

www.afnor.org

Ce document est à usage exclusif et non collectif des clients AFNOR.
Toute mise en réseau, reproduction et rediffusion, sous quelque forme que ce soit, même partielle, sont strictement interdites.

This document is intended for the exclusive and non collective use of AFNOR customers.
All network exploitation, reproduction and re-dissemination, even partial, whatever the form (hardcopy or other media), is strictly prohibited.



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR LE DROIT D'AUTEUR

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans accord formel.

Contacter :
AFNOR – Norm'Info
11, rue Francis de Pressensé
93571 La Plaine Saint-Denis Cedex
Tél : 01 41 62 76 44
Fax : 01 49 17 92 02
E-mail : norminfo@afnor.org

afnor

AFNOR

Pour : INSA LYON – SCD BIBLIOTHEQUE MARIE CURIE

Identité: INSA LYON - SCD BIBLIOTHEQUE MARIE CURIE

Code siret :

Client : 7165900

Le : 04/09/2023 à 09:20

Diffusé avec l'autorisation de l'éditeur

Distributed under licence of the publisher

norme européenne

norme française

NF EN 14490
Septembre 2010

Indice de classement : **P 94-328**

ICS : 93.020

Exécution des travaux géotechniques spéciaux

Clouage

E : Execution of special geotechnical works — Soil nailing

D : Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau — Bodenvernagelung

Norme française homologuée

par décision du Directeur Général d'AFNOR le 11 août 2010 pour prendre effet le 11 septembre 2010.

Correspondance

La Norme européenne EN 14490:2010 a le statut d'une norme française.

Analyse

Le présent document a été élaboré pour aller de pair avec la NF EN 1997-1, Eurocode 7 : calcul géotechnique. Il établit les principes généraux pour la construction, les essais, le suivi et les contrôles d'exécution des ouvrages en sol cloués.

Descripteurs

Thésaurus International Technique : géotechnique, clouage, sol, définition, marché de travaux, matériau, renforcement, parement, conception, donnée, conditions d'exécution, forage, injection, drain, béton, essai, stabilité, contrôle, calcul, essai d'arrachement, clou, mise en place.

Modifications

Corrections

Éditée et diffusée par l'Association Française de Normalisation (AFNOR) — 11, rue Francis de Pressensé — 93571 La Plaine Saint-Denis Cedex
Tél. : + 33 (0)1 41 62 80 00 — Fax : + 33 (0)1 49 17 90 00 — www.afnor.org



Commission de Normalisation
Exécution des Travaux Géotechniques

BNSR/CNETG

Membres de la commission de normalisation

Président : M LEGENDRE

Secrétariat : MLLE JOSEPH — CETE DE LYON/DLL

M	BAGHERY	COYNES ET BELIER
M	BAGUELIN	FONDASOL
M	BERTAINA	CETE LYON/DLL
M	BERTHELOT	VERITAS
M	DAUBILLY	FNTP
M	GUERPILLON	EGIS
MME	GUIZIOU	CETMEF
M	LEGENDRE	SOLETANCHE BACHY
M	MERCIER	SPIE FONDATIONS
M	MIRAILLET	EDF
M	MOUSSARD	SNCF
MME	PINEAU	AFNOR
M	RAYNAUD	AEROPORTS DE PARIS
M	ROBERT	ARCADIS
M	VOLCKE	SOFFONS/FRANKI FONDATION

Participant en tant qu’expert :

M	LEGENDRE	SOLETANCHE-BACHY
---	----------	------------------

NORME EUROPÉENNE EUROPÄISCHE NORM EUROPEAN STANDARD

EN 14490

Juin 2010

ICS : 93.020

Version française

Exécution des travaux géotechniques spéciaux — Clouage

Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau —
Bodenvernagelung

Execution of special geotechnical works —
Soil nailing

La présente Norme européenne a été adoptée par le CEN le 25 avril 2010.

Les membres du CEN sont tenus de se soumettre au Règlement Intérieur du CEN/CENELEC, qui définit les conditions dans lesquelles doit être attribué, sans modification, le statut de norme nationale à la Norme européenne.

Les listes mises à jour et les références bibliographiques relatives à ces normes nationales peuvent être obtenues auprès du Centre de Gestion ou auprès des membres du CEN.

La présente Norme européenne existe en trois versions officielles (allemand, anglais, français). Une version dans une autre langue faite par traduction sous la responsabilité d'un membre du CEN dans sa langue nationale et notifiée au Centre de Gestion, a le même statut que les versions officielles.

Les membres du CEN sont les organismes nationaux de normalisation des pays suivants : Allemagne, Autriche, Belgique, Bulgarie, Chypre, Croatie, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède et Suisse.

CEN

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Europäisches Komitee für Normung
European Committee for Standardization

Centre de Gestion : 17 Avenue Marnix, B-1000 Bruxelles

EN 14490:2010 (F)

Sommaire

	Page
Avant-propos	3
1 Domaine d’application	4
2 Références normatives	4
3 Termes, définitions et symboles	5
4 Informations nécessaires pour l'exécution des travaux	8
5 Reconnaissances géotechniques	9
6 Matériaux et produits	9
7 Considérations relatives à la conception	13
8 Exécution	15
9 Surveillance, essais et contrôle	23
10 Comptes rendus	27
11 Exigences particulières	28
Annexe A (informative) Considérations pratiques concernant le clouage	29
Annexe B (informative) Considérations relatives à la conception	39
Annexe C (informative) Essais de systèmes de clouage de sol	46
Annexe D (informative) Degrés d’obligation des clauses	55
Bibliographie	66

Avant-propos

Le présent document (EN 14490:2010) a été élaboré par le Comité Technique CEN/TC 288 «Exécution des travaux géotechniques spéciaux», dont le secrétariat est tenu par AFNOR.

Cette Norme européenne devra recevoir le statut de norme nationale, soit par publication d'un texte identique, soit par entérinement, au plus tard en décembre 2010 et toutes les normes nationales en contradiction devront être retirées au plus tard en décembre 2010.

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. Le CEN et/ou le CENELEC ne saurait [sauraient] être tenu[s] pour responsable[s] de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence.

La mission générale du CEN/TC 288 est de normaliser les procédures d'exécution relatives aux travaux géotechniques (y compris les méthodes d'essai et de contrôle) ainsi que les propriétés requises pour les matériaux. Le groupe de travail 13 du CEN/TC 288 a été chargé de la préparation de l'EN 14490 relative au domaine du clouage.

Ce document a été élaboré pour aller de pair avec l'EN 1997-1, Eurocode 7 : Calcul géotechnique. L'article «Considérations relatives à la conception» de la présente Norme ne traite que des aspects qu'il convient de prendre en compte lors de l'exécution des travaux de clouage pour que leur fonction de clouage puisse être remplie. Cette Norme fournit cependant l'ensemble des informations concernant les exigences en matière d'exécution et de surveillance.

Cette Norme a été rédigée par un groupe de travail comprenant des représentants de dix pays et les commentaires de ces pays ont été pris en compte.

Selon le Règlement Intérieur du CEN/CENELEC, les instituts de normalisation nationaux des pays suivants sont tenus de mettre cette norme européenne en application : Allemagne, Autriche, Belgique, Bulgarie, Croatie, Chypre, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède et Suisse.

EN 14490:2010 (F)**1 Domaine d'application**

1.1 La présente norme européenne établit les principes généraux pour la construction, les essais, le suivi et les contrôles d'exécution des ouvrages en sol cloué.

1.2 Le clouage est une technique de construction utilisée pour améliorer/conforter la stabilité d'un massif de sol par la mise en place d'éléments de renforcement (clous). Des exemples d'ouvrages typiques en sol cloué sont donnés dans l'Annexe A.

1.3 Le domaine d'application de la présente norme européenne sur le clouage comprend l'installation des clous et les essais de clous, ainsi que les opérations connexes nécessaires à la stabilisation des pentes anciennes ou récentes et de leurs parements dans les sols ainsi que des ouvrages de soutènement anciens, des talus, des parois de tunnels anciens et nouveaux.

1.4 Le clouage peut n'être utilisé que pour une partie d'ouvrage dont la construction inclut d'autres techniques. Dans ce cas, la Norme ne s'applique qu'à la partie en sol cloué de l'ouvrage concerné.

1.5 Les techniques telles que le renforcement des terrains par inclusions verticales (palplanches, pieux forés ou foncés ou autres éléments) et la stabilisation au moyen de boulons d'ancrage, de tirants d'ancrage pré-contraints, ou de pieux en traction ne relèvent pas de la présente Norme.

1.6 Des indications concernant les aspects pratiques du clouage des sols, les aspects liés à la conception, la durabilité et les essais sont données respectivement dans les Annexes A, B et C.

2 Références normatives

Les documents cités ci-après sont indispensables à l'application de la présente Norme. Pour les références datées, seule l'édition citée est applicable. Pour les références non datées, la dernière édition de la publication (incluant les amendements) à laquelle il est fait référence s'applique.

EN 196-1, Méthode d'essai des ciments — Partie 1 : Détermination des résistances mécaniques.

EN 197-1, Ciment — Partie 1 : Composition, spécification et critères de conformité des ciments courants.

EN 206-1, Béton — Partie 1 : Spécification, performances, production et conformité.

EN 1537, Exécution des travaux géotechniques spéciaux — Tirants d'ancrage.

EN 1992-1-1, Eurocode 2 : Calcul des structures en béton — Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments.

EN 1997-1:2004, Eurocode 7 — Calculs géotechniques — Partie 1 : Règles générales.

EN 1997-2 :2007, Eurocode 7 — Calculs géotechniques — Partie 2 : Reconnaissance des sols et essais.

EN 10025-2, Produits laminés à chaud en aciers de construction — Partie 2 : Conditions techniques de livraison pour les aciers de construction non alliés.

EN 10079, Définition des produits en acier.

EN 10080, Aciers pour l'armature du béton — Aciers soudables pour béton armé — Généralités.

EN 10138 (en totalité), Armatures de précontrainte.

EN 10210 (en totalité), Profils creux de construction finis à chaud en aciers non alliés et à grains fins.

EN 10219 (en totalité), Profils creux de construction soudés fermés à froid en aciers non alliés et à grain fins.

EN 10244 (en totalité), Fils et produits tréfilés en acier — Revêtements métalliques non ferreux sur fils d'acier.

EN 14490:2010 (F)

EN 10245 (en totalité), Fils et produits tréfilés en acier — Revêtements organiques sur fils d'acier.

EN 13251:2000, Géotextiles et produits apparentés — Caractéristiques requises pour l'utilisation dans les travaux de terrassement, fondations et structures de soutènement.

EN 13670, Exécution des structures en béton.

EN 14487-1, Béton projeté : Actions sur les structures — Partie 1 : Définitions, spécifications et conformité.

EN 14488, (en totalité), Essais pour béton projeté.

EN ISO 1461, Revêtements à chaud galvanisé sur aciers et fers — Spécifications et méthodes d'essai.

3 Termes, définitions et symboles

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1.1

bearing plate

fr : plaque d'appui

de : Kopfplatte

plaque liée à la tête du clou servant à transmettre à celui-ci les efforts provenant du parement ou les efforts provenant directement de la surface du terrain

3.1.2

design life

fr : durée de service

de : Entwurfslebensdauer

durée d'utilisation en années exigée par la conception

3.1.3

drainage system

fr : système de drainage

de : Dränagesystem

ensemble de drains, couches drainantes ou autres moyens permettant de récupérer les eaux de ruissellement et les eaux des nappes souterraines

3.1.4

facing

fr : parement

de : Frontausbildung

revêtement de la face vue d'un massif renforcé, pouvant avoir une fonction stabilisatrice en retenant le terrain entre les clous, fournir une protection contre l'érosion et avoir également une fonction esthétique

3.1.5

facing drainage

fr : drainage de parement

de : Dränage der Frontausbildung

système de drains utilisé pour recevoir les eaux s'infiltrant derrière le parement

3.1.6

facing system

fr : système de parement

de : Frontausbildungssystem

assemblage d'éléments de parement pour constituer le parement final du massif renforcé

EN 14490:2010 (F)

3.1.7

facing unit

fr : élément de parement

de : Frontausbildungselement

module utilisé pour construire le parement

3.1.8

flexible facing

fr : parement flexible

de : bedingt nachgiebige Frontausbildung

parement déformable, apte à retenir le sol entre les clous

3.1.9

ground

fr : terrain

de : Baugrund

sol, roche et remblai en place avant la réalisation des travaux

3.1.10

hard facing

fr : parement rigide

de : starre Frontausbildung

parement peu déformable, par exemple constitué de modules en béton préfabriqués ou en béton projeté ou en éléments coulés en place

3.1.11

production nail

fr : clou de l'ouvrage

de : Bauwerksnagel

clou faisant partie intégrante de la structure finale en sol cloué

3.1.12

reinforcing element

fr : élément de renforcement

de : Bewehrungselement

terme générique donné aux inclusions mises en place dans un terrain

3.1.13

reinforced ground

fr : massif renforcé, sol cloué

de : bewehrter Boden

terrain qui est renforcé par l'insertion d'éléments de renforcement

3.1.14

sacrificial nail

fr : clou sacrificiel

de : Sondernagel

clou réalisé selon les mêmes procédures que les clous de l'ouvrage, uniquement pour établir la résistance ultime à l'arrachement mais ne faisant pas partie de l'ouvrage

3.1.15

soft facing

fr : parement souple

de : vollkommen nachgiebige Frontausbildung

parement souple temporaire constitué par une géogrille ou un géotextile très déformable ayant un rôle de stabilisation de la partie supérieure pendant le développement de la végétation

3.1.16

soil nail

fr : clou

de : Bodennagel

élément de renforcement, mis en place dans le terrain, en général selon un angle très faible par rapport à l'horizontale, qui mobilise le frottement sur toute sa longueur en contact avec le sol

3.1.17

soil nail construction

fr : ouvrage en sol cloué

de : Vernagelungsbauwerk

toute structure comportant des clous avec éventuellement un parement et/ou un système de drainage

3.1.18

soil nail system

fr : système de clouage de sol

de : Bodennagelsystem

élément de renforcement, pouvant inclure, des joints et des coupleurs, des centreurs, des écarteurs, du coulis et une protection contre la corrosion

3.1.19

test nail

fr : clou d'essai

de : Prüfnagel

clou installé selon la même méthode que celle retenue pour les clous de l'ouvrage, dans le but de vérifier leur résistance à l'arrachement et leur durabilité et pouvant constituer une partie de la structure

3.1.20

proof load

fr : chargement d'essai

de : Prüflast

charge appliquée lors des essais

3.2 Symboles

3.2.1 A_{gt} allongement d'un élément de renforcement métallique

3.2.2 f_y limite d'élasticité de l'acier

3.2.3 L_{db} longueur non scellée de l'armature

3.2.4 P_p traction d'épreuve (traction maximale admissible appliquée pendant l'essai)

3.2.5 P_0 traction de référence

3.2.6 R_t traction correspondant à la rupture par arrachement

3.2.7 $R_{t,k}$ résistance caractéristique à la traction d'essai de clou et des pièces annexes

3.2.8 $R_{t0.1,k}$ valeur caractéristique de la résistance à la traction à 0.1 % de déformation permanente du clou et des pièces annexes

3.2.9 S_1, S_2 déplacements du clou mesurés aux temps t_1 et t_2 , respectivement

3.2.10 S_r déplacement résiduel du clou

3.2.11 S_0 déplacement initial du clou

3.2.12 t_1, t_2 mesures aux temps t_1 et t_2

EN 14490:2010 (F)**4 Informations nécessaires pour l'exécution des travaux****4.1 Généralités**

4.1.1 Préalablement à l'exécution des travaux, toutes les informations nécessaires doivent être fournies, ainsi que les spécifications (conformément à l'EN 1997-1), en particulier, et ce, de manière non restrictive :

- a) tous les détails relatifs au projet de clouage du sol, ainsi que le phasage et le programme de réalisation ;
- b) rapport de reconnaissance des sols, incluant la classification géotechnique et les propriétés mécaniques du sol dans lequel les clous seront mis en place ;
- c) informations concernant tous les éléments contraignants incluant les ouvrages souterrains, les réseaux, les fondations existantes (et leur sensibilité) et toutes les spécifications pertinentes relatives à l'implantation des clous et leur fonctionnement ;
- d) les renseignements concernant le propriétaire du site où les clous seront réalisés ;
- e) les renseignements concernant les accords nécessaires à l'obtention de l'autorisation d'accès au site où les clous seront réalisés.

4.1.2 Les informations concernant les conditions de site doivent couvrir les aspects suivants :

- a) les données de la reconnaissance de sols du site sur les conditions d'exécution des travaux de clouage, conformément à l'EN 1997-1 et l'EN 1997-2 ;
- b) la géométrie du site (emprises, topographie, accès, pentes, restrictions de gabarit) ;
- c) les contraintes liées aux ouvrages enterrés, réseaux, aux pollutions connues et aux vestiges archéologiques ;
- d) les restrictions liées à l'environnement, incluant le bruit, les vibrations et la pollution ;
- e) les travaux à venir tels qu'un rabattement de nappe, un creusement de tunnel ou des fouilles profondes ;
- f) la liste détaillée des restrictions, lorsque le site des travaux est inondable, ou lorsqu'il peut être soumis à l'action des marées, à des conditions de climat froid, ou toutes autres limitations de nature similaire ;
- g) les données sur le niveau attendu des nappes souterraines, les nappes perchées et leurs fluctuations ;
- h) les conditions de construction des bâtiments, routes et réseaux adjacents au projet y compris toutes les enquêtes nécessaires.

4.2 Données particulières

4.2.1 Les données relatives à l'établissement du projet doivent couvrir, si cela est pertinent :

- a) la définition de la catégorie géotechnique et de la durée de service du massif renforcé ;
- b) l'évaluation des données de la reconnaissance géotechnique par rapport aux hypothèses de calcul ;
- c) la conception générale de la structure en sol cloué ;
- d) les phases d'exécution temporaires pertinentes ;
- e) les spécifications relatives au système de clouage ;
- f) les points importants sur lesquels est fondée la conception et auxquels une attention particulière doit être portée.

4.2.2 Les données relatives à l'exécution doivent inclure les données suivantes :

- a) les prescriptions relatives aux procédures et aux phases de travaux ;
- b) la définition des procédures de compte rendu des conditions imprévues, ou de toutes autres conditions qui s'avèrent ou apparaissent en cours de travaux comme plus défavorables que celles prises en compte au niveau de la conception ;
- c) la définition des procédures de compte rendu lorsqu'une méthode «observationnelle» est retenue, ou lorsqu'un contrôle des travaux est exigé ;
- d) les niveaux, coordonnées et tolérances prescrits, lesquels doivent figurer sur les plans ou dans les spécifications de la conception, avec les positions, niveaux et coordonnées des points fixes de référence, situés sur le site des travaux ou à proximité ;

EN 14490:2010 (F)

- e) la définition des limites acceptables quant aux effets (déformations, tassements, bruit, vibrations, pertes de coulis d'injection) des travaux de clouage sur les ouvrages existants ou projetés ;
- f) les coordonnées des axes principaux du projet.

4.2.3 Les données concernant les essais, la surveillance et le contrôle doivent couvrir si cela est pertinent :

- a) le programme des plots d'essai, des essais et des procédures de convenance des matériaux mis en œuvre dans le massif renforcé ;
- b) le programme des plots d'essai préalables (s'ils sont nécessaires) et des tests et contrôles appropriés ;
- c) l'évaluation des résultats des plots d'essais et des tests ;
- d) si besoin, les spécifications concernant les clous sacrificiels ;
- e) les procédures de suivi des effets des travaux de clouage sur les ouvrages et réseaux adjacents et les procédures d'interprétation des résultats.

5 Reconnaissances géotechniques

5.1 Généralités

5.1.1 La reconnaissance géotechnique doit satisfaire aux exigences des normes EN 1997-1 et EN 1997-2.

NOTE Des informations sur la profondeur et le contenu des reconnaissances géotechniques sont données à l'Annexe B de l'EN 1997-2:2007.

5.1.2 Le rapport de reconnaissance géotechnique doit être disponible à temps pour permettre une conception et une exécution fiables des travaux géotechniques spéciaux.

5.1.3 La reconnaissance géotechnique doit être vérifiée afin de s'assurer qu'elle est suffisante pour permettre la conception et l'exécution des travaux géotechniques spéciaux.

5.1.4 Si les reconnaissances géotechniques ne sont pas suffisantes, une reconnaissance complémentaire doit être faite.

5.2 Exigences particulières du clouage

5.2.1 L'interaction entre le clou et le terrain doit être prise en compte. La reconnaissance géotechnique du site doit établir (ou confirmer) la nature et les caractéristiques mécaniques des terrains afin d'estimer, directement ou sur la base d'expériences comparables, les propriétés de résistance de l'interface sol/clou.

5.2.2 La stabilité de la surface à clouer pendant la phase d'exécution doit être analysée, notamment par rapport aux conditions géotechniques, hydrogéologiques et hydrologiques (voir 9.3.4).

5.2.3 Lorsqu'un terrassement général est prévu, il convient de procéder à des plots d'excavation pour estimer la stabilité des excavations à réaliser pendant les travaux.

5.2.4 Si besoin, en fonction des conditions de projet, il convient d'installer une instrumentation spéciale (inclinomètres, piézomètres, etc.).

5.2.5 L'agressivité des sols et des eaux doit être établie afin de déterminer les exigences de durabilité des matériaux constitutifs du massif cloué en cohérence avec la durée de vie de l'ouvrage, (voir Annexe B).

6 Matériaux et produits

6.1 Généralités

6.1.1 La construction d'un ouvrage en sol cloué peut impliquer l'utilisation des composants suivants :

- a) un système de clouage ;
- b) un système de parement ;
- c) un système de drainage.

