l'aide d'un logiciel intégrant de nombreux paramètres dont la prise au vent offerte par l'arbre. Sur base de tables de limites d'élasticité de bois connues pour l'essence, l'arbre sera ou non considéré comme statiquement stable.

L'inclinométrie consiste à évaluer la résistance au déracinement. L'inclinomètre mesure le degré d'inclinaison de l'arbre. Des abaques élaborés à partir de nombreuses mesures et sur base d'une courbe de référence, une charge limite de basculement est évaluée.

Quelques caractéristiques de l'arbre étudié:

Hauteur de l'arbre n°1 : 29m

Circonférence de tronc : 312cm

Hauteur de câblage: 15,5m (proche du centre de gravité du houppier)

Interprétation:

des tests de traction ont été effectués jusqu'à une charge correspondant à 15% de la force d'ouragan de 12 Beaufort, afin de mesurer la sécurité d'ancrage et de rupture vis-à-vis des vents d'ouest.

La sécurité globale théorique de l'arbre est de 149%.

Les résultats des essais de traction effectués traduisent une sécurité de rupture réduite à +/- 30% et une sécurité d'ancrage de +/- 130%.

Il apparaît donc un risque important de rupture au niveau de la cavité contaminée par le champignon. Aussi, il est conseillé d'abattre ce sujet et de réduire de manière homogène le houppier des deux autres tilleuls.

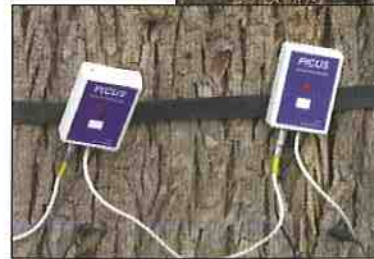
3) Mesure de la dégradation du bois par tomographie à ondes sonores

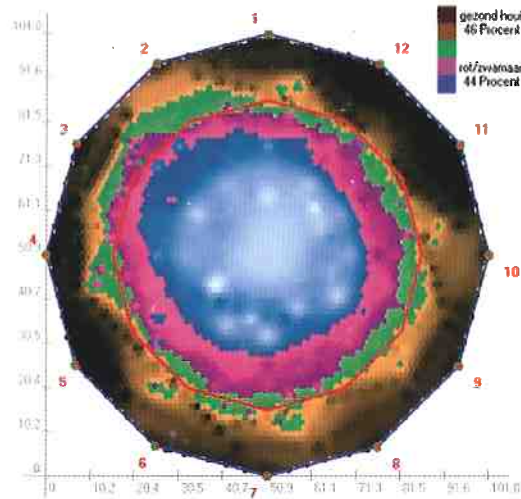
Une dernière série de mesures a été effectuée en utilisant le tomographe à impulsions afin de vérifier l'importance de la dégradation du tronc.

Le principe de fonctionnement de l'appareil est basé sur l'envoi et la réception d'ondes sonores. Un bois sain transmet mieux le son que le bois contaminé.

Le tomographe à impulsions utilisé se compose d'une série de 12 capteurs soniques (entre 10 et 14) qui sont attachés autour de l'arbre.

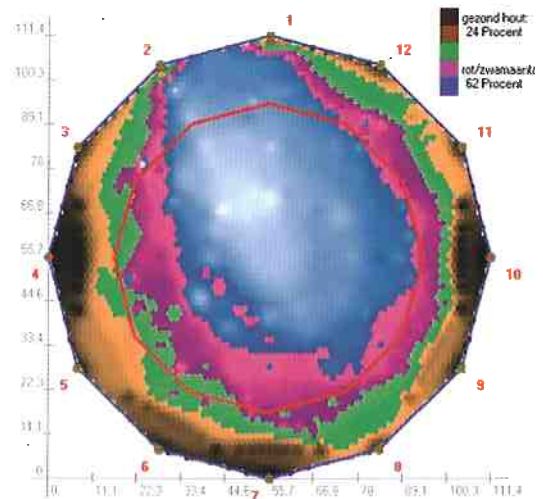
Des ondes sonores issues de la frappe au marteau des clous de zinc plantés dans le tronc jusqu'au niveau de l'aubier sont alors transmises à travers le bois de l'émetteur au récepteur opposé.





Les mesures obtenues sont ensuite reproduites sur un tomogramme digital qui les modélise et fournit alors des images représentant les cavités et le degré de dégradation du bois due à des pourritures dans le tronc.

Le diagramme ci-contre illustre bien l'état de décomposition du bois dans la zone du carpophore. On peut remarquer que la zone bleue est excentrée et s'explique par le fait que le champignon a infecté la blessure et s'est mis à décomposer progressivement le bois de cœur. Cette interpolation des mesures de l'ensemble des capteurs donne une idée de ce qui reste en bois sain c'est-à-dire les parties brunes. Nul n'est besoin d'insister pour conclure que le risque de rupture est important. La méthode d'imagerie par tomographie à impulsions confirme donc les résultats des essais de traction.



La fluorescence Chlorophyllienne

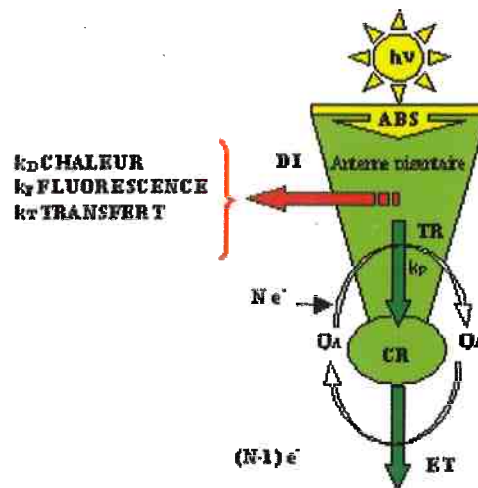
En écophysiologie environnementale, la vitalité des plantes peut nous renseigner sur l'harmonie établie entre la capacité des plantes à se développer et les conditions du milieu de croissance.

Pour donner un aspect quantitatif à ce diagnostic de vitalité, notre étude se base sur l'activité photosynthétique de l'arbre, véritable carrefour biologique sur lequel se répercute à plus ou moins court terme tout état de stress.

La lumière est le carburant essentiel de la photosynthèse et va contribuer à l'enclenchement des premières étapes appelées réactions photochimiques primaires. Parallèlement à la réflexion de la lumière à la surface de la feuille, une grande partie de celle-ci va être absorbée.

Ces premières étapes des réactions photochimiques primaires se caractérisent par l'absorption de l'énergie lumineuse (ABS) par l'antenne pigmentaire suivie de la canalisation et du piégeage (TR) de cette énergie par le centre réactionnel (CR) afin d'enclencher une séparation de charge entre un donneur et un accepteur d'électrons. Le transfert d'électrons (ET) via différents transporteurs contribuera à la transformation de cette énergie lumineuse en énergie chimique essentielle à tous les processus métaboliques de la plante.

Ces trois étapes fondamentales de la photosynthèse (absorption (ABS), piégeage (TR) et transfert d'électrons (ET)) peuvent être quantifiées en mesurant une voie de dissipation énergétique interdépendante de la voie photochimique : la fluorescence chlorophyllienne.



- Fluorescence chlorophyllienne : un EXCELLENT indicateur physiologique

Lorsque les pigments (chlorophylles) reçoivent des photons, ils passent d'un état fondamental à un état excité pour revenir ensuite vers l'état fondamental via différentes voies de désexcitation interdépendantes: l'émission de chaleur, l'émission de lumière (ou fluorescence) et bien sûr la photochimie.

Une plante soumise à un stress environnemental, c'est une usine qui fonctionne mal. Étant donné l'interdépendance des voies de désexcitation avec la photochimie, si l'activité photosynthétique est perturbée, la dissipation d'énergie (chaleur et fluorescence) augmente.

- Photosynthèse et fluorescence

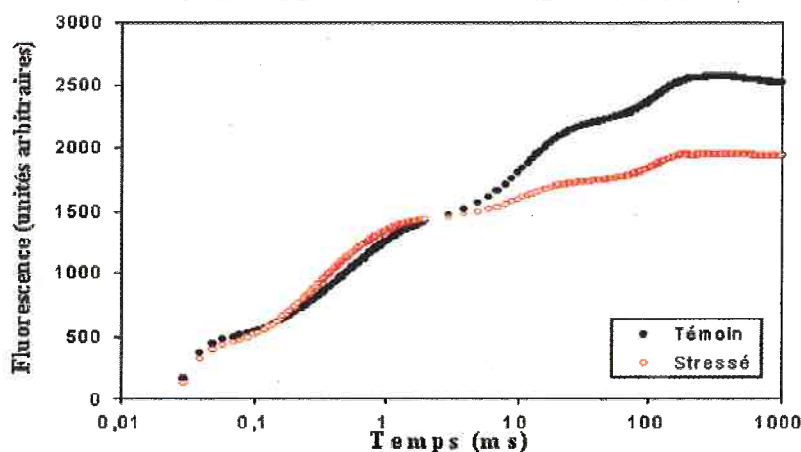
La fluorescence chlorophyllienne peut être considérée comme un indicateur intrinsèque précis des premières étapes de la photosynthèse et son intensité est donc directement liée par une relation inverse au rendement photosynthétique de la plante.

