

La corrosion atmosphérique dans la région de Singapour

par A. Delrieu

Directeur du Laboratoire de tropicalisation
de l'Office de la recherche scientifique et technique d'outre-mer (ORSTOM)

Singapour en étant le quatrième port du monde, avec ses nombreuses installations dans un climat à la fois tropical et maritime, offre un champ très varié à l'action de la corrosion.

La Malaisie très proche de l'équateur a un climat très uniforme, chaud et humide toute la journée et d'un bout de l'année à l'autre. La mousson change la direction des vents qui soufflent du nord-est en hiver et du sud-ouest en été. Il y a beaucoup de pluie notamment au moment du changement de mousson.

Le relief accidenté donne lieu à une grande variété de microclimats, la moyenne des températures reste cependant élevée.

Singapour à 120 km de l'équateur a une température qui reste aux environs de 27° C avec une forte humidité, les précipitations sont de 2431 mm/an en moyenne. Situé sur la côte sud d'une île, le port possède quatre grands bassins, une rade et cinq kilomètres d'entrepôts et d'installations portuaires.

La corrosion du climat pose de nombreux problèmes pour le développement de l'équipement et de l'industrie de la région environnante.

En 1973, a eu lieu à la Faculté d'Engineering de Singapour un colloque au cours duquel tous les aspects de la corrosion et de la lutte contre cette corrosion ont été envisagés par les nombreux participants (1). C'est de ce colloque que nous avons extrait de nombreux renseignements pour compléter les informations sur la corrosion en climat tropical que nous avons commencé avec un article sur la corrosion atmosphérique en Inde (2).

Tous les secteurs industriels ont pratiquement fourni l'occasion d'une communication et des solutions intéressantes peuvent être trouvées dans les comptes rendus de cette réunion. Ont été abordés les domaines de l'aéronautique, de la construction d'immeubles d'habitation, des installations portuaires, des préparations de surface des peintures anticorrosion, etc.

Dans l'introduction on met l'accent sur les points principaux qui donnent un caractère particulier à ce genre de corrosion :

1. La corrosion atmosphérique tropicale est fortement liée à la pollution atmosphérique et celle-ci augmente avec le développement de l'industrie et entre autres avec le nombre de véhicules et moteur que le développement économique entraîne. A Singapour comme ailleurs on a trouvé que les niveaux les plus bas de la pollution avait été relevés pendant les périodes pluvieuses à cause de l'élimination des polluants par la pluie.

2. En moyenne la protection d'une pièce de métal est appliquée une ou deux fois durant la vie du métal, ce qui indique un taux de renouvellement assez élevé dans une atmosphère particulièrement corrosive.

3. La majorité des problèmes de corrosion qui se posent dans ce climat sont des problèmes de maintenance (90 %).

La protection initiale ne soulève pas de difficultés particulières, puisqu'elle est faite dans de bonnes conditions en usine, où on peut réaliser une préparation de surface soignée et une application correcte des revêtements protecteurs. Mais comme cette protection a une durée de vie limitée, lorsque les produits de corrosion ont fait leur apparition, il faut les éliminer complètement avant de procéder à un remplacement de la couche protectrice. Cette élimination, comme nous le verrons en détail plus loin, est difficile à réaliser, l'application de la nouvelle protection se fait souvent dans des conditions atmosphériques bien différentes de la première.

La maintenance des navires constitue une activité particulièrement importante à Singapour, ce qui nécessite des installations perfectionnées et de grandes dimensions.

PREPARATION DE SURFACE

D'après les spécialistes les techniques de préparation de surface dans le Sud-Est asiatique sont dans l'ordre d'utilisation : l'abrasion à l'air comprimé, sablage ou grenailage, le pickling, le nettoyage mécanique, le nettoyage à la main. Le nettoyage à la flamme est pratiquement inconnu.

Le pickling est utilisé avant galvanisation mais peu avant peinture. La méthode manuelle de nettoyage à la brosse métallique, onéreuse, cède le pas au grenailage. L'usage de marteaux pneumatiques pour le nettoyage des tôles de bateaux est encore en usage, mais en diminution. Du fait de la pollution et des dangers de silicose pour le personnel, il existe des restrictions à l'usage du sable. On emploie des copeaux de cuivre mais le coût en est plus élevé. On utilise aussi des grenailles d'acier ou un mélange, mais il semble qu'on ne recueille pas toujours l'abrasif pour le récupérer.

