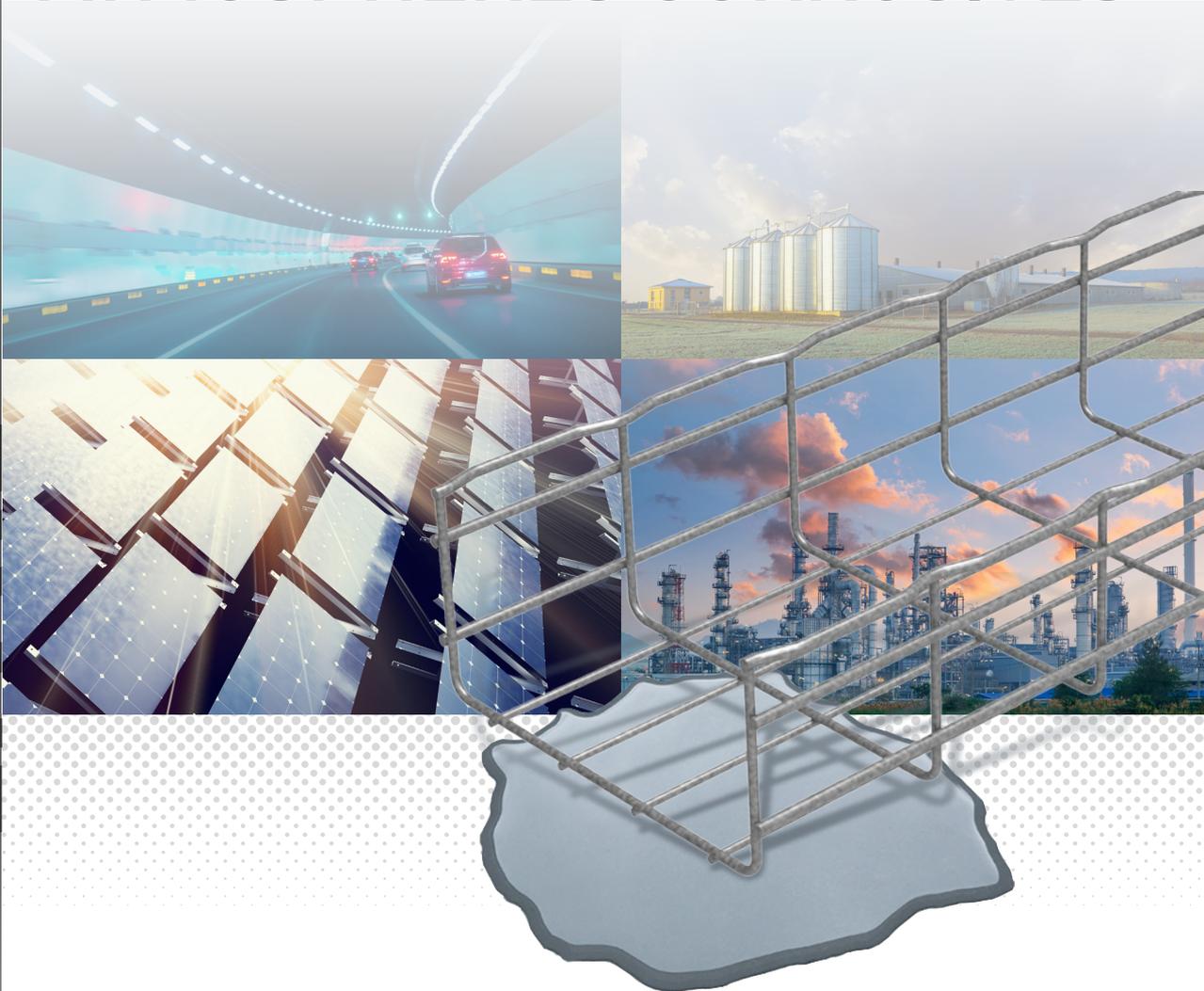


# GALVANISATION À CHAUD ET FINITIONS HAUTES RÉSISTANCES POUR ATMOSPHÈRES CORROSIVES

LIVRE  
BLANC



L'offre de solutions globales de chemins de câbles en fil d'acier soudés (et d'accessoires) proposée par Cablofil est l'une des plus complètes du marché.

Elle offre une véritable liberté de cheminement en permettant la réalisation de configurations multiples dans un vaste choix de finitions pour une intégration optimale dans tous les environnements.

Les chemins de câbles Cablofil sont résistants à la corrosion grâce aux divers traitements de surface possibles : à chaque environnement, sa solution !

Ce livre blanc permet de comparer les solutions Hautes résistances (HR) et de Galvanisation à chaud (GC) ainsi que de mettre en lumière la nouvelle gamme Hautes Résistances, les fils ZnAl, la tôle et accessoires en ZnMg et visserie en ZnNi.

#### INFORMATIONS LÉGALES

Une attention particulière sur les photos de présentation qui n'incluent pas les équipements de protections individuelles qui restent une obligation légale et réglementaire.

Conformément à sa politique d'amélioration continue, la Société se réserve le droit de modifier les spécifications et les dessins sans préavis. Toutes les illustrations, les descriptions et les informations techniques contenues dans cette documentation sont fournies à titre indicatif et ne peuvent être tenues comme contraignantes pour la Société.

## SOMMAIRE

Résistance à la corrosion .....	4
Tests en extérieur.....	5
Tests Brouillard Salin .....	6
Tests au soufre (test SO <sub>2</sub> , test dit "Kesternich").....	8
Résistance mécanique .....	9
Barbes de zinc .....	10
Aspects .....	11
Observation au Microscope Électronique à Balayage .....	11
Aspect général.....	12
Picots ("zinc flakes") .....	13
Évolution naturelle .....	15
Comportement aux découpes .....	16
Après production .....	16
Moyens de découpe sur chantier.....	17
Phénomène de recouvrement et protection des zones pliées sur site .....	19
Respect de l'environnement.....	20
Annexes .....	22

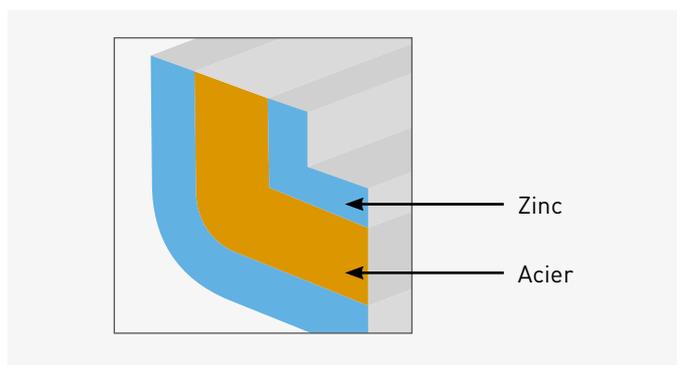
# RÉSISTANCE À LA CORROSION

La fonction première d'un chemin de câbles est avant tout d'être un support pérenne, efficace et résistant.

Thème récurrent de toutes les applications métalliques, une corrosion non maîtrisée peut entraîner la dégradation des performances et altérer la pérennité de l'installation, par réaction chimique ou électrochimique. Le cheminement de câbles est exposé à un environnement qui peut être plus ou moins agressif et ainsi être source de corrosion.