EN 14490:2010 (F)

6.1.2 Toutes les exigences sur les matériaux et les produits doivent être spécifiées au préalable pour les travaux, basées sur une norme européenne ou nationale. Lorsqu'il n'existe pas de norme européenne ou nationale appropriée, les spécifications seront soumises aux recommandations des fabricants et en accord avec les certificats d'acceptation pertinents. La conformité avec les exigences spécifiques sera documentée pendant l'exécution des travaux.

6.1.3 Toutes les exigences sur les matériaux seront spécifiées au préalable. La conformité avec les exigences spécifiques sera documentée pendant l'exécution.

6.1.4 Les matériaux et les produits utilisés dans les systèmes de clouage, de parement et de drainage, doivent être mutuellement compatibles.

6.1.5 Les matériaux et produits doivent présenter les qualités nécessaires, pour la durée de vie de l'ouvrage, et pour ne pas dépasser les états limites de service.

6.1.6 Des matériaux nouveaux peuvent être utilisés, sous réserve que la performance du système et la durabilité des matériaux soient démontrées.

6.2 Systèmes de clouage de sol**6.2.1 Généralités**

Les systèmes de clouage de sol sont réalisés à partir d'un vaste choix de matériaux et de configurations. Les paragraphes suivants donnent une description des principaux composants qui peuvent être utilisés pour construire un système de clouage de sol. Des exemples de système de clou sont donnés en Annexe A.

6.2.2 Élément de renforcement**6.2.2.1 Généralités**

6.2.2.1.1 L'armature d'un clou est habituellement produite à partir de métaux (en général en acier) et, dans une moindre mesure, à partir d'autres matériaux, comme des plastiques renforcés par des fibres, des géo-synthétiques ou des fibres de carbone.

NOTE L'élément de renforcement peut être une barre pleine ou creuse, une cornière ou tout autre type de profilé.

6.2.2.1.2 Lorsque les clous doivent être scellés dans du coulis, leur surface peut être crantée ou profilée afin d'améliorer la qualité du scellement dans le coulis.

6.2.2.1.3 Tout élément de renforcement doit présenter les propriétés, de contrainte/déformation, de durabilité et d'interaction sol/armature requises par la conception.

6.2.2.2 Élément de renforcement métallique

6.2.2.2.1 Tout élément de renforcement métallique doit être conforme à l'article 6.1.2, en particulier (liste non exhaustive) :

- a) un élément de renforcement métallique doit présenter un allongement (A_{gt}) d'au minimum 5% à la rupture ;
- b) une barre pleine en acier utilisée comme élément de renforcement doit être conforme à la norme EN 10080 ;
- c) une barre creuse en acier utilisée comme élément de renforcement doit être conforme à la norme EN 10210 (en totalité) ou à la norme EN 10219 (en totalité) ;
- d) un profilé en acier laminé à chaud utilisé comme élément de renforcement doit être conforme à la norme EN 10025-2 ;
- e) les produits en acier de précontrainte utilisés comme éléments de renforcement doivent être conformes à la norme EN 10138 (en totalité).

6.2.2.2.2 L'élément de renforcement doit avoir une épaisseur suffisante pour garantir le comportement mécanique pendant la durée de service de l'ouvrage.

EN 14490:2010 (F)

6.2.2.2.3 Lorsqu'un élément de renforcement en acier est utilisé, il convient que la corrosion soit prise en compte sur la durée de vie de l'ouvrage, voir Annexe B.

6.2.2.2.4 Les revêtements et les composants utilisés pour la protection contre la corrosion doivent satisfaire aux spécifications de la conception. La continuité de la protection, proche des éléments de connexion, doit satisfaire aux spécifications de la conception.

6.2.2.2.5 La protection contre la corrosion des aciers à haute résistance et des aciers précontraints doit être conforme avec les exigences de la norme EN 1537.

NOTE L'acier sera considéré comme un acier à haute résistance si $f_y > 600$ MPa et si aucune autre information n'est disponible.

6.2.2.2.6 Lorsqu'un élément de renforcement est galvanisé, le revêtement par immersion à chaud doit être conforme aux exigences de la norme EN ISO 1461.

6.2.2.3 Éléments de renforcement non métallique

6.2.2.3.1 D'autres matériaux peuvent être utilisés pour les éléments de renforcement sous réserve d'être conformes à l'Article 6.1.2.

6.2.2.3.2 Les autres matériaux doivent avoir un comportement ductile.

6.2.2.4 Joints et coupleurs

6.2.2.4.1 Joints et coupleurs peuvent déterminer la résistance à la traction du système de clouage.

6.2.2.4.2 La protection contre la corrosion des coupleurs doit être compatible avec celle de l'élément de renforcement.

6.2.3 Coulis d'injection

6.2.3.1 Les coulis, à base de ciment ou non, doivent être compatibles avec l'élément de renforcement.

6.2.3.2 Si un coulis de ciment est utilisé comme partie intégrante du système de clouage, alors le ciment sera conforme aux exigences de la norme EN 197-1 et de ses extensions.

NOTE Il convient que le choix du type de ciment pour le coulis prenne en compte l'agressivité du milieu environnant, la perméabilité des terrains et la durée de service du clou. L'agressivité du milieu environnant peut être déterminée selon la norme EN 206-1.

6.2.3.3 Il convient que les rapports pondéraux eau/ciment soient choisis compte tenu des conditions des terrains, de la méthode de réalisation du système de clouage, et des exigences de durabilité et de résistance.

NOTE Une valeur classique maximale est 0.55.

6.2.3.4 Des adjuvants peuvent être utilisés pour améliorer l'ouvrabilité, la durabilité, le ressuage, pour réduire le retrait ou pour ajuster la vitesse de prise et l'augmentation de la résistance.

6.2.3.5 Les adjuvants ne doivent pas contenir de produit susceptible d'altérer l'élément de renforcement ou même le coulis. Il convient de ne pas utiliser des adjuvants qui renferment plus de 0.1 % en masse de chlorures, sulfates ou nitrates.

6.2.3.6 Des fillers inertes peuvent être incorporés au coulis, par exemple du sable ou une proportion acceptable de matériaux connus de forage, sous réserve que les prescriptions convenues soient respectées.

6.2.3.7 Habituellement, il convient d'atteindre une résistance caractéristique du coulis au moins de 5 MPa avant qu'une charge soit appliquée au clou et il est recommandé que la résistance caractéristique à 28 jours du coulis ne soit pas inférieure à 25 MPa.

6.2.4 Gaines et tubes

Lorsqu'ils sont utilisés, les gaines et les tubes de protection ne doivent pas compromettre le transfert de charge entre le terrain et l'élément de renforcement.

EN 14490:2010 (F)**6.3 Systèmes de parement****6.3.1 Généralités**

6.3.1.1 Les systèmes de parement sont réalisés à partir d'une grande variété de matériaux, de configurations et de liaisons avec les éléments de renforcement. Il convient que les parements exposés au gel soient protégés par une isolation au gel et un drainage efficace. Les systèmes de parement usuels sont présentés en Annexe A.

6.3.1.2 Tous les systèmes de parement, y compris leur liaison avec les éléments de renforcement doivent être conformes à 6.1.2.

6.3.1.3 Le système de parement doit permettre la réalisation du massif cloué et son fonctionnement pendant la durée de service de l'ouvrage dans les tolérances d'alignement vertical et horizontal prescrites.

6.3.1.4 Le système de parement doit pouvoir supporter sans dommage structurel les tassements différentiels spécifiés par la conception.

6.3.1.5 Le bon fonctionnement du système de parement doit être démontré par une expérience comparable ou par des essais mettant en évidence son bon fonctionnement et la durabilité des matériaux utilisés, pour la durée de service de l'ouvrage en sol cloué.

6.3.1.6 Les systèmes de liaison entre le parement et les clous doivent permettre le transfert des charges de l'un à l'autre, suivant les spécifications de la conception et être capables de supporter les mouvements différentiels se produisant entre le parement et le terrain.

6.3.2 Panneaux et blocs (généralement préfabriqués)

6.3.2.1 Il convient que les panneaux en béton soient conformes à la norme EN 206.

6.3.2.2 Lorsque les panneaux en béton sont armés, les armatures en acier doivent être conformes à la norme EN 10080.

6.3.2.3 L'épaisseur d'enrobage des armatures, côté terrain, doit être conforme à celle spécifiée dans la norme EN 1992-1-1, pour le cas d'un milieu humide ou les autres cas d'environnement plus sévères.

6.3.3 Béton projeté et béton coulé en place

6.3.3.1 Le ciment utilisé doit être conforme à la norme EN 197-1 et le béton doit être conforme à la norme EN 14487-1.

6.3.3.2 Des adjuvants et des additifs peuvent être utilisés dans le béton projeté.

6.3.3.3 L'épaisseur de l'enrobage des armatures, coté terrain, doit être conforme à celle spécifiée dans la norme EN 1992-1-1, pour les environnements humides ou les autres cas d'environnement plus sévères.

6.3.3.4 Les granulats utilisés pour le béton projeté doivent être stockés à l'abri et doivent être bien gradués afin d'obtenir la vitesse de projection exigée.

6.3.4 Parement en treillis

6.3.4.1 Si du treillis soudé est utilisé comme parement, il doit être conforme à la norme EN 10080.

6.3.4.2 Si des grillages en fils soudés sont utilisés comme parement, ils doivent être constitués de fils d'acier écrouis à froid conformément à la norme EN 10079 et les fils doivent être assemblés par soudage pour fabriquer le treillis définitif, conformément à la norme EN 10080.

6.3.4.3 Les treillis de fils soudés galvanisés doivent être conformes à la norme EN ISO 1461.

6.3.4.4 Les grillages de fils tressés utilisés comme parement, doivent être constitués de fils d'acier écrouis à froid, et le produit doit être élaboré par assemblage des fils conformément aux normes EN appropriées. Les revêtements des fils doivent être conformes aux exigences minimales des normes EN 10244 (en totalité) et EN 10245 (en totalité) relatives au revêtement organique extrudé.

6.3.5 Autres matériaux

6.3.5.1 Les matériaux géosynthétiques utilisés pour la réalisation de parement textile doivent être conformes à la norme EN 13251.

6.3.5.2 Tous les matériaux géosynthétiques et les matériaux naturels utilisés doivent être conformes à 6.1.2.

6.4 Systèmes de drainage

Tous les systèmes de drainage, y compris les matériaux et les produits utilisés, doivent être conformes à 6.1.2.

NOTE Des exemples de système de drainage sont donnés en 8.5 et en Annexe B.

7 Considérations relatives à la conception

7.1 Généralités

7.1.1 Le bon fonctionnement d'un ouvrage en sol cloué pendant sa durée de service dépend de l'interaction combinée entre le terrain, les clous et, s'il y a lieu, le parement.

NOTE L'effort stabilisateur apporté par un clou est en général de type passif.

7.1.2 Il convient de fonder la conception des ouvrages en sol cloué sur les principes généraux définis dans les normes EN 1990, EN 1991, EN 1997-1 et EN 1997-2.

NOTE Des indications complémentaires sur la conception des systèmes de clouage des sols sont données à l'Annexe B.

7.1.3 Lorsque la méthode observationnelle est utilisée, une attention particulière sera accordée à l'article 2.7 de la norme EN 1997-1:2004.

7.1.4 Le concepteur doit considérer le comportement du massif cloué pendant les phases temporaires de sa réalisation, mais également pour toute sa durée de service, une fois l'ouvrage achevé.

7.1.5 Le système de clouage doit être compatible avec les conditions de terrain existantes et attendues.

7.1.6 Au cas où le système de clouage à utiliser n'est pas spécifié par la conception, le dossier technique doit faire ressortir les exigences particulières du projet, sur lesquelles le choix définitif du système doit être fait.

7.1.7 La conception pour la réalisation d'un massif cloué doit considérer tous les états limites pertinents conformément à l'EN 1997-1.

7.1.8 Il convient de prendre en compte l'aptitude des massifs en sol cloué à pouvoir supporter les amplitudes des tassements, total et différentiel, prévus, les soulèvements dus au gel, les déformations et les déplacements. Lorsque cela est nécessaire, il convient de contrôler les tassements, déformations et déplacements du massif en sol cloué pendant et après sa construction (se reporter à l'article 9).

7.1.9 Pour les parements flexibles, il convient de prendre en compte les recommandations des fabricants.

EN 14490:2010 (F)**7.2 Données du projet**

7.2.1 Il convient que les données du projet contiennent toutes les informations pertinentes pour la construction de l'ouvrage en sol cloué, certaines d'entre elles pouvant être utilisées dans la préparation des prescriptions.

7.2.2 Il convient d'inclure les spécifications qui suivent pour l'ouvrage en sol cloué :

- a) durée de service de l'ouvrage ;
- b) catégorie géotechnique de l'ouvrage conformément à l'EN 1997-1:2004 ;
- c) géométrie : vue en plan, coupes représentatives, élévations ;
- d) type d'ouvrage : par exemple, ouvrage neuf ou réparation d'une structure de soutènement existante ;
- e) phases de travaux ;
- f) tolérances d'exécution ;
- g) aptitude des terrains en place à mobiliser les efforts à reprendre par les clous ;
- h) essais sur les clous sacrificiels et sur les clous de l'ouvrage ;
- i) exigences aux états de service : par exemple, la déformation et/ou le déplacement autorisé pour le massif en sol cloué et pour les terrains soutenus ;
- j) suivi de la déformation et/ou du déplacement ;
- k) contraintes éventuelles, existantes ou attendues, découlant du site environnant et des bâtiments ou des ouvrages contigus à la zone clouée ;
- l) réseaux enterrés, dans ou à proximité de la zone clouée ;
- m) prescriptions pertinentes pour les matériaux et les produits prévus par la conception.

7.2.3 Le rapport de reconnaissance de sols doit contenir les informations qui suivent, lorsqu'elles s'appliquent, conformément à l'EN 1997-2 :

- a) propriétés mécaniques et physiques : paramètres de résistance, poids volumique, courbe granulométrique, perméabilité, teneur en eau, compressibilité, présence de blocs et de cailloux ;
- b) hydrologie souterraine, niveaux des nappes, susceptibilité au gel, s'il y a lieu ;
- c) propriétés chimiques, électro-chimiques et biologiques des terrains et des nappes souterraines ;
- d) l'aptitude des terrains en place à demeurer stables temporairement, sans soutènement, pendant la phase de terrassement.

7.2.4 Il convient d'inclure, s'il y a lieu, les spécifications qui suivent pour le système de clouage :

- a) type, configuration et caractéristiques principales des clous (diamètre, longueur, inclinaison et espacement) ;
- b) résistances de calcul, à court terme et à long terme, et résistance à l'arrachement des clous ;
- c) mise en place des clous d'essai et des clous sacrificiels ;
- d) type de coulis et résistance ;
- e) système de protection contre la corrosion et durée de service ;
- f) restrictions sur les méthodes de mise en place.

7.2.5 Il convient d'inclure, selon leur pertinence, les spécifications suivantes pour le système de parement :

- a) exigences mécaniques ;
- b) exigences environnementales ;
- c) exigences esthétiques.

7.2.6 Le rapport de conception devra inclure, lorsqu'elles sont pertinentes, les spécifications suivantes pour le système de drainage :

- a) type de drainage et spécifications ;
- b) phases de construction ;
- c) durabilité et entretien du système de drainage.

7.3 Modifications du projet

7.3.1 Des modifications du projet peuvent s'avérer nécessaires, du fait de conditions rencontrées imprévues ou de modifications programmées.

7.3.2 Les modifications du projet découlant de circonstances imprévues, telles que des conditions hydrologiques ou de terrain nouvelles, doivent être immédiatement signalées, conformément aux indications de l'Article 4.

7.3.3 Dans le cas où la réalisation des travaux nécessite une modification de l'ouvrage définitif, tel qu'il était prévu dans les documents de la conception, celle-ci ne doit être entreprise qu'une fois que la conception a vérifié et modifié le projet en conséquence.

8 Exécution

8.1 Généralités

8.1.1 La réalisation d'un ouvrage en sol cloué peut comporter cinq opérations principales:

- a) travaux préliminaires ;
- b) terrassement / préparation des parois à clouer ;
- c) mise en place des clous ;
- d) réalisation du drainage ;
- e) mise en place du parement et liaison avec la tête des clous.

NOTE l'ordre d'exécution de ces opérations est en accord avec le phasage et les exigences de construction définis par la conception et peut varier.

8.1.2 Les circonstances imprévues, telles que des changements de conditions hydrologiques ou de terrain, doivent être immédiatement signalées conformément aux dispositions de l'Article 4.

8.1.3 Lorsque les propriétés des matériaux, ou les méthodes d'exécution, sont susceptibles d'être modifiées défavorablement par les conditions climatiques (par exemple, une chaleur ou un froid intense, de fortes précipitations), alors la mise en œuvre de mesures particulières doit être envisagée afin d'atténuer les effets préjudiciables de ces conditions.

8.2 Travaux préliminaires

8.2.1 Les travaux préliminaires suivants peuvent être nécessaires :

- a) arrangement de la végétation et préparation des parements existants ;
- b) implantation du talus à réaliser ;
- c) lorsque l'accès au site est difficile, la construction des moyens d'accès (par exemple, réalisation de plate-formes à partir d'échafaudages, terrassement de risbermes, accès pour grue) ;
- d) mise en place d'un drainage pour contrôler les eaux de ruissellement en surface et les eaux des nappes souterraines pour pouvoir entreprendre le clouage ;
- e) réalisation des clous d'essais et des essais pour vérifier les valeurs et les hypothèses de calcul (se reporter à l'Article 9) ;
- f) mise en place de l'instrumentation géotechnique (se reporter à l'Article 9) pour le suivi des travaux de clouage et de leurs effets sur les ouvrages voisins et sur les réseaux.

8.3 Terrassement / Préparation de la paroi à clouer

8.3.1 La stabilité générale de la fouille, celle de la paroi à clouer, et celle des terrains, des ouvrages ou des réseaux adjacents ou contigus, doivent être examinés avant le début des travaux de clouage.

8.3.2 Le terrassement peut comporter un terrassement général et une finition locale de la face à clouer (se reporter à l'Annexe A).

EN 14490:2010 (F)

8.3.3 Des restrictions peuvent être imposées pour la réalisation des passes d'excavation successives.

8.3.4 Les couches superficielles du terrain sont souvent remaniées et de médiocre qualité, et peuvent nécessiter des mesures particulières pour prévenir leur effondrement.

8.3.5 Même si cela est défini dans les études de conception, il convient de faire une estimation de la stabilité dans le temps des passes de terrassement, préalablement à la mise en place des clous. À partir de cette analyse, il convient d'estimer la longueur maximale de la passe qu'il est possible de terrasser avant la réalisation du clouage (se reporter aux Articles 5 et 9).

8.3.6 Il convient de minimiser le délai entre la finition de la paroi à clouer et les opérations de clouage et de mise en place du parement, de façon à prévenir le risque d'effondrement de cette paroi.

8.3.7 Quand cette stabilité est de courte durée et que la paroi à clouer ne peut être stable, alors il convient d'envisager un terrassement par plots en utilisant les risbermes comme soutènement temporaire.

8.3.8 Les tolérances de terrassement, tels que la pente du talus, les niveaux des risbermes provisoires, la position de la fouille projetée, doivent être approuvées avant le début des terrassements.

8.3.9 Les limites de l'excavation à réaliser doivent être approuvées avant le début des terrassements.

8.3.10 Une procédure de contrôle, avec les actions nécessaires à prendre, doit être mise en place pour s'assurer que les limites de terrassement agréées ne sont pas dépassées.

8.3.11 Sous réserve des exigences de stabilité, le terrassement pleine masse peut être exécuté avant le terrassement de la risberme et la finition de la surface de la paroi à clouer, nécessaires à la mise en place des clous et à la réalisation du parement.

8.3.12 Lorsque la stabilité de la paroi à clouer n'a pas été évaluée, elle doit être étudiée, avant la réalisation de l'excavation finale, au moyen de plots d'essai et/ou d'un examen de l'excavation générale initiale.

8.3.13 Dans le cas où le délai entre la finition de la paroi à clouer et la mise en place des clous ou la réalisation du parement est supérieur à la durée de stabilité prévue pour la surface à clouer, la mise en place d'un remblai localisé contre la paroi à clouer pour assurer sa stabilité doit être envisagée.

8.3.14 Dans le cas d'un effondrement de la paroi à clouer, une enquête doit être faite et des mesures doivent être prises pour éviter un phénomène régressif.

8.3.15 À chaque niveau de terrassement, il convient d'examiner la nature des sols recoupés et les arrivées d'eau et de comparer ces informations avec les données fournies par la reconnaissance des terrains. Lorsque des différences sont observées, elles doivent être signalées et toutes les actions nécessaires doivent être prises.

8.4 Mise en place des clous**8.4.1 Généralités**

8.4.1.1 On distingue deux méthodes principales d'installation des clous, la mise en place directe (fonçage) et la mise en place par forage et injection d'un coulis de scellement. La mise en place directe peut se faire par les méthodes dites «à percussion», «par vibration» ou «balistique». Les méthodes par forage et injection peuvent impliquer des procédés par injection gravitaire ou sous pression.

8.4.1.2 La méthode d'installation des clous doit être adaptée aux conditions de terrain.

8.4.1.3 Les composants des clous doivent être manipulés avec précaution pendant leur transport, leur stockage et l'installation des clous. Les composants des clous doivent être inspectés avant l'installation de ceux-ci, pour s'assurer de leur intégrité, avec une attention particulière pour les revêtements et les composants de protection contre la corrosion.

8.4.1.4 L'installation des clous doit être réalisée en procédant de façon à avoir un minimum de remaniement préjudiciable à la stabilité des terrains et des clous déjà installés.

