

L'Importance d'une Spécification Correcte des Revêtements Métalliques pour l'Acier

Livre Blanc

Janvier 2024

Introduction

L'acier joue un rôle essentiel dans notre vie quotidienne. Des ponts que nous traversons aux glissières de sécurité qui nous protègent sur les routes, des pylônes à haute tension aux installations solaires qui alimentent nos maisons, nos hôpitaux et nos bureaux, les structures en acier sont partout autour de nous.

Leur pérennité est assurée par la galvanisation - un procédé de finition essentiel pour prévenir la corrosion de l'acier. L'acier galvanisé est utilisé dans un grand nombre de secteurs et d'industries, de la construction à l'agriculture ; il est particulièrement nécessaire pour les structures et les composants exposés à l'humidité et aux conditions climatiques défavorables.

Cependant, la durabilité et la résistance à la corrosion des produits en acier dépendent entièrement du type de revêtement de galvanisation utilisé ; l'épaisseur et la performance à long terme de ces revêtements ont un impact direct sur la durée de vie et la qualité de la protection de l'acier. Les fabricants reconnaissent depuis longtemps l'intérêt de faire galvaniser leurs produits après leur fabrication ; ce traitement est connu sous le nom de "galvanisation à façon" ou "galvanisation après fabrication".

La galvanisation à façon - parfois appelée "galvanisation à chaud", "galvanisation au trempé" ou "galvanisation après fabrication" - consiste à appliquer sur l'acier une couche de zinc fortement adhérente, formée lors de l'immersion de la pièce en acier dans un bain de zinc en fusion, ce qui produit un revêtement de zinc relativement épais, solide et résistant à l'abrasion.

Comme les revêtements de zinc impliquent la liaison métallurgique du zinc à l'acier, les avantages de la galvanisation à façon sont indiscutables ; les tours de transmission électrique, bâtiments à ossature métallique, ponts et autres structures vitales en service depuis plus de 50 ans témoignent de la longévité des aciers galvanisés.

Le processus de galvanisation à façon est relativement simple, direct et étroitement contrôlé, de sorte que l'épaisseur de la couche de zinc formée est régulière, prévisible et facile à spécifier. Il s'agit en outre de l'un des rares revêtements entièrement définis par une norme internationale (EN ISO 1461). En plus d'avoir un coût de vie plus faible et d'être écologiquement durable, la galvanisation à façon offre de loin la meilleure résistance aux dommages mécaniques pendant la manutention, le stockage, le transport et la construction - facteur important lorsque la charpente métallique doit être expédiée dans le monde entier.

Il y a eu, à différents moments, un certain nombre d'initiatives pour de nouveaux types de revêtements de zinc, mais aucun n'a démontré l'efficacité et la longévité de l'acier galvanisé à façon. Les revêtements électrozingués, par exemple, sont relativement minces et n'ont pas de lien métallurgique entre le zinc et l'acier. La densité des revêtements de zinc par métallisation n'est pas homogène : une préparation soignée de la surface est indispensable à leur fiabilité. Et les peintures riches en zinc ont une capacité de protection limitée par rapport aux revêtements de zinc métallique.

Toutefois, certains composants en acier peuvent être fabriqués à l'aide d'un autre procédé de revêtement de zinc connu sous le nom de pré-galvanisation ou, plus communément, de « galvanisation en continu ». Cette méthode consiste à recouvrir de zinc ou d'alliages de zinc les aciers sous forme de feuilles ou de bandes d'acier. La tôle est passée en continu dans un bain de zinc en fusion et, lorsque le produit refroidit, le revêtement est ensuite essuyé mécaniquement pour produire une fine couche de zinc ou d'alliage de zinc.

L'utilisation de tôles d'acier pré-galvanisées pour fabriquer des composants est généralement limitée à l'intérieur ou à des situations non agressives, en raison de la finesse relative du revêtement et de la liaison métallurgique limitée avec l'acier. À titre de comparaison, l'épaisseur des revêtements de galvanisation à façon est généralement comprise entre 55 et 200 microns, alors que les revêtements pré-galvanisés, y compris les qualités ZM récemment introduites, ont généralement une épaisseur comprise entre 5 et 25 microns. Le revêtement avant la fabrication a également un impact sur la capacité de l'acier à être plié pendant la fabrication, tandis que le découpage ou le soudage crée des zones non revêtues et donc non protégées.

Ces dernières années, cependant, certains producteurs d'acier ont cherché à réinventer l'utilisation des tôles d'acier pré-galvanisées en ajoutant de petites quantités d'aluminium et de magnésium au revêtement - appelé communément « ZM ». Les producteurs d'acier pré-galvanisé de qualité ZM ont détourné l'attention de leurs revêtements plus minces et des problèmes liés à la découpe de la tôle pré-galvanisée pendant la fabrication, en citant des essais accélérés en laboratoire et des essais d'exposition à court terme qui peuvent surestimer les performances de ces types de revêtements.



La galvanisation selon EN ISO 1461 est appliquée après la fabrication des composants en acier afin d'assurer une couverture complète du revêtement.

Il est bien connu que ces tests accélérés sont totalement inappropriés pour comparer différents types de revêtements de zinc ou pour prédire leur durée de vie réelle. L'inclusion des résultats de ces méthodes de test dans les informations commerciales a conduit à des informations surévaluées, inexactes, confuses et trompeuses sur la longévité et les performances des revêtements ZM.

L'objectif de ce document est donc d'expliquer pourquoi la galvanisation à façon s'impose comme système de protection anticorrosion optimal, et de donner une représentation plus précise et plus fiable des performances réelles et de la durée de vie des revêtements, qui permettra aux utilisateurs finaux de prendre une décision plus éclairée sur la protection la plus efficace pour leurs produits en acier.

Dans les chapitres suivants, ce document :

- 1) rectifie et clarifie les affirmations concernant la question des bords découpés et l'effet « auto-réparateur » des revêtements ZM pré-revêtus,
- 2) déconstruit l'utilisation des méthodes d'essais accélérés et évalue leur véritable pertinence en matière de performance anticorrosion,
- 3) examine et vérifie la fiabilité des données sur le comportement et la résistance à la corrosion de chaque type de revêtement dans des environnements types.

Risques de corrosion sur les bords découpés

Pendant de nombreuses décennies, la galvanisation à façon a largement fait ses preuves comme moyen le plus efficace et le plus fiable de protéger l'acier contre la corrosion dans de multiples domaines d'activités et environnements extérieurs, alors que l'utilisation de tôles pré-revêtues était généralement considérée comme une méthode de protection inférieure, plus adaptée à un usage intérieur, ou lorsque la durée de vie du produit était très courte.

