



MINISTÈRE DES TRANSPORTS



GUIDE DE CONTRÔLE DE LA QUALITÉ DES PIÈCES GALVANISÉES À CHAUD

Septembre 2021

Cette publication a été réalisée par la Direction du contrôle de la qualité des matériaux et éditée par la Direction générale des communications du ministère des Transports.

Le contenu de cette publication se trouve sur le site Web du Ministère à l'adresse suivante : www.transports.gouv.qc.ca.

Pour obtenir des renseignements, on peut :

- composer le 511 (au Québec) ou le 1 888 355-0511 (partout en Amérique du Nord)
- consulter le site Web du ministère des Transports au www.transports.gouv.qc.ca
- écrire à l'adresse suivante :
Direction des communications
Ministère des Transports
500, boulevard René-Lévesque Ouest, bureau 4.010
Montréal (Québec) H2Z 1W7

© Gouvernement du Québec, ministère des Transports, 2021

ISBN : 978-2-550-89191-8 (PDF)

Dépôt légal – 2021
Bibliothèque et Archives nationales du Québec

Tous droits réservés. Reproduction à des fins commerciales par quelque procédé que ce soit et traduction, même partielles, interdites sans l'autorisation écrite des Publications du Québec.

Remerciements

Cette publication a été réalisée par la Direction du contrôle de la qualité des matériaux (DCQM) du ministère des Transports.

La réalisation de cette publication a été coordonnée par Marjorie Ramirez, en collaboration avec un groupe de travail.

Nous remercions sincèrement les personnes suivantes pour leur contribution :

Denis Audet, Direction des normes et des documents d'ingénierie

Benoît Bergeron, Direction de la gestion des projets routiers

Christian Cantin, Direction de la conception

Anne Pascale Guimond, Direction de la gestion des projets routiers

TABLE DES MATIÈRES

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1. | OBJECTIF | 6 |
| 2. | PRINCIPES ET PROCÉDÉS DE GALVANISATION | 6 |
| 3. | ÉVALUATION DE L'ÉPAISSEUR DE LA COUCHE DE GALVANISATION ^[2, 3, 4, 5, 6] | 8 |
| 3.1 | Définition d'un lot..... | 8 |
| 3.2 | Calibration et vérification des jauges de mesure d'épaisseur de revêtement..... | 9 |
| 3.3 | Facteurs qui peuvent affecter la mesure de l'épaisseur ^[4] | 9 |
| 3.4 | Normes de référence utilisées pour l'évaluation de la qualité de la galvanisation de pièces galvanisées à chaud par immersion ^[3, 4, 5, 6] | 10 |
| 3.4.1 | ASTM A123 « Standard Specification for Zinc (Hot-Dip Galvanized) Coatings on Iron and Steel Products » | 10 |
| 3.4.2 | ASTM A153 « Standard Specification for Zinc Coating (Hot-Dip) on Iron and Steel Hardware » | 14 |
| 4. | ÉVALUATION DE L'ASPECT DE LA GALVANISATION – PRÉSENCE DE ROUILLE BLANCHE | 15 |
| 4.1 | Niveau de dégradation léger | 17 |
| 4.2 | Niveau de dégradation modéré | 19 |
| 4.3 | Niveau de dégradation avancé..... | 21 |
| 5. | ÉVALUATION DES DÉFAUTS DE GALVANISATION ^[10] | 23 |
| 5.1 | Contamination – Taches d'oxyde de fer | 23 |
| 5.2 | Zones d'une épaisseur excessive | 24 |
| 5.3 | Zones non galvanisées | 25 |
| 5.4 | Présence de grosses inclusions de scories..... | 26 |
| 6. | CONCEPTION DES PIÈCES GALVANISÉES ET CONSIDÉRATIONS ESTHÉTIQUES | 27 |
| 7. | RÉFÉRENCES | 28 |

LISTE DE FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure 1. Procédé de galvanisation à chaud ^[1, 2] | 7 |
| Figure 2. Composition typique de la couche de galvanisation à chaud ^[2] | 7 |
| Figure 3. Comportement d'un revêtement à base de zinc en comparaison avec celui d'un revêtement organique ^[2] | 8 |
| Figure 4. Exemples de jauges de mesure d'épaisseur de revêtement | 9 |
| Figure 5. Sections à mesurer (échantillons) sur un échantillon de 100 000 mm ² de surface ou plus ^[4] | 11 |
| Figure 6. Échantillons pour les mesures de l'épaisseur de la galvanisation – Cas des pièces ayant une surface inférieure à 100 000 mm ² ^[4] | 11 |
| Figure 7. Procédure proposée pour obtenir des valeurs moyennes représentatives de l'épaisseur de la galvanisation ^[6] | 14 |
| Figure 8. Aspect de la surface de galvanisation en fonction des conditions d'entreposage | 16 |
| Figure 9. Pièces galvanisées mal entreposées ^[9] | 16 |
| Figure 10. Exemples de bonnes conditions d'entreposage des objets galvanisés ^[9] | 17 |
| Figure 11. Rouille blanche de niveau léger | 18 |
| Figure 12. Rouille blanche de niveau léger | 18 |
| Figure 13. Rouille blanche de niveau modéré | 19 |
| Figure 14. Rouille blanche de niveau modéré | 20 |
| Figure 15. Nettoyage de la surface galvanisée en vue de la mesure de l'épaisseur de la galvanisation sous les dépôts de rouille blanche de niveau modéré | 20 |
| Figure 16. Procédure d'évaluation et de traitement des cas de rouille blanche de niveau modéré | 21 |
| Figure 17. Surface galvanisée présentant de la rouille blanche de niveau avancé | 21 |
| Figure 18. Traitement des cas de rouille blanche de niveau avancé en fonction de l'extension de la surface endommagée | 22 |
| Figure 19. Rouille blanche de niveau avancé | 22 |
| Figure 20. Contamination de la galvanisation | 23 |
| Figure 21. Bris localisé de la couche de galvanisation | 24 |
| Figure 22. Pic de zinc à meuler ^[10] | 25 |
| Figure 23. Zones non galvanisées ^[10] | 25 |
| Figure 24. Petites et grosses inclusions de scories | 26 |
| Figure 25. Grosses inclusions de scories | 26 |

LISTE DE TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau 1. Nombre minimal d'échantillons pris au hasard à partir d'un lot ^[4] | 11 |
| Tableau 2. Épaisseur moyenne minimale de galvanisation requise par épaisseur et catégorie de produit (microns, μm) ^[4] | 12 |
| Tableau 3. Grade d'épaisseur de galvanisation (microns, μm) ^[4] | 13 |
| Tableau 4. Nombre minimal d'échantillons pris au hasard à partir d'un lot ^[8] | 14 |
| Tableau 5. Épaisseur ou masse surfacique de la galvanisation pour différentes classes de matériaux..... | 15 |

1. OBJECTIF

L'objectif de ce guide est de proposer des critères liés aux exigences du *Cahier des charges et devis généraux* (CCDG) pour évaluer la qualité de la galvanisation à chaud par immersion, le tout par rapport aux aspects suivants :

- l'épaisseur de la couche de galvanisation;
- la présence de rouille blanche;
- l'évaluation des défauts de galvanisation.

Ce document s'adresse aux surveillants et à tout le personnel mandaté pour évaluer la qualité de la galvanisation dans le cadre des projets du ministère des Transports :

- lors de la réception des matériaux, à la demande du surveillant;
- dans le contexte de l'inspection de composants en service, à la demande du chargé d'activités du Ministère.

Le personnel qui effectue l'évaluation de la qualité de la galvanisation pour les projets du Ministère est nommé, dans ce document, au moyen du terme *inspecteur*. Ce personnel doit avoir une bonne connaissance des normes présentées dans ce guide.

Certaines des recommandations intégrées dans le présent guide concernent l'étape de la conception de projets.

