

Durabilité des renforcements métalliques enterrés

*Méthodes d'investigations sur
ouvrages anciens et retour
d'expérience*

Ressources, territoires et habitats
Énergie et climat
Prévention des risques
Développement durable
Infrastructures, transports et mer

F. RENAUDIN - DOA

**Présent
pour
l'avenir**



Centre d'Études techniques de l'Équipement de l'Est

Plan

Les méthodes d'investigations

- .Témoins de durabilité
- .Fouilles
- .Carottages

Retour d'expérience

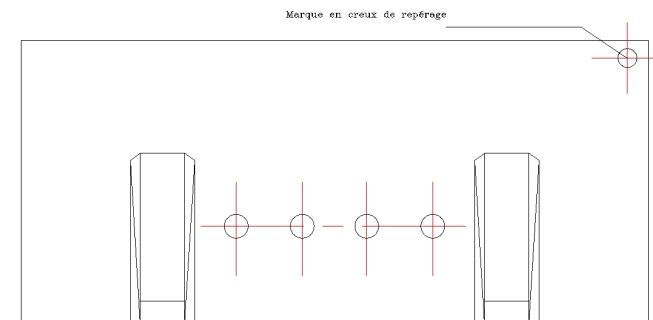
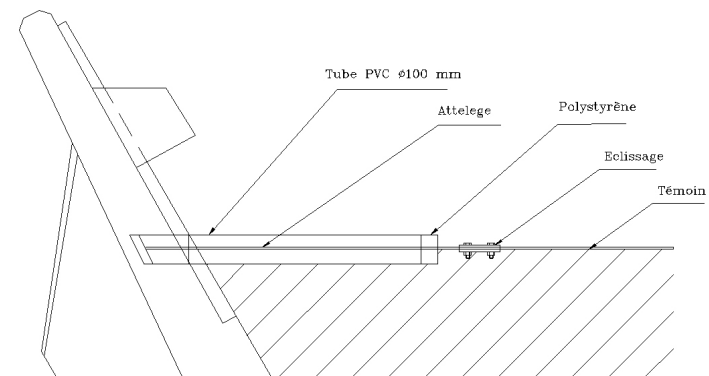
- .Données
- .Perte d'épaisseur en fonction du temps
- .Perte relative de résistance en fonction de la perte relative de masse

Investigations - témoins de durabilité

Ces témoins ont commencé à être mis en œuvre à la parution du guide « Recommandations – Règles de l'art » LCPC- SETRA en 1979 pour les ouvrages à haut niveau de sécurité (culées de pont, ouvrages soutenant une voie ferrée,...). Ils ont été généralisés à partir de 1986 à tous les ouvrages neufs.

Le dossier d'ouvrage contient une fiche donnant les informations suivantes sur les témoins :

- identification de l'ouvrage
- identification du plan de repérage des témoins
- date de mise en place des témoins
- numéro de repérage
- masse de chaque témoin (à 0,1 g)
- épaisseur de zinc moyenne (en μm)
- résistance à rupture en traction



Investigations - témoins de durabilité



Photo 1 : Découpage de l'opercule béton à l'aide d'une scie cloche



Photo 2 : Vue de l'amorce dans sa réservation



Photo 3 : Extraction du témoin avec un trépied

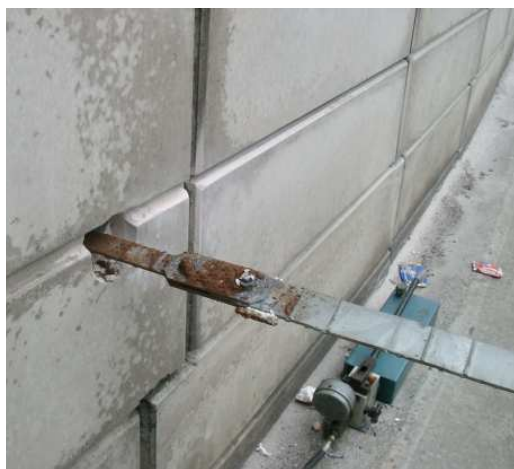


Photo 4 : Témoins en cours d'extraction, on distingue l'amorce, l'éclissage et le témoin