La galvanisation à façon d'une pièce ayant lieu après sa fabrication, l'acier est recouvert d'une couche de zinc robuste et résistante à l'abrasion, tant à l'extérieur qu'à l'intérieur. Le produit en acier livré sur le chantier est donc prêt à l'emploi. Aucune autre préparation de surface, peinture, retouche ou inspection n'est nécessaire, et l'installation peut commencer immédiatement, ce qui réduit les délais de construction.

A contrario, la galvanisation en continu s'effectue avant la fabrication de la pièce. Dans ce cas, les bords découpés ensuite ne sont pas galvanisés, entraînant un phénomène d'oxydation plus rapide et des marques de rouille inesthétiques autour des zones exposées et non protégées.

Les dommages au revêtement sont plus susceptibles de se produire sur les bords, où la protection est souvent la plus nécessaire. La galvanisation à façon permet de surmonter ce problème car le procédé implique un revêtement complet par immersion totale du produit, garantissant que toutes les surfaces, trous, bords et zones internes sont couverts, y compris les parties difficiles à atteindre.

Malgré des affirmations contraires, la question des arêtes de coupe représente une faiblesse majeure pour l'utilisation des revêtements ZM. Les prescrire, c'est s'exposer à voir de la rouille sur les arêtes de coupe, et ce dès la livraison du produit.

La nécessité de rassurer les clients sur cette faiblesse notable a ensuite conduit à des affirmations potentiellement trompeuses de la part des fournisseurs de ZM.

On prétend, par exemple, qu'un effet d'auto-guérison se produit dans les revêtements ZM grâce à la formation d'un film protecteur de surface qui couvrirait et protégerait progressivement le bord ou la zone endommagée. En outre, on assure souvent que cet effet d'auto-guérison se produira dans tous les types d'environnements naturels si l'acier sous-jacent est coupé, perforé ou rayé.

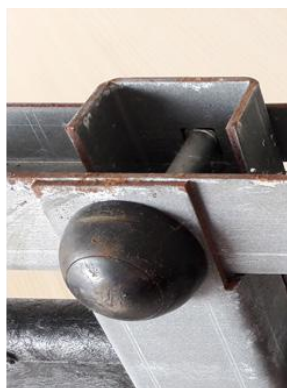
C'est sans compter sur le fait que la vitesse d'initiation et la durée de l'effet d'auto-guérison sont fortement influencées par l'agressivité de l'environnement.

Et dans le cas d'une corrosion limitée, peu ou pas d'auto-guérison a été observée dans de nombreux cas - comme le montrent les **Figures 1 et 2** : échantillons d'acier revêtu de ZM après une courte période d'exposition (bords découpés non revêtus et montrant des signes de corrosion).

Figure 1



Figure 2



La protection des arêtes de coupe pour les aciers d'une épaisseur supérieure à 2 mm, où l'effet cathodique disparaît en raison de la réduction de l'épaisseur du revêtement, est particulièrement discutable dans un environnement peu agressif. Des utilisateurs d'aciers revêtus de ZM ont rapporté que de la rouille peut encore être observée après 25 mois sur les arêtes de coupe "auto-régénérées" de pièces situées dans des environnements ruraux.

L'utilisation des produits en acier ZM dans des environnements plus agressifs et avec un ratio élevé arêtes de coupe/ surface est encore plus problématique. L'effort du revêtement pour protéger les arêtes de coupe peut dans ce cas entraîner une consommation réelle du revêtement. Ce phénomène est d'autant plus inquiétant quand les produits cumulent arêtes de coupe non protégées et faible épaisseur initiale du revêtement.

Dans leur étude sur la corrosion des revêtements ZM dans un environnement marin, Tomandl et al¹ ont observé que les revêtements ZM adjacents aux bords coupés étaient complètement consommés en l'espace de trois ans sur un site d'essai en Chine et d'un an seulement sur un site d'essai au Mexique (Figure 3). Les auteurs de cet article ont conclu que : « ...sur les échantillons d'une épaisseur de 2 mm, la protection cathodique sur les bords coupés n'existe plus après la conversion de la couche située à 2-3 mm du bord... » et que, « ...selon cette évaluation, une protection à long terme sur les bords coupés ne peut être attendue que sur les échantillons provenant de l'endroit où la corrosivité est la plus faible... »

Figure 3

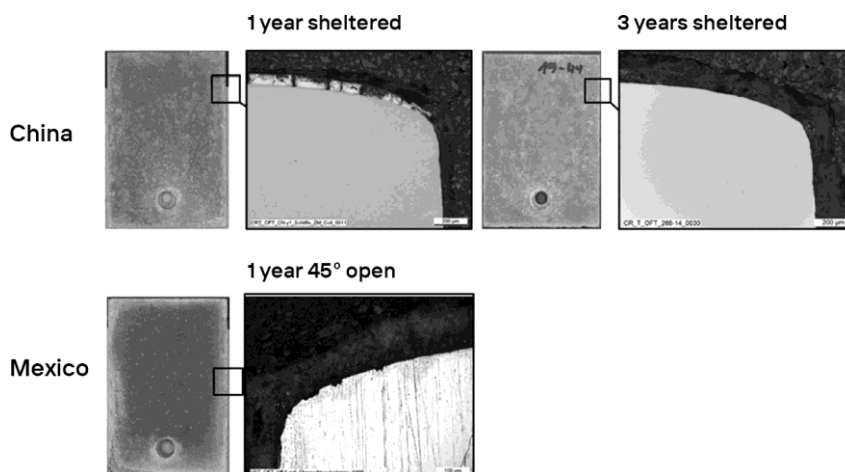
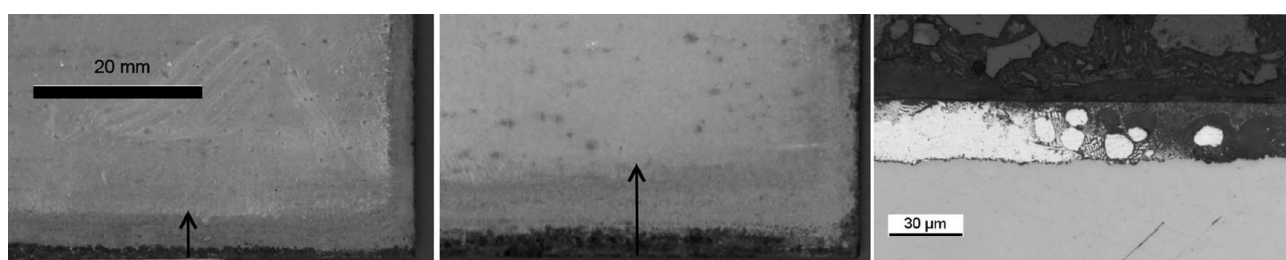


