



Recommandations pour l'emploi des géotextiles dans le renforcement des ouvrages en terre

ÉDITION DE 1990

4

MISE EN OEUVRE

Commentaires:

Les éléments portés dans ce chapitre se rapportent expressément à la construction des massifs renforcés par nappes géotextiles. On n'y trouvera donc pas les règles applicables à l'ensemble des ouvrages en terre renforcés, telles que les dispositions de drainage à réaliser, la préparation et l'assainissement des fouilles, la protection contre les eaux de ruissellement... qui relèvent de la géotechnique en général.

Cette prétension généralement manuelle a pour objet d'éviter la formation de plis au moment du déversement des matériaux de remblai, plis qui auraient pour effet de modifier sensiblement le couplage mécanique entre le sol et le géotextile par rapport à celui considéré dans les hypothèses de calcul.

Comme dans tout ouvrage en terre, le compactage accroît la résistance au cisaillement du matériau et donc la stabilité de l'ouvrage vis-à-vis des tassements et des ruptures par cisaillement. Toutefois, dans les ouvrages renforcés par nappes de géotextile le compactage peut par ailleurs participer de manière significative à une mise en prétension des nappes, condition déjà évoquée du bon couplage mécanique entre le sol et le géotextile.

Cette sujétion ne s'applique qu'aux massifs renforcés pour lesquels on a confiné le matériau situé à l'extrémité des couches côté parement, par retournement des nappes, ce qui a pour effet de laisser la partie retournée des nappes apparente sur la surface du talus.

1 - PRINCIPES GÉNÉRAUX

Les particularités et notamment le mode de fonctionnement des massifs renforcés par des nappes géotextiles impliquent de manière générale:

- a) Une mise en prétension des nappes au moment de leur recouvrement par les matériaux de remblai.
- b) Un compactage soigné du matériau de remblai et tout particulièrement à proximité du talus et du parement.
- c) La mise en oeuvre de dispositions constructives particulières permettant d'assurer le respect de la géométrie des talus avec celle définie dans les plans d'exécution.
- d) La protection et, si nécessaire, l'aménagement décoratif de la partie visible des nappes sur les talus par tout procédé approprié.

Les exigences de nivellement des plateformes sont du même ordre que celles admises pour le régalaage des couches élémentaires des remblais courants, soit environ ± 5 cm.

Pour les ouvrages relativement importants, il peut s'avérer très avantageux de faire réaliser par le producteur en atelier la découpe des nappes aux dimensions voulues ou, le cas échéant, de réaliser des panneaux pré-cousus de grandes dimensions.

Afin d'éviter toute erreur de sens de pose, il est recommandé d'assurer un fléchage du sens de travail du géotextile, en particulier pour les échantillons prédécoupés.

Ce cas se présente notamment pour des ouvrages linéaires (remblais routiers ou ferroviaires...).

2 - REGLES PRATIQUES DE MISE EN OEUVRE

Les principes généraux applicables à l'ensemble des massifs renforcés par nappes de géotextiles se traduisent en un certain nombre de règles pratiques de mise en oeuvre, dont les principales sont énoncées ci-après. Ces règles complètent celles déjà mentionnées dans le fascicule **Recommandations générales pour la réception et la mise en oeuvre des géotextiles**.

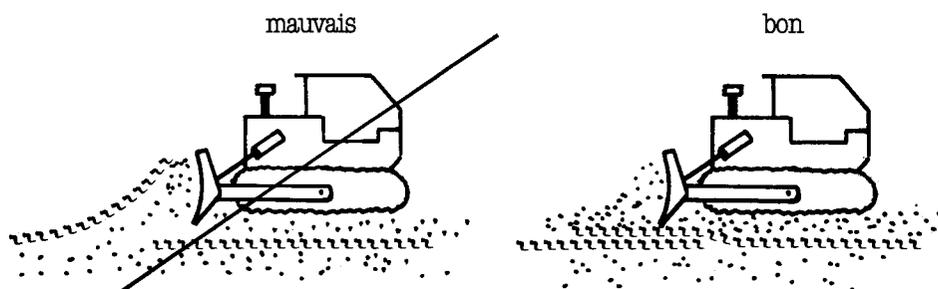
2.1 - Pose et raccordement des nappes

Les plates-formes recevant les nappes doivent être compactées, nivelées et débarrassées de tout élément susceptible d'endommager les nappes (par poinçonnement ou déchirure) lors de leur étalement, positionnement et prétension.