Corrosion environnementale : lorsqu'un acier (Fer + Carbone) est en contact avec un catalyseur et de l'oxygène, se forme en surface de l'oxyde de fer (rouille rouge). Il existe deux types de protections :

- des structures comme l'inox qui s'auto protègent (oxyde de chrome - passivation)
- des barrières chimiques – effet sacrificiel, par du zinc par exemple. Tant qu'il reste assez de protection en zinc sur une pièce en acier, le zinc s'oxydera avant que l'oxydation de l'acier ne commence.



« La corrosion est un phénomène inévitable et naturel, nous devons la prendre en compte lorsque nous concevons nos systèmes de chemins de câbles », d'après Guillaume Luczkiewicz, responsable marketing Cablofil.

La Galvanisation à chaud par immersion dans un bain de zinc en fusion à 450°C (850°F), existe depuis plus de 150 ans, et n'a plus à faire ses preuves. Longtemps utilisés dans l'industrie automobile comme protection anticorrosive, les nouveaux alliages (HR) Hautes Résistances comprenant de l'aluminium ou magnésium ont pourtant remplacé petit à petit le procédé de Galvanisation à chaud. À ce titre, à l'échelle de la planète, les fils de palissage des vignes, les gabions ainsi que les glissières de sécurité sont désormais majoritairement réalisés en Zinc Aluminium ou Zinc Magnésium depuis plus d'une dizaine d'années.

La Galvanisation à Chaud n'est pas adaptée aux petites pièces ou à la visserie, sans reprise importante, du fait de son épaisseur sensiblement variable. De plus, le choc thermique de la chaleur du bain déformerait les éléments minces.

Le zinc lamellaire est un procédé couramment utilisé pour cette typologie de pièces, et ne nécessite qu'une température de 280°C (536°F) ou moins, par centrifugation ou par pulvérisation. L'épaisseur du revêtement (lamelles de zinc et d'aluminium enrobées) est cependant plus mince que la Galvanisation à chaud.

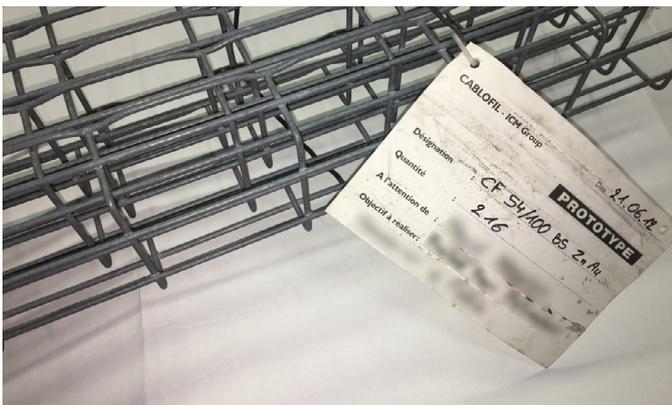
Il existe différentes méthodes pour vérifier la tenue dans le temps de pièces en acier. Certaines sont normées, d'autres empiriques.

D'après la IEC 61537, un système de cheminement de câbles est considéré comme conforme lorsque la surface de rouille rouge (Fe2O3) est inférieure à 5 % de la surface du produit.

# Test en extérieur

Fort de ses multiples centres de production et sa présence internationale, Legrand a engagé un programme de tests grandeur nature sur 10 ans sur les différents continents.

Chemin de câbles ZnAl en 2012 :



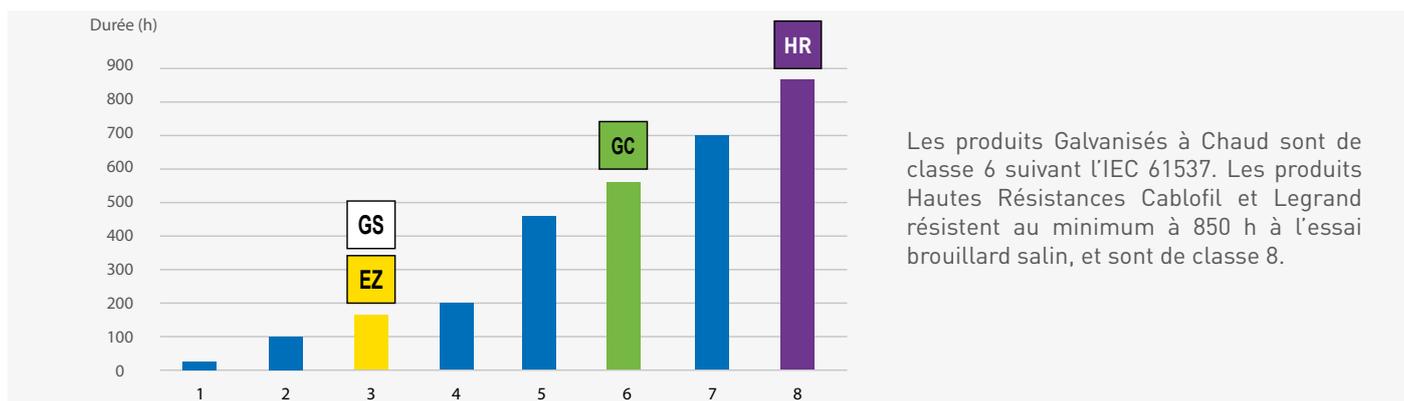
En parallèle, deux typologies de test, certes critiquables pour leur réalisme vis-à-vis d'un environnement déterminé, ont l'avantage d'être facilement reproductibles et sont normés : le brouillard salin et le test au soufre. Avec à chaque fois des caractéristiques déterminées telles que la température, l'hygrométrie et une pollution que l'on peut reproduire en laboratoire.

Les procédés de fabrication du fil, de la tôle ou des petits accessoires étant légèrement différents, il est intéressant de faire une comparaison afin d'observer les produits ou procédés qui abaissent les limites du système.

Les produits HR et GC peuvent être mixés sans difficulté, avec un risque de corrosion galvanique négligeable. Mais la performance du système sera limitée aux caractéristiques de la GC (Classe 6).

# Tests Brouillard Salin

Le test de brouillard salin (BS neutre) suivant la norme ISO 9227 est l'essai le plus répandu et reconnu pour les chemins de câbles, référence IEC 61537 :

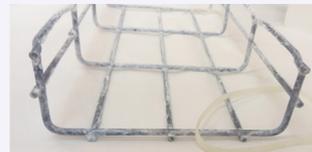
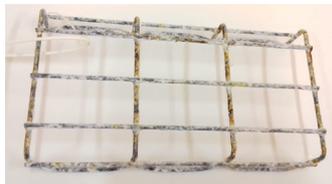


Les produits Galvanisés à Chaud sont de classe 6 suivant l'IEC 61537. Les produits Hautes Résistances Cablofil et Legrand résistent au minimum à 850 h à l'essai brouillard salin, et sont de classe 8.

L'essai cyclique au brouillard salin neutre avec l'utilisation d'une solution de chlorure de sodium (NaCl 5 %) au pH neutre et une température de 35°C suivant l'ISO 9227 est une évaluation standardisée de la résistance à la corrosion de matériaux métalliques, permettant une comparaison relativement rapide entre plusieurs produits.

