

Partie 1 – Évaluation non destructive des matériaux

SUR L'ÉROSION DES VOILES EN BÉTON ARMÉ

EROSION OF REINFORCED CONCRETE WALLS

Fattoum KHARCHI^(a), Kawthar HADJA^(b)
USTHB, Lab LBE, FGC, Alger-Algérie
kharchifcong@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Le travail porte sur l'érosion de voiles en béton armé, l'étude est menée sur un site réel dont les bâtiments ont été réalisés dans les années 70. De formes architecturales particulières (Architecte Oscar Niemeyer), les bâtiments sont construits en voiles inclinés. Au fil des années, des panneaux de voiles non protégés ont subi une érosion sous l'action des pluies et ce en comparaison avec les parties protégées donc non exposées à la pluie. L'étude fait apparaître l'effet néfaste de l'érosion par écoulement sur la durabilité des constructions en béton armé.

ABSTRACT

The study focuses on the erosion of reinforced concrete walls. The study is conducted on a real site, whose buildings were made in the 70s. The buildings have special architectural forms with inclined walls (Oscar Niemeyer architect). Over the years, panels of unprotected walls have been eroded by the action of rainfall and compared with protected panels not exposed to rain. The study brings up the harmful effect of flowing erosion on the sustainability of reinforced concrete structures.

Mots-clés : béton, Érosion, écoulement, empreinte, eau de pluie

* * *

1. INTRODUCTION

Malgré sa résistance mécanique, longtemps prise comme critère de base, le béton reste un matériau qui peut être fragilisé par son environnement. L'eau de pluie par son action battante et par son écoulement conduit à l'érosion du béton. Ceci réduit l'enrobage des armatures et facilite la pénétration des agents agressifs. Ce problème est observé dans les bâtiments de l'USTHB à Alger. Ces derniers ont des formes géométriques différentes (inclinées, courbées, droites) et l'effet de l'érosion est très apparent, en particulier, sur les parois inclinées.

Dans la littérature, l'érosion du béton a fait objet de plusieurs travaux. Les mesures faites jusque là ont été effectuées sur des éprouvettes de béton. Nous citons les travaux Yu-Wen [1] et de W. MOMBER[2] et [3] portant sur l'évaluation de la résistance du béton par écoulement d'un flux d'eau. Dans [4], les auteurs se sont intéressés à l'érosion dans les bassins de stations d'épuration des eaux usées.

Dans notre cas l'érosion est due à la perte de matière par l'action des eaux de pluie sur des voiles. Les mesures sont effectuées sur des empreintes prises in situ.

2. DESCRIPTION SOMMAIRE DU SITE

Le site étudié est celui de notre université conçue par l'architecte Oscar Niemeyer. Les bâtiments sont totalement en béton armé nu sans aucun revêtement. Ils ont été construits durant les années 70 jusqu'au début des années 80, donc

sans dispositions particulières vis à vis de la durabilité. Cette dernière n'était pas encore intégrée dans les normes de conception et de calcul. Les bâtiments sont réalisés en voile de formes architecturales diverses. Le climat du site est méditerranéen, il est caractérisé par des pluies abondantes et peuvent être diluviennes en hiver.

3. PROGRAMME EXPÉRIMENTAL

Ne disposant pas de moyens efficaces pour effectuer les mesures directement sur les parois, nous avons eu recours à des mesures indirectes sur des empreintes relevées sur les parois elles mêmes. Pour notre étude, nous avons sélectionné des voiles présentant une partie érodée et une partie saine (figure 1: [photographie 1] et [photographies 2]). La partie saine du voile présente la référence. Il s'agit exactement du même béton, du même élément de structure, avant et après érosion. Nous avons travaillé sur les éléments du type de la [photographie 2] car dans ce cas le voile est soumis seulement à l'effet de l'écoulement. Les éléments du type de la [photographie 1] (amphithéâtres) sont soumis à l'effet de la pluie battante et celui de l'écoulement. Ils sont aussi très abîmés par la carbonatation. L'écoulement est celui des eaux pluviales qui ne sont pas canalisées et des-

centent le long des voiles sur la partie externe (partie gauche). Ce sont les parties ombrées [photographies 2].