2. PRINCIPES ET PROCÉDÉS DE GALVANISATION

La galvanisation à chaud des matériaux en acier peut se faire de l'une des deux façons suivantes :

- par immersion, selon la norme ASTM A123 « Standard Specification for Zinc (Hot-Dip Galvanized) Coatings on Iron and Steel Products »;
- par le recours au procédé de galvanisation en continu, selon la norme ASTM A653 « Standard Specification for Steel Sheet, Zinc-Coated (Galvanized) or Zinc-Iron Alloy-Coated (Galvannealed) by the Hot-Dip Process ». Ce procédé est utilisé pour la galvanisation de fils et de feuilles en acier. Le procédé de galvanisation à chaud en continu produit des épaisseurs de revêtement plus faibles que le procédé de galvanisation à chaud par immersion.

Dans le présent guide, seul le procédé de galvanisation par immersion sera abordé, car il s'agit de la méthode la plus couramment indiquée dans les documents contractuels du Ministère.

La galvanisation à chaud par immersion est un procédé selon lequel des pièces en acier ou en fonte sont trempées dans un bain de zinc fondu. Ce traitement comprend une étape de préparation de la surface des pièces à recouvrir (dégraissage et décapage) afin d'éliminer la saleté, la graisse et les oxydes et, de cette façon, d'assurer une bonne adhérence du revêtement au substrat (figure 1).

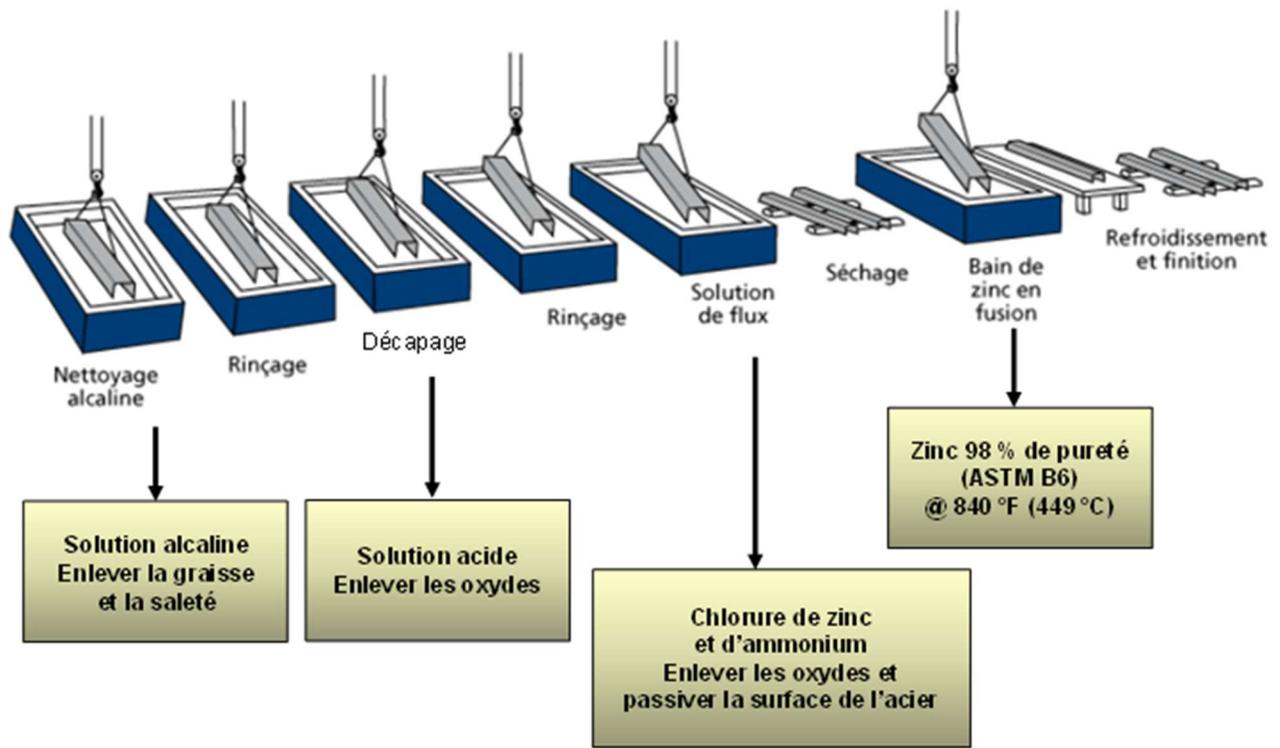


Figure 1. Procédé de galvanisation à chaud^[1, 2]

Lors du trempage du matériau traité dans le bain de zinc, il y a une réaction métallurgique entre le zinc et le fer. Le lien entre le substrat et le zinc est très fort en raison de cette réaction, et le résultat permet d'obtenir une très bonne adhérence du revêtement (figure 2).

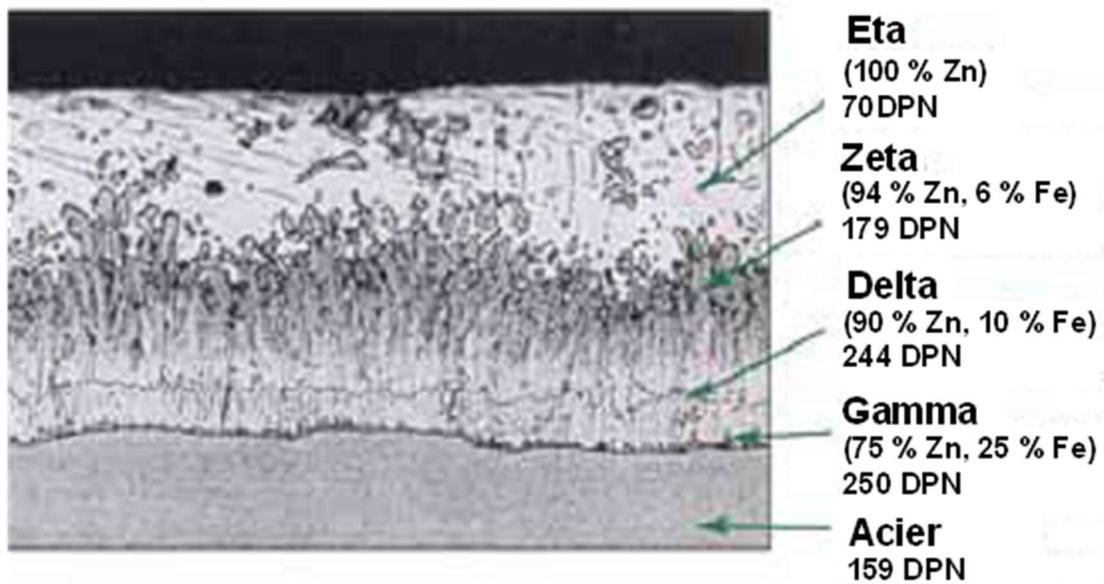


Figure 2. Composition typique de la couche de galvanisation à chaud^[2]

Le degré de protection qu'offre la couche de galvanisation dépend de l'épaisseur du revêtement. Cette dernière est influencée par les facteurs suivants :

- la composition chimique et l'épaisseur de la pièce en acier traité;
- le temps de trempage dans le bain de zinc.

Les pièces galvanisées à chaud sont protégées de la corrosion grâce à deux mécanismes :

- le revêtement agit comme une barrière étanche qui isole le substrat de l'atmosphère corrosive;
- si un défaut est présent dans le revêtement, le zinc de la galvanisation agit comme une anode sacrificielle (protection cathodique, voir la figure 3). Dans le cas d'un revêtement organique, la corrosion de l'acier s'étend en dessous du recouvrement. Dans le cas d'un revêtement à base de zinc, le zinc agit comme une anode sacrificielle : il se consomme et l'acier reste intact.

