

Juillet 1983

MINISTÈRE DES TRANSPORTS  
SERVICE D'ÉTUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES  
S. É. T. R. A.

DÉPARTEMENT DES OUVRAGES D'ART  
Division des Ouvrages en Métal  
J. BERTHELLEMY

**CONDITIONS CLIMATIQUES ET CORROSION  
À L'INTÉRIEUR DES GRANDS CAISSONS MÉTALLIQUES**  
traduit de l'allemand d'après une publication de W. KRANITZKY,  
der STAHLBAU 2/1983

**Résumé**

L'article expose l'investigation menée pour étudier le comportement des surfaces intérieures des caissons métalliques fermés.

Deux grands caissons ferroviaires ont été expérimentés pendant 20 ans. Ces surfaces ne nécessitent qu'une protection bien plus légère que les surfaces exposées à l'atmosphère.

En outre, on recommande de fermer les caissons de façon étanche, et d'éviter si possible toute ouverture.

Notes de traduction :

*La présente traduction a été diffusée une première fois, en 1983, dans le RST de l'Équipement et le LCPC. Elle est rééditée aujourd'hui en 2004. Depuis la première édition, de très nombreux projets établis avec les recommandations du Sétra ont mis en œuvre les conclusions de l'article : une seule couche primaire de couleur blanche riche en zinc d'un système certifié ACQPA comme sur pont de Nevers en photo page 2. Pour assurer l'étanchéité des caissons en ossature mixte acier-béton il convient de soigner particulièrement l'interface entre les matériaux au niveau de la connexion, en pratiquant si nécessaire l'injection de la fissure dans le plan horizontal situé au-dessus des membrures supérieures. Pour le reste, l'étanchéité est assurée par le respect des règles de contrôle de la fissuration du béton, et l'application d'une étanchéité en feuilles préfabriquées plus asphalté faisant l'objet d'un avis technique du Sétra. Les étanchéités de type " Paraforix A" ou "Baryphalte pont" donnent a priori satisfaction.*

*Lors d'une visite d'un caisson, il convient d'aérer l'intérieur qui aura été fermé de façon quasi hermétique durant des années afin d'assurer la sécurité des personnes qui font la visite. Il est prudent d'ajouter à l'intérieur du caisson une signalisation indiquant le risque de manque d'oxygène ou la présence éventuelle d'émanations gazeuses toxiques. En effet, à l'intérieur d'un caisson étroit de grande longueur, difficilement visitable et seulement accessible en rampant, les premiers secours ne peuvent pas être apportés rapidement, en cas de malaise, à une personne effectuant une visite.*



# **CONDITIONS CLIMATIQUES ET CORROSION À L'INTÉRIEUR DES GRANDS CAISSONS MÉTALLIQUES.**

Traduit par J. Berthelley en 1983, d'après W. KRANITZKY, der STAHLBAU 2/1983

## **1 - GÉNÉRALITÉS -**

Au début de l'utilisation des pièces creuses en construction métallique, on ignorait s'il était nécessaire d'en protéger l'intérieur vis-à-vis de la corrosion. Aussi a-t-on mené des recherches, entre 1950 et 1970, portant sur l'utilisation des tuyaux et autres types de tubes. (Cf. Étude de la Deutsche Bundesbahn).

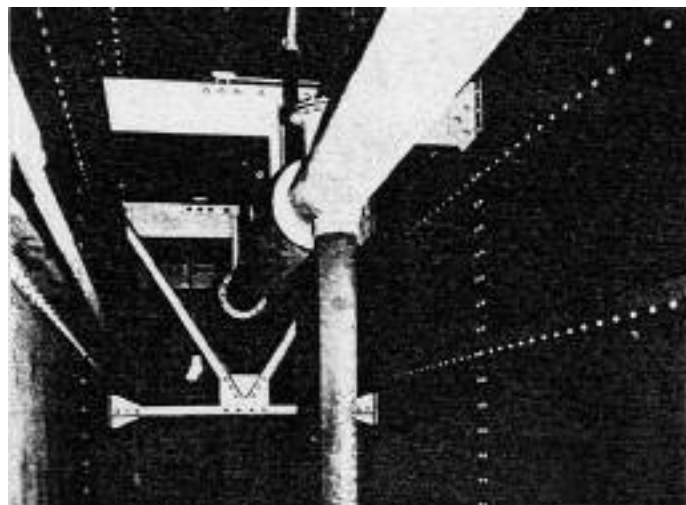
Les résultats peuvent être consultés à la "Studiengesellschaft für Anwendungstechnik von Eisen und Stahl ev. Düsseldorf" - Kaserneustr. 36, 4 000 Düsseldorf 1.

