pareils se rattachent d'ailleurs exclusivement les machines employées par les diverses sociétés d'exploitation qui ont bien voulu répondre à notre questionnaire.

Ces sociétés, au nombre d'une quarantaine, exploitant ensemble dans leurs installations, une puissance transformée totale d'environ 355.000 kw. dont le tableau ci-dessous indique la répartition entre les fréquences utilisées, 25 périodes et (42 ou 50 périodes), ainsi qu'entre les diverses espèces de services alimentés : 1° service exclusif de traction ; 2° service mixte de traction et d'éclairage ; 3° service mixte d'éclairage et de force motrice.

NATURE DES GROUPES	TRACTION		Traction et éclairage f = 50	ECLAIRAGE ET FORCE MOTRICE		TOTAUX
	f = 25	f = 50		f = 25	f = 50	
	kw	kw	kw	kw	kw	kw
Commutatrices . . .	77 650	16.725	21.350	15.500	4.650	135 875
Moteurs synchrones- dynamos	9 100	21.160	62.270	»	»	92 530
Moteurs asynchrones- dynamos	35.100	12.070	24.450	24.500	2.560	98.680
Convertisseurs en cas- cade	»	9 950	11.600	1.000	11.050	33.600
TOTAUX	121.850	59.905	119.670	41 000	18.260	360.685

Avant de commenter les chiffres contenus dans ce tableau, nous allons examiner ci-après, suivant l'objet de la question qui nous occupe, et en empruntant le plus possible à la substance des réponses que nous avons reçues, les avantages et les inconvénients respectifs des différents systèmes de transformation utilisés.

Les qualités et les défauts de ces systèmes seront successivement envisagés aux différents points de vue suivants, qui nous ont plus particulièrement servi de base dans l'établissement du questionnaire :

- 1° Encombrement,
- 2° Rendement,
- 3° Prix,
- 4° Frais d'entretien,
- 5° Démarrage et couplage,
- 6° Réglage, stabilité et division de la tension,
- 7° Facteur de puissance et réaction sur le réseau,
- 8° Mouvements pendulaires,
- 9° Stabilité de marche,
- 10° Commutation et capacité de surcharge,
- 11° Risques d'accidents.

(A suivre.)

F. SARRAT,

Ingenieur à la C^{ie} G^{le} de Railways et d'Electricité

IMPRÉGNATION, SÉNILISATION ET IGNIFUGATION DES BOIS D'INDUSTRIE

Cette étude était en notre possession quand nous avons appris la mort de notre distingué collaborateur, Jean Escard, survenue après une longue maladie. C'est avec un profond regret que nous voyons disparaître en pleine jeunesse ce travailleur actif et consciencieux. Il laisse une œuvre d'érudition considérable et touchant aux sujets les plus variés. Sa perte sera particulièrement ressentie par notre revue dont il était un des premiers et dévoués collaborateurs. Nous adressons à Mme Jean Escard et ses enfants, nos bien sincères condoléances.

LA RÉDACTION.

INTRODUCTION

Bien que dans la construction le fer tende à se substituer de plus en plus au bois par ses qualités supérieures de résistance mécanique et de durée, ce dernier voit néanmoins ses applications s'étendre chaque jour alors que la matière première semble au contraire devenir toujours plus rare. La nécessité d'assurer au bois la plus longue durée possible, d'après les emplois qui lui sont réservés, se montre donc comme très impérieuse, à une époque surtout où les déboisements inconsidérés auxquels on se livre ne peuvent qu'augmenter le prix des bois. Cet accroissement de prix tient aussi aux conditions imposées quant à la qualité, au relèvement des salaires des ouvriers, enfin à la destruction rapide des forêts situées à proximité des grandes voies de communication ; les exploitations ont été ainsi progressivement refoulées vers les centres dépourvus de moyens de transport et l'exportation est devenue plus difficile et partant plus coûteuse.

Parmi les multiples débouchés des bois, qui, en face de la diminution graduelle des surfaces boisées utilisables, donnent au problème de leur conservation un caractère économique de grande importance, il faut citer princi-

palement les suivants : le développement sans cesse croissant des voies ferrées (pylônes et traverses) ; l'extension rapide, au cours de ces vingt dernières années, des lignes télégraphiques et téléphoniques ; le pavage des rues de ville à l'aide de pavés de bois découpés et imprégnés ; le développement des lignes électriques de transport d'énergie à distance et dont quelques-unes ont plusieurs centaines de kilomètres de longueur ; le boisage des galeries de mines ; enfin la fabrication de la pâte à papier à l'aide de la pulpe de bois (sapin de Norvège notamment) qui entraîne chaque année la disparition de plusieurs milliers d'hectares de forêts.

Prolonger la durée des bois par des procédés économiques et n'entraînant aucune diminution de leurs qualités (résistance, dureté, flexibilité) semble donc le moyen le plus sûr d'éviter le renouvellement fréquent de coûteuses installations et, d'autre part, de lutter victorieusement contre le déboisement intensif et dont les conséquences peuvent être d'une extrême gravité dans un avenir prochain si l'on n'y met pas obstacle rapidement. Or, il existe aujourd'hui des moyens simples et pratiques permettant de combattre et même d'empêcher l'altération des bois alors même que ces derniers sont placés dans de mauvaises conditions. La lutte contre les champignons, notamment, est parfaitement possible à l'aide d'antiseptiques employés dans de bonnes conditions d'imprégnation et de dosage. Cette question sera étudiée en détail dans les pages qui vont suivre. Bornons-nous à rappeler dès maintenant que toutes les catégories de métiers qui utilisent le bois, c'est-à-dire la plupart des industries, ont intérêt à connaître et à pratiquer l'emploi des substances conservatrices du bois. Qu'on imprègne celui-ci de produits capables de s'opposer au développement des moisissures et des insectes de la même façon qu'on recouvre le fer de minium pour le préserver de la rouille, et le bois aura une vie à peu près aussi longue que le fer sur lequel il a en outre l'avantage de coûter beaucoup moins cher, d'être moins lourd et plus flexible.