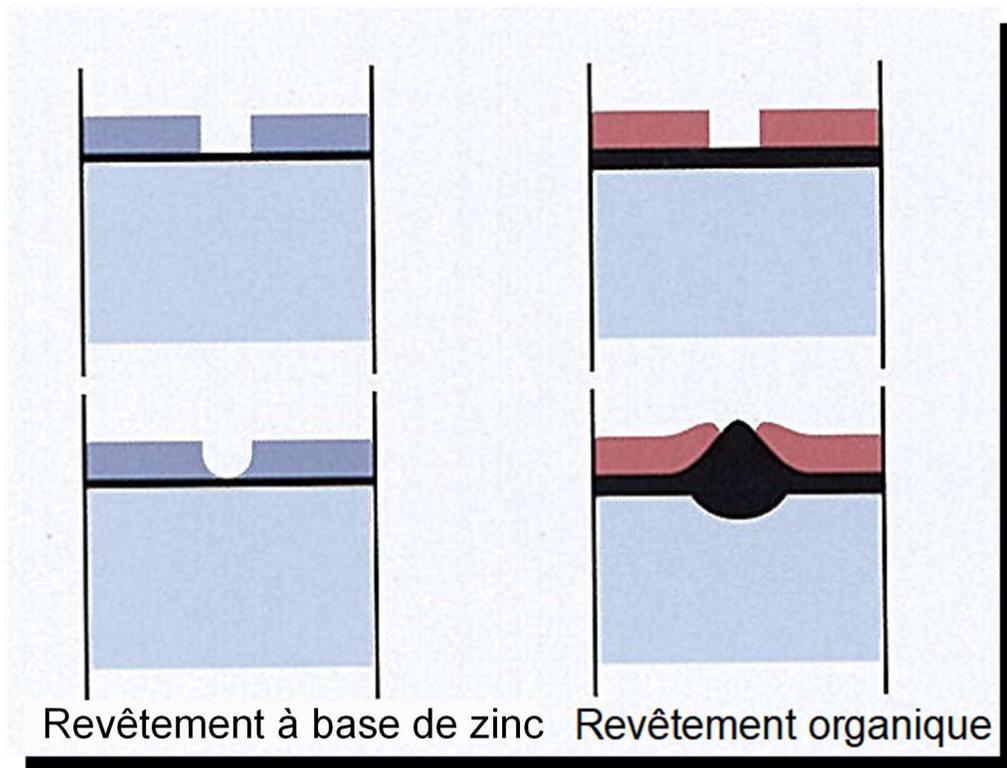


Figure 3. Comportement d'un revêtement à base de zinc en comparaison avec celui d'un revêtement organique^[2]

3. ÉVALUATION DE L'ÉPAISSEUR DE LA COUCHE DE GALVANISATION^[2, 3, 4, 5, 6]

3.1 Définition d'un lot

En général, un lot est défini comme une quantité finie d'un produit dont les conditions de production ont été uniformes. Dans le cas des pièces galvanisées, un lot est composé de matériaux similaires, de composition semblable, recouverts approximativement en même temps et de la même façon.

Il est important de noter que lorsque certains articles galvanisés arrivent au chantier, la notion de lot de chaque groupe de pièces livré ne correspond pas nécessairement à un lot galvanisé à chaud. Les profilés en acier à double ondulation utilisés pour les glissières semi-rigides (GSR) sont un exemple de ce type de situation. Ces matériaux sont livrés en paquets de 50 et peuvent provenir de différents lots de galvanisation. Dans ce cas, compte tenu de la difficulté à établir la traçabilité d'un lot de galvanisation, le lot des pièces à évaluer est défini à partir du lot de production (fabrication).

Quand un suivi de la qualité de la galvanisation est effectué, les mesures d'épaisseur réalisées doivent être représentatives de la condition globale de la section et de la pièce évaluées. Un groupe de pièces ne doit pas être rejeté à cause d'une seule valeur individuelle et ponctuelle.

3.2 Calibration et vérification des jauges de mesure d'épaisseur de revêtement

La jauge utilisée pour mesurer les épaisseurs du revêtement (figure 4) doit être calibrée par le fabricant de l'appareil de mesure ou par le représentant autorisé qui délivre un certificat de calibration. Le laboratoire ou l'organisation qui réalise l'évaluation des pièces galvanisées établit la fréquence de la calibration dans son manuel de qualité.



Figure 4. Exemples de jauges de mesure d'épaisseur de revêtement

Avant de commencer les essais, l'inspecteur doit vérifier le fonctionnement de l'appareil à l'aide de feuilles ou de cales de calibration, selon la procédure indiquée par le fabricant, le tout afin de s'assurer de la bonne performance de l'instrument et de la fiabilité des mesures. Cette vérification doit aussi être effectuée pendant l'évaluation lorsque les essais sont réalisés sur plusieurs pièces.

3.3 Facteurs qui peuvent affecter la mesure de l'épaisseur^[4]

- Saleté : Il est nécessaire de nettoyer la surface avant de mesurer l'épaisseur du revêtement. Cette préparation est faite avec une brosse en acier inoxydable ou du papier sablé 240, en faisant attention de ne pas endommager la couche de galvanisation. La mesure de l'épaisseur du revêtement doit être prise directement sur la couche de galvanisation.

- Effet de bord : Les mesures doivent être prises à au moins 13 mm des bords, des trous ou des coins intérieurs^[4].
- Courbure de l'échantillon : Si la pièce à évaluer présente une courbe très prononcée (p. ex. : s'il s'agit de fils), il est recommandé de faire la calibration sur une cale qui a une géométrie similaire^[4].
- Caractéristiques magnétiques du matériau : Lors de la vérification de la performance de l'instrument de mesure, il est nécessaire d'utiliser une cale qui possède les mêmes caractéristiques magnétiques que le matériau de base dont le revêtement est à évaluer. Dans le cas des pièces en acier galvanisé, la vérification doit être faite au moyen d'une cale en acier (matériau ferreux).
- Rugosité de la surface du substrat : La vérification de la performance de l'appareil de mesure peut être faite au moyen d'une cale lisse ou encore sur un matériau de référence qui possède un profil de rugosité semblable à celui du matériau à évaluer, le tout afin d'obtenir des mesures plus précises qui tiennent compte du profil résultant de la préparation de la surface. Dans le cas de la galvanisation, les cales lisses sont couramment utilisées.
- Utilisateur de l'instrument de mesure : Pour diminuer l'effet de la variabilité de la mesure en fonction de l'utilisateur de l'appareil, la vérification de la performance de l'instrument doit être faite par la personne qui prendra aussi la mesure sur le matériau à évaluer.

3.4 Normes de référence utilisées pour l'évaluation de la qualité de la galvanisation de pièces galvanisées à chaud par immersion^[3, 4, 5, 6]

En fonction de la catégorie de pièces galvanisées, le Ministère recourt à différentes normes dans ses documents contractuels (CCDG, plans et devis types). La présente section décrit les exigences indiquées dans les deux normes les plus utilisées par le Ministère (ASTM A123 et ASTM A153) en ce qui a trait à la vérification de l'épaisseur de la galvanisation.

Il est important de noter que lorsque des normes sont mentionnées dans le présent guide, leur plus récente version constitue la version de référence.

3.4.1 ASTM A123 « Standard Specification for Zinc (Hot-Dip Galvanized) Coatings on Iron and Steel Products »

La norme ASTM A123 couvre les produits en acier fabriqués à partir de profilés, de plaques, de barres et de pièces coulées. La galvanisation des boulons et des autres accessoires de fixation est couverte par la norme ASTM A153, et celle des barres d'armature est traitée dans la norme ASTM A767.

Dans le cas des pièces évaluées selon la norme ASTM A123/A123M (p. ex. : des profilés en acier à double ondulation, des profilés HSS, des plaques ou des poutres), la procédure à appliquer est celle décrite dans les trois sous-sections suivantes.

3.4.1.1 Nombre d'échantillons à évaluer selon la quantité de pièces d'un lot

La norme ASTM A123 établit que l'échantillonnage est fait au hasard, suivant les indications du tableau 1.

Tableau 1. Nombre minimal d'échantillons pris au hasard à partir d'un lot^[4]

| Nombre de pièces d'un lot | Nombre de pièces à évaluer |
|---------------------------|----------------------------|
| 3 ou moins | Toutes les pièces |
| 4 à 500 | 3 |
| 501 à 1 200 | 5 |
| 1 201 à 3 200 | 8 |
| 3 201 à 10 000 | 13 |
| 10 001 et plus | 20 |

3.4.1.2 Zones à évaluer (nombre d'éprouvettes identifiées sur un échantillon)

Si la surface du matériau à évaluer est plus grande que 100 000 mm² (p. ex. : des profilés en acier à double ondulation), l'objet est divisé en trois sections : une à chaque extrémité et une au centre. Chaque section représente une éprouvette (figure 5).

