

GIROUD J.P.

I.R.I.G.M., Université de Grenoble, France

PERFETTI J.

Direction Technique, développement non-tissés, Rhône-Poulenc Textile, France

Classification des textiles et mesure de leurs propriétés en vue de leur utilisation en géotechnique

Classification of fabrics and measurement of their properties with a view to utilisation in geotechnics

This paper consists of three main parts divided into six chapters : (I) DEFINITION OF FABRICS, (1) a classification is proposed for the types of membranes likely to be used in geotechnics ("Geomembranes"), and especially textiles, (2) the physical measurements to characterize the fabrics are described ; (II) BEHAVIOUR OF FABRICS, (3) tests for the determination of the properties (permeability and mechanical properties) of fabrics are presented, with special emphasis on the significance of such tests for geotechnical applications, (4) methods to determine environmental behaviour of fabrics are discussed ; (III) UTILIZATION OF FABRICS, (5) guides are given for the choice of specifications (it is also pointed out that precise specifications can be set up only when a method of design either theoretical or experimental is available), (6) an identification system is proposed which allows the engineer to control the fabric delivered in the field.

Le nombre croissant de textiles susceptibles d'être employés en géotechnique est déroutant pour l'utilisateur. De plus, la concurrence conduit à fabriquer des produits de moins en moins coûteux. L'ingénieur qui doit faire un choix est souvent perplexe et il est tenté, faute de critères techniques précis, de considérer uniquement les critères économiques. Cette tendance à utiliser des matériaux de moindre coût est logique mais elle conduit d'une manière générale à diminuer le coefficient de sécurité des ouvrages : il faut donc fixer objectivement les qualités minimales requises pour une application donnée. Nous proposons, dans cette communication, une démarche logique destinée à aider l'utilisateur dans son choix : (I) DEFINIR LE TEXTILE (1) en le situant par rapport aux autres : terminologie et classification et (2) en le décrivant par des mesures physiques ; (II) DETERMINER LE COMPORTEMENT DU TEXTILE (3) en mesurant ses propriétés et (4) en déterminant leur évolution dans le temps ; (III) CHOISIR ET UTILISER LE TEXTILE (5) en spécifiant les propriétés requises et (6) en l'identifiant.

I DEFINITION DU TEXTILE

1. Terminologie et classification

1.1. Terminologie

Depuis longtemps, divers produits sont ajoutés au sol pour modifier ses propriétés ou son comportement : additifs soit liquides (eau, produits chimiques), soit solides, solubles ou non (sels, armatures métalliques...). Ces dernières années, grâce au développement de la pétrochimie, est apparue une nouvelle catégorie d'additifs comprenant les films et les textiles. Ces matériaux sont caractérisés par : (1) leur minceur (une dimension beaucoup plus petite que les deux autres) d'où une grande souplesse ; (2) leur continuité (par opposition à la structure granulaire, donc discontinue, du sol) d'où leur aptitude à séparer les corps solides (en particulier les grains de sol) situés de part et d'autre. Minceur et continuité : le terme qui convient pour désigner ces matériaux est donc membranes. Et, pour marquer leur emploi en géotechnique, nous dirons GEOMEMBRANES.

Les deux types de géomembranes se distinguent par leur comportement vis-à-vis des fluides : les textiles sont perméables, les films sont étanches, quoique, par un traitement approprié, on peut rendre les textiles étanches (enduction) ou les films perméables (perforation).

1.2. Classification des géotextiles

Limitons-nous maintenant aux géomembranes textiles ou "géotextiles". On peut les classer selon les paramètres suivants : (1) Type de textile : tricot (un seul fil), tissé (deux séries de fils perpendiculaires) ou non-tissé (fils enchevêtrés) ; (2) Armure (c'est-à-dire mode d'entrelacement) : pour un tricot, type de point (jersey, côte...), pour un tissé, type de tissage (uni, sergé, satin...), pour un non-tissé, mode de liaison (mécanique (par exemple aiguilletage), chimique, thermique...) ; (Nota : on appelle grille un tissé très ouvert.) (3) Contexture (c'est une notion quantitative qui semble inapplicable aux non-tissés) : pour un tricot, nombre de mailles par unité de longueur dans le sens trame et nombre de rangs par unité de longueur dans le sens chaîne, pour un tissé, nombre de fils par unité de longueur dans le sens trame et dans le sens chaîne ; (4) Composition des fils : un seul filament (monofilament) ou plusieurs (multifilaments) ; en général les non-tissés sont à base de monofilaments ; (5) Type de filaments : longs (filaments) ou courts (fibres), faits d'une seule matière (homogènes) ou de plusieurs (hétérogènes), et, dans ce dernier cas, disposition des différentes matières (bilame, coaxial...) ; (6) Matière des filaments ou fibres (polyamide, polyester, polypropylène...) ; (7) Renforcement : le textile peut être renforcé, dans une ou plusieurs directions, par des fils supplémentaires, ou dans toutes les directions par une imprégnation.

