

Équipements latéraux des ponts
PROTECTION CONTRE LA
CORROSION



COLLECTION DU
GUIDE TECHNIQUE GC



Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes



Page laissée blanche intentionnellement

Équipements latéraux des ponts
PROTECTION CONTRE LA
CORROSION



COLLECTION DU
GUIDE TECHNIQUE GC

NOVEMBRE 1996

Document réalisé et diffusé par le



SERVICE D'ÉTUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES
Centre des Techniques d'Ouvrages d'Art - Cellule Équipement des ponts
46, avenue Aristide Briand - B.P. 100 - 92223 Bagneux Cedex - FRANCE
Tél. : 01 46 11 31 31 - Télécopieur : 01 46 11 31 69 - Télex : 260763 F

Le présent fascicule fait partie de la collection du GUIDE TECHNIQUE GC. Cette collection devrait comprendre, à son terme, des fascicules traitant des sujets suivants :

LES DISPOSITIFS DE RETENUE

- ┆ CHOIX D'UN DISPOSITIF DE RETENUE
- ┆ LES GARDE-CORPS
- ┆ LES BARRIÈRES DE SÉCURITÉ DE NIVEAU VL (Véhicule Léger)
 - partie 1 SUR ACCOTEMENT
 - partie 2 SUR TPC (glissière et grille de tpc)
 - partie 3 SUR MURS DE SOUTÈNEMENT
 - partie 4 AMÉNAGEMENT DE LA SÉCURITÉ SUR LES PONTS EXISTANTS (en niveau VL)
- ┆ LES BARRIÈRES DE SÉCURITÉ DE NIVEAU PL (Poids Lourds)
 - partie 1 SUR BORD D'OUVRAGE
 - partie 2 SUR MURS DE SOUTÈNEMENT
 - partie 3 AMÉNAGEMENT DE LA SÉCURITÉ SUR LES PONTS EXISTANTS (en niveau PL)

LA PROTECTION CONTRE LA CORROSION DES ÉQUIPEMENTS LATÉRAUX DES PONTS

LA SOUS-TRAITANCE. LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE. LES PROCÉDURES DE DÉVOLUTION.

DÉFINITIONS DES ACTIONS SUR LES LAMPADAIRES, LES PORTIQUES DE SIGNALISATION, LES ÉCRANS ACOUSTIQUES

CORNICHES (publié en Décembre 1994)

Cette collection remplace le dossier pilote GC 77. Au fur et à mesure de la publication des fascicules, la partie correspondante du dossier GC 77 est annulée.

REMERCIEMENTS

Ce Guide a été préparé par M. Fragnet (SETRA/CTOA, Cellule Équipements des Ponts), sous la direction de M. C. Binet, chef du CTOA et de M. AL. Millan, chef de la DML du CTOA, avec la collaboration de :

M. **D. André** (LCPC),

M. **G. Maire** (LRPC de Blois)

Nous remercions aussi les personnes suivantes pour leurs nombreux et précieux conseils et observations :

MM Dalla Ca (CMI),
Gélamur et Schiettecatte (Frameto),

Mme Marchand (DDE71),
M. Thénoz (MISOA),

sans oublier les précédents rédacteurs du dossier pilote GC :

MM. Mathieu, Vallantin et Baudrin.

Les dessins ont été réalisés par M. JP. Gilcart

Sauf mention contraire, les documents photographiques proviennent de la photothèque du SETRA/CTOA.

Le suivi technique est assuré par **M. FRAGNET**.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	3
AVANT-PROPOS	7
CHAPITRE 1 GÉNÉRALITÉS	9
CHAPITRE 2 L'ACIER	11
2.1 - LA CORROSION DE L'ACIER	11
2.1.1 - Les processus de corrosion	11
2.1.2 - Principes de protection de l'acier	12
2.2 - ASPECTS RÉGLEMENTAIRES	12
2.3 - PROTECTION PAR PEINTURE SUR ACIER NU NEUF	12
2.3.1 - Définition	12
2.3.2 - Mise en peinture d'un garde-corps	13
2.3.2.1 - Les différentes articulations possibles	13
2.3.2.2 - Préparation de surface	13
2.3.2.3 - Application des peintures	14
2.3.3 - Inconvénients des peintures sur acier nu neuf	15
2.3.4 - Couleur et aspect de la couche de finition	15
2.3.5 - Entretien d'une protection par peinture	15
2.3.5.1 - Préparation avec mise à nu complète de l'acier	16
2.3.5.2 - Préparation avec élimination partielle des anciennes peintures	16
2.4 - PROTECTION PAR UN REVÊTEMENT MÉTALLIQUE	17
2.4.1 - Principe et mode d'action	17
2.4.2 - La galvanisation à chaud	18
2.4.2.1 - Principe	18
2.4.2.2 - Réglementation	18
2.4.2.3 - Précautions d'emploi	18
2.4.2.4 - Avantages	19
2.4.2.5 - Conclusions	20
2.5 - PEINTURE SUR GALVANISATION	20
2.5.1 - Généralités	20
2.5.2 - Peinture sur galvanisation neuve	20
2.5.2.1 - Présentation	20
2.5.2.2 - Systèmes de peinture liquide	21
2.5.2.3 - Systèmes de peinture poudre	22

2.5.3 - Entretien par peinture des équipements galvanisés	23
2.5.3.1 - Équipements galvanisés jamais peints	23
2.5.3.2 - Équipements galvanisés et peints	23

2.6 - CONTRÔLE DES TRAVAUX	24
2.6.1 - Dépôt de zinc	24
2.6.2 - Contrôle des travaux de peinture sur acier nu et sur zinc	24
2.6.3 - Contrôle des épaisseurs	25
2.6.4 - Contrôle de l'adhérence de la peinture par l'essai de quadrillage	25

2.7 - APPLICATION DU FAS. 56 AU DOMAINE DES ÉQUIPEMENTS DES PONTS ..	26
2.7.1 - Introduction	26
2.7.2 - Les épaisseurs de zinc	26
2.7.3 - Les garanties contractuelles	26
2.7.4 - Conclusions et propositions	27

CHAPITRE 3 L'ALUMINIUM

29

3.1 - PRINCIPE DE LA PROTECTION - RÉSISTANCE À LA CORROSION	29
---	----

3.2 - L'ANODISATION	29
3.2.1 - Définition	29
3.2.2 - Principes de la réalisation d'une anodisation	29
3.2.3 - L'opération d'anodisation	30
3.2.4 - Le colmatage	30
3.2.5 - Contrôle de l'anodisation	30
3.2.6 - Conclusion	31

3.3 - COLORATION DE L'ALUMINIUM	31
3.3.1 - Anodisation	31
3.3.2 - Peinture	32

3.4 - ENTRETIEN DE L'ALUMINIUM	32
--------------------------------------	----

CHAPITRE 4 LA BOULONNERIE

33

4.1 - INTRODUCTION	33
--------------------------	----

4.2 - GALVANISATION À CHAUD	33
-----------------------------------	----

4.3 - SHÉRARDISATION (THERMONISATION) ET PROCÉDÉS SIMILAIRES	34
--	----

4.4 - ZINGAGE ÉLECTROLYTIQUE	34
------------------------------------	----

4.5 - BOULONNERIE INOXYDABLE	34
------------------------------------	----

4.6 - BOULONNERIE ALUMINIUM	35
-----------------------------------	----

4.7 - CONTRÔLE DE LA QUALITÉ DE LA PROTECTION	35
4.8 - CONCLUSION	35
CHAPITRE 5	
CORROSION PAR COUPLE ÉLECTROCHIMIQUE LES ACIERS INOXYDABLES ET PATINABLES	37
5.1 - CORROSION PAR COUPLE ÉLECTROCHIMIQUE	37
5.2 - ACIERS INOXYDABLES	37
5.3 - ACIERS PATINABLES	37
CHAPITRE 6	
CONCLUSIONS	39
BIBLIOGRAPHIE	40
ADRESSES UTILES	42

AVANT-PROPOS

La protection contre la corrosion des ouvrages, notamment des garde-corps et des barrières est traitée dans des textes normatifs et réglementaires, aussi il peut paraître superflu d'aborder ce sujet dans ce guide.

Soyons clair, il n'est pas dans notre propos de reprendre ici les normes et autres textes ; nous nous proposons, plus simplement, d'expliquer à l'ingénieur chargé d'un projet de pont ou de l'entretien d'un ouvrage les précautions à prendre, les raisons des choix techniques dans ce domaine définis par ailleurs dans certains textes, les conseils pour choisir une solution de protection contre la corrosion, etc.

Ce n'est donc qu'un guide à caractère informatif dont la vocation est d'aider à comprendre pour pouvoir prendre les bonnes décisions techniques, afin d'assurer une durabilité satisfaisante de ces parties d'ouvrage.

Les équipements concernés par ce document sont principalement les garde-corps et les barrières de sécurité métallique des ponts, mais ce qui est indiqué ci-après peut être valablement étendu à d'autres équipements métalliques tels que les corniches à bardages métalliques, les équipements de visite (échelles, portes, etc.), les candélabres, certaines parties de joints de chaussée, etc.

Cette partie II reprend l'essentiel de la pièce 8.5 du dossier GC77 qui avait été préparée avec la collaboration d'éminents spécialistes, notamment :

MM. BENSIMON,
BERNARD-MAUGIRON,
MEHUE,
MOLINA,

PUECH,
RAHARINAIVO,
VALLANTIN.

Certains ont, depuis, quitté la vie active mais leur travail reste.

Page laissée blanche intentionnellement

GÉNÉRALITÉS

Un pont baigne dans un microclimat d'une agressivité très variable qui dépend du site (rase campagne, ville, zone industrielle, proximité de la mer,...¹) et des conditions d'exploitation (gaz d'échappement des véhicules, sels de déverglaçage en hiver, etc.). C'est cette agressivité qui conduit à prévoir sur les tabliers de ponts en béton une étanchéité dont le but est de protéger les matériaux constitutifs de l'ouvrage contre les attaques par les produits agressifs transportés par l'eau.

On devra, de même, protéger contre ces attaques les équipements de ponts qui sont fréquemment constitués, en tout ou en partie, de métal sensible à divers degrés à la corrosion : **l'acier** et **l'alliage d'aluminium**.

Le comportement de ces deux métaux vis-à-vis de la corrosion atmosphérique est particulier à chacun d'eux et le mode de protection à utiliser sera spécifique. Nous les examinerons successivement.

Au point de vue économique, il est important de bien protéger contre la corrosion les équipements métalliques sur les ponts car ceux-ci doivent servir dans des conditions parfois très dures pendant de nombreuses années. Les opérations d'entretien doivent être réduites au strict minimum pour ne pas gêner les usagers et pour des raisons évidentes d'économie de gestion pour le service d'entretien. En ce qui concerne les dispositifs de retenue, le fait d'être un équipement "consommable", puisqu'après un accident on procède à son changement, pourrait dispenser d'une protection contre la corrosion efficace et durable.

Cette attitude ne peut être acceptée pour les raisons suivantes :

- une bonne protection contre la corrosion est une garantie de permanence de la qualité du métal de base, ce qui est important lors des accidents pour avoir un bon fonctionnement du dispositif.
- il est impossible, a priori, de connaître les zones les plus exposées, donc réparées.

Enfin, les opérations d'entretien portant sur la remise en état de la protection contre la corrosion des équipements peuvent être dangereuses pour le personnel d'entretien.

C'est pourquoi nous conseillons une protection contre la corrosion donnant une durée de vie la plus longue possible à ces équipements dont "l'espérance de vie" est nettement inférieure à celle du pont. Cette durée de vie est une notion complètement différente de la durée d'une garantie qui est fixée par des textes réglementaires ou légaux. Un produit doit, en principe, pouvoir être utilisé bien au-delà de sa durée de garantie.

Le présent document ne prétend pas constituer un traité portant sur les problèmes de la corrosion du métal et des moyens de protection. Ceci fait l'objet de nombreux livres, articles ou documents (voir bibliographie) ; nous nous sommes limités à l'essentiel que le projeteur doit savoir pour protéger efficacement ses équipements de ponts. Après une présentation très rapide des phénomènes de corrosion, nous indiquerons les diverses méthodes de protection avec leurs avantages et leurs inconvénients et les raisons qui nous ont fait choisir certains systèmes de préférence à d'autres.

