

MUR EN SOL RENFORCÉ PAR NAPPES DE GÉOTEXTILE AVEC UN PAREMENT CONSTITUÉ DE PLAQUES EN BÉTON ARMÉ

REINFORCED WALL WITH LAYERS OF GEOTEXTILE AND CONCRETE FACE

Patrick CECCHETTI¹, Christophe LAGARDE¹, Laurent EXBRAYAT²

¹ GTM Terrassement, Nanterre, France

² Bidim, Bezons, France

RÉSUMÉ – Le présent article présente une technique de mur en sol renforcé par nappes de géosynthétique avec un parement constitué de plaques en béton armé développé par GTM Terrassement. Sont présentés : le principe et le fonctionnement de ce type d'ouvrages, les caractéristiques, le dimensionnement, les géosynthétiques employés, la mise en œuvre et les contrôles.

Mots-clés : mur, renforcement, géosynthétique, plaques béton

ABSTRACT – The present paper talks about reinforced wall with layers of geotextiles with concrete sheets face, developed by GTM Terrassement. This paper presents the process of the wall and his characteristics, the design, the geosynthetics employed, the realization and the controls.

Keywords: wall, reinforcement, geosynthetic, concrete face

1. Présentation

Les 27 premiers ouvrages à réaliser avec cette technique dite des *murs Muster*, se situent sur trois tronçons de l'autoroute A85 autour de Tours (37). Les travaux ont débuté en novembre 2004. Les intervenants sont :

Maître d'ouvrage	: COFIROUTE
Maître d'œuvre	: SCAO
Entreprise	: GTM Terrassement
Fournisseur Géosynthétique	: BIDIM

2. Principe

L'ouvrage est un mur en sol renforcé par des nappes de géosynthétique liaisonnées à un parement préfabriqué composé de plaques en béton armé. Il fait l'objet de brevets déposés par GTM Terrassement (figure 1). Ce procédé est conçu pour la réalisation de soutènements souples en site terrestre. Il permet l'emploi optimal des matériaux du site en admettant une très large gamme de matériaux de remblais, y compris des sols fins traités. Le montage est basé sur l'assemblage de tubes de guidage entre écailles et d'un système particulier d'attache du géosynthétique.

Dans le cas traité, cette technique est utilisée pour les murs en aile des culées d'ouvrage en Passage Supérieur (PS) à 2 travées. Sont présentées ci-après : une élévation de l'ouvrage présentant notamment l'appareillage des écailles (figure 2), ainsi qu'une coupe type sur les murs en aile (figure 3). La figure 4 représente notamment une coupe et une vue de dessus d'une écaille.

3. Parties de l'ouvrage

3.1. Ecailles

Les écailles ont pour dimensions : 1,50m x 1,50m x 014m. Elles sont préfabriquées dans des moules, en usine. Le béton mis en œuvre est un C35/45 AE résistant au sel de déverglaçage. Toutes les écailles sont armées au moyen d'un treillis soudé.



Figure 1. Mur en sol renforcé par nappe de géotextile avec parement constitué de plaques en béton armé.