Les nappes sont étalées sur la plate-forme par déroulement des rouleaux, découpées à la longueur (ou éventuellement par déploiement de panneaux pré-cousus) en vérifiant systématiquement la conformité au plan de pose de la mise en place réelle. **Un soin particulier sera apporté à la vérification du sens de traction effective du géotextile, et à son accord avec le dimensionnement.**

Lorsque la géométrie du massif renforcé est telle que les tensions induites dans les nappes peuvent être considérées comme unidirectionnelles, le raccordement entre 2 nappes adjacentes disposées parallèlement à la direction des tensions peut se faire:

- par couture (réalisée directement sur le chantier),
- par recouvrement d'une nappe sur l'autre, sur au moins 0,30 m. Dans ce cas l'ordre du recouvrement dépend du sens du remblaiement et du régalaage (cf schéma). Dans le cas d'ouvrages susceptibles de subir des tassements importants, il conviendra de prévoir un liaisonnement des géotextiles par couture.



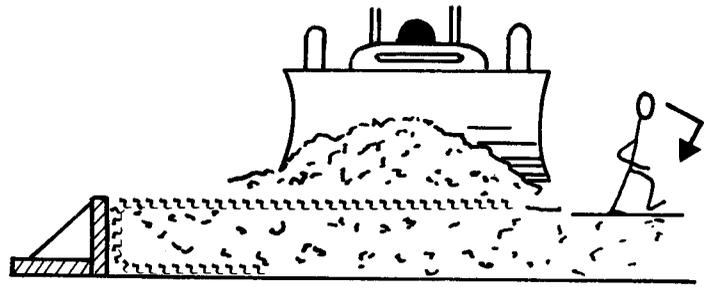
influence du sens de remblaiement
sur l'ordre de recouvrement des nappes.

Les valeurs des épaisseurs de régalinge permettant de garantir l'obtention de cette compacité dépendent de la nature et de l'état du matériau ainsi que de l'engin de compactage utilisé.

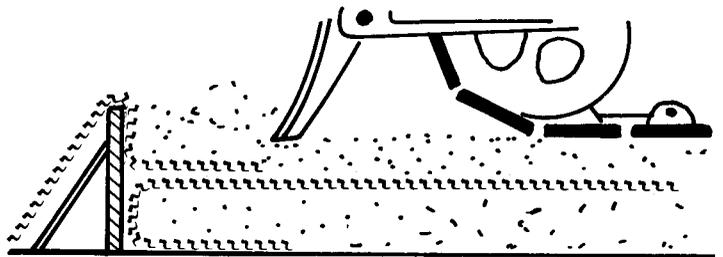
Les fascicules 2 et 3 de la Recommandation pour les Terrassements Routiers indiquent, pour chaque couple matériau-engin pouvant se présenter, les valeurs des épaisseurs de régalinge à respecter pour obtenir la compacité recherchée.

Le choix de l'épaisseur de régalinge égale à l'épaisseur entre les nappes est très favorable à une bonne organisation du chantier. Toutefois, ce choix ne sera pas toujours possible du fait des espacements entre nappes qui peuvent être importants ($> 0,5$ m) et de l'impossibilité d'utiliser des compacteurs lourds, compte tenu des dimensions relativement faibles des ouvrages. La valeur sous-multiple de l'épaisseur entre les nappes qu'il convient d'adopter doit, en plus du type de compacteur utilisé, tenir compte de la granularité du matériau de remblai.

A ce sujet, on rappelle qu'il n'est pas réaliste d'envisager une épaisseur de régalinge inférieure à 1,5 fois le D maxi du matériau de remblai.



c) blocage de la prétension manuelle par un cordon de matériau et progression de l'ouvrier vers le point de prétension suivant.



d) passage à la mise en œuvre de la couche suivante.