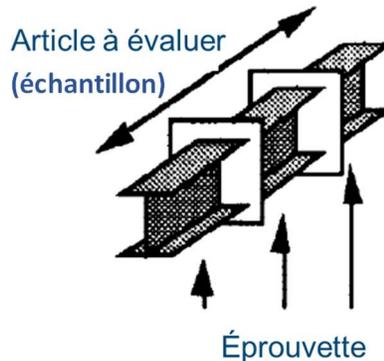


Figure 5. Sections à mesurer (éprouvettes) sur un échantillon de 100 000 mm² de surface ou plus^[4]

Si la surface du matériau à évaluer est inférieure à 100 000 mm², chaque échantillon choisi au hasard correspond à une éprouvette (figure 6).

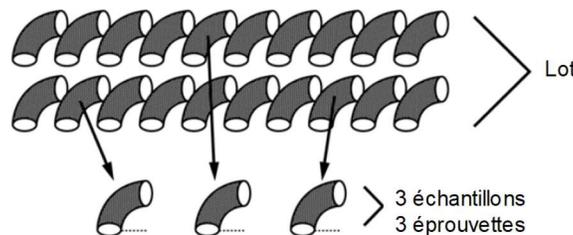


Figure 6. Éprouvettes pour les mesures de l'épaisseur de la galvanisation – Cas des pièces ayant une surface inférieure à 100 000 mm²^[4]

3.4.1.3 Mesures de l'épaisseur

Sur chaque éprouvette, un minimum de cinq mesures de l'épaisseur du revêtement est réalisé. La norme ASTM A123 spécifie la valeur moyenne minimale d'épaisseur de galvanisation que la pièce doit avoir selon la catégorie du produit et selon son épaisseur (tableau 2), ce qui correspond au grade de la galvanisation (tableau 3).

La moyenne des cinq mesures par éprouvette peut avoir un grade de galvanisation inférieur à celui requis et indiqué au tableau 3, mais l'épaisseur moyenne de la galvanisation de la pièce doit être égale ou supérieure à celle indiquée au tableau 2. Par exemple, si l'épaisseur de la galvanisation d'un profilé en acier à double ondulation est mesurée, l'épaisseur minimale pour cette catégorie de matériau est de 65 microns, et l'épaisseur pour la catégorie inférieure immédiate est de 60 microns. De cette façon, il est acceptable que des sections du profilé aient une épaisseur moyenne de 60 microns minimum, mais l'épaisseur moyenne du revêtement de l'objet (la moyenne des mesures des trois sections) doit être égale ou supérieure à 65 microns.

Tableau 2. Épaisseur moyenne minimale de galvanisation requise par épaisseur et catégorie de produit (microns, μm)^[4]

| Catégorie de matériau | Pour toutes les éprouvettes évaluées Plage d'épaisseurs des pièces en acier, po (mm) | | | | | |
|-----------------------|---|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|----------|
| | < 1/16 | ≥ 1/16 à < 1/8 | ≥ 1/8 à < 3/16 | ≥ 3/16 à < 1/4 | ≥ 1/4 à < 5/8 | ≥ 5/8 |
| | (< 1,6) | (≥ 1,6 à < 3,2) | (≥ 3,2 à < 4,8) | (≥ 4,8 à < 6,4) | (≥ 6,4 à < 16,0) | (≥ 16,0) |
| Profilés structuraux | 45 | 65 | 75 | 75 | 100 | 100 |
| Feuilles et barres | 45 | 65 | 75 | 75 | 75 | 100 |
| Plaques | 45 | 65 | 75 | 75 | 75 | 100 |
| Tuyaux | 45 | 45 | 75 | 75 | 75 | 75 |
| Fils | 35 | 50 | 60 | 65 | 80 | 80 |
| Barres d'armature* | - | - | - | - | 100 | 100 |

* La norme ASTM A123 inclut les barres d'armature lorsqu'elles font partie d'un assemblage à galvaniser. Lorsque les barres d'armature sont galvanisées séparément, la galvanisation est encadrée par la norme ASTM A767.

Tableau 3. Grade d'épaisseur de galvanisation (microns, μm)^[4]

| Grade du revêtement | Millièmes de po | oz/pi ² | μm | g/m ² |
|---------------------|-----------------|--------------------|---------------|------------------|
| 35 | 1,4 | 0,8 | 35 | 245 |
| 45 | 1,8 | 1,0 | 45 | 320 |
| 50 | 2,0 | 1,2 | 50 | 355 |
| 55 | 2,2 | 1,3 | 55 | 390 |
| 60 | 2,4 | 1,4 | 60 | 425 |
| 65 | 2,6 | 1,5 | 65 | 460 |
| 75 | 3,0 | 1,7 | 75 | 530 |
| 80 | 3,1 | 1,9 | 80 | 565 |
| 85 | 3,3 | 2,0 | 85 | 600 |
| 100 | 3,9 | 2,3 | 100 | 705 |

Il est important de remarquer que l'évaluation de l'épaisseur du revêtement doit être représentative de l'état de la galvanisation. Parfois, des mesures anormalement basses ou élevées sont obtenues, et elles pourraient être le produit d'une erreur de l'appareil ou d'une erreur de procédure. Pour cette raison, l'inspecteur doit s'assurer que les mesures sont reproductibles et représentatives de la zone analysée. En cas de doute sur la conformité de l'épaisseur de la galvanisation, il est possible d'effectuer plus de cinq mesures sur une éprouvette afin d'avoir plus de données pour le calcul de l'épaisseur moyenne. La procédure proposée pour ce faire est indiquée dans la figure 7. Sur une région d'environ 40 mm, trois lectures d'épaisseur sont effectuées, et la moyenne des trois valeurs représente l'un des cinq points de l'éprouvette. Ainsi, la moyenne de 15 valeurs est obtenue plutôt que la moyenne de 5. Il est à noter que la valeur de 40 mm de diamètre est approximative, l'idée étant d'obtenir des valeurs représentatives d'une petite surface de la galvanisation.

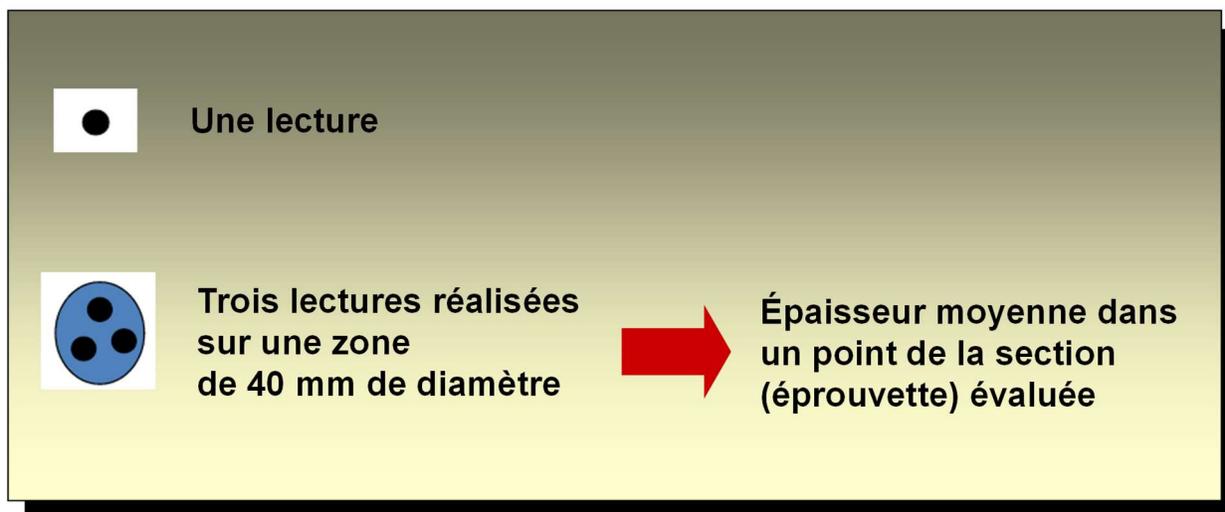


Figure 7. Procédure proposée pour obtenir des valeurs moyennes représentatives de l'épaisseur de la galvanisation^[6]

3.4.2 ASTM A153 « Standard Specification for Zinc Coating (Hot-Dip) on Iron and Steel Hardware »

La norme ASTM A153 est applicable aux pièces de fixation (boulons, écrous, rondelles, entre autres). La galvanisation est réalisée en trempant les pièces dans un bain de zinc, puis en les centrifugeant pour éliminer l'excédent de zinc qui pourrait nuire à leur fonctionnalité.

