

NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

Pour bien mesurer la corrosion de l'armature du béton à l'aide de relevés de potentiel par demi-pile
Gu, Ping; Beaudoin, J. J.

For the publisher's version, please access the DOI link below./ Pour consulter la version de l'éditeur, utilisez le lien DOI ci-dessous.

Publisher's version / Version de l'éditeur:

<https://doi.org/10.4224/40002924>

Solution constructive; no. 18, 1998-07-01

NRC Publications Archive Record / Notice des Archives des publications du CNRC :

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=a7726175-c3f4-439e-b7cb-38cd3905f0d6>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=a7726175-c3f4-439e-b7cb-38cd3905f0d6>

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright>

READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits>

LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

Questions? Contact the NRC Publications Archive team at

PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

Vous avez des questions? Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.

Pour bien mesurer la corrosion de l'armature du béton à l'aide de relevés de potentiel par demi-pile

par Ping Gu et J.J. Beaudoin

Le relevé de potentiel par demi-pile est une technique électrochimique souvent utilisée par les ingénieurs pour évaluer le degré de corrosion des ouvrages en béton armé. Le présent document traite des différents facteurs qui peuvent influencer sur la fiabilité des données recueillies à l'aide de cette méthode.

La corrosion des armatures est un facteur important de détérioration des routes et des ponts. L'évaluation de l'état des structures en béton armé est la première étape du processus de remise en état. Une inspection rapide et non destructive présentant un bon rapport coût-efficacité permet souvent d'obtenir des renseignements essentiels sur la corrosion des ouvrages, contribue à assurer la qualité des travaux de réparation et de remise en état du béton, et aide à prévoir la durée de vie restante des ouvrages.

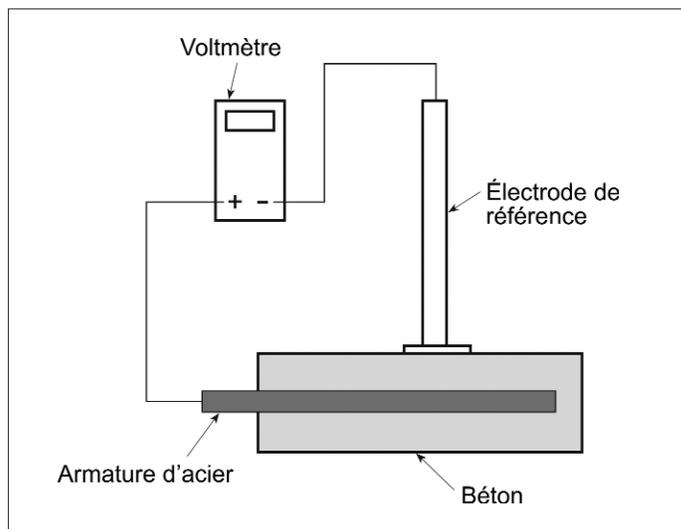


Figure 1. Schéma de principe de la technique du relevé de potentiel par demi-pile

Relevé de potentiel par demi-pile

La façon la plus simple d'évaluer le degré de corrosion de l'acier est de mesurer son potentiel de corrosion car celui-ci est, du point de vue qualitatif, étroitement lié au premier. Pour ce faire, on peut mesurer la différence de potentiel entre une demi-pile portable ordinaire, normalement constituée d'une électrode de référence cuivre-sulfate de cuivre (Cu/CuSO_4) placée à la surface du béton, et l'armature d'acier située en dessous. Les éléments de base de cette méthode de mesure, appelée « relevé de potentiel par demi-pile », sont illustrés à la figure 1. L'électrode de référence est branchée à la borne négative du voltmètre et l'acier d'armature, à la borne positive.