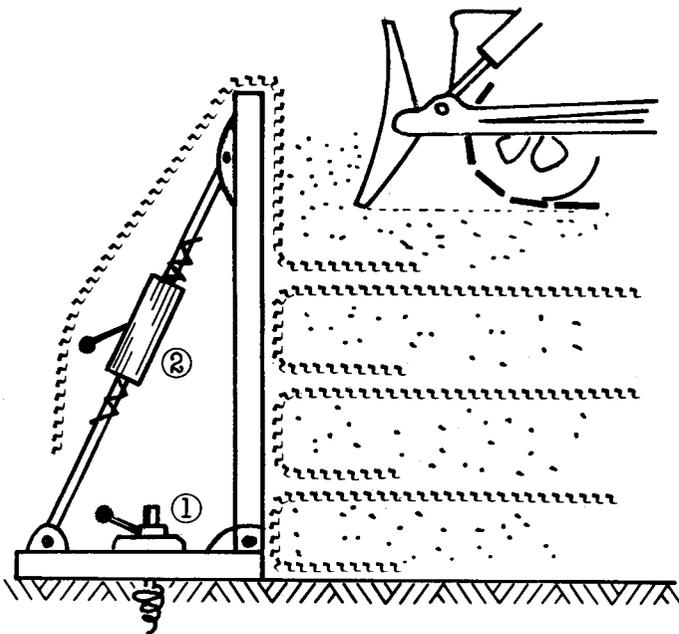
2.3 - Régalinge et compactage

L'épaisseur de mise en œuvre ou épaisseur de régalinge doit permettre l'obtention d'une compacité égale à celle exigée pour les remblais courants (remblais routiers par exemple) c'est-à-dire 95 % de la densité maximum Proctor Normal du matériau considéré.

Si l'épaisseur entre les nappes résultant du dimensionnement ne permet pas, compte tenu du matériau et du compacteur utilisés, de garantir la compacité exigée, il y a lieu :

- soit de revoir le choix de l'engin de compactage,
- soit d'adopter comme épaisseur de régalinge une valeur sous multiple de l'épaisseur inter-nappes qui satisfasse la condition d'obtention de la compacité avec le compacteur considéré.

Pour obtenir la compacité requise, il convient non seulement de respecter l'adéquation matériau-compacteur-épaisseur de régalinge comme développé précédemment, mais également de répartir uniformément sur toute la surface de la couche régalinge (y compris notamment sur les extrémités côté parement des couches) une certaine énergie de compactage exprimée par un nombre de passes du compacteur utilisé.



① dispositif d'ancrage du coffrage

② dispositif de réglage de la verticalité

Particularités du procédé

- Très bonne qualité géométrique initiale du talus
- Grande facilité de mise en œuvre
- Dispositif de coffrage d'un coût rapidement croissant avec la hauteur
- Nécessité d'avoir un sol de fondation de portance correcte et présentant une emprise suffisante.

En effet, dans ce cas le procédé décrit pour les ouvrages de faible hauteur n'est, en général, plus applicable car l'importance des poussées qui s'exercent alors sur les coffrages impliquent l'utilisation de dispositifs d'étais puissants et onéreux. Par ailleurs, les efforts transmis par les étais au sol de fondation peuvent rapidement poser un problème lorsque le massif est construit sur un sol de faible portance.

Particularités du procédé

- La référence géométrique assure simultanément:
 - ★ la construction du massif renforcé,
 - ★ la protection totale des parties visibles des nappes de renfort,
 - ★ le parement des talus: en effet, suivant la structure choisie pour la référence géométrique, une très grande diversité d'aspects esthétiques peut être obtenue: béton ordinaire, béton architectonique, bardages divers...
- Procédé exigeant une portance au moins moyenne du sol de fondation.

3.3 - Cas des massifs à talus vertical ou quasi-vertical

Pour ces ouvrages, il est recommandé d'utiliser un dispositif de coffrage rigide s'appuyant sur une base de référence géométrique stable pour encaisser la poussée exercée par le poids des terres et l'action des compacteurs sur une hauteur équivalente à au moins une épaisseur internappe du massif renforcé.

3.3.1 - Cas des massifs de faible hauteur (< à 2 m)

Le coffrage et la base géométrique peuvent être confondus dans un même dispositif. Il s'agit en fait d'étendre à des hauteurs allant jusqu'à 2 m le principe de la chaise d'appui développé en 3.2 b ci-avant (cf schéma ci-contre).

