

Chers lecteurs,

Cette version téléchargeable du guide est à diffusion restreinte, réservée aux adhérents et aux partenaires de l'Union des métalliers.

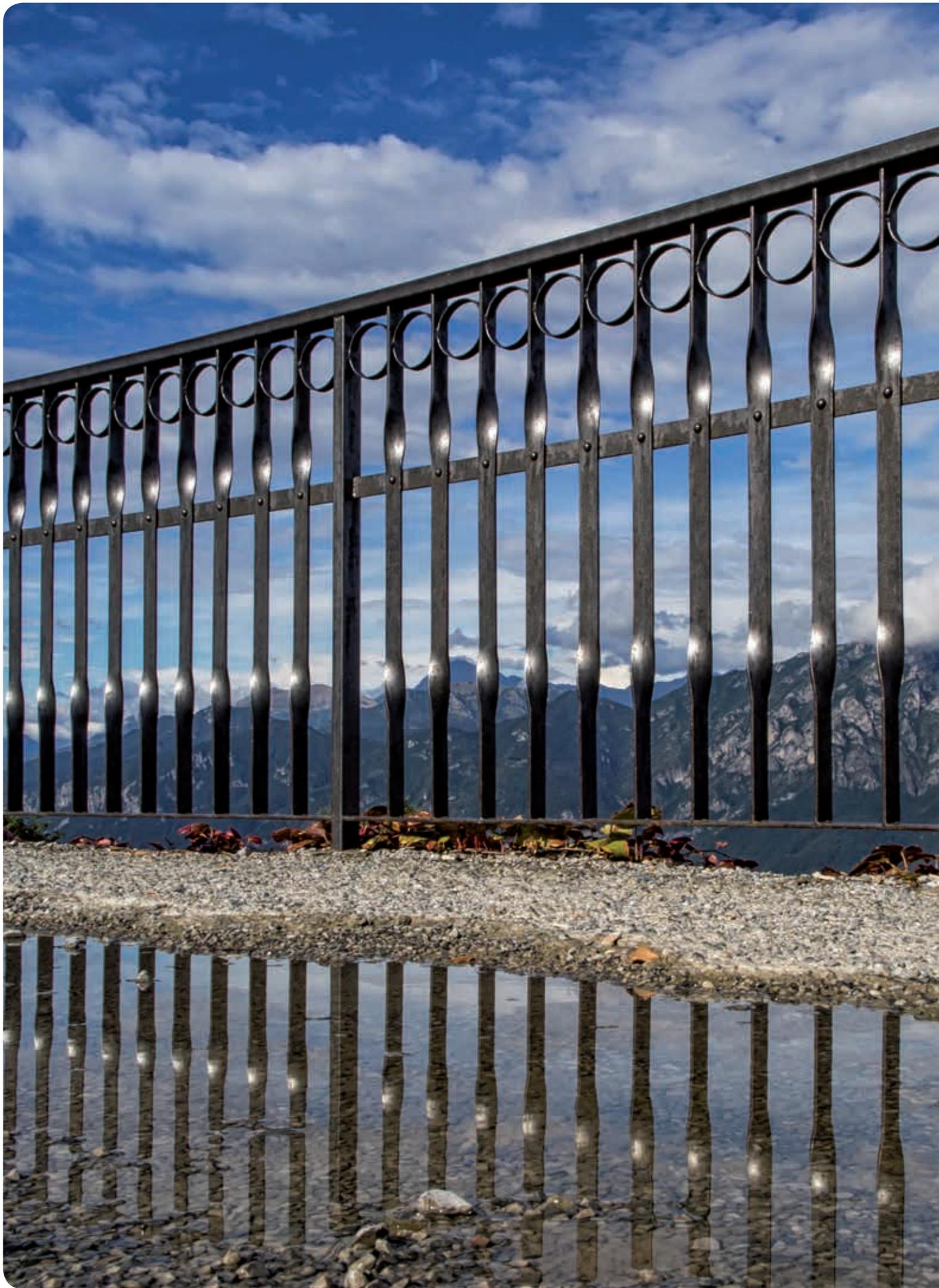
Nous vous remercions de ne pas la diffuser sans notre autorisation.

Merci de votre compréhension.

# PROTECTION ET FINITION DES ACIERS

*Recommandations aux Métalliers pour la mise en œuvre des traitements de surface*





## Mots des Présidents

L'acier rayonne de plus en plus dans le monde de la construction. Il peut mettre en avant ses nombreux atouts tels que sa résistance mécanique, sa finesse, sa recyclabilité et son adaptabilité à toutes formes d'ouvrages, venant répondre aux demandes des donneurs d'ordre avec précision. Et pour assurer sa pérennité, l'acier a « fusionné » avec des techniques de traitements anticorrosion performants tout en proposant des esthétiques d'exception. Le travail des Métalliers a lui aussi fusionné avec les compétences des experts du traitement de surface. Fruit d'une collaboration efficace, nous sommes ravis de vous présenter le nouveau référentiel dédié à la protection et la finition des aciers, à destination des Métalliers, des donneurs d'ordre et des maîtres d'ouvrage.

Cet ouvrage fournit un réel accompagnement aux Métalliers, en prodiguant des conseils et des recommandations liés à la prescription, au choix des systèmes de protection adéquats ainsi qu'à la conception et à la fabrication. C'est ce qui en fait un document de référence pour toute la profession, qui répondra aux attentes des professionnels les plus exigeants. Ce guide technique complète harmonieusement la collection de l'Union tels que les carnets d'atelier « *La Galvanisation – Conseils pratiques* » et « *Le Thermolaquage – Conseils pratiques* ».

Cette collection n'aurait pu voir le jour sans l'implication des professionnels du Groupe de Travail (GT3) de l'Union des Métalliers, fidèlement géré par Monsieur **Daniel Clouet** que nous tenons à remercier chaleureusement.

**Benoît Loison**

Président de l'Union des Métalliers



**Christophe Bonhomme**

Président de la Commission Technique



## Remerciements

La réalisation de ce guide technique n'aurait pu se faire sans la participation dévouée des Métalliers membres du groupe « **Traitements de surface** » et des experts partenaires de l'Union. Je salue ainsi l'ensemble des professionnels qui m'ont entouré pour l'élaboration de cet ouvrage, pour leur contribution active et leur expertise reconnue :

**Jérémy Blanche** – Métallerie de l'Authion

**Marc Hédoux** – Métallerie Hedoux

**Serge Ganche** – Akzonobel (*partenaire de l'Union des Métalliers*)

**Arnaud Zédet** – Groupe PRESTIA (*partenaire de l'Union des Métalliers*)

**Jean-Robert Hudin** – Protech Oxyplast (*partenaire de l'Union des Métalliers*)

**Cédric Suzanne** – AFTA.P

**Marc Lapointe** – AFTA.P

**Marie-Claude Bassette-Renault** – SMABTP (*partenaire de l'Union des Métalliers*)

Je tiens enfin à remercier très chaleureusement **Jérémy Trouart** (*Responsable Technique de l'Union des Métalliers*), qui a assuré la rédaction de ce document et la coordination du groupe de travail, fort de son implication et de son soutien.



**Daniel Clouet**

Chef de file du GT3 « Traitements de surface »

Entreprise Métalesca



# SOMMAIRE

# PROTECTION ET FINITION DES ACIERS

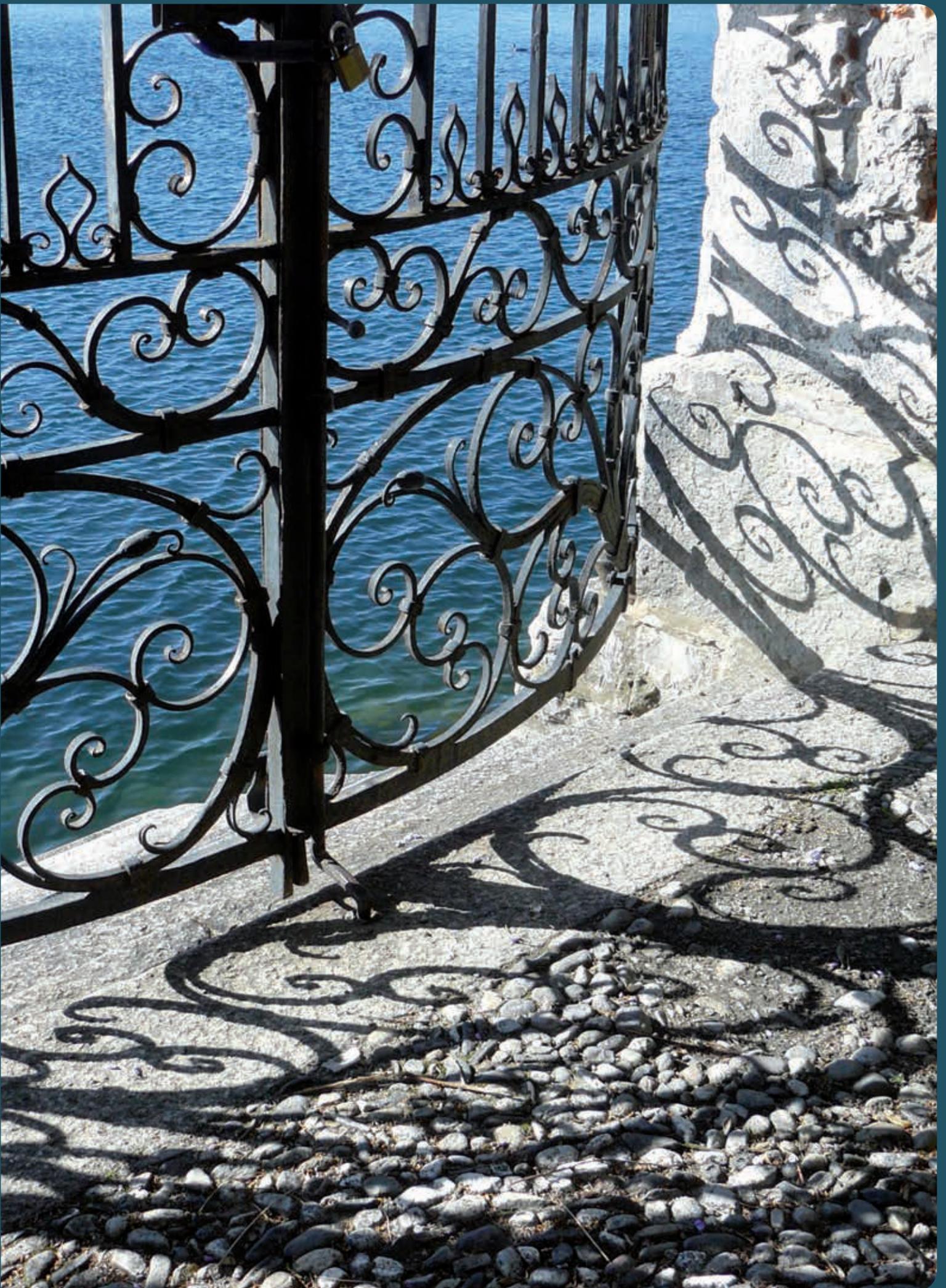
## SOMMAIRE

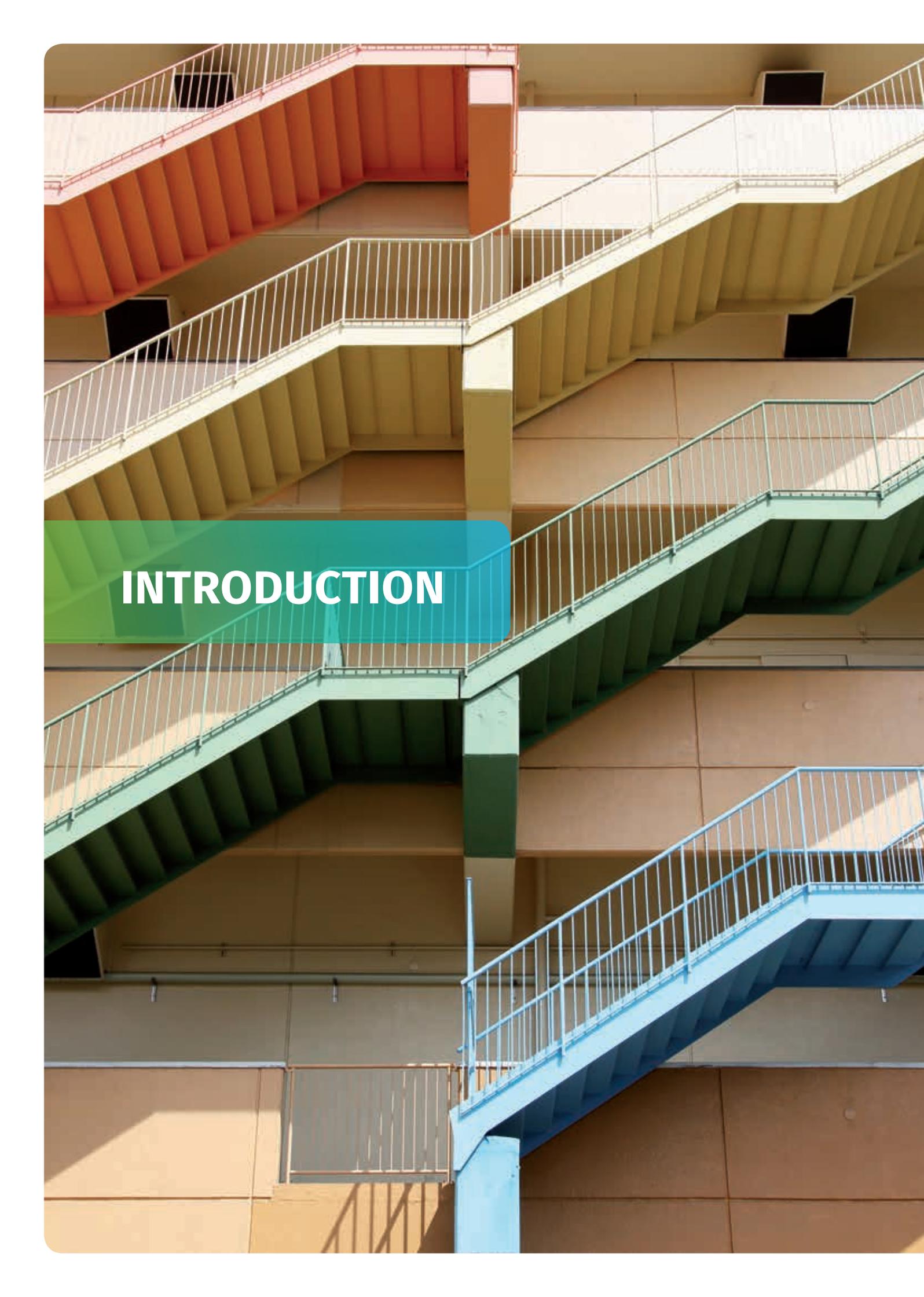
<b>INTRODUCTION</b>	<b>11</b>
<b>FOIRE AUX QUESTIONS</b>	<b>13</b>
<b>1. DÉFINIR UN SYSTÈME DE PROTECTION OPTIMAL</b>	<b>19</b>
1.1. Protection anticorrosion et finition .....	13
1.2. Performances des systèmes de protection .....	22
<b>2. LA CORROSION ET SES EFFETS</b>	<b>25</b>
2.1. Le phénomène chimique .....	25
2.2. Le phénomène électrochimique .....	26
2.3. Comment protéger l'acier contre la corrosion? .....	27
2.4. Comment protéger l'aluminium contre la corrosion? .....	27
2.5. Les classes de corrosivité .....	28
2.6. Environnements et atmosphères .....	29
2.6.1. Le macro-environnement .....	29
2.6.2. Le micro-environnement .....	29
<b>3. PROTECTION MÉTALLIQUE DES ACIERS</b>	<b>31</b>
3.1. Mais pourquoi le zinc? .....	31
3.1.1. L'effet barrière .....	32
a. La vitesse de corrosion du zinc .....	32
b. La passivation du zinc .....	33
3.1.2. La protection électrochimique .....	34
3.1.3. Les propriétés mécaniques du zinc .....	36
3.1.4. La compatibilité des aciers .....	36
3.1.5. Préparation des pièces et des surfaces .....	36
3.1.6. Quel procédé choisir selon l'environnement? .....	36
3.2. Comment obtenir une galvanisation de qualité? .....	40
3.2.1. Résumé des précautions à respecter .....	40
3.2.2. Qu'exiger des fournisseurs et du galvanisateur .....	42
a. La composition de l'acier .....	42
b. La galvanisation .....	42
3.2.3. Ce qui peut être exigé du Métallier .....	43
a. Par le galvanisateur .....	43
b. Par le prescripteur .....	43

3.3.	Conception des pièces à galvaniser .....	44
3.3.1.	Particularités de la galvanisation a chaud .....	44
3.3.2.	L'évacuation des liquides et des gaz .....	47
a.	Profils creux .....	47
b.	Profils fixes sur des socles .....	49
c.	Poutres, goussets et ames .....	51
d.	Pièces mobiles .....	51
3.3.3.	Les intervalles étroits .....	52
3.3.4.	L'assemblage des pièces .....	53
a.	Liaison simple .....	53
b.	Assemblage mécanique .....	53
c.	Assemblage par soudage avant galvanisation .....	54
d.	Assemblage par soudage après galvanisation .....	56
e.	Brasage .....	57
3.4.	Réalisation des pièces à galvaniser .....	57
3.4.1.	Généralités .....	57
3.4.2.	Comment limiter les déformations? .....	57
3.4.3.	La manutention .....	59
3.4.4.	Particularités de la galvanisation en continu .....	59
3.5.	Après les travaux de galvanisation .....	61
3.5.1.	Le stockage et le transport .....	61
3.5.2.	Comment éliminer les taches de stockage? (rouille blanche) .....	62
3.5.3.	Comment réparer une pièce protégée par le zinc? .....	63
a.	Par une métallisation .....	63
b.	Par application d'une peinture riche en zinc .....	64
3.6.	Métallisation et électrozingage .....	65
3.6.1.	Généralités sur la métallisation .....	65
3.6.2.	Généralités sur l'électrozingage .....	67
3.7.	Comparaison des procédés .....	68
<b>4.</b>	<b>PROTECTIONS ORGANIQUES DES ACIERS</b> .....	<b>71</b>
<b>5.</b>	<b>PROTECTIONS COMBINÉES DES ACIERS</b> .....	<b>73</b>
5.1.	Association de composés organiques et métalliques dans un même produit .....	73
5.2.	Association de composés organiques et métalliques dans des couches successives .....	74
5.2.1.	Les duplex galvanisation-peinture .....	74
a.	Généralités .....	74
b.	La préparation de surface .....	74
c.	Les peintures à utiliser .....	75
5.2.2.	Les duplex métallisation-peinture .....	75
a.	Généralités .....	75
b.	La préparation de surface .....	75
c.	Les peintures à utiliser .....	75

<b>6.</b>	<b>FINITIONS ET REVÊTEMENTS</b>	<b>77</b>
6.1.	Généralités	77
6.1.1.	Comparaison du laquage et du thermolaquage	79
6.1.2.	Les peintures liquides	80
6.1.3.	Les peintures poudres	80
6.1.4.	Indications à fournir aux applicateurs	81
6.2.	Conception et choix des produits métalliques	82
6.2.1.	Quelques règles de conception	82
a.	Degrés de préparation	84
b.	Découpe automatique et arêtes vives	84
c.	Association de matériaux	86
d.	Les soudures	87
e.	Interstices et zones de rétention	90
6.2.2.	Les différents supports	90
a.	Acier noir	90
b.	Acier revêtu d'une cataphorèse	90
c.	Acier électrozingué	90
d.	Acier revêtu d'un primaire riche en zinc	91
e.	Acier métallisé	91
f.	Acier galvanisé (galvanisation de produits finis)	91
g.	Acier galvanisé en continu (procédé sendzimir)	91
h.	Acier inoxydable	91
6.2.3.	Les tôles d'acier prélaquées	92
a.	Types de tôles	92
b.	Mise en forme	92
6.3.	Les travaux préparatoires	93
6.3.1.	Généralités	93
6.3.2.	Selon les subjectiles	94
a.	Acier noir	95
b.	Acier avec cataphorèse	95
c.	Acier avec électrozingage	96
d.	Acier revêtu d'un primaire	96
e.	Acier métallisé	97
f.	Acier galvanisé (galvanisation de produits finis)	98
g.	Acier galvanisé en continu	98
h.	Acier inoxydable	99
6.4.	Peindre un revêtement de zinc	100
6.4.1.	Généralités	100
6.4.2.	L'état de surface du zinc	100
6.4.3.	Les peintures à utiliser	102
a.	Les peintures liquides	102
b.	Les peintures poudres	104

6.5.	Qualité et contrôle .....	104
6.5.1.	Contrôle par l'applicateur .....	104
6.5.2.	Défauts et causes possibles .....	105
a.	Défauts et causes possibles dans le cas d'un revêtement laqué .....	105
b.	Défauts et causes possibles dans le cas d'un revêtement thermolaqué .....	106
6.6.	Après les travaux de peinture .....	108
6.6.1.	Stockage et transport .....	108
6.6.2.	Usinage post livraison .....	108
6.7.	Les contrôles à réception des travaux .....	109
<b>7.</b>	<b>GARANTIES ET ASSURANCES</b> .....	<b>111</b>
7.1.	À propos de la galvanisation .....	111
7.2.	À propos de la peinture .....	111
7.2.1.	Les garanties légales .....	111
a.	Garantie décennale .....	111
b.	Garantie de bon fonctionnement .....	112
7.2.2.	La garantie contractuelle .....	113
<b>8.</b>	<b>L'ENTRETIEN</b> .....	<b>115</b>
8.1.	Comment réaliser l'entretien? .....	116
8.2.	La fréquence d'entretien .....	118
8.3.	Les réparations sur site .....	119
	<b>POUR ALLER PLUS LOIN</b> .....	<b>121</b>
	Complément d'information sur les procédés de protection des aciers par le zinc .....	121
	Les propriétés des différents procédés .....	132
	Comportement du zinc avec d'autres métaux .....	137
	Corrosion galvanique .....	138
	Les composants d'une peinture .....	140
	Les caractéristiques dépendant du type de produit .....	142
	Les caractéristiques dépendant de l'application .....	144
	Les propriétés des peintures liquides .....	146
	Les propriétés des peintures poudres .....	148
	Processus de fabrication des peintures poudres et application .....	149
	<b>Annexes</b> .....	<b>151</b>
	Tolérances de teinte admissibles pour les RAL .....	151
	Synthèse de l'étude sur la tenue au thermolaquage des aciers inoxydables .....	152
	Références normatives .....	154
	Lexique .....	156
	Bibliographie .....	157
	Contacts .....	158





# INTRODUCTION

## PROTECTION ET FINITION DES ACIERS

### INTRODUCTION



*Les Métalliers doivent au quotidien faire face au principal ennemi des métaux : la corrosion. Par ailleurs, le lien entre l'étape de fabrication et la finition des ouvrages qu'ils réalisent a grandement évolué ces dernières années. Le rôle de l'entreprise de métallerie s'est depuis développé avec à sa charge toute la chaîne de production d'un ouvrage : de la conception à la pose, protégé et revêtu de la finition qui lui donnera son esthétique finale. Ce changement nécessite un élargissement des compétences des métalliers.*



Les traitements de surface et finitions des ouvrages requièrent des savoir-faire importants et spécifiques. Bien que la majorité des entreprises de métallerie ne réalise pas elle-même la protection et la finition de ses ouvrages, il est nécessaire, ne serait-ce que pour rédiger convenablement les indications à fournir, d'avoir une bonne connaissance des différents systèmes de protection et de mise en peinture, de leurs propriétés et des précautions à prendre en compte pour obtenir un résultat de qualité.

#### **L'objectif de ce guide est double :**

- Présenter les propriétés des différents systèmes de protection anticorrosion et de finition de surface des aciers,
- Accompagner le Métallier dans le choix du système de protection et de finition, la prescription, la conception et la mise en œuvre de ses ouvrages, pour leur assurer pérennité et durabilité.

Dans une première partie, les différents procédés de protection des aciers sont présentés. On y retrouve de précieux conseils pour choisir quel procédé est adapté à mon ouvrage, mais aussi des informations techniques sur la conception et la préparation des pièces.

Dans une seconde partie, le guide traite des finitions et revêtements courants et adaptés aux ouvrages métalliques.

Ce document propose également des recommandations de l'Union des Métalliers et des experts des traitements de surface, accompagnées d'astuces et de points de vigilance pour assurer une réalisation de qualité.

Enfin, si le lecteur souhaite accroître ses connaissances techniques, il pourra se référer aux annexes ainsi qu'au chapitre **Pour aller plus loin** du présent guide.



# FOIRE AUX QUESTIONS

## PROTECTION ET FINITION DES ACIERS

# FOIRE AUX QUESTIONS

1

*Mon client refuse d'accepter l'ouvrage, car le revêtement a des défauts lorsque l'on regarde au plus près de la surface.*

Les normes NF EN 13438 et NF P24-351 précisent que les contrôles doivent être à 5 mètres pour les ouvrages situés à l'extérieur des bâtiments et à 3 mètres pour les intérieurs. Les contrôles à réception des travaux sont traités au chapitre 6.7. de ce guide.

2

*J'ai réalisé des poteaux venant accueillir des brise-soleil en façade. J'ai bien suivi le cahier des charges et j'ai fait appliquer une métallisation suivie d'un thermolaquage, uniquement en extérieur. Peu de temps après, la rouille coule en pied de poteaux. Qu'aurait-il fallu faire pour éviter cela ?*

De toute évidence, il y a rapidement eu de l'oxydation importante (et donc corrosion) à l'intérieur du tube. Ceci est sans doute dû à un ruissellement d'eau plutôt qu'à une condensation étant donné l'oxydation rapide. Une protection interne aurait dû être envisagée (cataphorèse ou galvanisation) même s'il apparaît ici un problème de conception de l'ouvrage plutôt qu'un problème de protection. En amont de ce type de projet, il ne faut pas hésiter à se rapprocher des applicateurs et des associations existantes afin de recueillir leurs conseils et leur expertise. Un comparatif des procédés est présenté au chapitre 3.1. ainsi que dans la rubrique **Pour aller plus loin**.

3

*Mon client a des réserves quant à l'ouvrage laqué, car certains profilés n'ont pas exactement la même teinte.*

Le référentiel RAL fréquemment utilisé pour sélectionner une teinte de finition ne donne pas à proprement parler de tolérances sur les teintes. Une tolérance colorée nominale acceptable peut sur le papier provoquer un écart visuellement appréciable, où la perception humaine diffère. Par écart est entendu l'ampleur d'une différence perceptible entre deux teintes. Ces différences de teintes peuvent être notamment constatées lorsque les profilés ne viennent pas d'un même lot. Il est rappelé que tout procédé industriel apporte son lot de tolérances. Cependant, les fabricants de peinture appliquent leurs propres tolérances sur les teintes proposées. Il convient donc de se rapprocher de son applicateur ou du fabricant visé.



### L'astuce à retenir

Pour éviter ce type de constat, le Métallier doit recenser un maximum d'informations auprès de son client pour que l'applicateur propose une solution adéquate.

#### Il conviendra par exemple :

- d'acheter les profilés en un seul et même lot, revêtus par le même applicateur, d'une même peinture (idéalement de la même référence produit) et avec le respect des mêmes consignes de cuisson ;
- de préciser si le rendu est mat ou brillant ;
- de préciser au laqueur si l'application de la peinture doit se faire dans le même sens, pour un même rendu final.

4

*J'ai des éléments métalliques colorés à installer au même RAL, en remplacement d'une partie d'un ouvrage existant (au moins 3 ans après réception). Quelles sont mes obligations ?*

Les peintures auront de fait dans le temps une variation de teinte et/ou un blanchiment, et ce très rapidement (observable à partir de 2 ans). Le Métallier se doit d'alerter son client qu'assurément la partie neuve de l'ouvrage n'aura pas la même teinte et peut alors envisager le remplacement complet de l'ouvrage. Le vieillissement d'une teinte peut être toléré dans la mesure où sa valeur de  $\Delta E$  est acceptable. En effet, cette donnée (conformément à la norme ISO 11664) traduit la variation de couleur dans le temps. Un tableau récapitulatif des  $\Delta E$  admissibles est disponible en annexe de ce guide.

5

*J'ai des ouvrages installés depuis peu de temps (selon environnement et utilisation) pour lesquels le client me reproche que la couleur « passe ». Que puis-je faire ?*

Comme vu précédemment, les teintes des peintures peuvent varier dans le temps. Cependant, si la variation apparaît rapidement (seulement quelques mois après réception), c'est qu'il peut y avoir eu un problème dans le process de fabrication de la peinture ou de son application.



#### L'astuce à retenir

La palette des couleurs RAL peut être obtenue via des nuanciers, à obtenir par exemple auprès des fournisseurs et applicateurs.



#### Recommandations de l'Union de Métalliers

Les donneurs d'ordre font régulièrement leur sélection de teintes via un nuancier sur papier. Il est recommandé au Métallier de proposer des échantillons sur substrat (acier ou aluminium) pendant la phase conception afin que le donneur d'ordre ait un rendu plus réaliste et valide bien le projet.

6

*On me demande de laquer un ouvrage en Inox. Quelles données peuvent m'aider pour conseiller mon client ?*

En plus des finitions dites d'usine, l'Inox peut également avoir des finitions à motifs, à relief ou encore colorées. En effet, contrairement aux idées reçues, l'Inox peut facilement être thermolaqué et ainsi combiner performances anticorrosion et coloris au choix (selon les gammes des applicateurs).



#### L'astuce à retenir

##### Mais qu'en est-il de la tenue des revêtements thermolaqués sur un acier inoxydable ?

L'Union des Métalliers a mené une étude sur la tenue du thermolaquage sur ces aciers spécifiques, dont les résultats sont présentés en annexe. Les conclusions sont très favorables à un thermolaquage des aciers inoxydables qui, après des méthodes de préparation courantes, n'affecte nullement ni les performances anticorrosion des aciers inoxydables ni la tenue du revêtement.

*Pour plus d'informations, l'Union des Métalliers a publié un guide technique « Inox et Métallerie ».*



## 7

*Mon ouvrage est une structure porteuse devant répondre à la norme NF EN 1090-2; que dois-je faire pour les opérations de traitements de surface ?*

Selon le degré d'exigences de la norme (classes d'exécution à respecter), le Métallier – charpentier doit assurer certaines opérations supplémentaires. La préparation des pièces avant application d'un revêtement de protection anticorrosion est réalisée en premier lieu au cours des opérations de soudage et d'assemblage.

Les vérifications à réaliser lors de la fabrication en atelier concernent principalement (cf. norme NF EN 8501-3) :

- les états de surface des tôles (piqûres, cratères, aspérités);
- les défauts de surfaces des soudures (projection, scories, caniveau, retassures, cratères);
- la finition des arêtes (bavures, aspérités, présence de calamine).

De plus, les informations nécessaires aux traitements de protection contre la corrosion doivent être communiquées au galvanisateur/à l'applicateur ou à l'entreprise qui en a la charge. En effet, les entreprises sous-traitantes de ces étapes de traitement de surface doivent être capables de respecter les exigences de cette norme d'exécution telles que :

- validation de la préparation des surfaces;
- contrôle et vérifications;
- Suivi qualité, etc.



### L'astuce à retenir

L'Union des Métalliers, la CAPEB et le CTICM ont rédigé 3 fascicules de mise en place de la norme EN 1090-2, pour des classes d'exécution 1 à 2. Ces documents sont à retrouver sur le site internet de l'Union des Métalliers, dans la partie « adhérents ».



### Recommandations de l'Union de Métalliers

Indépendamment des dispositions administratives et financières qui dépendent du type de contrat et du type de marché passés avec les fournisseurs et les sous-traitants et compte tenu des exigences de contrôle et de traçabilité de la norme NF EN 1090-2, il est recommandé d'obtenir de la part des fournisseurs et des sous-traitants un certain nombre de justifications techniques.

Concernant les opérations sous-traitées, il convient au préalable de vérifier que le fournisseur utilise des procédés conformes aux exigences de la NF EN 1090-2 et sera en mesure de fournir les certificats et les résultats des contrôles de fabrication exigés par la NF EN 1090-2.

8

*J'ai des travaux d'entretien d'ouvrages peints à réaliser pour un maître d'ouvrage « spécifique » (transports, énergies, alimentaires, etc.); que dois-je faire ?*

Pour ce type de marché, les cahiers des charges sont toujours très spécifiques, avec des exigences et des normes particulières à respecter. Il est conseillé de valider le cahier des charges avec l'applicateur avant la prise de commande.

9

*Je me rends compte à la livraison de mon ouvrage qu'il sera situé à 1 km du bord de mer. Mon client réceptionne et me prévient 6 mois après que l'ouvrage rouille. Qui est responsable ?*

La responsabilité du Métallier sera toujours mise en avant, car, de par son devoir de conseil, il se doit de questionner son client et de savoir la destination du futur ouvrage.

S'il est difficile de recueillir ces informations, il est conseillé de préciser dans les clauses générales du contrat (métallier-client) que le système de protection prescrit répondra à une certaine catégorie de corrosivité, selon un environnement donné. (cf. chapitres 1 et 2 du présent guide).



#### Recommandations de l'Union de Métalliers

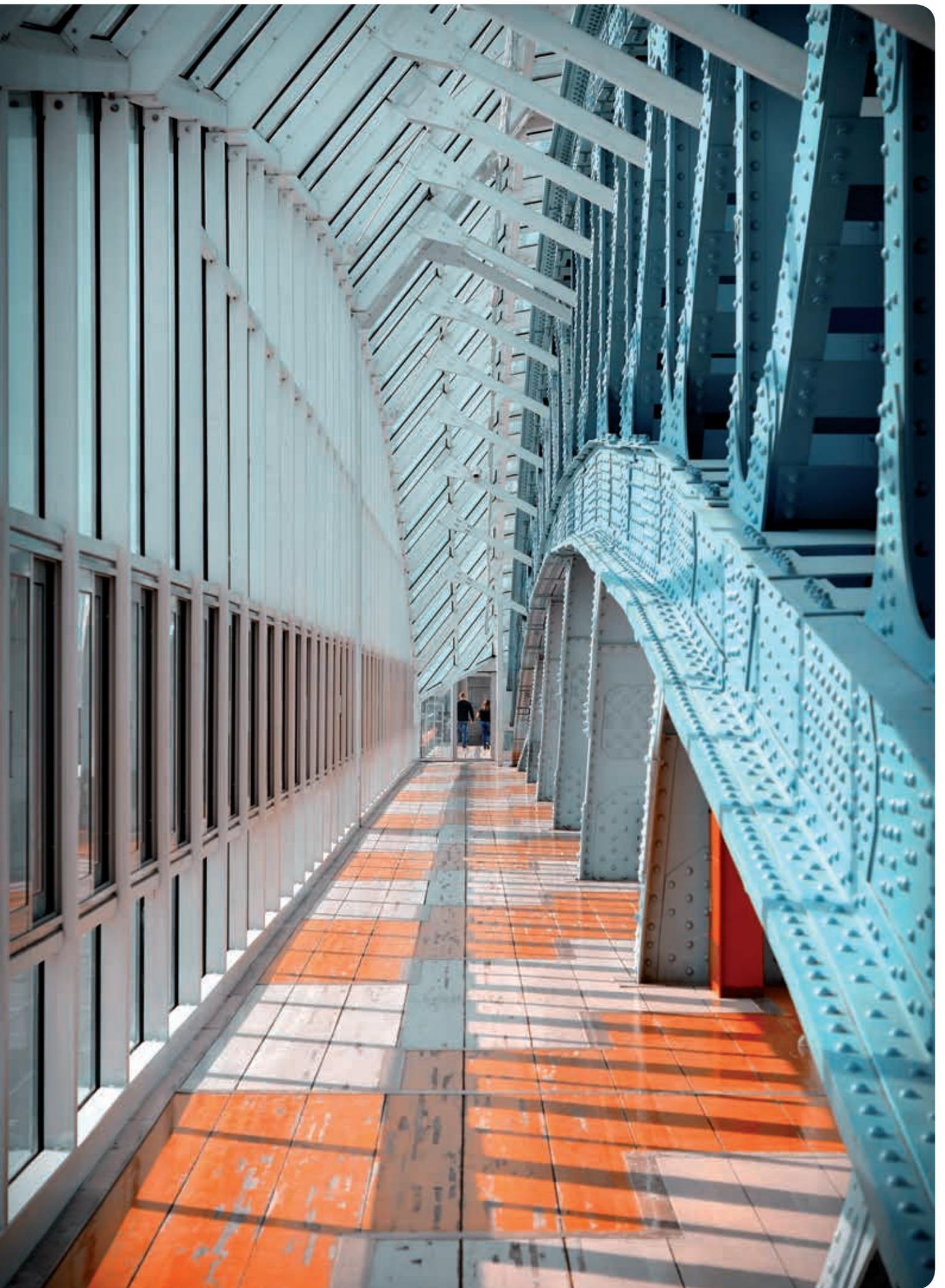
Il est indispensable d'indiquer la classe de corrosivité sur les pièces du marché (devis, facture, cahier des charges). De plus, le Métallier doit informer l'applicateur des conditions réelles de l'ouvrage pour que ce dernier apporte ses conseils et son expertise dans la prescription.

10

*Un an après la réception d'un garde-corps de balcon situé en ville, mon client constate des piqûres naissantes sur la main courante et fait appel à ma responsabilité.*

Dans ce type de cas, il peut être mis en avant qu'un manque d'entretien ou que l'utilisation de produits non adaptés a altéré le système de protection, favorisant le développement de corrosion. Si le Métallier a prévenu avant réception son client des conseils d'entretien (preuve à l'appui, fiche type d'entretien, DOE ou DIUO) alors il n'est pas responsable. En revanche, des cas de jurisprudence mettront en tort le Métallier s'il n'a pas respecté son devoir de conseil. (cf. chapitre 8 du présent guide).





The image shows a complex industrial environment, likely a factory or processing plant. Large, cylindrical, metallic components are visible, surrounded by a network of yellow safety railings and walkways. The floor is made of a dark, perforated metal grate. A prominent feature is a large, curved, metallic duct or pipe structure on the right side. The overall scene is brightly lit, and the color palette is dominated by the yellow of the railings and the metallic silver of the machinery. A semi-transparent gradient overlay, transitioning from green on the left to blue on the right, is positioned in the lower-left quadrant, containing the text 'CHAPITRE 1'.

# CHAPITRE 1

## CHAPITRE 1

## DÉFINIR UN SYSTÈME DE PROTECTION OPTIMAL



*Une protection durable et pérenne d'un ouvrage métallique doit être réfléchi en amont de la fabrication.*



Idéalement, une protection anticorrosion doit être :

<b>Performante</b>	pour que la pièce en acier ne se corrode pas
<b>Fiable</b>	pour que la protection d'une pièce en acier aboutisse à un résultat sûr et prévisible
<b>Pérenne</b>	pour que la protection dure dans le temps avec peu ou pas d'entretien
<b>Résistante mécaniquement</b>	pour que les chocs raisonnables n'atténuent pas sa capacité de protection
<b>Économique</b>	pour que le coût du traitement soit en corrélation avec le coût de l'ouvrage brut
<b>Recyclable</b>	pour que, comme l'acier, la protection s'intègre dans la démarche de développement durable

Par la suite, une finition doit être choisie et proposée en fonction :

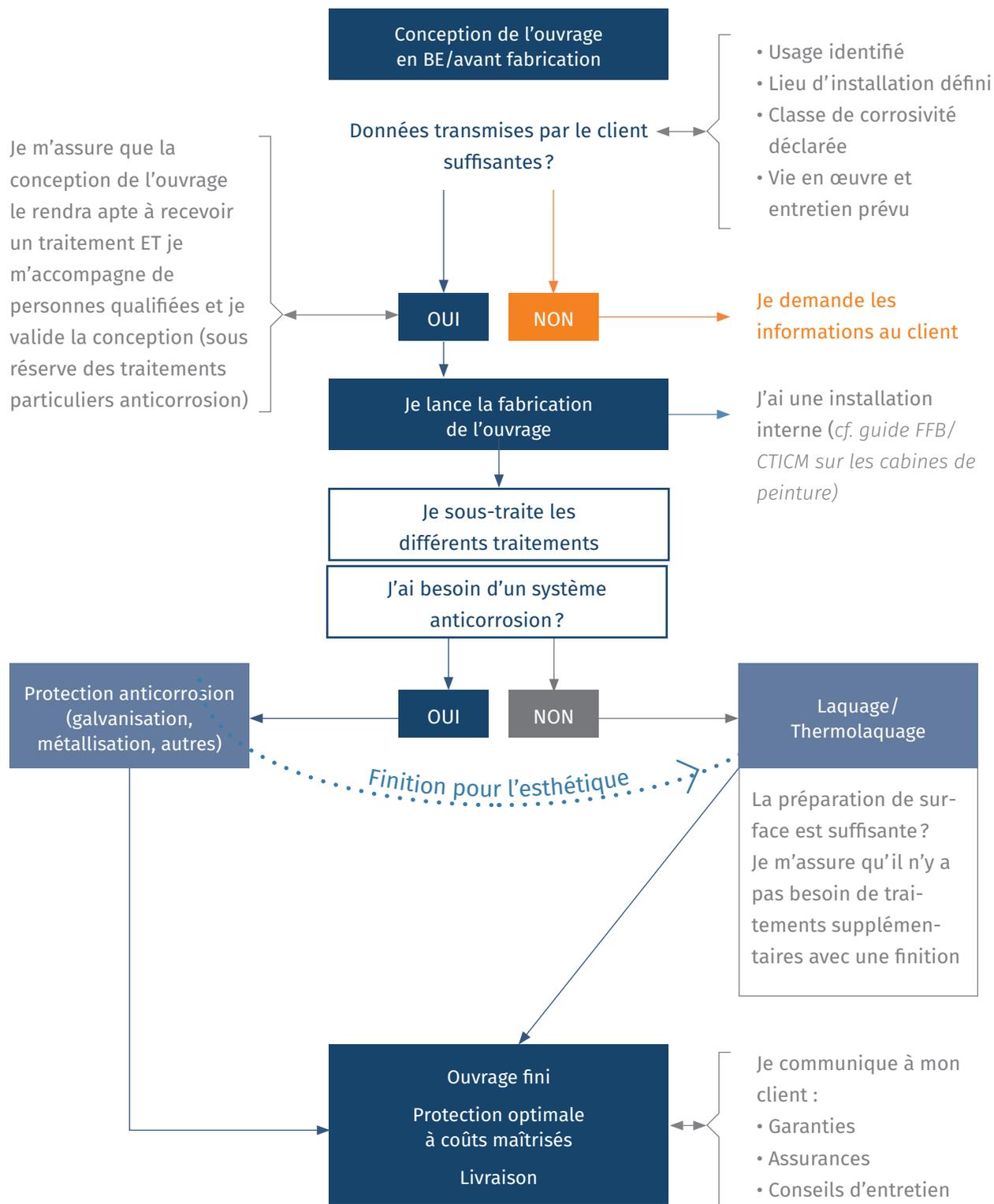
- Du système de protection prescrit (si existant);
- Des performances attendues;
- Des attentes esthétiques du client;
- Des coûts et des exigences environnementales à maîtriser.



### L'astuce à retenir

N'hésitez pas à télécharger l'application mobile Direct-CCTP pour des exemples de CCTP complets et aux normes, fonction de la classe de corrosivité, du substrat et les systèmes de peinture disponibles.

Organigramme pour définir un système de protection adapté à l'ouvrage



## 1.1. Protection anticorrosion et finition

La finition de surface d'un ouvrage (laquage ou thermolaquage) est la toute dernière étape dans la réalisation d'un ouvrage avant sa pose/mise en œuvre sur le chantier. C'est principalement l'esthétique qui est mise en jeu, venant répondre à l'un des critères du cahier des charges.

Il est primordial de prendre en considération des facteurs tels que la corrosion, pour protéger l'ouvrage et assurer sa pérennité.

**La finition d'un ouvrage en acier ne peut se dissocier de sa protection anticorrosion.**

On peut prendre en compte plusieurs facteurs influant sur la tenue du film de peinture et du traitement anticorrosion. Ces facteurs ont tous un rôle à jouer et participeront à la qualité de l'ensemble ou pourront au contraire, si les conditions n'ont pas été respectées, être la source de défauts importants.

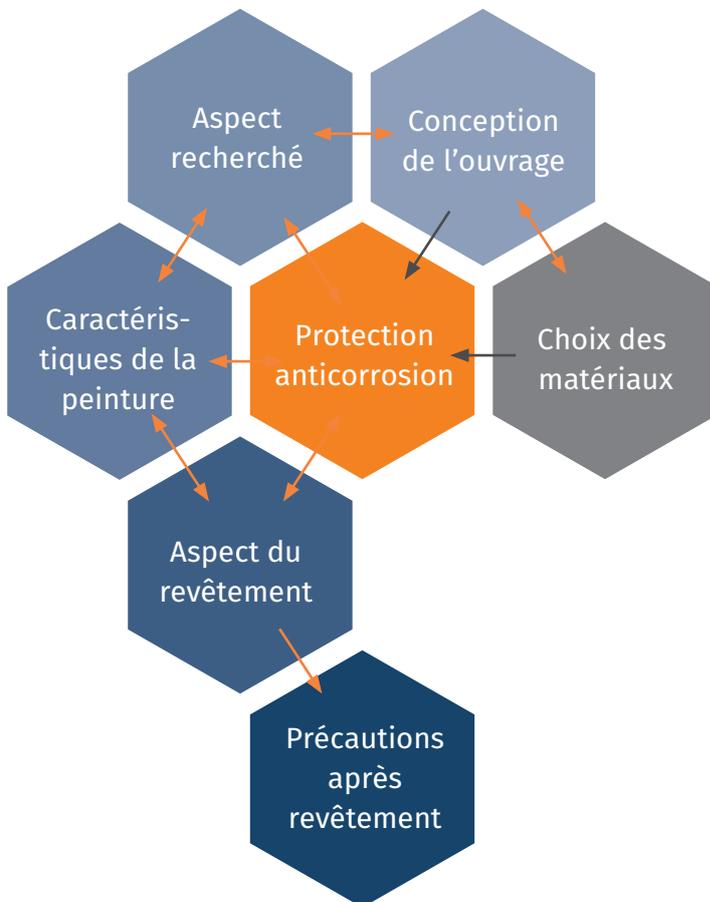


Figure 01 – Principaux facteurs influents sur la protection anticorrosion



### Le point de vigilance

Il est parfois considéré qu'un revêtement de peinture « protège » la pièce contre la corrosion. C'est malheureusement inexact. Un laquage ou un thermolaquage peut effectivement améliorer la protection anticorrosion d'un ouvrage, mais cela n'en fait pas une protection suffisante. En revanche, un ouvrage placé à l'intérieur (classes de corrosivité C1 à C2) ET dans une ambiance sèche peut se contenter d'un revêtement de surface en guise de protection.

### Note



Les caractéristiques de la peinture peuvent également déterminer un type d'application particulier, cette méthode d'application pouvant elle-même apporter certaines contraintes sur le stockage de l'ouvrage. C'est donc toute la chaîne de finition qu'il convient de contrôler afin de garantir une qualité esthétique optimale et stable dans le temps.

## 1.2. Performances des systèmes de protection

### Note



D'avis d'experts, il apparaît complexe et inapproprié de lister des généralités de systèmes anticorrosion tout en étant exhaustif, objectif et à jour des nouvelles technologies développées par les fournisseurs. Aussi, toutes ces données retranscrites dans ces tableaux sont issues de sources ciblées et reconnues, ayant participé à l'élaboration de la matrice. Cette dernière est donc un exemple de ce que la profession a pu valider et certifier au travers d'organismes tels que AFTA.P et ACQPA. En aucun cas, elle constitue une base de données exhaustive bien que très représentative des pratiques actuelles et reconnues.

