

CHAPITRE I

SOUTENEMENT EN SOLS RENFORCES

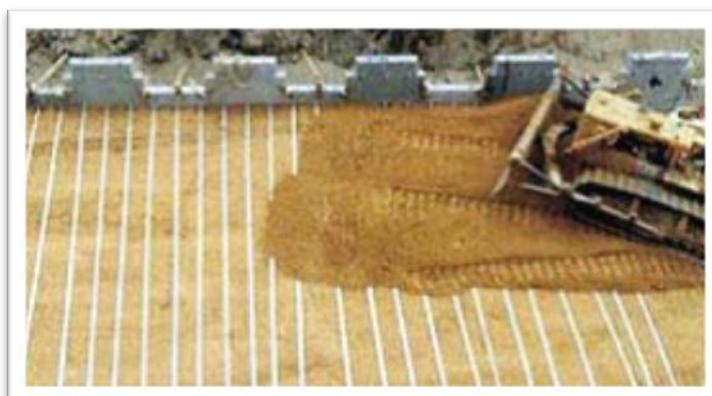
II.1. Soutènement en terre armé

II.1.1. Définition

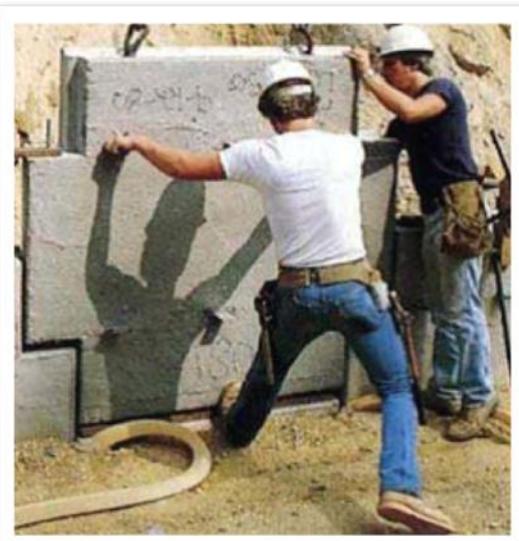
A l'instar du béton armé, la terre armée est un massif de terre dans lequel on a disposé à intervalles réguliers, et selon un plan de pose bien défini, des armatures métalliques plates permettant à ce nouveau matériau composite de résister aux efforts de traction, donc de pouvoir tenir verticalement.

Ce dispositif est complété par une « peau » qui n'est qu'un parement très léger destiné à protéger la surface de l'érosion mais qui n'est en aucun cas, et malgré les apparences, un soutènement. Cette peau est souvent constituée d'écailles préfabriquées en béton sur lesquelles les architectes apportent un effet décoratif. Cette invention française a des applications dans le monde entier et notamment aux USA.

Depuis quelques années d'autres procédés similaires concurrencent cette marque.



Pose des armatures longitudinales dans le remblai



Pose de la "peau"



Remblai en terre armée terminé

Figure 1. Constitution d'un mur en terre armée

L'étude du dimensionnement d'un mur de soutènement en Terre Armée comporte deux parties :

- le dimensionnement interne, spécifique au matériau Terre Armée, qui comporte notamment le dimensionnement des lits d'armatures ;
- le dimensionnement externe, reposant sur les mêmes principes que le dimensionnement des murs poids en maçonnerie ou en béton.

On donne ci-après quelques indications sur le dimensionnement interne.

II.1.2. Fonctionnement de la Terre Armée

Des expérimentations sur ouvrages réels et des modélisations numériques ont permis d'expliquer le mécanisme de fonctionnement d'un massif en Terre Armée, en précisant la répartition des efforts de traction le long des armatures, (Voir figure 02).

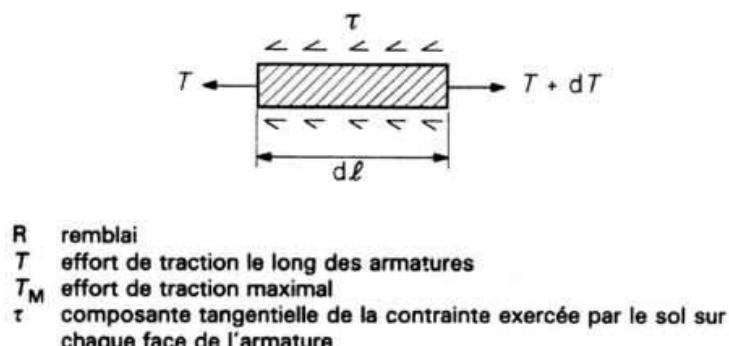
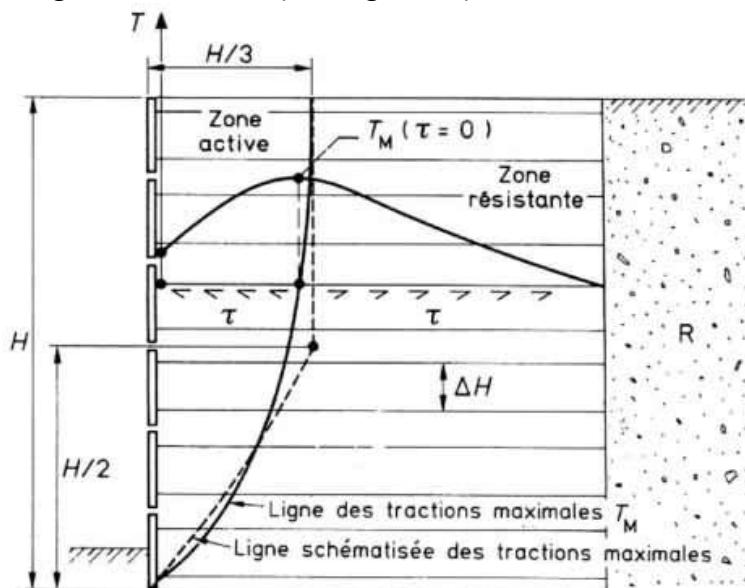