## **2 - EXAMEN DES CAISSONS VISITABLES -**

Les grands caissons visitables, à pied ou en rampant, soudés ou rivés, sont soumis à des conditions différentes de celles des tubes non visitables. Si l'on peut exiger une herméticité totale pour les tubes, il est douteux qu'on puisse y parvenir pour les caissons. D'autre part, il est impossible de vérifier si l'herméticité des caissons est rigoureuse. En revanche, pouvoir visiter le caisson permet de connaître l'état des surfaces afin, éventuellement, d'y appliquer une couche de protection.

D'où l'intérêt de connaître a priori les conditions climatiques à l'intérieur des caissons visitables pour y fixer le type de peinture nécessaire dès la conception du pont.

Plusieurs caissons, explorés dans un premier temps, étaient secs. Aucune condensation, avec écoulement des eaux condensées, n'a été observée. La corrosion n'était décelable qu'à proximité des ouvertures des fonds de caisson. Mais on constate des condensations sur les conduites d'eau disposées à l'intérieur des caissons, où de telles conduites apportent de l'humidité (figure 1).



*figure 1: canalisation d'eau à l'intérieur d'un caisson  
un second tube confine la conduite et évacue une fuite en cas de rupture.*

### **3 - EXAMEN SYSTÉMATIQUE DU PONT SUR LA MOSELLE À ELLER –**

Les ouvrages explorés étaient très divers par leurs types et par les conditions auxquelles ils étaient soumis. En revanche, les 2 caissons jumeaux du pont ferroviaire sur la Moselle : 135 m de long, caissons de 4,20 m de haut et de 2,10 m de large se prêtaient bien à des expérimentations comparatives. Celles-ci se sont déroulées sur 25 ans et le présent article expose les résultats essentiels.

#### **MÉTHODE D'INVESTIGATION**

En 1956, 25 systèmes de protection sont mis en oeuvre sur tout le périmètre intérieur du caisson, le long d'un tronçon de chaque ouvrage. La température et l'humidité relative sont enregistrées. Pour mettre en évidence l'influence de l'aération des caissons, les portes étanches étaient ouvertes pour l'un d'eux et fermées pour l'autre. D'autre part, à partir de 1960, on a suspendu dans les 2 caissons en tout 16 tôles décapées, pour comparer leurs corrosions suivant l'aération des caissons.

#### **COMPORTEMENT DES PEINTURES**

Les systèmes de peintures testés vont du simple système à 2 couches de 35 microns d'épaisseur totale au système à 4 couches de peintures revêtues d'une couverture bitumineuse, le tout allant jusqu'à 200 microns d'épaisseur.

On a testé des peintures à base d'huile de résines synthétiques, de bitumes et de caoutchouc chloré. Par la suite, des peintures à poussières de zinc ont été jointes à l'essai. Les premières observations n'ont pu être faites que 10 années plus tard.

Sur les couches à l'oxyde ferrique et à l'oxyde de zinc, on a découvert des cristaux blancs de sulfate de zinc, ces sécrétions apparaissant de préférence dans les zones aérées. Les premières taches de rouille nettes, mais légères, ont été observées en 1976 soit 20 ans après le début de l'expérience !

Ces taches de rouille se trouvaient pour certains types de peinture sur la face intérieure de la tôle de plafond, sur les champs et les faces des raidisseurs. Sur l'échelle d'enrouillement, ces taches de rouille correspondaient à un enrouillement minimal. On pouvait observer que cet enrouillement était plus faible dans le caisson fermé que dans le caisson ventilé.

Les peintures bitumineuses ne sont pas nécessaires pour l'intérieur des caissons. Par ailleurs, leur couleur noire très sombre rend la visite très difficile, car quelle que soit la puissance de l'éclairage, on aurait du mal à apercevoir les désordres.