8.4.1.5 La mise en place des clous doit être effectuée dans les tolérances et selon la séquence requise par la conception. Les tolérances d'exécution généralement réalisables sont indiquées dans l'Annexe A.

8.4.1.6 Les clous doivent être installés de façon à ce que la barre de renforcement sorte de la paroi clouée d'une longueur suffisante pour permettre son raccordement avec le parement, conformément aux exigences de la conception. Tout écrou de blocage, plaque ou autre dispositif de liaison doivent être solidement attachés.

8.4.1.7 Lorsqu'on utilise des coupleurs pour raccorder des éléments de renforcement entre eux, des précautions doivent être prises pour s'assurer que les éléments sont vissés correctement dans le coupleur sur une longueur identique pour éviter un désaccouplement.

8.4.1.8 La méthode d'exécution doit être révisée et le repositionnement du clou envisagé, lorsque la présence d'obstacles (ou des conditions de terrain imprévues) empêche la mise en place complète d'un clou ou provoque sa déviation par rapport à son orientation projetée. Les clous déjà mis en place ou partiellement installés ne doivent pas être enlevés.

8.4.2 Méthodes de mise en place par fonçage

8.4.2.1 Les clous peuvent être directement mis en place dans le terrain par battage, par vibration ou par une action balistique. L'élément de renforcement est en général, au contact direct du terrain.

8.4.2.2 Pour éviter le flambement des éléments de renforcement lors de leur installation, ceux-ci doivent être suffisamment rigides, relativement à leur longueur, à la nature et à l'état de compacité du sol et à la puissance des outils utilisés pour leur installation.

NOTE Les éléments de renforcement peuvent être guidés pendant le battage.

8.4.3 Méthodes de mise en place par forage

8.4.3.1 Généralités

8.4.3.1.1 Les clous peuvent être mis en place dans le terrain en utilisant des méthodes de forage par rotation ou roto-percussion.

8.4.3.1.2 La méthode de forage utilisée et la vitesse de forage, doivent permettre d'obtenir, sur toute la longueur du clou, le diamètre nominal prescrit par la conception.

8.4.3.1.3 Le forage doit atteindre une profondeur suffisante pour permettre la mise en place de la longueur d'élément de renforcement prévue par la conception.

8.4.3.1.4 Lorsque le transfert de la charge entre le terrain et l'élément de renforcement se fait par l'intermédiaire d'un coulis de scellement, des écarteurs en nombre suffisant doivent être installés de façon à assurer l'épaisseur minimale de coulis exigée par la conception autour de l'élément de renforcement.

8.4.3.1.5 Lorsque le coulis de scellement du clou fait partie du système de protection contre la corrosion, alors des écarteurs doivent être installés de façon à assurer l'enrobage minimal de coulis exigé par la conception.

8.4.3.2 Forage non tubé

8.4.3.2.1 Le forage non tubé peut être utilisé dans des sols stables ou instables avec un fluide de forage adapté.

NOTE 1 Quand le sol est stable, les techniques de forage à l'air sont couramment employées, avec les techniques de forage en rotation, en rotation-percussion ou avec marteau fond de trou.

NOTE 2 Dans certaines conditions de terrain, l'utilisation de l'eau comme fluide de forage peut s'avérer plus appropriée, du fait de sa masse volumique plus élevée, de sa capacité à soutenir les parois du forage et de sa meilleure efficacité pour remonter les matériaux, sous un faible débit de circulation. Il convient toutefois de ne pas utiliser l'eau lorsqu'elle augmente le risque d'instabilité du sol et qu'elle diminue la capacité de frottement entre le terrain et le clou.

NOTE 3 Lorsqu'un fluide plus dense est nécessaire pour soutenir les parois du forage dans des terrains moins stables, un coulis de ciment est généralement utilisé, d'abord comme fluide de forage, et ensuite pour transférer les charges. L'utilisation de ce type de fluide réclame une récupération efficace du fluide en retour, une élimination complète ou partielle du coulis pollué avant d'être recyclé, l'utilisation de systèmes de pompes de recyclage, l'évacuation du fluide excédentaire et du coulis pollué.

8.4.3.2.2 Lorsque le retour du fluide de forage ne se fait pas correctement, il convient de remonter l'outil de forage ou le marteau fond de trou, et ce jusqu'au rétablissement de la circulation de fluide de forage.

EN 14490:2010 (F)

8.4.3.2.3 Lorsque les éléments de renforcement ou les gaines de protection contre la corrosion sont introduits dans un forage, il convient de s'assurer qu'ils ne frottent pas contre les parois du forage lors de leur installation et ne sont pas souillés par le terrain.

8.4.3.2.4 Il convient de mettre en place les éléments de renforcement immédiatement après la fin du forage.

8.4.3.3 Forage avec tubage et forage à la tarière continue

8.4.3.3.1 Le forage avec tubage, et le forage à la tarière creuse continue, sont des méthodes qui peuvent être utilisées lorsque les conditions de terrain ne permettent pas de conserver le forage stable sur toute sa longueur avant l'injection du coulis de scellement.

8.4.3.3.2 Le forage sans tubage peut être utilisé au-delà de la partie tubée, lorsque dans cette zone, le forage peut demeurer stable jusqu'à l'injection du coulis.

8.4.3.3.3 Lorsque le retour du fluide ne se fait plus, il convient de remonter l'outil de forage à l'intérieur du tubage, jusqu'au rétablissement de la circulation du fluide de forage, afin que ce dernier ne pénètre pas dans le terrain.

8.4.3.3.4 L'injection du forage doit être exécutée avant de remonter le tubage ou la tarière lorsque le terrain n'est pas stable. Lorsqu'un élément de renforcement est descendu dans un forage rempli de coulis frais, il convient de prendre les précautions nécessaires pour que cet élément soit centré dans le forage et que le forage ne soit pas contaminé.

8.4.3.4 Élément de renforcement auto-foreur

8.4.3.4.1 Dans cette technique, les éléments de renforcement sont équipés d'un outil de forage et sont mis en place dans le terrain lors du forage. Les barres creuses autoforantes sont généralement mises en place par roto-percussion.

NOTE L'installation des éléments de renforcement par forage en rotation avec injection simultanée de coulis de scellement est quelquefois désignée par «clous autoforeurs» ou «clous forés et scellés simultanément».

8.4.3.4.2 Il convient que la vitesse de forage, la pression d'injection, et le débit du fluide, soient adaptés aux conditions de terrain afin de s'assurer du respect du diamètre de forage.

NOTE Dans certaines conditions de terrain, le forage et l'injection simultanés peuvent augmenter le diamètre de forage par rapport au diamètre de l'outil de forage.

8.4.3.4.3 Si des barres creuses autoforantes sont utilisées dans un terrain instable, un fluide de forage de masse volumique adaptée doit être utilisé.

NOTE L'eau ne doit pas être utilisée comme fluide de forage si cela accroît le risque d'instabilité du massif de sol et affecte la performance du scellement sol-clou.

8.4.3.4.4 Le retour de fluide de forage doit être constamment observé pendant le forage. En cas de perte, il convient de remonter le train de tige jusqu'au retour du fluide.

8.4.3.4.5 Si le coulis de scellement n'est pas utilisé pour stabiliser les parois du forage, alors ce coulis de scellement doit être introduit en fin de forage, une fois la longueur de forage finale atteinte, et on doit s'assurer visuellement que le coulis de perforation est intégralement remplacé par le coulis de scellement.

8.4.4 Procédures d'injection**8.4.4.1 Généralités**

8.4.4.1.1 Lorsqu'un élément de renforcement est mis en place par fonçage, un coulis peut être injecté sous pression, par l'intermédiaire de cet élément, en cours ou après le fonçage, afin d'améliorer sa résistance à l'arrachement.

8.4.4.1.2 Lorsqu'un élément de renforcement est mis en place dans un forage, le coulis peut être, soit mis en place en cours de forage par l'intermédiaire de cet élément, soit mis en place après l'achèvement du forage ou après l'installation de l'élément de renforcement au moyen d'un tube d'injection. L'injection du coulis peut être réalisée sous pression afin d'améliorer la résistance à l'arrachement du clou.

EN 14490:2010 (F)

8.4.4.1.3 Lorsqu'on utilise un système de clouage avec des éléments de renforcement autoforeurs, le coulis peut être mis en place soit simultanément lors du forage et de l'injection, soit par une injection effectuée immédiatement à la fin de la perforation.

8.4.4.1.4 Il convient que la méthode d'injection du coulis utilisée ne conduise pas à des anomalies, comme par exemple des poches d'air, qui réduisent la capacité de résistance et de durabilité du système de clouage prévu.

8.4.4.1.5 Il convient de mettre en place le coulis de façon continue sans interruption jusqu'à ce qu'il soit propre, non dilué, non souillé en tête de forage. Tant que des éléments de forage apparaissent dans le coulis, il convient d'évacuer ce mélange et de le mettre en dépôt de manière contrôlée.

8.4.4.1.6 Il convient de préparer le coulis selon des procédures et dans un malaxeur capable de fournir un produit de consistance homogène, avec les caractéristiques d'ouvrabilité et de résistance requises par la conception. Il convient de mettre en place le coulis immédiatement après son malaxage, sauf si un dispositif permettant d'agiter le mélange est prévu.

8.4.4.1.7 Le dosage pondéral ou volumique peut être utilisé.

8.4.4.2 Injection gravitaire

8.4.4.2.1 Lorsque le coulis est mis en place dans un forage non tubé au moyen d'un tube d'injection, la pression du coulis dans le forage ne peut excéder la pression gravitaire.

8.4.4.2.2 Il convient de mettre en place un coulis gravitaire en utilisant un tube d'injection d'au moins 15 mm de diamètre intérieur, descendu jusqu'à la base du forage, préalablement au début de l'injection.

8.4.4.3 Injection sous pression

8.4.4.3.1 L'injection sous pression du coulis peut améliorer la résistance à l'arrachement d'un clou. La procédure d'injection sous pression la plus efficace est généralement établie à partir de plots d'essais (pressions d'injection et volumes injectés).

8.4.4.3.2 Pour des éléments de renforcement directement mis en place, l'injection sous pression du coulis peut être réalisée en raccordant un tube d'injection à la tête des éléments de renforcement et en injectant le coulis, pendant ou après le fonçage.

8.4.4.3.3 Pour compléter une injection gravitaire réalisée dans un forage tubé ou dans un forage à la tarière creuse, un tube d'injection peut être raccordé au tubage ou à la tête de la tarière creuse, et une pression peut être appliquée sur le coulis dans le forage pendant la remontée du tubage ou de la tarière.

8.4.4.3.4 Pour les éléments de renforcement autoforeurs, le fluide de forage, qui est généralement un coulis de ciment, est introduit dans l'élément de renforcement par une tête tournante montée sur la machine de forage. Il convient d'ajuster la pression et le débit d'injection du coulis pendant le forage, en fonction de sa capacité à imprégner le terrain de l'espace annulaire fragilisé par le procédé de perforation. Il convient que le coulis soit mis en œuvre à débit constant et que ce débit soit réajusté chaque fois qu'un nouvel élément de renforcement est ajouté, avant de poursuivre le forage.

8.4.4.3.5 Certains procédés de clouage réalisés par forage et injection permettent d'installer un tube d'injection pour réaliser, soit une injection globale unitaire, soit des injections répétitives sous haute pression, pour améliorer la résistance à l'arrachement du clou.

8.4.5 Autres méthodes d'installation des clous**8.4.5.1 Généralités**

8.4.5.1.1 Toute autre technique de clouage doit être mise en œuvre selon les exigences de la conception.

8.4.5.1.2 Des essais spécifiques avec des critères de performance doivent être menés afin de vérifier que la méthode garantit les exigences de performance spécifiées par la conception.

EN 14490:2010 (F)**8.5 Réalisation du drainage****8.5.1 Généralités**

8.5.1.1 La maîtrise effective des eaux de ruissellement et des eaux souterraines est essentielle, pendant la construction d'un massif cloué et au cours de sa durée de service. Les dispositifs de drainage doivent donc être de haute qualité, de façon à ce que l'ouvrage soit protégé contre les effets néfastes des infiltrations des eaux de ruissellement ou des eaux souterraines, à la fois pendant sa période de construction et pendant sa durée de service.

8.5.1.2 Lorsque le débit des eaux souterraines ou des eaux de ruissellement est plus important que celui prévu, la conception du drainage doit être revue.

8.5.1.3 Pour maîtriser les effets des eaux de ruissellement, différentes mesures peuvent être prises telles que, la réalisation de tranchées de drainage, de caniveaux, de merlons, de puisards ou la mise en place de membranes étanches. Il convient que ces dispositifs de récupération des eaux de ruissellement soient mis en place avant d'entreprendre les terrassements, ou même, le décapage de la végétation.

8.5.1.4 Les effets des eaux souterraines peuvent être maîtrisés par des dispositifs de drainage profond tels que des drains inclinés, des tranchées de drainage ou par la mise en place d'un matelas drainant derrière le parement, souvent associé avec des barbacanes.

NOTE Les poches d'eau ou les nappes perchées, connues ou recoupées lors des travaux de clouage, sont généralement récupérées au moyen du système de drainage profond.

8.5.1.5 Lorsque des conditions hydrauliques défavorables sont rencontrées, les dispositions nécessaires pour maîtriser les venues d'eau pendant la construction du massif cloué et pour éviter l'érosion des parois terrassées doivent faire l'objet d'un accord avant la poursuite des terrassements.

8.5.1.6 Il convient de canaliser les eaux de ruissellement et les eaux souterraines en provenance des drains, vers des exutoires où elles peuvent être évacuées en toute sécurité et conformément aux règlements relatifs à la protection de l'environnement.

8.5.2 Drainage de surface

8.5.2.1 Les drains de surface utilisés doivent avoir une capacité suffisante pour collecter et évacuer les débits d'orage avec une période de retour équivalente à la durée de service de l'ouvrage en sol cloué.

8.5.2.2 Dans le cas où une membrane étanche est utilisée pour collecter les eaux de ruissellement, il convient de veiller au raccordement et au recouvrement des nappes de la membrane, de façon à prévenir les entrées d'eau entre cette membrane et le terrain. Lorsqu'il y a lieu, il convient d'agrafer les nappes ou de les lester pour qu'elles restent bien en contact avec la surface du terrain et ne se soulèvent pas sous l'effet du vent. Il convient de vérifier régulièrement que cette membrane ne présente pas de dégradations et, si besoin, de la réparer pour la maintenir en bon état de fonctionnement.

8.5.2.3 Il convient que les caniveaux de drainage soient réalisés avec une pente continue jusqu'à leur exutoire, afin de prévenir toute stagnation d'eau. Lorsqu'on collecte des eaux de ruissellement en provenance d'un talus, il convient de bien vérifier que l'eau arrive dans un caniveau, et ne s'infiltre pas dans le terrain sous le caniveau. Lorsque les caniveaux sont directement établis sur la surface du terrain, il convient de bien compacter ce dernier. Il convient que les joints d'exécution soient étanches pour empêcher l'infiltration d'eau et l'érosion du sol sous le caniveau. Il convient de prévoir des dispositions pour éviter des dommages au caniveau dus à des tassements différentiels ou à de la dilatation thermique.

8.5.2.4 Il convient que les tranchées de drainage soient terrassées avec une pente continue jusqu'à leur exutoire afin de prévenir toute stagnation d'eau. Il convient que l'excavation soit réalisée par tronçon de longueur limitée afin de réduire la durée d'ouverture de la tranchée, et si besoin, il convient de l'étayer. Lorsque l'excavation est réalisée en conditions humides, il convient de commencer les terrassements au point bas.

8.5.2.5 Avant de remblayer la tranchée, les parois et le fond peuvent être recouverts d'un géotextile approprié, de façon à empêcher le colmatage à long terme du drain par les fines.

8.5.2.6 Lorsqu'un tube perforé, ou un drain, est à placer au fond de la tranchée, il convient de contrôler le bon état de celui-ci et de vérifier tous les raccords, pour s'assurer que le drain fonctionnera en continu sur toute sa longueur.

EN 14490:2010 (F)

8.5.2.7 Une fois le drain mis en place, il convient de remblayer la tranchée avec un matériau granulaire filtrant conforme aux exigences de la conception quant à sa granulométrie et sa durabilité. Des échantillons de ce remblai doivent faire l'objet d'essais afin de s'assurer de leur conformité avec les spécifications de la conception.

8.5.3 Drainage de parement

8.5.3.1 La couche filtrante située derrière le parement est habituellement constituée de bandes de filtre drainant, déroulées de haut en bas ou selon la diagonale du parement.

8.5.3.2 Selon les exigences de la conception, le filtre drainant ne doit pas altérer la qualité du parement en béton ni le frottement sol/parement.

8.5.3.3 Lorsqu'il y a un risque d'accumulation d'eau derrière le parement, il convient de disposer des barbacanes avec une pente permettant le libre écoulement des eaux. Il convient que ces barbacanes aient un diamètre intérieur minimal pour permettre leur entretien et leur inspection.

NOTE Quand ces barbacanes sont placées en contact direct avec le sol, il convient de les recouvrir ou même de les envelopper, avec un géotextile filtrant ou avec un produit équivalent. Lorsqu'elles sont posées avant la réalisation d'un parement en béton projeté, il convient de les fixer solidement dans leur position, et de les protéger pour éviter de les obstruer ou de les endommager lors de la projection du béton. Lorsque les barbacanes sont placées dans des réservations traversant un parement, il convient que l'espace annulaire entre les barbacanes et le parement soit rendu étanche, de sorte que les eaux de percolation passent bien dans les barbacanes.

8.5.3.4 Le raccordement du système de drainage du parement avec les barbacanes doit être inspecté et testé avant la réalisation du parement.

8.5.4 Drainage profond

8.5.4.1 Lorsqu'un drainage profond est réalisé, il convient de donner aux drains une pente d'au moins 5 % en direction du parement de l'ouvrage.

8.5.4.2 L'emplacement, le diamètre, la longueur et l'inclinaison doivent être spécifiés dans la conception.

8.5.4.3 La compatibilité entre la granulométrie des terrains et les caractéristiques filtrantes du système de drain employé doit être vérifiée à partir des critères de filtre définis par la conception.

8.5.4.4 La méthode d'installation des drains dans le massif doit permettre de les mettre en place sans les endommager et sans que leur surface de drainage ne soit polluée par du sol réduisant leur efficacité. Les raccords entre les tronçons de drains doivent être solidement fixés.

8.5.4.5 À l'endroit où les drains recoupent le parement ou la paroi à clouer, un dispositif d'étanchéité doit être prévu entre le filtre et le terrain avoisinant de sorte que l'eau sorte bien par les drains, sans éroder le sol dans cette zone. Ce cachetage peut être réalisé au mortier, avec du béton ou avec tout autre produit adéquat.

8.5.4.6 Les observations d'arrivées d'eau, de fines de sol ou autres par les drains doivent être notées et, si nécessaire, être analysées.

8.5.5 Systèmes de rabattement de nappe

8.5.5.1 Si le clouage des sols est exécuté sous le niveau d'une nappe souterraine ou lorsque des venues d'eau imprévues provoquent des difficultés d'exécution, un dispositif de rabattement de nappe doit être utilisé.

8.6 Réalisation du parement et raccordement à la tête des clous

8.6.1 Parement rigide

8.6.1.1 Une couche simple de béton projeté peut être réalisée sans treillis soudé lorsqu'elle est simplement utilisée comme protection contre l'érosion.

EN 14490:2010 (F)

8.6.1.2 Si un béton projeté armé d'un treillis soudé est utilisé, le treillis en acier ne doit pas générer de vides lors de la réalisation du béton projeté. Les reprises de bétonnage, les essais sur le béton projeté, la protection des barbacanes pendant la réalisation du béton projeté doivent être étudiés. Lorsque des problèmes d'instabilité locale ou de l'ensemble du massif surgissent, les solutions suivantes sont possibles :

- a) excavation par plots alternés ;
- b) mise en place des clous avant la réalisation du terrassement ;
- c) mise en œuvre d'une fine couche de béton projeté immédiatement après les terrassements (pour éviter les glissements superficiels et les effets de l'altération des terrains).

8.6.1.3 La réalisation d'un parement en béton coulé en place est possible, conformément aux exigences de la conception ou aux exigences propres au système adopté. Le béton doit être conforme à l'EN 13670.

8.6.1.4 Des éléments en béton préfabriqués peuvent être utilisés en renfort d'un parement en béton projeté aux endroits particulièrement sollicités par le transfert de charge (têtes des clous, par exemple).

8.6.1.5 Il convient que les exigences de durabilité pour les dispositifs de raccordement du parement et des clous au terrain soient les mêmes que celles du reste du système de clouage.

8.6.2 Parement flexible

8.6.2.1 Les treillis, les géotextiles adaptés ou les grilles métalliques doivent être mis en place selon les recommandations du fabricant et être conformes aux exigences de la conception.

8.6.2.2 Le raccordement du parement à la surface du terrain doit être réalisé conformément aux exigences du système de parement. Le raccordement entre les éléments de renforcement et un parement flexible doit se faire au moyen de systèmes appropriés conformément aux exigences de la conception.

8.6.2.3 Il convient que les exigences de durabilité pour les dispositifs de raccordement du parement et des clous au terrain soient les mêmes que celles du reste du système de clouage.

8.6.3 Parement souple

8.6.3.1 Il convient qu'un parement souple en treillis ou grillage métallique léger revêtu d'une nappe de géotextile soit posé et fixé selon les exigences propres au système utilisé.

NOTE Lorsque cela est spécifié, un treillis fin ou une fine géogrille peut être posé sous le parement souple pour assurer la protection contre l'érosion. Ce peut être un simple géotextile bio-dégradable destiné à protéger temporairement contre l'érosion superficielle et est ensuite remplacé par une couverture végétale.