Figure 02 – Répartition des tractions dans les armatures d'un mur en Terre Armée

On constate que :

- l'effort de traction présente un maximum T_M qui n'est pas à l'aplomb du parement ; la peau joue donc mécaniquement un rôle beaucoup moins important que les armatures, son action est locale ;
- les points de traction maximale sont situés sur une courbe assez proche du parement et verticale en tête ;
- la composante tangentielle de la contrainte exercée par le sol sur chaque face de l'armature étant égale à :

$$\tau = \frac{dT}{dl} \cdot \frac{1}{2b}$$

Avec b : largeur de l'armature,
 l : abscisse sur l'armature,
 T : effort de traction dans l'armature,

Les points de traction maximale permettent de séparer deux zones dans le massif :

- une première zone située près du parement, dans laquelle, la contrainte tangentielle étant dirigée vers le parement, la terre a tendance à entraîner les armatures : c'est la zone active
- une seconde zone dans laquelle, la contrainte tangentielle étant dirigée vers l'intérieur, le sol a tendance à retenir les armatures : c'est la zone résistante.

C'est en assurant une liaison mécanique entre zone active et zone résistante que les armatures permettent au mur en Terre Armée de fonctionner.

Le phénomène essentiel dans la Terre Armée est le frottement entre le sol et l'armature. Celui-ci doit avoir une valeur suffisante, ce qui impose l'utilisation d'un remblai frottant (c'est-à-dire ne contenant pas plus de 15 % en poids d'éléments inférieurs à 15 µm).

II.1.3. Principes du dimensionnement interne des ouvrages en Terre Armée

Le calcul des armatures, à placer de façon régulièrement espacée en hauteur ($\Delta H = 37,5$ cm), repose sur la considération de la ligne des tractions maximales. Deux critères sont utilisés, qui correspondent chacun à un mode de rupture de ces murs :

- la rupture par cassure des armatures ;
- la rupture par manque de frottement dans la zone résistante, dite rupture par défaut d'adhérence.

On écrit d'une part que la traction maximale T_M est inférieure ou égale à la résistance en traction de l'armature, d'autre part qu'elle est inférieure ou égale à la résistance au frottement de l'armature dans la zone résistante, soit :

Avec :

F_1 et F_2	Coefficients de sécurité,
σ_r	Contrainte de résistance en traction de l'armature,
b et e	Largeur et épaisseur de l'armature,
l_a	La longueur de l'armature dans la zone résistante,
σ_V	Contrainte verticale de pression des terres,
μ^*	Coefficient de frottement apparent entre le sol et l'armature.

La traction maximale T_M dans chaque armature est calculée à partir de la contrainte verticale $\sigma_v(z)$ s'exerçant à la profondeur z par la formule :

$$T_M = \frac{1}{n} K \sigma_v \cdot \Delta H$$

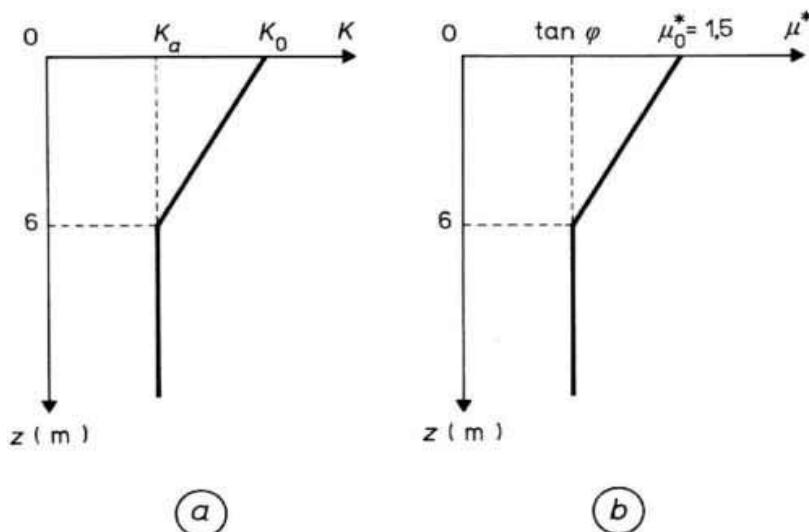
Avec :

- n** nombre d'armatures par mètre linéaire dans le lit d'armatures considéré,
- ΔH** espacement constant entre deux lits d'armatures,
- K** coefficient semi-expérimental variant de K_0 en tête des murs jusqu'à K_a dans le bas comme indiqué à la figure 03a.