La confiance dans la fiabilité des relevés de potentiel par demi-pile pour évaluer le potentiel de corrosion a été renforcée par les résultats recueillis au fil des ans, lors d'inspections visant à déterminer le degré de corrosion des tabliers de pont. Au cours des années 70, on a mis au point une méthode permettant de mesurer de façon empirique la probabilité relative d'activité de corrosion^[1,2]. C'est sur cette méthode qu'est fondée la norme ASTM C876. Celle-ci définit des lignes directrices générales (voir tableau 1) servant à évaluer la corrosion de l'armature des ouvrages en béton.

Facteurs influant sur les relevés de potentiel par demi-pile

Lorsqu'on interprète les relevés de potentiel par demi-pile, il faut tenir compte de facteurs comme la concentration d'oxygène et de

Tableau 1. Probabilité de corrosion d'après les relevés de potentiel par demi-pile

Relevé de potentiel par demi-pile Cu/CuSO ₄	Activité de corrosion
Valeur négative inférieure à -0,2 V	90% de probabilité d'absence de corrosion
Valeur située entre -0,2 V et -0,35 V	Plus grande probabilité de corrosion
Valeur négative supérieure à -0,35 V	90% de probabilité de corrosion

chlorures ainsi que la résistivité électrique du béton, qui ont tous un effet important sur les données obtenues. Les progrès technologiques survenus dans le domaine du béton et des méthodes employées pour le réparer (revêtements en matériaux denses et enduits protecteurs, inhibiteurs de corrosion, adjuvants chimiques, protection cathodique, etc.) ont aussi rendu les évaluations plus difficiles. Il importe de comprendre et d'intégrer tous ces facteurs, lors des relevés de potentiel par demi-pile, et de compléter l'évaluation en recourant à d'autres techniques non destructives.

Une simple comparaison des données recueillies grâce aux relevés de potentiel par demi-pile avec les lignes directrices de l'ASTM concernant la probabilité de corrosion de l'armature d'acier n'est pas toujours concluante. Normalement, plus le relevé de potentiel est négatif, plus la probabilité de corrosion est grande. Or ce n'est pas toujours le cas. De nombreux facteurs peuvent rendre les relevés plus positifs ou négatifs, mais ces variations ne sont pas nécessairement liées au degré de corrosion de l'acier.

Concentration d'oxygène

La concentration d'oxygène à l'interface armature-béton influe grandement sur les relevés de potentiel par demi-pile. Si la teneur en oxygène est moindre à la surface de l'acier, le relevé du potentiel de corrosion sera plus négatif, sans que cela n'indique nécessairement une forte probabilité de corrosion. Par exemple, le relevé du potentiel de corrosion sera plus négatif si l'acier d'armature est enrobé de béton dense et peu perméable, par rapport à un béton poreux perméable, mais cela n'indique pas nécessairement une forte probabilité de corrosion.

Carbonatation

La carbonatation du béton (qui résulte d'une réaction entre le dioxyde de carbone contenu dans l'atmosphère et l'hydroxyde de calcium présent dans le béton) provoque une diminution de la valeur du pH à l'interface acier-béton et une plus grande corrosion de l'acier. Dans ce cas, le relevé du potentiel par demi-pile sera plus négatif, mais il se peut que l'écart ne soit pas très important. Cependant, même un léger écart peut être lié à une forte augmentation de la vitesse de corrosion.

Concentration en ions chlorure

Une augmentation de la concentration en ions chlorure entraîne une importante augmentation de la vitesse de corrosion de l'acier. Le potentiel de corrosion devient alors beaucoup plus négatif. La norme ASTM C876 permet de bien prévoir ce cas.

Utilisation d'inhibiteurs de corrosion

Il est plus difficile d'évaluer les effets des inhibiteurs de corrosion sur les relevés de potentiel par demi-pile, car ces produits chimiques peuvent modifier le potentiel de corrosion de l'armature d'acier. La variation du potentiel de corrosion peut donc être positive ou négative selon que l'on utilise un inhibiteur anodique ou cathodique.