Face à la multitude de combinaisons possibles entre une bonne protection anticorrosion et une finition de peinture, il apparaît parfois difficile pour le Métallier de conseiller ses clients, de choisir une solution adéquate pour son ouvrage et d'en connaître ses performances.

L'Union des Métalliers a lancé avec le concours du CTICM une étude visant à préciser les performances des systèmes de protection des ouvrages en acier, avec pour objectifs :

- De lister les combinaisons « anticorrosion »/« finition » possibles et de répertorier certaines performances déjà connues et certifiées;
- De déterminer la performance anticorrosion et de bonne tenue de ces

combinaisons pour une classe de corrosivité C4;

- D'accompagner le Métallier dans son rôle de conseil en le rendant plus expert sur les performances des systèmes de protection courants prescrits dans le Bâtiment, pour des ouvrages en acier.

La matrice de ces différentes combinaisons est consultable auprès de l'Union des Métalliers.

Afin de vérifier les limites de performance de certains systèmes de protection présentés dans la matrice, l'Union des Métalliers s'est proposé de tester des systèmes non certifiés par les différents organismes (AFTA.P, ACQPA, etc.), mais étant dérivés de systèmes certifiés.

### MODE OPÉRATOIRE ET PREMIÈRES OBSERVATIONS

L'étude a consisté à tester au brouillard salin neutre pendant 720 h (catégorie de corrosivité C4 haute durabilité) 14 systèmes de peinture poudre et liquide appliqués sur des plaques en acier, réalisées par différents applicateurs. Ces plaques ont fait l'objet avant essai d'un dommage (rayure) intentionnel.

À l'issue des essais, divers contrôles ont été réalisés selon les normes NF EN ISO 4628 (degré de cloquage, d'enrouillement, de craquelage, d'écaillage, largeur de décollement et de corrosion) afin de caractériser la qualité du revêtement.

Une majorité des systèmes testés présentait un degré d'enrouillement faible (Ri1) correspondant à 0,05 % de la surface. Après test, il n'a pas été observé de cloquage, de craquelage ni d'écaillage; les degrés relevés correspondent à 0 (S0).

### Note



La norme NF EN ISO 12944-6 exige une cotation égale à 0 ou 1 pour l'essai de quadrillage avant essais au brouillard salin.

Les résultats de cette étude et notamment leur synthèse sont consultables auprès de l'Union des Métalliers.

## CONCLUSIONS

La campagne d'essais a montré l'importance du choix d'un système de protection anticorrosion donné compte tenu de la catégorie de corrosivité auquel sera soumis l'élément à protéger, et du respect des épaisseurs requises du système choisi. Dans la phase préliminaire du projet, un maximum d'informations doit être communiqué afin

de déterminer le système de protection le plus judicieux. Ces éléments doivent faire l'objet d'un accord entre les différentes parties.

De même, il est essentiel que la préparation de surface du subjectile soit réalisée avec une attention particulière afin de garantir l'adhérence optimale du système de protection mis en œuvre.

## Note



Les essais au brouillard salin ne permettent pas de prévoir la résistance à la corrosion des systèmes de protection dans d'autres milieux ou en condition de service. De même il n'est pas possible de faire une comparaison entre différents systèmes de protection de nature éloignée. Seul des essais en conditions réelles donneront des informations fiables sur les performances d'un système de protection anticorrosion. Les essais au brouillard salin permettent uniquement de vérifier la qualité d'un matériau avec ou sans revêtement.

L'Union poursuit ces travaux sur les performances des systèmes de protection des aciers :

- Par une étude en corrosion alternée sur des conceptions parfois hasardeuses (tôle perforée, entrefers, volutes, arêtes vives, etc.); visant à mettre en avant que ces types de conception sont bel et bien problématiques pour assurer une protection

anticorrosion optimale, malgré un système dit «performant». *Parution prévue : fin 2017.*

- Par un projet d'étude sur site réel, caractérisé C4, pour avoir un retour au plus proche de la réalité et affiner les données obtenues par les précédentes études au brouillard salin et en corrosion alternée. Ce projet est prévu sur 2 ans. *Objectif de parution : 2019*



*Les membres du GT3 en visite sur le site de l'étude.*



## CHAPITRE 2

## CHAPITRE 2

# LA CORROSION ET SES EFFETS



*La corrosion est un phénomène naturel, un retour du métal à son état naturel d'oxyde au contact d'éléments tels que l'oxygène ou l'eau. D'autres agents corrosifs comme le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) et le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) accentuent par réaction chimique ou électrochimique ce phénomène naturel. Différents types de corrosion peuvent avoir lieu selon les actions environnantes (actions chimiques, contraintes physiques ou combinaison des deux). En Métallerie, la corrosion observée est principalement causée par des processus chimiques (eau/air) ou électrochimiques (couplage de métaux).*



## 2.1. Le phénomène chimique

La corrosion est l'oxydation d'un métal. Sous l'action d'éléments corrosifs, une réaction d'oxydation transformant un métal M en son ion métallique M<sup>n+</sup> se produit. Cette réaction se traduit par une libération d'un nombre n d'électrons.

**La corrosion d'un métal M peut se représenter par l'équation suivante :  $M \rightarrow M^{n+} + ne^{-}$**

Dans le cas de l'acier brut, le métal qui va s'oxyder est le fer et l'équation devient :



La corrosion du Fer en ion ferrique (Fe<sup>2+</sup>) ou ferreux (Fe<sup>3+</sup>) produit des espèces solubles et qui sont éliminées facilement avec les actions de l'air ou de l'eau. Ceci en fait une réaction irréversible et l'acier se consomme alors dans le temps.



### Le point de vigilance

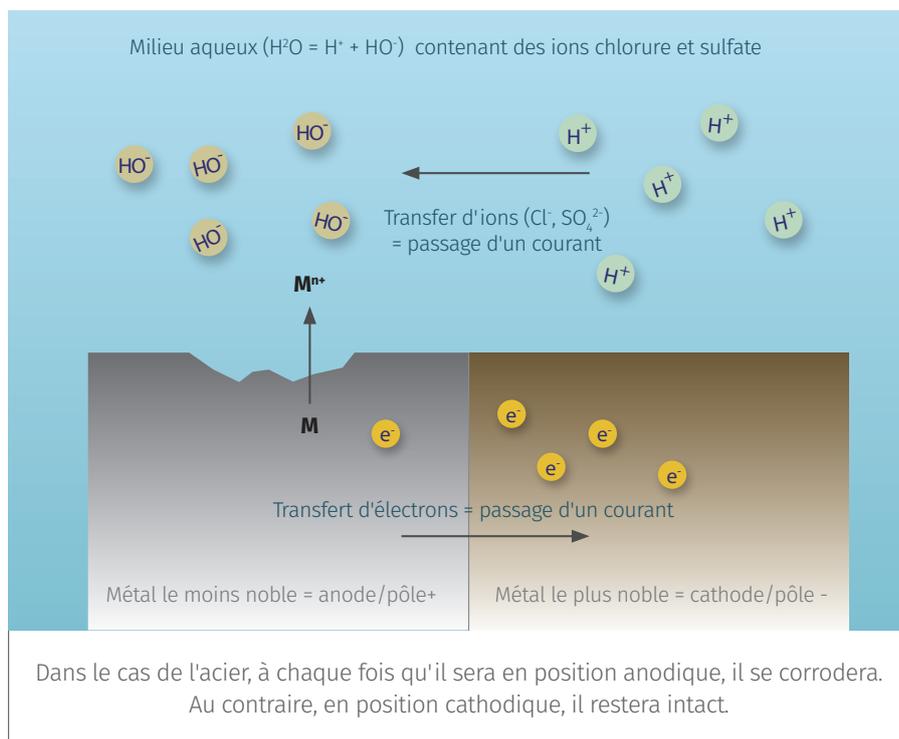
Des rapports de surfaces défavorables sont susceptibles d'apparaître avec les fixations et au niveau des joints. Il convient par exemple d'éviter l'utilisation de fixations en acier au carbone dans les éléments en acier inoxydable, car le rapport entre la surface de l'acier inoxydable et celle de l'acier au carbone est important et les fixations seraient soumises à une attaque agressive. Inversement, la vitesse de l'attaque d'un élément en acier au carbone par une fixation en acier inoxydable est beaucoup plus faible. Il est en général utile de tirer parti de l'expérience acquise sur des sites similaires, car différents métaux peuvent souvent être associés en toute sécurité dans des conditions de condensation ou d'humidité occasionnelles sans effet nocif, surtout lorsque la conductivité de l'électrolyte est faible. La prévision de ces effets est difficile, car la vitesse de corrosion est déterminée par un certain nombre de facteurs complexes. L'utilisation de tableaux de potentiels ne tient pas compte de la présence de couches d'oxydes superficiels, ni des effets des rapports de surfaces, ni de la chimie des différentes solutions (électrolytes). Par conséquent, une utilisation inconsidérée de ces tableaux peut produire des résultats erronés. Il convient de les utiliser avec précautions et uniquement pour une évaluation initiale. (cf. Annexe sur la corrosion galvanique)

## 2.2. Le phénomène électrochimique

La corrosion électrochimique se produit lorsqu'il existe une hétérogénéité dans le liquide ou le métal. Cette hétérogénéité provoque notamment une certaine répartition des charges positives et négatives présentes ce qui permet la formation d'une pile. Le cas le plus observé se nomme corrosion galvanique. Lorsque deux métaux différents sont en

contact par l'intermédiaire d'un électrolyte (c'est-à-dire un liquide électriquement conducteur comme de l'eau de mer ou de l'eau douce impure), un faible courant circule depuis le métal anodique vers le métal cathodique (métal le plus noble) au travers de l'électrolyte. Il en résulte que le métal le moins noble subit une corrosion.

Figure 02 – Exemple de corrosion galvanique entre deux métaux.



Le risque d'une attaque de corrosion profonde est plus grand si la surface du métal le plus noble est importante par rapport à la surface du métal le moins

noble. Il convient d'apporter un soin particulier à l'application de peintures ou autres revêtements sur l'acier non revêtu de zinc.



## 2.3. Comment protéger l'acier contre la corrosion ?

La protection des ouvrages en acier contre la corrosion peut se faire à travers deux actions différentes, pouvant se combiner :

- Empêcher le contact avec un oxydant. Ceci peut être réalisé en créant une couche de protection empêchant l'acier d'être en contact avec les agents corrosifs ambiants : **c'est l'effet barrière.**
- Mettre en contact la pièce en acier avec un métal plus réducteur qui s'oxydera donc à sa place. La pièce

en acier étant la zone cathodique, ne se corrodera pas au dépend du métal plus anodique. On parle alors de protection électrochimique ou **protection sacrificielle.**

Il existe trois grands types de protection anticorrosion :

- les protections métalliques (zinc, aluminium, etc.),
- les protections organiques (peintures, revêtements plastiques, etc.),
- les protections combinées (primaire riche en zinc, etc.)

## 2.4. Comment protéger l'aluminium contre la corrosion ?

Le Bâtiment représente environ 20 % de l'utilisation de l'aluminium et de ses alliages. Contrairement à l'acier, l'aluminium non allié présente une meilleure résistance à la corrosion, mais avec des caractéristiques mécaniques plus faibles. Le choix des éléments d'addition est donc judicieux et c'est très souvent un alliage AA 6060 qui est sélectionné pour son absence d'impuretés nuisibles aux traitements de surface ultérieurs. (cf. recommandations du SNFA)

Le traitement de surface est une étape primordiale et indissociable dans la chaîne qualité pour l'élaboration du produit. Ces traitements sont aujourd'hui maîtrisés et certifiés.

La protection des ouvrages en aluminium contre la corrosion peut se faire à travers deux procédés que sont l'anodisation et le thermolaquage. La protection des aluminiums n'est pas davantage développée dans ce guide technique.

### L'astuce à retenir



L'ADAL a établi des règles professionnelles qui définissent les critères d'acceptabilité d'une pièce anodisée. Rendez-vous sur le site [www.aluminium.fr](http://www.aluminium.fr).

### Note



Dans le cas d'un thermolaquage, lors de la cuisson, la réactivité des résines et/ou la sensibilité des pigments peuvent être la raison de faibles écarts colorimétriques. De même, le système d'application de la poudre et le type de matériel utilisé peuvent générer de légers écarts de teintes lors de l'application des couleurs à effets. Ces écarts sont communément acceptés selon les règles de la profession.



## 2.5. Les classes de corrosivité

Afin d'évaluer le besoin de protection d'un ouvrage, des classes de corrosivité ont été normalisées. Ces classes sont tirées de la norme ISO 9223 qui présente une classification basée sur des catégories de corrosivité

en fonction de différents environnements atmosphériques et décrit différents environnements pour les structures immergées ou enterrées. On peut également estimer les catégories de corrosivité en étudiant

l'effet combiné des facteurs environnementaux suivants : durée d'humidité annuelle, concentration moyenne annuelle de dioxyde de soufre et sédimentation moyenne annuelle de chlorure.

**Tableau 01 : Classes de corrosivité selon l'ISO 9223.**

Classes de corrosivité		Ambiance extérieure	Ambiance intérieure
C1	Très faible	Zone sèche ou froide, environnement atmosphérique très peu pollué et avec une très courte durée de persistance de l'humidité, par exemple certains déserts, Arctique/Antarctique central.	Espaces chauffés à faible taux d'humidité relative et à faible pollution, par exemple bureaux, écoles, musées.
C2	Faible	Zone tempérée, environnement atmosphérique faiblement pollué ( $SO_2 < 5 \mu g/m^3$ ), par exemple zones rurales, petites villes. Zone sèche ou froide, environnement atmosphérique avec courte durée de persistance de l'humidité, par exemple déserts, régions subarctiques.	Espaces non chauffés à température et humidité relative variables. Faible fréquence de condensation et faible pollution, par exemple entrepôts, salles de sport.
C3	Moyenne	Zone tempérée, environnement atmosphérique moyennement pollué ( $SO_2 : 5 \mu g/m^3$ à $30 \mu g/m^3$ ) ou avec un certain effet des chlorures, par exemple zones urbaines, zones côtières avec faibles dépôts de chlorures. Zones subtropicales et tropicales, atmosphère faiblement polluée.	Espaces avec fréquence modérée de condensation et pollution modérée provenant des processus de production, par exemple usines agro-alimentaires, blanchisseries, brasseries, laiteries.
C4	Élevée	Zone tempérée, environnement atmosphérique très pollué ( $SO_2 : 30 \mu g/m^3$ à $90 \mu g/m^3$ ) ou effet important des chlorures, par exemple zones urbaines polluées, zones industrielles, zones côtières sans projections d'eau de mer ni exposition au puissant effet des sels de dégivrage. Zones subtropicales et tropicales, atmosphère moyennement polluée.	Espaces avec fréquence élevée de condensation et pollution sévère provenant des processus de production, par exemple usines de traitements industriels, piscines.
C5	Très élevée	Zone tempérée et subtropicale, environnement atmosphérique très pollué ( $SO_2 : 90 \mu g/m^3$ à $250 \mu g/m^3$ ) et/ou effet important des chlorures, par exemple zones industrielles, zones côtières, emplacements protégés au niveau du littoral.	Espaces avec fréquence très élevée de condensation et/ou à très forte pollution provenant des processus de production, par exemple mines, gisements pour exploitation industrielle, hangars non ventilés dans des zones subtropicales et tropicales.



Il est important d'appréhender ces catégories de corrosion avec un regard d'analyse afin d'évaluer réellement l'environnement et le climat auxquels sera confronté l'ouvrage.

### Note



Pour déterminer les catégories de corrosivité, l'exposition d'éprouvettes métalliques standard est fortement recommandée. La norme ISO 12944-2 définit les catégories de corrosivité en termes de perte de masse ou d'épaisseur de ces éprouvettes en acier et/ou en zinc après la première année d'exposition.



### Le point de vigilance

Dans la plupart des cas, on ne peut tirer que des conclusions générales sur le comportement à la corrosion à partir du type de climat. Dans un climat froid ou sec, la corrosion sera plus lente que dans un climat tempéré; elle sera plus importante dans un climat chaud, humide et dans un climat marin, bien qu'il puisse y avoir des différences locales importantes. Le principal facteur est la durée d'exposition d'une structure à des taux d'humidité élevés que l'on appelle souvent durée d'humidité.

## 2.6. Environnements et atmosphères

### 2.6.1. LE MACRO-ENVIRONNEMENT

Le macro-environnement d'un ouvrage est défini par les mesures disponibles : l'humidité relative, la température, les taux de dépôt des sulfates et des chlorures, etc. Les classes de corrosivité présentées ont été déterminées par rapport à ces

données et notamment par l'agent corrosif qui compose l'environnement. Ainsi, le chlore très présent en milieu marin a un pouvoir corrosif bien supérieur à l'humidité ambiante du milieu rural. La pollution joue également un rôle important dans

l'augmentation du risque de corrosion. Les produits tels que le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ) et le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) plus présents en milieu industriel accentuent, par réaction chimique ou électrochimique, le phénomène de corrosion.

### 2.6.2. LE MICRO-ENVIRONNEMENT

Certains critères propres à l'environnement proche de l'ouvrage doivent être également pris en considération pour choisir la classe de corrosivité la plus adaptée. Un ouvrage qui, au premier abord, se trouvera dans une certaine

ambiance, peut en effet subir des attaques ponctuelles qui le placeront dans une classe de corrosivité plus élevée. Par exemple, un ouvrage situé à proximité d'une route très fréquentée pourra être soumis à une très forte

pollution et à des projections de sel en hiver. Il en est de même pour les ouvrages situés, par exemple, à proximité d'élevages, ou au-dessous de pont, dans des zones qui peuvent être la source d'agents corrosifs très agressifs.



A large, curved metal component, possibly a mold or a part of a machine, is being lifted by several chains attached to a crane. The component is highly reflective and has a complex, curved shape. It is positioned in an industrial environment with a concrete floor and a wall in the background. The lighting is bright, highlighting the metallic surface. A green and blue gradient bar is overlaid on the image, containing the text "CHAPITRE 3".

## CHAPITRE 3

## CHAPITRE 3

# PROTECTION MÉTALLIQUE DES ACIERS



*La protection métallique des aciers est généralement réalisée à partir de traitements à base de zinc. Il existe ainsi plusieurs procédés industriels permettant d'apporter une protection anticorrosion à base de zinc à des ouvrages en acier. Chaque procédé d'application du zinc trouve ses applications en fonction des propriétés qu'il confère au revêtement de zinc. Ainsi, en fonction de l'épaisseur de revêtement nécessaire, des caractéristiques mécaniques demandées, un type de revêtement sera à favoriser par rapport à un autre.*



### 3.1. Mais pourquoi le zinc ?

Parmi les protections métalliques, le zinc a sans conteste une position dominante. Dans le monde, près de 8 millions de tonnes de zinc métal sont utilisées chaque année pour protéger l'acier.

La protection d'une pièce en acier par un revêtement de zinc se fait par la combinaison de deux actions :

- d'une part, par la création d'une couche isolante autour de l'acier (protection-écran);
- d'autre part, par une protection électrochimique efficace en cas de rupture de la protection-écran.

### 3.1.1. L'EFFET BARRIÈRE

Un revêtement de zinc possède des caractéristiques essentielles pour la protection de l'acier. Ces propriétés de protection-écran proviennent d'une part d'une faible vitesse de corrosion et d'autre part de la création d'une couche passivée, stable au contact de l'air.

#### A. La vitesse de corrosion du zinc

La corrosion du zinc est très lente. La vitesse de corrosion du zinc est en effet de 10 à 40 fois inférieure à celle de l'acier. Le Tableau 02 compare les vitesses de corrosion de l'acier brut et du zinc en fonction des différentes ambiances de corrosion.

**Tableau 02 – Comparatif des vitesses de corrosion de l'acier et du zinc selon la classe de corrosivité.**

Classes de corrosivité	Vitesse de corrosion	
	Acier ( $\mu\text{m}/\text{an}$ )	Zinc ( $\mu\text{m}/\text{an}$ )
C1	$\leq 1,3$	$\leq 0,1$
C2	1 à 25	0,1 à 0,7
C3	25 à 50	0,7 à 2
C4	50 à 80	2 à 4
C5	80 à 200	4 à 8

La protection apportée par le zinc permet de ralentir considérablement la corrosion d'une pièce en acier puisque ce dernier ne sera corrodé qu'une fois le zinc disparu. Les vitesses de corrosion permettent de calculer une durée de vie théorique des pièces en acier ainsi protégées en fonction des différentes ambiances climatiques auxquelles elles sont confrontées (Figure 03).

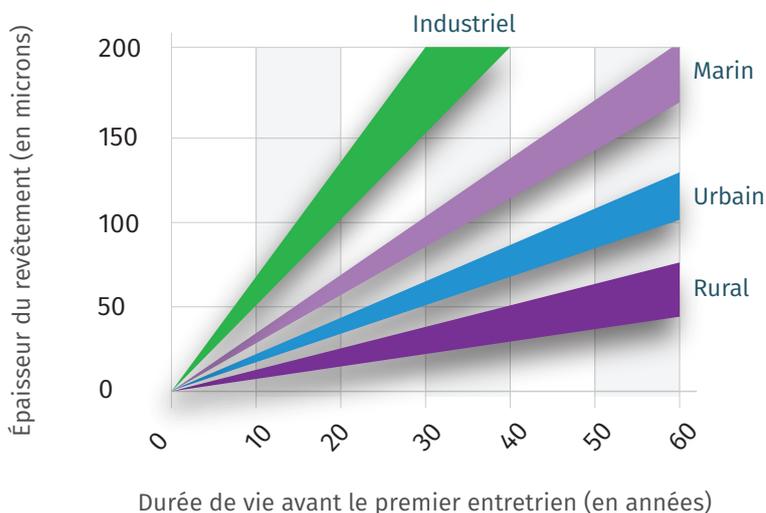


#### Le point de vigilance

Ces valeurs de durée de vie sont théoriques et calculées dans des situations idéales. Ces durées n'ont donc pas de valeur légale.

De plus, les vitesses de corrosion et les durées de vie théoriques des pièces en acier qui y sont associées sont données pour un revêtement de zinc uniforme. Dans le cas où ce revêtement ne serait pas uniforme sur toute la pièce (épaisseur de zinc non constante), les performances de la protection seraient atténuées.

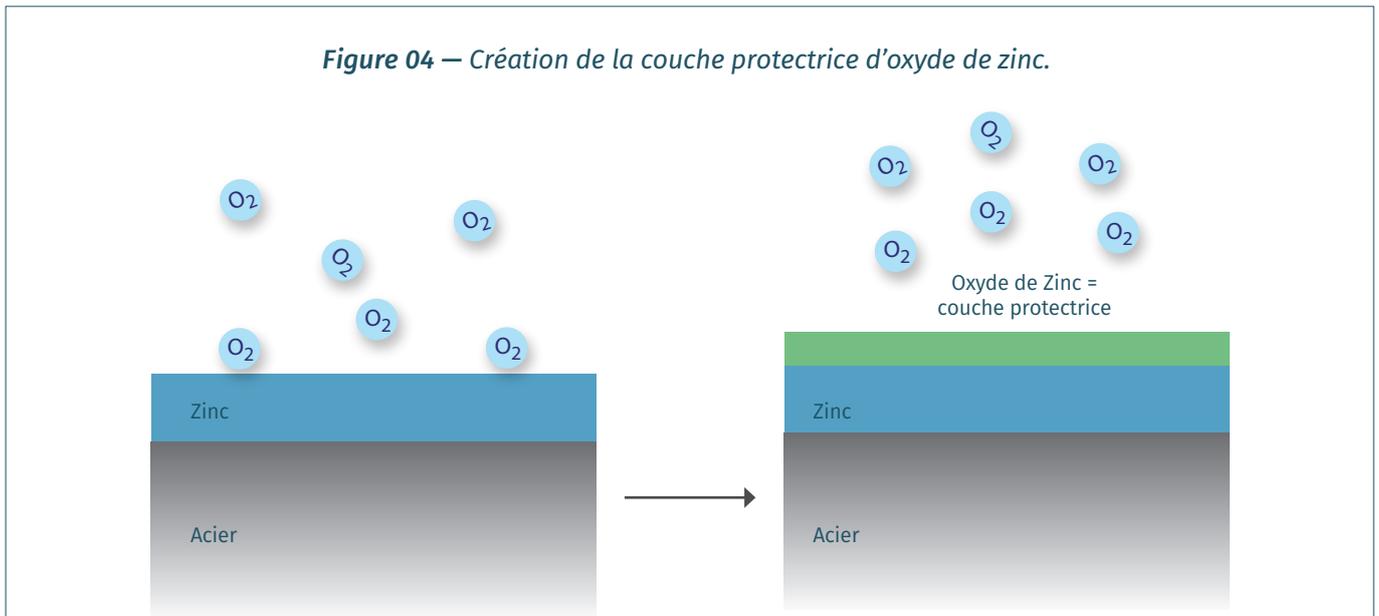
**Figure 03 – Durée de vie des revêtements de zinc en fonction de leur épaisseur et de l'ambiance d'exposition.**



### B. La passivation du zinc

La corrosion en surface de certains métaux peut produire un film continu, adhérent et insoluble, qui protège le métal contre une poursuite de l'attaque. **C'est le phénomène de passivation.** Ce procédé est parfois utilisé volontairement en mettant le métal en contact avec un oxydant puissant notamment pour la réalisation d'aluminium anodisé, d'aciers bichromatés et d'aciers phosphatés. C'est également ce phénomène qui est à l'origine de la formation de la couche d'oxyde de chrome ( $\text{CrO}_2$ ) protégeant les aciers inoxydables. Dans le cas du zinc, la passivation se produit de manière naturelle au contact de l'air. Cette couche supplémentaire formée à la surface du zinc est pratiquement insoluble et apporte donc une protection supplémentaire qui ralentit la corrosion du zinc.

Figure 04 – Création de la couche protectrice d'oxyde de zinc.

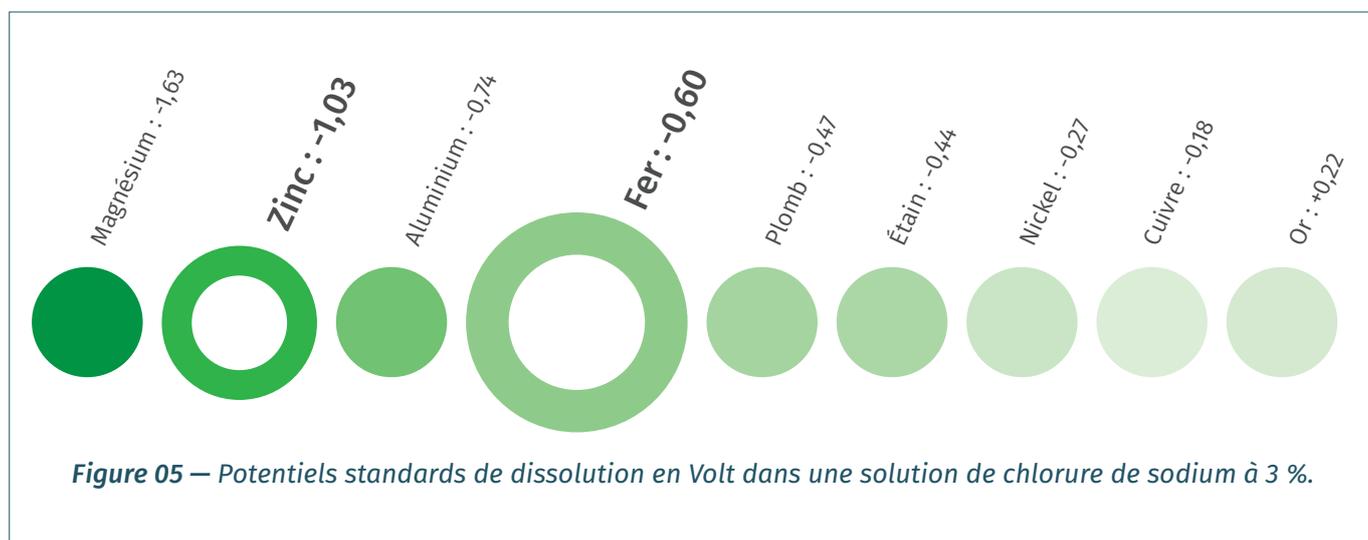


La couche passivante stable apparaît dans les premiers mois après l'application du zinc. Il y a une « matification » des pièces traitées par le zinc, appelée aussi « patine de zinc ».

### 3.1.2. LA PROTECTION ÉLECTROCHIMIQUE

La protection électrochimique intervient en cas de rupture de la protection-écran, après un choc par exemple. Le potentiel standard du zinc étant inférieur à celui du fer, le zinc devient une zone anodique par rapport au fer, plus noble. Le zinc se corrodera donc au profit de la pièce en acier qui restera intacte.

Cette protection est également appelée **protection sacrificielle** puisque le zinc se sacrifie au profit de l'acier.



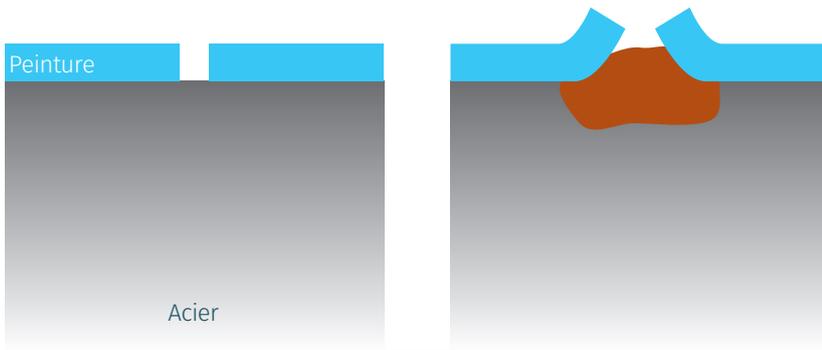
#### Le point de vigilance

La protection sacrificielle ne peut être efficace que dans le cas de petites blessures provoquant des rayures de 1 à 1,5 mm. Au-delà, la protection de l'acier mis à nu ne peut pas être assurée sans intervention. Une réparation est alors nécessaire.

La protection électrochimique ne peut être apportée que par des métaux plus anodiques par rapport au fer. Au contraire, dans le cas de revêtements métalliques plus cathodiques par rapport au fer, la pièce en acier se corrodera au profit du revêtement qui restera intact. Les revêtements organiques (peintures) étant peu voire pas conducteurs, ne peuvent pas apporter non plus de protection électrochimique à la pièce en acier.

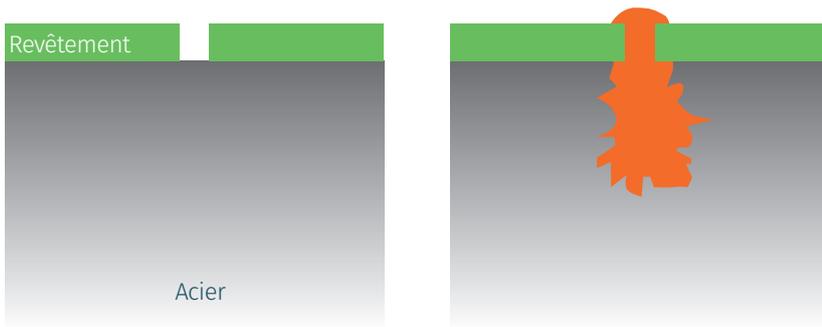


**Figures 06,07, 08 — Comportements observés pour différents revêtements en cas de blessures :**



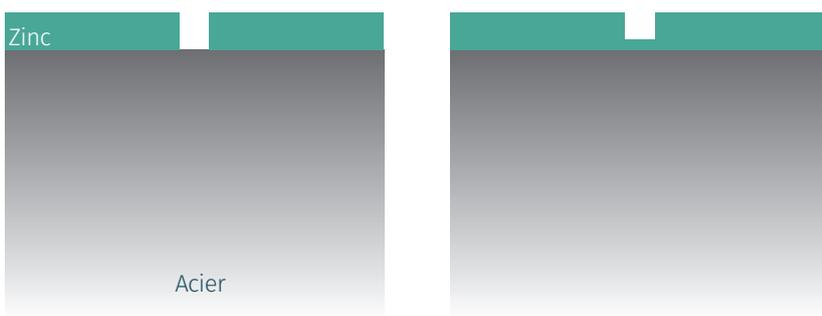
**Figure 06 — Peinture**

L'acier rouille à l'endroit de la rayure. L'oxydation se propage sous le film de peinture qui se soulève. En l'absence de réparation, la corrosion de l'acier continue.



**Figure 07 — Revêtement métallique cathodique par rapport au fer**

Avec un revêtement à base de Nickel ou de Cuivre, c'est l'acier qui protège cathodiquement le revêtement métallique et qui s'oxyde à l'endroit du défaut sous forme de corrosion par piqûre.



**Figure 08 — Revêtement de Zinc :**

Une pile fer/zinc fonctionne en présence d'humidité. Les sels de zinc produits par la réaction anodique polarisent la pile : il n'y a pas de corrosion de l'acier et la couche protectrice du Zinc se reforme par le dépôt des sels issus de la corrosion du zinc.

## Note



Dans les parties qui suivent, un zoom sera fait sur le procédé de galvanisation, les autres étant moins amenés à être prescrits de nos jours. Pour autant, une présentation de chaque procédé est proposée dans la rubrique **Pour aller plus loin**.

### 3.1.3. LES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DU ZINC

Le zinc possède d'excellentes propriétés d'adhérence à l'acier. Cette faculté lui confère une très bonne capacité de résistance à l'arrachement. Cette adhérence dépend également du procédé d'application du zinc et du soin apporté à la préparation de la pièce en acier avant son traitement. Dans le cas de la galvanisation, l'adhérence est excellente du fait de liaison métallurgique, atome par atome entre deux métaux, mais les

propriétés mécaniques du revêtement dépendent fortement de sa compatibilité avec la composition de l'acier revêtu.

Ce guide présente principalement 4 procédés de protection par le zinc que sont :

- La galvanisation de produits finis;
- La galvanisation en continu;
- La métallisation;
- L'électrozingage.

### 3.1.4. LA COMPATIBILITÉ DES ACIERS

#### La galvanisation de produits finis

Tous les aciers ne sont pas compatibles avec la galvanisation. La diffusion métallurgique du zinc avec le fer dépend de la teneur en silicium et en phosphore de l'acier. Seuls les aciers ayant une constitution compatible peuvent être galvanisés. La norme NF A 35-503 précise les compositions chimiques des aciers aptes à la galvanisation à chaud.

#### La galvanisation en continu

Les produits galvanisés en continu étant vendus prêts à l'emploi, la question de la compatibilité des aciers ne se pose pas.

#### La métallisation

La métallisation peut se faire sur tous les aciers sans contrainte de compatibilité.

#### L'électrozingage

Comme pour la galvanisation, certains aciers sont plus recommandés que d'autres pour subir un électrozingage. Il convient alors de se rapprocher du fournisseur.

### 3.1.5. PRÉPARATION DES PIÈCES ET DES SURFACES

#### La galvanisation de produits finis

La galvanisation nécessite une préparation des pièces dès la conception. Les corps creux et les assemblages doivent faire l'objet d'une attention particulière afin de permettre la libre circulation de l'air, des fluides de préparation de surface et du zinc. Le non-respect de certaines règles peut conduire à une absence de revêtement ou à un résultat inesthétique voire à une explosion de la pièce.



### La galvanisation en continu

Les produits étant disponibles pré-galvanisés, aucune intervention n'est requise. Lors de la découpe des tôles, ou en cas de soudure, le revêtement de zinc est détruit localement. Ces produits sont donc adaptés à des pièces non soumises à forte corrosion (les épaisseurs de zinc déposées en galvanisation en continu étant de plus beaucoup plus faibles).

### La métallisation

La métallisation nécessite une préparation mécanique soignée. Celle-ci a pour but d'éliminer les oxydes et de créer une rugosité qui favorisera l'accroche du revêtement de zinc.

### L'électrozingage

L'électrozingage nécessite une préparation chimique permettant de désoxyder l'acier, qui est effectuée avant revêtement. Ce traitement est essentiellement réservé aux pièces exposées à l'intérieur des bâtiments, car les épaisseurs déposées sont faibles et il s'agit d'un simple dépôt en surface (sans réaction métallurgique). Cependant, elle ne peut pas être réalisée sur les parties internes, comme l'intérieur des tubes par exemple.

Plus d'informations sur ces procédés dans la rubrique **Pour aller plus loin**.

## 3.1.6. QUEL PROCÉDÉ CHOISIR SELON L'ENVIRONNEMENT ?

Le choix du procédé d'application du zinc dépend principalement des critères suivants :

- la catégorie de corrosion dans laquelle l'ouvrage se trouve ;
- les variations de l'environnement ;
- la durée de vie requise avant le premier entretien ;
- les éléments auxiliaires éventuellement nécessaires (cohérence entre différentes protections anticorrosion) ;
- la nécessité d'appliquer une peinture dès le départ ;
- la disponibilité et le coût ;
- éventuellement, la facilité de son entretien.

D'une manière générale, il convient que le procédé de protection soit choisi en collaboration avec le prescripteur. Un

comparatif des procédés est disponible dans la rubrique **Pour aller plus loin**.

Le tableau 03 présente les procédés possibles selon les durées de vie théoriques, attendues par le chantier. De ces durées sont tirées des recommandations sur l'utilisation des procédés et de l'épaisseur de revêtement à avoir pour atteindre une durée caractéristique jusqu'au premier entretien suffisante. Des recommandations plus détaillées du même type sont également proposées dans la norme NF EN ISO 14713. Les données présentées dans le tableau sont théoriques. Des conditions d'exposition particulières peuvent conduire à des performances supérieures ou au contraire dégradées par rapport à celles indiquées.



### Le point de vigilance

Les éléments présentés ne sont que des indications et n'ont bien sûr pas valeur légale.

Les garanties anticorrosion liées à un ouvrage ne peuvent pas être déterminées à l'aide de ce tableau mais doivent être établies en collaboration avec l'organisme chargé de mettre en œuvre le procédé sélectionné.



Les valeurs des épaisseurs de revêtement de zinc spécifiées correspondent à une valeur minimale des épaisseurs moyennes. L'épaisseur moyenne d'un revêtement doit donc être supérieure à ce minimum recommandé. La durée de vie de tous les revêtements de zinc

est approximativement proportionnelle à l'épaisseur du revêtement. La durée de vie avant le premier entretien de ces produits peut donc être facilement évaluée pour le cas d'une épaisseur non spécifiée dans les recommandations. Il est enfin important de noter que les

recommandations sur la métallisation prises en compte dans le tableau 03 s'appliquent à une métallisation colmatée. Une métallisation non colmatée peut être envisagée dans certaines situations. Il convient dans ce cas de définir les conditions requises avec le métallisateur.

**Tableau 03 — Aide au choix d'un procédé de protection selon la durée de vie théorique attendue.**

Catégorie de corrosion C1			
Durée de vie attendue (années)	Procédé possible	Épaisseur moyenne minimum de zinc par face (µm)	Vitesse de corrosion (µm/an)
≥ 50	Electrozingage	2.5 – 7,5*	≤ 0,1
	Galvanisation en continu	7 – 20*	
	Métallisation	50 – 200	
	Galvanisation de produits finis	55 – 200	
Tous les procédés d'application du zinc peuvent être utilisés lorsqu'ils sont soumis à une catégorie de corrosion C1. Attention toutefois à considérer les ouvrages situés à l'intérieur, mais soumis à une très forte humidité ou à de fréquentes condensations comme étant en catégorie C3 voire C4.			
Catégorie de corrosion C2			
Durée de vie attendue (années)	Procédé possible	Épaisseur moyenne minimum de zinc par face (µm)	Vitesse de corrosion (µm/an)
De 3 à 50	Electrozingage 	2.5 – 7,5*	0,1 - 0,7
> 50	Galvanisation en continu	7 – 20*	
	Métallisation	50 – 200	
	Galvanisation de produits finis	55 – 200	
Tous les procédés d'application, à l'exception de l'électrozingage, peuvent être utilisés pour la catégorie C2. Les durées de vie des protections seront toutefois 5 à 10 fois plus courtes que pour la catégorie C1. L'électrozingage peut rapidement atteindre ses limites dans les conditions de la catégorie C2. Dans la pratique, l'électrozingage est déconseillé pour des applications extérieures.			
Catégorie de corrosion C3			
Durée de vie attendue (années)	Procédé possible	Épaisseur moyenne minimum de zinc par face (µm)	Vitesse de corrosion (µm/an)
De 1 à 11	Electrozingage 	2.5 – 7.5*	0,7 - 2
De 4 à 29	Galvanisation en continu 	7 – 20*	
De 28 à > 50	Métallisation	50 – 200	
	Galvanisation de produits finis	55 – 200	
L'électrozingage est déconseillé dans le cas de catégorie C3. Les tôles galvanisées en continu peuvent être utilisées à condition que l'épaisseur de revêtement soit d'au moins 20 µm (au cumul des deux faces) et qu'un premier entretien soit prévu avant une période inférieure à 5 ans. La galvanisation de produits finis et la métallisation apportent, avec une épaisseur de revêtement « moyenne » pour ces procédés (85 µm), une très bonne protection pour une durée théorique très longue (≥ 20 ans).			



Catégorie de corrosion C4			
Durée de vie attendue (années)	Procédé possible	Épaisseur moyenne minimum de zinc par face ( $\mu\text{m}$ )	Vitesse de corrosion ( $\mu\text{m}/\text{an}$ )
De 1 à 5	Electrozingage 	2.5 – 7.5*	2 – 4
De 2 à 10	Galvanisation en continu 	7 – 20*	
De 13 à > 50	Métallisation	50 – 200	
	Galvanisation de produits finis	55 – 200	

Pour la catégorie de corrosion C4, il n'est pas recommandé d'utiliser l'électrozingage. Les produits galvanisés en continu peuvent uniquement être utilisés pour une durée caractéristique avant le premier entretien très courte (inférieure à 4 ans) et dans le cas où l'épaisseur de zinc est d'au moins  $30 \mu\text{m}$  (au cumul des deux faces). Pour la galvanisation de produits finis ou la métallisation, s'il y a besoin d'une protection de très longue durée, vous pouvez demander à l'apporteur la faisabilité et les modalités pour obtenir des revêtements de zinc (supérieurs à la norme).

Catégorie de corrosion C1			
Durée de vie attendue (années)	Procédé possible	Épaisseur moyenne minimum de zinc par face ( $\mu\text{m}$ )	Vitesse de corrosion ( $\mu\text{m}/\text{an}$ )
De 0 à 4	Electrozingage 	2.5 – 7.5*	4 – 8
De 0 à 5	Galvanisation en continu 	7 – 20*	
De 6 à > 50	Métallisation	50 – 200	
	Galvanisation de produits finis	55 – 200	

L'électrozingage et les produits galvanisés en continu ne sont pas recommandés pour les ouvrages soumis à la catégorie C5. Seules la galvanisation de produits finis et la métallisation peuvent être utilisées : s'il y a besoin d'une protection de longue durée, vous pouvez demander à l'apporteur la faisabilité et les modalités pour obtenir des revêtements de zinc supérieurs à la norme.

\* Pour certains procédés (galvanisation en continu et électrozingage), on compare ici l'épaisseur de zinc par face revêtue, car l'épaisseur de zinc s'étend sur chaque face du sujet.

## L'astuce à retenir



L'association Galvazinc propose sur son site internet une carte interactive des durées de vie de la galvanisation avant le premier entretien. Les valeurs de durée de vie indiquées sur la carte sont des estimations issues d'un calcul mathématique, réalisé sur la base de données recueillies sur des éprouvettes de Météo France. Le modèle permet d'estimer la vitesse de corrosion de la galvanisation en fonction :

- du total des précipitations annuelles en  $\text{mm}/\text{an}$  ;
- de la quantité de sel déposé en  $\text{mg}/\text{m}^2.\text{jour}$  ;
- de la concentration de dioxyde de soufre dans l'atmosphère en  $\text{mg}/\text{m}^3$  ;
- de l'humidité relative moyenne sur l'année en % ;
- de la température moyenne sur l'année en  $^{\circ}\text{C}$ .

## Note



Les revêtements appelés Duplex permettent d'augmenter considérablement les durées de protection anticorrosion. En effet, les durées de vie du revêtement de zinc et de peinture ne font pas que simplement « s'additionner », mais créent un effet de synergie entre les deux systèmes, ce qui permet d'obtenir de très longues durées de protection anticorrosion.

## 3.2. Comment obtenir une galvanisation de qualité ?

### 3.2.1. RÉSUMÉ DES PRÉCAUTIONS À RESPECTER

La précaution fondamentale est bien entendu de prendre contact avec le galvanisateur en amont de la conception afin de définir en détail avec lui les éventuels points critiques qui rendront la galvanisation difficile. La

collaboration étroite avec le galvanisateur dès le début d'un projet peut éventuellement éviter des désagréments importants tels que le démontage de pièces déjà assemblées, la re-conception de certaines pièces, etc.

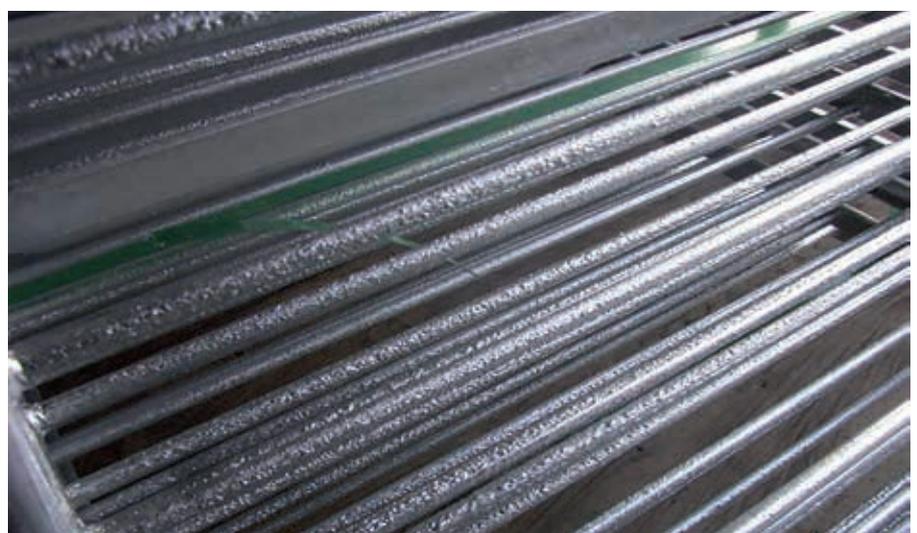
#### Recommandations de l'Union de Métalliers

Dans le cas de revêtements de peinture ultérieurs, il convient d'en informer le galvanisateur.

- Les fontes et les aciers moulés peuvent être galvanisés avec des préparations de surface adaptées.
- Pour les aciers à haute résistance (HR) ou à dureté élevée, il convient de consulter le galvanisateur pour évaluer les risques de fragilisation.
- Après galvanisation, des précautions particulières doivent être prises pour la manutention des pièces en acier de classe C, plus fragiles en raison de la forte épaisseur de revêtement.
- Il convient d'éviter de créer des niveaux de contraintes trop élevés dans les aciers. Un écrouissage excessif pourrait fragiliser la pièce. La galvanisation jouerait, dans ce cas, un rôle de révélateur de cette fragilisation, pouvant conduire à des déformations, voire des ruptures des pièces.
- La galvanisation ne corrige pas les défauts d'aspect du métal tels criques, pailles, stries, peau d'orange, etc., mais elle les révèle.

**La galvanisation peut souvent révéler les défauts cachés du métal de base.**

*Figures 09 et 10 — Réactivité des aciers sur fers plats et sur fers ronds.*



Le diagramme ci-après résume les principales précautions pour la galvanisation d'un produit.