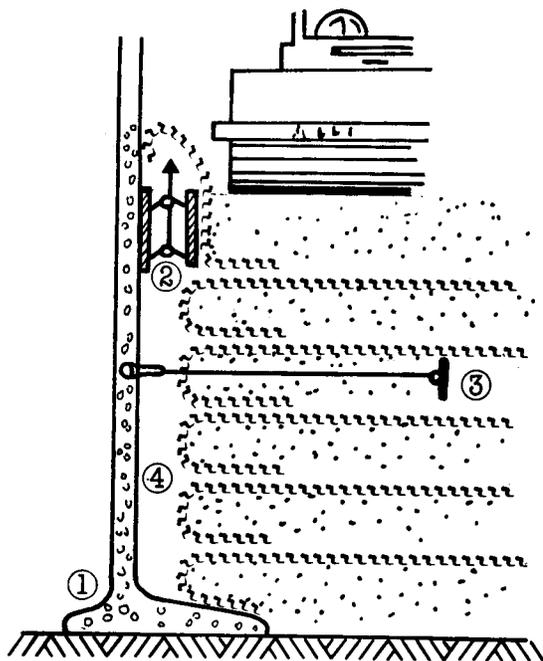
Au delà de 2 m de hauteur, ce procédé peut se révéler souvent mal adapté: éléments de coffrage trop volumineux engendrant des efforts sur le sol trop importants, coût prohibitif.

3.3.2 - Cas des massifs de hauteur supérieure à 2 m.

Pour ces ouvrages, il est souhaitable de dissocier la base d'appui et le dispositif de coffrage, de manière à minimiser les efforts auxquels elle est soumise durant la construction du massif renforcé.

Principalement deux types de procédés ont été développés dans ce sens:

a) Le premier procédé utilise une référence géométrique permanente (qui fera partie de l'ouvrage), constituée par un mur en béton armé préfabriqué ou autre matériau dimensionné pour résister seulement au moment fléchissant produit lors de la mise en œuvre de la couche inter-nappe la plus haute (éventuellement pour les ouvrages les plus élevés le moment fléchissant pourra être repris à mi, voire au tiers, de la hauteur par des tirants sangles... ancrés dans le massif renforcé).

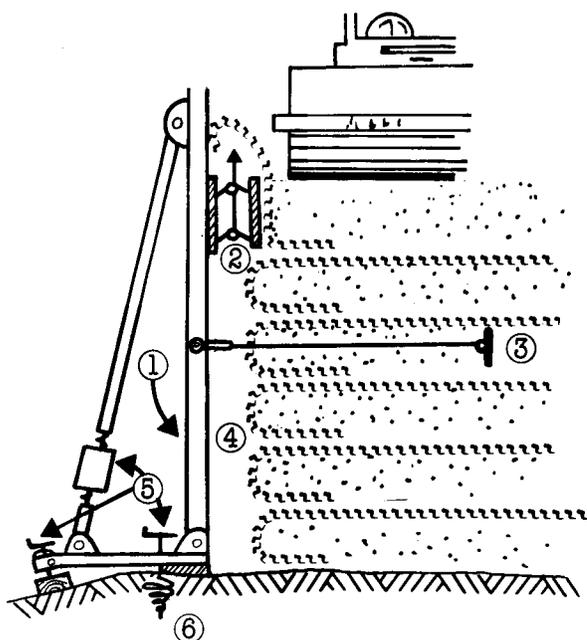


Procédé utilisant une référence fixe et un dispositif de coffrage rétractable.

- ① voile constituant la référence géométrique
- ② dispositif de coffrage rétractable
- ③ tirant ancré dans le massif (éventuel)
- ④ espace vide non comblé après construction

Particularités du procédé:

- Permet de construire des ouvrages à talus vertical et incliné jusqu'à $\text{tg}\beta = 3$.
- Peut être utilisé sur des sols de fondation de faible portance.
- Ne résout pas la protection de la partie visible des nappes ni, le cas échéant, le parement du talus.
- Investissement initial relativement élevé.



- ① mât inclinable constituant une référence géométrique
- ② dispositif de coffrage rétractable
- ③ tirant ancré dans le massif (éventuel)
- ④ espace vide non comblé après construction
- ⑤ réglages de positions ⑥ ancrage du mât

Le coffrage est quant à lui constitué de panneaux juxtaposés parallèlement au talus de la couche et qui viennent s'appuyer sur le mur constituant la référence géométrique.

Lorsque la mise en oeuvre d'une couche est terminée, un dispositif ad-hoc permet le recul (de plusieurs centimètres) du coffrage autorisant ainsi son dégagement et son repositionnement pour la mise en oeuvre de la couche suivante (cf schéma ci-contre).

