

## Protection anticorrosion des ouvrages métalliques

### La méthode électrique de détection des porosités

**Guy MAIRE**

Chimie des ouvrages et des matériaux

Division Ouvrages d'art

Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Blois

**Daniel ANDRÉ**

Directeur de recherche

Chef du service Physico-chimie des matériaux

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

## Introduction

Lors du suivi de la mise en œuvre d'un système de protection anticorrosion par peinture ou lors de l'expertise de la pathologie d'une protection existante, la mesure des épaisseurs (par couche et sur le système complet) et l'évaluation de l'adhérence (méthodes destructives, par quadrillage ou par traction), sont des pratiques courantes de nos laboratoires.

Par contre, la vérification de l'étanchéité du feuil n'est pas inscrite dans nos procédures de suivi sinon par la simple observation visuelle d'absence de défauts tels que bullage, trous d'épingles, etc. Or ces défauts peuvent être de dimensions telles qu'on les détecte difficilement à l'œil nu.

Il est inutile d'être spécialiste pour comprendre que l'étanchéité d'un feuil de protection est un paramètre très important conditionnant directement l'efficacité et la durabilité de cette protection. À la limite, mieux vaut un film étanche avec quelques manques d'épaisseurs qu'un film d'épaisseur conforme à la spécification mais poreux ! !

Or, des méthodes existent pour détecter les discontinuités d'un revêtement d'un métal conducteur. Il s'agit des méthodes électriques qui ont en commun le principe très simple de détection d'une absence d'isolant entre la surface d'un revêtement et le métal conducteur à protéger, au niveau d'une porosité.

Afin d'améliorer nos méthodes de suivi de mise en œuvre, d'expertise et de pathologie, nous avons procédé à une évaluation de la méthode électrique basse tension dite « à l'éponge humide » en l'appliquant à des systèmes types de peinture couramment utilisés pour la protection de nos ouvrages métalliques.

## Les méthodes électriques de détection des porosités

Il existe deux types d'appareillage de détection électrique des discontinuités d'un revêtement isolant sur un support conducteur :

- les appareillages dit « basse tension et éponge humide » (Low voltage wet sponge testing),
- les appareillages dit « haut voltage et étincelle » (high voltage spark testing) plus connus sous le nom de « peignes électriques ».

La documentation commerciale et les recommandations émanant essentiellement de la NACE International (National Association of Corrosion Engineers) donnent le domaine d'emploi de chaque méthode :

- basse tension et éponge humide : revêtement d'une épaisseur inférieure à 500 µm. La méthode est réputée « non sensible » pour des épaisseurs plus grandes ;
- haute tension et étincelle : revêtements de 0,2 à 3,5 mm avec tension dépendant de l'épaisseur et pouvant aller de 1 500 à 15 000 volts.

Dans la pratique, le peigne électrique est couramment utilisé pour réceptionner des travaux de protection avec des revêtements millimétriques ou sub-millimétriques (fonds de bacs, pipe, etc.). Il existe même des appareillages avec forme du peigne adaptée à l'objet à mesurer (par exemple, peigne circulaire pour la réception des protections de pipe avec un diamètre du peigne adapté au diamètre du pipe...).

Par contre, cette méthode présente les inconvénients suivants :

- elle est dangereuse dans un milieu confiné pouvant être riche en produits inflammables, ce qui est souvent le cas dans le milieu de la peinture... ;

- elle est destructive car l'étincelle provoque une destruction localisée du revêtement, qui rend une réparation obligatoire.

Les systèmes de peinture pour la protection des ouvrages d'art métalliques ont, d'une manière générale, des épaisseurs inférieures à 500 µm. C'est la raison pour laquelle la méthode de détection des porosités évaluée ici est la méthode basse tension dite à l'éponge humide.

## La méthode basse tension dite « à l'éponge humide »

L'appareillage utilisé (Elcometer 269 – voir fig. 1), comprend :

- un générateur basse tension alimenté par des piles (trois tensions sont disponibles : 9-67,5 et 90 volts),
- une électrode constituée par une éponge à humidifier,
- une prise de terre à raccorder à la surface métallique. La longueur du fil de cette prise de terre donne la surface explorable correspondante.

L'utilisation de cet appareillage est simple. La procédure consiste à :

- repérer la surface en la choisissant accessible en sécurité et observable à la loupe,
- installer la prise de masse ; s'assurer du bon fonctionnement de l'appareil en touchant la prise de masse (court circuit détecté par une sonnerie),
- faire une blessure au cutter ou choisir une blessure existante située loin de la masse et vérifier le bon fonctionnement (sonnerie à 90 volts),
- si besoin, nettoyer la surface à mesurer avec un mélange d'eau et de détergent puis essuyer cette surface avec un chiffon propre,
- commencer à 9 volts puis à 67,5 volts puis à 90 volts jusqu'à l'éventuelle sonnerie. Ne retenir que la détection à la plus petite tension,
- ne pas déplacer l'éponge trop rapidement et revenir au moins trois ou quatre fois pour que l'eau ait le temps de s'infiltrer dans les porosités éventuelles,
- en cas de détection, essuyer la surface pour éviter les court-circuits de surface puis essayer de trouver la porosité en s'aidant de l'appareil et de la loupe,
- noter la tension d'essai et l'intensité des porosités (estimation du nombre de pores au décimètre carré),
- lors de l'observation à la loupe, essayer d'estimer l'intensité des pores,

leurs dimension (en s'a aidant de l'échelle micrométrique) et surtout ne pas oublier de noter s'il y a enrouillage au fond des pores.

