

# COMPTES RENDUS

---

## ANGLETERRE

**Institution of Civil Engineers. — Détérioration des constructions en bois, métal ou béton, exposées à l'action de l'eau de mer.** — Le quinzième rapport du Comité spécial de l'Institution of Civil Engineers de Londres vient d'être publié sous les auspices du Département de la recherche scientifique et industrielle (His Majesty's Stationery Office, London, 12 s. 6 d).

Ce document résume les résultats de tous les travaux effectués par le comité depuis la publication du premier rapport en 1920, lequel constituait une introduction aux recherches basée sur les résultats d'une enquête préalable. Les études, puissamment subsidiées, ont eu trait à la préservation des bois, à la corrosion de l'acier et de la fonte, à la préservation de ces métaux et à la détérioration du béton armé.

Le nombre des éprouvettes soumises aux actions de l'eau de mer a été très considérable et elles ont été réparties dans un grand nombre de ports de l'Empire britannique, à savoir : Auckland, Brisbane, Chatham, Plymouth, Singapore, Southampton, Kilindini, Lowestoft, Colombo, Halifax, Wellington, Weston-Supermare, aux Bermudes, à la Côte d'Or, à la Jamaïque, aux Iles Maurice et en Nigérie.

*Préservation des bois.* — La préservation des bois vise presque exclusivement à les mettre à l'abri du taret (Teredo). Des essais ont été faits à Lowestoft et Plymouth, mais il est apparu que le taret n'y était que médiocrement actif. Des résultats meilleurs furent obtenus à Colombo, Singapore, Auckland, à la Nouvelle-Zélande, à la Côte d'Or, à la Jamaïque, aux Bermudes et aux Iles Maurice.

Le rapport décrit brièvement Teredo et ses attaques. Un autre mollusque, *Martesia*, bivalve analogue aux moules, séjournant dans

les mers tropicales, attaque aussi les bois, mais sans causer de grands dommages. Aucun toxique ne peut empêcher l'attaque de *Martesia*. Deux crustacés, *Limnoria* et *Chelura*, produisent également des attaques modérées, mais contre lesquelles il est difficile de se prémunir. Néanmoins, *Teredo* reste le principal agresseur du bois dans l'eau marine. C'est à protéger le bois contre ses attaques que les recherches ont été spécialement dévolues.

On a cherché à trouver des toxiques efficaces par des expériences sur des tarets adultes et des larves. Les conclusions de ces essais sont considérées comme moins probantes que celles résultant de la tenue de blocs de bois traités immergés en divers endroits. Ces blocs mesuraient 12 × 8 × 2 pouces, certains 4 pieds × 4 pouces × 4 pouces. Pour faciliter l'entrée du taret et assurer un contrôle, les blocs étaient recouverts partiellement de plaques de bois de 1/4 de pouce, non traitées, formant « appâts ».

Dans les mers tropicales, cet « appât » est rapidement détruit, ce qui montre l'activité des tarets. Les bois traités étaient surtout des sapins et des pins scandinaves et canadiens; ensuite des bois exotiques.

Les conclusions de cette partie du rapport sont les suivantes :

Aucun procédé de préservation n'est plus satisfaisant que l'imprégnation de créosote; son efficacité dépend du degré de pénétration de la créosote dans le bois.

Les bois tendres généralement employés dans les ports et ouvrages maritimes se laissent difficilement imprégner de créosote par les procédés ordinaires.

Une pénétration satisfaisante de la créosote s'obtient par une incision préalable des bois. La profondeur de pénétration dépend de la profondeur d'incision. Dans certains cas, on a constaté un risque de dégradation des bois par des incisions de plus de 3/4 de pouce.

Les meilleurs résultats ont été obtenus en incisant les bois immédiatement avant le créosotage.

Certains bois durs employés dans les ouvrages maritimes absorbent facilement la créosote par les traitements ordinaires. Le créosotage par le procédé Bethell (vide et pression) ou similaire

donne généralement des résultats satisfaisants. Le créosotage par les méthodes usuelles n'affecte pas la résistance. Quand une température élevée d'injection est employée (150° C dans le procédé Griffith), la résistance est diminuée.

Le composé arsenical « chloro-dihydrophenarsazine », communément désigné « D-M », est très toxique pour les larves libres de *Teredo*. On l'a mélangé à la créosote. Quoique l'on ait eu recours à des concentrations jusqu'à 5 p. c., on n'a observé aucun accroissement défini de protection. Les blocs de contrôle imprégnés de créosote seule ont été autant protégés que les autres. Des expériences d'injection d'huile minérale brute additionnée de poisons ont montré que l'huile seule ne protège pas mais qu'elle est efficace, en cas d'addition de D-M, sur la distance de pénétration du D-M.