Mais ce ne sont pas seulement les industriels qui ont

intérêt à connaître l'efficacité des antiseptiques, ce sont aussi et surtout les architectes et les entrepreneurs de charpente et de menuiserie, responsables devant la loi des travaux qu'ils effectuent ou dirigent. Les articles 1792 et 2270 du Code civil mentionnent en effet que les architectes et entrepreneurs sont responsables de leurs travaux pendant une période de dix ans. Il est vrai que conformément à l'article 1642 du même code, exprimant que « le vendeur n'est pas tenu des vices apparents dont l'acheteur a pu se convaincre lui-même », il peut y avoir prétexte à la défense de la part de l'inculpé.

La constitution des matériaux de remplissage, notamment en ce qui concerne les planchers, joue un rôle important dans le développement des champignons. Il n'est donc pas secondaire de connaître et de pouvoir au besoin déterminer l'origine des altérations des bois. Non seulement on est alors en mesure de prévenir des accidents, mais on a la possibilité d'employer les méthodes les plus aptes à les éviter complètement par un choix plus judicieux des essences et des antiseptiques devant assurer leur conservation.

CHAPITRE PREMIER

CAUSES DE L'ALTÉRATION & ENNEMIS DES BOIS

L'altération du bois peut avoir de multiples causes, mais il est démontré aujourd'hui que sa putréfaction a pour principale origine l'action de *champignons* microscopiques. Jusqu'au commencement du XIX^e siècle, on attribuait la décomposition prématurée des bois à l'action combinée de l'oxygène de l'air et de l'humidité. Certains supposaient qu'il fallait plutôt rechercher dans le bois lui-même les agents de putréfaction. C'est à T. Hartig que l'on doit d'avoir démontré, en 1827, que les phénomènes de putréfaction se produisent en même temps que l'apparition des champignons ; il considérait cependant que les champignons sont la conséquence de la putréfaction, alors que c'est le phénomène inverse qui a lieu. En 1836, il se rallia à cette idée et proclama que certaines pourritures sont en effet provoquées directement par des variétés particulières de champignons. En 1878, Wilcomm et R. Harting démontrèrent que la décomposition du bois ne peut se produire sans l'intervention des champignons dont elle est ainsi sous la dépendance directe.

Vaisseaux et cellules de bois fortement grossies

Par quel mécanisme se produit donc cette transformation qui, dans l'espace de quelques années, de quelques mois même, peut détruire entièrement la charpente d'une construction nouvellement édifiée ?

Le champignon et la moisissure ; dégâts. — On sait que les champignons, par leur nature et leur organisation, vivent en parasites sur de nombreuses substances qu'ils finissent par détruire complètement en hâtant leur décomposition. Ils se distinguent des autres végétaux par l'absence de chlorophylle ; cette substance sert, dans ces derniers, à absorber le carbone de l'air pour le transformer en hydrates de carbone, celluloses, etc. Les champignons sont donc obligés de puiser leur carbone autre part que dans l'atmosphère et, en fait, ils l'extraient de la matière organique vivante qu'ils désorganisent ainsi peu à peu.

La plupart des champignons vivant sur le bois (champignons lignicoles) sont pluricellulaires, c'est-à-dire que leurs appareils nutritif et reproducteur sont distincts. L'appareil nutritif, appelé *mycélium*, comprend un grand nombre de filaments généralement soyeux et blanchâtres, parfois teintés ; ils possèdent la faculté de sécréter des diastases douées d'une grande puissance chimique ; placés dans un milieu favorable, ils désorganisent alors les tissus organiques en se développant à leurs dépens après s'y être fixés. Ces filaments ont du reste une très grande longueur et se ramifient dans tous les sens. On les aperçoit souvent à l'œil nu, mais comme ils sont intimement mêlés à la matière organique qu'ils exploitent et qu'ils sont doués d'une grande finesse, on ne se rend pas toujours compte immédiatement de leur présence. L'appareil reproducteur ou *réceptacle*, émane du mycélium et, généralement, comprend un support ou pied et un chapeau ; les organes reproducteurs proprement dits ou *spores* adhèrent à des lames, des tubes ou des aiguilles, suivant la nature des champignons. Les spores ont des dimensions très faibles (quelques centièmes de millimètre), et constituent une sorte de poussière impalpable, blanche ou colorée, facile à transporter par le vent. En s'introduisant dans les fentes du bois et en germant sur les bois humides, ils donnent naissance, à une de leurs extrémités, au tube mycélien qui pénètre dans l'intérieur du bois ; il s'y ramifie d'autant plus abondamment et plus vigoureusement que le milieu nourricier est plus riche.

De nombreuses recherches ont permis d'établir que les mycéliums meurent dans une atmosphère complètement sèche ; mais ils réagissent et se défendent en sécrétant eux-mêmes de nombreuses gouttelettes d'eau qui leur permettent de franchir les espaces secs en les rendant momentanément humides. D'après MM. Henry et Moreau, dans un air stagnant, le mycélium, en se développant, peut rapidement gagner les maçonneries, où il trouve les sels alcalins qui lui sont nécessaires, et de là envahir les bois placés à proximité. Une solive atteinte peut ainsi entraîner plus ou moins rapidement la destruction de tout un plancher. La propagation des spores se fait en effet, non seulement par le vent, mais lors de la démolition d'une construction, par les vêtements, les outils et les marchandises elles-mêmes. Les vieux bois suspects, notamment ceux imprégnés ou recouverts de poussières jaunes caractéristiques, doivent être impitoyablement détruits.

Le danger de propagation de la putréfaction par les spores est d'autant plus grave que la vitalité des mycéliums est généralement très grande. Pour pouvoir germer, les spores demandent une température voisine de 25° ; leur vitalité est nulle à 0° et 40°, mais elle ne meurent pas dans les milieux ayant ces températures ; de même, une dessiccation prolongée ne fait pas périr les mycéliums dont certains peuvent même vivre jusqu'à vingt ans. Une fois placés à nouveau dans un milieu favorable, spores et mycéliums se développent comme auparavant et redeviennent nocifs.