## TESTS BROUILLARD SALIN (SUITE)

**CF 54/200 GC à 850 h BS :**  
rouille supérieure à 5 %  
Les produits ne sont plus conformes



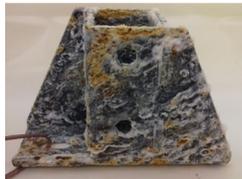
**CF 54/200 ZnAl à 2000 h BS :**  
propagation de rouille blanche,  
pas de rouille rouge

**CB GC À 1250 h BS :**



**CB ZnMg à 1250 h BS :**

**PFN41S GC à 850 h BS :**



**PFN41S ZnNi à 1250 h BS :**

**Rail GC épaisseur 2mm à 1200 h BS :**



**Rail ZnMg épaisseur 2mm à 1200 h BS :**

**BTRCC en Zinc Lamellaire à 2000 h BS:**

La perte de masse est importante



**BTRCC en ZnNi à 2000 h BS :**

Les produits sont toujours conformes

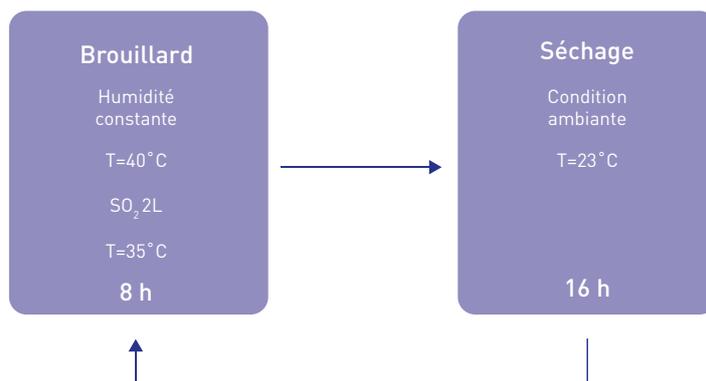
En cas de Galvanisation à chaud à 850 h, les produits ne sont plus conformes. À 2000 h, ils sont presque complètement couverts de rouille rouge.

Selon l'EN ISO 14713-1, il est admis pour la Galvanisation à Chaud une perte de zinc dans des ambiances marines (C5\*), au minimum de 4 à 8 µm par an. Nous observons que ce n'est pas le cas des alliages du type ZnAl et ZnMg, qui ont une perte nettement plus petite.

# Tests au soufre

Le test au Brouillard Salin, ne peut pas être le seul test à utiliser afin de se rendre compte de la corrosion dans des environnements critiques. C'est pourquoi, nous préconisons des essais complémentaires pour que le traitement surface choisi réponde de façon optimale à l'environnement dans lequel le produit sera utilisé.

Le test au soufre (test SO<sub>2</sub>, ou test dit 'Kesternich'), est un excellent test complémentaire à réaliser en laboratoire.



**Résultats des tests :**

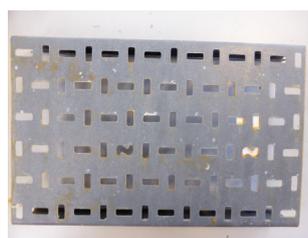
24 h, **EDRN en Zinc Lamellaire** (à associer au GC) :  
Rouille rouge > 5 %

24 h, **EDRN en ZnNi** (à associer au ZnAl) :  
Aucune présence de rouille rouge



**Chemin de câble GC 55 µm.**  
Apparition de rouille rouge à 384 h

**Chemin de câble ZnMg.**  
Apparition de rouille rouge à 456 h



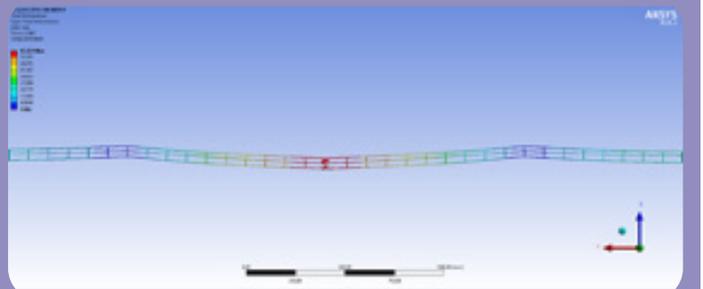
Les alliages Zinc Nickel et Zinc Magnésium résistent mieux à cette typologie de test que le zinc lamellaire et galvanisé à chaud.

# RÉSISTANCE MÉCANIQUE

La résistance mécanique des chemins de câbles est déterminée par la ductilité de l'acier, la limite élastique et l'allongement à la rupture, mais également par sa soudabilité. La protection ou vernis n'influe pas sur la résistance mécanique. On peut considérer qu'un acier, protégé par électrozingage, un alliage Zinc Aluminium, Zinc Magnésium ou Galvanisé à Chaud garde la même résistance mécanique.

Il n'y a pas de différence de charge en fonction des finitions. Par contre, la porosité et le coefficient de friction des surfaces en ZnMg et ZnAl sont significativement plus faibles que pour les surfaces en GC.

Par conséquent, les câbles glissent mieux sur les surfaces HR, il y a moins de création de poussières, et le tirage des câbles est facilité.



Pour autant, la couche de zinc sur les produits galvanisés à chaud est relativement épaisse (55 µm). Dans les cas où le revêtement GC serait supérieur à 85 µm, l'effet serait contre-productif pour deux raisons :

- **La corrosion**, puisque plus le revêtement est important, plus il est cassant et a tendance à se fissurer, créer des craquelures parfois visibles à l'œil ou même à se détacher. D'après l'**EN ISO 1461**, des essais d'adhérence peuvent être nécessaires lorsque les pièces sont soumises à des efforts mécaniques. D'après l'**EN ISO 1461** tableau 1 annexe D, l'épaisseur maximale possible sur un substrat acier de minimum 6 mm accepte une couche GC de 85 µm au maximum.
- **Le poids**, car en moyenne, la finition GC 55 µm rend les chemins de câbles de 7 % à 10 % plus lourd qu'en finition Zinc Aluminium ou Zinc Magnésium, en particulier sur les aciers à parois minces ou réactifs. Augmenter l'épaisseur de galvanisation reviendrait à réduire la capacité de charge.

La Chine a une capacité de plus de 110 millions de tonnes de tôle d'acier traitées au zinc ou alliage de zinc (ZHANG Qifu, JIANG Sheming, *Development of Zinc and Zinc-alloy Coated Steel Sheets in China*, p.1 du *National Engineering Laboratory of Advanced Coating Technology for Metals*, China Iron & Steel Research Institute Group). D'après la CAAC (China Automotive Industry Association), les ventes en Chine de véhicules ont atteint 25 millions en 2020. Le poids est l'une des raisons majeures de la bascule du GC aux alliages ZnMg dans le domaine de l'automobile ces dernières années. Ce phénomène s'est accéléré avec l'arrivée des voitures électriques.



Lorsqu'un chemin de câbles est rouillé de façon importante, quelle que soit sa finition, après disparition d'une grande partie de la protection, le cœur acier est fragilisé et remet en cause la résistance mécanique du chemin de câbles.

# BARBES DE ZINC

Les barbes (de l'anglais « *whisker* ») sont un sujet de conversation récurrent depuis les années 1940. Ce sujet, a commencé avec les barbes d'étain, puis s'est poursuivi ces dernières décennies dans l'environnement du data center avec la barbe de zinc (« *zinc whiskers* »).

Sans revenir sur les conséquences que ces barbes peuvent avoir dans une salle informatique, pas toujours prouvées, il est bien connu que des filaments de zinc pur peuvent se créer sous certaines conditions à la surface d'acier galvanisés (électro zingués), où les atomes de zinc sont sujet à une compression. Ces filaments, d'un diamètre approximatif de 2  $\mu\text{m}$ , peuvent par la suite se détacher et venir se coller aux cartes électroniques ou composants électriques, sans que des effets néfastes n'aient pu être démontrés.