- 1 Bien référencer le cahier des charges
- 2 Utiliser des aciers compatibles pour la galvanisation
- 3 Respecter les précautions de conception :
  - respecter les instructions de conception dans les corps creux
  - sur toutes les surfaces de raccordement, créer un jeu supplémentaire d'environ 1 à 2 mm
  - ne pas galvaniser des pièces soudées à l'aide d'alliages à bas point de fusion, ils se détruiront
  - lors du soudage, n'utiliser que des produits anti-projection qui n'empêchent pas la galvanisation
  - sur les pièces moulées, éliminer par grenailage le sable de moulage, car la galvanisation ne s'opère pas sur du sable
  - éviter les surfaces qui se recouvrent. À défaut, suivre les instructions relatives aux événements
  - penser à définir les points d'accrochage d'une pièce pour assurer sa manutention
  - éviter les pièces très rigides sur un seul plan qui peuvent se déformer
  - éviter les grandes surfaces de tôles minces non renforcées qui peuvent se déformer
  - précautions sur les découpes thermiques
- 4 Respecter les précautions de réalisation :
  - éviter les salissures telles que graisses, peintures, vernis, laitiers de soudure, anti-gratons comportant du silicone
  - repérer les pièces par poinçonnage à froid ou étiquetage métallique
- 5 Respecter les bonnes dispositions de stockage et de transport pour éviter la formation de rouille blanche, ou demander une passivation après galvanisation
- 6 Réparer si nécessaire le revêtement en cas de destruction localisée de la couche de zinc (perçage, soudage, etc.)
- 7 Harmoniser les performances des protections des accessoires (boulons, rondelles, etc.) à la structure principale
- 8 Dans le cas de revêtement ultérieur de peinture, respecter :
  - une préparation de surface adaptée
  - un système de peinture adapté



### 3.2.2. QU'EXIGER DES FOURNISSEURS ET DU GALVANISATEUR

#### A. La composition de l'acier

L'une des principales composantes entrant en jeu dans la qualité finale de la galvanisation est la compatibilité de l'acier utilisé. Il convient donc d'exiger du fournisseur de l'acier qu'il s'engage sur la composition du produit qu'il fournit.

#### L'astuce à retenir



Lors de la commande, il convient d'inclure l'exigence suivante dans le cahier des charges :

« Ces aciers étant destinés à la galvanisation, les teneurs en silicium et phosphore devront être conformes à la catégorie (A, B ou C) de la norme NF A 35-503 en vigueur (Plus d'informations dans la rubrique **Pour aller plus loin**). Un certificat de réception 3.1A ou 3.1B selon la norme NF EN 10204, fourni lors de la livraison, confirmera le respect de la présente exigence. »

#### B. La galvanisation

Le procédé de galvanisation de produits finis est régi par la norme NF EN ISO 1461. Il convient donc d'exiger du galvanisateur qu'il s'engage sur le respect de cette norme.

#### L'astuce à retenir



Dans le cahier des charges, il est possible d'inclure la formulation suivante :

« La galvanisation à chaud de produits finis effectuée sur les pièces en acier devra être conforme aux prescriptions de la norme NF EN ISO 1461. Une attestation de conformité aux exigences de cette norme devra être fournie. »

Les points importants de la norme NF EN ISO 1461 à retenir sont les suivants :

- **Échantillonnage** : « le contrôle pour acceptation doit être effectué avant que les produits ne quittent l'usine du galvanisateur, sauf spécification contraire à la commande donnée par l'acheteur. »
- **Aspect** : « lors du contrôle, les surfaces significatives (surface à définir et communiquer au galvanisateur impérativement avant traitement des pièces) de la pièce revêtue doivent être exemptes de cloques (c'est-à-dire, de surfaces soulevées sans métal solide en dessous), rugosités, picots (si les uns ou les autres peuvent provoquer des blessures) et zones non revêtues. » La norme précise en outre que « la présence de zones grises plus ou moins sombres (par exemple, marbrures gris foncé) ou d'une certaine irrégularité superficielle ne doit pas constituer une cause de rejet; de même que des taches dues à des conditions de stockage humides (produits de corrosion blancs ou noirs, principalement constitués d'oxydes de zinc, formés pendant le stockage dans des conditions humides après galvanisation) ne doivent pas constituer une cause de rejet à condition que l'épaisseur de revêtement reste supérieure à la valeur minimale spécifiée. [...] il n'est pas possible de rédiger une définition de l'aspect et de la finition qui tienne compte de toutes les exigences pratiques. Les gouttes et cendres de zinc ne sont acceptables que si elles n'affectent pas l'utilisation finale de la pièce galvanisée ni la prescription de résistance à la corrosion. »
- **Épaisseur** : « la durée de protection contre la corrosion assurée par ces revêtements [...] est approximativement proportionnelle à leur épaisseur. Pour des conditions extrêmement agressives et/ou une durée de vie exceptionnellement longue, des revêtements plus épais que ceux spécifiés ici [XXX référence à donner] peuvent être requis. » Ils doivent dans ce cas « faire l'objet d'un accord entre le galvanisateur et le client concernant les moyens d'obtention. »
- **Reconditionnement** : « les surfaces non revêtues à reconditionner par le galvanisateur ne doivent pas mesurer plus de 0,5 % de la surface totale d'une pièce. Aucune surface non revêtue à reconditionner ne doit mesurer plus de 10 cm<sup>2</sup>. » « Le reconditionnement



doit se faire en choisissant la méthode la plus pratique, soit par projection de zinc, soit par application d'une peinture riche en zinc appropriée.»

• **Adhérence** : la norme stipule « qu'il n'est généralement pas nécessaire de soumettre l'adhérence à essai [...]

puisque le procédé de galvanisation [...] est capable de supporter, sans décollement ni écaillage, une manipulation en rapport avec la nature du revêtement [...] et l'utilisation normale de la pièce. [...] Les revêtements épais exigent une manipulation plus soignée

que les revêtements minces.»

Elle précise enfin « qu'un essai de quadrillage donne une indication sur les propriétés mécaniques du revêtement, mais, dans certains cas, il peut se révéler plus sévère que dans les conditions de service ».

La réalisation d'essais de quadrillage doit faire l'objet d'un accord avec le galvanisateur avant traitement des pièces.

### 3.2.3. CE QUI PEUT ÊTRE EXIGÉ DU MÉTALLIER

#### A. Par le galvanisateur

Pour que le galvanisateur puisse respecter les spécifications de la norme NF EN ISO 1461, il est nécessaire que l'entreprise de métallerie respecte à son tour certaines prescriptions définies par ce texte, ces prescriptions sont listées dans son Annexe A. Le galvanisateur est en droit d'exiger du Métallier qu'il respecte ces spécifications définies dans la norme.

#### → Les informations à fournir au galvanisateur

La norme NF EN ISO 1461 stipule que « l'acheteur » (ici l'entreprise de métallerie) doit fournir au galvanisateur :

- « La composition et les propriétés du métal de base qui peuvent affecter la galvanisation. Des échantillons peuvent également être demandés pour tester l'aptitude à la galvanisation. »
- « Une identification des surfaces significatives par exemple à l'aide de dessins ou d'échantillons convenablement repérés. »
- « Un dessin ou tout autre moyen d'identification des endroits où des irrégularités de surface (gouttes rondes ou marques de contact) qui rendraient la pièce revêtue inacceptable pour l'utilisation envisagée. Le client doit déterminer avec le galvanisateur comment traiter ce genre de problèmes. »
- « Un échantillon ou tout autre moyen permettant de présenter la finition requise. »
- « Toute prescription relative à un prétraitement particulier. »
- « Toute épaisseur particulière de revêtement. »
- « Tous post-traitements ou revêtements qu'il est prévu d'appliquer après galvanisation, par exemple peinture. »

#### → La sécurité

La norme NF EN ISO 1461 précise que « l'acheteur doit prévoir des dispositifs permettant la manutention des pièces et des perçages ou tout autre moyen permettant l'évacuation des gaz et des liquides des corps creux, ou encore donner accord au galvanisateur pour qu'il prenne ces dispositions qui sont essentielles tant pour la sécurité que pour le procédé. »

Elle précise également que « les cavités fermées sont strictement prohibées, car elles peuvent provoquer des explosions pendant la galvanisation à chaud. » Cette condition est bien sûr respectée si les précautions de conception présentées dans ce guide, et tirées de la norme NF EN ISO 14713, sont respectées.

#### B. Par le prescripteur

Le prescripteur est en droit de demander dans son cahier des charges que la norme NF EN ISO 14713 soit respectée pour la conception et la réalisation des pièces métalliques devant être galvanisées.

Cette condition est de toute manière requise par les exigences de sécurité du procédé de galvanisation à chaud de produits finis, cela n'est donc pas une contrainte supplémentaire.



## 3.3. Conception des pièces à galvaniser

La première condition pour concevoir une pièce destinée à être galvanisée est d'utiliser un acier compatible pour la galvanisation. Le principe de galvanisation nécessite de prendre également d'autres précautions lors de la conception de la pièce.

### L'astuce à retenir



Il convient d'associer le galvanisateur à la conception de la pièce dès le début du projet afin de déterminer avec lui les précautions de conception précises à respecter. La position exacte des trous et des événements par exemple peut varier en fonction de la technique de trempe. Il convient donc de s'en assurer au préalable.

### 3.3.1. PARTICULARITÉS DE LA GALVANISATION A CHAUD

Un des avantages recherchés exclusivement avec la galvanisation à chaud est la protection intégrale des pièces, y compris à l'intérieur des corps creux. La galvanisation est un procédé par immersion et nécessite que les gaz et les fluides de préparation de surface et le zinc en fusion puissent circuler librement en tous points de la pièce.

Une absence de circulation pourrait avoir pour conséquence :

- La présence de poches d'air qui conduirait à une mauvaise préparation de surface et donc à une absence de

revêtement à certains endroits, ce qui remettrait en cause l'efficacité de la protection anticorrosion.

- La présence de liquide piégé dans la pièce. Lors de l'immersion, ces liquides se vaporiseraient à la température de 450 °C ce qui pourrait provoquer un flambage ou une explosion (conséquences pour l'intégrité de la pièce et surtout pour la sécurité du personnel).
- Un excès de zinc à certains endroits, ce qui aurait un résultat peu esthétique en plus de représenter un coût financier important.

### L'astuce à retenir



Des orifices de drainage doivent être disposés sur toute la pièce. Ces orifices ont pour but de permettre, d'une part aux liquides et aux gaz de pénétrer dans les corps creux de la pièce lors de l'immersion et donc de protéger la surface interne et d'autre part d'évacuer ces liquides et gaz lors de l'émersion.



Figure 11 — Exemple de dégâts causés par une explosion de tube.

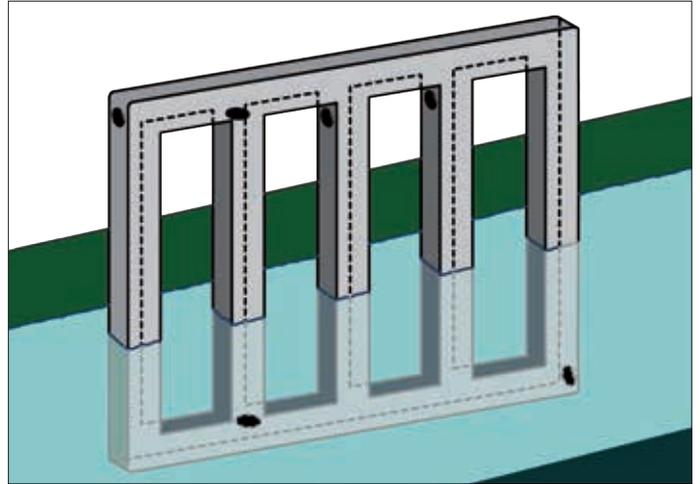
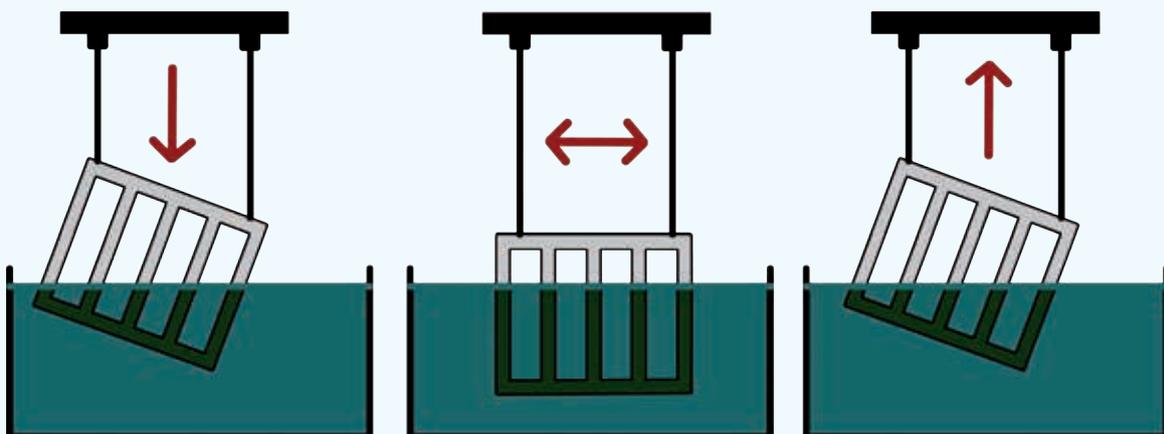


Figure 12 — Présences d'orifices sur une pièce lors du procédé de galvanisation à chaud.

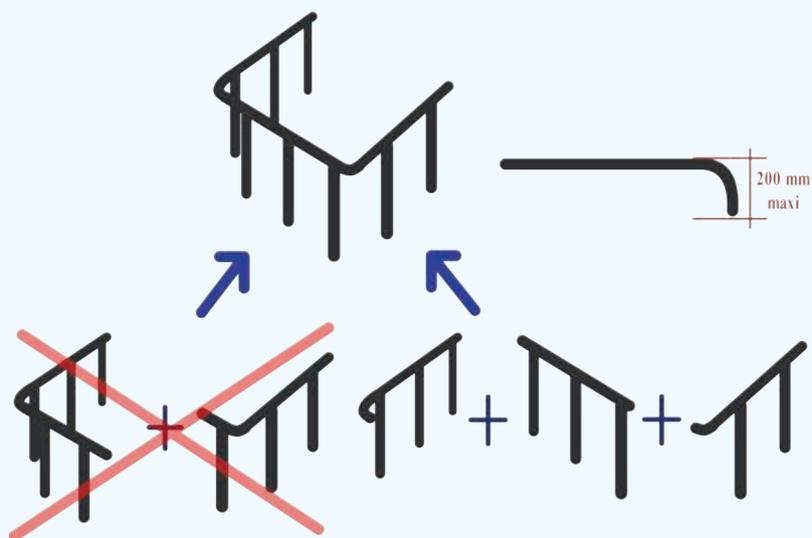
Figure 13 — Principe de l'immersion dans le procédé de galvanisation à chaud.



Le positionnement des orifices de drainage dépend de la méthode d'immersion/émersion du galvanisateur. De façon générale, la pièce est immergée puis émergée sans changement d'orientation.

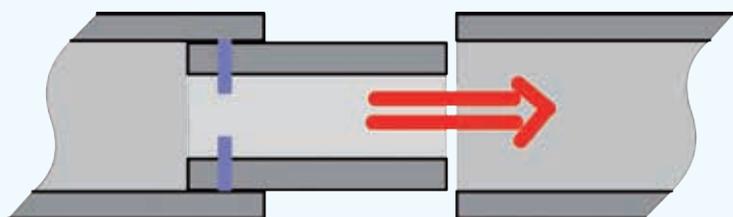
**Figure 14** — Conception des assemblages tubulaires

Pour des raisons pratiques, mais également économiques, il peut dans certains cas être préférable de concevoir des assemblages de pièces de faible largeur plutôt que de galvaniser une pièce complète, mais de dimensions plus importantes. Les dimensions du bain de zinc étant limitées, la circulation du zinc dans la pièce et donc la qualité finale du revêtement peuvent ne pas être optimales.



**Figure 15** — Système d'assemblage cohérent avec la galvanisation à chaud.

Il convient de prévoir un système d'assemblage qui soit cohérent avec la galvanisation ainsi que de tenir compte de l'épaisseur supplémentaire du revêtement de zinc pour déterminer les jeux sur les surfaces de contact et les trous.



### 3.3.2. L'ÉVACUATION DES LIQUIDES ET DES GAZ

Les orifices d'évacuation doivent se situer le plus près possible des arêtes ou des coins susceptibles de maintenir des poches d'air ou de zinc. Il est conseillé de pratiquer ces orifices avant l'assemblage.

Lorsque les pièces sont déjà assemblées, l'espace nécessaire au perçage n'est pas forcément suffisant; dans ce cas le meilleur moyen d'effectuer ces trous est d'utiliser un chalumeau.

#### Note



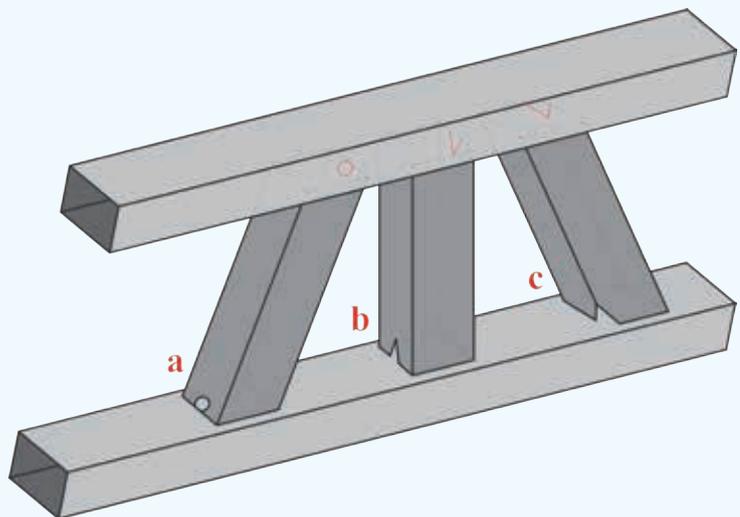
Il est nécessaire que les dispositifs d'évacuation des liquides et des gaz soient visibles de l'extérieur, ceci pour des raisons de contrôle et de sécurité. Un galvanisateur peut refuser de galvaniser des pièces dont les perçages ne sont pas visibles.

#### A. profils creux

Les orifices d'évacuation peuvent prendre la forme de trous ou d'entailles en V. Ils doivent être situés sur les sections transversales ou les pièces de liaison fermées aux extrémités, à la base d'un côté et au sommet de l'autre, à proximité de l'extrémité.

**Figure 16** — Exemples d'orifices d'évacuation pour les profils creux.

- a. Perçages tangentiels à la soudure diagonalement opposés.
- b. Grugeages pleine face diagonalement opposés.
- c. Grugeages d'angle diagonalement opposés.

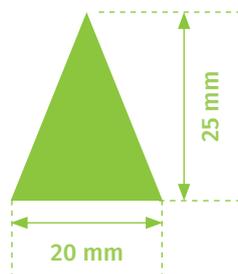


Les trous ainsi formés doivent être aussi grands que possible et, pour les petites pièces, ils doivent avoir un diamètre de 10 mm au minimum. Le tableau ci-après présente les diamètres des dispositifs d'évacuation à appliquer en fonction de la section du profil.

Tableau 04 — Diamètres recommandés des évacuations en fonction de la section du profil.

Diamètre de perçage			
Profil tubulaire (mm)			Diamètre du trou à chaque extrémité (mm)
Rond	Carré	Rectangulaire	
20	< 20	30 * 15	10
30	< 30	40 * 20	12
40	< 40	50 * 30	14
50	< 50	60 * 40	16
60	< 60	80 * 40	20
80	< 80	100 * 60	20
100	< 100	120 * 80	25
120	< 120	160 * 80	30
160	< 160	200 * 120	30

Les dimensions recommandées pour les grugeages sont les suivantes :

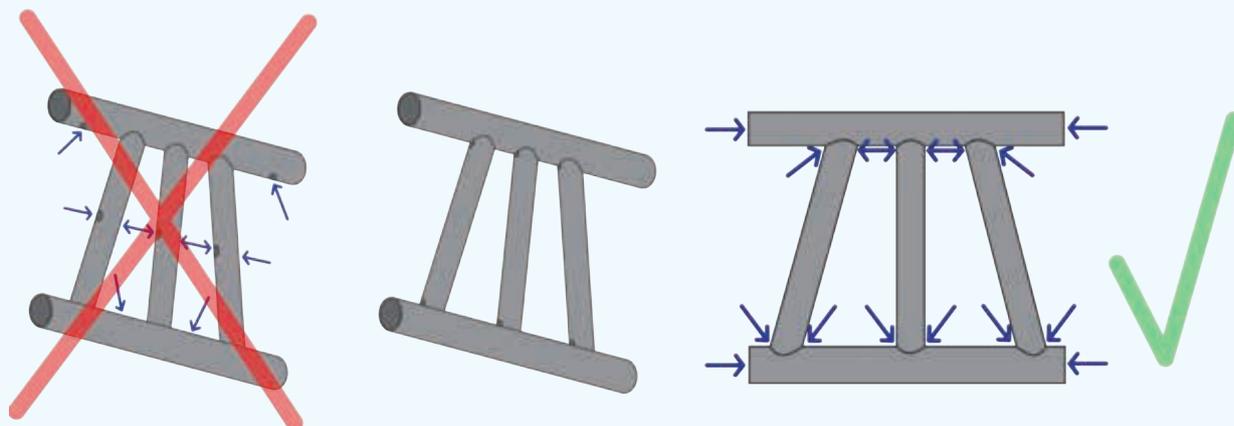


**Note**

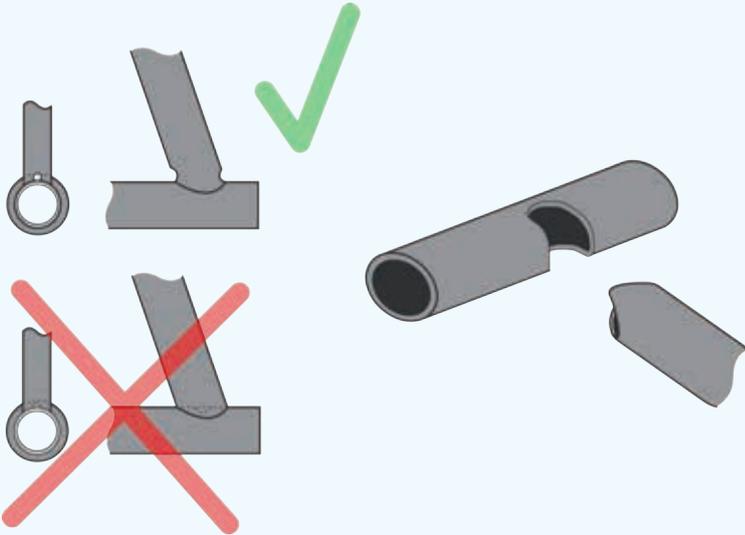
Au-delà des dimensions spécifiées dans le tableau 04, il convient de consulter le galvanisateur.

Figure 17 — Emplacement des orifices d'évacuation pour les profils tubulaires.

Afin d'éviter la formation de poches de zinc ou de produits de préparation, les trous d'évacuation doivent être situés aux extrémités des profils et autant que possible, le plus proche des recoins des pièces. peuvent ne pas être optimales.



**Figure 18** — Emplacement des orifices d'évacuation évitant les trous borgnes lors d'assemblage de tubes.



### Le point de vigilance

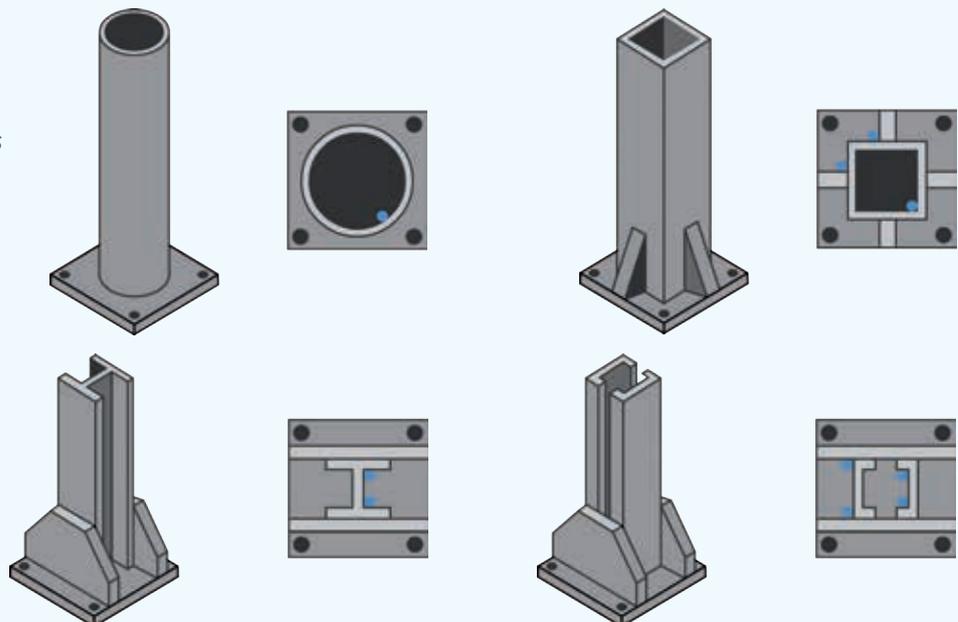
Les trous borgnes sont à proscrire. Même les trous borgnes percés sont à éviter, puisque, non visibles, ils ne permettent pas au galvanisateur d'avoir l'assurance que les perçages ont été effectués.

### B. Profils fixes sur des socles

La présence d'un socle bloque la circulation des fluides et des gaz. Il est donc indispensable de pratiquer des trous d'évacuation à chaque coin susceptible de favoriser la formation de poches de zinc lors de l'immersion.

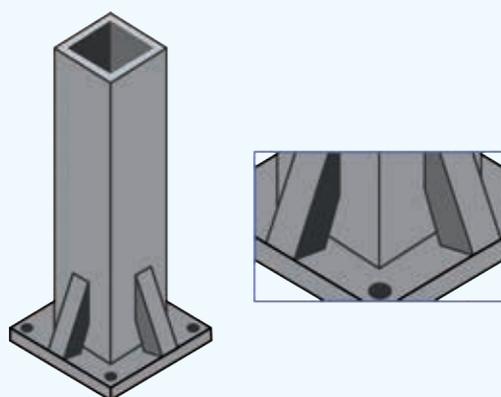
Les orifices d'évacuation des liquides et des gaz doivent être situés à chaque extrémité de la pièce en diagonale.

**Figure 19** — Emplacement des orifices d'évacuation pour des configurations sur socle courantes.



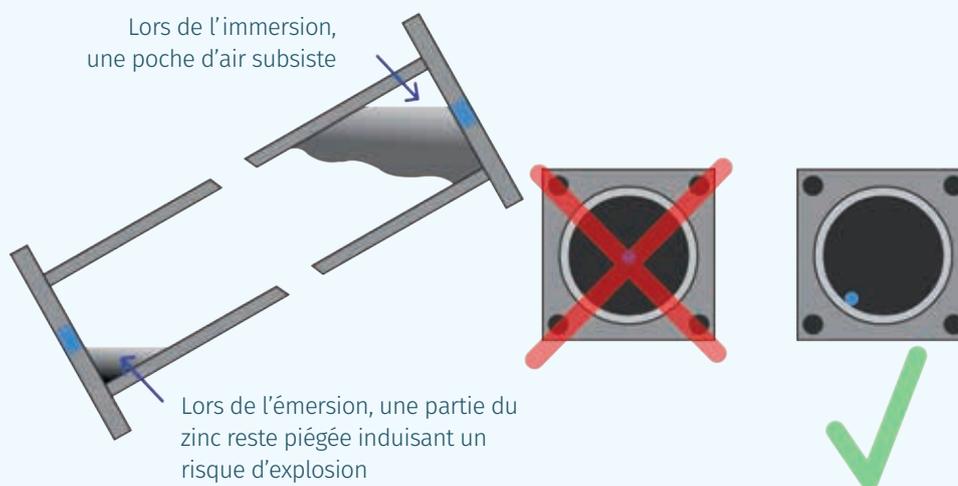
Des variantes sont également possibles pour certains cas. Il est possible de réaliser des grugeages dans les goussets dans certaines configurations.

**Figure 20** – Réalisation de grugeage sur des pièces sur socle.



Lors de la réalisation des trous d'évacuation, il est essentiel de prendre en compte le fait que les produits sont retirés du bain de zinc avec une certaine inclinaison. Il est donc impossible de réaliser une ouverture au centre d'un socle puisque la totalité du zinc ne pourrait pas s'évacuer lors de l'émersion de la pièce.

**Figure 21** – Mise en avant de l'importance de ne pas réaliser un orifice d'évacuation au centre du socle.

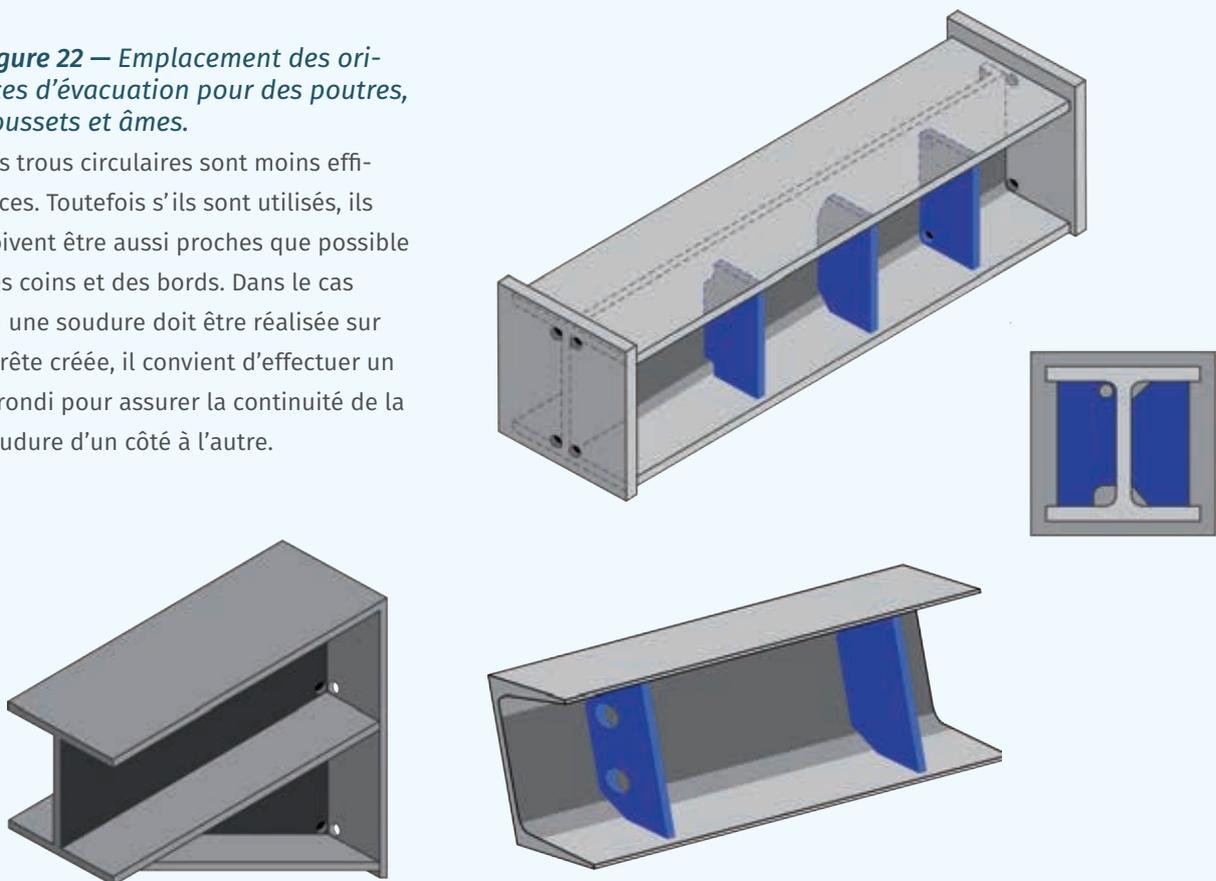


### C. Poutres, goussets et ames

Les coins des renforts extérieurs, des goussets soudés et les âmes de poteaux et poutres doivent être grugés. Les orifices ainsi créés doivent être aussi grands que possible sans compromettre la résistance de la structure. Pour plus de commodité, il est possible de pratiquer les grugeages et les trous dans la poutre principale.

**Figure 22** — *Emplacement des orifices d'évacuation pour des poutres, goussets et âmes.*

Les trous circulaires sont moins efficaces. Toutefois s'ils sont utilisés, ils doivent être aussi proches que possible des coins et des bords. Dans le cas où une soudure doit être réalisée sur l'arête créée, il convient d'effectuer un arrondi pour assurer la continuité de la soudure d'un côté à l'autre.



### D. Pièces mobiles

Les pièces comportant des parties mobiles démontables peuvent être galvanisées séparément, en prévoyant le jeu suffisant des parties femelles des articulations pour tenir compte de l'épaisseur du revêtement. Il convient alors d'en informer la société qui réalisera le revêtement.

Il est recommandé d'éviter les ensembles comportant des parties mobiles non démontables (portières, trappes, verrous) qui se trouveront alors soudées au zinc après la galvanisation.

### 3.3.3. LES INTERVALLES ÉTROITS

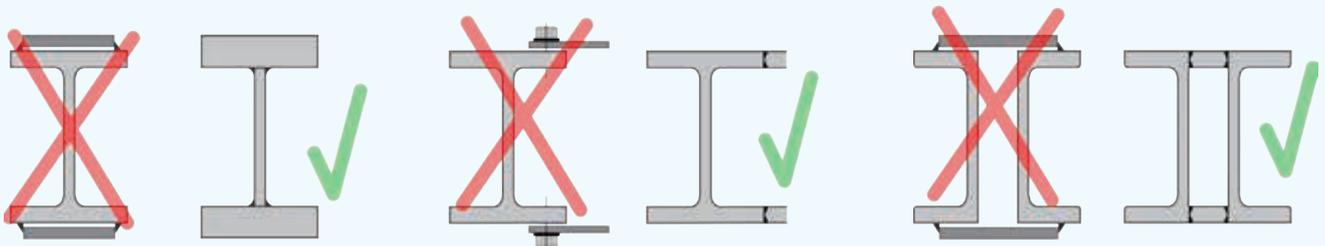
Il est conseillé d'éviter les intervalles étroits entre les différentes parties des pièces et notamment entre les surfaces planes en contact entre elles. Le revêtement de zinc peut en effet avoir du mal à se déposer lorsque l'espace est trop étroit.

Prévoir un espace de 3 mm minimum pour que le zinc puisse circuler entre les parties des pièces.

En cas d'impossibilité, il est préférable que les assemblages soudés soient continus. Pour éviter tout risque d'explosion, il est nécessaire de pratiquer un ou plusieurs trous d'évent dans ces assemblages.

Il est également possible de réaliser un assemblage mécanique après galvanisation en tenant compte des précautions particulières (voir chapitre 3.3.4.).

Figure 23 – Exemples de conception d'assemblage évitant les intervalles étroits.



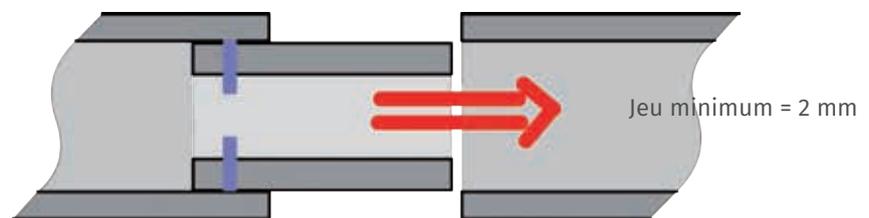
### 3.3.4. L'ASSEMBLAGE DES PIÈCES

Il est parfois nécessaire de prévoir des assemblages, notamment lorsque les dimensions des bains de galvanisation ne sont pas suffisantes, chaque méthode d'assemblage a des contraintes qui lui sont propres.

#### A. Liaison simple

Dans le cas de pièces peu ou pas sollicitées, il est possible de réaliser une liaison par encastrement simple.

**Figure 24** — Exemple de liaison simple lors d'un assemblage de pièces.



#### B. ASSEMBLAGE MÉCANIQUE

Il convient d'apporter une attention particulière au traitement de la protection des boulons, écrous et autres pièces des assemblages structurels afin qu'une protection au moins égale à celle spécifiée pour l'ensemble des surfaces puisse être assurée. Cette préconisation est également applicable aux éléments de quincaillerie. Il est conseillé d'utiliser des boulons et des rondelles galvanisés à chaud selon le même procédé (normes NF EN ISO 1461 et EN ISO 10684) afin d'obtenir des épaisseurs de revêtement équivalentes au reste de la pièce.

Cette condition permet d'obtenir une durée de vie cohérente pour l'ensemble de la pièce et d'éviter des rendus inesthétiques. Les trous pour les passages de boulons, rivets ou axes doivent être alésés avant galvanisation avec un jeu de 1 à 2 mm. Les trous filetés devront être taraudés après galvanisation ou protégés pour éviter que le zinc ne vienne s'y déposer.

Les écrous sont le plus souvent filetés après galvanisation. L'absence de zinc sur le filetage de l'écrou ou du trou fileté ne nuit pas à la protection. Celle-ci sera apportée par la vis mâle galvanisée qui jouera, au serrage, le rôle de protection cathodique.

Si un blocage se produit au moment du serrage, du bisulfure de molybdène  $\text{MoS}_2$  (©Molyslip) ou de la cire d'abeille permettent de résoudre ce problème grâce à leur fonction lubrifiante.

Dans le cas d'assemblages mécaniques travaillant au frottement, il peut être nécessaire d'appliquer un traitement spécial sur les surfaces en contact. Il n'est pas nécessaire de retirer le revêtement obtenu par galvanisation pour obtenir un coefficient de frottement adéquat. Cependant, il convient de tenir compte des exigences qui permettent d'éviter le glissement ou le fluage.

#### Le point de vigilance

Il est fortement déconseillé de galvaniser des pièces déjà assemblées par rivetage ou boulonnage.



### C. Assemblage par soudage avant galvanisation

Contrairement à l'assemblage mécanique, il est conseillé d'opérer les soudures et découpes au chalumeau avant que la pièce ne soit galvanisée.

D'une manière générale, le revêtement de zinc se déposera de la même manière sur la soudure que sur le reste de l'acier. Il est toutefois conseillé d'utiliser un métal d'apport ayant des

caractéristiques chimiques similaires au métal de base. Si la composition est très différente, l'épaisseur de revêtement sur la soudure sera en général plus forte.

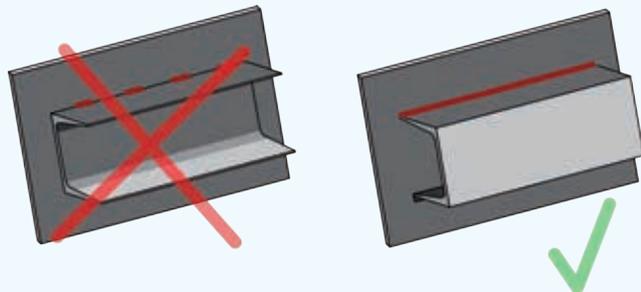
La température de soudage peut parfois provoquer un changement dans la structure de l'acier et donner un aspect différent autour de la soudure.

#### Recommandations de l'Union de Métalliers

Les principales recommandations à suivre pour assurer une bonne soudure sont les suivantes :

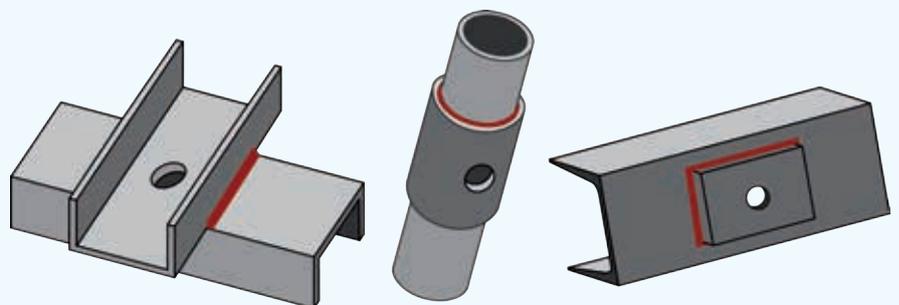
##### **Figure 25 — Continuité des cordons de soudure.**

Les cordons de soudure doivent être continus, étanches et sans cratère afin d'éviter des ressurgences de fluides de préparation de surface, avec des risques de manque de revêtement de galvanisation.



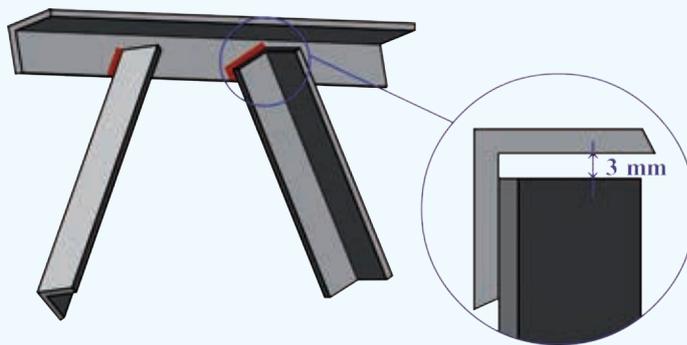
##### **Figure 26 — Prévision des trous d'évents.**

Les assemblages soudés doivent être conçus de manière à éviter le risque de déformation des pièces. Il est conseillé de prévoir des perçages d'évents sur l'une ou l'autre des pièces et de veiller à la symétrie du soudage (c'est-à-dire de répartir de façon égale les soudures de part et d'autre de l'axe principal) afin d'éviter l'introduction de contraintes asymétriques dans la structure.



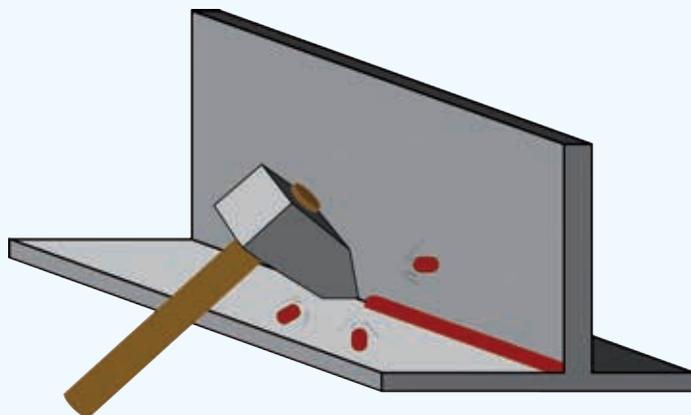
**Figure 27 — Soudage en retrait des montants et diagonales.**

Pour des assemblages en contact étroit (raidisseurs, renforceurs), les montants et diagonales doivent être soudés en retrait pour permettre la libre circulation des fluides et du zinc et pour éviter des ressuges, causes d'apparition de zones non ou mal protégées.



**Figure 28 — Élimination des projections de soudure.**

Le laitier et les projections de soudure doivent être éliminés. Dans le cas d'utilisation de produits destinés à empêcher l'adhérence de projections (anti gratons), ceux-ci ne doivent pas contenir de silicones nuisibles à la galvanisation. Il convient d'effectuer un test de compatibilité du produit.



#### D. Assemblage par soudage après galvanisation

Dans certaines situations, il est possible qu'un assemblage par soudage ne puisse pas être réalisé avant la galvanisation. C'est notamment le cas lorsque les pièces sont trop grandes pour entrer dans les bains de galvanisation ou lorsqu'une structure est le résultat d'un assemblage d'éléments très disparates (notamment en épaisseur) susceptibles de se déformer pendant la galvanisation.

Il est possible de souder des aciers galvanisés en obtenant des propriétés mécaniques identiques aux soudures sur acier brut. Afin de garantir une protection, il convient de procéder à un reconditionnement de la zone soudée. Avant tout reconditionnement, il convient d'éliminer le laitier de soudage.



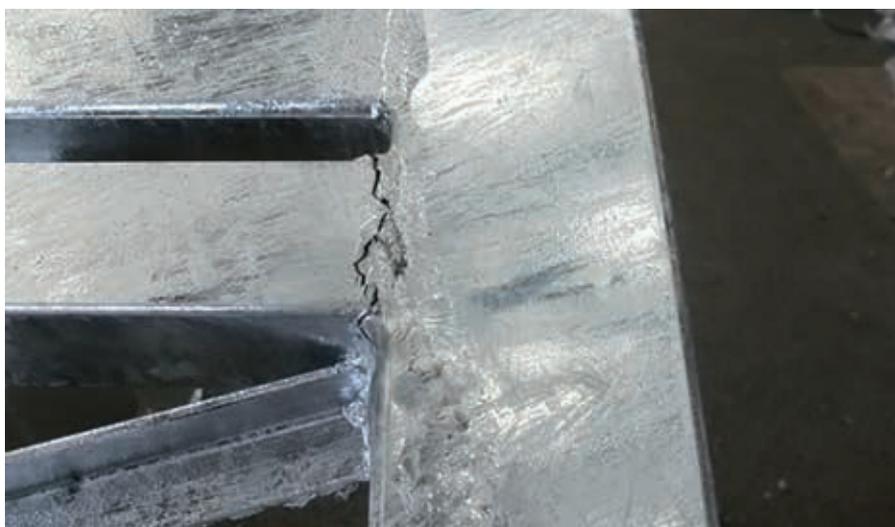
#### Recommandations de l'Union de Métalliers

Les recommandations à prendre en compte pour souder l'acier galvanisé sont les suivantes :

- Utiliser l'un des procédés traditionnels de soudage par fusion.
- Utiliser un espace légèrement plus large que la normale pour obtenir une pénétration optimale.
- Utiliser une tension plus basse et une longueur d'arc plus courte que la normale.
- Faire des mouvements avant/arrière pour fusionner le zinc.
- Nettoyer la surface soudée et réparer le revêtement (reconditionnement).

Lors d'une soudure sur acier galvanisé, il faut s'attendre à une vitesse de soudage plus lente. Avec un soudage au CO<sub>2</sub>, il y aura également plus de projections. Pour plus de garanties, il est possible de revenir à l'acier brut pour le souder. Il est possible de retirer le revêtement de galvanisation sur la zone à souder ou de provoquer des zones d'épargne de galvanisation dans la zone de soudage par application d'enduits avant la galvanisation. Après la soudure, il est alors nécessaire de reconditionner la zone pour assurer sa protection.

**Figure 29** — Exemple de déchirement de soudure après galvanisation à chaud



**E. Brasage**

Il est impossible de galvaniser à chaud les assemblages par brasage tendre. La galvanisation d'assemblages par brasage fort doit être évitée dans la mesure du possible (de nombreux types de brasage sont incompatibles avec la galvanisation à chaud).

## 3.4. Réalisation des pièces à galvaniser

### 3.4.1. GÉNÉRALITÉS

Une fois les précautions de conception et d'assemblage respectées, il y a peu de contraintes pour l'étape de galvanisation en elle-même.

Il convient d'éliminer les traces de graisses, peintures, vernis, les laitiers de soudure et les produits anti-projections contenant du silicone et qui empêcheraient la galvanisation.

Il convient également de repérer les pièces par poinçonnage à froid ou étiquetage métallique.

Les marquages par autocollants, stylos ou peintures indélébiles disparaîtraient lors de la galvanisation dans le meilleur des cas, ou provoqueraient des zones non revêtues.