D'après J. Beauverie ⁽¹⁾, le mécanisme par lequel les filaments de champignon agissent sur les bois qu'ils ont pu pénétrer, est le suivant :

Le plus souvent, les filaments pénètrent dans le tissu ligneux par les rayons médullaires dont les cellules sont les plus riches en substances alimentaires (amidon, sucres) ; ils passent ainsi dans les cellules du parenchyme ligneux qui contiennent également ces substances de réserve. Peu à peu, ces matériaux sont dissous et transformés en une substance

Hêtre : coupe transversale montrant les vaisseaux

brunâtre ou brune. Le champignon consomme cette dernière, puis, lorsqu'elle est épuisée, ses filaments perforent et attaquent les membranes du bois. La cellulose de celui-ci, progressivement isolée, est bientôt attaquée à son tour et dissoute par une diastase (la ctylase) adaptée à cette fonction et émise par le champignon.

Pitchépin : coupe transversale montrant le canal résineux I et les bois de printemps (parties claires) et d'été (parties sombres)

Ainsi consommé, le bois devient léger, friable, perd de son volume et tombe en poussière en se desséchant. Sa substance est remplacée par les filaments des champignons qui lui communiquent leur teinte.

Méthodes permettant de reconnaître la présence des champignons. — En somme, l'invasion de la substance ligneuse par les champignons se manifeste extérieurement par les caractères suivants :

1° L'altération plus ou moins profonde du tissu ligneux qui perd sa consistance, s'amollit et s'effrite ;

2° La disparition de l'odeur sui generis des bois sains (odeur de tannin ou de créosote) et son remplacement par celle du champignon envahisseur (odeur de moisi) ;

3° Le changement de coloration.

Suivant la nature des mycéliums, la coloration du bois devient noirâtre, rouge, brune, verte, etc. Et tandis que la teinte des fibres intactes est uniforme, celle des plages attaquées se manifeste par des points, des piqûres, des traînées disséminées dans toute la masse du bois. Ces colorations apparaissent beaucoup plus nettement sur les bois fraîchement sciés que sur les bois bruts. L'examen microscopique et l'emploi des réactifs chimiques permettent de pousser encore plus loin l'analyse du phénomène et de caractériser les attaques du mycélium.

EXAMEN MICROSCOPIQUE. — Bien que du domaine du laboratoire, il permet de distinguer rapidement les filaments de champignon dans le bois ou à sa surface, ainsi que les spores. Suivant la forme des boucles des filaments, la présence de cordons mycéliens et de ramifications latérales (caractéristiques du *Merulius lacrymans*), on peut recon-

naître la nature du champignon. Mais dans certains cas, le champignon est si peu abondant qu'on ne peut l'observer aisément, il échappe à l'observation directe. On a alors recours à la méthode des cultures et à l'examen microchimique.

MÉTHODE DES CULTURES. — Comme son nom l'indique, elle consiste à faire évoluer dans un milieu convenable les spores incluses dans les fentes du bois ou le mycélium qui pourrait y être contenu à l'état vivant ⁽¹⁾. L'examen microscopique de la culture permet de déterminer la variété de champignon destructeur.

RÉACTIFS CHIMIQUES. — Leur emploi est général pour toutes les altérations du bois dues aux champignons. Comme réactifs, on peut employer un mélange d'indol et d'acide chlorhydrique, l'acide sulfurique dilué, le réactif de Nessler, etc. Voici alors ce qu'on constate : avec le réactif de Nessler dans les bois attaqués par le champignon *Merulius*, les parties indemnes apparemment sont jaune grisâtre ; les parties attaquées sont brunes ou brun noirâtre. Dans le bois sain, la couleur jaune citron prédomine. Avec le chloroiodure de zinc ou l'iode additionné d'acide sulfurique, les parties attaquées se colorent en bleu après une demi-heure d'action et cette coloration se maintient cinq jours. Le bois sain est jaune.

Un procédé très simple consiste à mettre le bois à étudier dans de l'eau qu'on traite ensuite par le réactif de Nessler. Le bois sain donne un précipité gris jaunâtre et le liquide surnageant est jaune clair. Le bois champignonné donne un précipité gris et le liquide surnageant est jaune brun.

Pour faciliter l'examen microscopique, Campa et Martinot-Lagarde conseillent de traiter les coupes par une solution contenant 1 gr. de bleu coton, 1 gr. d'acide lactique et 100 gr. d'eau distillée. La couleur bleue se fixe sur les parties attaquées par les champignons tandis que les parties saines restent incolores par transparence.

Principaux champignons destructeurs du bois. — Parmi les champignons, les deux ennemis les plus redoutables des bois abattus ou en œuvre, c'est-à-dire ceux qui doivent intéresser le plus les constructeurs, sont le *Merulius lacrymans*, vulgairement appelé *Mérule*, et le *Polyporus vaporarius*, appelé simplement *polypore*. Tous deux sont particulièrement dangereux, car ils s'attaquent non seulement au bois, mais encore aux maçonneries environnantes sur lesquelles ils se propagent rapidement. Il existe cependant un grand nombre d'autres espèces plus ou moins caractéristiques de la pourriture des bois. Nous allons les passer rapidement en revue.

MERULIUS LACRYMANS. — Encore appelé « champignon des maisons » ⁽²⁾, le *Merulius* est le plus redoutable des parasites de nos maisons. Il a produit à certaines époques de véritables épidémies de pourriture, se propageant de rue en rue, de maison en maison, et causant ainsi des dégâts de plusieurs millions.

Le mycélium du *Merulius* est blanc, rougeâtre ou gris jaunâtre. Les filaments se réunissent généralement en lames de faible épaisseur mais parfois d'une grande étendue. Sa croissance est si rapide qu'elle atteint souvent plus d'un

(1) J. BEAUVERIE, *Le Bois*, 2 vol. in-8°, Gauthier-Villars, édit., Paris, 1905 ; et *Les Bois industriels*, un vol. in-8°, Doin, éditeur, Paris, 1910.