La contrainte verticale σ_v est calculée en tenant compte de la force de poussée exercée à l'arrière du mur en Terre Armée. C'est la répartition de Meyerhof qui est la plus fréquemment utilisée.

Le coefficient de frottement apparent μ^* est sensiblement différent du coefficient de frottement réel μ dont la valeur maximale est $\tan\phi$. Il intègre en effet l'aspect tridimensionnel du frottement sol-armature et le fait que la contrainte normale σ qui s'exerce sur l'armature peut varier fortement avec l'augmentation de la contrainte de cisaillement.

Il en résulte que le coefficient μ^* diminue généralement avec la profondeur et, dans le cas des armatures nervurées classiquement utilisées dans la technique de la Terre Armée, cette variation est présentée à la figure 03b.



*Figure 03 – Variation, en fonction de la profondeur, du coefficient K et du coefficient de frottement apparent μ^**

Le coefficient de sécurité F_1 vis-à-vis de la rupture des armatures est implicitement déterminé en faisant travailler l'acier à sa limite élastique. On adopte, par ailleurs, vis-à-vis de la rupture par défaut d'adhérence un coefficient de sécurité égal à 2.

II.1.4. Avantages et limitations de la Terre Armée

Les avantages de la technique de la Terre Armée sont les suivantes :

- rapidité d'exécution ;
- murs souples pouvant supporter sans dommage des tassements différentiels importants ;
- construction ne nécessitant qu'un matériel très léger ;
- coût compétitif.

La principale limitation à l'utilisation de cette technique est la qualité du remblai, qui doit être frottant.

CHAPITRE II

Murs en sols renforcés par des armatures souples et extensibles (géotextile et géogrilles).

IV.1. Définition et nature

IV.1.1 Définition

On rappellera que les géosynthétiques sont des matériaux manufacturés en forme de nappe, à base de polymères, utilisés dans les applications de la géotechnique et du génie civil, et assurant l'une ou plusieurs des fonctions définies ci-après. Ils se subdivisent en six familles :

— **Géomembrane** (définition AFNOR NF P84-500)

Produit adapté au génie civil, mince, souple, continu, étanche aux liquides même sous les sollicitations de service. Dans l'état actuel des techniques, ni les produits de faible épaisseur fonctionnelle (< 1 mm), ni les produits dont l'étanchéité est assurée uniquement par un matériau argileux, ne sont considérés comme des géomembranes.

— **Géotextile**

Matériau perméable, qui peut être tissé, non tissé ou tricoté, utilisé dans les applications de la géotechnique et du génie civil.

— **Géogrille**

Structure plane constituée par un réseau ouvert d'éléments résistant à la traction, reliés entre eux selon un motif régulier, et utilisée dans le domaine de la géotechnique et du génie civil.

— **Géospaceur**

Structure polymère tridimensionnelle utilisée dans les applications de la géotechnique et du génie civil, permettant de maintenir l'espace entre deux matériaux, notamment en vue d'un drainage.

— **Géoconteneur**

Structure tridimensionnelle permettant le confinement, la stabilité et le renforcement d'un matériau de remplissage.

— **Géocomposite**

Matériau composite comprenant au moins l'un des géosynthétiques suivants :

- géomembrane ;
- géotextile ;
- géospaceur ;
- géogrille ;
- géoconteneur.

Pour des raisons pratiques, notamment liées à des procédures d'essai ou à des méthodes de caractérisation identiques, on est amené à regrouper ces géosynthétiques en deux groupes :

- les **géotextiles et produits apparentés**, qui ont pour caractéristique commune d'être perméables aux fluides ou dont l'étanchéité n'est pas la fonction principale : géotextiles, géogrilles, géospaceurs, géoconteneurs, certains géocomposites ;
- les **géomembranes et produits apparentés**, dont la fonction principale est l'étanchéité aux fluides : géomembranes, géocomposites bentonitiques...

IV.1.2 Fonction et nature

La fonction des géomembranes est d'assurer une étanchéité que les conditions naturelles d'un site ne présentent pas, ou que doit comporter un ouvrage à réaliser.

Ce peut être, dans le premier cas, un bassin de réception d'un effluent de nature quelconque ou une décharge de déchets, dans le second cas, un barrage, un canal en remblai, un tunnel ou une canalisation.