Du fait que ces abrasifs doivent tous être importés, ils jouent un grand rôle dans le prix de revient et il est particulièrement intéressant de pouvoir les réutiliser. On pourrait aussi envisager d'employer les tournures d'étain produites sur place, en mélange avec la tournure de cuivre.

Les machines à grenailier centrifuges sont seulement valables pour les plaques, barres, acier laminé, etc., les pièces compliquées nécessitent un nettoyage manuel et sont traitées dans des enceintes conventionnelles. Du fait de la forte humidité relative de l'air, il se forme rapidement une couche de rouille sur la surface de l'acier. Ceci est accentué par le fait que l'acier nettoyé est légèrement rugueux et se corrode huit fois plus vite qu'une surface lisse. En mesurant le temps d'apparition de la rouille à la surface de l'acier après préparation, en fonction de l'humidité relative, on s'est aperçu qu'au dessus de 70 % la rouille se forme beaucoup plus rapidement.

L'humidité de l'air ne descend pas au dessous de 70 % et dépasse 90 % la nuit, on ne pourrait donc si l'on choisissait uniquement d'après la teneur de l'air en humidité, nettoyer les surfaces que de 10 h à 18 h. En fait à cause de la température, on nettoie et peint la nuit, ce qui est la plus mauvaise période, et du fait de l'humidité la vitesse de l'opération est limitée, ce qui entraîne qu'on ne peut nettoyer que de petites surfaces à la fois.

On envisage aussi de procéder à une déshumidification de l'intérieur des réservoirs avant nettoyage.

STANDARDS DE GRENAILLAGE

Il y a six ou sept ans il était usuel d'exiger que le métal soit complètement à nu, mais

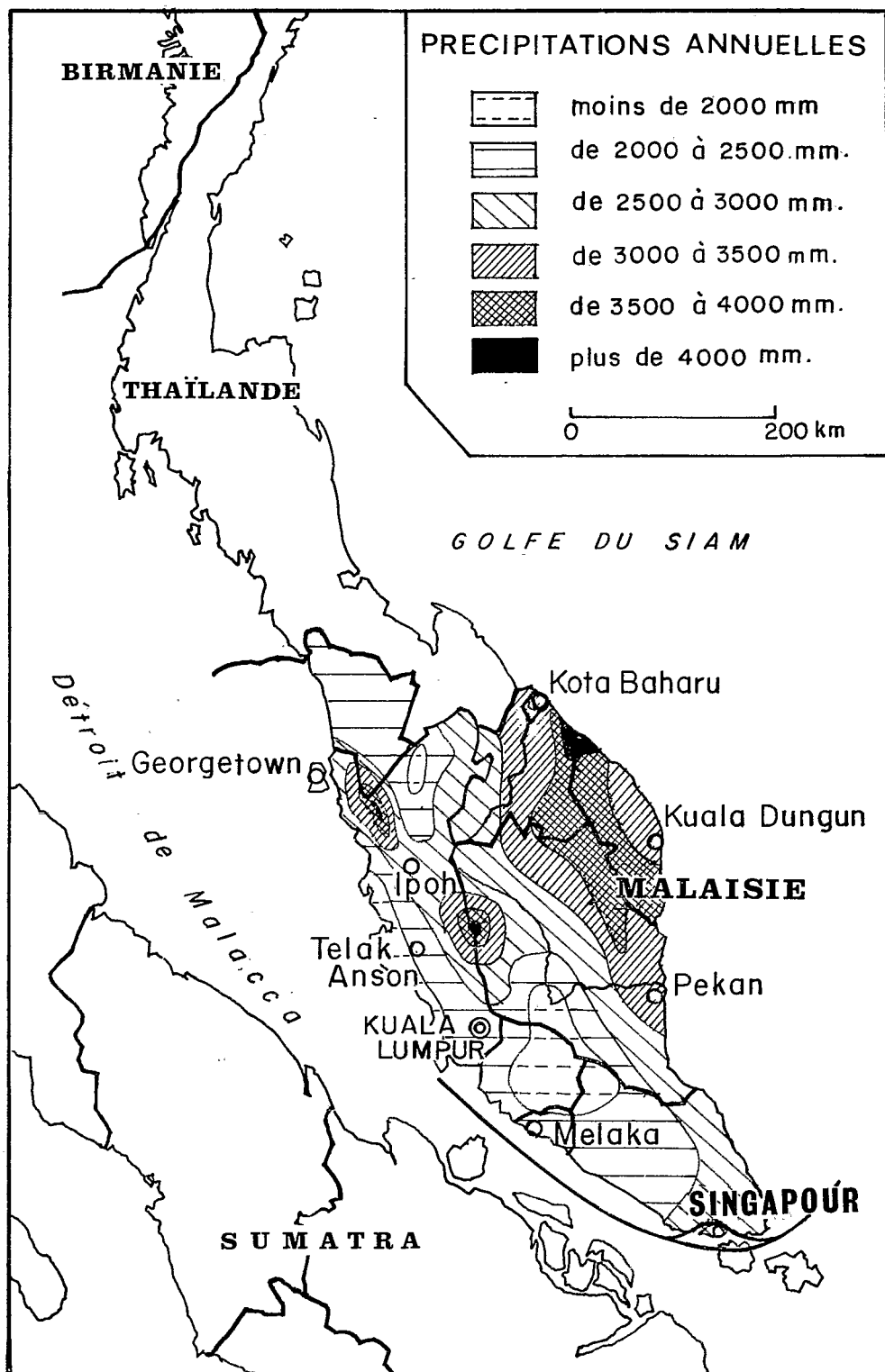
(1) Proceedings of a Workshop on corrosion (1973). Science Council of Singapore.