(2) Le procédé le plus simple consiste à placer les petits fragments de bois destinés aux essais dans un récipient dont l'atmosphère est saturée de vapeur d'eau. Ces fragments ont comme support de la sciure de bois ou de la terre. Le tout est placé dans une étuve à 25° environ, le mycélium, s'il existe dans le bois, apparaît en peu de jours à sa surface, puis se développe en s'étendant constamment en surface.

(2) Autres synonymies : *Merulus desruens*, *Merulius vastator*, *Serpula lacrymans*.

mètre par mois. Dans l'intérieur du bois, il chemine en utilisant les vaisseaux et profitant des parties de moindre résistance qu'il perfore. Dans les milieux humides, il semble jouer le rôle d'une substance hygroscopique en laissant suinter à sa surface des gouttelettes de liquide ; il « pleure » et c'est cette action qui lui a fait donner le nom de « lacrymans ». Au point de vue chimique, outre une forte proportion d'eau, le *Merulius* contient surtout du potassium, à l'état de phosphate, et de l'acide phosphorique. Cela explique les exigences de ce champignon au point de vue de sa nutrition : il lui faut un milieu riche en eau et où se trouvent en assez grande abondance de la potasse et de l'acide phosphorique. Or, ces conditions se trouvent réalisées dans le bois, surtout lorsqu'il est coupé au printemps.

Bois de chêne atteint de *Merulius lacrymans* (taches blanchâtres)

On a constaté, en outre, l'influence heureuse de l'ammoniaque sur la germination des spores, ce qui explique l'effet nuisible du voisinage des latrines et de l'humus pour la bonne conservation des bois placés à proximité. D'après Beauverie, les substances alcalines, même à l'état de traces, favorisent la germination des spores ; il faut donc que les bois ou matériaux de remplissage ne soient jamais en contact avec l'urine, à cause du dégagement d'ammoniaque qui en résulte. La potasse favorise également la germination. L'humidité permet l'extension des champignons ; c'est pourquoi les sous-sols et rez-de-chaussée sont plus particulièrement atteints par le *Merulius*. Les locaux qui, par suite de leur destination, sont appelés à être presque continuellement saturés de vapeur d'eau, doivent donc être construits avec du fer plutôt que du bois. Dans les caves, on protégera les piliers de support en bois avec des isolants tels que le ciment, l'asphalte, qui sont imputrescibles et empêcheront l'invasion du champignon.

Les bois susceptibles d'être attaqués par le *Merulius* sont, non seulement les résineux (pin, sapin, épicéa), mais aussi ceux des arbres feuillus (chêne, bouleau, aulne). En général cependant, la première attaque a lieu sur une pièce de bois résineux ; le foyer d'infection se propage ensuite rapidement, ne respectant pas plus le cœur que l'aubier, même dans le chêne.

POLYPORUS VAPORARIUS (1). — Ce champignon attaque aussi bien les arbres en forêt que les bois de construction. Les dégâts qu'il cause ont beaucoup de ressemblance avec ceux du champignon précédent, ce qui rend les distinctions difficiles. Il est particulièrement abondant sur les bois des caves et les planchers qui reposent directement sur les sous-sols. Les bois attaqués deviennent d'abord brun clair, puis

rouge foncé et se crevassent simultanément dans le sens vertical et dans le sens horizontal. Peu à peu, ils perdent toute consistance et se laissent facilement pulvériser entre les doigts.

En forêt, le *Polyporus vaporarius* s'attaque de préférence aux résineux, principalement au pin et au sapin. Il est moins dangereux que le *Merulius* en ce sens que ses filaments mycéliens sont moins aptes à entraîner avec eux une grande quantité d'eau, favorable à son développement ; par contre, il est très peu sensible à l'abaissement de la température, car il supporte facilement 0°.

Bois attaqué par le *Polyporus vaporarius*

Au microscope, on peut distinguer ce champignon du *Merulius* par la forme des boucles du mycélium qui n'émettent pas, comme dans ce dernier, de prolongement latéral ; elles restent toujours fermées.

STEREUM FRUSTULOSUM (1). — Ce champignon attaque surtout le chêne. Les dégâts qu'il produit sont très caractéristiques et il est ainsi facile d'éviter leur confusion avec ceux des autres champignons. D'après Beauverie, le bois devient d'abord rouge brun, puis sur ce fond apparaissent des taches blanc de neige, qui se transforment en cavités tapissées d'un revêtement blanc. En même temps qu'il augmente de dimension, celui-ci jaunit et, finalement, le bois semble réduit à une sorte d'échafaudage de coques brunes très dures ; il présente l'aspect des dessins du plumage de la perdrix, d'où le nom de *Thelephora Perdix* que possède le champignon cause de cette altération.

Bois attaqué par le *Stereum frustulosum* ou *Telephora perdix*.
(D'après Hartig)

En section transversale, le bois attaqué montre des cavités situées entre les rayons médullaires et allongées dans le sens radial. En section longitudinale, elles sont plus allongées dans la direction parallèle à l'axe ; leur longueur est, en effet, égale à quatre fois environ leur diamètre.

STEREUM HIRSUTUM (2). — Ce champignon vit surtout sur

(1) Synonymie : *Thelephora Perdix*, *Thelephora frustulata*, *Telephora sinuans*.

(2) Synonymie : *Thelephora hirsuta*, *Auricularia reflexa*, *Auricularia aurantia*.

(1) Synonymie : *Polyporus incertus*, *Boletus vaporarius*, *Poria vaporaria*

le bois mort et des vieilles souches ; il pénètre rarement dans l'intérieur du bois sain par une plaie de l'écorce. L'attaque se fait par zones concentriques ; le bois devient d'abord jaune brun, puis blanc pâle par places. Ces parties blanches forment des zones allongées ayant la direction de l'axe de la tige ; elles s'étendent parfois très rapidement et le bois se transforme presque complètement en une matière de teinte blanc jaunâtre.

