



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

ÉDITION DE 1990

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

ÉDITION DE 1990

1 PRÉAMBULE ET OBJET DU DOCUMENT	1
2 DOMAINE D'UTILISATION	6
2.1 Des murs de soutènement à talus vertical ou quasi vertical	6
2.2 Des remblais de géométrie traditionnelle	8
2.3 Des radiers	8
3 LES MATÉRIAUX EN PRÉSENCE	10
3.1 Le sol de fondation (de l'ouvrage renforcé)	10
3.2 Les matériaux de remblai	10
3.3 Les géotextiles	12
3.3 Interactions sol - Géotextile	13
4 MISE EN OEUVRE	16
4.1 Principes généraux	16
4.2 Règles pratiques de mise en oeuvre	17
4.2.1 Pose et raccordements des nappes	17
4.2.2 Mise en prétension des nappes	18
4.2.3 Réglage et compactage	19
4.3 Principaux procédés permettant de garantir la bonne exécution des talus des ouvrages renforcés	24
4.3.1 Cas des massifs renforcés à talus peu incliné (pente inférieure à 1/1)	20
4.3.2 Cas des massifs à talus très incliné (pente comprise entre 1/1 et 1/4)	21
4.3.3 Cas des massifs à talus vertical ou quasi vertical	23
4.4 Technique de protection et de parement de la partie apparente des nappes de renfort	24
5 PRINCIPES DE DIMENSIONNEMENT	28
5.1 Stabilité externe	29
5.2 Stabilité interne	29
5.2.1 Comportement et équilibre global	30
5.2.2 Comportement local. Équilibre de la nappe de géotextile	31
5.3 Compatibilité des déformations	33
EXEMPLES RÉELS D'OUVRAGES RENFORCÉS PAR GÉOTEXTILES (Page 36 à 42) ...	35
6 SPÉCIFICATIONS ET CONTRÔLES	43
6.1 Spécifications	43
6.2 Agrément	44
6.3 Contrôles de réception	45
ANNEXES	50



**COMITÉ FRANÇAIS
DES GÉOTEXTILES
ET GÉOMEMBRANES**

Le Comité Français des
Géotextiles et Géomembranes
est une association à but
non lucratif (loi de 1901)
qui rassemble les organismes,
sociétés ou associations
s'intéressant aux géotextiles
et/ou aux géomembranes:
services publics,
établissements
d'enseignement et
de recherche, entreprises
de travaux publics et bureaux
d'études, producteurs
de géotextiles et/ou
géomembranes
et distributeurs, dans le but
de contribuer au développement
des géotextiles et des
géomembranes par l'échange
d'information et l'étude des
questions d'intérêt général
relatives à ces matériaux
et à leur emploi. Le siège
du Comité Français
des Géotextiles et Géomembranes
est à l'Institut Textile de
France, c/o ITF - 280 av. A. Briand
92220 Bagneux
Secrétariat: c/o ITF Lyon B.P. 60
69132 Ecully Cedex
Téléphone 78 33 34 55.
Télex 330 316
Fax 78 43 39 66

1990

Reproduction même partielle
strictement interdite.

**COMITÉ FRANÇAIS
DES GÉOTEXTILES
ET GÉOMEMBRANES**

Ont participé aux réunions de
rédaction de ce fascicule:

MM.

BASTICK

La Terre Armée

BERNHARD

Centre national du machinisme
agricole, du génie rural, des eaux et
des forêts

BLIVET

Laboratoire régional des ponts et
chaussées de Rouen

DELMAS

Laboratoire central des ponts et
chaussées

FAYOUX

Centre national du machinisme
agricole, du génie rural, des eaux et
des forêts

GIEULLES

Géoconcept

GOURC

Institut de recherches
interdisciplinaires de géologie et de
mécanique

HAIUN

Service d'études techniques des
routes et autoroutes

IMBERT

Société nationale des chemins de fer
français

JAILLOUX

Terre Armée internationale

JOUBERT

Service d'études techniques des
routes et autoroutes

LECLERCQ

Institut textile de France

LEDEUIL

Electricité de France (région
d'équipement Alpes-Marseille)

LEFLAIVE

Laboratoire central des ponts et
chaussées

LEHMANN

Mécaroute

LONG

Laboratoire central des ponts et
chaussées

MARCHAL

Laboratoire régional des ponts et
chaussées de Lyon

MATICHARD

Laboratoire régional des ponts et
chaussées de Nancy

MINE

Prodirég

PERESSE

Enka France

PERFETTI

Rhône Poulenc Fibres

PERRIER

Centre d'expérimentations routières
Rouen

PRUDON

CIB Département géotechnique

PUIG

Mécaroute

RATEL

Notex

REBUT

S.A. rhodanienne de tissus industriels

RENARD

ICI France

RIONDY

Scetauroute

SARTORIUS

Tissage de la rue de la paix

SEGOUIN

Laboratoire régional des ponts et
chaussées de Saint Brieuc

SEGRESTIN

Terre Armée internationale

SCHAEFFNER

Laboratoire central des ponts et
chaussées

SPILLEMACKER

Viafrance

TORA

CIB Département géotechnique



PREAMBULE ET OBJET DU DOCUMENT

Commentaire:

Dans tout le fascicule on entend par géotextile, tous les types de géotextiles et apparentés géotextiles:

- géotissés,
- géonontissés,
- géogrilles,
- géocomposites,...

Ce fascicule a pour objet de présenter les recommandations nécessaires à l'emploi des géotextiles en renforcement mécanique des ouvrages en terre.

Les sols sont des matériaux de construction qui présentent le lourd handicap de ne posséder qu'une faible résistance en traction (qui peut même être nulle dans le cas des sols purement granulaires). Cette particularité fait que l'on ne peut les utiliser, dans leur état naturel, que dans des massifs dont la stabilité est assurée par leur poids propre et leur résistance au cisaillement.

L'interposition d'éléments de renfort, et notamment de nappes géotextiles dans un ouvrage en terre, est un des moyens permettant de donner aux sols qui le constituent une certaine résistance en traction.

En jouant sur le nombre, la disposition géométrique des nappes, les caractéristiques mécaniques et hydrauliques du géotextile utilisé, on peut alors concevoir des ouvrages en terre renforcés qui présentent notamment les deux particularités intéressantes suivantes:

- la première est de pouvoir utiliser dans leur construction une gamme très étendue de sols, incluant les sols argileux humides qui sont habituellement rejetés en raison de leurs caractéristiques médiocres. De même certains déchets industriels peuvent être concernés à condition de vérifier la compatibilité de leur environnement physico-chimi-

que avec les caractéristiques du géotextile (cf chapitre 3). Cet aspect a évidemment des répercussions avantageuses tant au plan économique qu'à celui de la protection de l'environnement.

– La seconde particularité intéressante des ouvrages en terre renforcés par des nappes géotextiles réside dans leur déformabilité. Sous réserve que les déformations induites au sol restent admissibles, elles permettent de réduire très sensiblement l'état de contrainte horizontal dans le sol et d'atteindre sensiblement l'état de poussée. Cette déformabilité des géotextiles permet en outre aux ouvrages de s'adapter sans se rompre à des déformations de relativement grande ampleur occasionnées par des sollicitations extérieures imprévues ou difficilement évaluables au stade du dimensionnement, telles que les tassements différentiels rencontrés dans le cas de sols supports karstiques ou compressibles, les réactivations de mouvements dans des zones instables, les surcharges non prévues lors de l'étude...

A ajouter également que l'utilisation de nappes géotextiles drainantes et filtrantes peut permettre, dans le cas d'arrivées d'eau localisées et imprévues, de conserver la stabilité de l'ouvrage en assurant la dissipation des pressions interstitielles et/ou en évitant l'amorçage des phénomènes d'érosion interne.

Toutefois, en dépit de ces avantages et bien que l'idée du renforcement des sols par nappes de géotextiles soit déjà assez ancienne (1970), on peut constater que la technique n'a connu jusqu'à présent qu'un développement relativement modeste. Cela s'explique principalement par l'absence de solution de parement satisfaisante, mais aussi de procédés de mise en oeuvre adaptés à la pratique courante des chantiers ainsi que de méthode de dimensionnement spécifique. Récemment, des réponses suffisamment pertinentes ont été apportées à ces questions et justifient que l'on soit en mesure de proposer les présentes recommandations.

L'objet de ce fascicule de recommandations est donc de fournir:

aux maîtres d'oeuvre, aux bureaux d'études et aux entreprises les éléments nécessaires à chacun en ce qui le concerne pour:

- les principes de base indispensables pour établir le dimensionnement de ces ouvrages;
- les éléments nécessaires à l'élaboration de leurs projets;

Commentaire:

Ces recommandations résultent d'une première synthèse de la technique des massifs de sols renforcés par nappes de géotextiles établies à la fin 1989. On peut toutefois s'attendre, étant donné le caractère innovant et prometteur de la technique, que des compléments seront à apporter ultérieurement à ce fascicule.

Le chapitre consacré au dimensionnement ne présente, volontairement, pas le détail d'une méthode de calcul spécifique. En effet, dans l'état actuel des connaissances et devant le nombre de méthodes existantes, il n'a pas été jugé utile de décrire ces méthodes. Cependant pour guider le projeteur, le chapitre V traitant du dimensionnement des ouvrages présente:

- dans une première partie les principes de base que l'on recommande de suivre actuellement dans la démarche du dimensionnement ainsi que les valeurs des coefficients de sécurité généralement pris en compte.
- dans une deuxième partie un nombre d'exemples d'ouvrages définitifs réalisés et les caractéristiques du géotextile utilisé.

- juger la validité des projets qui leur sont soumis et, en particulier, la validité du dimensionnement;
- préparer le chantier dans les meilleures conditions afin de minimiser les aléas pouvant apparaître durant les travaux;
- les conditions de mise en oeuvre à respecter pour garantir une réalisation optimale des travaux;
- effectuer les contrôles indispensables pour vérifier que les caractéristiques prises en compte dans le dimensionnement, et formulées dans les spécifications, sont effectivement respectées sur le chantier et que les règles générales de mise en oeuvre sont appliquées.



DOMAINE D'UTILISATION

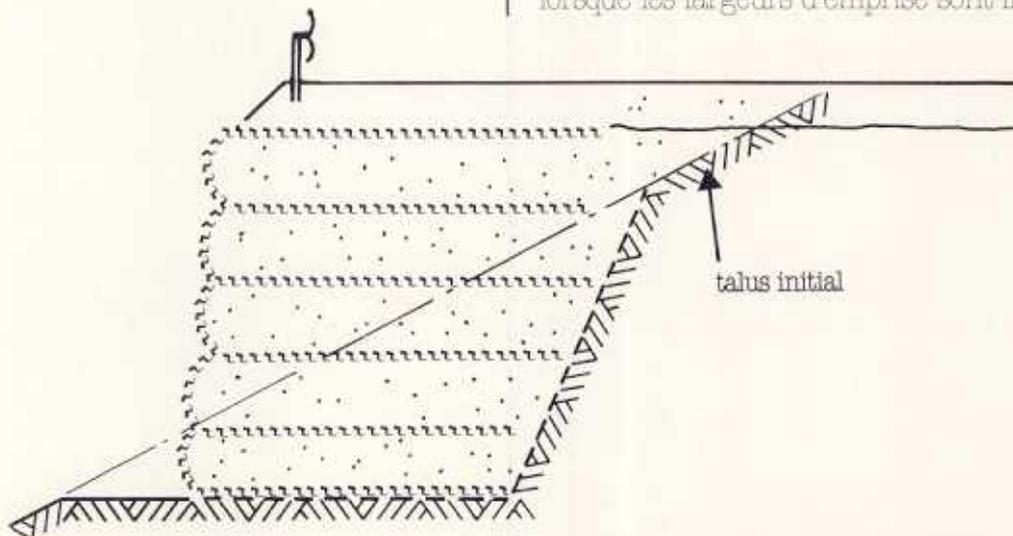
Les renforcements par géotextiles peuvent être utilisés dans des ouvrages de durées de vie différentes. On distinguera les ouvrages provisoires conçus pour environ 5 ans, les ouvrages temporaires pour une trentaine d'années environ, et les ouvrages permanents pour 70 ans ou plus.

La technique du renforcement des sols par nappes de géotextiles est particulièrement avantageuse pour construire.

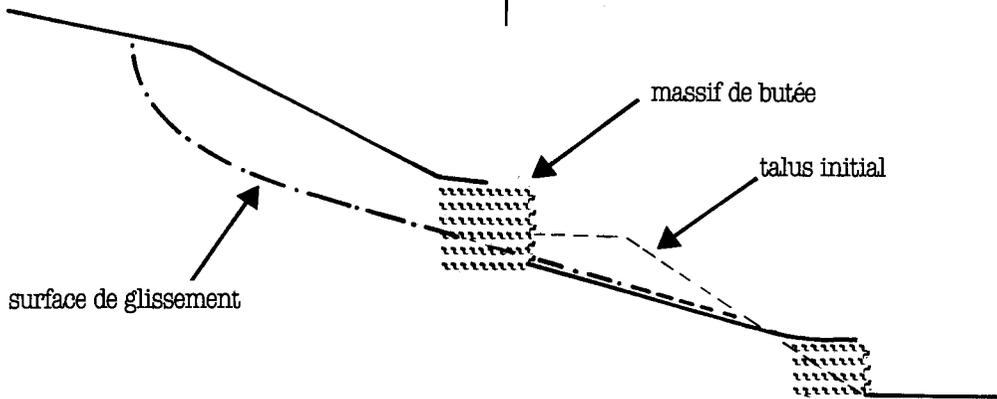
1 - des murs de soutènement à talus vertical ou quasi-vertical.

La réalisation de murs de soutènement à talus vertical ou quasi-vertical peut être envisagée par exemple pour:

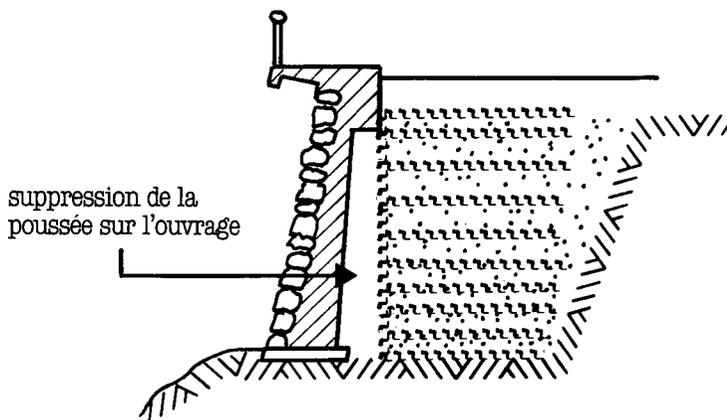
- élargir la plateforme d'un remblai routier ou autre lorsque les largeurs d'emprise sont limitées;



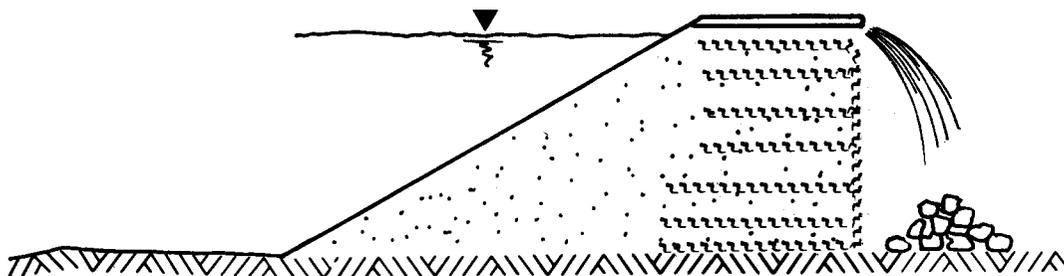
- réduire les poussées sur des piles d'ouvrages d'art, cuvelages, murs de soutènement;
- réaliser un ouvrage de préchargement provisoire pour accélérer la consolidation du sol de fondation;
- constituer un massif de butée destiné à retenir un glissement dans une pente naturelle ou un talus de déblai;



- conforter des ouvrages de soutènement sous-dimensionnés;



- constituer le corps de petits barrages réservoirs, etc...