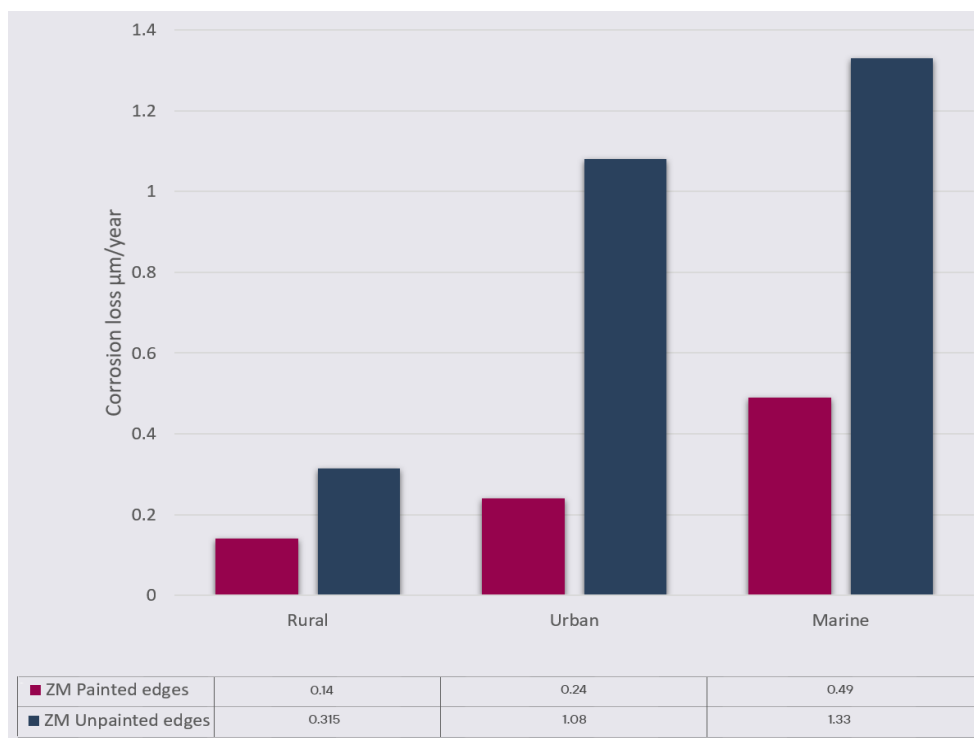
Figure 4



Il est évident que les arêtes de coupe non protégées possèdent une grande influence sur la vitesse de corrosion des zones qui leur sont adjacentes (Figure 4).

Ces effets ne sont pas mentionnés dans la plupart des essais de corrosion à court terme rapportés pour les revêtements ZM. Les bords découpés et le dos des échantillons utilisés dans les tests d'exposition à l'extérieur sont généralement protégés soit par du ruban adhésif, soit par de la peinture. Cette méthode d'essai évite tout incidence des bords découpés sur la corrosion du panneau utilisé pour le test - ce qui constitue un écart important par rapport à la réalité pour de nombreux produits en acier où des revêtements ZM peuvent être utilisés. Cet effet important a été démontré dans une étude d'exposition atmosphérique. Menée sur 5 ans au Japon, elle a mis en évidence la différence significative de performance anticorrosion lorsqu'elle est mesurée, dans un cas avec peinture des bords découpés et, dans l'autre cas sans cette peinture (Figure 5)².

Figure 5



Le manque de confiance dans l'effet autoguérissant revendiqué peut se refléter dans les garanties offertes pour les aciers revêtus de ZM, qui indiquent souvent que l'effet visuel et la décoloration de la surface due à l'écoulement des arêtes de coupe ne sont pas couverts, pas plus que les dommages accidentels tels que les rayures ou les bosses qui doivent être réparées.

Tests accélérés trompeurs

Les performances anticorrosion des produits en acier galvanisé à façon sont largement documentées - sur la base à la fois d'essais d'exposition sur le terrain et de l'expérience de produits ou de structures suivis tout au long de leur vie. La pérennité d'un revêtement de galvanisation à façon est donc très prévisible : elle est directement proportionnelle à son épaisseur dans un environnement donné.

Toutefois, le manque de données à long terme sur les performances des produits ZM dans les environnements extérieurs a conduit les fournisseurs à se tourner vers des méthodes d'essais accélérés telles que le test controversé du brouillard salin. Ces essais accélérés ont été réalisés à titre de comparaison ; et ce, malgré les directives claires des normes ISO spécifiant que ces essais ne doivent jamais être utilisés pour comparer ou classer les performances de différents matériaux en matière de résistance à la corrosion, ou comme un moyen de prédire les performances à long terme.

Ces essais n'ont aucun rapport avec les conditions réelles d'utilisation, et pourtant ils sont largement utilisés pour promouvoir les aciers revêtus de ZM.

Il est notable que les plus petites variations dans les conditions d'essai peuvent induire artificiellement des différences de performance entre les revêtements allant jusqu'à 10 fois. Ce chiffre est exploité par un certain nombre de fournisseurs de ZM pour affirmer que les revêtements ZM peuvent durer près de 10 fois plus longtemps que les produits revêtus de zinc conventionnels - une hypothèse qui se révèle absolument fausse.

Cette performance "découplée" ne peut être obtenue que par des essais accélérés dans des environnements à concentration en sel élevée et irréaliste. Un résultat entièrement différent serait obtenu en abaissant la concentration de NaCl dans le test, ce qui démontre pourquoi les normes ISO stipulent que de tels tests ne doivent jamais être utilisés à des fins de comparaison de matériaux différents.

En examinant de plus près cette procédure de test irréaliste, on obtient des informations supplémentaires sur les raisons pour lesquelles ces méthodes ne sont pas valables. Les échantillons testés sont introduits dans une chambre à température contrôlée où une solution contenant du sel est pulvérisée en continu, à 35°C, sous la forme d'un brouillard très fin. Les échantillons sont donc constamment mouillés, sans séchage cyclique, et par conséquent constamment soumis à la corrosion. Ces conditions ne se produisent pas dans la réalité ; elles empêchent les métaux tels que le zinc de former un film passif comme cela serait le cas en conditions réelles.

Le test peut également donner des résultats trompeurs lorsqu'on compare différentes variantes de revêtements de zinc. Par exemple, de petits ajouts de magnésium ou d'aluminium à un revêtement de zinc produiront des résultats avec le test au brouillard salin qui diffèrent sensiblement de ceux observés dans des conditions réelles d'exposition. Les ions de magnésium favorisent la formation de produits de corrosion protecteurs en présence des niveaux élevés de chlorure de sodium injectés lors de ces essais, ce qui réduit les vitesses de corrosion observées. Cela explique pourquoi les revêtements ZM présentent des performances artificiellement meilleures que celles du zinc, lors d'essais accélérés impliquant une humidité continue et une forte charge en chlorure. Cela ne se produira pas dans des situations réelles.