### **4 - LES CONDITIONS CLIMATIQUES -**

Température et humidité ont été enregistrées de 1956 à 1961. Pour éliminer d'éventuels paramètres inconnus, les rôles des caissons, ventilés ou fermés, ont été échangés en 1959 et sont restés inchangés depuis - (Coblence ---> Trèves fermé et Trèves ---> Coblence aéré) –

## INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS DE MESURES

La température et l'hygrométrie ont été mesurées également à l'air libre, d'où un gros volume de données à exploiter. On ignore s'il se forme vraiment du brouillard à l'intérieur des caissons, ou des condensations, car il aurait fallu pour le savoir disposer de capteurs de température immédiatement au contact des tôles. On peut toutefois, maintenant, assurer les points suivants

1°) le point de rosée (100 % d'humidité relative) a été plus souvent atteint dans le caisson aéré que dans le caisson fermé, mais l'influence du climat extérieur y est très forte.

2°) les variations journalières, voire horaires, de l'humidité relative sont bien moindres dans les caissons fermés que dans les caissons aérés, comme l'illustrent les extraits donnés sur la figure 2 qui montre 3 enregistrements simultanés de la température et de l'humidité.

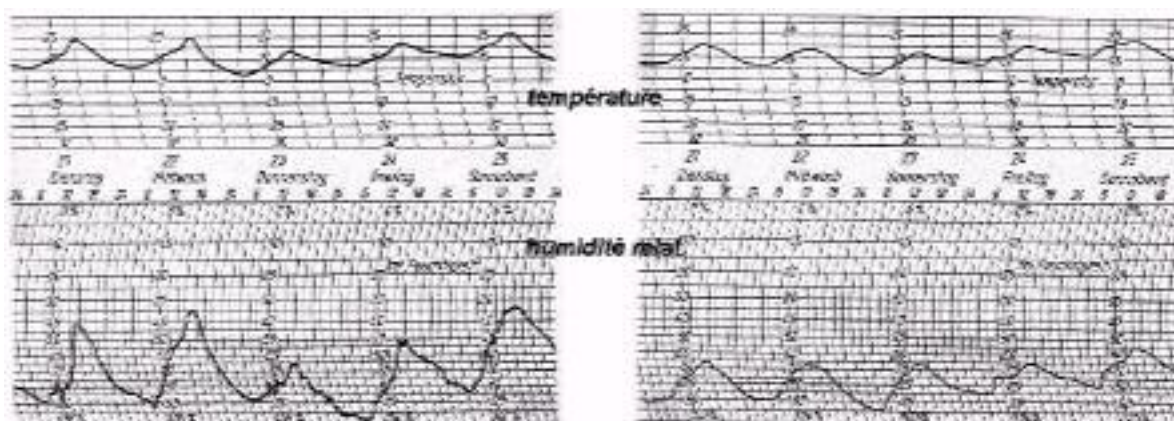


figure 2-a : caisson aéré

figure 2-b : caisson fermé

figure 2-c : plein air

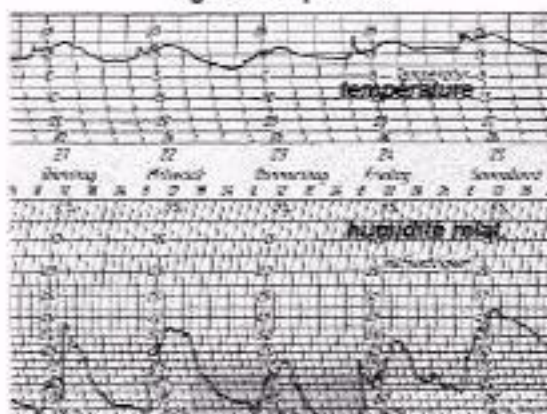