En conclusion, une description complète doit fournir les sept indications énumérées ci-dessus (exemple : tissé uni, chaîne 4 fils/cm multifilament, 40 % filaments homogènes polyester, 60 % filaments homogènes polyamide, trame 5 fils/cm monofilaments hétérogènes bilames polyester-polyamide, renforcé par imprégnation), ou, pour les cas plus simples, certaines de ces indications (exemple : non-tissé aiguilleté monofilaments polyester).

2. Description physique

La description qualitative donnée au § 1 suffit pour nommer et classer les textiles. Mais une description quantitative par des mesures physiques est nécessaire car les propriétés ainsi mesurées : (1) interviennent dans des calculs économiques (prix, encombrement...) et techniques (perméabilité, résistance...) ; (2) permettent une identification rapide des textiles.

2.1. Caractéristiques physiques des filaments

(Nota : après les symboles, nous indiquons entre parenthèses l'unité du système international suivie, éventuellement, d'un multiple ou sous-multiple commode ; si la mesure de la grandeur ne présente pas de difficulté, nous ne faisons pas de commentaire).

Il ne s'agit ici que de mesures de masses et de longueurs ; pour la température, voir § 4.

Caractéristiques mesurables : (1) Section des fils et, éventuellement, des filaments qui les composent (forme et surface de la section, dimensions caractéristiques ; le diamètre, d (microns ou 100e de mm), suffit si la forme est circulaire) ; (2) Masse volumique des filaments, ρ_f (kg/m³), (masse volumique moyenne en cas de multifilaments ou de filaments hétérogènes).

Caractéristiques calculées à partir des précédentes : (1) surface volumique des filaments, s_{vf} (m⁻¹, mm⁻¹), ($s_{vf} = 4/d$ si section circulaire) ; (2) surface massique des filaments, s_{mf} ($s_{mf} = 4/d \rho_f$ si section circulaire) m²/kg.

2.2. Caractéristiques physiques du textile

Ci-dessus (§ 2.1) sont indiquées les caractéristiques physiques des filaments indépendamment de leur arrangement mutuel. La disposition du fil (tricot) ou des fils et filaments (tissé ou non-tissé) confère au textile des caractéristiques physiques globales mesurables.

Caractéristiques mesurables : (1) Masse surfacique, m (kg/m²) ; c'est un paramètre assez significatif et très facile à mesurer ; (2) épaisseur, e (m, mm) : comme elle dépend de la compression exercée sur le textile (§ 3.2 a1) il faudrait définir l'épaisseur nominale sous compression nulle, chose impossible car la surface d'un textile est irrégulière ; on normalise donc une mesure consistant à appliquer sur le textile (posé sur un plan rigide) une plaque plane avec une pression faible ; mais les diverses normes diffèrent sur la

surface de la plaque (5 à 25 cm²) et sur la pression (5 mbar et 20 mbar étant les plus fréquentes) ; il faut absolument choisir une valeur unique et, étant donné la constitution lâche des géotextiles, nous proposons 25 cm² et 5 mbar.

Caractéristiques calculées à partir des précédentes : (1) masse volumique du textile, c'est la masse volumique apparente du textile, composé de filaments et de vides (utile pour la relation masse-volume des rouleaux pour le stockage et la manutention), $\rho = m/e$ (kg/m³) ; (2) porosité, $n = 1 - \rho/\rho_f = 1 - m/e\rho_f$ (volume des vides/volume total du textile) et indice des vides, $e = n/(1-n)$ (volume des vides/volume des filaments) : ces deux caractéristiques sont liées à la perméabilité ; (3) surface spécifique surfacique du textile, $s_t = 4 m/\rho_f d$ (m²/m²) (surface des filaments/unité de surface du textile).