Il convient, en outre, d'assortir la détection des porosités avec les données suivantes :

- descriptif du système examiné,
- épaisseur dans la zone mesurée,
- toutes informations utiles (défaut d'aspect, craquelage etc.).

Le tableau I donne un exemple de présentation des résultats.

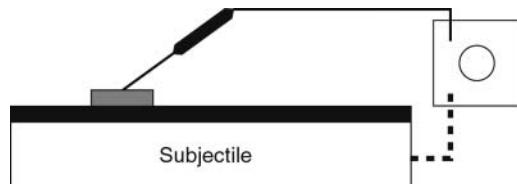
## Interprétation et synthèse des mesures

Dans le cadre de l'évaluation du matériel, des mesures ont été réalisées :

- soit sur site :

- pour les constructions neuves, en réception du système terminé ou à des fins plus spécifiques,

- soit lors de l'application des systèmes en atelier (construction neuve) :



a. Schéma de montage.



b. Simplicité d'utilisation du matériel.

Fig. 1 - Ecolmeter 269.

TABLEAU I  
Détection des discontinuités et porosités – Méthode basse tension (éponge humide)  
Exemple de présentation des résultats

Ouvrage : XXX	Système (NB n° 1) : HAM 1/3 354 33 PRZ/Époxyde MIO/acryl-PU  Date application : atelier = 10/89 à 4/90 ; site = 6/90 à 10/90	Opérateur : GM  Date : 23 / 10 / 96  Lieu : XXX
---------------	---	---

Localisation	Épaisseur (µm)	Surface (dm <sup>2</sup> )	Détection et tension (NB n° 2)	Intensité NB n° 3	Observations loupe (8 fois) NB n° 4
Intrados semelle inf. T26 Système complet « Z1 » Surface d'aspect « rouillé »	260 à 410	3 à 5	? à 9 V (limite) Oui à 67,5 V (net)	** à ***	Porosité allant jusqu'à l'acier ( $\Phi = 1/10$ mm) Enrouillage en fond de porosité
Zone voisine de Z1 ci dessus mais sans enrouillage	260 à 410	3 à 5	Non à 90 V	–	–
Même zone que ci-dessus, après enlèvement de la finition et mesure sur l'intermédiaire dégagé		3 à 5	Non à 90 V		–
Ame T26, partie vue pas d'enrouillage	250 à 320	50	Non à 90 V	–	–

NB n° 1 : indiquer s'il s'agit du système complet ou partiel après 2<sup>e</sup> couche par exemple.  
NB n° 2 : indiquer Oui/Non (détection) et la tension minimum de détection (9 ; 67,5 ou 90 V). (Exemple : non à 67,5 V ; oui à 90 V).  
NB n° 3 : \* : moins de 1 porosité par dm<sup>2</sup>,  
\*\* : entre 1 et 10 porosité par dm<sup>2</sup>,  
\*\*\* : plus de 10 porosité par dm<sup>2</sup>,  
NB n° 4 : dans les observations, penser à signaler l'enrouillage en fond de trou et (si possible, le diamètre du trou).

➤ pour un soutien au diagnostic ou à l'expertise en cas de désordre.

Le suivi de l'application des systèmes en atelier montre que :

❶ La détection électrique « basse tension – éponge humide » des discontinuités et porosités n'a **pas de signification après application d'un primaire** du type de ceux généralement utilisés en ouvrages d'art neufs ( primaire de faible épaisseur, inférieur à 100 micromètres).

En raison de la rugosité de départ et de l'irrégularité d'application (application manuelle), il est, en effet, « normal » d'avoir toujours quelques discontinuités sous forme de pics pas ou peu couverts par la peinture.

Cette absence de signification est *a fortiori* valable dans le cas d'un primaire riche en zinc car un tel produit est conducteur (par définition !) ;

❷ Par contre, **toutes les mesures effectuées après application de la deuxième couche et en absence de défaut visible**, de type microbulrage par exemple, **ont montré une absence de porosité** même à la tension la plus élevée de 90 volts.

Cette observation est valable même en cas de primaire riche en zinc, pour les systèmes bi- et monocomposants.

Ce point est important car, s'il semble difficile d'obtenir une étanchéité complète directement après primaire, on peut, par contre, considérer comme normal de l'obtenir après l'application de la deuxième couche.

Par ailleurs, il est « périlleux » de compter sur la finition pour obtenir cette étanchéité, surtout s'il s'agit d'une finition en épaisseur fine du type polyuréthane ou acrylique à 50 µm environ.