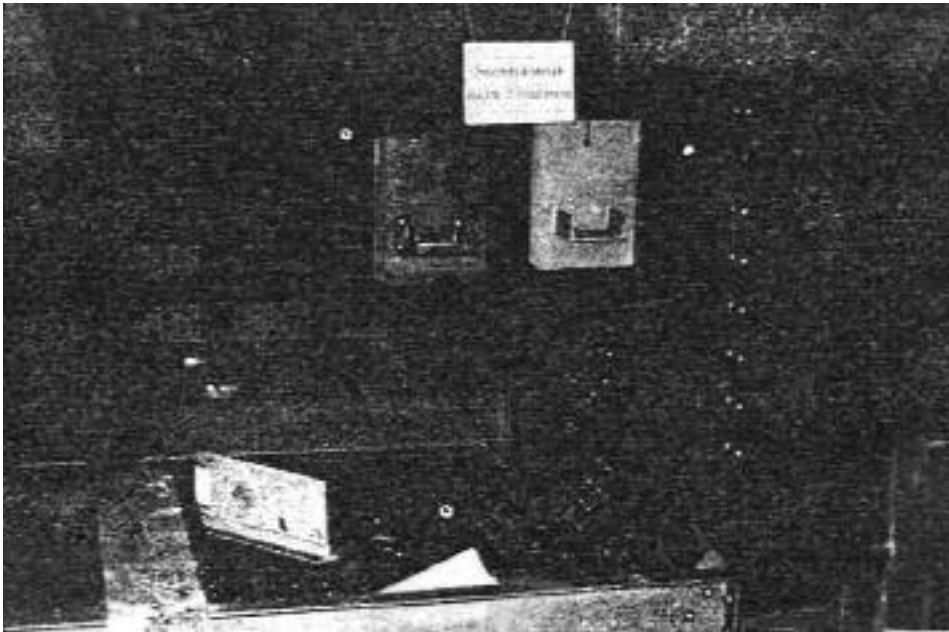
figure 2

## 5 - EFFET DE LA CORROSION

Dès 1960, il était clair qu'il faudrait attendre très longtemps la corrosion des surfaces peintes à l'intérieur des caissons. C'est pourquoi on y a alors suspendu des tôles nues sur lesquelles on a observé les progrès de la corrosion.

### **ORGANISATION DE L'ESSAI**

On a disposé 16 tôles d'essai (figure-3).



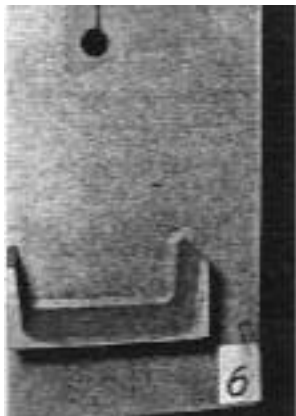
*figure 3*

Les tôles différaient par la nature des aciers, et le mode de décapage. Elles furent suspendues conformément au tableau I vers les abouts des caissons. On pouvait ainsi s'attendre à des résultats rapides pour les tôles décapées au sable de quartz, car les surfaces très rugueuses sont particulièrement sensibles à la corrosion.

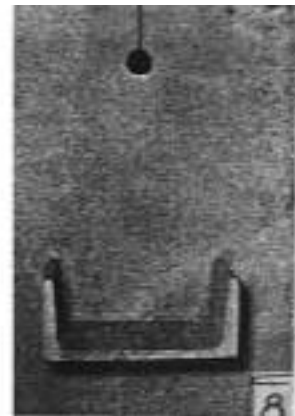
On a pris des photos des tôles peu après leur suspension puis régulièrement tous les 5 ans.

### **DÉROULEMENT DE L'ESSAI**

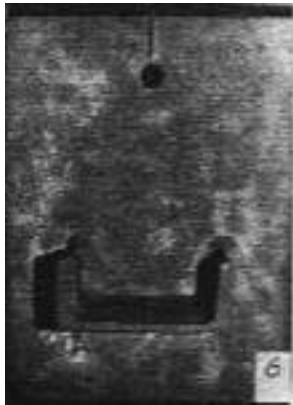
En février 1963, soit 2 ans et demi après, on a relevé pour la première fois que les tôles du caisson aéré étaient légèrement tachées de rouille tandis que celles du caisson fermé étaient restées intactes. Mais le progrès de la corrosion est resté très lent : on ne pouvait faire la différence entre les photos en couleur des tôles des 2 caissons qu'en 1971, soit 10 ans après le début de l'expérience.