## Barbe de Zinc, x1000



Des barbes de zinc peuvent être retrouvées sur d'autres finitions. Jusqu'à présent, aucun phénomène de création de filaments de ce type n'a pu être aperçu sur des finitions pré-revêtues (ZnAl/ZnMg), ainsi qu'en alliage zinc nickel ou galvanisation à chaud.

Dans l'environnement data center, où la température et l'hygrométrie sont maîtrisées, la pollution inexistante, Legrand préconise la finition électrozinguée, à l'image des fabricants de serveurs, de switches ou d'électroniques qui utilisent ce procédé pour leur châssis et couvercles. La menace de barbes de zinc étant jugé négligeable, à l'opposé des risques électrostatiques.

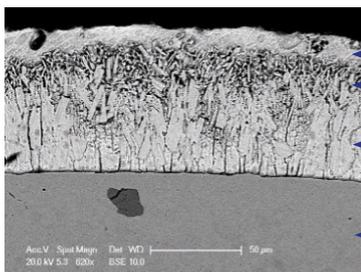


# ASPECTS

## Observation au Microscope Électronique à Balayage

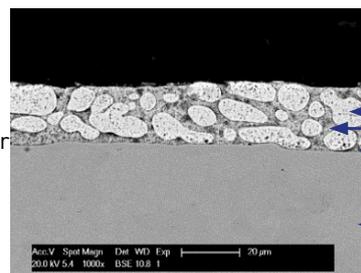
Le moyen le plus efficace pour observer des produits est sans doute l'utilisation d'un Microscope Electronique à Balayage (MEB).

**Coupe GC 55 µm x 620**



- Zinc pur
- 94 % Zinc, 6 % Fer
- 90 % Zinc, 10 % Fer
- Substrat acier

**Coupe ZnAl x 1000**

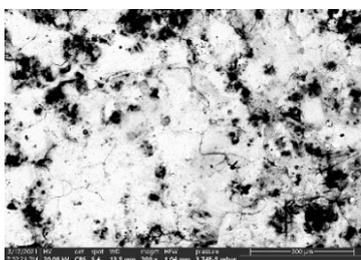


- Zinc pur
- Al / Zn / Mg
- Fine couche Aluminium
- Substrat acier

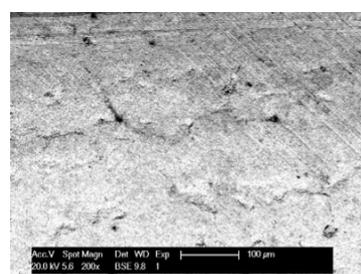
Sur le support acier, le revêtement de galvanisation est composé d'une couche d'alliages de fer zinc, puis d'une couche supérieure de zinc pur.

Sur le support acier, une fine couche aluminium se forme, recouverte d'un alliage zinc aluminium relativement homogène.

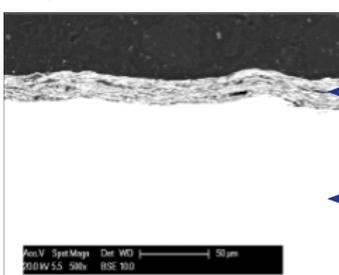
**Surface GC x 200**



**Surface ZnAl x 200**

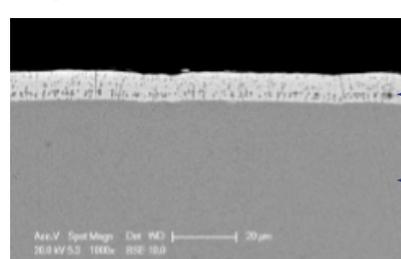


**Coupe ZnL x 500**



- Zinc Lamellaire
- Substrat acier

**Coupe ZnNi x 1000**



- Zinc Nickel
- Substrat acier

# Aspect général

Les produits galvanisés à chaud sont brillants, aussi bien en fil qu'en tôle :



## P31 galvanisé à chaud à la sortie de production

L'aspect du revêtement d'un produit galvanisé à chaud varie en fonction de l'acier. Ceux ayant moins de 0,03 % ou 0,04 % de silicium (Si) favorisent un bel aspect uniforme, alors que ceux contenant du phosphore (P) sont plus réactifs, d'un aspect plus mat, marbré ou rugueux.



Les produits en Zinc Magnésium sont esthétiquement très proches des produits GS, lisses, avec très peu d'irrégularités.



Les produits Zinc Aluminium sont d'un aspect mat, assez peu brillant. En regardant de près, on peut observer parfois de légers ternissements, voiles ou auréoles blanches :



Ternissement sur le fil



Voile blanc



Noircissement sur l'extrémité du fil



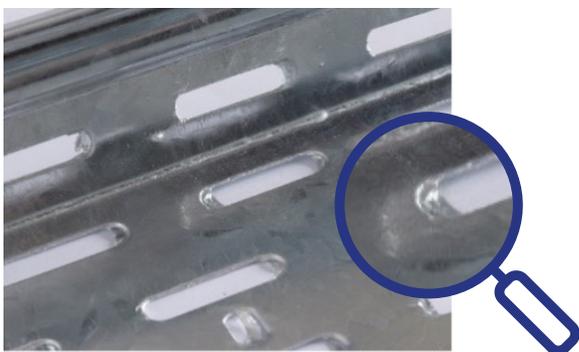
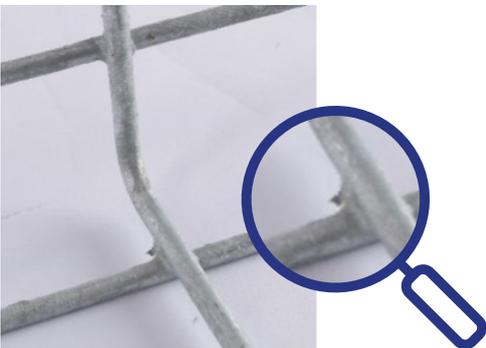
Auréoles blanches sur la soudure

# Picots ("zinc flakes")

Lors de la galvanisation à chaud, l'immersion de l'acier dans un bain de zinc en fusion 450°C (850°F), peut créer des gouttes, picots de zinc, barbes, voiles ou coulures résiduels (« Zinc flakes »).

La norme **EN ISO 14713** chapitre 5 et 6 détermine la qualité de la couche de zinc pour la galvanisation à chaud.

Picots et gouttes de Zinc sur des chemins de câbles fils et tôles



Une surépaisseur est tolérée dans la mesure où elle n'est pas tranchante, gênante ou dangereuse pour la destination du produit. On considère qu'une observation perpendiculaire à une distance d'un mètre, réalisée sans moyens d'aide visuelle, sans révéler d'effets gênants, est acceptable (selon l'**EN 13438**).

**PICOTS “ZINC FLAKES” (SUITE)**

Il existe des moyens pour limiter la création des gouttes de zinc (vibration par exemple), mais l'intervention humaine est presque toujours indispensable pour venir éliminer les picots tranchants ou gênants à certains endroits. Il est difficile d'obtenir des chemins de câbles sans aucun picot. La main d'œuvre pour cette intervention est importante car les irrégularités retirées ne doivent pas ôter la couche de zinc jusqu'au support en acier. Elle est également importante car les points d'accroches postérieurs doivent être traités par une peinture enrichie en zinc.