¹ Les textes réglementaires (notamment le Fas. 56 du Cahier des Clauses Techniques Générales) définissent différentes ambiances conventionnelles pour le choix d'un système de protection.

Page laissée blanche intentionnellement

CHAPITRE 2

L'ACIER

L'acier (qui est un alliage du fer) est très largement utilisé dans les équipements de ponts².

2.1 - LA CORROSION DE L'ACIER

2.1.1 - Les processus de corrosion

L'attaque, ou corrosion de l'acier, a comme conséquence une destruction plus ou moins rapide et accentuée du matériau et se manifeste par la transformation en divers oxydes hydratés, ou carbonates, de l'élément fer.

Ces oxydes constituent la rouille qui est une substance poreuse, friable, peu adhérente et foisonnante. Par sa porosité la rouille n'est pas susceptible de protéger les couches sous-jacentes et à terme on peut arriver à la ruine du matériau acier.

Très sommairement, on distingue deux processus de corrosion de l'acier.

a) Corrosion chimique.

Elle est due à l'action de l'oxygène de l'air en présence d'eau. Le gaz carbonique et l'anhydride sulfureux, présents dans l'air et dans les gaz d'échappement accélèrent les réactions. La couche d'oxyde n'étant pas protectrice, le processus de corrosion continue tant qu'il y a présence d'oxygène et d'humidité.

b) Corrosion électrochimique.

Il se forme en surface une infinité de micropiles entre les impuretés du métal ou entre les zones hétérogènes ; en présence d'un électrolyte, par exemple l'humidité atmosphérique, un courant circule entre ces micropiles.

On observe alors une réaction d'oxydoréduction avec corrosion par dissolution du métal à l'anode et dégagement gazeux à la cathode. A l'anode,

se forment des oxydes hydratés ou rouille et en présence de chlorures (embruns marins ou sels de déverglaçage) le courant de corrosion et la vitesse de corrosion augmentent.

La part de la corrosion électrochimique semble beaucoup plus importante que celle de la corrosion purement chimique.

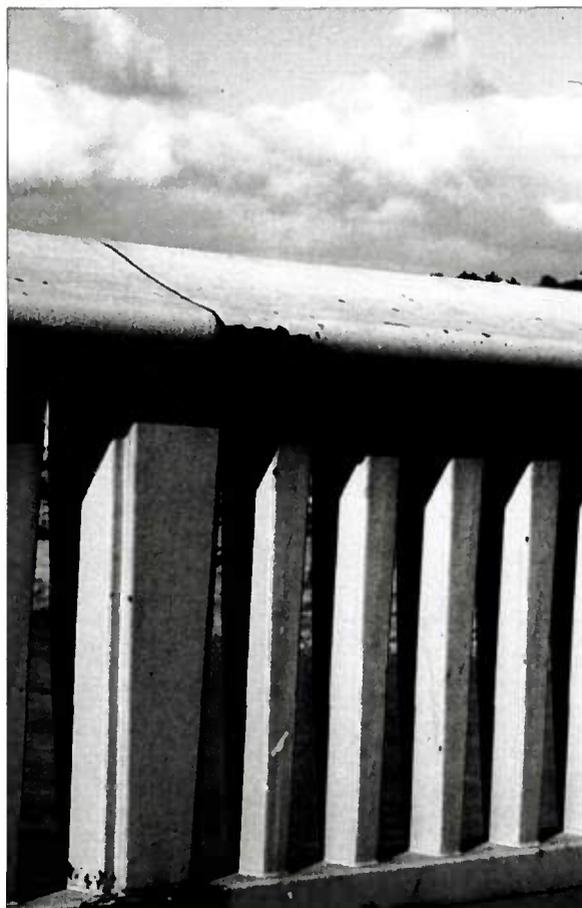


Figure 1 :
État de corrosion "avancé" d'un garde-corps n'ayant pas reçu une protection satisfaisante.

2. Les seuls concernés ici. Pour la protection contre la corrosion des ossatures métalliques on se reportera aux normes, règlements et guides correspondants.

2.1.2 - Principes de protection de l'acier

Pour empêcher le développement de la corrosion des aciers, on fait appel à deux types de systèmes :

- les systèmes actifs où la protection est assurée en rendant l'acier cathode pour arrêter la réaction d'oxydation. C'est le cas de la protection cathodique qui fonctionne soit par circulation d'un courant entre l'acier à protéger et une anode, soit par effet sacrificiel d'un métal plus électronégatif (moins noble) couplé avec l'acier. Ce mode de protection ne peut être utilisé qu'en milieu immergé ou enterré.
- Les systèmes passifs où la protection est assurée en créant une barrière plus ou moins étanche entre l'acier et le milieu ambiant.

La distinction entre les deux principes de protection n'est pas aussi nette dans la pratique car, par exemple, les revêtements de protection fonctionnent à la fois par effet de barrière et par effet sacrificiel (cas des revêtements métalliques, des peintures riches en zinc,...).

Les revêtements à base de matières plastiques ne sont pas traités car ils sont maintenant abandonnés à la suite d'une efficacité nettement insuffisante (pas meilleure qu'une bonne peinture) et d'un coût de réfection prohibitif : le remplacement complet de l'équipement s'est avéré moins onéreux que la simple réfection de la protection !

2.2 - ASPECTS RÉGLEMENTAIRES

La protection contre la corrosion des parties en acier des ponts, y compris les équipements, est traitée soit par des normes, soit par un texte réglementaire : le Fas. 56 (voir bibliographie). Le présent texte renvoie autant que de besoin et ne vient donc que commenter ces documents ou, si nécessaire, les compléter quand ceux-ci ne semblent pas avoir suffisamment pris en considération la spécificité de ces équipements.

Dans le domaine des barrières de sécurité et des garde-corps, les normes de produits ont imposé la protection contre la corrosion par la galvanisation à chaud qui a paru aux experts chargés de la rédaction de ces normes comme la meilleure solution dans les cas courants. Cependant, pour les garde-corps, un autre mode de protection peut être envisagé si le client le prescrit (Art. 6.1.1 de la norme NF P 98.405) ; en outre, pour les barrières et les garde-corps, un complément de protection par une peinture sur la galvanisation, qui n'est pas prévu par les normes, peut être imposé par le client dans le CCTP sur la base du Fas. 56 et des conseils ci-après.

L'ordre de présentation des modes de protection ci-après ne correspond pas à un classement de valeur de système.

2.3 - PROTECTION PAR PEINTURE SUR ACIER NU NEUF

2.3.1 - Définition

Un système de peinture est défini par :

- la préparation de surface,
- le nombre de couches ainsi que leur épaisseur contractuelle (mesure d'interprétation selon la norme NF T 30.124),
- la définition chimique de chaque produit (liant, pigment, etc.),
- l'intervalle de temps (mini-maxi) entre les couches.

Vu les coûts d'application, la tendance est de s'orienter vers un nombre de couches plus faible (par rapport à ce qui se faisait auparavant) et d'épaisseur plus grande.

Les systèmes utilisés devront être choisis autant que faire se peut parmi ceux homologués en système A du Fas. 56. S'il n'existe pas de système A adapté aux conditions particulières d'application d'un garde-corps ou d'une barrière, on s'orientera vers un système B. La durée de garantie en est réduite. Voir les circulaires d'homologation.

2.3.2 - Mise en peinture d'un garde-corps

La mise en peinture sur acier nu d'un garde-corps a été envisagée car, dans ce domaine, il s'agit d'un cas de figure parfois rencontré malgré les nombreux inconvénients énumérés au § 2.3.3.

2.3.2.1 - Les différentes articulations possibles

Les étapes d'un chantier de peinture d'un garde-corps, par ex., sont différentes selon la solution retenue :

a) Décapage en atelier puis application de la ou des couches primaires en atelier.

Dans ce cas le décapage est théoriquement excellent et régulier, et on livre sur chantier des éléments peints à l'exception de la couche de finition. Celle-ci n'est appliquée qu'après montage et retouches des zones dégradées. Cette solution serait acceptable si les ateliers de serrurerie étaient toujours équipés en atelier de peinture, or c'est loin d'être le cas. Aussi, on tend à privilégier la seconde solution qui est, cependant, loin d'être satisfaisante.

b) Préparation de surface sur le site et application du système complet anticorrosion.

Cette organisation est fort peu satisfaisante car le travail sur chantier est toujours moins bon, plus difficile à contrôler et soumis aux aléas météorologiques. Aussi, **nous la déconseillons.**

2.3.2.2 - Préparation de surface

L'adhérence de toutes les peintures est mauvaise sur une surface huilée ou graissée ou calaminée ou rouillée.

Pour ces raisons il est indispensable d'éliminer tous ces produits avant toute opération de protection contre la corrosion. Ces traitements de surface peuvent être chimiques ou mécaniques.

Les préparations de surface par traitement chimique comprennent des bains dégraissants, par

des solvants organiques ou par des solutions alcalines, et des bains décapants (par acide sulfurique ou chlorhydrique) pour terminer éventuellement par une phosphatation. Cette technique, courante dans d'autres secteurs de l'industrie, ne semble pas se développer dans notre domaine, peut être pour des raisons de coûts d'investissements.



Figure 2 :

La mise en peinture d'un garde-corps sur site (lors de la pose ou en cours d'entretien) reste une opération délicate et pleine d'aléas.

Aussi on a recours le plus souvent au traitement mécanique avec le décapage par projection d'abrasif ; on peut l'employer en atelier, de préférence, et sur chantier, ce qui sera exceptionnel pour les équipements de ponts.

Le décapage est conduit jusqu'à la mise à blanc totale de l'acier, c'est-à-dire disparition totale de la rouille et de la calamine. Le degré de soin de référence est le cliché ASa3 de la norme NF ISO 8503.1 (IC : T 35.503.1), et la rugosité de surface pour la plupart des systèmes de peintures est la classe Moyen (G) selon les normes NF ISO 8503.1 & 2 (IC : T 35.503.1 & 2).

L'application du décret du 6 juin 1969 du Ministère des Affaires Sociales, complété par la Circulaire TE 7-72 du 8 mars 1972, interdit pratiquement l'usage du sable comme abrasif. Ceci a conduit à utiliser :

- des produits naturels type silicate d'aluminium ;
- des abrasifs de remplacement genre scories, laitiers, etc. sans recyclage, sur chantier ;
- des grenailles métalliques³ ou du corindon avec recyclage, en atelier.

Ce décapage ne doit pas être effectué avec une hygrométrie supérieure à 80 % et le délai entre décapage et application de la première couche doit être inférieur à 6 h. Ce délai, fondamental pour la tenue ultérieure du système anticorrosion, doit être réduit dans le cas de forte hygrométrie et toute formation d'oxydes (signalés par un rouille de la surface) devra faire l'objet d'un nouveau décapage à l'abrasif avant peinture.

Un dépoussiérage à l'air comprimé desséché sera effectué avant mise en peinture.

D'autres procédés comme le brossage dit "énergique" bien que toléré pour les équipements par l'article 17.3.1 du Fas. 56 ou le décapage chimique ne conduiront pas à une protection anticorrosion sérieuse et durable.

Aussi nous en déconseillons l'usage.

2.3.2.3 - Application des peintures

Dans le cas d'équipements de ponts tels que les garde-corps, il est souhaitable de ne pas appliquer la peinture à l'aide d'un pistolet. Ce dernier risque de ne pas pouvoir peindre les zones un peu contournées et d'accès difficile et, en outre, il conduirait à des pertes importantes.

Si toutefois le pistolet était envisagé, la couche primaire sera obligatoirement appliquée à la brosse pour assurer le meilleur mouillage possible du support. Pratiquement cette contrainte conduit à éliminer les systèmes comportant un primaire riche en zinc bien que très performants

au point de vue de la protection contre la corrosion. En effet, ceci donnerait des épaisseurs trop fortes qui s'avèrent inefficaces et non compétitives par rapport à la galvanisation et surtout de cohésion insuffisante pouvant entraîner des décollements.

Pour l'application manuelle que nous conseillons, celle-ci sera faite le plus régulièrement possible avec des produits prêts à l'emploi, c'est-à-dire sans adjonction de diluant.