Les géomembranes présentent l'avantage d'une grande minceur (1 à 6 mm). On doit néanmoins, à cause de cette minceur, les protéger. Elles sont donc associées à une couche support en dessous et reçoivent une protection au-dessus. On parle alors, pour l'ensemble, de Dispositif d'Etanchéité par Géosynthétique (DEG). À la fonction étanchéité on doit souvent, par sécurité et complément dans la conception de la barrière, associer une fonction drainage. Celle-ci sera constituée de géosynthétiques. On conçoit ainsi des Dispositifs de Drainage par Géosynthétique (DDG), de faible épaisseur et de structure identique à la barrière d'étanchéité, par la similitude de la nature des matériaux mis en œuvre. Mais on peut, en utilisant des matériaux naturels et des géosynthétiques, concevoir des DDG de forte épaisseur.

Tableau 2 - Quelques propriétés mécaniques des géomembranes

Propriétés	Type			
	Membrane bitumineuse	PEhd	PEbd	Géocomposite
Épaisseur..... (mm)	3 à 6	1 à 3	0,5 à 2,5	< 10
Masse volumique..... (g/cm ³)	3 à 5 kg/m ²	0,94	0,89	-
Perméabilité K..... (m/s)	< 10 ⁻¹²	10 ⁻¹⁴	10 ⁻¹⁴	< 10 ⁻¹²
Angle de frottement..... (°)	variable avec support 27° sur du sable	variable avec support 18° sur du sable	variable avec support 18° sur du sable	variable avec support 9° à 26° sur du sable
Résistance à la rupture	14 à 32kN/m	24 à 36 N/mm ²	24 N/mm ²	14 à 27 kN/m
Allongement..... (%)	35 à 50	600 à 800	900	15 à 140
Limite élastique	Sans objet	10 N/mm ²	15 N/mm ²	
Allongement..... (%)		15	20	Sans objet
Résistance à la déchirure amorcée.....	-	100 à 430 N	30 à 180 N	-
Poinçonnement.....	230 à 400 N	30 à 150 N	170 à 400 N	-
Résistance à fissuration sous contrainte.....	-	1500 h	1500 h	-

Utilisation des geotextiles pour le renforcement des murs de soutènement et talus :

L'utilisation des géotextiles comme renforcement a connu un essor considérable en partie grâce à des techniques de mise en place simples et peu onéreuses. La nature et les caractéristiques du produit, surtout sa grande déformabilité, lui permettent de s'adapter à des déformations relativement

importantes sans se rompre. Sa grande surface de contact avec le sol garantit une bonne liaison et donc un bon renforcement.

PRINCIPE DE RENFORCEMENT PAR GEOSYNTHETIQUE

le géotextile améliore la résistance du sol au cisaillement de deux manières : d'une part en réduisant les efforts entraînant la rupture et d'autre part en augmentant les efforts de résistance à la rupture (augmentation des contraintes verticales).

Un géosynthétique utilisé comme renfort présente des différences importantes et une double particularité comparativement aux armatures métalliques :

- le géotextile est extensible et utilisé en nappes continues,
- le géotextile est très souple (flexion - cisaillement).

Technologie et procédés de renforcement des murs par géotextiles

Les ouvrages de soutènement renforcés par géosynthétiques se distinguent entre eux par la technique de réalisation employée et le type de parement utilisé. Ils sont construits avec des matériaux divers mis en place par couches successives. Dans les ouvrages de soutènement renforcés par géosynthétique, ce dernier forme avec le sol un nouveau matériau qui possède une meilleure résistance à la traction et une capacité de déformation sans se rompre relativement importante.

Murs renforcés à face enveloppée

C'est le type de murs le plus courant. Le remblai est renforcé par des nappes de géotextiles ou de géogrilles, formant également la face du mur. La protection des géotextiles contre les rayons U.V. de la face du mur est assurée par des couvertures spéciales, des parements construits devant la face enveloppée ou par des terres végétalisables.

Murs avec des géotextiles fixes à un parement

Le revêtement vertical ou quasi vertical de la face est fixé aux géotextiles, cependant il ne joue pas le rôle principal de soutènement. Ce dernier est assuré par les nappes de géotextiles. Plusieurs solutions étaient envisageables : parement en géotextile, parement pneus, parement en treillis métalliques végétalisables, etc.

Utilisation des géosynthétiques dans les infrastructures routières

L'accumulation de l'eau dans les ouvrages et/ou au voisinage des ouvrages est une source d'instabilité et de rupture.

Le drainage est donc un élément important dans la stabilité des ouvrages et leur durée de vie utile.

Le drainage est l'ensemble des opérations artificielles d'évacuation de l'eau présente dans le sol et dans les chaussées. Traditionnellement, les systèmes de drainage sont conçus avec des matériaux granulaires (grave et sable). Avec l'avènement des géosynthétiques, les techniques traditionnelles sont remplacées par des géotextiles et des géocomposites.

Les géosynthétiques sont couramment utilisés depuis les années 1970 dans les systèmes de drainage et de filtration des ouvrages de génie civil et de géotechnique.