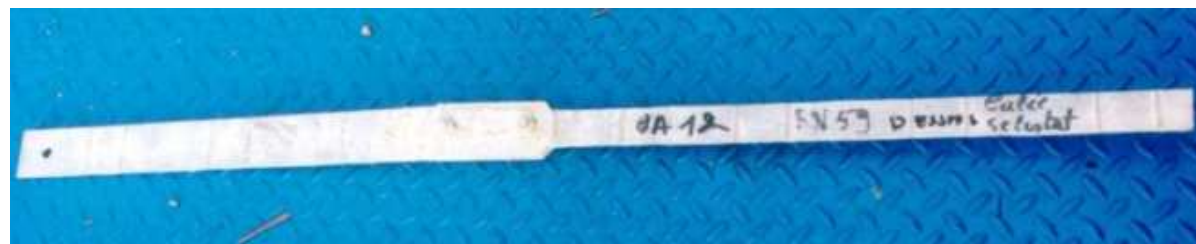


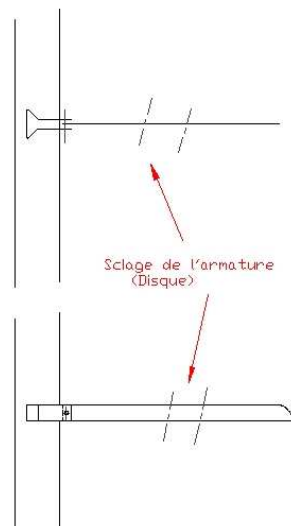
Photo 5 : Témoin extrait avec repérage des faces (dessous – dessous)

Investigations - fouilles

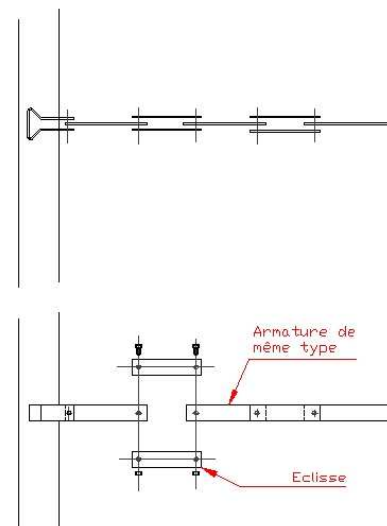
Les fouilles permettent d'observer un grand nombre d'armatures et il est possible de reconstituer l'armature après prélèvement d'un tronçon (figure 3). Les grandes fouilles nécessitent des moyens importants (engins spéciaux, blindage de fouille, neutralisation provisoire de voies de circulation, éventuellement soutènement provisoire du mur,...) mais cette technique reste la solution privilégiée pour avoir une vision précise de l'état d'un mur

Chaque armatures dégagée est notée. Les échantillons d'acier prélevés ont une longueur de l'ordre de 50 cm. Des prélèvements du remblai sont également réalisés à différentes profondeurs.

Sciage d'un échantillon d'armature par prélèvement



Reconstitution de l'intégralité de l'armature par percement des extrémités coupées



Investigations - fouilles



Photo 6 : Vue de dessus d'une grande fouille



Photo 7 : Vue d'une armature dans une fouille

Investigations - carottages

Les témoins de durabilité sont souvent positionnés en partie basse des murs, ils renseignent mal sur le risque de corrosion lié à la pénétration des sels de déverglaçage. En outre, les fouilles, notamment les grandes fouilles, ne sont pas aisément réalisables du fait de la conception de l'ouvrage (présence d'une dalle de frottement, d'une géomembrane, d'un sommier de culée en tête du mur,...) ou des contraintes d'exploitation. Il a donc paru intéressant de développer des techniques alternatives. C'est le cas des investigations par carottage réalisées depuis les parements béton des murs de type Terre Armée. Ces investigations restent néanmoins agressives pour l'ouvrage et doivent être utilisées ponctuellement lorsqu'il n'est pas possible de procéder autrement.