II COMPORTEMENT DU TEXTILE

Ci-dessus (I) nous avons défini le textile au repos ; maintenant (II) mesurons son comportement lorsqu'il est sollicité.

3. Mesure des propriétés

La réponse d'un corps à une sollicitation est généralement très compliquée et l'on n'en retient que quelques aspects typiques (résistance, module...) que l'on appelle "propriétés". De nombreux paramètres interviennent dans un essai et on a intérêt à choisir une sollicitation qui simule la réalité. De plus, chaque paramètre est fonction du temps : pour un même type d'essai, on peut avoir des déroulements différents (chocs, essais "dynamiques", essais "quasi-statiques", fluage c'est-à-dire contrainte constante, relaxation c'est-à-dire déformation constante, sollicitations répétées...). Signalons également les sollicitations de l'environnement (température, par exemple, qui provoque des déformations) qui seront examinées au § 4. Nous supposons ici que les essais sont faits sous conditions normales d'environnement (§ 4.1. a).

Enfin, la plupart des essais sont orientés : si le résultat, donc la propriété mesurée, dépend de l'orientation, on dit que le textile est anisotrope. On peut caractériser l'anisotropie d'un textile pour une propriété donnée par :

$I_{90} = P_{90}/P_{max}$ et $I_{45} = P_{45}/P_{max}$
avec P_{max} : valeur maximale de la propriété, P_{90} et P_{45} valeur de la propriété à 90° et 45° par rapport à la direction.

3.1. Perméabilité

a - Perméabilité aux gaz

On peut la mesurer par le débit d'air par unité de surface pour une différence de pression donnée de part et d'autre du textile. Il est regrettable que les différents auteurs emploient les unités les plus diverses. Il faut exprimer cette valeur en m/s (m³/s/m²) pour une différence de pression donnée en Pa (N/m²). Les valeurs retenues pour cette différence de pression varient selon les normes (196 Pa pour AFNOR G 07-111, 125 Pa pour ASTM D 737) mais leur ordre de grandeur (environ 10-15 m d'air) convient pour la géotechnique. Il faut donc choisir une valeur unique, par exemple 100 Pa.

b - Perméabilité à l'eau

Perméabilité normale (eau traversant le textile perpendiculairement à son plan) : on peut, comme pour les gaz, donner le débit d'eau par unité de surface (c'est-à-dire la vitesse apparente, m/s) pour une différence de pression donnée (Pa). Là, tout particulièrement, il faut lutter contre les unités fantaisistes employées par de nombreux auteurs. On peut simplifier l'expression de la perméabilité en employant la formule de Darcy : $v = k_n h/e$ (v : vitesse apparente = débit/surface ; h : différence de hauteur d'eau de part et d'autre du textile ; e : épaisseur du textile). Le résultat s'exprime soit par k_n (coefficient de perméabilité normale, m/s), soit par k_n/e (impédance, s⁻⁴). Si k_n dépend de la différence de hauteur d'eau (c'est-à-dire de la différence de pression) on doit indiquer la valeur de différence de pression pour laquelle k_n a été mesuré. Il n'existe pas, à notre connaissance, de méthode normalisée pour mesurer la perméabilité d'un textile mais les perméamètres utilisés en Mécanique des Sols conviennent bien à condition d'être adaptés aux grands débits et de faire la mesure sur un empilement de plusieurs échantillons. Le coefficient k_n dépend en général de l'épaisseur du textile. Il faut donc, dans le perméamètre, exercer sur les échantillons une compression, par exemple : 0.005 bar (valeur quasi nulle), 1, 2, 5, 10 et 20 bars (voir § 2.2. et § 3.2. a1) et il faut mesurer l'épaisseur correspondante car elle intervient dans le calcul du coefficient de perméabilité.

Perméabilité dans le plan (eau transportée par le textile dans son plan) : la formule de Darcy s'écrit alors : $v = k_p h/x$ (x : longueur de l'écoulement dans le textile, k_p : coefficient de perméabilité dans le

plan du textile, m/s). Ce coefficient dépend de la direction si le textile est anisotrope : il faut donc disposer d'un appareil mesurant k_p dans une seule direction et non pas d'un appareil à écoulement radial. Comme pour la mesure de la perméabilité normale, il faut pouvoir exercer une compression sur les échantillons. Enfin il est utile de donner la valeur du coefficient de transmissivité k_{pe} (m²/s).