- Etude de la courbe de fluorescence

Pour une feuille dont le système photosynthétique a été mis à l'obscurité correspondant à un niveau de référence zéro, puis exposé à un flash lumineux, la cinétique du signal de fluorescence (effet Kautsky) comporte deux phases: une augmentation rapide de l'intensité de fluorescence durant laquelle le niveau passe d'un minimum à un maximum de fluorescence en 1 seconde, suivie ensuite d'une descente lente d'environ 10 minutes vers un état stationnaire.

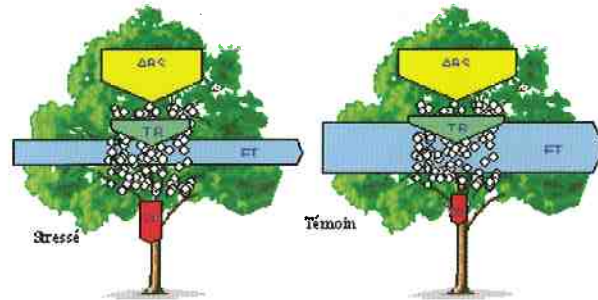
La phase rapide peut être mesurée et analysée par un appareil portable se caractérisant par des mesures rapides (1sec) et non destructives (directement sur les feuilles de l'arbre). Sa rapidité est un avantage dans la mise au point d'un diagnostic car elle permettra un très grand nombre de répétitions augmentant la fiabilité.

Courbes de fluorescence (cinétique rapide)



Les changements de la cinétique de fluorescence entre une plante témoin et une plante stressée feront l'objet d'une analyse pointue afin d'obtenir des paramètres de quantification des différentes étapes des réactions photochimiques. Cette analyse est réalisée en collaboration avec l'Université de Genève (Laboratoire de Bioénergétique, Prof. Strasser).

Actuellement, un paramètre global appelé « performance index » combine les informations sur les premières étapes de la photosynthèse précisées ci-dessus. Dès lors, nous pouvons fournir pour chaque plante une valeur du « performance index » et ainsi quantifier sa vitalité.



Une représentation graphique qui reprend schématiquement les informations déduites de la courbe de fluorescence, est fournie pour chaque individu étudié. L'amplitude des flèches représente la valeur liée à l'absorption de l'énergie lumineuse (ABS), son piégeage (TR), le transfert d'électrons (ET) ainsi que les phénomènes dissipatifs (DI) compétitifs à la photochimie. Une visualisation de la cible du stress est dès lors aisée ainsi que les phénomènes compensatoires qui peuvent exister au sein de ces étapes. Par exemple, une plante stressée présente une dissipation élevée et une réduction du transfert d'électrons mais peut toutefois présenter une augmentation de l'absorption de lumière dans le but de compenser les détériorations internes au niveau des centres réactionnels.

- Applications pratiques

L'intérêt de ce diagnostic de vitalité photosynthétique est sa fiabilité, sa rapidité, le fait qu'il ne soit pas destructeur et enfin sa précocité. En effet, nous avons pu démontrer que les paramètres de quantification de fluorescence chlorophyllienne commencent à fluctuer avant l'apparition des symptômes visuels. En intégrant cette information dans l'établissement d'un diagnostic phytosanitaire (d'un arbre par exemple), il est possible d'identifier les sujets à problème et de quantifier un éventuel dépérissement. L'information obtenue permet également d'enclencher au plus vite les thérapies adéquates en évitant les effets irréversibles souvent présents en même temps que les premiers signes de détérioration.

La fluorimétrie peut également guider les programmes de sélection de semence en identifiant précocement les individus sensibles et résistants à un stress étudié (froid, sécheresse, ...).

De même, elle permet de quantifier l'efficacité de produits phytosanitaires et des engrais en fournissant des arguments quantitatifs de récupération de vitalité et donc d'augmentation de son rendement photosynthétique.



La compartimentation

Les arbres (Gymnospermes et angiospermes) sont des êtres compartimentés. Toutefois, à l'inverse des **animaux qui cicatrisent** et réparent des tissus endommagés et malades, les arbres **isolent leurs blessures. Un arbre ne peut donc ni réparer ni régénérer des tissus en place.**

Ils résistent aux blessures et aux infections en élaborant des barrières qui limitent la progression des micro-organismes envahisseurs. Ils s'en protègent en isolant la zone atteinte. C'est la raison pour laquelle ils sont si vulnérables.

Chaque année, de nouvelles cellules produites à partir de l'assise cambiale occupent de nouvelles positions ce qui revient à dire qu'un arbre nouveau pousse sur l'ancien chaque année. Le cambium joue le rôle de générateur de cellules.

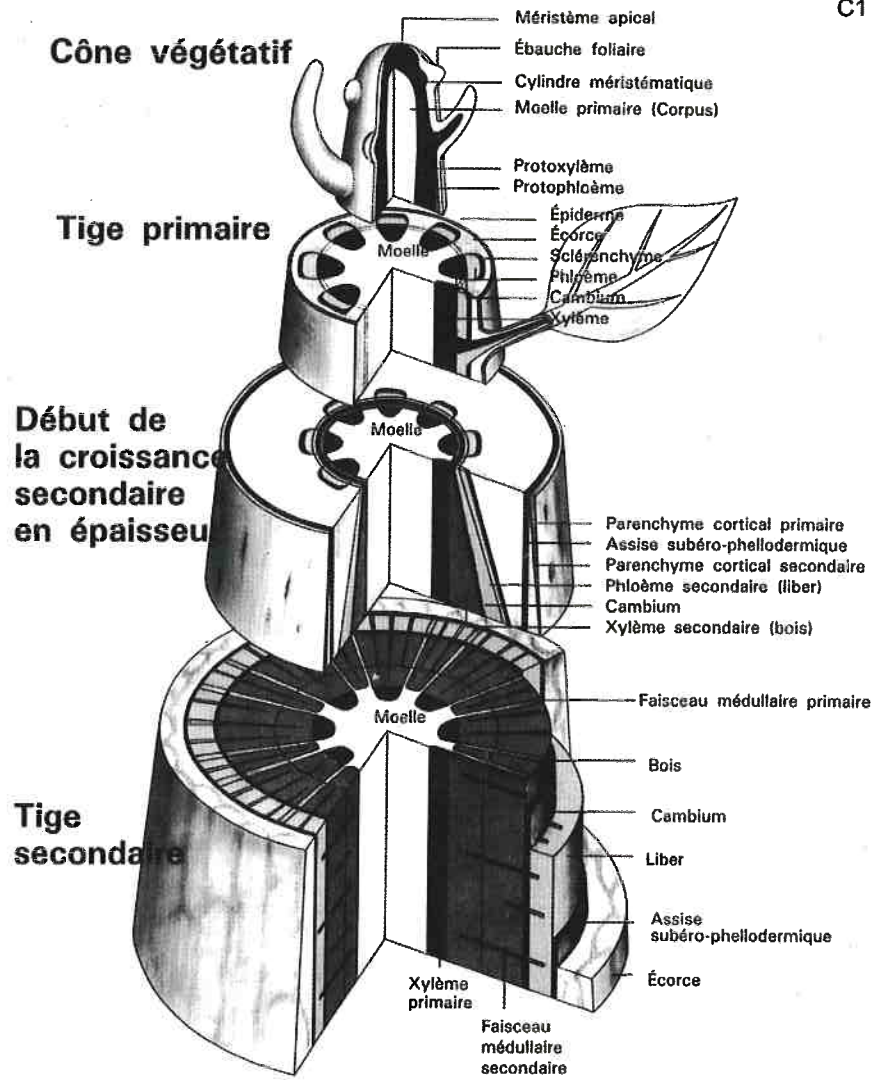
Pour mieux comprendre la localisation du cambium, quelques rappels de structure anatomique s'avèrent nécessaires.

Lorsque l'on découvre ci-dessous une vue tridimensionnelle de l'axe caulinaire d'un cormophyte, on remarque tout d'abord à l'extrémité un cône végétatif suivi d'une tige primaire qui évolue ensuite en tige secondaire. L'allure générale de cet axe est conique chez les gymnospermes et angiospermes dicotylédones, c'est-à-dire que l'axe dans une première phase de sa croissance va s'allonger et ensuite s'épaissir tout ceci grâce au cambium issu du méristème apical (formations secondaires caulinaires les plus anciennes, donc les plus vieilles, se situant à la base).

Au niveau du cône végétatif, on remarque un cylindre central formé d'un complexe tissulaire (moelle primaire ou corpus), les premiers éléments du xylème et du phloème, un cylindre méristématique et des ébauches foliaires. On se situe au niveau d'une zone dite de détermination.

Les cellules filles issues de la division de l'assise méristématique vont se différencier et nous donner dans un premier temps des tissus primaires qui sont peu structurés et relativement simples d'un point de vue cytologique mais qui jouent un rôle important au niveau du stockage des matières de réserve et de la photosynthèse. On arrive donc par l'ébauche de ces tissus primaires à une zone dite d'élongation.