*figure 4*  
*État initial d'une tôle d'essai  
sablée (décembre 1960)*



*figure 5*  
*État initial d'une tôle d'essai  
sablée (décembre 1960)*



*figure 6*

*État de la tôle de la figure 4 en mai 1980  
après 20 ans dans le caisson  
aéré.*



*figure 7*

*État de la tôle de la figure 5 en mai 1980.  
après 20 ans dans le caisson  
fermé.*



*figure 8*

*État initial d'une tôle d'essai  
décapée à la main  
(tôle n° 4 vue de dos, décembre 1960)*



*figure 9*

*État de la tôle de la figure 8 en mai 1980  
après 20 ans dans le caisson  
fermé.*

La différence entre les tôles des caissons ouverts et fermés, visible en 1971, s'est accentuée par la suite. Les figures 4 et 5 montrent une tôle de caisson aéré, les figures 6 et 7 une tôle suspendue dans un caisson fermé. On distingue encore sur les copies en noir et blanc que la corrosion est nette, bien que peu profonde, sur la tôle sablée du caisson ouvert, tandis que la tôle du caisson fermé est à peine attaquée. Sur la tôle décapée main du caisson fermé, on ne voit presque pas de changement entre les photos 8 et 9 séparées par 20 ans.

## **RÉSULTAT DE L'ESSAI**

L'essai a prouvé 2 choses :

1°) la corrosion progresse beaucoup plus lentement dans un caisson fermé que dans un caisson aéré. C'est pourquoi il est bon de maintenir fermés dès que possible les grands caissons visitables à pied. En général, une étanchéité parfaite n'est pas réalisable. En revanche, il serait vain d'attendre un quelconque bienfait d'un "plan d'aération".

2°) que le caisson soit ouvert ou fermé, l'effet de la corrosion y est de toute façon beaucoup plus faible qu'à l'air libre. C'est pourquoi les systèmes de peinture employés peuvent être simples et les meilleurs marchés.

## **ESSAIS À VENIR**

Puisqu'il est prouvé que l'intérieur des caissons n'a pas besoin d'une forte protection, on a voulu déterminer si les systèmes de pré-peinture par lesquels les pièces métalliques sont protégées avant d'être assemblées pourraient suffire.

Dans ce but, on a fabriqué en 1976 six éprouvettes en tôle prépeintes pour les suspendre dans les caissons. Les cordons de soudure des éprouvettes sont restés, eux, sans protection.

Bien sûr, le temps écoulé est aujourd'hui encore insuffisant pour pouvoir conclure. Pourtant une visite en 1980 a montré que les cordons de soudure des éprouvettes disposées dans le caisson aéré présentaient une légère teinte de rouille, ce qui n'était pas le cas de celles du caisson fermé. Ceci prouve une fois de plus l'intérêt de fermer les caissons du mieux que l'on peut. Les observations ultérieures seront publiées.

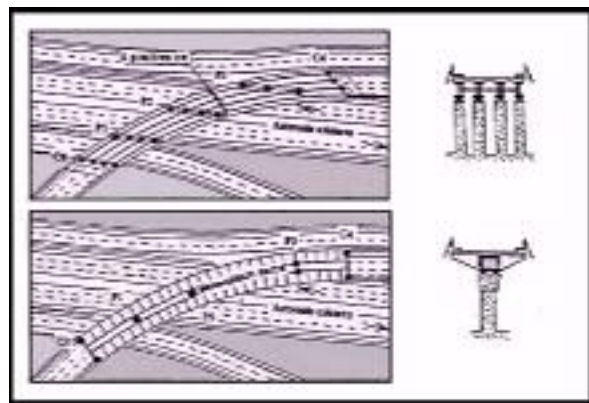
## **6 - RECOMMANDATIONS POUR LA CONCEPTION ET LA RÉALISATION**

Le choix d'une structure en caissons métalliques présente des avantages mécaniques, lors du montage et dans le bilan économique.