#### Recommandations de l'Union de Métalliers

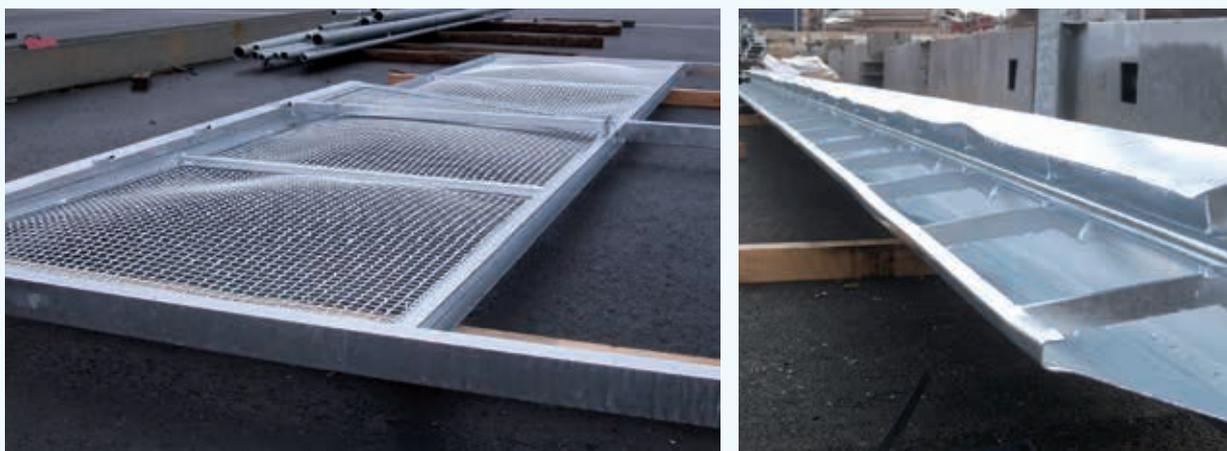
La présence d'arêtes vives sur les ouvrages est à éviter au maximum. En effet, il est prouvé que certaines coupes thermiques, laissant des arêtes vives, changent en surface la composition de l'acier; cela aura un effet direct sur la composition des couches d'alliages créées pendant la galvanisation. La norme ISO 8501-3 donne des degrés de préparation des soudures et des arêtes vives.

### 3.4.2. COMMENT LIMITER LES DÉFORMATIONS ?

Les déformations liées à la galvanisation sont principalement dues :

- à la libération des tensions existantes ou créées dans l'acier (soudage, laminage, formage),
- aux contraintes de dilatation produites par la galvanisation à 450 °C dans des assemblages de produits ayant des écarts d'épaisseur importants,
- aux assemblages nécessitant des vitesses d'immersion différentes d'une partie à l'autre.

**Figures 30 et 31** — Exemples de déformations dues (à gauche) à une mauvaise conception ou (à droite) à une différence d'épaisseur des éléments assemblés.

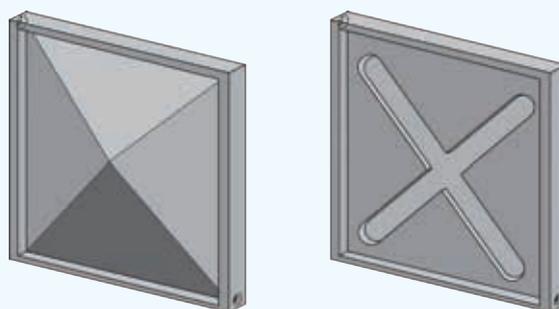


### L'astuce à retenir



D'une manière générale, il convient de séparer les corps creux des tôles pour limiter les risques de déformation.

**Figure 32** — Exemples de limitation des risques de déformation



Il est possible de limiter les risques de déformation :

- par une symétrie dans la conception de la pièce et dans l'ordre d'assemblage des éléments qui la composent,
- par une conception permettant une immersion rapide dans le bain de zinc,
- en utilisant, chaque fois que possible, un renfort sous forme de pointe de diamant, de nervures ou d'oméga.

### 3.4.3. LA MANUTENTION

Pour pouvoir être galvanisées, les pièces doivent être levées au moyen de fils d'attache, de chaînes, etc.

Il est possible d'utiliser les orifices existants de la pièce, de par sa conception. Si ce n'est pas le cas ou s'il n'y a pas de trous d'accrochage, il convient de réaliser des perçages de 10 mm minimum à chaque extrémité de la pièce. Pour les matériels lourds, des anneaux de

levage doivent être soudés.

Le positionnement des trous et des anneaux peut avoir une influence sur la qualité de la galvanisation.

Il est donc recommandé de contacter le galvanisateur avant de les positionner. Pour des raisons de sécurité, l'utilisation des perçages est à privilégier par rapport au soudage d'anneaux, le risque de rupture étant plus réduit.

### 3.4.4. PARTICULARITÉS DE LA GALVANISATION EN CONTINU

La galvanisation en continu, ou galvanisation Sendzimir (du nom de son inventeur, l'ingénieur polonais Tadeusz Sendzimir) est un procédé mis en œuvre dans l'industrie sidérurgique.

En fonction des produits, les épaisseurs de revêtement peuvent varier.

Les épaisseurs requises par les textes normatifs sont les suivantes :

- de 3,5 à 21  $\mu\text{m}$  par face pour les tôles,
- de 12,5 à 27,5  $\mu\text{m}$  par face pour les tubes,
- de 4 à 40  $\mu\text{m}$  pour les fils.

#### Note



En galvanisation continue, les épaisseurs indiquées concernent la somme des épaisseurs des deux faces des aciers. Pour pouvoir comparer avec la galvanisation de produits finis qui mesure l'épaisseur sur une seule face, est indiqué également l'épaisseur d'une seule face.

On peut considérer que l'épaisseur courante d'un revêtement de zinc obtenu par une galvanisation en continu est d'environ 20  $\mu\text{m}$  (soit 10  $\mu\text{m}$  par face). La passivation réalisée au cours du processus renforce l'anticorrosion malgré les épaisseurs relativement faibles. La protection apportée par ce procédé ne peut cependant pas être comparée à celle de la galvanisation de produits finis.

La rapidité d'exécution confère à ces produits de bonnes caractéristiques mécaniques. Le fait notamment que les bandes d'acier soient plongées quasi instantanément après leur sortie de traitement thermique dans le bain de zinc favorise l'adhérence du revêtement sur l'acier. Les qualités d'adhérence du revêtement sont par conséquent excellentes.

#### L'astuce à retenir



Les produits protégés par la galvanisation en continu sont destinés à être travaillés ultérieurement.



### Le point de vigilance

Pour assurer une continuité de la protection, il convient de veiller à ne pas « casser » le revêtement de zinc ce qui pourrait créer des zones d'attaques de la corrosion. Dans certains cas, la protection peut se reformer d'elle-même en cas de rupture ; ce n'est cependant pas le cas général.

Les semi-produits galvanisés en continu peuvent être pliés ou emboutis sans que le revêtement de zinc ne soit détérioré.

Ces produits peuvent également être assemblés soit mécaniquement, soit par soudage voire par collage. Dans le cas du soudage, cette opération peut détruire localement le revêtement de zinc. Il est donc essentiel de reconditionner la partie détériorée afin de rétablir la continuité de la protection.

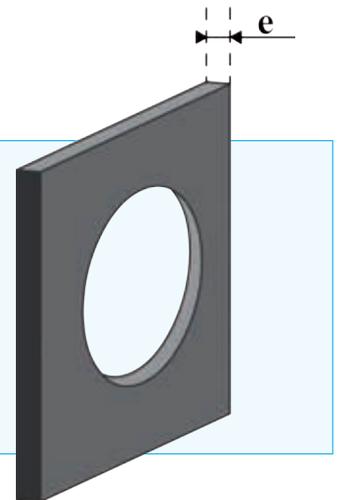
Dans le cas où des perçages sont

effectués dans une tôle galvanisée en continu, le revêtement de zinc peut se reconstituer de lui-même sur le chant à condition que l'épaisseur de la tôle reste limitée. Au-delà d'une épaisseur de 1,5 mm ou dans les milieux plus corrosifs, il convient donc d'apporter une protection sur le chant de la tôle, le recouvrement par le zinc de la zone par l'effet de pile ne pouvant se faire complètement. Autrement, des coulures de rouille apparaîtront rapidement.

**Figure 33** – Importance de l'épaisseur d'une tôle sur le recouvrement de zinc.

Si  $e \leq 1,5$  mm, le revêtement de zinc va progressivement recouvrir cette surface (dans les milieux peu corrosifs).

Si  $e > 1,5$  mm, il est nécessaire de reconditionner cette surface pour éviter les coulures de rouille.



Dans le cas où un revêtement ultérieur de peinture est prévu, il convient de retraiter les chants des perçages, quelle que soit l'épaisseur de la tôle.

Les principales applications de la galvanisation en continu sont par exemple :

- les profilés métalliques,
- les pré-cadres de fenêtres,
- les bandeaux d'habillage (dans les magasins par exemple),
- les tôles de bardage,
- les tôles perforées,
- etc.



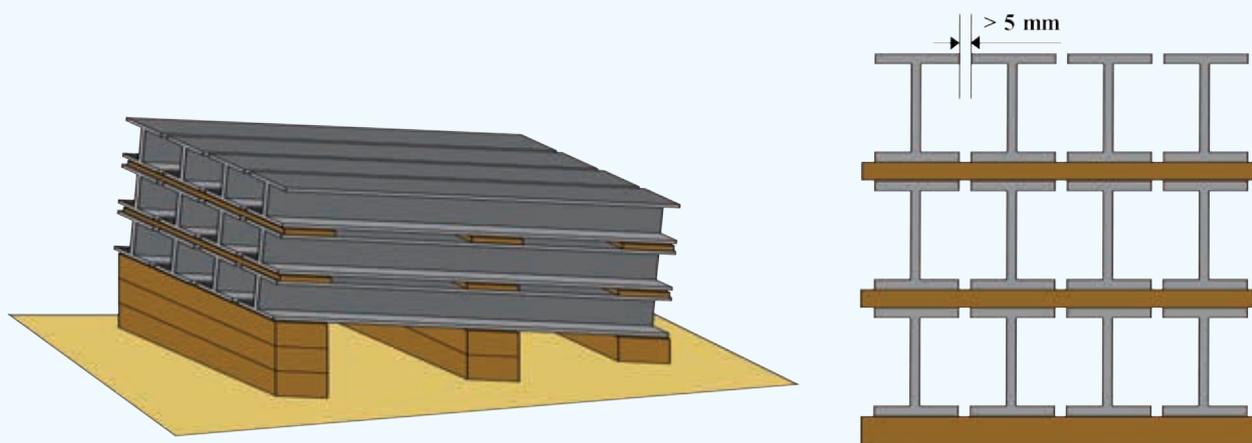
## 3.5. Après les travaux de galvanisation

### 3.5.1. LE STOCKAGE ET LE TRANSPORT

#### Recommandations de l'Union de Métalliers

Afin d'éviter la formation de rouille blanche sur les pièces, il convient de respecter certaines recommandations relatives au stockage et au transport. Les produits doivent être stockés et transportés de manière à ce que l'eau stagnante ne puisse pas s'emprisonner entre eux. Il convient également de ne pas stocker les produits directement sur le sol, mais d'utiliser des cales. Le contact entre les produits doit être évité. Il convient de veiller à ce que l'air puisse circuler entre les produits qui doivent également être inclinés afin d'éviter toute retenue d'eau.

**Figure 34** — Exemple de configuration pour stocker des produits zingués.



Dans le cas d'utilisation de bois de calage, il convient d'utiliser des bois blancs sans tanin ou des bois étuvés.

#### L'astuce à retenir



Avant le stockage ou le transport, des traitements préventifs peuvent être appliqués. En particulier votre galvanisateur peut vous proposer un traitement complémentaire de passivation, qui va conserver l'aspect de la galvanisation fraîchement réalisée pendant plusieurs mois, évitant la formation de rouille blanche, et allongeant la durée de la protection anticorrosion.

### 3.5.2. COMMENT ÉLIMINER LES TACHES DE STOCKAGE ? (ROUILLE BLANCHE)

Lorsque le zinc est mis au contact de l'air, une couche passive stable insoluble se forme à sa surface. Cette couche apporte une protection supplémentaire au revêtement.

En présence d'eau stagnante (eau de pluie, condensation), la formation de cette couche protectrice se modifie en hydroxydes de zinc. Des taches blanchâtres apparaissent et forment un produit peu adhérent et non protecteur. Ces taches détériorent sensiblement l'aspect des produits. Ce phénomène (essentiellement esthétique) ne remet pas en cause la protection anticorrosion. Avec le temps, les taches s'atténuent. En cas de mise en peinture, il est indispensable de les éliminer en amont pour assurer la bonne adhérence du revêtement.

En respectant les indications de stockage et de transport, la formation de la rouille blanche devrait être réduite. Toutefois, si des taches de rouille blanche apparaissent, il est possible d'utiliser l'une des trois solutions suivantes :

- Un brossage à sec à la brosse de nylon dure. **Il ne faut pas utiliser de brosse métallique.**
- Un brossage à la brosse de nylon douce avec une solution d'acide citrique d'une concentration de 25 à 50 g par litre d'eau. Il faut ensuite prévoir un rinçage à l'eau et un séchage.
- Un brossage à la brosse nylon douce avec une solution d'ammoniaque avec une concentration de 5 à 10 % en volume d'eau. Il faut également prévoir un rinçage à l'eau et un séchage.



Figure 35 — Apparition de rouille blanche

### 3.5.3. COMMENT RÉPARER UNE PIÈCE PROTÉGÉE PAR LE ZINC ?

Dans le cas où un revêtement de zinc a été localement endommagé ou détruit (usinage après traitement, chocs durant le transport ou la mise en place des pièces), il est possible de réparer la blessure ainsi créée et ceci, quel que soit le

procédé d'application utilisé. Cependant les performances anticorrosion doivent être homogènes sur toute la pièce. Il est indispensable que la réparation effectuée apporte les mêmes caractéristiques de protection que le traitement initial.

#### A. Par une métallisation

Que la pièce ait été galvanisée à chaud ou déjà traitée par métallisation, il est possible d'effectuer une réparation par une métallisation. Outre le respect de la procédure de métallisation (voir rubrique *Pour aller plus loin*), certaines précautions particulières doivent être respectées.

La préparation de la surface à réparer doit être particulièrement soignée pour garantir une adhérence au support équivalente au traitement initial. Un décapage par projection d'abrasifs doit être réalisé afin d'éliminer les oxydes qui se seraient constitués et créer une rugosité pour assurer l'accrochage de la métallisation ( $R_a$  entre 8 et 12  $\mu\text{m}$ ). La surface galvanisée ou métallisée située en périphérie de la blessure doit être protégée lors de la préparation mécanique. Un masque (fenêtre, tôle d'acier) doit donc être utilisé. Dans le cas de petites surfaces à réparer (quelques  $\text{cm}^2$ ), la surface peut être préparée par meulage au disque abrasif. La rugosité obtenue de cette manière étant insuffisante, la zone à réparer doit être préalablement chauffée pendant au moins 10 secondes avec la flamme du pistolet de métallisation. Une fois les surfaces convenablement préparées, la réparation par métallisation peut se faire de la même manière qu'une métallisation classique.

#### Recommandations de l'Union de Métalliers

Les principes essentiels pour réussir une bonne réparation sont les suivants :

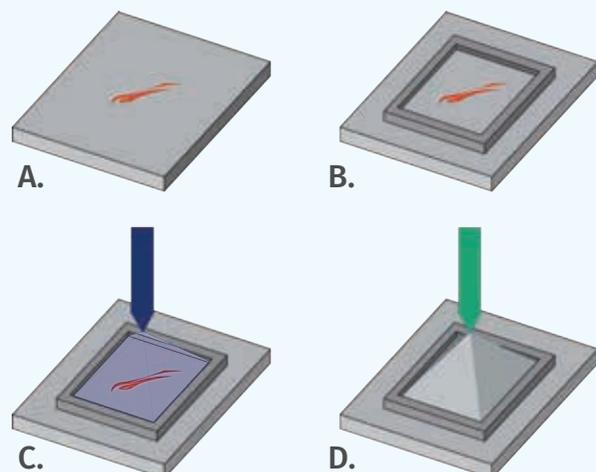
- L'épaisseur de zinc de la protection doit correspondre à celle du revêtement initial.
- Les caractéristiques d'adhérence et de résistance mécanique doivent également être équivalentes.

**Le soin apporté à la préparation de la surface à réparer est essentiel pour que ce point soit respecté.**

**Figure 36** — Étapes de réparation par métallisation

Les différentes étapes d'une réparation par métallisation :

- Repérer la zone à réparer
- Positionner un masque
- Décaper par projection d'abrasifs
- Métalliser normalement



### B. Par application d'une peinture riche en zinc

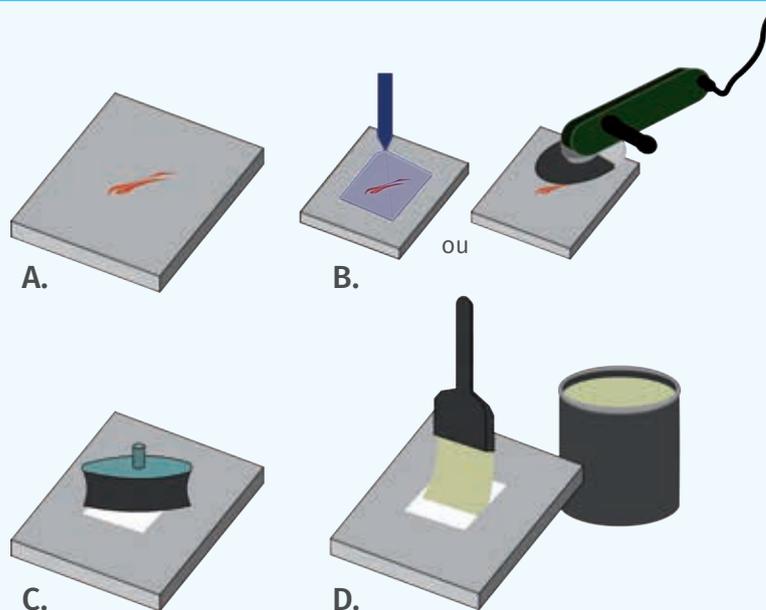
La surface doit être préparée selon les exigences de la norme EN ISO 12944-4.

La qualité de la réparation provient également de la peinture utilisée. Les peintures doivent disposer de pigmentation inhibitrice constituée exclusivement de poussière de zinc en quantité suffisante pour lui permettre de jouer un rôle de protection cathodique, 80 % au minimum (cf. norme EN ISO 1461).

Comme dans le cas d'une réparation par métallisation, l'épaisseur de zinc déposée doit être équivalente à la protection initiale. Dans le cas d'une application en deux couches, la fiche technique du fabricant, et en particulier le temps de recouvrement, doit être respectée.

**Figure 37** — Les différentes étapes de réparation par application d'une peinture riche en zinc.

- A. Repérer la zone à réparer
- B. Décaper par projection ou par meulage
- C. Brosser à la brosse métallique
- D. Appliquer la peinture riche en zinc

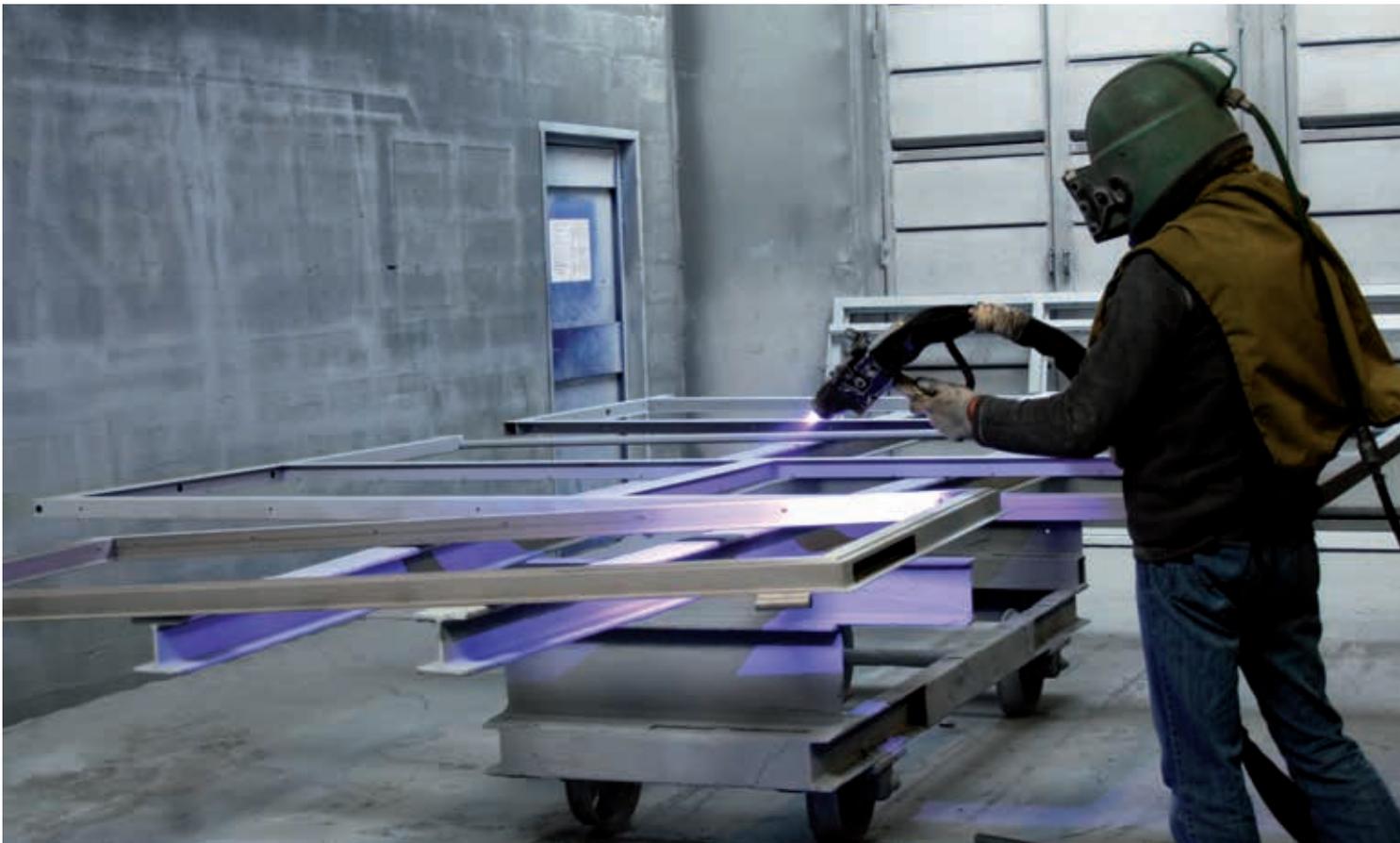


Les peintures doivent être appliquées au pinceau. En effet, aucun produit en bombe aérosol ne permet de respecter les exigences de la norme ni d'obtenir une protection efficace. L'utilisation de bombes doit donc être uniquement envisagée comme une finition esthétique au-dessus de la couche de réparation afin d'uniformiser l'aspect final de la pièce.

Par ailleurs, dans le cas où un revêtement ultérieur de peinture serait réalisé, l'application à l'aide de bombes peut nuire à l'adhérence du revêtement. Il convient de laisser le peintre faire la réparation ou de valider en amont avec lui les produits utilisés.

## 3.6. Métallisation et électrozingage

### 3.6.1. GÉNÉRALITÉS SUR LA MÉTALLISATION



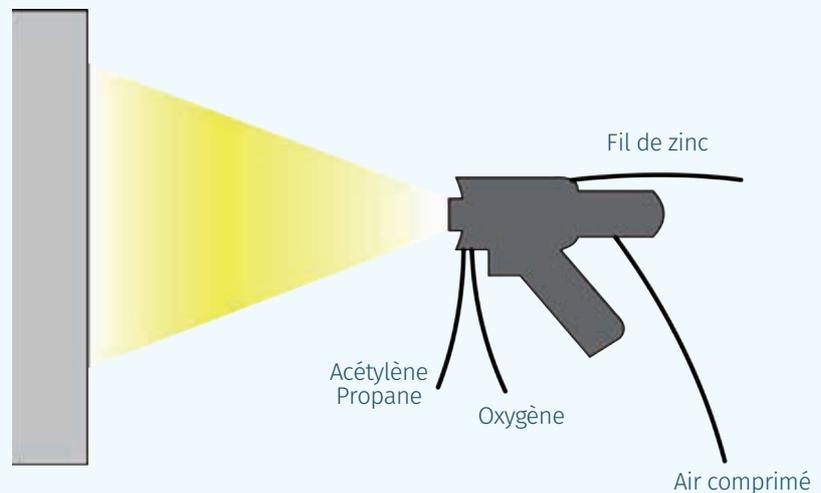
La métallisation, ou zingage par projection à chaud, consiste à recouvrir la pièce en acier en projetant du zinc fondu à l'aide d'un pistolet. La projection thermique s'effectue essentiellement avec du zinc ou de l'aluminium. D'autres matériaux peuvent être projetés, par exemple

l'étain, le cuivre, le nickel, etc., pour autant, dans cet ouvrage, le terme « métallisation » devra être compris comme la projection thermique de zinc uniquement, bien que les recommandations qui sont faites soient également transposables à la projection d'autres matériaux.

**Figure 38** — Illustration du procédé de métallisation

**Figure 39 — Principe de la métallisation**

Le procédé de métallisation consiste à projeter du zinc fondu sur la surface à revêtir à l'aide d'un pistolet.



### Le point de vigilance

Il convient de distinguer la métallisation d'une prestation souvent qualifiée de « métallisation poudre » qui n'est en fait que l'application d'un primaire zinc et non de zinc pur. En effet, les performances ne sont pas les mêmes.

Le zinc sous forme de fil est fondu par la flamme ou l'arc électrique du pistolet. Les gouttelettes de zinc ainsi formées sont projetées sur la pièce en acier dont la surface a été préalablement décapée. Les gouttelettes de zinc s'écrasent sur la surface, se refroidissent et se solidifient instantanément. L'échauffement de la pièce en acier au cours de la métallisation est faible.

Le procédé de métallisation généralement manuel peut être automatisé. Une importance toute particulière doit être donnée à la propreté de la surface à métalliser. La propreté d'une surface est caractérisée par la notion industrielle de « degré de soins ». Les degrés de soin sont déterminés en fonction du pourcentage d'impuretés éliminées. Le tableau 05 ci-dessous, tiré de la norme NF EN ISO 8501-1 indique les correspondances entre les pourcentages de propreté et les degrés de soin.

**Tableau 05 — Correspondance entre degré de soin et pourcentage de propreté**

Degré de soin	Pourcentage de propreté
Sa 3 ou Ds 3	Propreté réputée à 99 %
Sa 2 <sup>1/2</sup> ou Ds 2 <sup>1/2</sup>	Propreté réputée à 96 %
Sa 2 ou Ds 2	Propreté réputée à 80 %
Sa 1 ou Ds 1	Propreté insuffisante avant métallisation

### Recommandations de l'Union de Métalliers

Afin d'assurer l'absence de rouille, d'oxyde, d'huile ou de graisse, la surface de la pièce à métalliser doit avoir été décapée jusqu'à l'obtention d'un degré de soin Sa3. (cf. norme NF EN ISO 2063)

Plus d'informations sur le procédé d'application de la métallisation sont à retrouver dans la rubrique **Pour aller plus loin**.



### 3.6.2. GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉLECTROZINGAGE

L'électrozingage, ou zingage électrolytique, consiste à recouvrir de zinc la pièce en acier par électrolyse.

Le dépôt de zinc par voie électrolytique est un procédé principalement utilisé pour des tôles découpées par la suite en feuilles. Ce procédé peut cependant également être utilisé pour des produits finis ou semi-finis et pour des applications très diverses (serrurerie, visserie, pièces d'électroménager, etc.).

Pour les ouvrages de métallerie, bien que son utilisation reste très marginale, le revêtement de zinc par électrozingage peut être envisagé pour des pièces de dimensions réduites (les bains de zingage excédant rarement 3 m). L'objet de ce chapitre est donc de présenter principalement le procédé d'électrozingage et ses propriétés sans pour autant détailler les conditions de mise en œuvre requises.



#### Le point de vigilance

Pour les techniques électrolytiques (comme l'électrozingage ou la cataphorèse), il faut être vigilant pour les profilés et les corps creux car il se crée une cage de Faraday, qui empêche la protection intérieure au-delà de 1,5 fois le diamètre.

#### Note



Le revêtement électrozingué étant constitué de zinc pur, il est ductile et supporte donc des taux de déformation importants. Les opérations de mise en œuvre de tôles électrozinguées sont identiques à celles de la tôle nue.

Plus d'informations sur le procédé d'application de l'électrozingage sont à retrouver dans la rubrique **Pour aller plus loin**.

## 3.7. Comparaison des procédés

Le tableau 06 ci-dessous présente un comparatif des caractéristiques de chaque procédé :

Procédé	Points positifs	Points négatifs
Galvanisation de produits finis	Épaisseur de revêtement importante	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durabilité</li> <li>• Protection électrochimique élevée</li> <li>• Pas d'entretien</li> </ul>	
	Revêtement par immersion	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Épaisseur contrôlée</li> <li>• Protection des corps creux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Précautions dans la conception et l'assemblage des pièces</li> <li>• Déformations possibles</li> <li>• Aspect difficile à maîtriser</li> </ul>
	Revêtement allié à l'acier	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Imperméabilité, peut rester brut</li> <li>• Grande résistance mécanique</li> <li>• Forte adhérence au support</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatibilité des aciers</li> </ul>
	Dimensions	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pièces importantes possibles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitation aux dimensions du bain de zinc</li> </ul>
Galvanisation en continu	Épaisseur de revêtement faible	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protection écran et électrochimique réduite</li> </ul>
	Revêtement par immersion	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Épaisseur contrôlée</li> <li>• Revêtement homogène</li> </ul>	
	Procédé industrialisé	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilisation de produits pré-protégés</li> <li>• Résistance supplémentaire par la passivation</li> <li>• Pas de problème de compatibilité des aciers</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibilité de rompre la protection lors de la mise en œuvre</li> </ul>
	Dimensions	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensions des produits limitées par les capacités des chaînes</li> </ul>		



Procédé	Points positifs	Points négatifs
Métallisation	Épaisseur de revêtement importante	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durabilité</li> <li>• Protection électrochimique élevée</li> </ul>	
	Procédé manuel	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Souplesse d'utilisation</li> <li>• Protection des zones étroites</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Homogénéité de revêtement variable qui dépend de la rigueur de l'opérateur</li> </ul>
	Revêtement par projection	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas de précautions particulières dans la conception des pièces</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ne protège pas les corps creux</li> <li>• Porosité du revêtement</li> </ul>
	Dimensions	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quasiment pas de limitation de dimensions</li> </ul>	
Electrozingage	Épaisseur de revêtement faible	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protection très faible Utilisation limitée (en intérieur)</li> </ul>
	Revêtement par immersion	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Épaisseur contrôlée</li> <li>• Revêtement homogène</li> <li>• Facilité d'exécution pour les petites pièces</li> </ul>	
	Aspect brillant et homogène	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peut rester brut</li> </ul>	
	Dimensions	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Équipements de petites dimensions, restriction dans les dimensions des pièces</li> </ul>



A person wearing a full-body protective suit, including a helmet with a clear face shield and heavy gloves, is using a high-pressure water spray gun. The spray gun is white and red, and a powerful jet of water is being directed towards a metal structure. The structure consists of several horizontal bars or pipes, some of which are dark, possibly indicating they have been cleaned or are being treated. The background is a plain, light-colored wall.

## CHAPITRE 4

## CHAPITRE 4

# PROTECTIONS ORGANIQUES DES ACIERS



Les aciers peuvent aussi être protégés de la corrosion grâce à des systèmes organiques (peintures) comme :

- Les peintures époxy (uniquement prescrites en tant que couche intermédiaire) ou pour utilisation intérieure);
- Les peintures polyuréthanes;
- Les peintures polyesters;
- Les thermoplastiques.

ou encore via d'autre procédé tel que l'électrophorèse (cataphorèse).



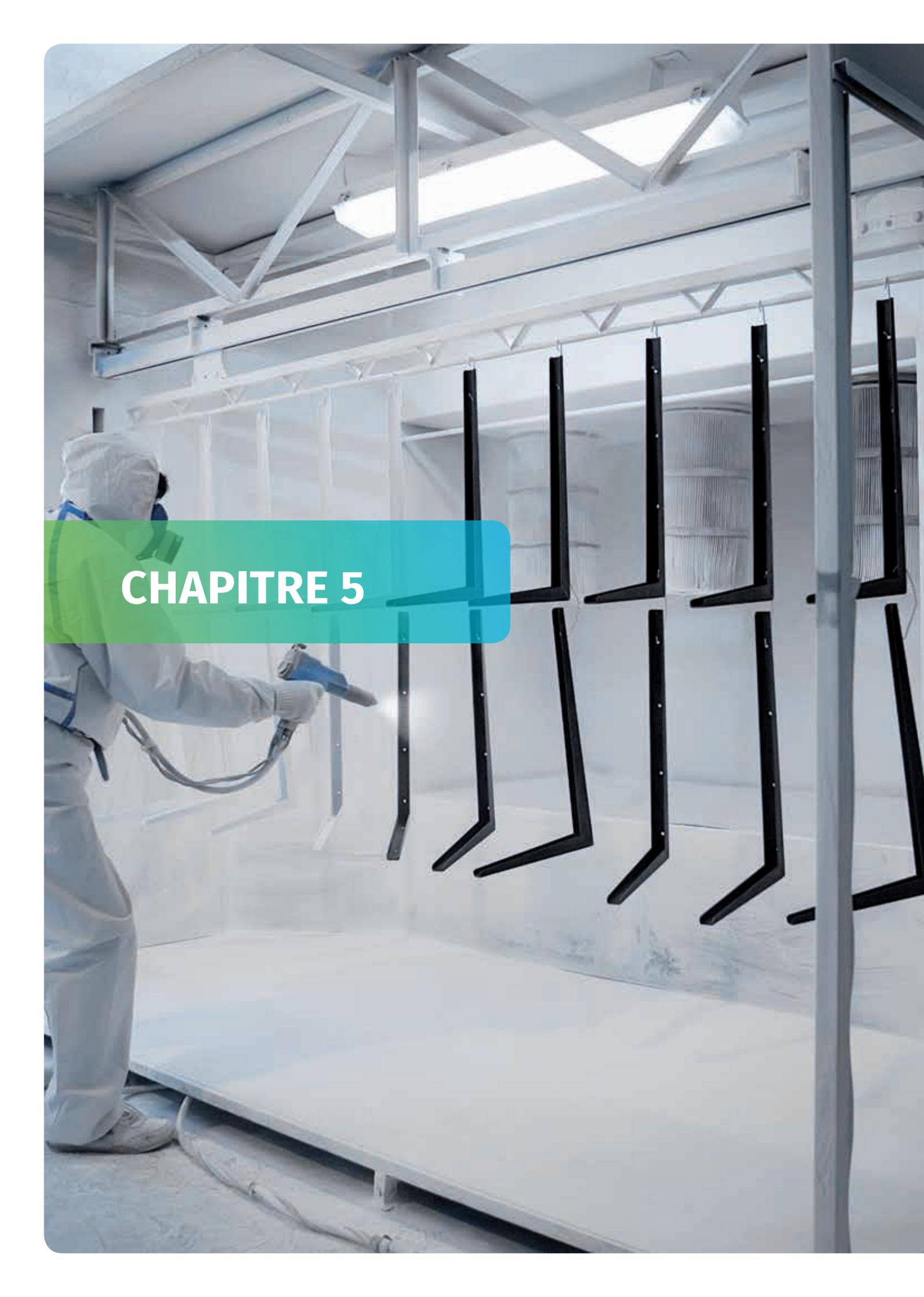

### Le point de vigilance

Ces produits sont à prescrire uniquement pour une classe de corrosivité inférieure ou égale à C4 (sauf pour les thermoplastiques, adaptés jusqu'au milieu C5).

### Note



Pour plus d'infos sur ces peintures, il peut être utile de se référer au chapitre 6.4.3.



## CHAPITRE 5

## CHAPITRE 5

## PROTECTIONS COMBINÉES DES ACIERS



*Des protections combinées existent également pour assurer la protection des aciers. Il s'agit d'association entre des composés métalliques et des composés organiques.*



## 5.1. Association de composés organiques et métalliques dans un même produit

### → Primaire riche en zinc (PPRZ et PLRZ)

La durée de vie obtenue n'est pas aussi longue qu'avec la galvanisation et la métallisation, mais ces primaires renforcent la performance anticorrosion (effet sacrificiel) grâce au zinc qu'ils contiennent.

- ajout de poudre de zinc dans une peinture : un primaire riche en zinc revêtu d'une peinture liquide ou d'un revêtement en poudre constitue un système « mixte ». Deux couches combinées apportent la protection cathodique assurée par le zinc et la protection de barrière imperméable apportée par le système de revêtement.
- ajout de zinc lamellaire dans une peinture : un primaire présentant d'excellentes propriétés de résistance à la corrosion grâce à l'ajout de lamelles de zinc et de lamelles d'aluminium sphériques. Ils sont principalement utilisés sur acier de construction métallique et notamment dans les milieux chlorurés ou dans des zones de corrosivité élevées. Bien que plus onéreux, les sels de zinc, en cas de blessure du revêtement, ont une action sacrificielle, protégeant plus efficacement l'acier.

### → Peinture riche en zinc (appelé à tort « galva à froid »)

## 5.2. Association de composés organiques et métalliques dans des couches successives



### Le point de vigilance

Lorsque les critères esthétiques de l'ouvrage final sont importants, il est indispensable de prévoir entre l'opération de galvanisation et de peinture, une étape de préparation mécanique de la surface (ponçage) pour éliminer les imperfections de la surface. Cette opération, trop souvent négligée ou oubliée, est souvent la cause d'insatisfactions du client. Cette opération est à confier en priorité au peintre, qui reste responsable de l'état du support sur lequel il réalise sa peinture.

### Note



Le grenailage de l'acier revêtu de zinc doit se faire selon la norme NF EN 15773.



### Le point de vigilance

Il est indispensable de faire une opération de dégazage avant application de peinture.

Ces associations sont communément appelées « Systèmes Duplex ».

### 5.2.1. LES DUPLEX GALVANISATION-PEINTURE

#### A. Généralités

La peinture sur acier galvanisé est souvent considérée comme un problème, voire comme une impossibilité. Or, l'application de peinture sur un produit galvanisé est aujourd'hui largement répandue et techniquement maîtrisée. L'association de couches de zinc par galvanisation à chaud de produits finis ou métallisation, et de couches de peintures permet, par la synergie entre ces revêtements (le zinc protège la peinture et la peinture protège le zinc) d'obtenir des performances anticorrosion inégalées. La durée de vie du système correspond à la durée de vie de la couche de zinc seule, plus celle de la couche de peinture seule, multipliée par un facteur compris entre 1,2 et 2,7 en fonction de l'agressivité de l'environnement.

#### B. La préparation de surface

La préparation de surface doit permettre une bonne adhérence de la peinture sur le support. Dans le cas d'une pièce galvanisée, elle peut se faire de deux manières :

- Soit **mécaniquement** : par un balayage « oblique » avec un abrasif de type grenaille Inox ou silicate d'aluminium et de magnésium. En aucun cas, il ne faut utiliser les abrasifs et les conditions pour le décalaminage de l'acier. Ces conditions sont trop violentes et pourraient aboutir à l'éclatement du revêtement de zinc. La grenaille acier ne doit pas être utilisée dans l'étape de préparation mécanique. En effet, cela impliquerait des dépôts de corrosion dus à des résidus de grenaille.
- Soit **chimiquement** : De nombreux procédés sont possibles selon les produits chimiques utilisés et fournisseurs retenus. Il est conseillé de se rapprocher si besoin du fournisseur concerné.

En préparation chimique, après la désoxydation, la pièce doit subir un nettoyage et une passivation afin que le zinc ne se ré-oxyde pas avant l'application de peinture. La passivation peut se faire soit par l'application d'une peinture primaire soit par une opération de phosphatation, de chromatation ou traitements alternatifs.



### C. Les peintures à utiliser

Des gammes d'application compatibles avec une application sur acier galvanisé doivent être utilisées. Dans tous les cas, il convient de respecter les instructions du fabricant, notamment pour les conditions de préparation de surface et d'application.

## 5.2.2. LES DUPLEX MÉTALLISATION-PEINTURE

### A. Généralités

Les revêtements de métallisation sont dans la plupart des cas complétés par des couches de peinture.

### B. La préparation de surface

Elle est effectuée par grenailage et doit permettre l'obtention d'une surface au degré de propreté Sa3. La rugosité de la couche de métallisation favorise une bonne adhérence des couches de peinture. Les revêtements de métallisation étant poreux, il convient de rendre étanche cette couche protectrice :

- Par un produit « bouche-pores »;
- Par une couche de peinture primaire la plus étanche possible.

Le recouvrement par peinture des couches de métallisation doit se faire rapidement après métallisation afin d'éviter une oxydation du zinc qui diminuerait l'adhérence et la performance du système.

### C. Les peintures à utiliser

Les couches de peinture de finition peuvent être constituées de toutes peintures compatibles avec le primaire appliqué sur la couche de zinc.



### Le point de vigilance

Le passage au four d'une pièce galvanisée génère un dégazage. Lors de la fusion de la poudre thermoplastique ou de la cuisson de la poudre thermodurcissable, cela peut altérer le rendu esthétique de la pièce. Attention, toute modification par l'applicateur de la formulation du produit appliqué, comme par exemple l'ajout de produits « anti-bulles », entraîne la perte des labels associés au produit.

A photograph of a white wrought-iron gate with a blue balcony railing in the background. The gate features vertical bars and decorative scrollwork. A semi-transparent teal banner is overlaid on the left side of the image, containing the text 'CHAPITRE 6'.

## CHAPITRE 6

## CHAPITRE 6

# FINITIONS ET REVÊTEMENTS

### 6.1. Généralités



On appelle «laquage» l'application de peintures liquides. Cette application peut se faire de manière manuelle à l'aide de rouleaux, pinceaux, etc., ou de manière mécanique à l'aide d'un dispositif de projection. C'est cette dernière méthode qui est le plus couramment utilisée : à l'aide d'un pistolet, la peinture liquide est projetée sur la pièce à revêtir.

Les installations de projection de peinture doivent répondre à des exigences réglementaires précises.

On désigne communément par «thermolaquage» un moyen d'application des peintures en poudre thermodurcissables. L'application s'effectue par une projection électrostatique : la peinture en poudre chargée électrostatiquement est projetée sur la pièce reliée à la masse. Par différence de potentiels électriques, la poudre reste en contact avec la pièce, avant de passer dans un four pour permettre la réticulation du film. Les températures de cuisson peuvent varier de 130 °C à 210 °C.

**Figure 40** — Exemples de finition de peinture sur profilés acier

Il existe aussi des revêtements thermoplastiques (obtenus par trempé dans un bain fluidisé ou par projection électrostatique) nécessitant une fusion de la poudre à 180 °C. Ces revêtements peuvent s'appliquer de façon standard, la cuisson est généralement moins longue. Ces produits gardent leur souplesse et présentent des caractéristiques qui peuvent mener à les privilégier par rapport à une peinture thermodurcissable.

### Note



Les thermoplastiques sont souvent utilisés dans des conditions sévères de corrosion (meuble urbain, tubages pour l'eau potable, pipeline, clôtures, etc.) ou dans le milieu médical.

L'application de peinture thermodurcissable nécessite des installations particulières qui relèvent du domaine industriel. Une installation de thermolaquage comprend deux principaux circuits : le circuit des pièces à revêtir et le circuit de la poudre. Pour en savoir plus, rendez-vous dans le rubrique **Pour aller plus loin**.

Les peintures en poudre ne contenant pas de solvants, les dégagements gazeux sont très limités. Toutefois la réglementation en matière de sécurité doit tout de même être respectée.



### Le point de vigilance

Dans le cas d'un profilé de menuiserie avec rupteur de pont thermique, la barrette polymère peut tenir des températures jusqu'à 180°C. Il convient alors d'être très vigilant sur l'influence de la température de cuisson de la peinture préconisée. Il existe des peintures ayant des températures en dessous de 180°C (se rapprocher de ses fournisseurs). De plus, l'accrochage doit être discuté avec l'apporteur.

### 6.1.1. COMPARAISON DU LAQUAGE ET DU THERMOLAQUAGE

Le tableau 07 ci-dessous synthétise les différentes caractéristiques des deux procédés d'application.

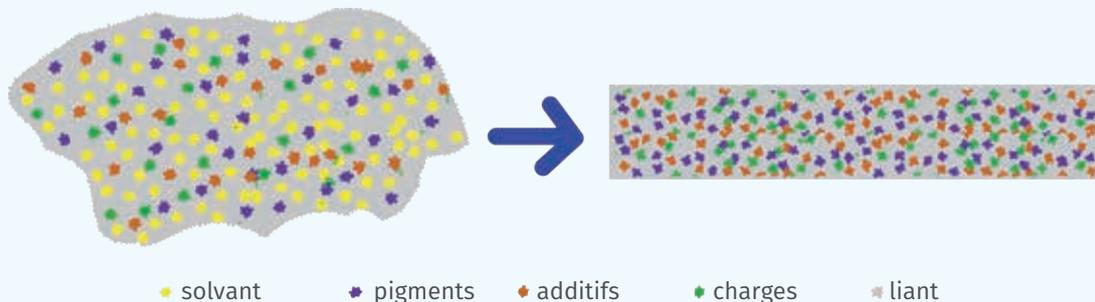
<i>Tableau 07 : Comparaisons entre laquage et thermolaquage</i>		
	Laquage	Thermolaquage
<b>Mise en œuvre</b>	Un équipement réduit suffit à l'application de peintures liquides. L'application peut se faire directement sur chantier. La mise en œuvre est donc plutôt aisée.	L'application de peinture en poudre nécessite l'utilisation d'équipements spécifiques. Le thermolaquage ne peut se faire qu'en atelier spécialisé.
<b>Conditions d'application</b>	Il peut être réalisé en extérieur, mais cela dépend des conditions climatiques. En atelier, les temps nécessaires entre chaque couche (séchage) sont relativement longs.	Il est réalisé en atelier et propose une rapidité d'exécution (les couches successives peuvent être réalisées sans temps d'attente).
<b>Épaisseur</b>	L'épaisseur requise est réalisée par la superposition de plusieurs couches minces. Les différentes couches peuvent apporter des caractéristiques différentes.	Des épaisseurs identiques à celles atteintes par laquage sont réalisées en une seule fois.
<b>Teinte</b>	Du fait des mélanges qui peuvent être réalisés, les peintures liquides apportent une grande diversité dans le choix de la teinte.	Les mélanges de peintures en poudre ne sont pas possibles. La création de nouvelles teintes est toujours possible sur demande aux fabricants. Presque toutes les teintes peuvent être obtenues aujourd'hui en peinture poudre.
<b>Impact sur l'environnement</b>	Les peintures liquides contiennent des solvants qui, lorsqu'ils s'évaporent, peuvent impacter l'environnement et la santé des applicateurs.	Les peintures en poudre ne contiennent pas de solvants : l'impact environnemental est beaucoup plus faible.