Toujours dans le cadre du suivi de travaux neufs, des mesures effectuées lors de la reprise des joints soudés sur site montrent bien l'intérêt de ce genre d'appareil. Le décapage des joints soudés sur site (pour application du système de peinture sur cette zone réservée) doit se faire avec précaution afin de ne pas endommager la partie voisine du système appliqué en atelier (généralement les deux premières couches du système de peinture). Dans ce cas précis, il s'agissait de vérifier que le sablage du joint avait été réalisé d'une façon trop large et avait endommagé les zones voisines. Des porosités furent effectivement détectées à des distances appréciables du joint et dans le système bi- couches appliqué en atelier, alors que celui ci ne montrait aucun défaut

(aucune porosité) au départ du constructeur métallique.

Bien que moins nombreuses, les mesures réalisées hors du cadre d'un suivi de travaux neufs (diagnostic, expertise, etc.) ont également montré l'intérêt de l'appareillage. Nous citerons, à cet effet, deux exemples.

➤ Le premier concerne une poutre expérimentale peinte en 1990 avec un système époxyde/polyuréthane classique. Cinq ans après, cette poutre ne montrait aucun enrouillement, y compris sur les zones de soudures sur lesquelles la finition n'avait pas été appliquée (pour montrer comment réaliser ces zones réservées). Toutefois, des porosités (difficilement visibles à l'œil nu) ont été détectées sur ces zones avec deux couches uniquement... L'observation à la loupe montre la présence de zinc au fond du trou, ce qui explique l'absence d'enrouillement malgré la présence de porosité.

➤ Le second exemple concerne un ouvrage bipoutre mixte après six ou sept mois d'exposition en atmosphère humide et maritime. Certaines zones présentaient (en intrados essentiellement, c'est-à-dire en zones condensantes) un enrouillement apparent. Des porosités ont été effectivement détectées au niveau des zones ayant un aspect enrouillé, alors que le système ne montrait aucune porosité ailleurs y compris quand on enlevait la finition. Cette détection des porosités a permis :

❶ d'une part, de confirmer qu'il s'agissait bien d'un enrouillement venant du support (les traces de « rouille » pouvaient provenir du pigment de la couche intermédiaire à l'oxyde de fer micacé),

❷ d'autre part, d'émettre l'opinion, sans prendre trop de risque, que l'enrouillement (localisé) était dû à une porosité initiale de la couche intermédiaire.

## Conclusion

L'appareillage de détection des discontinuités/porosités d'un feuillet de peinture par méthode électrique à basse tension et voie humide (appareillage dit « à l'éponge humide ») est un appareil simple dans son principe, ergonomique et bien adapté au terrain.

De plus, la mesure présente l'avantage d'être non destructive (contrairement aux « peignes » haute tension avec étincelle).

L'appareillage testé permet une détection fiable et aisée des porosités d'un système de peinture anticorrosion dans la gamme des épaisseurs couramment utilisée sur ouvrage d'art métallique (supérieur à 500 micromètres).

Pour ce qui concerne le suivi de la mise en œuvre des systèmes de protection (ouvrage neuf ou entretien d'un ouvrage ancien), les mesures réalisées montrent qu'il peut ne pas être réaliste d'exiger une étanchéité parfaite dès l'application de la première couche d'un système de peinture. Par contre, une telle exigence devient possible dès la deuxième couche et nécessaire, évidemment, sur le système terminé (deux, trois couches ou plus...).

Cette exigence est d'ailleurs et d'ores et déjà incorporée dans le projet de révision du fascicule 56 du CCTG relatif à la protection anticorrosion des ouvrages métalliques. Ce projet prévoit, en effet, un contrôle de l'absence de porosité sur les éléments d'ouvrage au départ du constructeur métallique ainsi qu'en réception du système terminé.

Pour ce qui concerne l'aide au diagnostic et à l'expertise, il est nécessaire d'étoffer plus les investigations menées sur ouvrage existant afin de bien évaluer les apports de l'appareillage.

On peut considérer, toutefois, que la détection des porosités est une donnée de base pour décrire l'état d'un système de protection, donnée qui vient en complément des observations habituelles : épaisseurs résiduelles, adhérence (arrachement, quadrillage), défauts apparents tels que enrouillement, cloquage etc.).

Toutefois, pour éviter des interprétations abusives ou erronées, il est préférable que l'utilisateur de cet appareil ait un minimum d'expertise et de connaissance dans le domaine des systèmes de protection anticorrosion par peinture. Cette utilisation par un inspecteur certifié ACQPA/FROSIO est ainsi recommandée.

En conclusion, l'absence de porosité ou la bonne étanchéité d'un système de peinture anticorrosion est une donnée aussi importante que son épaisseur, son adhérence et son absence de défaut. La technique de détection électrique basse tension et voie humide permet cette vérification de façon simple et fiable. Il est donc maintenant conseillé aux laboratoires ayant une activité dans ce domaine de s'équiper de ce genre d'appareil.