### Note de traduction :

*Les caissons permettent des constructions plus élancées. Ils autorisent aussi de réduire le nombre d'appui au sol et de se contenter par exemple d'une seule colonne d'appui central pour un franchissement biais d'une autoroute, le pont restant droit.*

*Mais, en l'absence de contrainte particulière, un bipoutre mixte à dalle de béton participante est en revanche nettement plus économique qu'un pont mixte en caisson équivalent, essentiellement du fait du coût du transport et des quantités de soudures à exécuter.*





Pour la protection anticorrosion intérieure, la mise en œuvre des caissons ne pose pas de problème si l'on respecte les règles suivantes, élaborées à partir des résultats des investigations décrites plus haut.

1) s'efforcer de concevoir tous les caissons entièrement clos même si le profil en travers comporte plusieurs cellules qu'on ne pourrait visiter qu'en rampant. Les trous d'homme sont à équiper de portes étanches.

2) Les eaux de ruissellement doivent être collectées de telle manière qu'elles ne pénètrent pas l'intérieur du caisson. On pourra toutefois y admettre des conduites fermées, mais en aucun cas des gouttières ouvertes (cf. figure 1).

*Note de traduction : Comme pour le point 6 les conduites d'évacuation d'eau ne sont pas admises en France à l'intérieur des ponts caissons, qu'il s'agisse de caissons métalliques ou en béton précontraint. La solution des corniches caniveaux ou des conduites sous les encorbellement est généralement préférée.*

3) L'aération d'un caisson s'accompagne d'une augmentation de l'humidité de l'air et ne produit aucun effet de séchage. Elle peut aussi avoir pour effet d'apporter de l'air agressif environnant l'ouvrage, à l'intérieur du caisson.

4) On peut protéger les faces intérieures des tôles des caissons par des systèmes de peintures simples et bien meilleurs marchés que ceux utilisés pour les faces extérieures. Il pourrait être particulièrement intéressant d'utiliser les systèmes de pré-peinture par lesquels les tôles sont protégées avant leur livraison aux ateliers. Malheureusement, il faut alors traiter à part les cordons de soudure. Sur ce dernier point les investigations sont encore en cours.

5) Lorsqu'on ne peut éviter d'aérer le caisson, les ouvertures ne doivent surtout pas être ménagées dans le fond de caisson ce qui permettrait à l'air humide du cours d'eau, aux gaz d'échappement des véhicules ou au brouillard chargé de sels de déverglaçage de pénétrer à l'intérieur du caisson. Les ouvertures latérales ne doivent pas permettre à l'eau de pluie de pénétrer à l'intérieur du caisson. La protection contre la corrosion doit être plus performante que dans le cas d'un caisson fermé, et elle doit être encore renforcée au voisinage des ouvertures, de même que sur les faces inférieures des tôles de plafond particulièrement attaquées par la corrosion dans les caissons ouverts. Les autres points sensibles sont les champs, arêtes, raidisseurs, têtes de rivets ou de boulons.

6) Si des conduites d'eau empruntent le caisson d'un pont, on doit la munir d'une bonne isolation thermique. On évitera de ménager un trou dans le caisson pour servir de sécurité vis-à-vis d'une rupture de la canalisation. Il est impératif dans ce cas de prévoir un second tuyau de sécurité, extérieur au premier, qui évacue l'eau d'une fuite en dehors du caisson, et participe à l'isolation thermique de la conduite.

*Note de traduction : En France cette solution n'a jamais été mise en œuvre. Nous recommandons vivement d'éviter de disposer une conduite d'eau à l'intérieur du caisson car des trous de sécurité pour évacuer l'eau d'une fuite paraissent alors indispensables. Le système de la figure 1 que décrit W. Kranitzky est en effet difficile à inspecter, ce qui permet mal de garantir son intégrité dans le temps . La conduite d'eau doit être disposée de préférence sous les encorbellements.*

## ***EN CONCLUSION***

Les investigations décrites plus haut répondent aux questions qu'on pouvait se poser sur la corrosion intérieure des caissons métalliques, en particulier à propos de leur aération. La présence accidentelle d'eau n'y est due qu'à des défauts particuliers qu'il eût fallu éviter .

La corrosion est très lente dans les caissons ouverts dans les cas où elle se produit. En général, on peut garantir, moyennant quelques retouches, qu'une protection anti-corrosion durera tout le long de la vie de l'ouvrage.