Les contrôles porteront sur :

- les conditions d'application,
- la qualité du feuil sec obtenu,

L'essentiel des conditions d'application est indiqué sur les fiches d'homologation utilement complétées par les fiches techniques des produits obligatoirement fournies par le fabricant. Parmi les plus importantes signalons :

- le respect de l'identité des produits et de leur condition de préparation (nature et taux de diluant, proportion base/durcisseur, temps de mûrissement, ...),
- le respect des conditions atmosphériques : hygrométrie et température maximum indiquées sur les fiches techniques,
- l'application sur des surfaces propres et sèches (la température de surface doit être de 3 °C au-dessus du point de rosée),
- le respect du délai mini et maxi entre couches.

La qualité du feuil sec obtenu est vérifiée par :

- l'absence de défauts tels que coulure, microbullage, poudrage, frisage et tout défaut répertorié selon NF T 36.001,
- une bonne adhérence, par essais de quadrillage ou d'arrachement réalisés au moins deux semaines après la fin de l'application (T 30.038 et NF EN 24624 [IC : T 30.062]),
- enfin, le respect des épaisseurs contractuelles de chaque couche et du système complet en référence au niveau "A" de la norme NF T 30.124.

3. L'inconvénient de la grenaille est, qu'après le traitement, il peut en rester dans les profilés et celle-ci provoque au bout de quelques temps des coulures de rouille sur le revêtement.

2.3.3 - Inconvénients des peintures sur acier nu neuf

Ce mode de protection n'a que peu d'intérêt pour la protection contre la corrosion des équipements des ponts. Ceci tient aux nombreux inconvénients de la solution en regard de trop peu d'avantages.

Les normes de produits portant sur les garde-corps et les barrières n'ont pas retenu la protection de l'acier nu neuf par peinture faute d'avoir une garantie suffisante d'efficacité et de durabilité. Elle ne serait à retenir que dans le cas où la galvanisation ne pourrait pas être utilisée (éloignement d'atelier de galvanisation, sauvetage, ...). En tout état de cause ce choix ne serait à faire qu'après dérogation aux normes correspondantes.

Les raisons de cette position sont les suivantes :

a) La peinture ne va pas dans toutes les zones, surtout si la pièce a été mal dessinée.

b) La durabilité des peintures reste encore moyenne et est fonction de la qualité d'application autant que celle des produits.

Et il est souvent difficile d'améliorer la qualité d'application liée à un facteur humain (qualification du personnel).

c) Si on veut une bonne protection valable pendant quelques années, le coût en est élevé.

d) Les opérations d'entretien qui en résultent représentent pour les services des sujétions importantes en termes de coût et de sécurité.

Ainsi, sur autoroute, la peinture des garde-corps des ouvrages d'une autoroute est à refaire tous les 10 ans environ. Ce coût peut être estimé à 30 % du coût d'un garde-corps type S8 ou similaire.

2.3.4 - Couleur et aspect de la couche de finition

Si la protection par peinture n'est pas le meilleur procédé adapté aux équipements de pont, c'est néanmoins le seul procédé permettant d'obtenir

un aspect souvent nécessaire compte tenu de l'impact visuel de l'équipement. Cette possibilité est largement utilisée quand on voit la diversité des couleurs sur les équipements d'ouvrage, diversité pouvant aller jusqu'à la polychromie.

Il convient, sur ce sujet, d'inciter les maîtres d'ouvrage et d'œuvre à une certaine prudence. Certaines couleurs sont difficiles à réaliser (par exemple couleurs " pastel " dans les jaune, rouge ou bleu...) ; certains pigments peuvent être instables à la lumière ; certaines peintures sont peu couvrantes et nécessitent une couche intermédiaire de même tonalité ou bien une double couche de finition.

Pour éviter des déboires quant à la stabilité de la couleur, il est conseillé de s'adjoindre les conseils techniques du fournisseur des peintures et, si nécessaire pour les ouvrages importants à caractère esthétique marqué, de faire réaliser des essais climatiques de tenue de la finition (voir auprès du LCPC ou du LRPC le plus proche la démarche à appliquer).

2.3.5 - Entretien d'une protection par peinture

Si la mise en peinture après décapage à nu de l'acier des équipements neufs d'ouvrage n'intervient que rarement, la galvanisation étant le mode de base de protection contre la corrosion, le cas d'une protection par peinture d'équipement existant se présente beaucoup plus fréquemment.

Le mode de préparation des surfaces peintes dépend :

- de l'importance de la corrosion du support,
- de la composition et de l'état du revêtement à entretenir,
- de la conception du nouveau revêtement à appliquer,
- des contraintes de voisinage ou d'environnement.

2.3.5.1 - Préparation avec mise à nu complète de l'acier

Si le système en place n'a plus de consistance, ne résiste plus à une agression mécanique (ce que l'on peut évaluer facilement par un essai simple de quadrillage par exemple) ou bien si l'on assiste à une corrosion assez importante et uniformément répartie sur tout l'équipement, il n'y a pas d'autre solution que de remettre totalement à nu l'acier de base puis d'appliquer un système complet de peinture comme pour un équipement neuf (voir § 2.3.2).

Dans ce cas la méthode la plus efficace de préparation des surfaces et qui offre ensuite la plus longue durabilité est le décapage par projection à sec d'abrasif au degré de soin SA 3 ou SA 2 1/2 de la norme ISO 8501/1.

Bien souvent, ce mode de décapage n'est pas réalisable in situ pour des contraintes liées à l'environnement ou au voisinage. On a recours, alors, à des méthodes de préparation moins efficaces donc offrant une durabilité plus courte comme le :

- sablage humide,
- décapage à l'eau sous haute ou très haute pression,
- grattage et brossage (manuel ou mécanique).

Les systèmes de peinture pouvant être appliqués sur de telles surfaces sont les mêmes que ceux pour les aciers mis à nu mais avec un primaire adapté pour être compatible avec une persistance de rouille et/ou une persistance des anciennes peintures (si on a des difficultés à décapier à blanc toutes les surfaces).

2.3.5.2 - Préparation avec élimination partielle des anciennes peintures

Ce mode de préparation de surface n'est possible que si, simultanément :

- l'équipement n'est pas ou peu corrodé. En cas de corrosion, celle-ci doit être localisée sur des zones bien délimitées,

- le système de peinture en place est encore sain, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de corrosion sous-jacente et qu'au moins la (ou les) couche(s) primaire(s) anticorrosion est (sont) encore adhérente(s) au substrat (pas de décollement à l'essai de quadrillage).

Dans ce cas, on a tout intérêt à ne procéder qu'à l'élimination de la corrosion dans les zones rouillées et des couches non adhérentes du système en place. Pour cela, le procédé de choix est l'avivage par projection à sec d'un abrasif sec (\varnothing max = 0,5 mm) et à faible pression (pression maxi à la buse : 0,3 à 0,4 MPa).

Si, comme pour le décapage à l'abrasif, ce procédé n'est pas réalisable sur site, on utilisera alors les autres procédés déjà cités.

Pour ce qui concerne les systèmes de peinture à appliquer sur de telles surfaces, on a deux possibilités :

a) soit on applique un système identique au système existant (en nombre de couches et produit). Sur les zones décapées, on applique le système complet avec la ou les couches primaires anticorrosion et sur les zones simplement "avivées", le nombre de couches appliquées dépend du nombre de couches enlevées.

b) soit on applique un système de peinture "adapté à l'entretien" et qui a la particularité de comporter un primaire compatible avec de nombreux anciens fonds. Il s'agit le plus souvent de peinture époxyde modifiée ou polyuréthane⁴.

Bien que s'appliquant en principe à des surfaces de plus grande importance que les équipements d'ouvrages, le guide technique LPC "Remise en peintures des ouvrages métalliques anciens - Échelle d'avivage" peut aider à comprendre la démarche et à choisir le type de système à appliquer en fonction de la nature des anciennes peintures et du résultat obtenu après leur avivage.

⁴ Peintures désignées conventionnellement sous le vocable "surface tolérant".

2.4.2 - La galvanisation à chaud⁷

2.4.2.1 - Principe

La méthode consiste à immerger dans le zinc en fusion à 440/450 °C la pièce en acier après qu'elle ait reçu, au préalable, une préparation rigoureuse de la surface par voie chimique. A cette température il y a formation de couches d'alliages fer/zinc, liées intimement jusqu'au zinc pur en surface, et qui constituent une protection homogène.

La préparation de surface ne souffre aucune négligence qui se traduirait par un manque de prise ou des défauts.

La procédure classique est : dégraissage, rinçage, décapage à l'acide chlorhydrique à froid ou à l'acide sulfurique à chaud (suivant les installations), nouveau rinçage soigné avant fluxage à chaud et étuvage dans le cas d'une galvanisation dite "à sec", ou immersion dans le zinc au travers d'une couche de sels appropriés ("couvert") dans le cas d'une galvanisation dite "humide".

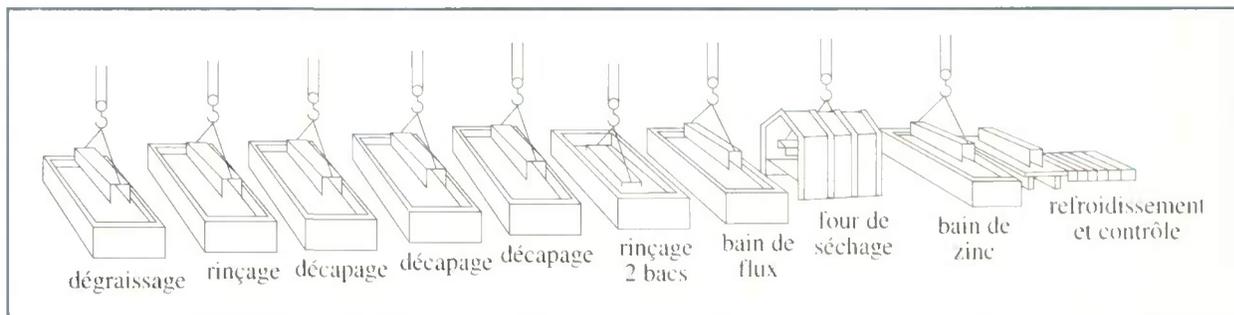
La durée d'immersion des pièces, qui dépend principalement du volume et du poids de la pièce, est de quelques minutes.

2.4.2.3 - Précautions d'emploi

a) Ces opérations ne peuvent être effectuées **que dans des ateliers spécialisés⁸**. En général les dimensions des bains permettent une galvanisation correcte d'un panneau courant de garde-corps ou d'éléments de barrière. Les frais de transport supplémentaires entre l'atelier du serrurier et le galvanisateur restent raisonnables.

L'opération de galvanisation constitue une sous-traitance pour le serrurier qui doit donc s'assurer de la conformité du travail exécuté par rapport aux normes (NF A 91.121) ou aux clauses de son marché. Ceci implique donc l'intégration de l'opération dans le système qualité du serrurier avec, pour ce dernier, la mise en place d'un contrôle externe cohérent avec le système qualité du galvanisateur. Bien entendu, le Maître d'Œuvre doit exercer un contrôle extérieur si cela lui paraît nécessaire au vu du système qualité du serrurier.

Ce système qualité portera notamment, mais non uniquement, sur la qualité des moyens de manutention et du dispositif de contrôle des compositions et de température des différents bains. Cf. Fas. 56, article 10.



2.4.2.2 - Réglementation

Norme NF A 91.121

Fascicule 56 du CCTG (Protection des ouvrages métalliques contre la corrosion).

Ce dernier texte nécessite une adaptation au contexte des équipements des ponts. Ceci fait l'objet du § 2.7 ci-après.

Figure 3 :

Schéma d'une ligne de galvanisation avec les différents bains de traitement.

(Extrait du n° 523 de mai 1994 des Annales de l'ITBTP, Article de M. G. Sanchez)

7. Le dépôt de zinc par galvanisation en continu (procédé Sendzimir ou similaire) n'est pas envisagé ici. Si le principe est identique, par contre le mode d'exécution fait que l'épaisseur de zinc déposé est plus faible. D'autre part, le façonnage ultérieur des tôles (découpe,...) fait que les tranches perdent leur protection.

8. Il est possible d'obtenir une liste de ces ateliers avec l'adresse et les caractéristiques des bains auprès de GALVAZINC ASSOCIATION (Cf. adresse en annexe).



