

L'emploi des radiations ionisantes pour l'assainissement du bois ancien

W. BECK

INTRODUCTION

Le présent travail a pour but de contribuer à l'étude de la conservation des bois et des papiers par l'emploi de rayons gamma pour leur désinfection. A côté des possibilités offertes par l'utilisation de ces rayons ionisants, on montrera également, les limites et les dangers de cette méthode. Les rayons ionisants pénétrants possèdent l'avantage de toucher des endroits qui ne peuvent pas être atteints par des liquides ou des gaz.

Les champignons de moisissure sous les enchâssures, les attaques de champignons parasites ou d'insectes sur de grands autels ou la stérilisation de livres et de papiers qui ont été recouverts, à la suite de catastrophes, de couches impénétrables, comme celle des Offices de Florence, sont des exemples d'application possible de rayons ionisants.

Les rayons gamma peuvent en outre engendrer et activer la polymérisation de substances susceptibles d'entrelacement qui, introduites dans les bois à l'état liquide, provoquent un affinement notable de ces bois.

L'action des rayons ionisants dans le traitement de substances est comparable à une pénétration par le gaz. Ils peuvent stopper une attaque en détruisant les organismes nuisibles, mais ils ne garantissent pas contre un retour de l'attaque. Ce retour ne peut être empêché, dans une certaine mesure, que par une conservation chimique ou par une modification du milieu (par exemple par l'assèchement).

Notre travail traite de l'influence des rayons ionisants sur de vieux bois et de vieux papiers, ainsi que sur des enchâssures en or. Jusqu'ici, personne ne semble encore s'être occupé de ce problème, parce qu'il est plutôt difficile de se procurer des matériaux datés.

Afin de bien s'habituer aux méthodes et afin de pouvoir reproduire quelques-unes des valeurs décrites dans la littérature, des essais préliminaires ont été effectués sur des bois neufs dans le but de les examiner au point de vue des pertes de résistance. Ensuite, les valeurs-limite inférieures de dosage du rayonnement nécessaire pour détruire les champignons para-

sites ont été déterminées. Les résultats de ce travail doivent montrer si les doses minima nécessaires pour la désinfection peuvent être appliquées sans nuire aux structures du bois et du papier.

Par ailleurs, il fallait élucider la question de savoir si les rayons gamma pouvaient provoquer des altérations de teinte aux enchâssures en or ou aux surfaces des bois ou des papiers lors de l'application des doses nécessaires à la destruction des champignons. C'est précisément cette question qui constitue l'une des principales tâches du chercheur chargé de la conservation.

II. LA CONSTITUTION DES BOIS ET DES PAPIERS ET LEUR CONSERVATION

Un bref coup d'œil sur la constitution fondamentale des bois éclaircira les possibilités de la conservation chimique : en dehors des cellules parenchymes, nécessaire au transport et à l'emmagasinage de la sève nutritive, les bois résineux contiennent une deuxième forme de cellules caractéristiques, les trachéides fibreux. Les cellules de bois précoces des trachéides fibreux se chargent de conduire l'eau, alors que les cellules de bois tardives servent à assurer la stabilité mécanique. Sectionnées en largeur, ces cellules se présentent comme des nids d'abeilles quadrangulaires ou hexagonaux avec des épaisseurs de parois et des creux variés. Si elles sont sectionnées en longueur, les liaisons des trachéides apparaissent, à travers lesquelles s'effectue le transport du liquide dans le sens longitudinal. Ces liaisons sont pourvues de petites ouvertures qui se ferment lorsque le bois se dessèche au-dessous du point de saturation des fibres. Dans certaines essences résineuses (par exemple le pin) elles restent fermées même après une réhumidification, alors que dans d'autres espèces (par exemple le pin sauvage), elles se rouvrent. Il est évident qu'il en résulte des propriétés d'imprégnation différentes.

Les bois feuillus présentent le plus souvent une constitution plus compliquée que les résineux. Quatre types de cellules caractérisent ce groupe. De longs conduits tubulaires, les trachées, servent au transport du liquide, pendant que les trachéides jouent le plus souvent un rôle annexe. Les cellules libriformes, aux parois cellulaires épaisses et au faible volume, sont chargées d'assurer la résistance du bois. Enfin, l'emmagasinage des matières de réserve s'effectue dans les cellules parenchymes. La disposition des trachées distingue les essences feuillues à pores « annulaires » et celles à pores « dispersés ». Dans les parties du bois qui se noyautent, des excroissances en forme de vésicules sortent des cellules parenchymes vers les conduits de guidage. Cette obstruction des trachées entraîne une difficile imprégnabilité des parties correspondantes du bois. Pour étudier les attaques du bois par des destructeurs, une certaine connaissance de sa composition chimique est nécessaire.

Alors que l'analyse élémentaire fournit pour toutes les essences des résultats très comparables, et qu'on y trouve environ 48-51 % de carbone,

5 - 6 % d'hydrogène, 43 - 45 % d'oxygène et 0,04 - 0,26 % d'azote, les composantes chimiques du bois diffèrent considérablement d'une espèce à l'autre. C'est ainsi que les teneurs en cellulose oscillent entre 40 et 60 %, alors que 25 % environ du corps du bois se composent d'hémicellulose. Les chaînes de ces polysaccharides donnent au bois la résistance nécessaire à la traction, pendant que la lignine ou lignose, dont la structure n'est pas encore entièrement connue, entre pour 20 - 30 % dans la composition du bois, dont elle sert à assurer la consistance. 3 - 5 % environ de la masse sèche du bois sont formés de terpènes, résines, graisses et cires.

