NRC·CNRC

NRC Publications Archive
Archives des publications du CNRC

Effets de l'irradiation sur les materiaux organiques

Ashton, H. E.

For the publisher's version, please access the DOI link below./ Pour consulter la version de l'éditeur, utilisez le lien DOI ci-dessous.

Publisher's version / Version de l'éditeur:
https://doi.org/10.4224/40001016
Digeste de la construction au Canada, 1974

NRC Publications Archive Record / Notice des Archives des publications du CNRC :
https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=5714b3f0-2863-4be7-b845-b4f5f2c76686
https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=5714b3f0-2863-4be7-b845-b4f5f2c76686

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at
https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright
READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site
https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits
LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

Questions? Contact the NRC Publications Archive team at PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

Vous avez des questions? Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.

National Research Council Canada | Conseil national de recherches Canada

Canada

Digeste de la Construction au Canada

Division des recherches en construction, Conseil national de recherches Canada

CBD 121F

Effets de l'irradiation sur les matériaux organiques

Publié à l'origine en 1974

H.E. Ashton

Veuillez noter

Cette publication fait partie d'une série qui a cessé de paraître et qui est archivée en tant que référence historique. Pour savoir si l'information contenue est toujours applicable aux pratiques de construction actuelles, les lecteurs doivent prendre conseil auprès d'experts techniques et juridiques.

On a fait allusion, dans le **CBD 117F**, à quelques-uns des effets engendrés sur les matériaux organiques de construction par l'irradiation. On se propose, dans le présent Digest, d'examiner ces processus d'une manière plus détaillée. Il convient, avant tout, de porter notre attention à l'irradiation et à la radiation. Cette dernière consiste dans une forme électromagnétique de l'énergie qui, contrairement à la chaleur et au son peut être transmise à travers l'espace aussi bien qu'à travers certains matériaux. L'irradiation se produit lorsqu'un matériau est soumis à la radiation. Sa mesure est donnée par la quantité d'énergie qui frappe une aire donnée pendant une durée donnée.

On peut décrire la radiation électromagnétique, qui se présente sous forme d'ondes, d'après la longueur d'onde ou la fréquence des vibrations. La fréquence constitue une donnée plus fondamentale, mais il est plus aisé de déterminer la longueur d'onde, qui, pour cette raison, est plus communément utilisée. La fréquence augmente lorsque la longueur d'onde décroît.

Comme le montre le Tableau 1, la gamme complète de la radiation électromagnétique est divisé en régions correspondant aux propriétés et aux longueurs d'onde. Les longueurs d'onde les plus courtes sont mesurées en petites unités, les Ångströms (1Å = 10^{-10}m); lorsque les longueurs d'onde augmentent, il en est de même des unités. Comme pour la plupart des classifications, les lignes qui séparent les régions ne sont pas bien définies de sorte qu'un type se fond progressivement avec le suivant. Il en est même ainsi avec la lumière visible, alors que les limites effectives varient avec les individus et les âges, bien que le domaine admis s'étende de 400 à 700 nm. Certaines personnes peuvent voir jusqu'à 320, mais la sensibilité est alors très faible (à 350 elle n'atteint qu'environ 1 pour cent de celle qui se rapporte à 400). Les radiations situées en dessous de 400 s'appellent pour cette raison ultraviolettes (UV); elles descendent jusqu'à 10 nm (100 Å.)

Tableau 1. Division du spectre électromagnétique

Nom	Gamme de longueur

	d'onde		
Rayons Gamma	0.01 --	1	Å
Rayons X	1 --	100	Å
Ultraviolet			
UV extrême	10 --	100	nm
UV éloigné	100 --	200	nm
UV moyen	200 --	300	nm
UV proche	300 --	400	nm
Lumière visible	400 --	770	nm
Infrarouge			
IR proche	770 --	2500	nm
IR moyen	2.5 --	30	µm
IR éloigné	30 --	300	µm
Ondes hertziennes			
Micro-ondes	0.3 --	100	mm
Radio et télévision	0.1 --	1000	m

Dans l'environnement normal de la plupart des bâtiments, le type d'énergie radiante qui exerce les effets les plus importants sur les matériaux organiques est celui qui maintient la vie sur la terre, c'est-à-dire la radiation solaire. Jusqu'au moment où l'homme commencera à bâtir sur la lune, il n'aura à se préoccuper que de la radiation solaire telle qu'elle parvient à la surface de la terre. La Figure 1 compare la répartition de l'énergie du spectre solaire au-dessus de l'atmosphère terrestre avec celle qu'on observe au niveau de la mer, le soleil étant à la verticale à midi.