Photo 8 : Implantation des carottages en parement du mur



Photo 9 : Réalisation du carottage en parement

Investigations - fouilles



Photo 10 : Début d'extraction du remblai depuis le carottage en parement

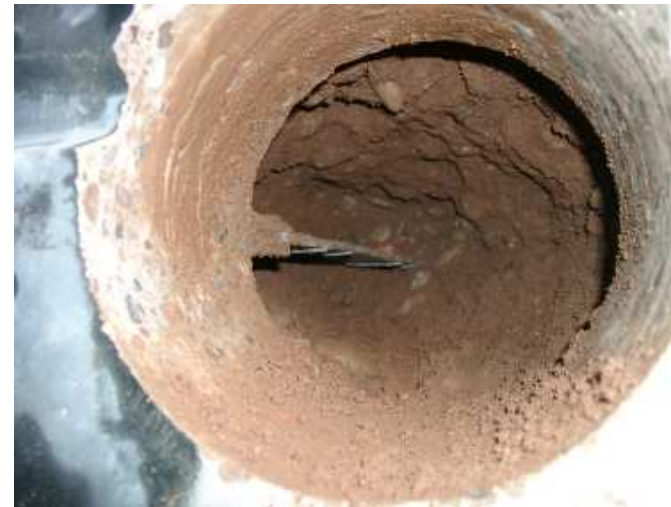


Photo 11 : Dégagement du remblai en périphérie de l'armature



Photo 12 : Dépose de la carotte béton



Photo 13 : Scellement de la carotte extraite

Investigations

Les investigations réalisées sur les armatures consistent en :

- un examen visuel accompagné d'une notation selon les principes du document guide SETRA de 1994
- la caractérisation de la géométrie (section, longueur, pertes d'épaisseur de zinc et d'acier par face)
- la réalisation d'un essai de traction permettant de connaître l'effort de rupture résiduel de l'échantillon (on pourra également mesurer l'allongement à rupture de l'échantillon)

En parallèle, des prélèvements de remblais sont réalisés de façon à connaître les caractéristiques chimiques et électrochimiques du matériau entourant les inclusions, on détermine ainsi en laboratoire :