La destruction du bois par des champignons constitue un phénomène nécessaire dans la nature, qui crée les éléments nutritifs pour la vie végétale et animale. Des températures de + 3 à + 39° C ainsi qu'une humidité du bois de plus de 20 % sont nécessaires pour créer des possibilités de vie à des champignons. Le développement des champignons ne peut donc pas se produire dans des locaux secs, l'humidité relative de l'air de 100 % n'y étant jamais atteinte et le bois, hygroscopique en soi, ne pouvant donc jamais absorber la quantité d'eau critique. Il n'en est pas de même dans le cas de la destruction du bois par des insectes. Un certain nombre d'insectes destructeurs du bois peuvent parfaitement vivre dans le bois sec.

Quelles sont alors les possibilités de conservation qui s'offrent à nous ? Dans la plupart des cas, la protection prophylactique des bois, tant contre les insectes que contre des champignons, à l'aide d'insecticides ou de fongicides, ne mène pas au but recherché ; en effet de nombreux objets d'art devant être conservés sont déjà attaqués par des destructeurs de bois de diverses espèces, de sorte que la structure primitive du bois a souvent presque entièrement disparu.

Ces cas, les plus nombreux, réclament un traitement assainissant. Celui-ci doit pénétrer profondément dans le corps du bois, afin d'y détruire les insectes et les hyphes de champignons parasites. Des produits à haute pression de vapeur (telles que le Lindan ou chlorure de naphthaline par exemple) satisfont à cette exigence. La protection durable du matériau traité est obtenue le plus souvent par l'emploi de produits actifs à basse pression de vapeur (tels que le DDT ou le PCP-Na). Pour consolider la structure, souvent déjà largement détruite, on peut avoir recours à des vernis solubles dans l'alcool, tels que le vernis zapon ou tamara, ou bien encore à des matières synthétiques polymères.

Lors de l'application de ces procédés usuels, il faut s'attendre à des difficultés, la principale étant l'altération de la couleur, du brillant et de l'aspect du bois non enchâssé, alors que dans le cas de bois enchâssés, la cristallisation des matières actives peut provoquer des dommages aux enchâssures. Ce qui signifie que les possibilités de traitement sont limitées par l'enchâssure existante ainsi que par la taille et l'emplacement des bois.

Le papier est une matière qui se compose de fibres de cellulose qui

ont été assemblées, en utilisant de l'eau, pour en faire un treillis désordonné. Malgré sa structure poreuse sans adjonction de produits liants, le papier présente une résistance comparable à celle de l'aluminium ou à celle de la fonte. La résistance des liaisons des fibres dans le papier est comparable à la résistance de liaisons moléculaires de réseaux.

De toute façon, l'existence de la liaison du papier représente un phénomène étonnant qui ne trouve guère de parallèle dans la nature. Depuis qu'en l'an 105, Ts'ai Lun a pu fabriquer pour la première fois une surface utilisable pour l'écriture, en se servant de cordages de navire, de filets de pêcheurs, de bambou et d'autres matières végétales, les fabricants de papier de tous les pays s'occupent de cette question.

Le papier est attaqué et détruit par un grand nombre d'insectes et de champignons parasites destructeurs du bois. Le développement de ces organismes vivants est particulièrement favorisé par la porosité du matériau. Dans des locaux humides, l'hygroscopicité de la cellulose entraîne rapidement l'humidification du papier, créant ainsi les conditions favorables au développement de champignons parasites.

La conservation chimique du papier est particulièrement difficile. Pour des raisons faciles à comprendre, il n'est pas possible de travailler avec les produits de protection du bois habituels. Contre les insectes, on peut employer des matières actives pures (par exemple le Lindan), le plus souvent sous forme de poudre, ou en aérosol, parfois aussi en solutions naturelles, incolores et exemptes d'eau. Contre les champignons parasites, il ne reste que la solution de la conservation dans des locaux secs. Dans certaines conditions favorables, il est toutefois possible de détruire les champignons parasites et les insectes nuisibles au moyen de gaz.

III. DESTRUCTION DES INSECTES, DES CHAMPIGNONS PARASITES ET DES CHAMPIGNONS DE MOISSURE, ENNEMIS DU BOIS, PAR LES RAYONS IONISANTS

1. Généralités

Dès le début de nos travaux, des indications relatives aux doses nécessaires à la destruction des insectes étaient à notre disposition (23). D'après celles-ci, une dose létale de 0,3 Mrad maximum suffit à détruire totalement la plupart des espèces d'insectes existant en Europe Centrale. Les doses létales pour divers groupes de micro-organismes allant des bâtonnets gram-négatifs aux champignons de moisissure (*Aspergillus niger*), en passant par les cocci gram-positifs, producteurs de spores (*Bacillus mesentericus*), se situent entre 1,0 et 1,5 Mrad maximum.