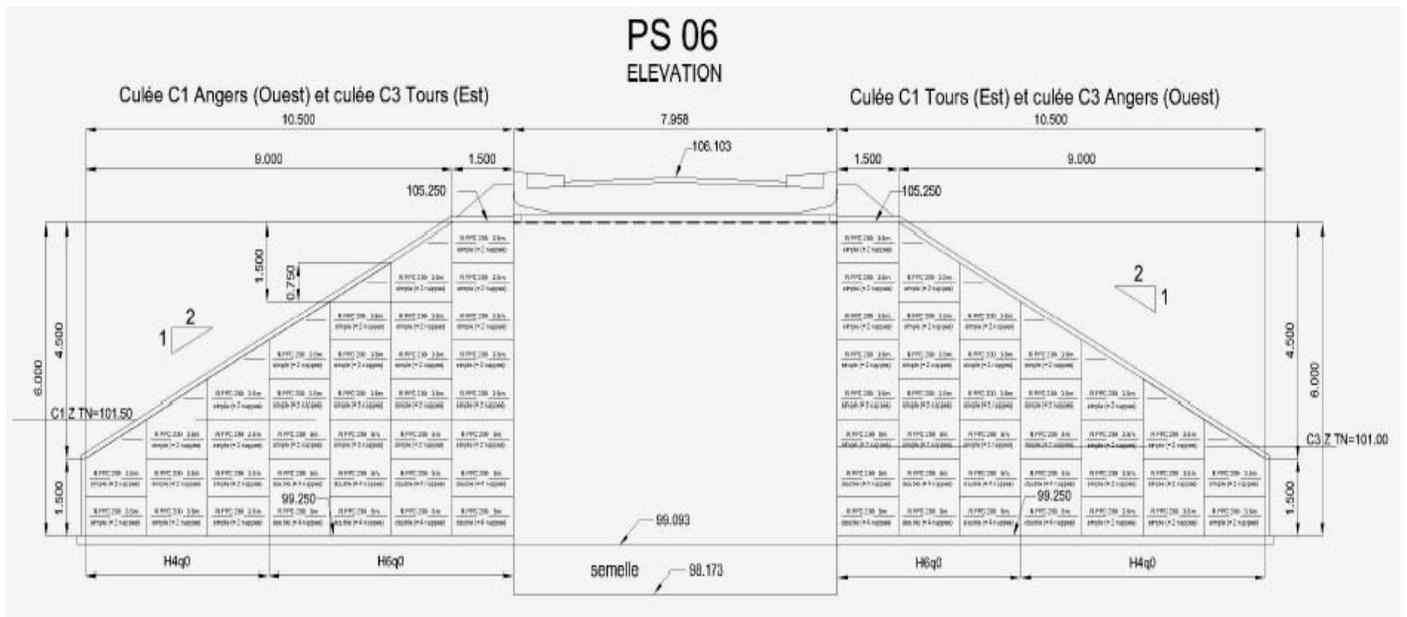


Figure 2. Elévation d'une culée d'ouvrage de type PS, à deux travées.

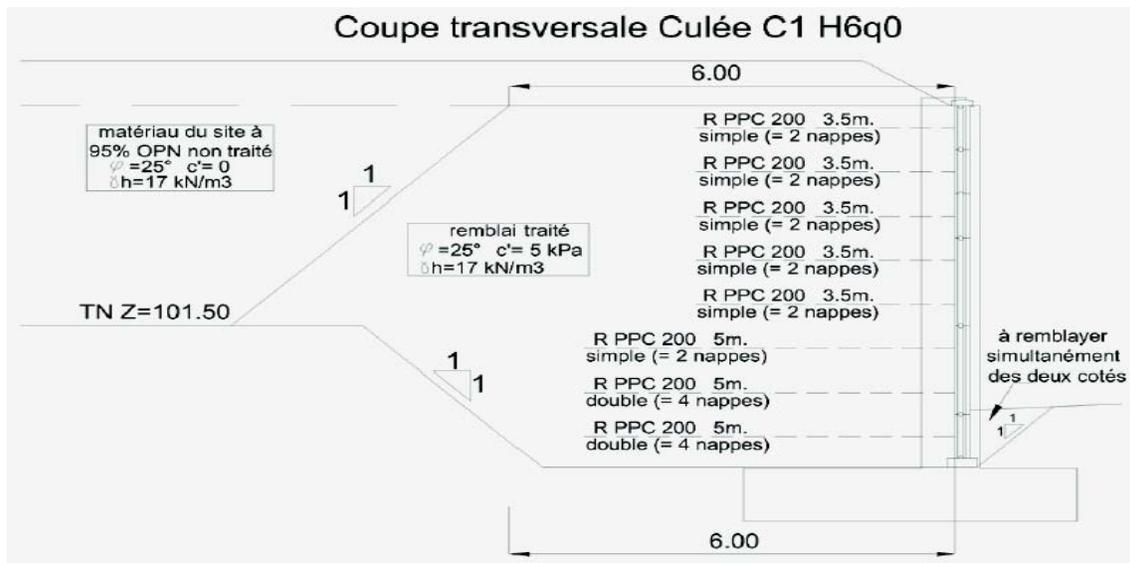


Figure 3 ; Coupe type sur les murs en aile.