2 - Des remblais de géométrie traditionnelle en utilisant des sols de caractéristiques mécaniques faibles, ne permettant pas leur emploi dans leur état naturel, tels que des argiles et limons très humides, des matériaux fins mis en oeuvre par voie hydraulique, certains déchets industriels, etc...

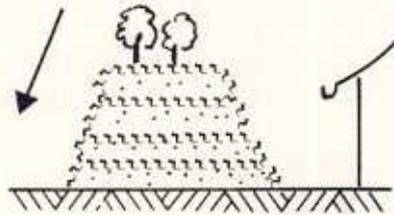
Dans cette application, il y a avantage à mobiliser à la fois:

- ★ les propriétés mécaniques: résistance à la traction, module, coefficient de frottement;
- ★ les propriétés hydrauliques: filtration, permittivité, transmissivité.

Pour ces ouvrages, il faut s'attendre à ce que des déformations, plus ou moins importantes, (tassements de consolidation) se produisent postérieurement à la mise en oeuvre.

Une application fréquente de ce type de renforcement est la réalisation de merlons paysagers ou anti-bruits.

voie de circulation

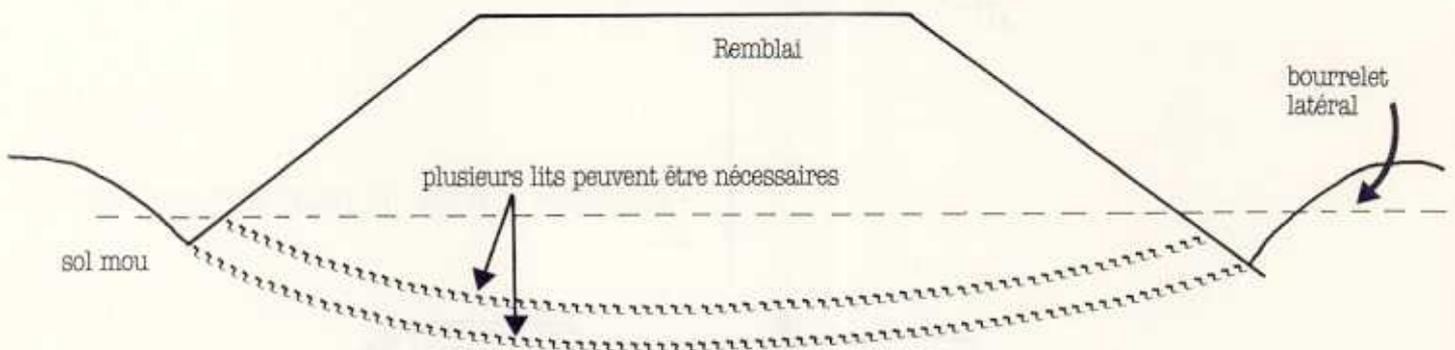


Commentaires:

La réalisation d'un radier en sol renforcé par des nappes géotextiles destiné à supporter un remblai sur sol compressible permet d'éviter les cisaillements dans le remblai et de maîtriser son poinçonnement dans le sol compressible, mais ne réduit pas sensiblement les tassements.

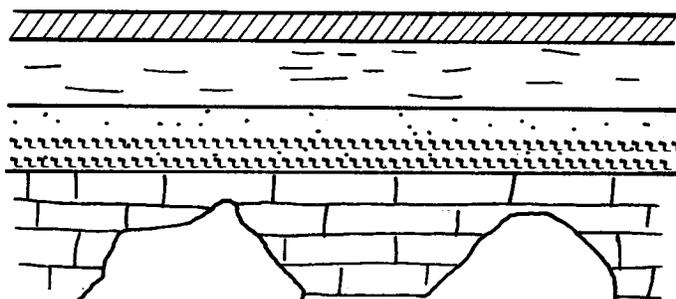
3 - Des radiers destinés à asseoir des remblais, des corps de chaussées, des fondations d'ouvrages ou de bâtiments sur des sols compressibles, mous ou karstiques.

exemple de poinçonnement contrôlé



Dans le cas de corps de chaussée construits sur des terrains susceptibles de comporter des karsts ou autres cavités souterraines non repérées, la réalisation d'un radier renforcé par des

nappes de géotextiles permet de diminuer le risque de rupture brutale, voire de maintenir le niveau de service de la chaussée en cas d'apparition de fontis.



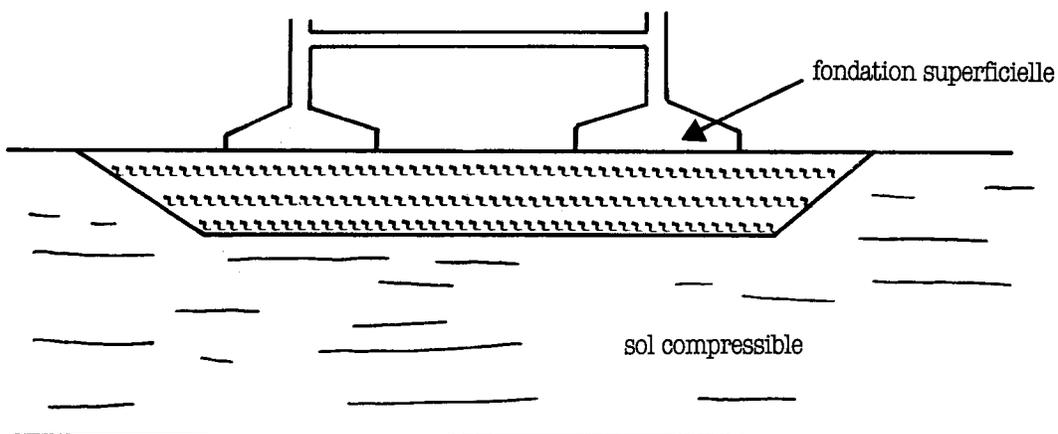
corps de chaussée et remblai

radier renforcé

couche

karstique

Dans le cas de fondations de bâtiment sur des sols mous, la réalisation d'un radier renforcé par nappes de géotextile peut être une solution de fondation envisageable pour homogénéiser les tassements, et utiliser une fondation superficielle.



fondation superficielle

sol compressible

3

LES MATERIAUX EN PRESENCE

Un ouvrage renforcé par géotextile est constitué par plusieurs matériaux et sa bonne tenue dépendra du comportement de chacun d'eux (sol de fondation, de remblai, géotextile, parement,...). Il conviendra dès l'étude de projet de les caractériser séparément et d'appréhender leur interaction.

1 - Le sol de fondation

(de l'ouvrage renforcé).

La connaissance des caractéristiques mécaniques et hydrauliques du sol de fondation est nécessaire pour évaluer la stabilité externe et le comportement global de l'ouvrage.

Sur ce point la nature et le volume des études de sols à entreprendre ne diffère pas de ce qui est considéré comme nécessaire pour les autres ouvrages en terre.

2 - Les matériaux de remblai

Dans les ouvrages en terre renforcée les géotextiles présentent l'avantage de permettre l'utilisation d'une gamme très large de matériaux de remblai; on pourra donc dans la majorité des cas employer les matériaux extraits de déblais ou de zones d'emprunt situés à proximité immédiate de l'ouvrage.

Commentaires:

Les conditions de réemploi en remblai (épaisseur des couches élémentaires, intensité de compactage principalement) pourront être extraites de la Recommandation pour les Terrassements Routiers (RTR), Ministère de l'Équipement, SETRA, LCPC, Janvier 1976, au moins pour ce qui concerne les cas 1 et 3 indiqués dans le chapitre DOMAINES D'UTILISATION.

Dans le cas de matériaux peu cohérents contenant une forte proportion de gros éléments ne permettant pas de les soumettre aux essais classiques, on pourra appréhender l'angle de frottement interne à partir de leurs caractéristiques granulométriques.

Il convient toutefois:

- d'une part d'identifier leur nature et leur état à partir d'études classiques de terrassement (analyse granulométrique, I.P., E.S., teneur en eau) afin d'évaluer leurs conditions de réemploi en remblai;
- d'autre part, de déterminer les caractéristiques dont dépend la stabilité générale de l'ouvrage et son dimensionnement.

Ces caractéristiques sont les suivantes:

- Poids volumique apparent sec

La connaissance de cette caractéristique est importante car l'ensemble des paramètres du sol intervenant dans le dimensionnement en dépend directement (résistance au cisaillement, angle de frottement sol-géotextile, poids des terres, etc...). En général, on considérera la valeur de la densité sèche maximale définie par l'essai Proctor Normal mais dans le cas des sols fins humides, on considérera, plutôt la densité correspondant à la teneur en eau réelle du matériau compacté à l'énergie Proctor Normal.

- Potentiel hydrogène (pH): La mesure du pH du matériau de remblai doit être réalisée chaque fois qu'il existe un risque de s'éloigner fortement des valeurs moyennes rencontrées dans les sols naturels (pH compris entre 6 et 9). En dehors de cette fourchette, la valeur du pH conditionnera le choix du polymère. C'est en particulier le cas des sols traités et de tous les déchets industriels pouvant être concernés (cendres volantes, scories, laitiers concassés, produits d'incinération d'ordures ménagères).

- Cohésion et angle de frottement: d'une manière générale, dans le cas d'un matériau pas ou peu cohérent, on déterminera les caractéristiques intrinsèques à long terme c' et ϕ' à la densité sèche de mise en oeuvre et saturé, et dans le cas d'un matériau cohérent, on déterminera en plus les caractéristiques apparentes à court terme c_u et ϕ_u à la densité sèche de mise en oeuvre et à la teneur en eau la plus défavorable prévisible sur le chantier.

- Caractéristiques de compressibilité: ces caractéristiques sont à connaître lorsqu'on souhaite utiliser des matériaux fins suffisamment humides pouvant, sous leur propre poids et celui de surcharges éventuelles, générer des pressions interstitielles et des tassements de consolidation. Leur détermination implique l'établissement de la courbe oedométrique du matériau.

3 - Les géotextiles

Compte tenu de leur rôle déterminant lorsqu'ils sont utilisés comme armatures dans les ouvrages en terre, les géotextiles doivent faire l'objet d'un examen particulièrement détaillé.

Il convient notamment de connaître:

- leurs caractéristiques d'identification:

Toutes les caractéristiques figurant dans la fiche d'identification telle que définie dans la norme NF.G. 38050 doivent être connues du responsable de l'ouvrage.

- leurs caractéristiques mécaniques.

Il s'agit:

- ★ de la résistance en traction

α_f (NF.G. 38014)

- ★ de l'allongement à la rupture

ϵ_f (NF.G. 38014)

- ★ de la raideur:

J (NF.G. 38014)

- ★ de l'allongement aux niveaux de déformation:

1, 2, 5, 10%

- ★ de la résistance à la déchirure:

mesurée selon norme NF.G. 38015

- ★ du comportement de fluage:

le mode de détermination de ce comportement demande encore à être précisé. Dans l'état actuel des connaissances, le fluage pourra être pris en compte:

- soit en pratiquant des essais directs de fluage accéléré par la température (des essais permettant de mesurer ces caractéristiques sont en cours d'étude).

- soit en déterminant un coefficient réducteur limitant la déformation du géotextile à une valeur maximum (Mc GOWN, 1986). Ce coefficient est obtenu à partir d'essais de fluage.

- soit en l'absence d'essais de fluage, par le biais d'un coefficient correcteur affecté à la résistance en traction prise en compte dans le calcul. Par exemple, tableau présenté chap. V.2.2.

- ★ de la souplesse ou conformation qui traduit l'aptitude d'un géotextile à épouser sans faire de plis des surfaces gauches plus ou moins complexes.

- leurs caractéristiques hydrauliques

Dans certains cas, il convient de connaître:

- la permittivité ψ mesurée suivant la norme

NF.G. 38.016.

Référence:

McGOWN A., ANDRAWES K. Z., MURRAY R.T. (1986), "The load-strain-time temperature behaviour of geotextiles and geogrids". Proc. 3rd int. Conf. on Geotextiles, Vienna, vol. 3, pp. 707-712.

- la transmissivité θ mesurée suivant la norme NF.G. 38018.
- le diamètre de filtration O_f mesuré suivant la norme NF.G. 38017.

4 - Interactions Sol - Géotextile

Ces interactions dépendent notamment:

- de l'adhérence et de l'angle de frottement sol-géotextile

Ces caractéristiques interviennent directement dans le calcul du dimensionnement de l'ouvrage renforcé (cf chapitre V) puisque c'est par le biais du frottement et de l'adhérence sol-géotextile que les contraintes de traction dans le géotextile se génèrent.

La procédure d'essai de frottement est en cours d'étude au moment de la parution de ce fascicule. Toutefois il sera toujours possible d'apprécier les caractéristiques de frottement en réalisant un essai à la boîte de Casagrande modifiée à cet effet, le géotextile étant maintenu indéformable par adhérence sur la partie inférieure de la boîte.

Dans le cas du dimensionnement de l'ouvrage à long terme, on déterminera les valeurs c'_g et ϕ'_g à une densité du sol égale à sa densité prévisible sur le chantier (95 % OPN, par exemple) et saturé.

Dans le cas du dimensionnement de l'ouvrage à court terme, on déterminera en plus les valeurs c_{ug} et ϕ_{ug} également à la densité et à la teneur en eau prévisibles du sol sur le chantier.

- des modalités de mise en oeuvre et de réalisation des ouvrages

Durant la construction des ouvrages renforcés, les nappes de géotextiles peuvent subir des agressions d'origines diverses.