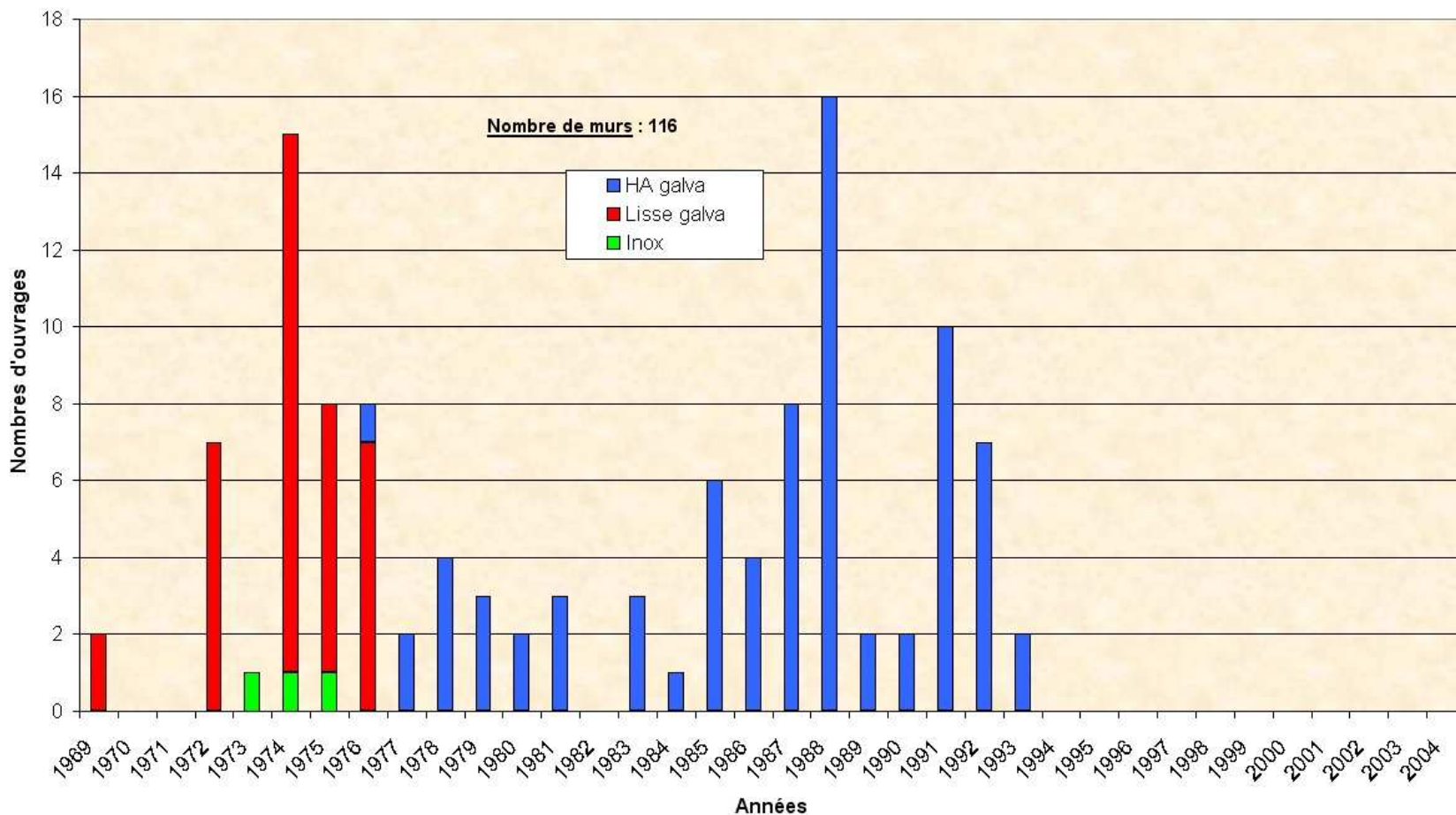
- la teneur en eau
- la résistivité du sol
- le pH
- les teneurs en sels solubles (chlorures, sulfates, sulfures principalement)

Retour d'expérience- données

A la demande du Sétra, le laboratoire régional des ponts et chaussées (LRPC) de Strasbourg a réalisé en 2004 une synthèse des résultats disponibles sur l'état des armatures des ouvrages en terre armée issus des investigations effectuées sur ces ouvrages. Les données recueillies proviennent essentiellement des investigations effectuées par les LRPC, et de celles réalisées par la Société PROFRACTAL pour près d'une cinquantaine d'ouvrages. La synthèse présentée ci-après concerne 116 ouvrages routiers ou autoroutiers, qui sont des murs de soutènement ou des culées porteuses.

