

# LACLUSIENNE C L U F I X

■ Revêtements  
et protections anticorrosion



[www.laclusienne.com](http://www.laclusienne.com)

# Revêtements & protections anticorrosion

*Toute approche fondamentale de la corrosion doit tenir compte des propriétés du métal, de l'environnement, et de l'interface métal - environnement.*

**Métal** : composition, structure, hétérogénéités, contraintes...

**Environnement** : composition chimique, impuretés, température, conditions hydrodynamiques

**Interface** : cinétiques de réactions, nature et répartition des produits de corrosion, vitesses d'établissement et de destruction de films...

*Les mécanismes de corrosion sont donc complexes et leur compréhension fait appel à plusieurs disciplines allant de la physique à la bactériologie. Cependant, de nombreux cas peuvent être résolus par simple application de concepts relativement simples, en tenant compte des incidences de la solution appliquée sur toutes les autres caractéristiques de la pièce ou de l'installation. La bonne solution d'un problème de corrosion n'est en général pas le remède le plus performant du point de vue de l'anticorrosion, mais le meilleur compromis entre le comportement de la pièce vis à vis de son environnement, et toutes ses autres performances, dans un contexte technico-économique donné.*

## Modes d'application

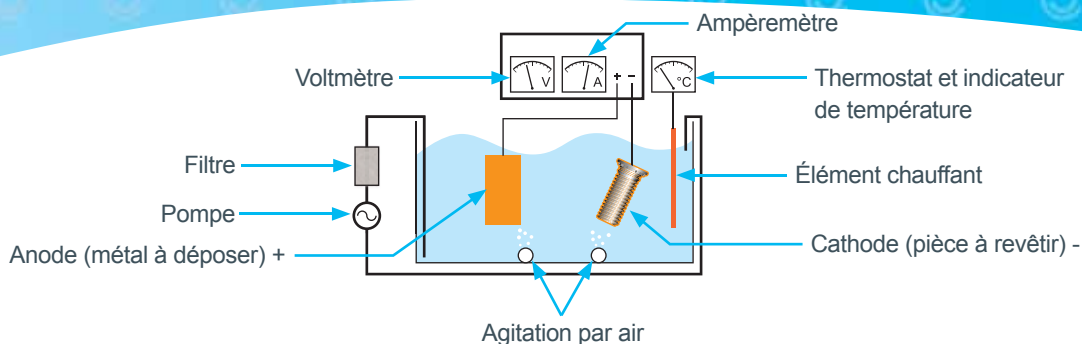
### Procédé électrolytique

Son but est d'apporter une propriété superficielle particulière qui peut être un aspect décoratif, une protection contre la corrosion, ou d'une façon générale, des propriétés physiques ou mécaniques différentes de celles du substrat (dureté, frottement, conductivité, adhérence de produits organiques, couches barrière...).

Le métal d'apport initialement sous forme ionique dans un bain, est soumis à une réaction électrochimique de réduction qui le porte à l'état métallique. Cette réaction est provoquée à la surface de la pièce à revêtir par un apport d'électrons assuré par un circuit extérieur.

L'opération se déroule dans une cellule d'électrolyse constituée des éléments suivants :

- une cuve contenant le bain d'électrolyse,
- les électrodes immergées dans le bain.
  - La cathode polarisée négativement constituée de la pièce à revêtir, siège de la réaction de réduction conduisant au dépôt. Cette électrode peut également être le siège d'autres réactions de réduction dont l'électrolyse de l'eau avec dégagement d'hydrogène, qui peut être une source de fragilisation de certains substrats.
  - L'anode, siège d'une ou de réaction(s) d'oxydation. Elle peut être soluble ou insoluble. Lorsqu'elle est soluble, elle est constituée du métal à déposer et est soumise à la réaction inverse de celle qui se produit à la cathode. Lorsqu'elle est insoluble, la composition du bain varie de façon continue au cours de l'électrolyse.
- le circuit électrique constitué de conducteurs alimentant les électrodes reliées à un générateur de courant.