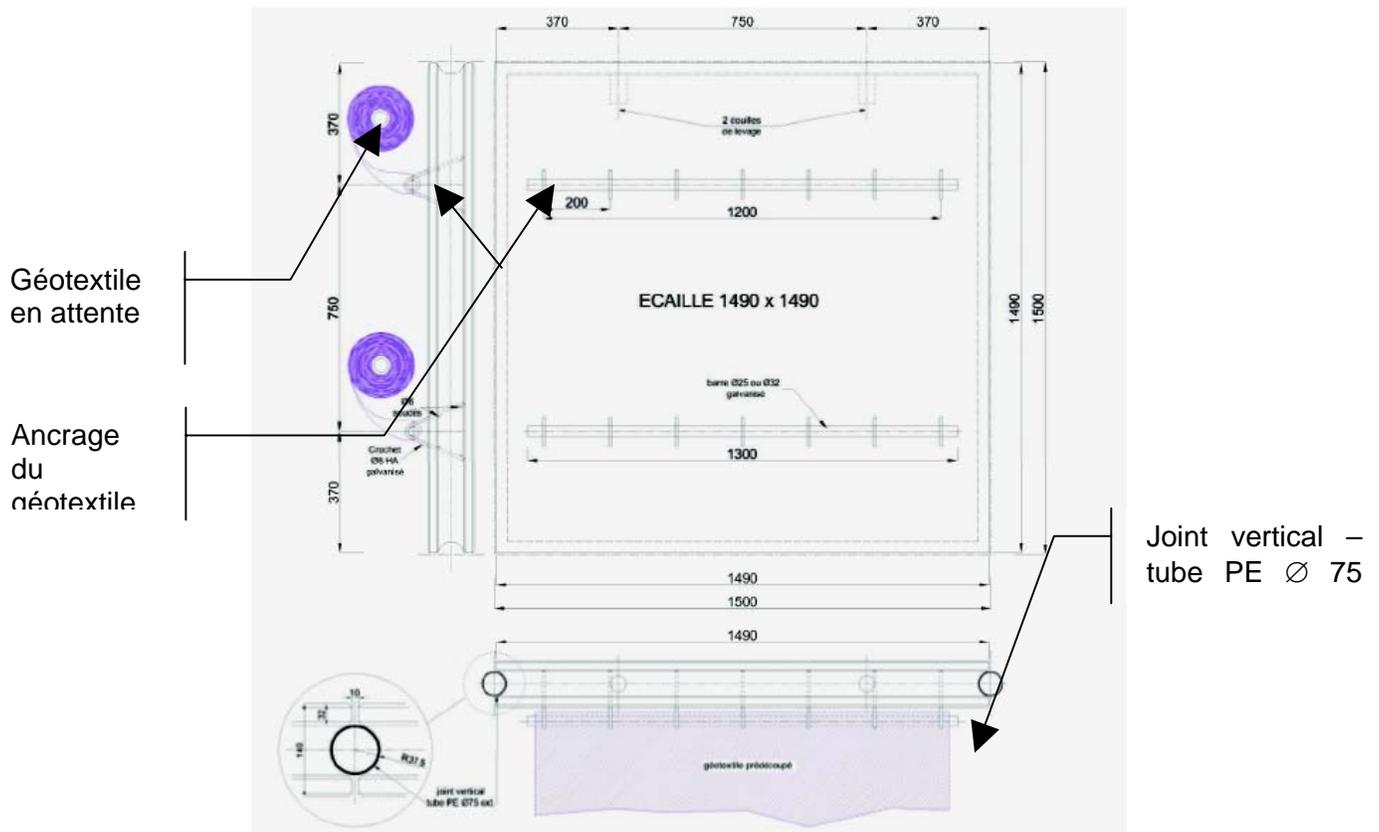


Figure 4. Élévation, coupe et vue de dessus d'une écaille.

3.2. Géosynthétiques de renforcement

Les caractéristiques mécaniques et physico chimiques du géosynthétique à employer dépendent du pH des remblais mis en œuvre, des caractéristiques du sol support, de la géométrie de l'ouvrage et des efforts supplémentaires appliqués. Deux types de Géosynthétiques sont utilisés. Il s'agit (figure 5) :

- de Géosynthétique haute résistance de type *bidim Rock Pec*, associant un réseau de câbles de renfort en polyester dans le sens production et un non-tissé aiguilleté de filaments continus en polypropylène ;
- de Géosynthétique haute résistance de type *bidim Rock PPC*, associant un réseau de câbles de renfort en polypropylène dans le sens production et un non-tissé aiguilleté de filaments continus en polypropylène.