Figure 4 :
Percement correct dans un poteau de garde-corps S8 pour assurer une parfaite circulation des liquides lors de la galvanisation.

b) Il est nécessaire d'assurer la libre circulation des liquides du décapant puis du bain de galvanisation à l'intérieur des parties constitutives de la pièce (trous dans les pièces creuses). Le Fascicule de Documentation FD A 91.122 donne d'utiles conseils à ce sujet.

c) Il faut que les différentes parties d'une pièce aient des inerties thermiques du même ordre de grandeur (donc des épaisseurs équivalentes) pour éviter des déformations d'origine thermique (bain de galvanisation à 450 °C). Certains modèles peuvent nécessiter des **redressements** après refroidissement.

d) Par ailleurs la formation d'alliages dans le revêtement peut être modifiée par la présence de certains éléments de composition de surface de l'acier (silicium et phosphore).

Ainsi une **teneur en silicium** supérieure à 0,04 % peut entraîner une surépaisseur du dépôt de zinc avec formation de couches d'alliages fer-zinc se traduisant par un état de surface de présentation différente et un risque d'écaillage pour des épaisseurs de revêtements très importantes.

Or la présence d'une trop forte teneur en silicium est la conséquence du mode d'élaboration actuelle de l'acier (le "calmage").

Pour se prémunir contre ce problème, il convient de commander et d'utiliser des aciers conformes à la Norme NF A 35.503 (ce qui est prévu par les différentes normes de produits). La certitude que l'approvisionnement soit conforme n'est vraiment obtenue que si l'on commande des tonnages importants avec certificats ; compte tenu des débits des serruriers, ceci est plus facile avec des tôles commandées directement aux forges qu'avec des profilés type L, U, H,... commandés chez des détaillants. Il est recommandé d'en tenir compte dans la conception des produits.

En complément le galvanisateur doit avoir une parfaite maîtrise des procédures de galvanisation pour pouvoir jouer sur certains paramètres dont on connaît l'influence sur la qualité de l'opération, sans toutefois qu'une réussite systématique puisse être assurée. Encore faut-il que les galvanisateurs soient tenus informés des caractéristiques de base des aciers qu'ils ont à traiter.

e) L'immersion dans du zinc en fusion à 450 °C des aciers à haute résistance et dont la température de revenu est inférieure à 450 °C, peut abaisser légèrement leurs caractéristiques. Ce n'est pas grave pour les aciers courants des équipements de ponts (mais on devra en tenir compte pour certains aciers de béton armé par exemple).

2.4.2.4 - Avantages

La protection obtenue est efficace dès la sortie du bain de galvanisation : plus de traces de rouille sur les corniches en béton.

- **La protection atteint l'intérieur des profilés**, fermés ou semi fermés, inaccessibles aux autres systèmes de protection. C'est là un point très important.

- La soudure à l'arc de l'acier galvanisé est possible, mais nécessite le reconditionnement ultérieur du cordon de soudure. De plus, des précautions sont à prendre si l'épaisseur de zinc est supérieure à 80 µm.

- L'adhérence de l'acier galvanisé au béton n'est pas modifiée pour les équipements qui nous intéressent.
- La protection, comme pour toutes les protections au zinc, est du type électrochimique, voir § 2.4.1 ci-dessus. De ce fait, sa durabilité est fonction de l'épaisseur de zinc mise en œuvre et de l'agressivité de l'atmosphère du site.

La galvanisation n'assure pas une protection d'une durée de vie égale à celle de l'ouvrage, voire à celle de l'usage de l'équipement. Les études menées sur site autoroutier corroborant d'autres études par ailleurs (voir Bulletin Ouvrages d'Art n° 10) ont montré, sommairement, une vitesse de corrosion deux fois plus élevée sur la voie qu'en rase campagne. Cette vitesse peut atteindre 3 à 4,5 µm/an, ce qui, pour une épaisseur de zinc déposée par galvanisation de 80 µm, donne une durée de vie de l'ordre de 15 ans sur autoroute fortement salée alors que l'on peut espérer 50 ans en rase campagne, voire plus.

On a donc tout intérêt à prolonger la durabilité de la protection en la complétant par une peinture (qui à l'avantage d'apporter la touche esthétique), notamment en site agressif.

- La galvanisation peut, en effet, recevoir une peinture moyennant quelques précautions. Pour le choix et la mise en œuvre de ces systèmes de peinture sur galvanisation, on se reportera au § 2.5 ci-après.
- Coût initial modéré (environ 10 à 12 % du coût du garde-corps nu) et faible coût d'entretien.

2.4.2.5 - Conclusions

Devant la facilité de réalisation de ce mode de protection, de son efficacité et de son coût modéré, nous avons estimé que la protection des équipements de ponts par zinc déposé par galvanisation à chaud devait être retenue, et c'est celle qui est systématiquement envisagée dans les normes.

Dans le cas d'ambiance agressive, de type urbain, industriel ou maritime au sens du Fas. 56, mais plus concrètement, en zone urbaine ou sur autoroute à forte circulation et avec des sels de déverglaçage, la galvanisation à chaud pourra utilement être complétée par un système de peinture.

2.5 - PEINTURE SUR GALVANISATION⁹

2.5.1 - Généralités

Il y a quelques années, on hésitait (à juste titre) à peindre de la galvanisation en raison des nombreux problèmes d'adhérence. A l'heure actuelle, on peut considérer qu'il y a une évolution favorable en raison de l'amélioration des connaissances et de la technique ainsi que de la mise en application de la procédure d'homologation des systèmes de peinture sur galvanisation neuve (cf. Fas. 56 et dernière circulaire d'homologation).

On est amené à peindre de la galvanisation pour trois raisons :

- augmenter la durabilité de la protection anti-corrosion de la galvanisation dans le cas d'atmosphère agressive,
- conférer une couleur et une qualité d'aspect pour des raisons esthétiques, écologiques (camouflage) ou de sécurité (signalisation par exemple),
- entretenir ou rénover des équipements existants simplement galvanisés ou déjà galvanisés et peints.

2.5.2 - PEINTURE SUR GALVANISATION NEUVE

2.5.2.1 - Présentation

Si pour des raisons esthétiques et/ou d'amélioration de la durabilité, on décide de peindre un équipement de pont galvanisé, il est conseillé :

- a) d'utiliser un système homologué (voir dernière circulaire),

9. et sur métallisation car les techniques sont strictement les mêmes.

Figure 5 :

Jusqu'à la mise en place des systèmes homologués, la mise en peinture sur une galvanisation neuve posait de délicats problèmes de tenue.



b) de peindre dès l'origine et non pas d'attendre quelques mois (ou plus) pour profiter d'un "dégraissage et dérochage naturel" comme il était conseillé il y a quelques années.

En effet, une surface galvanisée réagit avec l'ambiance atmosphérique dès qu'elle est plongée dans cette ambiance en donnant des sels plus ou moins solubles ; ceux-ci sont plus ou moins néfastes à l'accrochage ultérieur des peintures et plus au moins difficiles à éliminer lors de la préparation de la surface galvanisée.

La nouvelle procédure d'homologation s'applique aux systèmes de peinture sur galvanisation **neuve** et inclut, après le dégraissage, la nécessité ou non du dérochage qui dépend du type de peinture.

Les avantages de cette mise en peinture intervenant rapidement après galvanisation sont :

- a) nettoyage plus simple de la galvanisation avec possibilité d'appliquer une partie du système de peinture en atelier donc dans de meilleures conditions climatiques ;
- b) l'opération de mise en peinture reste dans les crédits d'investissement et n'est pas transférée sur les crédits d'entretien (jamais apprécié par les services gestionnaires) ;
- c) la galvanisation est protégée dès l'origine et l'on a donc une meilleure amélioration de sa durabilité.

Pour ce qui concerne l'homologation de systèmes de peinture, on se reportera utilement au Fascicule 56 et à la dernière circulaire d'homologation.

Pour les équipements des ponts, on prendra le cas des parties vues : classe HGA 1 ; tous les systèmes actuels sont homologués en HGA 1 et incluent donc la contrainte de durabilité en aspect. Toutefois, pour la stabilité des teintes de finition aux expositions climatiques, on prendra les précautions déjà évoquées au § 2.3.5.

L'homologation concerne des systèmes traditionnels de peintures liquides, mais également des systèmes de peintures poudres cuites au four.

2.5.2.2 - Systèmes de peinture liquide

Par rapport aux systèmes de peinture sur acier nu, les systèmes sur galvanisation se caractérisent par :

- l'existence d'un primaire de réparation (couche 0 - en général un primaire au zinc) qui est appliqué sur les zones où la galvanisation a été détruite (après élimination de l'oxydation) et qui est compatible avec le reste du système de peinture,
- un dérochage (opération chimique ou mécanique visant à donner à la surface galvanisée une légère rugosité pour un meilleur accrochage de la peinture) qui intervient

après le nettoyage et dégraissage (au solvant ou à la lessive alcaline) et dont la nécessité dépend du type de peinture appliqué. Sur la fiche d'homologation du système, ce dérochage est donné comme étant "obligatoire", "facultatif" ou "interdit".

Les systèmes de peinture homologués comportent 2 ou 3 couches (en plus du produit de réparation) avec des épaisseurs comprises entre 100 et 200 µm. Ils peuvent être :

- monocomposant (acrylique, vinylique, phase solvant ou phase aqueuse),
- bicomposant (époxyde, polyuréthane). Dans ce cas, le dérochage est obligatoire en général.

Les précautions de mise en œuvre et de contrôle sont identiques aux systèmes de peinture sur acier (préparation des produits, respect des délais entre couches, des conditions atmosphériques, etc.).

2.5.2.3 - Systèmes de peinture poudre

C'est un **procédé industriel réalisé uniquement dans des ateliers spécialisés**. L'application des peintures poudres comprend :

- la préparation des pièces galvanisées avec un nettoyage et un dégraissage,
- le traitement de surface comportant un dérochage mécanique (poudre thermoplastique) ou une conversion par chromatisation et/ou phosphatation (poudre thermodurcissable) au trempé ou par aspersion,
- l'application de la poudre par pistolet électrostatique (manuel ou automatique) ou par lit fluidisé,
- la cuisson (polymérisation) de la poudre avec des températures et des temps contrôlés.

En général, on n'a qu'une seule couche de poudre avec des épaisseurs allant de 90 à 150 µm¹⁰. Les poudres homologuées sont, généralement, thermodurcissables (poudres polyester - TGIC).

Pour l'instant, le Fascicule 56 n'aborde pas les aspects liés à l'assurance qualité pour la mise en œuvre de ces poudres. Aussi, si l'on choisit ce procédé, il est conseillé aux prescripteurs :

- 1) de demander l'application d'un système homologué (voir dernière circulaire),
- 2) d'exiger l'application par un atelier garantissant un minimum de contrôle interne tant sur les procédés que sur le produit fini.¹¹

Par rapport aux peintures liquides, les peintures poudres présentent les avantages et les inconvénients suivants :

a) Avantages :

- Application en atelier spécialisé et en milieu industriel, donc bonne maîtrise des conditions d'application et habitude des contrôles internes.
- Mode d'application (pistolet électrostatique ou lit fluidisé) donnant des épaisseurs uniformes et un bon garnissage des arêtes (mais attention, il peut y avoir des "zones d'ombre").
- Bonnes performances en adhérence et dureté du feuillet. On notera, par exemple, la grande résistance à la rayure de ces systèmes ce qui constitue un avantage non négligeable lors des manutentions à la mise en œuvre mais aussi en service.
- Très bonne qualité en aspect (couleur, brillance, régularité).

b) Inconvénients :

- Procédé applicable en atelier uniquement, les réparations sur site (par peinture liquide) sont délicates surtout si l'on désire une homogénéité d'aspect. Sur ce point, il faut signaler que, contrairement aux systèmes homologués de peintures liquides, les systèmes poudres ne comportent pas de primaire de réparation homologué, ce qui ne signifie pas qu'ils ne puissent pas être réparés sur site. Ceci rend cependant obligatoires des précautions particulières

10. Les épaisseurs varient selon le produit, le mode de préparation de surface, ... les valeurs, les modalités de mesure et les tolérances sont fixées par ailleurs.