CHAPITRE III

TIRANTS D'ANCRAGES

III.1. Historique

Les tirants d'ancrages sont utilisés depuis forts longtemps dans le domaine des travaux publics, leur principal emploi consistant à assurer la stabilité des murs de quais en palplanches. Initialement, ces tirants étaient constitués par de simples barres en aciers ancrées au terrain au moyen de plaques métalliques.

L'emploi d'aciers à haute limite élastique (aciers de précontrainte), a permis d'augmenter considérablement la force portante des tirants, cependant qu'étaient mis au points des procédés d'ancrages autres que les plaques métalliques, par exemple les scellements dans un trou foré.

Au début, ces scellements étaient effectués uniquement dans les roches : c'est ainsi que la première réalisation de tirants verticaux précontraints date de 1933, en Algérie, au barrage de **Cheurfas**. Il s'agissait d'améliorer la stabilité précaire de ce barrage en ancrant sa paroi, par des tirants verticaux au rocher sous-jacent. C'est ainsi que trente-sept tirants précontraints de plus de 50 m de longueur totale, la plupart de 1000 t (six cent trente fils parallèles en acier galvanisé à haute limite élastique de 5 mm de diamètre) furent scellés dans le grés sur les conseils d'**André Coyne**.

III.2. Définition des tirants d'ancrages

On appelle tirants d'ancrage tout dispositif tendu servant à assurer la stabilité d'un ouvrage auquel il est fixé à une extrémité, l'autre extrémité étant ancrée dans le terrain. Ce terrain peut être soit rocheux (ancrage au rocher), soit meuble.

Le tirant peut être constitué :

- par des barres en acier ordinaire ou en acier à haute limite élastique
- par des câbles toronnés en acier du type acier de précontrainte
- par des pieux tendus (en béton armé ou en métal) terminés ou non par un dispositif spécial d'ancrage au sol.

III.3. Classification des tirants d'ancrages

Plusieurs classifications sont possibles pour les tirants d'ancrages :

1. **Classification en fonction de la durée du tirant** : on peut distinguer :
 - les tirants provisoires, qui n'ont qu'un rôle temporaire et deviennent inutile au-delà d'un certain degré d'avancement des travaux. Comme l'utilisation la plus courante des tirants provisoires, on peut citer le maintien des parois bordant les fouilles de grande profondeur. Les tirants cessent de remplir leur rôle dès sont bétonnés les planchers.
 - Les tirants définitifs continueront à assumer leur rôle pendant toute la durée de vie de l'ouvrage. Dans cette catégorie, on rencontre les tirants qui ancrent les radiers en cas de sous pressions accidentelles provoquées par les crues, ainsi que les tirants qui maintiennent les murs de soutènement.
2. **Classification en fonction du rôle assumé par le tirant** : on peut distinguer :
 - les tirants légèrement inclinés sur l'horizontale : ces tirants soutiennent une paroi généralement verticale (figure 01). Ils peuvent être provisoires ou définitifs.

- Les tirants verticaux ; ils ancrent un radier (figure 02.a), un mur de soutènement ou un barrage (figure 02.b), et constituent souvent une solution de renforcement en cas de surélévation de ces ouvrages.

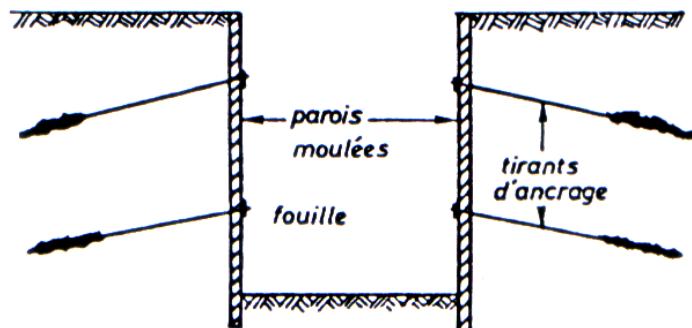


Figure 01 : Tirants maintenant une paroi verticale

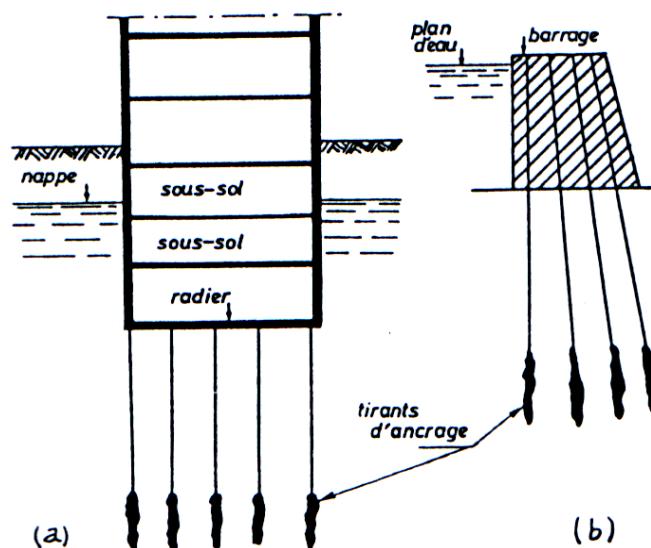


Figure 02 : Tirants verticaux ou quasi verticaux

III.4. Définitions concernant la constitution des tirants d'ancrages

Un tirant d'ancrage comporte normalement :

- une armature, constituée par une barre ou un câble à haute limite élastique. Cette armature est mise en place à l'intérieur d'un trou foré dans le sol.
- Un bulbe d'ancrage de sol. Ce bulbe est obtenu en injectant sous pression un coulis ou un mortier de scellement autour de l'extrémité de l'armature.