Pour illustrer davantage ce point, le laboratoire français du CETIM a effectué, à la demande de l'EGGA, un test accéléré sur des pièces d'une part en acier galvanisées à façon et d'autre part revêtues de ZM. Ce test standard, développé à l'origine par le constructeur automobile VOLVO, omet les chlorures dans la chambre d'essai. Les résultats ont montré que les échantillons galvanisés à façon présentaient des performances supérieures en matière de corrosion lors de cet essai (Figure 6). Cela ne justifie pas l'utilisation d'un essai accéléré pour la comparaison des revêtements métalliques, mais cela montre très clairement que le choix des conditions d'essai peut inverser les résultats des essais.

Figure 6



Figure 6: Résultats d'un essai de corrosion accéléré (en l'absence de chlorures) sur un échantillon galvanisé à façon (à gauche) et un échantillon en acier revêtu de ZM (à droite) après 10 cycles.

Malheureusement, l'utilisation de résultats de tests au brouillard salin pour guider le choix de revêtements de protection de l'acier reste un problème sérieux dans la communauté des ingénieurs. Malgré les limites bien connues du test dans le "secteur de la corrosion", il sert trop souvent à promouvoir l'utilisation de revêtements dont les propriétés semblent donner des résultats favorables. Malgré l'attrait d'informations rapides et à court terme, rien ne remplace les données sur la corrosion générées par des essais d'exposition à long terme et les informations sur les antécédents des structures ou composants en utilisation réelle.

Comportement et Résistance à la Corrosion

Nous l'avons vu précédemment : le comportement des revêtements métalliques en conditions réelles diffère sensiblement de leur comportement lors d'essais accélérés. En effet, les conditions de laboratoire ne reflètent jamais l'environnement réel, et des conditions d'essai spécifiques peuvent être particulièrement agressives (ou non agressives) pour certains types de revêtements.

En réalité, les variations de température, de volume des précipitations, de niveau d'humidité, de charge polluante ou de distance par rapport à la mer peuvent toutes avoir un effet décisif sur le comportement global à la corrosion. Ces phénomènes sont presque impossibles à reproduire dans le cadre d'essais accélérés.

Les essais accélérés se révélant très trompeurs lorsqu'on compare les aciers ZM aux aciers galvanisés à façon, les fournisseurs de ZM se sont tournés vers les résultats d'exposition atmosphérique à court terme, recueillis en quelques années seulement. Mais ces études peuvent également mystifier les utilisateurs si elles sont extrapolées pour indiquer des performances à plus longue échéance. Pour tester avec précision l'exposition, une ou deux années sont loin d'être représentatives des performances à long terme.

Dans les essais souvent cités dans les plaquettes commerciales, les vitesses de corrosion des revêtements de zinc conventionnels apparaissent nettement plus élevées la première année par comparaison. Là encore, il ne s'agit pas d'une représentation exacte des performances à long terme, car au cours des années d'exposition suivantes, les revêtements de zinc conventionnels ont des vitesses de corrosion beaucoup plus faibles et restent plus stables que les revêtements ZM, principalement en raison de la formation de patine à leur surface.

Des études montrent que, pendant les premières années d'essai, les vitesses de corrosion du zinc sont nettement plus élevées par rapport à celles de l'acier revêtu de ZM, ce qui n'est pas le cas lorsqu'une situation de corrosion stable a été atteinte. Cela s'explique par le fait que pendant la première année d'exposition, un revêtement de zinc n'aura pas développé sa patine protectrice. Inversement, la phase magnésium de la surface du revêtement ZM sera épuisée au cours des années suivantes, mais moins au cours des premières années. L'approche la plus correcte scientifiquement serait d'écarter les données de la première année (et probablement aussi celles de la deuxième année) dans tout essai de corrosion à long terme pour le zinc ou les alliages de zinc, et de se concentrer sur les données ultérieures comme meilleure indication des performances réelles.

Ce fait demeure incontesté dans la communauté scientifique de la corrosion, et il est étayé par une multitude de données sur l'exposition atmosphérique à long terme pour les revêtements galvanisés à façon. Si l'on n'en tient pas compte, les performances comparées des revêtements de galvanisation à façon et de ZM sont faussées en faveur des aciers revêtus de ZM, du fait que l'on se concentre sur les premières années de ces essais.

Un article de Thierry et al (2019) a décrit un programme mondial d'essais d'exposition et rapporte des résultats sur une période de 4 ans qui ont été utilisés dans les documents promotionnels des producteurs d'acier ZM. Malheureusement, ces résultats incluent l'influence des données de la première année et de la deuxième année. Cependant, les vitesses de corrosion de chaque année sont données dans le même document, ce qui permet de recalculer les vitesses de corrosion pour la galvanisation à chaud et les revêtements ZM pour les dernières années d'exposition, plus pertinentes. Le rapport de performance entre la galvanisation à chaud et l'acier revêtu de ZM change de manière significative lorsque la comparaison est basée sur les 2 dernières années et non plus sur les 2 premières années. Cela confirme le potentiel important de distorsion des prévisions de performance à long terme lorsque de telles études ne sont pas soigneusement interprétées et communiquées.

La galvanisation à façon après fabrication, conformément à la norme EN ISO 1461, garantit une couverture complète d'une pièce en acier et une épaisseur de revêtement de zinc optimale pour la durabilité à long terme des structures en acier.



Le programme d'exposition rapporté dans Thierry et al (2019)⁵ indique également que, comme le montre le Tableau 1, pour certains des sites, la performance anticorrosion des aciers revêtus de ZM pour les deux dernières années d'essai est très similaire à celle des revêtements de zinc.

Tableau 1: Ratio de performance calculé Galvanisation à façon/ZM pour des sites sélectionnés dans le cadre du programme d'exposition mondiale, sur la base de Thierry et al (2019)

Sites d'exposition	Après 1 an	Après 2 ans	Après 4 ans	3 dernières années	2 dernières années	Environnement
Cadix (Espagne)	2.4	2.3	1.6	1.4	1.3	Marin/Urbain
Kvarnvik (Suède)	2.5	4.3	2.1	2.0	1.1	Marin
Singapour	2.7	2.5	2.0	1.7	1.5	Marin/Urbain
Wanning (Chine)	2.8	3.2	1.9	1.6	1.1	Marin
Moyenne	2.6	3.07	1.9	1.67	1.25	