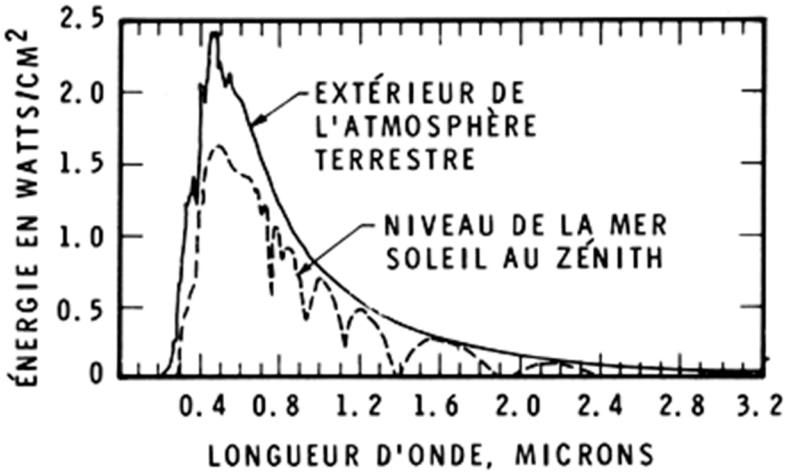


Figure 1. Distribution de l'énergie solaire (largeur de bande 1 nm)

Même au zénith, l'atmosphère modifie considérablement la radiation solaire. Le maximum d'énergie est déplacé du bleu au jaune-vert dans la région visible, et la radiation infrarouge (IR) est réduite du fait de l'absorption par la vapeur d'eau et l'oxygène. Enfin, et de la plus haute importance, seules les radiations proches de l'UV sont reçues au niveau du sol bien que l'émission solaire descende jusqu'à 200 nm. C'est l'ozone dans l'atmosphère supérieure qui cause cette absorption de l'UV. La réduction d'énergie est encore plus grande lorsque, du fait de l'heure du jour, de l'époque de l'année ou de la latitude, le soleil ne se trouve pas au zénith. Lorsque les angles sont peu élevés, la radiation doit parcourir dans l'air un trajet plus long; il en résulte une plus grande absorption d'énergie. Sous les petits angles du soleil, de plus, les courtes longueurs d'onde sont plus dispersées, de sorte que seule la moitié environ des UV arrive en droite ligne du soleil.

L'importance de l'absorption des UV moyens résulte d'une des caractéristiques de la radiation: plus la longueur d'onde est courte, plus la teneur en énergie est élevée. Comme on l'a exposé dans **CBD 117F**, les polymères utilisés dans les matériaux organiques de construction sont composés de molécules à longue chaîne avec charpente de carbone-à-carbone. Les molécules peuvent être liées l'une à l'autre par des forces secondaires et par enchevêtrement seul, ou aussi, suivant le type de polymère, par les liaisons chimiques. Les liaisons primaires étant de nature chimique et leur énergie dépendant des éléments en cause, elles peuvent être brisées par des sources d'énergie qui excèdent les forces d'attraction qui s'exercent entre atomes, disloquant ainsi les molécules. Dans la radiation, ce niveau d'énergie est atteint pour la liaison entre carbones à 350 nm environ, qui se trouvent bien en deçà du domaine de la radiation solaire reçue au niveau de la mer.

La proportion de radiation courte est heureusement faible. A midi en été, les UV fournissent 5 à 7 pour cent de l'énergie totale et les UV biologiquement actifs (moins de 320 nm) n'en constituent qu'environ 1 pour cent. A cause des effets géométriques mentionnés ci-dessus, ces proportions décroissent avant et après midi et en hiver. C'est ainsi qu'à 40° de latitude nord, les quatre mois d'hiver, de Novembre à Février, ne fournissent qu'environ un neuvième des UV biologiques fournis par les mois de Mai à Août. Les nuages et la fumée réduisent en outre la radiation totale et l'intensité des UV. Sans l'action de ces divers facteurs, aucun polymère organique (homme compris) n'aurait une existence durable à l'extérieur.