Remarque : il existe deux types de tirants :

- ceux dans lesquels l'armature est scellée directement dans le sol ;
- ceux dans lesquels l'armature est scellée dans une gaine elle-même scellée directement dans le sol.

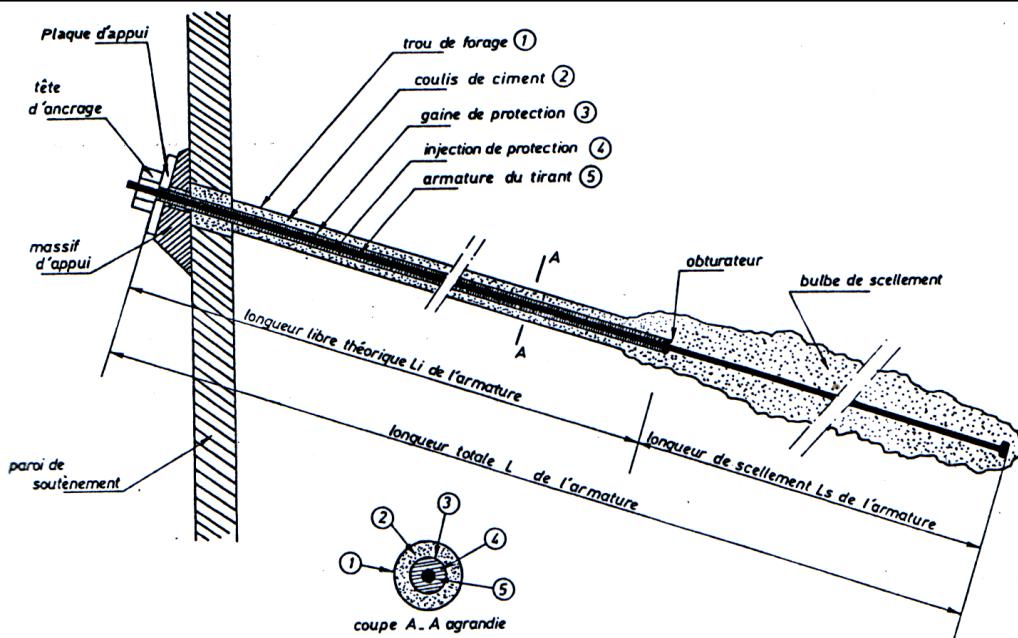


Figure 03 : Schéma de principe d'un tirant à armature scellée directement dans le sol

Pour éviter que le coulis du scellement ne remonte dans le trou de forage et ne vienne sceller l'armature au sol ; il est prévu un dispositif appelé obturateur ou bouchon :

- à l'autre extrémité de l'armature, une tête d'ancrage, à laquelle sont appliqués les efforts de traction lors de la mise en tension. Les efforts appliqués au tirant sont transmis à la paroi soutenue par l'intermédiaire d'une plaque d'appui reposant elle-même sur un massif d'appui.
- La partie de l'armature située entre le bulbe de scellement et la tête d'ancrage est, protégée contre la corrosion. Dans ce cas cette partie du tirant est mise en place à l'intérieur d'une gaine étanche, le vide entre la gaine et l'armature étant rempli d'un produit destiné à empêcher la corrosion.

III.7. Mise en œuvre des tirants

La mise en œuvre des tirants comporte les opérations ci-après :

- le forage du trou
- la mise en place de l'armature dans le trou de forage ;
- l'accrochage du tirant au sol

Et pour les tirants précontraints :

- la mise en tension
- la protection contre la corrosion

1) Forage du trou

Les procédés de forage du trou doivent être adaptés à la nature du terrain. Lorsque le terrain dans lequel s'effectue le forage n'est pas baigné par une nappe, on utilise pour le forage :

- soit un tubage revêtu, mis en place à l'avancement
- soit un forage non revêtu, mais exécuter à l'aide d'un fluide de perforation.

Ce fluide est choisi en fonction des caractéristiques du terrain, et peut être selon le cas : de l'air, de l'eau, de l'argile ciment, un coulis de ciment, une boue bentonitique.

Lorsque le forage est effectué dans une nappe phréatique, des précautions sont à prendre et qui peuvent selon le cas :

- à réaliser une pré injection du terrai ;
- à utiliser des fluides de perforation lourds (argile ciment par exemple)
- à faire en sorte que l'étanchéité de l'outil de forage soit assurée (sas, presse-étoupe, .etc)

2) Mise en place de l'armature dans le trou de forage

L'armature peut être mise en place directement dans le trou de forage ou à l'intérieur d'une gaine. Cette gaine peut parfois régner sur toute la longueur du tirant mise en place dans le trou de forage, le tirant en question est alors scellé à l'intérieur de la gaine, laquelle est scellée elle-même au terrain.