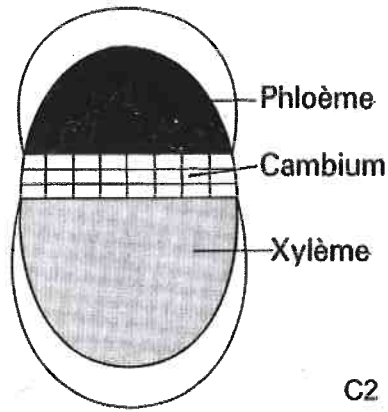
Les cellules de ces tissus primaires sont en quinconce et se distinguent des tissus secondaires par leur disposition en files radiales. Au niveau de ces tissus primaires s'ébauchent donc les premiers éléments des tissus conducteurs, le xylème et le phloème entourés de sclérenchyme ou tissu de soutien. Un manchon méristématique ou cambium va apparaître grâce à une dédifférenciation des cellules parenchymateuses reliant la moelle à l'écorce. Ce manchon s'insinue entre le xylème et le phloème sans que l'ensemble des faisceaux conducteurs ne soit relié par ce manchon. Il s'agit donc en premier lieu d'un cambium intrafasciculaire. Entre chaque faisceau conducteur, se trouve un rayon médullaire constitué de tissu parenchymateux.



Modèle tridimensionnel de la tige d'un Cormophyte montrant des coupes transversales à différents niveaux de la tige : cône végétatif, tige primaire, début de la croissance secondaire en épaisseur et tige secondaire.



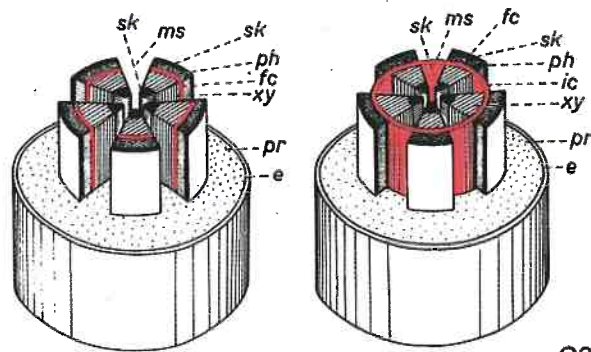
C'est à ce niveau et grâce à la dédifférenciation qu'un cambium interfasciculaire va naître. Il s'ensuit la formation d'un manchon méristématique continu ou cordon méristématique. Chez les arbres, l'anneau cambial existe dès le début.



Les faisceaux de conduction sont caractéristiques de l'organisation cormophytique dans lesquels tous les éléments conducteurs sont réunis. A l'exception des faisceaux de conduction incomplets, ils sont toujours constitués de deux complexes fonctionnels différents, le xylème et le phloème. Ci-contre faisceau conducteur collatéral ouvert (voir théorie des stèles). Le phloème et le xylème sont séparés par le cambium.

C2

Schéma de la structure primaire de la tige.



C3

On retrouve :
 fc: cambium intrafasciculaire
 ic: cambium interfasciculaire
 sk: le sclérenchyme
 xy: le xylème
 ph: le phloème
 ms : rayon médullaire

On a vu que lors de la dédifférenciation des tissus, on assistait à un retour à l'état méristématique.

Les méristèmes secondaires ou cambiums, issus de cette dédifférenciation sont responsables de la croissance en épaisseur. Vont apparaître des tissus secondaires par différenciation et la zone qui lui correspond est appelée zone d'épaississement.

Les méristèmes secondaires ou zones génératrices secondaires sont au nombre de 2 :

-la **zone génératrice libéro-ligneuse ou cambium libéro-ligneux** responsable de la formation du liber (à l'intérieur) et du phloème (à l'extérieur).

-la **zone génératrice subéro-phellodermique ou phellogène**, responsable de la formation de **liège** (ou **phellème**) ou **suber** à parois subérisées (à l'extérieur) et de **phelloderme**, composé de cellules vivantes renfermant des chloroplastes (à l'intérieur). Constituée que d'un seul type de cellule.

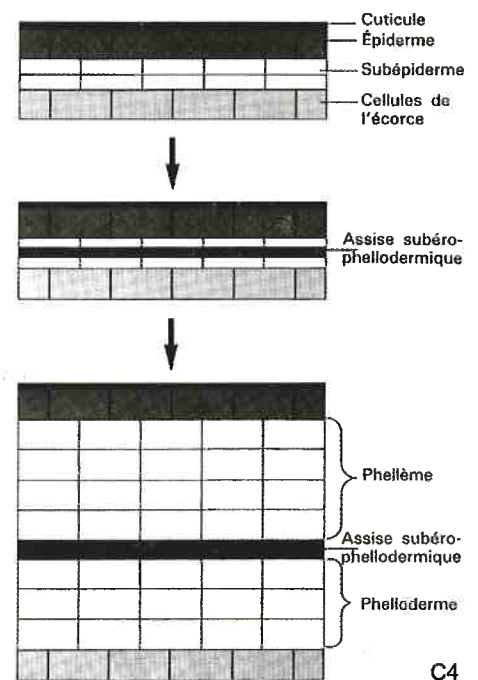
Le **parenchyme cortical secondaire** encore appelé **périderme** ou **écorce** chez les arbres comprend donc l'épiderme, le phellème (liège), l'assise subéro-phellodermique (phellogène) et le phelloderme.

- Activité de l'assise subéro-phellodermique dans la formation du parenchyme cortical secondaire.

NB : Mis à part les rares cas où le premier cambium de liège reste en activité (chêne-liège, hêtre), la plupart du temps celui-ci très vite se dissocie et est remplacé par un deuxième cambium qui se forme dans une couche corticale plus profonde.

Ce cambium lui aussi ne reste en activité que pendant une durée limitée et est remplacé par un troisième cambium encore plus profond, etc., et ainsi de suite jusqu'à ce que finalement les cambium de liège ne naissent plus dans l'écorce primaire mais dans le liber.

De cette façon, les tissus externes de l'écorce et du liber sont séparés par les couches du périderme dont on désigne l'ensemble sous le nom d'**écorce**.



Périderme(écorce) = épiderme + phellème + phellogène + phelloderme)

La croissance en épaisseur est caractéristique chez les gymnospermes et les angiospermes dicotylédones. Elle est différente chez les angiospermes monocotylédones.



- Activité des cellules cambiales. Divisions périclines et anticlines

Par des cloisonnements longitudinaux périclines, tangentiels ou longitudinaux, ces cellules se divisent activement sur leurs faces externes et internes, mettant en place des files radiales de cellules filles.

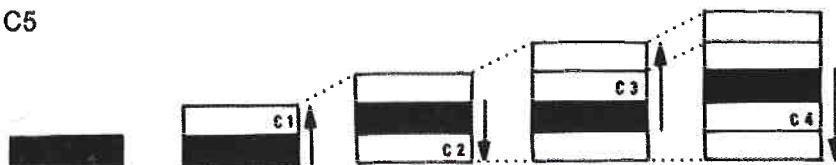
L'épaisseur de cette zone génératrice ne grandit pas pour autant, les cellules filles se différenciant en tissu secondaires.

Il en résulte une croissance en épaisseur de l'organe de part et d'autre de la zone cambiale.

Des cloisonnements anticlines des cellules méristématiques permettront à cette zone d'accompagner la croissance en épaisseur de la tige et de la racine.

Retenons enfin que l'activité des cambium est rythmique.

C5



- *Fonctionnement théorique d'une cellule d'assise génératrice (C₁ et C₃, cellules formées vers la périphérie de l'organe ; C₂ et C₄, cellules formées vers le centre de l'organe ; les flèches indiquent les sens d'apparition des cellules-filles).*

Chez nos arbres, elle débute au printemps dans les bourgeons qui débourrent et s'étend ensuite aux branches, au tronc puis aux racines.

La cellule du cambium va par ses divisions successives nous donner dans l'ordre indiqué sur le schéma des cellules filles qui vont se différencier.

Le schéma suivant illustre les différentes cellules issues de cette différenciation. Ces cellules vont s'organiser en tissus secondaires dotés de fonctions spécifiques.

Le cambium de la tige et ses dérivés.

À droite, schéma de la succession temporelle des divisions tangentiels (périclines) d'une cellule cambiale (en noir) vers l'intérieur et vers l'extérieur (d'après Jost).