L'inhibiteur de corrosion anodique est un oxydant puissant. Le nitrite de calcium (produit commercial d'usage courant) en est un exemple. L'utilisation de ce type de produit provoque une variation positive du potentiel de corrosion de l'acier et réduit de façon importante la vitesse de celle-ci. Règle générale, le relevé de potentiel par demi-pile visant un ouvrage en béton armé contenant du nitrite de calcium est plus positif que celui obtenu dans le cas d'un ouvrage n'en renfermant pas.

Par contre, l'utilisation d'un inhibiteur cathodique cause une variation négative du potentiel de corrosion de l'acier et réduit le degré de celle-ci. Beaucoup d'inhibiteurs de corrosion vendus dans le commerce sont des inhibiteurs cathodiques. Par conséquent, lorsqu'on interprète les relevés de potentiel par demi-pile, il faut tenir compte des effets de tout inhibiteur cathodique qui a été employé.

Il existe aussi ce qu'on appelle des inhibiteurs de corrosion mixtes. Ce genre d'inhibiteur peut agir de deux façons sur le potentiel de corrosion de l'acier : il peut provoquer une variation négative ou positive. Avant d'effectuer des essais dans ces conditions, il faut demander au fabricant comment son produit influe sur le potentiel de corrosion de l'acier.

Armatures revêtues d'époxy ou galvanisées

Il est clairement indiqué dans la norme ASTM C876 que le relevé de potentiel par demi-pile ne convient pas lorsqu'il s'agit d'évaluer la corrosion des armatures revêtues d'époxy ou galvanisées. Dans le premier cas, l'enduit d'époxy n'assure pas une connexion électrique valable. Il est alors très difficile d'obtenir des relevés fidèles et cohérents, et même si on y parvient, ce peut être parce que l'enduit présente des défauts ou que les extrémités des barres d'armature sont endommagées ou non traitées. Dans le second cas, le

métal galvanique (normalement du zinc) protège l'armature d'acier. Le relevé que l'on obtient n'est pas celui du potentiel de corrosion de l'armature d'acier mais celui du potentiel combiné de l'acier et du zinc. Il se peut donc qu'il ne vaille pas la peine de procéder à une comparaison des données concernant le potentiel par demi-pile avec celles contenues dans la norme de l'ASTM. Cependant, l'observation de la variation des potentiels sur une longue période peut se révéler utile à condition que l'information recueillie soit analysée par un spécialiste de la corrosion.

Enrobage de béton dense

Un enrobage dense assure une bonne protection de l'acier contre la corrosion causée par les ions chlorure. Il a aussi pour effet de limiter le processus de diffusion de l'oxygène. La concentration d'oxygène à l'interface acier-béton peut être très faible et le potentiel de corrosion peut se déplacer vers la négative. Ce potentiel ne constitue donc pas une indication valable de forte probabilité de corrosion de l'acier.

Résistance du béton

Une grande résistance, dans le cas du béton, peut fausser sérieusement les relevés de potentiel par demi-pile. On trouvera à la figure 2 un schéma du circuit de mesure. Le potentiel mesuré à l'aide de la demi-pile est en fait le potentiel entre les deux extrémités de la résistance interne du voltmètre. C'est uniquement lorsque celle-ci est beaucoup plus grande que la résistance du béton que les résultats obtenus donnent une idée juste du potentiel de corrosion de l'armature d'acier. Il y a donc deux façons d'accroître la précision des mesures effectuées : réduire la résistance du béton (par exemple en mouillant la surface) ou utiliser un voltmètre muni d'une plus grosse résistance interne (plus de 20 MΩ). On peut aussi diminuer la résistance du béton en plaçant l'électrode de référence juste au-dessus de l'armature.

Enduits organiques ou de protection

Les relevés de potentiel par demi-pile effectués sur un béton armé revêtu d'un produit organique ou de protection peuvent être faussés, voire impossibles à faire en raison de la grande résistance de celui-ci. Des essais peuvent toutefois être réalisés aux endroits où l'enduit est absent ou endommagé. Si l'enduit utilisé est imperméable à l'oxygène, il faut tenir compte de la raréfaction de ce gaz dans l'interprétation des résultats.