Il n'existait aucune donnée sur la résistance des champignons destructeurs du bois aux rayons, en particulier sur le comportement dans des bois vieux et neufs après l'exposition au rayonnement. Après l'achèvement de nos travaux, une publication de BORS et GLUBRECHT (7) a paru, qui donne d'intéressantes indications bibliographiques, et résume

les possibilités de suppression de champignons parasites destructeurs du bois in vitro et in vivo. Les auteurs ont surtout fait ressortir le fait que la dose de rayons nécessaire à la suppression des champignons destructeurs du bois pouvait être réduite à un dixième, par suite de la diminution de la résistance aux rayons entraînée par un accroissement modéré de la température (2) du milieu. Cependant la radiosensibilité des spores n'est pas influencée par des modifications de température. Alors que la dose létale d'exposition aux rayons pour le *Merulius lacrymans* s'abaissait de 0,2 à 0,3 Mrad quand la température montait de 20 à 26° C, elle restait inchangée, c'est-à-dire de l'ordre de 0,6 Mrad, pour les spores.

Il est évident qu'à partir d'une certaine dose de rayons, tous les destructeurs sont anéantis dans toute la surface exposée au rayonnement, mais il est également évident qu'à l'assainissement au moyen des rayons ionisants doit succéder une prophylaxie chimique destinée à empêcher une nouvelle attaque. L'application de couches chimiques de barrage y suffit en général.

Pour nos recherches sur les modifications possibles des vieux bois et des vieux papiers traités aux rayons ionisants, il importait donc de fixer la dose limite qui permet d'obtenir avec certitude l'anéantissement des champignons, notamment des champignons de moisissure destructeurs du bois.

IV. MODIFICATION DES PROPRIETES DU PAPIER PAR LES RAYONS GAMMA

1. Résumé

L'application des rayons ionisants pénétrants, i.a. au papier, a indéniablement acquis une certaine importance. H. KRÄSSIG (19) a découvert que l'action des rayons sur la cellulose entraîne la perte d'un atome d'hydrogène, ce qui provoque la formation d'une position de radical sur l'atome 4 de carbone d'une unité de glucose, position caractérisée par un électron célibataire. En présence de fixateurs de radicaux ou de liaisons susceptibles de réactions de transfert, les positions de radicaux sont saturées par transfert sur l'autre réactif.

Il existe des positions de radicaux stables et instables. Celles qui se trouvent dans des endroits fibreux facilement accessibles par exemple, sont facilement saturées. Des positions de radicaux qui se situent dans les régions intérieures, cristallines, se révèlent extrêmement constantes. Ces positions ne peuvent réagir que lorsque le réseau cristallin est attaqué, par exemple par le traitement à l'alcali (14, 25).

Si l'on compare la résistance des fibres de cellulose dont la scission est due aux rayons avec la résistance de celles où la scission est due à des procédés chimiques hétérogènes, on constate de nettes différences. Il apparaît que la scission par rayonnement diminue notablement moins vite la résistance. C'est ainsi que des fibres de coton scindées par voie hydrolytique avec un degré de polymérisation moyen d'environ 400 ne

présentent plus qu'une résistance à la rupture à l'état sec de 0.7 g/den. Par contre, des fibres de coton scindées par le rayonnement possèdent encore une résistance de 1,6 g/den. On parvient à la conclusion que dans le cas de la scission par rayons, un tiers seulement de toutes les liaisons brisées est touché par une diminution de la résistance à la déchirure.

Cela s'explique par le fait que la scission chimique hétérogène provoque surtout des ruptures de chaînes dans les régions accessibles, peu ordonnées, chaque rupture de chaîne entraînant une diminution de résistance. Par contre, la scission par rayons provoque surtout des ruptures de chaînes dans les régions cristallines, le grand nombre de liaisons hydrogène empêchant les extrémités libres de glisser hors de l'association de molécules; elle n'entraîne donc pas de modification de la résistance.

2. Recherches sur les vieux papiers et les papiers neufs

Les recherches sur les vieux papiers sont compliquées par le fait que le matériau, autrefois puisé à la main, varie fortement dans sa composition de départ et par là dans l'épaisseur et la longueur des fibres, et que le papier ainsi obtenu présente des irrégularités plus importantes au point de vue de l'épaisseur et de la structure que les papiers modernes fabriqués par des machines.

L'emploi des rayons gamma dans la lutte contre les parasites exige une réponse à la question de savoir si l'application de ces rayons entraîne une modification de la couleur, de la structure et des propriétés mécaniques des papiers.

Les matériaux à notre disposition étaient :

- Vieux papiers : feuilles de vieux fascicules qui étaient sorties lors de la reliure de volumes in-folio :

No courant	Année	Epaisseur moyenne en μ	Observations
1	1559	180	Sain
2	1645	140	Rongé par la carie et taches foncées
3	1653	160	Fortement tacheté, rongé par la carie
4	xviii ^e siècle	160	Partiellement sali
5	xviii ^e siècle	190	Sain
6	Envir. 1700	170	Sain, lignes tracées à l'encre
7	Fin xviii ^e	160	Froissé, sali
8	Envir. 1800	200	Fortement tacheté de rouge et de marron
9	Vers 1800	150	Partiellement sali, taches d'encre
10	1840	220	Couvert d'imprimerie

- Papiers neufs

11	1967	50	Papier à machine à écrire crêpé 30 g 61/86
12	1967	90	Papier à machine à écrire avec filigrane
13	1967	80	Matière C 80 g 61/86
14	1967	90	Papier multicol. 110 g 61/86
15	1967	140	Carton carte postale 150 g
16	1967	200	Carton registre 220 g 70/100
17	1967	240	Carton carte postale 170 g 61/86

a) Comparaison de couleur

On a voulu vérifier au moyen de cet essai que l'application des doses nécessaires pour l'anéantissement d'organismes nuisibles produisait une modification des couleurs sur de vieux papiers ou des papiers neufs.