(2) La corrosion atmosphérique en Inde. A. Delrieu. "Industries et travaux d'outremer", novembre 1976.

9 NOV. 1977

J. R. S. T. U. M.

Collection de
8863 ex 1



on a reconnu par la suite qu'il n'était pas nécessaire d'exiger une préparation aussi soignée et qu'on pouvait se contenter d'un degré moindre. D'ailleurs, la tendance actuelle est d'abaisser encore la qualité du grenailage mais cela se traduit par une diminution de la protection obtenue avec les revêtements de qualité en atmosphère agressive.

Il existe aussi un grenailage léger qui peut remplacer avantageusement un nettoyage à la main, il enlève seulement la calamine et

la rouille détachable. De toute façon pour les remises en peinture il n'est pas toujours possible de sabler ou de grenailier et il faut se rabattre sur le broissage métallique. La peinture sur rouille ne réussit pas, la rouille étant imprégnée de sulfate ferreux.

Il se dégage de toutes les expériences que la maintenance doit être effectuée dès les premiers signes de faiblesse de la peinture, pour réduire au minimum la préparation qui est le point le plus délicat. En Asie du Sud-Est on n'est pas encore arrivé à des

spécifications étroites en ce qui concerne la préparation de surface et il semble que la mise en œuvre pose quelquefois des problèmes du fait du manque de qualification. On peut prévoir un développement des équipements automatiques et peut-être une meilleure organisation pour la préparation et l'application.

PROTECTION PAR PEINTURE

Dans certains secteurs industriels on recueille 0,5 t de Ca, 1 t d'ammoniaque, 2 t de sulfate et 1 t de chlore par km²/mois d'impuretés contenues dans l'atmosphère. Dans ces conditions une peinture à l'huile ordinaire ne tient pas plus de trois mois.

Il est donc nécessaire d'employer des peintures de haute performance et en épaisseur suffisante.

Le coût de la protection, peinture plus main-d'œuvre est à peu près aussi élevé que le coût de la préparation de surface et il sera peut-être supérieur si les salaires s'élèvent, ce qui est inévitable en Asie du Sud-Est.

On cherche donc à diminuer le nombre de couches tout en gardant une épaisseur convenable. Une spécification commune est : une couche de primaire et deux couches de finition, total 152 μ. En atmosphère marine il faut une épaisseur minimum de 200 μ.