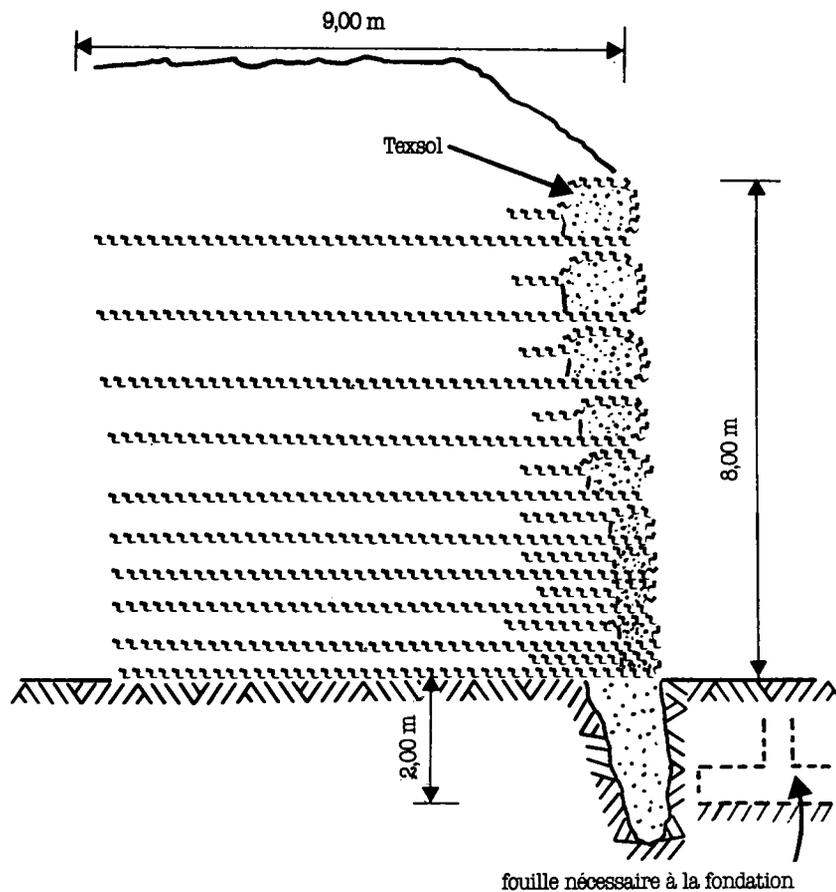
On conçoit également que ce type de coffrage peut avantageusement être utilisé dans le cas indiqué dans le chapitre 2 «**Domaine d'utilisation**» pour supprimer les poussées s'exerçant sur un mur de soutènement en péril.

b) Le second procédé reprend les principes du précédent mais en adoptant une référence géométrique amovible, destinée à être retirée après construction de l'ouvrage et réutilisée pour d'autres.

Le dispositif de coffrage associé à ce procédé est identique à celui décrit précédemment (cf schéma ci-contre).

TYPE D'OUVRAGE : Soutènement provisoire.
 LOCALITE : Thiais (1987)
 VOIE : Autoroute A 86