11. Il n'existe pas de label comme le label "Qualicoat" pour l'aluminium (Cf § 3.3.2 correspondant), mais l'organisation du "process" devrait s'en inspirer.

pour les manipulations des pièces (colisage, transport, montage, ...) ; il faut considérer les pièces d'équipement de pont protégées de cette façon comme des "produits finis" et les manipuler comme tels même si la bonne tenue de la peinture au choc rend le système relativement peu sensible !

- Dimensions réduites des pièces (bains, fours, etc.) mais ceci n'est, en général, pas une forte contrainte pour les équipements de pont.



Figure 6 :
Les protections de chantier seront aussi mises en place pour éviter les projections lors de l'exécution de travaux de finition des ouvrages.

2.5.3 - Entretien par peinture des équipements galvanisés

2.5.3.1 - Équipements galvanisés jamais peints

Si l'on veut conserver le "capital de protection" qu'est la galvanisation, il faut la protéger (la peindre) avant qu'elle n'ait commencé à se dégrader de façon importante en entraînant l'enrouillement des couches d'alliages fer/zinc ou, pire, du support acier.

Sinon, il faudra tout décaper avec mise à nu de l'acier et application d'un système complet de

peinture. Avec toutes les difficultés de l'application sur site (voir § 2.3.4), le gestionnaire sera bien souvent amené à changer purement et simplement l'équipement en cause.

En cas d'ambiance agressive, la galvanisation peut commencer à laisser apparaître un enrouillement avant les 10 ou 15 ans évoqués précédemment et dans ce cas, on a tout intérêt à compléter la galvanisation par une peinture dès l'origine.

La mise en peinture d'une galvanisation ancienne n'ayant jamais été peinte, mais dont l'oxydation est inexistante ou limitée à des surfaces très restreintes, peut être réalisée avec les systèmes homologués sur galvanisation neuve. Dans ce cas des précautions particulières devront être prises pour le nettoyage (notamment pour éliminer les sels de zinc non adhérents) et pour le dégraissage. A cet effet, on peut procéder à (liste non exhaustive) :

- un brossage énergique (avec une brosse non métallique) suivi d'un dégraissage alcalin,
- un décapage à l'eau sous haute pression avec détergents suivi d'un rinçage à l'eau propre,
- un dégraissage puis un avivage par projection d'abrasif fin et à faible pression (cf. § 2.3.4.1). S'il est réalisable, ce dernier procédé présente l'avantage de nettoyer et de dérocher simultanément pour les systèmes de peinture où le dérochage est obligatoire. En outre, il permet de décaper à blanc jusqu'à l'acier les zones où la galvanisation est détruite par oxydation et où l'on applique le primaire (homologué) de réparation.

2.5.3.2 - Équipements galvanisés et peints

Le procédé d'entretien dépend essentiellement de l'état de la protection en place. Schématiquement, on peut distinguer trois cas de figure :

- Il n'y a pratiquement plus de protection en place et l'équipement présente un enrouillement important. Dans ce cas, il faut tout décaper jusqu'au métal de base puis appliquer un système complet de peinture. Compte tenu de ce qui a déjà été dit précédemment (difficulté et

coût d'application in situ), il vaut mieux ne pas attendre ce stade et entretenir avant, à moins, bien sûr, que l'on décide de remplacer l'équipement.

b) La galvanisation est encore en bon état (enrouillement inexistant ou limité à des surfaces très restreintes) mais le système de peinture en place est défaillant et de mauvaise qualité (plus de consistance, plus d'adhérence). Dans ce cas :

- Choix d'une méthode de nettoyage (brossage, décapage à l'eau sous haute pression, avivage à l'abrasif fin...) permettant l'élimination intégrale des anciennes peintures et le nettoyage des parties galvanisées découvertes.
- Application d'un système homologué sur galvanisation neuve y compris du primaire de réparation sur les zones oxydées et décapées.

c) La protection - galvanisation et peinture - est encore en bon état. Il n'y a aucune zone oxydée, le système de peinture en place est encore étanche et adhérent hormis quelques zones limitées où il a disparu par chocs ou usure. Ce peut être le cas de l'entretien pour des raisons esthétiques par exemple. Dans ce cas, le principe de l'entretien est sensiblement le même que pour les équipements décapés et peints avec élimination partielle des anciennes peintures (cf. § 2.3.4.2) :

- Dégraissage alcalin.
- Brossage énergétique ou décapage à l'eau sous haute pression ou avivage à l'abrasif fin afin de nettoyer et d'éliminer la partie éventuellement mal adhérente des systèmes en place.
- Application de peintures compatibles avec celles en place ce qui peut être tout ou partie d'un système identique ou d'un système "adapté à l'entretien" (voir § 2.3.4.2)

Sur ce dernier point, il est nécessaire de s'assurer auprès du fournisseur de peinture de la compatibilité effective avec les fonds en place. Par

ailleurs, et au moins pour les travaux importants, il est conseillé de procéder à des essais préalables visant à choisir la bonne méthode de préparation de surface (décapage à l'eau sous haute pression, avivage, ...) et de vérifier la compatibilité des nouveaux produits appliqués.

2.6 - CONTRÔLE DES TRAVAUX

En principe, il s'agira du contrôle extérieur.

2.6.1 - Dépôt de zinc

Les matériaux et la mise en œuvre seront conformes aux normes correspondantes : par exemple NF A 91.121 pour la galvanisation. Cette norme précise les critères à prendre en considération et les moyens de contrôle.

2.6.2 - Contrôle des travaux de peinture sur acier nu et sur zinc

Voir Fas. 56, art. 17.5, 18.3.4, 31.3.5 et 32.

Dans les cas plus spécifiques des garde-corps et des barrières de sécurité le contrôle portera :

1) sur la conformité des produits approvisionnés par rapport à ceux prévus sur les fiches techniques.

On effectuera des prélèvements sur chantier qui permettront de comparer le produit appliqué à celui retenu :

- soit éventuellement de façon sommaire dans le cas de garde-corps, avec la détermination de certaines caractéristiques : masse volumique, extrait sec et teneur en cendres, par exemple,
- soit de façon plus approfondie en cas de litige, par analyse complète.

Les prélèvements, faits après homogénéisation, seront de 4 x 1 litre par lot, 2 prélèvements étant conservatoires.



Figure 7 :
Le contrôle d'aspect veillera à l'absence de bulles, cratères, épaufrures ...

2) sur les conditions d'application.

On examinera plus particulièrement :

- le décapage : le matériel, l'abrasif, le degré de décapage, la rugosité, la propreté du support avant application ;
- les conditions d'application : température ambiante, hygrométrie, matériels d'application, délais entre les couches ;
- la qualité du système appliqué : épaisseurs des couches, continuité du film, aspect de surface, adhérence.

2.6.3 - Contrôle des épaisseurs

Ces contrôles peuvent être effectués par des **méthodes non destructives ou destructives**. Pour le contrôle sur chantier nous conseillons les méthodes non destructives qui donnent des résultats immédiats ; ces mesures ne sont pas d'une grande précision, aussi on ne basera pas un litige sur l'indication de ces appareils.

Il s'agit d'appareils magnétiques ou électromagnétiques. Les résultats sont corrects à condition d'effectuer un réglage du zéro sur chantier sur une surface nue et identique du point de vue rugosité, et des étalonnages fréquents à l'aide de cales étalons.

Ces appareils, dont l'usage est prévu dans les normes NF A 91.121 et NF T 30.124, sont à utiliser sur acier avec dépôt de produits non magnétiques.

On trouvera ces matériels en vente aux adresses précisées en annexe :

Les contrôles destructifs d'épaisseur seront faits conformément aux normes NF A 91.121, art. 6.3. et A 91.201, art. 4.1.3.

2.6.4 - Contrôle de l'adhérence de la peinture par l'essai de quadrillage

Il est fait suivant la norme T 30.038. Comme c'est un essai destructif, il est nécessairement suivi d'une retouche de la zone testée.

Il ne peut être fait qu'une quinzaine de jours après l'application de la dernière couche (pour que le film ait suffisamment durci). La zone d'essai doit impérativement être reconditionnée.

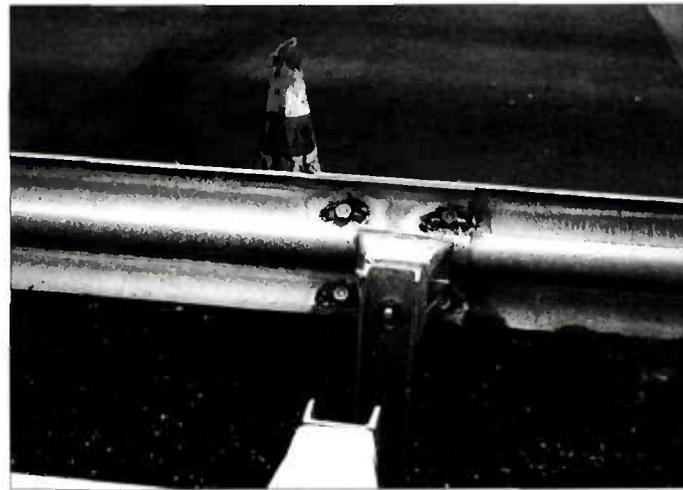


Figure 8 :

Lors du contrôle de réception, on devra refuser les pièces ayant subi des découpes (au chalumeau ou non !) qui comportent alors des zones où la galvanisation a été détruite.

2.7 - APPLICATION DU FAS. 56 AU DOMAINE DES ÉQUIPEMENTS DES PONTS

2.7.1 - Introduction

Le Fascicule 56 du CCTG : "*Protection des ouvrages métalliques contre la corrosion*" comporte une partie traitant de la protection contre la corrosion des parties d'ouvrage en acier par galvanisation à chaud. Cette partie présente certaines divergences avec les normes, notamment la norme NF A 91.121 que son statut homologué rend obligatoire dans les marchés publics.

La mise en application de ces deux textes a parfois provoqué quelques difficultés lors de l'application de certains marchés. Ces difficultés risquent d'être de plus en plus nombreuses car les normes de produits (garde-corps et barrières) font uniquement référence à la norme NF A 91.121.

L'attention est attirée sur ces problèmes pour essayer de les éviter en suivant les quelques conseils suivants.

2.7.2 - Les épaisseurs de zinc

Le Fas. 56 a retenu des épaisseurs de zinc qui sont fonction de l'épaisseur de l'acier support, comme il est habituel pour cette technique. Par contre, les épaisseurs préconisées dans ce texte sont nettement plus importantes que les valeurs minimales que l'on trouve dans la norme NF A 91.121 (Tableau 3) auquel le Fas. 56 fait renvoi par ailleurs (dans son article 2). Certes il est possible dans un marché (et le Fascicule 56 constitue une pièce du marché) d'être plus contraignant que la norme à condition que ceci soit **techniquement** et économiquement réaliste.

Or il faut savoir que l'épaisseur de zinc déposé par la galvanisation ne peut pas être maîtrisée à volonté comme la peinture où on ajoute des couches pour atteindre l'épaisseur désirée. Cette épaisseur de zinc est liée à la nature de l'acier, à la texture de surface et à l'épaisseur du support.

Sur la nature de l'acier, le Fascicule 56 (article 1.7 par ex.) préconise de l'acier apte à la galvanisation, conforme à la norme NF A 35.503, ce qui est effectivement nécessaire pour avoir une couche de zinc de bonne qualité (homogénéité d'épaisseur, tenue au choc,...). Pour la texture de surface, on voit mal obtenir celle-ci par projection d'abrasif sur certains subjectiles comme les profilés de garde-corps pour augmenter la rugosité et obtenir alors une épaisseur plus grande pour le revêtement de zinc.

Enfin, augmenter l'épaisseur des éléments en acier pour avoir une épaisseur de zinc déposé par galvanisation conforme apparaît peu logique puisque l'épaisseur de l'acier de la pièce est définie par la résistance mécanique à obtenir pour le produit (et accessoirement sa durabilité).

Comme on le voit, les épaisseurs préconisées pour la galvanisation à chaud par le Fascicule 56 sont techniquement délicates à obtenir, sinon impossibles, sur des produits tels que les équipements des ponts. A ce sujet, on notera que le projet de norme européenne soumis à l'enquête probatoire (qui reprend, à peu de choses près, les valeurs de la norme française actuelle), s'il n'exclut pas les revêtements plus épais, précise qu'une consultation préalable du galvanisateur est essentielle.