Action de la Radiation

Lorsqu'une molécule absorbe de la radiation, elle est portée à un état d'excitation, qui affecte en général un atome particulier. Il se peut qu'elle retourne à son état de non excitation ou état fondamental en dissipant l'énergie par radiation de fluorescence, de phosphorescence ou de chaleur. Dans ce cas la molécule n'est pas affectée. C'est ce qui se produit avec la radiation de longueur d'onde plus longue: elle se transforme en chaleur. Si, cependant, la radiation contient une énergie suffisante, elle peut engendrer une réaction chimique affectant l'atome excité, causant ainsi fréquemment la dégradation du matériau.

Avant que l'un ou l'autre de ces phénomènes ne se produise, il est nécessaire que la radiation soit absorbée. L'irradiation d'un matériau n'entraîne pas nécessairement l'absorption. Certaines dispositions moléculaires absorbent certaines bandes de radiation, ce qui explique pourquoi certains matériaux sont rouges et d'autres bleus. Si aucun des groupes qui absorbent la lumière visible n'est présent, le matériau est incolore (ou blanc si la lumière est réfléchie). Cette transparence ou absence d'absorption peut également se produire sous des longueurs d'onde autres que celles de la région visible. C'est ainsi que certains matériaux peuvent être transparents aux UV mais absorber les radiations visibles ou IR et inversement. La raison pour laquelle aucun IR au dessus de 2.4 µm n'est reçu du soleil à la surface de la terre consiste dans le fait que l'eau absorbe fortement dans cette région, bien qu'elle soit transparente parente à la lumière visible et voisine de l'UV. Le verre ordinaire à fenêtres est, de même, opaque à la partie des UV qui cause les brûlures de soleil.

Lorsqu'un matériau est transparent à une longueur d'onde particulière, la radiation considérée le traverse sans produire aucun effet. Si, par suite, un matériau transmet tous les UV jusqu'à 300 nm, il n'est pas dégradé par le soleil. Les acryliques tels que le polyméthacrylate de méthyle (PMMA) ne sont pas absorbants dans les longueurs descendant jusqu'aux UV moyens; ce fait constitue une des raisons de leur excellente durabilité à l'extérieur. Le polystyrène, par contre, est composé de groupes aromatiques qui sont absorbants à l'extrémité inférieure des UV proches. Il est, par suite, affecté par l'exposition à l'extérieur, devient ordinairement jaune, et perd quelques-unes de ses propriétés mécaniques.

Il n'est pas suffisant que le polymère de base soit transparent. Les produits utilisés pour amorcer la réaction doivent être enlevés après polymérisation ou ne pas absorber les UV. Il convient également que les impuretés responsables de l'absorption soient absentes; mais cette condition est difficile à réaliser en cas de production à grande échelle sous températures élevées. Il se peut que de petites quantités de produits absorbants produisent un effet hors de proportion avec leur montant; l'absorption engendre en effet fréquemment des groupes

chimiques qui absorbent une quantité supplémentaire d'UV. La réaction s'accélère ainsi avec le temps.

La transparence aux UV est parfois avantageuse pour les matériaux utilisés massivement, mais elle peut constituer un désavantage si le subjectile auquel un revêtement transparent est appliqué est affecté par la radiation. C'est ainsi que les acryliques transparents se comportent mal sur le bois utilisé à l'extérieur parce que la couche supérieure du bois est dégradée de sorte que, laissé sans support, le revêtement s'écaille. Les alkydes et les uréthannes se comportent d'une manière similaire bien qu'ils soient absorbants dans une gamme un peu plus élevées de UV.

Effet sur la Constitution Chimique

Parce que le pourcentage UV de la radiation contient la plus grande partie de l'énergie elle cause le maximum de dommage aux matériaux organiques. La dégradation chimique dont elle est responsable peut se produire de deux manières. Dans le cas de certains matériaux, l'énergie déclenche un processus inverse de la réaction de polymérisation qui avait, à l'origine, produit les grandes molécules. Il se peut qu'en des endroits isolés le Polymère soit brisé -- phénomène de scission de la chaîne -- ou qu'il retourne à l'état de petites molécules. Ce dernier phénomène constitue ce qu'on appelle "unzipping" du polymère qui ne se produit heureusement que très lentement lorsque la radiation intervient seule. Dans le second processus, les petites molécules produites par scission de chaîne ou les points réactifs sur grandes molécules réagissent avec d'autres chaînes. Il en résulte des réticulations plus nombreuses qu'au début de sorte que le matériau devient plus dur et plus cassant.