8.6.3.2 Il convient que les parements géosynthétiques soient posés selon les exigences propres au système utilisé.

8.6.3.3 Ensemencement des talus. Les conditions climatiques et les conditions locales, telles que l'emplacement du chantier, la pente, l'altitude, la quantité et la fréquence des précipitations, sont des paramètres qui peuvent influencer sur le choix du type de semence à retenir et sur la méthode d'ensemencement (par exemple : ensemencement hydraulique, géotextile ensemencé).

8.6.3.4 La nécessité d'une couverture particulière et d'une irrigation artificielle doit être prise en compte à la fois pendant la construction et la durée de service de l'ouvrage.

8.6.3.5 Les dispositifs de raccordement doivent être conformes aux spécifications de la conception.

8.6.3.6 Pour assurer un bon raccordement entre le parement, les clous et le terrain, il convient d'utiliser des systèmes appropriés de plaques d'appui des clous, de plaques à griffes ou tout autre système de fixation.

8.6.3.7 Au-delà de la zone renforcée par des clous, il peut être nécessaire d'appliquer une pré-contrainte aux dispositifs de raccordement du parement par des ancrages appropriés.

8.6.3.8 Il convient que les exigences de durabilité pour les dispositifs de raccordement du parement et des clous au terrain soient les mêmes que celles du reste du système de clouage.

8.6.4 Conservation de la surface existante

8.6.4.1 Les ouvrages en sol cloué peuvent être réalisés sans aucune modification de la surface du terrain.

8.6.4.2 La végétation et les structures existantes doivent être conservés.

8.6.4.3 Si des arbres doivent être éliminés, il convient de conserver la souche.

9 Surveillance, essais et contrôle

9.1 Généralités

9.1.1 La surveillance, le contrôle et les essais doivent être effectués par du personnel qualifié et expérimenté et être conformes à la norme EN 1997-1, aux spécifications de la conception et aux autres spécifications exigées.

9.1.2 Tout écart par rapport aux situations et aux conditions de terrain attendues ou tout cas de non-conformité doit être signalé sans délai, comme indiqué à l'Article 4.

9.1.3 Toute information nécessaire à l'exécution des travaux doit être consignée dans un compte rendu (se reporter à l'Article 10).

9.1.4 Une évaluation des résultats des essais de clou doit être faite avant le démarrage ou la poursuite de la mise en place des clous.

9.2 Surveillance

9.2.1 Le niveau de surveillance (type, importance, précision, contrôle et essai) doit tenir compte des dispositions de cet article et doit être clairement précisé et défini avant le début des travaux.

9.2.2 Les documents relatifs aux travaux de construction doivent être établis conformément à l'article 10.

9.2.3 Les vérifications particulières du contrôle de qualité (réalisées selon les spécifications techniques) peuvent comprendre :

- a) l'inspection visuelle des matériaux terrassés pour confirmer qu'ils sont conformes aux conditions de terrain prises en compte par la conception ;
- b) l'examen visuel des déblais de forage afin d'établir la conformité avec les conditions de sol prise en compte dans la conception ;
- c) l'estimation de la conformité des terrains (nature, épaisseur des couches, zones fracturées, etc.) et des conditions hydro-géologiques (arrivées d'eau, suintements ou résurgences d'eau, etc.) avec les données géotechniques retenues par la conception ;
- d) le contrôle de la durée des opérations ;
- e) la vérification du respect des hauteurs maximales de terrassement ;
- f) la vérification qu'un délai minimum est respecté entre les phases successives de terrassement, de façon à ce que le coulis de scellement des clous atteigne une résistance suffisante ;
- g) le contrôle de l'orientation, de l'inclinaison, de l'espacement et de la longueur des clous ;
- h) la vérification, s'il y a lieu, de la bonne tenue et de la propreté du forage ;
- i) l'inspection de l'intégrité du système de protection contre la corrosion ;
- j) le contrôle, s'il y a lieu, de la technique d'injection, de la mise en place des éléments de renforcement, de la pose du treillis et de la mise en place du béton projeté ou du géotextile, de l'ensemencement ;
- k) si nécessaire, le contrôle de(s) système(s) de drainage ; il est essentiel que la continuité hydraulique des drains verticaux soit assurée lorsqu'ils sont posés par tronçons successifs ;
- l) le contrôle du positionnement des plaques d'appui pour éviter des écarts de positionnement inacceptables rattrapés avec des rondelles coniques sous les écrous ;
- m) le contrôle des raccordements entre les éléments de renforcement et le parement ;
- n) la vérification de la conformité des matériaux livrés sur le site avec les exigences de la conception ;
- o) le contrôle de l'état des centreurs et des écarteurs ;
- p) le contrôle de la qualité du coulis.

EN 14490:2010 (F)**9.3 Essais**

9.3.1 Les essais pendant l'exécution des travaux peuvent être classés en trois catégories :

- a) les essais de chargement de clou, pour vérifier leur résistance ultime à l'arrachement et leur comportement sous charge constante ;
- b) les essais de résistance des matériaux, pour vérifier la valeur de la résistance ultime et de fluage des clous ;
- c) les essais de stabilité de la paroi à clouer, afin d'évaluer la durée de cette stabilité après excavation.

9.3.2 Les essais de clou

9.3.2.1 Il convient de définir la fréquence et les procédures des essais de clou en considérant les conséquences d'une rupture, comme défini dans les normes EN 1990 et EN 1997.

9.3.2.2 Le Tableau 1 décrit les principaux types d'essais de clou, leurs objectifs, le contexte dans lequel il est nécessaire de les réaliser, ainsi que les mesures à prendre en cas de résultat non-conforme. L'Annexe C donne des indications sur les procédures d'essais, sur les critères d'agrément et sur les appareillages à utiliser lors des essais de clou. Le Tableau 2 indique les fréquences préconisées pour les différents essais de clou en fonction de la catégorie géotechnique de l'ouvrage.

9.3.2.3 Les essais sur des clous sacrificiels sont préférables pour valider la résistance des clous. Le clou peut être désolidarisé du terrain sur une certaine longueur comme cela est indiqué à l'Annexe C.

9.3.2.4 Lorsque des essais de chargement sont réalisés sur des clous de l'ouvrage, il convient de veiller à ne pas diminuer leur capacité et des clous supplémentaires peuvent être mis en œuvre pour maintenir leur résistance et leur stabilité à long terme.

9.3.2.5 Les emplacements et les procédures des essais de clous doivent être approuvés.

9.3.2.6 Lorsque cela est possible, il convient de répartir uniformément les essais de clou sur l'ensemble de la zone des travaux de clouage, afin d'estimer la performance des clous pour l'ensemble du site des travaux.

NOTE La limite entre zone active et passive est le résultat d'un calcul pour un équilibre donné et n'est pas d'une grande aide pour l'exécution. La solution lors des essais, pour s'assurer que la partie scellée proche de la surface n'entraîne pas une sur-estimation du frottement, est de la désolidariser du terrain en tête du clou sur une certaine longueur par rapport au massif de réaction. La longueur minimum de cette désolidarisation est de 1 m.

Tableau 1 — Définition des essais de clou

	Types d'essai de clou	
	Essai de clou sacrificiel	Essai de clou de l'ouvrage
But de l'essai	Vérifier la résistance limite des clous au frottement de terrain retenue par la conception 1) le frottement dans la zone passive 2) le frottement dans la zone active 3) le frottement sur toute la longueur du clou	Démontrer le bon comportement des clous sous une charge convenue par la conception. L'essai est effectué sur la longueur totale du clou.
Moment de l'essai	Avant, pendant ou après les travaux de clouage	Pendant ou à l'issue des travaux de clouage
Type de clou utilisé	Sacrificiel	De l'ouvrage
Actions à entreprendre en cas de résultats non conformes	Revoir la méthode d'installation des clous et/ou envisager d'autres longueurs et disposition de clou	Consulter le projeteur pour définir les actions à entreprendre et avoir son accord pour poursuivre les travaux
Commentaires	Si nécessaire pour chaque couche de terrain différente	Durant les essais des clous de l'ouvrage, faire attention à ne pas sur-exposer le clou au frottement du coulis ou à endommager la protection anti-corrosion. Lorsqu'un parement structural est utilisé, le clou d'essai doit être décollé dans la zone d'influence du parement.

Tableau 2 — Fréquences préconisées pour les essais de clou, en fonction de leur densité et de la catégorie géotechnique de l'ouvrage

Type d'essai	Fréquence minimum préconisée pour les essais de clou	
	Essai de clous sacrificiel	Essai de clou de l'ouvrage
Catégorie géotechnique 1 : risque négligeable pour les personnes et les biens	Optionnel	Optionnel
Catégorie géotechnique 2 : pas de risque anormal pour les personnes et les biens	En l'absence d'expérience comparable sur le type de sol : trois clous sacrificiels au minimum avec au moins un clou sacrificiel par type de sol. En cas d'expérience existante, les clous sacrificiels ne sont pas nécessaires.	2 %, minimum trois essais
Catégorie géotechnique 3 : tous les ouvrages ne relevant pas des catégories 1 ou 2	Minimum cinq clous sacrificiels avec, au moins, deux clous sacrificiels par type de sol.	Pour un nombre de clous : 3 %, minimum cinq essais
NOTE 1 Catégories Géotechniques de l'ouvrage telles que définies dans la norme EN 1997		
NOTE 2 Les clous d'essai doivent être uniformément répartis dans l'ouvrage.		
NOTE 3 La fréquence des essais est une suggestion minimum.		
NOTE 4 Lorsque des essais de clous sacrificiels sont menés, le nombre d'essais de clous de l'ouvrage peuvent être réduit au prorata.		
NOTE 5 Pour un espacement inférieur à 0,8m, un essai de groupe de quatre clous est recommandé.		

9.3.3 Essais sur les matériaux

9.3.3.1 Ces articles s'appliquent aux essais sur les produits fabriqués pendant l'exécution du clouage, comme le coulis de scellement, le béton projeté ou le béton coulé en place.

9.3.3.2 Le coulis de scellement doit être prélevé et testé conformément aux exigences définies dans la norme EN 196-1, pour vérifier sa conformité avec les résistances caractéristiques et autres propriétés spécifiées par la conception. Le coulis présent dans l'espace annulaire entre une gaine annelée et l'armature devrait être contrôlé en conformité avec l'EN 445 et en considérant l'EN 446 et l'EN 447.

9.3.3.3 Il convient que le contrôle du béton projeté comporte des essais sur les matériaux qui le composent (granulométrie, teneur en eau, etc.), et des essais sur des prélèvements effectués sur les panneaux d'essai préliminaires et sur l'ouvrage terminé. Lorsque ces prélèvements nécessitent un carottage du béton projeté de l'ouvrage terminé, la remise en état de ce dernier doit si nécessaire, être réalisée. Enfin, les méthodes d'essai doivent être conformes à l'EN 14488 (en totalité).

9.3.3.4 Le béton doit être prélevé et testé conformément aux prescriptions de l'EN 206-1.

9.3.3.5 Les prélèvements et les essais des autres matériaux doivent être conformes aux prescriptions de l'Article 6.

9.3.4 Essais de stabilité de la paroi à clouer

9.3.4.1 Lorsque l'exécution du clouage implique des terrassements et qu'il y a une incertitude quant à la stabilité du terrain pour la pente projetée, il convient alors de réaliser des essais pour estimer la stabilité de la paroi à clouer. Il est important de noter que de tels essais ne sont pas très précis et ne fournissent qu'une indication sur la stabilité de la paroi à clouer.

9.3.4.2 Cet essai de stabilité implique le terrassement d'une paroi, avec un fruit et une hauteur correspondant respectivement à l'inclinaison et à la hauteur du terrassement projetée. Il convient que la largeur du terrassement soit au moins égale à deux fois la hauteur de terrassement projetée et que la durée d'observation soit représentative du temps nécessaire à la mise en place des rangées de clous.

EN 14490:2010 (F)

9.3.4.3 Quand cela est possible, il convient de réaliser les essais de terrassement avant l'exécution des travaux. Lorsque la mise en place des clous implique des hauteurs de terrassement importantes dans des couches de terrain variées, il convient alors de réaliser des essais de stabilité supplémentaires, au fur et à mesure des terrassements ou lorsque les conditions de terrain rencontrées changent.

9.4 Contrôle en cours d'exécution

9.4.1 Les spécifications concernant le type, l'importance et la précision des contrôles et des essais à réaliser doivent être conformes à l'article 4 de l'EN 1997-1:2004.

NOTE Lorsque la méthode observationnelle est utilisée, une attention particulière sera accordée à l'article 2.7 de l'EN 1997-1:2004.

9.4.2 Le contenu des comptes rendus de contrôle à produire, pendant et après l'exécution des travaux, est indiqué à l'Article 10.

9.4.3 Il est recommandé de faire le contrôle des déplacements horizontaux et verticaux du sommet du massif cloué et du parement.

NOTE Un programme de contrôle adapté peut varier de l'observation visuelle à une instrumentation complète selon la catégorie géotechnique de l'ouvrage ou les spécifications du projet.

9.4.4 Lorsque les déplacements approchent ou dépassent les seuils fixés, les mesures de stabilisation prévues à la conception doivent être améliorées et les procédures d'exécution doivent être revues.

NOTE La réduction des hauteurs et des longueurs de banquettes, des délais de pose du parement, et la maîtrise des nappes souterraines, sont des modifications de procédure d'exécution qui peuvent permettre la poursuite des travaux.

9.4.5 Un examen visuel des signes d'arrivée d'eau sur la surface excavée doit être réalisé. Lorsque des venues d'eau sont décelées, l'adéquation du système de drainage pour ces venues d'eau doit être confirmée.

9.4.6 Lorsque l'ouvrage en sol cloué est sensible aux modifications des niveaux des nappes souterraines, il convient alors de mettre en place des piézomètres et de les suivre.

9.5 Mesures visant à faciliter le suivi de l'ouvrage à long terme

9.5.1 Il convient d'examiner la nécessité d'un contrôle à long terme de l'ouvrage en sol cloué en fonction de sa Catégorie Géotechnique.

9.5.2 Lorsque le suivi à long terme de l'ouvrage est reconnu nécessaire, alors, les objectifs, les dispositions à prendre, l'instrumentation nécessaire et la fréquence des contrôles doivent être clairement spécifiés. Si besoin, les valeurs limites et les mesures à prendre doivent aussi être clairement spécifiées.

9.5.3 Le suivi à long terme de l'ouvrage en sol cloué peut, de manière non exhaustive, porter sur :

- a) les mouvements de l'ouvrage en sol cloué ou des ouvrages et talus contigus ;
- b) les essais d'arrachement de clous sacrificiels ou de clous de l'ouvrage ;
- c) l'efficacité des systèmes de drainage ;
- d) les modifications des nappes souterraines et de l'hydrogéologie ;
- e) la dégradation des clous et des systèmes de parement ;
- f) les efforts dans les clous ;
- g) des indications sur les suivis à long terme sont données à l'Annexe A.6.

9.5.4 Lorsqu'on étudie le suivi à long-terme d'un ouvrage en sol cloué, la sécurité des personnes, avec notamment l'aménagement d'un accès sans danger, doit être considérée.

9.5.5 Lorsque le projet d'ouvrage en sol cloué fait appel à la méthode dite «observationnelle», les exigences de contrôle données en 9.4 et 9.5 doivent être considérées.

10 Comptes rendus

10.1 Des comptes rendus d'exécution doivent être rédigés conformément à l'article 4 de l'EN 1997-1:2004.

10.2 Un plan d'exécution et d'installation des clous contenant les prescriptions techniques particulières au système de clou utilisé doit être établi et être disponible sur chantier.

10.3 Le plan d'installation des clous doit, au minimum, contenir les informations suivantes :

- a) type de clou, avec sa désignation ;
- b) nombre de clous ;
- c) emplacement, orientation et inclinaison de chaque clou avec les tolérances d'implantation, par rapport à un point de référence agréé ;
- d) effort que doit reprendre le clou ;
- e) technique de mise en place ;
- f) obstacles identifiés, ainsi que toutes les autres contraintes pour l'exécution des clous ;
- g) méthode de protection contre la corrosion ;
- h) essais de clous réalisés ;
- i) planning des travaux.

10.4 Un compte rendu d'exécution doit être conservé. Ce document doit mentionner tous les points particuliers rencontrés au cours de la construction de l'ouvrage.

10.5 Il convient d'inclure dans le compte rendu d'exécution, lorsque c'est approprié, les informations suivantes pour chaque clou installé :

- a) projet/élément ;
- b) désignation du clou ;
- c) date de mise en place ;
- d) type de clou, diamètre, longueur, orientation ;
- e) méthode d'installation ;
- f) méthode de forage ;
- g) forage tubé/non tubé et diamètre de forage ;
- h) méthode de nettoyage du forage ;
- i) conditions de terrain (brève description) ;
- j) conditions hydrogéologiques ;
- k) consommation de coulis ;
- l) observations (climat, temps et température) ;
- m) mesures particulières ;
- n) résultats d'essai (lorsque réalisé) et actions prises (s'il y a lieu).

10.6 Des plans de récolement de l'ouvrage en sol cloué doivent être établis une fois celui-ci terminé et ils doivent être conservés avec les comptes rendus d'exécution. Tous les certificats d'agrément des matériaux mis en œuvre lors de la réalisation des clous, émis par les organismes habilités, doivent également être conservés avec les comptes rendus d'exécution.

EN 14490:2010 (F)

11 Exigences particulières

11.1 Généralités

Les ouvrages en sol cloué doivent être réalisés en respectant les normes nationales pertinentes, ainsi que les prescriptions ou autres obligations réglementaires, concernant :

- a) la sécurité du chantier ;
- b) la sécurité des méthodes d'exécution ;
- c) la sécurité des installations principales et auxiliaires, du matériel et des outillages.

11.2 Bruit

11.2.1 Des précautions doivent être prises pour s'assurer que les opérateurs ne sont pas exposés à des niveaux de bruit excédant les limites prescrites par les règlements nationaux ou internationaux.

11.2.2 De surcroît, des précautions doivent également être prises pour ne pas provoquer de danger ou de nuisance anormale aux personnes habitant, travaillant ou passant près du chantier.

11.2.3 Ainsi, il convient de prévoir des dispositifs visant à réduire les bruits à leur source, et/ou à en atténuer la portée vis à vis de l'extérieur.

11.2.4 Une signalisation par panneaux peut s'avérer nécessaire, aux endroits où un bruit imprévu représente une source de danger pour les automobilistes et autres usagers.

11.3 Protection de l'environnement

Des mesures appropriées doivent être arrêtées afin de limiter ou d'éviter des effets préjudiciables à l'environnement. Ainsi, les risques d'impact énumérés ci-après doivent être pris en compte :

- a) déplacement excessif de l'ouvrage lui-même, ou des terrains et des ouvrages contigus ;
- b) pollution des eaux souterraines ou de surface ;
- c) modifications inacceptables du régime des nappes souterraines ;
- d) pollution de l'air ;
- e) abattage d'arbres et dégâts ;
- f) impact visuel des travaux finis.

Annexe A

(informative)

Considérations pratiques concernant le clouage

A.1 Introduction

L'objectif du clouage des sols est l'amélioration de la stabilité d'un terrain lorsque les conditions de sa stabilité présentent des risques. La stabilité est obtenue par l'insertion de clous dans le terrain, constitués de barres de renforcement. Le clouage est généralement utilisé en liaison avec l'excavation des pentes naturelles et occasionnellement lors de travaux de tunnels, comme illustré sur les Figures A.1 et A.2, et pour l'amélioration de la stabilité des pentes naturelles. Les clous mobilisent des forces de frottement sur la totalité de leur longueur, ce qui contribue à améliorer les conditions de stabilité. La quantité de clous et les longueurs à mettre en place doivent être adaptées aux conditions de stabilité rencontrées pendant les activités en cours. Une protection contre la corrosion, dans le cas de problèmes de stabilité à long terme, est nécessaire dans des conditions de terrain agressif.