Les papiers n° 1 à n° 17 furent coupés en bandelettes de 15×170 mm, classés suivant leurs couleurs principales et d'éventuelles inclusions, d'après DIN 6164 (4), soudés dans du plastique; puis dix échantillons de chacun furent exposés à une radiation de 0,1, 0,3, 0,5 et 1,0 Mrad. Ensuite, les papiers furent soumis à un nouvel examen.

Les papiers présentaient les couleurs primitives suivantes :

Papier n°	Part principale			Inclusions		
	Couleur	Echelon de saturation	Echelon foncé	Couleur	Echelon de saturation	Echelon foncé
1	2	1	1	3	5,5	1,5
2	1,5	1	1	3	5,5	1,5 - 4,5
3	2	1	1	3	4	3
4	1,5	1	1	4	4	4,5
5	3	1	1	4	4	3
6	2	2	1	3	4	1
7	1	1	1	Minimes		
8	2	1	1	17	2	1
				3	4	1
				4	1	7
9	2	2	1	3	5,5	3
10	1,5	1	1	3	6,5	3
				Restes d'impression en ton gris VI-VIII		
11	5	2	1	Aucune		
12	Ton gris I (blanc)			Aucune		
13	1	1	1	2	4	1
14	Ton gris I (blanc, brillant)			Aucune		
15	Ton gris I (blanc, un peu brillant)			Aucune		
16	3	1,5	1	Aucune		
17	Ton gris I (blanc, un peu brillant)			Aucune		

Le nouvel examen des couleurs, effectué après l'exposition aux rayons, ne révéla aucune différence de couleur entre les échantillons traités et ceux non traités. De même, les inclusions, dont la petite taille et l'irrégularité rendaient pourtant l'examen difficile, ne présentaient aucune modification de couleurs. Ni les vieux papiers, ni les papiers neufs n'eurent leur couleur modifiée par des doses de rayonnement de moins de 1 Mrad.

b) Examen microscopique des fibres

Après l'exposition des papiers à un rayonnement de 1 Mrad, il n'a pas été constaté de modification des fibres, visible au microscope. La structure des vieux papiers, sans intérêt ici, diffère fortement de celle

des papiers neufs. Alors qu'aujourd'hui on emploie surtout de la cellulose de bois résineux et de bois feuillus comme base pour la fabrication du papier, celle-ci comprenait autrefois de la paille, du lin, de la laine et d'autres matières. Apparemment, l'écrasement des matières premières produisait autrefois des fibres aux dimensions plus irrégulières qu'aujourd'hui. On s'en rendra compte à l'aide de nos illustrations.

c) Etude des propriétés mécaniques

La résistance et l'allongement du papier exposé au rayonnement ont été étudiés, de même que la résistance et l'allongement à la déchirure.

Le chiffre de double pliage a été déterminé. Il servira de caractéristique supplémentaire essentielle de la propriété mécanique.

Avant l'accomplissement des essais de traction, les papiers furent climatisés pendant 24 heures à la température du laboratoire. La machine de vérification de la traction enregistrait simultanément la résistance et l'allongement à la déchirure (4). On désigne par résistance à la déchirure la force au moment de la rupture par rapport à la section primitive de l'échantillon, et par allongement à la déchirure, la longueur au moment de la rupture par rapport à la longueur primitive de l'échantillon.

La résistance à la déchirure était calculée en analyse de variance simple à partir de 4 à 6 échantillons.

Les échantillons ne présentaient pas d'augmentation ou de diminution régulière de la résistance. Les divergences observées ne permettent pas non plus de déductions relatives à des modifications générales quelconques de la résistance. En conséquence, il est permis de dire qu'une exposition à un rayonnement de moins de 1 Mrad n'influence pas notablement la résistance des papiers, vieux ou neufs.

L'allongement à la déchirure était calculée également à partir de 4 à 6 échantillons par analyse de variance simple.

L'étude de l'allongement lors de la déchirure ne fait pas non plus ressortir de tendance à la modification en corrélation avec le rayonnement. De même, la comparaison des valeurs de résistance à la déchirure et de celles de l'allongement lors de la déchirure ne permettent aucunement de déduire que la résistance du papier subit une modification par suite de l'exposition à un rayonnement de moins de 1 Mrad.

d) Détermination du chiffre de double pliage

La résistance que le papier oppose au pliage, au froissage et à la flexion continue compte parmi les propriétés mécaniques les plus importantes pour la raison que la fatigue correspondante se produit plus particulièrement lors du travail et de l'utilisation du papier. Aussi, il nous a paru important d'examiner les modifications possibles des propriétés du papier à la suite d'une exposition aux rayons ionisants.

Le pliage a été effectué à l'aide de l'appareil à plier Schopper (5).

Dans cet appareil, des bandelettes de papier sont serrées aux deux extrémités et soumises à une certaine tension. Ces bandelettes sont alors pliées un grand nombre de fois à 180°, jusqu'à ce qu'elles se déchirent.