HYDNUM DIVERSIDENS. — Ce champignon s'attaque surtout aux chênes et aux hêtres déjà âgés ; il s'accroît par couches successives et est très vivace. Il commence par pénétrer le bois au niveau des rameaux brisés du tronc, puis s'étend de tous côtés. Une fois altéré, le bois devient très tendre, s'écrase entre les doigts et est très léger. Sous l'influence des filaments du champignon, les couches internes et moyennes des fibres qu'ils pénètrent en tous sens se gonflent, se transforment en une sorte de gelée et se séparent de la lamelle intercellulaire qui demeure ainsi inaltérée. Elles sont finalement dissoutes et absorbées par le mycélium. La teinte du bois attaqué est gris jaunâtre, gris brunâtre ou blanche suivant la partie atteinte et le degré d'altération.

Champignon *Trametes steroides* se développant sur du bois de hêtre

POLYPORUS ANNOSUS (1). — Le *Polyporus annosus* s'attaque surtout aux résineux, notamment à l'épicéa et au pin. Il constitue un parasite dangereux, ravageant parfois des peuplements entiers de ces arbres entre 40 et 60 ans et tuant aussi les jeunes plants. Son appareil fructifère se forme sur les racines ou à la base du tronc. Bien qu'ayant des aspects très variables, il présente généralement la forme d'un plateau appliqué contre la racine sur laquelle il se développe ; parfois il se redresse en console en prenant alors un grand développement.

Au début, le bois attaqué prend d'abord une teinte rougeâtre chez le pin et gris lilas chez l'épicéa. Peu à peu, cette teinte devient jaune brun ; la surface atteinte est marquée de petites taches noires autour desquelles s'en forment de blanches qui arrivent à se rejoindre, tandis que les noires disparaissent progressivement. Dans cet état, le bois est à peu près complètement décomposé. On a cité des cas où huit ans après l'apparition de la maladie, plus de 1.000 mètres carrés de forêts étaient dénudés autour du foyer d'infection : le champignon se propage, en effet, d'arbre en

arbre par les racines, le sol jouant le rôle de milieu favorable au transport de la maladie.

POLYPORUS PINI (2). — Ce champignon s'attaque surtout au pin, comme son nom l'indique. Il constitue des chapeaux ligneux, durs, épais du côté du tronc et minces du côté libre. La face supérieure est brune, marquée de lignes concentriques. Il altère aussi l'épicéa et le mélèze. Les bois attaqués deviennent d'abord rouge brun ; ils se creusent de cavités qui s'étendent et se réunissent, restant séparées circulairement par les parties des zones annuelles qui sont plus résistantes ; les parois de ces cavités se recouvrent d'un enchevêtrement de filaments blanchâtres.

Bois de hêtre attaqué par le *Trametes steroides*

Sans être nuisible à la vie des arbres atteints, le *Polyporus Pini* enlève au bois toute sa valeur. Aussi convient-il d'abattre rapidement les arbres attaqués, de détruire les conceptacles pour entraver la propagation de la maladie par les spores et d'utiliser les bois non envahis avant que le mal les aient atteints.

POLYPORUS HARTIGHI (2). — Il attaque la plupart des résineux, notamment le pin et le sapin, mais ce dernier résiste beaucoup mieux au mal que le premier. Il produit la « pourriture blanche ». Le mycélium, de couleur jaune ou brune, pénètre dans les trachéides, corrode leurs parois et les troue ; la lamelle intermédiaire disparaît à son tour et le bois perd ainsi toute sa valeur marchande ; il n'a plus aucune consistance et se brise sous le moindre effort.

POLYPORUS BOREALIS (3). — Ce champignon s'attaque comme le précédent aux résineux, notamment à l'épicéa et au sapin. Il pénètre dans l'arbre par les plaies du tronc et l'envahit peu à peu. Le bois devient jaune brun, avec une zone étroite d'un brun foncé qui limite la région altérée. Lorsque les bois sont laissés à l'humidité, les filaments du champignon se développent rapidement et forment à sa surface une sorte de peau blanche qui jaunit peu à peu. L'appareil fructifère, qui se montre seulement sur les bois abattus, a la forme d'une console ; sa couleur est blanchâtre ; avec, de place en place, des parties rouges ou brunâtres ; la face supérieure est rugueuse ; la chair est blanche, mais elle se colore en rouge brun après exposition à l'air.

POLYPORUS SULPHURENS (4). — D'après Beauverie, ce champignon serait un des parasites du bois les plus répandus. Il atteint le chêne, le noyer, le peuplier, le poirier, le mélèze. Le bois attaqué devient d'abord uniformément rouge brun, puis apparaissent de minces lignes blanches constituées par des amas de mycélium. Peu à peu, il perd

(1) Synonymie : *Polyporus subpileatus*, *Trametes radiciperda*, *Polyporus resinosa*, *Polyporus serpentarius*.

(1) Synonymie : *Trametes Pini*, *Dædalea Pini*.

(2) Synonymie : *Polyporus igniarius*.

(3) Synonymie : *Boletus albus*, *Boletus borealis*.

(4) Synonymie : *Boletus sulphurens*, *Boletus citrinus*.

sa consistance, diminue de densité et tombe en fine poussière de couleur jaune sous la pression des doigts. La cavité des vaisseaux dans les bois de chêne se remplit d'une masse de filaments, puis la diastase que sécrètent ces derniers agit sur les parois des fibres voisines qui se fendillent suivant une spirale orientée de droite à gauche. Comme cela a lieu en général, les bois attaqués sont beaucoup plus riches en carbone et moins riches en oxygène que les bois sains.

Bois attaqué par le *Polyporus sulfureus*

POLYPORUS HISPIDUS (1). — Ce champignon s'attaque surtout aux arbres fruitiers (pommier). Il constitue des masses charnues de couleur jaune brunâtre ayant la forme de coussins épais ; leur diamètre peut atteindre, en effet, quinze centimètres. Sa consistance est tendre, car on l'écrase dès qu'on veut le détacher des arbres. La face supérieure est bombée et recouverte de poils agglutinés. La contamination se fait au moyen de spores mis en contact de branches brisées ou coupées. L'emploi du goudron au niveau des plaies semble être un moyen préventif excellent contre l'invasion de ce champignon dans les arbres fruitiers. Il est doublement pernicieux, causant la mort de l'arbre au point de vue de la récolte et la pourriture du bois.