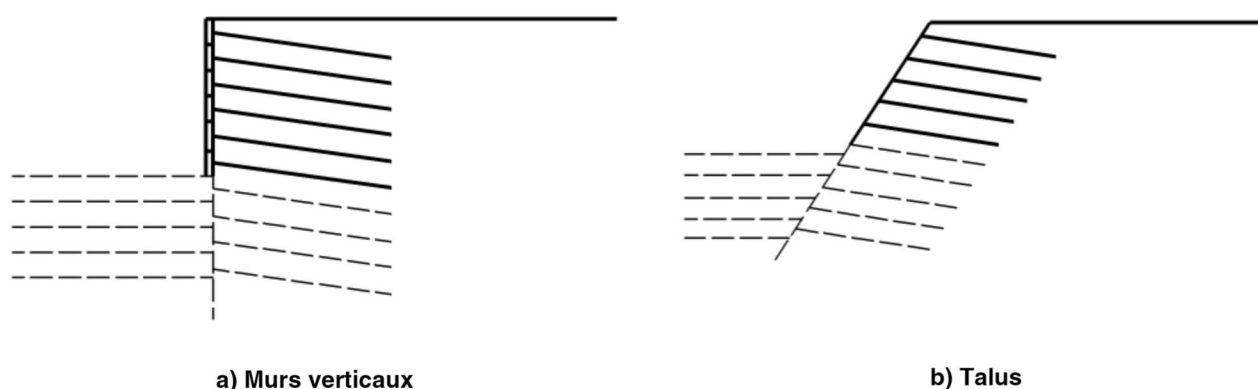
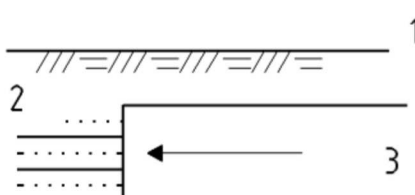


Figure A.1 — Mise en sécurité d'excavations par l'utilisation du clouage



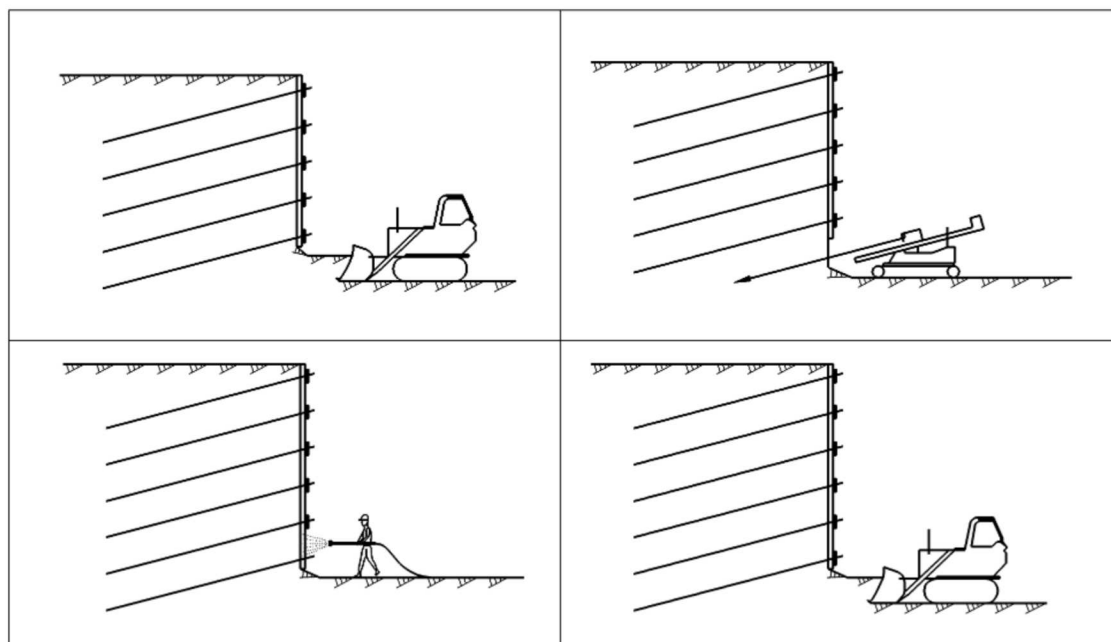
Légende

- 1 Terrain de surface
- 2 Clous
- 3 Sens de progression du tunnel

Figure A.2 — Mise en sécurité de travaux de tunnel par l'utilisation du clouage

EN 14490:2010 (F)

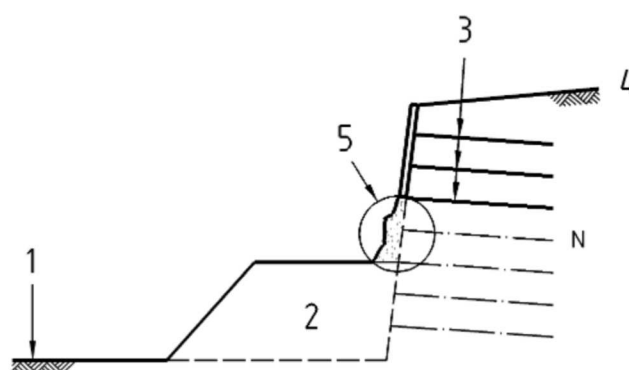
Dans le cas d'excavation, la séquence «excavation-mise en place des clous» doit être adaptée pour ne pas compromettre les conditions de stabilité du terrain. Des méthodes classiques d'excavation combinées à des opérations de clouage sont montrées sur les Figures A.3 et A.4.



Légende

- 1 Excavation
- 2 Mise en place des clous
- 3 Parement en béton projeté (ou panneaux préfabriqués)
- 4 Excavation suivante

Figure A.3 — Séquences classiques d'excavation et de mise en œuvre



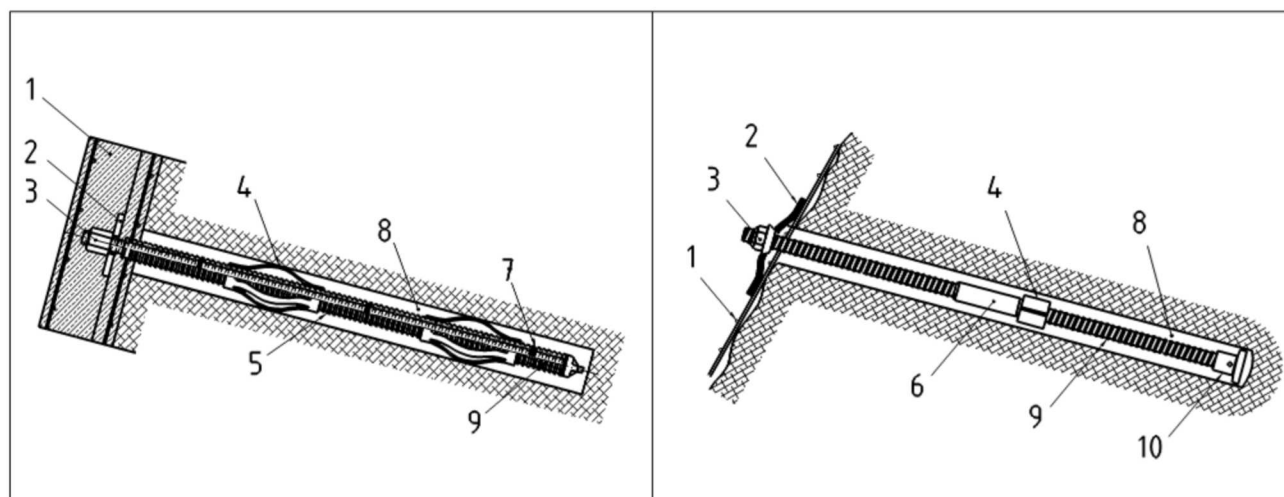
Légende

- 1 Terrassement général jusqu'au fond de fouille projeté
- 2 Risberme
- 3 Clous mis en place
- 4 Terrain existant
- 5 Terrassement local nécessaire à la finition de la paroi à clouer dans les tolérances agréées, avant la mise en place de la rangée de clous «N»
- N Rangée «N»

Figure A.4 — Terrassement général avec une risberme et préparation de la paroi pour la rangée «N» des clous

A.2 Exemple de systèmes de clou

Un système de clou comporte des barres de renforcement, habituellement des barres en acier, installées et scellées au terrain à la profondeur requise compte tenu des conditions de stabilité, mais aussi une plaque d'appui et un système de parement, pour assurer la stabilité entre les clous et pour éviter les problèmes d'érosion du terrain. Il existe un grand nombre de systèmes de clouage de sol différents. Des exemples classiques de système de clou sont montrés en Figure A.5.



a) Pré-forage et scellement

b) Autoforage

Légende

- 1 Parement
- 2 Plaque d'appui
- 3 Écrou de blocage
- 4 Écarteur externe
- 5 Gaine
- 6 Manchon de raccordement
- 7 Écarteur interne
- 8 Coulis de scellement
- 9 Barre de renforcement
- 10 Outil de forage

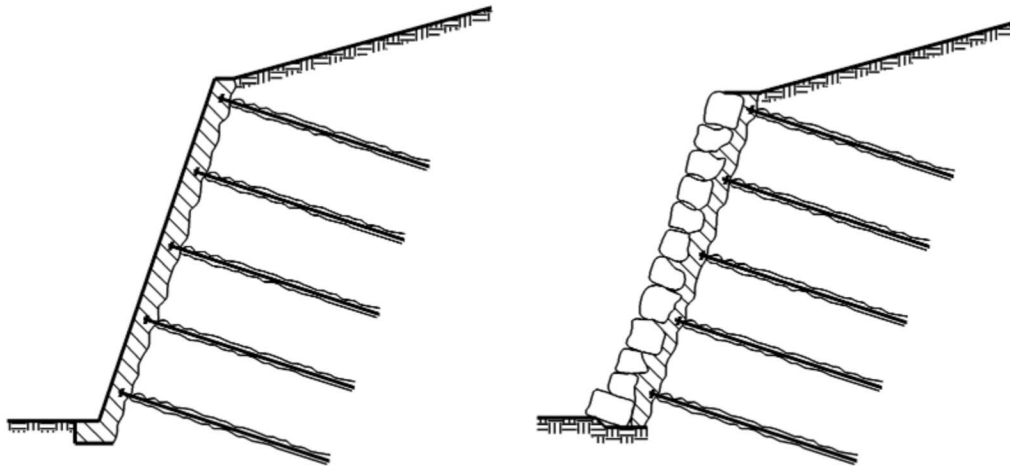
Figure A.5 — Composants classiques d'un système de clouage de sol forés et scellés au terrain par un coulis, avec un parement rigide ou flexible

NOTE d'autres systèmes de clouage de sol peuvent ne pas utiliser tous les composants coulis/gaine/manchons/parement/écarteurs.

EN 14490:2010 (F)

A.3 Exemples de systèmes de parement utilisés dans un ouvrage en sol cloué**A.3.1 Parement rigide**

L'ensemble du système clou-parement a comme fonction de soutenir les terrains entre les clous et il doit donc être dimensionné pour reprendre les efforts déstabilisants maximum prévus. Des exemples de parements rigides sont montrés sur les Figures A.6 et A.7.



**Figure A.6 — Parements rigides en béton
(soit projeté, ou coulé en place, ou préfabriqué)**

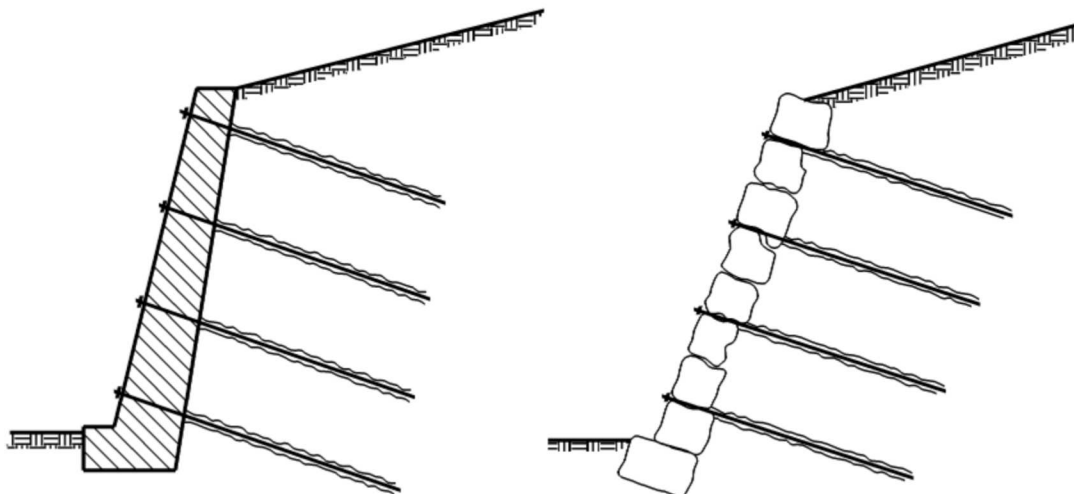
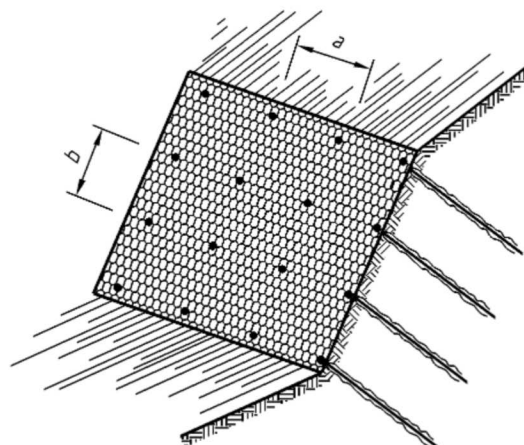


Figure A.7 — Renforcement d'ouvrages de soutènement existants

A.3.2 Parement flexible

Les parements flexibles sont conçus pour soutenir les surfaces de pentes de terrain situées entre les plaques d'appui, et comme protection contre l'érosion. Le choix du type de parement flexible dépend de la pente du talus, de l'angle de frottement interne du sol, de la hauteur du talus et des efforts de chargement prévisibles. Généralement les parements flexibles incluent des grillages métalliques et des géotextiles.



Légende

- a Espacement des clous
- b Espacement des clous

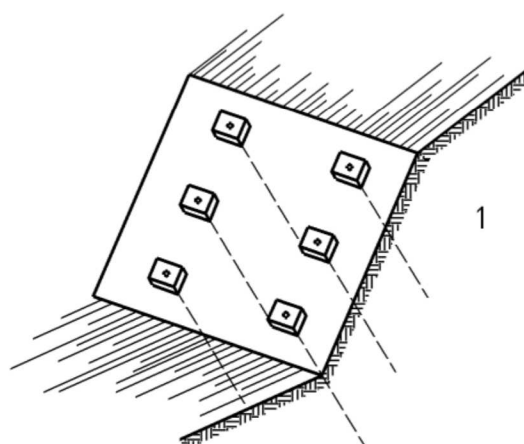
Figure A.8 — Treillis soudé

A.3.3 Parement souple

La fonction première de ce type de parement est d'empêcher l'érosion et de protéger la surface du terrain contre le ravinement. Dans bon nombre de cas, ce type de parement n'est là que pour renforcer, de manière permanente ou même temporaire, la couche végétale. Dans quelques cas, les clous ne servent qu'à fixer le parement et n'ont pas de fonction particulière de stabilisation de la pente.

A.3.4 Sans parement

Clouage de surfaces de glissement inclinées en équilibre limite (par exemple bancs rocheux avec une résistance au cisaillement diminuée) cependant avec une surface stable.



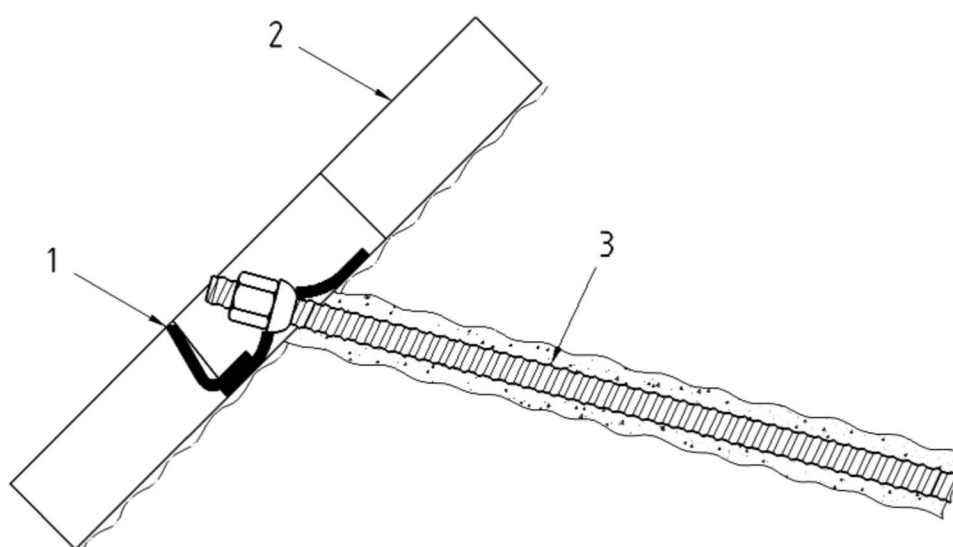
Légende

- 1 Tête de clou noyée et cachetée avec du mortier

Figure A.9 — Avec ou sans plaques d'appui en tête de clou

EN 14490:2010 (F)

A.3.5 Exemples de têtes de clou et de raccordement avec le parement

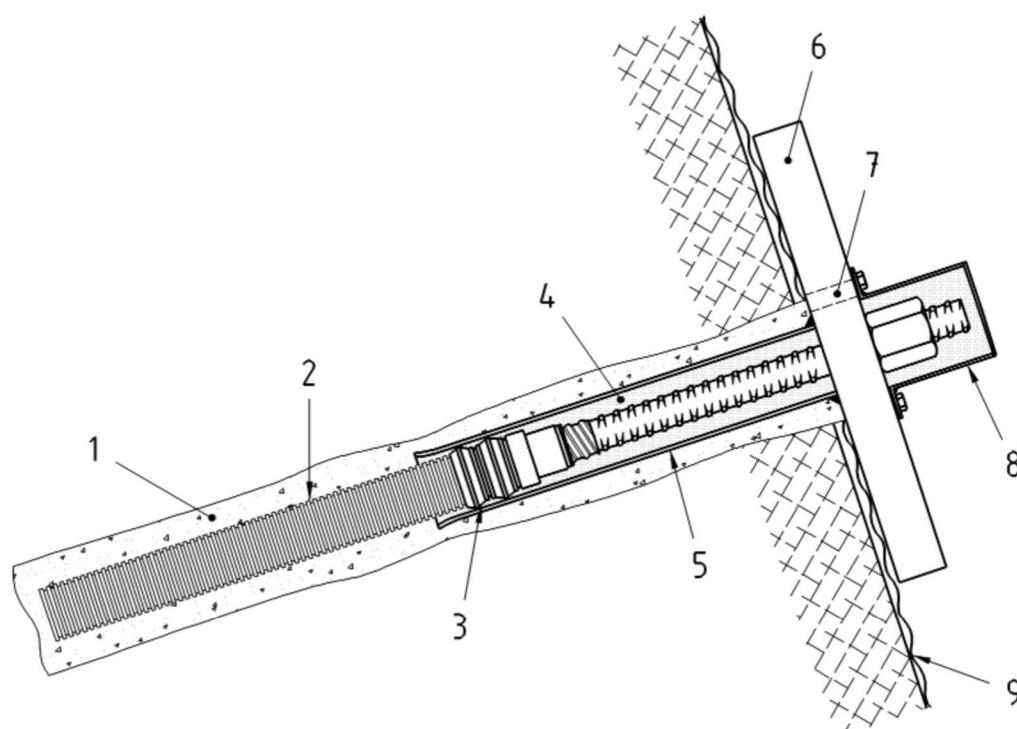


Légende

- 1 Plaque de fixation du parement cellulaire
- 2 Parement cellulaire ¹⁾ (geoweb®) rempli de terre végétale ensemencée
- 3 Barre creuse en acier, clou

Figure A.10 — Exemple de plaques de fixation retenant un parement en géogrille avec éléments cellulaires additionnels pour la terre végétale

1) Geoweb® ou Krismer 3D® sont des exemples de produits adéquats disponibles commercialement. Cette information est donnée par commodité aux utilisateurs de cette norme et ne constitue pas une approbation du CEN de ces produits.



Légende

- 1 Forage nettoyé sur 1m avant de le couvrir en tête
- 2 Gaine plastique annelée
- 3 Joint d'étanchéité
- 4 Produit anti-corrosion
- 5 Tube d'acier
- 6 Plaque d'appui
- 7 Event pour le coulis de scellement
- 8 Capot de protection
- 9 Parement géogrid

Figure A.11 — Exemple de protection contre la corrosion utilisant une gaine plastique et détail de la tête de clou dans un environnement agressif

A.4 Exemples de systèmes de drainage utilisés dans un ouvrage en sol cloué

A.4.1 Remarques générales

L'eau est un élément néfaste à la stabilité des talus, et leur surface doit en être protégée autant que possible. De cette manière, on peut éviter une érosion localisée ou généralisée de la surface du talus et des pressions hydrauliques élevées derrière les parements (ce qui est très important dans le cas d'un revêtement général ou dans le cas d'une couche végétale).

Trois mesures essentielles doivent être distinguées :

- a) le captage des arrivées importantes d'eau de ruissellement ;
- b) le drainage de surface ;
- c) le drainage profond.

EN 14490:2010 (F)

A.4.2 Captage des eaux de ruissellement

Les Figures A.13 et A.14 montrent des exemples de dispositif de drainage au-dessus du massif cloué.

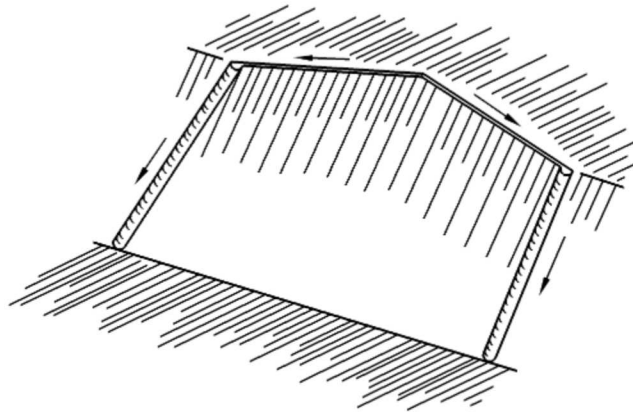
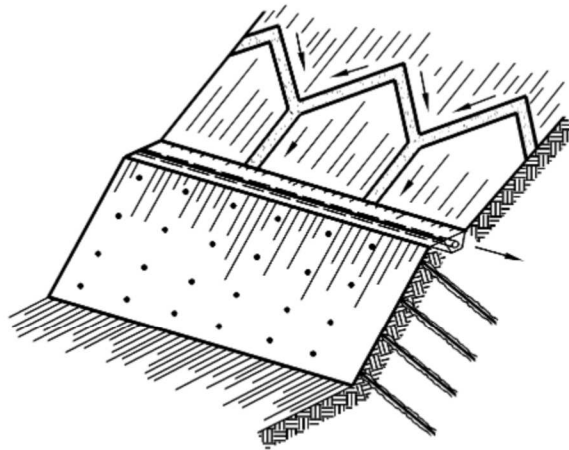


Figure A.12 — Tranchées de drainage au-dessus du massif cloué, dirigeant l'eau sur les côtés de l'ouvrage



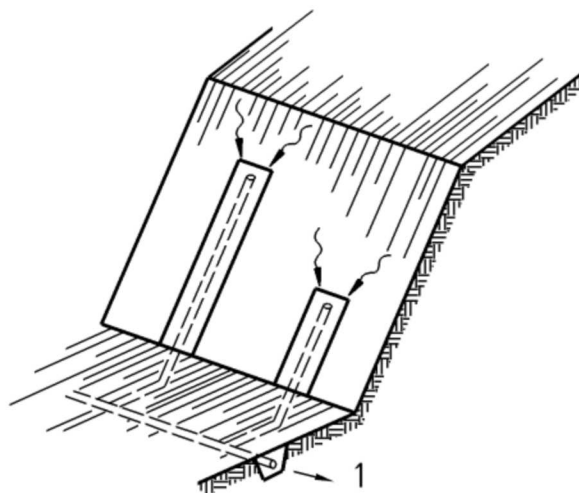
Légende

- 1 Par exemple, des drains en Y

Figure A.13 — Drainage superficiel réalisé au-dessus du massif cloué
 (par exemple, dans le cas d'une couche aquifère)

A.4.3 Drainage de surface

Systèmes de drainage normalement réservés aux parements flexibles et souples avec couches végétales, mais pouvant aussi être utilisés derrière des parements rigides (béton projeté).