Le créosotage est effectif contre *Chelura*, mais sans efficacité sur les crustacés du genre *Linnoria*, qui posent un problème spécial. (On a trouvé *Linnoria* dans l'enveloppe isolante d'un câble télégraphique sous-marin.)

Un simple enduit de surface du bois au moyen du préservatif est sans efficacité.

La naphthaline convient moins que la créosote. L'activité de la créosote ne semble pas dépendre des phénols, mais des hydrocarbures moins volatils que la naphthaline, à point d'ébullition élevé.

Ces conclusions sont dûment commentées et accompagnées de remarques sur les méthodes d'imprégnation et leurs résultats, les caractères des différents ports, les essais de résistance mécaniques des bois traités, etc.

*Corrosion des métaux ferreux.* — Les essais ont porté sur deux fers puddlés, un d'origine britannique, l'autre étant un fer de Suède au charbon de bois, comparés avec un fer doux fondu. Ensuite quatre aciers au carbone de nuances diverses (0,215 à 0,40 p. c. de C, 0,34 à 0,85 p. c. de Mn, 0,25 à 0,10 p. c. de S. et 0,027 à 0,067 p. c. de P). Ensuite six aciers spéciaux, à 0,6 et à 2,2 p. c. de Cu, 13,5 p. c. de Cr. (Stainless), 3,75 p. c. et 36 p. c. de Ni, enfin un acier doux au Cr. Enfin deux fontes, une d'allure froide (fabrication ancienne) et une d'allure chaude (fabrication moderne).

Les barreaux de  $2\frac{1}{2} \times 3 \times 1/2$  pouces, sauf pour l'acier doux au Cr., étaient exposés pendant 5, 10 et 15 ans à l'air, à mi-marée et sous marée basse, à Auckland, Colombo, Halifax et Plymouth. La plupart des barreaux étaient bruts de laminage. Ceux de fer puddlé et certains aciers étaient débarrassés de la peau de laminage par meulage; enfin l'acier à 13,5 p. c. de Cr. (Stainless) avait été adouci à température modérée.

18 barres d'acier doux au Cr. ont été exposées à Plymouth pendant 5 années, dans diverses conditions (brutes de laminage, revenues, revenues et décapées, revenues et polies, trempées et recuites brutes, trempées et recuites et polies). Des barres combinées ont été exposées pendant 5 années, rivées ou boulonnées, en contact par des arêtes ou assemblées en forme de cadres rivés composés de métaux de compositions différentes (des types précédemment définis).

Enfin, on a exposé à Plymouth un certain nombre de barres afin de déterminer :

a) la diminution de résistance provenant de la corrosion marine (5 années);

b) la corrosion dans l'eau douce (5, 10 et 15 ans);

c) la corrosion comparée d'acier stainless poli à l'air, à mi-marée et immergé dans l'eau marine et dans l'eau douce (5 ans);

d) la corrosion comparée de barres pliées exposées à l'air, à mi-marée et immergées dans l'eau de mer et dans l'eau douce.

Les conclusions des essais à 5 et 10 années sont les suivantes :

Les écarts les plus marqués de résistance à la corrosion se manifestent à l'air et à l'immersion dans l'eau douce. A mi-marée et surtout en immersion marine complète, les métaux se comportent à peu près tous de même.

Peu de différences à constater entre les fers puddlés et les aciers ordinaires. Aucune différence à l'eau douce. A l'air, l'acier est supérieur.

Il est légèrement inférieur à mi-marée et plus nettement dans l'immersion marine complète. Un acier riche en S et P et pauvre en Mn (0,22 p. c. C, 0,18 p. c. S, 0,07 p. c. P et 0,34 p. c. Mn) a une résistance erratique à la corrosion.

Un accroissement de la teneur en carbone de 0,24 p. c. à 0,40 p. c. n'influe pas appréciablement sur la résistance à la corrosion.

Dans toutes les expositions et conditions d'attaque, la présence d'oxyde de laminage accentue la tendance à la corrosion locale et à la piquûre.

Les fontes résistent très bien à l'air et soutiennent la comparaison avec les meilleurs aciers spéciaux. Ils résistent bien aussi à l'eau douce.

A mi-marée ou en complète immersion marine, la corrosion a fréquemment atteint l'intérieur des barres de fonte par les pores ou les défauts de moulage.

La profondeur de pénétration se reconnaît seulement par rupture.