c - Perméabilité aux particules solides
Pour un problème donné de filtration, on peut faire un essai de simulation au laboratoire et mesurer la masse et la granulométrie des particules qui traversent le textile et qui s'y arrêtent. Mais il n'est pas possible, pour un textile donné, de mesurer le risque de colmatage car il dépend de paramètres liés au sol (granulométrie, cohésion) et à l'écoulement. On peut seulement donner une mesure caractérisant la perméabilité du textile aux solides. Il y a deux phénomènes différents : filtration de particules solides en suspension dans un fluide (air, eau), filtration de particules solides en contact les unes avec les autres et formant un sol à travers lequel s'écoule de l'eau. Dans le second cas, le débit solide est nul ou lent. On ne peut donc faire un essai simple que dans le premier cas, par exemple en agitant des particules solides sur le textile utilisé comme tamis. Le W.E.S. propose sept sables de granulométries étroites bornées par : 0.13-0.14-0.21-0.30-0.42-0.59-0.84-2.00 mm. L'ouverture équivalente du textile est la borne inférieure du sable retenu à plus de 95 % après 20 minutes d'agitation. Cet essai est intéressant mais son résultat dépend beaucoup de la forme des grains et de la rugosité du textile. Par ailleurs, toute tentative de déterminer optiquement la dimension des ouvertures, envisageable pour un tissé, n'a aucune signification pour un non-tissé.

3.2. Propriétés mécaniques

Les sollicitations peuvent se classer en quatre catégories et, pour chacune d'elles, nous indiquons la sollicitation répartie en premier lieu et concentrée en second lieu : (a) compression-poinçonnement, (b) traction-déchirure, (c) flexion-perforation, (d) frottement-accroc.

a1 - Compression - Faire une mesure d'épaisseur sous différentes compressions. Nous suggérons : 0.005, 1, 2, 5, 10, 20, 10, 5, 2, 1 et 0.005 bar. On peut donner le module de compression (Pa, bar) aller

et retour sous toute charge de 0 à 20 bars.

a2 - Poinçonnement - Compression (statique ou dynamique) appliquée localement sur une membrane placée sur un support plan (ne pas confondre avec perforation : feuille non supportée). Le résultat dépend du support. Cet essai n'est intéressant que si la charge est dynamique (choc) (voir la norme BAW 1-4-III-1975 où le support est du sable).

b1 - Traction - But : établir la courbe tension (N/m) - allongement (%) ; en déduire : modules (N/m), allongement et tension de rupture. C'est la sollicitation la plus importante, d'où une grande variété d'essais : (1) traction monodirectionnelle simple ; inconvénients : éloigné de la réalité (en géotechnique, pas de bandes étroites), pour les non-tissés essai faussé par la striction ; avantage : simplicité ; les dimensions d'éprouvette les plus courantes sont 5 cm de large, 20 cm entre mâchoires (DIN 53857, AFNOR G 07-001, ASTM D 1682) mais faut-il imposer la vitesse de l'essai (10 cm/mn) ou sa durée ? (2) Traction monodirectionnelle "arrachement" (grab-test) ; inconvénients : résultats très dépendants de la géométrie des éprouvettes et les dimensions normalisées sont trop petites pour les non-tissés ; avantage : essai plus proche de l'utilisation en géotechnique que la traction simple ; il faut donc qu'en prenant pour base les normes AFNOR G 07-120 et ASTM D 1682, des recommandations internationales pour tissés et non-tissés soient établies. (3) Traction bidirectionnelle sphérique ("éclatement") d'un textile revêtu d'une membrane étanche mince et soumis à une pression sur un orifice circulaire ; avantages : simplicité et bonne représentation de certaines sollicitations réelles ; - inconvénient de ne pas distinguer les deux directions donc ne permet pas de mesurer l'anisotropie ; essai utilisé habituellement uniquement pour la résistance à la rupture mais on peut avoir la déformation en mesurant la flèche ; la pression d'éclatement (Pa) dépend du diamètre de l'orifice : une harmonisation des normes doit être faite (AFNOR G 07-112, ASTM D 751, DIN 53861). (4) Traction bidirectionnelle à extension monodirectionnelle (tirer dans une direction en maintenant constante la largeur dans la direction perpendiculaire) ; avantage : correspond exactement à la sollicitation sous remblais longs et permet de mesurer l'anisotropie ; inconvénient : très difficile à réaliser techno-