2.7.3 - Les garanties contractuelles

Le Fascicule 56 a introduit une notion de durée de garantie pour les revêtements de protection contre la corrosion. Cette durée est fonction de l'épaisseur puisqu'il y a une corrélation certaine entre l'épaisseur d'un revêtement et sa durabilité. Ceci est aussi valable pour le zinc puisque, en fonction des ambiances, la "consommation" de zinc varie de moins de 1 $\mu\text{m}/\text{an}$ à quelques $\mu\text{m}/\text{an}$ (3 à 6 $\mu\text{m}/\text{an}$). Ces consommations moyennes peuvent être localement dépassées sur certaines parties en fonction de leur situation et de leur exposition.

Par contre, comme il est impossible techniquement de moduler l'épaisseur de zinc déposé, une durée de garantie variable n'est pas possible non plus. Mais il ne faut pas confondre durabilité de la protection contre la corrosion et durée de

garantie. Si les épaisseurs de zinc prévues par la norme permettent d'espérer une durabilité largement supérieure à 20 ans, ce qui est bien au-delà de ce qu'exige le Fas. 56, il est, par contre, extrêmement difficile d'obtenir pour les équipements des ponts des garanties de durée supérieure à 10 ans d'un point de vue pratique parce que cette durée de garantie nécessite de faire appel à des contrats spécifiques dits de "risques industriels majeurs" dont le coût est souvent prohibitif par rapport au but recherché.

2.7.4 - Conclusions et propositions

Ces difficultés d'application du Fascicule 56 qui portent donc sur l'épaisseur préconisée de zinc et les durées de garantie contractuelle peuvent être aplanies si l'on prend la précaution de bien préciser la catégorie d'ouvrage à laquelle appartient l'équipement. En effet, le Fascicule 56 a prévu 4 catégories, auxquelles il convient de se référer dans le marché, en fonction de la partie d'ouvrage et de l'épaisseur d'acier constitutif. Les équipements sont à classer dans la catégorie 3, même si certains d'entre-eux peuvent comporter des pièces d'épaisseur supérieure à 4 mm (ce qui les ferait alors entrer dans la catégorie 4).

C'est pourquoi, lors de la mise au point des parties des marchés portant sur la protection contre la corrosion par galvanisation à chaud des équipements (barrières, garde-corps et autres équipements non fixés de façon permanente dans la structure), le Maître d'Œuvre devra préciser, conformément à l'article 4 du Fascicule 56, la catégorie d'ouvrage en indiquant que : *"ces parties d'ouvrages (.....) sont considérées comme appartenant à la catégorie 3 définie par l'article 3 du Fascicule 56 du CCTG."*

Dans ce cas, la norme NF A 91.121 et le Fascicule 56 auquel le marché fait renvoi sont homogènes.

Évidemment, ceci ne s'applique qu'aux équipements et non à certains éléments de structure protégés par la galvanisation à chaud.

Page laissée blanche intentionnellement

L'ALUMINIUM

Dans ce qui suit il sera traité de l'aluminium en sous-entendant les seuls alliages d'aluminium utilisés dans le domaine des équipements des ponts.

3.1 - PRINCIPE DE LA PROTECTION - RÉSISTANCE À LA CORROSION

L'aluminium se trouve protégé naturellement par une couche mince et continue d'oxyde naturel (alumine).

La composition et la porosité de cette couche dépendent de la nature de l'alliage. Lorsque celui-ci est correctement choisi, cette couche résiste à l'atmosphère corrosive du microclimat d'un pont¹² et se reconstitue rapidement en cas de blessure.

Dans les conditions normales de service cette formation naturelle d'oxyde peut présenter des inconvénients :

- elle laisse, au toucher, des traces noires sur les mains, ce qui peut être gênant dans le cas des garde-corps,
- esthétiquement cette couche d'alumine donne un aspect mat avec des taches gris-blanc,
- elle n'est pas parfaitement étanche.

3.2 - L'ANODISATION

Ces légers inconvénients et la nécessité d'obtenir dans certains cas une meilleure protection contre la corrosion ont conduit à réaliser artificiellement une couche d'alumine continue, régulière et uniforme. C'est l'**anodisation**.

3.2.1 - Définition

L'anodisation est l'opération qui, par le moyen d'un processus électrolytique, substitue à la couche d'oxyde naturel (alumine), une couche d'oxyde d'épaisseur plus grande : de quelques centièmes de microns on passe à la dizaine de microns (en général 15 à 20 μm), voire plusieurs centaines.

La couche d'oxyde obtenue a des propriétés très différentes du métal de base.

3.2.2 - Principes de la réalisation d'une anodisation

Dans une électrolyse de l'eau (rendue conductrice) l'anode est le siège d'un dégagement d'oxygène ; si l'anode est une plaque d'aluminium, l'oxygène dégagé réagit avec l'aluminium pour donner l'alumine.

En solution sulfurique la couche d'oxyde obtenue devient poreuse ; de ce fait l'oxygène naissant atteint l'aluminium en traversant la couche d'oxyde et réagira avec le métal pour l'oxyder. La couche d'oxyde s'élabore à partir de la surface et vers le cœur du métal (contrairement au dépôt électrolytique).

Ainsi donc cette couche est poreuse, aussi, pour obtenir une protection satisfaisante, il faut refermer ces pores par colmatage. Cette opération consiste en une hydratation de l'alumine qui la transforme en alumine monohydratée stable ; au cours de cette transformation il y a gonflement qui referme les pores.

¹².Gaz d'échappement, sels de déverglaçage,...

C'est au cours de l'anodisation et avant le colmatage que l'on peut réaliser la coloration en introduisant des colorants dans les pores.

3.2.3 - L'opération d'anodisation

Les diverses opérations sont :

- dégraissage,
- décapage dans des bains alcalins ou dans des bains acides,
- éventuellement traitements décoratifs tels que :
 - satinage,
 - polissage,
 - brillantage.
- anodisation proprement dite, accompagnée ou non d'une coloration (cf. § 3.3.1 ci-après).

Les principaux paramètres entrant en ligne dans la pratique d'une anodisation sont, comme dans toute électrolyse :

- la durée de l'opération,
- la température du bain,
- la densité du courant,
- la concentration de l'électrolyte.

3.2.4 - Le colmatage

C'est l'opération finale de l'anodisation, qu'il y ait coloration ou non.

On le réalise par deux méthodes :

- trempage dans une eau très pure à 98 °C, pendant environ 2 min. par μm d'épaisseur d'oxyde,
- à la vapeur d'eau, peu utilisée en FRANCE.

3.2.5 - Contrôle de l'anodisation

Lorsqu'on est en possession d'une pièce anodisée, il faut vérifier que :

- la pièce est réellement anodisée,
- l'épaisseur de la couche correspond aux spécifications,
- la couche est de bonne qualité.

Les contrôles seront faits conformément aux normes :

NF A 91.410

Traitements de surface des métaux -
Anodisation -
Contrôle de la continuité -
Essai au sulfate de cuivre.

XP A 91.402

Traitements de surface des métaux -
Anodisation -
Mesure de l'épaisseur -
Coupe micrographique.

NF A 91.406

Aluminium et alliages d'aluminium anodisés -
Mesurage de la masse par unité de surface -
Méthode gravimétrique.

NF A 91.403

Aluminium et alliages d'aluminium anodisés -
Mesurage de l'épaisseur -
Mesurage non destructif par microscope à coupe optique.

NF A 91.404

Traitements de surface des métaux -
Anodisation -
Mesure de l'épaisseur -
Mesures électriques.

NF A 91.408

Aluminium et alliages d'aluminium anodisés -
Contrôle du colmatage -
Essai à la goutte de bleu Sanodal G.

NF A 91.409

Anodisation de l'aluminium et de ses alliages -
Appréciation de la perte du pouvoir absorbant des couches d'oxydes anodiques après colmatage -
Essai à la goutte de colorant avec action acide préalable.

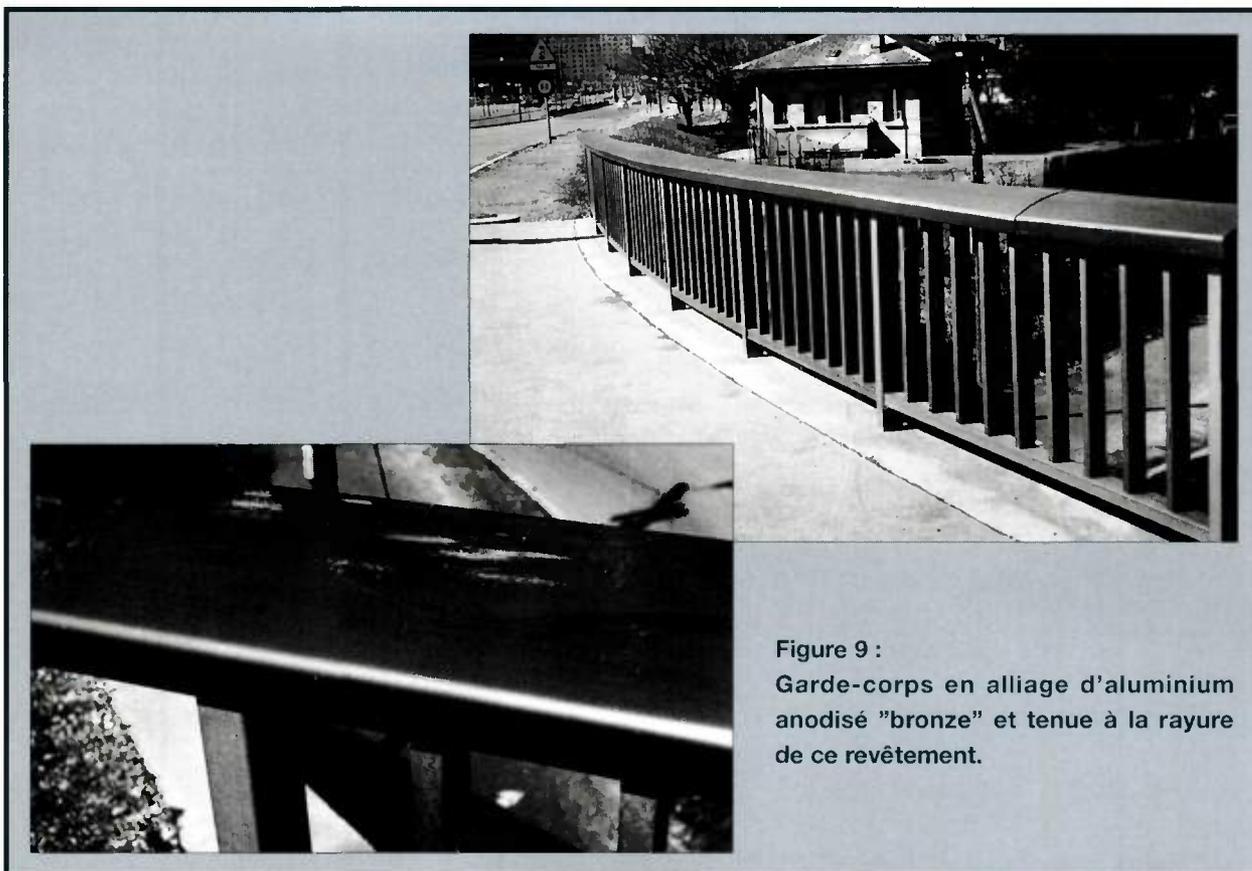


Figure 9 :
Garde-corps en alliage d'aluminium
anodisé "bronze" et tenue à la rayure
de ce revêtement.

3.2.6 - Conclusion

L'anodisation est une opération complexe qui demande beaucoup de soin. Son but est surtout esthétique car la plupart des alliages d'aluminium utilisés dans notre domaine sont peu sensibles à la corrosion atmosphérique.

De toute façon si les pièces doivent être exposées à une atmosphère agressive, **il est préférable de ne pas anodiser plutôt que de mal anodiser.** En effet, tout se passe comme si l'énergie destructive se concentrait sur les parties mal protégées et on peut avoir de graves détériorations des pièces.

3.3 - COLORATION DE L'ALUMINIUM

Elle peut se faire selon deux processus.