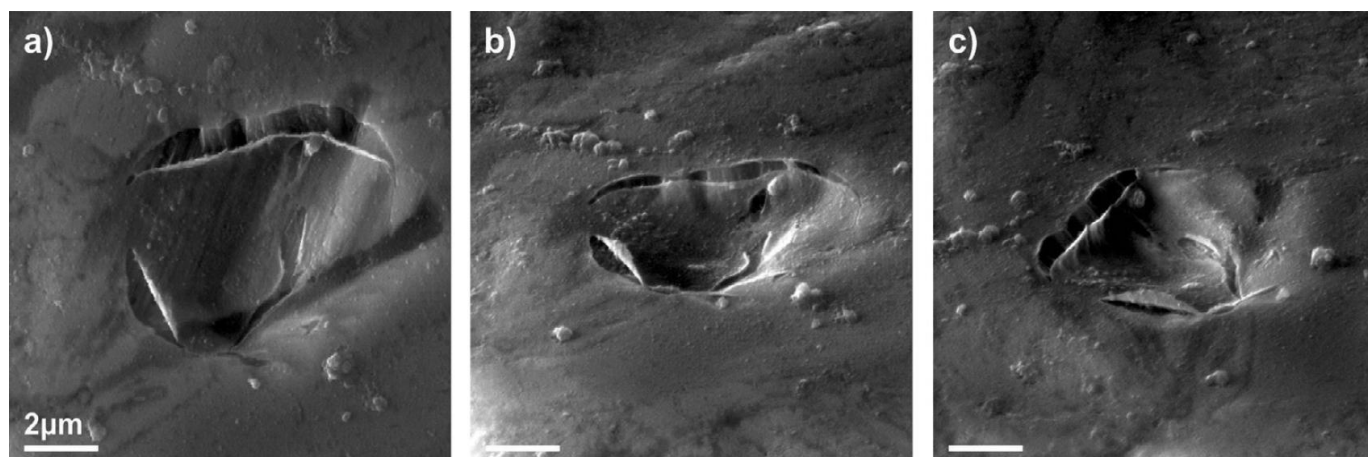
Même après avoir sélectionné les données les plus pertinentes dans ces études d'exposition, un autre problème émergeant important dans l'évaluation du comportement à la corrosion des aciers revêtus de ZM est la méthode scientifique utilisée pour éliminer les produits de corrosion, et donc pour calculer les pertes par corrosion. Les procédures normalisées reconnaissent désormais que les méthodes de laboratoire utilisées pour éliminer les produits de corrosion sous-estiment ces pertes par corrosion, car la méthode la plus souvent utilisée pour la corrosion du zinc ne fonctionne pas efficacement pour la corrosion de l'acier ZM. Plus simplement, la méthode dite de la "glycine" n'élimine pas complètement les produits de corrosion créés par les phases d'aluminium et de magnésium du revêtement ZM. La version la plus récente de la norme ISO 8407 (qui est la norme internationale relative aux méthodes d'élimination des produits de corrosion dans ces essais) a reconnu ce problème et indique que la "méthode de la glycine" ne convient pas pour évaluer les pertes dues à la corrosion des aciers revêtus de ZM. Cela signifie que les estimations telles que celles données au Tableau 1 sont très susceptibles de sous-estimer la corrosion de l'acier ZM et de surestimer ses performances.

L'imprévisibilité et l'incertitude quant à la véritable performance anticorrosion des aciers revêtus de ZM sont principalement dues aux différentes microstructures associées aux diverses compositions de zinc, d'aluminium et de magnésium présentes dans ces revêtements. Les revêtements d'alliage ZM contiendraient des dendrites de zinc entourées d'une phase ternaire de zinc, d'aluminium et de $MgZn_2$ intermétallique, qui est plus active dans la série galvanique que le zinc et qui se corrodera de préférence pour protéger l'acier. En réalité, il n'y a pas de corrosion uniforme de l'acier revêtu de ZM. Les zones limites riches en magnésium et en aluminium sont consommées préférentiellement. Dans les zones présentant des défauts ou dans les zones non uniformes, les risques d'attaque par piqûres et de consommation complète du revêtement sont très élevés.

A court terme, les zones limites (riches en magnésium et en aluminium) sont attaquées, suivies par les grains riches en zinc. Ce fait est confirmé par les cartes SDE qui montrent un grave appauvrissement en magnésium et zinc en surface. Les données recueillies dans le cadre du projet DURADH RFCS ont révélé une baisse continue de la valeur d'impédance au fil du temps, indiquant la dissolution progressive du revêtement d'oxyde et la corrosion en forme de fosse de l'alliage contenant du magnésium.

La **Figure 7** montre des images de balayage électronique sous différents angles d'inclinaison et d'azimut. On remarque que la fosse de corrosion qui s'est formée est encore recouverte d'une fine couche du revêtement ZM d'origine. A l'inverse, le processus de corrosion de l'acier galvanisé à façon est relativement stable et uniforme dans le temps.

Figure 7



La Corrosion dans des Environnements Spécifiques

Tunnels

Dans le cadre d'un projet pour le contournement de Stockholm (Förbifart Stockholm), Swerea KIMAB⁸ a aidé l'administration suédoise des transports (Trafikverket) à élaborer des exigences en matière de corrosion des matériaux et des revêtements utilisés dans les tunnels routiers.

Les résultats des tests effectués sont présentés dans les **Figures 8 et 9**.