### 6.1.2. LES PEINTURES LIQUIDES

Les peintures liquides sont constituées de liants, de solvants, de pigments, de charges et éventuellement d'additifs. Au moment du séchage, les solvants s'évaporent et le liant se solidifie pour créer le film de peinture. L'application de peinture liquide s'accompagne alors d'un dégagement de solvants et le respect des conditions de sécurité est essentiel (cf. Fiches de Données Sécurité des fournisseurs). Le séchage doit s'effectuer dans les conditions précisées dans la fiche

technique du fabricant. Les conditions de température, d'humidité et de ventilation jouent un rôle important dans la qualité du séchage et influent donc directement sur le résultat obtenu. Des défauts, tels que des cloques, peuvent être directement imputés à de mauvaises conditions de séchage. Les principales peintures liquides employées dans les travaux de métallerie sont à base de liants alkyde, époxydique et polyuréthane.

Figure 41 — Constituants d'une peinture liquide avant et après séchage.



#### L'astuce à retenir



L'utilisation de certains produits doit être maîtrisée et contrôlée, notamment face aux composants des peintures. L'INRS propose sur son site internet une brochure dédiée aux peintures poudre, en précisant leur composition, les risques toxicologiques et les mesures de prévention à suivre. [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)

### 6.1.3. LES PEINTURES POUDRES

Les peintures en poudre ne contiennent pas de solvants. Lors du séchage, il y a donc peu de dégagement de produits pouvant être potentiellement toxiques. Les peintures en poudre thermodurcissables s'appliquent par projection de la poudre chargée électrostatiquement sur la pièce reliée à la masse. Le dépôt de peinture est ensuite soumis à une température élevée (entre 130 °C et 210 °C) et

transformé après fusion et polymérisation en un film résistant. L'application de peinture en poudre ne peut donc se faire qu'en atelier spécialisé. Les peintures en poudre sont à base de liants époxydique, polyester, polyuréthane, acrylique ou polyamide. On trouve également des poudres thermoplastiques et des fluoropolymères (durabilité plus élevée avec garanties possibles).



### 6.1.4. INDICATIONS À FOURNIR AUX APPLICATEURS

Il est nécessaire de faire parvenir à l'applicateur certaines informations pour assurer la qualité requise du revêtement :

- Sur l'environnement de l'ouvrage : quelle est la catégorie de corrosion à laquelle sera soumis l'ouvrage (cf. norme ISO 9293)
- La teinte
- L'aspect de finition : mat, satiné ou brillant
- La durée de vie demandée au revêtement

À partir de ces informations, les applicateurs préconiseront le système adapté (type de peinture à utiliser, préparation de surface à réaliser, épaisseur des couches, etc.).

À partir de ces informations, les applicateurs préconiseront le système adapté (type de peinture à utiliser, préparation de surface à réaliser, épaisseur des couches, etc.).



#### Recommandations de l'Union de Métalliers

L'Union des Métalliers recommande de s'assurer que les applicateurs de peinture suivent des process garantissant un minimum de qualité. Certains labels existent certifiant la qualité des prestations des applicateurs.

L'association AFTA.P regroupe les applicateurs de peinture en poudre qui se sont engagés à respecter les directives techniques de l'application de peinture sur acier QUALISTEELCOAT.

Ce label qualité international Qualisteelcoat, certifie le respect d'un cahier des charges permettant de garantir la réalisation de revêtements de qualité et à hautes performances selon chaque système peinture, chaque système est identifiable par la marque AQ, regroupant Assurance 10 ans et Qualité via ce label.

Il est possible de télécharger sur le site internet [www.aftap.fr](http://www.aftap.fr), l'annexe 4 du référentiel Qualisteelcoat; cette annexe présente tous les systèmes peintures indiquant les critères minimums qui doivent être respectés selon l'implantations des pièces peintes.

### L'astuce à retenir



Retrouvez la liste des membres d'AFTA.P sur le site internet [www.aftap.fr](http://www.aftap.fr).

### Note



L'ACQPA est une association qui certifie les systèmes de peinture anticorrosion des ouvrages métalliques. Ces systèmes répondent à des critères stricts de « haute durabilité ». Il est possible de demander à un applicateur d'utiliser un système certifié ACQPA dans la mesure où les opérateurs réalisant le revêtement le sont également.



## 6.2. Conception et choix des produits métalliques

### 6.2.1. QUELQUES RÈGLES DE CONCEPTION

La réussite d'une finition dépend en partie du respect des règles essentielles de dimensionnement et de conception des pièces à peindre. Il est nécessaire de prévoir les risques éventuels pouvant survenir à chaque étape de la fabrication pour éviter certains défauts tels que déformations, dégradations de peinture, mais aussi risques de blessures et surcoûts de réalisation et de transport.

#### L'astuce à retenir



- Lors de la conception d'une pièce, ne pas oublier de prendre en compte :
- son gabarit et son poids (prévoir des ouvrages démontables en évitant les grandes dimensions)
  - le choix du matériau et du système de protection
  - les moyens de manutention et de transport
  - la sécurisation des parties dangereuses

**Figures 42 et 43** — Risque de déformation due à la fragilité du gabarit (retour non démontable à gauche ou lisses non maintenues à droite).



Les dispositions constructives sont basées sur la partie 3 (Conception et dispositions constructives) de la norme ISO12944 «Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture». La conception générale de l'ouvrage/pièce à peindre et l'état initial des métaux utilisés doivent à la fois faciliter la préparation de surface, la mise en peinture, le contrôle, mais également l'entretien ultérieur de la pièce.

L'objectif est d'aboutir, à travers une conception réfléchie et un entretien régulier, à un système de peinture adapté, avec une durabilité escomptée de l'ouvrage (durée de vie). Une bonne communication entre le maître d'œuvre, le Métallier (responsable de la conception) et le professionnel responsable de la mise en peinture est nécessaire pour choisir le système anticorrosion le plus adapté et limiter les défauts de conception susceptibles de nuire à la qualité du revêtement et/ou la durabilité de l'ouvrage. Outre la prise en compte des règles de fabrication issues de la norme ISO 12944, l'étude de conception prendra également en compte :

- l'aspect dimensionnel, visant à faciliter la manutention et le transport (gabarit et poids),
- les contraintes environnementales (destination du chantier) pour un choix judicieux des métaux de fabrication, des traitements de surface et du système de peintures.

Il convient de choisir des conceptions simples et de réaliser de préférence les joints par soudage et non par boulonnage ou rivetage avant traitement (exception faite des ouvrages de grandes dimensions difficiles à traiter et à manipuler).

L'état de surface du métal utilisé pour la fabrication d'une pièce joue un rôle fondamental sur l'esthétique et la durabilité du thermolaquage : marques et défauts de performance.

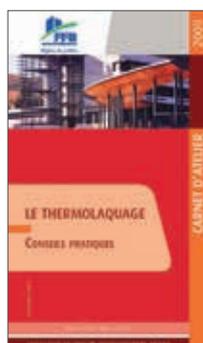
Le métal utilisé doit donc être exempt :

- de corrosion,
- d'irrégularités superficielles (copeaux, déformations, écailles de laminage, défauts de meulage, etc.),
- de traces de marquage/appairage (feutres, stylos peinture, adhésifs).

## L'astuce à retenir



Certaines règles de conception adaptées pour la galvanisation sont les mêmes que pour avoir une finition de surface optimale. Il sera bon de consulter les carnets d'atelier « La Galvanisation » et « Le Thermolaquage » pour plus de conseils pratiques.





### Le point de vigilance

En fonction de l'épaisseur et/ou de la méthode de découpe utilisée, la partie découpée peut créer des arêtes vives, souvent mal protégées par le système de peinture (mauvais enrobage) amenant à des zones de plus faible épaisseur. Cela peut être dramatique pour la durabilité du système peinture selon l'environnement de la destination finale du chantier ou d'utilisation de la pièce (départs de corrosion).

### A. Degrés de préparation

Des imperfections au niveau des soudures, des arêtes et autres zones des subjectiles d'acier constituent généralement des points de départ de corrosion. Ces zones sont difficiles à protéger par application de peintures et produits assimilés. Certaines imperfections et certains de degrés de préparation de ces zones sont définis dans la norme ISO 8501-3 afin d'aider à l'obtention d'une protection efficace contre la corrosion.

Tableau 08 — Degrés de préparation selon la norme ISO 8501-3.

<b>P1</b>	<b>Préparation légère</b> Aucune préparation ou préparation minimale requise avant application
<b>P2</b>	<b>Préparation soignée</b> La plupart des imperfections sont corrigées
<b>P3</b>	<b>Préparation très soignée</b> La surface est nette de toute imperfection visible importante

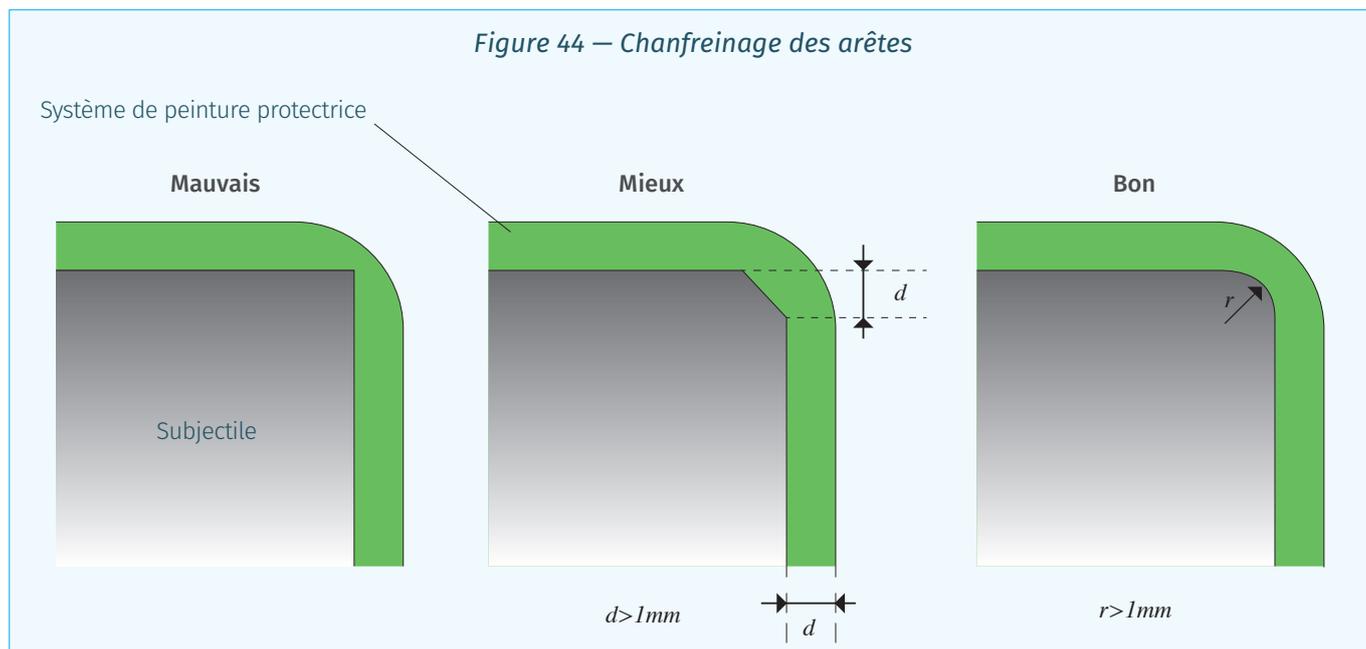
### B. Découpe automatique et arêtes vives

#### L'astuce à retenir



Les arêtes vives doivent être arrondies ou chanfreinées.

Figure 44 — Chanfreinage des arêtes



Par ailleurs, certains procédés de découpe dits « oxydants » (découpe laser CO<sub>2</sub>, oxycoupage...) favorisent l'apparition d'une ZAT (zone affectée thermiquement) et d'une couche d'oxyde peu adhérente sur lesquelles le système de peinture accroche mal (risques d'écaillage).



**Figure 45** — Élimination d'une ZAT

La mise en peinture de tôles perforées n'est pas conseillée lorsqu'une tenue contre la corrosion est recherchée. La protection de la tranche reste incertaine et un poinçonnage forcé peut former une protubérance locale qui constitue, à terme, un probable point de départ de corrosion.

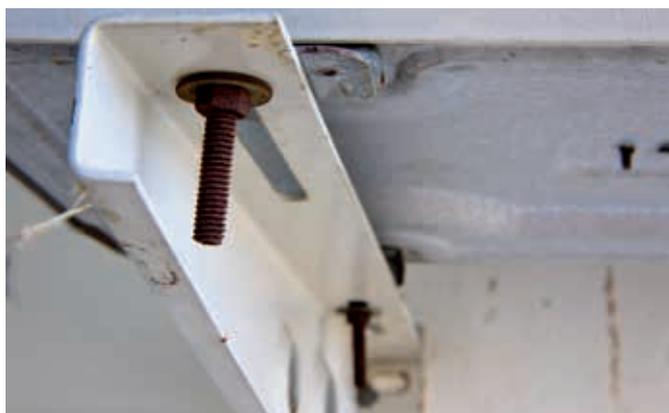


### **Le point de vigilance**

Mal maîtrisées, certaines opérations de transformation des métaux peuvent générer des bavures (découpe, usinage, perçage...). Après mise en peinture, ces bavures créent soit des surépaisseurs disgracieuses, soit des zones de moindre épaisseur néfastes à la durabilité du système. Elles doivent être éliminées par un meulage soigné par le Métallier pour limiter les problèmes d'ordre esthétique.

### C. association de matériaux

Les associations de matériaux de natures ou de compositions différentes peuvent être à l'origine d'écarts d'aspect après thermolaquage (ex. association acier/acier galvanisé) et/ou de mauvaise tenue à la corrosion (corrosion galvanique).



*Figures 46 – Isolation entre deux matériaux pour éviter des problèmes de corrosion galvanique.*

Dans tous les cas il est nécessaire d'éviter la formation de couple galvanique et, le cas échéant, d'isoler électriquement les surfaces en contact (rondelles isolantes). Attention aux éléments rapportés de nature parfois incompatible avec le procédé de thermolaquage (résistance à la température, aux traitements chimiques ou mécaniques). Pour faciliter la polymérisation de la peinture, la conception d'une pièce mécano-soudée veillera à limiter au maximum les écarts d'épaisseurs de ses éléments constitutifs (tôle fine/forte).

### Note



Le dimensionnement de pièces à assembler préalablement thermolaquées tiendra compte des surépaisseurs dues aux revêtements (boulonnage, encastrément, ajustage, etc.).

### D. Les soudures

Les soudures ne doivent pas présenter d'aspérité, de goutte, de soufflure, de cratère ni être oxydées et non continues; un traitement ad hoc permettra de supprimer tout défaut.



Soudure poreuse



Soudure oxydée

Figures 47 — Mise en cause de mauvaises soudures.

Les cordons de soudure doivent être aussi continus que possible (prise en compte des contraintes mécaniques de fonctionnement de la pièce/ouvrage), étanches et sans cratère afin d'éviter des ressurgences de fluides de préparation de surface, avec des risques de manque de revêtement et de départ ultérieur de corrosion localisée.

### Le point de vigilance

Les soudures non étanches et discontinues sont à l'origine :

- d'échappement de gaz lors de l'étape de cuisson de la peinture ; l'évaporation provoque un défaut de bullage,
- d'emprisonnement ou d'écoulement de grenaille et de produits résiduels tels que traitements de surface, en particulier à l'intérieur des tubes ou des entrefers,
- surtout de création d'intervalles étroits, qu'il est impossible à protéger contre la corrosion.

### L'astuce à retenir



Un cordon de soudure lisse sera obtenu plus facilement sur des zones correctement chanfreinées.

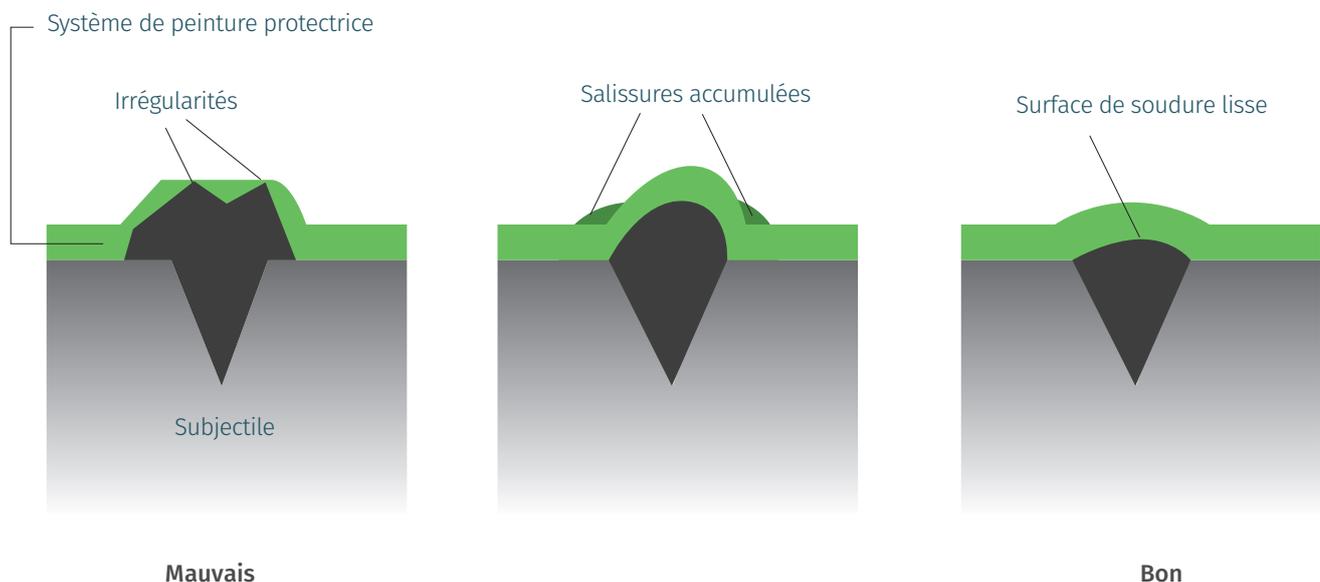
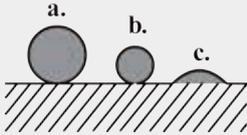
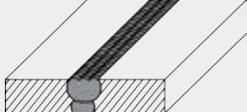
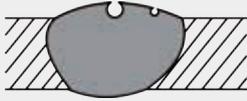


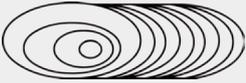
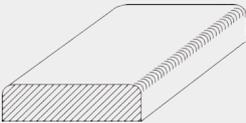
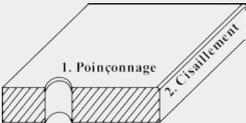
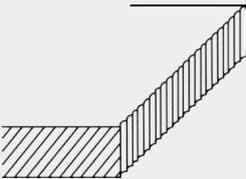
Figure 48 — Importance du lissage d'un cordon de soudure.

Le laitier et les projections de soudure doivent être éliminés. Les produits destinés à empêcher l'adhérence de projections (anti gratons) doivent être exempts de silico-silico-silico qui nuiraient à la mise en peinture et une préparation de surface adéquate (chimique ou mécanique) doit être réalisée sur ces anti-adhérents. Le tableau 09 présente un extrait de la norme ISO 8501-3.

**Tableau 09 – Degré de préparation à respecter selon le type d'imperfections (cf. norme ISO 8501-3).**

Type d'imperfection	Degrés de préparation		
	P1	P2	P3
<b>Projections de soudure</b> 	La surface doit être dépourvue de toute projection de soudure non adhérente (a.).	La surface doit être dépourvue de toute projection non adhérente ou légèrement adhérente (a. et b.). Les projections montrées en c. peuvent subsister.	La surface doit être dépourvue de toute projection de soudure.
<b>Vague de soudure/profil de la soudure</b> 	Aucune préparation	La surface doit être traitée (par meulage par exemple) pour éliminer les profils irréguliers et les aspérités.	La surface doit être entièrement traitée (complètement lisse).
<b>Scories</b> 	La surface doit être dépourvue de scories.		
<b>Caniveaux</b> 	Aucune préparation	La surface doit être dépourvue de caniveaux étroits et profonds.	La surface doit être dépourvue de caniveaux.
<b>Pores</b> 	Aucune préparation	Les pores de surface doivent être suffisamment ouverts pour permettre la pénétration de la peinture ou être éliminés.	La surface doit être dépourvue de pores visibles.



Type d'imperfection	Degrés de préparation		
	P1	P2	P3
<b>Cratères de fin de cordon</b> 	Aucune préparation	Les cratères de fin de cordon doivent être dépourvus d'aspérités.	La surface doit être dépourvue de cratères de fin de cordon visibles.
<b>Arêtes laminées</b> 	Aucune préparation	Aucune préparation	Les arêtes doivent être arrondies selon un rayon mini de 2 mm.
<b>Arêtes réalisées par poinçonnage, cisaillement, sciage ou perçage</b> 	Aucune partie de l'arête ne doit être vive; l'arête doit être dépourvue de bavures.	Aucune partie de l'arête ne doit être vive; elle doit être dépourvue de bavures.	Les arêtes doivent être arrondies selon un rayon mini de 2 mm.
<b>Arêtes obtenues par coupage thermique</b> 	La surface doit être dépourvue de laitier et de calamine non adhérente.	Aucune partie de l'arête ne doit avoir un profil irrégulier.	La face vive doit être éliminée et les arêtes doivent être arrondies selon un rayon mini de 2 mm.

### E. Interstices et zones de rétention

Les interstices (vides étroits, crevasses, entrefers) peuvent être à l'origine de début de corrosion, car la faiblesse de l'espace rend impossible l'accès du traitement et de la peinture. Idéalement, la conception évitera les intervalles étroits, et à défaut, les intervalles permettront leur traitement (espace d'accessibilité) ou seront colmatés (soudures non poreuses ou mastic).

La conception initiale de l'ouvrage/pièce veillera à limiter les zones de rétention/stagnation (tube, creux, zones planes) des liquides en prévision de son utilisation et de son entretien, mais également de son traitement avant thermolaquage. En cas de préparation de surface par voie chimique, il est

nécessaire de prévoir des événements dans les corps creux.

En conclusion, certaines conceptions et structures de pièces sont impropres (et exclues de garantie) à la mise en œuvre conforme et efficace des systèmes de protection-finition :

- les tôles perforées ou déployées,
- les volets ajourés,
- les joints de recouvrement,
- les raccords de volute,
- les torsades,
- les soudures non continues, non étanches, non régulières,
- le soudage des paumelles,
- les rosaces sur tôle plane,
- les entrefers non fermés,
- etc.

## 6.2.2. LES DIFFÉRENTS SUPPORTS

### A. Acier noir

L'acier noir est un acier laminé à chaud ou un acier laminé à froid décapé huilé. Avant de le peindre, il doit être décapé par projection d'abrasif ou préparé chimiquement. Dans les deux cas, il y aura lieu d'appliquer une protection anticorrosion (comme un revêtement de galvanisation à chaud) pour une application extérieure.

### B. Acier revêtu d'une cataphorèse

On désigne par cataphorèse un primaire, en général époxydique, déposé par immersion et échange électrique. La pièce est reliée au pôle négatif et le bain de cataphorèse est lui au pôle positif. L'effet du champ électrique ainsi créé provoque le dépôt de la peinture. L'application par cataphorèse nécessite la réalisation d'événements sur la pièce facilitant la circulation du liquide à l'intérieur des parties creuses.

### C. Acier électrozingué

Le procédé d'électrozingage repose sur le principe d'électrodéposition. La déposition par voie électrolytique est un procédé électrochimique qui consiste à déposer une fine couche de zinc sur un support métallique par l'action d'un courant électrique. Le dépôt de la couche métallique est réalisé en chargeant négativement l'objet à revêtir et en l'immergeant dans une solution contenant des ions  $Zn^{2+}$ . Lorsque les ions  $Zn^{2+}$  atteignent la cathode (la pièce à revêtir), ils sont transformés



par réduction en leur forme métal. La pièce est ainsi revêtue d'une fine couche de zinc. L'électrozingage ne nécessite pas de précautions de conception particulières. Les parties difficilement accessibles seront toutefois peu revêtues.

#### **D. Acier revêtu d'un primaire riche en zinc**

Les primaires riches en zinc peuvent être soit liquide (PLRZ) soit en poudre (PPRZ). Les primaires riches en zinc sont à base époxydique et sont destinés à être recouverts d'une couche de finition. L'application du primaire riche en zinc doit être effectuée sur une pièce décapée avec un degré de propreté Ds 2,5 minimum; degré de soin Sa 2.5 minimum et avec la rugosité prescrite par le fournisseur.

#### **E. Acier métallisé**

La métallisation est un procédé qui consiste à fondre un métal (Zinc, Aluminium ou alliage Zinc/Aluminium) présenté sous forme de fil, et à le projeter sur la surface de l'acier à l'aide d'un pistolet à flammes ou à arc électrique. L'application du revêtement anticorrosion par métallisation nécessite une préparation de surface spécifique. Un grenailage doit entre autres être effectué pour assurer à la surface de l'acier une propreté et une rugosité qui permettront une bonne adhérence du revêtement.

#### **F. Acier galvanisé (galvanisation de produits finis)**

La galvanisation de produits finis est un procédé qui consiste à immerger une pièce en acier dans un bain de zinc fondu. Ce procédé nécessite le respect scrupuleux de préconisations de conception qui permettent à la fois de garantir un bon écoulement du zinc dans la pièce en acier et d'assurer la sécurité des applicateurs. De l'air ou du gaz emprisonné dans la pièce lors de l'immersion dans le bain de zinc à 450 °C peut en effet provoquer des explosions.

#### **G. Acier galvanisé en continu (procédé sendzimir)**

La galvanisation en continu, encore désignée sous le nom de son inventeur M. Sendzimir, est un procédé qui consiste à apposer un revêtement de zinc à la surface d'une tôle en acier. Les tôles ainsi traitées sont ensuite retravaillées par les ateliers de métallerie.

#### **H. Acier inoxydable**

Les aciers inoxydables sont des alliages dont la principale composante est le chrome. Allié au fer et au nickel, il provoque la formation d'un revêtement protecteur en surface qui ralentit voire empêche totalement la corrosion de l'acier.



### 6.2.3. LES TÔLES D'ACIER PRÉLAQUÉES

#### A. Types de tôles

Les tôles pré-laquées sont parfois utilisées par les entreprises de métallerie. Afin d'optimiser leur utilisation, il est nécessaire de connaître leurs performances et leurs possibilités de mise en forme.

On distingue deux types de tôles d'acier pré-laquées :

- **Les tôles pré-peintes** : ces produits n'ont reçu qu'une couche de primaire et sont destinés à recevoir une couche de finition après leur mise en forme,
- **Les tôles pré-laquées** : ces produits ont déjà reçu une couche de finition et sont prêts à l'emploi.

#### B. Mise en forme

Par nature, les tôles d'acier pré-laquées sont destinées à être mises en forme pour la réalisation de l'ouvrage final. Le processus de mise en forme doit conserver les propriétés du produit pré-laqué et notamment son aspect.

Il est important de respecter certaines conditions en matière de transport, de stockage, de manipulation et de découpe :

- **Le transport** : il doit être effectué dans des conditions qui préservent les produits de l'humidité, de la condensation, des chocs et des frottements.
- **Le stockage** : il doit se faire dans un local tempéré et aéré. Afin d'avoir une peinture souple et déformable, il est recommandé de travailler à une température d'environ 20 °C. Si le stockage est effectué à basse température, un maintien à 20 °C pendant 24 h est nécessaire avant toute transformation.
- **La manipulation** : l'équipement de manutention doit être propre et les surfaces en contact avec la tôle doivent être lisses et sans aspérités afin de ne pas endommager la surface du métal.
- En ce qui concerne les opérations **de cisailage ou de découpe**, il est nécessaire de veiller à la propreté de l'équipement utilisé : l'état des couteaux et des lames doit être vérifié pour minimiser les bavures. Les lames doivent être soigneusement affûtées et réglées.

Différents procédés de mise en forme peuvent être appliqués aux tôles pré-laquées :

- **Le profilage** : ce procédé consiste, par des déformations successives, à créer une surface nervurée à partir d'une surface plane (exemple : tôles de bardage)
- **Le pliage** : le pliage s'effectue en général avec la même facilité que dans le cas d'un métal nu
- **L'emboutissage** : il peut être réalisé sans apport de lubrifiant (sauf embouti sévère).



## 6.3. Les travaux préparatoires

### 6.3.1. GÉNÉRALITÉS

Les travaux de préparation de surface sont les mêmes pour le laquage et le thermolaquage. Cette étape de préparation est indispensable.

L'objectif principal des travaux préparatoires est :

- de nettoyer la surface du support de toutes les impuretés qui pourraient nuire à l'adhérence du revêtement de peinture,
- d'assurer un bon « accrochage » du film de peinture sur le support,
- de rendre la surface du support homogène.

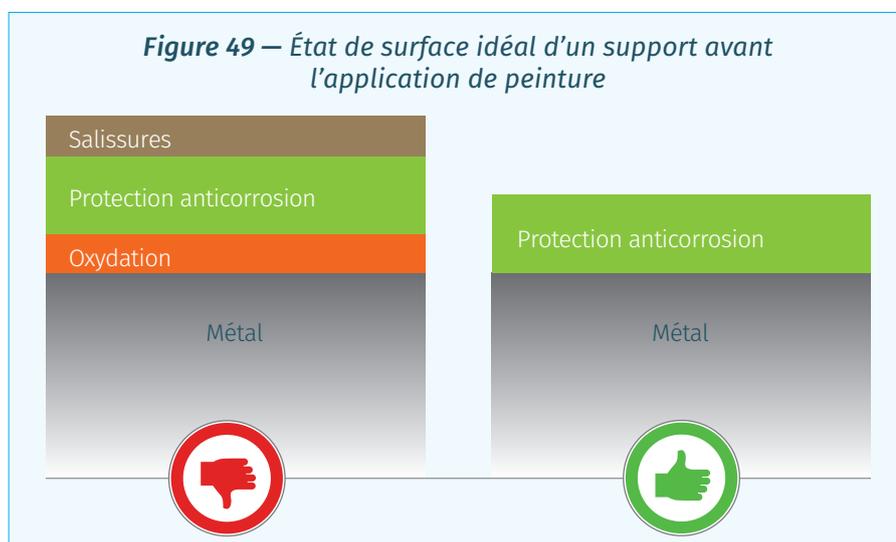
Ces travaux sont essentiels. S'ils sont négligés pour des raisons de coûts ou de délais, les conséquences peuvent être catastrophiques (effet direct sur la performance du système anticorrosion et de fait, de la structure).

**La préparation de la surface peut se faire soit chimiquement soit mécaniquement.**

Une préparation de surface chimique peut se réaliser de la manière suivante :

- Un dégraissage,
- Une désoxydation,
- Un lavage et un rinçage éliminant les sels restant au contact de la pièce,
- Un traitement spécifique en fonction du support (exemple : phosphatation...)
- Une protection par passivation du métal (exemple : chromique ou autres procédés non chromiques),
- Un dégazage est fortement recommandé dans le cas d'un thermolaquage sur galvanisation ou métallisation.

L'état de surface idéal d'un support avant l'application de peinture est schématisé à la figure 49.



### 6.3.2. SELON LES SUBJECTILES

La propreté d'une surface est caractérisée par la notion industrielle de « degré de soins ». Les degrés de soin sont déterminés en fonction du pourcentage d'impuretés éliminées. Le tableau 10 ci-dessous, tiré de la norme NF EN ISO 8501-1 indique les correspondances entre les pourcentages de propreté et les degrés de soin.

Degré de soin	Pourcentage de propreté
Sa 3 ou Ds 3	Propreté réputée à 99 %
Sa 2 <sup>1/2</sup> ou Ds 2 <sup>1/2</sup>	Propreté réputée à 96 %
Sa 2 ou Ds 2	Propreté réputée à 80 %
Sa 1 ou Ds 1	Propreté insuffisante avant métallisation

**Tableau 10** – Correspondance entre degré de soin et pourcentage de propreté

#### Note



Dans le cas de peintures liquides, les fabricants définissent précisément les travaux de préparation de surface qui doivent être réalisés avant l'application du ou des produits. Il est donc indispensable de suivre les instructions des fabricants de peinture liquide pour les opérations de préparation de surface.

La norme NF P 24-351 présente des indications de préparation de surface à suivre pour les différents types de support.

Type de support	Recommandations de préparation de surface (à défaut d'instructions du fabricant)
Cataphorèse	Dégraissage spécifique
Electrozingage	Dégraissage spécifique
PLRZ	Dégraissage spécifique
Métallisation	Dégraissage spécifique ou application directe dans un délai très court
Galvanisation de produits finis	Dégraissage et dérochage spécifiques/mécaniques ou phosphatation cristalline Zn/Ni suivie d'une passivation (pour les ambiances plus corrosives) ou traitements alternatifs
Galvanisation en continu	Dégraissage et dérochage spécifiques/mécaniques ou phosphatation cristalline Zn/Ni suivie d'une passivation (pour les ambiances plus corrosives) ou traitements alternatifs

**Tableau 11** – Recommandations de préparation de surface selon la norme NF P 24-351.



### A. Acier noir

Afin d'obtenir la qualité assurant une tenue dans le temps, il est recommandé d'effectuer une projection d'abrasif selon quatre degrés de soins : Sa 1 à Sa 4. Pour l'obtention de garanties, le degré minimum de soin Sa2.5 doit être requis.

Selon la destination finale de l'ouvrage, des traitements complémentaires (phosphatation par exemple) peuvent être préconisés.

L'application d'une couche primaire immédiatement après le décalaminage est conseillée.

### B. Acier avec cataphorèse

Le laqueur/thermolaqueur devant exécuter une prestation sur cataphorèse doit vérifier :

#### → s'il existe des « bulles » de traitement.

Généralement ces « bulles » de traitement se produisent, pour les menuiseries, dans des parties situées à l'intérieur du volume bâti et n'altèrent que le dépôt de cataphorèse. Elles devront être reconditionnées par :

- primaire si la zone affectée se trouve à l'intérieur du volume bâti,
- primaire si la zone affectée se trouve à l'extérieur du volume bâti et si le traitement chimique n'est pas altéré,
- métallisation si la zone affectée se trouve à l'extérieur du volume bâti et si le traitement chimique est dégradé.

#### → s'il existe des « grumeaux » à la sortie des événements.

Ces désordres devront être éliminés avant de commencer le laquage. La zone éventuellement altérée devra être réparée suivant les préconisations précédentes.

Dans tous les cas, la cataphorèse donne lieu à un dégraissage avant laquage ou poudrage, sauf si la cataphorèse est intégrée à l'unité de laquage/poudrage. Le dégraissage doit être effectué par voie chimique automatique et dans des cas exceptionnels par voie manuelle (chiffon propre + produit adapté).

Les épaisseurs à appliquer sur une préparation par cataphorèse sont identiques à celles recommandées par les fabricants pour le traitement standard des pièces en acier.

### Note



L'application de peinture en poudre directement sur de l'acier noir ne permet pas d'obtenir une protection anticorrosion de l'ouvrage. Une préparation mécanique, ou chimique doit être réalisée.

Les aciers laminés à chaud comportent toujours de la calamine.



### Le point de vigilance

Avant d'engager le processus de revêtement :

- un décapage est nécessaire sur les produits oxydés ou calaminés ;
- le peintre doit s'assurer par un test de quadrillage que la cataphorèse est adhérente.

### C. Acier avec électrozingage

#### → Tôles électrozinguées

Les pièces en acier électrozingué ayant, en règle générale, subi une opération préalable (pliage par exemple) il est nécessaire d'effectuer un dégraissage pour assurer un bon accrochage de la peinture.

Dans la pratique, les dégraissants phosphatant suivis d'un rinçage et d'une passivation sont utilisés.

#### → Ouvrage post-électrozingué

La plupart des ouvrages de métallerie n'ont pas vocation à être post-électrozingués. Des précautions quant à la forme géométrique de l'ouvrage (bords ronds) et l'accessibilité des surfaces sont à prendre en compte en liaison avec l'électrozingueur.

### D. Acier revêtu d'un primaire

#### → Pour les peintures liquides

Il convient de s'assurer de l'état de propreté et de l'adhérence avant l'application de la couche de finition en réalisant, si besoin, un dégraissage spécifique selon les préconisations du fabricant.

#### → Pour les peintures poudres

Il convient de s'assurer de l'état de propreté et de l'adhérence avant l'application de la couche de finition.



### Recommandations de l'Union de Métalliers

- Pour le degré de soin, se référer à la norme 8501-1.
- Pour l'adhérence, se référer à la norme ISO 2409 (Essai de quadrillage).



### Le point de vigilance

Au-dessus d'une humidité relative de 85%, il est conseillé de ne pas thermolaquer la pièce.

De plus, il conviendra d'effectuer un étuvage des pièces pendant 10 minutes pour des délais compris entre 4 et 12 heures.

Le poudrage de la couche de finition sur le primaire doit être effectué à la suite, sur le même site et dans un délai maximum de 4 heures. Au-delà, sans dépasser 12 heures, il peut être nécessaire d'effectuer un étuvage des pièces.

## E. Acier métallisé

### → Pour les peintures liquides

On peut distinguer l'application de peinture liquide en atelier de celle effectuée sur chantier.

#### ◊ En atelier

Il est essentiel de réaliser le laquage dans les 12 heures qui suivent la métallisation afin de ne pas perdre les qualités de celle-ci. Les préparations de surface possibles avant laquage sont variées. En exemple, la préparation de surface chimique avant laquage sur un acier métallisé en atelier peut être :

- Un dégraissage par une solution acide ou alcaline,
- Un dérochage (grammage minimum enlevé : 2 à 3 g/m<sup>2</sup>). Ce dérochage doit être suivi par un rinçage à l'eau claire.
- Une passivation par chromatisation, phosphatation, ou traitements alternatifs,
- Un rinçage réalisé avec de l'eau déminéralisée,
- Un séchage.

#### ◊ Sur chantier

Il est recommandé de désoxyder la couche de métallisation par un dérochage chimique puis d'effectuer un rinçage avant de passiver le revêtement de zinc. Cependant, la norme NF EN ISO 2063 n'impose pas de désoxydation.

### → Pour les peintures poudres

Il est essentiel de réaliser le thermolaquage dans les 12 heures qui suivent la métallisation afin de ne pas perdre les qualités de celle-ci. Les préparations de surface possibles avant thermolaquage sont variées. En exemple, la préparation de surface avant thermolaquage sur un acier métallisé en atelier est :

- Un dégraissage par une solution acide ou alcaline,
- Un dérochage (grammage minimum enlevé : 2 à 3 grammes/m<sup>2</sup>). Ce dérochage doit être suivi par un rinçage à l'eau claire.
- Une passivation par chromatisation, phosphatation, ou traitements alternatifs,
- Un rinçage réalisé avec de l'eau déminéralisée,
- Un séchage.

À noter qu'il est courant d'appliquer directement la peinture sur la métallisation, sans remettre en cause les performances du système.



### F. Acier galvanisé (galvanisation de produits finis)

La préparation de surface avant laquage sur un acier galvanisé à façon peut se faire soit chimiquement, soit mécaniquement.

La préparation mécanique consiste en un balayage à l'aide de grenaille Inox ou silicate d'aluminium et de magnésium.

#### Note



Il existe un grand nombre de gammes de préparations chimiques possibles selon les produits chimiques utilisés et les fournisseurs retenus. Il est conseillé de se rapprocher du fournisseur concerné.

Un dégazage doit impérativement être réalisé dans le cas d'une peinture cuite au four. Ce dégazage consiste à porter l'ouvrage à une température de 20 °C supérieure à celle de la température de séchage de la peinture ou celle de polymérisation de la poudre. Il permet l'évacuation des gaz occlus dans la couche intermétallique fer/zinc de la galvanisation à chaud.

### G. Acier galvanisé en continu

Le revêtement galvanisé en continu doit être exempt de rouille blanche. Dans le cas contraire, une désoxydation s'impose.

Pour les pièces revêtues par galvanisation en continu comportant des soudures et des meulages ponctuels, un traitement approprié des zones de reprise ou sans revêtement doit être prévu afin de retrouver une bonne protection anticorrosion.

Étant donné la variété des finitions des produits galvanisés en continu (chromatés, huilés, revêtus par un organo-minéral), il est nécessaire de connaître le type de protection effectuée en usine pour définir le traitement approprié. Dans le cas contraire, un décapage devra être réalisé.

La préparation mécanique consiste en un balayage à l'aide de grenaille Inox ou silicate d'aluminium et de magnésium.

#### Note



Il existe un grand nombre de gammes de préparations chimiques possibles selon les produits chimiques utilisés et les fournisseurs retenus. Il est conseillé de se rapprocher du fournisseur concerné.

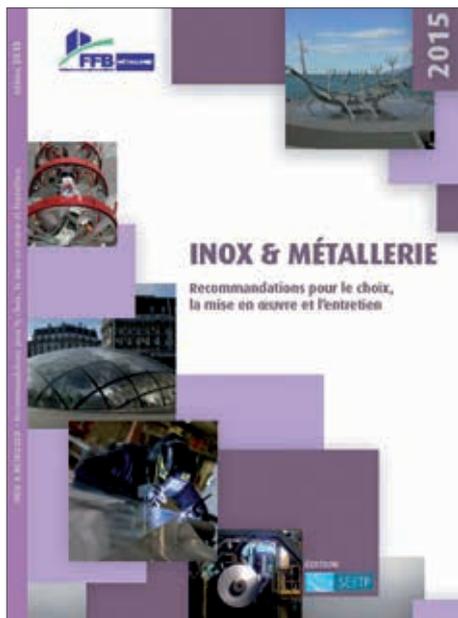
La préparation mécanique de la galvanisation en continu est effectuée par projection d'abrasif à sec, à une pression peu élevée (maximum 3 bars) et avec un média (non métallique ou Inox), angulaire et de faible granulométrie pour obtenir une surface avivée (piquetage). La préparation mécanique est toutefois déconseillée, car le risque d'altération du revêtement de zinc est important en raison de la faible épaisseur de zinc.

### H. Acier inoxydable

La préparation de surface a pour but de créer des sites d'accrochage de la peinture. La préparation consiste à réaliser un dérochage soit chimiquement, soit mécaniquement. Dans les deux cas, il est impératif de nettoyer la surface de la pièce avant cette opération. Le dérochage mécanique doit être réalisé avec du corindon ou de la grenaille Inox. La surface doit être dépourvue de particules ferreuses.

#### Recommandations de l'Union de Métalliers

L'Union des Métalliers a sorti en 2015 le guide Inox & Métallerie, qui propose des recommandations pour le choix, la mise en œuvre et l'entretien des ouvrages en Inox. Il est enrichi notamment d'une étude sur la tenue au thermolaquage des aciers inoxydables, dont la synthèse est à retrouver en annexe.





### Le point de vigilance

Lorsque les critères esthétiques de l'ouvrage final sont importants, il est indispensable de prévoir entre l'opération de galvanisation et de peinture, une étape de préparation mécanique de la surface (ponçage) pour éliminer les imperfections de la surface. Cette opération, trop souvent négligée ou oubliée, est souvent la cause d'insatisfactions du client. Cette opération est à confier en priorité au peintre, qui reste responsable de l'état du support sur lequel il réalise sa peinture.

## 6.4. Peindre un revêtement de zinc

### 6.4.1. GÉNÉRALITÉS

Peindre sur un revêtement de zinc nécessite de respecter certaines conditions qui concernent plus particulièrement deux aspects :

- L'état de la surface à peindre,
  - La nature de la peinture à appliquer.
- Une préparation de surface insuffisante

et/ou l'utilisation d'une peinture de formulation inadaptée pour le zinc peut conduire à des pertes d'adhérence après la mise en service de l'ouvrage, et qui peut même se manifester plusieurs années après l'application de la peinture.

### 6.4.2. L'ÉTAT DE SURFACE DU ZINC

La qualité de l'état de surface de zinc à recouvrir est essentielle pour assurer une bonne adhérence de la peinture dans le temps. L'état de la surface de zinc varie en fonction de l'ambiance à laquelle le produit a été confronté. En fonction des ambiances, différentes

couches supplémentaires se forment à la surface du zinc et peuvent compromettre l'adhérence de la peinture.

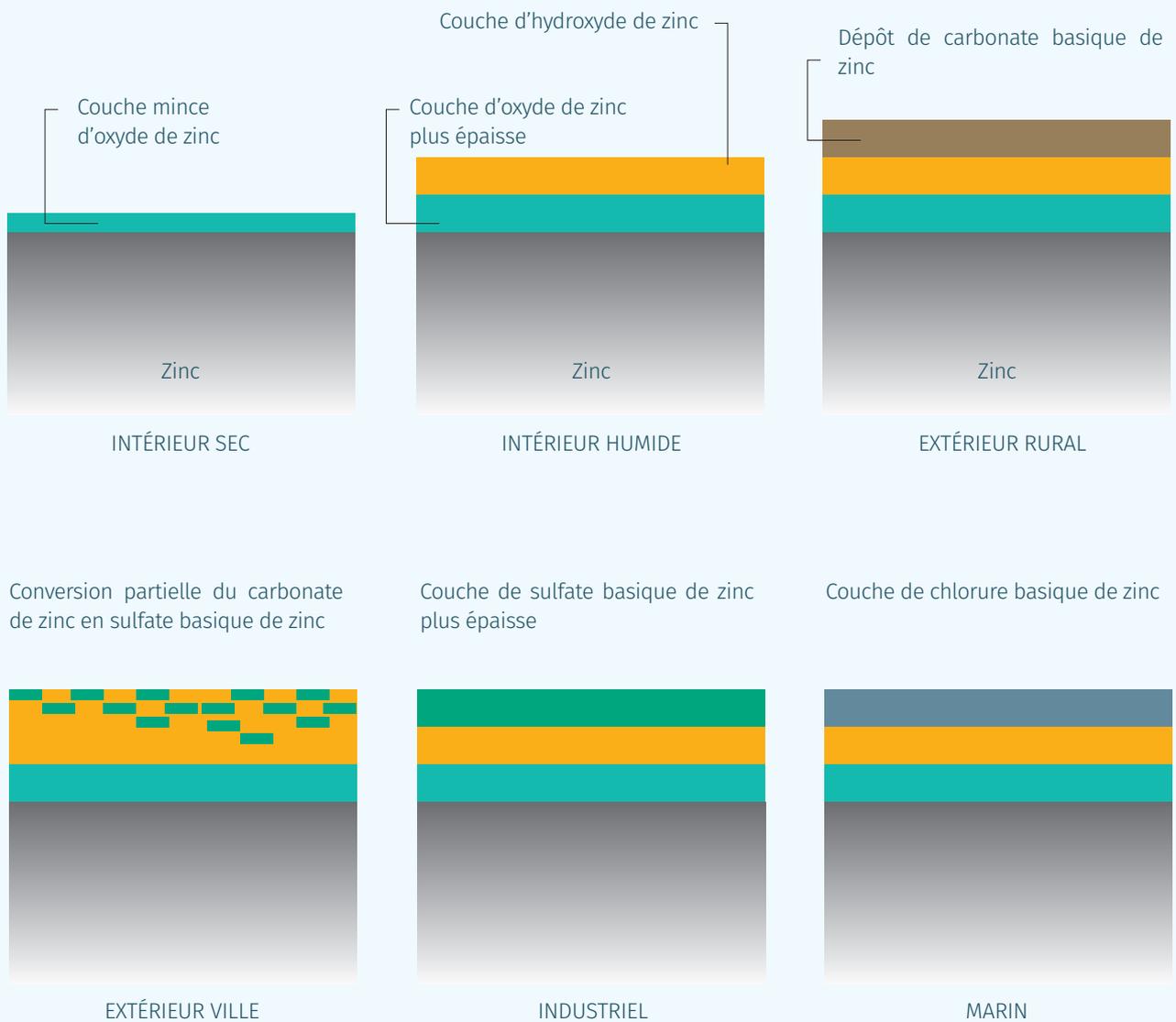
Le tableau 12 ci-dessous présente, en fonction des ambiances, l'état de surface d'un revêtement de zinc par galvanisation.