Les valeurs moyennes du chiffre de double pliage de neuf à dix échantillons et leurs confirmations par rapport au contrôle ont été calculées par analyse de variance simple.

Les variations du chiffre de double pliage permettent de constater une tendance à la diminution de la résistance des fibres après une exposition aux rayons de 0,5 à 1 Mrad pour tous les papiers examinés. Toutefois, cette tendance n'a pu être confirmée que pour le papier présentant un chiffre de double pliage très élevé. Cet essai permet de conclure que l'exposition aux rayons de moins de 0,5 Mrad n'entraîne qu'une diminution peu importante du chiffre de double pliage. En ce qui concerne la dose de rayonnement de 1 Mrad, si l'on compare entre eux les trois tableaux caractérisant les propriétés mécaniques, il ne ressort aucune corrélation qui permette une déduction non équivoque. Toutefois, le chiffre de double pliage indique que des doses de rayonnement de 1 Mrad déjà sont susceptibles de causer des diminutions de résistance.

V. MODIFICATION DES PROPRIETES DU BOIS PAR RADIATIONS GAMMA

1. Résumé

Au cours de différentes recherches très minutieuses, on a analysé ce problème. I.D. BLECHLEY et R.C. FISHER (5) ont probablement été les premiers à utiliser les rayons gamma pour détruire les insectes à l'intérieur du bois. V.L. KARPOV et al. (15), A. BURMESTER (11) et KENT et al. (17), pour n'en citer que quelques-uns, ont étudié l'action des rayons gamma au point de vue des améliorations que peut apporter aux propriétés du bois un traitement aux matières synthétiques.

La modification du bois par les rayons gamma se traduit par des changements structurels, par une modification des propriétés d'absorption, par l'association de ces deux facteurs et par une altération des propriétés de résistance.

Parmi les propriétés mécaniques de la résistance, la résistance à la flexion et la résistance à la rupture et au choc ont été influencées par des doses considérablement moins importantes de rayons que la résistance à la pression.

Les augmentations de résistance sont dues au fait que de faibles doses de rayonnement provoquent un entrelacement moléculaire qui entraîne un allongement des chaînes pour la cellulose et une liaison avec les composants non saturés du bois pour la lignine.

Les essais effectués par G. BECKER et A. BURMESTER admettent également l'explication que le bois, soumis à une certaine dose de rayonnement devient plus digestible pour les insectes destructeurs du bois.

(larves de perce-bois et de termites) et offre à ces derniers des conditions de vie plus favorables. Lorsque la dose de rayonnement augmente, la valeur nutritive du bois diminue, les hydrocarbures et les albumines s'altèrent et les larves doivent manger davantage pour combler leurs besoins. Le passage de l'état favorable à l'état défavorable du bois pour l'espèce de termites examinée (*Heterotermes indicola*) se situe à $6 - 8 \cdot 10^5$ r, c'est-à-dire 10 fois plus bas que pour le perce-bois : pour celui-ci en effet, les mauvaises conditions de développement ne commencent que dans des bois de $6 \text{ à } 8 \cdot 10^8$ r. K. SEIFFERT (29) a expliqué ce phénomène par le fait que les termites disposent d'un système plus efficace de décomposition de la cellulose, à l'aide de producteurs symbiotiques de cellulose, que les larves du perce-bois avec leurs carbohydrates propres au corps qui ne provoquent pas une très bonne assimilation de la cellulose. Epicéa et pin exposés au rayonnement présentaient, après l'exposition, un comportement comparable vis-à-vis de la moisissure des caves (*Coniophora cerebella* (Pers.) Duba) qui provoque la pourriture du bois. La décomposition du bois dans les échantillons soumis aux rayons était plus importante que dans ceux non exposés aux rayons, à la condition que le champignon ait eu deux semaines au moins pour accomplir son œuvre destructrice. Lorsque l'attaque par le champignon durait plus longtemps, l'influence du rayonnement diminuait. Après huit semaines, chez le pin, il devint même entravant. Après avoir été soumis à l'action d'un rayonnement de plus de 10^7 r, le hêtre devient nettement et visiblement plus sensible à l'attaque du *Coniophora cerebella* qu'en ayant été peu ou pas soumis aux rayons.

Pour résumer, on peut dire que l'exposition du bois à de faibles doses de rayons gamma entraîne une légère amélioration de sa constitution; un accroissement des doses, au contraire, entraîne principalement une dégradation des composants du bois sans toutefois modifier sa structure. Des modifications des propriétés mécaniques et physiques se produisent déjà à de faibles doses de rayonnement. Après une légère augmentation de la résistance au début, la dose croissante des rayons entraîne des diminutions de résistance. Le point d'inversion diffère suivant les essences de bois et leur degré de résistance. Le début de la zone de diminution de la résistance est d'une importance décisive pour l'utilisation pratique des rayons ionisants dans l'industrie forestière. L'emploi de matières synthétiques monomères n'est en effet pensable que pour des doses de rayonnement qui ne provoquent pas d'altération notable du bois. Il est par conséquent indispensable de déterminer si ce point d'inversion se situe encore au-dessus de la dose de rayons nécessaire à la destruction des parasites.