La norme ASTM A153 établit que l'échantillonnage est fait au hasard, selon les indications du tableau 4.

La méthode de travail utilisée pour mesurer les épaisseurs de galvanisation des pièces dont il a été question à l'article 3.4.1 est applicable pour l'évaluation des matériaux couverts par la norme ASTM A153.

Tableau 4. Nombre minimal d'échantillons pris au hasard à partir d'un lot^[8]

| Nombre de pièces du lot | Nombre d'échantillons |
|-------------------------|-----------------------|
| 3 ou moins | Toutes les pièces |
| 4 à 500 | 3 |
| 501 à 1 200 | 5 |
| 1 201 à 3 200 | 8 |
| 3 201 à 10 000 | 13 |
| 10 001 et plus | 20 |

La masse surfacique de zinc (obtenue par dissolution selon la méthode de la norme ASTM A90) ou l'épaisseur moyenne minimale obtenue à partir d'au moins cinq points de lecture, selon le cas, doit être conforme à ce qui est indiqué au tableau 5.

Tableau 5. Épaisseur ou masse surfacique de la galvanisation pour différentes classes de matériaux

| Classe de matériau | Masse surfacique min., g/m ² (oz/pi ²) | | Épaisseur minimale, microns (millièmes de po) | |
|--|--|---|---|---|
| | Moyenne des échantillons testés | Valeur individuelle pour chaque échantillon | Moyenne des échantillons testés | Épaisseur individuelle des échantillons |
| A – Pièces moulées – Fer malléable, acier | 610 (2,00) | 550 (1,80) | 86 (3,4) | 79 (3,1) |
| B – Articles roulés, estampés ou forgés, sauf ceux qui peuvent être inclus dans les classes C et D | | | | |
| B-1 – Épaisseur de 15,8 mm (5/8 po) ou plus, et longueur de plus de 381 mm (15 po) | 610 (2,00) | 550 (1,80) | 86 (3,4) | 79 (3,1) |
| B2 – Épaisseur de moins de 15,8 mm (5/8 po), et longueur de plus de 381 mm (15 po) | 458 (1,50) | 381 (1,25) | 66 (2,6) | 53 (2,1) |
| B3 – Longueur de 381 mm (15 po) ou moins, toutes les épaisseurs | 397 (1,30) | 336 (1,10) | 56 (2,2) | 48 (1,9) |
| C – Pièces de fixation de plus de 9,52 mm (3/8 po) de diamètre – Rondelles de 4,76 mm (3/16 po) ou plus d'épaisseur | 381 (1,25) | 305 (1,00) | 53 (2,1) | 43 (1,7) |
| D – Pièces de fixation de 9,52 mm (3/8 po) de diamètre ou moins, rivets et articles similaires – Rondelles de moins de 4,76 mm (3/16 po) d'épaisseur | 305 (1,00) | 259 (0,85) | 43 (1,7) | 36 (1,4) |

4 ÉVALUATION DE L'ASPECT DE LA GALVANISATION – PRÉSENCE DE ROUILLE BLANCHE

Quand les pièces galvanisées à chaud sont en contact avec l'air, le dioxyde de carbone (CO₂) et l'oxygène présents dans l'air réagissent avec le zinc de la couche de galvanisation pour former un film de carbonate de zinc protecteur (ZnCO₃) (figure 8).

Cependant, si ces pièces sont mal entreposées, l'eau peut s'accumuler autour des espaces clos créés entre les matériaux, et la circulation de l'air entre les pièces peut être limitée. De cette manière, les conditions sont propices à la formation d'une couche de dépôts non protectrice composée d'oxyde et d'hydroxyde de zinc (figure 8). La conséquence est la réduction de la durabilité du revêtement. Le niveau de dégradation atteint dépendra des conditions d'entreposage et du temps durant lequel les pièces sont exposées à ces conditions.

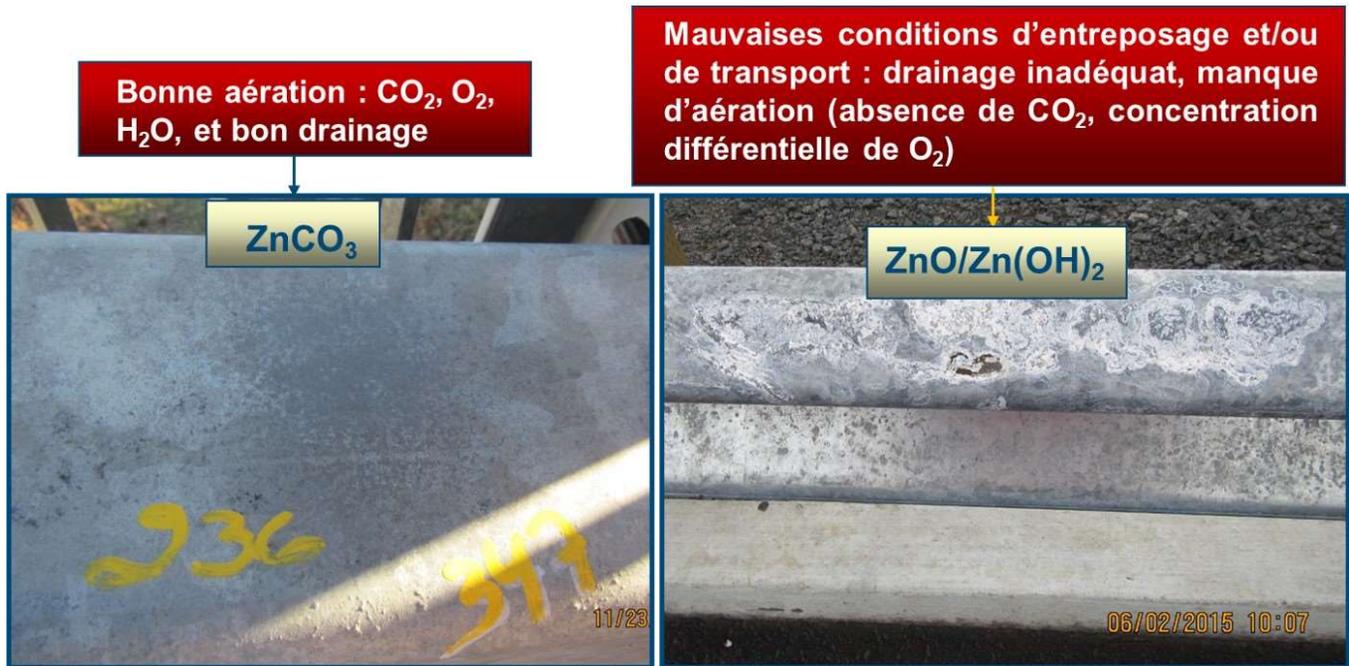


Figure 8. Aspect de la surface de galvanisation en fonction des conditions d'entreposage

La figure 9 montre un exemple d'un lot de profilés en acier à double ondulation mal entreposés, tandis que la figure 10 présente des exemples de bonnes conditions d'entreposage d'objets galvanisés : les pièces sont séparées du sol, écartées les unes des autres à l'aide de matériaux non conducteurs, et l'angle d'inclinaison des matériaux peut varier de 10° à 15° ou être de 5 mm par mètre de longueur^[9].