Pièces GC ébarbées

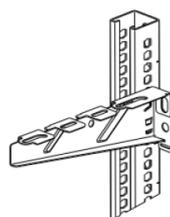
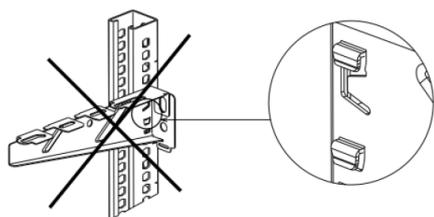


**Épaisseur du revêtement :**

Dans certains cas, l'épaisseur de la galvanisation à chaud peut être problématique. Certains produits ne peuvent pas être montés. À l'exemple de la configuration d'un support CB en GC sur un rail GC en accroche sans vis. Dans ce cas, la CB ZnMg sur rail ZnMg est préconisée.

GC

ZnMg



# Évolution naturelle

Pour les produits galvanisés à chaud, la brillance diminue avec le temps :

Si de l'eau stagne sur une surface galvanisée à chaud, cela empêche la formation d'une couche appelée patine, et de tâches blanchâtres, principalement constituée d'oxyde et d'hydroxyde de zinc basique, apparaissent rapidement. La rouille blanche n'a qu'un inconvénient visuel, et peut être retirée au nettoyeur haute pression suivi d'un séchage rapide.



Rouille blanche en surface

Pour le zinc aluminium, après quelques semaines de fabrication :

- 1) La couleur devient plus homogène.
- 2) Les potentielles marques torsadées, blanches ou noires disparaissent. Mais dans une moindre mesure, le produit est sensible à la rouille blanche.
- 3) Il peut avoir quelques légères traces de rouille rouge en extrémité de fil non protégé par suite de découpes durant le processus de fabrication. Le produit se matifie avec le temps durant le stockage extérieur. L'auto-réparation se produit et les extrémités se couvrent de revêtement protecteur gris blanc avec un peu de rouille rouge. Il peut rester partiellement de la rouille rouge, mais ça n'est qu'esthétique, il n'y a pas de perte de masse.



Rouille rouge superficielle sur la coupe

- 4) Le produit se matifie.



# COMPORTEMENT AUX DÉCOUPES

## Après production

Le revêtement Zinc Aluminium présente l'avantage d'un effet de "cicatrisation" des coupes réalisées.

Le principe de cette cicatrisation est relativement simple. Au début du processus de corrosion des chemins de câbles, le revêtement Zinc Aluminium génère une fine couche d'oxydes d'Aluminium à la surface du revêtement.

Au fur et à mesure de l'avancement du processus de corrosion sous l'effet de l'environnement extérieur, les produits de corrosion à base d'Aluminium créent une couche compacte blanchâtre qui entrave la progression de la corrosion dans l'acier.

Cette couche s'étend et recouvre les zones adjacentes non recouvertes par le revêtement Zinc Aluminium (typiquement les rayures réalisées lors de la mise en place des chemins de câbles). Les tranches sont protégées en premier lieu sous l'effet de pile galvanique entre le Zinc et l'acier. Plus tard, les oxydes d'Aluminium créés par réaction avec l'environnement recouvrent progressivement les tranches.

La couche protectrice ainsi générée recouvre totalement ou partiellement la tranche. Les gros diamètres de fil peuvent ainsi présenter une trace résiduelle peu visible de rouille rouge au centre du fil, mais sans aucun risque de propagation en profondeur, au cœur du fil. L'effet est plus ou moins rapide (dans les mois qui suivent l'installation) selon les conditions d'exposition des produits.

Longévité - essai Brouillard Salin	GC	ZnAl
Après production	 Découpé puis galvanisé à chaud	 Coupé à froid
Après 48 h BS	 Protection par le zinc. Sa quantité diminue	 Création d'une fine couche d'oxydes d'Aluminium, la tranche est protégée
Après 850 h BS	 Produit rouillé	 Pas ou peu de rouille rouge
Après 2000 h BS	Produits trop dégradés	 Rouille blanche en majorité, aucune présence de rouille rouge à ce stade

Grâce à sa soudure en T\*, le nombre de coupes visibles sur les chemins de câbles Cablofil ne sont qu'aux extrémités et ne représentent qu'une infime partie du chemin de câbles. À titre d'exemple, le rapport  $\frac{\text{Rapport Extrémités}}{\text{Surface totale}}$  d'un CF54/300 est de 0.61 %.

L'effet sacrificiel sur les chanfreinages étant limité, une protection de zinc additionnelle serait nécessaire.

# Moyens de découpe sur chantier

## ■ Cuty fil, ou coupe boulon



Sur le fil, c'est l'outil de découpe à privilégier. L'effet de beurrage est important. L'utilisation d'une bombe de peinture contenant plus de 90 % de poussière de zinc est pour autant recommandée sur du ZnAl, afin d'éviter d'avoir des tranches inesthétiques. Cette protection est obligatoire lors de coupes de produits galvanisés à chaud, afin d'éviter une amorce de corrosion. Le support doit être propre afin d'avoir une bonne tenue.

## ■ Meuleuse à chaud



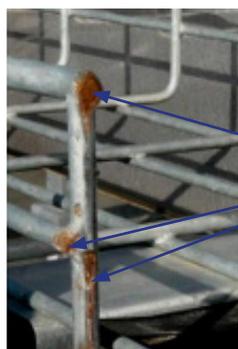
Il est à noter que cet outil peut nécessiter un permis feu. La découpe à la meuleuse est à éviter pour deux raisons :

1. La première est que pour le GC comme pour le ZnAl ou ZnMg, il y a une création de poussières, qu'il faut éviter d'inhalier, même si le risque est visiblement en dessous de la valeur limite d'exposition professionnelle (exemple réglementation française : section 8 FDS VLEP).
2. La seconde est un risque pour la résistance à la corrosion des produits. Elle fend sous très haute température les tranches lors de son passage en laissant des traces noires de brûlures et de fortes aspérités sous forme de copeaux d'acier qu'il convient souvent de limer. Les extrémités de fils coupés à la meuleuse sont abimées et ont une protection dégradée, quelle que soit la finition. Chercher à réaliser de beaux chanfreins avec cet outil est un risque pouvant entraîner, sans s'en rendre compte sur le moment, des amorces de corrosion par toutes les parties touchées par le disque.

Après 14 jours dans un environnement de type C3\* (ISO 9223), sur les parties touchées par la meuleuse, on peut observer :

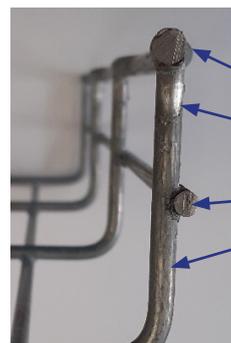
Sur un produit GC, l'apparition de rouille rouge.

Il n'y aura pas d'effet de cicatrisation suffisant pour reprotéger cette partie.



Rouille rouge

Sur un produit ZnAl, l'important effet cicatriciel. Mais les parties touchées seront affaiblies contre les attaques de corrosion.



Effet cicatriciel

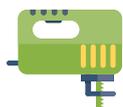
La seule préconisation pour éviter une corrosion trop rapide lors de l'utilisation de la meuleuse à chaud sur du ZnAl, ZnMg, GC, voire électrozinguée, est l'utilisation d'une peinture dédiée.

