

Master-Thesis en Conservation-restauration

DES COMPROMIS DANS LA RESTAURATION DE FERRONNERIE D'ART EN EXTÉRIEUR:

Le cas de la projection thermique de zinc*

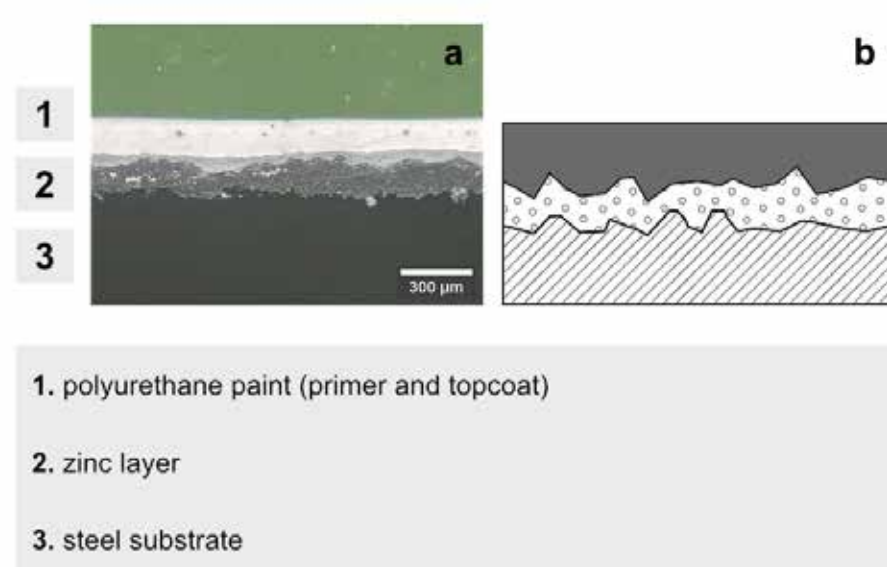


Fig. 1 : Vue en coupe du système de revêtement (a) sous microscope, pris dans de la résine (verte) visible en haut (b) schématisée. © HE-Arc CR, Favre Julien, 2026.

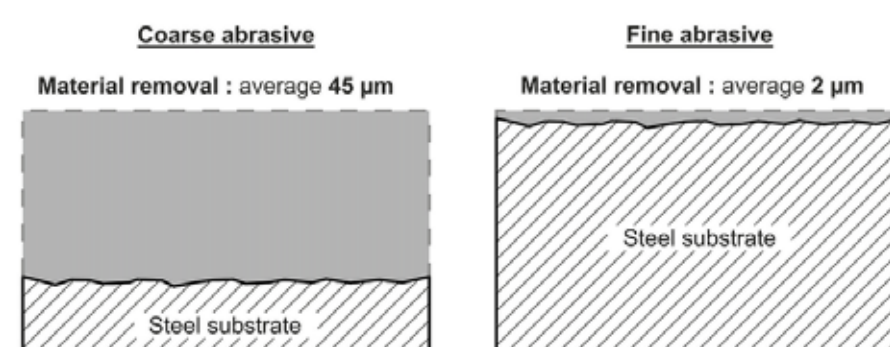


Fig. 2 : Schéma représentant la différence de perte de métal exprimée en micron (µm) lors du sablage avec un abrasif grossier (coarse) et fin (fine). © HE-Arc CR, Favre Julien, 2026.

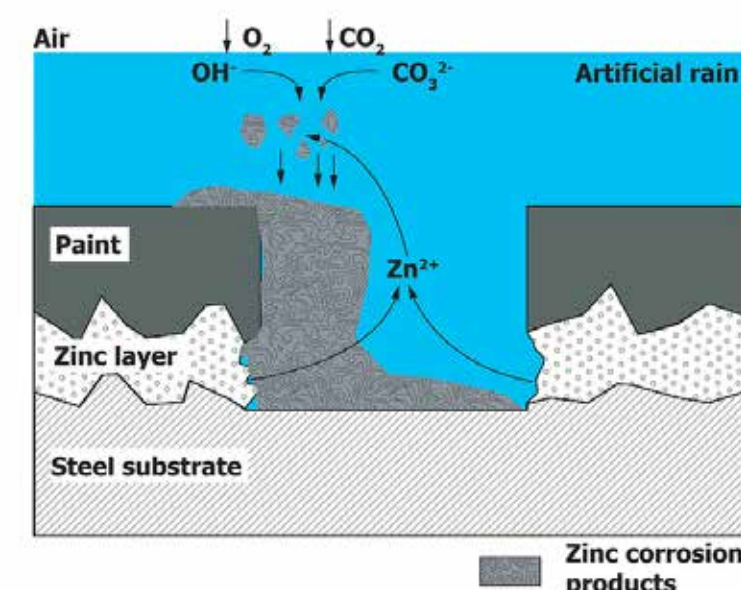


Fig. 3 : Schéma représentant le comportement du zinc lorsqu'une rayure dans le revêtement laisse le substrat en acier au contact de l'environnement. Le zinc corrode en priorité et ses produits de corrosion comblent le défaut, diminuant avec le temps la corrosion dans le défaut. © HE-Arc CR, Favre Julien, 2026.