Figure 9. Pièces galvanisées mal entreposées^[9]

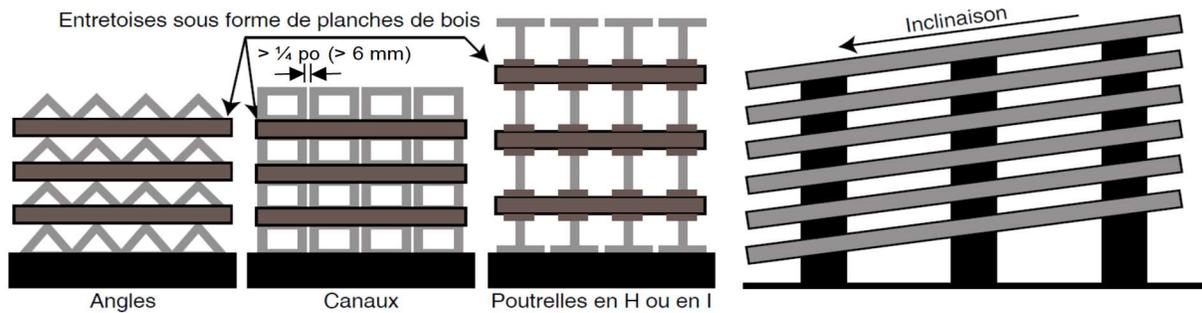


Figure 10. Exemples de bonnes conditions d'entreposage des objets galvanisés^[9]

Afin de prévenir la formation de rouille blanche, il est donc important de s'assurer que les pièces galvanisées sont bien entreposées (chez le fabricant, chez l'entrepreneur et en chantier), c'est-à-dire avec un bon drainage et une bonne aération. Il est requis de ne pas envelopper les pièces galvanisées avec des matériaux tels que des membranes qui pourraient être non étanches ou présenter des défauts (p. ex. : des déchirures, de la dégradation par la lumière), l'objectif étant d'éviter l'entrée continue d'eau et une accumulation sans possibilité de drainage adéquat.

Lorsque la rouille blanche est déjà formée, le degré d'endommagement de la couche de galvanisation peut être évalué. Pour ce faire, une inspection visuelle est réalisée afin de déterminer le niveau de dégradation, puis l'épaisseur du revêtement est mesurée selon la méthode présentée dans les sections suivantes.

4.1 Niveau de dégradation léger

La dégradation est légère lorsqu'il y a présence de dépôts blancs en surface (figures 11 et 12). Dans ce cas, le matériau est considéré comme acceptable et aucune action ne doit être prise.



Figure 11. Rouille blanche de niveau léger



Figure 12. Rouille blanche de niveau léger

4.2 Niveau de dégradation modéré

La dégradation est modérée lorsqu'il y a présence de taches blanches qui peuvent devenir gris foncé ou noires (figures 13 et 14). Dans ce cas, l'épaisseur de la couche de galvanisation sous les dépôts est mesurée pour déterminer si elle est conforme à la valeur minimale exigée.

Si les objets sont mouillés, il est nécessaire de les laisser sécher. Ultérieurement, une section de la surface inspectée doit être nettoyée avec une brosse en acier inoxydable ou du papier sablé 240 pour éliminer les dépôts. Lorsque ce nettoyage est fait, il faut faire attention de ne pas endommager la couche de galvanisation (figure 15).

L'épaisseur de la couche de galvanisation est ensuite mesurée sur la zone nettoyée. Si l'épaisseur est conforme à la valeur minimale exigée dans la norme ASTM A123, la pièce est acceptée.

Les pièces présentant de la rouille blanche de niveau modéré, qui ont une épaisseur conforme et dont le processus de dégradation a été arrêté (installation des matériaux sur le réseau ou correction des mauvaises conditions d'entreposage) ne requièrent pas de nettoyage visant à préserver l'intégrité du revêtement. Toutefois, si cela est requis par le surveillant, l'entrepreneur pourra nettoyer légèrement la surface, à l'aide de papier sablé 240, pour éliminer les dépôts. Lorsque le surveillant demande une action de nettoyage, celle-ci peut seulement avoir lieu au printemps ou à l'été.

S'il est constaté que l'épaisseur n'est pas conforme sur une surface relativement petite (voir les articles 15.14.2.2.4 et 18.5.3.8 du CCDG), la zone défectueuse peut être réparée avec deux couches d'un enduit riche en zinc qui a une teneur minimale de zinc de 87 % dans le film sec. L'enduit doit être appliqué au pinceau, les enduits riches en zinc en aérosol n'étant pas acceptés par le Ministère.

Si l'épaisseur mesurée dans la zone affectée par la rouille blanche est non conforme sur une surface qui dépasse les limites établies aux articles 15.14.2.2.4 et 18.5.3.8 du CCDG, le revêtement de la pièce évaluée est considéré comme étant non conforme. Dans cette situation, et dans le cas des éléments de glissement de glissières (profilés en acier à double ondulation et tubes d'acier), la pièce doit être remplacée ou regalvanisée. Dans le cas des structures et des glissières de ponts, la zone où l'épaisseur de galvanisation est non conforme doit être réparée par métallisation, ou la pièce doit être regalvanisée ou remplacée.



Figure 13. Rouille blanche de niveau modéré



Figure 14. Rouille blanche de niveau modéré



Figure 15. Nettoyage de la surface galvanisée en vue de la mesure de l'épaisseur de la galvanisation sous les dépôts de rouille blanche de niveau modéré

La figure 16 présente un résumé de la procédure décrite dans les paragraphes précédents.

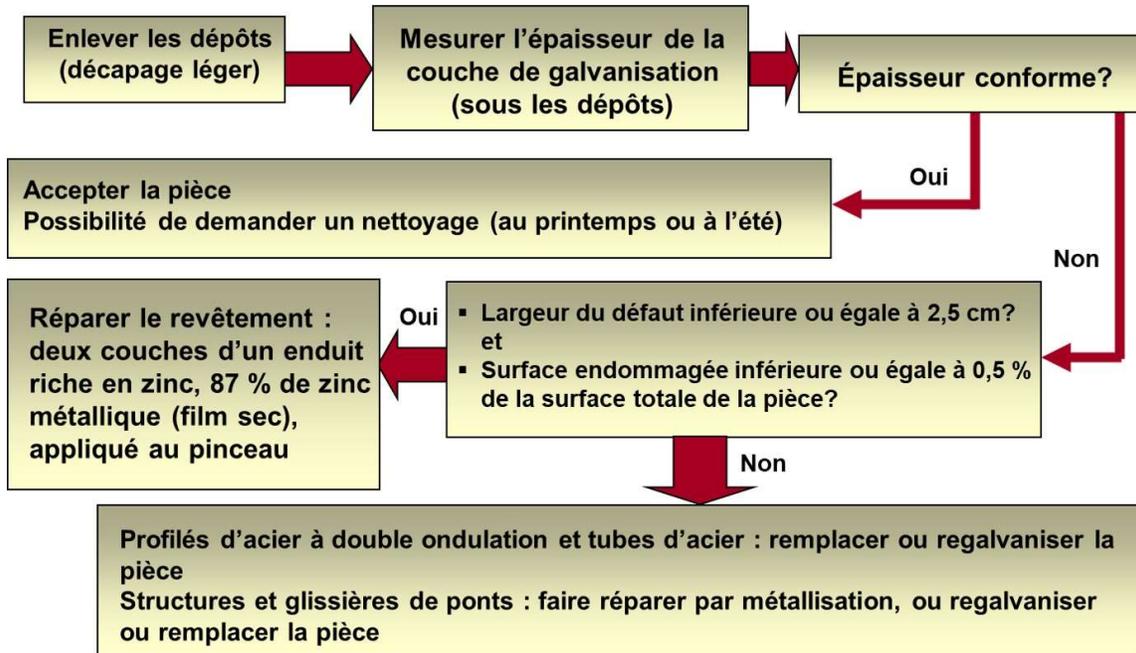


Figure 16. Procédure d'évaluation et de traitement des cas de rouille blanche de niveau modéré

4.3 Niveau de dégradation avancé

Si la dégradation est avancée, en plus de la présence de dépôts blancs volumineux, des taches rouges (oxydes de fer), produites par la corrosion de l'acier, sont observables, car la couche de galvanisation a été complètement consommée sur les zones affectées (figure 17).