★ Certaines sont évitables, ou du moins grandement réduites, en respectant les règles de pose énoncées dans le fascicule «**Recommandations générales pour la réception et la mise en oeuvre des géotextiles**»; il s'agit notamment des déchirures, poinçonnements, souillures par déroulement dans la boue, dégradations par les U.V., etc... qui peuvent se produire lors des manipulations, stockage, déroulement et pose des nappes de géotextiles. Les conséquences de ces agressions sont souvent délicates à apprécier, car avant tout fonction du savoir faire de l'entreprise, qui n'est pas connue au moment de l'étude.

Dans le cas des petits projets, ou en absence d'essais, il est possible d'éviter la détermination de ϕ'_g en appliquant la relation ci-après

$$\frac{\text{tg } \phi'_g}{\text{tg } \phi'} = 2/3$$

Un essai d'endommagement à la mise en oeuvre a été réalisé au CER de Rouen et a montré que dans des conditions habituelles de matériau de remblai et de conditions de compactage des pertes de 30 % de résistance en traction avaient été mesurées sur certains géotextiles alors que sur d'autres elles étaient pratiquement inexistantes.

Une telle planche d'essai peut consister simplement à répandre sur quelques mètres carrés le matériau sur le géotextile et à le compacter avec le compacteur utilisé sur le chantier. On mesure alors les caractéristiques modifiées du géotextile ainsi sollicité.

On notera en particulier qu'il convient d'éviter tout contact des polymères sensibles à l'hydrolyse (polyester en particulier) avec les parties en béton de l'ouvrage en raison du pH élevé de ce dernier.

★ D'autres sont pratiquement inévitables car elles résultent des poinçonnements, coupures du géotextile par les éléments grenus et coupants du sol que l'on répand et que l'on compacte au-dessus. Les conséquences de ces agressions sur la résistance à la traction, à la déchirure, la raideur, et le cas échéant, sur les caractéristiques hydrauliques (ψ , θ et O_r) doivent être prises en compte dans les calculs de dimensionnement.

Un essai permettant de déterminer la modification des propriétés liée au compactage du sol sur le géotextile est en cours d'élaboration à la date de diffusion de ce fascicule. En absence d'essai normalisé, on pourra soit envisager la réalisation préalable d'une planche d'essai au début du chantier si le phasage des travaux le permet, soit tenir compte à priori et forfaitairement des éventuelles modifications de caractéristiques dans le sens de la sécurité.

– de l'environnement physico-chimique dans lequel se trouve le géotextile

A la date de rédaction de ce fascicule, des prélèvements de géotextiles ont été réalisés sur de nombreux ouvrages de terrassement (pistes, remblais, tranchées drainantes,...), ainsi que sur quelques ouvrages de soutènement où le géotextile a été soumis à des efforts de traction permanents. La mise en place du géotextile date en général pour ces ouvrages d'une quinzaine d'années.

Les analyses physico-chimiques réalisées sur tous les échantillons prélevés n'ont pas permis de mettre en évidence des effets significatifs de dégradation physico-chimique dans le cas d'utilisation courante (sol et nappe hydraulique non agressifs chimiquement).

Du fait de la complexité des modes possibles de dégradation des polymères, et sachant que les phénomènes en cause ne sont généralement pas extrapolables de façon linéaire, la question demeure cependant un sujet de recherche. La technique du renforcement par géotextile étant en constante évolution, le dimensionnement devra tenir compte des données les plus récentes acquises lors des études engagées pour préciser ce point.

Faute d'éléments quantitatifs suffisants dans l'état actuel des connaissances, on admettra de ne pas prendre en compte explicitement la durabilité des géotextiles dans les calculs de dimensionnement.

Une fiche d'identification du prélèvement est présentée en annexe. Pour tout renseignement concernant les lieux de stockages possibles, contacter le secrétariat du CFGG.

Dans la pratique, pour les ouvrages importants et permanents, et en particulier:

- soit, verticaux et ayant une hauteur supérieure à 5 m,

- soit pour lesquels un risque de dégradation brutale pourrait avoir des répercussions sur la sécurité des personnes,

on pourra retenir les dispositions suivantes:

- mise en place dans le sol du remblai d'un échantillon témoin de géotextile d'une surface d'au moins 2 m², afin de permettre d'éventuels prélèvements de contrôle.

- conservation à l'abri de la lumière et en atmosphère normalisée (NF.G.38010), d'un échantillon de géotextile d'une surface d'au moins 2 m² ayant subi le compactage d'une couche de sol de remblai dans les conditions du chantier, ainsi qu'un échantillon de même surface intact.

- mise en place au moment de la construction d'un système de suivi permettant d'alerter le maître d'ouvrage lors de toute modification anormale du comportement du massif (suivi topographique par exemple).

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**.

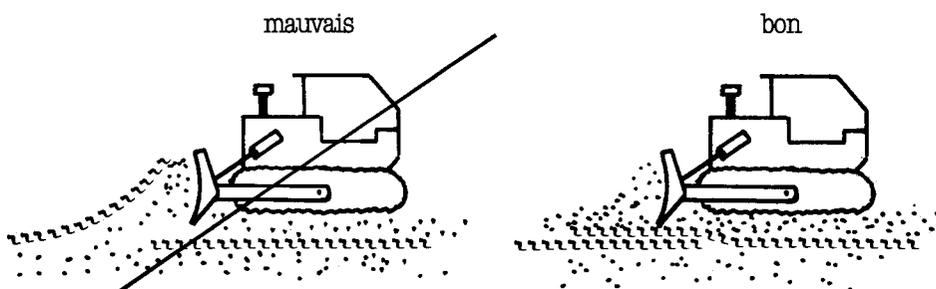
2.1 - Pose et raccordement des nappes

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.

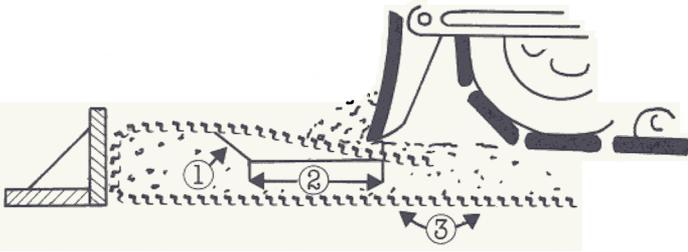


influence du sens de remblaiement
sur l'ordre de recouvrement des nappes.

Ce cas se rencontre notamment dans les massifs comportant plusieurs talus renforcés (extrémités de remblais, culées et radiers de fondation d'ouvrages, etc...).

Le raccordement des nappes par recouvrement peut dans certains cas être toléré, il convient alors de vérifier que la longueur de recouvrement adoptée assure un ancrage suffisant en tenant compte du frottement géotextile-géotextile qui pour certains produits peut s'avérer très faible.

Le mode de prétension souvent mentionné dans la bibliographie consistant à réaliser un décaissement dans la couche (cf. schéma ci-dessous)



présente des inconvénients par rapport à la méthode décrite ci-contre et notamment:

- elle exige l'exécution d'un décaissement (1) ce qui complique sensiblement le régalage,
- elle conduit le plus souvent à consommer des surlongueurs (2) de géotextile non utiles dans le fonctionnement de l'ouvrage,
- elle ne garantit pas la disparition de plis éventuels (3) dans la partie active des nappes.

En première approximation on pourra calculer l à partir de la relation:

$$l = 2,5 e$$

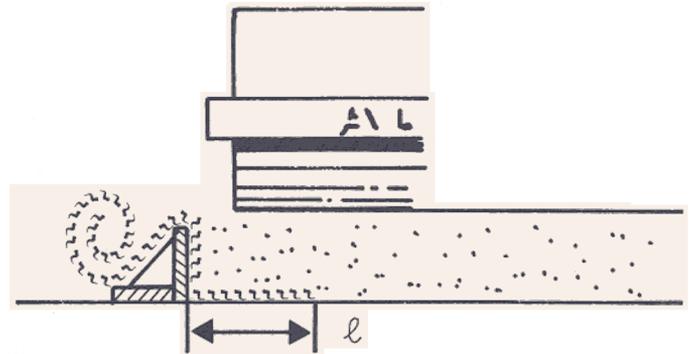
dans laquelle e est l'espacement des nappes.

Lorsque les tensions dans les nappes sont réparties dans toutes les directions du plan, il est conseillé de raccorder les nappes par couture et il convient de vérifier que la résistance de la couture est compatible avec les efforts qu'elle devra supporter.

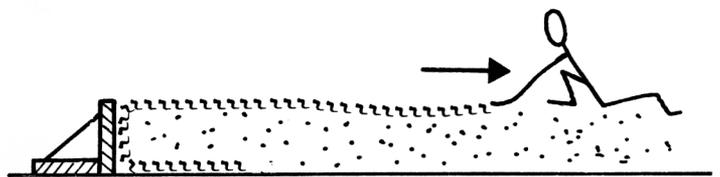
2.2 - Mise en prétension des nappes

La prétension des nappes doit se faire en même temps que le régalage. Elle peut être réalisée commodément par 2 ou 3 ouvriers qui progressent d'une nappe à l'autre au fur et à mesure que la prétension est

maintenue par le dépôt d'un cordon de matériaux (cf schéma ci-dessous).



- a) mise en place de la nappe
régalage et compactage de la couche de sol.



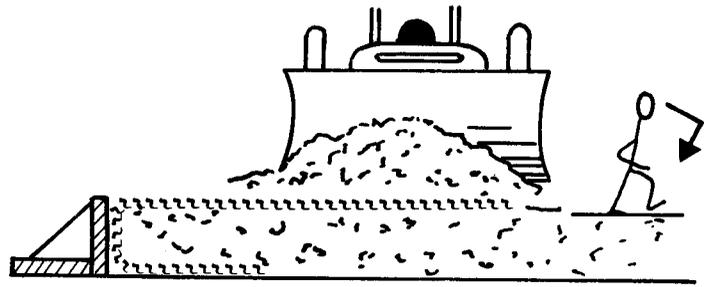
- b) étalement de la nappe et application de la prétension.

Les valeurs des épaisseurs de régalaage 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.

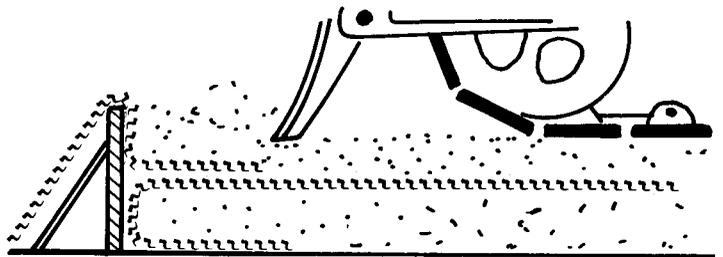
Les fascicules 2 et 3 de la Recommandation pour les Terrassements Routiers indiquent, pour chaque couple matériau-engin pouvant se présenter, les valeurs des épaisseurs de régalaage à respecter pour obtenir la compacité recherchée.

Le choix de l'épaisseur de régalaage 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 régalaage 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.

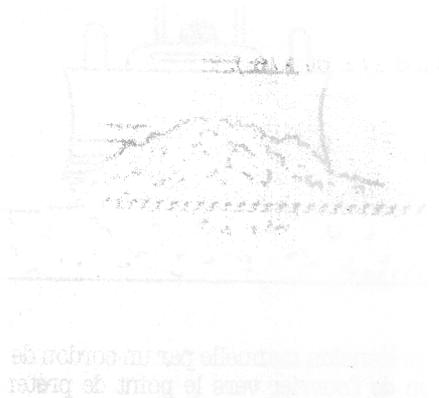
2.3 - Régalaage et compactage

L'épaisseur de mise en œuvre ou épaisseur de régalaage 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 régalaage 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 régalaage comme développé précédemment, mais également de répartir uniformément sur toute la surface de la couche régalaée (y compris notamment sur les extrémités côté parement des couches) une certaine énergie de compactage exprimée par un nombre de passes du compacteur utilisé.

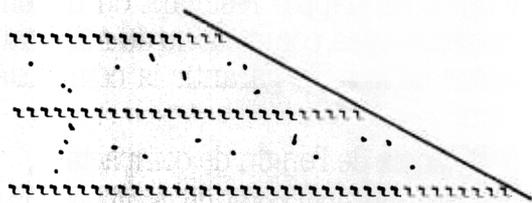


La liste des procédés décrits dans ce paragraphe n'a pas valeur exhaustive, elle recense seulement les procédés les plus connus à la date de rédaction de ce fascicule ayant notamment fait l'objet de publications.

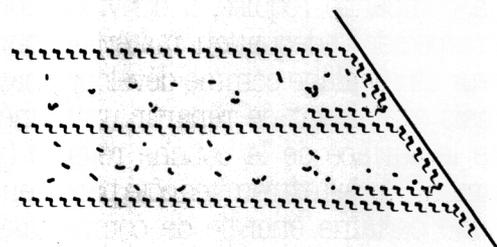
Il incombe au lecteur de se renseigner sur l'existence éventuelle de brevets protégeant la technique qu'il envisage d'utiliser.

Le renforcement de ce type d'ouvrage est alors motivé principalement par:

- la possibilité d'appliquer des surcharges (fondations de bâtiment, culées d'ouvrages, etc...) venant s'appliquer jusqu'au bord du talus,
- la recherche d'une sécurité vis-à-vis de la rupture lorsque le massif repose sur un sol mou ou karstique.



cas des talus de faible pente $\text{tg } \beta < 1/2$



cas des talus de pente moyenne $\text{tg } \beta \approx 1$

Ce nombre de passes est indiqué, pour la quasi totalité des cas de chantier pouvant se présenter, dans le **fascicule 3 de la Recommandation pour les terrassements Routiers** déjà citée.

Pour les cas où les tableaux du fascicule 3 n'apporteraient pas les éléments, il conviendra de déterminer le nombre de passes en début de chantier en réalisant une planche d'essai de compactage.

3 - PRINCIPAUX PROCÉDES PERMETTANT DE GARANTIR LA BONNE EXECUTION DES TALUS DES OUVRAGES RENFORCES

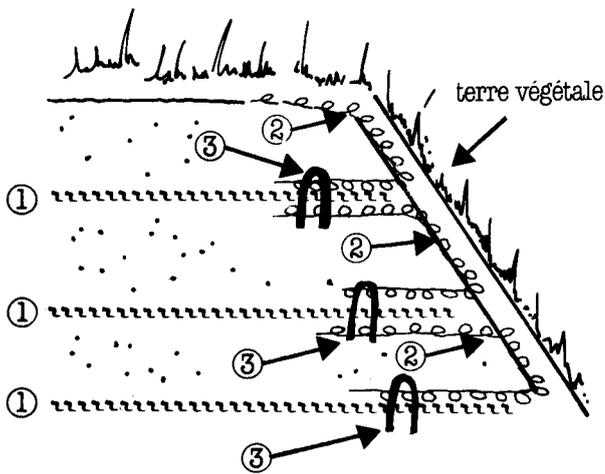
3.1 - Cas des massifs renforcés à talus peu inclinés (pente inférieure à 1/1)

Pour ces ouvrages, la pente du talus n'étant pas sensiblement supérieure à l'angle du talus naturel, il n'est pas nécessaire en général de prévoir un dispositif de soutènement particulier du talus de chaque couche durant son réglage et surtout son compactage.