\*voir tableau description des classes en annexe page 23

# COMPORTEMENT AUX DÉCOUPES

## MOYENS DE DÉCOUPE SUR CHANTIER (SUITE)

### ■ Scie sauteuse



C'est l'outil à privilégier pour la découpe de tôle. Rapide mais engendrant des vibrations du chemin de câbles, elle laisse apparaître quelques filins d'acier et bénéficie d'un bon effet de beurrage.

L'utilisation d'une peinture dédiée sur les découpes des produits GC est cependant obligatoire.

### ■ Grignoteuse



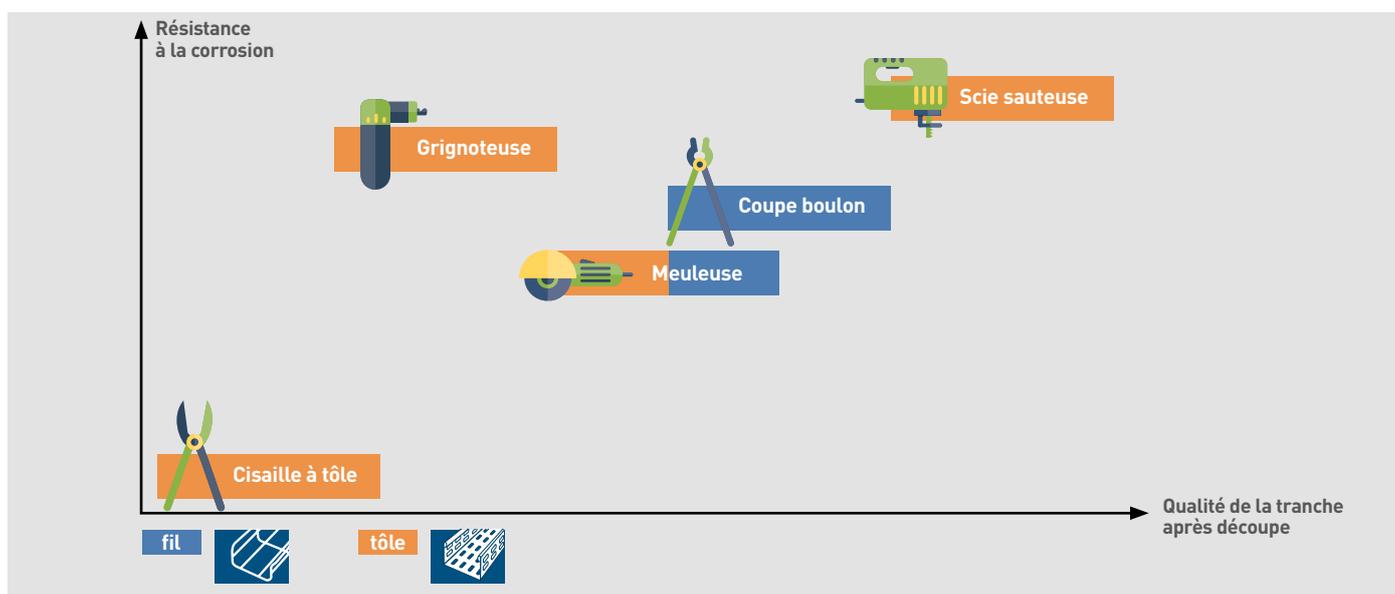
Efficace pour découper le fond du chemin de câbles. Elle se montre plus difficile d'utilisation dans les rayons et peut entraîner une déformation locale pouvant engendrer des contraintes lors du montage des éclisses.

L'utilisation d'une peinture dédiée sur les découpes des produits GC est obligatoire.

### ■ Cisaille à tôle



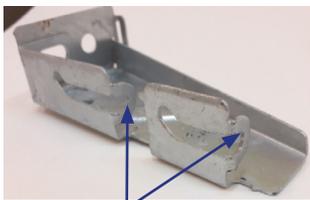
Non adaptée pour la découpe des chemins de câbles qui ont des géométries complexes. L'action de découpe se traduit davantage par un arrachement de la matière éliminant partiellement ou totalement la protection de zinc, donc à proscrire.



Les produits en Zinc Aluminium ou Zinc Magnésium réagissent très bien aux découpes. L'effet cicatriciel est important. Pour les produits GC, l'effet cicatriciel existe également, mais il est plus limité. À titre d'exemple, un fil GC coupé verrait immédiatement une amorce de corrosion, d'où l'obligation de reprotéger les découpes, rayures importantes ou autres parties blessées sur le chantier.

# PHÉNOMÈNE DE RECOUVREMENT & PROTECTION DES ZONES PLIÉES SUR CHANTIER

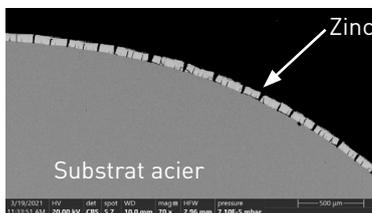
Les chemins de câbles fils ont vocations à être pliés sur site, afin de s'adapter aux changements de plans et dérivations, ou bien même assurer la rigidité du système :



**Zones pliées sur site**

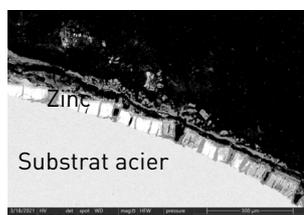
Lorsque l'on plie une tôle ou du fil GC déjà revêtu, on peut s'apercevoir qu'il y a une détérioration de la couche galvanisée, sur les faces intérieures et extérieures du produit, mettant l'acier à nu en fond de craquelures :

**Coupe GC x 70 avant test BS**

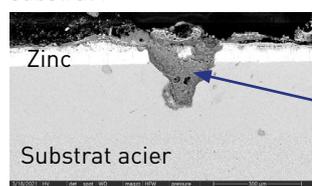


Petit à petit, le fond de ces larges craquelures se recouvre d'une couche d'oxyde de zinc protégeant ainsi l'acier. Les plus fines craquelures sont comblées par des oxydes de zinc.

**Coupe GC x 200 après pliage puis test à 550 h BS**



À certains endroits, on peut noter la présence d'oxyde de zinc dans l'épaisseur du revêtement mais également d'oxyde de fer, la corrosion a traversé la couche de zinc pour se propager au substrat :

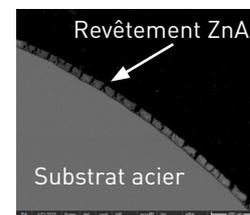


Les craquelures ont été partiellement comblées, parfois même totalement à certains endroits, par les oxydes de zinc formés pendant l'essai. Il y a un assez bon effet cicatriciel.



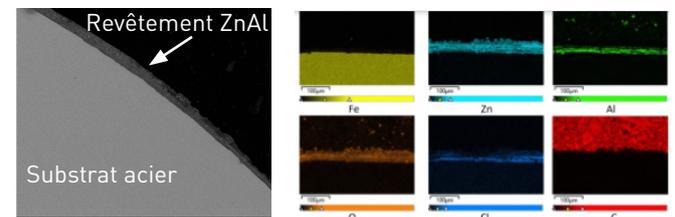
**Fil ZnAl plié**

**Coupe ZnAl x 100 avant test BS**



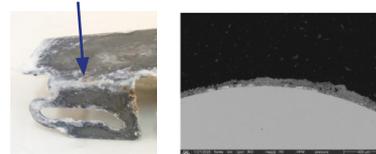
Des craquelures sont observées dans le revêtement principalement sur l'extérieur de la pliure. Après 850 h d'essai BS, les craquelures ne sont plus visibles :

**Essai après 850 h BS - vue au MEB x 100**



Pour le ZnMg le phénomène de craquelure est similaire au ZnAl, ainsi que le phénomène de recouvrement et protection :

**Tôle ZnMg pliée ZnMg x 100 après déformation puis test 2000 h BS :**



→ Les produits GC pliés sont potentiellement susceptibles d'accélérer la corrosion et peuvent être protégés par une peinture de protection supplémentaire afin de garantir la tenue dans le temps. Le ZnAl et ZnMg réagissent très bien aux déformations et l'effet cicatriciel est très important.