4. MODE OPÉRATOIRE

4.1. Les empreintes

Les empreintes sont prises par une pâte constituée essentiellement de colle silicone et de plâtre. Le plâtre a été ajouté pour réduire la déformabilité de la colle silicone. Les surfaces de mesure sont choisies de sorte qu'elles intègrent une partie érodée et une partie non érodée. La pâte de silicone est d'abord étalée sur une plaque rigide rectangulaire indéformable, elle est ensuite plaquée contre la paroi pendant 3 mn. Une fois retirée, la plaque fait ressortir l'empreinte sur laquelle les parties en relief correspondent à la matière perdue par érosion (figure 2 [photographies 3 et 4]). Ce procédé expérimental a été amélioré après plusieurs tentatives de mesures. Nous avons commencé par des plaques de 60 x 40 [cm²] en utilisant la colle silicone seule. L'empreinte n'apparaissait pas sur toutes la plaque et la silicone se déformait. Après plusieurs essais nous avons



[photographie 1]



[photographie 2-a]



[photographie 2-b]



[photographie 2-c]

Figure 1 : Images du site étudié

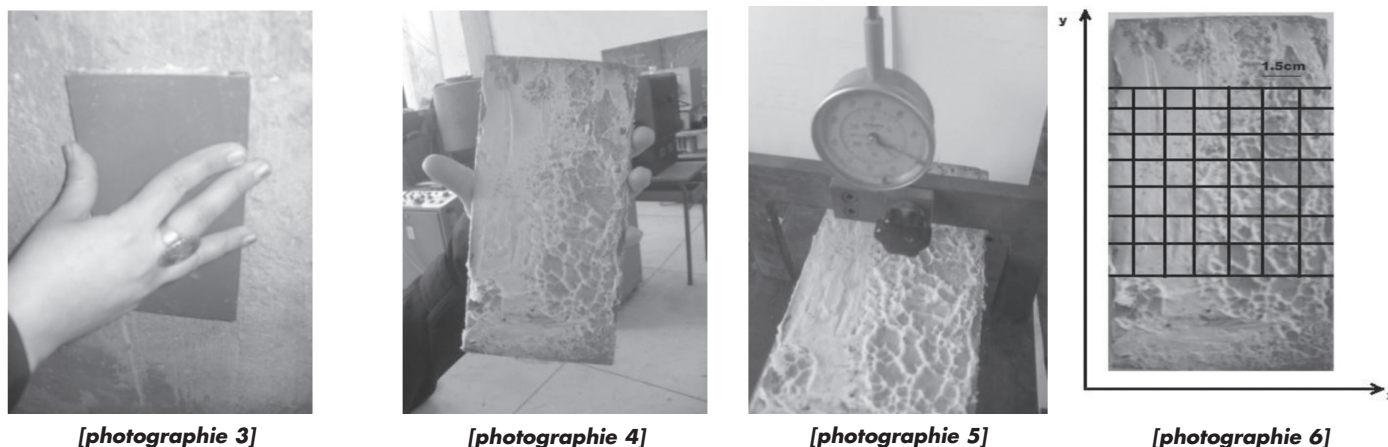


Figure 2 : La prise de l'empreinte

ramené les dimensions de la plaque à la taille de 20x10 [cm²] et opté pour le mélange silicone/plâtre.

Sur la plaque contenant l'empreinte, les parties en reliefs représentent la matière perdue par érosion.

4.2. Les profondeurs de l'érosion

Les profondeurs de l'érosion sont mesurées directement sur l'empreinte avec un comparateur. Les mesures sont prises sur plusieurs points en parcourant la surface selon deux axes perpendiculaires avec un pas de l'ordre de 1,5 à 2 cm. (Figure 2, [photographie 6])

5. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

5.1. Les profils de l'érosion

Sur la photographie 4 de la figure 2, la partie gauche correspond au béton sain et la partie droite au béton érodé. A travers les valeurs des profondeurs relevées sur plusieurs points de l'empreinte, nous avons tracé le profil de l'érosion selon plusieurs axes. Sur les figures suivantes (figures 3 et 4), nous présentons des exemples de profils relevés sur une même plaque.

