

Les ouvrages de soutènement

Partie 2 : les ouvrages en remblai renforcé

*Réparation ou renforcement par clouage
(technique et exemple) avec ou sans voile béton :
exemple d'étude de réparation*

Sommaire

- Partie 1 Contexte, technique de renforcement par clouage
- Partie 2 Exemple d'étude de réparation

Partie 1 : Contexte, rappels

Avant toute décision de réparer (sauf cas de risque imminent) :

- *Résultat de l'Inspection IQOA selon le Guide Recommandations pour l'inspection détaillée, le suivi et le diagnostic des ouvrages de soutènement en remblai renforcé par des éléments métalliques, pré diagnostic et cotation IQOA*
- *Pré diagnostic : Dossier d'ouvrage, état de référence et suivi, investigations, recalculs, note IQOA révisée (ou confirmée)*
- *Familles d'ouvrages identifiées à risques (ouvrages réalisés en 1973 et 1975)*
- *Tout autre signalement dans le cadre d'une gestion des ouvrages*
- *APROA, PROA et études géotechniques (G5, G2 selon NFP 94-500:2013) intégrant les justifications par calcul de la solution de réparation retenue*

Technique la plus couramment employée : le clouage

Mais aussi :

- *les remblais de butées,*
- *les ouvrages de soutènement à l'aval du remblai renforcé,*
- *les voiles ou parois ancrés.*

Dans la suite nous nous intéressons à la technique de renforcement par clouage,

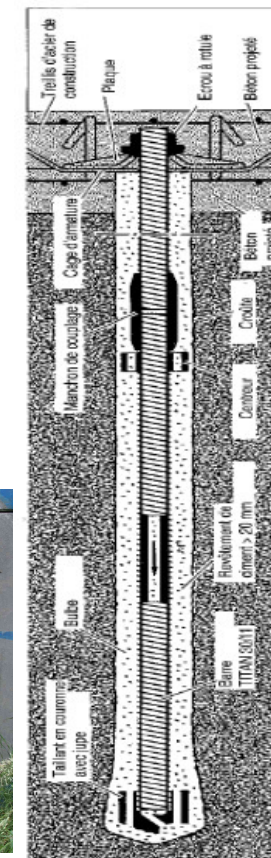
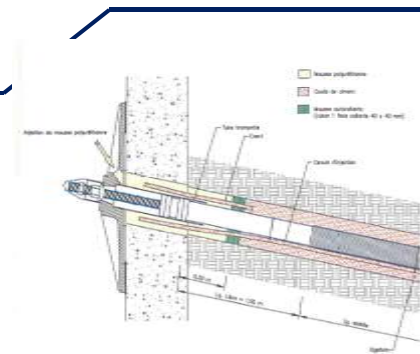
Partie 1 : Technique de renforcement par clouage

Selon l'agressivité de l'environnement :

- Clous de type P2 : clous scellés dans un forage par coulis
- Clous autoforés : clous forage en roto-percussion avec un taillant scellement par coulis en même temps que le forage
 - Plaques ou « Croix de Saint André »
 - Voile en béton projeté (drainage nécessaire)

Points de vigilance :

- Calepinage
- Systèmes de collecte des eaux
- accès
- réseaux
- Essai de clou
- Carottage préalable



Partie 2 : Exemple d'étude de réparation

Ouvrages concernés : Murs en terre armée n°1 et n° 2 d'un remblai d'accès d'un viaduc , date 1976