3.3.1 - Anodisation

En cours d'anodisation la coloration se fait par un trempage où on met à profit la porosité de la

couche d'alumine. Il se fait dans des bains à faible concentration, à froid ou à chaud suivant les colorants, et peut durer de quelques secondes à une vingtaine de minutes.

L'intensité de la coloration varie avec l'épaisseur de la couche, la durée d'immersion et la concentration du bain de colorant.

Les colorants utilisés sont organiques, peu stables au-dessus de 200 °C (ce qui n'est pas un problème sur les ponts !), ou minéraux, plus stables.

Cette méthode est techniquement au point et d'usage courant mais :

- le manque de variétés des nuances colorées,
- l'instabilité dans le temps de certains pigments,
- le coût ; l'anodisation d'un garde-corps simple en alliage d'aluminium coûte :
 - en incolore satiné, 15 µm d'épaisseur, environ 10 % du garde-corps,
 - en bronze brillant, environ 15 % du garde-corps, à l'autre extrémité de la fourchette,

en limitent l'usage dans le domaine des garde-corps.

3.3.2 - Peinture

La coloration de l'aluminium par peinture nécessite l'utilisation de systèmes spéciaux qui seront mis en œuvre dans des ateliers spécialisés. Les techniques d'application par cataphorèse, liquides et autres sont peu utilisées dans le domaine des équipements des ponts qui lui préfère les peintures poudres polyester TGIC.

Les prescripteurs auront donc intérêt à exiger dans leur marché l'application par un atelier possédant le label QUALICOAT et de le vérifier auprès de ADAL (adresse en annexe).

La tenue des pigments aux UV est variable selon les teintes et les pigments utilisés. Des garanties seront à demander auprès des fabricants de produits.

3.4 - ENTRETIEN DE L'ALUMINIUM

Un alliage d'aluminium correctement choisi ne nécessite pas d'entretien autre que de redonner l'aspect initial au métal pour des raisons d'esthétique.

a) Dans le cas d'une **surface non anodisée** (selon le § 3.1 ci-dessus) ou **anodisée mais peu encrassée** :

- lavage à l'eau tiède savonneuse ou à l'eau légèrement additionnée d'un agent mouillant (Teepol ou similaire), avec éponge, chiffon ou brosse Nylon à longs poils,
- rinçage à l'eau propre,
- essuyage avec un chiffon absorbant.

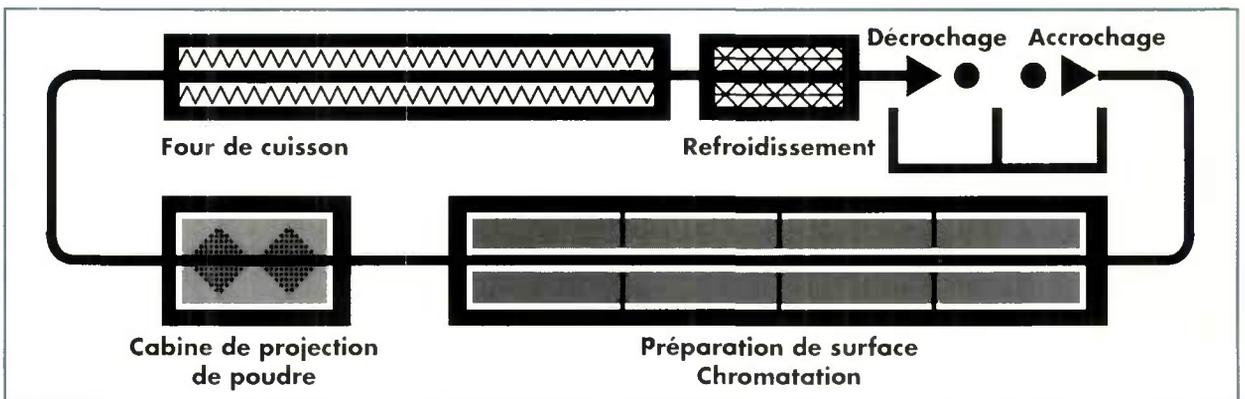
Si la surface est très encrassée, on pourra ajouter, lors du lavage, un abrasif calcaire tendre et fin : blanc de Meudon, blanc d'Espagne.

b) Dans le cas de **surfaces anodisées d'encrassement important**, on utilisera lors du lavage un dégraissant lustrant ou de l'eau additionnée d'un agent mouillant et d'un abrasif calcaire (blanc de Meudon, blanc d'Espagne, ...).

c) Cas particulier de **l'élimination de coulures de rouille** sur une surface anodisée :

- si le dépôt est récent, on éliminera ces taches avec de l'acide oxalique dilué (100 g/l) ou de l'oxalate acide d'ammonium, suivi obligatoirement d'un rinçage immédiat et abondant.
- Si le dépôt est plus ancien, l'enlèvement est quasi impossible. Il convient donc de prendre, sur chantier, les précautions nécessaires pour éviter ces défauts irrémédiables (Cf. Fig. 6).

Figure 10 :
Schéma du principe d'une installation de revêtement par poudre polyester.



LA BOULONNERIE

4.1 - INTRODUCTION

Sur les pièces principales, la protection contre la corrosion est efficace : aluminium, acier protégé par le zinc, à la rigueur peint ; il est aussi nécessaire d'utiliser un système de protection **équivalent** pour la boulonnerie, c'est-à-dire que l'épaisseur du revêtement ou la nuance de la matière doit être la même.

Dans ce domaine, la corrosion se propage suivant deux processus :

- corrosion sous l'action des agents atmosphériques,
- corrosion par couple électrochimique entre la visserie et les pièces assemblées. Cette dernière bien que fréquente dans l'assemblage par boulonnerie, ne lui est pas spécifique et se rencontre dès que l'on réunit par contact deux métaux de polarité différente. Elle fait l'objet d'un chapitre particulier (§ 5).

4.2 - GALVANISATION À CHAUD

La galvanisation de la boulonnerie est classique pour les boulons jusqu'à la classe 8.8 (Norme NF E 25.007) ; elle exige simplement l'utilisation d'une technologie particulière caractérisée par une phase de centrifugation.

Un taraudage plus fort ou un retaraudage des écrous est nécessaire pour que les filetages s'ajustent compte tenu de l'épaisseur de zinc ajoutée, et cette opération est pratiquée après galvanisation. Le revêtement de la vis engagée retardera la corrosion des deux composants vis-écrou. Le taraudage du filetage de l'écrou avant galvanisation doit, conformément aux conseils du FD A 91.122 (§ 5), prévoir un jeu compris

entre 0,49 mm et 0,6 mm et échelonné progressivement suivant le pas choisi.

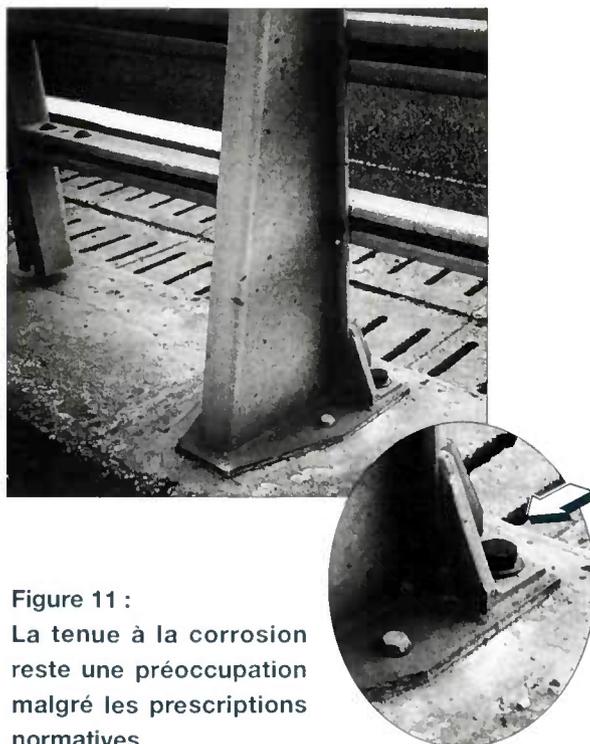


Figure 11 :
La tenue à la corrosion reste une préoccupation malgré les prescriptions normatives.

La norme NF A 91.121 envisage la galvanisation seulement pour la boulonnerie de diamètre supérieur à 9 mm. Les boulons de diamètre inférieur à 9 mm ne peuvent pas être correctement galvanisés actuellement.

La valeur minimale du revêtement, suivant la norme NF A 91.121, art. 6.3.2.4, est de 375 g/m² (52 µm).

Le couple de serrage est normal et le coefficient K a une valeur moyenne de 0,19 pour des boulons lubrifiés à l'huile, pour une précontrainte inférieure à 50 % de la limite élastique.

4.3 - SHÉRARDISATION (THERMONISATION) ET PROCÉDÉS SIMILAIRES

La shérardisation consiste à obtenir un revêtement par un procédé thermochimique de diffusion de zinc à la surface de pièces en métal ferreux (fer, acier, fonte), lorsque celles-ci sont chauffées en présence de poussières de zinc.

La préparation de surface est obtenue essentiellement par grenailage précédé ou non d'un décapage. Les pièces sont ensuite mélangées avec un ciment à base de poussières de zinc dans des caissons que l'on ferme. Les caissons, normalement tournants, sont placés dans des fours à une température de 400 °C. Le revêtement obtenu suit étroitement le profil du métal de base des pièces, ce qui n'est pas parfaitement le cas avec le zinc déposé par galvanisation où l'épaisseur est plus faible en sommet qu'en creux.

Les tolérances à fixer sur les parties filetées (vis et écrous) sont données par le fournisseur (de boulons).

Le couple de serrage est normal et le coefficient K a une valeur moyenne de 0,15 pour les boulons lubrifiés.

Les post-traitements tels que chromatisation ou phosphatation peuvent être réalisés.

D'autres procédés mettent en œuvre des techniques très proches de la shérardisation. Par exemple, le procédé Dacromet® qui comporte les étapes suivantes :

- **Nettoyage** avec un dégraissage alcalin ou par un solvant chloré suivi d'un léger décapage mécanique ;
- **Application** avec dépôt par trempage du revêtement minéral à base de zinc lamellaire bichromaté dans la masse ;
- **Cuisson** du film dans un four (20 minutes à 300 °C).

L'épaisseur déposée est de l'ordre de 20 µm.

4.4 - ZINGAGE ÉLECTROLYTIQUE

Le zingage électrolytique s'effectue dans des installations classiques d'électrolyse, mais évidemment spécialement affectés au traitement par le zinc. On utilise le plus souvent des bains cyanurés, la densité de courant étant de l'ordre de 3 A/dm². Les boulons sont traités dans des tonneaux, le courant étant amené par des contacts disposés sur les parois ou par des conducteurs noyés dans la masse des pièces.

L'épaisseur minimale du revêtement varie de 5 à 25 µm, conformément à la norme NF A 91.102 (en ce qui concerne la visserie, les spécifications et les tolérances sont celles de la norme NF E 25.009). Ces valeurs sont inférieures aux minima prévus par le Fas. 56, art. 4.3. Si la norme prévoit la possibilité d'aller exceptionnellement jusqu'à des valeurs de 30 ou 40 µm, les conditions technico-économiques rendent le procédé très peu intéressant et d'autres modes de protection doivent être préférés (galvanisation, par exemple). Les post-traitements comme la chromatisation incolore, bleutée ou jaune irisée, peuvent être réalisés en atelier.

La durée de protection d'un revêtement de zinc étant proportionnelle à son épaisseur, ce type de revêtement n'apporte pas une protection suffisante pour une longue durée en service. Dans le cas où on envisagerait ce mode de protection pour une longue durée de service, un complément par peinture riche en zinc serait alors conseillé. Enfin, l'utilisation de produits polluants pour l'environnement rend obligatoire des précautions à la fabrication qui grèvent d'autant le prix.

4.5 - BOULONNERIE INOXYDABLE

Elle est à base d'alliage de fer (voir § 6.1 ci-après).

En général, si la nuance est correctement choisie, la boulonnerie en acier inoxydable résiste bien à l'atmosphère corrosive des ponts ; son seul problème réside dans son prix particulièrement élevé. Les précautions contre une éventuelle corrosion par couple sont à examiner dans chaque cas d'association.