PROFIL EN TRAVERS TYPE



SOL DE REMBLAI

Limon

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$c' = 0$$

$$\phi' = 29^\circ$$

GEOTEXTILE

Tissé de polyester

$$\alpha_f = 200 \text{ kN/m}$$

$$\varepsilon_f = 8\%$$

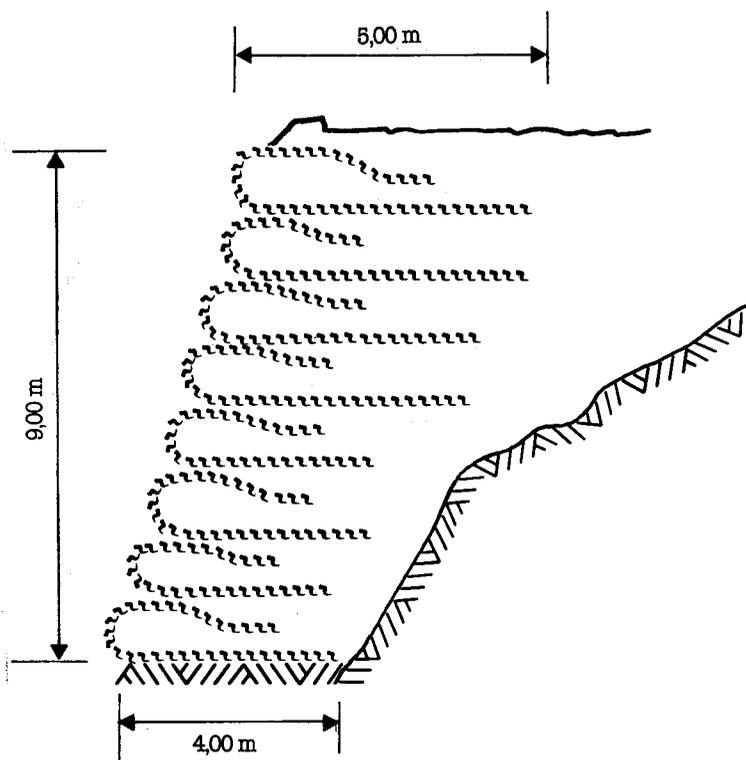
$$\alpha_{adm} = 40 \text{ kN/m}$$

$$J = 2000 \text{ kN/m}$$

$$\text{tg}\phi'_g / \text{tg}\phi' = 0,9$$

TYPE D'OUVRAGE : Soutènement définitif
 LOCALITE : Prapoutel, Isère (1977)
 VOIE : Parking