Mur n°1 coté Sud Ouest : 135 ml, H : 9 à 10 m

Mur n°2 côté Sud Est : 13,5 ml, H 7 m

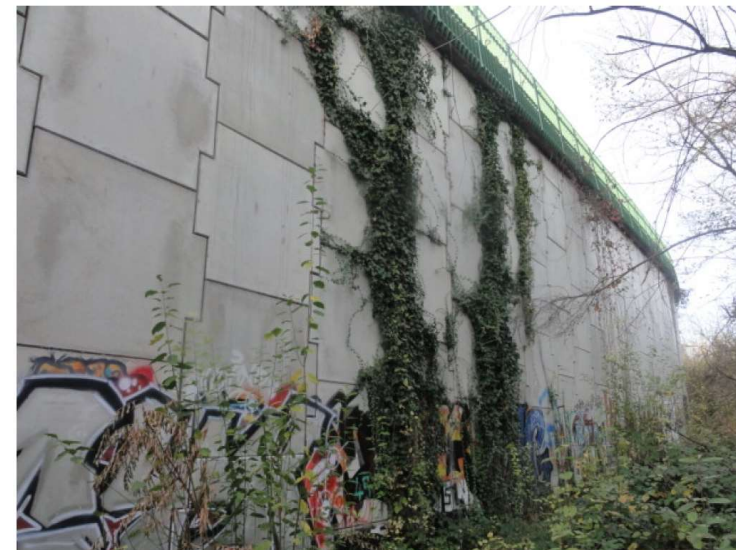
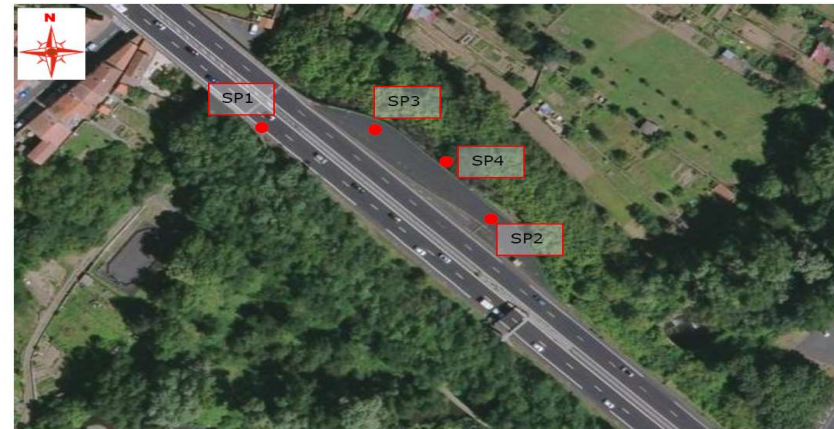
Ecailles cruciformes

Désordres :

- déversement vers l'aval généralisé acceptable (de l'ordre de 3 à 10 mm/m)
- valeurs plus importantes relevées (de l'ordre de 13 à 33 mm/m) certains profils
- décrochement entre écailles (maximum 15 mm),
- épaufrures et armatures apparentes localement,
 - 20 lanières inspectées, lanières majoritairement en bon état après 35 ans d'existence mais quelques lanières présentent des dégradations localisées plus importantes
- Caractéristiques chimiques du matériau de remblai sont conformes aux recommandations du Sétra, D3

Autres : végétation

Extrait rapport investigations géotechniques



Partie 2 : Exemple d'étude de réparation

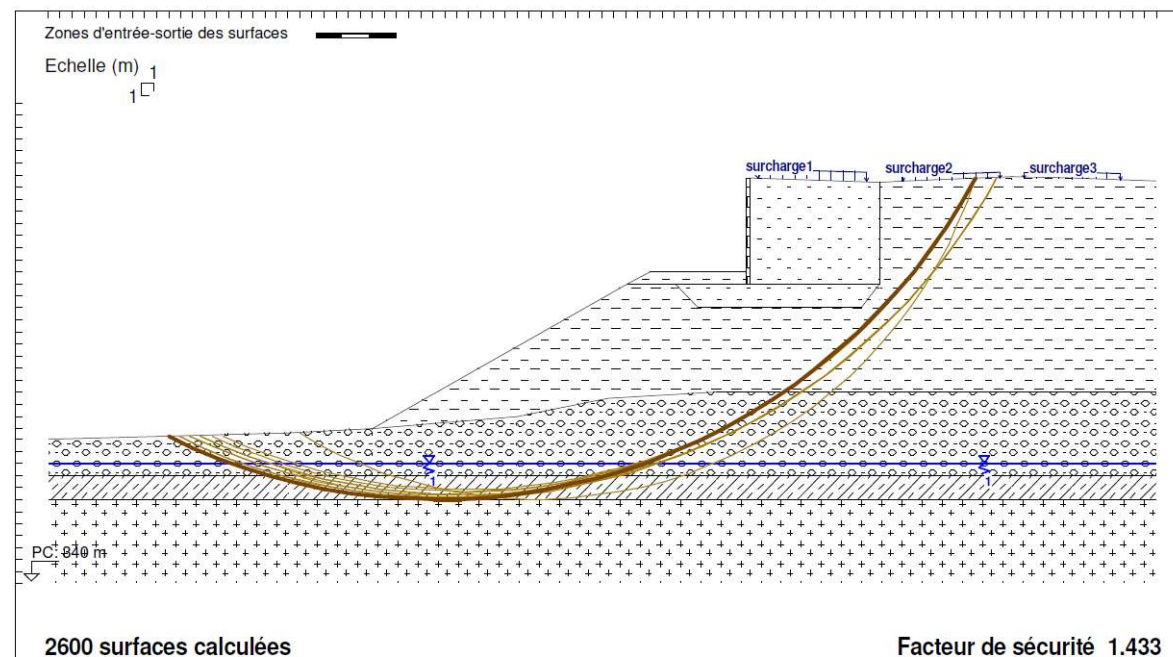
Solution d'un renforcement par clouage de l'ensemble des écailles des murs en terre armée

- Analyse des archives, dossier d'ouvrage (plans) et rapports d'inspection, visite du site
- Synthèse des reconnaissances en archive, reconnaissances complémentaires (sondages destructifs avec essais pressiométriques, sondages à la pelle mécanique et essais de laboratoire)
- Etude géotechnique de niveau G2 AVP (APROA)
- Calculs en 2D méthode de bishop en rupture circulaire sous le logiciel GEOS GEOSTAB®

Pour les deux murs, les écailles supérieures sous la corniche ne sont pas clouées en raison du risque de présence de réseaux (assainissement, électrique, etc.).