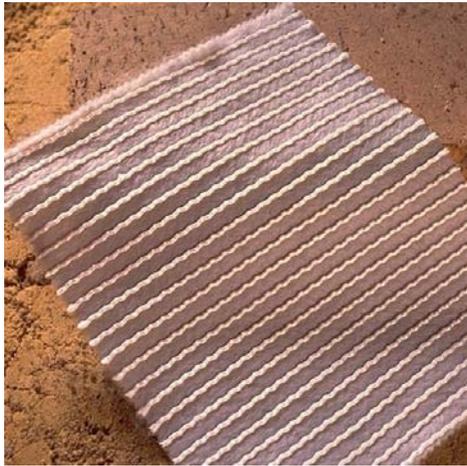


Figure 5. Photo de géosynthétique.

3.3. Liaison écaïlle / géosynthétique

La liaison écaïlle / géosynthétique est assurée au moyen d'armatures en acier galvanisé selon les normes en vigueur et consiste, suivant le principe d'une tringle à rideaux, à enfiler alternativement une barre Ø32 dans le géosynthétique puis dans les étriers ancrés dans les écaïlles (figure 6).

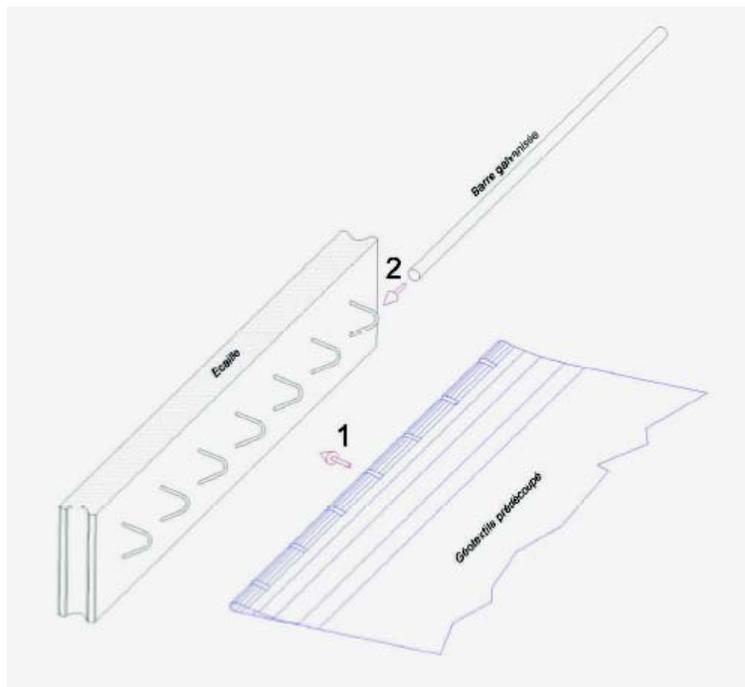


Figure 6. Principe d'assemblage des écaïlles et du géosynthétique.

4. Dimensionnement

4.1. Principe de dimensionnement

Le dimensionnement consiste à vérifier la stabilité externe, la stabilité globale et la stabilité interne du mur.

La vérification de la stabilité externe comprend :

- la vérification au poinçonnement, en calculant la résultante sous la base et en majorant l'ensemble des efforts (ELU A ou 1) puis la vérification du poinçonnement sur la largeur réduite, selon la méthode de Meyerhof ;
- la vérification au glissement, calcul de la résultante sous la base en majorant seulement les efforts de poussée (ELU B ou 2).

La stabilité globale est vérifiée selon la méthode des ruptures circulaires : ces calculs sont faits à l'aide du logiciel TALREN, avec la méthode de Bishop.

La stabilité interne est vérifiée suivant la 2^{ème} méthode proposée par la norme XP G 38064. Cette méthode utilise des cercles de Bishop avec des cercles de rupture comme surface de rupture potentielle. A partir des tensions admissibles des armatures, il est recherché d'un coefficient de sécurité de 1, sachant que de les caractéristiques c et ϕ des sols sont réduites respectivement par 1,7 et 1,35. Ces valeurs incluent le coefficient de méthode de 1,125. Cette vérification est également menée à l'aide du logiciel TALREN. La tension de chaque lit est calculée par une méthode analogue à celle de la norme NFP 94-220, à savoir :

- la contrainte verticale au parement est évaluée par la méthode de Meyerhof, appliquée au bloc de terre sus-jacent ;
- la contrainte horizontale est déduite à l'aide du coefficient de poussée ;
- la tension résultante doit être inférieure à la valeur ELS admissible.