PROFIL EN TRAVERS TYPE



SOL DE REMBLAI

Tout venant

$$\gamma = 20,5 \text{ kN/m}^3$$

$$c' = 4 \text{ kPa}$$

$$\phi' = 36^\circ$$

GEOTEXTILE

Tissé de polyester

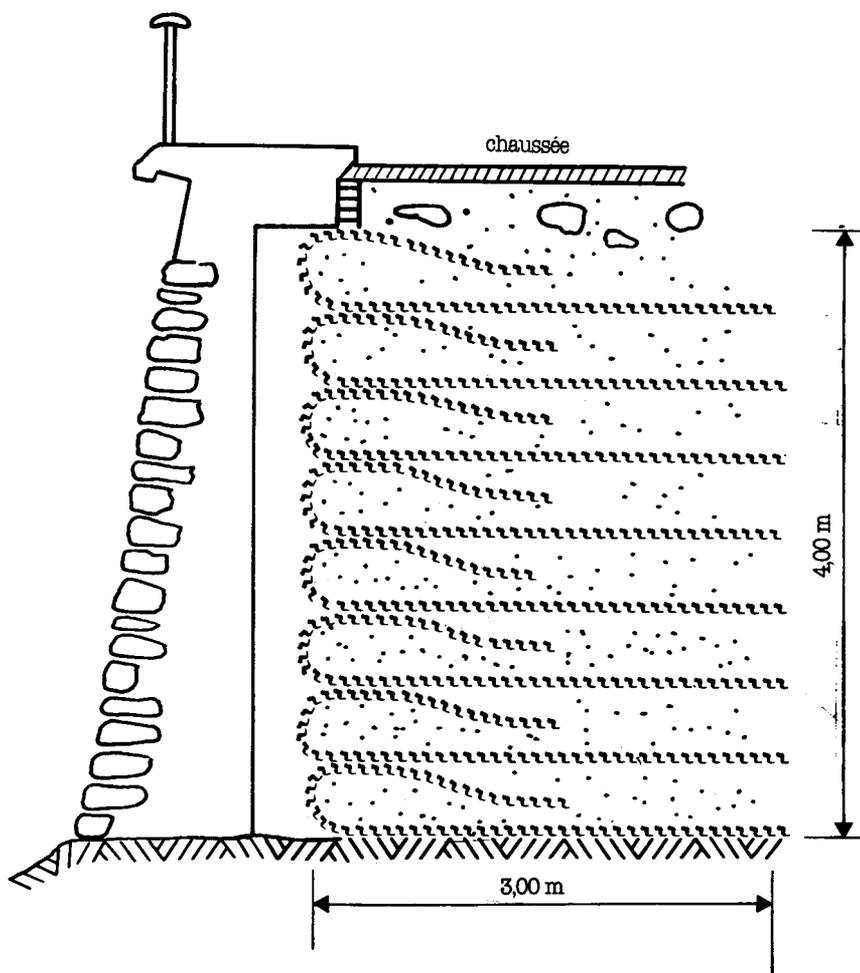
$$\alpha_f = 200 \text{ kN/m}$$

$$\epsilon_f = 8\%$$

$$\alpha_{adm} = 50 \text{ kN/m}$$

TYPE D'OUVRAGE : Soutènement définitif
 LOCALITE : Langres
 VOIE : RN 19

PROFIL EN TRAVERS TYPE



SOL DE REMBLAI

Calcaire concassé

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$c' = 0$$

$$\phi' = 45^\circ$$

GEOTEXTILE

Tissé de polypropylène

$$\alpha_f = 60 \text{ kN/m}$$

$$\varepsilon_f = 20\%$$

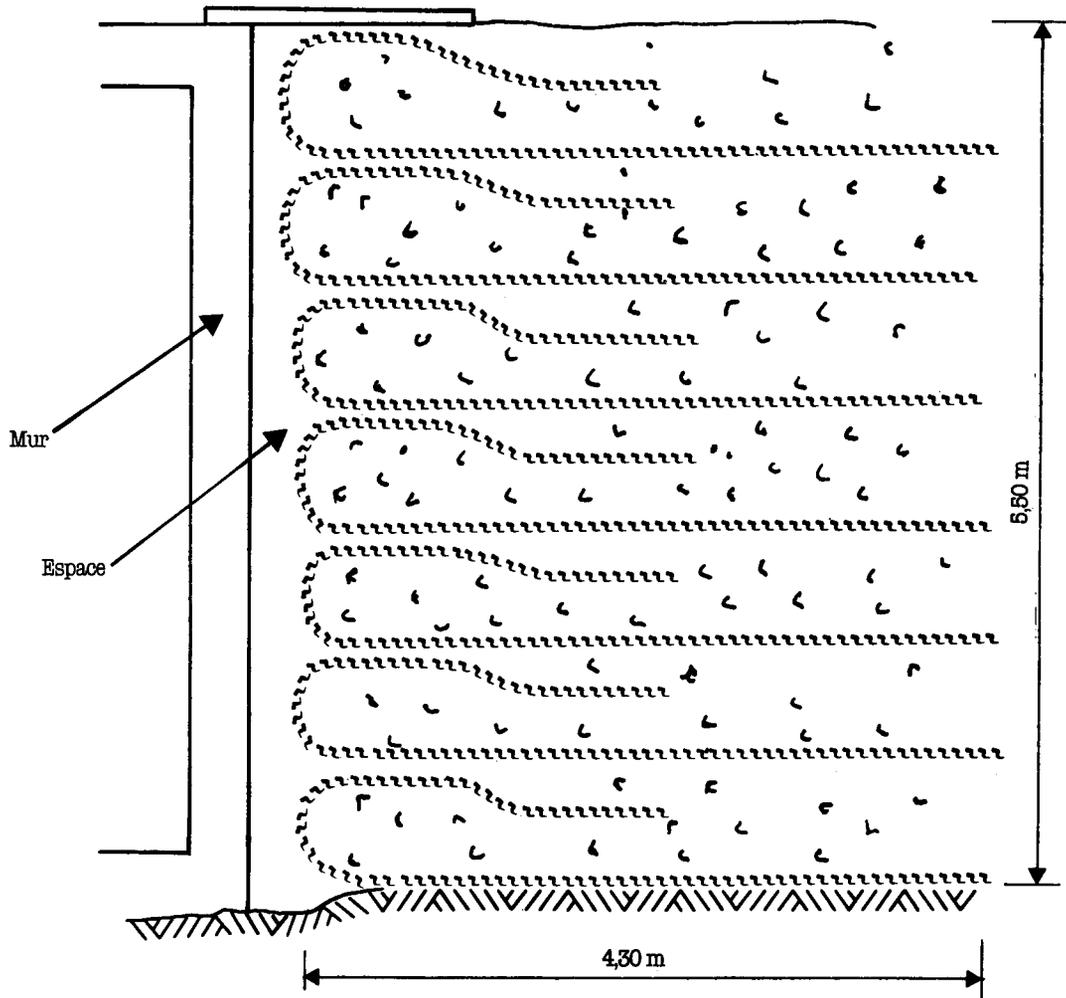
$$J = 400 \text{ kN/m}$$

$$\text{tg} \phi'_g / \text{tg} \phi' = 0,78$$

$$u_p = 0,02 \text{ m}$$

TYPE D'OUVRAGE : Soutènement définitif
 LOCALITE : Grenoble
 VOIE : C.H.U. (1986)