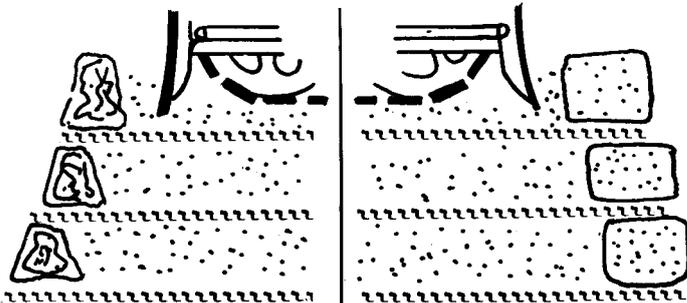
Hormis le cas des talus de faible pente (jusqu'à $\text{tg } \beta = 1/2$) où les nappes peuvent être simplement étalées sur la plate-forme une fois celle-ci nivelée et compactée, il est recommandé d'enfermer le matériau du bord de talus dans la nappe en la repliant sur le talus (cf schémas ci-contre).

Lorsque l'engazonnement sur terre végétale des talus de pente $\text{tg } \beta = 1/1$ est prévu, il y a lieu d'assurer la stabilité de la terre végétale vis-à-vis de son glissement le long du talus. Ceci peut être réalisé en intercalant à la mise en oeuvre entre deux (ou plusieurs) nappes de renfort un géotextile adéquat qui assure à la fois le confinement du matériau en bord de talus et la retenue de la terre végétale (cf schéma ci-contre).

Un tel géotextile ouvert peut également être utilisé en l'absence de terre végétale si le matériau de remblai est susceptible de s'engazonner par le seul apport de graines et d'engrais. Dans ce cas, le rôle de ce géotextile se limite au confinement du talus mais évite cependant de prévoir une protection particulière de la partie des nappes de renfort qui aurait été visible une fois repliée tout en conservant au talus une esthétique classique.



- ① nappe de renfort
- ② géotextile de retenue de la terre végétale et de confinement du talus
- ③ système de liaison entre la nappe de renfort et le géotextile
- ② indispensable au confinement.



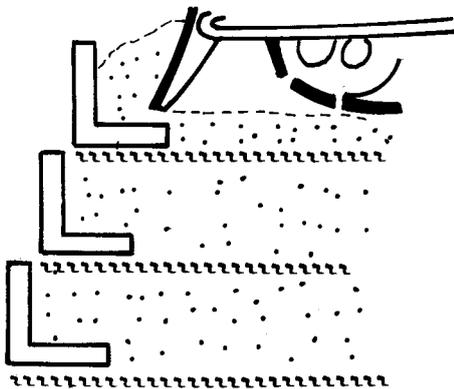
Soutènement du talus de chaque couche par une couche de matériau sol - fibre.

Soutènement du talus de chaque couche par des gabions géotextiles.

Particularités du procédé

- Aucun travail de mise en place du coffrage
- Souplesse du parement
- Absence de partie apparente des nappes de renfort.
- Travail de mise en place des coffrages réduit et très simple

- Souplesse du parement
- Technique ne demandant aucune compétence particulière
- Nécessité d'une protection de la face apparente des gabions.



Particularités du procédé

- Travail de mise en place réduit et très simple,
- Technique habituelle en Génie Civil,
- Absence de partie apparente de nappe de renfort,
- Incompatible avec des déformations importantes de l'ouvrage
- Exige un très bon nivellement des couches.

3.2 - Cas des massifs à talus très incliné (pente comprise entre 1/1 et 1/4).

Pour ces ouvrages, il est indispensable d'utiliser un procédé approprié permettant de soutenir le talus de chaque couche élémentaire au cours du compactage et du régalinge.

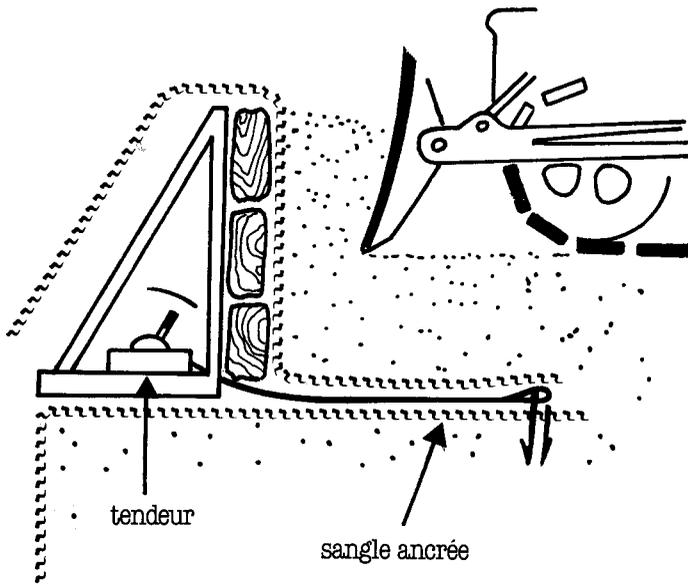
Plusieurs procédés ont déjà été proposés:

a) Procédés utilisant un élément de coffrage perdu constitué par:

- des gabions géotextiles remplis de sable ou graviers disposés parallèlement au talus avant la mise en oeuvre de chaque couche (cf schéma ci-contre). Jusqu'à présent les meilleurs résultats ont été obtenus en utilisant des gabions géotextiles réalisés avec des conteneurs cubiques ou parallélépipédiques servant à la manipulation et au transport de produits,

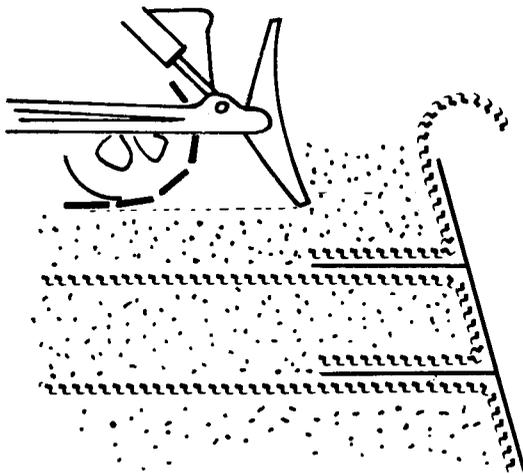
- un merlon de matériau sol-fibre, mis en oeuvre préalablement au régalinge et compactage de chaque couche (cf schéma ci-contre),

- des éléments rigides, notamment en béton, disposés parallèlement à la crête du talus avant la mise en oeuvre de chaque couche (cf schéma ci-contre).



Particularités du procédé

- Système de coffrage ne présentant qu'un faible investissement
- Difficulté de maîtriser la géométrie de chaque couche en raison de la déformabilité de la couche sous-jacente
- Prévoir une protection de la partie exposée des nappes de renfort.



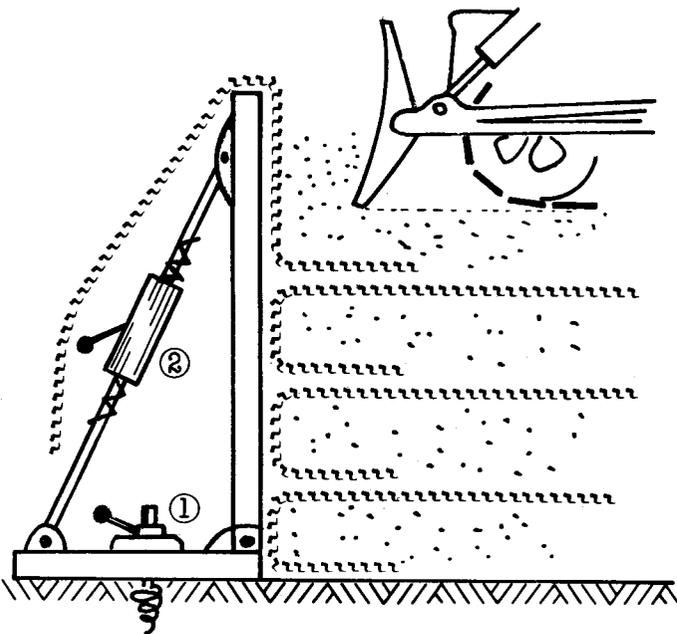
Particularités du procédé

- Travail de mise en place du coffrage en treillis particulièrement simple étant donné sa légèreté
- Grande souplesse du parement
- Possibilité d'obtenir un talus de géométrie quasi plane
- Protection de la partie visible de la nappe inutile en règle générale

b) Procédés utilisant un système de coffrage rigide amovible.

Il s'agit le plus souvent de panneaux montés en chaise dont la partie horizontale s'appuie sur l'extrémité de la couche précédemment mise en oeuvre. Cette chaise est maintenue en position durant la mise en oeuvre de la couche par un système approprié telle qu'une sangle perdue ancrée dans le massif et reliée à un tendeur (cf schéma ci-contre).

- Un treillis métallique soudé plié à l'angle de talus désiré et sur lequel vient s'appuyer la partie retournée de la nappe de géotextile durant le remplissage.



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).

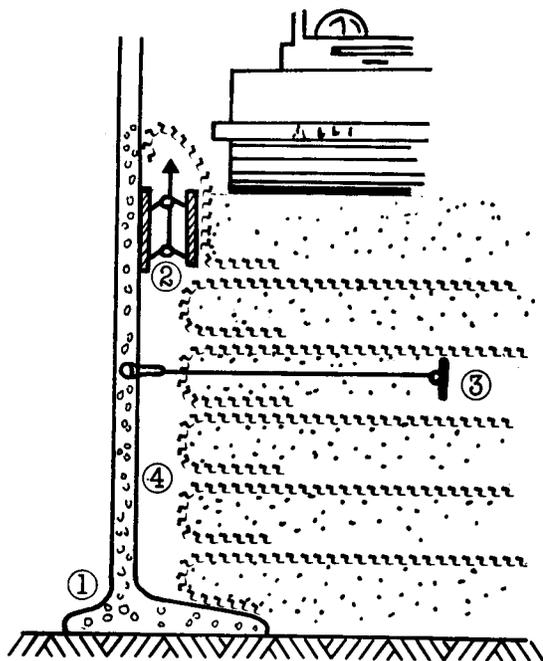
Au delà de 2 m de hauteur, ce procédé peut se révéler souvent mal adapté: éléments de coffrage trop volumineux engendrant des efforts sur le sol trop importants, coût prohibitif.

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).

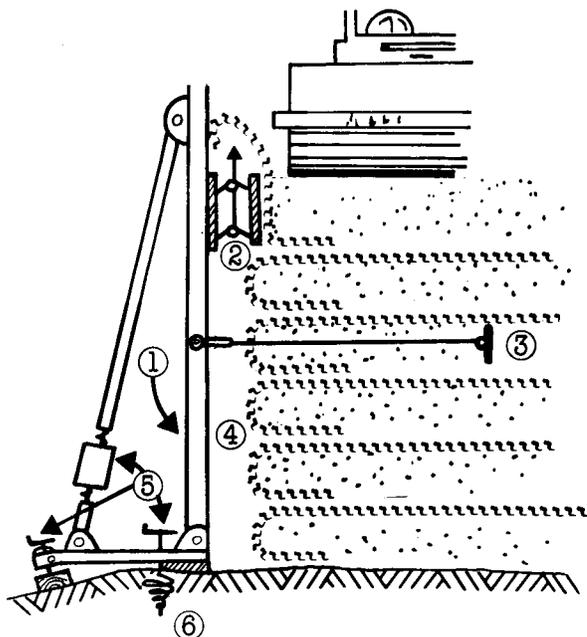


Procédé utilisant une référence fixe et un dispositif de coffrage rétractable.

- 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 $tg\beta = 3$.
- 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

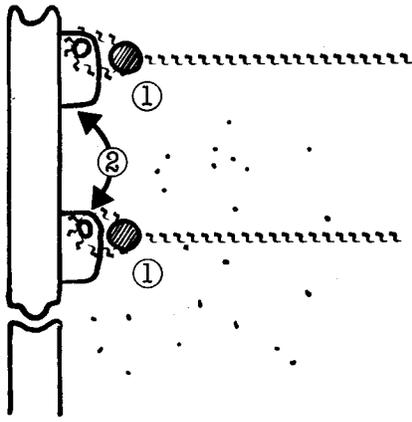
Le coffrage est quant à lui constitué de panneaux juxtaposés parallèlement au talus de la couche et qui viennent s'appuyer sur le mur constituant la référence géométrique.

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).



- ① système de liaison
 ② dispositif permettant le déplacement vertical de la nappe de géotextile

Particularités du procédé

- un seul élément assure le rôle de parement et celui de coffrage,
- les nappes de renforcements ne sont pas nécessairement jointives dans le sens longitudinal.

De manière très générale, il conviendra de vérifier la bonne compatibilité physico-chimique du parement et du géotextile de renfort. On évitera en particulier de mettre en contact des polyesters avec des parties en béton (cf. § III - d).

Particularités de la technique

Technique limitée aux talus peu inclinés (pente $\leq 1/1$) construits de préférence par couches à talus vertical ou comportant un élément (grille) de retenue de la terre végétale (cf. schéma).

Une autre technique vise à confondre la fonction d'appui qui sert de référence géométrique, celle de coffrage et celle de parement définitif.

Ce parement pourra être constitué:

- de panneaux béton préfabriqués sur toute la hauteur du mur à réaliser,
- de plaques de parement en béton préfabriquées,
- de panneaux en béton, en bois, ou en toute autre matière glissés entre des poteaux verticaux, éventuellement métalliques, faiblement fichés.

Les nappes de géotextile de renfort dans ce type de structure sont ancrées au parement.

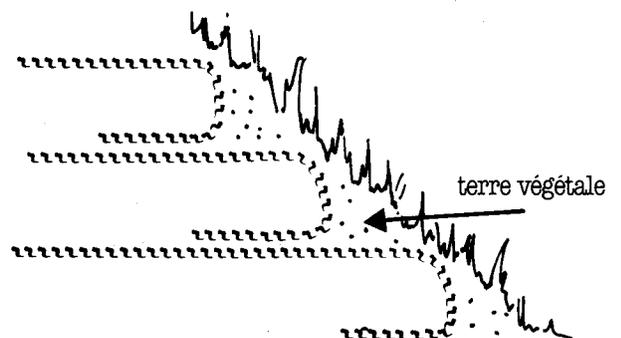
4 - TECHNIQUES DE PROTECTION ET DE PAREMENT DE LA PARTIE APPARENTE DES NAPPES DE RENFORT

Les parties apparentes des nappes sur les talus des ouvrages renforcés doivent être protégées du rayonnement solaire et des agressions mécaniques diverses (chute de blocs, vandalisme...). En outre, ces parties confèrent au talus une qualité esthétique à prendre en compte pour certains environnements particuliers (sites urbains, touristiques,...).