Le système conventionnel, trois ou quatre couches, sur base de minium et huile ou chromate de zinc et alkyde cède la place à un système monocouche ou bicouche.

Dans d'autres pays des protections monocouches ont résisté dix ans en atmosphère marine.

Des systèmes à deux couches peuvent résister peut-être vingt ans. Plusieurs facteurs entrent en jeu dans la composition d'une formule de peinture, la concentration en pigment qui donne un film plus ou moins brillant et la viscosité qui influe sur l'épaisseur de la couche obtenue. Avec un type de primaire au minium avec une concentration de 37 % en pigment on obtient une couche de 87,5 μ peu brillante, ce qui nécessite l'application d'une couche de finition, par exemple une résine alkyde avec 15 % de pigment qui donne une couche brillante mais plus mince (32,5 μ).

Si la surface de finition peut être de couleur sombre et mat, on peut éventuellement employer un primaire à l'oxyde de fer micacé dont la viscosité est plus grande et avec lequel on obtient une couche de 67 μ.

Avec une couche de primaire au minium et deux couches de finition on arrive à 225 μ.

Ces questions sont donc dominées par la viscosité de la peinture qui conditionne l'épaisseur d'une monocouche.

Des produits comme le caoutchouc chloré qui donne de bons résultats dans le cas d'atmosphère polluée ou de produits chimiques, ne se sont pas développés pendant de nombreuses années du fait de la minceur des couches obtenues, ce qui obligeait pour avoir une épaisseur suffisante à de multiples applications plus coûteuses. Des développements dans le domaine de la thixotropie ont permis d'augmenter la viscosité une fois appliquée et d'obtenir des couches plus épaisses.

Avec une formule à base de caoutchouc chloré chargée en baryte et oxyde de titane, l'addition de montmorillonite modifiée et d'éthanol permet d'obtenir une viscosité de 35 poises pendant l'application, c'est-à-dire d'être suffisamment liquide pour une mise en œuvre facile. Cette viscosité monte à plusieurs centaines de poises une fois l'application faite, c'est-à-dire que la couche ne s'étale pas et garde une épaisseur suffisante. Ces peintures sèchent par évaporation simple du solvant.

Parmi les peintures au silicate de zinc les anciennes formules employant des silicates alcalins dépendant de l'évaporation de l'eau sont d'une utilisation difficile en milieu humide. On préfère les alkyl silicates. Avec une épaisseur de 125 μ en deux couches la résistance est de plusieurs années. La protection est moins bonne en immersion dans l'eau contenant des électrolytes (par exemple de l'eau de pluie polluée).

La meilleure protection semble obtenue avec 50 à 75 μ de silicate de zinc suivis de 250 μ d'époxy ou d'un mélange goudron époxy ou goudron uréthane, mais le silicate de zinc n'est pas compatible avec n'importe quoi.

Les résines époxy qui donnent un meilleur résultat mélangées à des résines phénoliques nécessitent une cuisson. Les polyuréthanes donnent également de bons résultats, on signale cependant des risques de mauvaise adhésion sur les primaires de sablage ayant été exposés à l'air après application. Avec les peintures sans durcisseur les performances sont plutôt moins bonnes, cependant le caoutchouc chloré et les vinyles donnent de bons résultats. Pour les expositions sur la côte on peut choisir, par exemple, une solution vinylique en une couche de 125 μ , ou plus qui, en principe, ne nécessite qu'une remise en peinture tous les dix ans. On peut aussi employer des époxy en une couche de 125 μ . Dans le cas d'immersion intermittente en eau salée, la finition se fait avec une époxy ou un mélange goudron époxy. Lorsque l'immersion est continue on protège par protection cathodique et courant imposé.

dustriellement, vole à des températures négatives et atterrit sur un autre aéroport où le climat est de nouveau chaud et humide, les contraintes subies du fait de tous ces changements sont très importantes. Pendant la descente, l'humidité se condense et les sels de l'atmosphère s'accablent à la surface et dans toutes les cavités et interstices de la structure. D'autre part la structure même d'un aéronef implique des difficultés de protection. Un composant métallique d'un seul morceau, de grande dimension est d'avantage soumis à la corrosion qu'un petit.