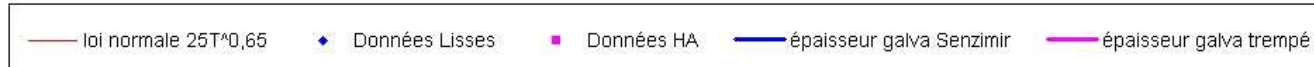
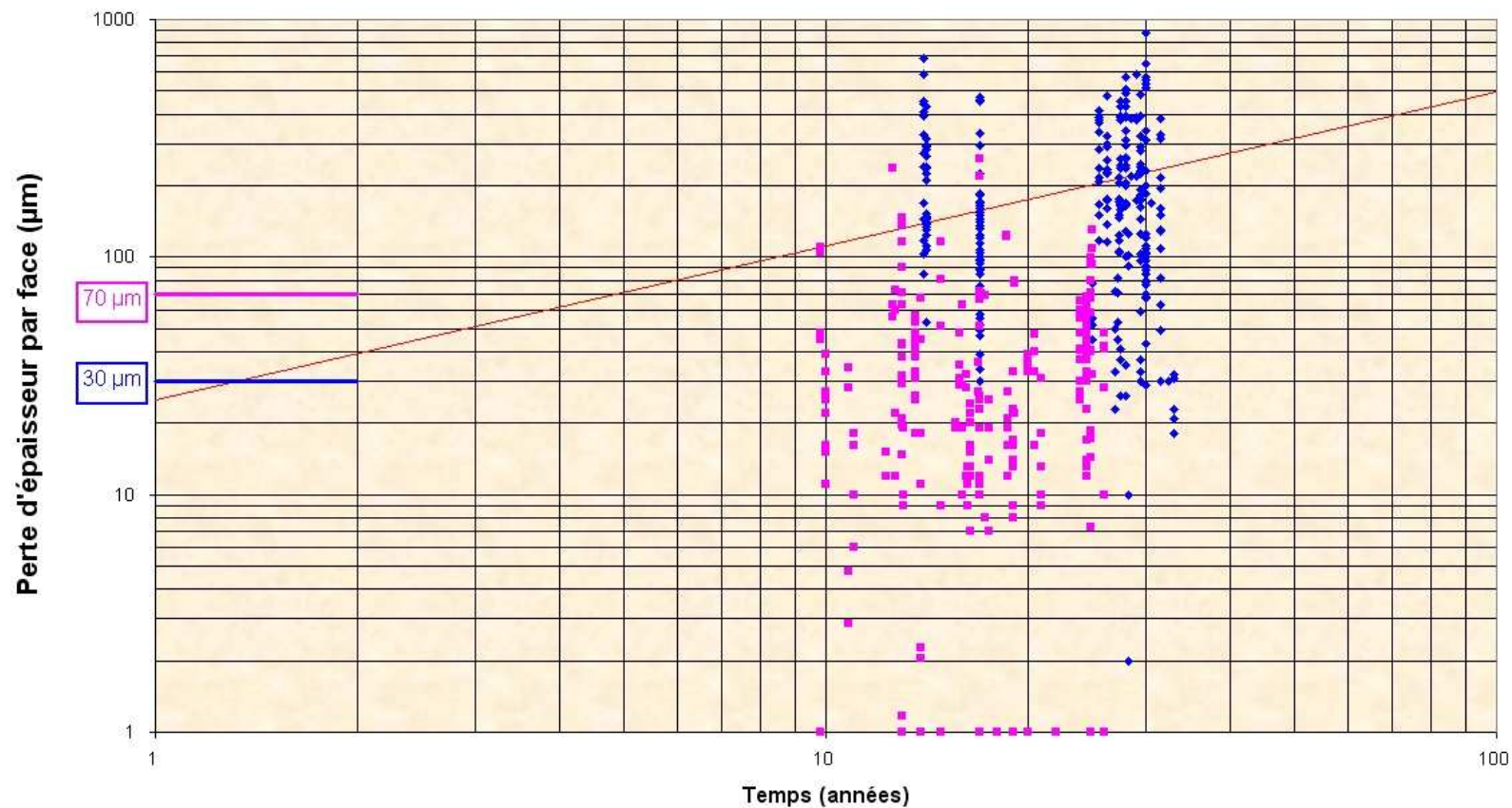
Retour d'expérience- ouvrages recensés

Répartition des murs par années et par types d'armature



Retour d'expérience - pertes d'épaisseur

Les données recueillies permettent de disposer d'environ 500 échantillons de remblais et d'armatures.