La cellule d'électrolyse présentée convient aux pièces de moyennes et grandes dimensions. Les petites pièces sont traitées en vrac dans un appareil appelé "**tonneau**". Par ailleurs, d'autres dispositifs sont utilisés pour des applications particulières (dépôt sélectifs et dépôts hors cuves). Certaines installations conçues pour des applications spécifiques, s'apparentent davantage à une machine-outil qu'à la cuve d'électrolyse.



Afin d'obtenir une tenue à la corrosion supérieure, il est nécessaire d'effectuer un traitement de conversion après revêtement. Ce traitement appelé **passivation** est réalisé dans des bains à base de chrome trivalent (Cr3).

La passivation crée une protection barrière de la couche de zinc (voir chapitre "Principes de protection")

Il est nécessaire de préparer soigneusement les surfaces à traiter et de procéder à des traitements de conversion après électrolyse. Les gammes de traitement sont donc des procédures complexes dont l'électrolyse n'est qu'une étape. Exemple de gamme de zingage électrolytique :

- |                               |                           |
|-------------------------------|---------------------------|
| 1. Dégraissage chimique       | 9. Zingage électrolytique |
| 2. Rinçage                    | 10. Rinçage               |
| 3. Dégraissage électrolytique | 11. Dépassivation         |
| 4. Rinçage                    | 12. Rinçage               |
| 5. Décapage                   | 13. Passivation           |
| 6. Rinçage                    | 14. Rinçage               |
| 7. Dégraissage électrolytique | 15. Soufflage             |
| 8. Rinçage                    | 16. Étuvage               |

Zinc électrolytique sur acier



- Passivation Cr3 (protection barrière)
- Revêtement Zn (protection sacrificielle)
- Substrat Acier



Les différents traitements électrolytiques proposés par LA CLUSIENNE-CLUFIX sont disponibles dans le tableau en dernière page de ce document.

## Modes d'application

### ■ Procédé lamellaire

Les revêtements de type zinc lamellaire ont été élaborés pour offrir une résistance accrue à la corrosion par rapport aux revêtements électro zingués conventionnels, ainsi que d'autres avantages pour la fabrication des petits composants, et notamment, les pièces de fixation.

Ce type de revêtement, très répandu dans l'industrie automobile, permet également par sa composition et ses caractéristiques de maîtriser les coefficients de frottement lorsqu'une maîtrise répétable des serrages mécaniques est nécessaire (dans le cas de montages automatisés pour les grandes séries).

Ce type de revêtement se compose principalement de lamelles de zinc, combinées avec des lamelles d'aluminium dans certains cas.



L'utilisation de lamelles de zinc et non de poussière, ni poudre de zinc dans la formulation de ce matériau est primordiale, car la présence de lamelles permet d'obtenir un revêtement extrêmement dense. Leur structuration parallèlement à la surface du substrat lors du séchage et de la cuisson améliore sensiblement la protection offerte par le revêtement. Les lamelles peuvent être liées par une matrice organique ou inorganique en fonction des matériaux spécifiques utilisés.

Hautement conducteurs, ces revêtements offrent une protection cathodique sacrificielle pour l'acier. Ils sont souvent doublés d'une couche de finition renforçant la tenue à la corrosion ainsi que l'effet barrière, auquel cas le revêtement finalement obtenu peut ne plus être conducteur.

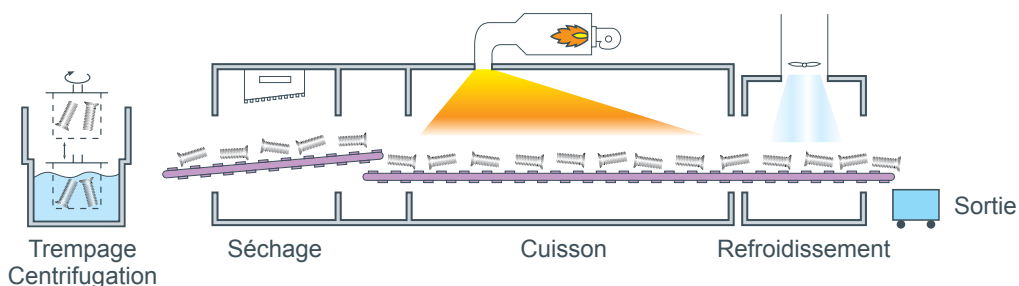
En termes de performances, les revêtements à base de lamelles de zinc présentent les avantages suivants :