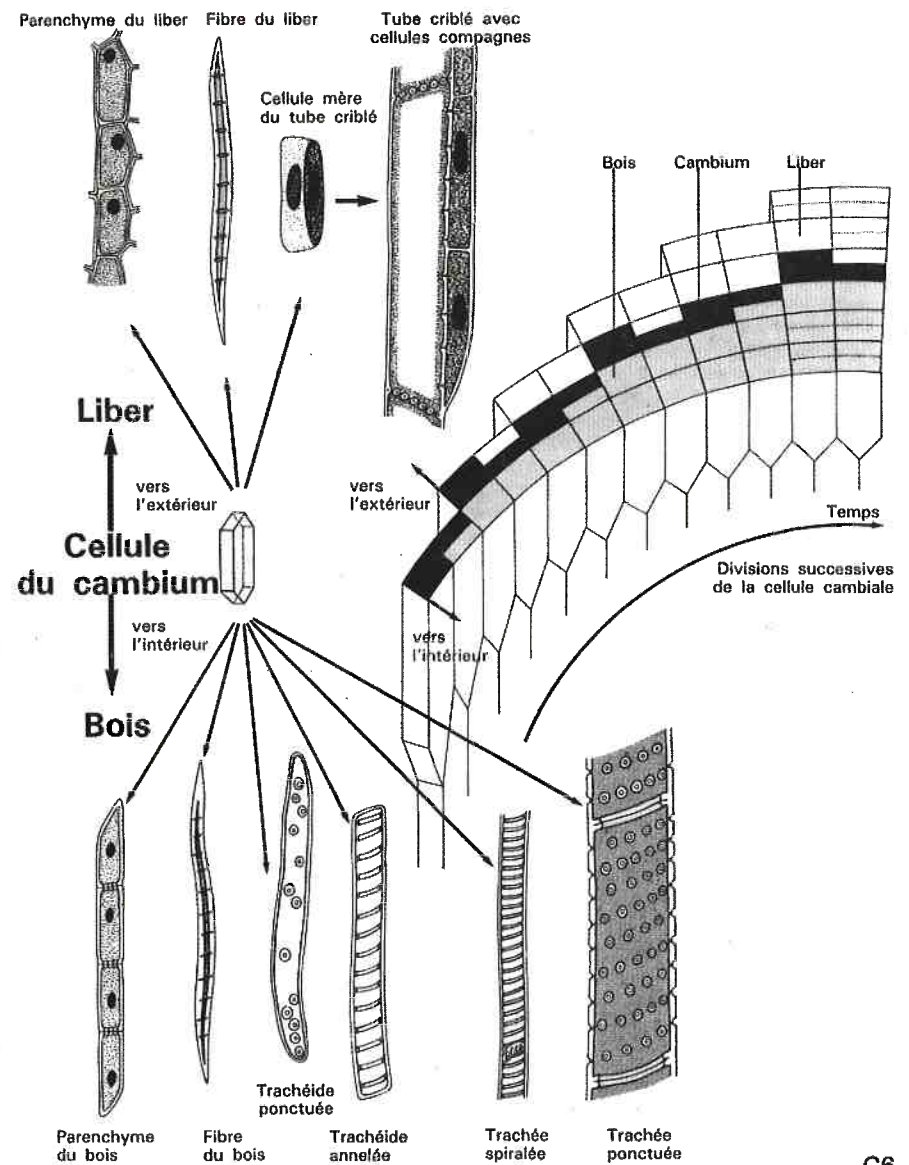
À gauche, possibilité de différenciation d'une cellule cambiale en différents types de cellules du liber et du bois.

De ce processus de divisions, on retiendra que l'assise génératrice n'augmente pas de volume mais qu'elle change de position au fur et à mesure que de nouvelles couches de bois se forment. La néoformation de tissus par croissance secondaire permet une extension continue de la circonférence. Grâce aux divisions anticlines occasionnelles, l'élargissement du cylindre cambial peut se réaliser.

Le tissu produit vers l'intérieur du cambium est appelé bois bien que toutes les cellules de ce tissu ne soient pas lignifiées. Le tissu produit vers l'extérieur du cambium est appelé écorce secondaire ou liber.

Le bois est principalement constitué des éléments cellulaires du xylème et le liber de ceux du phloème.

Le bois et le liber sont traversés par des faisceaux médullaires parenchymateux. Le xylème assure principalement le transport à longue distance de l'eau et des sels nutritifs absorbés par les racines (sève brute). Il comprend des trachéides, des fibres du bois et des cellules du parenchyme ligneux.



C6



Le phloème assure le transport des assimilats exportés des feuilles (sève élaborée).

Il comprend des cellules criblées ou tubes criblés flanqués de cellules compagnes, des cellules parenchymateuses et des fibres.

On peut, par conséquent, se rendre compte de la richesse du potentiel de différenciation d'une cellule méristématique.

La partie du bois fonctionnelle pour le transport de l'eau est appelée aubier. Il entoure le bois de coeur dans lequel l'eau n'est plus transportée, celui-ci ne possédant plus de parenchyme ligneux vivant (c'est-à-dire de cellules vivantes qui entourent les vaisseaux de trachées et de trachéides et qui ont des fonctions de transfert). Ce bois de coeur sert au soutien de la tige.

- La structure du bois des Angiospermes et des Gymnospermes.

La structure du bois des Angiospermes est plus variée que celle des Gymnospermes.

Chez les Angiospermes, le transport de l'eau est assuré par des trachées (vaisseaux) et les trachéides tandis que la résistance mécanique est assurée par les fibres. Par ailleurs, les faisceaux médullaires sont plus développés.

Chez les Gymnospermes, le transport de l'eau est assuré dans le bois des 10 dernières années ou plus. Les trachéides offrent une grande résistance au flux et, par conséquent, une faible vitesse du transport.

La structure du bois des gymnospermes est relativement simple et régulière.

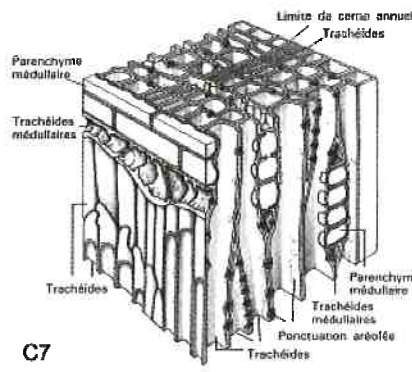
A côté des trachéides, on retrouve deux autres types de cellules constituant :

-le **parenchyme ligneux** qui tapisse les canaux résinifères, pour autant qu'ils existent car, par exemple, l'if n'en possède pas.

-le **parenchyme médullaire ou faisceau médullaire** constitué par superposition de cellules vivantes de parenchyme. Tous deux sont unistratifiés et radiaires.

Les faisceaux assurent l'alimentation du bois par les assimilats transportés par le liber et jouent le rôle de cellules de réserve (amidon et lipides). Les faisceaux médullaires sont accompagnés sur leur face supérieure et inférieure d'une couche horizontale de trachéides (trachéides transversales ou médullaires). Celles-ci assurent le transport radial de eau.

> **Bois homoxylé** des gymnospermes : les trachéides assurent à la fois les fonctions de soutien et de transport.

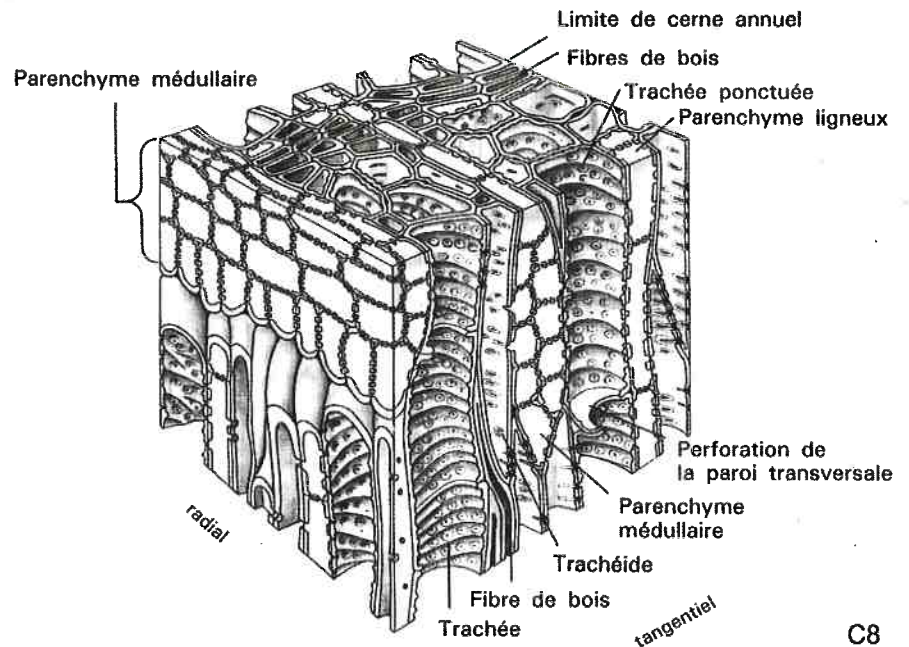


Modèle tridimensionnel du bois de Gymnosperme (*Pinus*). La face supérieure de la coupe correspond à la coupe transversale, la face de gauche correspond à la coupe longitudinale radiale et la face de droite correspond à la coupe longitudinale tangentielle (d'après BRUCE, 1984 et TAYLOR).

- Structure du bois d'angiosperme, cas du tilleul (*Tilia cordata*).

Modèle tridimensionnel d'une coupe dans le bois. (d'après Braune, Leman et Taubert). On peut remarquer que cette structure est plus variée que celle des Gymnospermes. Le transport de l'eau est principalement assuré par les vaisseaux (trachées) en plus des trachéides.

La résistance mécanique est assurée par les fibres du bois. Le parenchyme ligneux (ou vertical) se trouve le long des vaisseaux. Les faisceaux médullaires ou parenchymes médullaires (horizontaux) sont plus développés que dans le bois des Gymnospermes.



C8

De plus, le bois des Angiospermes diffère selon les espèces. Ces différences concernent surtout l'organisation et la largeur des éléments conducteurs de l'eau.

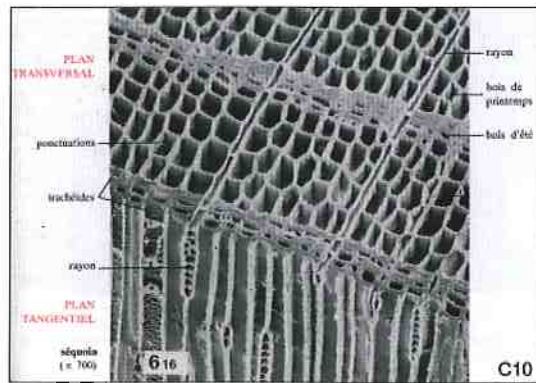
Bois hétéroxylé des Angiospermes : il y a séparation des éléments de conduction (vaisseaux vrais) et les éléments de soutien (fibres).