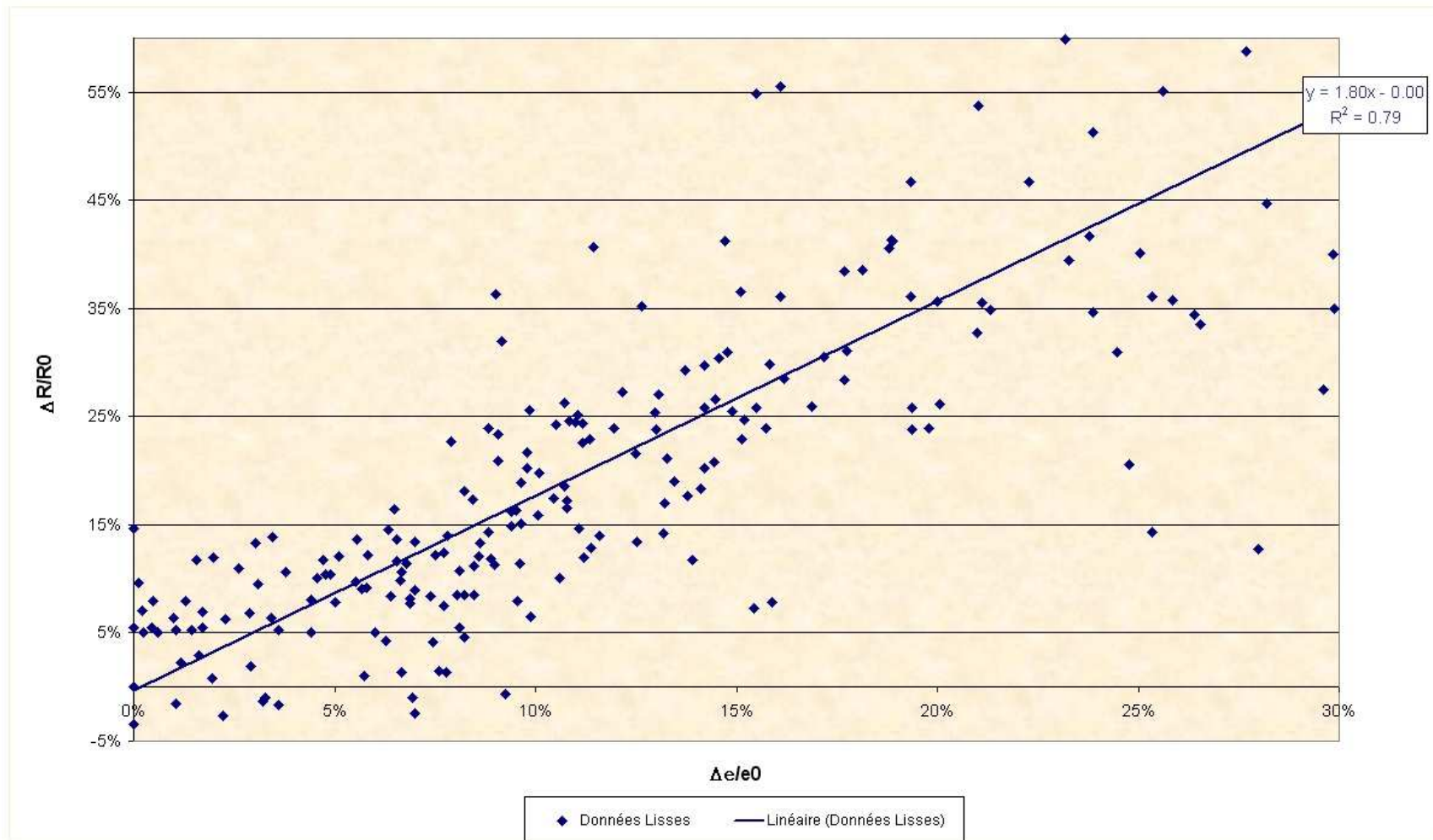
Retour d'expérience- pertes d'épaisseur

Principaux constats :