Figure 17. Surface galvanisée présentant de la rouille blanche de niveau avancé
Les pièces qui présentent cette condition sont rejetées, le tout suivant le schéma de prise de décision proposé à la figure 18

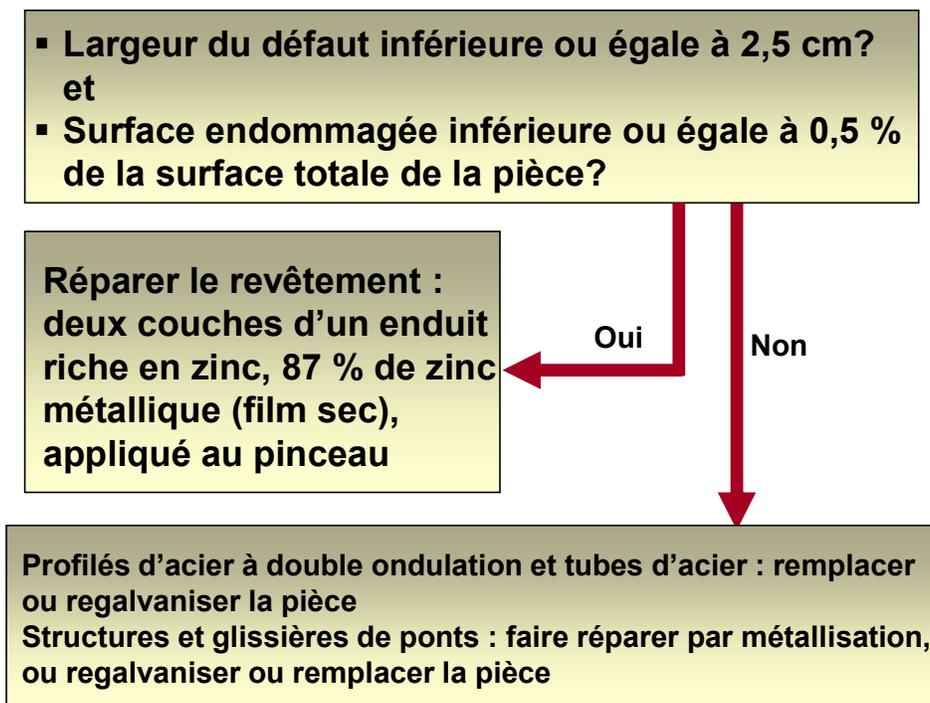


Figure 18. Traitement des cas de rouille blanche de niveau avancé en fonction de l'étendue de la surface endommagée

La figure 19 montre des boulons présentant de la rouille blanche associée à un niveau de dégradation avancé (présence de taches rouges). Les boulons doivent être entreposés dans des contenants fermés. Lorsqu'ils présentent des dépôts de rouille blanche, indépendamment du niveau de dégradation (léger, modéré ou avancé), ils doivent être mis de côté parce que la présence d'oxydes est un signe d'un manque de lubrification, ce qui pourrait avoir une incidence sur le comportement des boulons lors du serrage.



Figure 19. Boulons présentant de la rouille blanche de niveau avancé

Il est important que le surveillant réalise une inspection visuelle des pièces reçues pour s'assurer que le revêtement est conforme aux exigences des documents contractuels.

Si le délai entre la date de la galvanisation et la date de l'installation des profilés en acier à double ondulation a respecté les exigences de l'article 18.5.1.3 du CCDG et si, au moment de l'installation des profilés, il n'y a pas de rouille blanche, le galvaniseur et l'entrepreneur ne peuvent pas être tenus responsables de l'état de la galvanisation observé après la mise en service.

5. ÉVALUATION DES DÉFAUTS DE GALVANISATION^[10]

Cette section couvre d'autres catégories de défauts et des caractéristiques qui peuvent être remarquées sur la galvanisation. Parmi ces défauts observés, certains sont considérés comme rejetables selon la norme ASTM A123 et d'autres, comme acceptables parce qu'en général, les auteurs de cette norme estiment que ces défauts n'affectent pas la performance du revêtement à titre de protection contre la corrosion.

5.1 Contamination – Taches d'oxyde de fer

L'oxyde observé sur la surface (figure 20) provient d'une contamination externe, soit du dépôt de particules de fer qui s'oxydent sur la surface du revêtement, et non de la corrosion de l'acier de la pièce. Lorsque la surface est légèrement nettoyée avec une brosse en acier inoxydable ou du papier sablé 240, si les taches partent et que l'aspect brillant de la galvanisation devient observable, ces taches correspondent à la présence de particules étrangères déposées sur la couche de galvanisation.

Pour prévenir cette situation, il est recommandé de séparer les pièces galvanisées des objets en acier noir.

Si la contamination se produit, un nettoyage léger des surfaces contaminées peut être réalisé pour éliminer les taches, le tout en faisant attention de ne pas endommager la couche de galvanisation.



Figure 20. Contamination de la galvanisation

5.2 Zones d'une épaisseur excessive

Des zones d'une épaisseur excessive peuvent se former sur des sections de la pièce qui réagissent le plus avec le zinc, par exemple les cordons de soudure. La protection contre la corrosion augmente avec l'épaisseur de la couche de galvanisation. Cependant, si la couche de galvanisation est trop épaisse, elle peut être fragile, et il est possible qu'elle soit brisée en présence d'un impact, par exemple lors de sa manipulation ou du transport (figure 21). Le bris observé sur le revêtement doit alors être réparé selon les exigences des articles 15.14.2.2.4 et 18.5.3.8 du CCDG.

Il est important de noter qu'une épaisseur excessive de galvanisation n'est pas considérée comme une cause de rejet, sauf si elle nuit à la performance de la pièce touchée (p. ex. : un excès de zinc dans les filets des boulons) ou si cet excès de zinc peut blesser des personnes qui entrent en contact avec la pièce (figure 22). Dans ces deux cas, le galvaniseur doit éliminer l'excès de zinc.



Figure 21. Bris localisé de la couche de galvanisation

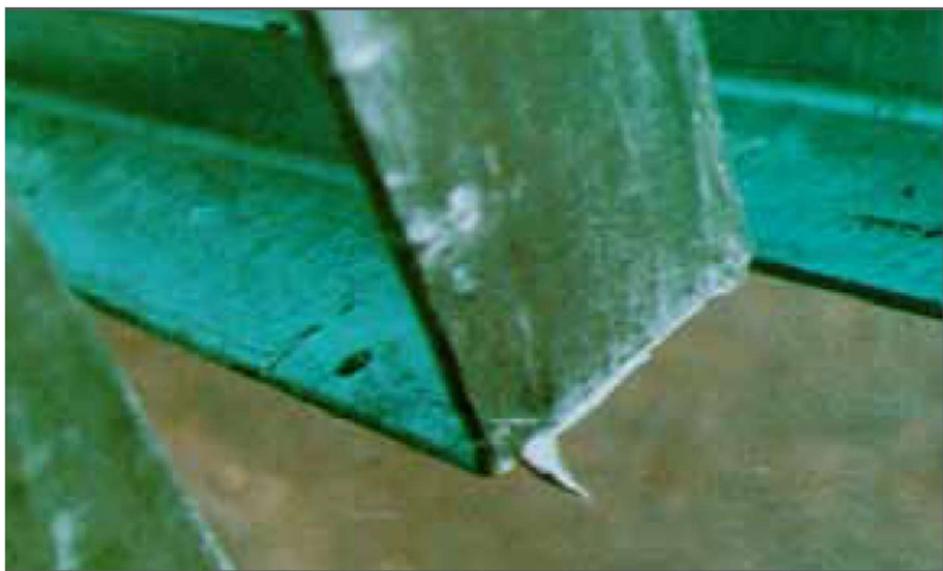


Figure 22. Pic de zinc à meuler^[10]

5.3 Zones non galvanisées

La raison expliquant la présence de zones non revêtues est liée à une préparation inadéquate de la surface de la pièce. Le galvaniseur doit s'assurer que la surface de la pièce est propre et sans oxydes avant de la tremper dans le bain de zinc. Des zones non galvanisées (figure 23) sont un défaut rejetable qui doit être traité chez le galvaniseur avant la livraison des matériaux galvanisés.