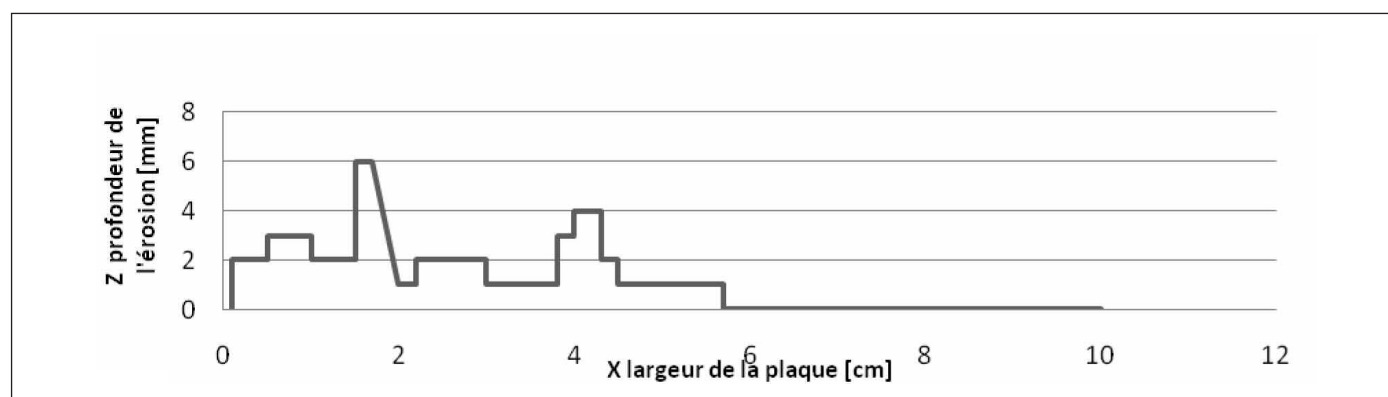


Figure 3 : Profil d'érosion à partir d'une empreinte à 6m

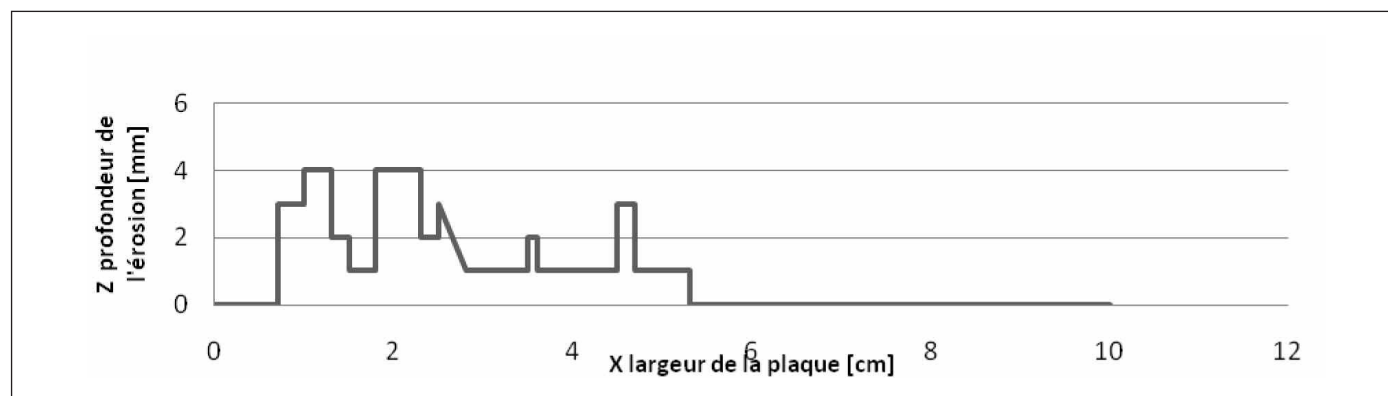


Figure 4 : Profil d'érosion à partir d'un autre axe de l'empreinte à 6m

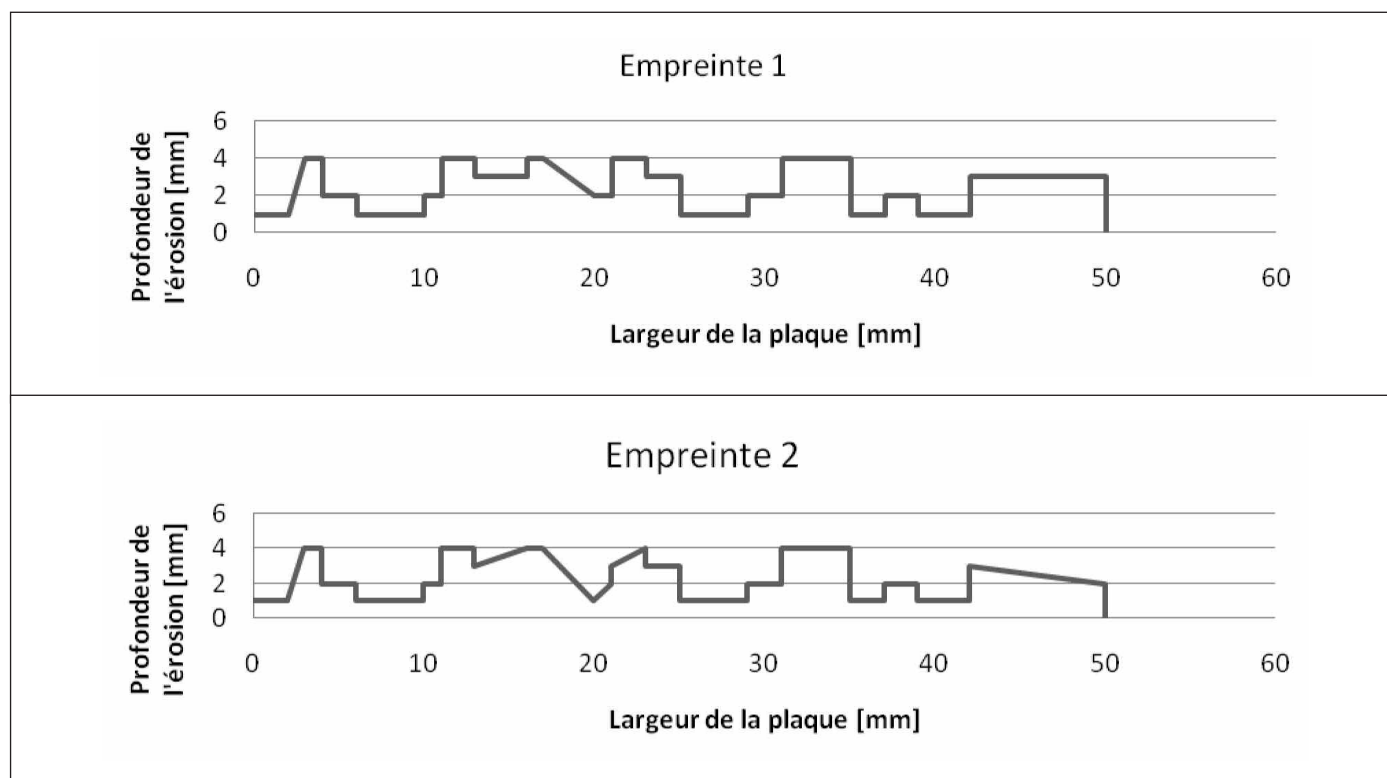


Figure 5 : Deux empreintes prises sur la même surface

L'empreinte traduit la rugosité apparente du voile, pour juger de sa précision, elle doit être couplée à l'analyse d'une coupe de béton. Cependant afin de nous assurer de la répétabilité de la procédure nous avons comparé deux empreintes prises au même endroit. Les profils tracés depuis les deux empreintes sont assez proches comme montré sur de la figure 5.

5.2. La perte de masse par l'érosion

L'aire sous la courbe (largeur (x)/profondeur(z)) correspond à la matière perdue par érosion par unité de hauteur. En prenant comme base de mesure une bande de 5 cm de longueur et 1 cm de largeur, les profils précédents donnent successivement les quantités suivantes : 127 mm³ et 110 mm³.