Lors de la fabrication, le refroidissement homogène est difficile à réaliser et des contraintes internes prennent naissance qui favorisent l'attaque par la corrosion.

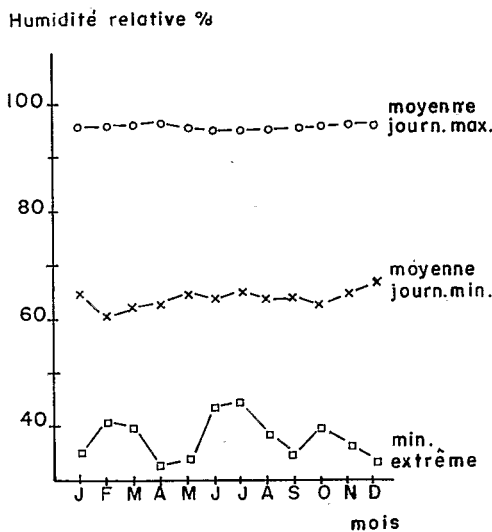
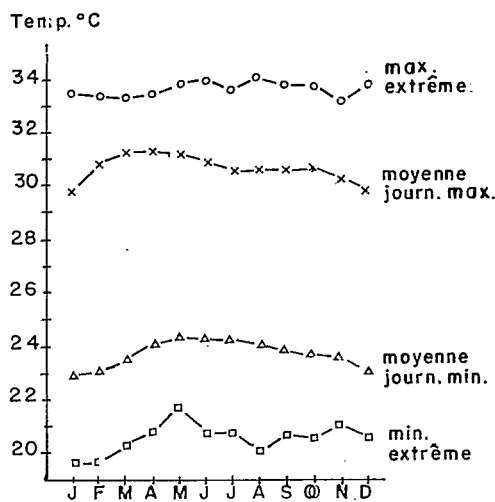
De même lorsqu'il y a une petite anode et une grande cathode de deux métaux différents, il en résulte une densité de courant plus forte à l'anode et une corrosion accrue.

Toutes ces considérations montrent qu'il est assez délicat de maintenir en bon état ce matériel soumis à des efforts mécaniques intenses par surcroît

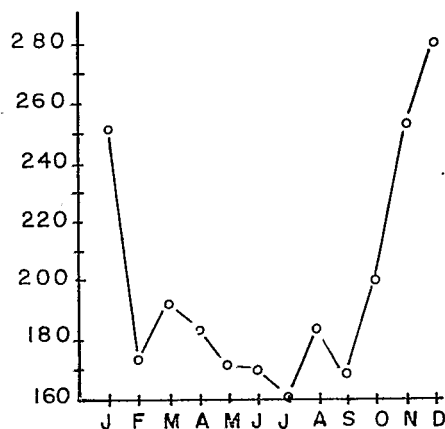
La maintenance nécessite des examens périodiques poussés et de fréquentes interven-

CORROSION DANS LES AERONEFS

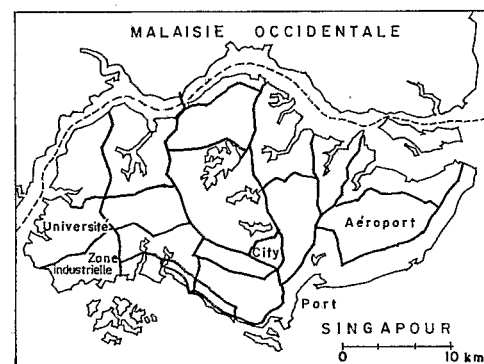
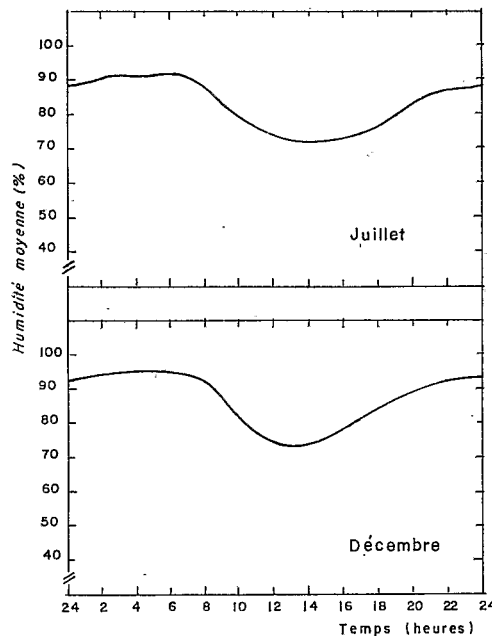
Lorsqu'un aéroplane décolle d'un aéroport où la température et l'humidité sont élevées, s'élève à travers la pluie et l'air pollué in-