Plusieurs techniques ont déjà été proposées pour résoudre ces problèmes. Elles diffèrent par le niveau de protection et d'aspect esthétique apporté et par leur caractère plus ou moins spécifiquement adapté à un type d'ouvrage renforcé particulier.

Les principales d'entre-elles sont les suivantes:

- couverture du talus par de la terre végétale suivie d'un engazonnement.



- Protection vis-à-vis des U.V. et des agressions mécaniques le plus souvent suffisantes.
- Qualité esthétique classique pour des ouvrages en terre.

Particularités de la technique

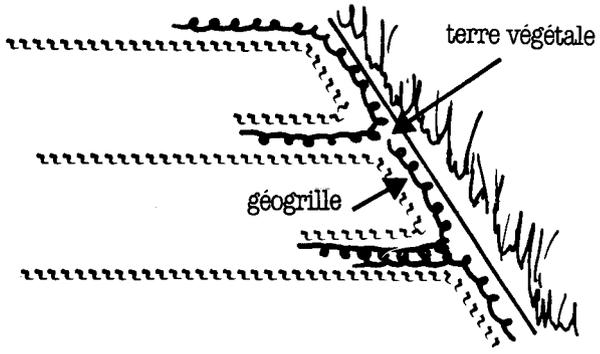
- Technique de la mise en œuvre simple, du moins pour les talus de hauteur inférieure à 5 m.
- Protection vis-à-vis des U.V., généralement suffisante.
- Protection vis-à-vis des agressions mécaniques et qualité esthétique faibles. Elles peuvent être renforcées par un choix judicieux de la teinte du produit de coloration et (ou) par une projection de charge minérale qui vient adhérer sur ce produit.

Particularités de la technique

- Technique de mise en œuvre relativement simple quelle que soit la hauteur du talus notamment lorsque la nappe de protection est mise en place à la fin de la construction de l'ouvrage.
- Protection vis-à-vis des U.V., généralement suffisante.
- Protection vis-à-vis des agressions mécaniques et qualité esthétique faibles. La qualité esthétique et, dans une certaine mesure également la résistance aux agressions mécaniques, peuvent être sensiblement améliorées par un choix judicieux de la nappe de protection (teinte, type de géotextile, résistance à la déchirure...). L'élaboration d'un produit géotextile spécifiquement conçu pour remplir cette fonction peut également être envisagée.

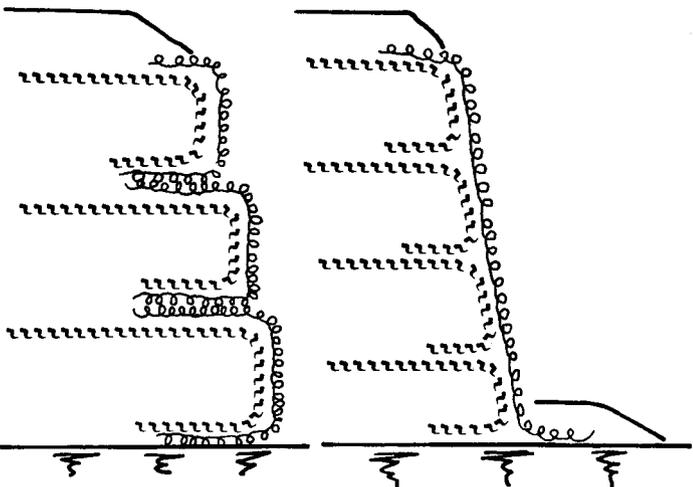
Particularités de la technique

- Protection vis-à-vis des U.V. et des agressions mécaniques particulièrement efficace.
- Esthétique adaptable aux exigences du site en jouant sur la nature, les formes, les couleurs et états de surface... des éléments de protection.



- projection sur le talus d'un produit protecteur: émulsion de bitume, de résine, ou autre, additionnée éventuellement d'une charge minérale.

- couverture du talus par une seconde nappe faisant office de nappe de protection et posée, soit en cours, soit à la fin de la construction de l'ouvrage (cf schéma ci-dessous).



mise en place:
 ● en cours de construction ● en fin de construction

- Protection et parement du talus au moyen d'éléments préfabriqués rigides mis en place au fur et à mesure de la construction de l'ouvrage.

Ces éléments en béton, bois ou autres matériaux peuvent ou non être utilisés en tant qu'éléments de coffrage perdu pour la mise en œuvre du massif renforcé.

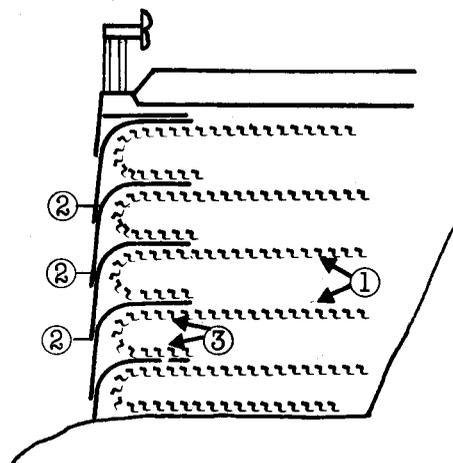
Dans le premier cas, ils doivent être dimensionnés vis-à-vis de cette fonction et être mis en place suivant une géométrie bien définie (cf 3.2).

- Dans le cas d'éléments simplement accrochés sur le talus et se chevauchant mutuellement (cf. schéma), possibilité de s'adapter à des déformations importantes de l'ouvrage. Cette technique peut, en outre, être avantageusement associée au procédé de réalisation décrit en 3.3 utilisant une référence géométrique amovible constituant ainsi un ensemble de deux procédés complémentaires permettant la réalisation de la grande majorité des ouvrages renforcés pouvant se présenter.

Particularités de la technique

- Protection vis-à-vis des U.V. et des agressions mécaniques particulièrement efficace.
- Esthétique adaptable aux exigences du site en jouant sur la nature, forme, matériau, état de surface de l'écran.
- Technique dont la commodité de réalisation est d'autant plus grande que les caractéristiques topographiques de l'assise sont peu variables.

Dans le second cas, il s'agit seulement d'éléments de protection qui peuvent donc être considérablement allégés et simplement accrochés au talus par tout procédé approprié et notamment au moyen d'une nappe géotextile insérée entre deux ou plusieurs couches du massif (cf schéma ci-dessous).

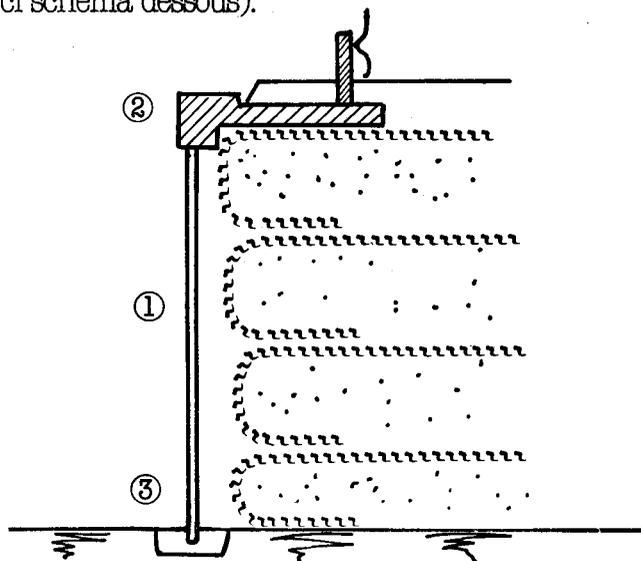


- ① nappes de renfort
- ② éléments rigides de protection se chevauchant mutuellement
- ③ éléments d'accrochage des éléments rigides

- Protection et parement du talus par mise en place d'un écran rigide masquant le talus du massif renforcé.

Cet écran peut servir de référence géométrique sur laquelle s'appuie le coffrage de chaque couche au moment de la construction et l'on se trouve alors dans le cas décrit en 3.3.2 a.

Dans le cas contraire, l'écran peut être constitué d'une structure extrêmement légère: mur, voile en béton, palfeuilles métalliques, bardages divers... (cf schéma dessous).



- ① écran de protection
- ② longrine de raccordement
- ③ cuvette de fondation

5

PRINCIPES DE DIMENSION- NEMENT

Les ouvrages renforcés par géotextiles sont caractérisés par la possibilité d'atteindre des niveaux de déformation élevée avant la rupture des armatures. Il s'en suit la nécessité de prendre en compte et d'assurer la compatibilité des déformations à court et à long terme avec les exigences de l'ouvrage.

La possibilité d'utiliser une grande variété de sols est un avantage des ouvrages renforcés par géotextile (cf. chapitre 1). Cependant, la mise en œuvre correcte du matériau de remblai constitue un des éléments capitaux permettant d'assurer le bon comportement de l'ouvrage.

Les épaisseurs de mise en œuvre du sol, déterminées suivant les règles usuelles (cf. chapitre 4), constitueront le paramètre principal du choix de l'espacement des lits de géotextile de renforcement.

En effet, on choisira une épaisseur entre deux lits de renforcement, multiple de l'épaisseur de mise en œuvre du sol.

En outre, dans le cas des ouvrages à parement vertical ou de pente raide, il convient de prévoir un drainage correct de l'ouvrage en particulier à l'amont.

PRINCIPES DU CALCUL DES OUVRAGES RENFORCÉS PAR GEOTEXTILE

Pour les calculs d'ouvrages on utilisera en général des méthodes de calcul à la limite.

De plus, on attachera une importance particulière à l'évaluation des déformations engendrées par les efforts dans les géotextiles de renforcement.

Le calcul est réalisé suivant les méthodes usuelles et reconnues en mécanique des sols.

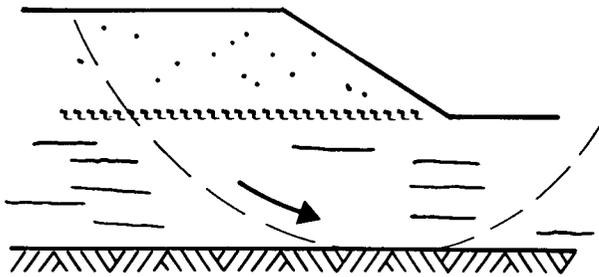
Commentaires:

Dans la pratique pour les ouvrages de soutènement, on utilisera les méthodes couramment employées pour dimensionner les ouvrages rigides en attendant que les recherches en cours permettent d'envisager la prise en compte de la déformabilité spécifique aux ouvrages renforcés par géotextile.

1 - STABILITE EXTERNE

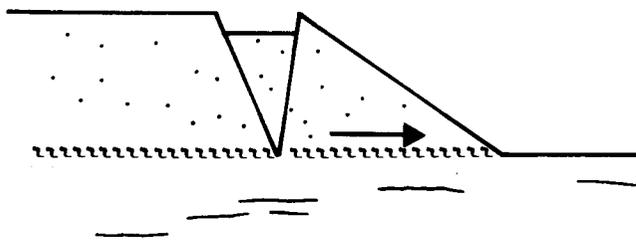
Le dimensionnement doit comprendre une vérification:

1 - de la stabilité d'ensemble

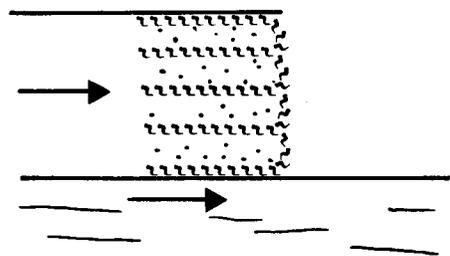


$F = 1,5$

2 - de la stabilité au glissement

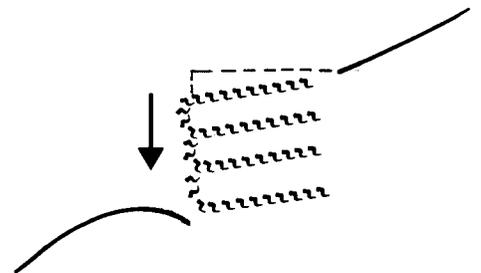
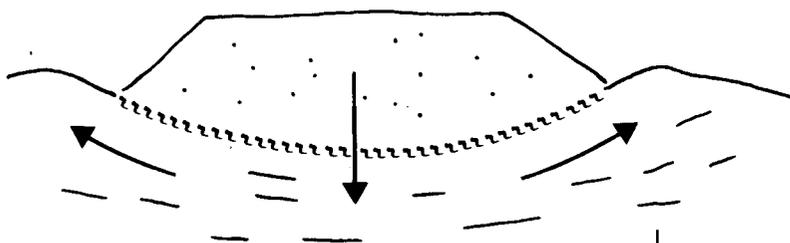


$\delta = 0$



$F = 1,5$

3 - de la stabilité au poinçonnement



$F = 2$

La notion de surface de rupture est délicate à définir dans le cas des ouvrages renforcés par géotextile. C'est la raison pour laquelle il conviendra d'analyser différentes lignes de «calcul» dans l'analyse de stabilité de l'ouvrage.

4 - de la stabilité au renversement

Cette vérification n'est justifiée dans le cas des ouvrages de type soutènement verticaux étroits fondés sur un sol de fondation rigide.

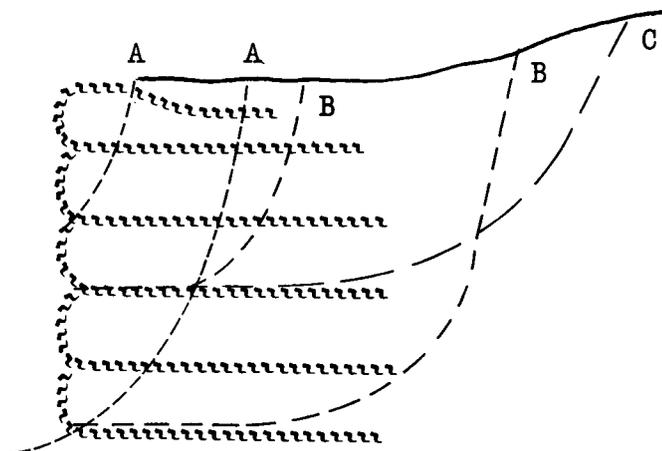
2 - STABILITE INTERNE

2.1 - Comportement et équilibre global

2.1.1 - Choix d'une surface de «calcul»

L'analyse de stabilité globale sera réalisée suivant les surfaces de «calcul» potentiellement les plus défavorables.

On pourra tester des surfaces de forme circulaire (A) ou autres (B ou C). En particulier, on examinera avec soin les surfaces prenant en compte d'éventuelles ruptures au contact du géotextile (B) au niveau de chaque lit.



2.1.2 - Prise en compte des actions et des caractéristiques des matériaux

Les paramètres définissant les actions et les caractéristiques des matériaux seront introduits dans le calcul après prise en compte de coefficients de sécurité.

Ainsi, à titre d'exemple:

Comme il est d'usage dans les ouvrages en terre, on limitera la cohésion c' à 5 ou 10 kPa au maximum.