POLYPORUS FOMENTARIUS (2). — On observe ce champignon sur le hêtre et le bouleau. Il engendre, dans le bois de cœur de l'arbre envahi, des fentes circulaires ou radiales qui se tapissent de mycélium. Le bois devient peu à peu blanchâtre et prend la consistance du liège. Il se manifeste sur les vieux arbres sous la forme d'un sabot de cheval ; sa couleur peut être blanche ou gris noirâtre ; sa face inférieure est plane et perforée d'innombrables petits pores. L'intérieur du chapeau est tendre et souple (3).

POLYPORUS BETULINUS. — Comme l'indique son nom, ce champignon attaque surtout le bouleau. Il a la forme d'un chapeau bombé ; les deux faces sont blanches. Le bois est attaqué aussi bien dans le contenu des cellules qu'à travers les fibres. Il diminue de volume et se fend radialement et circulairement, permettant ainsi aux filaments de mycélium de se faire jour jusque dans le cœur de l'arbre. L'intérieur du tronc étant pourri, l'arbre cède au moindre effort et le bois abattu n'a plus aucune valeur. Ce polypore est, du reste, regardé comme un des plus dangereux parasites du corps ligneux.

POLYPORUS DRYADENS. — Il attaque surtout le chêne ; on voit d'abord apparaître des stries longitudinales blanches et jaunes, puis, sous l'influence d'une décomposition plus

avancée, le bois prend une couleur brun très accentuée. Le champignon est en forme de sabot de cheval, sa couleur est brun cannelle. Il peut altérer très profondément le bois de chêne, causant ainsi à cet arbre de sérieux dommages. Il agit du reste, souvent en compagnie du *Polyporus igniarius*.

AGARICUS MELLEUS (1). — Ce champignon attaque de nombreux arbres forestiers, et aussi bien les feuilles que les résineux. Son mycélium se développe en partie dans l'écorce et en partie dans la partie externe du bois. Il a la forme d'un chapeau possédant, comme tous les agaricinées, des lames rayonnantes à la partie inférieure. Sa couleur est jaune de miel lorsqu'il est jeune. Son mycélium peut se présenter à l'état de filaments, de lames feutrées ou de cordons brun noirâtre. Il attaque surtout les pins, se propage en rond et cause la mort des arbres sur toute la surface envahie. Il vit même sur le bois mort où son appareil fructifère se développe aisément.

CHAMPIGNONS DIVERS. — Aux champignons précédents, on peut ajouter plusieurs variétés plus ou moins répandues : *Tremella faginea* (fig. 1), *Bispora monilioides* (fig. 2), *Schizophyllum commune* (fig. 3), *Stereum purpureum* (fig. 4). Sous les noms de pourriture blanche, jaune, rouge, grisette, carie, pourriture sèche, bois échauffé, on désigne des altérations variées qui n'ont pour raison d'être que

Fig 1

Fig 2

Fig. 3

Fig 4

l'ignorance de ceux qui les emploient. Non seulement, en effet, ils ne donnent aucune indication sur le genre de maladie cherchée, mais une même désignation peut en englober plusieurs. Celles qui sont les plus spécifiques ont les correspondances suivantes :

Pourriture blanche : *Stereum hirsutum*, *Hydnum diversidens*, *Polyporus igniarius*, *Polyporus fomentarius*, *Polyporus hartigii*, *Polyporus borealis*.

Pourriture jaune : *Hydnum schiedermayri*, *Stereum hirsutum*, *Polyporus fomentarius*.

Pourriture rouge : *Polyporus pini*, *Polyporus sulphureus*.

Le bois bleu ou bleu est une maladie qui résulte de l'action simultanée de plusieurs champignons. Le bois atteint se recouvre de stries et de surfaces de couleur bleuâtre ou grisâtre qui peuvent acquérir rapidement une grande étendue. Il se détruit peu à peu après avoir pris une teinte plus ou moins verdâtre. L'humidité paraît être la cause principale

(1) Synonymie : *Boletus hispidus*, *Boletus velutinus*

(2) Synonymie : *Amadouvier*, *Boletus fomentarius*, *Fomes fomentarius*

(3) Débité en menues lames, il sert à préparer l'amadou.

1) Synonymie : *Armillaria mellea*, *Agaric de miel*.

de la destruction des bois, notamment des bois abattus, par cette maladie.

Autres ennemis des bois. — MICROBES, TUMEURS, CHANCRES. — Le bois incomplètement desséché peut être envahi par des microbes variés et, en particulier, par le *Bacillus amylobacter*. Il agit à l'abri de l'air et attaque certaines variétés de cellulose, l'amidon, les sucres. En désagrégeant plus ou moins le tissu, il ouvre ainsi la voie aux autres envahisseurs, notamment aux champignons.

Les tumeurs bactériennes, en particulier celle du pin d'Alep, se manifestent par des proéminences atteignant parfois la taille d'un œuf de poule ; elles sont irrégulières de contour et coexistent en plus ou moins grand nombre sur le même arbre. Ces tumeurs sont remplies de *Bacillus pini* qui occasionnent la mort des tissus et peuvent faire périr ou languir la végétation des branches si elles sont nombreuses ou entourent ces dernières.

Les chancres résultent généralement de l'action combinée des champignons et des bactéries ; l'écorce commence par se déprimer, ensuite brunit et, finalement, meurt. Sur les bords de la plaie, il se forme une sorte de bourrelet qui est rongé peu à peu par les parasites et l'empêche ainsi de se cicatriser.

INSECTES. — Parmi les êtres vivants, les insectes sont certainement ceux qui, malgré leur petite taille, sont les plus terribles ennemis du bois. Ils l'attaquent, en effet, aussi bien lorsqu'il est abattu ou même à l'état de charpente que sur pied. Les termites et les vrillettes sont les plus connus.