Figure 8

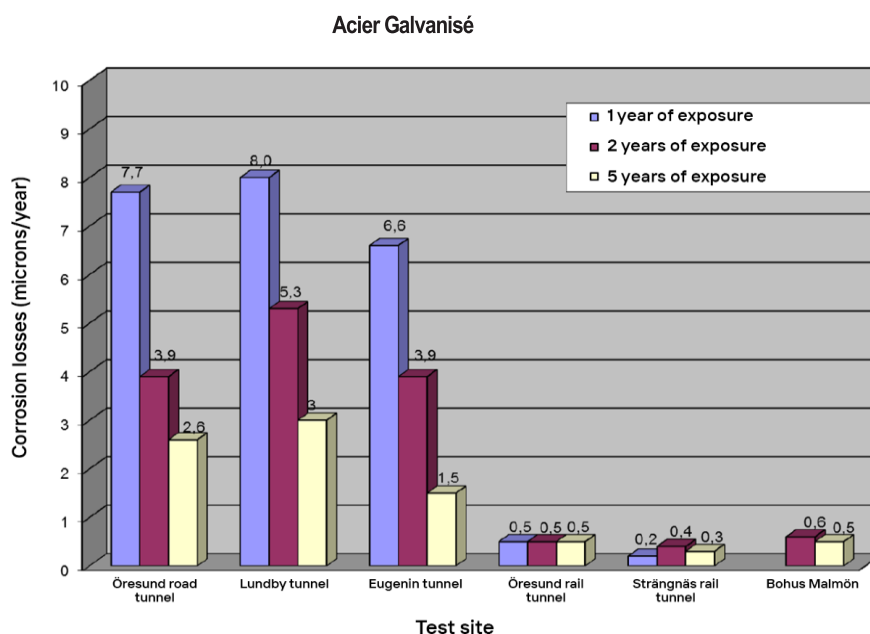
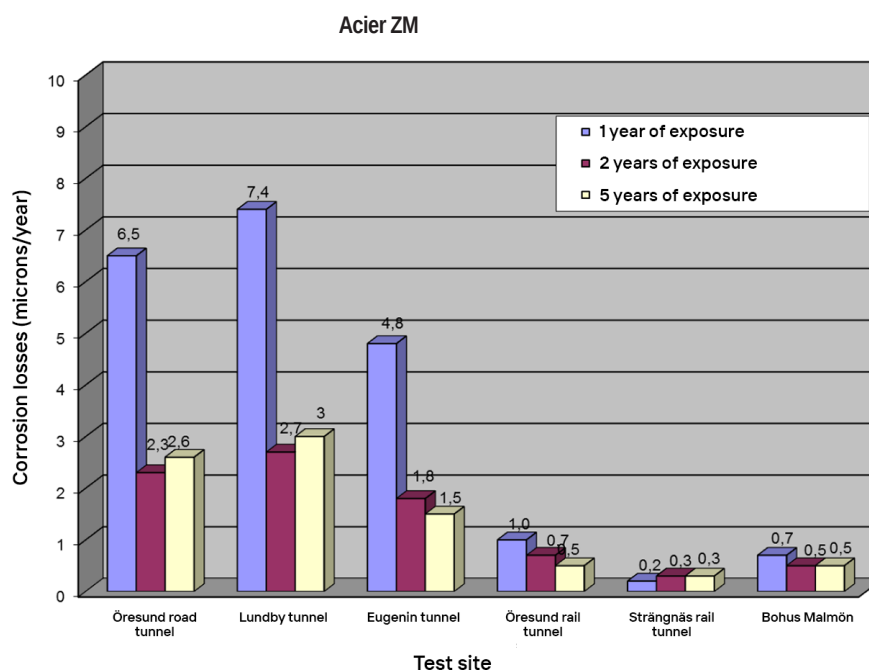


Figure 9



Ces essais n'ont pas montré de différence significative dans les vitesses de corrosion des aciers revêtus de zinc (galvanisation à façon) et de ZM. La performance attendue du revêtement serait donc déterminée par l'épaisseur du revêtement, comme indiqué dans le Tableau 2.

Tableau 2

Microns/an sur la base d'une exposition de 5 ans	Tunnel routier 1	Tunnel routier 2	Tunnel routier 3
Acier Galvanisé	2.6	3.0	1.5
ZM	2.6	3.0	1.5
Durée de vie prévisible (années) Galvanisé (85 microns)	33	28	57
Durée de vie prévisible (années) ZM 310 (24 microns)	9	8	16

Espaces Confinés et qui se Chevauchent

La perte de métal dans les revêtements de zinc classiques sur des produits se trouvant dans des espaces confinés - ou avec des surfaces qui se chevauchent - est environ deux fois plus élevée que dans le cas d'une exposition à l'air libre. Toutefois, ce rapport s'est avéré sensiblement plus élevé pour les revêtements ZM avec une perte de métal jusqu'à 12 fois plus élevée dans les mêmes circonstances. Ceci est illustré dans la **Figure 10**.

Dans un essai similaire sur la performance des revêtements dans des situations confinées (appelé "hem-flange" dans la **Figure 11** ci-après), les revêtements ZM ont perdu quatre microns en deux ans, sur un total de sept microns.

Figure 10

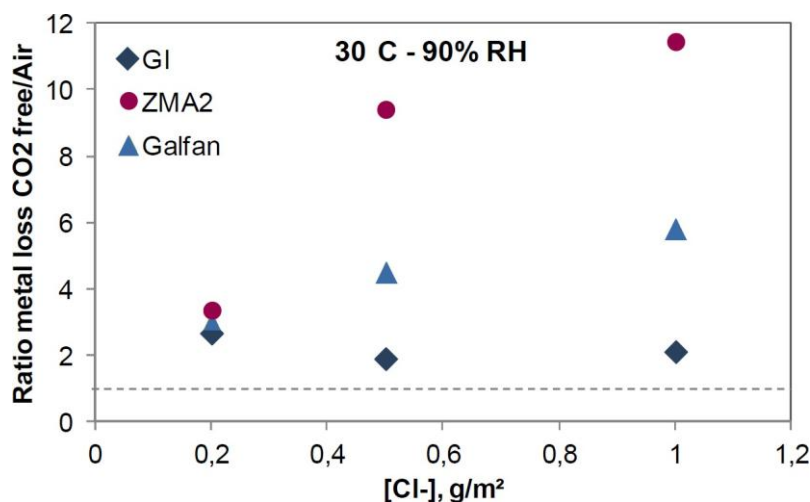
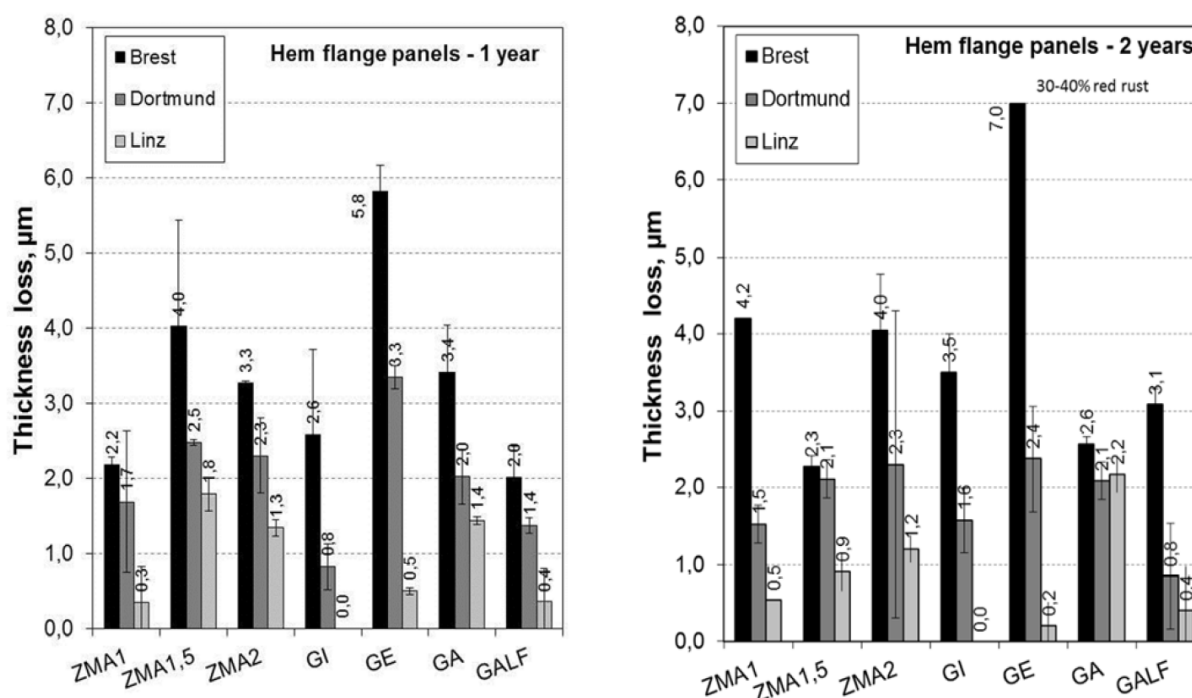