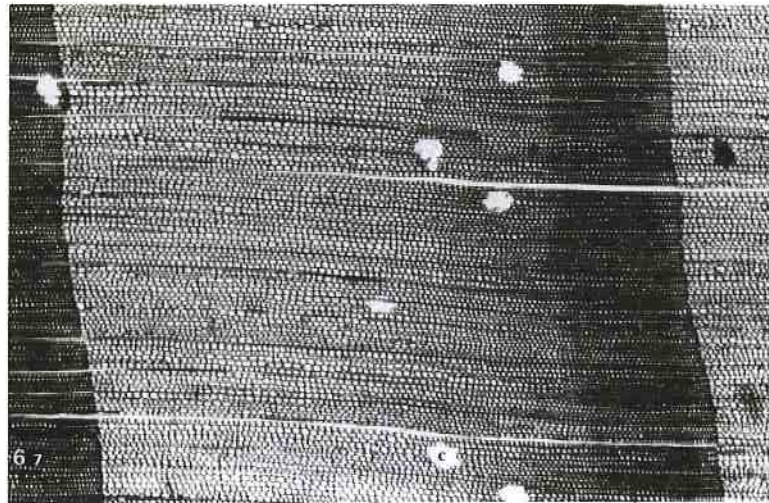


Ci-contre, portion d'une coupe transversale de branche d'arbre. Cette coupe ne comprend plus que des tissus secondaires. On retrouve respectivement :

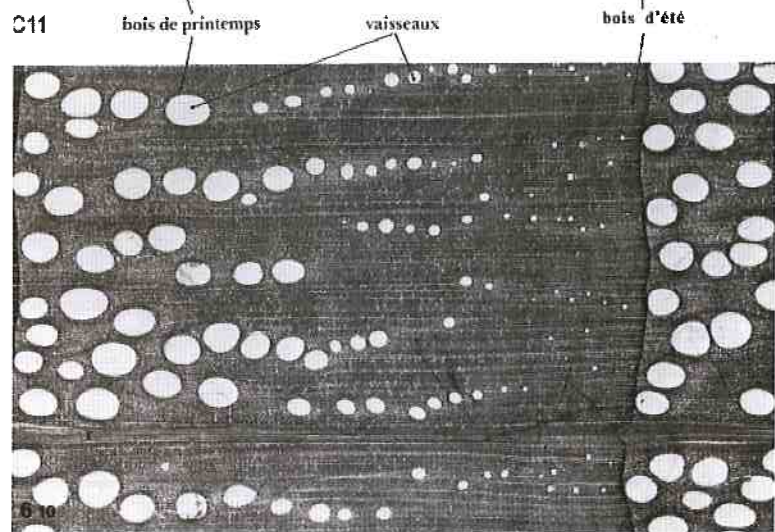
- P : périderme
 - A+C = bois
 - A : aubier
 - C : bois constitué ici d'un cœur
- Entre p et bois se trouve le phloème



Vue en plan transversal d'une organisation de xylème secondaire chez un Gymnosperme (Pin) et un Angiosperme dicotylédone (*Quercus*)



> Bois homoxylé de pin



> Bois hétéroxylé de chêne



Chez les résineux, il se compose de cellules courtes, à larges sections et à parois minces. Ces cellules sont faiblement résistantes et très déformables.

Sa structure légère confère au bois initial une faible densité.

Chez les feuillus, le bois initial est marqué par la présence de larges vaisseaux, parfois très abondants chez certaines essences, par exemple, le chêne, le frêne, etc.

Au cours de l'été apparaît le **bois final**, reconnaissable par la présence de cellules plus longues, de surface moindre, aux parois plus épaisses et donc moins déformables.

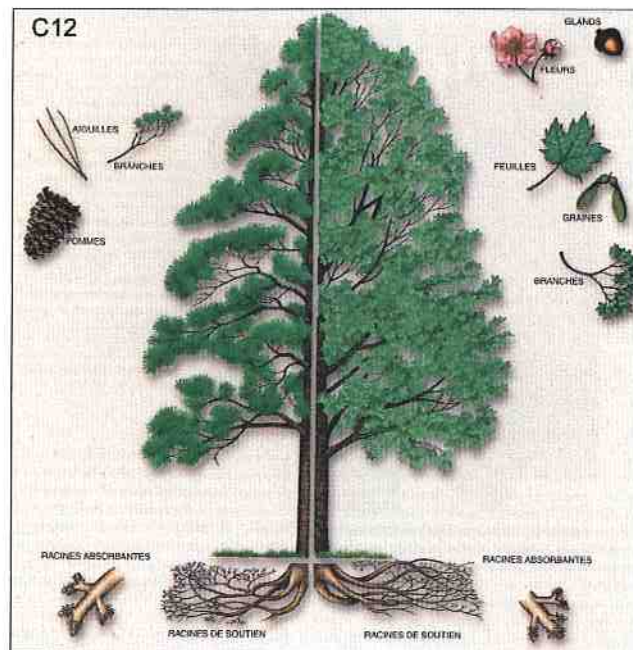
Sur les photos ci-avant, on distingue nettement les limites de cerne.

L'arbre représente une hiérarchie de compartiments à l'intérieur du tronc, des racines et des branches. Les plus grands compartiments sont constitués par les cerne annuels, suivis par des groupes de cellules de chaque anneau séparés par des rayons.

La plus petite unité élémentaire est la cellule individuelle.

Le bois est, faut-il le rappeler, un arrangement très hiérarchisé de différents types de cellules. Les compartiments formés par l'arbre lui permettent de résister à la propagation d'une infection consécutive à une blessure.

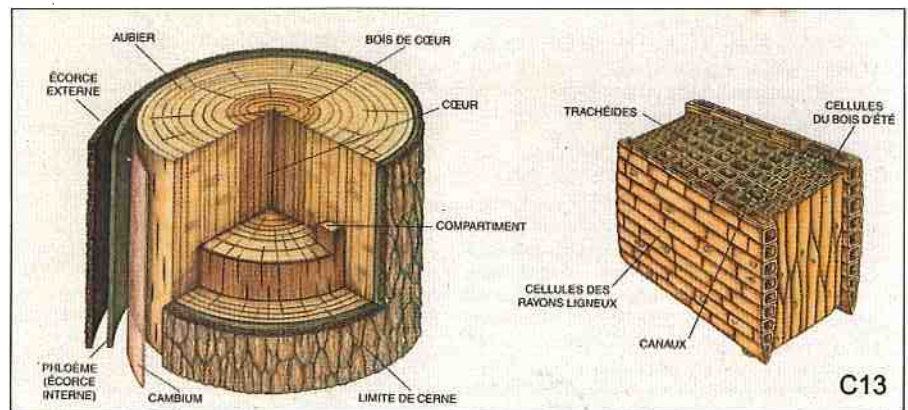
Grâce à cette stratégie, l'arbre peut également isoler certaines de ses parties après que celles-ci ont atteint un stade de sénescence génétiquement programmé.



On a représenté deux demi-arbres différents : le demi-arbre à gauche est un conifère, le *Pinus taeda* et le demi-arbre à droite est un feuillu, l'érable à sucre.

Certains compartiments tombent ou se détachent quand ils ont rempli leurs fonctions.

Une coupe du tronc de pin révèle des compartiments supplémentaires. Le cambium produit du phloème, l'écorce interne et du xylème, le bois.



Ce dernier est compartimenté en cernes annuels, qui sont eux-mêmes subdivisés par des cloisons radiales : les rayons ligneux. Cette structure compartimentée (à droite) comprend le parenchyme, ou cellules de stockage de l'énergie, les trachéides, ou tubes cellulaires, et les cellules du bois d'été à parois épaisses.

- Face à l'infection

Les arbres réagissent par la compartimentation, c'est-à-dire qu'ils essaient d'isoler la zone infectée ou blessée et non pas de tuer les micro-organismes nuisibles.

D'une manière générale on peut dire que les arbres élaborent **3 stratégies de défense** :

1) Face à l'infection ou la blessure, l'arbre renforce des compartiments existants

La nature de ce renforcement est chimique et les réactions sont encore mal connues. Exemple: le contenu des cellules change dans l'aubier alors que le bois de cœur est inerte sauf pour certaines réactions enzymatiques. Les cellules du bois assurent le stockage de l'énergie chimique sous forme de glucides (forme réduite, c'est-à-dire contenant des électrons qu'ils peuvent facilement céder).

Quand une blessure du bois intervient, l'activité métabolique des cellules entourant la zone blessée se modifie. Les molécules stockées sont oxydées, elles perdent des électrons. Lors de ces réactions, de nouvelles molécules apparaissent comme par exemple l'acide gallique et l'acide tannique. Un grand nombre de ces molécules appartiennent à la famille des **phénols**, molécules qui comportent un cycle à 6 atomes de carbone sur lequel est fixé un groupe hydroxyle OH. Ces phénols envahissent l'intérieur des cellules et imprègnent les parois cellulaires. Ils teintent le bois en différentes couleurs (rouge, vert, bleu etc..) selon les réactions chimiques elles-mêmes déterminées par le patrimoine génétique.. Les phénols jouent un rôle de défense important, ce sont des produits antimicrobiens.