Les termites, ou fourmis blanches, attaquent le sapin, le pin et le chêne ; ils installent leurs nids dans les vieux troncs et s'enfoncent dans le bois en creusant des galeries irrégulières. Les dégâts qu'ils occasionnent sont particulièrement graves lorsque, abandonnant la campagne, ils viennent s'acclimater dans les villes. Ils s'introduisent alors dans les charpentes, boiseries, meubles et, cheminant toujours à couvert, passent d'une maison à une autre par galeries souterraines. Ils percent leurs couloirs le long des murs et perforent les bois les plus durs. Ils sont d'autant plus dangereux qu'on ne soupçonne presque jamais leur existence, car ils respectent la membrane externe du bois alors que tout l'intérieur est déjà détruit. A certaines époques, les termites ont, à eux seuls, produit l'écroulement de toitures et de planchers, rongé des clôtures de jardin et entièrement mis hors d'usage des poutres abandonnées sur le sol.

Les vrillettes, qui n'ont que 3 à 6 millim. de longueur, sont de petits insectes qui ont l'instinct de « faire le mort » dès qu'un danger les menace, ce qui leur a fait donner aussi le nom de « boudeurs ». Il en existe de plusieurs espèces. A l'état de larve, elles perforent surtout le bois mort, les colonnes, poutres, vieux meubles. A l'état d'insecte, elles creusent des trous à l'intérieur du bois, celui-ci tombe peu à peu en poussière, devient « vermoulu » et perd sa résistance. Récemment introduites dans le bois, les vrillettes ne laissent pas soupçonner leur existence. Aussi peuvent-elles engendrer de sérieux ravages sans qu'on prenne garde d'intervenir, car la vermoulure ne se manifeste que lorsque les trous apparaissent extérieurement.

Le lime-bois (*Lymexylon navale*) attaque surtout les bois de construction et notamment le chêne.

Nous n'insisterons pas sur les dégâts occasionnés par les autres insectes, dont le nombre est considérable. Parmi ceux qui causent le plus de dommages aux bois, nous citerons les suivants : lucane (ou cerf-volant), pissodes, capricorne

(notamment *cerambyx cerdo*), bostriches, fourmis diverses, sirex, cossus ronger-bois, etc.

VERS. — Parmi les mollusques, les tarets sont les plus grands ennemis des bois à la mer. Allongés en forme de ver et recouverts d'une coquille sur une partie du corps, ils s'attaquent aux bois les plus durs et les détruisent avec une grande rapidité. Leur coquille paraît jouer un rôle important dans l'attaque du bois de même que les matières qu'ils sécrètent. Leur travail de destruction est, du reste, facilité par la macération du bois dans l'eau de mer qui l'amollit. On a cité des pilotis de soutien de digues tellement envahis par les tarets qu'ils n'offraient plus aucune résistance à l'action des vagues et qu'ils tombaient même vermoulus. Actuellement on cherche à lutter contre ces mollusques en recouvrant le bois destiné aux travaux marins d'une épaisse couche de ciment.

AGENTS OXYDANTS. — Parmi les causes physiques extérieures pouvant altérer le bois et diminuer leur durée, il faut citer l'action directe de l'air. Par son oxygène, il est une cause permanente d'altération. Même à l'état sec et devenu ainsi imputrescible, le bois possède encore le ligneux dont les éléments sont peu à peu comburés par l'oxygène. Le bois se consume et perd sa résistance.

Dans le cas de bois de pilotis complètement submergés, à l'action des oxydants vient s'ajouter celle des sels en dissolution dans l'eau ou présents dans le sol, en particulier des sulfates (sulfate ferreux, sulfate de chaux, etc.). Réduits par la matière ligneuse, ils se transforment en sulfures. En même temps que l'oxygène libéré détruit le bois par combustion lente, le sulfure convertit celui-ci en une sorte de tourbe qui n'a plus aucune consistance. Les bois privés de sève, quoique très protégés contre l'action des champignons, sont d'autant plus sensibles à l'action des agents oxydants que leurs vaisseaux constituent de véritables canaux dans lesquels l'air peut pénétrer avec facilité. Les bois qui travaillent ou, comme on dit, qui « tourmentent » ont au contraire comme origine de leur déformation la présence de la sève par insuffisance de dessiccation.

FENTES. — La fente des bois est aussi une des principales causes de leur faible durée. Elle peut avoir des origines différentes : la grêle, le froid, le vent, les avalanches, une température élevée. Elle prend alors des noms variés, en rapport généralement avec la nature du mal : cadranures ou fentes au cœur, gélivures, lunure, rouluré, gélure.

Au point de vue de la résistance mécanique du bois et de sa conservation, les fentes ont le grave inconvénient d'ouvrir aux germes de décomposition une voie vers l'intérieur du bois ; celui-ci étant généralement moins bien pénétré que l'aubier par les antiseptiques, il se laisse attaquer plus facilement. Cela explique pourquoi on trouve souvent des traverses de chemins de fer dont la partie externe est saine alors que l'intérieur est complètement détruit. Ces traverses sont plus dangereuses que les traverses pourries non injectées, parce qu'elles ne permettent pas de juger de leur mauvais état. Le hêtre, en particulier, a souvent à subir cette action combinée de la putréfaction et de la fente. On l'évite par le séchage du bois dès le dépôt dans la forêt après l'abatage (de façon que l'évaporation de l'eau se fasse très lentement).

Durée des bois. — Les différentes essences, indépendamment des moyens variés de conservation indiqués plus loin, ont des durées de vie très variables. Ainsi, le chêne dure de 14 à 20 ans, le sapin de 4 à 8 ans, le hêtre de 3 à 4 ans,

le pin de 2 à 6 ans, le mélèze de 8 à 13 ans. Ces chiffres supposent des bois enfouis dans la terre et subissant alternativement l'action de l'air et de l'eau. A l'air libre, leur durée peut être beaucoup plus longue et atteindre par exemple 100 ans pour le chêne, 75 ans pour le hêtre, 85 ans pour les résineux. D'après M. Beauverie, dans un milieu constamment sec, la durée du chêne peut même atteindre 300 ans et celle du sapin de 120 à 150 ans.

Il convient, en outre, d'ajouter que les arbres qui ont crû en montagne ont une plus longue durée que ceux des plaines. Dans les premiers, en effet, la végétation plus lente a permis la constitution d'un bois plus serré. Le climat joue aussi un rôle très important dans la durée de conservation

des bois abattus. Sous la zone torride, la décomposition est beaucoup plus rapide. Sous l'eau, les bois qui se conservent le mieux sont le chêne, l'aulne, le hêtre, le mélèze et le pin ; ceux qui s'altèrent le plus rapidement sont le bouleau, le peuplier, le tilleul et le saule.