Figure 11



Comportement dans le Béton

La performance des revêtements ZM dans le béton a également été surestimée sur la base d'essais en laboratoire. Un exemple d'essai non représentatif de comportement à la corrosion dans le béton est celui dans lequel une faible épaisseur de revêtement a été choisie pour comparaison (20 microns), testée de plus dans une solution à forte alcalinité sur 12 semaines en laboratoire. En réalité, le béton ne présente une alcalinité élevée que dans les premières 24-48 heures jusqu'à ce que le béton durcisse, puis que le pH change.

Lorsque nous examinons le comportement des revêtements de zinc conventionnels dans le béton, nous constatons que seule une infime partie du revêtement est consommée pendant les premières heures, jusqu'à ce que le béton durcisse. L'épaisseur restante s'avère plus que suffisante pour assurer une protection à long terme. Dans le cas des revêtements ZM, la faible épaisseur initiale du revêtement signifie que l'épaisseur restante sera probablement insuffisante pour une protection pérenne.

Résistance à l'Abrasion en Milieu Désertique

Des essais à court terme (deux ans) ont été cités dans lesquels l'abrasion d'un revêtement de galvanisation à façon est plus élevée que celle d'un revêtement ZM. Les revêtements de galvanisation à façon sont bien connus pour leurs niveaux élevés de résistance à l'abrasion grâce à leurs couches d'alliages fer-zinc dures et compactes. Ces dernières se trouvent juste en dessous d'une couche extérieure de zinc plus tendre. Lors d'un essai à court terme, il est peu probable qu'elles aient été exposées, la période de deux ans n'étant pas significative : leur contribution à long terme à la résistance à l'abrasion passera donc inaperçue. Une fois de plus, un essai à court terme donne une indication trompeuse des performances à long terme.

Il est intéressant de noter que des essais à court terme d'aciers ZM dans des environnements désertiques ont montré des pertes par corrosion exceptionnellement élevées pendant des périodes comprenant d'importants épisodes de tempêtes de sable. Cela a été attribué au caractère relativement mou du revêtement ZM.

Les Environnements d'Élevage

Des essais à court terme pour évaluer la performance des aciers ZM à la corrosion dans les environnements d'élevage ont été cités dans des plaquettes commerciales. Les essais ont été effectués dans un environnement "basique" avec un pH de 11,7. Toutefois, le pH créé par les déchets animaux diffère sensiblement de ces hypothèses. Il est en effet beaucoup plus proche d'un environnement acide dans lequel les revêtements ZM ne seraient pas aussi performants.

En outre, ces essais ont été effectués sur une période de 24 heures uniquement, bien avant que les revêtements de galvanisation à façon ne puissent créer une patine protectrice.

Formage

Le formage des aciers revêtus de ZM entraîne également des complications. Les revêtements ZM offrent actuellement une formabilité inférieure à celle des aciers zingués classiques, car les phases fragiles des revêtements ZM peuvent entraîner des fissures dans les zones fortement déformées.

Cela occasionnerait la formation de produits de corrosion, ainsi qu'une dégradation supplémentaire de la résistance à la corrosion lorsque les fissures développent une grande ouverture. Donc, la géométrie et la surface des outils de formage devraient être adaptées au matériau pour compenser. La **Figure 12** illustre ces problèmes de manière plus détaillée.

Figure 12

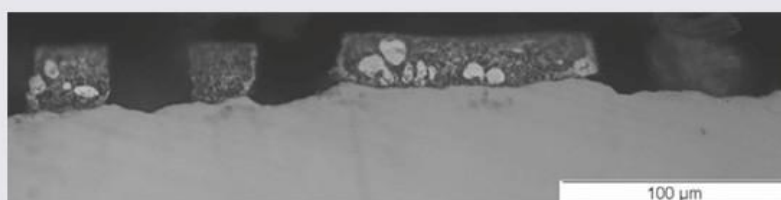
Effect of forming on ZM coated steels

Zn-Al-Mg coating after bending through 2 x section thickness



Source: Nisshin Steel, Galvatech 2011

Zn-Al-Mg coating after 180° bending (without mandrel)



Source: CENIM, Spain

Zn-Al-Mg coating at formed area of typical highway guard rail



Source: CENIM, Spain

Schuerz et al¹⁰ ont observé qu'à un niveau de 5 % de déformation plastique, des fissures sont visibles à la surface et dans le revêtement ZM. À un niveau de déformation de 10 %, les fissures traversent le revêtement et atteignent le substrat. La longueur et l'ouverture de ces fissures augmentent avec le degré de déformation et sont associées à la présence de la phase intermétallique fragile $MgZn_2$ dans les revêtements ZM.

Zunko et al¹¹ ont étudié l'effet de différents niveaux de déformation (étirement par étapes) sur trois épaisseurs de revêtement ZM différentes de 7, 15 et 24 μm . Si la formation de nouvelles fissures avec l'augmentation de l'allongement est favorisée sur les revêtements les plus minces (la densité des microfissures sur les revêtements de 7 et 15 μm augmente avec le taux de déformation), sur les revêtements plus épais en revanche, il n'y a pas de nouvelle formation de fissures dans la plage de déformation observée, mais la largeur moyenne des microfissures augmente avec l'augmentation de l'allongement. La Figure 13 montre des images de la surface de l'échantillon avec un revêtement de 24 μm à 7 % d'allongement (a) et à 27 % d'allongement (b). On observe que la largeur moyenne des microfissures et la proportion de zones ouvertes augmentent avec l'allongement.