Si ce type de défaut est observé lors de la réception des pièces, il doit être traité selon les exigences des articles 15.14.2.2.4 et 18.5.3.8 du CCDG.



Figure 23. Zones non galvanisées^[10]

5.4 Présence de grosses inclusions de scories

Les inclusions de scories sont des particules formées de composés intermétalliques Zn-Fe présents dans le bain de zinc. Ces particules peuvent être agglomérées et encapsulées dans la couche de galvanisation. Si les particules sont petites et uniformément distribuées dans le revêtement, leur présence est acceptable (figure 24). Par contre, si les inclusions sont relativement grosses (figures 24 et 25), elles doivent être éliminées, et la zone nue laissée par l'inclusion doit être réparée selon les exigences des articles 15.14.2.2.4 et 18.5.3.8 du CCDG.

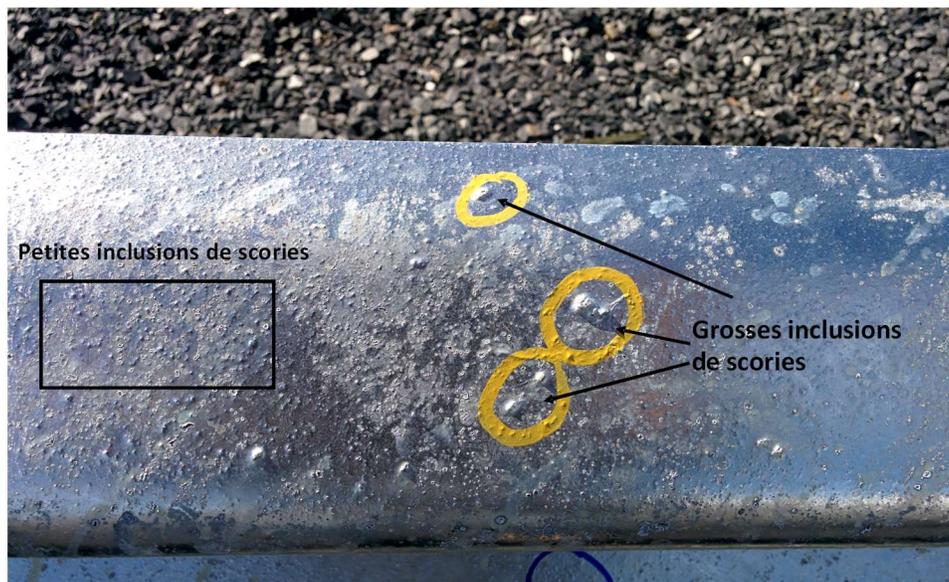


Figure 24. Petites et grosses inclusions de scories



Figure 25. Grosses inclusions de scories

6. CONCEPTION DES PIÈCES GALVANISÉES ET CONSIDÉRATIONS ESTHÉTIQUES

La norme ASTM A123 ne tient pas compte des aspects esthétiques souhaités par le propriétaire de l'ouvrage et aborde uniquement les facteurs qui touchent la performance du revêtement à titre de couche de protection contre la corrosion de l'acier. Si un haut niveau de qualité esthétique est requis dans le cadre d'un projet en particulier (p. ex. : des structures architecturales), des exigences spécifiques doivent être intégrées au devis technique. Également, il est fortement recommandé d'informer le galvaniseur de ces exigences dès les premières étapes du projet.

Lors de la conception des produits en acier galvanisé, le concepteur doit tenir compte des normes ASTM A385 « Standard Practice for Providing High-Quality Zinc Coatings (Hot-Dip) » et ASTM A384 « Standard Practice for Safeguarding Against Warpage and Distortion During Hot-Dip Galvanizing of Steel Assemblies ». Ces deux normes décrivent les conséquences du processus de fabrication sur la qualité de la galvanisation et sur l'intégrité des pièces, et indiquent également les mesures à prendre, à l'étape de la conception, pour éviter des problèmes lors de la galvanisation.

Il est important de noter que, dans le cas d'une contradiction entre ce qui est prescrit dans les documents de référence concernant la qualité de la galvanisation et ce qu'indiquent les exigences de conception de la norme CSA S6 « Code canadien sur le calcul des ponts routiers », c'est cette dernière qui a préséance, et une discussion entre le concepteur et le galvaniseur est recommandée afin d'en arriver à un compromis.

Dans le cas des pièces galvanisées qui doivent être peinturées, la préparation de la surface de galvanisation doit être effectuée en conformité avec la norme ASTM D6386 « Standard Practice for Preparation of Zinc (Hot-Dip Galvanized) Coated Iron and Steel Product and Hardware Surfaces for Painting » en vue d'obtenir une bonne adhérence entre la peinture et la galvanisation sans endommager la couche de galvanisation. Comme indiqué à l'article 15.14.4.3.1 du CCDG, il est nécessaire d'utiliser un abrasif d'une dureté moyenne à faible pour éviter d'endommager le revêtement de zinc.

7. RÉFÉRENCES

1. GALVANIZER'S ASSOCIATION. *The Engineers & Architects' Guide: Hot Dip Galvanizing*, Sutton Coldfield, Royaume-Uni
<http://galco.ie/wp-content/uploads/2016/09/Engineers-and-Architects-Guide-to-Galvanizing.pdf>
2. AMERICAN GALVANIZERS ASSOCIATION (AGA). *Hot Dip Galvanizing for Corrosion Protection: A Specifier's Guide*.
<https://galvanizeit.org/education-and-resources/publications/download/hot-dip-galvanizing-for-corrosion-protection-a-specifiers-guide-2012>
3. GOUVERNEMENT DU QUÉBEC. *Cahier des charges et devis généraux*, ministère des Transports du Québec 2020.
4. ASTM INTERNATIONAL. « Standard Specification for Zinc (Hot-Dip Galvanized) Coatings on Iron and Steel Products », 2017 (ASTM A123/A123M – 17).
5. ASTM INTERNATIONAL. « Standard Practice for Measuring Coating Thickness by Magnetic-Field or Eddy-Current (Electromagnetic) Testing Methods », 2019 (ASTM E376 – 19).
6. SSPC : THE SOCIETY FOR PROTECTIVE COATINGS, « SSPC-PA 2 Basics ».
<https://www.naylornetwork.com/sspc-nwl/articles/index.asp?aid=481274&issueID=61851>
7. ASTM INTERNATIONAL. « Standard Terminology Relating to Metallic Coated Steel Products », 2018 (ASTM A902 – 18a).
8. ASTM INTERNATIONAL. « Standard Specification for Zinc Coating (Hot-Dip) on Iron and Steel Hardware », 2016 (ASTM A153/A153M – 16a).
9. AMERICAN GALVANIZERS ASSOCIATION (AGA). *Les taches de stockage humide*, 2014.
<https://galvanizeit.org/education-and-resources/publications/les-taches-de-stockage-humide>
10. AMERICAN GALVANIZERS ASSOCIATION (AGA). *The Inspection of Hot-Dip Galvanized Products*, 2016.
<https://galvanizeit.org/education-and-resources/publications/download/inspection-of-hot-dip-galvanized-steel-products-2011>
11. RAHRIG, Philip G. et KRZYWICKI, John. « Specifying and Detailing for Hot-Dip Galvanizing. An Overview for Engineers, Architects, and Detailers », *Modern Steel Construction*, 2005.
<https://www.aisc.org/globalassets/continuing-education/quiz-handouts/specifying-and-detailing-for-hot-dip-galvanizing-article.pdf>
12. ASTM INTERNATIONAL. « Standard Practice for Providing High-Quality Zinc Coatings (Hot-Dip) », 2020 (ASTM A385/A385M – 20).
13. ASTM INTERNATIONAL. « Standard Practice for Safeguarding Against Warpage and Distortion During Hot-Dip Galvanizing of Steel Assemblies », 2019 (ASTM A384/A384M – 07 Reapproval 2019).
14. ASTM INTERNATIONAL. « Standard Practice for Preparation of Zinc (Hot-Dip Galvanized) Coated Iron and Steel Product and Hardware Surfaces for Painting », 2016 (ASTM D6386 – 16a).