2) Création de nouvelles parois par des procédés anatomiques ou chimiques

Le cambium produit de nouvelles cellules différentes : moins de cellules conductrices et fibreuses et plus de cellules parenchymateuses *(contenu cellulaire vivant) plus petites, dont l'activité métabolique est modifiée et donc capables de mieux résister. Toutefois, la création d'une nouvelle paroi protectrice est parfois à l'origine de défauts de structure du bois (ex : décollement de cerne ou rou lure).

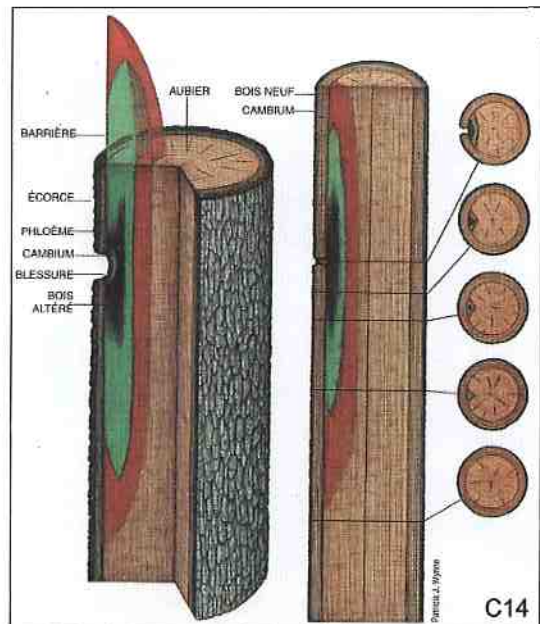
*: **Cellules parenchymateuses** sont fonctionnelles sur une période limitée. Après 20 ou 30 ans, elles se lignifient. Leurs parois se couvrent intérieurement d'une substance dure et imperméable, la lignine qui est un polyphénol. Elles se transforment ainsi en bois de cœur. Le bois de cœur (duramen) est ainsi composé de cellules mortes, plus rigides et durables et souvent de couleur plus sombre que l'aubier.

Les cellules actives se trouvent donc à la périphérie du cylindre de bois, dans l'aubier précisément, qui a 1 cm d'épaisseur chez de vieux arbres et jusqu'à 1 m chez de jeunes arbres vigoureux.

3) L'arbre poursuit sa croissance

A la condition qu'il dispose d'assez de temps, d'énergie et de force génétique pour reconnaître et isoler le tissu infecté et blessé, tout en produisant de nouveaux tissus capables de maintenir l'arbre en vie. L'arbre survit en reformant autour de lui un nouvel arbre l'année de croissance suivante.

On peut cependant constater que les zones de réaction (barrières renforcées chimiquement) ne sont pas toujours bien délimitées. Ces barrières peuvent battre en retraite. Par ailleurs, une trop grande production de phénols peut s'avérer toxique pour la plante. Cela revient à dire que l'arbre peut s'empoisonner.



L'arbre réagit aux blessures en renforçant des compartiments déjà existants et en créant un rempart qui protège le cambium. La section de tronc d'érable à gauche comporte une blessure infectée.

De nombreux micro-organismes (en vert) se sont installés dans l'aubier (les couches de bois vivant situées sous le cambium) tandis que au centre de la zone infectée, le bois a commencé à pourrir (en brun). Aux limites de la zone infectée, les cellules du parenchyme sécrètent des substances antimicrobiennes (en rouge) afin de renforcer les cloisons déjà existantes avant l'infection. De plus, les tubes conducteurs se sont bouchés au-dessus et en dessous de l'infection.

Sur le tronc de droite, on voit l'arbre une saison de croissance après la blessure. Le rempart élevé par le cambium a protégé les tissus nouvellement formés. Parallèlement, les défenses internes ont isolé le foyer d'infection.

Quand les micro-organismes finissent par attaquer l'aubier, celui-ci produit de nouvelles cellules autour des anciennes et, si ces nouvelles cellules apparaissent plus rapidement que les anciennes ne disparaissent, l'arbre survit.

- Concept du CODIT (Compartmentalization Of Decay In Trees)

Afin de classer les réactions des arbres aux blessures et aux infections et pour comprendre comment apparaissent les zones d'altération et de décoloration dans les arbres blessés, Shigo a élaboré un modèle qui décrit d'une part la réaction de l'arbre au moment de la blessure et la façon dont il réagira par la suite.

Au moment de la blessure, l'arbre renforce la plupart des parois existantes.

Schématiquement, il met en place 3 remparts:

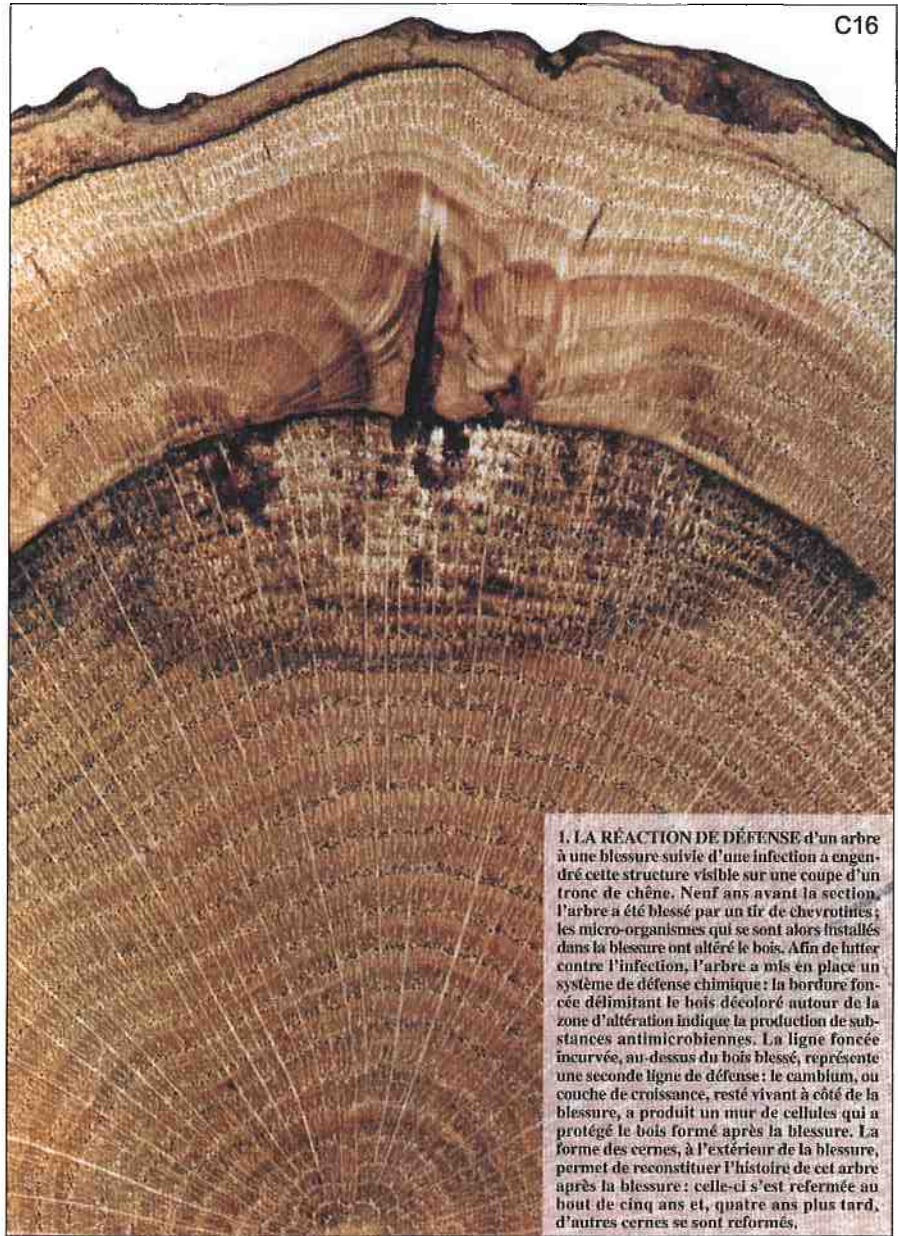
- 1^{er} rempart s'oppose à la propagation verticale de l'infection
- 2^{ème} rempart s'oppose à la propagation vers l'intérieur
- 3^{ème} rempart s'oppose à la propagation latérale

Une fois l'infection ou la blessure présente

- 4^{ème} rempart formé par le cambium est activé plus tardivement par la mise en place d'une barrière qui n'existait pas au moment de la blessure.

Les remparts 1-2-3 peuvent être définis comme des zones de réaction tandis que le rempart 4 est plutôt une zone que l'on pourrait qualifier de barrage.