Des changements chimiques d'une nature moins destructrice, mais encore indésirable, se produisent si les UV altèrent les structures internes d'une résine et les transforment en matériaux absorbent la lumière bleue visible. La lumière réfléchie paraît alors jaune, ce qui est généralement indésirable. Dans le cas où le matériau est coloré et où le colorant (beaucoup sont de nature organique) n'est pas inaltérable les UV peuvent causer un autre défaut visuel même si le polymère lui-même est résistant. Il se produit alors un fadissement qui d'ordinaire n'est pas commercialement acceptable.

Seul l'UV possède une énergie suffisante pour briser les liaisons primaires et le seul effet chimique de la radiation visible et infrarouge est d'accélérer, s'il en existe, les réactions dues à d'autres causes. La quantité de chaleur provenant de la radiation solaire n'est pas suffisante pour élever la température jusqu'au point où les liaisons chimiques peuvent être brisées thermiquement.

Effets Exercés sur les Propriétés Physiques

Les changements induits par la radiation dans la structure physique des matériaux organiques résultent des réactions chimiques qui se sont produites. De grandes molécules sont nécessaires pour qu'un matériau possède les caractéristiques physiques désirées; ces caractéristiques disparaissent bientôt cependant si la scission réduit beaucoup trop le poids moléculaire. Si la radiation engendre une dépolymérisation marquée, une détérioration catastrophique se produit. C'est ainsi que le polyméthylstyrène, qui devrait être moins cassant que le polystyrène, ne présente aucune importance commerciale parce qu'il retourne lentement à l'état de monomère lorsqu'il est irradié par des UV de 280 nm, à la température ambiante. A 115°C, l'effet de l'UV est 70 fois plus important qu'à 25°C, mais en l'absence d'UV il ne se produit aucune dégradation à la température plus élevée. Ce fait illustre la synergie commune aux processus de dégradation.

Si la réticulation se produit, soit à cause d'une scission de chaîne ou soit à des emplacements actifs le matériau subit des modifications dues à la relation existant entre le degré de réticulation et les propriétés physiques. Si, pour remplir ses fonctions, le matériau de construction doit présenter une certaine flexibilité, la dureté supplémentaire provoque la fissuration. Ainsi, certains revêtements deviennent moins extensibles et se craquellent lorsqu'ils

ne peuvent plus se conformer aux mouvements du subjectile. Si les mastics d'étanchéité se réticulent excessivement, ils se fissurent ou perdent leur adhérence à l'interface.

Dans certains cas les produits initialement engendrés par l'irradiation sont colorés et absorbent subséquemment la lumière UV, empêchant ainsi une pénétration plus profonde de la radiation. Comme seule la couche extérieure se réticule, les craquelures n'interviennent que dans cette région. Lorsque le matériau, comme dans le cas de nombreux plastiques structuraux, présente une section épaisse, il se produit en surface, craquelures ou fendillements suivant la profondeur des fissures. Exposé à l'extérieur, le polystyrène présente ce type de comportement. Dans le cas des revêtements relativement minces, les craquelures peuvent être assez profondes pour pénétrer jusqu'au subjectile. La pigmentation peut cependant restreindre la réticulation à une couche très faible, et, si les craquelures sont microscopiques, elles engendreront du farinage dû à l'érosion graduelle de cette couche. La dégradation des matériaux organiques de construction sous l'action des UV solaires résulte plus souvent du processus de réticulation que de la réaction de dépolymérisation.

Résumé

Qu'est-ce que la radiation? Quelle partie de la radiation intervient dans les problèmes de durabilité? Comment affecte-t-elle les matériaux organiques utilisés à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments? La lumière ultraviolette comprise entre 350 et 300 nm représente la radiation la plus destructrice. Elle agit en modifiant la structure chimique des polymères utilisés comme matériaux organiques de construction et affecte ainsi leurs propriétés physiques. Les UV destructeurs ne constituent *heureusement* qu'une faible partie de la radiation solaire totale; leur action est en outre réduite lorsque l'angle des rayons solaires décroît, et lorsque des nuages ou de la fumée forment écran. Une quantité d'UV suffisante pour dégrader les matériaux atteint *malheureusement* les surfaces des bâtiments; ses effets sont particulièrement nuisibles lorsqu'elle agit en conjonction avec l'oxygène, l'eau, la chaleur, ou une combinaison de ces éléments.