Figure 13

Fig 13a : Surface image of sample 3 at 7% elongation

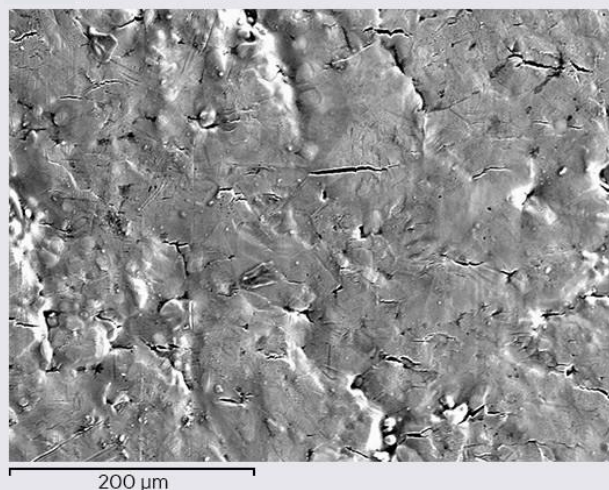
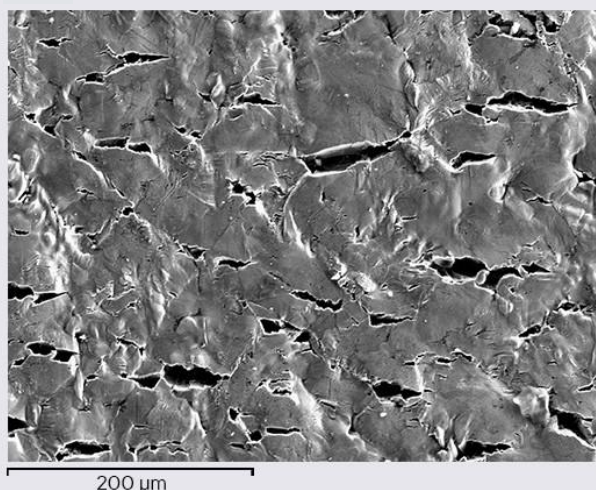


Fig 13b : Surface image of sample 3 at 27% elongation



Résumé

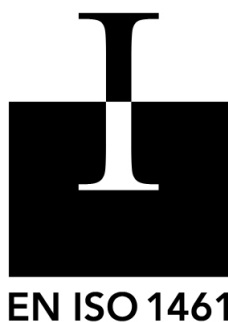
Tout au long de ce document, nous avons examiné et évalué de manière approfondie de nombreux essais, données, recherches et informations commerciales provenant de l'industrie de la galvanisation à façon, ainsi que les informations qui sont utilisées pour promouvoir l'utilisation des revêtements ZM.

Nous avons souligné les nombreux avantages avérés des revêtements de galvanisation à façon et avons soigneusement déconstruit les nombreuses affirmations sur les ZM afin de clarifier et de corriger les informations commerciales qui, depuis un certain temps, sont potentiellement trompeuses et déroutantes pour les utilisateurs finaux.

Après avoir évalué ces preuves, il est irréfutable que les performances, le comportement, la durée de vie et la résistance à la corrosion des revêtements de galvanisation à façon – dans des contextes variés - sont supérieurs à ceux des tôles d'acier pré-revêtues - même par la dernière gamme de revêtements ZM.

Notre mission est de promouvoir la transparence et la fiabilité dans tous les processus de recherche et d'essai utilisés pour évaluer les performances des revêtements. L'objectif de l'industrie de la galvanisation à façon est de garantir aux prescripteurs et utilisateurs finaux l'accès à des informations honnêtes, précises, éprouvées et complètes ; et donc, de spécifier avec discernement les revêtements les mieux adaptés aux exigences de leurs produits en acier et à celles de leurs environnements spécifiques.

L'industrie de la galvanisation à façon s'est engagée à promouvoir l'exceptionnelle durée de vie des produits en acier, et nous continuerons à défendre la galvanisation à façon de l'acier comme une protection éprouvée, fiable et durable dans tous les environnements.



Références

Figure 1	Associazione Italiana Zincatura, Italy Figure 2 Galvazinc, France
Figure 3	Référence 1, Figure 9, page 1291
Figure 4	Référence 1, Figure 10, page 1291
Figure 5	Japan Galvanizers Association (Référence 2) Figure 6 EGGA-CETIM study results
Figure 7	Référence 7, Figure 6, page 331
Figure 8	Référence 8, Figure 45, page 51
Figure 9	Référence 8, Figure 46, page 52
Figure 10	Référence 3, Figure 73, page 83
Figure 11	Référence 3, Figure 36, page 47
Figure 12	Référence 9, Fact 4
Figure 13	Référence 11, Figures 8, 9 17, 18, 19, Pages 338 and 340

Références

1. A. Tomandl, E. Labrenz, The corrosion behavior of ZnAlMg alloys in maritime Environments, Materials and Corrosion 2016, 67, No. 12, p. 1286
2. H. Shibayama, Y. Takedomi, Comparative performance of galvanizing with continuously applied Zn-Al-Mg coatings. Results of exposure tests in Japan, 24th International Galvanizing Conference Intergalva, Liverpool, 2015
3. European Commission, EUR 26323 — Advanced zinc-based hot dip coatings for the automotive application (AUTOCOAT), Publications Office of the European Union, ISBN 978-92-79-34587-6, Luxembourg, 2013
4. Research report VOLVO VCS 1027:33719 (2005) Climate ageing test for various zinc and zinc alloy coatings (CET0144715_PV_FINAL_01_b_EN), CETIM, 2017
5. D. Thierry, D. Person, G. Luckeneder, K.H. Stellnberger, Atmospheric corrosion of ZnAlMg coated steel during long term atmospheric weathering at different worldwide exposure sites, Corrosion Science, Volume 148, 2019, Pages 338-354, ISSN 0010-938X
6. European Commission, EUR 27718 - Durability of adhesively bonded surfaces finished galvanised steels in corrosive environments (DURADH), Publications Office of the European Union, ISBN 978-92-79-54690-7, Luxembourg, 2014
7. J. Duchoslav, M. Arndt, R. Steinberger, T. Keppert, G. Luckeneder, K.H. Stellnberger, J. Hagler, C.K. Riemer, G. Angeli, D. Stifter, Nanoscopic view on the initial stages of corrosion of hot dip galvanized Zn-Mg-Al coatings, Corrosion Science, Volume 83, 2014, 327–334
8. Research report Corrosion and corrosion protection of metallic materials in tunnels (KIMAB-2014-113), KIMAB, 2014
9. Technical Factsheet Batch hot dip galvanizing and continuously coated ZM grade steels – a true comparison, EGGA, 2013
10. Susanne Schürz, Korrosionsverhalten von Zn-Al-Mg-beschichtetem Stahlband, PhD thesis, Montanuniversität Leoben, 2010
11. H. Zunko, A. Hackl, H. Antrekowitsch, R. Ebner, R. Brisberger, F. Priewasser, C.K. Riemer, Analyse des Umformverhaltens von Zn-Al- Mg-Beschichtungen, Springer-Verlag, BHM, 154. Jg. (2009), Heft 7, 334-341
12. Commercial brochure, PosMAC® 3.0 POSCO Magnesium Aluminium alloy Coating product, Published August 2018

European General Galvanizers Association

14-16 Reddicroft B73
6AZ
United Kingdom

www.egga.com
Email: mail@egga.com