	Coefficient de sécurité
SOL	
poids volumique	1,0
cohésion c' ou c'_u	1,5
angle de frottement ϕ' ou ϕ'_u sur la tangente	1,5

GEOTEXTILE

résistance à la traction α_f	F_{mat} (cf. 2.a)
raideur en traction $J(t)$	1,0

INTERACTION SOL - GEOTEXTILE

adhérence c'_g ou c'_{ug}	1,5
angle de frottement ϕ'_g ou ϕ'_{ug} sur la tangente	1,5

SURCHARGES EXTERIEURES

surcharges statiques q	1,0
surcharges dynamiques q_d	1,2

2.1.3 - Equations d'équilibre du bloc

L'analyse de stabilité suivant la surface de «calcul» envisagée aura pour but de déterminer:

La somme des efforts à mobiliser dans les géotextiles interceptés par la surface de «calcul» $\sum_1 H_1$.

Elle sera réalisée en vérifiant les équations d'équilibre suivant les méthodes usuelles en mécanique des sols.

2.2 - Comportement local. Equilibre de la nappe de géotextile**2.2.1 - Rupture du géotextile**

Afin de garantir, vis-à-vis de la rupture du géotextile par traction, un coefficient de sécurité (F_{mat}) sera pris en compte.

Dans l'absolu, il conviendrait de prendre le coefficient de sécurité par rapport à la valeur estimée de la traction maximale mobilisable à la fin de la durée de vie de l'ouvrage compte tenu de la perte initiale de résistance due au compactage, ainsi que d'un éventuel vieillissement physico-chimique.

Dans la pratique, on procédera en se rapportant à la valeur de résistance en traction initiale du produit.

Soit:

$$\alpha_{adm} = \frac{1}{F_{mat}} (\alpha_f(t) - 2,91\sigma)\eta_{comp}$$

avec:

α_{adm} effort de traction admissible dans le géotextile.

Norme AFNOR X 06-032:

La valeur 2,91 correspond à une probabilité de 95% que la détermination de la variable sur la base de 10 essais soit supérieure de 5% à la valeur réelle de la variable.

Cette valeur sera modifiée éventuellement en tenant compte du nombre d'essais qui sert à la détermination de α_f et de σ .

Pour les produits certifiés, on se reportera aux recommandations générales sur l'emploi des géotextiles.

Les essais réalisés sur divers géotextiles avec des sols particulièrement agressifs montrent que 0,6 est une valeur extrême de η_{comp} .

Vis-à-vis des risques de dégradation physico-chimique, on se reportera au chapitre 3.

$\alpha_f(t)$ effort maximal de traction du produit, à la date correspondant à la durée de service (t) l'ouvrage.

F_{mat} coefficient de sécurité sur le géotextile.

σ écart type obtenu sur la valeur de l'effort de traction maximal $\alpha_f(t)$ (10 essais minimum)

η_{comp} coefficient caractérisant la perte de résistance en traction induite par le compactage.

Le coefficient de sécurité F_{mat} sera pris égal à

$$F_{\text{mat}} = 1,2$$

α_f correspond à la plus petite valeur de résistance à la traction du géotextile pour la durée de vie de l'ouvrage. Celle-ci pourra être obtenue à partir d'un essai de fluage du produit.

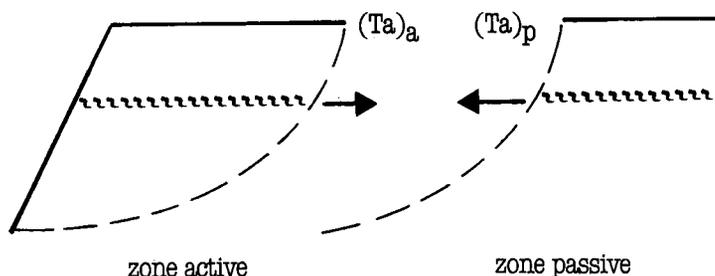
Cependant, en absence d'essai de fluage normalisé, on pourra tenir compte du comportement dans le temps du produit de façon forfaitaire en appliquant les coefficients suivants:

Tableau V-I

Polymère	Sollicitations de courte durée	Sollicitations permanentes
Polyester	2	5
Polypropylène Polyéthylène	5	10

b - Rupture par défaut d'adhérence

Il conviendra de vérifier l'impossibilité de rupture par défaut d'adhérence, aussi bien dans la zone active que dans la zone passive.



Vis-à-vis de ce type de rupture le coefficient de sécurité pris en compte (F_a) correspond à celui utilisé pour les caractéristiques d'adhérence (c'_g, ϕ'_g); on définira ainsi un effort de traction admissible (T_a) à partir de la tension de rupture par défaut d'adhérence (T_{ra}):

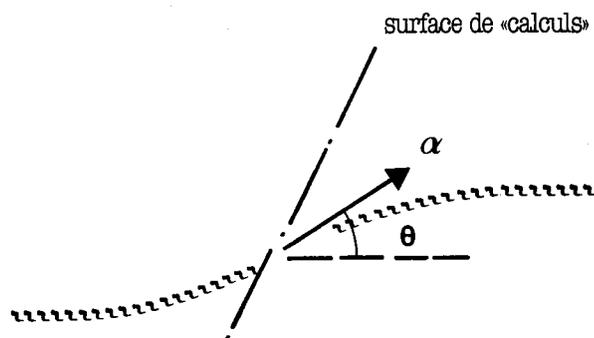
$$T_a = T_{ra} / F_a$$

avec

$$F_a = 1,5.$$

c - cinématique locale du cisaillement

L'étude de la cinématique locale du cisaillement peut donner l'inclinaison de l'effort de traction dans le géotextile. Pour des déformations importantes de l'ouvrage le schéma réel de comportement est voisin de celui présenté ci-dessous:



Habituellement, deux schématisations de ce phénomène sont utilisées:

a - l'inclinaison est prise nulle: l'effort de traction des géotextiles est horizontale. Cette schématisation, qui est dans le sens de la sécurité vis-à-vis d'une rupture globale, est fréquemment employée.

b - l'inclinaison est prise égale à l'inclinaison de la surface de rupture. Cette schématisation peut s'appliquer à certains ouvrages pour lesquels on tolère de très grandes déformations.

3 - Compatibilité des déformations

Compte tenu de la déformabilité des géotextiles, il est indispensable de vérifier la compatibilité des déformations avec les spécifications techniques du projet.

Pour vérifier que les efforts de traction dans les géotextiles génèrent des déformations tolérables, tant au niveau local qu'au niveau global dans

EXEMPLE DE PROCESSUS DE CALCUL:

A titre d'exemple, on pourra citer la méthodologie employée dans la méthode des déplacements; DELMAS Ph., BERCHE J.C., GOURC J.P. (1986). Le dimensionnement des ouvrages renforcés par géotextiles le programme CARTAGE. Bull. liaison labo. P. et Ch., 142, mars-avril, pp. 33-44.

Cette méthode mise au point au LCPC et à l'IRIGM a donné lieu à l'écriture d'un logiciel CARTAGE qui est diffusé (prendre contact avec le LCPC).

Cinématique globale

Cette méthode suppose qu'un déplacement se fait le long de la surface de calcul, ce qui permet de relier entre eux les déplacements locaux au droit des géotextiles au déplacement en tête. La définition du déplacement local permettra ainsi de définir le niveau de mobilisation de chaque nappe.

Par ailleurs, le choix d'une valeur limite sur un déplacement jugé critique (en tête par exemple) permet de définir un déplacement local limite au droit de chaque nappe.

Déformation locale

Pour évaluer le niveau de mobilisation du géotextile en fonction du déplacement local, on définit une loi d'ancrage, aussi bien dans la zone active que dans la zone passive. Celle-ci se fait en couplant la loi effort-déformation du géotextile en traction (élastique linéaire) avec la loi de mobilisation de l'effort de contact sol-géotextile (élasto-plastique). Le calcul de l'effort de traction dans la nappe se fait en écrivant l'égalité des efforts d'ancrage dans la zone active et passive, et celle du déplacement local définit plus haut et de la somme des déplacements d'ancrage des zones active et passive.

Vérification finale de la stabilité globale

La stabilité de l'ouvrage sera assurée en vérifiant que l'ensemble des efforts mobilisables définis ci-dessus permet de vérifier l'équilibre du bloc situé au-dessus de la surface de calcul.

l'ouvrage, il conviendrait d'utiliser les lois de comportement dans le temps du sol et du géotextile.

Dans l'hypothèse où le sol utilisé possède des caractéristiques mécaniques stables dans le temps, le comportement du géotextile, en particulier au fluage, sera prépondérant dans celui de l'ouvrage.

On pourra, par exemple, définir la raideur $J(t)$ pour différentes dates importantes dans la vie de l'ouvrage, telles que la fin de construction ou la fin de l'utilisation. Ces valeurs de $J(t)$ pourront être obtenues à partir d'essais de fluage sur le produit. Cependant en absence d'essai de fluage, et sous réserve d'utiliser les coefficients du tableau V-I sur α_f , on pourra se contenter de vérifier la compatibilité des déformations instantanées évaluées à partir de la raideur obtenue lors d'un essai de traction (NF.G.38014).

Pour vérifier la compatibilité des déformations dans l'ouvrage, il conviendra de définir une cinématique locale au niveau de chaque lit en liaison avec une cinématique globale, elle-même en accord avec la surface de «calcul» considérée.

Un exemple de processus de calcul est présenté en commentaire.

Cependant, tout dimensionnement devra au minimum présenter le détail des phases suivantes:

- définition de la durée de service de l'ouvrage, pour laquelle le calcul est réalisé,
- définition d'une relation entre les sollicitations locales de chaque nappe en accord avec la cinématique retenue,
- évaluation de la déformation locale maximale de chaque nappe de géotextile, en tenant compte des lois de comportement d'interaction sol géotextile (frottement, adhérence),
- vérification de la compatibilité de ces déformations avec les critères de dimensionnement:
 - déformation admissible du géotextile (fluage, rupture...)
 - sollicitation admissible localement dans le sol (des déformations trop importantes peuvent réduire la résistance mécanique du sol),
 - sollicitations admissibles globalement pour l'ouvrage (la superstructure, le parement,... peuvent imposer un niveau de déformation maximum à respecter).

EXEMPLES REELS D'OUVRAGES RENFORCES PAR GEOTEXTILES

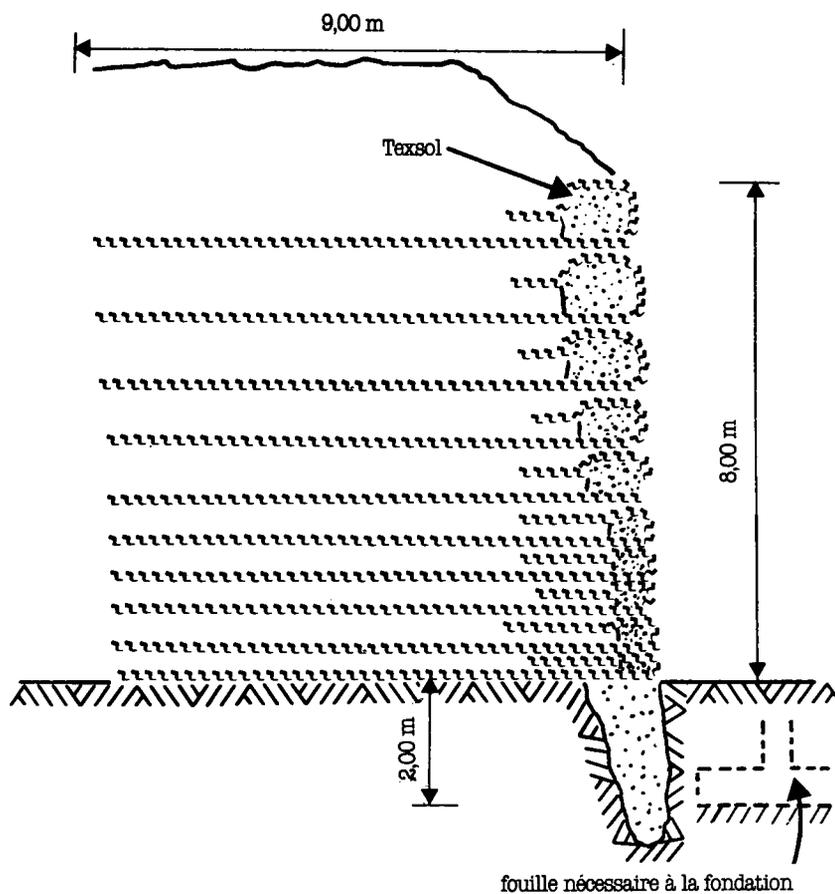
Les exemples présentés ci-après correspondent à des ouvrages réels actuellement en service pour les ouvrages définitifs, ou à des ouvrages provisoires.

Les caractéristiques nécessaires au dimensionnement sont fournies à titre indicatif, et les dispositions retenues n'engagent que les responsables du projet.

Toute extrapolation à d'autres ouvrages ne pourra constituer une justification de dimensionnement.