logiquement : le moyen théoriquement le plus simple : tirer axialement sur une éprouvette cylindrique en maintenant son diamètre constant soit en plaçant à l'intérieur de l'éprouvette un cylindre rigide (inconvenient : frottement) soit en gonflant, à l'intérieur de l'éprouvette, une membrane de caoutchouc (asservissement nécessaire) mais une couture ou une soudure est nécessaire pour faire une éprouvette fermée, ce qui introduit une erreur dans cet essai ; une autre solution consiste à dilater l'éprouvette en maintenant sa hauteur constante : le meilleur moyen consiste à placer un manchon textile autour d'une sonde pressiométrique (l'utilisation de l'appareil triaxial, classique en Mécanique des sols, introduit de nombreuses erreurs) ; l'essai de traction bidirectionnelle à extension monodirectionnelle est le plus intéressant : il faut donc mettre au point une méthode pour le faire.

b2 - Déchirure : c'est une traction concentrée. (1) Essai statique : traction sur les deux languettes d'une même éprouvette (AFNOR G 07-0551, ASTM D 2261 et 2262) - mais pour un non-tissé la déchirure n'est pas droite et on préfère tirer sur une éprouvette trapézoïdale entaillée (ASTM D 2263) ; (2) Essai dynamique (AFNOR G 07-055C, ASTM D 1424 et 1922) ; avantages : fiable (bien que pour un non-tissé la déchirure ne soit pas droite) et représente mieux les conditions de chantier que l'essai statique.

c1 - Flexion : l'essai ASTM D 1388 permet de comparer la souplesse des différents textiles.

c2 - Perforation : un essai de perforation statique ne peut avoir de signification que pour une membrane étanche mais l'essai de perforation dynamique (AFNOR T 54-109 = ASTM D 1709 : masse tombant en chute libre sur le textile tendu) simule bien les chocs sur le chantier.

d1 - Frottement : du fait de sa souplesse, le textile n'a pas de forme propre et pour faire la mesure il faut fixer la membrane sur un corps plan rigide (BAW 1-6-III-1975). La grandeur mesurée est le coefficient de frottement du textile sur le corps en contact. Des frottements répétés produisent une abrasion. De nombreux essais normalisés simulent les risques d'abrasion dans les utilisations traditionnelles des textiles (ASTM D 1175). Il faudrait développer des essais simulant l'abrasion en géotechnique (enrochements/textile, béton/textile) (voir, par exem-

ple, BAW 1-5-III-1975).

d2 - Accroc : essai de déchirure par un clou (AFNOR G 07-055B).

4. Evolution des propriétés

Les caractéristiques physiques, les perméabilités et les propriétés mécaniques peuvent varier dans l'espace et dans le temps. Si elles varient d'un point à un autre, le textile est hétérogène : il s'agit en général d'un défaut de fabrication et cela relève des spécifications (voir § 5). Intéressons-nous ici aux variations dans le temps. Une variation de propriété peut être réversible (modification des conditions d'environnement) ou irréversible (modification du textile).

4.1 Conditions d'environnement

a - Conditions standard

Pour les textiles : 20°C et 65 % d'humidité (AFNOR G 00-003, ASTM D 1776) (mais, pour géomembranes élastomères et plastiques : 23°C et 65 % selon ASTM D 618 et 1349 et 20°C et 50 % selon AFNOR T 46-001 et T 51-104). Une harmonisation est souhaitée.

b - Essais sous des conditions non standard

(1) Essais sous températures différentes : les variations de température entraînent des changements de toutes les propriétés, en particulier la dimension (coefficient de dilatation), la perméabilité à l'eau (du fait de la variation de viscosité de l'eau), la résistance à la traction (en particulier le fluage), etc... ; pour les basses températures, nous ne connaissons pas d'essais prévus pour les textiles mais certains essais prévus pour les géomembranes étanches peuvent s'appliquer, ce sont des essais du type "flexion" qui simulent bien des conditions de chantier : statiques (courbure : AFNOR G 37113 = ASTM D 2136 ; enroulement : AFNOR P 84-301), dynamiques (choc sur boucle : AFNOR G 37-111 = T 54-110 et ASTM D 1790). (2) Essais sous humidités différentes : on peut mesurer la variation de masse des filaments par absorption d'eau (AFNOR T 51-002, ASTM D 570) ainsi que la valeur de certaines propriétés "au mouillé" (après immersion du textile), comme la résistance à la traction ou les dimensions (AFNOR G 07-052 et G 35-103).