L'addition de 0.6 p. c. et 2,2 p. c. de Cu à l'acier doux augmente beaucoup la résistance à la corrosion par l'air et l'eau douce. Cet avantage n'est pas maintenu dans l'exposition à mi-marée ni dans l'immersion marine complète.

L'acier stainless à 13,6 p. c. de Cr résiste bien à l'air et à l'eau douce.

A l'immersion à mi-marée ou marine complète, les barreaux ont eu des corrosions locales très sérieuses, accompagnées de perforation. Ceci aussi bien pour les barreaux bruts que pour les barreaux meulés et polis. L'acier à 3,75 p. c. de Ni et 0,31 p. c. C résiste bien à l'air et à l'eau douce. A l'immersion marine partielle et totale, quoique perdant moins de poids, les barreaux manifestent une tendance à une corrosion localisée plus profonde, réduisant l'avantage du Ni.

L'acier à 36,6 p. c. de Ni résiste parfaitement à toutes les sortes de corrosion. Cet acier est le plus résistant des matériaux essayés, il est peu exposé aux piquûres.

L'assemblage de métaux différents ne donne pas de résultats à l'air. Dans les autres conditions d'attaque, on observe que :

l'acier ordinaire au contact du fer puddlé est préservé au détriment du fer puddlé,

l'acier stainless au Cr et l'acier à forte teneur en Ni, au contact de l'acier ordinaire, sont préservés au détriment du dernier.

L'écrouissage à froid par pliage des barres n'augmente en général pas appréciablement leur corrosion (1).

*Protection du fer et de l'acier au moyen de peintures et autres préservatifs.* — En 1922, la Commission britannique décida d'entreprendre des essais au sujet de l'efficacité de protection des aciers contre la corrosion marine par des peintures et autres moyens protecteurs. Pour cette raison, des plaques d'acier doux de 2 pieds × 6 pouces × 0,1 pouce traitées par les moyens à essayer furent conservées à l'air au voisinage de l'eau de mer, à mi-marée ou complètement immergées sous eau.

Pour chaque échantillon de peinture, il était prévu 5 plaques, afin de déceler des résultats erratiques. La plupart des plaques étaient décapées avant peinture. Certaines plaques déjà exposées (séries II et III) furent nettoyées au jet de sable pour servir à un nouvel essai (séries IV et V).

Certaines furent peintes à l'état brut, certaines furent plongées brutes dans l'eau de mer puis grattées avant peinture.

Il y a eu 9 séries d'essais. Les 5 premières séries comportent 110 plaques, comprenant diverses peintures à l'huile, au goudron, au bitume et quelques plaques galvanisées. La série I fut exposée à l'air pendant 7 ans, la série II à mi-marée pendant un an, la série III immergée entièrement pendant un an, toutes à Southampton. Les séries IV et V, analogues aux précédentes, furent exposées pendant un an comme II et III, toujours à Southampton.

Les séries suivantes comportaient 60 plaques, traitées uniquement au goudron de diverses provenances et appliqué de diverses manières.

La série VI fut exposée à mi-marée, la série VII immergée, toutes deux à Southampton pendant 28 mois. La série VIII fut placée à mi-marée à Weston-super-Mare pendant 17 mois. La série IX, immergée au même endroit, fut perdue pendant une tempête.

(1) Dans les expériences de corrosion aérienne, les barreaux étaient exposés à la pluie et aux embruns. Il n'est pas question, dans les essais anglais, de corrosion mécanique par le sable volant, forme de corrosion qui s'observe caractéristiquement sur les plages de sables et de dunes de la côte belge. (Note du rédacteur.)

L'eau à Weston-super-Mare est moins salée qu'à Southampton, elle n'est pas souillée de fuel-oil, le courant y est plus vif et charrie plus de sable. Aussi les plaques restaient-elles propres à Weston-super-Mare, tandis qu'elles étaient envasées à Southampton. Les résultats furent intéressants. On prit comme type de comparaison une double couche de minium de fer à base d'huile de lin crue.

Les conclusions des essais sont les suivantes :

Les plaques d'acier qui ont déjà été sujettes à corrosion seront proprement décapées au jet de sable ou d'une manière équivalente avant toute nouvelle application de couche protectrice. La peinture sur la surface brute de laminage est insatisfaisante par rapport à la peinture sur acier décapé; les pertes de poids sont plus grandes et les piqûres plus profondes. Le décapage par corrosion à l'eau de mer ne convient pas.

Des couches multiples de peinture assurent une meilleure protection qu'une couche simple.