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

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

$$\varepsilon_f = 8\%$$

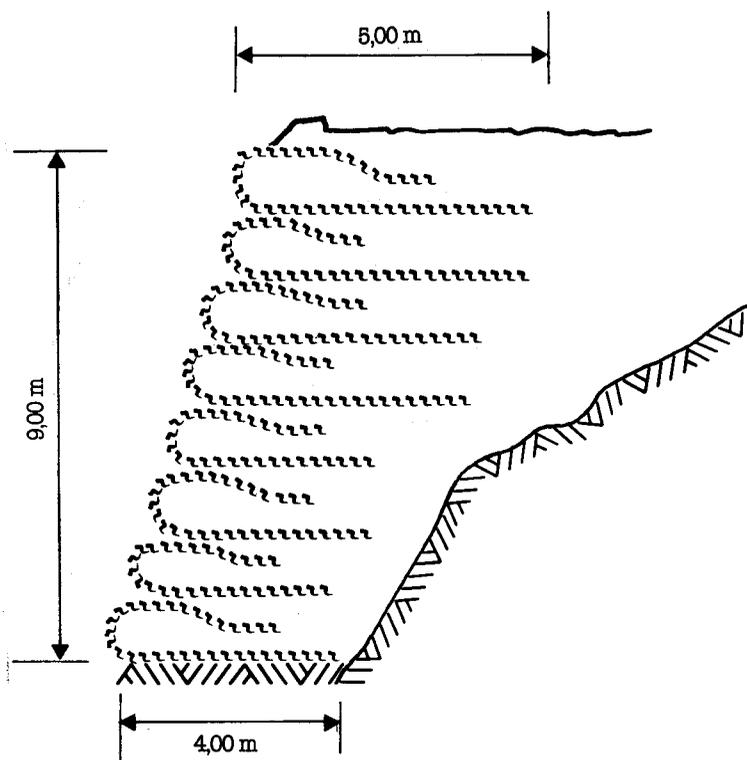
$$\alpha_{adm} = 40 \text{ kN/m}$$

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

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

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

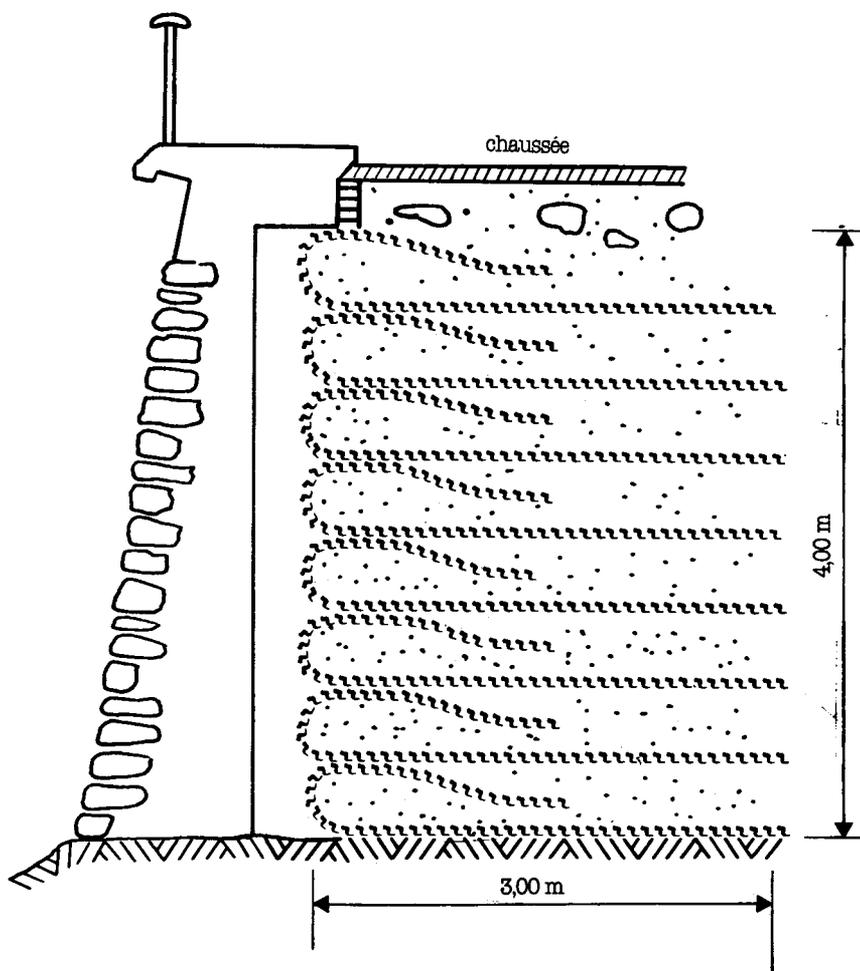
$$\alpha_f = 200 \text{ kN/m}$$

$$\epsilon_f = 8 \%$$

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

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

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

$$\varepsilon_f = 20\%$$

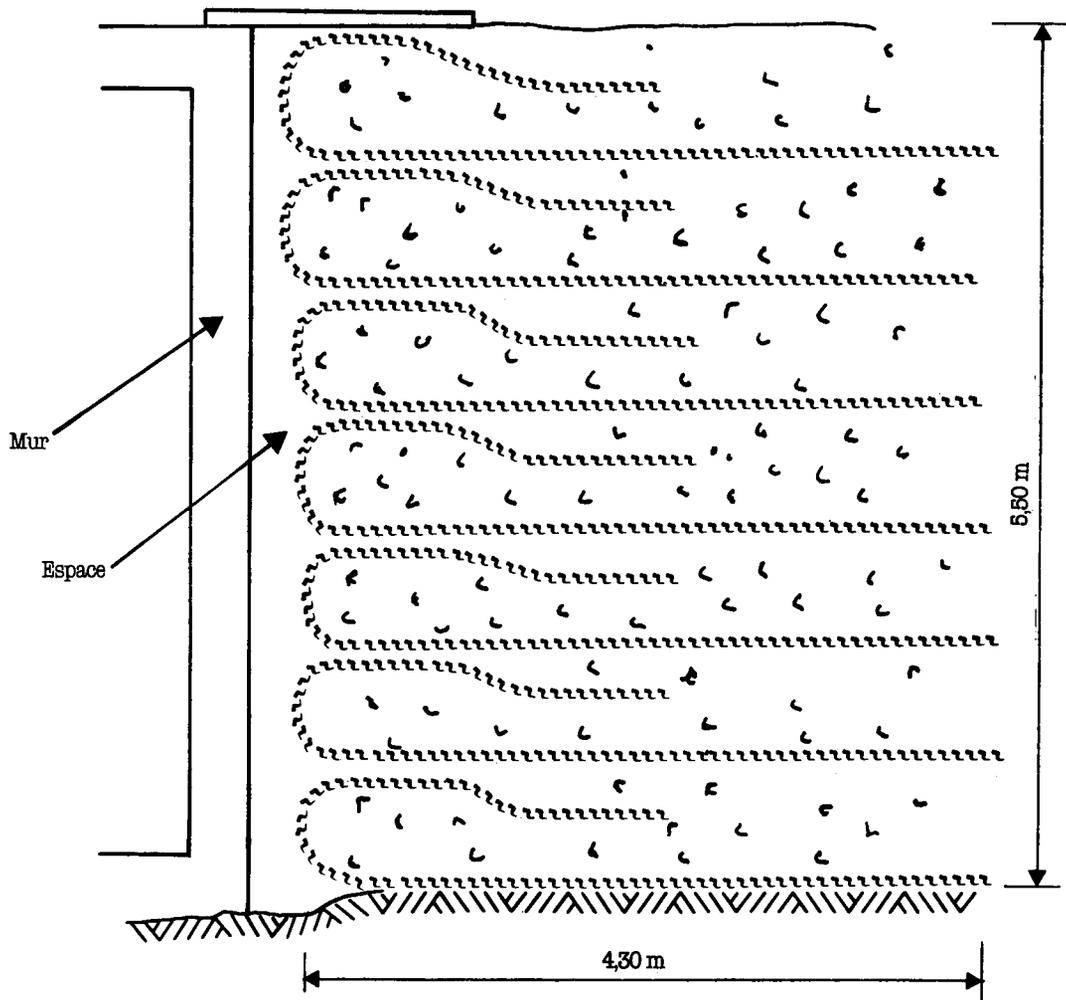
$$J = 400 \text{ kN/m}$$

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

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

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

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

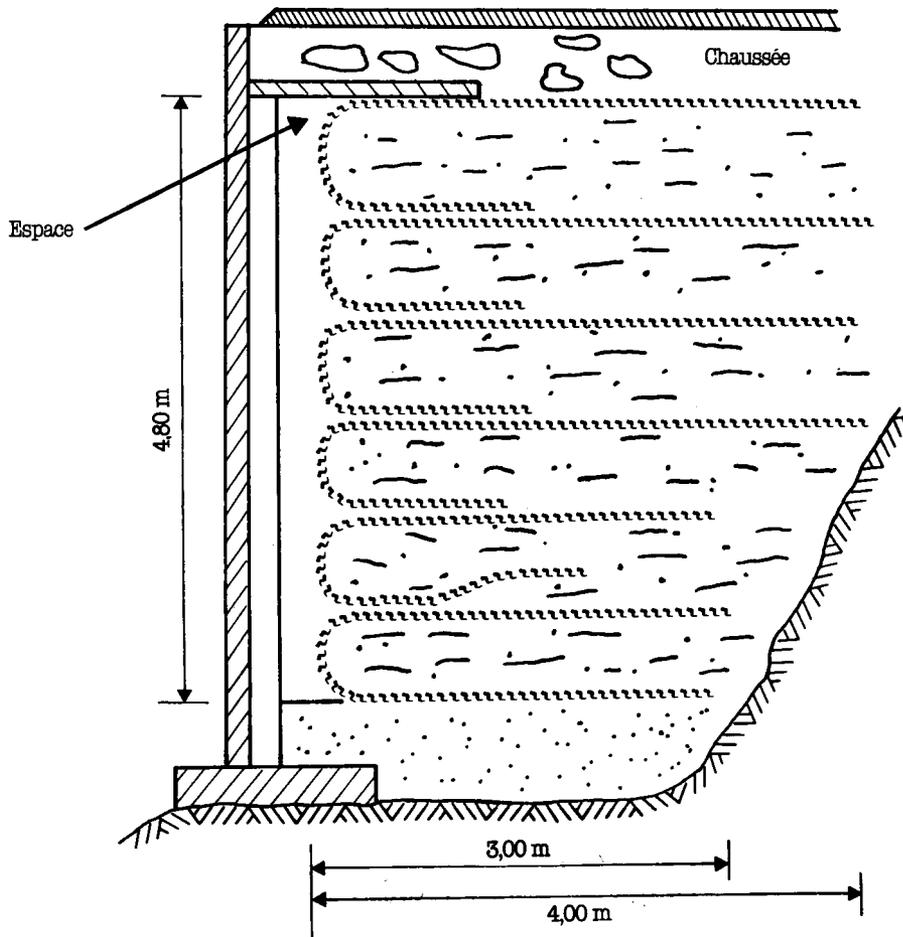
$$\varepsilon_f = 9\%$$

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

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

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

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

$$\varepsilon_f = 19\%$$

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

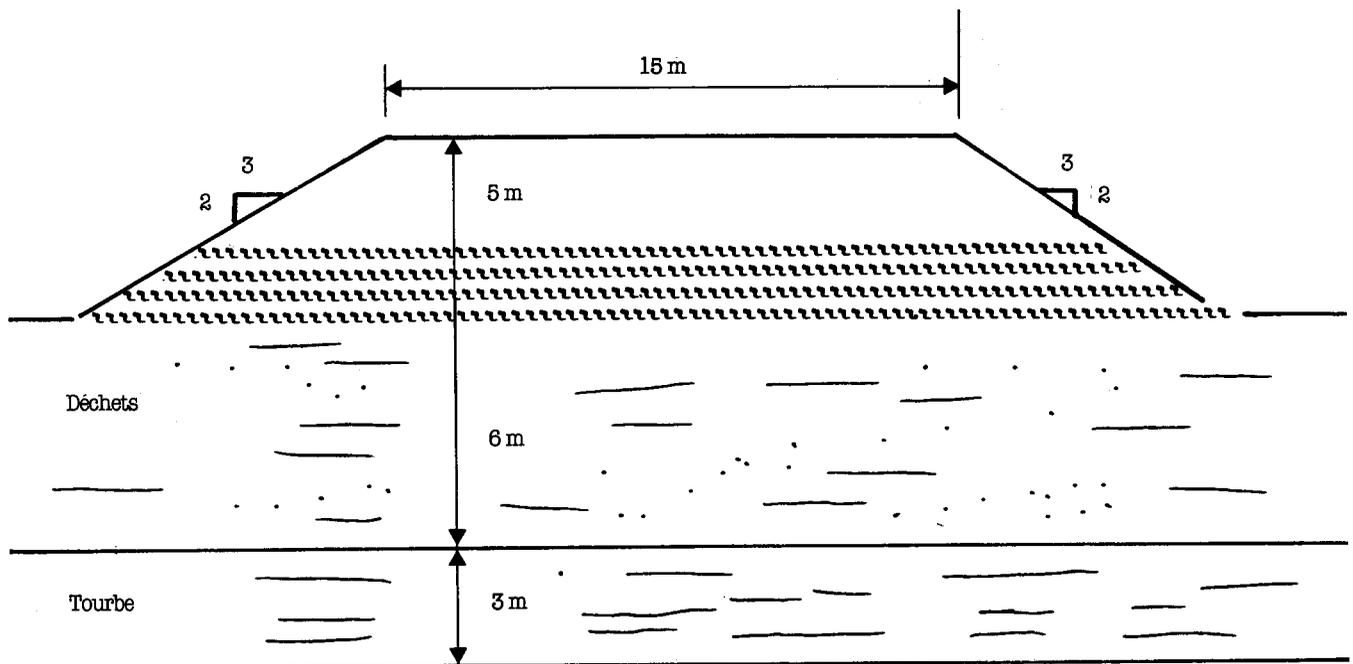
Calcul

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

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

TYPE D'OUVRAGE : Remblai sur sol mou
 LOCALITE : Aulnois
 VOIE : Autoroute A 26 (1986)

PROFIL EN TRAVERS TYPE



SOL SUPPORT

Déchet de lavage de betteraves

$$7 < c_u < 19 \text{ kPa}$$

$$0,63 < C_c < 0,84$$

$$0,75 < e_o < 2,3$$

$$22 < w < 100 \%$$

$$13 < \gamma < 19 \text{ kN/m}^3$$

SOL DE REMBLAI

Sable

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

$$\phi' = 30^\circ$$

$$c' = 0$$

GEOTEXTILE

Tissé de polypropylène

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

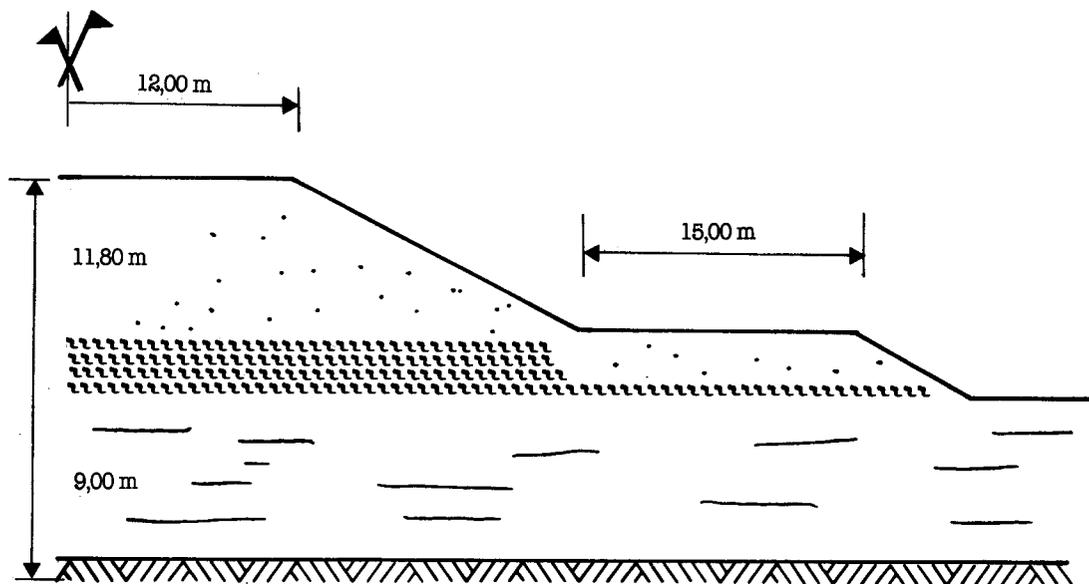
$$\varepsilon_f = 11 \%$$

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

$$J = 1800 \text{ kN/m}$$

TYPE D'OUVRAGE : Remblai sur sol mou
 (diminution du nombre de phases 3 à 2)
 LOCALITE : Remblai du Fort Rouge
 VOIE : Autoroute A 26 (1986)

PROFIL EN TRAVERS TYPE



SOL SUPPORT

Argile sableuse à sable argileux

$$20 < c_u < 30 \text{ kPa}$$

$$15 < \gamma < 18 \text{ kN/m}^3$$

SOL DE REMBLAI

Sable

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

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

$$c' = 0$$

GEOTEXTILE

Tissé de polypropylène

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

$$\varepsilon_f = 11 \%$$

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

$$J = 1000 \text{ kN/m}$$

$$tg\phi'_g / tg\phi' = 0,5$$

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



SPECIFICATIONS ET CONTROLES

Commentaires:

Les éléments relatifs aux spécifications et au contrôle des géotextiles développés dans ce chapitre ne sont pas spécifiques aux ouvrages renforcés par géotextiles mais s'appliquent à l'ensemble des ouvrages comportant des géotextiles.