La qualité d'adhérence de la peinture sur son support dépend de la présence ou non d'une couche d'oxydation à la surface du zinc. La couche de zinc s'oxyde

dès qu'elle est en contact avec l'extérieur. Il est donc indispensable de procéder à l'élimination des couches d'oxydation avant toute application de peinture.



**Tableau 12** – État de surface d'un revêtement de zinc par galvanisation selon les ambiances.



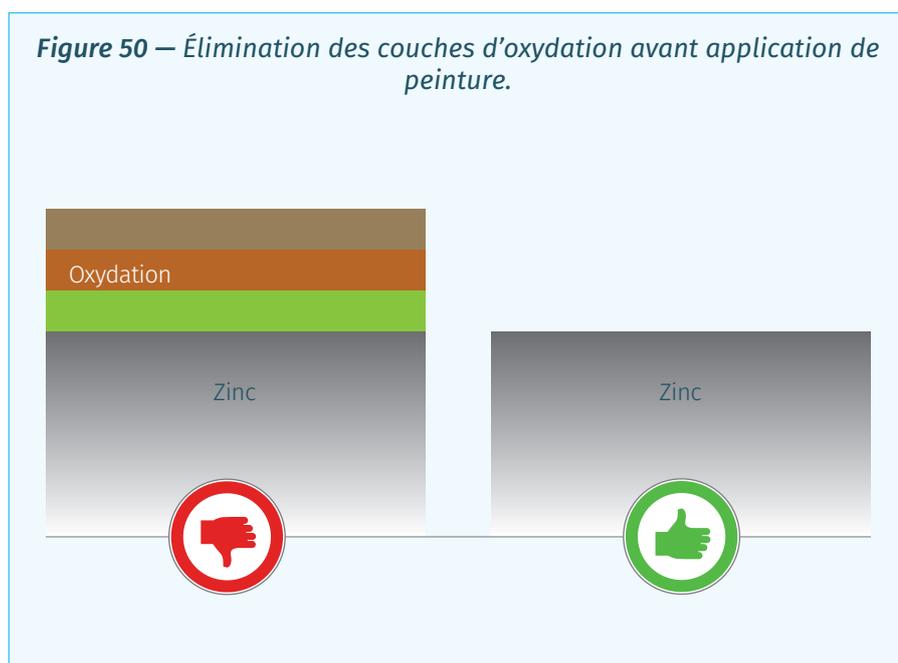
Les conditions de préparation de surface, ainsi que les conditions d'application (hygrométrie, température) sont des éléments essentiels pour garantir une bonne adhérence du revêtement de peinture. Il est donc conseillé de

faire appel à des ateliers spécialisés disposant des moyens de contrôle nécessaires pour garantir le respect des exigences liées à la peinture utilisée.

Quel que soit le revêtement de zinc et le type de peinture utilisée, il est nécessaire d'éliminer les produits d'oxydation de la couche de zinc par une préparation de surface appropriée. Ceci peut se faire chimiquement ou mécaniquement (dérochage).

Dans le cas de travaux d'entretien, il est possible d'appliquer une peinture sur site. Il est cependant indispensable d'utiliser des peintures spécialement formulées pour cet usage et de respecter scrupuleusement les exigences spécifiées dans les fiches techniques des produits. Même si les contraintes sont importantes, il est essentiel de respecter les exigences de préparation de surface lors d'une application sur site.

**Figure 50** — Élimination des couches d'oxydation avant application de peinture.



### 6.4.3. LES PEINTURES À UTILISER

#### A. Les peintures liquides

Il est indispensable d'utiliser des peintures pour lesquelles la formulation complète (liant, pigments, etc.) a été spécialement étudiée en vue d'une application sur du zinc.

Il est nécessaire de se reporter à la fiche technique du fabricant qui doit indiquer la compatibilité du produit avec le zinc ainsi que les conditions de préparation de surface et d'application à respecter.

#### **Recommandations de l'Union de Métalliers**

Le tableau 13 ci-après présente, à titre indicatif, des recommandations sur les systèmes de peinture en fonction de l'ambiance à laquelle sera soumis l'ouvrage.

Tableau 13 — Recommandations sur les systèmes de peintures en fonction de l'ambiance

Liant	Système				Ambiance				
	Préparation de surface	Nb de couches	Épaisseur minimale par couche (µm)	Épaisseur minimale totale (µm)	Rurale	Urbaine	Industrielle normale	Industrielle agressive	Maritime
Acrylique hydodiluable* ou Copolymère acrylique solvanté	A ou D	1	80	80	X	X			◇
		2	60	120	X	X	X	◇	X
		2	80	160	X	X	X		
Époxydique**	B ou C	1	90	90	X	X			
		2	90	180	X	X	X	◇	X
Époxydique + polyuréthane***	B ou C	1 + 1	60 + 40	100	X	X	◇		
		1 + 1	90 + 40	130	X	X	X	◇	X
Acrylique hydrodiluable + polyuréthane***	A ou D	1 + 1	60 + 40	100	X	X	◇		
		1 + 1	80 + 40	120	X	X	X	◇	◇

\* Attention à l'application en cas de gel ou de pluie \*\* Risque de farinage \*\*\* La fonction polyuréthane apporte une stabilité du brillant de la teinte et de très hautes performances ◇ possible, mais nécessite une étude spécifique

Préparation de surface	
A	Projection sous pression d'une solution alcaline + rinçage + séchage
B	Brossage + dérochage acide approprié + rinçage + séchage
C	Balayage faible pression à l'aide d'un abrasif ultra fin + dépoussiérage
D	Brossage, grattage ou vapeur haute pression + séchage

Tous les systèmes de peinture présentés dans le tableau peuvent être utilisés en ateliers spécialisés ou non, ou sur site à condition de pouvoir réunir les conditions de préparation de surface et d'application conformément aux instructions spécifiées dans les fiches techniques des produits.

## Note



Les peintures alkydes et glycérophtaliques conventionnelles et utilisées couramment sèchent par oxydation et réagissent avec le zinc en formant des sels de zinc hygroscopiques. Ces sels provoquent le décollement du film de peinture. Leur utilisation n'est donc pas recommandée même s'il y a interposition d'une peinture primaire.



### Le point de vigilance

Il convient de faire la distinction entre les peintures époxy et les peintures polyester. La confusion, née d'un abus de langage, peut effectivement semer le doute alors que les propriétés de ces deux types de peinture sont bien distinctes. Il faut notamment noter que les peintures époxy sont très sensibles aux UV et que, par conséquent, elles ne peuvent être utilisées qu'à l'intérieur, ou comme souvent en apprêt recouvertes d'une finition (par exemple polyester).

### L'astuce à retenir



En ce qui concerne les applications de métallerie, les poudres polyesters « construction » doivent être utilisées.

### B. Les peintures poudres

Les peintures en poudre thermodurcissables s'appliquent par projection de la poudre chargée électrostatiquement sur la pièce reliée à la masse. La couche de poudre est ensuite soumise à une température élevée (entre 130 °C et 210 °C) et transformée après fusion et polymérisation en un film résistant et homogène.

Les principaux types de poudres sont présentés dans le tableau 14 ci-dessous.

Tableau 14 – Types de peintures poudre et utilisations.

Type de poudre	Utilisation	Application
Epoxy	• Poudre destinée à la protection anticorrosion Résistance à certains agents chimiques	• Industrie automobile • Pièces mécaniques • Canalisations • Machines-outils
Mixtes (Epoxy – polyester)	• Poudre pour la décoration intérieure	• Mobilier métallique • Agencement magasin • Coffrets
Polyuréthanes	• Résistance aux produits chimiques et agressions climatiques	• Industrie chimique • Anti graffiti
Polyester Industrie	• Poudre pour la décoration extérieure et l'industrie	• Bétonnières • Machines agricoles • Mobilier de jardin • Magasins
Polyester Bâtiment	• Poudre pour la décoration extérieure architecturale	• Menuiseries métalliques • Charpente • Mobilier urbain • Glissières • Candélabres • Façades
Thermoplastiques	• Condition extrême ou spécifique	• Milieu médical • Mobilier urbain • Candélabres • Anti graffiti
Fluoropolymères	• Pour une très haute durabilité	• Architecture • Réalisation de prestige

## 6.5. Qualité et contrôle

### 6.5.1. CONTRÔLE PAR L'APPLICATEUR

L'applicateur a en charge de contrôler un certain nombre d'éléments avant la livraison de l'ouvrage revêtu. Cela concerne notamment selon les normes :

- Le contrôle de la teinte,
- Le contrôle de l'aspect,
- Le contrôle de l'épaisseur,
- Le contrôle de l'adhérence,
- Le contrôle de la brillance.

### Note



Les applicateurs labellisés Qualisteelcoat effectuent de façon très régulière ces contrôles.



## 6.5.2. DÉFAUTS ET CAUSES POSSIBLES

Les défauts d'un revêtement de peinture peuvent avoir des causes :

- **Externes**, en raison d'agents de dégradation tels que l'eau, les rayons UV, une forte chaleur, etc. : ces défauts sont directement liés à un mauvais choix du type de peinture (qu'elle soit liquide ou poudre) par rapport aux conditions d'utilisation de l'ouvrage.
- **Internes**, en raison d'un mauvais choix de produit, d'une inadéquation entre les produits utilisés, d'un non-respect des exigences de préparation de surface, d'une mauvaise application, etc.

### A. Défauts et causes possibles dans le cas d'un revêtement laqué

Tableau 15 — Défauts et causes possibles lors d'un laquage (non exhaustif).

Défauts	Causes possibles
<b>Coulures : formation de bourrelets et de gouttes en surface du feuil de peinture</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peinture liquide trop fluide</li> <li>• Technique de pistolage non adaptée (jet mal réglé, diamètre de buse trop grand), débit d'air non-conforme aux recommandations techniques</li> <li>• Temps de séchage insuffisant entre les passes</li> <li>• Épaisseur du feuil trop importante</li> </ul>
<b>Faïençage : formation de fissures de longueurs différentes plus ou moins importantes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Épaisseur trop élevée de la couche de peinture de finition</li> <li>• Utilisation de produits non compatibles entre eux</li> <li>• Variations de température importantes entre l'application et le séchage</li> </ul>
<b>Corrosion : apparition de rouille à travers le feuil de peinture</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Préparation de surface insuffisante</li> <li>• Souillure du support métallique et/ou présence d'humidité enfermée sous le feuil de peinture lors de l'application de la peinture liquide</li> <li>• Défauts d'application :               <ul style="list-style-type: none"> <li>– Épaisseur insuffisante du feuil de peinture</li> <li>– Rugosité de la surface métallique trop importante</li> <li>– Présence de porosités dans le feuil de peinture.</li> </ul> </li> </ul>
<b>Cloquage : apparition de boursoffures ou de cloques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rétention de solvant notamment en atmosphère confinée</li> <li>• Inadaptation du système de peinture aux conditions d'utilisation</li> <li>• Emprisonnement de sels solubles sous le feuil de peinture en raison d'un rinçage insuffisant</li> <li>• Mise en service de l'ouvrage avant durcissement complet du feuil de peinture</li> </ul>
<b>Décollement : perte d'adhérence à l'interface « support métallique/peinture primaire » ou entre couches de peinture</b>	<p>Entre la pièce métallique et la peinture primaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mauvaise préparation de surface : présence de graisse, de corrosion ou de reste d'abrasifs</li> <li>• Non-respect des conditions d'application et possibilité de condensation</li> <li>• Peinture non adaptée au support métallique.</li> </ul> <p>Entre couches de peinture :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rétention de solvant, incompatibilité du diluant utilisé</li> <li>• Présence de traces d'humidité entre les couches de peinture</li> <li>• Incompatibilité entre les couches de peinture.</li> </ul>
<b>Peau d'orange : mauvais tendu du feuil de peinture</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Épaisseurs déposées non-conformes ou diluant utilisé non adapté</li> <li>• Mauvaise homogénéisation du jet de peinture et/ou non-respect de la distance entre la buse et le support à peindre lors de l'application.</li> </ul>

**B. Défauts et causes possibles dans le cas d'un revêtement thermolaqué**

*Tableau 16 — Défauts et causes possibles lors d'un thermolaquage (non exhaustif).*

Défauts	Causes possibles	Solutions
<b>Mauvais accrochage de la poudre sur les pièces</b>	Défaut de haute tension	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérifier les indicateurs du générateur H.T. et l'intensité</li> <li>• Nettoyer ou changer les électrodes</li> <li>• Vérifier les contacts électriques au niveau du pistolet</li> <li>• Vérifier la mise à la terre du convoyeur et de la pièce</li> </ul>
	Peinture en poudre mal chargée	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmenter la tension dans l'installation</li> <li>• Vérifier qu'il ne se forme pas une charge opposée dans les tuyaux, s'équiper de tuyaux adaptés</li> </ul>
	Débit d'air trop fort : la poudre est soufflée	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baisser la pression d'air de projection</li> </ul>
	Pollution de l'air	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérifier l'absence d'huile et d'eau dans l'air</li> </ul>
<b>Mauvaise pénétration</b>	Haute tension trop forte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduire la H.T. pour diminuer l'effet de cage de Faraday</li> </ul>
	Débit de poudre trop faible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmenter le débit</li> </ul>
	Soufflage par l'air de transport	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuer la pression de l'air de transport</li> </ul>
	Distance des pistolets à la pièce	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Régler entre 15 et 25 cm</li> </ul>
	Mauvaise mise à la terre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérifier la mise à la terre de l'ensemble de l'installation</li> </ul>
	Vitesse de défilement trop forte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuer la vitesse du convoyeur</li> </ul>
	Cône de pistolage trop large	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduire la largeur</li> </ul>
<b>Épaisseur trop faible</b>	Peinture non adaptée	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contacter votre fournisseur</li> </ul>
	Trop de fines surchargées venant de la récupération, le refus se produit trop tôt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmenter le dosage de poudre neuve — Réduire les pertes par overspray</li> <li>• Baisser le voltage</li> </ul>
<b>Impuretés dans le film de peinture</b>	Saletés ou particules étrangères venant du support	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérifier le prétraitement</li> </ul>
	Saletés ou particules étrangères dans la poudre	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nettoyage de l'installation et recherche des causes de salissures</li> </ul>
	Saletés ou particules étrangères de l'air du local	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vérifier si des travaux de ponçage ou autres types sont effectués dans le même local.</li> <li>• S'assurer de l'absence de courant d'air aux abords de la chaîne</li> <li>• Proscrire l'emploi de la soufflette pendant l'application</li> </ul>
	Particules ayant pré-réagis par agglomération dans le tuyau	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nettoyer ou changer le tuyau</li> </ul>
<b>Matage de la surface</b>	Incompatibilité avec d'autres peintures en poudre à base de liant différent	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nettoyage de l'installation</li> </ul>



Défauts	Causes possibles	Solutions
<b>Peau d'orange</b>	Montée en température de l'objet trop lente	• Contrôle et révision du four par le fabricant
	Peinture trop réactive ou granulométrie trop grosse	• Contacter votre fournisseur de peinture en poudre
	Épaisseur du film	• Modifier les conditions de poudrage pour obtenir les épaisseurs prescrites sur la fiche technique du produit (en général 60 à 80 µm).
	Haute tension trop élevée	• Baisser le réglage de haute tension
	Distance des pistolets à la pièce trop faible	• Régler la distance à 15 – 25 cm
	Mauvaise mise à la terre	• Vérifier la mise à la terre de l'ensemble de l'installation
<b>Formation de cratères</b>	Incompatibilité avec d'autres peintures à base de liant différent	• Nettoyage de l'installation
	Défaut de prétraitement avec résidus gras	• Vérifier la présence de tels produits et contacter éventuellement votre fournisseur
	Incompatibilité avec des produits étrangers (silicones ou acryliques)	• Rechercher la présence de tels produits – Nettoyage de l'installation
<b>Piqûres d'épingles</b>	Trop d'humidité dans la poudre	• Stockage dans un local sec en emballages fermés (mini 18 °C, 75 % maxi d'humidité)
	Inclusion d'air dans les couches sur fontes d'acier ou d'aluminium, sur tôle galvanisée	• Dégazer les pièces en les préchauffant avant application de la peinture
<b>Propriétés mécaniques et adhérence insuffisantes</b>	Cuisson incomplète	• Augmenter la température et/ou le temps de passage dans le four. • Consulter les fiches techniques du produit • Vérifier la courbe de four
	Traitement de surface insuffisant	• Vérifier le prétraitement (bains, Pulvérisation)
	Type de peinture en poudre mal adaptée	• Contacter votre fournisseur
<b>Film trop brillant</b>	Cuisson incomplète	• Augmenter la température et/ou le temps de passage dans le four. • Consulter les fiches techniques du produit • Vérifier la courbe de four
<b>Film trop mat</b>	Surcuisson	• Vérifier et modifier les conditions de cuisson
<b>Variation de teinte</b>	Surcuisson par arrêt de chaîne ou dérégulation du four	• Vérifier la courbe de four
<b>Variation d'aspects</b>	Matériel d'application	• Vérifier les préconisations du fournisseur sur le type de matériel préconisé (buses, voltage, etc.)
	Recyclage	• L'incorporation de poudre recyclée dans la poudre neuve peut modifier l'aspect final
	Marbrures	• Disposition des pistolets n'est pas adéquate. Utilisation d'un bac fluidisé pour les métallisés





### Le point de vigilance

Il faut éviter de stocker des éléments peints sous film plastique à l'extérieur.

Les pièces emballées sous film plastique sont sensibles à une exposition prolongée au soleil et en milieu humide : certaines marques inesthétiques peuvent apparaître.

Il ne faut jamais stocker d'éléments peints sous film plastique en contact avec une surface humide telle qu'une pelouse ou du sable.

Cela provoque une évaporation et une condensation qui retombe sur les pièces peintes et pénètre dans le feuil de peinture provoquant des taches blanches (« effet de serre ou verre de montre »).

Il ne faut également jamais stocker les pièces peintes sous film plastique dans un environnement agressif : vapeurs corrosives, bouche d'égout, poussières de ciment et de plâtre, vapeurs chlorées dans les piscines, etc.

Les pièces peintes subissant des altérations profondes lors des manutentions doivent être reconditionnées. En effet, la destruction du feuil de peinture altère la durée de vie de la pièce.

## 6.6. Après les travaux de peinture

### 6.6.1. STOCKAGE ET TRANSPORT

Afin de protéger l'aspect des éléments peints, il convient de prendre des précautions pour éviter toute altération du revêtement.

Les chargements doivent être soigneusement arrimés de manière à éviter tout frottement qui pourrait détériorer les éléments peints par abrasion.

### 6.6.2. USINAGE POST LIVRAISON



#### Recommandations de l'Union de Métalliers

L'usinage de pièces en acier après laquage et thermolaquage est proscrit, les caractéristiques anticorrosion étant perdues par mise à nu des arêtes et coupes franches.

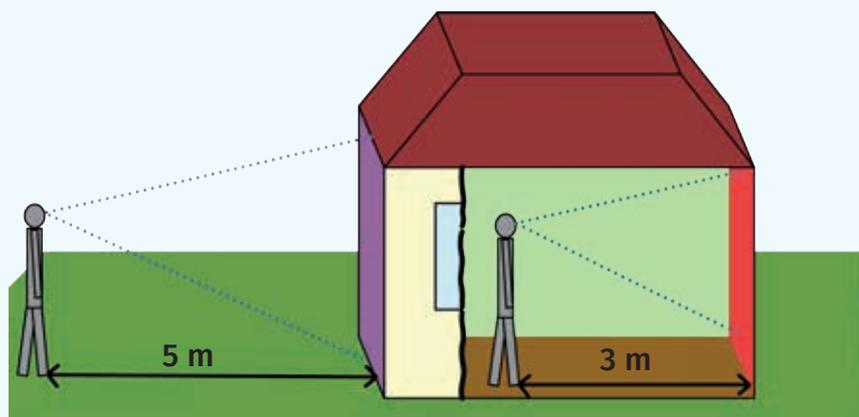


## 6.7. Les contrôles à réception des travaux

Les contrôles qui peuvent être réalisés au moment de la réception concernent :

- **La teinte** : les variations de teinte peuvent être évaluées par comparaison avec le nuancier ou les plaquettes témoins. Le DTU 59.1 précise que de faibles écarts de couleur sont acceptables dans le secteur du bâtiment,
- **La brillance** : elle est mesurée à l'aide d'un brillancemètre,
- **L'aspect** : les normes précisent que les contrôles doivent être opérés sur le lieu de chantier, à 5 m pour les ouvrages extérieurs et 3 m pour les ouvrages intérieurs.

*Figure 51 — Schématisation des distances de contrôle d'un revêtement de peinture.*



Sur les pièces galvanisées à chaud, les irrégularités d'aspect dues au traitement au trempé sont admissibles. Il convient de valider avec le galvanisateur et le peintre le niveau esthétique attendu.

Des prestations de parachèvement de la couche de galvanisation en vue de la mise en peinture peuvent être effectuées par le peintre, mais doivent être convenues dès la demande de tarifs, afin d'obtenir un résultat esthétique conforme au besoin. Il est également recommandé de contrôler l'adhérence et l'épaisseur de revêtement.



# CHAPITRE 7

## CHAPITRE 7

# GARANTIES ET ASSURANCES

## 7.1. À propos de la galvanisation

Les garanties dites « anticorrosion » et « bonne tenue » sont données au cas par cas par l'applicateur en fonction de la conception de l'ouvrage, de son environnement et du système de protection demandé.

Ces garanties n'ont de sens que si :

- elles sont confirmées par une compagnie d'assurance,
- les ouvrages sont entretenus normalement et que leur usage est conforme à leur destination.

## 7.2. A propos de la peinture

Après réception, les désordres atteignant l'ouvrage sur lequel le Métallier intervient sont susceptibles d'engager sa responsabilité selon différents fondements, dont la responsabilité décennale.

### 7.2.1. LES GARANTIES LÉGALES

#### A. Garantie décennale

**Aux termes de l'article 1792-1 du Code civil, tout constructeur d'un ouvrage est responsable de plein droit envers le maître d'ouvrage ou l'acquéreur des dommages qui compromettent la solidité de l'ouvrage ou qui le rendent impropre à sa destination.**

L'assurance décennale est obligatoire, sous peine de sanction pénale, pour tout locateur d'ouvrage intervenant sur tous types d'ouvrages à l'exception de certains ouvrages dits de « génie civil ».

#### Note



Un locateur d'ouvrage est une entreprise ayant passé avec un maître d'ouvrage un contrat de louage d'ouvrage.

## Note



Les travaux d'imperméabilisation de façades qui constituent un ouvrage, donnent lieu à une garantie décennale : des infiltrations d'eau peuvent en effet rendre l'ouvrage impropre à sa destination. Ce sera également le cas par exemple, pour des travaux de peinture réalisés lors de la construction d'un hôpital et dont les décollements nuisent au fonctionnement normal des blocs opératoires car il y aura atteinte à la destination de l'ouvrage.

→ Pour la mise en jeu de cette responsabilité, il faut donc qu'il y ait un ouvrage.

Or sauf, s'ils sont réalisés lors de la construction d'un bâtiment ou d'une rénovation lourde, de «simples» travaux de peinture ne constituent pas un ouvrage et ne relèvent donc pas de la

responsabilité décennale, mais de la responsabilité contractuelle de droit commun.

Par ailleurs, dans la première année de la réception de l'ouvrage, dite année de «parfait achèvement», l'entrepreneur doit répondre des dommages mineurs qui ne sont pas assurables.

**S'il y a bien réalisation d'un ouvrage, une malfaçon liée à une finition par application de peinture ne mettant pas en cause la solidité de l'ouvrage et ne le rendant pas impropre à sa destination finale, ne relève pas de la garantie décennale.**

Le sous-traitant n'est donc pas assujéti à cette responsabilité ni à l'obligation d'assurance. Cependant, il est redevable vis-à-vis de son donneur d'ordre (le Métallier) d'une responsabilité contractuelle avec obligation de résultat. Il est donc souvent nécessaire (car réclamé par le traitant) que le sous-traitant justifie d'une assurance couvrant également les dommages de nature décennale.

### B. Garantie de bon fonctionnement

L'article 1792-3 du Code civil prévoit également une garantie de 2 ans, dite **garantie de bon fonctionnement** couvrant les éléments d'équipement dissociables.

Toutefois, depuis un arrêt de la Cour de cassation de 1997, il a jugé que la peinture qui n'a qu'une vocation esthétique ne relève pas de la garantie de bon fonctionnement, n'étant pas destinée «à fonctionner» (arrêt du 11/09/2013).

**Ainsi contrairement à ce qui était pratiqué antérieurement, les désordres de peinture ne peuvent relever de la garantie de bon fonctionnement de 2 ans.**



## 7.2.2. LA GARANTIE CONTRACTUELLE

Les désordres de peinture relèvent de la responsabilité contractuelle de l'entreprise lorsqu'il ne s'agit pas d'un ouvrage ou lorsqu'ils ne mettent pas en jeu l'impropriété à destination de l'ouvrage.

→ **La responsabilité contractuelle de l'entreprise est susceptible d'être recherchée pendant 10 ans.**

Elle doit donc vérifier ses conditions d'assurance et **privilégier un contrat tout fondement.**

Par ailleurs, une garantie peut être proposée ou demandée à l'entreprise. Il ne s'agit plus alors d'une garantie légale, mais contractuelle dont la portée et les conditions sont précisées entre les parties.

Les engagements contractuels « spécifiques » (garantie de durabilité, de performance...) ne bénéficient pas des garanties des contrats d'assurance habituels.

**Des garanties « bonne tenue » (et éventuellement anticorrosion) peuvent être données au cas par cas par l'applicateur (éventuellement avec le fabricant de peinture) en fonction de la conception de l'ouvrage et de son environnement.**

### L'astuce à retenir



Pour toutes questions particulières à un chantier/marché, vos assureurs sauront vous répondre sur ces aspects « garanties » et « assurances ».

A close-up photograph of a weathered, rusty metal gate. The gate is painted a vibrant purple color, which is heavily worn and peeling, revealing the underlying brown and orange rust. The gate features a central vertical bar and two large, semi-circular arches on either side. A keyhole is visible on the right-hand arch. A teal gradient bar is overlaid horizontally across the center of the image, containing the text 'CHAPITRE 8' in white, bold, sans-serif capital letters.

## CHAPITRE 8

## CHAPITRE 8

# L'ENTRETIEN

“

*Au fil du temps et des expositions aux éléments, les revêtements de peinture peuvent présenter des signes d'altération tels qu'une perte de brillance, un farinage ainsi qu'un léger changement de couleur. Un simple nettoyage régulier permettra d'atténuer les effets des intempéries et d'ôter la saleté, la crasse et toutes les formations néfastes aux revêtements en poudre.*

*Afin d'obtenir de bons résultats et une bonne longévité (et éventuellement le maintien d'une garantie légale ou contractuelle), il est essentiel de les nettoyer correctement avec les produits adaptés. Comme beaucoup de surfaces peintes, un entretien régulier va étendre la durée de vie de la surface et permettre de conserver son apparence.*

”



### Le point de vigilance

Il peut exister dans toute région ou tout territoire des règlements locaux ou des recommandations locales devant être respecté(e)s, en réponse à la conformité de certains labels ou de certaines normes de qualité. Il est de la responsabilité de l'utilisateur de connaître ces normes.

## L'astuce à retenir



Un nettoyage doit être réalisé dès l'application des produits afin de garantir l'élimination des projections de matériaux de construction tels que le béton, le plâtre et la peinture, avant que ces derniers n'aient le temps de sécher. Omettre à ce stade initial d'éliminer ces matériaux exigera d'avoir recours à des techniques et à des produits nettoyants agressifs susceptibles d'altérer la surface revêtue de poudre.



## Le point de vigilance

Avant de procéder au nettoyage, il est impératif de prêter attention à la documentation technique des agents nettoyants. L'entretien par certains solvants peut endommager le revêtement. Par exemple, dans le cas de peintures polyesters, le revêtement est sensible à l'action de nombreux solvants (en particulier à l'acétone et au trichloréthylène) mais résiste aux produits acides ou alcalins courants (sauf acide nitrique).

## 8.1. Comment réaliser l'entretien ?

**L'entretien des revêtements de peinture doit être fait conformément aux instructions du fabricant de la peinture. Il convient alors que l'entrepreneur transmette les mêmes conseils d'entretien à son client final pour assurer la pérennité de l'ouvrage et de sa finition.**

La meilleure méthode de nettoyage consiste à nettoyer régulièrement la peinture à l'aide d'une solution composée d'eau tiède et d'un détergent à

pH neutre et non abrasif. Les surfaces doivent être soigneusement rincées après avoir été nettoyées de tous les résidus. Toutes les surfaces doivent être nettoyées avec un chiffon doux ou une éponge puis essuyées avec un chiffon doux et absorbant. Pour éliminer certaines salissures ou tâches, un solvant adapté (alcool, essence, pétrole, white spirit) peut être employé, suivi d'un essuyage avec un chiffon doux et absorbant.

Les produits à proscrire sont :

- Les produits abrasifs (type crèmes ou poudres à récurer),
- Les détergents alcalins (pH > 9), l'eau de Javel, etc.
- Les acides sulfurique, acétique, nitrique, chlorhydrique, oxalique, etc. (selon concentrations),
- La soude, la potasse, l'ammoniaque,
- Les hydrocarbures et solvants courants.

Les produits tolérés sont l'eau pure ou savonneuse et les détergents neutres suivis de rinçage à l'eau claire et d'un séchage.

Le tableau 17 suivant présente l'effet de différents produits sur un revêtement de peinture poudre polyester.



### Recommandations de l'Union de Métalliers

Pour éviter de rayer ou d'endommager la couche de laque, l'usage d'un abrasif est fortement déconseillé. Ne pas brosser avec des éponges à poncer, du papier à poncer, tout abrasif en général. L'usage de nettoyant haute pression n'est pas recommandé en général.

Néanmoins, un nettoyage avec une pression de 6-10 bars peut être réalisé sur la surface en prenant soin de respecter une distance de minimum 25 cm entre la lance et le film de peinture (pour éviter l'altération de ce dernier).



Tableau 17 – Effets de certains produits sur un film de thermolaquage polyester.

Produits	Effet sur le thermolaquage polyester avec différents produits		
	Début de l'attaque	Perte de brillance	Détrempe du film
<b>Solvants</b>			
Acétone	Quelques minutes	Environ 50 %	Film détrempe
Alcool à brûler	48 heures	Pas de perte	Aucune détrempe
Dioxanne	Immédiatement	Non mesurable	Film détruit
Essence F	Pas d'attaque	Pas de perte	Aucune détrempe
Éthanol concentré	Pas d'attaque	Pas de perte	Aucune détrempe
Éthanol dénaturé	Pas d'attaque	Pas de perte	Aucune détrempe
Méthyléthylcétone	Quelques minutes	Environ 50 %	Film détrempe
Pétrole désaromatisé	Pas d'attaque	Pas de perte	Aucune détrempe
Tétrahydrofurane	Immédiatement	Pas de perte	Film détruit
Toluène	Quelques minutes	Environ 62 %	Film détrempe
Trichloréthylène	Immédiatement	Pas de perte	Film détruit
White Spirit ©	Pas d'attaque	Pas de perte	Aucune détrempe
Xylène	Quelques minutes	Environ 50 %	Film détrempe
<b>Acides</b>			
Vinaigre (20 %)	Pas d'attaque	Pas de perte	Aucune détrempe
Acide chlorhydrique (30 %)	Pas d'attaque	Pas de perte	Aucune détrempe
Acide nitrique (30 %)	2 à 3 heures	Environ 60 %	Film détruit
Acide sulfurique (30 %)	Pas d'attaque	Pas de perte	Aucune détrempe
<b>Bases</b>			
Alcali (32 %)	Pas d'attaque	Pas de perte	Aucune détrempe
Potasse (5 %)	Pas d'attaque	Pas de perte	Aucune détrempe
Potasse (20 %)	24 heures	100 % – film mat	Aucune détrempe
Soude (5 %)	Pas d'attaque	Pas de perte	Aucune détrempe
Soude (20 %)	24 heures	100 % – film mat	Aucune détrempe
<b>Autres</b>			
Eau de Javel diluée (5 %)	Pas d'attaque	Pas de perte	Aucune détrempe
Eau déminéralisée	Pas d'attaque	Pas de perte	Aucune détrempe

### Recommandations de l'Union de Métalliers

Que ce soit dans le cas de peintures liquides ou en poudre, il est recommandé de faire un essai préalable du produit d'entretien sur une zone non visible. Si la pollution atmosphérique génère un encrassement important du revêtement, certaines tâches ou marques peuvent nécessiter l'utilisation de produits domestiques plus puissants. Il convient alors de toujours diluer ces derniers et de les tester en premier lieu sur de petites parties cachées. Après lavage, bien rincer à l'eau froide propre et sans additif.



## 8.2. La fréquence d'entretien

La fréquence d'un nettoyage dépend de nombreux facteurs :

- La situation géographique du bâtiment,
- L'environnement du bâtiment comme un milieu marin, chloré, industriel ou les trois réunis, etc.,
- Les niveaux de pollution atmosphérique,
- La dominance des vents,
- La protection des bâtiments voisins,
- L'éventuelle présence de débris dans l'air (sable/poussière) créant une abrasion du revêtement,
- Des changements environnementaux pendant la durée d'existence du bâtiment (milieu rural devenant industriel),
- La composition chimique du revêtement en poudre.

La fréquence des nettoyages dépend en partie des recommandations de normes esthétiques et des exigences quant à l'élimination des dépôts susceptibles d'entraîner des dommages (en cas d'exposition) lors d'un contact prolongé avec le film de poudre ou le substrat métallique.

Les parties abritées peuvent être davantage soumises à un plus grand

risque de dégradation du revêtement que les parties exposées. En effet, les embruns et autres polluants peuvent adhérer en surface sans pour autant être balayés par les précipitations.

Ces parties doivent si nécessaire être plus régulièrement vérifiées et nettoyées.

→ **En zone rurale ou urbaine peu dense**, où l'ambiance ne comporte pas d'éléments agressifs, la fréquence des entretiens est, en général, de **l'ordre d'une année**, pour ce qui concerne les surfaces régulièrement lavées par les eaux de pluie.

→ **En ambiance urbaine, industrielle ou marine**, les surfaces exposées à la pluie requièrent en général un **entretien semestriel**.

Le nettoyage des parties non lavées naturellement par les eaux de pluie doit s'effectuer plus fréquemment que pour les surfaces exposées. Lorsque le maintien permanent de l'aspect décoratif constitue une exigence toute particulière (entrée d'immeuble, devanture de magasin, etc.), le nettoyage pourra être effectué plus fréquemment.

### L'astuce à retenir



Le DTU 59.1 précise qu'après réception, l'entretien est à la charge du maître d'ouvrage.

Le DTU 33.1 partie 1 propose dans son Annexe B à titre informatif, des conseils d'entretien et de maintenance des façades rideaux.



### Le point de vigilance

Il convient d'archiver et de tenir à jour les plannings et les fréquences de nettoyage, et de les mettre si nécessaire à disposition des fournisseurs. **Le non-respect de cette recommandation de planning d'entretien peut entraîner l'annulation de toute garantie.**

---

## 8.3. Les réparations sur site

---

- Dans le cas de blessures minimales sur des petites surfaces, de simples retouches localisées sont envisageables avec des flacons de retouche ou aérosols, à obtenir auprès des applicateurs.
- Dans le cas d'une reprise totale, d'une surface importante ou d'une blessure plus profonde, il convient de réaliser :
- Un égrainage au papier de verre grain fin,
  - L'application d'un primaire d'adhérence,
  - L'application d'un polyuréthane dans le cas d'un thermolaquage,
  - L'application de la peinture d'origine dans le cas d'un laquage.

---

### L'astuce à retenir

---



Pour toutes réparations ou doute sur les démarches à suivre, n'hésitez pas à faire appel à des spécialistes identifiés.

---

### Note

---



La réparation d'un thermoplastique est spécifique à ce type de revêtement.

---

The image shows a close-up of a blue industrial machine. A red light beam is directed at a part of the machine. A green-to-blue gradient bar is overlaid on the image, containing the text 'POUR ALLER PLUS LOIN'.

**POUR ALLER  
PLUS LOIN**

## PROTECTION ET FINITION DES ACIERS

### POUR ALLER PLUS LOIN

## Complément d'information sur les procédés de protection des aciers par le zinc

### GÉNÉRALITÉS

Chaque procédé de protection par le zinc trouve ses applications en fonction des propriétés qu'il confère au revêtement de zinc. Ainsi, en fonction de l'épaisseur de revêtement nécessaire, des caractéristiques mécaniques demandées, du type de pièce à traiter et de l'environnement auquel l'ouvrage

sera confronté, un type de revêtement sera à favoriser par rapport à un autre. Il existe trois principaux procédés pour appliquer un revêtement de zinc sur une pièce en acier :

- la galvanisation à chaud,
- la métallisation,
- l'électrozingage.

### GALVANISATION A CHAUD

La galvanisation à chaud consiste à immerger la pièce en acier à protéger dans un bain de zinc fondu. Les produits ressortent ainsi revêtus d'une couche de zinc régulière.

La galvanisation à chaud est subdivisée en deux procédés différents :

- la galvanisation de produits finis,
- la galvanisation en continu.

### PROCÉDÉ D'APPLICATION DE LA GALVANISATION EN CONTINU

La galvanisation en continu, ou galvanisation Sendzimir (du nom de son inventeur, l'ingénieur polonais Tadeusz Sendzimir) est un procédé exclusivement industriel.

Les tôles sont tout d'abord déroulées, dégraissées puis chauffées afin, d'une part, de parfaire le nettoyage et la désoxydation de la surface et, d'autre part, de permettre à l'acier fortement écroui de retrouver sa ductilité. Les

tôles sont ensuite refroidies pour atteindre la température du bain de zinc (environ 450 °C). L'immersion dans le bain de zinc est très courte : **environ 3 secondes.**

L'essorage en sortie de bain permet de régler l'épaisseur du dépôt de zinc tandis que le passage rapide (environ 10 secondes) dans un four de recuit permet la diffusion du fer dans le zinc et la formation en surface de couches d'alliage fer/zinc.

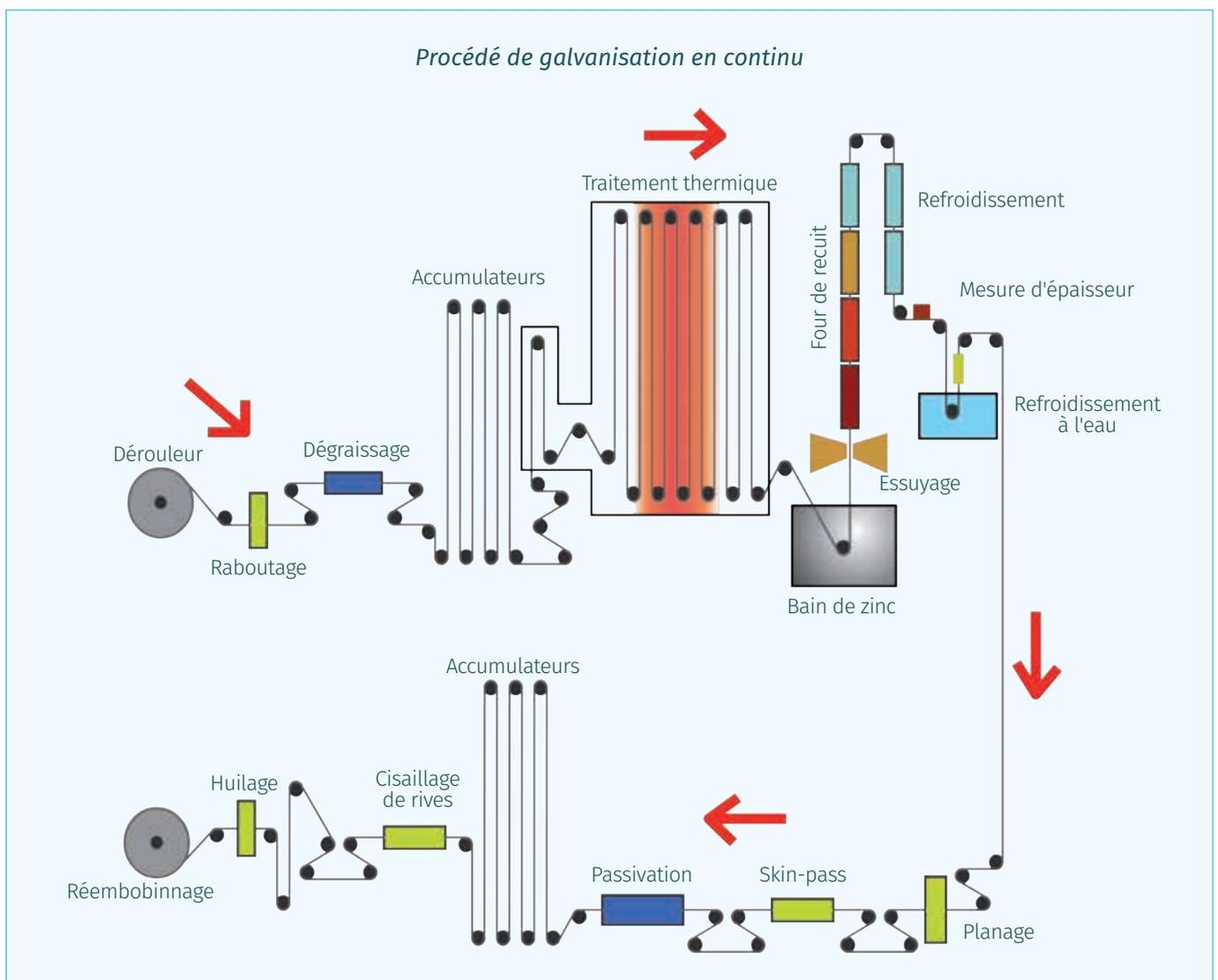
### Note



Les peintures contenant de la poudre ou de la poussière de zinc ne sont pas considérées comme un procédé de zingage proprement dit et ne sont pas traitées spécifiquement dans cet ouvrage. Pour plus de clarté, ces produits seront désignés par les termes « peintures métalliques riches en zinc » lorsqu'ils seront abordés.

Une fois refroidie à température ambiante, la bande d'acier subit un laminage à faible taux de réduction (skin-pass) qui améliore les propriétés mécaniques et l'aspect de surface de la tôle. Enfin, une opération de passivation par aspersion d'acide chromique est réalisée. Cela permet, lors du stockage, de retarder la formation éventuelle de rouille blanche.

La figure suivante présente les différentes étapes d'une galvanisation en continu :



## GALVANISATION À CHAUD DE PRODUITS FINIS

L'application d'un revêtement de zinc par galvanisation ne se résume pas à l'immersion d'une pièce en acier dans un bain de zinc fondu. La galvanisation de produits finis se déroule en effet, comme la galvanisation en continu, par étapes.

La galvanisation de produits finis comprend 8 étapes principales :

### 1. Le dégraissage

Il a pour but d'enlever toutes les sa-lissures et graisses qui empêcheraient la dissolution des oxydes de fer superficiels.

Le dégraissage est effectué dans des bains contenant du carbonate de sodium ou de la soude avec addition de détergents et de tensioactifs à 60 ° C/80 ° C. Parfois, des dégraissants acides peuvent être utilisés.

### 2. Rinçage (optionnel)

Un rinçage est effectué après le dégraissage afin de ne pas polluer les opérations suivantes.

### 3. Le décapage

Il a pour but d'enlever la calamine et les autres oxydes présents à la surface de l'acier.

Le décapage est effectué dans une solution d'acide chlorhydrique dilué à température ambiante, additionné d'un inhibiteur qui permet d'éviter l'attaque de l'acier lorsqu'il est débarrassé de ses oxydes.

Un décapage mécanique (grenail-lage) peut parfois remplacer le décapage chimique, en particulier dans le cas de

la fonte, afin d'éliminer la silice se trouvant en surface.

### 4. Rinçage

Un rinçage est également effectué après le décapage afin de laver les pièces des sels de fer et des traces d'acide qui pollueraient l'opération suivante.

### 5. Le fluxage

Il permet d'éviter que l'acier ne se réoxyde avant l'entrée dans le bain de zinc. La décomposition du flux permet également de favoriser la réaction métallurgique fer/zinc lors de l'immersion de la pièce dans le bain de zinc. Le fluxage est effectué par une solution aqueuse de chlorure de zinc et de chlorure d'ammonium portée à 50 °C.

### 6. Séchage

Le séchage est effectué dans une étuve afin d'éviter les projections de zinc au moment de l'immersion de la pièce.

### 7. La galvanisation

Les pièces sont ensuite immergées dans le bain de zinc fondu à 450 °C. Les temps d'immersion varient suivant l'importance des charges, des dimensions et de l'épaisseur des pièces : de 3 à 4 minutes pour des pièces de forme simple et de 10 à 15 minutes pour des ensembles massifs ou des corps creux de grandes dimensions.

Pour des raisons environnementales, le plomb autrefois utilisé est de plus en plus remplacé par de l'étain dans les bains de zinc. L'aluminium est également présent (moins de 0,01 %). L'étain



est utilisé en raison de sa faculté à favoriser la fluidité du zinc tandis que l'aluminium permet d'éviter l'oxydation superficielle du bain et de favoriser la brillance.

D'autres éléments d'addition (Nickel-Bismuth par exemple) peuvent également être intégrés dans le bain. Ils agissent, entre-autre, sur la réactivité Fer-Zinc qui a lieu lors de cette opération.

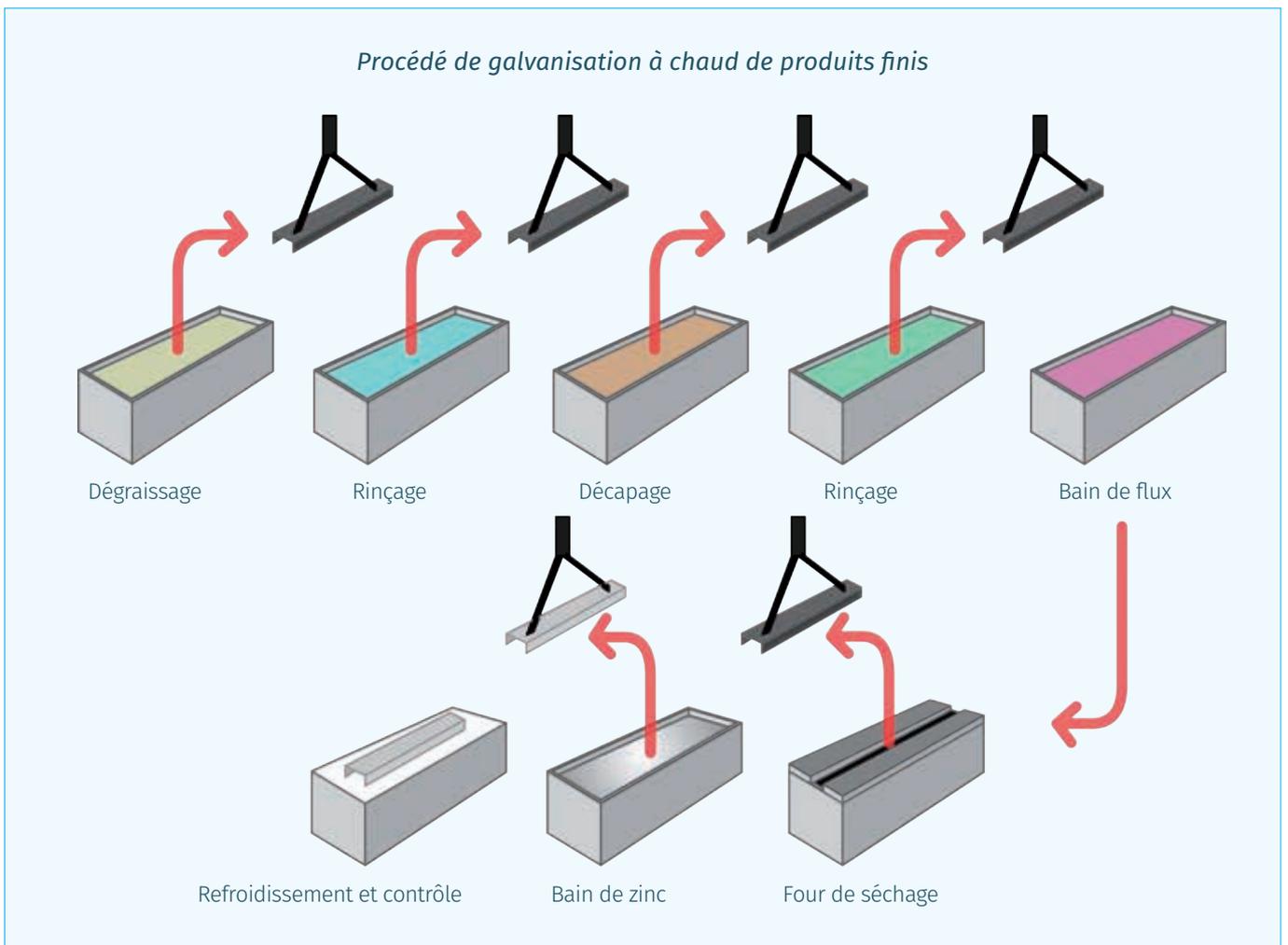
### 8. Refroidissement et contrôle

Les pièces galvanisées sont ensuite refroidies à l'air libre ou à l'eau et

contrôlées. Il faut en moyenne de 60 à 70 kilos de zinc pour protéger une tonne d'acier. La figure suivante représente les différentes étapes de la galvanisation de produits finis.