PROFIL EN TRAVERS TYPE



SOL DE REMBLAI

Grave

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$c' = 0$$

$$\phi' = 40^\circ$$

GEOTEXTILE

Tissé de polyester

$$\alpha_f = 215 \text{ kN/m}$$

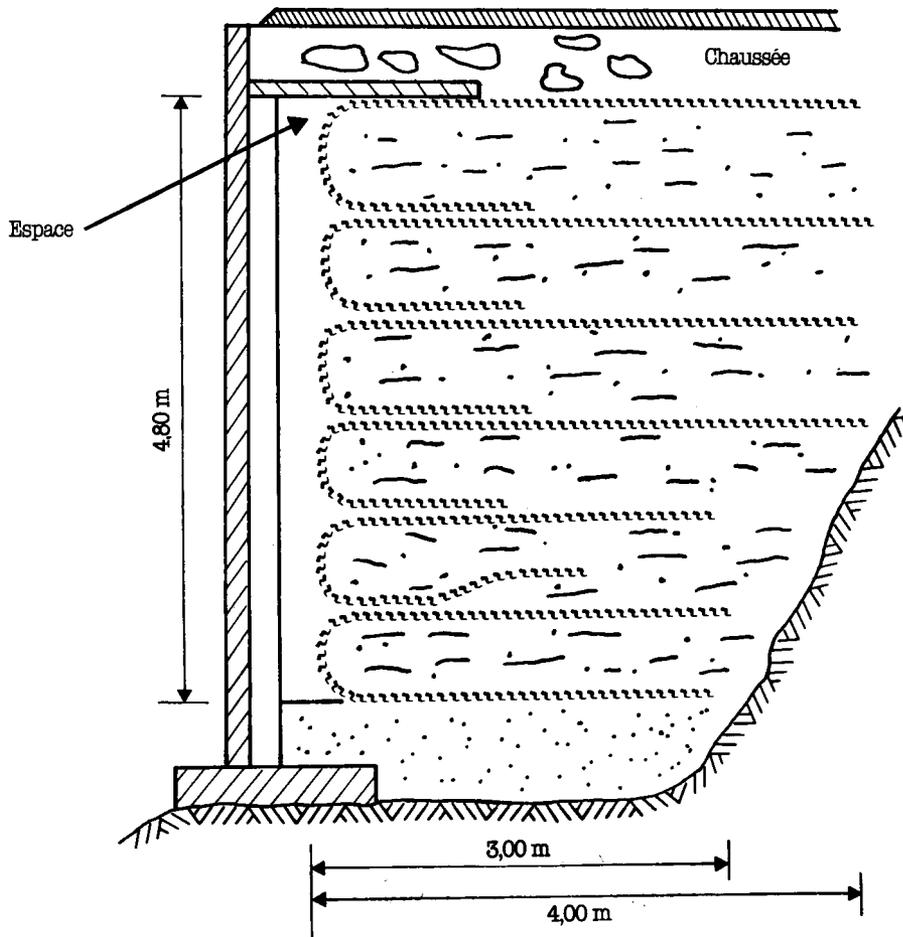
$$\varepsilon_f = 9\%$$

$$J = 2390 \text{ kN/m}$$

$$\text{tg} \phi'_g / \text{tg} \phi' = 0,7$$

TYPE D'OUVRAGE : Soutènement définitif
 LOCALITE : Hospice de France (1987)
 VOIE : CD 125 Haute-Garonne

PROFIL EN TRAVERS TYPE



SOL DE REMBLAI

Schiste

$$\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$$

$$c' = 0$$

$$\phi' = 35^\circ$$

GEOTEXTILE

Tissé de polyester

Sens de production

$$\alpha_f = 217 \text{ kN/m}$$

$$\varepsilon_f = 18\%$$

$$\alpha_{adm} = 40 \text{ kN/m}$$

$$J = 800 \text{ kN/m}$$

Sens travers

$$\alpha_f = 87 \text{ kN/m}$$

$$\varepsilon_f = 19\%$$

$$\alpha_{adm} = 16 \text{ kN/m}$$

Calcul

$$\text{tg}\phi'_g / \text{tg}\phi' = 0,79$$

$$u_p = 0,015 \text{ m}$$