# RESPECT DE L'ENVIRONNEMENT

## CONSOMMATION DE ZINC

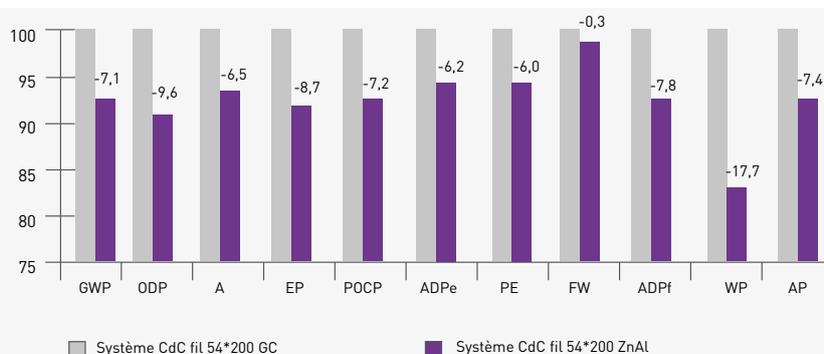
D'après l'étude publiée par Statista Research Department en 2020, il y a environ 180 millions de tonnes de zinc sur Terre. Principalement en Australie, Chine, Mexique et Pérou. Au rythme actuel de consommation, il reste moins de 20 ans de consommation. Seul 30 % du zinc utilisé dans le monde provient de zinc recyclé.

Les alliages Zinc Aluminium Magnésium rejettent 6 fois moins d'oxyde de zinc (ZnO) que la galvanisation à chaud dans le sol grâce à la stabilité de son revêtement anticorrosion.

## EXEMPLE DES FICHES PEP (PROFIL ENVIRONNEMENTAL PRODUIT)



Les finitions ZnAl et ZnMg se démarquent grâce à leur éco-conception. À titre d'exemple, la contribution au réchauffement climatique pour le ZnAl (noté GWP et exprimé en kgCO2eq.) est de 7,1 % inférieure par rapport à celui de la finition GC standard (Galvanisation à Chaud).



Suite à une étude réalisée en France, sur l'ensemble des étapes du cycle de vie du Produit de Référence (système 54 x 200), c'est à dire fabrication, distribution, installation, utilisation et fin de vie, le système de chemin de câbles Cablofil en ZnAl est systématiquement moins impactant ou égal du point de vue environnemental que son équivalent Galvanisé à Chaud.

Comparatif selon les données des PEP France Système de CdC fil «GC» certifié 2020 et Système de CdCfil «pour atmosphères corrosives» certifié 2019 (sur une base de calcul identique : EIME & database CODDE-2018-11) selon règles PEP Ecopassport PSR-0003-ed1.1-FR-2015 10 16 - 3.2.2.1. Systèmes de chemins de câbles.

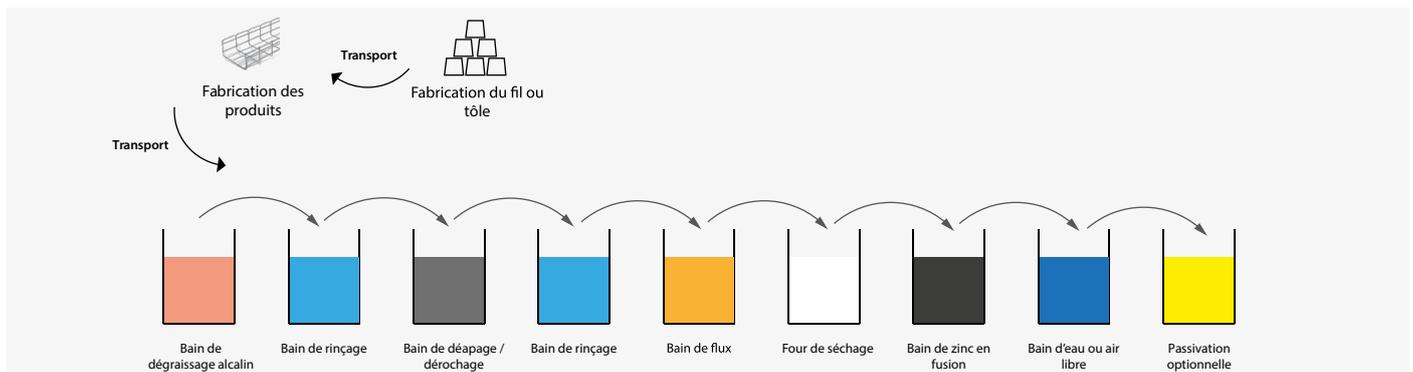
## RISQUES DE POLLUTION LIÉS À LA CORROSION

D'après l'étude de Gerhardus Koch, Jeff Varney, Neil Thompson, Oliver Moghissi, Melissa Gould et Joe Payer, dans l'étude 'International Measures of Prevention, Application, and Economics of Corrosion Technologies', de NACE International impact, publiée en 2016, la corrosion est un problème industriel important : le coût de la corrosion au global, qui recouvre l'ensemble des moyens de lutte contre la corrosion, le remplacement des pièces ou ouvrages corrodés et les conséquences directes et indirectes des accidents dus à la corrosion, était estimé à 3,4 % du produit brut mondial en 2013. Chaque seconde, ce sont quelque cinq tonnes d'acier qui sont ainsi transformées en oxydes de fer. On peut facilement imaginer la pollution importante induite pour les produits non protégés ou mal protégés.

## RISQUES DE POLLUTION LIÉS AUX PROCESSUS DE PROTECTION

### Processus de la Galvanisation à Chaud

Avant la galvanisation à chaud, le métal doit être nettoyé (dégraissé, décapé, rincé), souvent traité avec des solvants ou acides hydrochlorique (HCl). Ce procédé produit une pollution de l'eau, puis crée des émanations et fumées, des déchets solides du type cendres de zinc et mattes de zinc.