Lorsque le scellement du tirant s'effectue directement dans le terrain, la partie du tirant situé entre le scellement et la tête d'ancrage est mise en place dans le sol à l'intérieur d'une gaine étanche, généralement en matière plastique. Cette gaine est utilisée pour assurer la protection du tirant contre la corrosion.

3) L'accrochage du tirant au sol

Les premiers ancrages ont été réalisés en général par plaques, mais de plus en plus, pour les tirants de forte capacité, l'accrochage au sol s'effectue par scellement.

- Dispositifs de scellement

Hormis le cas des barres scellées au rocher, on évite pour les tirants de faible puissance, de compter uniquement sur l'adhérence pour transmettre au mortier ou coulis de scellement les efforts de traction de l'armature. C'est la raison pour laquelle :

- les barres peuvent comporter une tête emboutie ou même un simple écrou boulonné (figure 06)
- quand aux câbles, ils peuvent :
 - soit comporter, à l'extrémité à ancrer un culot mort
 - soit être détoronnés de façon à constituer un épanouissement de leur extrémité
 - soit comporter, sur chaque fil, une tête emboutie forgée à froid
 - soit avoir une section variable obtenue avec un système d'écarteurs et de ligatures (figure 07)

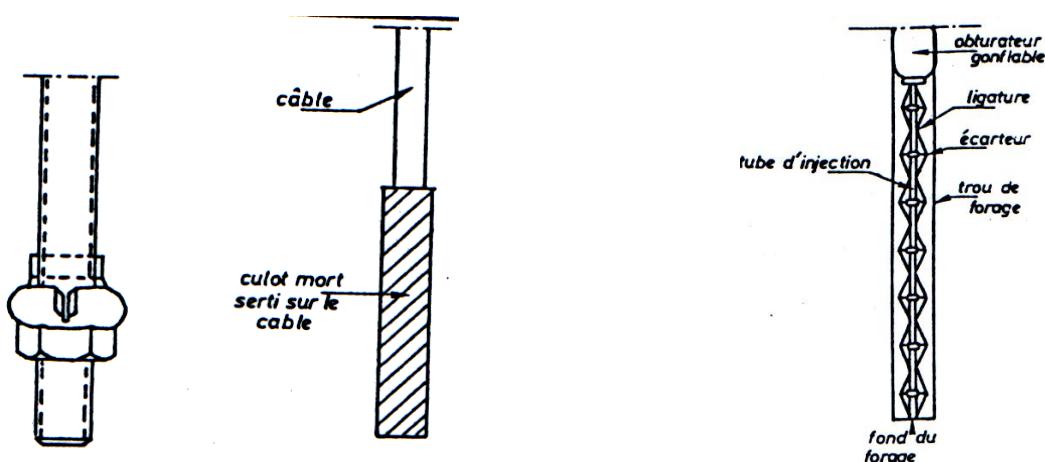


Figure 06 : Ecrou boulonné

Culot mort (type GTM)

Figure 07 : Ancre du tirant IRP (Solétanche)

CHAPITRE IV

LES MICROPIEUX

V.1. INTRODUCTION - DOMAINE D'EMPLOI

La technique des micropieux a été développée il y a une trentaine d'années : initialement, ils ont été utilisés en Italie sous l'appellation de pieux racines qui sont, des pieux forés de petit diamètre scellés au terrain par un mortier. Par la suite, sont apparus des micropieux injectés sous forte pression qui ont permis d'obtenir des portances plus élevées.

Pendant longtemps, cette technique n'a été employée que dans la reprise en sous œuvre de bâtiments ou d'ouvrages : la légèreté et le faible encombrement des matériels utilisés s'adaptaient particulièrement bien aux conditions d'intervention.

Par la suite, le domaine d'application de cette technique s'est élargi aux fondations d'ouvrages neufs dans certains cas de terrains difficiles ou contenant des obstacles durs divers tels que : anciennes fondations, blocs, couche dure, etc .., qu'il serait très onéreux de traverser en forage de grande section.

L'objet de ce chapitre est de présenter certains aspects de cette technique ; elle se limite à l'utilisation des micropieux dans le domaine des fondations. On peut cependant citer d'autres domaines d'utilisation des micropieux, tout-à-fait différents, tels que :

- le confortement des pentes : amélioration de stabilité des pentes par clouage,
- le renforcement des sols dans lequel le micropieus est associé au sol pour donner un matériau composite.

V.2. TECHNOLOGIE - MISE EN OEUVRE

V.2.1. Définition des micropieux

Le document technique unifié (D.T.U. 13.2.) de Juin 1973 relatif aux travaux de fondations profondes définit deux types de micropieux :

➤ **Le micropieux de type I**

C'est un pieu foré tubé de diamètre inférieur à 250 mm. Le forage est équipé ou non d'armatures et rempli d'un mortier au tube plongeur. Le tubage est ensuite obturé en tête et l'intérieur du tubage au-dessus du mortier mis sous pression. Le tubage est récupéré en maintenant la pression sur le mortier. Ce type de micropieux n'est pratiquement pas utilisé pour les ouvrages d'art.