- o Les armatures de 3 mm d'épaisseur, dont l'épaisseur de galvanisation est d'environ 30 microns (armatures généralement utilisées dans les ouvrages dont la date de construction est antérieure à 1978) présentent globalement une perte d'épaisseur moyenne très sensiblement supérieure à celle des armatures de 5 mm, dont l'épaisseur de galvanisation est de 70 microns (armatures en principe systématiquement utilisées au delà de cette date).
- o Ces armatures de 3 mm présentent des pertes par corrosion supérieures aux valeurs prises en compte aujourd'hui pour les justifications
- o L'une des causes les plus fréquentes d'une corrosion excessive des armatures est l'évolution de l'agressivité des remblais par infiltration d'eaux chargées d'agents agressifs en provenance de la plate-forme soutenue, et cela en raison bien souvent d'une insuffisance ou d'une défaillance des dispositifs de collecte et d'évacuation des eaux de ruissellement ou encore de l'absence de dispositif particulier d'étanchement (géomembrane).
- o Environ 30 % des échantillons d'armatures à haute adhérence de 5 mm d'épaisseur ne présentent pas de perte d'épaisseur quantifiable..

Retour d'expérience- pertes de résistance

Pour les armatures lisses galvanisées de 3 mm, la relation entre la perte relative de résistance et la perte relative de masse a été évaluée. (Pour les armatures HA, une telle exploitation n'est pas possible du fait des faibles corrosions constatées)



Retour d'expérience- pertes de résistance

Comme l'illustre la figure précédente, la perte relative de résistance de l'armature peut être liée à sa perte relative d'épaisseur par la relation :

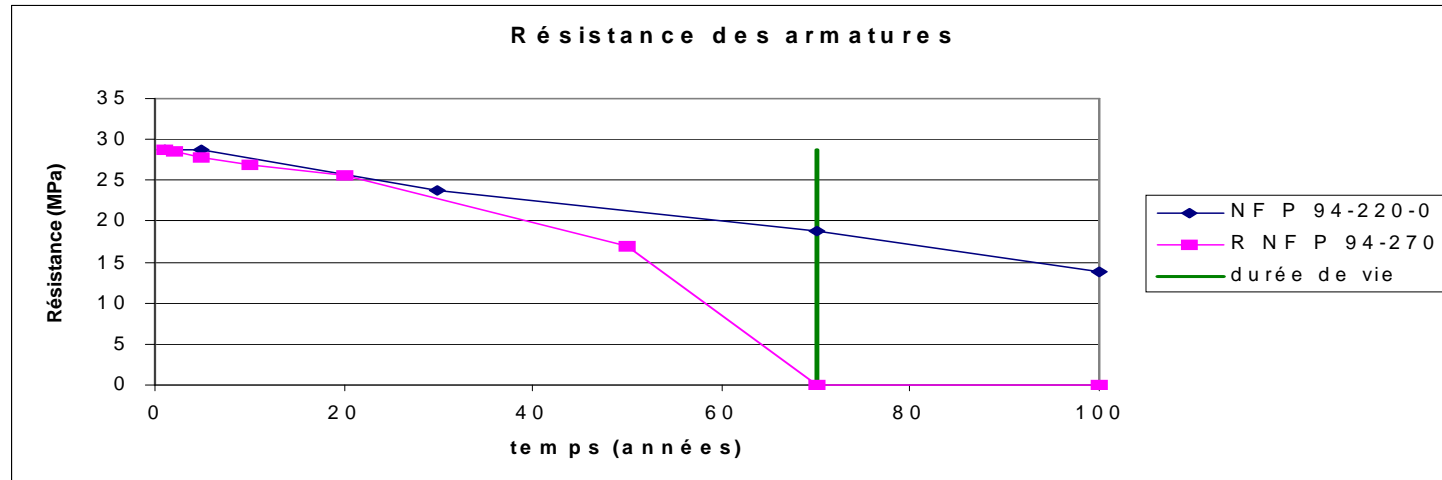
$$\frac{\Delta R}{R_0} = K \cdot \frac{\Delta e}{e_0}$$