En résumé, les bois ont une durée d'autant plus longue : 1° que la température se rapproche de la moyenne et que le milieu est plus sec ; 2° qu'ils ont été abattus près de l'hiver ; 3° que les climats sous lesquels ils ont poussé sont plus froids, à une altitude élevée et que les sols sont plus pauvres en matières fertilisantes.

(A suivre.)

J. ESCARD,
Ingénieur civil, Lauréat de l'Institut.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

ELECTRICITE

Calcul de la propagation des courants alternatifs sur les longues lignes, par la séparation des puissances réelle et réactive. — Note de M. P. BOUCHEROT, présentée par M. A. Haller.

Pour établir la distribution de la tension et de l'intensité d'un courant alternatif le long d'une ligne très étendue, on fait appel généralement, soit à l'emploi d'équations aux dérivées partielles du second ordre, soit à celui des imaginaires.

Le but de la présente Note est de montrer qu'on peut se passer des imaginaires et n'avoir à intégrer cependant qu'une équation différentielle ordinaire à une seule variable, la distance, en utilisant le principe de la conservation des puissances réelle et réactive. La tension et le courant ne figurent alors dans le calcul que par leurs valeurs efficaces. Soient :

- r , la résistance linéaire de la ligne ;
- s , sa réactance linéaire ;
- c , sa conductance linéaire latérale ;
- a , le produit de la capacité linéaire latérale par la pulsation ;
- U , la valeur efficace de la tension en un point quelconque ;
- I , la valeur efficace du courant ;
- P , la valeur de la puissance réelle ;
- Π , la valeur de la puissance réactive, toujours au même point

On a d'abord en chaque point

$$(1) \quad P^2 + \Pi^2 = U^2 I^2.$$

Le long d'un élément dx , la dissipation de puissance réelle est $I^2 r dx$ du fait de la résistance, et $U^2 c dx$ du fait de la perte latérale ; la dissipation de puissance réactive est $I^2 s dx$ du fait de réactance, et $-U^2 a dx$ du fait de la capacité. On a donc.

$$(2) \quad \frac{dP}{dx} = rI^2 + cU^2,$$

$$(3) \quad \frac{d\Pi}{dx} = sI^2 - aU^2.$$

En cheminant le long de la ligne d'une longueur dx , le courant varie de dI par la conductance et la capacité latérales ; on a donc

$$(P + U^2 c dx)^2 + (\Pi - U^2 a dx)^2 = U^2 (I + dI)^2;$$

d'où

$$(4) \quad \frac{dI^2}{dx} = 2(Pc - \Pi a),$$

en négligeant les infiniment petits du second ordre.

De même, la tension varie de dU par la résistance et la réactance, et l'on a

$$(P + rI^2 dx)^2 + (\Pi + sI^2 dx)^2 = (U + dU)^2 I^2;$$

d'où

$$(5) \quad \frac{dU^2}{dx} = 2(Pr + \Pi s).$$

Posons, pour simplifier l'écriture,

$$p = \sqrt{r^2 + s^2}, \quad q = \sqrt{c^2 + a^2}, \quad m = sa - rc;$$

puis dérivons (4) et (5), en remplaçant $\frac{dP}{dx}$ et $\frac{d\Pi}{dx}$ par leurs valeurs en (2) et (3), il vient

$$(6) \quad \frac{d^2 U^2}{dx^2} = 2p^2 I^2 - 2m U^2,$$

$$(7) \quad \frac{d^2 I^2}{dx^2} = 2q^2 U^2 - 2m I^2.$$

Tirons I^2 de (6) et remplaçons-le, ainsi que sa dérivée seconde, dans (7), il vient

$$\frac{d^4 U^2}{dx^4} + 4m \frac{d^2 U^2}{dx^2} + 4(m^2 - p^2 q^2) = 0.$$

On trouve aisément que I^2 , P et Π satisfont à la même équation différentielle, très facile à intégrer.

Posant encore, pour simplifier,

$$\alpha = \sqrt{2} \sqrt{pq - m}, \quad \beta = \sqrt{pq + m}, \quad n = sc + ra;$$

les valeurs générales de U , I , P et Π sont

$$U^2 = A_1 e^{\alpha x} + A_2 e^{-\alpha x} + B_1 \cos \beta x + B_2 \sin \beta x,$$

$$I^2 = \frac{q}{p} [A_1 e^{\alpha x} + A_2 e^{-\alpha x} - B_1 \cos \beta x - B_2 \sin \beta x],$$

$$P = \frac{\alpha}{2n} \left(a + \frac{sq}{p} \right) (A_1 e^{\alpha x} - A_2 e^{-\alpha x}) - \frac{\beta}{2n} \left(a - \frac{sq}{p} \right) (B_1 \sin \beta x - B_2 \cos \beta x).$$

$$\Pi = \frac{\alpha}{2n} \left(c - \frac{rq}{p} \right) (A_1 e^{\alpha x} - A_2 e^{-\alpha x}) - \frac{\beta}{2n} \left(c + \frac{rq}{p} \right) (B_1 \sin \beta x - B_2 \cos \beta x).$$

L'équation générale (1) donne une relation entre les quatre coefficients, qui est

$$B_1^2 + B_2^2 = 4 A_1 A_2.$$

Il en résulte que le problème est entièrement défini si l'on se donne la tension U ; le courant I et le déphasage entre les deux, en un point quelconque de la ligne, au poste récepteur ou à l'usine génératrice, par exemple. Pour connaître le déphasage entre le courant et la tension en un point quelconque, autre que celui qui détermine les coefficients ci-dessus, point n'est besoin d'autre calcul que ceux qui viennent d'être faits.

Mais on se propose parfois de rechercher le déphasage ψ entre la tension en un point quelconque et une origine quelconque, ainsi que le déphasage ψ entre le courant et cette même origine,