SPECIFICATIONS

Les spécifications ont pour objet de fixer toutes les caractéristiques des matériaux (géotextiles et remblai) nécessaires pour garantir une mise en œuvre correcte est un bon comportement après construction. On peut distinguer les caractéristiques d'identification facilement contrôlables sur chantier et les caractéristiques fonctionnelles, qui, pour être mesurées nécessitent des conditions et des matériels adaptés qu'il est difficile de trouver sur le chantier. Pour ces dernières, il est indispensable de prévoir la réalisation des essais correspondants avant le début des travaux, pour agréer les produits.

En outre, les spécifications doivent prévoir clairement la tolérance géométrique et la qualité esthétique de la partie visible de l'ouvrage (parement).

La décision d'agréer ou non les matériaux, la méthode de construction et le parement relève dans tous les cas du maître d'œuvre.

Matériaux de remblai

Dans le cas de matériaux de remblai qu'ils soient extraits du site ou qu'ils proviennent d'emprunts, la connaissance préalable de matériau doit être acquise par une étude géotechnique utilisant les essais d'identification conventionnels et les moyens classiques de reconnaissance.

En janvier 1988, les essais normalisés sont:

NF-38010 Atmosphères de conditionnement et d'essais,
 NF-38011 Echantillonnage et prélèvement des éprouvettes,
 NF-38012 Détermination de l'épaisseur,
 NF-38013 Détermination de la masse surfacique,
 NF-38014 Détermination de la résistance à la traction, et de la déformation à l'effort maximum,
 NF-38015 Détermination de la résistance au déchirement,
 NF-38016 Mesure de la permittivité hydraulique,
 NF-38017 Porométrie,
 NF-38018 Mesure de la transmissivité hydraulique,
 NF-38019 Détermination de la résistance au poinçonnement,
 NF-38020 Détermination de la résistance à la traversée de l'eau,
 NF-38050 Identification.

A la date de rédaction de ce fascicule, les essais en cours d'étude pour normalisation sont:

- L'essai de frottement,
- L'essais d'endommagement,
- L'essai de souplesse,
- L'essai de fluage.

Par ailleurs, on notera aussi qu'une norme sur le contrôle et la réception des géotextiles est en cours d'étude à la date de rédaction de ce fascicule.

L'importance de cette reconnaissance doit être adaptée aux conditions particulières du site et de l'ouvrage. Elle devra permettre de définir les conditions de réemploi des matériaux et de s'assurer de ses caractéristiques mécaniques minimales. Dans le cas de matériaux sensibles à l'eau, on veillera à définir les conditions de réemploi et à évaluer les risques d'engendrer des surpressions interstitielles.

Les géotextiles

Les spécifications se rapporteront, en premier lieu, aux rôles des géotextiles nécessaires au fonctionnement de l'ouvrage pendant sa période de service: renforcement, séparation, filtre ou/et drain.

Les valeurs des caractéristiques objet des spécifications seront fixées à partir du dimensionnement de l'ouvrage et mesurées au moyen des essais normalisés ou en instance de normalisation.

D'autre part, il y a lieu de définir des spécifications propres à assurer le comportement correct des géotextiles lors de la mise en oeuvre de l'ouvrage, en particulier face aux sollicitations engendrées par l'agressivité des granulats, par la chute des blocs... Pour cela, on pourra se référer aux caractéristiques des produits pour résister aux sollicitations localisées, à la propagation de la déchirure, voire, pour faciliter la mise en oeuvre, la souplesse.

AGREMENT

Au stade de l'examen des offres, l'agrément d'un produit se fait en comparant les valeurs prescrites à celles données par les producteurs selon les modalités suivantes:

- pour les produits disposant d'un certificat de qualification, la simple vérification de la concordance des prescriptions et des caractéristiques suffit pour prononcer l'agrément,

- pour les autres produits, l'agrément peut être:

- soit refusé,
- soit prononcé, sous réserve de produire des résultats d'essais réalisés conformément aux normes, par des laboratoires agréés.

CONTROLES DE RECEPTION

On se rapprochera, dans un premier temps, du fascicule de Recommandations générales pour la réception et la mise en œuvre des géotextiles et en particulier, il importera de vérifier, dans tous les cas, que le fournisseur présente la fiche d'identification du produit établie suivant la norme NF.G.38050, ainsi que les valeurs des caractéristiques spécifiées.

De manière systématique, à titre de réception, on exécutera les deux vérifications simples et rapides que sont la détermination de la masse surfacique (NF.G.38013) et de l'épaisseur nominale (NF.G.38012).

1	Ouvrage	Drainage	Filtration	Séparation	Renforcement
	1. Massif à parement vertical avec structure sus-jacente				★★★
	2. Massif à parement vertical sans structure sus-jacente				★★
	3. Remblai sur sol mou (gain de stabilité par géotextile)		★		★★★
	4. Remblai sur sol mou (rôle de séparation)		★		★
	5. Massif en terre renforcée à parement incliné avec structure sus-jacente				★★
	6. Massif en terre renforcée à parement incliné sans structure sus-jacente				★
	7. Voies à faible trafic et couches de forme			★	★★
	8. Piste de chantier			★	★
	9. Tranchée drainante (bord de chaussée)		★★		
	10. Filtre de barrage		★★★		
	11. Filtre drain homogène derrière un soutènement	★★★	★★★		
	12. Protection de berge		★★		★★

★★★ : fonction capitale
 ★★ : fonction importante
 ★ : fonction moyennement importante

Pour les caractéristiques fonctionnelles, les modalités de contrôle des géotextiles s'appuient sur trois principes essentiels:

- le contrôle doit être d'autant plus poussé que la (ou les) fonction(s) du géotextile est (sont) importante(s) dans le fonctionnement de l'ouvrage,

- la nature des essais de contrôle diffère suivant la fonction remplie par le géotextile dans l'ouvrage,

- pour un même niveau d'importance de la fonction remplie, le nombre d'essais de contrôle doit être proportionnel à la quantité de géotextile mis en œuvre dans l'ouvrage.

Ces trois principes sont explicités dans les tableaux suivants:

Le premier tableau classe l'importance des fonctions des géotextiles pour différentes utilisations:

Le deuxième tableau précise la nature des essais **significatifs vis à vis** de la fonction remplie par le géotextile :

2	Essai	Frottement	Traction	Permittivité	Transmissivité	Porométrie
	Function					
	Séparation					•
	Renforcement	•	•			
	Filtration		•		•	
	Drainage				•	

Le troisième tableau donne pour les géotextiles non certifiés, le nombre d'essais de contrôle qu'il est recommandé d'effectuer, en liaison avec l'importance de la fonction et celle de la superficie du géotextile.

		3a			
		0	250 m ²	2,500 m ²	25,000 m ²
		Superficie de géotextile (X)			
***FONCTION	Frottement	0	0	1	$1 + \frac{X - 25\,000}{50\,000}$
	Traction Permittivité Transmissivité Porométrie	0	1	$1 + \frac{X - 25\,000}{5\,000}$	$6 + \frac{X - 25\,000}{10\,000}$

		3b		
		0	1 000 m ²	10 000 m ²
		Superficie de géotextile (X)		
***FONCTION	Frottement	0	0	1
	Traction Permittivité Transmissivité Porométrie	0	1	$1 + \frac{X - 10\,000}{20\,000}$

		3c		
		0	4 000 m ²	40 000 m ²
		Superficie de géotextile (X)		
***FONCTION	Frottement	0	0	1
	Traction Permittivité Transmissivité Porométrie	0	1	$1 + \frac{X - 40\,000}{80\,000}$

Pour les géotextiles certifiés, les contrôles peuvent être considérablement allégés. Cependant, il est recommandé de ne pas les supprimer, en conservant une fréquence d'essais telle qu'indiquée dans le quatrième tableau (déduit du tableau 3, en multipliant les seuils de surface par 4).

		4a				
		0	1 000 m ²	10 000 m ²	100 000 m ²	
		Superficie de géotextile (X)				
FONCTION***	Traction Permittivité Porométrie Transmissivité	}	0	1	$1 + \frac{X - 10\,000}{20\,000}$	$6 + \frac{X - 100\,000}{40\,000}$
	Frottement		Actuellement, ces essais ne font pas l'objet d'une norme et n'ont pas été pris en compte par la certification. Le nombre d'essais de contrôle est donné par le tableau 3a.			

		4b			
		0	4 000 m ²	40 000 m ²	
		Superficie de géotextile (X)			
FONCTION**	Traction Permittivité Porométrie Transmissivité	}	0	1	$1 + \frac{X - 40\,000}{80\,000}$
	Frottement		Actuellement, ces essais ne font pas l'objet d'une norme et n'ont pas été pris en compte par la certification. Le nombre d'essais de contrôle est donné par le tableau 3b.		

		4c			
		0	16 000 m ²	160 000 m ²	
		Superficie de géotextile (X)			
FONCTION*	Traction Permittivité Porométrie Transmissivité	}	0	1	$1 + \frac{X - 160\,000}{320\,000}$
	Frottement		Actuellement, ces essais ne font pas l'objet d'une norme et n'ont pas été pris en compte par la certification. Le nombre d'essais de contrôle est donné par le tableau 3a.		

Si les résultats des essais de contrôle sont défavorables, il est conseillé aux maîtres d'oeuvre de prendre les dispositions suivantes:

- dans le cas des géotextiles non certifiés: refus de la fourniture livrée,
- dans le cas de géotextiles certifiés:
 - informer l'organisme certificateur,
 - procéder à une contre vérification sur un autre échantillon
 - au vu des résultats décider du refus de la livraison ou de son acceptation sous réserves.

L'essai de frottement préconisé est un essai de convenance qui permet de s'assurer que les propriétés du géotextile et du sol retenus sont en accord avec les hypothèses du calcul de dimensionnement.

Exemples d'utilisation:

Exemple 1

Pour un massif à parement vertical avec une structure sus-jacente (cas n° 1 du tableau 1) comportant 7 000 m² de géotextile on procédera de la façon suivante:

- rôle de renforcement (* * * dans le tableau 1)

- Essais correspondants (tableau 2)
Traction et frottement
- Nombre d'essais

a - produit non certifiés

Traction (tableau 3)

$$1 + \frac{7\,000 - 2\,500}{5\,000} = 1,9$$

que l'on arrondit à l'entier le plus proche, soit:

2 essais

Frottement (tableau 3):

1 essai

b - produit certifié

Traction (tableau 4):

1 essai

Frottement (tableau 3):

1 essai

Exemple 2

Pour un remblai sur un sol mou (cas n° 3 du tableau 1) comportant 18 000 m² de géotextile on procédera de la façon suivante:

- rôle de renforcement (* * * dans le tableau 1)

- Essais correspondants (tableau 2):
Traction et frottement
- Nombre d'essais

a - produit non certifié

Traction (tableau 3)

$$1 + \frac{18\,000 - 2\,500}{5\,000} = 4,1$$

que l'on arrondit à l'entier le plus proche, soit:

4 essais

Frottement (tableau 4):

1 essai

b - produit certifié

Traction (tableau 4)

$$1 + \frac{18\,000 - 10\,500}{20\,000} = 1,4$$

que l'on arrondit à l'entier le plus proche, soit:

1 essai

Frottement (tableau 3):

1 essai

- rôle de filtration (* dans le tableau 1)

- Essais correspondants (tableau 2)
Permittivité et porométrie
- Nombre d'essais

a - produit non certifié

Permittivité (tableau 3): 1 essai
Porométrie (tableau 3): 1 essai

b - produit certifié

Permittivité (tableau 4): 1 essai
Transmissivité (tableau 4): 1 essai

Exemple 3

Pour un massif en terre renforcée à parement incliné avec une structure sus-jacente (cas n° 6 dans le tableau 1) comportant 63.000 m² de géotextile on procèdera de la façon suivante:

- rôle de renforcement (** dans le tableau 1)

- Essais correspondants (tableau 2)
Traction et frottement
- Nombre d'essais

a - produit non certifié

Traction (tableau 3)

$$1 + \frac{63\ 000 - 10\ 000}{20\ 000} = 3,65$$

que l'on arrondit à l'entier le plus proche, soit:

4 essais

Frottement (tableau 3):

1 essai.

b - produit certifié

Traction (tableau 4):

$$1 + \frac{63\ 000 - 40\ 000}{80\ 000} = 1,3$$

que l'on arrondit à l'entier le plus proche, soit:

1 essai

Frottement (tableau 3):

1 essai

ANNEXE

FICHE D'IDENTIFICATION DE PRELEVEMENT

OUVRAGE

Localité :
 Voie :
 Date de prélèvement :
 Date de mise en service :

GEOTEXTILE

Désignation commerciale :
 Identification du producteur :
 Caractéristiques de fabrication (1) :
 Caractéristiques des constituants (2) :
 Masse surfacique :
 Epaisseur nominale (sous 2 kPa) :

PRELEVEMENT

Caractéristiques fonctionnelles du produit (3) :

Produit		neuf	après compactage
NF G 38014	α_f	_____ kN/m	_____ kN/M
	ε_f	_____ %	_____ %
NF G 38015	R_d	_____ kN	_____ kN
NF G 38016	ψ	_____ s ⁻¹	_____ s ⁻¹
NF G 38017	O_f	_____ μm	_____ μm
NF G 38018	θ	_____ m ² /s	_____ m ² /s
.....	
.....	

Lieu de stockage (4)

·
·
·

ECHANTILLONS TEMOINS DANS L'OUVRAGE

Nombre d'échantillons :
 Positionnement :

·
·

-
- (1) Préciser le mode de fabrication : tissé, nontissé, tricoté, grille, filet, composite, ...
 (2) Préciser les matières utilisées et les caractéristiques des fibres.
 (3) Remplir les cases correspondant aux caractéristiques fonctionnelles utilisées dans l'ouvrage.
 (4) Préciser le nombre d'éprouvettes, ainsi que l'adresse et le local de stockage.