4.2. Modifications du textile par l'environnement

On constate une modification irréversible ("vieillesse") en observant l'évolu-

tion dans le temps d'une propriété (composition des filaments, masse volumique, résistance...) (Nota : si on possède un échantillon vieilli, sans avoir d'échantillon de référence pour comparer, l'étude de sa composition chimique est intéressante car elle peut faire apparaître d'événements produits de décomposition dont on peut être certain, connaissant la composition chimique des filaments, qu'ils ne pouvaient pas exister à la fabrication.) On peut soit prélever des échantillons sur le terrain à des instants différents, soit simuler en laboratoire comme suit :

a - Modification de la matière du textile
Modifications physiques : (1) température : on peut au laboratoire, exposer des échantillons à une température donnée avant de procéder à des essais (par exemple traction) dans les conditions standard (AFNOR T 46-004, T 51-161, ASTM D 573, D 187C) ; on peut aussi soumettre les échantillons à des cycles de température avant essais mais nous ne connaissons pas de normes pour le déroulement de ces cycles (le W.E.S. recommande 300 cycles gel-dégel de 2 h/cycle) ; de plus, il faut donner les températures de fusion et de collage des filaments et des additifs chimiques ; (2) l'eau ou des cycles sec-humide peuvent provoquer des modifications irréversibles du textile, en particulier de ses dimensions (AFNOR G 07-052 et G 35-103).

Modifications chimiques : (1) produits chimiques : il suffit de mettre en contact un corps chimique donné avec le textile étudié, dans des conditions bien précises (AFNOR T 51-029, ASTM D 1239) ; (2) actions climatiques : exposition aux agents atmosphériques (AFNOR T 51-165, ASTM D 14-35), à la lumière (AFNOR T 51-056, 057 et 059, ASTM D 750) et à l'ozone (AFNOR T 46-019 = ASTM D 1149) ; (3) action chimique et biologique du sol : enfouissement dans un sol organique (AFNOR X 41514, ONGC 4-GP-2/28.3) ou, plus simplement, étude de l'action de certains constituants chimiques du sol a priori nocifs (acides, bases...).

b - Modification globale du textile
(1) Modification de sa continuité : les végétaux (plantes, bactéries) et les animaux (rongeurs, bétail, homme) peuvent détériorer les textiles par perforation, statique ou dynamique (voir § 3.2. c2).
(2) Modification de sa perméabilité : un textile peut se colmater physiquement (particules de sol adhérant aux fils ou emprisonnées entre eux), chimiquement (précipitations) ou biologiquement (développe-

ment d'algues) ; mais rappelons qu'il ne peut pas exister d'essai type mesurant, pour un textile donné, le risque de colmatage car ce risque dépend de paramètres liés au sol et à l'écoulement : on peut seulement prendre des précautions en mesurant la perméabilité aux solides (§3.1.c).

III UTILISATIONS DU TEXTILE

5. Spécifications

La grande diversité d'utilisation des géotextiles interdit de fixer des spécifications générales. Il faut tenir compte des sollicitations et des conditions d'environnement lorsque le textile est mis en place et, ensuite, lorsqu'il joue son rôle dans l'ouvrage. Citons pour mémoire qu'il faut également imposer des spécifications sur les quantités de produits livrés (longueur, largeur) et sur l'homogénéité des propriétés (la plus simple à contrôler étant la masse surfacique, m, pour laquelle on peut imposer : $-10\% < \Delta m/m < 30\%$).

5.1. Spécifications sur sollicitations

a - Sollicitations à la mise en place
A la mise en place, on a souvent des efforts de traction bidirectionnelle (étalement des nappes), quelquefois monodirectionnelle (certaines machines de mise en place des drains verticaux) mais en général on risque plutôt de détériorer la nappe par des efforts concentrés : poinçonnement (statique : roues et chenilles ; dynamique : chutes de blocs, en particulier à la mise en place des protections de berge), déchirure, perforation, accrocs (engins, outils, cailloux anguleux, souches). Toutes ces sollicitations font l'objet d'essais signalés plus haut (§ 3.2.) mais il faudrait faire des comparaisons systématiques entre ces essais et les sollicitations de chantier pour pouvoir établir des spécifications chiffrées ; en attendant, ces essais permettent de comparer plusieurs textiles.