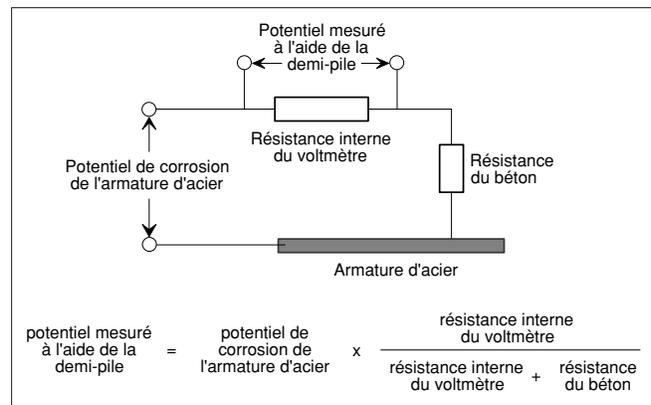


Figure 2. Représentation schématique du circuit de mesure à l'aide de la demi-pile

Rapiécage du béton

Le rapiécage du béton crée normalement des zones où le béton n'est pas homogène. Il en résulte un déséquilibre du potentiel électrochimique entre l'armature du béton original et le béton qui a servi au rapiécage. On peut alors observer des irrégularités dans les relevés de potentiel par demi-pile effectués sur les parties rapiécées et à proximité, ainsi qu'une accélération du processus de corrosion.

Systèmes de protection cathodique ou courants vagabonds

Un système de protection cathodique sous tension ou des courants vagabonds peuvent fausser complètement les relevés de potentiel par demi-pile. Avant de procéder à des mesures, il faut arrêter le système et laisser au moins 24 heures à l'armature pour se dépolariser. Si les relevés sont instables et présentent de fortes variations – tant positives que négatives –, cela peut dénoter la présence de courants vagabonds.

Autres facteurs

Il existe de nombreux autres facteurs ou combinaisons de facteurs qui peuvent influencer sur la précision des relevés de potentiel par demi-pile. Il importe de bien comprendre l'influence de ces facteurs pour être en mesure d'interpréter correctement les résultats. On trouvera au tableau 2 un résumé des effets des différents facteurs examinés dans cet article.

Précautions à prendre lors des relevés de potentiel par demi-pile

Une évaluation fiable, grâce à la méthode des relevés de potentiel par demi-pile, des dommages causés à un ouvrage en béton armé sous l'effet de la corrosion exige de bien se préparer, d'apporter beaucoup de soin aux mesures à effectuer et de valider les données recueillies. La norme C876 de l'ASTM indique la marche à suivre dans ce cas. Avant de procéder aux mesures, il faut obtenir l'information suivante :

Tableau 2. Effet de différents facteurs sur la variation du potentiel mesuré à l'aide de la demi-pile et sur la probabilité de corrosion

Facteur	Variation du potentiel	Corrosion de l'armature d'acier	Applicable à ASTM C876
Réduction de la concentration d'oxygène	négative	peut ne pas augmenter	non
Carbonatation/diminution du pH	négative	augmentation	oui
Augmentation de la concentration en chlorures	négative	augmentation	oui
Inhibiteur de corrosion anodique	positive	réduction	oui
Inhibiteur de corrosion cathodique	négative	réduction	non
Inhibiteur de corrosion mixte	positive ou négative	réduction	non
Armature revêtue d'époxy	positive	sans rapport	non
Armature galvanisée	négative	sans rapport	non
Enrobage de béton dense	négative	sans rapport	non
Résistance du béton	positive	sans rapport	non
Béton sec	positive	sans rapport	non
Emplacement de l'électrode de référence	positive	sans rapport	non
Enduits organiques ou de protection	positive	sans rapport	non
Rapiéçage du béton	positive or négative	sans rapport	non
Protection cathodique	négative	sans rapport	non
Courants vagabonds	fluctue entre positive et négative	sans rapport	non