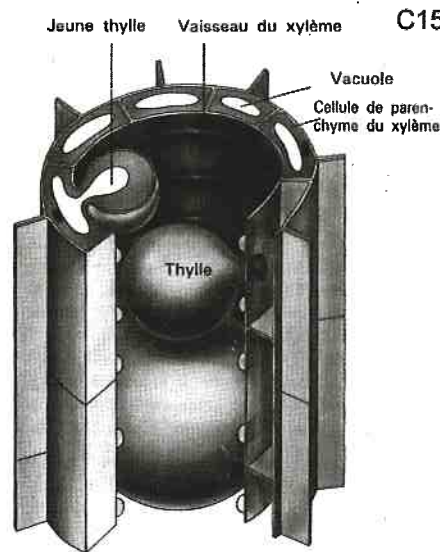
1. LA RÉACTION DE DÉFENSE d'un arbre à une blessure suivie d'une infection a engendré cette structure visible sur une coupe d'un tronc de chêne. Neuf ans avant la section, l'arbre a été blessé par un tir de chevrotines ; les micro-organismes qui se sont alors installés dans la blessure ont altéré le bois. Afin de lutter contre l'infection, l'arbre a mis en place un système de défense chimique : la bordure foncée délimitant le bois décoloré autour de la zone d'altération indique la production de substances antimicrobiennes. La ligne foncée incurvée, au-dessus du bois blessé, représente une seconde ligne de défense : le cambium, ou couche de croissance, resté vivant à côté de la blessure, a produit un mur de cellules qui a protégé le bois formé après la blessure. La forme des cernes, à l'extérieur de la blessure, permet de reconstituer l'histoire de cet arbre après la blessure : celle-ci s'est refermée au bout de cinq ans et, quatre ans plus tard, d'autres cernes se sont reformés.

- Rempart 1 ou barrière 1 :

Avant l'infection, le rempart 1 n'a pas de réalité anatomique. C'est d'abord un bouchon de barrage qui contrecarre la propagation verticale par des moyens chimiques et anatomiques. Les arbres sont munis d'un système vertical de tuyaux, à savoir des vaisseaux ou trachées* chez les feuillus et trachéides chez les résineux qui constituent une voie de propagation privilégiée des micro-organismes envahisseurs.

Lors d'agression, les arbres bouchent ces vaisseaux par différents moyens :

- cellules entourant le vaisseau (celles du parenchyme) peuvent gonfler et obturer le lumen.
- formation de thyllés au niveau du parenchyme ligneux ou sclérenchyme, des dépôts peuvent se former à leurs extrémités des matériaux granulaires et cristallins (gommes) peuvent les obstruer des communications entre vaisseaux peuvent se refermer au niveau des plasmodesmes ou ponts cytoplasmiques, des bulles d'air peuvent apparaître et bloquer le transport des liquides (phénomène d'ambolie).



Toutefois la défense assurée par cette **barrière est relativement fragile** car l'arbre ne peut boucher tout son système de vaisseaux car il doit continuer de s'alimenter. En outre, la propagation verticale de l'infection reste assez limitée : tout le bois de cœur peut être infecté sans que l'arbre ne meurt grâce à la capacité du cambium de régénérer, année après année, un nouvel arbre sur l'ancien.

* trachées : **xylème secondaire** constitué de cellules mortes à l'état fonctionnel. Les tubes sont formés de cellules fusionnées. Il en résulte une disparition des parois transversales. NB : toutes les parois des éléments conducteurs sont percées de nombreuses ponctuations.

Formation des thyllés. Le modèle tridimensionnel montre un vaisseau ouvert du bois avec des thyllés en forme de bulle et des cellules avoisinantes du parenchyme du xylème.

L'eau circule longitudinalement mais peut aussi passer transversalement dans des voies de transport voisines.

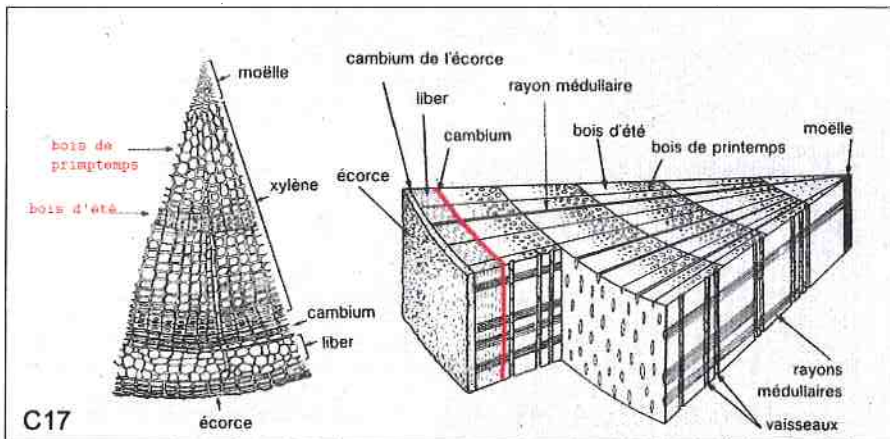
D'un point de vue physiologique, les trachées constituent un réseau plus évolué que les trachéides. Rappelons que les Angiospermes ont du xylème à trachéides et à trachées.



- Rempart 2 ou barrière 2

Présent avant l'infection. Disposés anatomiquement d'une manière concentrique, les cernes annuels correspondant à la couche de bois d'une année de croissance empêchent la propagation de l'infection vers le cœur de l'arbre.
De plus, cette barrière est renforcée chimiquement après l'infection.

Cette barrière est de nature en partie physique. Exemple, chez certains feuillus, la fin de saison est marquée par la formation à partir du cambium d'une couche finale appelée parenchyme marginal ou terminal et chez les résineux par du bois d'été à parois épaisses. Le deuxième rempart plus résistant que le premier l'est moins que le troisième.



Chez certaines espèces, le bois périphérique, le bois périphérique de formation récente et relativement tendre (aubier) se distinguent nettement du bois de cœur ou duramen, plus ancien et dur. Celui-ci est rendu relativement imputrescible à la suite d'un enrichissement en tanins, résines et sels d'acides organiques.

NB : les arbres dits à bois blanc comme les peupliers, les bouleaux, les érables et les tilleuls ne forment pas de cœur. Chez le tilleul, le peuplier et le saule, le bois conserve sa fonction de circulation. Pour cette raison, il pourrit plus vite et à terme, les arbres deviennent creux.

Chez de nombreuses espèces, le duramen présente une coloration particulière (ex. : brune pour le genre *Quercus*), par contre, pour d'autres espèces la zone duraminisée est incolore et des processus de coloration chimique doivent être utilisés pour la mettre en évidence.

- Rempart 3 ou barrière 3

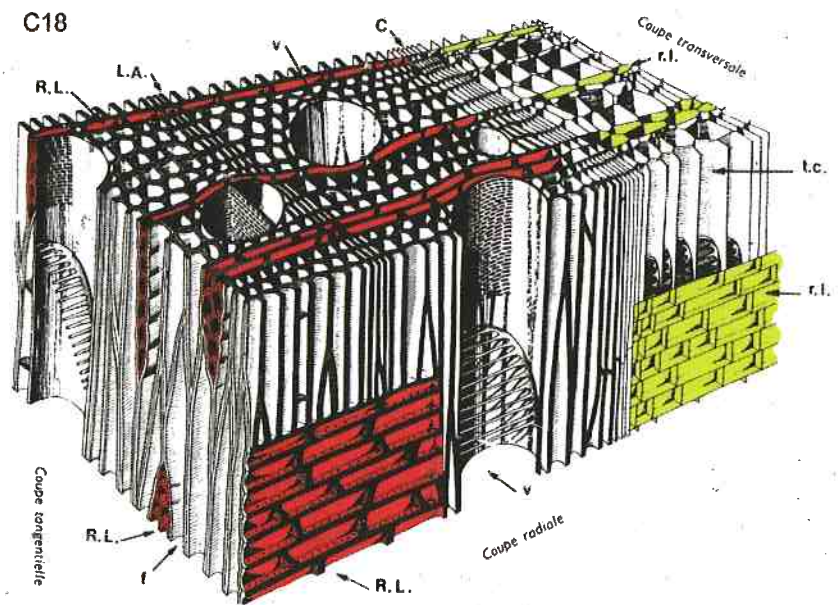
Certaines cellules issues du cambium sont imbriquées et sont agencées perpendiculairement à l'axe du tronc. Ce sont les rayons ligneux*, présents avant l'infection. Ceux-ci vont empêcher l'infection de se propager latéralement d'une part par leur configuration anatomique mais aussi parce qu'ils subissent d'autre part d'importantes modifications chimiques dès que l'infection s'installe.

Quand le troisième rempart cède, l'infection se propage comme un éventail qui se déplie : ainsi se forment des arbres creux servant de gîtes à de nombreux animaux. Ceci dit, l'arbre creux peut survivre grâce à l'action du cambium.

*rayons ligneux : (ou parenchyme horizontal) ou faisceau médullaire ou rayon médullaire, souvent visibles à l'œil nu, se distinguent par la disposition radiale, leur minceur et leur couleur claire.

Ils ont une longueur (sens radial), une hauteur (sens vertical) et une épaisseur (sens tangentiel) limitées mais caractéristiques pour chaque espèce. Ils croisent les éléments verticaux (parenchyme vertical ou parenchyme ligneux, fibres et éléments conducteurs).

NB : On distingue des **faisceaux médullaires du liber (faisceaux libériens)** qui sont des prolongements des **faisceaux médullaires du bois (faisceaux ligneux)**. Ils assurent le transport radial des assimilats venant du phloème vers le cambium ou le bois mais peuvent aussi mettre ces assimilats en réserve.