Les "pieux racines" brevetés par FONDEDILE ont été les premiers micropieux de cette catégorie.

➤ **Le micropieux de type II**

C'est un pieu foré de diamètre inférieur à 250 mm. Le forage est équipé d'armatures et d'un système d'injection qui est le plus souvent un tube à manchettes mis en place dans un coulis de gaine. Si l'armature est un tube métallique, ce tube peut être équipé de manchettes et tenir lieu de système d'injection. Les caractéristiques mécaniques de l'ancrage sont améliorées par l'injection sous pression d'un coulis de scellement.

Les pieux **IM** (brevet SOLETANCHE), les pilotes composites (brevet SEFI), les pieux **TM** (brevet BACHY) font partie de cette catégorie.

Pour ce type de micropieux, la pression d'injection (et donc, en principe, la capacité portante obtenue) est généralement élevée (de l'ordre de la pression limite, en terrains meubles).

2.2. Dénomination suivant le type d'armature employé

La classification ci-dessus peut être étendue en fonction du type d'armature mis en place ; on distingue ainsi :

✓ Le micropieu à tube

L'armature est constituée par un tube en acier de diamètre, d'épaisseur et de qualité variables suivant la valeur des charges à reprendre (le tube acier constituant ou non le tube d'injection sous pression dans le cas de micropieu de type II) (Fig. 1).

✓ Le micropieu à barres

L'armature est constituée par une ou plusieurs barres groupées, en acier H.A. pour béton armé ou en acier de précontrainte (barres DYWIDAG). Dans le cas de micropieu de type II, le tube d'injection sous pression est intégré au faisceau de barres (Fig. 2).

TYPE TUBE

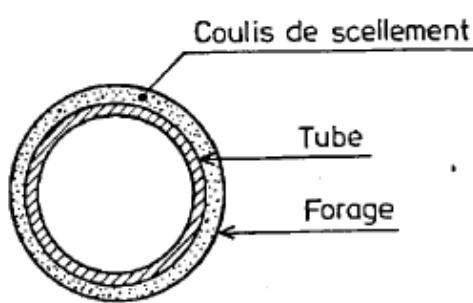


Figure 1 - Type "tube"

TYPE BARRE

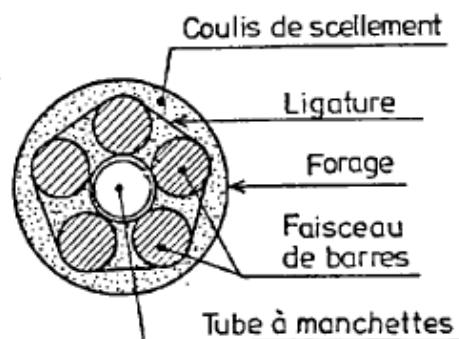


Figure 2 - Type "barres"

✓ Le micropieu à double armature

- A armature mixte : tube-barre, c'est le cas du pilot composite formé d'une barre centrale et d'un tube extérieur à manchettes.
- A tube avec adjonction d'un tube intérieur.

Les critères conduisant à choisir entre l'un ou l'autre de ces types sont d'ordres technique et économique. Les tubes épais qui offrent une inertie plus grande que les faisceaux de barres, conviennent mieux que ces derniers dans les terrains présentant des vides ou des sols de très mauvaise qualité pour lesquels il peut y avoir risque de flambement. Pour les ouvrages d'art, il est recommandé d'utiliser des tubes épais.

V.2.3. Mode de mise en place dans le terrain

Les principales phases de réalisation sont les suivantes :

2 .3 .1 . Réalisation du forage

Le forage est généralement réalisé à l'abri d'un tubage ; il peut être vertical ou incliné et d'un diamètre le plus souvent compris entre 100 et 200 mm.

Le forage peut être exécuté :

- Au marteau fond de trou dans les terrains à forte proportion rocheuse et hors d'eau.
- Au tricône, à l'eau ou à la boue de forage, dans la majorité des cas. La boue bentonitique utilisée est parfois additionnée de ciment (100 à 300 kg/m³) pour limiter des pertes et pour assurer une préinjection du terrain encaissant (avec une simple pression gravitaire).

Le tubage quant à lui semble être systématiquement utilisé lors de la perforation en terrain meuble. Certaines entreprises préfèrent le tubage définitif au tubage provisoire dont le retrait peut être source d'ennuis. Signalons d'ailleurs qu'un tubage définitif entraînant l'outil de perforation permet d'assurer une vitesse de perforation importante et d'éviter une forte décompression du terrain.

On peut cependant remarquer qu'un micropieu peut parfois être mis en place directement par battage, dans des terrains meubles ne contenant pas d'obstacles durs.