2. Essais sur des bois neufs

a) Etude microscopique des modifications de structure des bois

Afin de pouvoir constater au microscope une modification éventuelle de la structure de différentes essences, on effectua des coupes de

quatre espèces de bois fréquemment utilisées pour des œuvres d'art. A côté de bois utilisés dans la sculpture, tels que le tilleul d'été, le peuplier argenté et le peuplier d'Italie, l'épicéa, qui trouve son application dans des boiseries derrière des tableaux ou comme bois de construction, fut également étudié. Les coupes, enchâssées auparavant dans du baume du Canada furent exposés à respectivement 4 et 20 Mrad de rayonnement (Co 60).

Quoique l'examen microscopique fût ressortir la présence de minuscules bulles d'air dans le baume du Canada, et un foncement des préparations exposées au rayonnement, il n'a pas été possible de constater une altération de la structure du bois reconnaissable au microscope.

b) Vérification de la modification de la résistance à la rupture à la suite de l'exposition aux rayons

Ce seul essai effectué sur du bois neuf a montré que les doses de rayonnement nécessaires pour détruire les organismes nuisibles n'entraînent aucune modification de la résistance à la rupture du bois neuf.

3. Essais sur de vieux bois

A côté de maints phénomènes chimiques de vieillissement, les vieux bois présentent avant tout des altérations de leur constitution chimique et mécanique dues aux attaques des champignons parasites ou des insectes destructeurs du bois. Par suite de la grande diversité existant dans des matériaux de départ primitivement identiques, les investigations sur ces bois sont grevées d'importants facteurs d'incertitude. Néanmoins, ces recherches sont absolument nécessaires, afin de trouver des possibilités d'assainissement et de conservation de ces bois.

Les échantillons de bois ci-après étaient à notre disposition pour nos investigations :

- Wolfratssaal à la Fondation de Kremsmünster (Haute Autriche), datant de 1622, pin;
- Plafond de poutres originaire de Amstetten, actuellement au château de Puchenau (Haute Autriche), datant de 1681, pin;
- Partie d'une statue baroque, avec fond de craie et dorure en feuilles, datant des environs de 1700, bois de tilleul.

a) Dose létale pour des champignons destructeurs de bois, vivant dans le vieux bois

Dans les petits blocs échantillons, une dose de 0,3 à 0,5 Mrad suffisait à détruire le *Penicillium* et le *Merulius lacrymans*. Les valeurs des doses létales montrent que dans le vieux bois, le *Merulius lacrymans* trouve des conditions de vie moins bonnes que dans le bois neuf (valeurs de dose létale supérieures à 0,25 Mrad), ce qui le rend plus sensible aux rayons. Elles indiquent également qu'une colonie de champignons de moisissure de *Penicillium* peut déjà être détruite avec des doses de rayons de 0,3 Mrad.

Alors que les échantillons sains de la Wolfratsaal de Kremsmünster ne présentaient aucune modification de dureté après l'exposition au rayonnement, selon Brinell, l'étude des petits blocs provenant du château de Puchenau se heurtait au contraire à de grandes difficultés. La résistance des échantillons 0 et 0,1 (désignés par un :) était partiellement diminuée suite à la rognure par les insectes. Les valeurs supérieures de dureté obtenues à la suite de l'exposition au rayonnement ne peuvent donc pas être considérées comme significatives malgré la confirmation statistique. On peut uniquement en conclure que pour cette espèce de bois également, le rayonnement ne semble pas amener de diminution de la dureté du bois.

4. Etude de l'altération de la surface sur des bois enchâssés et non enchâssés après l'exposition au rayonnement

Pour cette étude, on a examiné le bois de la Wolfratsaal de la Fondation de Kremsmünster, celui du plafond de poutres du château de Puchenau et celui de la statue baroque.

En ce qui concerne le plafond de poutres de Puchenau, de petits blocs furent prélevés dans les parties relativement saines comme dans celles fortement rongées par des aérobie.

Avant de l'exposer aux rayons, le bois de tilleul de la statue baroque fut traité partiellement au « Hylamon LX härte », pour empêcher la dégradation ultérieure des échantillons et pour pouvoir examiner l'effet du rayonnement sur le bois traité préalablement.

Les petits blocs de bois furent soudés dans des sachets en matière plastique et exposés au rayonnement. Des doses de rayonnement de 0,1, 0,2, 0,5 et 1 Mrad furent employées.

Le résultat montre que des altérations dues au rayonnement ne peuvent être observées ni aux parties non-enchâssées, ni au fond de craie, ni aux couches de dorure.

VI. POSSIBILITES D'UTILISATION DES RAYONS IONISANTS DANS LA CONSERVATION DES MATERIAUX INORGANQUES ET ORGANIQUES UTILISES DANS LA CONSTRUCTION DES MONUMENTS

Les rayons ionisants peuvent être utilisés pour la destruction d'organismes vivants. En principe, la possibilité existe donc d'employer des rayons gamma pour anéantir les champignons de moisissure sous les enchâssures, dans les murs et les bois, de même que pour exterminer les insectes destructeurs de bois et de papiers, ainsi que les araignées. Le présent travail avait pour but d'étudier les possibilités d'utilisation des rayons ionisants sur de vieux bois et papiers. Pour cela, il était nécessaire d'étudier tout d'abord les modifications des propriétés mécaniques des bois et des papiers neufs par suite du rayonnement; il fallait également observer les possibilités d'extermination des champignons destructeurs

du bois, afin de pouvoir aussi utiliser les rayons ionisants dans le traitement des vieux bois et des vieux papiers.