- Excellente résistance à la corrosion atmosphérique.
- Réduction de l'effet de «rouille blanche» (des produits de corrosion du zinc) ou d'autres produits de corrosion.
- Tenue au brouillard salin supérieure à celle de nombreux autres revêtements de surface issus de procédés conventionnels, tels que : électro zingage ou shérardisation.
- Protection contre de nombreux produits chimiques "doux" et solvants, tels que liquides de frein et carburant, etc.
- Pas de fragilisation par hydrogène car application non électrolytique.
- Généralement hautement conducteurs.
- La protection galvanique du revêtement enrichi en zinc permet une réduction satisfaisante de la corrosion bimétallique au contact avec l'acier, l'aluminium, le zinc et le cadmium dans la plupart des situations.
- Permettent de revêtir les pièces de forme complexe, avec évidements et orifices, d'une couche de matériau optimale.
- Avec une épaisseur réduite, permettent d'atteindre des tenues à la corrosion équivalente à celles de revêtements conventionnels en couches plus épaisses.

Le procédé de zinc lamellaire au **tonneau** (le plus courant) se décompose en 4 phases :

- 1) Phase de **préparation** visant à supprimer tout dépôt de salissure, de lubrifiants et d'oxydation des pièces à traiter : cette phase se décompose en une étape de dégraissage alcalin + séchage suivie d'un décapage mécanique type grenaillage ou chimique type phosphatation ;
- 2) Phase de **trempe-centrifugation** : les composants placés dans des paniers cylindriques sont trempés dans une préparation de bain de zinc lamellaire liquide. Les paniers subissent ensuite une centrifugation qui permet de répartir le revêtement sur la totalité de la surface des pièces. Les paniers sont ensuite inclinés et brassés pour vider les corps creux et à nouveau centrifugés ;
- 3) Phase de **séchage** : les pièces sont déversées sur un tapis dans une enceinte de séchage ;
- 4) Phase de **cuisson** : dans la continuité du séchage, les pièces traversent le four de cuisson.

Les phases 2 à 4 sont ensuite répétées autant de fois qu'il y a de couches de traitement déposées. Deux couches de traitement pour un revêtement dit de Grade A ; trois couches de traitement pour un revêtement dit de Grade B. La taille maximale admissible des composants pour le procédé au tonneau peut atteindre environ 150 mm x 20 mm de diamètre pour un poids d'environ 0,5 kg.



Pour les dimensions et poids supérieurs, le procédé au tonneau n'est plus adapté et le procédé dit à **l'attache** est utilisé. Les composants sont placés sur des montages. Les montages sont trempés dans un bain de zinc lamellaire liquide. Ensuite, les pièces ainsi revêtues subissent un égoutté-centrifugé visant à éliminer toute surépaisseur liquide. La taille maximale admissible des composants peut atteindre 1100 x 500 mm pour un poids de 30 kg.

Il existe un troisième procédé de dépose appelé **pulvérisation**. Les composants (disques de frein, etc.) sont placés sur des montages avant d'être traités par pulvérisation. Ce traitement leur confère une protection accrue contre la corrosion et un fini plus esthétique.

Les différents traitements lamellaires proposés par LA CLUSIENNE-CLUFIX sont disponibles dans le tableau en dernière page de ce document.

La maîtrise des coefficients de frottement des revêtements de zinc lamellaire est garantie :

- soit par les qualités intrinsèques des couches déposées seules, on parle alors de zincs lamellaires lubrifiés dans la masse ;
- soit par l'ajout sur les couches de zinc lamellaires d'une finition supplémentaire encore appelée filmogène ou topcoat pour garantir la maîtrise du coefficient de frottement.

Les coefficients de frottement des zincs lamellaires proposés par LA CLUSIENNE-CLUFIX sont disponibles dans le tableau à la dernière page de ce document.