Légende

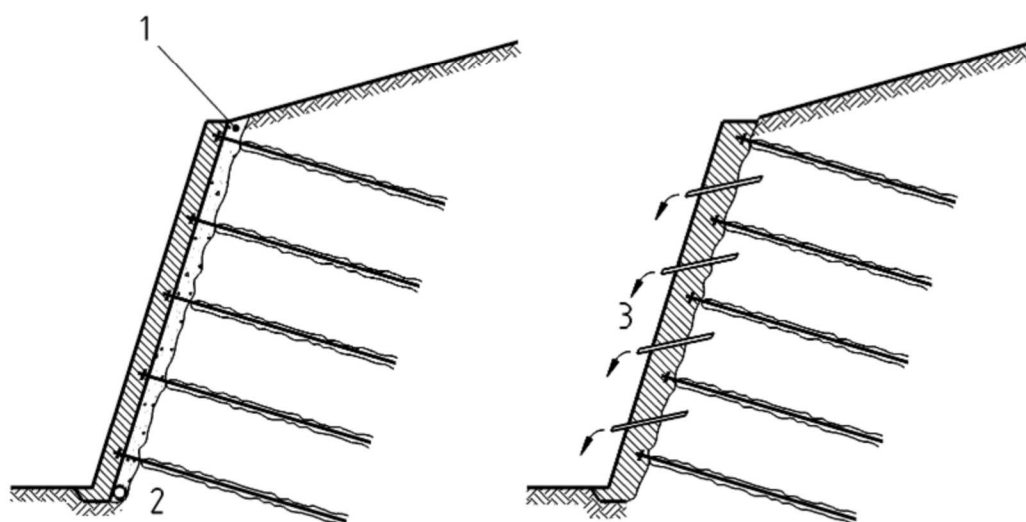
- 1 Drainage en pied de talus

Figure A.14 — Suintement

A.4.4 Systèmes de drainage de parements rigides et imperméables

Dans le cas de murs de soutènement en béton, soit préfabriqué ou coulé en place, des filtres poreux associés à des drains collecteurs peuvent être utilisés.

Dans tous les cas, avec des parements imperméables, des barbacanes en nombre suffisant doivent être mises en place, comme indiqué sur la Figure A.15.



Légende

- 1 Matériau de drainage
 2 Drain collecteur
 3 Barbacane

Figure A.15 — Parements rigides et imperméables

EN 14490:2010 (F)**A.4.5 Drainage profond**

Un drainage profond est nécessaire lorsqu'une couche aquifère a été reconnue ou est susceptible d'être recoupée. Un drainage profond peut également être nécessaire lorsqu'une nappe doit être rabattue.

En règle générale, les forages de drainage sont équipés de tubes à fentes ou à trous. Ils peuvent être enveloppés avec un filtre en géotextile pour prévenir l'entrée de fines. Il convient de choisir les caractéristiques du filtre en géotextile de façon à limiter les risques de colmatage tout en permettant à l'eau de pénétrer dans le drain.

Le nombre, la longueur et le type de drain est fonction des régimes et de la quantité d'eau attendue. Habituellement, l'inclinaison des forages de drainage est supérieure à 5 %.

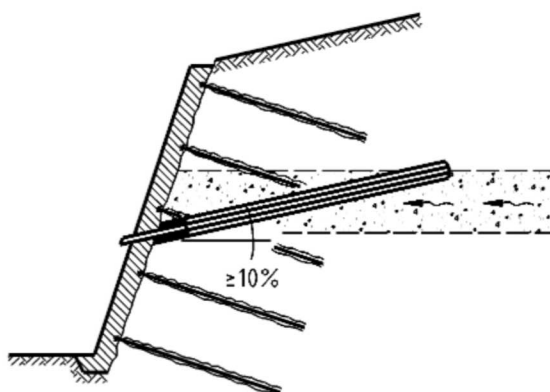


Figure A.16 — Drainage profond

A.5 Tolérances

A.5.1 Il convient que la position d'un clou réalisé se situe, au niveau de la paroi clouée achevée, à moins de 100 mm de sa position théorique. Lorsqu'un parement préfabriqué est réalisé, une plus grande précision peut être exigée.

A.5.2 Il convient que l'orientation de la tête d'un clou réalisé soit à moins de $\pm 5^\circ$ de son orientation théorique.

A.5.3 Bien qu'il ne s'agisse pas d'un point critique, il convient que la déviation du forage n'excède pas 1/30 de la longueur forée.

A.5.4 Lorsque les clous sont proches les uns des autres ou lorsqu'ils sont situés à proximité immédiate de réseaux, de drains, ou d'ouvrages existants, le concepteur peut spécifier des tolérances plus strictes.

A.6 Suivi à long terme

Les points suivants sont donnés à titre indicatif pour aider à définir le suivi à long terme d'un massif en sol cloué :

- nivellement du sommet (au moins tous les 20 m) ;
- nivellement du pied (au moins tous les 20 m) ;
- alignement du sommet (au moins tous les 10 m) ;
- nivellement et alignement à mi-hauteur (recommandés pour un massif cloué de hauteur supérieure à 5 m) ;
- inclinomètres ;
- relevé du niveau des nappes ;
- écoulement d'eau dans les barbacanes ;
- témoins de durabilité (avec fil d'attache pour les récupérer).

Annexe B

(informative)

Considérations relatives à la conception

B.1 Généralités

B.1.1 Cette annexe n'est pas un guide de conception, mais son but est de présenter les principes de conception du clouage à ceux qui sont chargés de la réalisation d'ouvrages en sol cloué.

B.1.2 Le calcul des ouvrages en sol cloué n'est pas explicitement couvert par la norme EN 1997. Néanmoins, certaines questions géotechniques de caractère général, communes au clouage des massifs de sol et à d'autres techniques, sont traitées. Cette annexe fournit quelques indications pour la conception des massifs cloués.

B.1.3 La norme EN 1997 définit trois Catégories Géotechniques : 1, 2 et 3. Les concepts donnés dans cette annexe s'appliquent généralement aux ouvrages de catégorie 2. Les ouvrages de Catégorie 3 sont, soit très grands, soit inhabituels et nécessitent un traitement individualisé et des dispositions sur des points particuliers, en sus des exigences de conception des ouvrages de Catégorie 2.

B.2 Philosophie générale de la conception

B.2.1 Normalement, il est nécessaire d'effectuer des calculs pour estimer la stabilité des travaux projetés. En général, une analyse d'équilibre limite à la rupture, que l'on sait donner des résultats satisfaisants, est utilisée. Un paramètre clé, qui requiert une attention toute particulière, est la détermination de la résistance à l'arrachement des clous, dans la mesure où la résistance de cisaillement entre le clou et le terrain est fondamentale dans la technique du clouage. L'effet de retenue des clous est démontré en Figure B.1.

B.2.2 Il convient que l'analyse de stabilité à la rupture examine toutes les surfaces de rupture potentielles recoupant la zone clouée, ainsi que celles passant derrière et sous cette zone (voir la Figure B.1). Si, pour l'une quelconque de ces surfaces potentielles de rupture, le résultat conduit à un coefficient de sécurité plus faible que celui exigé, il convient alors d'ajuster les longueurs de clou et les espacements entre les clous projetés afin d'atteindre une valeur satisfaisante du coefficient de sécurité.

B.2.3 Un grand nombre de mécanismes de rupture potentiels peuvent être étudiés dans l'analyse de stabilité à la rupture (par exemple : une simple ou une double surface plane, une spirale logarithmique, un cercle de glissement). Il convient cependant que le modèle choisi soit compatible avec la géométrie du talus et la géologie du massif, et les actions extérieures comme l'activité sismique.

B.2.4 Normalement, les analyses de stabilité doivent être effectuées pour chaque étape de construction, la configuration de l'ouvrage terminé pouvant en effet ne pas être la plus défavorable et ne pas conduire au coefficient de sécurité le plus faible.

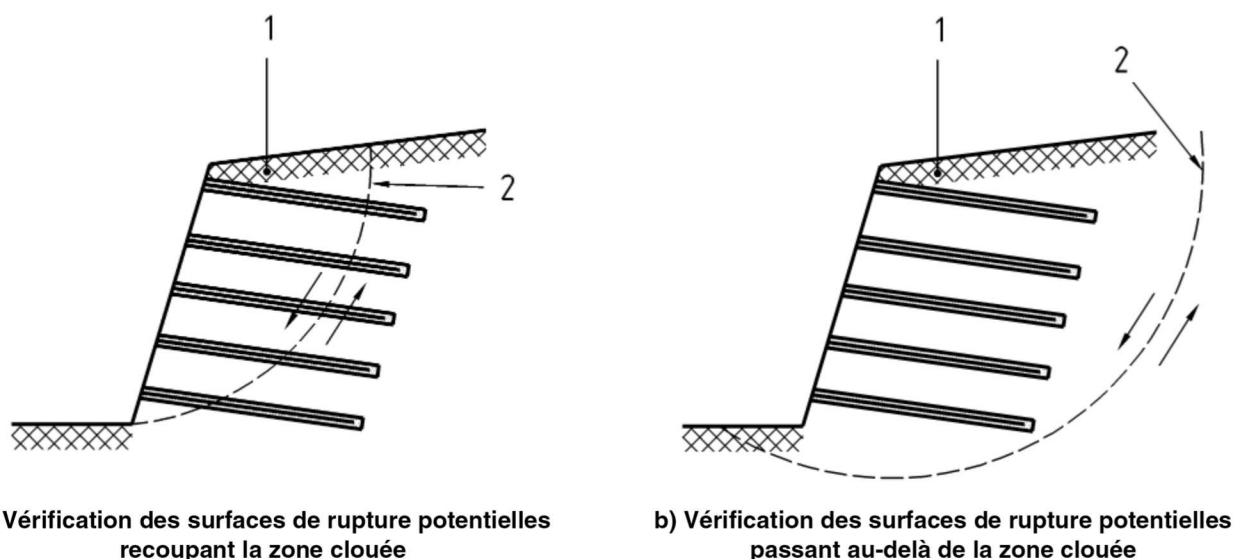
B.2.5 Des méthodes de modélisation numérique, telle que la méthode des éléments finis, peuvent aussi être utilisées pour le calcul des massifs en sol cloué, et fournir des estimations utiles sur les déplacements prévisibles. L'analyse basée sur la méthode des éléments finis est plus pertinente dans les cas où le mécanisme de rupture modélisé est différent du mécanisme de rupture classique par surfaces circulaires.

B.3 Conception des clous

B.3.1 La conception d'un clou concerne principalement sa capacité à :

- a) supporter la charge de calcul requise (résistance) ;
- b) limiter les déplacements (états limites de service) ;
- c) conserver ces deux capacités pendant la durée de service du massif cloué (durabilité) ;
- d) la longueur et la maille retenues pour les clous sont ajustées jusqu'à ce qu'une valeur satisfaisante soit atteinte.

EN 14490:2010 (F)



Légende

- 1 Clou envisagé
- 2 Surface de rupture potentielle

Figure B.1 — Analyses de stabilité à la rupture des ouvrages en sol cloué

B.3.2 Résistance de calcul

B.3.2.1 Il y a trois aspects principaux dans le fonctionnement d'un clou :

- les conditions de sol ;
- la résistance de l'élément de renforcement ;
- la résistance à l'arrachement du clou.

B.3.2.2 La résistance à l'arrachement d'un clou peut être déterminée, soit par estimation à partir de mesures des propriétés des terrains (essais en place ou de laboratoire), soit être directement établie à partir de propriétés mesurées (essais d'arrachement de clou).

B.3.2.3 Il convient que ces méthodes prennent en compte le comportement des terrains et des nappes souterraines sur toute la durée de service de l'ouvrage et, lorsque cela est possible, qu'elles soient vérifiées à partir de mesures directes des propriétés.

B.3.2.4 Les essais pour estimer ou valider la résistance à l'arrachement d'un clou sont décrits dans l'Annexe C.

B.3.2.5 Il convient que les coefficients partiels du calcul pour la résistance à l'arrachement d'un clou soient appropriés aux normes en vigueur.

B.3.3 Comportement en service

B.3.3.1 À l'heure actuelle, il n'y a pas de méthode pour calculer avec précision les déformations des ouvrages en sol cloué. Cependant, des estimations peuvent être faites à partir d'observations empiriques ou de calculs numériques. Si des estimations à partir de calculs numériques sont effectuées, il convient de choisir soigneusement les paramètres utilisés dans l'analyse et de valider le modèle de calcul.

B.3.3.2 Les déplacements des têtes de clou mesurés lors d'un essai d'arrachement peuvent donner quelques indications pour déterminer le déplacement horizontal global probable du parement. Les valeurs limites pour l'ensemble de l'ouvrage doivent être conformes aux exigences de la norme EN 1997.

B.3.3.3 Les déplacements et les déformations d'un massif cloué peuvent être sensibles à l'influence de paramètres extérieurs à la zone clouée. Il convient d'être particulièrement vigilant quant au tassement ou à l'érosion du sol sous l'ouvrage, au fluage latéral des terrains contigus à l'ouvrage et aux variations des niveaux d'eau dans le terrain.

B.3.4 Durabilité

B.3.4.1 Généralités

B.3.4.1.1 Pour un renforcement métallique, la principale forme de dégradation est la corrosion électro-chimique. Cependant, les armatures et composants synthétiques peuvent eux aussi subir des dégradations, par hydrolyse, par oxydation, par fissuration, etc. La vitesse de dégradation dépend de l'environnement électro-chimique du terrain, du matériau, du renforcement, de sa température et de son niveau de contrainte.

B.3.4.1.2 La protection contre la corrosion des constituants métalliques d'un clou devra prendre en compte l'agressivité de l'environnement, le type de clou, le type de charge (traction ou compression), le type d'acier, et la durée de service de l'ouvrage exigée.

B.3.4.1.3 Pour les éléments de connection, les mêmes règles doivent être appliquées comme pour tous les autres éléments métalliques.

B.3.4.1.4 Il convient qu'une attention particulière soit apportée à la continuité de la protection contre la corrosion au niveau des éléments de connection.

B.3.4.1.5 Il convient de s'assurer que les précautions particulières retenues n'altèrent pas les autres propriétés.

B.3.4.2 Estimation de la corrosivité

B.3.4.2.1 Il existe un grand nombre de méthodes ou de combinaisons de ces méthodes pour obtenir la durée de service requise pour une situation particulière. Normalement, une estimation de l'agressivité des terrains sera exigée pour déterminer quel niveau de protection contre la corrosion est nécessaire.

B.3.4.2.2 Le Tableau B.1 propose quatre différentes caractéristiques de sol établies selon une graduation progressive, pour déterminer l'agressivité des conditions de sol conduisant à prendre en compte la nécessité d'une protection contre la corrosion.

Tableau B.1 — Classification des conditions de sol

Caractéristique du sol	Classe	Index ΣA
Fortement corrosif	I	13 ou plus
Corrosif	II	9 à 12
Moyennement corrosif	III	5 à 8
Peu corrosif	IV	4 ou moins

NOTE Le Tableau B.1 est extrait du manuel Clouterre (Recommandations Clouterre 1991). De plus amples informations à propos du caractère du sol peuvent être trouvées dans Clouterre.

B.3.4.2.3 Le Tableau B.2 donne une méthode générale d'estimation de la corrosion, en soulignant les facteurs qu'il est important de prendre en compte.

B.3.4.2.4 Il convient que l'estimation soit faite à partir de valeurs de référence ou d'estimations établies à partir du site considéré. Si aucune information n'est disponible, le cas le plus défavorable devra être retenu.

B.3.4.2.5 Aussi, la méthode générale impose que les conditions de sol soient agressives à très agressives, il convient qu'une estimation plus détaillée soit faite conformément aux exigences nationales en vigueur.

EN 14490:2010 (F)

Tableau B.2 — Méthode générale d'estimation de la corrosion

Critère	Caractéristiques	Poids A du critère
Nature de sol ¹⁾	Texture	
	— lourde, plastique, collante, imperméable	2
	— argilo-sableuse	1
	— légère, perméable, sableuse, sols pulvérulents	0
	Tourbes et marécages	8
	Déchets industriels	
	Mâchefer, cendres, charbon	8
	Déchets de construction (plâtre, briques)	4
	Pollutions liquides	
	Eaux usées, industrielles	6
	Eaux contenant des sels de déneigement	8
Résistivité (Ω cm)	$\rho < 1000$	5
	$1000 < \rho < 2000$	3
	$2000 < \rho < 5000$	2
	$5000 < \rho$	0
Humidité	Nappe d'eau saumâtre (variable ou permanente)	8
	Nappe d'eau douce (variable ou permanente)	4
	Hors nappe — sol humide (teneur en eau > 20%)	2
	Hors nappe sol sec (teneur en eau < 20%)	0
pH	< 4	4
	4 à 5	3
	5 à 6	2
	> 6	0
	Indice Global	Somme des poids ci-dessus ΣA
1) La valeur pondérale du critère «nature de sol» pourrait être la valeur maximale applicable à ce sol à partir des sous classes «texture», «tourbes», «déchets industriels», et «liquide». Le poids maximal de chaque critère est inférieur ou égal à 8.		

NOTE Le Tableau B.2 est extrait de Clouterre (Recommandations Clouterre 1991). De plus amples informations à propos du caractère du sol peuvent être trouvées dans Clouterre.

B.3.4.3 Pour atteindre la durée de service, les approches suivantes sont couramment appliquées aux éléments de renforcement métalliques couramment en acier :

- une épaisseur sacrifiée à la corrosion ;
- un enrobage avec un coulis approprié, mortier ou béton ;
- un revêtement de surface ;
- une gaine étanche avec du coulis ;
- acier inoxydable ;
- une combinaison des moyens ci-dessus.

B.3.4.4 Épaisseur sacrifiée à la corrosion

Cette méthode suppose ni traitement de surface, ni enrobage avec du coulis. Elle repose sur un sur-dimensionnement de la section de l'élément de renforcement et des autres composants du clou pour tenir compte de la corrosion. La perte d'épaisseur prévisionnelle par corrosion est estimée à partir de données empiriques obtenues sur des clous, des palplanches et des structures crénelées en acier enterrées, placés dans des milieux similaires avec différents niveaux d'agressivité des terrains. Le Tableau B.3 donne une indication des valeurs de pertes sacrificielles par corrosion.

NOTE 1 Une telle méthode n'est pas conseillée pour des barres de renforcement de faible section ou pour des aciers à forte teneur en carbone. En général, le concept d'acier sacrifié est utilisé pour des clous pour lesquels le pourcentage de perte de section n'excède pas la moitié de la section initiale. Cette utilisation est normalement réservée aux cas où les clous sont assez proches les uns des autres, avec un certain degré de redondance.

NOTE 2 Dans les terrains agressifs ou très agressifs, il est important de considérer que le clou est susceptible de reprendre des efforts de traction mais aussi des efforts de cisaillement.

Tableau B.3 — Valeurs de la perte d'épaisseur d'acier par corrosion (en millimètres)
(réduction totale de diamètre ou d'épaisseur incluant les deux côtés)

Indice global I ¹⁾ classe	Court terme ≤ 18 mois	Moyen term 1.5 à ≤ 30 ans	Long terme 30 à ≤ 100 ans
≤ 4/IV	0	2 mm	4 mm
5 à 8/III	0	4 mm	8 mm
9 à 12/II	2 mm	8 mm	Gaine plastique ^{a)}
≥ 13/IV	Protection par gaine plastique obligatoire		

a) Une gaine métallique n'est pas souhaitable dans ces cas, sauf justification particulière.

1) Indice global I = $\sum A + C$, avec $\sum A$ défini au Tableau B.2 et C est un facteur relatif à la classe de la structure. C = 2 pour les structures sensibles et C = 0 pour les structures courantes.

NOTE 3 Le Tableau B.3 est extrait de Clouterre (recommandations Clouterre-1991). Des tableaux semblables peuvent être trouvés dans d'autres documents, comme la norme EN 14199.

B.3.4.5 Enrobage approprié en coulis, mortier ou béton

B.3.4.5.1 La protection contre la corrosion apportée par l'alcalinité d'un coulis de ciment peut être acceptée compte tenu du pH alcalin très élevé (pH 9.5 à pH 13.5).