Précipitations moy. (mm)



Durée totale d'insolation h



tions pour maintenir le métal en bon état. D'autres formes de corrosion se manifestent, par exemple, dans les carburants stockés; il se développe facilement des micro-organismes qui attaquent les parois métalliques des réservoirs.

CORROSION DANS LES IMMEUBLES D'HABITATION

De nombreux signes de corrosion ont été observés dans des appartements, genre HLM, construits par le gouvernement. Cette corrosion est généralement observée sur les parties métalliques de la construction ainsi que sur la machinerie.

Par exemple, dans des ascenseurs, les parois intérieures en métal peint, étaient fréquemment endommagées par les locataires et la rouille se développait rapidement sur le métal mis à nu. Une solution a été trouvée dans le remplacement du métal peint par des plastiques lamifiés. On a constaté également que le plancher des ascenseurs était fréquemment souillé d'urine. Ils sont maintenant recouverts d'une feuille continue de caoutchouc, de chlorure de vinyle ou d'aluminium, mais ces feuilles sont sujettes à l'abrasion et doivent être changées tous les trois ou quatre mois pour les feuilles de vinyle et tous les un ou deux ans pour les feuilles d'aluminium.

De toute manière pour les 1 200 ascenseurs installés, on dépense S \$ 120 000 pour les planchers, chaque année, ce qui est un coût d'entretien très élevé.

Il existe des réservoirs d'eau, au niveau du toit, réalisés en acier assemblé et garnis d'un mastic d'étanchéité, le tout recouvert de deux couches de peinture à base de bitume non toxique. Leur entretien est moins important, ils ne sont nettoyés et remis en peinture que tous les cinq ans.

Par contre les trémies des vide-ordures en tôle étaient corrodés en un an et le bas des portes en bois était attaqué par la pourriture encore plus vite. Ces matériaux ont été remplacés par de l'aluminium avec succès.

De même pour les portes de salles de bains, initialement prévues en bois mais rapidement attaquées à la partie inférieure.

La menuiserie métallique a été utilisée avec de bons résultats, les fenêtres sont simplement peintes. Toutefois pour les immeubles voisins de la mer, l'acier est galvanisé au préalable.

Les fers utilisés pour les escaliers et les balcons posent des problèmes plus difficiles. Comme nous l'avons signalé précédemment, ils reçoivent une couche primaire à la fabrication et sont ensuite stockés sans précautions spéciales. La corrosion s'installe rapidement et il est impossible de nettoyer et d'éliminer la rouille complètement avant la peinture et elle réapparaît rapidement après la remise en peinture.

Les éviers sont installés à la construction. Ils sont en aluminium et semblent assez rapidement piqués.

A la lumière de toutes ces observations on peut tirer quelques recommandations utiles :

Tout d'abord prévoir les utilisations correctes ou incorrectes du matériel. Par exemple, les planchers des ascenseurs fabriqués outre-mer n'ont pas été prévus pour résister à l'action de l'urine. On peut aussi souhaiter l'emploi de matériaux plus résistants, le remplacement de l'acier doux galvanisé par le PVC et le plastique armé lorsque les conditions de résistance mécanique sont remplies. Enfin une meilleure préparation de surface est à conseiller. Par exemple, on exige que les fers pour escaliers et balcons soient livrés nus, pour pouvoir contrôler la nature de l'acier et on doit les enduire d'une couche primaire dès réception. Cependant en fait, le primaire est très souvent appliqué après quelques jours et la rouille se développe sur le métal nu avant peinture ce qui rend la protection inefficace.