### 9. Passivation

De plus en plus de galvanisateurs proposent en complément une étape de passivation afin de conserver plusieurs mois la brillance du revêtement et d'éviter la formation de taches de stockage humide (rouille blanche) et de renforcer la protection anticorrosion.



## LES PROPRIÉTÉS DU NOUVEAU REVÊTEMENT

### L'épaisseur de zinc

Les épaisseurs de zinc qui peuvent être obtenues par la galvanisation de produits finis dépendent de plusieurs facteurs : l'épaisseur de la pièce en acier, la compatibilité de l'acier (voir chapitre XX), la durée d'immersion, etc.

La norme NF EN ISO 1461 fixe les épaisseurs minimales suivantes en fonction de l'épaisseur de la pièce en acier :

- 45  $\mu\text{m}$  pour une épaisseur d'acier inférieure à 1,5 mm,
- 55  $\mu\text{m}$  pour une épaisseur d'acier comprise entre 1,5 mm et 3 mm,
- 70  $\mu\text{m}$  pour une épaisseur d'acier comprise entre 3 mm et 6 mm,
- 85  $\mu\text{m}$  pour une épaisseur d'acier supérieure ou égale à 6 mm.

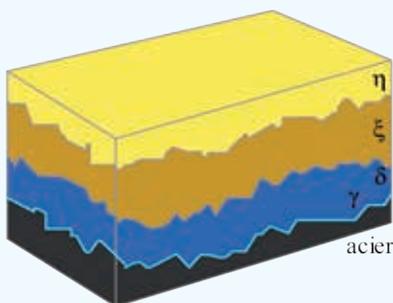
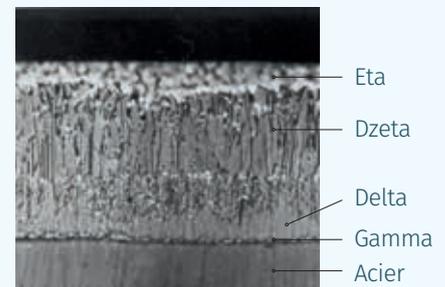
Ces épaisseurs sont des valeurs minimales. En pratique, les épaisseurs obtenues peuvent couvrir une large étendue : elles sont comprises entre 45 et 150  $\mu\text{m}$  et peuvent aller jusqu'à 200  $\mu\text{m}$ . Certaines épaisseurs supérieures (jusqu'à 650  $\mu\text{m}$ ) peuvent être

obtenues dans des cas très particuliers. Des problèmes d'adhérence et d'aspect sont alors rencontrés.

Ces fortes épaisseurs de revêtement confèrent une excellente capacité de protection anticorrosion au procédé de galvanisation de produits finis.

### La liaison métallurgique

Lorsqu'une pièce en acier est immergée dans le bain de zinc en fusion, il se crée une réaction de diffusion métallurgique entre le zinc et le fer. Le revêtement de zinc est métallurgiquement lié à l'acier. Cette réaction de diffusion aboutit à la formation d'alliages fer-zinc à la surface de l'acier. Ces alliages se présentent sous forme de couches superposées de natures différentes et d'une épaisseur de l'ordre de 80 à 100 microns. La teneur en zinc des couches d'alliages est d'autant plus importante que la couche est proche de la surface du revêtement. De plus, ces couches d'alliages sont plus dures que l'acier.



Couches d'alliages			
Nom	Zinc (%)	Fer (%)	Micro-dureté Vickers
Eta	~ 100	< 0,03	70
Dzeta	94 - 95	5 - 6	179
Delta	88 - 93	7 - 12	244
Gamma	72 - 79	21 - 28	450
Acier	0	~ 100	159

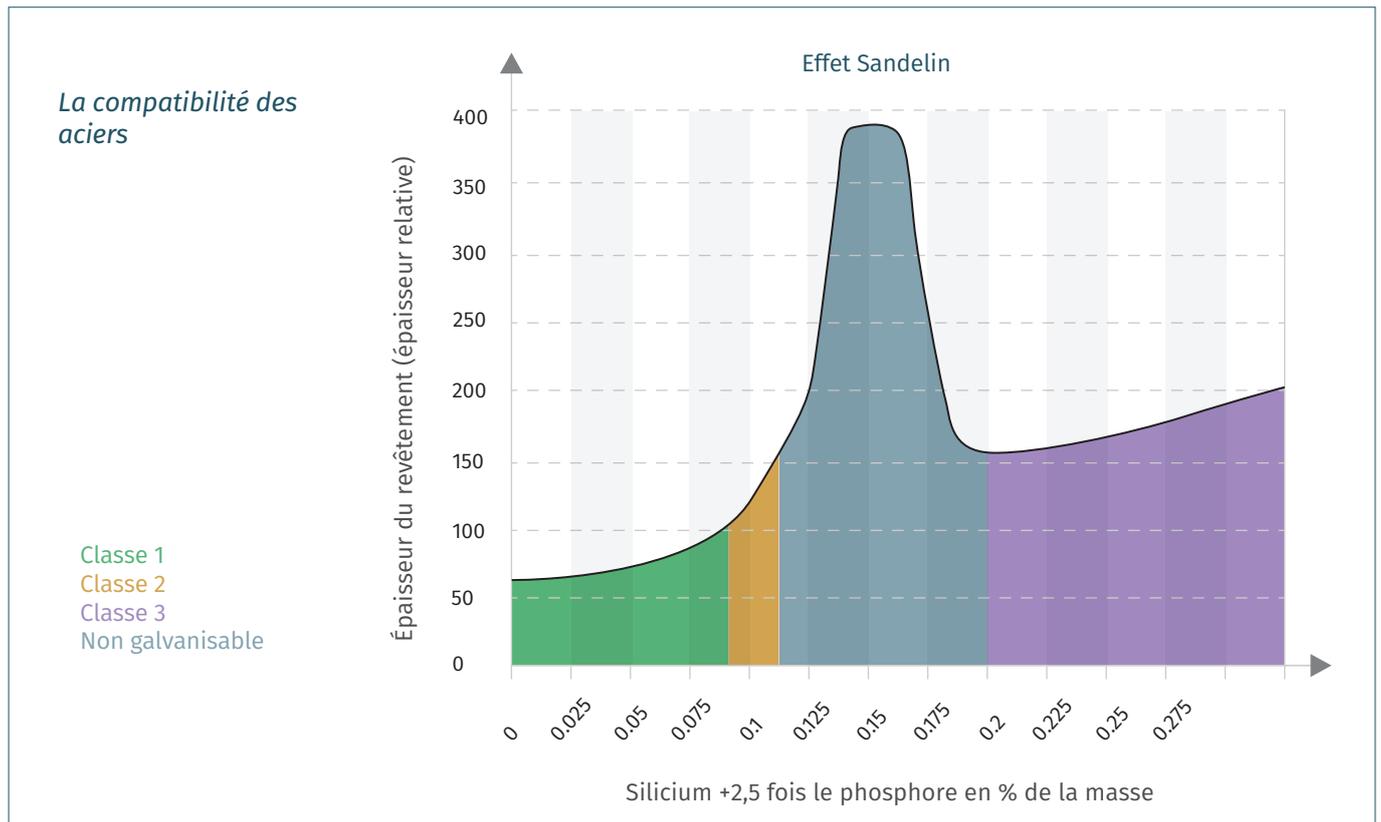
La réaction de liaison métallurgique est propre au procédé de galvanisation. C'est notamment cette caractéristique qui permet d'obtenir des épaisseurs de revêtement importantes et qui apporte de bonnes propriétés

d'adhérence et de résistance mécanique au revêtement de zinc. La liaison métallurgique apporte également une très bonne imperméabilité ce qui permet de laisser les pièces brutes de galvanisation.



### La compatibilité des aciers

La combinaison du phosphore et du silicium dans une certaine proportion et dosage augmente l'appétence de l'acier pour le zinc (effet de Sandelin) : ce dernier va fusionner avec le zinc créant une épaisseur importante.



Dans le cas où les teneurs en silicium et en phosphore ne sont pas adaptées, une galvanisation n'aura pas les propriétés d'adhérence et d'aspect attendues.

Afin d'encadrer les compositions d'acier aptes à être galvanisées, la norme NF A 35-503 définit trois classes. Pour chaque classe, les teneurs limites en silicium et, le cas échéant en phosphore, ainsi que la proportion entre ces deux éléments sont déterminées (voir tableau ci-après).

Élément	Silicium	Proportion Silicium/ Phosphore	Phosphore
	Si (%)	Si (%) + 2,5* P (%)	P (%)
Catégorie A	≤ 0,03	≤ 0,090	-
Catégorie B	≤ 0,04	≤ 0,110	-
Catégorie C	Entre 0,14 et 0,25	/	≤ 0,035

Classification des aciers en fonction de leur teneur en silicium et en phosphore



Chaque catégorie d'acier apporte des caractéristiques différentes au revêtement de zinc. Les aciers de catégorie A et B sont normalement réactifs. Une fois galvanisés, ils ont un aspect uniforme avec des épaisseurs de revêtement répondant aux exigences de la norme NF EN ISO 1461. Les aciers de catégorie C sont plus réactifs. Leur aspect une fois galvanisé est donc moins contrôlable :

de catégorie A et B, des zones grisées ou rugueuses peuvent apparaître. Toutefois, les épaisseurs de revêtement obtenues avec les aciers de catégorie C sont supérieures (de 120  $\mu\text{m}$  à 200  $\mu\text{m}$  voire plus pour des pièces nécessitant des temps d'immersion plus importants).

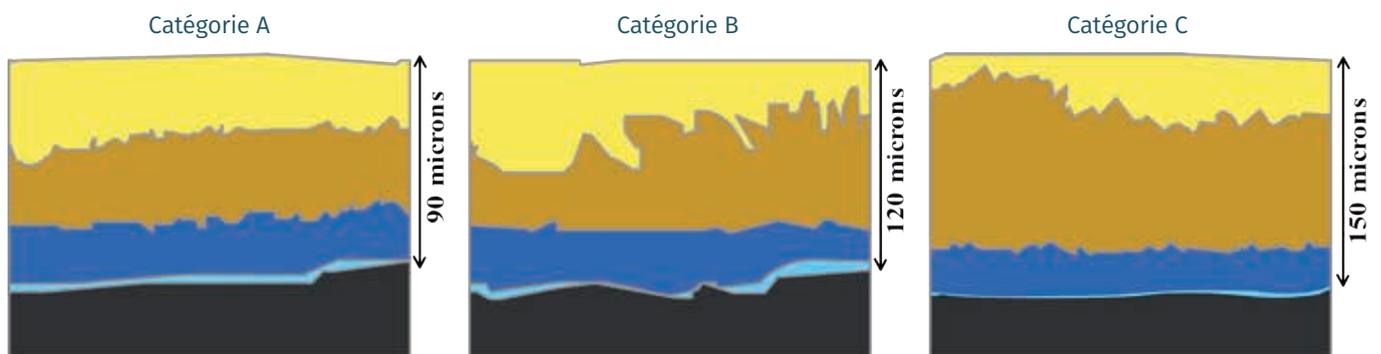
Le tableau ci-après reprend les différences de caractéristiques du revêtement de zinc en fonction de la catégorie de l'acier utilisé.

#### Caractéristiques du revêtement en fonction des classes d'acier

	Aspect	Résistance mécanique	Épaisseur du revêtement	Utilisation
<b>Catégorie A</b>	Très bon	Très bonne	Conforme au minimum	Protection anticorrosion et bonne esthétique
<b>Catégorie B</b>	Bon	Bonne	Généralement supérieure au minimum de la norme	Protection anticorrosion pour un aspect correct
<b>Catégorie C</b>	Moyen	Moyenne	Plus importante	Protection anticorrosion optimale pour des milieux très agressifs

Ces différentes propriétés s'expliquent par les variations des caractéristiques des couches d'alliages qui se forment pendant la galvanisation.

Le tableau ci-après présente les différents profils en fonction des catégories d'acier utilisées.



Il faut noter que des développements technologiques, et notamment l'utilisation de bains composés de nouveaux alliages à base de Zinc-Nickel et de Zinc-Nickel-Bismuth, permettent d'améliorer sensiblement le contrôle de l'épaisseur et de l'adhérence des

aciers de catégorie C ou des aciers hors normes.

Cependant, ces bains ne sont pas utilisés pour le moment par tous et il convient de se renseigner précisément auprès du galvanisateur dans le cas où de tels aciers doivent être traités.

## MÉTALLISATION

Le procédé d'application par métallisation se décompose en deux étapes :

### 1. La préparation de surface

La préparation de surface de la pièce à métalliser est l'étape primordiale pour que la tenue de la métallisation soit assurée. Lorsque les conditions de préparation sont respectées, les qualités mécaniques et d'adhérence d'un revêtement de zinc par métallisation sont comparables à celles obtenues par la galvanisation.

#### → Le décapage par projection d'abrasif

Un décapage par projection d'abrasif, désigné communément par sablage ou grenailage, doit être effectué. Cette opération a pour but d'amener la surface de la pièce dans un état optimal de propreté (élimination des éléments indésirables tels que calamine, rouille, traces de peintures, etc.) et de rugosité afin que le revêtement de zinc puisse convenablement adhérer à la pièce en acier.

Les matériaux à projeter peuvent être d'origine métallique (acier coulé, fonte, Inox) ou minérale (corindon). Une bonne répartition granulométrique du mélange opératoire permet de garantir la présence simultanée de grains de

différentes dimensions. Cette condition est indispensable pour obtenir la qualité désirée. Une fois défini, le mélange opératoire doit rester constant et nécessite un contrôle et une régénération. La pression d'utilisation doit être fonction du projectile utilisé.

Le poste de grenailage doit comporter un dépoussiéreur et un récupérateur de grenaille. Il est indispensable d'effectuer les opérations de décapage à sec avec de l'air comprimé exempt d'humidité et d'huile sur des surfaces dégraissées. Le degré hygrométrique relatif de l'atmosphère ambiante doit être inférieur à 85 %, et la température du subjectile doit être au moins 3 °C au-dessus du point de rosée.

Les surfaces destinées à être revêtues doivent être totalement exemptes de particules détachées et de poussières. Le décapage doit donc être suivi d'un dépoussiérage soigné, exécuté à l'air comprimé exempt d'humidité et d'huile. Les surfaces décapées doivent également être manipulées avec des gants propres non pelucheux.

Les valeurs de rugosité Ra à obtenir après le décapage varient en fonction de l'épaisseur du revêtement de zinc à déposer.

Épaisseur du revêtement	Valeur de Ra
< 120 µm	Entre 8 µm et 10 µm
≥ 120 µm	Entre 10 µm et 12 µm

*Valeurs de Ra en fonction de l'épaisseur du revêtement de zinc*



Pour atteindre ce résultat, les conditions suivantes doivent être respectées :

- L'abrasif utilisé doit être l'un des suivants : de la grenaille d'acier angulaire, de la grenaille Inox angulaire, de la grenaille de fonte hématite angulaire ou du corindon angulaire. Dans tous les cas, la grosseur des grains doit être comprise entre 0,5 mm et 1,5 mm. La pression de grenailage doit être comprise entre 4 et 6 bars.
- Quel que soit l'abrasif utilisé, celui-ci

doit être sec, non souillé. Dans le cas de projections d'abrasif à l'aide d'air comprimé, l'air utilisé doit être suffisamment propre et sec pour éviter de contaminer l'abrasif ou la surface qui doit être métallisée au pistolet.

- Le mélange opératoire doit être de qualité constante.
- Le grenailage doit être effectué dans une cabine sèche avec recyclage.
- Le degré de propreté de la surface à métalliser doit être près de Sa3.

## 1.2. La projection thermique proprement dite

Une fois la préparation de surface convenablement effectuée, l'application du zinc peut se faire. Certaines exigences doivent cependant être satisfaites.

### → Matériaux utilisés

Le métal d'apport projeté doit être conforme aux spécifications de la norme EN ISO 2063. Il convient que le métallisateur dispose d'un certificat de conformité de son fournisseur. La métallisation n'exige pas toutefois l'emploi d'acier spécialement compatible comme c'est le cas pour la galvanisation.

### → Délai après la préparation de surface

La métallisation doit être effectuée dans le prolongement de la préparation de surface le plus rapidement possible et de toute manière dans des délais inférieurs à ceux définis dans le tableau ci-après. Ces délais dépendent du degré d'hygrométrie de l'atmosphère ambiante. Toute pièce qui n'aurait pas été métallisée dans les délais spécifiés dans le tableau ci-dessous doit obligatoirement subir un nouveau grenailage avant d'être traitée. La projection thermique doit être réalisée lorsque la température du substrat dépasse la

température du point de rosée d'au moins 3 °C afin d'éviter tout cloquage lors de l'application. Le revêtement doit être projeté en plusieurs passes croisées jusqu'à l'obtention de l'épaisseur désirée.

### → Les caractéristiques à contrôler

L'épaisseur de revêtement demandée doit ensuite être contrôlée. L'aspect de la métallisation obtenue doit également être visé. Celui-ci doit être uniforme, sans cloques ni marques. L'adhérence du revêtement peut également être contrôlée. Un essai d'adhérence par quadrillage peut être effectué.

Délai maximal	Degré d'hygrométrie relatif de l'atmosphère ambiant
6 heures	Inférieur à 60 %
4 heures	De 60 % à 70 %
2 heures	Supérieur à 75 % sans dépasser 85 %

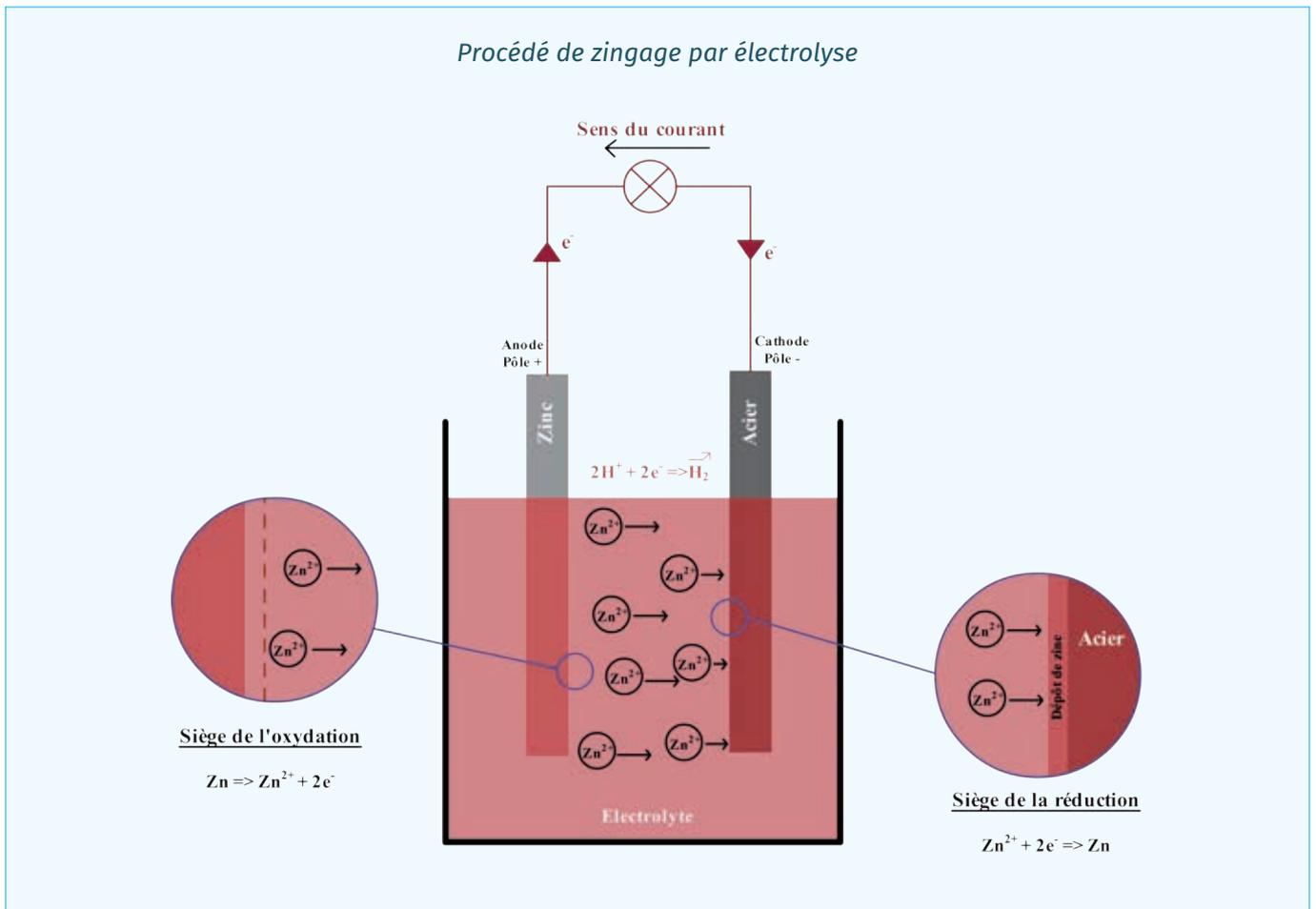
*Délais maximaux entre le décapage et la métallisation*



## ELECTROZINGAGE

Il existe de très nombreux procédés d'électrozingage. Ils se différencient principalement par les bains utilisés et les technologies employées. Le procédé d'électrozingage repose sur le principe d'électrodéposition.

La déposition par voie électrolytique est un procédé électrochimique qui consiste à déposer une fine couche de métal, en l'occurrence du zinc, sur un support métallique par l'action d'un courant électrique. Le dépôt de la couche métallique est réalisé en chargeant négativement l'objet à revêtir et en l'immergeant dans une solution contenant des sels du métal devant être déposés. En d'autres termes, l'objet à revêtir devient une cathode. Les ions métalliques de l'anode (le métal à déposer) sont chargés positivement et sont ainsi attirés par la cathode chargée négativement. Lorsqu'ils atteignent la cathode, une réaction de réduction s'effectue et les ions sont réduits dans leur forme métal. La cathode se retrouve ainsi revêtue par une couche du métal de l'anode.



Dans le cas de l'électrozingage, la cathode est représentée par la pièce en acier et l'anode par le zinc. Le zinc consommé à la cathode lors du dépôt (par réduction des ions  $Zn^{2+}$ ) est régénéré à l'anode par dissolution (oxydation du zinc en ions  $Zn^{2+}$ ).

**Comme dans le cas de la métallisation, l'électrozingage comprend deux étapes majeures :**

### 1. La préparation de surface

La préparation de la surface a pour objectif de garantir une bonne adhérence du revêtement de zinc sur la pièce traitée. Cette étape est primordiale pour assurer la bonne tenue de la protection.

La préparation de la surface se fait chimiquement. Elle a pour objectif de nettoyer la surface des éléments externes (poussières), mais également intrinsèques (par exemple, une couche d'oxyde).

La préparation de la surface consiste principalement en des opérations de dégraisage et de décapage.

### 2. L'électrodéposition proprement dite

Une fois la préparation de surface convenablement effectuée, l'application du zinc peut se faire.

L'électrodéposition est effectuée dans une solution appelée électrolyte. L'électrolyte est une solution chimique contenant le métal désiré, en l'occurrence du zinc, sous forme d'ions chargés positivement. Dans le cas de l'électrozingage, l'électrolyte peut être à base de chlorure de zinc. Des substances additionnelles supplémentaires peuvent être ajoutées afin d'obtenir des dépôts plus lisses et brillants.

Dans le cas d'électrozingage de produits finis, la pièce à revêtir est le plus souvent placée au centre du bain et les anodes (du zinc pur) complétant le circuit électrique peuvent être placées aux coins opposés du bain permettant ainsi l'application du revêtement de zinc sur les deux côtés de la pièce.

Dans le cas d'électrozingage de tôles, les anodes de zinc peuvent épouser la forme des rouleaux constituant la cathode sur lesquels circule la bande d'acier. La face de la tôle au contact de l'électrolyte est ainsi revêtue tandis que l'autre face reste brute. Pour revêtir les deux faces, un retournement de la bande d'acier est nécessaire.

Après le revêtement, les pièces subissent une passivation.



## Les propriétés des différents procédés

Chaque procédé d'application possède des propriétés de protection qui lui sont propres. Cette partie présente une comparaison de chacune des méthodes d'application du zinc en fonction des principales caractéristiques du revêtement.

Les évaluations qui sont données n'ont qu'un caractère indicatif et sont basées sur des critères théoriques et objectifs liés à chaque procédé. Ces évaluations ne prennent pas en compte les critères de compétence et de sérieux de l'entreprise mettant en œuvre ces procédés qui, dans certains cas, peuvent permettre de reprendre l'évaluation proposée d'une manière plus favorable (ou au contraire d'une manière plus défavorable dans le sens contraire).

### L'ÉPAISSEUR DU REVÊTEMENT DE ZINC

Procédé	
<b>Galvanisation de produits finis</b>	Le procédé de galvanisation de produits finis permet d'obtenir des épaisseurs de revêtement très importantes, comprises entre 45 et 200 $\mu\text{m}$ . La norme NF EN ISO 1461 définit une épaisseur minimale de 45 $\mu\text{m}$ pour les aciers de très faible épaisseur. L'épaisseur de revêtement de zinc par galvanisation est notamment apportée par la réaction métallurgique de diffusion entre le zinc et le fer.
<b>Galvanisation en continu</b>	Les épaisseurs de zinc obtenues par le procédé de galvanisation en continu sont relativement faibles (de l'ordre de 10 $\mu\text{m}$ ). La protection anticorrosion apportée par la galvanisation en continu est renforcée par à l'opération de passivation réalisée en cours de cycle. Les propriétés anticorrosion ne sont cependant pas comparables à la galvanisation de produits finis et la durée de vie des tôles galvanisées en continu reste plus faible que les pièces revêtues par immersion.
<b>Métallisation</b>	En moyenne, les épaisseurs se situent autour de 100 $\mu\text{m}$ et sont donc parfaitement comparables à la galvanisation de produits finis. Les épaisseurs de revêtement spécifiées par la norme EN ISO 2063 varient entre 50 $\mu\text{m}$ et 200 $\mu\text{m}$ . Toutefois, contrairement à la galvanisation, les épaisseurs de revêtement ne dépendent pas de l'épaisseur de la pièce à traiter ni de la nature de l'acier utilisé. Cette spécificité est liée au fait que, dans le cas de la métallisation, il n'y a pas de liage métallurgique entre le zinc et l'acier. L'épaisseur de zinc obtenue dépend directement du nombre de passes effectuées par l'opérateur.
<b>Electrozingage</b>	En théorie, plus le temps d'immersion de la pièce dans le bain est long plus l'épaisseur de revêtement est importante. En pratique, certaines limites apparaissent et les épaisseurs de revêtement varient entre 2,5 $\mu\text{m}$ (tôles pour le bâtiment) et 12,5 $\mu\text{m}$ pour des applications spécifiques (l'automobile par exemple). L'épaisseur du revêtement de zinc est donc relativement faible et l'électrozingage ne peut pas être utilisé comme protection anticorrosion lorsque la pièce est soumise à un environnement agressif. Pour des applications extérieures, l'électrozingage ne doit pas être utilisé.



## LE REVÊTEMENT

Procédé	
Galvanisation de produits finis	Le revêtement étant obtenu par immersion dans un bain de zinc, la couche de protection créée est complètement uniforme. L'épaisseur de zinc est donc constante à condition toutefois que la classe d'acier et l'épaisseur de la pièce soient constantes sur tout l'ouvrage. L'ensemble des surfaces, y compris internes, sont revêtues.
Galvanisation en continu	Ce procédé étant appliqué à des formes simples de pièces (tôles, tubes, etc.) et étant complètement industrialisé, la régularité du revêtement est excellente.
Métallisation	<p>Le revêtement de zinc obtenu par métallisation ne crée pas de liaison métallurgique avec l'acier. Le revêtement de zinc se trouve directement sur l'acier sans couches d'alliages intermédiaires.</p> <div data-bbox="507 936 826 1182" style="display: inline-block; vertical-align: top;"> <p style="text-align: center;"><b>Zinc pur</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Acier</b></p> </div> <p style="margin-left: 20px;"><b>Revêtement de zinc par métallisation</b> C'est pour cette raison qu'une très bonne préparation de surface est requise avant l'application du zinc. Lorsque la préparation de surface est effectuée conformément aux indications, les caractéristiques d'adhérence du revêtement de zinc obtenu par métallisation sont équivalentes à celles de la galvanisation.</p> <p style="margin-left: 20px;">L'absence de liaison métallurgique permet la métallisation de tous les types d'aciers sans distinction. L'utilisation d'aciers compatibles requise pour la galvanisation n'a pas lieu d'être dans le cas de la métallisation.</p> <p>Le revêtement par métallisation est plus ou moins poreux en fonction de son épaisseur. Il est donc conseillé, voire requis, de colmater les pores du revêtement par un revêtement ultérieur (peinture). Ce revêtement supplémentaire permettra d'assurer l'imperméabilité de la couche. Il permet surtout d'assurer à la pièce revêtue un aspect satisfaisant. Une pièce métallisée laissée à l'air libre prend en effet dans le temps un aspect noirâtre peu esthétique. La régularité du revêtement est ici assurée par le savoir-faire et le sérieux du métalliseur. L'application étant manuelle, c'est la précision du geste de l'opérateur qui permet d'obtenir un revêtement constant. Même si une très bonne régularité de revêtement peut être obtenue, celle-ci ne peut être garantie dans tous les cas. La métallisation ne protège pas l'intérieur des corps creux.</p>
Electrozingage	<p>Comme dans le cas de la métallisation, le revêtement de zinc obtenu par électrozingage ne crée pas de liaison avec l'acier. Le revêtement de zinc se trouve directement sur l'acier sans couches d'alliages intermédiaires. Le zinc étant appliqué par électrolyse, la régularité du revêtement est assurée. Pour des pièces complexes, il se peut cependant que les parties difficilement accessibles soient moins bien couvertes voire pas du tout (intérieur des tubes par exemple).</p> <div data-bbox="507 1841 826 2078" style="display: inline-block; vertical-align: top;"> <p style="text-align: center;"><b>Zinc pur</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Acier</b></p> </div> <p style="margin-left: 20px;"><b>Revêtement de zinc par électrozingage</b></p>

## LA PROTECTION ÉLECTROCHIMIQUE

La protection électrochimique est due au caractère électropositif du zinc par rapport à l'acier. Tous les procédés d'application qui utilisent du zinc pur possèdent donc cette propriété. Cependant, plus l'épaisseur de zinc sera importante, plus la protection sacrificielle sera efficace. Les performances de la protection électrochimique sont donc directement liées aux épaisseurs de zinc apportées par les différents procédés.

## LA RÉPARTITION DU REVÊTEMENT

Procédé	
Galvanisation de produits finis	La galvanisation étant un procédé d'immersion, toute la surface de la pièce, y compris les corps creux, sont recouverts de zinc. Toutefois, dans le cas d'éléments en contact étroit (les entrefers par exemple), la circulation des fluides et du zinc peut avoir du mal à se faire. En conséquence, des précautions sont à prendre lors de la conception de la pièce pour permettre une bonne distribution du zinc sur la pièce, mais également pour éviter toute explosion du gaz emprisonné lié à la vaporisation des liquides présents dans l'entrefers lors de l'immersion dans le bain de zinc.
Galvanisation en continu	Les pièces traitées par la galvanisation en continu ne comportent pas d'intervalles étroits.
Métallisation	La métallisation est un procédé d'application au pistolet. Par conséquent, les corps creux ne peuvent pas être complètement recouverts. Toutefois, ce procédé est parfaitement adapté pour des pièces pleines. L'application au pistolet ne permet pas de traiter les entrefers. Il convient que le colmatage soit réalisé avant le traitement par des soudures continues.
Electrozingage	Le zinc se déposant sur la pièce par électrolyse, les corps creux sont difficilement recouverts. Le revêtement peut également être plus faible pour les endroits difficilement accessibles dans le cas d'une pièce complexe.

## LA RÉSISTANCE MÉCANIQUE

Procédé	
Galvanisation de produits finis	Les couches d'alliage fer/zinc propres au procédé de galvanisation lui confèrent d'excellentes caractéristiques de résistance mécanique.
Galvanisation en continu	Bien que les épaisseurs de revêtement soient plus faibles, les couches d'alliage fer/zinc sont également formées par ce procédé. Les faibles épaisseurs déposées permettent par exemple des pliages sans remettre en cause la protection.
Métallisation	La métallisation apporte un revêtement de zinc pur sur la pièce en acier. Ce revêtement est relativement fragile, sa résistance mécanique est donc moins bonne comparée à la galvanisation. Il reste cependant extrêmement ductile.
Electrozingage	Le revêtement par électrozingage est également composé de zinc pur. Les performances mécaniques apportées par l'électrozingage sont comparables à celles de la métallisation.



## L'ADHÉRENCE AU SUPPORT

Procédé	
Galvanisation de produits finis	Le revêtement de zinc étant métallurgiquement lié à l'acier, les propriétés d'adhérence au support apportées par ce procédé sont très bonnes.
Galvanisation en continu	L'adhérence au support d'un revêtement par galvanisation en continu est équivalente à celle de la galvanisation de produits finis.
Métallisation	L'adhérence d'un revêtement par métallisation dépend principalement du soin apporté à la préparation de surface de la pièce. Un grenaillage de qualité doit en effet être effectué pour garantir une bonne adhérence. Les performances peuvent cependant être comparables à celles de la galvanisation dans le cas où la préparation de surface est correctement effectuée.
Electrozingage	Le procédé d'électrozingage exige une préparation chimique (dégraissage). L'application par électrolyse confère cependant de très bonnes qualités d'adhérence à ce procédé.

## LA PERMÉABILITÉ

Procédé	
Galvanisation de produits finis	Les couches d'alliage fer/zinc spécifiques à la galvanisation apportent également d'excellentes propriétés d'imperméabilité. Le revêtement étant complètement isolant, une pièce galvanisée peut rester brute. Elle peut également être peinte sous certaines conditions.
Galvanisation en continu	Les propriétés d'imperméabilité de la galvanisation en continu sont équivalentes à celles de la galvanisation de produits finis.
Métallisation	Le revêtement de zinc par métallisation est poreux et donc perméable. Il n'est donc pas recommandé de laisser une pièce brute de métallisation, la protection complète n'étant pas assurée. Le revêtement par métallisation doit être colmaté (par une peinture par exemple), et ceci dans des délais très courts.
Electrozingage	Le revêtement par électrozingage est imperméable et ne nécessite donc pas de revêtement supplémentaire. Une pièce électrozinguée peut donc rester brute. En fonction de son exposition, sa durée de vie sera toutefois limitée en raison de la faible épaisseur du revêtement de zinc.

## L'ASPECT

Procédé	
<b>Galvanisation de produits finis</b>	L'aspect d'une pièce galvanisée laissée brute change avec le temps. Le revêtement prend peu à peu un aspect mat lié à sa passivation. En sortie de galvanisation, certaines coulures ou aspérités peuvent persister. Ces défauts sont difficilement maîtrisables. Si ces coulures ne sont pas enlevées, l'application de peinture sur une pièce galvanisée peut conduire à un résultat médiocre. Il est conseillé pour éviter ces désagréments de procéder à un parachèvement avant la mise en peinture. L'aspect d'une pièce galvanisée varie également en fonction de la composition du bain (zinc traditionnel, zinc à base nickel ou zinc à base de nickel, bismuth, étain).
<b>Galvanisation en continu</b>	La galvanisation en continu est un procédé industriel parfaitement maîtrisé. Les défauts liés à la sortie du bain de galvanisation sont donc très rares, voire inexistantes. Les produits galvanisés en continu auront donc un bel aspect qu'ils soient laissés bruts ou peints.
<b>Métallisation</b>	Le revêtement par métallisation devant être colmaté (par une peinture par exemple), l'aspect blanchâtre de la métallisation est appelé à disparaître rapidement. La métallisation convient très bien à l'application complémentaire de peinture avec comme résultat final un aspect lisse et sans aspérités.
<b>Electrozingage</b>	Le revêtement par électrozingage apporte un très bel aspect lisse et brillant aux pièces traitées. Les pièces électrozinguées sont d'ailleurs habituellement laissées brutes, mais elles peuvent également être peintes.

## LES DIMENSIONS DES PIÈCES TRAITÉES

Procédé	
<b>Galvanisation de produits finis</b>	Les pièces devant être galvanisées sont limitées dans leurs dimensions par la capacité du bain de zinc. Les pièces trop grandes ne pourront donc pas être traitées. Cependant, il existe des bains de très grandes dimensions (jusqu'à 16,5 mètres) qui permettent l'immersion de pièces très importantes.
<b>Galvanisation en continu</b>	Le principe de galvanisation en continu limite également les dimensions des produits, notamment dans leur largeur. Les largeurs maximales disponibles sur le marché actuel sont de l'ordre de 1,5 m pour les tôles destinées au bâtiment.
<b>Métallisation</b>	Il n'y a pas de limitation dans les dimensions des pièces devant être métallisées. Ce procédé est d'ailleurs utilisé pour les pièces importantes qui n'ont pas pu être galvanisées.
<b>Electrozingage</b>	Les pièces électrozinguées sont d'une manière générale de très petites dimensions. Les équipements d'électrozingage excèdent rarement les 3 mètres.



## Comportement du zinc avec d'autres métaux

Un produit protégé peut subir une corrosion supplémentaire provoquée par le contact du zinc avec d'autres métaux. Il convient donc de vérifier le bon comportement du zinc et de ses alliages selon l'environnement de corrosion (le tableau ci-dessous est tiré d'une publication du BSI [British Standards Institution] «*Commentaire sur la corrosion aux contacts bimétalliques et sa réduction*»).

### Corrosion supplémentaire du zinc et de ses alliages résultant d'un contact avec d'autres métaux.

Métaux en contact	Environnement				
	Atmosphère			Immersion	
	Rural	Industrielle Urbaine	Marine	Eau douce	Eau de mer
<b>Aluminium et ses alliages</b>	0	0 – 1	0 – 1	1	1 – 2
<b>Fonte</b>	0 – 1	1	1 – 2	1 – 2	2 – 3
<b>Fonte austénitique</b>	0 – 1	1	1 – 2	1 – 2	1 – 3
<b>Cuivre</b>	0 – 1	1 – 2	1 – 2	1 – 2	2 – 3
<b>Acier inoxydable (austénitique et autres nuances contenant environ 18 % de chrome)</b>	0 – 1	0 – 1	0 – 1	0 – 2	1 – 2

- 0 Le zinc et les alliages de zinc ne subissent pas de corrosion supplémentaire ou tout au plus qu'une très faible corrosion supplémentaire, généralement tolérable en utilisation.
- 1 Le zinc et les alliages de zinc subissent une corrosion supplémentaire faible ou modérée qui peut être tolérée dans certains cas.
- 2 Le zinc et les alliages de zinc peuvent subir une corrosion supplémentaire assez importante et des mesures de protection sont généralement nécessaires.
- 3 Le zinc et les alliages de zinc peuvent subir une corrosion supplémentaire importante le contact doit être évité.

### Le point de vigilance

Il faut bien noter que les codifications du tableau sont exprimées en termes de « corrosion supplémentaire ». Cela signifie qu'il est entendu que les métaux en contact ont reçu des protections adaptées à l'environnement. Par exemple, le symbole 0 ne signifie pas que les métaux en contact ne doivent pas recevoir de protections dans toutes les conditions d'exposition. Bien entendu, il faut aussi consulter les données concernant le métal couplé au zinc pour confirmer ce bon comportement.





### Le point de vigilance

Le risque d'une attaque de corrosion profonde est plus grand si la surface du métal le plus noble est importante par rapport à la surface du métal le moins noble. Il convient d'apporter un soin particulier à l'application de peintures ou autres revêtements sur l'acier. S'il subsiste d'éventuels petits pores ou trous d'épingle dans le revêtement, la petite surface nue du métal le plus noble entraîne un rapport de surface anode/cathode très élevé et il peut survenir une attaque de piqûres sévère de ce métal. Naturellement, cette attaque peut être très sévère en cas d'immersion. Pour cette raison, il est préférable de peindre le métal le plus noble car les pores éventuels n'entraîneront que de faibles rapports de surfaces.

## Corrosion galvanique

Lorsque deux métaux différents sont en contact électrique par l'intermédiaire d'un électrolyte (c'est-à-dire un liquide électriquement conducteur comme de l'eau de mer ou de l'eau douce impure), un courant circule depuis le métal anodique vers le métal cathodique ou plus noble au travers de l'électrolyte. Il en résulte que le métal le moins noble subit une corrosion.

**La prévention de la corrosion galvanique consiste à empêcher le passage de courant par les moyens suivants :**

- Isoler les métaux différents, c'est-à-dire interrompre les voies de conduction métallique;
- Empêcher la conduction électrolytique, c'est-à-dire interrompre la voie électrolytique au moyen de peinture ou autre revêtement. Lorsque l'on souhaite mettre en œuvre ce type de protection et s'il n'est pas possible de revêtir les deux métaux, il est alors préférable de revêtir le métal le plus noble (par exemple l'acier inoxydable dans le cas d'un assemblage acier inoxydable/acier au carbone).



### Recommandations de l'Union de Métalliers

Des rapports de surfaces défavorables sont susceptibles d'apparaître avec les fixations et au niveau des joints. Par exemple, il convient d'éviter l'utilisation de fixations en acier au carbone dans les éléments en acier inoxydable, car le rapport entre la surface de l'acier inoxydable et celle de l'acier au carbone est important, et les fixations seraient soumises à une attaque agressive. Inversement, la vitesse de l'attaque d'un élément en acier au carbone par une fixation en acier inoxydable est beaucoup plus faible. Il est en général utile de tirer parti de l'expérience acquise sur des sites similaires, car différents métaux peuvent souvent être associés en toute sécurité dans des conditions de condensation ou d'humidité occasionnelles sans effets nocifs, surtout lorsque la conductivité de l'électrolyte est faible.

### L'astuce à retenir



La prévision de ces effets est difficile car la vitesse de corrosion est déterminée par un certain nombre de facteurs complexes. L'utilisation de tableaux de potentiels ne tient pas compte de la présence de couches d'oxydes superficiels ni des effets des rapports de surfaces, ni de la chimie des différentes solutions (électrolytes). Par conséquent, une utilisation inconsidérée de ces tableaux peut produire des résultats erronés. Il convient de les utiliser avec précautions et uniquement pour une évaluation initiale. Il est en particulier recommandé d'éviter dans les milieux humides le contact entre des pièces galvanisées et les armatures non revêtues du béton. La corrosion totale du revêtement de zinc peut sinon se produire en quelques mois (le zinc protégeant de la corrosion l'ensemble des armatures).



## COUPLES GALVANIQUES ENTRE QUELQUES MÉTAUX ET ALLIAGES

**Tableau des couples galvaniques entre quelques métaux et alliages (en millivolts)**

Le métal B est attaqué      Contact pratiquement indifférent      Le métal A est attaqué

Métal A :	Métal B :			Electrolyte : eau + 2% de sel marin																								
	Platine	Or	Inox passivé	Argent	Mercuré	Nickel	Arcap	Cuivre	Bronze d'alu	Laiton	Bronze	Etain	Plomb	Duralumin	Acier doux	Alpax H	Alu 99,5%	Acier dur	Duralinox	Cadmium	Fer pur	Almasilium	Chrome	Sn75-Zn25	Zinc	Magnésium		
Symboles A/NOR	Platine	0	130	250	350	430	450	570	600	650	770	800	840	940	1000	1065	1090	1095	1100	1100	1105	1105	1200	1350	1400	1400	1950	
	Or	130	0	110	220	300	320	440	470	520	640	670	710	810	870	935	960	965	970	970	975	975	1070	1230	1270	1820	1820	
	Inox passivé	250	110	0	100	110	180	200	320	350	400	420	450	590	650	715	740	745	750	750	755	755	850	1010	1050	1600	1600	
	Argent	350	220	100	0	0	80	100	220	250	300	420	450	490	550	615	640	645	650	650	655	655	750	850	910	950	1500	
	Mercuré	430	220	110	0	0	80	100	220	250	300	420	450	490	550	615	640	645	650	650	655	655	750	850	910	950	1600	
	Nickel	430	300	180	80	80	0	20	140	170	220	340	370	410	510	570	635	660	665	670	670	675	755	850	930	970	1520	
	Arcap	450	320	200	100	100	20	0	120	150	200	320	350	380	490	550	615	640	645	650	650	655	655	750	850	910	1500	
	Cuivre	570	440	320	220	220	140	120	0	30	80	200	230	270	370	430	495	520	525	530	530	535	535	630	790	830	1380	
	Bronze d'alu	600	470	350	250	250	170	150	30	0	50	170	200	240	340	400	465	490	495	500	500	505	505	600	760	800	1350	
	Laiton	650	520	400	300	300	220	200	80	50	0	120	150	190	290	350	415	440	445	450	450	455	455	550	710	750	1300	
	Bronze	770	640	520	420	420	340	320	200	170	120	0	30	70	170	230	295	320	325	330	330	335	335	430	590	630	1180	
	Etain	800	670	550	450	450	370	350	230	200	150	30	0	40	140	200	265	290	295	295	295	300	305	305	400	560	600	1150
	Plomb	840	710	590	490	490	410	380	270	240	190	70	40	0	100	160	225	250	255	260	260	265	265	360	520	560	1100	
	Duralumin	940	810	690	590	590	510	490	370	340	290	170	140	100	0	60	125	150	155	160	160	165	165	260	420	580	1010	
	Acier doux	1000	870	750	650	650	570	550	430	400	350	230	200	160	0	65	90	95	95	100	110	105	105	200	360	400	950	
	Alpax H	1065	935	815	715	715	635	615	495	465	415	295	265	225	125	65	0	25	30	35	35	40	40	135	295	335	885	
	Alu 99,5%	1090	960	840	740	740	660	640	520	490	440	320	290	250	150	25	0	5	5	5	5	5	5	100	270	310	860	
	Acier dur	1095	965	845	745	745	665	645	525	495	445	325	295	255	155	95	0	0	5	5	5	5	5	100	260	300	850	
Duralinox	1100	970	850	750	750	670	650	530	500	450	330	300	260	160	110	5	0	0	0	0	0	5	100	260	300	850		
Cadmium	1100	970	850	750	750	670	650	530	500	450	330	300	260	160	110	5	0	0	0	0	0	5	100	260	300	850		
Fer pur	1105	975	855	755	755	675	655	535	505	455	335	305	265	165	110	40	15	10	10	10	10	5	100	260	300	850		
Almasilium	1105	975	855	755	755	675	655	535	505	455	335	305	265	165	110	40	15	10	10	10	10	5	100	260	300	850		
Chrome	1200	1070	950	850	850	770	750	650	625	575	455	425	380	280	200	135	85	85	85	85	85	25	200	40	40	590		
Sn75-Zn25	1350	1230	1100	1010	1010	930	910	790	760	710	590	560	520	420	360	295	270	265	260	260	255	255	25	0	40	590		
Zinc	1400	1270	1150	1050	1050	970	950	830	800	750	630	600	560	460	400	335	310	305	300	300	295	295	200	40	40	550		
Magnésium	1950	1820	1700	1600	1600	1520	1500	1380	1350	1300	1180	1150	1100	1010	950	885	860	855	850	850	845	845	750	590	550	0		



## Les composants d'une peinture

Les peintures en poudre sont constituées de quatre éléments :

- Des liants;
- Des pigments;
- Des charges;
- Des additifs.