Quoique toute une série d'auteurs se soient penchés sur des problèmes analogues et que, de ce fait, les doses nécessaires pour la destruction des divers organismes soient connues, il nous a paru intéressant d'étudier de vieux bois et de vieux papiers. Les insectes et les champignons destructeurs du bois sont anéantis par des doses de rayonnement d'environ 0,2 à 0,3 Mrad, alors que les microbes producteurs de spores, surtout, et certains champignons de moisissure (par exemple l'*Aspergillus niger*) nécessitent des doses allant jusqu'à 1,5 Mrad.

Au cours de nos essais, nous avons observé que sur le hêtre, la diminution de la résistance à la rupture était faible pour des doses allant jusqu'à 4 Mrad. Sur de vieux bois comme sur des bois neufs, le *Merulius lacrymans* était anéanti avec 0,3 Mrad. L'étude de la dureté selon Brinell sur les deux échantillons de vieux bois examinés soumis à 0,5 Mrad, ne révéla aucune diminution des valeurs. De même, ni la couleur ni le fond de craie sur des matériaux enchâssés ne furent altérés jusqu'à la dose de rayonnement mentionnée.

Au cours des recherches effectuées tant sur des papiers neufs que sur de vieux papiers, des doses de rayonnement allant jusqu'à 1 Mrad ne produisirent aucune modification des couleurs définies selon DIN 6164. De même, aucune modification des fibres, visible au microscope, ne put être enregistrée jusqu'à la limite de rayonnement employée. L'étude des propriétés mécaniques des papiers a montré que la résistance à la déchirure et l'allongement à la rupture ne furent pas non plus influencées jusqu'à 1 Mrad. Seul le chiffre de double pliage permet de constater une diminution de la résistance des fibres pour les doses de 0,5 Mrad et plus.

Il semble donc possible d'utiliser les rayons ionisants pour débarrasser les vieux bois et les vieux papiers des insectes ou des champignons nuisibles, sans modifier sensiblement les propriétés des matériaux.

1. AMMER U., Über den Zusammenhang zwischen Holzfeuchtigkeit und Holzzerstörung durch Pilze, in: Holz als Roh- und Werkstoff, 22, H. 2, 1964 (ohne Angabe der Seiten).
2. BECKER G., Vergleiche der Wirksamkeit von Holzschutzmitteln gegen Pilze und Insekten, in: Holz als Roh- und Werkstoff, 22, H. 2, 1964 (ohne Angabe der Seiten).
3. BECKER G., BURMESTER A., Veränderung von Holzeigenschaften durch Gammastrahlung, in: Materialprüfung, 4, Nr. 11, 1962, S. 416-426.
4. BIESALSKI E., Pflanzenfarbenatlas für Gartenbau, Landwirtschaft und Forstwesen mit Farbzeichen nach DIN 6164.
5. BLECHLEY J.R., FISCHER R.C., Use of gamma radiation for the destruction of wood-boring insects. Nature, 179, Nr. 4561, 1957, S. 670 ff.