1/ Calage stabilité initiale

- 1- Remblais TA
- 2- Remblai routier
- 3- Alluvions
- 4- Substratum altéré arènes
- 5- Substratum arkoses



Partie 2 : Exemple d'étude de réparation

une classe de conséquence CC3 ;
 une catégorie géotechnique 3 ;
 une durée d'utilisation de 100 ans

Type de risque	Niveau de risque
Accélération maximale de référence a_{gr}	1,1
Catégorie d'importance de l'ouvrage	II
Coefficient d'importance γ_i	1,2
Facteur de prise en compte du type d'ouvrage r	1,0
Classe de sol	B
Paramètre de sol S	1,35
Coefficient topographique ST	1,0
Coefficients sismiques	$\sigma_h = 0,182$ $\sigma_v = \pm 0,091$

Qs remblais TA 150 kPa, remblai routier 120 kPa

- Corrosion : 8 mm sur le diamètre ou clou P2 ou galvanisés (sol moyennement corrosif)
- Limite élastique 405 kN
- Armatures : HA Fe 500 Diamètre : 40 ou 32 mm (si P2 ou galva)
- Forage et inclinaison : 114 mm 10°
- ZI : 3 H (cercles de rupture limités à un intervalle 3H amont et 3H aval)
- Séisme
- Coefficients partiel selon NFP 94-270, 1,6 sur le Qs, Coefficient de modèle 1.1 (tient compte des armatures TA) 1
- nappe

Formation	Caractéristiques pressiométriques			Caractéristiques géomécaniques			GTR
	P_r (MPa)	E_u (MPa)	E_u/P_r	c' (kPa)	ϕ' (MPa)	γ (kN/m ²)	
Chaussée + Couche de Forme	-	-	-	-	-	-	-
Remblai Terre Armée	> 3,5	> 40	12	5	38	20	D3
Remblai Routier	1,6	17	11	0	35	19	-
Alluvions	1	11	11	3	28	19	-
Substratum altéré	0,4	9	-	2	22	18	-
Substratum	> 4,5	> 200	-	40	50	22	-

Mur n°2

Aux ELU, sur 3H – Fs = 1,735
Aux ELU, séisme allégeant – Fs = 1,193
Aux ELU, séisme allégeant – Fs = 1,129

Mur n°1

Aux ELU, sur 3H – Fs = 1,444
Aux ELU, séisme allégeant – Fs = 1,052
Aux ELU, séisme allégeant – Fs = 1,001

Partie 2 : Exemple d'étude de réparation

Mur n°1

- 5 lignes de clous de 12 m
- Clouage des écailles du bas semi enterrées, réalisation de plots

Mur n° 2 :

- ✓ Longueur clous, de haut en bas, 10, 9 et 8 m

- Accès : par le haut, partiellement piste d'accès mur M1 clouage inférieur
- plaques cruciformes en fonte, largeurs comprises entre 400 et 500 mm, épaisseur comprise entre 18 et 26 mm qualité EN-JS 1040 (selon norme NF EN 1563).
- Protection tête des clous : capot injecté graisse ou cire pétrolière
- Essais de conformité de clou
- Pertes coulis : au delà de 3 Vth



Partie 2 : Autre exemple

Nécessité de réaliser un voile :

- Parement existant à remplacer,
- État pathologique des écailles, fractures, fissures
- Meilleure répartition des efforts
- Chutes d'écailles ou écailles manquantes
- Environnement très agressif

Réalisation d'un voile en béton projeté

- Calcul des efforts au parement selon NFP 94-270 : 2020
- Vérification poinçonnement, paniers de renforcement
- Justification voile béton projeté (épaisseur, enrobage, ferrailage)
- Sujétions premier clou : reprise des chocs en tête et/ou influence dispositif de retenue
- Sujétion d'accrochage du béton projeté sur le parement en écailles ?
- Mise en place d'un drainage : barbacanes, voir drains



Webinaire du 13 Décembre 2022

Merci de votre attention

A votre disposition pour répondre à vos questions