Les pièces communément revêtues de zinc lamellaire sont les suivantes :

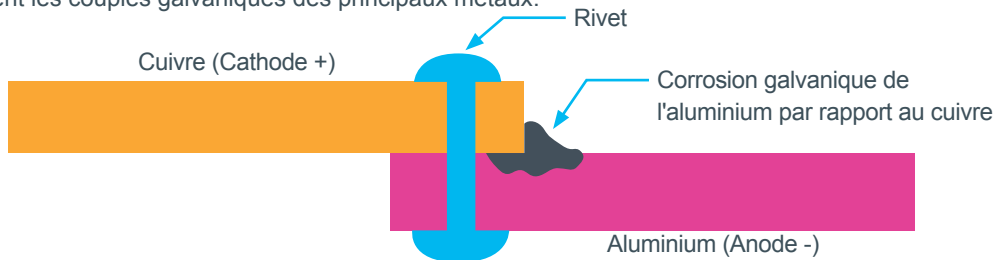
- Pièces de fixation filetées, en particulier celles de classes de résistance 10.9 et 12.9.
- Pièces embouties, ressorts, attaches pour l'industrie automobile, l'électroménager et le bâtiment.
- Acier haute résistance ( $\geq 1000 \text{ N/mm}^2$  en particulier) et les pièces cimentées, pour une protection de surface sans risque de fragilisation par hydrogène.
- Composants en acier fritté, acier moulé et fonte.
- Pièces de forme complexe, avec orifices et évidements.
- Raccords à vissages multiples, ex. pièces de verrouillage et raccords de flexibles.

## Corrosion galvanique

Le potentiel pris par un métal au contact d'une solution, dépend à la fois du métal et de la solution. Deux métaux ou deux alliages différents au contact avec le même milieu prennent en général deux potentiels différents. Si ces deux métaux sont reliés électriquement, leur différence de potentiel donne naissance à des réactions électrochimiques et à la circulation d'un courant électrique.

Le métal le plus négatif (le moins noble) se trouve donc polarisé positivement et le métal le plus positif est polarisé négativement. Dans la très grande majorité des cas, cette configuration correspond à une augmentation de la vitesse de corrosion du métal le plus corrodable (le plus négatif), et à une diminution de la vitesse de corrosion du métal le moins corrodable (le plus positif). La gravité de la corrosion du métal le moins noble dépend de plusieurs facteurs :

- La différence de potentiel entre les deux métaux : plus cette valeur est importante, plus la force électromotrice du phénomène est grande. Les valeurs à considérer correspondent aux potentiels des métaux et alliages qui constituent le couple par rapport au milieu considéré. Ces potentiels sont des grandeurs expérimentales et doivent être distinguées des potentiels standards des tables thermodynamiques. Les potentiels expérimentaux sont fortement influencés par les paramètres tels que la température, l'agitation et l'aération. Par ailleurs, certains métaux peuvent prendre deux potentiels différents vis à vis du même milieu suivant qu'ils sont actifs ou passifs (cas des aciers inoxydables en contact avec l'eau de mer, par exemple). Ces considérations montrent qu'il peut être difficile de prévoir des tendances sans avoir recours à l'expérimentation, de nombreux paramètres étant susceptibles d'inverser les polarités de certains couples galvaniques. Le tableau ci-contre contient les couples galvaniques des principaux métaux.



Exemple de corrosion galvanique pour un assemblage de tôles aluminium et cuivre par un rivet sans isolation. Le potentiel de dissolution de l'aluminium étant inférieur à celui du cuivre, il y a corrosion.

- Le rapport des surfaces des deux métaux : le cas le plus défavorable est celui d'une grande surface cathodique (matériau le plus positif) électriquement reliée à une petite surface anodique (métal le plus négatif). La vitesse de corrosion du métal le plus négatif peut être multipliée par 100 voire par 1000. Un assemblage constitué par des plaques de fer fixées par des rivets en cuivre est beaucoup plus résistant à la corrosion que la configuration inverse (plaques de cuivre et rivets de fer).
- La conductivité du milieu corrosif conditionne la localisation des dégradations. La corrosion galvanique peut se produire dans des milieux très résistants, mais elle est dans ce cas localisée aux zones de contact entre les deux métaux. Inversement l'attaque est moins localisée en milieu conducteur.
- La résistance à la corrosion du métal le plus noble indépendamment de son potentiel, influe de façon considérable sur le comportement du couple bimétallique. Si le métal le plus noble se corrode, ses produits de corrosion risquent, par déplacement, d'accélérer la corrosion du métal le plus corrodable. Par exemple, les produits de corrosion du cuivre peuvent corroder l'aluminium. Il en résulte que le couple cuivre-aluminium qui présente une plus faible différence de potentiel que le couple or-aluminium est pourtant plus dangereux, l'or, incorrodable, ne présentant pas ce risque.