On pourrait galvaniser après fabrication, mais pour le moment il n'y a pas d'usines qui peuvent le réaliser dans ces dimensions.

CORROSION OBSERVEE DANS LES OUVRAGES PORTUAIRES

La corrosion observée dans les ouvrages portuaires est plus complexe qu'ailleurs du fait du nombre de facteurs agressifs plus élevé. Les ouvrages sont soumis à l'atmosphère, aux pollutions industrielles, à l'eau de mer, sous forme d'embruns ou de vagues. Le long du front de mer l'atmosphère marine est prépondérante. Les jetées, quais, etc., sont de plus soumis à l'action mécanique des vagues qui sont plus importantes à la mouson nord-est et sud-ouest. Les parties intéressées par la marée sont alternativement sèches et humides. Enfin d'autres matériels sont enterrés : pipe-line, drainage, circuits de pompage.

De toutes les observations concernant ce matériel on tire des conclusions pour les travaux futurs ou pour l'amélioration des installations existantes :

- Il faut tout d'abord éviter les endroits où l'eau de pluie peut se rassembler, où l'eau de mer peut séjourner. Par exemple s'assurer qu'une pente suffisante a été donnée aux gouttières, tuyaux d'évacuation, toits etc.

- Les crevasses et fissures qui peuvent retenir la pluie sont à éviter soigneusement.

- Dans l'utilisation de crochets de fixation pour les différents types de couvertures (ciment ou acier) il faut penser à la possibilité de rétention d'eau de pluie.

- De même, la base des fers utilisés dans la position verticale, dans des conditions at-

mosphériques dures, doit être conçu pour éviter le contact prolongé avec l'eau de pluie.

Il faut bien entendu éviter les couples de métaux de potentiels différents.

- Lorsque les installations sont supportées par des poteaux d'acier, une protection supplémentaire contre la marée dans les zones battues par les vagues peut être réalisée en entourant les piliers métalliques d'un revêtement de ciment.

- Pour les piliers en tôle d'acier, on peut les protéger avec un revêtement de bitume et entretenir une maintenance régulière. Dans la zone immergée, on emploie la protection cathodique avec des anodes sacrificielles ou un courant imposé.

- Les parties ferreuses des hangars pour cargo sont assez délicates à protéger du fait de l'atmosphère marine.

On emploie généralement pour primaire du minium ou du chromate de zinc, ce dernier ayant l'avantage de sécher plus vite. Dans cette période initiale de résistance à la corrosion on dispose deux couches de peinture structurale.

- Les pieux d'amarrage qui assurent la tenue des ancrages sont en acier fondu qui résiste mieux à l'atmosphère que l'acier ordinaire.

- Enfin pour la couverture de tous ces ouvrages portuaires lorsqu'elle est réalisée en métaux ferreux on assure une galvanisation ou un revêtement plastique. On peut aussi utiliser l'aluminium qui résiste bien à la corrosion atmosphérique marine.

Cette étude nous montre l'importance et les diverses formes que prend la corrosion dans un pays au climat tropical marin. Le développement industriel y est intense et met en jeu des matériels les plus divers et les plus modernes. On peut donc faire une revue des solutions employées, satisfaisantes ou non, et en tirer des enseignements utiles.

Nous pensons particulièrement à l'épaisseur des revêtements de peinture, aux remarques concernant la structure des matériels, à l'importance du soin à apporter à la protection initiale compte tenu des difficultés de l'élimination des produits de corrosion et de la remise en peinture.

Le développement industriel des nombreux pays dont le climat est analogue à celui que nous avons considéré, pose ou va poser des problèmes de protection du matériel pour lesquels les résultats obtenus et discutés dans cet article pourront suggérer, nous l'espérons, des solutions valables. (3).

(3) La Tropicalisation, par A. Dalrieu. Editions Desforges. 1974, Paris.

Résumé en anglais

Atmospheric corrosion being a very important factor to take into account in tropical countries we try to point out the main problems arising in various fields of industrial development in Malaysia and in the Singapore area.

We partly used the results and discussions of a Workshop on Corrosion held in Singapore in 1973 and devoted to Corrosion Problems, Paint Coatings, Metallic Coatings and Corrosion Prevention.