Bois hétéroxylé et liber de Bouleau (*Betula alba*/Bétulacées) (C : cambium; L.A. : limite annuelle; v : vaisseau; t.c. : tube criblé; R.L. : rayon ligneux; r.l. : rayon libérien; f : fibre (in NULTSCH, 1969, modifié d'après MÄGDEFRAU).



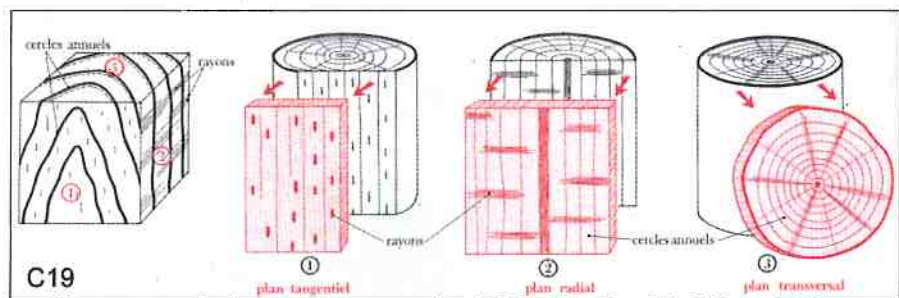
- Rempart 4 ou barrière 4

La plus grande protection de l'altération provoquée par des micro-organismes de l'intérieur vers l'extérieur est assurée par le cambium. D'un point de vue mécanique, elle renforce peu la structure de l'arbre mais il constitue une barrière très efficace contre les éléments pathogènes car il isole les tissus situés à l'extérieur de la blessure dans un processus de divisions cellulaires successives qui, dans le temps, vont initier des tissus de recouvrement.

La paroi du cambium de l'assise subéro-phellodermique et libéro-ligneux est infranchissable pour la plupart des bactéries et champignons qui colonisent le bois ou l'écorce. Des chercheurs ont observé que les cellules de l'assise subéro-phellodermique sont couvertes de subérine, acide gras permettant à l'écorce externe de résister contre des envahisseurs microbiens. Ces envahisseurs ne possèdent pratiquement jamais l'équipement enzymatique capable de dégrader la subérine.

Les cellules de liège (phellème) sont recouvertes de lamelles de subérine, qui s'opposent à l'apport d'eau et de substances nourricières. Aussi, les cellules de liège ainsi que tous les tissus se trouvant à l'extérieur du périoderme meurent-ils.

Etant donné que le liège est très imperméable à l'air, tout échange de gaz avec le milieu ambiant ne peut se faire qu'à partir des lenticelles.



La capacité qu'ont les végétaux à compartimenter tient de la génétique. Cette compartimentation n'est pas comme on vient de le voir absolue. Face à l'agression de micro-organismes, l'arbre va réagir en utilisant des stratégies propres.

Que ce soit dans un processus naturel de séparation d'un de ses organes ou lorsqu'il est blessé, tout un cortège de micro-organismes, dont les uns seront pionniers des autres, va envahir les parties meurtries ou blessées. Là, commence une lutte entre l'arbre et ses agresseurs qui débouche sur la mise en place de tout un système de barrières de défense, les unes plus actives et efficaces que d'autres.

.....



Biologie d'un champignon polypore

L'Amadouyer: *Fomes fomentarius* (L. : Fr.) Fr.

Homobasidiomycètes
Aphyllphoromycetidae à *hyménophore tubulé poré*
Polyporales - Polyporaceae



Faculté de Biologie de Mons

Chapeau de 30cm, en s'abat bossu, très épais, couvert d'une croûte dure. Brun à gris.

Trame subéreuse, bien clair.

Structure stratifiée des tubes.

Hyménium tubulé poré, généralement creusé dans la chair du chapeau dont la consistance est presque toujours ligneuse coriace. Les tubes ne sont jamais séparables de la chair.

Fréquent sur peupliers (*Populus sp.*), marronniers (*Aesculus hippocastanum L.*), hêtres (*Fagus sylvatica L.*), parfois présent sur d'autres feuillus, très rarement sur conifères.

Tubes à legs de 3 à 8cm de couleur brune.

Spores elliptiques-cylindriques de 1,19 X 6 µm



334 pores/mm



Hyphes crème à benzoïle.



10X 20X



10X 65X



Face intérieure des pores 10X 10X



10X 20X



10X 20X



10X 200X



10X 20X



10X 20X



10X 10X



10X 40X



Hyphes génératrices à parois minces.



Spores elliptiques-cylindriques de 1,19 X 6 µm

Fomes fomentarius (L.) Fr. (1818)

PROFESSEUR DE BIOMATÉRIEL

UNIVERSITÉ DE MONS

BOULEVARD DE DOUAI 7000 MONS

Coordonnées : Cellule technique

Tel : 067 733 000 Fax : 067 733 004

E-Mail : environnement@unipgq@univ-mons.be



PROMENADE MYCOLOGIQUE EN FORET DE STAMBRUGES
ET A LA MER DE SABLE



Clavaria corallipes (Hb.) J. Harkn.
Cl. corallipes / *Leucaria scaberrima*



Trichia adula (Hb.) Fr. *Copa de Brabant*



Hymenoglyphus f. concoloratus (Harkn.) Harkn.
Hymenoglyphus concolor (Hb.) Harkn.



Clavaria corallipes (Hb.) J. Harkn. *Copa de Brabant*



Clavaria corallipes (Hb.) J. Harkn. *Clavaria corallipes*



Clavaria corallipes (Hb.) J. Harkn. *Clavaria corallipes*



Clavaria corallipes (Hb.) J. Harkn. *Clavaria corallipes*



Clavaria corallipes (Hb.) J. Harkn. *Clavaria corallipes*



Clavaria corallipes (Hb.) J. Harkn. *Clavaria corallipes*



Clavaria corallipes (Hb.) J. Harkn. *Clavaria corallipes*



Clavaria corallipes (Hb.) J. Harkn. *Clavaria corallipes*



Clavaria corallipes (Hb.) J. Harkn. *Clavaria corallipes*



Clavaria corallipes (Hb.) J. Harkn. *Clavaria corallipes*



Clavaria corallipes (Hb.) J. Harkn. *Clavaria corallipes*



Clavaria corallipes (Hb.) J. Harkn. *Clavaria corallipes*



Clavaria corallipes (Hb.) J. Harkn. *Clavaria corallipes*



Clavaria corallipes (Hb.) J. Harkn. *Clavaria corallipes*

Éditions "Promenade de Brabant" - Collège technique de Brabant de Trarivange
80, Ave. de Brabant - 1300 - 90709 - Tél. 069/31.93.80
Millennes - Collège de Brabant de Melle - 1300
Bourgeois - Collège de Brabant de Melle - 1300
Châtillon - Collège de Brabant de Melle - 1300

Clavaria corallipes (Hb.) J. Harkn. *Clavaria corallipes*

Sources bibliographiques

- Traité fondamental de Botanique - Lüttge U, Kluge M, Bauer G.
Ed. TEC Lavoisier 1992
Illustrations : C1-C2-C4-C6-C7-C8-C15
- Manuel de Botanique générale - Nultsch
Ed. Masson et Cie 1969
Illustration : C3
- Biologie Végétale Plantes supérieures -Appareil Végétatif - Gorenflot R.
Ed. Masson 1990
Illustrations : C5-C9-C18
- Biologie Végétale Organisation des plantes à fleurs - Roland J-C et F.
Ed. Dunod 1999
Illustrations : C10-C11
- De la Graine à la Plante La "Cicatrisation des arbres" - Shigo A.
Belin Pour la Science 2001
Illustrations : C12-C13-C14-C16
- Tous les arbres de nos Forêts - Mitchell A.
Ed. Elsevier 1977
Illustrations: C17
- Champignons de Suisse TI à TV (TII : J. Breitenbach / F. Kranzlin) 1986
- Armillaria Root Rot : Biology and Control of Honey Fungus Roland T.V. Fox
2000
- Détection et isolement des champignons du sol P. Davet, F. Rouxel 1997
- Illustrated Genera of Ascomycetes VI – VII Richard T. Hanlin 1990
- 1200 Pilze in Farbfotos R.M. Dähn 1993
- Les champignons de France R. Courtecuisse 1994
- Dossier pédagogique du Cercle de Mycologie de Mons 2004
- Les fiches techniques de P. Aversenq – Le Caducée de l'arbre 2002
- Cours de l'Atelier de l'arbre William Moore Périgueux
- Présentation des modes de décomposition du bois et implications pour l'évaluation de l'état mécanique des arbres. F.W.M.R. Schwarze, D. Lonsdale, S. Fink
- Diagramme de synthèse des principaux types de dégradation de la paroi cellulaire par les champignons lignivores W. Moore
- Sites Internet consultés :
www.snv.jussieu.fr
www.pst.chez.tiscali.fr
www.home.tiscali.be/jp.boseret
www-chimie.u.strasbg.fr (Université de Strasbourg)
www.inpr.fr
www.membres.lycos.fr/acell
www.dfev.univ-tln.fr



HAINAUT DEVELOPPEMENT
Guidance de l'environnement - cellule technique
4, rue P-J Duménil B-7000 MONS
Tél: +32 (0)65/328 988 fax: +32 (0)65/328 998
e-mail: environnement.technique@hainaut.be



Editeur responsable : Gérald MOORTGAT Dépôt legal : D/2004/9156/1