L'emploi d'huile cuite pour le minium de fer donne de bons résultats pour la corrosion aérienne et à mi-marée. L'addition d'environ 12,5 p. c. de kaolin, de silice ou de blanc minéral au minium de fer n'exerce aucune influence appréciable sur le pouvoir protecteur de la peinture.

Les différents oxydes de fer (minium) essayés ont donné des résultats à peu près équivalents.

Les peintures à la céruse et au minium de plomb ont été supérieures au minium de fer dans les essais à l'air et à mi-marée, mais un peu inférieurs en immersion complète.

En général, le minium de plomb à 65 p. c. de  $Pb^2O^4$  était un peu supérieur à celui contenant plus de  $Pb^3O^4$  (c'est-à-dire au minium de plomb plus oxydé) (1).

Le minium de plomb est légèrement supérieur à la céruse à l'air et à mi-marée. L'inverse est vrai en immersion marine totale. Un mélange de céruse et de minium de plomb donne des résultats intermédiaires.

(1) Il ne s'agit naturellement pas d'altération par des matières étrangères (note du rédacteur).

La peinture au chromate de plomb laisse espérer de bons résultats.

Une peinture anti-putréfactive contenant des oxydes de cuivre et de zinc donne des résultats inférieurs au minium de fer en immersion marine totale.

La galvanisation est très efficace en épaisseur correspondant à environ 20 onces par yard carré (env. 750 gr. par m<sup>2</sup>). Le goudron de houille donne en tous cas des résultats très supérieurs aux oxydes de fer et de plomb.

Le goudron de cornues horizontales est supérieur à celui de cornues verticales, aussi bien appliqué à froid qu'à chaud. On l'améliore encore au moyen d'additions de chaux éteinte. Une solution de bitume donne de mauvais résultats à l'air, mais de bons résultats à mi-marée et en immersion complète.

On peut d'une manière satisfaisante appliquer des couleurs à l'huile sur du goudron après une triple application de vernis à la gomme laque.

*Détérioration du béton armé.* — On a confectionné des séries doubles de piliers en béton armé de 5 pieds sur 5 pouces en carré. On en a immergé partiellement 144 à Sheerness en 1929, tandis que 144 autres étaient immergés partiellement à Watford, au laboratoire de la Building Research Station, dans l'eau marine artificielle à triple concentration. L'exposition à Sheerness se faisait dans un réservoir extérieur, alimenté d'eau de mer, non dans la mer même.

Une marée artificielle était réalisée dans ce réservoir. Dans la suite, le nombre total des piliers s'est élevé à 474, dont 24 à la Côte d'Or, dans des conditions tropicales.

Dans chaque série, on a employé quatre ciments :

- a) ciment portland normal,
- b) ciment portland à durcissement rapide,
- c) ciment alumineux,
- d) ciment de laitier-clinker.

L'agrégat comportait du sable gradué traversant le tamis de 1/4 de pouce et du gravier compris entre les tamis de 1/2 et 1/4 de pouce. Le dosage a été varié, de telle sorte à réaliser un dosage riche, un dosage moyen et un dosage maigre. Les deux premiers dosages ont été mouillés à deux consistances : sèche (1/2 pouce de



slump) et normale (2 pouces de slump). Le dosage maigre avait la consistance normale.

Dans certains mélanges, une partie de l'aggrégat a été remplacée par du trass ou des pouzzolanes artificielles (schistes ou argiles calcinées).

Les armatures ont été placées de telle sorte qu'elles étaient couvertes de 1 pouce ou 2 pouces de béton.

Les piliers sont examinés deux fois par an, au printemps et à l'automne et photographiés.

En outre, 5.388 cylindres de compression ont été confectionnés comme les piliers et conservés à Watford : à l'eau pure, partiellement immergés dans l'eau de mer artificielle ou totalement immergés dans l'eau de mer artificielle.

Voici les conclusions, basées sur 5 années d'observations : un rapport ultérieur sera établi après cinq années nouvelles. On notera que les spécimens ont été confectionnés au laboratoire avec le plus grand soin.

Une couverture de l'armature de 2 pouces en béton de dosage moyen (1 : 1,67 : 3,33 en vol. app.) assure une bonne protection contre la corrosion de l'armature. Aucun des ciments employés ne montre un avantage décisif. L'addition de trass au dosage maigre est avantageuse. Les spécimens armés confectionnés de la sorte n'ont pas ou peu de signes de détérioration. Les échantillons contenant de la pouzzolane artificielle ne permettent pas d'affirmer la valeur de ces matériaux.