Ce rapport K ainsi défini entre perte relative de résistance et perte relative d'épaisseur traduit essentiellement le fait que la corrosion n'est pas uniforme. Il est ici de l'ordre de 2 lorsque la perte relative d'épaisseur ($\Delta e/e_0$) se situe entre 10 et 20%. On constate également sur ce graphique que la perte de résistance de l'armature peut être pratiquement totale (résistance résiduelle quasi nulle) lorsque cette perte d'épaisseur relative ($\Delta e/e_0$) atteint 30% environ.

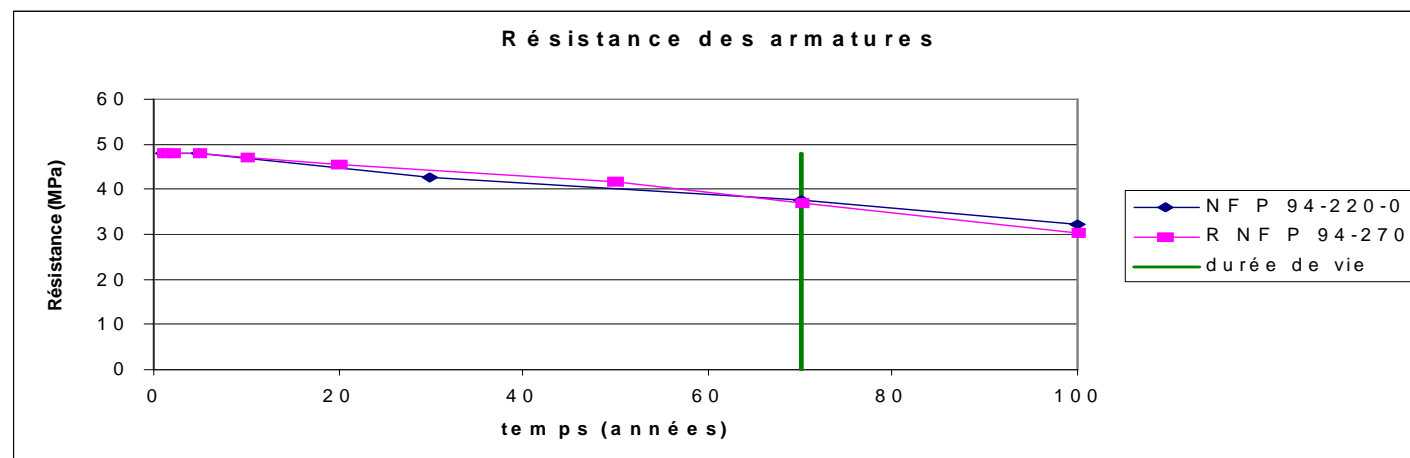
Retour d'expérience- pertes de résistance

Evolution apportée par la norme PR NF P 94-270

Cas d'une armature de 3 mm



Cas d'une armature de 5 mm



Retour d'expérience- synthèse

La technologie actuelle (armature haute adhérence de 5 mm protégée par une galvanisation de 70 μm) et les règles de justification (Pr NF P 94-270) permettent de garantir la durée de vie de projet escomptée.

Les ouvrages anciens (avant 1976) doivent faire l'objet d'une surveillance particulière.

Les ouvrages susceptibles d'être soumis à des pollutions d'origine externe (sels de déverglaçage, ambiance marines,...) doivent être protégé spécifiquement.

Merci de votre attention

Ressources, territoires et habitats
Énergie et climat
Prévention des risques Infrastructures, transports et mer

**Présent
pour
l'avenir**



Centre d'Études techniques de l'Équipement de l'Est