De plus d'autres vérifications sont réalisées :

- vérification des longueurs minimales de chaque lit par rapport à la hauteur mécanique,
- vérification de la hauteur minimale de fiche,
- vérification éventuelle du lit supérieur d'armatures vis à vis de l'effort horizontal du garde corps,
- vérification et contrôle des études (contrôle extérieur) par un bureau d'études indépendant et par sondages.

4.2. Coefficient de sécurité sur la résistance du géosynthétique

Les coefficients de sécurité pris sur la résistance à la traction de géosynthétique sont définis par le producteur. Il est pris pour référence le projet de norme de la commission de Normalisation du BNSR Géotextiles et Produits Apparentés du 5 novembre 1991.

L'effort que le géosynthétique doit reprendre, dépend de la configuration de l'ouvrage et du type de sollicitations qui lui sont appliquées. Pour cette raison, la résistance en traction du géosynthétique est affectée d'un certain nombre de facteurs de réduction pour tenir compte du fluage éventuel, de l'endommagement à la mise en œuvre, de l'agressivité chimique des matériaux de remblais ou d'une pollution accidentelle par des produits corrosifs et de l'influence de l'environnement. En l'absence d'élément ou de résultat d'essais précis, la résistance en traction du géosynthétique (T_{geo}) doit être supérieure à la tension limite ultime (T_{ult}), définie avec l'application d'un coefficient de sécurité global γ sur la tension de service (T_s) :

$$T_{geo} > T_{ult} = T_s \times \gamma$$

avec :

- T_s : tension de service obtenue en étudiant la stabilité interne
- γ : coefficient de sécurité global donnée par la formule suivante

$$\gamma = \gamma_{geo} \times \gamma_{flu} \times \gamma_{comp} \times \gamma_{env}$$

avec :

- γ_{geo} : coefficient correcteur vis à vis de la valeur de rupture par traction. Il s'applique à la valeur minimale de l'effort de traction de rupture initiale, évaluée avec une probabilité de 95%. $\gamma_{geo} = 1,2$
 - γ_{flu} : coefficient correcteur sur les incertitudes liées à la validité et la précision de la loi d'extrapolation des données de résistances en traction obtenues à partir des essais de fluage. Les coefficients pris en compte sont :
 - $\gamma_{flu} = 2,27$ pour le polyester
 - $\gamma_{flu} = 4,5$ pour le polypropylène
 - γ_{env} : coefficient de sécurité vis à vis des modifications de résistance en traction liées à l'environnement. Pour un environnement non agressif pendant la durée de service, sans exposition aux UV et pour pH [5 à 9 pour le polyester], on retient les valeurs suivantes:
 - $\gamma_{env} = 1$ pour un ouvrage provisoire ($t < 5$ ans)
 - $\gamma_{env} = 1,1$ pour un ouvrage de durée de vie supérieure
 - γ_{comp} : coefficient correcteur vis à vis de l'endommagement dû à la mise en œuvre. Ce coefficient est défini soit par un essai de compactage, soit par un essai de simulation en laboratoire. En absence de tout essai et s'il est possible de connaître a priori l'agressivité mécanique de la mise en œuvre (agressivité du sol ou du compactage, épaisseur des couches), on choisit les valeurs suivantes :
 - $\gamma_{comp} = 1,1$ mise en œuvre peu agressive (sable ou matériaux argileux)
 - $\gamma_{comp} = 1,5$ mise en œuvre agressive (graves, concassés ou absence de données)
- Le non-tissé assure la protection des câbles contre l'endommagement à la mise en œuvre. Compte tenu de cela, quelque soit le matériau, il est considéré une mise en œuvre non agressive. Pour un ouvrage permanent, le coefficient de sécurité global retenu sur la résistance à traction est de :
- $\gamma = 3,3$ non-tissé renforcé par câbles de polyester
 - $\gamma = 6,6$ non-tissé renforcé par câbles de polypropylène

4.3. Compatibilité avec le pH

Le non-tissé renforcé par câbles de polyester convient pour les sols dont le pH est compris entre 5 et 9. Dans des milieux acides ou basiques, il y a un risque d'hydrolyse du polyester. Le non-tissé renforcé par des câbles en polypropylène, convient à tous types de milieu et notamment aux pH basiques, cas des sols traités par des liants hydrauliques.