Quelques moyens de lutte contre cette corrosion : choisir des couples métalliques dont les éléments sont le plus proche possible dans le tableau ci-contre, éviter un rapport de surface défavorable, éviter, dans la mesure du possible, le contact direct de deux matériaux différents (à l'aide d'un joint, d'un isolant, d'un revêtement....), etc.

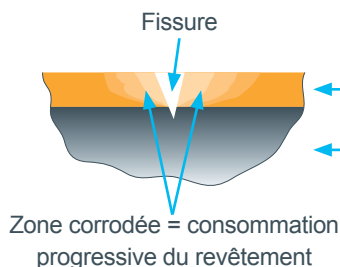




## Principes de protection

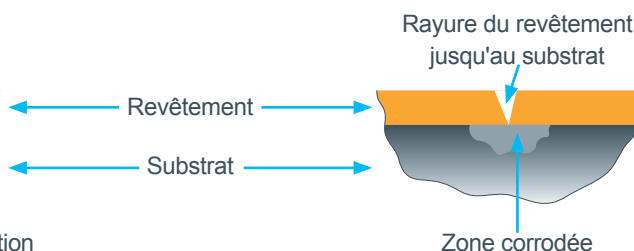
### Sacrificiel

Le revêtement se corrompt préférentiellement au substrat car le revêtement est moins noble que le substrat. Si le revêtement est endommagé localement jusqu'au substrat par une éraflure ou une rayure, ce dernier reste protégé tant qu'il subsiste suffisamment de revêtement à proximité.



### Barrière

Le revêtement est plus noble que le substrat, il est donc très résistant à la corrosion. Si le revêtement est endommagé localement jusqu'au substrat par une éraflure ou une rayure, le revêtement ne protégera plus le substrat qui sera corrodé immédiatement.



Dans le cas d'un zingage électrolytique avec une passivation à base de chrome trivalent ( $\text{Cr}^{3+}$ ), la passivation crée une protection barrière du zinc (chrome plus noble que le zinc) et le dépôt de zinc crée une protection sacrificielle de l'acier (zinc moins noble que l'acier).

## Mesure de la performance des revêtements

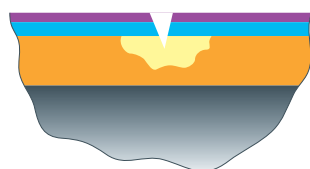
En pratique, la performance d'un traitement de surface est exprimée par rapport à sa tenue à la corrosion. Cette tenue est exprimée en heures d'exposition selon des tests normalisés dits "tests au brouillard salin".

Le test brouillard salin (dit test BS) correspond à une exposition des pièces avec traitement de surface dans une enceinte BS où règne une atmosphère saline agressive contrôlée.

La résistance à la corrosion s'exprime en nombre d'heures sans apparition de rouille blanche puis de rouille rouge.

### Rouille blanche (RB) :

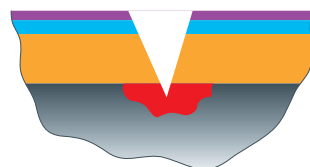
La rouille blanche correspond à la corrosion de la couche de zinc.



- Finition optionnelle (zingages électrolytiques ou lamellaires)
- Passivation (zingages électrolytiques)
- Revêtement Zn (protection sacrificielle)
- Substrat Acier
- Rouille Blanche (corrosion du zinc)
- Rouille Rouge (corrosion de l'acier)

### Rouille rouge (RR) :

La rouille rouge correspond à la corrosion de l'acier, c'est-à-dire lorsque le revêtement ne protège plus suffisamment l'acier.