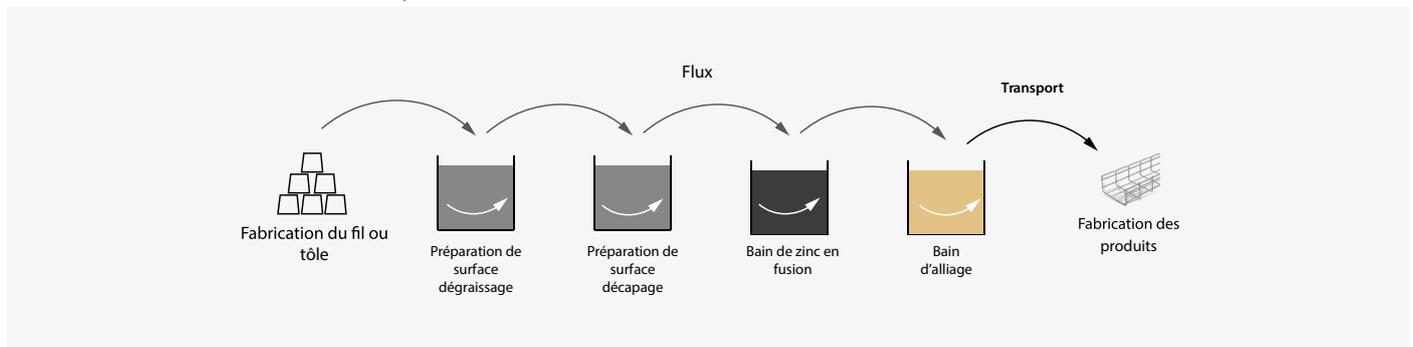
Les bains de zinc en fusion sont consommateurs d'énergie, ne peuvent pas être arrêtés le week-end ou pendant les vacances. La haute température et le zinc ont tendance à ronger la structure des creusets (cuves en acier), et doivent eux aussi être régulièrement changés afin d'éviter les risques d'incidents et propagation de zinc sur le lieu de production, ce qui nécessite souvent plusieurs semaines d'arrêt.

Les usines se sont souvent modernisées pour limiter cette pollution, recycler une partie des déchets, mais toutes les usines dans le monde n'ont pas le même niveau de prévention et de contrôle, et ne sont pas soumises aux mêmes normes.

Il y a eu par le passé des **actions en justice** contre les fabricants les moins regardant sur cette pollution réalisée, à l'image des habitants de Graham aux Etats-Unis, aidés de la BREDL, contre le galvaniseur South Atlantic en 2012.

### Processus du ZnAl et ZnMg

Il y a également une pollution créée lors de la fabrication de produits Zinc Magnésium ou Aluminium. Mais le procédé simplifié et diminution des bains en font un élément moins impactant sur l'environnement :



Les alliages HR (Haute Résistance) en cheminement de câbles du type ZnAl (Zinc Aluminium), ZnMg (Zinc Magnésium) ou ZnNi (Zinc Nickel) ont une excellente résistance à la corrosion, notamment aux tests Brouillard Salin, et en particulier sur la visserie, souvent talon d'Achille des installations sur une installation en GC (Galvanisation à Chaud). La cicatrization après découpe et pliage est excellente. Le poids allégé de la finition en fait un atout important. L'impact environnemental de ces finitions est réduit.



# ANNEXES

## DESCRIPTION D'ENVIRONNEMENTS ATMOSPHÉRIQUES TYPES LIÉS À L'ESTIMATION DES CLASSES DE CORROSIVITÉ (ISSUE DE LA NORME ISO 9223)

CLASSE DE CORROSIVITÉ <sup>a</sup>	CORROSIVITÉ	ENVIRONNEMENTS TYPES - EXEMPLES <sup>b</sup>	
		INTÉRIEUR	EXTÉRIEUR
C1	Très faible	Espaces chauffés à faible taux d'humidité relative et à faible pollution (bureaux, école, musées)	Zone sèche ou froide, environnement atmosphérique très peu pollué et avec une très courte durée de persistance de l'humidité (certains déserts, Arctique, Antarctique central)
C2	Faible	Espaces non chauffés à température et humidité relative variables. Faible fréquence de condensation et faible pollution (entrepôts, salles de sport)	Zone tempérée, environnement atmosphérique faiblement pollué ( $SO_2 < 5 \mu g/m^3$ ) (zones rurales, petites villes) Zone sèche ou froide, environnement atmosphérique avec courte durée de persistance de l'humidité (déserts, région subarctiques)
C3	Moyenne	Espaces avec fréquence modérée de condensation et pollution modérée provenant des processus de production (usines agro-alimentaires, blanchisseries, laiteries)	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 (zones urbaines, zones côtières avec faibles dépôts de chlorures) Zones subtropicales et tropicales atmosphère faiblement polluée
C4	Élevée	Espaces avec fréquence élevée de condensation et pollution sévère provenant des processus de production (usines de traitements industriels, piscines)	Zone tempérée, environnement atmosphérique très pollué ( $SO_2 = 30 \mu g/m^3$ à $90 \mu g/m^3$ ) ou effet des chlorures (zones urbaines polluées, zones industrielles, zones côtières sans projection d'eau de mer ni exposition au puissant effet des sels de dégivrage) Zones subtropicales et tropicales atmosphère moyennement polluée
C5	Très élevée	Espaces avec fréquence très élevée de condensation et/ou à très forte pollution provenant des processus de production (mines, gisements pour exploitation industrielle, hangars non ventilés dans des zones subtropicales et tropicales)	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 (zones industrielles, zones côtières, emplacements protégés au niveau du littoral)
CX	Extrême	Espaces avec condensation presque permanente ou périodes prolongées d'exposition aux effets extrêmes de l'humidité et/ou à forte pollution provenant des processus de production (hangars non ventilés dans des zones tropicales humides avec pénétration de pollution extrême, y compris les chlorures de l'air et les matières particulaires favorisant la corrosion)	Zones subtropicales et tropicales (très longue durée de persistance de l'humidité sur les surfaces, environnement atmosphérique très pollué ( $SO_2 =$ teneur supérieure à $250 \mu g/m^3$ ) y compris les facteurs d'accompagnement et production et/ou l'effet important des chlorures (zones industrielles extrêmes, zones côtières au large des côtes, contact occasionnel avec les brouillards salins)

a - Dans les atmosphères supposées appartenir à la classe "CX", il est recommandé de déterminer la classification de la corrosivité des atmosphères à partir des pertes par corrosion sur un an.  
b - Il convient de déterminer la concentration de dioxyde de soufre ( $SO_2$ ) pendant au moins un an et de l'exprimer sous forme de moyenne annuelle.

Niveau de performance souhaitée	Classe de corrosion produit suivant IEC 61537	Finitions possibles sur le système
<b>EZ</b> Electrozingué suivant Standard ISO 2081	Classe 3	<b>EZ</b> <b>GS</b> <b>GC</b> <b>ZnL</b> <b>ZnAl</b> <b>ZnMg</b> <b>ZnNi</b>
<b>GC</b> Galvanisé à Chaud suivant Standard EN ISO 1461	Classe 6	<b>GC</b> <b>ZnL</b> <b>ZnAl</b> <b>ZnMg</b> <b>ZnNi</b>
<b>ZnAl</b> Pré galvanisé suivant Standard EN 10244-2	Classe 8	<b>ZnAl</b> <b>ZnMg</b> <b>ZnNi</b>
<b>304L</b> Standard EN 10088-2 et 10088-3	Classe 9C	<b>304L</b> <b>316L</b>
<b>316L</b> Standard EN 10088-2 et 10088-3	Classe 9D	<b>316L</b>

**GS** : Galvanisation avant fabrication en continu par procédé Sendzimir

**ZnL** : Zinc Lamellaire

**ZnMg** : Zinc Magnésium avant fabrication en continu par procédé Sendzimir

**ZnNi** : Zinc Nickel dépôt électrolytique à base de zinc et de nickel (top coat)



---

**International customer service**

1 Route de Semur  
21500 MONTBARD - France  
+33 3 80 89 58 15  
+33 3 80 89 58 97

**Explore our products:** [www.cablofil.biz](http://www.cablofil.biz)  
**Cablofil worldwide:** [www.cablofil.com](http://www.cablofil.com)

Une marque  
du Groupe |  **legrand**