Note : On trouve dans la première colonne la description du facteur considéré et dans la deuxième colonne, la façon dont ce facteur influe sur le potentiel mesuré à l'aide de la demi-pile. La variation peut être positive ou négative. La troisième colonne indique le rapport entre la variation du potentiel et le degré de corrosion de l'armature d'acier. Par exemple, la variation du potentiel mesuré au moyen de la demi-pile peut être liée à une activité de corrosion forte ou faible, ou bien telle ou telle situation peut ne pas avoir de rapport avec la probabilité de corrosion de l'armature. La dernière colonne indique si les lignes directrices de l'ASTM concernant la probabilité de corrosion peuvent s'appliquer directement.

- les principales caractéristiques de l'ouvrage (nature et emplacement des matériaux d'armature utilisés, adjuvants utilisés, le cas échéant, composition du béton, qualité et quantité de l'enrobage de l'armature d'acier, etc.);
- les travaux de réparation et de protection effectués précédemment (rapiéçage, mesures de protection, etc.);
- l'évaluation de l'état de l'ouvrage faite précédemment (relevés de potentiel par demi-pile, résultats des inspections visuelles et des études de délamination, analyse de la teneur en chlorures, etc.).

En outre, les relevés de potentiel par demi-pile devraient toujours être validés par d'autres mesures avant d'être interprétés sous l'angle de la probabilité de corrosion. On utilise couramment nombre de méthodes, en association avec celle des relevés de potentiel par demi-pile, pour mesurer la corrosion *in situ* : inspection visuelle, évaluation de la délamination, mesure de la teneur en chlorures, mesure de la résistance du béton, détermination de l'épaisseur de l'enrobage de béton, établissement du profil de carbonatation, mesure de la vitesse de corrosion à certains endroits^[3]. Le choix des méthodes est

habituellement fonction des ressources existantes et des particularités de l'ouvrage évalué. Les quatre premières méthodes, en particulier, sont essentielles à une bonne évaluation des relevés de potentiel par demi-pile.

Résumé

De manière générale, plus le relevé de potentiel est négatif, plus il est considéré comme dénotant une forte probabilité de corrosion. Cependant, cette « règle » ne s'applique pas dans tous les cas en raison de la complexité des technologies modernes du béton et de réparation de ce matériau. L'évaluation de la corrosion de l'armature d'acier sur la seule base des valeurs « absolues » obtenues lors des relevés de potentiel par demi-pile peut induire les ingénieurs en erreur et les

amener à faire de mauvais jugements.

Il importe de savoir que les relevés de potentiel par demi-pile permettent d'établir la probabilité de corrosion à un endroit et à un moment précis. L'analyse des relevés effectués sur une longue période est plus utile.

Références

1. Broomfield, J.P. « Assessing Corrosion Damage on Reinforced Concrete Structures », dans Corrosion and Corrosion Protection on Steel in Concrete, actes de conférence internationale, université de Sheffield, R.-U., dir. publ. R.N. Swamy, vol. 1, p. 1-25.
2. Spellman, D.L., et Stratfull, R.F. « Concrete Variables and Corrosion Testing », Highway Research Record, 423, 1973.
3. Stratfull, R.F. « Half-Cell Potentials and the Corrosion of Steel in Concrete », Highway Research Record, 433, 1973.

Ping Gu, Ph.D., est agent de recherche et J.J. Beaudoin, Ph.D., agent de recherche principal au sein du Programme enveloppe et structure du bâtiment, à l'Institut de recherche en construction du Conseil national de recherches.

© 1998
Conseil national de recherches du Canada
Juillet 1998
ISSN 1206-1239

« Solutions constructives » est une collection d'articles techniques renfermant de l'information pratique issue de récents travaux de recherche en construction.

Canada

Pour obtenir de plus amples renseignements, communiquer avec l'Institut de recherche en construction, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa K1A 0R6
Téléphone : (613) 993-2607; Télécopieur : (613) 952-7673; Internet : <http://www.nrc.ca/irc>