Les peintures liquides sont constituées de mêmes éléments répartis et mélangés dans un solvant. Chaque composant a un rôle particulier et va apporter une propriété différente à la peinture.

### LES LIANTS

Le rôle des liants est de créer le « ciment incolore » de la peinture. C'est le composant essentiel de la peinture qui, de par ses modifications chimiques et physiques, va rendre solide la peinture liquide ou en poudre. Le liant se présente sous la forme de résines qui agglomèrent les particules des autres composants de la peinture qui, autrement, n'auraient aucune cohésion entre elles. Outre son action de cohésion entre les éléments, les liants jouent un rôle essentiel dans :

- L'adhérence de la peinture sur le support;
- L'élasticité de la peinture;
- La protection du support recouvert;

**Le rôle essentiel de ce composant fait que l'on désigne le plus souvent une peinture en nommant le liant qui la constitue.**

**Les principales peintures utilisées par les entreprises de métallerie sont à base de liant alkyde (glycérophtalique), époxydique, polyester ou polyuréthane.**

### LES PIGMENTS

Les pigments n'ont pas de rôle « structurel » dans la peinture contrairement aux liants.

Les pigments apportent à la peinture :

- Sa couleur;
- Son pouvoir opacifiant ou « couvrant », c'est-à-dire la capacité de la peinture à masquer le support sur lequel elle est déposée;
- Un pouvoir protecteur vis-à-vis des rayons ultraviolets.

Les pigments se présentent généralement sous la forme de poudre. Ils peuvent être à base de composants naturels (des oxydes métalliques ou des minéraux tels que les ocres, les terres ou la craie) ou à base de composants de synthèse.



## LES CHARGES

Les charges sont des pigments non opacifiant qui servent à améliorer les propriétés mécaniques et anticorrosion des peintures.

## LES ADDITIFS

Les additifs, également appelés adjuvants, modifient également les propriétés de la peinture.

Ils ont différentes fonctions :

- Ils modifient la tension de surface du film, aident au mouillage du support et augmentent la limite à la coulure ;
- Ils améliorent les propriétés chimiques, la résistance aux ultraviolets et à la chaleur ;
- Ils permettent de créer des aspects spéciaux ;
- Ils permettent un meilleur dégazage des supports poreux pendant la cuisson

## LES SOLVANTS ET LES DILUANTS DES PEINTURES LIQUIDES

Les liants se présentent sous une forme pâteuse. Le rôle des solvants est de « liquéfier » cette pâte pour permettre l'application de la peinture.

Au cours du séchage, les solvants, composants très volatiles, s'évaporent et permettent ainsi le durcissement de la peinture. Les solvants sont donc normalement totalement absents du revêtement une fois celui-ci complètement sec, mais sont présents en quantité au moment de l'application.

C'est le rejet des solvants dans l'atmosphère qui exige que des précautions particulières soient prises lors de l'application. Respirer certains solvants peut en effet se révéler dangereux pour la santé et des réactions entre le solvant et d'autres produits peuvent également se produire (risque d'incendie). L'utilisation d'installations spécifiques est donc exigée par la réglementation (arrêté du 2 février 1998 modifié par l'arrêté du 25 mai 2000).

Les solvants peuvent être des hydrocarbures, des alcools, des cétones, des éthers ou des dérivés chlorés. L'eau est également utilisée comme solvant pour des applications autres que celles mises en œuvre par les Métalliers.

Les diluants servent à « ajuster » la viscosité d'une peinture en fonction de critères à prendre en compte au moment de l'application : l'état du support, la température, etc. Les diluants viennent donc en complément des solvants. Les diluants sont incorporés au moment de l'application de la peinture alors que les solvants sont ajoutés au moment de la fabrication de la peinture.

De par leur constitution, les peintures en poudre (par définition non liquide) n'utilisent pas de solvants. Cela leur confère un avantage certain en matière de limitation de la pollution (très peu de produits volatils émis) et pour la sécurité des applicateurs.



## Les caractéristiques dépendant du type de produit

### LA TEINTE

La couleur d'une peinture est bien entendu l'élément le plus important pour le choix d'un produit.

Le choix du coloris se fait le plus souvent par rapport à un nuancier normalisé. Il existe plusieurs systèmes de nuanciers, le plus courant étant le RAL.

#### Nuancier RAL

Plage		Catégorie
RAL 1001 à 1099		Jaunes
RAL 2001 à 2099		Oranges
RAL 3001 à 3099		Rouges
RAL 4001 à 4099		Roses – Violetes
RAL 5001 à 5099		Bleus
RAL 6001 à 6099		Verts
RAL 7001 à 7099		Gris
RAL 8001 à 8099		Bruns
RAL 9001 à 9099		Blancs et Noirs

### LA TENUE DE LA TEINTE

La tenue de la teinte, et notamment la permanence de la couleur dans le temps, est également un élément essentiel pour l'évaluation de la qualité d'une peinture. La tenue de la teinte est évaluée d'après les normes EN ISO 2810 (vieillessement naturel des revêtements) et EN ISO 11341 (vieillessement artificiel, xénotest).

### LE POUVOIR OPACIFIANT

Le pouvoir opacifiant d'une peinture est sa capacité à masquer le support sur lequel on l'a appliquée. Cette propriété dépend essentiellement du pigment utilisé, mais l'épaisseur déposée peut également avoir une influence sur cette caractéristique.

### LE DEGRÉ DE BRILLANT

Trois degrés de brillant sont communément définis : du brillant au mat en passant par le satiné comme brillance intermédiaire. La brillance d'une peinture est principalement déterminée par sa composition (l'application peut dans certains cas avoir une influence, mais dans une moindre mesure). La rugosité du support a une influence sur le niveau de brillance obtenu. La mesure de la brillance est réalisée avec un brillancemètre sous un angle de 60 °.

Trois degrés de brillant sont communément définis pour la peinture en poudre :

- Mats : brillant spéculaire < 35;
- Satinés : 35 < brillant spéculaire ≤ 75;
- Brillants : brillant spéculaire > 75.



Cinq degrés de brillance sont définis pour les peintures liquides :

- Mat (brillant spéculaire  $\leq 10$ );
- Satiné mat (10 < brillant spéculaire  $\leq 20$ );
- Satiné moyen (20 < brillant spéculaire  $\leq 45$ );
- Satiné brillant (45 < brillant spéculaire  $\leq 70$ );
- Brillant (brillant spéculaire > 70).

## LES ASPECTS SPÉCIAUX

De plus en plus d'aspects spéciaux peuvent également s'appliquer sur les supports en acier.

On peut citer par exemple :

- Les aspects grainés : cet aspect est couramment utilisé en architecture en partie par sa capacité à atténuer les défauts du support;
- Les aspects texturés : ces aspects réalisables en brillant, mat ou satiné sont utilisés dans des domaines divers tels que le mobilier de bureau, l'appareillage électrique, la décoration intérieure, etc.;
- Les aspects martelés : ils sont réservés pour des applications intérieures (mobilier scolaire par exemple);
- Les aspects métallisés : disponibles en brillant, mat ou satiné, ces aspects spéciaux sont couramment utilisés dans l'architecture.

## LA SOUPLESSE

La souplesse d'une peinture est sa capacité à supporter les déformations du support sur lequel elle est revêtue. Cette souplesse empêchera par exemple la

peinture de se fissurer en raison de la dilatation de l'ouvrage en acier.

## LA TENUE AUX ULTRAVIOLETS

La résistance aux rayons ultraviolets est essentielle pour les ouvrages installés à l'extérieur. La tenue aux ultraviolets est apportée par le type de liant et de pigment. Les peintures à liant époxydique non revêtues sont à proscrire pour une utilisation à l'extérieur, celles-ci perdant leur couleur en raison du farinage provoqué au contact des UV.

## LA TENUE AUX INTEMPÉRIES

Certains liants ont des aptitudes différentes quant à la tenue aux intempéries. Cela est notamment dû à la perméabilité du revêtement, à sa dureté et sa nature chimique.

## LA PROTECTION ANTICORROSION

Certains produits peuvent apporter une protection complémentaire contre la corrosion. Cette propriété est apportée par le liant (époxydique par exemple) et par l'ajout de charges à base de zinc (phosphate de zinc ou poudre de zinc).

## LES CARACTÉRISTIQUES SPÉCIFIQUES

Des ouvrages peuvent nécessiter l'emploi de peinture ayant des caractéristiques spécifiques : par exemple, dans le secteur alimentaire, hospitalier, maritime, etc., ou lorsqu'une résistance à un agent chimique particulier est requise.



### Le point de vigilance

Il ne faut pas oublier qu'une peinture seule n'apporte pas de protection totale contre la corrosion. Il faut donc rester vigilant quant au lieu d'installation de l'ouvrage et à son utilisation, pouvant le mettre dans des atmosphères agressives.



## Les caractéristiques dépendant de l'application

### L'ADHÉRENCE AU SUPPORT

L'adhérence est définie dans la norme NF T 36-001 comme étant « l'ensemble des forces qui s'exercent entre un feuillet et son support (nu ou déjà recouvert d'un feuillet) ». L'adhérence correspond à l'attraction entre les molécules du film et celles du support. Une mauvaise adhérence du revêtement de finition réduit considérablement la capacité de résistance à la corrosion de l'ouvrage.

La qualité d'adhérence d'une peinture est apportée par :

- L'adéquation de la peinture pour le support (par exemple, une peinture spécifiquement étudiée pour une application sur un revêtement de zinc), et
- Le respect des étapes de préparation de surface.

Si l'on considère comme acquis que les peintures sont choisies conformément au support sur lequel elles sont appliquées, la principale cause de manque d'adhérence d'une peinture est liée à un non-respect de la préparation de surface.

La préparation de la surface a en effet pour objectif de supprimer toutes traces d'oxydes et de pollution organique (graisse par exemple) sur la surface de l'ouvrage et d'appliquer ainsi la peinture sur une surface parfaitement propre. Si des dépôts viennent s'interposer entre la peinture et le support, la liaison moléculaire entre les deux ne peut pas se faire convenablement et l'adhérence sera réduite.

Les conditions de préparation de surface en fonction du support sont développées au chapitre 6.3.

Il existe deux principales méthodes de mesure d'adhérence. L'une consiste à pratiquer des incisions en forme de quadrillage à l'aide d'un outil coupant et d'évaluer visuellement le décollement ou avec un scotch normalisé.

En fonction du mode de décollement et du pourcentage de surface décollée, une classe est définie. Cette méthode est spécifiée dans la norme NF EN ISO 2409 (qui a remplacé la norme NF T 30-038).

La seconde méthode d'évaluation consiste à réaliser un essai de traction sur le film de peinture. L'effort nécessaire pour séparer le film de son support correspond à l'adhérence de celui-ci.

## L'ÉPAISSEUR

L'épaisseur d'un revêtement de peinture est apportée par le liant et les pigments. L'épaisseur à appliquer doit être déterminée en fonction de l'ambiance de corrosivité et de la nature du produit. L'épaisseur du revêtement de peinture est également directement liée à l'application et notamment au nombre de couches appliquées (dans le cas de peinture liquide).

## L'HOMOGENÉITÉ DE L'ÉPAISSEUR

L'uniformité de l'épaisseur du feuillet de peinture est importante pour des raisons esthétiques, mais également pour la protection supplémentaire apportée par la peinture. L'homogénéité du revêtement dépend également en partie de la qualité de l'application et notamment du soin apporté dans le cas d'une application manuelle.

## L'ASPECT

L'application peut également avoir des conséquences sur l'aspect final du revêtement : des coulures, des bulles, un aspect « peau d'orange » peuvent apparaître si les conditions d'application ne sont pas respectées ou en cas de surépaisseurs. Ces défauts d'aspect apparaissent, pour les peintures liquides, en raison de problèmes de dilution ou d'outil mal adapté.



## Les propriétés des peintures liquides

Le tableau suivant présente les propriétés des peintures liquides en fonction du liant en dissociant les types de peintures courantes des peintures d'application plus spécifiques.

LIANT	Tenue aux UV	Flexibilité - souplesse	Tenue chimique	Application	Usage
Alkyde	★★	★	Aucune	Intérieur/Extérieur	Courant
	La protection anti-UV apportée par les peintures à base de liant alkyde est moyenne. Cependant, les peintures alkydes manquent de dureté de film et de résistance à l'érosion.				
Époxydique	Aucune	★★★★	★★★★	Intérieur	Courant
	Ces peintures ne résistent pas aux UV. Elles présentent une bonne résistance chimique et adhérence sur un grand nombre de métaux aux alliages.				
Polyuréthane	★★★★★	★★★★	★★★★	Extérieur	Courant
	Les peintures à base de polyuréthane se caractérisent par une bonne tenue chimique et en extérieur. Certaines ont également la propriété d'être anti-graffiti (norme SNCF).				
Polysiloxane	★★★★★	★★★★	★★★★★	Extérieur	Courant
	Les peintures polysiloxanes présentent des grands avantages : très bonne tenue aux UV, aux agents chimiques, une très haute brillance et une grande durabilité à l'extérieur.				

Dans le cas de peintures liquides, plusieurs couches de produits ayant des propriétés différentes sont nécessaires : on parle ainsi de « systèmes de peinture ».

Le DTU 59.1 codifie les systèmes de peinture en fonction du type de support et de l'état de finition recherché.

Les opérations à réaliser sont :

- Les travaux préparatoires : ils sont obligatoires et présentés au chapitre 3;
- Les travaux d'apprêt;
- Les travaux de finition.

Dans le cadre des travaux de métallerie, les systèmes de peintures sont le plus souvent constitués par :

- Une couche de primaire assurant une protection provisoire et un bon accrochage;
- Une couche intermédiaire;
- Une couche de finition.



Le rôle du Métallier peut se limiter à fournir sur chantier un ouvrage revêtu d'un primaire assurant une protection temporaire, les travaux de finition étant effectués par un peintre. Dans ce cas, le DTU 59.1 précise que le primaire d'atelier doit être appliqué immédiatement après l'opération de décalaminage.

Ce primaire doit être une peinture spécialement formulée et annoncée par son fabricant comme apte à :

- Assurer une fonction anticorrosion pendant une durée d'exposition aux intempéries maximale de 6 mois;
- Constituer à elle seule la première couche du système anticorrosion.

Dans le cas de peinture sur acier galvanisé ou métallisé, le DTU 59.1 recommande, après la réalisation des travaux préparatoires, d'apposer une peinture primaire réactive ou à accrochage direct (ou de colmatage dans le cas de la métallisation).

## Les propriétés des peintures poudres

Le tableau présente les propriétés des peintures en poudre en fonction du liant en dissociant les peintures courantes des peintures d'application plus spécifique.

LIANT	Tenue aux UV	Flexibilité - souplesse	Tenue chimique	Application	Usage
<b>Époxydique/ polyester</b>	★	★★	★★★	Intérieur	Courant
	Les peintures à base de liant mixte combinent les propriétés des deux composants : la tenue à la chaleur est donc améliorée ainsi que la résistance aux rayons ultraviolets par rapport à une résine époxydique. Cette résistance supplémentaire ne permet cependant pas d'envisager d'application à l'extérieur.				
<b>Polyester industrie</b>	★★★	★★	★★	Extérieur	Courant
	Le principal attrait des peintures à base de liant polyester est la bonne tenue aux UV. Les liants polyester sont à utiliser pour les applications extérieures.				
<b>Polyester construction</b>	★★★★	★★★	★★	Extérieur	Courant
	Les peintures « polyester bâtiment » se caractérisent par une très bonne tenue aux UV. Ces peintures sont utilisées pour la décoration extérieure architecturale. On les retrouve dans les travaux de métallerie courant : clôtures, portails, fenêtres, garde-corps, etc.				
<b>Époxydique</b>	/	★★★★	★★★★	Intérieur	Spécifique
	Les principales caractéristiques des peintures de base de liant époxydique sont : une bonne protection anticorrosion ainsi qu'une bonne tenue aux agents chimiques. Le liant époxydique apporte également une bonne tenue aux hautes températures. Cependant ces peintures n'ont aucune tenue aux rayons ultraviolets, provoquant un farinage. Leur utilisation est à proscrire à l'extérieur.				
<b>Polyester bâtiment haute durabilité</b>	★★★★★	★	★★	Extérieur	Spécifique
	Ces peintures résistent encore mieux aux UV que les polyesters bâtiment. Toutefois leur application est plus complexe et leur utilisation se fait donc dans des conditions spécifiques.				
<b>Polyuréthane</b>	★★★★	★★	★★★★	Extérieur	Spécifique
	Les peintures à base de polyuréthane se caractérisent par une bonne tenue chimique et en extérieur. Elles ont également la propriété d'être anti-graffiti.				
<b>Acrylique</b>	★★★★★	★★	★★★	Extérieur	Spécifique
	Ces peintures résistent très bien en extérieur et permettent également d'obtenir des effets « grands brillants ».				
<b>Polyamide</b>	★★★★★	★★★★	★★★★	Extérieur	Spécifique
	Les peintures polyamides sont très peu utilisées, car difficiles à appliquer et existent en peu de coloris.				
<b>Fluoropolymère</b>	★★★★★	★★★	★★	Extérieur	Sur demande
	Ces systèmes de peinture ont été développés pour répondre spécifiquement aux exigences de tenue aux UV dans les pays à très fort ensoleillement. Elles se caractérisent par une très grande durabilité à l'extérieur, une très haute tenue aux agents chimiques et un très faible encrassement du revêtement. Ces peintures se retrouvent dans l'architecture des bâtiments de prestige.				
<b>Thermo- plastiques</b>	★★★★	★★★	★★★★	Intérieur et extérieur	Courant
	Les thermoplastiques répondent en particulier à des applications sur PVC, paniers de lave-vaisselle, mobilier urbain, etc.				

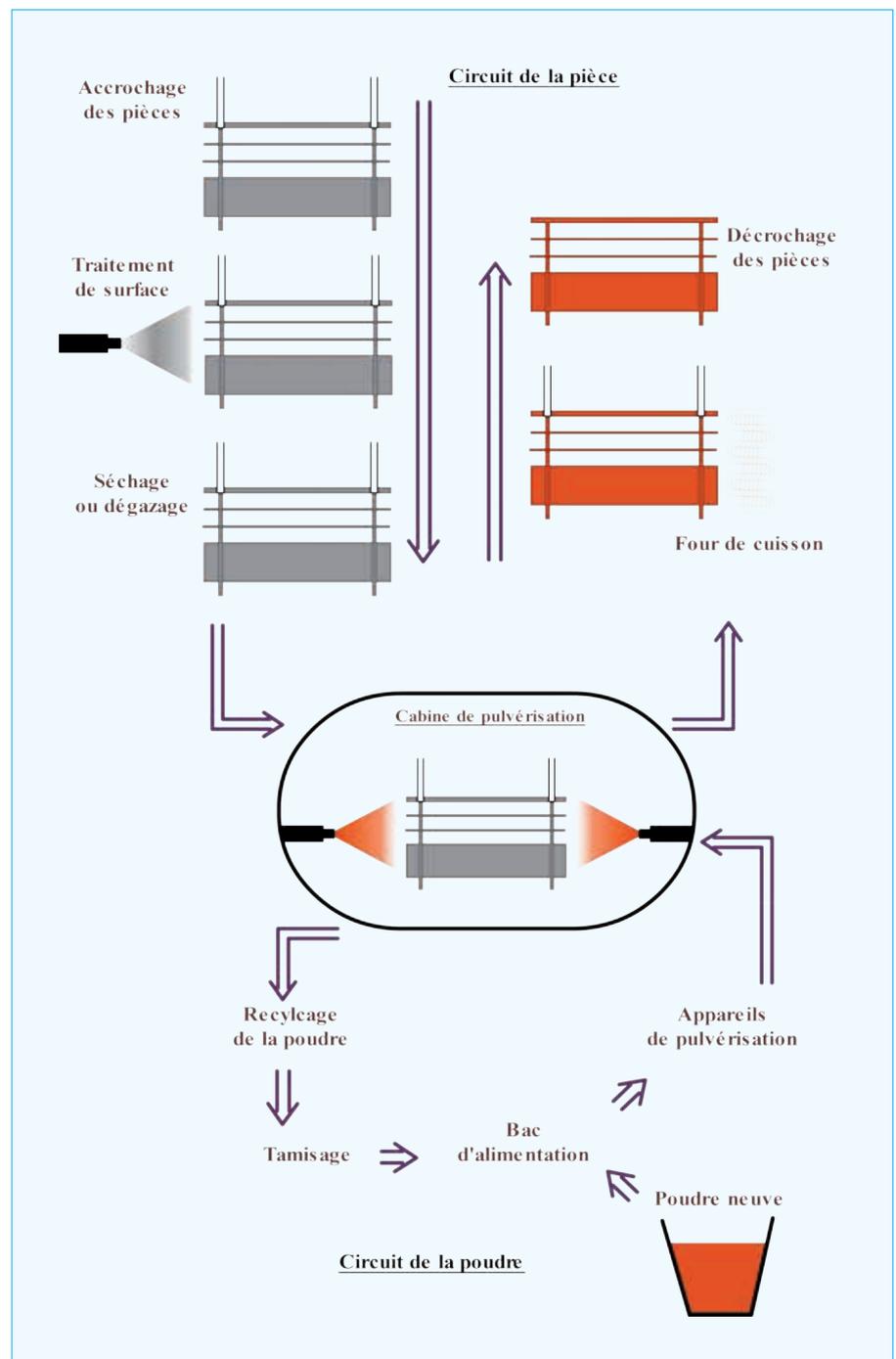


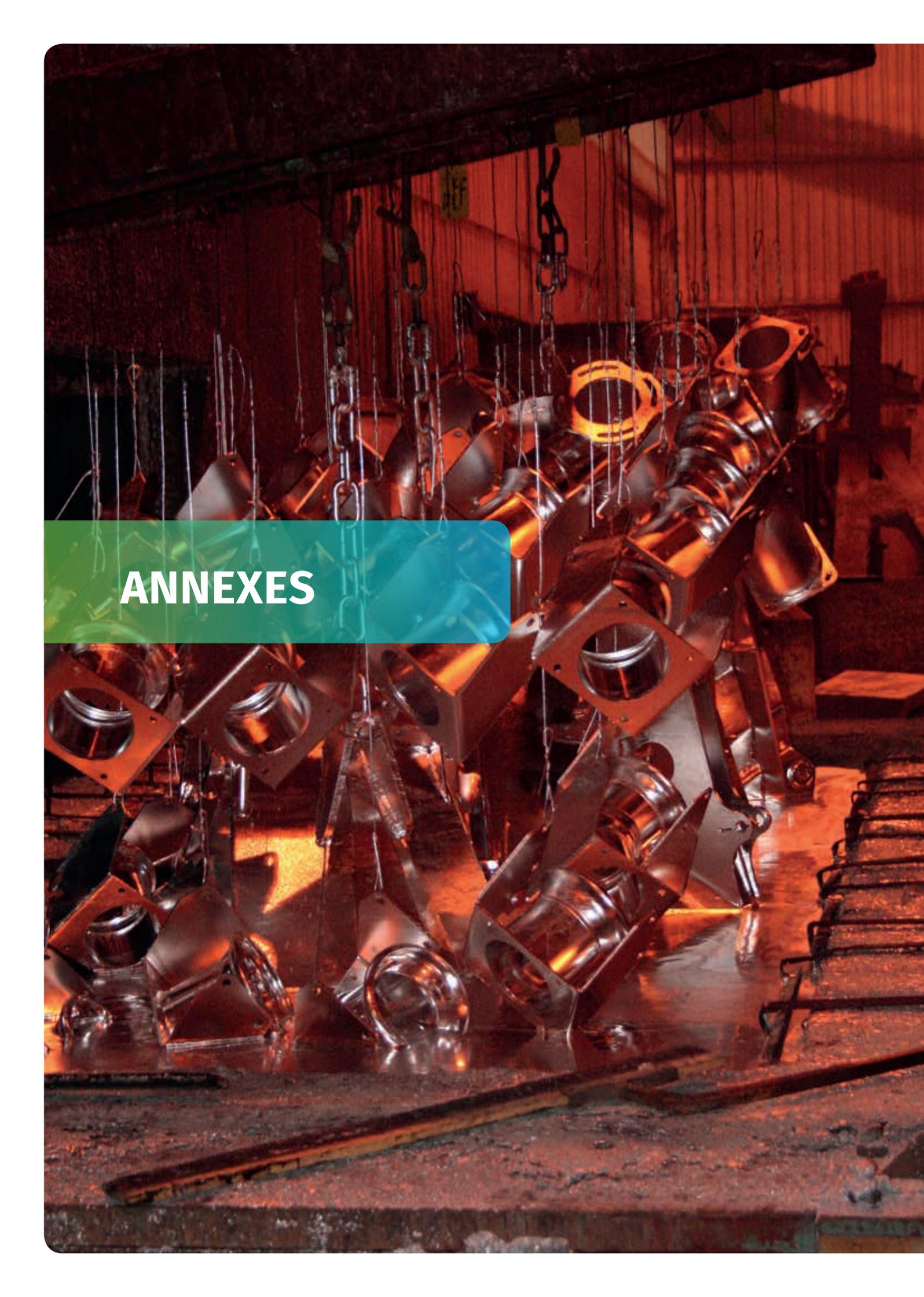
## Processus de fabrication des peintures poudres et application

Le processus de fabrication des peintures en poudre se résume en quatre étapes :

- Le pesage des constituants du lot de fabrication (liants, pigments, etc.);
- Le mélange à sec de ces constituants;
- Le mélange à chaud par extrusion;
- La réduction en poudre selon une granulométrie définie en fonction des applications.

Chaque étape fait l'objet d'un contrôle avec, en final, des contrôles complémentaires et une vérification sur plaques d'essai.





# ANNEXES

## PROTECTION ET FINITION DES ACIERS

### ANNEXES

## Tolérances de teinte admissibles pour les RAL

Ce tableau présente les tolérances de teintes  $\Delta E$  admissibles pour les RAL après exposition au test Floride (conditions de corrosion « réelles »).

RAL	$\Delta E$						
1000	3.0	3017	8.0	6010	5.0	7035	2.0
1001	3.0	3018	8.0	6011	4.0	7036	3.0
1002	3.0	3020	4.0	6012	4.0	7037	3.0
1003	2.0	3022	8.0	6013	3.0	7038	2.0
1004	6.0	3027	6.0	6014	4.0	7039	4.0
1005	6.0			6015	4.0	7040	3.0
1006	6.0	4001	4.0	6016	5.0	7043	3.0
1007	6.0	4002	4.0	6017	5.0	7044	2.0
1011	3.0	4003	8.0	6018	4.0		
1012	3.0	4004	5.0	6019	2.0	8000	4.0
1013	2.0	4005	4.0	6020	2.0	8001	4.0
1014	3.0	4007	5.0	6021	4.0	8003	4.0
1015	2.0	4009	4.0	6024	3.0	8004	4.0
1016	6.0			6025	5.0	8007	4.0
1017	3.0	5000	4.0	6026	5.0	8008	4.0
1018	6.0	5001	4.0	6027	2.0	8011	4.0
1019	3.0	5002	4.0	6028	5.0	8012	4.0
1020	6.0	5003	5.0	6029	5.0	8014	4.0
1021	6.0	5004	5.0	6033	2.0	8015	4.0
1023	3.0	5007	4.0	6034	2.0	8016	4.0
1027	3.0	5008	5.0			8017	4.0
1028	8.0	5009	4.0	7000	4.0	8019	3.0
1032	6.0	5010	4.0	7001	3.0	8022	5.0
1038	2.0	5011	5.0	7002	4.0	8024	4.0
		5012	4.0	7003	4.0	8025	4.0
2000	6.0	5013	5.0	7004	4.0	8028	3.0
2001	8.0	5014	4.0	7005	4.0	8070	4.0
2002	8.0	5015	3.0	7006	4.0		
2003	6.0	5017	5.0	7008	4.0	9001	2.0
2004	8.0	5018	5.0	7009	4.0	9002	2.0
2008	6.0	5019	4.0	7010	4.0	9003	2.0
2009	4.0	5020	5.0	7011	4.0	9005	5.0
		5021	4.0	7012	4.0	9006	2.0
3000	6.0	5022	5.0	7013	4.0	9007	2.0
3002	6.0	5023	4.0	7015	4.0	9010	2.0
3003	4.0			7016	3.0	9011	5.0
3004	4.0	6000	5.0	7021	4.0	9016	2.0
3005	4.0	6001	5.0	7022	4.0	9018	2.0
3007	4.0	6002	5.0	7023	3.0		
3009	4.0	6003	5.0	7024	4.0		
3011	6.0	6004	5.0	7026	4.0		
3012	8.0	6005	3.0	7030	2.0		
3013	6.0	6006	4.0	7031	4.0		
3014	4.0	6007	4.0	7032	2.0		
3015	3.0	6008	5.0	7033	3.0		
3016	5.0	6009	4.0	7034	3.0		



## Synthèse de l'étude sur la tenue au thermolaquage des aciers inoxydables

L'Inox est choisi dans des projets de construction notamment pour ses caractéristiques esthétiques et ses multiples de finitions et d'aspects possibles. Contrairement à un acier au carbone, il ne nécessite pas de protection anticorrosion (type galvanisation) ni de mise en peinture pour lui apporter ses aspects finaux. Cependant, les prescripteurs proposent de plus en plus de projets incorporant des Inox colorés, ayant ainsi subi un thermolaquage au préalable.

Dans le cadre de la rédaction du guide technique «Inox & Métallerie», il s'est montré intéressant de connaître les propriétés des Inox dans la tenue au thermolaquage et notamment de vérifier la tenue du film face à des attaques extérieures et des environnements agressifs.

En partant sur la base des nuances les plus souvent prescrites, les tests courants (issus de normes spécifiques) de tenue au thermolaquage ont été réalisés. L'intérêt de cette étude est également de comparer différents processus, de la préparation de surface à la mise en peinture, pour optimiser la tenue des revêtements thermolaqués sur des ouvrages en Inox.

### Principe :

Ce sont plus de 350 éprouvettes qui ont été testées dans cette étude, en partant de 14 nuances dont 9 ont subi un traitement monocouche et 5 un traitement bicouche. Six différents types de préparation de surface ont été sélectionnés, dont trois chimiques et trois mécaniques. Les essais ont été reproduits en 4 exemplaires et à cette liste s'ajoutent quelques supports non peints utilisés comme éléments de comparaison.

#### Nuances d'acier inoxydable sélectionnées pour un système monocouche

316 L	
304 recuit brillant (2 R)	304 recuit décape/ skin-pass (2B)
426 recuit brillant (2 R)	
430 recuit brillant (2 R)	430 recuit décape/ skin-pass (2B)
436 recuit décapé/skin-pass (2 B)	
444 recuit brillant (2 R)	444 recuit décape/ skin-pass (2B)

#### Nuances d'acier inoxydable sélectionnées pour un système bicouche

304 recuit brillant (2 R)	304 recuit décape/ skin-pass (2B)
430 recuit brillant (2 R)	430 recuit décape/ skin-pass (2B)
436 recuit décape/ skin-pass (2B)	

Les différentes préparations de surface	
Préparation chimique	Préparation mécanique
Dégraissant phosphatant standard	Sablage corindon
Conversion type Bonderite® M-NT 1455-10 (traitement de conversion non chromique, sans rinçage)	Grenaillage acier
Conversion type Bonderite® M-NT 5700 (traitement de conversion non chromique)	Grenaillage Inox

Différents tests ont été réalisés pour pouvoir caractériser les échantillons de l'étude :

- Contrôle visuel de l'état de surface selon ISO 8501-1 + contrôle de rugosité selon ISO 4287 (après une préparation mécanique);
- Contrôle de l'épaisseur de la couche de peinture selon ISO 2808;
- Contrôle des performances mécaniques à T0 et après vieillissement accéléré à l'eau bouillante (impact et adhérence) selon ISO 6272 et ISO 2409;

- Test à l'eau bouillante pendant 2 heures sur les éprouvettes blessées (issu des directives du label Qualisteelcoat);
- Test au brouillard salin acétique sur éprouvettes blessées avec incision en «X» pendant 1000 heures (selon ISO 9227-2);
- Test au brouillard salin neutre sur éprouvettes blessées avec incision en «X» pendant 1500 heures (selon ISO 9227-1).

L'objectif ici est de donner des recommandations suite aux conclusions tirées de l'ensemble de l'étude.

- Excellent
- Bon
- Moyen
- Insuffisant

Test effectué	Dégraissant phosphatant	Convertisseur Alodine®	Phosphatant Granodine®	Sablage corindon	Grenaillage acier	Grenaillage Inox
Performance mécanique à T0						
Performance mécanique après vieillissement						
Test à l'eau bouillante						
Test au brouillard salin acétique						
Test au brouillard salin neutre						
Performances globales						

- De façon générale, le grenaillage inox est à préférer au grenaillage acier ainsi qu'au corindon lors d'une préparation mécanique.
- Parmi les préparations chimiques, le dégraissant phosphatant type standard

- n'est pas suffisant et il est nécessaire d'utiliser des préparations spécifiques de type Bondérite®
- De façon générale, cette étude n'a pas montré de différenciation nette entre les différentes nuances d'Inox.



## Références normatives

Les principales normes traitant de la protection anticorrosion par le zinc ainsi que les peintures sont les suivantes :

Norme	Intitulé
NF EN ISO 14713-1	Revêtements de zinc - Lignes directrices et recommandations pour la protection contre la corrosion du fer et de l'acier dans les constructions - Partie 1 : principes généraux de conception et de résistance à la corrosion
NF EN ISO 14713-2	Revêtements de zinc - Lignes directrices et recommandations pour la protection contre la corrosion du fer et de l'acier dans les constructions - Partie 2 : galvanisation à chaud
NF EN ISO 14713-3	Revêtements de zinc - Lignes directrices et recommandations pour la protection contre la corrosion du fer et de l'acier dans les constructions - Partie 3 : shérardisation
NF P24-351/A1	Menuiserie métallique — Fenêtres, façades rideaux, semi-rideaux, panneaux à ossature métallique — Protection contre la corrosion et préservation des états de surface
NF EN ISO 1461	Revêtements par galvanisation à chaud sur produits finis en fonte et en acier - Spécifications et méthodes d'essai
NF A35-503	Produits sidérurgiques - Exigences pour la galvanisation à chaud d'éléments en acier
NF EN 10 142	Bandes et tôles en aciers doux galvanisées à chaud et en continu pour formage à froid - Acier pour galvanisation par immersion à chaud
NF EN 10 240	Revêtements intérieur et/ou extérieur des tubes en acier - Spécifications pour revêtements de galvanisation à chaud sur des lignes automatiques. - Revêtements intérieur et/ou extérieur des tubes en acier
NF A91-131	Fils d'acier galvanisés à chaud - Spécification du revêtement de zinc
NF EN ISO 2063	Projection thermique – Revêtements métalliques et inorganiques
NF EN ISO 2081	Revêtements métalliques et autres revêtements inorganiques -- Dépôts électrolytiques de zinc avec traitements supplémentaires sur fer ou acier
NF EN ISO 12944-1	Peintures et vernis - Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture Partie 1 : introduction générale
NF EN ISO 12944-2	Peintures et vernis - Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture Partie 2 : classification des environnements
NF EN ISO 12944-3	Peintures et vernis - Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture Partie 3 : conception et dispositions constructives
NF EN ISO 12944-4	Peintures et vernis - Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture Partie 4 : types de surface et préparation de surface
NF EN ISO 12944-5	Peintures et vernis - Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture Partie 5 : systèmes de peinture
NF EN ISO 12944-6	Peintures et vernis - Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture Partie 6 : essais de performance en laboratoire
NF EN ISO 12944-7	Peintures et vernis - Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture Partie 7 : exécution et surveillance des travaux de peinture



Norme	Intitulé
NF EN ISO 12944-8	Peintures et vernis - Anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture Partie 8 : développement de spécifications pour les travaux neufs et l'entretien
NF EN 13438	Peintures et vernis - Revêtements de poudre organique pour produits en acier galvanisé ou shérardisé utilisés dans la construction
NF EN 15773	Application industrielle de revêtements de poudre organiques à des produits en acier galvanisés à chaud ou shérardisés [systèmes duplex]. Spécifications, recommandations et lignes directrices.
NF EN ISO 9223	Corrosion des métaux et alliages. Corrosivité des atmosphères. Classification, détermination et estimation.
EN ISO 10684	Éléments de fixation. Revêtements de galvanisation à chaud.
NF EN ISO 8501-1	Préparation des subjectiles d'acier avant application de peintures et de produits assimilés - Évaluation visuelle de la propreté d'un subjectile - Partie 1 : degrés de rouille et degrés de préparation des subjectiles d'acier non recouverts et des subjectiles d'acier après décapage sur toute la surface des revêtements précédents.
NF EN ISO 8501-2	Préparation des subjectiles d'acier avant application de peintures et de produits assimilés - Évaluation visuelle de la propreté d'un subjectile - Partie 2 : degrés de préparation des subjectiles d'acier précédemment revêtus après décapage localisé des couches.
NF EN ISO 8501-3	Préparation des subjectiles d'acier avant application de peintures et de produits assimilés - Évaluation visuelle de la propreté d'un subjectile - Partie 3 : degrés de préparation des soudures, arêtes et autres zones présentant des imperfections.
NF EN ISO 8501-4	Préparation des subjectiles d'acier avant application de peintures et de produits assimilés - Évaluation visuelle de la propreté d'un subjectile - Partie 4 : états de surface initiaux, degrés de préparation et degrés de fleurette de rouille après décapage à l'eau sous haute pression.
NF DTU 33.1	Travaux de bâtiment - Façades rideaux
NF DTU 59.1	Travaux de bâtiment - Revêtements de peinture en feuil mince, semi-épais, ou épais

## Lexique

<b>ACQPA</b>	Association pour la Certification et la Qualification en Peinture Anticorrosion
<b>ADAL</b>	Association pour le Développement de l'aluminium Anodisé et Laqué
<b>AFTA.P</b>	Association Française des Technologies de l'Acier Peint
<b>CAGE DE FARADAY</b>	Due à des effets électrostatiques et électrolytiques, la création d'une cage de Faraday empêche tout dépôt d'élément ou de réaction au sein de cette zone
<b>CAPEB</b>	Confédération de l'Artisanat et des Petites Entreprises du Bâtiment
<b>Cataphorèse</b>	Peinture époxy appliquée au trempé.
<b>Corrosivité</b>	Capacité d'un milieu environnant à corroder un système donné.
<b>CTICM</b>	Centre Technique Industriel de la Construction Métallique
<b>DIUO</b>	Dossier d'Intervention Ultime sur Ouvrage
<b>DOE</b>	Dossier des Ouvrages Exécutés
<b>Electrozingage</b>	Dépôt d'une couche de zinc par traitement électrolytique à des fins de protection.
<b>Galvanisation à chaud</b>	Procédé qui consiste à revêtir de l'acier avec du zinc en immergeant l'acier dans un bain de zinc en fusion.
<b>INRS</b>	Institut National de Recherche et de Sécurité
<b>Métallisation</b>	Procédé qui a pour but de recouvrir une pièce d'acier d'une couche de zinc ou zinc/aluminium, par projection au pistolet de ce métal ou alliage en fusion.
<b>Phosphatation</b>	Procédé d'oxydation superficielle de pièces en acier, avec formation de phosphates insolubles, par immersion, qui lui donne une couleur grise ou noire et assure une certaine résistance à la corrosion atmosphérique.
<b>PLRZ</b>	Primaire Liquide Riche en Zinc
<b>PPRZ</b>	Primaire Poudre Riche en Zinc
<b>Procédé Sendzimir</b>	Procédé de galvanisation de feuillard en continu par immersion dans le zinc en fusion. (Nom de l'inventeur Tadeusz Sendzimir)
<b>Rugosité</b>	La mesure de rugosité permet d'enregistrer la micro-géométrie de la surface dans une ou trois directions (rugosimétrie 3D). À partir des profils de rugosité enregistrés, on calcule la rugosité moyenne Ra et la rugosité maximale Rt. La rugosité moyenne est définie par la moyenne arithmétique de tous les écarts de profil par rapport à la ligne moyenne Im. La rugosité maximale est définie quant à elle par l'écart entre le point haut et le point le plus bas du profil de rugosité.
<b>SNFA</b>	Syndicat National de la Construction des Fenêtres-façades et Activités Associées
<b>Test Floride</b>	Ce type de test permet d'avoir une meilleure idée sur la performance anticorrosion d'un système de protection qu'un test au Brouillard Salin. La Floride est l'emplacement d'essais reconnu internationalement pour des tests de vieillissement naturel en extérieur. Les expositions pour altération au climat subtropical de la Floride ne sont pas seulement réalistes, elles sont aussi accélérées. Une année d'ensoleillement en Floride peut égaler plusieurs années d'exposition climatique ailleurs.



---

## Bibliographie

---

**Guide de la prescription**

(AFTA.P)

**Guide de la conception des pièces à thermolaquer**

(STARCOATER)

**La galvanisation – Les bonnes pratiques**

(Galvazinc Association)

**Aspect des menuiseries aluminium thermolaquées – règles professionnelles**

(SNFA-ADAL-GLFA)

**Peintures poudres & liquides sur Zinc**

(AFTA.P-Galvazinc Association)

**La galvanisation à chaud – Conseils aux utilisateurs**

(Galvazinc Association)

**La protection de l'acier par le zinc**

Union des Métalliers (édition 2005)

**Finition de l'acier par laquage et thermolaquage**

Union des Métalliers (édition 2006)

**Directives Techniques référentiel Qualisteelcoat**

AFTA.P

**Atelier de peinture pour la construction métallique**

FFB-CTICM (édition 2014)



---

## Contacts

---



UNION DES MÉTALLIERS  
10 rue du Débarcadère 75017 PARIS  
01 40 55 13 00 – [metallerie@ffbatiment.fr](mailto:metallerie@ffbatiment.fr)  
[www.metal-pro.org](http://www.metal-pro.org)



AFTA.P  
5 place Charles Beraudier 69428 LYON CEDEX 3  
04 27 86 45 92  
[www.aftap.fr](http://www.aftap.fr)



AKZONOBEL  
ZI de la Gaudrée BP 67 91416 DOURDAN Cedex  
[www.interpon.fr](http://www.interpon.fr)



PRESTIA  
ZI La Gare 56460 LA CHAPELLE CARO  
02 97 74 76 56  
[www.prestia.fr](http://www.prestia.fr)



STARCOATER  
Z.I de la croix meyssant B.P. 33 F-42601 MONTBRISON  
Cedex  
04 77 96 70 00  
[www.starcoater.fr](http://www.starcoater.fr)



Oxyplast Belgium NV  
Hulsdonk 35 B-9042 Gent-Mendonk  
+32 9 326 79 30  
[www.protechpowder.com](http://www.protechpowder.com)

ACQPA  
10 rue du Débarcadère 75017 PARIS  
01 40 55 12 08/09  
[www.acqpa.fr](http://www.acqpa.fr)

GALVAZINC ASSOCIATION  
16 Rue Jean Jacques Rousseau 92130  
ISSY-LES-MOULINEAUX  
01 55 95 02 02  
[www.galvazinc.com](http://www.galvazinc.com)



Illustrations des pages : 1.2.9.10.12.17.18.23.24.72.76.79.88.89.110.114.122.124.125.126.127.130.133.149

Figures : 1.2.3.4.5.6.7.8.12.13.14.15.16.17.18.19.20.21.22.23.24.25.26.27.28.32.33.34.36.37.39.41.42.43.44.45.46.48.49.50.51

Crédits photos = Union des Métalliers

Illustrations des pages : 4.30.70

Figures : 9.10.11.29.30.31.38.40.47

Crédits photos = PRESTIA

Illustration de la page 120

Crédits photos = STARCOATER

Illustration des pages 125.150

Figure : 35

Crédits photos = GALVAZINC ASSOCIATION

---

Création graphique : CoxDigital - 06 12 38 72 70



Les membres de l'Union des Métalliers et la Commission Technique vous présentent le nouveau référentiel des Traitements de surface pour les Métalliers :

# PROTECTION ET FINITION DES ACIERS

*Recommandations aux Métalliers pour la mise en œuvre des traitements de surface*

L'acier présente des qualités mécaniques, économiques et esthétiques qui le rendent incontournable que ce soit pour la construction métallique ou les travaux de Métallerie. Mais son utilisation expose les professionnels de la métallerie à un risque important : la corrosion, phénomène pouvant venir altérer les propriétés mêmes de ce matériau.

L'esthétique finale de l'ouvrage résulte, elle, d'une multitude de facteurs. Ces derniers ont tous un rôle à jouer dans le processus de fabrication d'un ouvrage métallique et participent à la qualité de l'ensemble. Si certaines conditions ne sont pas respectées, ces facteurs peuvent être la source de défauts importants.

Les traitements de surface et finitions des ouvrages requièrent donc des savoir-faire importants et spécifiques. Bien que la majorité des entreprises de métallerie ne réalise pas elle-même la protection et la finition de ses ouvrages,

il est nécessaire, ne serait-ce que pour rédiger convenablement les indications à fournir, d'avoir une bonne connaissance des différents systèmes de protection et de mise en peinture, de leurs propriétés et des précautions à prendre en compte pour obtenir un résultat de qualité.

Ce guide vous propose :

- Une Foire Aux Questions, recensant les problématiques courantes que le Métallier rencontre;
- Un accompagnement pour mieux définir un système de protection optimal et adapté;
- Une aide au choix d'un procédé de protection selon l'environnement et l'ambiance;
- Des conseils de conception et de fabrication selon le procédé sélectionné;
- Des précisions sur le rôle de composés tels que le zinc et les peintures;
- Une palette de finition et de revêtement compatible avec les aciers;
- Un volet garanties et assurances précisant les responsabilités des acteurs;

- Des préconisations d'entretien des ouvrages peints et revêtus pour assurer leur pérennité.

Ce document propose également des recommandations de l'Union des Métalliers et des experts des traitements de surface, accompagnées d'astuces et de points de vigilance pour assurer une réalisation de qualité. Et si le lecteur souhaite accroître ses connaissances techniques, il pourra se référer aux annexes ainsi qu'au chapitre **Pour aller plus loin** du présent guide.

Réalisé dans le cadre du Programme Recherche Développement Métier de la FFB, ce guide sur les traitements de surface accompagnera les Métalliers, les donneurs d'ordres et maîtres d'ouvrage, qui promeuvent jour après jour ce matériau d'exception qu'est l'acier.