## Revêtements proposés (liste non exhaustive)

Traitement électrolytique	Conformité VHU & RoHS	Couleur	Coefficient de frottement	Tenue à la corrosion du traitement sur une échelle croissante graduée de 1 à 10									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Zinc Nickel	O	Bleu	> 0.25										
Zinc Nickel Noir	O	Noir	> 0.25										
Zinc Nickel + FR*	O	Bleu	0.12 - 0.18										
Zinc Nickel + Lub**	O	Bleu	0.09 - 0.15										
Zinc Fer Noir	O	Noir	> 0.25										
Zinc Chrome 3 + FR*	O	Blanc	0.12 - 0.18										
Zinc Chrome 3	O	Blanc	> 0.20										
Zinc Chrome 3 + Lub**	O	Blanc	0.09 - 0.15										
Zinc Vert	N	Vert	> 0.25										
Zinc Jaune	N	Jaune	> 0.25										
Zinc Noir	N	Noir	> 0.25										
Zinc Blanc	O	Blanc	> 0.25										

\* FR = Finition Renforcée organo-minérale à base de silice qui améliore la tenue à la corrosion et diminue le coefficient de frottement

\*\* Lub = Finition lubrifiante qui diminue le coefficient de frottement

Traitement lamellaire	Conformité VHU & RoHS	Couleur	Coefficient de frottement	Tenue à la corrosion du traitement sur une échelle croissante graduée de 1 à 10									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Geomet® 500 Grade A*	O	Gris argent	0.12 - 0.18										
Geomet® 500 Grade B**	O	Gris argent	0.12 - 0.18										
Geomet® 321 PLUS Grade A*	O	Gris argent	> 0.18										
Geomet® 321 PLUS Grade B**	O	Gris argent	> 0.18										
Geomet® 321 PLUS XL Grade A*	O	Gris argent	0.06 - 0.09										
Geomet® 321 PLUS XL Grade B**	O	Gris argent	0.06 - 0.09										
Geomet® 321 PLUS L Grade A*	O	Gris argent	0.08 - 0.14										
Geomet® 321 PLUS L Grade B**	O	Gris argent	0.08 - 0.14										
Geomet® 321 PLUS VL Grade A*	O	Gris argent	0.09 - 0.14										
Geomet® 321 PLUS VL Grade B**	O	Gris argent	0.09 - 0.14										
Geomet® 321 PLUS ML Grade A*	O	Gris argent	0.10 - 0.16										
Geomet® 321 PLUS ML Grade B**	O	Gris argent	0.10 - 0.16										
Geomet® 321 PLUS M Grade A*	O	Gris argent	0.12 - 0.18										
Geomet® 321 PLUS M Grade B**	O	Gris argent	0.12 - 0.18										
Deltaprotekt® KL100 Grade A*	O	Gris argent	0.12 - 0.18										
Deltaprotekt® KL100 Grade B**	O	Gris argent	0.12 - 0.18										
Deltaprotekt® VH300 Grade A*	O	Incolore	0.12 - 0.18										
Deltaprotekt® VH300 Grade B**	O	Incolore	0.12 - 0.18										
Deltaprotekt® VH 301 GZ Grade A*	O	Incolore	0.08 - 0.14										
Deltaprotekt® VH 301 GZ Grade B**	O	Incolore	0.08 - 0.14										
Deltaprotekt® VH 302 GZ Grade A*	O	Incolore	0.10 - 0.16										
Deltaprotekt® VH 302 GZ Grade B**	O	Incolore	0.10 - 0.16										

\* Grade A = poids de couche > 24 g/m<sup>2</sup> pour une épaisseur comprise entre 5 et 7 microns

\*\* Grade B = poids de couche > 36 g/m<sup>2</sup> pour une épaisseur comprise entre 8 et 10 microns



COMPOSANTS D'ASSEMBLAGE  
FASTENING SOLUTIONS

313 rue Louis Armand  
BP 220 Z.I. des Grands Prés  
74304 Cluses Cedex France  
Tel. +33 (0)4 50 98 13 13  
Fax. +33 (0)4 50 98 28 89  
E-mail. [commercial@clufix.com](mailto:commercial@clufix.com)  
[www.laclusienne.com](http://www.laclusienne.com)