La consistance sèche paraît supérieure à la consistance normale, mais la différence est mal définie. On n'a pas observé pratiquement de fissures sur la surface lissée des piliers, parce que le lissage a vraisemblablement augmenté l'imperméabilité du béton.

On a relevé plus de fissures à Sheerness, dans l'eau de mer véritable, qu'au laboratoire, dans l'eau de mer artificielle à concentration triple.

Cela est dû sans doute aux conditions climatiques plus sévères de Sheerness. Cependant, le comportement du béton à l'eau de mer artificielle peut être considéré comme un bon guide pour le comportement probable à la mer. L'exposition à la Côte d'Or a pro-

duit des accidents analogues, mais moins marqués qu'au laboratoire. Cela peut être dû en partie au fait que les spécimens ont été immergés à un âge plus avancé.

Les fissures ont presque toujours été précédées de traces de rouille à la surface du béton. Il semble donc que la perméabilité du béton joue un grand rôle (1). La détérioration des piliers provient surtout de la rouille des armatures et de l'expansion qui en résulte, qui provoque des fissures, plutôt que de l'attaque du béton.

La détérioration des piliers, prouvée par les fissures, se produit à peu d'exceptions près au-dessus du niveau de l'eau.

Les essais sur petits cylindres ont donné peu d'informations, quant à la probabilité de fissuration des piliers armés. Sauf les bétons maigres, les éprouvettes n'ont pas été affectées.

Les expériences indiquent que le béton couvrant les armatures sera imperméable et que, pour un dosage moyen, il suffit de 5 centimètres de béton (2 pouces) (2).

En conclusion, il s'agit d'observations et d'essais de grande envergure, conduits à la fois scientifiquement et pratiquement. Ces essais continuent encore et le rapport actuel n'est pas définitif, quoique résumant tous les résultats déjà acquis.

L'ouvrage contient de nombreux détails des essais et d'amples commentaires, accompagnés d'une quantité de tableaux numériques et de photographies.

Les renseignements qu'il donne sont très précieux, encore qu'ils mettent souvent en évidence les influence locales et que, d'autre part, il faille tenir compte aussi des différences qui peuvent exister d'un pays à l'autre entre les matériaux et les manières ou moyens de les mettre en œuvre.

(1) Il semblerait plus juste de dire la perméabilité du mortier. (Note du rédacteur.)

(2) Ce dosage moyen correspond à peu près au dosage en poids 1 : 2 : 4, soit à peu près 300 kilos de ciment, 400 litres de sable et 800 litres de gravier. Le béton maigre comportait à peu près 175 kilos de ciment, 420 litres de sable et 840 litres de gravier. Le béton riche était à peu près à 500 kilos de ciment, 375 litres de sable et 750 litres de gravier. Les dosages au trass comportaient 180 kilos de ciment, 120 kilos de trass, 400 litres de sable et 800 litres de gravier ou 300 kilos de ciment, 200 kilos de trass, 375 litres de sable et 750 litres de gravier. (Note du rédacteur.)

Les résultats britanniques ne peuvent pas être purement et simplement admis dans d'autres pays et il est très utile de procéder en toutes régions à des essais directs, pour lesquels le rapport anglais peut donner de très utiles indications. Des essais relatifs à la tenue des ciments, du béton et du béton armé sont actuellement en cours à la côte belge, sous les auspices de l'Administration des Ponts et Chaussées. L'essai anglais concernant les bétons est destiné spécialement à étudier la détérioration des piliers, pieux et structures en béton armé, et non pas la détérioration du béton par l'eau marine. Contrairement à ce qui a été fait pour le bois et l'acier, les éprouvettes de béton n'ont pas été réellement immergées en mer et soumises à l'action de la marée véritable, des lames, des embruns, du ressac, de la vague, des algues et mollusques, etc. Sur ce point, l'essai pourrait être complété. Il est à noter aussi qu'il n'y a vraiment pas de béton maigre au trass, le dosage minimum comportant 300 kilos de ciment et trass réunis ( $\frac{3}{5}$  de ciment et  $\frac{2}{5}$  de trass), ce qui, vu l'onctuosité des bétons au trass, doit assurer une imperméabilité comparable à un dosage à 300 kilos de ciment; somme toute, il s'agit d'un béton à 300 kilos de ciment-trass.

Les enseignements de l'essai n'en sont pas moins concluants quant à la nécessité d'une bonne compacité du béton, c'est-à-dire d'un dosage suffisamment riche, bien gradué et bien mis en œuvre, sans excès d'eau et d'un bon enrobage des armatures, d'au moins 5 centimètres.

F. CAMPUS.