b - Sollicitations liées à la fonction
Les spécifications relatives à la fonction du textile dans l'ouvrage ne peuvent être établies que si l'on dispose d'une méthode (d'origine théorique ou expérimentale) permettant d'évaluer la grandeur des sollicitations. Une analyse des différents rôles d'un textile permet de prévoir, selon le type d'application, quelles se-

(Abréviations : AFNOR, ASTM, DIN et ONGC : Normes françaises, américaines, allemandes et canadiennes ; B.A.W. : Bundesanstalt für Wasserbau (Karlsruhe) ; W.E.S. : Waterways Experiment Station - US Army)

ront les sollicitations exercées [1] mais, actuellement, on ne dispose de méthodes de calcul que pour certains problèmes (consolidation par drains textiles, par exemple). On ne peut donc donner de spécifications chiffrées justifiées que dans ces cas-là. Dans les autres cas, recommandons une planche d'essai plutôt que des spécifications empiriques. Nous nous bornons donc, ici, à indiquer les propriétés susceptibles de faire l'objet de spécifications :

Perméabilité

(1) Perméabilité aux gaz (filtration des drains de gaz sous les feuilles étanches) : connaissant le débit des gaz naturels et le système de drainage, on peut estimer la vitesse nécessaire des gaz à travers le filtre (m/s) sous la dépression donnée (Pa) ; on peut donc établir une spécification chiffrée. (2) Perméabilité à l'eau normale au textile : filtration (filtres de drain, couche anti-contaminante), le but est de laisser passer un débit donné (souvent faible) et de réduire les pressions interstitielles ; un calcul conduisant à des spécifications chiffrées est possible mais, d'une manière générale, on peut imposer $k_p/e > 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ environ. (3) Perméabilité à l'eau dans le plan du textile : drainage (consolidation) ; une étude théorique est possible et permet de déterminer la valeur de k_p (transmissivité) nécessaire pour avoir une certaine vitesse de consolidation ; il faut spécifier que k_p soit mesuré dans une seule direction du textile et sous une contrainte de compression égale à la valeur maximale dans l'ouvrage réel. (4) Perméabilité aux solides : s'il s'agit de la filtration de particules solides en suspension dans un liquide, toutes celles qui sont plus petites que l'ouverture équivalente du textile passeront mais dès que s'établit un "cake" sur le filtre on est ramené au problème de la filtration d'un liquide coulant à travers un sol ; ce problème est assez mal connu et, pour le moment, on ne peut proposer que des spécifications empiriques du type suivant : écoulement d'eau lent (filtration de drain), sol pulvérulent O.E. $< d_{85}$, sol cohérent O.E. $< 0.1 \text{ mm}$; écoulement rapide, eau agitée (protection de berge), sol pulvérulent O.E. $< d_{50}$, sol cohérent O.E. $< 0.05 \text{ mm}$ (Nota : O.E. : ouverture équivalente).

Propriétés mécaniques

Parmi les sollicitations analysées au § 3.2., les sollicitations concentrées interviennent presque exclusivement à la

mise en place. Nous ne citons donc ici que les sollicitations réparties.

(5) Compression : elle n'affecte que l'épaisseur qui est utile dans le rôle du drain (voir (3) ci-dessus où l'on demande de mesurer la transmissivité sous compression) et, peut-être dans les chaussées, lorsque le textile est utilisé pour éviter la transmission des fissures (le textile devra avoir des variations d'épaisseur peu sensibles au passage de charges correspondant à celle des compacteurs et véhicules). (6) Traction : on ne dispose pas encore de théorie permettant de calculer les efforts dans les textiles sous pistes et remblais avec une précision suffisante pour donner des spécifications, tout au plus peut-on dire qu'il faudra faire un essai de traction bidirectionnelle ; dans le cas d'un mur de soutènement en terre avec armatures textiles ("sol renforcé") on dispose de méthodes de calcul permettant d'estimer les efforts et, par conséquent, on peut donner une spécification (en particulier il faudra imposer une spécification concernant le fluage : il est logique d'imposer que le fluage soit inexistant pour une contrainte de traction égale au tiers de la résistance si l'on a pris un coefficient de sécurité de trois dans le calcul des armatures) ; l'essai d'éclatement convient parfaitement pour les textiles utilisés sous les membranes étanches pour les protéger des irrégularités du support : la spécification sera que la résistance à l'éclatement du textile soit égale à la pression d'eau du bassin majorée par un coefficient de sécurité. (7) Flexion : tous les géotextiles sont, a priori, flexibles et il n'est pas nécessaire en général d'imposer une spécification ; on peut en cas de besoin comparer les différents textiles grâce aux essais. (8) Frottement : si le textile sert d'armature, il faut imposer une valeur de coefficient de frottement ; la théorie existe pour les revêtements textiles-film-béton ainsi que pour les soutènements en sol renforcé ; en tout cas on peut comparer le coefficient de frottement de plusieurs textiles sur un matériau donné ; pour une protection de berge, il faut faire un essai d'abrasion pour comparer les différents textiles.