6. BOBETH W., HEGER A., WEIHS A., geb. Reinhard, Zur Eigenschaftsbeeinflussung von Faserstoffen durch radioaktive Strahlen, in: Faserforschung und Textiltechnik, 12, H. 8, 1961, S. 381-390.
7. BORS J., GLUBRECHT H., Untersuchungen über die Strahlenresistenz holzerstörender Pilze, in: Holzforschung, 21, H. 5, 1967, S. 129-135.
8. BURMESTER A., Veränderung der Druck- und Zugfestigkeit sowie der Sorption von Holz durch Gammastrahlung, in: Materialprüfung 6, Nr. 3, 1964, S. 95-99.
9. BURMESTER A., Holzvergütung durch Verwendung von niedermolekularen Stoffen und Gammastrahlung, in: Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung (Vorträge der 9. Int. Holzschutz-Tagung Berlin-Dahlem, 25. bis 27. Oktober 1965), Nr. 53, 1966, S. 96-99.
10. BURMESTER A., Einfluss von Gammastrahlung auf chemische, morphologische, physikalische und mechanische Eigenschaften von Kiefern- und Buchenholz, in: Materialprüfung, 8, Nr. 6, 1966, S. 205-211.
11. BURMEISTER A., Zur Vergütung von Holz durch strahlenpolymerisierte Kunststoff-Monomere, in: Holz als Roh- und Werkstoff, 25, H. 1, 1967, S. 11-25.
12. CORTE H., SCHASCHEK H., Physikalische Natur der Papierfestigkeit in: Das Papier, 9, H. 21/22, 1955, S. 519-530.
13. GEIGER F., Holzschutz, 1962.
14. GLEGG R.E., KERTESZ Z.I., Science, 124, 1956, S. 893, exc. ex. Krässig H., 1967, s.d.
15. KARPOV V.L., MALINSKI I.M., FREIDIN A.S. et al., Radiation makes better woods and copolymers, in: Nucleonics, 18, Nr. 3, 1960, S. 88-90.
16. KENAGA D.L., COWLIN E.B., Effect of Gamma radiation on Ponderosa pine, in: For. Prod. J., 9, Nr. 3, 1959, S. 112-116.
17. KENT J.A., WINSTON A., BOYLE W., Manufacture of woodplastic combination by use of gamma radiation, in: Eng. Expr. St. West Virginia Univ., USA, Paper No. CN 14/19.
18. KORN R., BURGSTALLER F., Papier- und Zellstoff-Prüfung, in: E. Siebel, Handbuch der Werkstoffprüfung, Bd. 4, 1953.
19. KRÄSSIG H., Der Strahlenabbau der Cellulose und sein Einfluss auf die Festigkeit von Cellulosefasern, in: Das Papier, 21, H. 10 A, 1967, S. 629-635.
20. KRZYSIK F., Holzerstörung durch Pilze an kunstgeschichtlichen Gebäuden, in: Holzerstörung durch Pilze (Internationales Symposium Eberswalde 1962), 1963, S. 55-61.
21. LANGENDORF G., Handbuch für den Holzschutz, 1961.
22. LAWTON E.J., BELLAMY W.D., HUNGATE R.E., BRYANT M.P., HALL E., Some Effects of high Velocity Electrons on Wood, in: Science, 113, S. 380-382, ref. ex Tappi, 34, 1951, S. 113 A.
23. LINSE H., KAINDL K., Isotope in der Landwirtschaft, 1960.
24. LUTOMSKI K., LAWNICZAK M., Über den Einfluss von Gammastrahlen auf die biologische Widerstandsfähigkeit des Kiefern- und Rotbuchenholzes, in: Holztechnologie, 8, H. 3, 1967, S. 151-152.
25. NEAL J.L., KRÄSSIG H., Tappi, 46, 1963, S. 70, exc. ex. Krässig H., 1967, s.d.
26. POLCIN J., VALCEK F., FELCANOVA A., VARGOVA C., Einfluss der ionisierenden Strahlung auf Cellulose im Hinblick auf ihre übermolekulare Struktur, in: Cellulose Chemistry and Technology, 1, H. 3, 1967, S. 267-275.
27. SAEMAN J.F., MILLETT M.A., LAWTON E.J., Effect of High Energy Cathode Rays on Cellulose, in: Ind. Eng. Chem., 44, 1952, S. 2848-2852.
28. SCHULZE B., STAMER J., Einwirkung von Holzschutzmitteln auf die Holzfaser, in: Holzschutzmittel-Prüfung und -Forschung, III, 1950, S. 113-123.

29. SEIFERT K., Die chemische Veränderung der Holzzellwand-Komponenten unter dem Einfluss pflanzlicher und tierischer Schädlinge, in: Mitt. Holzforsch., Nr. 3 und 4, 1962.
30. SEIFERT K., Zur Chemie gammabestrahlten Holzes, in: Holz als Roh- und Werkstoff, 22, H. 7, 1964, S. 267-275.
31. SORANTIN H., BARDON A., Verhalten von technischen Papieren im Strahlenfeld. Änderung der mechanischen Eigenschaften von Packpapier durch Bestrahlung, in: Das Papier, 21, H. 3, 1967, S. 114-116.

SUMMARY**CONTRIBUTION TO THE PROBLEM OF THE UTILIZATION OF IONIZING RAYS FOR DISINFECTING ANCIENT WOOD AND PAPERS**

Ionizing rays can be used for destroying living organisms. In theory it is therefore possible to utilize gamma rays for eliminating mould in structures, in walls or woodwork, or for killing wood and paper parasites, as well as spiders. Studies are in process to determine to what extent parasites can be exterminated without chemically or physically altering the substance of the wood or paper. Although a series of reports dealing with the treatment, and in particular the improvement, of wood, are in existence, and although the means of destroying various harmful organisms are to be found recorded in the relevant literature, no information whatever is available on the *preservation* of ancient wood and paper, whether attacked by parasites or not.

It has been noticed that the extermination of insects and toadstools attacking wood is obtained with ray-doses of from 0.2 to 0.3 Mrad, whereas in the case of spore-producing bacteria (e.g. *Aspergillus niger*) doses as high as 1.5 Mrad are necessary. Examination of ancient wood has shown that, owing to its hardness, a dose as high, for instance as 0.5 Mrad causes no weakening, while up to 1 Mrad neither unmounted parts nor chalk bases nor gildings manifested any alteration whatsoever.

Breaking strength tests which, owing to the nature of the testing techniques, could not be carried out on ancient wood, revealed only weak slackening up to 4 Mrad, in the case of birch-wood, for instance. Tests applied to new and ancient papers have disclosed that ray doses reaching 1 Mrad did not provoke any alteration of colours determinable by the DIN 6164 standard measure.

No fibre modifications were registered by the microscope when the applicable ray-doses were utilized. Up to 1 Mrad the mechanical properties (elongation before tear, tear resistance), were not modified either. Double-folding computation only revealed that with doses of 0.5 Mrad the fibre solidity was sometimes weakened. It is consequently possible to eliminate harmful insects and fungus in wood by using ionizing rays without considerably affecting the properties of the material.

Although the present report cannot describe at length the practical aspects of gamma-ray irradiation, it calls attention to a new process which is performed on the spot and consists in the subsequent application of protective chemical coats; this appears to be a promising method for the preservation of wood, fabrics and walls.