NOTE Des travaux de recherche ont montré que des fissures dont la largeur restait inférieure à 0,1 mm pouvaient être considérées comme auto-réparables. Pour cette raison, un coulis de ciment est considéré comme une gaine de protection imperméable, dès lors que l'on peut établir que la largeur des fissures dans la masse du coulis n'excède pas 0,1 mm.

B.3.4.5.2 À titre indicatif, il convient que l'épaisseur d'enrobage de coulis de la barre de renforcement et des coupleurs soit supérieure aux valeurs du Tableau B.4, selon les conditions de sols et la durée de service.

B.3.4.5.3 Le coulis peut être mis en place pendant ou après le forage, et être injecté soit par l'intérieur d'une barre de renforcement creuse ou avec un tube d'injection séparé. Le recours à des techniques d'injection sous pression peut accroître l'épaisseur et la qualité du coulis de ciment et améliorer ses propriétés de barrière de protection anti-corrosion.

B.3.4.5.4 Les valeurs du Tableau B.4 sont relatives à un enrobage de coulis de ciment sans précautions particulières. Le tableau est basé sur l'expérience acquise à partir d'autres types de structures et n'est donné qu'à titre indicatif. Une combinaison avec d'autres méthodes (comme la galvanisation ou l'utilisation de gaines) peut conduire à obtenir une plus longue durée de service.

EN 14490:2010 (F)

Tableau B.4 — Indications sur l'épaisseur minimale de l'enrobage par coulis de ciment sur les éléments métalliques à l'intérieur d'un forage en fonction des conditions de sol et de la durée de service

		Durée de service de la structure (en années)				
		Épaisseur de l'enrobage de coulis (mm)				
	Condition de sol	5	25	50	75	100
IV	Pas agressif	10	20	25	35	a ₁
III	Peu agressif	20	30	40	50	a ₁
II	Agressif	30	40	50	75	a ₁
I	Très agressif	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
a ₁ Une étude spécifique est exigée pour déterminer l'épaisseur de coulis nécessaire.						

NOTE Les valeurs sont données à titre indicatif. Il convient de prendre en compte des conditions locales et des valeurs appropriées.

B.3.4.6 Revêtement superficiel

B.3.4.6.1 Les revêtements superficiels, tels que la galvanisation ou un film d'époxy, protègent l'acier contre la corrosion. La durée de cette protection dépend de l'épaisseur et de la qualité du revêtement.

B.3.4.6.2 Les revêtements métalliques sont robustes et auto-réparables, si bien que leur dégradation localisée en surface prête moins à conséquences. Les revêtements à base de zinc offrent une surface protectrice pour l'acier, qui subsiste, même après la disparition de l'épaisseur de galvanisation. Cette surface protectrice réduit la vitesse ultérieure de corrosion du métal d'origine et ainsi l'importance de l'épaisseur de revêtement sacrificiel. Il est important de noter que les vitesses de corrosion d'un revêtement galvanisé peuvent varier considérablement, d'un point à un autre et en fonction du temps.

B.3.4.6.3 Le revêtement par film époxy est parfois jugé équivalent au revêtement par galvanisation, cependant le mécanisme de protection est différent. En théorie, le revêtement par film époxy a une grande durée de vie dans le terrain, souvent supérieure à la durée de service requise pour l'ouvrage. Il est important que la manutention et la pose de barres de renforcement revêtues d'un film époxy soient faites avec beaucoup de précautions, sous peine de provoquer des dommages locaux pouvant générer une corrosion localisée.

B.3.4.6.4 Le revêtement par galvanisation doit être exécuté conformément à EN ISO 1461.

B.3.4.6.5 Il est recommandé de prendre des précautions particulières pendant le transport, la manutention et la mise en place des clous protégés de la corrosion par un revêtement galvanisé afin d'éviter toute détérioration du revêtement galvanisé.

B.3.4.7 Gaine annelée avec coulis

B.3.4.7.1 Des gaines sont utilisées conjointement avec du coulis. L'utilisation d'une gaine dans le coulis d'enrobage empêche la pénétration d'eau ou de substances corrosives par d'éventuelles fissures qui pourraient survenir dans le coulis.

B.3.4.7.2 L'efficacité de ces gaines dépendra de celle du scellement et de la facilité et de la commodité à préserver l'intégrité des systèmes pendant leur mise en œuvre et, ultérieurement, pendant l'injection du forage.

B.3.4.7.3 Ces gaines constituent la principale source de protection des éléments de renforcement placés dans des conditions de terrain agressif. Il est important que la manutention et la pose des éléments de renforcement protégés par des gaines soient réalisées avec soin.

B.3.4.8 Acier inoxydable

B.3.4.8.1 Il existe un grand nombre d'aciers inoxydables. Si un acier inoxydable est proposé pour le clouage, il convient que sa résistance soit démontrée vis-à-vis de la corrosion dans les conditions réelles du site pour toute la durée de service.

B.3.4.8.2 Il est recommandé d'éviter la connexion entre un acier inoxydable et un autre type d'acier, afin de prévenir toute corrosion galvanique.

B.4 Points importants dans la conception du clouage

B.4.1 Lorsque la construction d'un ouvrage en sol cloué nécessite des terrassements, la conception doit examiner la stabilité de l'ouvrage aux différentes étapes de sa construction, le coefficient de sécurité pouvant en effet être inférieur en cours de travaux à celui de l'ouvrage fini.

B.4.2 Le clouage est une technique in-situ, donc il convient que la conception envisage les options possibles de modification du projet, au cas où des conditions de terrain imprévues seraient rencontrées lors des travaux.

B.4.3 Les nappes phréatiques, les infiltrations d'eaux de pluie et le forage avec comme fluide de perforation de l'eau à haute pression ont une incidence importante sur la plupart des ouvrages géotechniques. Cela est particulièrement vrai pour le clouage, du fait qu'une augmentation de la pression interstitielle peut à la fois réduire la stabilité du terrain et la résistance à l'arrachement des clous. En raison du risque de colmatage du drainage dans le temps, il est recommandé, lors de la conception, de prendre en compte une certaine redondance du système de drainage profond.

EN 14490:2010 (F)

Annexe C

(informative)

Essais de systèmes de clouage de sol

C.1 Essais de clou

C.1.1 Deux types d'essais peuvent être menés, les essais sur les clous sacrificiels (voir C.3.3) et les essais sur les clous de l'ouvrage (voir C.3.4).

C.1.2 Il convient que la longueur de scellement du clou d'essai soit spécifiée à la conception (la longueur du clou en contact avec le terrain environnant).

Pour définir la longueur de scellement d'un clou d'essai, il convient de prendre en compte ce qui suit :

- a) la stratigraphie géologique et ses possibles variations ;
- b) l'emplacement des surfaces de glissement potentielles délimitant les zones active et passive prises en compte dans le modèle de calcul ;
- c) les longueurs courantes (ou moyennes) de clou situées dans les zones passive et active considérées dans le modèle de calcul (c'est-à-dire la longueur de scellement du clou d'essai doit être représentative des longueurs fournissant l'effort stabilisant à l'intérieur de l'ouvrage).

C.1.3 Il est fondamental que l'effort de traction soit centré axialement, ceci pouvant être réalisé soit en taillant la pente perpendiculairement à l'axe du clou, ou avec une chaise d'appui.

C.1.4 Il est recommandé de définir la traction d'épreuve, P_p , lors de la conception.

C.2 Équipement

C.2.1 Dispositif d'essai d'arrachement

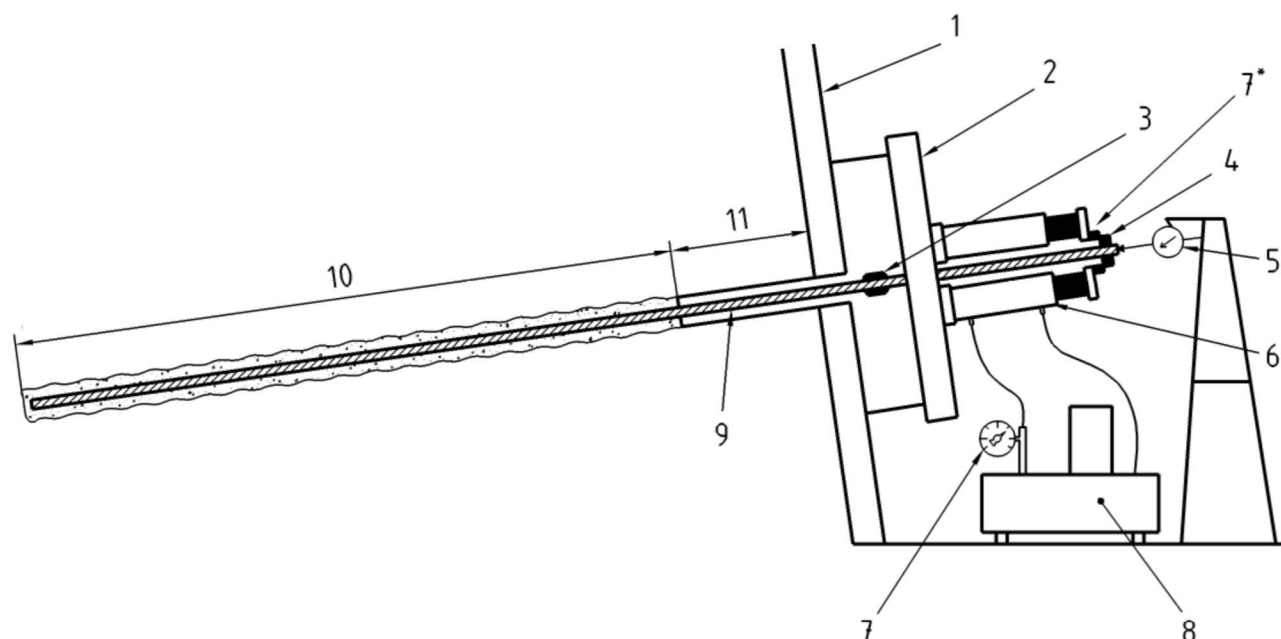
C.2.1.1 Un dispositif d'essai d'arrachement comprend : un vérin ou un dispositif de mise en traction ; des dispositifs de contrôle de déplacement et de charge ; un système de réaction ; des écrous de blocage, des rallonges, etc. Un schéma d'un dispositif d'essai d'arrachement est donné à la Figure C.1.

C.2.1.2 Il convient que ce dispositif soit capable de fonctionner en toute sécurité, sans déformation excessive, à la traction d'épreuve maximale.

C.2.1.3 Lorsque le système de parement ou le système de réaction, peut influencer sur le résultat de l'essai, alors il convient de ne pas sceller le clou d'essai au terrain dans la zone d'influence.

C.2.1.4 Avant la mise en place définitive du dispositif de contrôle des déplacements, il peut être nécessaire d'appliquer une traction de référence afin de limiter les mouvements parasites du dispositif d'essai lors de l'application des premiers paliers. Il convient que cette traction de référence P_o n'excède pas 10 % de la traction d'épreuve P_p .

NOTE La traction de référence P_o est appliquée lors d'un essai de clou avant le début de l'essai d'arrachement pour reprendre les jeux du dispositif d'essai (elle est quelquefois considérée comme l'origine du chargement).



Légende

- 1 Parement
- 2 Bâti de réaction rigide
- 3 Rallonge nécessaire à l'essai
- 4 Plaque et écrou de blocage au sommet du dispositif de mise en tension
- 5 Capteur de déplacement monté sur un bâti indépendant
- 6 Vérin hydraulique pour la mise en tension
- 7 Capteur de pression pour contrôler la pression dans le vérin (un capteur de force peut également être utilisé)
- 8 Pompe
- 9 Clou
- 10 Longueur de scellement
- 11 Longueur libre

Figure C.1 — Schéma d'un dispositif d'essai d'arrachement de clou

C.2.2 Dispositif de réaction

C.2.2.1 Le dispositif de réaction doit être conçu de manière que sa résistance structurale soit au moins égale à la valeur de la traction d'épreuve maximale en accord avec les normes européennes.

C.2.2.2 Il convient que le dispositif de réaction soit conçu de façon à ne pas influencer sur la résistance à l'arrachement mesurée ou à ne pas transmettre des pressions dépassant la capacité portante admissible du parement.

NOTE Ceci peut être réalisé en utilisant un bâti de répartition de charge adapté devant le parement. Ceci est particulièrement important pour les parements flexibles.

C.2.3 Dispositif de mise en traction

Il convient que la capacité nominale du dispositif de mise en traction, habituellement un vérin hydraulique, soit au moins équivalente à la traction d'épreuve maximale P_p . Dans la mesure du possible, il convient que la course du vérin soit suffisante pour éviter une reprise en cours d'essai. Il convient que le dispositif de mise en traction permette d'appliquer la traction d'épreuve sans à-coups, selon l'axe du clou d'essai, par paliers de chargement ou de déchargement.

EN 14490:2010 (F)**C.2.4 Mesurage de la traction**

La traction appliquée au clou d'essai peut être mesurée, soit indirectement, au moyen d'un capteur de pression étalonné contrôlant la pression hydraulique dans le vérin, soit directement, au moyen d'un capteur de force. Les capteurs de pression et de force doivent être étalonnés avec une précision de $\pm 2\%$ de la traction d'épreuve maximale P_p . Si des cellules de pression sont utilisées, il est recommandé d'utiliser une seconde méthode de mesure en raison de leur difficulté d'utilisation sur site.

C.2.5 Mesurage des déplacements

Il convient que le dispositif de contrôle des déplacements soit étalonné et ait une précision de lecture de $\pm 0,1$ mm. Il convient que le support des capteurs de déplacement soit indépendant du dispositif de mise en traction et du dispositif de réaction. Il convient que ce support soit suffisamment rigide pour ne pas être sensible aux effets climatiques ou aux vibrations parasites. Il convient que les capteurs de déplacement soient capables de suivre l'extraction du clou pendant toute la durée de l'essai, sans qu'il soit nécessaire de faire une reprise.

C.2.6 Mesures du temps et de la température

C.2.6.1 La précision des instruments de mesure du temps doit être ≤ 1 s.

C.2.6.2 La précision des instruments de mesure de la température doit être ≤ 1 °C.

C.3 Procédures d'essai**C.3.1 Exigences sur les essais**

Il est recommandé que les méthodes d'essai, la fréquence des essais, et les critères de recevabilité des essais soient approuvés par le concepteur, si cela n'est pas spécifié.

NOTE Il y a deux principaux types d'essais de clou, les essais sur les clous sacrificiels et les essais sur les clous de l'ouvrage, les deux supposent des exigences et des dispositions différentes. La procédure d'essai est décrite ci-après.

C.3.2 Méthodes d'essai

Pour les sols, il convient d'utiliser les méthodes d'essai d'arrachement statique. Cette annexe décrit les essais statiques en détail, les exigences pertinentes listées dans cette annexe doivent être appliquées si d'autres méthodes d'essai sont utilisées, comme la méthode d'essai à déplacement contrôlé.

C.3.3 Essai statique d'arrachement — Généralités

C.3.3.1 Les méthodes d'essai statique d'arrachement consistent à mettre le clou en traction par palier de chargement, jusqu'à la traction maximale d'essai, et à mesurer le déplacement du clou à chaque palier. Le nombre de paliers, leur durée, et les critères pour passer d'un palier au suivant varient en fonction des objectifs de l'essai.

C.3.3.2 Les essais peuvent être réalisés avec un ou plusieurs cycles de chargement-déchargement. Les caractéristiques du fluage à long terme peuvent également être étudiées avec ce type d'essai, en maintenant la traction sur de longues périodes. Il est dans ce cas souvent appelé essai «de longue durée» ou essai «de fluage».

C.3.3.3 L'essai statique d'arrachement peut avoir différents objectifs y compris de vérifier le frottement ultime sol-clou utilisé dans la conception et de démontrer la bonne performance du clou à la charge de service.

C.3.3.4 Le Tableau C.1 présente une synthèse des différentes procédures d'essai entre les essais sur les clous sacrificiels et les essais sur les clous de l'ouvrage avec des indications sur le nombre de cycles, la charge maximale d'un cycle, le nombre minimum de paliers de chargement et la traction d'épreuve maximum.

Tableau C.1 — Critères préconisés pour la réalisation des essais d'arrachement «statique»

Type d'essai	Essai de clou sacrificiel	Essai de clou de l'ouvrage
Estimation de la traction d'épreuve maximale	La valeur de la traction d'épreuve P_p doit être déterminée à la conception selon une approche pertinente en accord avec EN 1997 et des coefficients partiels de sécurité appropriés.	La valeur de la traction d'épreuve P_p doit être déterminée à la conception selon une approche pertinente en accord avec EN 1997 et des coefficients partiels de sécurité appropriés.
Nombre de cycles	Si plus d'un cycle est réalisé, il convient de ne pas faire dépasser la valeur caractéristique de la charge estimée à la conception à la charge d'épreuve lors du premier cycle.	En règle générale, un seul cycle est suffisant
Nombre de paliers	Il convient que l'incrément de traction entre deux paliers permette d'obtenir la forme de la courbe traction-déplacement et qu'il ne dépasse pas 20 % de la traction maximale du cycle.	Le nombre minimal de paliers est de 5.
Interprétation des résultats	Le résultat d'un essai de clou sacrificiel est acceptable lorsque le fluage à la traction d'épreuve maximale, P_p, est inférieur à 2 mm par unité logarithmique de temps, à moins qu'une valeur plus petite du fluage ne soit spécifiée à la conception. Le déplacement mesuré de la tête du clou à la traction d'épreuve ne peut pas être inférieur à l'allongement élastique de la partie libre du clou d'essai L_{db}.	Le résultat d'un essai de clou de l'ouvrage est acceptable lorsque : — le fluage à la traction d'épreuve, P_p, est inférieur à 2 mm par unité logarithmique de temps à moins qu'une valeur plus petite ne soit spécifiée à la conception. Le déplacement mesuré de la tête du clou à la traction d'épreuve ne peut pas être inférieur à l'allongement élastique de la partie libre du clou d'essai L_{db}.

NOTE la vitesse de fluage est définie par $(s_2 - s_1) / \log_{10}(t_2 - t_1) < 2$ mm, avec s_1 et s_2 déplacements du clou aux temps t_1 et t_2 respectivement

C.3.4 Essai de chargement statique — procédure d'essai de clou sacrificiel

C.3.4.1 Généralités

C.3.4.1.1 L'essai de clou sacrificiel est un essai dans lequel la charge axiale est appliquée pas à pas au clou jusqu'à la traction d'épreuve P_p pour confirmer que la conception spécifique du clou est adaptée aux conditions particulières du terrain. Ceci implique normalement de réaliser l'essai jusqu'à la rupture ou jusqu'à la valeur caractéristique prévue à la conception. La fréquence préconisée pour l'essai de clou sacrificiel est donnée dans l'Article 9.3, Tableau 2.

C.3.4.1.2 Chaque palier est maintenu constant pendant une certaine durée. L'essai inclut la mesure du déplacement de la tête du clou en fonction de l'effort appliqué, et à chaque palier ou au dernier palier, celle du déplacement de la tête du clou en fonction du temps.

C.3.4.2 Clou d'essai

L'essai de clou sacrificiel doit être réalisé sur des clous sacrificiels qui ne font pas partie de l'ouvrage.

C.3.4.3 Implantation

C.3.4.3.1 Les conditions de sol pour l'essai de clou doivent être représentatives de celles des clous de l'ouvrage.

C.3.4.3.2 Les résultats des études de sol doivent être pris en compte lors du choix de l'implantation de l'essai de clou.

EN 14490:2010 (F)**C.3.4.4 Exécution**

C.3.4.4.1 Les clous d'essai doivent être représentatifs des clous définitifs.

C.3.4.4.2 Les clous d'essai doivent être mis en place selon les mêmes procédures de mise en place que les clous de l'ouvrage.

C.3.4.4.3 La méthode de mise en place des clous d'essai devra être documentée de façon complète.

NOTE Il convient que des enregistrements soient effectués concernant les aspects pertinents de la mise en place, la procédure de mise en place, les conditions de sol et hydrogéologiques, et si possible, des résultats d'essai et des contrôles faits sur les déblais de forage et des difficultés rencontrées pendant l'exécution.

C.3.4.4.4 Les clous d'essai devront avoir la même inclinaison que les clous de l'ouvrage.

Les clous d'essai et les pièces annexes, exigés pour les essais, doivent être conçus de façon à satisfaire à la plus petite valeur des inégalités suivantes :

$$P_p < 0.80 R_{t,k} ;$$

$$P_p < 0.95 R_{t0.1,k} ;$$

où :

$R_{t,k}$ est la résistance caractéristique à la traction du clou d'essai ou de toute pièce annexe ;

$R_{t0.1,k}$ est la résistance caractéristique à 0.1 % de la limite élastique du clou d'essai ou de toute pièce annexe ;

P_p est la valeur maximale de la traction d'essai (traction d'épreuve) auquel le clou d'essai est soumis.

C.3.4.5 Date de l'essai

Entre la mise en place du clou d'essai et le début de l'essai, un intervalle de temps suffisant doit être observé, afin de s'assurer que les éléments constitutifs du clou ont acquis les résistances requises.

NOTE L'intervalle de temps requis dépend, par exemple, des conditions climatiques, des conditions de sol, et des composants du coulis.

C.3.4.6 Exécution de l'essai**C.3.4.6.1 Préparation de l'essai**

a) Préalablement à la réalisation de l'essai, la préparation doit au moins comprendre :

- 1) installation des instruments de déplacements et la vérification de leur fonctionnement normal ;
- 2) établissement d'un périmètre de sécurité autour du clou d'essai ;
- 3) mise en place du système de traction et vérification de son fonctionnement normal et en sécurité (par exemple, il faut s'assurer que le matériel de mise en tension délivre une traction centrée sur l'axe du clou d'essai)

b) Le système référentiel de déplacement doit être implanté de façon à ne pas être affecté par tout déplacement du système de réaction et il doit être protégé contre les variations climatiques.