4.6 - BOULONNERIE ALUMINIUM

Pour certains usages de l'aluminium (garde-corps ou autre), on peut envisager d'utiliser une boulonnerie aluminium. Dans ce cas la corrosion par couple est supprimée. La seule limite réside dans le prix et dans des résistances mécaniques moindres que l'acier à section équivalente.

4.7 - CONTRÔLE DE LA QUALITÉ DE LA PROTECTION

Les mesures par méthode magnétique (cf. NF A 91.121, § 6.3.2) sur la tête du boulon ou sur les flancs de l'écrou donnent d'assez bons résultats informatifs.

Les contrôles destructifs sont possibles : coupe de la partie non filetée du boulon et mesure selon le processus des normes NF A 91.121 et 201.

4.8 - CONCLUSION

Dans les assemblages des éléments d'équipements des ponts (garde-corps et barrières), la tenue à la corrosion de la visserie reste un sujet de préoccupation.

Pour les barrières, l'emploi quasi général de visserie de diamètre supérieur à 9 mm permet d'utiliser la galvanisation, de loin la meilleure solution. Il reste que l'opération de vissage sur chantier, les manipulations, etc. détruit plus ou moins le revêtement de zinc. Il y a, aussi, des épaisseurs de zinc souvent inférieures à celles des pièces avoisinantes. Tout ceci explique les observations fréquentes de corrosion sur la boulonnerie. Pour la petite visserie, les solutions efficaces sont encore à venir même si l'on peut raisonnablement fonder de grands espoirs pour les procédés type Dacromet® ou similaire.

Page laissée blanche intentionnellement

CORROSION PAR COUPLE ÉLECTROCHIMIQUE

LES ACIERS INOXYDABLES ET PATINABLES

5.1 - CORROSION PAR COUPLE ÉLECTROCHIMIQUE

C'est une corrosion de contact qui se produit en milieu aqueux. Si deux parties d'une structure sont de nature différente et forment un couple galvanique, le métal constituant l'anode se corrode.

L'intensité de la corrosion dépend :

- de la différence du potentiel de dissolution des deux surfaces métalliques,
- du rapport des surfaces de la cathode,
- de la conductibilité de l'électrolyse, (voir le fascicule "corniche", § 3.3.4.2),
- de l'insolubilité et de la conductibilité des produits de corrosion.

On maîtrise cette corrosion en supprimant le contact des surfaces et en interposant une rondelle, en élastomère ou en matière plastique genre nylon.

5.2 - ACIERS INOXYDABLES

Une addition de chrome et de nickel en quantité suffisante améliore la résistance à la corrosion d'un acier. En effet, la couche d'oxyde qui se forme à sa surface est très étanche et peut assurer une protection très satisfaisante pour des épaisseurs très faibles, de l'ordre de 0,01 μm . Ces aciers sont dits inoxydables, car la pellicule d'oxyde, trop mince pour être visible, peut se reformer très rapidement au niveau des blessures.

Pour les équipements des ponts, l'acier à 18 % de chrome et 8 à 10 % de nickel, de qualités dites Z 6 CN 18-09 ou Z 10 CN 18-09 dans les

normes ou uniquement 18/8 par simplification, résiste bien en atmosphère courante urbaine et rurale. Dans les sites marins ou industriels, il convient d'utiliser un acier au nickel-chrome-molybdène, des qualités Z 2 CND 17-12 ou Z 6 CND 11.

La présence de la fine pellicule d'oxyde sur les aciers inoxydables diminue fortement l'effet des couples galvaniques qui se forment lorsqu'on met ces matériaux au contact de l'acier galvanisé ou des alliages d'aluminium, mais le risque existe selon certains experts.

Le soudage de ces aciers inoxydables doit se faire avec beaucoup de précautions, car cette opération peut modifier leur structure métallographique et des gouttes de métal fondu peuvent se coller sur les aciers et créer des points d'oxydation.

5.3 - ACIERS PATINABLES

La rouille qui se forme sur les aciers peut être rendue étanche à partir d'une certaine épaisseur, de l'ordre de quelques dixièmes de millimètres. Pour obtenir cette amélioration de la résistance à la corrosion, on introduit dans l'acier de faibles quantités d'éléments tels que le cuivre, le chrome ou le phosphore.

Les aciers obtenus sont dits **patinables**, car une patine apparaît au bout d'une période d'enrouillement léger. Elle protège très convenablement l'acier, lorsque les conditions climatiques et atmosphériques sont convenables et stables. Aucune autre protection n'est alors nécessaire. Par contre si les conditions atmosphériques varient pour une raison ou une autre, la corrosion peut redémarrer.

Leur intérêt dans le domaine des équipements des ponts est quasi nul, d'autant que certaines expériences malheureuses n'incitent pas à les conseiller. Voir la circulaire du 26.09.1985 (D.R. - S.E.T.R.A./DOA) citée en bibliographie.

Lorsque les atmosphères sont trop corrosives (ambiance marine, voire l'environnement autoroutier avec fort salage hivernal), ces aciers se corrodent rapidement.

CONCLUSIONS

A l'issue de ce tour d'horizon sur les systèmes de protection contre la corrosion des équipements de ponts tels que les garde-corps et les barrières de sécurité, nous espérons que les ingénieurs auront mieux saisi la complexité de ces techniques et surtout leur importance tant technique qu'économique, à court terme et à **long terme**, le plus important pour un gestionnaire qui a la charge de l'entretien.

En résumé, on peut penser que l'acier protégé par un dépôt de zinc par galvanisation reste le système le mieux adapté de protection contre la corrosion des équipements de ponts.

Le point important de la garantie de la protection contre la corrosion ne doit pas être dissocié de la garantie de l'équipement lui-même. Nous renvoyons au Fas. 56 et aux commentaires sur ce Fas. 56 donnés dans le § 2.7 du présent texte.

Pour ce qui est de l'aluminium on retiendra son excellente autoprotection dans les conditions climatiques des ponts, et son usage devrait encore se développer car son bilan final est souvent très favorable, bien qu'il soit, actuellement, moins favorable depuis l'apparition des techniques de peintures cuites au four sur support en acier galvanisé.

Les gestionnaires du présent dossier sont à la disposition des lecteurs intéressés pour examiner les difficultés particulières de leur projet, en particulier dans le cas de l'entretien.

BIBLIOGRAPHIE

- Fascicule 56 du C.C.T.G. Protection des ouvrages métalliques contre la corrosion.
Fascicule spécial n° 86-6 bis (Décret n° 86-290 du 25.02.86)
- Circulaire du 26.09.1985 (D.R. - S.E.T.R.A./DOA).
- Bulletin de liaison des Ponts et Chaussées :
 - N° 74 - Les peintures époxydiques et leur emploi pour le revêtement des ouvrages en acier et béton par M^{elle} A. M. SERRES ;
 - N° 87 et 88 - Peintures des ouvrages métalliques.
- Normes :

NF A 35.503	NF A 91.409
NF A 91.102	NF A 91.410
NF A 91.121	NF EN 24624
FD A 91.122	NF ISO 8503.1
XP A 91.201	XP T 30.038 15
XP A 91.402	NF T 30.124 15
NF A 91.403	NF T 36.001
NF A 91.404	NF ISO 8503.1 & 2
NF A 91.406	
NF A 91.408	
- Série T 30 Peintures (3 volumes)
- Publications de l'OTUA : "Protection de la surface de l'acier contre la corrosion atmosphérique" :
 - Tome 1 - Généralités sur les moyens usuels de protection (Mai 1974)
 - Tome 2 - Revêtements métalliques d'usage courant - Action des courants électriques (1981)
 - Tome 3 - Peintures antirouille (Septembre 1976)
- M. R. BENSIMON - Protection contre la corrosion - 3. La métallisation (édition PUF) 1976/2.
- Revêtements des métaux par peinture - Michel Raison - Techniques de l'Ingénieur - M 1505 (1979)
- Protection contre la corrosion des structures métalliques de génie civil (charpentes et câbles) - Annales de l'ITBTP n° 480 et 481 (Janvier et Février 1980)
- Guide des peintures - Y. Balluffier - CETIM
- Guide technique LPC "Remise en peintures des ouvrages métalliques anciens - Échelle d'avivage".
- Durabilité extérieure et protection anticorrosion - EV. Schmid - Librairie des traitements de surface (1985)

- . Décision d'homologation des systèmes A de peinture de type A sur acier décapé et acier galvanisé du 10 Mars 1995.
- . Colloque anticorrosion - Le zinc et l'anticorrosion dans les années 1980 - Peintures en phase aqueuse - Saint Denis - 11/90 - CEFACOR.
- . Peintures et revêtements organiques anticorrosion - Innovation 128 - Avril 1992.
- . Publications : Galvazinc Association.
- . Bulletin Ouvrages d'Art n° 10.

Nous remercions les auteurs des publications citées pour nous avoir autorisé à utiliser largement ces textes dans la rédaction de notre document.

A l'époque de son activité le Centre Technique de l'Aluminium Pechiney tenait à disposition des publications dont certaines sont disponibles pour consultation auprès du gestionnaire. Il s'agissait de brochures portant sur l'anodisation, l'entretien et la peinture de l'aluminium et de ses alliages.

ADRESSES UTILES

SODEXIM SA - Rue Nouvelle - Z.I. - 51140 MUIZON

Tél. : 03.26.02.91.11

TOUZART ET MATIGNON - 8, rue Eugène Henaff - 94400 VITRY/SEINE

Tél. : 01.46.80.85.21

PROMETRON - 108 bis, rue Championnet - 75018 - PARIS

Tél. : 01.42.55.11.41

ADAL - 30, avenue de Messine - 75008 PARIS

Tél. : 01.42.25.26.44.

GALVAZINC ASSOCIATION Maison de la Mécanique - 39-41, rue Louis Blanc - 92400 - COURBEVOIE

Tél. : 01.47.17.68.94 - Télécopie : 01.47.17.68.96

Page laissée blanche intentionnellement

Édition des publications CTOA : Jacqueline THIRION : 01 46 11 34 82

Étude graphique et mise en page : Concept Graphic 45 : 02 38 96 85 64

Ce document est propriété de l'Administration,
il ne pourra être utilisé ou reproduit, même partiellement,
sans l'autorisation du SETRA.

Dépôt légal
ISBN 2 11085796 X

© 1996 SETRA

Page laissée blanche intentionnellement

L'objet du présent document est de traiter de la protection contre la corrosion des équipements latéraux des ponts, notamment des garde-corps et des barrières.

Cet aspect est largement abordé dans de nombreux textes normatifs et réglementaires, aussi il constitue un complément utile en expliquant à l'ingénieur chargé d'un projet de pont ou de l'entretien d'un ouvrage les précautions à prendre, les raisons des choix techniques, les conseils pour choisir une solution de protection contre la corrosion, etc.

La vocation de ce guide à caractère informatif est d'aider à comprendre pour pouvoir prendre les bonnes décisions techniques, afin d'assurer une durabilité satisfaisante de ces parties d'ouvrage.

Si les équipements concernés sont principalement les garde-corps et les barrières de sécurité métallique des ponts, les conseils peuvent être valablement étendus à d'autres équipements métalliques tels que les corniches à bardages métalliques, les équipements de visite (échelles, portes, etc.), les candélabres, certaines parties de joints de chaussée, etc.

* * *

The aim of this document is to address the protection against corrosion of side equipment on bridges, particularly pedestrian parapets and bridge barriers.

This subject is covered at length in many normative and regulatory texts. It thus forms a useful complement for the engineer in charge of a bridge project or maintenance of a structure, by giving the precautions to be taken, the reasons for technical choices, advice on the choice of a solution for protecting against corrosion, etc.

The purpose of this informative handbook is to provide a better understanding of the question so that the right technical decisions can be taken to ensure satisfactory durability of these bridge components.

Although the systems concerned are mainly metal pedestrian parapets and bridge barriers, the advice is also valid for other metal equipment such as cornices with metal boarding form, inspection facilities (ladders, doors, etc.), lighting columns, some parts of expansion joints, etc.

Ce document est disponible sous la référence F 9672
au bureau de vente des publications du SETRA

46, avenue Aristide Briand - BP 100 - 92223 Bagneux Cedex - FRANCE
Tél. : 01 46 11 31 53 - Télécopieur : 01 46 11 31 69 - Télex : 260763 F

Prix de vente : 75 F