La quantité de matière perdue est notée : M_{eros} . Nous calculons le taux d'érosion, noté T_{eros} , en rapportant M_{eros} à une masse initiale sur une bande de 5 cm de longueur avec 1 cm de largeur et 1 cm de profondeur d'où une masse de: 50x10x10=5000 [mm³]. Le choix de 1 cm de profondeur correspond à la distance minimale de l'enrobage des armatures dans les codes de calcul du béton armé. Le taux d'érosion T_{eros} s'exprime ainsi par la formule.

$$T_{eros} = \frac{M_{eros}}{M_{tot}}$$

Le degrés d'érosion, ainsi défini, sera borné par les valeurs 1 et 0. La valeur 1 correspond à la perte totale de la matière c'est à dire à la mise à nue des armatures pour un enrobage de 1 cm. La valeur 0 correspond à un béton intacte.

$$0 \leq T_{eros} \leq 1$$

Le tableau suivant présente les valeurs calculées à 6 m.

ordonnée[cm]	3	4	5	6	7	8
M_{eros} [mm ³]	1790	1270	1510	1100	700	930
T_{eros} [%]	35,8	25,4	30,2	22,0	14,0	18,6

Tableau 1 : Perte de matière et taux d'érosion sur un cas de voile

5.3. Variation du taux d'érosion sur la hauteur du voile

L'opération précédente est répétée à différentes hauteurs du voile (1 à 6 mètres) avec un pas de 1m. Les résultats sont rapportés sur les courbes suivantes (Fig. 6 et 7). La première présente les résultats sur un voile type et la deuxième présente la moyenne calculée sur cinq voiles.

6. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS ET CONCLUSION

Sur les trois premiers mètres le taux d'érosion varie très peu avec la hauteur. La variation est notable à partir du quatrième mètre. La valeur maximale 70% est atteinte à 1 mètre au niveau du début de courbure du voile. La durée d'exposition des bâtiments étudiés est de 30 ans, elle cor-

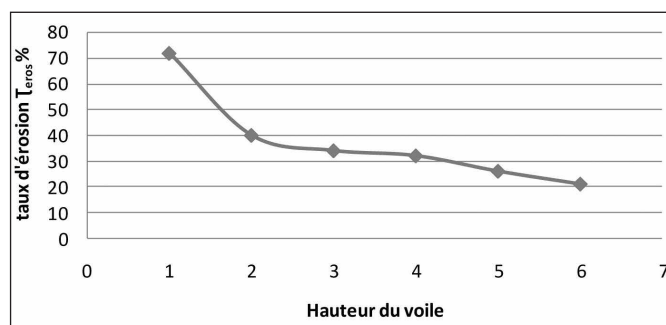


Figure 6 : Valeurs relevées sur un voile

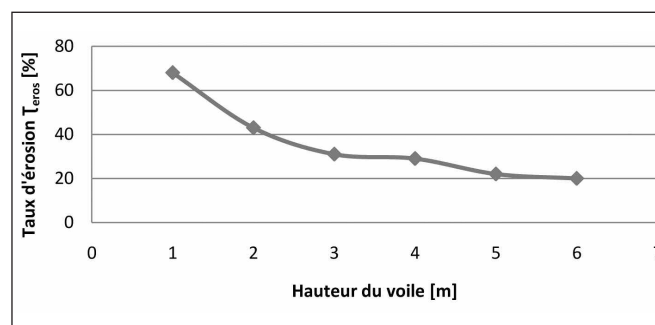


Figure 7 : Valeurs moyennes relevées sur cinq voiles

respond à leur âge. L'érosion paraît comme un phénomène très lent mais son effet est néfaste sur la durabilité du béton armé. Elle augmente la perméabilité du béton sur le site. Nous remarquons sur le même voile que la corrosion et l'éclatement du béton touchent essentiellement les parties érodées du béton. La rugosité entraînée par l'érosion permet également la poussée d'espèces végétales. Celles-ci maintiennent l'humidité après la pluie et noircissent en saison sèche, ce qui touche à l'esthétique des façades.

Dans notre démarche nous avons veillé à sélectionner les voiles endommagés seulement par l'écoulement des eaux pour ne pas superposer l'effet de plusieurs causes. Nous avons évité les voiles présentant des signes de carbonatation profonde pour éliminer l'effet de cette dernière. Sur le site des voiles fortement érodés présentent des traces visibles de la carbonatation comme la corrosion des armatures et l'éclatement du béton.

Le travail présenté ici n'est qu'une introduction à l'étude de ce phénomène en réalité complexe car il n'est pas seulement mécanique. Il y a aussi l'effet solvant de l'eau. Les résultats doivent être appuyés par une analyse minéralogique et microscopique et bien sûr liés à la résistance mécanique. Des outils plus modernes comme les capteurs à laser peuvent aussi être utilisés pour la quantification de l'érosion.

Selon [5], l'analyse du seul effet mécanique de l'érosion nécessite la connaissance exacte des mécanismes de dégradation et des variables significatives qui la gouvernent.

L'étude doit intégrer des paramètres tels que la vitesse relative du mouvement, la longueur de déplacement, la masse des particules, la dureté du matériau et celle de l'abrasif, la force et l'angle de contact, le coefficient d'adhérence, etc. Les enseignements à tirer est qu'il est nécessaire de revoir, sur les codes de calcul, les conditions de l'enrobage des armatures pour tous les éléments sensibles au phénomène de l'érosion par les eaux pluviales et par l'écoulement des eaux en général. Une attention particulière doit être apportée aux éléments inclinés.

RÉFÉRENCES

- [1] Yu-Wen Liu, Tsong Yen and Tsao-Hua Hsu, Abrasion erosion of concrete by water-borne sand, Cement and Concrete Research 36 (2006) 1814–1820, March.
- [2] A. W. Momber, Short-time cavitation erosion of concrete, Wear 241 (2000) 47–52, February.
- [3] W. Momber, The erosion of cement paste, mortar and concrete by gritblasting, Wear 246 (2000) 46–54, June.
- [4] Erosion du béton dans les bassins biologiques des stations d'épuration-Betonsuisse – Rapport explicatif du cahier technique 01 cemsuiss.
- [5] Endommagement des matériaux par abrasion. Agence rhône-alpes pour la maîtrise des matériaux rapport de synthèse. 23 octobre 1995.