C.3.4.6.2 Traction maximale d'épreuve

La traction maximale d'épreuve P_p doit être déterminée à la conception préalablement à la réalisation de l'essai.

C.3.4.6.3 Traction de référence

Une traction de référence P_0 doit être appliquée. Elle ne doit pas excéder $0.10 P_p$.

C.3.4.6.4 Procédure de chargement

- a) une procédure typique d'essai statique peut être décrite comme suit :
- 1) application de la traction initiale d'essai P_0 , et enregistrement du déplacement initial s_0 ;
 - 2) ensuite mise en traction du clou sans à-coups et par paliers, jusqu'à la traction maximale d'un cycle ou jusqu'à la traction d'épreuve maximale, ou jusqu'à la traction limite d'arrachement R_t . Il convient que l'incrément de traction entre deux paliers ne dépasse pas environ 20 % de la traction maximale du cycle ;
 - 3) après chaque incrément de traction, la traction dans le clou est maintenue constante jusqu'à ce que le déplacement de la tête du clou se stabilise, c'est à dire jusqu'à ce que le déplacement entre deux lectures consécutives dans le temps ($S_1 - S_2$) soit inférieur à 0,5 mm, ces lectures étant effectuées aux temps $t = 0$ min, 1 min, 2 min, 5 min, 10 min, 15 min, 20 min.
- b) Lorsque la stabilisation des mesures n'est pas obtenue, il convient de poursuivre le chargement du clou au palier suivant afin d'atteindre la stabilisation des déplacements. Il y a deux raisons à cela :
- 1) sur les clous entièrement scellés, (par exemple les clous autoforés), pour mobiliser la traction dans la zone passive, (stable), un descellement progressif lors de la mise en charge devra provoquer la mobilisation de la partie active afin que la charge d'épreuve puisse être directement transférée à la zone stable ;
 - 2) provoquer la rupture du frottement dans la zone active avec des durées limitées à 60 min prendrait des jours.
- c) lorsque pour un palier de traction, le clou ne peut supporter la traction appliquée et que le critère de déplacement de 0,5 mm entre deux mesures consécutives ne peut pas être obtenu, il convient alors d'interrompre le chargement et d'enregistrer la traction résiduelle appliquée au clou (celle-ci représente généralement la traction limite d'arrachement R_t) ;
- d) une fois atteinte la traction limite maximum du cycle, R_t ou P_p et une fois le palier de traction achevé, le clou d'essai doit alors être détendu jusqu'à la traction de référence P_0 et le déplacement résiduel s_r doit être enregistré ; Si nécessaire, d'autres cycles de mise en traction peuvent être réalisés
- e) Effectuer un essai à un ou à deux cycles de chargement est optionnel. Si l'essai comprend deux cycles, alors la valeur de traction du premier cycle ne devrait pas excéder la valeur caractéristique de la traction prévue par le calcul.
- f) Pour les clous autoforeurs (mis en place au forage avec mise en place simultanée du coulis), l'impossibilité de maintenir 0.5 mm sous l'application d'une charge ne signifie pas nécessairement que la charge d'arrachement ultime ait été atteinte, car pour mobiliser l'effort en zone passive (stable), il est souvent nécessaire de casser le frottement dans la zone active.

C.3.4.6.5 Mesures et contrôles

- a) Avant le démarrage de l'essai, on doit s'assurer que des sources externes n'affecteront pas les mesures. Le fonctionnement normal du système de mesure doit être vérifié.
- b) Les mesures suivantes seront respectées afin de mener à bien un essai de clou sacrificiel.
- 1) Si nécessaire, après l'application de la traction de référence P_0 le déplacement initial s_0 doit être mesuré ;
 - 2) Pendant la phase de mise en tension, à chaque palier de traction si nécessaire, la traction et le déplacement de la tête du clou doivent au moins être mesurés aux temps de mesure suivants :

$$1 \rightarrow (2) \rightarrow (3) \rightarrow (4) \rightarrow (5) \rightarrow (7) \rightarrow (10) \rightarrow (15) \rightarrow (20)$$

NOTE Les temps de mesure nécessaires seront définis par les règlements nationaux.

- 3) Pendant la phase de mise en tension, la traction et le déplacement de la tête du clou devront être enregistrés au moins à la fin de chaque palier et 5 min après le déchargement total ;
 - 4) Si cela est pertinent, le déplacement du système de réaction sera enregistré au moins à chaque fin de palier ;
- c) À chaque palier de chargement, les systèmes de mise en tension et de réaction doivent être inspectés visuellement de façon à détecter toute dégradation.
- d) À chaque palier, la stabilité de l'installation doit être assurée.

EN 14490:2010 (F)**C.3.4.6.6 Interprétation des résultats d'essai**

- a) Sur la base des données collectées, les relations suivantes au moins doivent être représentées sur un graphique :
- 1) Courbe effort-déformation à la fin de chaque palier ;
 - 2) Si cela est pertinent, courbe du déplacement de la tête du clou en fonction du temps ;
- b) le résultat de l'essai de clou sacrificiel est acceptable si :
- 1) À la traction maximale d'épreuve P_p , la vitesse de fluage est inférieure à 2 mm par log du temps à moins qu'une vitesse inférieure soit spécifiée dans le calcul ;
 - 2) Le déplacement mesuré de la tête du clou à la charge d'épreuve n'est pas inférieur à l'allongement élastique de l'acier de toute la partie non scellée du clou d'essai L_{db} .

C.3.5 Essai statique de chargement — procédure d'essai de clou de l'ouvrage**C.3.5.1 Généralités**

Un essai de clou de l'ouvrage est utilisé pour démontrer que la procédure d'installation des clous de l'ouvrage et les conditions de sol rencontrées donnent des clous avec des caractéristiques chargement-déplacement satisfaisantes à la traction d'épreuve. Il est recommandé d'établir la traction d'épreuve en accord avec la conception. La fréquence préconisée pour les essais de contrôle est donnée dans l'Article 9.3, Tableau 2.

C.3.5.2 Clous d'essai

Un essai de clou de l'ouvrage doit être réalisé sur un clou de l'ouvrage.

C.3.5.3 Date de l'essai

Entre la mise en place du clou d'essai et le début de l'essai, un intervalle de temps suffisant doit être observé, afin de s'assurer que les éléments constitutifs du clou ont atteint les résistances requises.

NOTE Le temps nécessaire dépend par exemple des conditions climatiques, des conditions de sol et des composants du coulis.

C.3.5.4 Exécution de l'essai**C.3.5.4.1 Préparation de l'essai**

- a) Préalablement à la réalisation de l'essai, la préparation doit comprendre au moins :
- 1) Installation des instruments de mesure et vérification de leur bon fonctionnement en toute sécurité ;
 - 2) Établissement d'un périmètre de sécurité autour du clou d'essai ;
 - 3) Mise en place du système de chargement et vérification de son bon fonctionnement en sécurité (par exemple, le système de chargement doit être centré sur l'axe du clou d'essai).
- b) Le système référentiel de déplacement doit être implanté de façon à ne pas être perturbé par tout déplacement du système de réaction et doit être protégé contre les effets des conditions climatiques.

C.3.5.4.2 Traction d'épreuve

La traction maximale d'épreuve P_p doit être déterminée par la conception.

C.3.5.4.3 Traction de référence

Une traction de référence P_0 , doit être appliquée. Elle ne doit pas excéder $0.10 P_p$.

C.3.5.4.4 Procédure de chargement

La procédure de chargement peut être mise en œuvre comme indiquée en C.3.4.6.4 pour des clous de l'ouvrage comme pour les essais de clous sacrificiels. Pour l'essai de clou de l'ouvrage, le cycle de chargement est optionnel.

C.3.5.4.5 Mesures et contrôles

Les mesures et les contrôles peuvent être menés selon les indications du C.3.4.6.5 sur des clous de l'ouvrage comme pour des clous sacrificiels.

C.3.5.4.6 Résultats de l'essai

Les résultats d'essais doivent être enregistrés comme au C.3.4.6.6.

C.4 Rapports d'essai

C.4.1 Essais de clou de l'ouvrage

a) Le rapport d'essai doit comprendre au minimum :

- 1) référence à toutes les normes pertinentes ;
- 2) les spécifications suivantes concernant le clou d'essai :
 - i) localisation et type de clou ;
 - ii) date d'installation ;
 - iii) observations relatives à l'installation du clou pouvant avoir une influence sur les résultats de l'essai ;
 - iv) données géométriques du clou et propriétés mécaniques du matériau du clou ;
 - v) niveau du sommet, de la base et du terrain autour du clou ;
- 3) les informations suivantes concernant l'essai de clou :
 - i) la référence de la personne ayant menée le test ;
 - ii) la date de l'essai ;
 - iii) la valeur maximale de la traction prévue ;
- 4) si nécessaire, les résultats des tests suivants basés sur les données collectées :
 - i) la courbe «déformation de la tête de clou par rapport au test de charge» ;
 - ii) la courbe «déformation de la tête de clou en fonction du temps» au moment de la charge maximale.

b) Les tableaux de données numériques recueillies doivent être fournis en annexes du rapport d'essai.

C.4.2 Essai de clou sacrificiel

Pour les tests de clous sacrificiels, le rapport de test doit au moins inclure le matériau suivant en complément de celui qui est inclus dans le rapport d'essai de l'essai du clou d'ouvrage :

a) les éléments suivants concernant les conditions de sol :

- 1) localisation des profils géotechniques les plus proches ;
- 2) la référence au rapport de reconnaissance géotechnique du site ;

b) les éléments suivants concernant l'essai de clou :

- 1) les caractéristiques du système de chargement ;
- 2) la description des tous les systèmes de contrôle et leurs composants ;
- 3) le croquis de l'instrumentation du clou d'essai ;
- 4) les observations relatives à l'exécution de l'essai susceptibles d'avoir une influence sur les résultats ;

EN 14490:2010 (F)

c) lorsque cela est pertinent, les résultats suivants de l'essai basés sur les données collectées :

- 1) la courbe «déplacement de la tête de clou en fonction de l'effort de traction» à la fin de chaque palier de chargement ;
- 2) la courbe «déplacement de la tête de clou en fonction du temps» pour chaque palier de chargement ;
- 3) la résistance à l'arrachement du clou ;
- 4) la courbe «perte de charge en fonction du temps» pour chaque palier de chargement et après verrouillage ;
- 5) la courbe «perte de charge en fonction de l'effort de traction» ;
- 6) la courbe «déplacements enregistrés dans les phases élastique et plastique en fonction de l'effort de traction» ;
- 7) La courbe «augmentation des déplacements en fonction du nombre de cycles».

Annexe D

(informative)

Degrés d'obligation des clauses

Les clauses sont repérées en fonction de leur degré d'obligation :

- (REQ) : Exigence ;
- (REC) : Recommandation ;
- (PER) : Permission ;
- (POS) : Possibilité ou éventualité ;
- (ST) : Énoncé.

1. Domaine d'application

1.1 – 1.6 Provisions

2. Références normatives

Liste

3. Termes, définitions et symboles

3.1.1 – 3.1.20 Liste

3.2 Liste

4. Informations nécessaires pour l'exécution des travaux

4.1 Généralités

4.1.1 (REQ)

4.1.2 (REQ)

4.2 Données particulières

4.2.1 (REQ)

4.2.2 (REQ)

4.2.3 (REQ)

5 Reconnaissances géotechniques

5.1 Généralités

5.1.1 (REQ)

5.1.2 (REQ)

5.1.3 (REQ)

5.1.4 (REQ)

EN 14490:2010 (F)**5.2 Exigences particulières du clouage**

5.2.1 (REQ)
5.2.2 (REQ)
5.2.3 (REC)
5.2.4 (REC)
5.2.5 (REQ)

6 Matériaux et produits**6.1 Généralités**

6.1.1 (POS)
6.1.2 (REQ)
6.1.3 (REQ)
6.1.4 (REQ)
6.1.5 (REQ)
6.1.6 (PER)

6.2 Systèmes de clou**6.2.1 Généralités**

PER

6.2.2 Élément de renforcement**6.2.2.1 Généralités**

6.2.2.1.1 (ST)
6.2.2.1.2 (PER)
6.2.2.1.3 (REQ)

6.2.2.2 Éléments de renforcement métalliques

6.2.2.2.1 (REQ)
6.2.2.2.2 (REQ)
6.2.2.2.3 (REC)
6.2.2.2.4 (REQ)
6.2.2.2.5 (REQ)
6.2.2.2.6 (REQ)

6.2.2.3 Éléments de renforcement non métalliques

6.2.2.3.1 (PER)
6.2.2.3.2 (REQ)

6.2.2.4 Joints et coupleurs

6.2.2.3.1 (POS)
6.2.2.3.2 (REQ)

6.2.3 Coulis d'injection

6.2.3.1 (REQ)
6.2.3.2 (REQ)
6.2.3.3 (REC)
6.2.3.4 (PER)
6.2.3.5 (REC)
6.2.3.6 (PER)
6.2.3.7 (REC)

6.2.4 Gaines et tubes

(REQ)

6.3 Systèmes de parement

6.3.1 Généralités

6.3.1.1 (REC)
6.3.1.2 (REQ)
6.3.1.3 (REQ)
6.3.1.4 (REQ)
6.3.1.5 (REQ)
6.3.1.6 (REQ)
6.3.1.6 (REC)

6.3.2 Panneaux et blocs (généralement préfabriqués)

6.3.2.1 (REC)
6.3.2.2 (REQ)
6.3.2.3 (REQ)

EN 14490:2010 (F)

6.3.3 Béton projeté et béton coulé en place

6.3.3.1 (REQ)
6.3.3.2 (PER)
6.3.3.3 (REQ)
6.3.3.4 (REQ)

6.3.4 Parements en treillis

6.3.4.1 (REQ)
6.3.4.2 (REQ)
6.3.4.3 (REQ)
6.3.4.4 (REQ)

6.3.5 Autres matériaux

6.3.5.1 (REQ)
6.3.5.2 (REQ)

6.4 Systèmes de drainage

(REQ)
NOTE

7 Considérations relatives à la conception

7.1 Généralités

7.1.1 (ST)
7.1.2 (REC)
7.1.3 (REQ)
7.1.4 (REQ)
7.1.5 (REQ)
7.1.6 (PER)
7.1.7 (REQ)
7.1.8 (REC)
7.1.9 (REC)

7.2 Données du projet

7.2.1 (REC)
7.2.2 (REC)
7.2.3 (REQ)
7.2.4 (REQ)
7.2.5 (REQ)
7.2.6 (REQ)

7.3 Hypothèses de conception

7.3.1 (PER)
7.3.2 (REQ)
7.3.3 (REQ)

8 Exécution

8.1 Généralités

8.1.1 (POS)
8.1.2 (REQ)
8.1.3 (POS)

8.2 Travaux préliminaires

(POS)

8.3 Terrassement/préparation de la paroi à clouer

8.3.1 (REQ)
8.3.2 (PER)
8.3.3 (POS)
8.3.4 (PER)
8.3.5 (REC)
8.3.6 (REC)
8.3.7 (REC)
8.3.8 (REQ)
8.3.9 (REQ)
8.3.10 (REQ)
8.3.11 (PER)
8.3.12 (REQ)
8.3.13 (REQ)
8.3.14 (REQ)
8.3.15 (REC)

EN 14490:2010 (F)**8.4 Mise en place des clous****8.4.1 Généralités**

8.4.1.1 (POS)
8.4.1.2 (REQ)
8.4.1.3 (REQ)
8.4.1.4 (REQ)
8.4.1.5 (REQ)
8.4.1.6 (REQ)
8.4.1.7 (REQ)
8.4.1.8 (REQ)

8.4.2 Méthodes de mise en place par fonçage

8.4.2.1 (PER)
8.4.2.2 (REQ)

8.4.3 Méthodes de mise en place par forage**8.4.3.1 Généralités**

8.4.3.1.1 (POS)
8.4.3.1.2 (REQ)
8.4.3.1.3 (REQ)
8.4.3.1.4 (PER)
8.4.3.1.5 (REQ)

8.4.3.2 Forage non tubé

8.4.3.2.1 (POS)
8.4.3.2.2 (REC)
8.4.3.2.3 (REC)
8.4.3.2.4 (REC)

8.4.3.3 Forage avec tubage et forage à la tarière creuse continue

8.4.3.3.1 (REC)
8.4.3.3.2 (PER)
8.4.3.3.3 (REC)
8.4.3.3.4 (REQ)

8.4.3.4 Élément de renforcement auto-foreur

8.4.3.4.1 (ST)
8.4.3.4.2 (REC)
8.4.3.4.3 (REQ)
8.4.3.4.4 (REC)
8.4.3.4.5 (REQ)

8.4.4 Procédures d'injection

8.4.4.1 Généralités

8.4.4.1.1 (PER)
8.4.4.1.2 (PER)
8.4.4.1.3 (PER)
8.4.4.1.4 (REC)
8.4.4.1.5 (REC)
8.4.4.1.6 (REC)
8.4.4.1.7 (PER)

8.4.4.2 Injection gravitaire

8.4.4.2.1 (ST)
8.4.4.2.2 (REC)

8.4.4.3 Injection sous pression

8.4.4.3.1 (POS)
8.4.4.3.2 (POS)
8.4.4.3.3 (PER)
8.4.4.3.4 (REC)
8.4.4.3.5 (PER)

8.4.5 Autres méthode d'installation des clous

8.4.5.1 (REQ)
8.4.5.2 (REQ)

EN 14490:2010 (F)**8.5 Réalisation du drainage****8.5.1 Généralités**

8.5.1.1 (REQ)
8.5.1.2 (REQ)
8.5.1.3 (REC)
8.5.1.4 (POS)
8.5.1.5 (REQ)
8.5.1.6 (REC)

8.5.2 Drainage de surface

8.5.2.1 (REQ)
8.5.2.2 (REC)
8.5.2.3 (REC)
8.5.2.4 (REC)
8.5.2.5 (POS)
8.5.2.6 (REC)

8.5.3 Drainage de parement

8.5.3.1 (ST)
8.5.3.2 (REC)
8.5.3.3 (REQ)
8.5.3.4 (REQ)

8.5.4 Drainage profond

8.5.4.1 (REC)
8.5.4.2 (REQ)
8.5.4.3 (REQ)
8.5.4.4 (REQ)
8.5.4.5 (REQ)
8.5.4.6 (REQ)

8.5.5 Systèmes de rabattement de nappe

(REQ)

EN 14490:2010 (F)

8.6 Réalisation du parement et raccordement à la tête des clous

8.6.1 Parement rigide

8.6.1.1 (PER)
8.6.1.2 (REQ)
8.6.1.3 (PER)
8.6.1.4 (PER)
8.6.1.5 (REC)

8.6.2 Parement flexible

8.6.2.1 (REQ)
8.6.2.2 (REQ)
8.6.2.3 (REC)

8.6.3 Parement souple

8.6.3.1 (REQ)
8.6.3.2 (REQ)
8.6.3.3 (PER)
8.6.3.4 (REQ)
8.6.3.5 (REQ)
8.6.3.6 (REC)
8.6.3.7 (POS)
8.6.3.8 (REC)

8.6.4 Conservation de la surface existante

8.6.4.1 (POS)
8.6.4.2 (REQ)
8.6.4.3 (REC)

9 Surveillance, essais et contrôle

9.1 Généralités

9.1.1 (REQ)
9.1.2 (REQ)
9.1.3 (REQ)
9.1.4 (REQ)

EN 14490:2010 (F)**9.2 Surveillance**

9.2.1 (REQ)
9.2.2 (REQ)
9.2.3 (POS)

9.3 Essais

9.3.1 (POS)

9.3.2 Les essais de clou

9.3.2.1 (REC)
9.3.2.2 (ST)
9.3.2.3 (PER)
9.3.2.4 (REC)
9.3.2.5 (REQ)
9.3.2.6 (REC)

9.3.3 Essais sur les matériaux

9.3.3.1 (ST)
9.3.3.2 (REQ)
9.3.3.3 (REC)
9.3.3.4 (REQ)
9.3.3.5 (REQ)

9.3.4 Essais de stabilité sur la paroi à clouer

9.3.4.1 (REC)
9.3.4.2 (REC)
9.3.4.3 (REC)

9.4 Contrôle en cours d'exécution

9.4.1 (REQ)
9.4.2 (ST)
9.4.3 (REC)
9.4.4 (REQ)
9.4.5 (REQ)
9.4.4 (REC)

9.5 Mesures facilitant le suivi de l'ouvrage à long terme

9.5.1 (REC)
9.5.2 (REQ)
9.5.3 (PER)
9.5.4 (REQ)
9.5.5 (REQ)

10 Comptes rendus

10.1 (REQ)
10.2 (REQ)
10.3 (REQ)
10.4 (REQ)
10.5 (REC)
10.6 (REQ)

11 Exigences particulières

11.1 Généralités

(REQ)

11.2 Bruit

11.2.1 (REQ)
11.2.2 (REQ)
11.2.3 (REC)
11.2.4 (POS)

11.3 Protection de l'environnement

(REQ)

EN 14490:2010 (F)

Bibliographie

- [1] EN 445, Coulis pour câbles de précontrainte — Méthodes d'essai.
- [2] EN 446, Coulis pour câbles de précontrainte — Procédures d'injection.
- [3] EN 447, Coulis pour câbles de précontrainte — Prescriptions pour les coulis courants.
- [4] EN 14199, Exécution des travaux géotechniques spéciaux — Micropieux.
- [5] EN 1990, Eurocodes structuraux — Bases de calcul des structures.
- [6] EN 1991 (en totalité), Eurocode 1 — Actions sur les structures.