5. Mise en œuvre

5.1. Déchargement et stockage des éléments

Les écailles de poids unitaire 800kg maximum sont transportées et stockées à plat, des bois de calage interposés entre elles interdisent de plier les étriers en attente. Le géosynthétique est livré en rouleau filmé afin de le protéger.

5.2. Montage des écailles, du géosynthétique et des joints

Les écailles en béton armé sont assemblées entre elles par un système de liaisonnement constitué de tubes en PeHD assurant une courte articulation des éléments entre eux. Chaque écaille est liée à deux niveaux de nappes de renfort par géosynthétique.

La première rangée de panneaux préfabriqués est posée sur un tube guide en PeHD réglé horizontalement sur une longrine en béton. Cette rangée est réglée et contreventée (figure 7) à l'aide d'étais tirant-poussant pour garantir sa verticalité. Les rangées suivantes sont guidées par les tubes en PeHD et fixées par des serre-joints sur les rangées inférieure (figure 8) au fur et à mesure de la réalisation du remblai (figure 9).

Le compactage du remblai est réalisé à l'aide d'une plaque vibrante le long du parement béton (entre 0 et 1,5m) (figure 10) et à l'aide d'un compacteur double bille en partie courante conformément au GTR 92.

L'épaisseur des couches (généralement 25cm) est fixée par la nature du matériau et l'écartement entre nappes d'armatures.

Le géosynthétique utilisé est livré en bandes prédécoupées de 1,20m de large ou découpé à largeur sur site. Il est accroché aux panneaux par enfilage d'une barre en acier galvanisé. Il est ensuite déroulé et mis en tension manuellement puis maintenu tendu par des fiches (fers à béton en épingle) (figure 11). Cette opération a pour but d'assurer un bon positionnement de la nappe de géosynthétique et non de créer un effort de traction.



Figure 7. Contreventement des écaïlles.

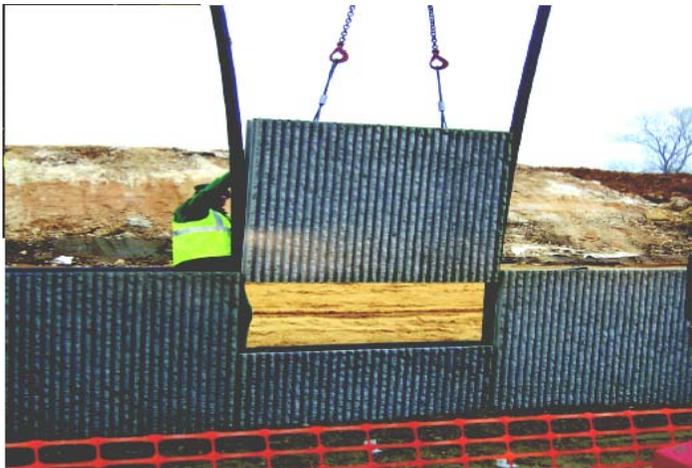


Figure 1 : assemblage des écaïlles



Figure 2 : fixation par serre-joints

5.3. Vérifications et contrôles

Tout au long du montage du mur, les contrôles et vérifications suivants sont effectués :

- provenance et caractéristiques géométriques des fournitures et matériaux,
- compacité du remblai mis en œuvre,
- implantation des semelles et des murs,
- verticalité du mur à l'avancement,
- évacuation des eaux superficielles par pendage,
- respect des tolérances,
- aspect des parements.



Figure 3. Compactage



Figure 4. Mise en place du géosynthétique

6. Références bibliographiques

SETRA, LCPC, septembre 1992 *Guide technique "Réalisation des remblais et couches de forme"*

BNSR, Géotextiles et produits apparentés, 2002, *Avant projet de norme expérimentale XP G 38064, Dimensionnement des massifs en sol renforcé par géosynthétiques*

AFNOR, Norme NF P 94-220, juin 1998, *Ouvrages renforcés par armatures ou nappes peu extensibles et souples*

AFNOR, Norme NF EN 10390, Novembre 1994, *Mesure du PH des sols*

CCTG, Fascicule 62 titre V, *Règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de génie civil*