Présenté par **FAVRE Julien**

Master of Arts HES-SO en Conservation-restauration
Orientation : Objets scientifiques, techniques et horlogers
Mentor : Dr EMMERSON Nicola, Reader in Conservation, Cardiff University, Cardiff (Pays de Galles)
Responsable de stage : Dr IGUAL MUÑOZ Anna, Scientific Consultant, EPFL, Lausanne (Suisse)
Réalisation : Printemps 2026

RÉSUMÉ

En Suisse romande, la restauration de ferronneries recourt souvent à la projection thermique de zinc, très efficace contre la corrosion. Ce procédé exige toutefois un sablage complet qui élimine peintures et oxydes métalliques à la surface, ainsi que quelques microns du substrat métallique.

Cette étude, croisant les points de vue de l'artisanat, de la conservation-restauration et de la science des matériaux, cherche à limiter ce caractère invasif et à comprendre comment le revêtement protège l'acier. Sur des échantillons d'acier doux, un abrasif fin (grenat) réduit la perte de matière d'un facteur 18 en moyenne, avec une adhérence du zinc toujours supérieure au seuil de 4 MPa (ISO 2063-2). En immersion, le zinc protège l'acier même en présence d'un défaut, en jouant le rôle d'anode sacrificielle. Sous ruissellement continu, en revanche, les produits de corrosion du zinc sont lessivés et l'acier corrode après quelques jours. Le choix du traitement reste à faire au cas par cas, mais la projection thermique convient bien aux ouvrages peu entretenus.

CONTEXTE

Les ferronneries des 19e et 20e siècles sont très présentes dans le paysage architectural. En Suisse romande, leur restauration est souvent confiée à des artisans serruriers ou forgerons, qui privilégient des revêtements invasifs mais très efficaces, pour des raisons de sécurité et de coût. Le plus répandu est la projection thermique de zinc : du zinc en fusion est projeté sur l'ouvrage préalablement sablé, puis recouvert d'une peinture de finition. Le sablage doit atteindre le métal nu et entraîne donc la perte des peintures et oxydes d'origine, ainsi qu'une perte de matière du substrat en acier.

Cette étude explore si, selon son efficacité et son invasivité, la projection thermique de zinc est une méthode justifiée pour la restauration de ferronnerie.

Pour y répondre, deux objectifs ont été établis :

1. Mesurer l'impact du sablage sur la surface métallique d'une ferronnerie ;
2. Déterminer les mécanismes de protection du revêtement.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Des échantillons d'acier doux ont été sablés, revêtus de zinc pur par projection thermique, et de peinture polyuréthane appliquée au pistolet (voir Figure 1).

Pour mesurer l'impact du sablage, deux granulométries du même abrasif, le grenat, ont été comparées (pesée, microscopie confocale et des essais d'arrachement).

La protection contre la corrosion a été suivie en immersion et sous ruissellement de pluie artificielle. Des défauts artificiels ont été effectués au travers des revêtements jusqu'à la surface de l'acier. L'évolution du système est mesurée avec des méthodes électrochimiques (potentiel et spectroscopie d'impédance électrochimique), ainsi qu'avec une caractérisation des produits de corrosion (Raman et MEB-EDX).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Concernant l'impact du sablage sur la surface d'une ferronnerie :

Avec le grenat fin, la perte de matière est en moyenne 18 fois plus faible qu'avec le grenat grossier (voir Figure 2). L'adhérence du zinc au substrat en acier reste toujours supérieure à 4 MPa, le minimum exigé par la norme ISO 2063-2 (2017). Un abrasif plus fin limite donc l'invasivité du sablage sans nuire à la tenue du revêtement.

Concernant les mécanismes de protection du revêtement :

Intact, le revêtement n'absorbe pas d'eau et reste stable pendant l'essai. En présence d'un défaut (une rayure jusqu'à l'acier par exemple), le zinc joue le rôle d'anode sacrificielle et protège l'acier. En d'autres termes, l'acier est sous protection cathodique. En immersion, le zinc corrode et forme dans le défaut une masse de produits de corrosion (voir Figure 3) qui ralentit la corrosion et le système se stabilise au fil des jours. Sous ruissellement continu, ces produits sont lessivés : la protection cathodique cesse et l'acier corrode après quelques jours.

CONCLUSION

Réduire la granulométrie de l'abrasif diminue considérablement la perte de matière lors du sablage. La projection thermique protège bien en particulier dans des cas de défauts qui laissent localement l'acier à nu. C'est une option intéressante pour les ouvrages où peu de maintenance est prévue, pour des raisons d'accès ou de coût. La perte des couches historiques reste toutefois le principal inconvénient du procédé. Ce choix est à faire au cas par cas, selon l'ouvrage, son état de dégradation et son contexte.

* Titre du mémoire écrit en anglais :

Compromises in outdoor heritage ironwork restoration : The case of the thermal zinc spraying and paint topcoat system