[1] J.P. GIROUD, "Exemples pratiques d'utilisation du Bidim dans les ouvrages routiers", Revue Générale des Routes et des Aéroports, 505, (Janvier 1975), 23-27

5.2. Spécifications relatives à l'environnement

Il y a deux façons d'imposer les spécifications sur la valeur d'une propriété après vieillissement : pourcentage de la valeur exigée avant vieillissement ou pourcentage de la valeur réelle avant vieillissement ; la seconde façon a l'inconvénient d'éliminer d'excellents produits (voire d'inciter les fabricants à diminuer les propriétés de leurs produits) ; avec la première façon on doit préciser qu'il faut atteindre une stabilisation.

(1) Température. A la mise en place, les hautes températures ne sont pas gênantes, sauf celle du bitume chaud : il faut alors spécifier que la température de collage du textile soit supérieure ; pour la mise en place il faut que le textile résiste aux essais du § 4.1. b (1) à la température la plus basse du lieu ; dans l'ouvrage, le textile n'est atteint par les variations de température que lorsqu'il est proche de la surface ; par exemple, sous un corps mince noir (revêtement bitumineux, film) sa température peut varier de -70°C à $+70^{\circ}\text{C}$: il faut alors soumettre des échantillons en laboratoire à une température donnée pendant 7, 14, 21... jours et/ou à des cycles pour tracer la courbe de variation en fonction du temps d'une propriété qui joue un rôle dans l'ouvrage ; pour la stabilité dimensionnelle à chaud, il est classique d'imposer une variation de longueur inférieure à 1% après une exposition de 1 h à 70°C ; en plus de la mesure des modifications irréversibles indiquées ci-dessus, on demandera la valeur des propriétés concernées (module, par exemple) en fonction de la température. (2) Humidité : il est classique d'imposer un taux d'absorption d'eau par les filaments inférieur à 1% de leur masse ; les textiles étant presque toujours en contact avec de l'eau, on doit imposer que les valeurs des propriétés mécaniques mesurées "au mouillé" soient au moins égales à 95% de celles mesurées à sec. (3) Lumière : si le textile doit être stocké plus d'un mois à la lumière, on imposera un emballage spécial ; si, après mise en place, il doit demeurer (provisoirement ou définitivement) exposé à la lumière, procéder comme suit. (4) Produits chimiques et action chimique et biologique du sol : faire l'essai normalisé et spécifier qu'il y ait stabilisation au-dessus d'une valeur minimale à fixer (plutôt que d'imposer un pourcentage de la valeur initiale). (5) Colmatage : on peut colmater partiellement un textile sur le chantier (par exemple par compactage) en

le pressant contre un sol à teneur en eau supérieure à la limite de liquidité ; la poussière du chantier peut aussi colmater ; les recommandations données au §5.1.d limitent le risque de colmatage du textile dans l'ouvrage, mais ce phénomène n'est pas encore assez connu pour que des spécifications très précises puissent être données.

6. Identification

a - Fiche technique

Elle porterait : (1) Nom du fabricant et du textile (2) Désignation du textile selon la terminologie indiquée au §1.2. ; (3) Caractéristiques physiques (voir §2) en distinguant celles des filaments de celles du textile et celles calculées de celles mesurées ; (4) Perméabilités (voir §3.1.) ; (5) Propriétés mécaniques en les ordonnant logiquement (voir §3.2.) ; (6) Résistance à l'environnement (Nota : cette fiche, présentée sous forme de tableau ne pourra comprendre que des propriétés exprimées par un nombre ; les informations plus encombrantes (courbes...) pourront être données en annexe.

b - Code

Répertorier avec 4 nombres les géotextiles suivant la classification indiquée au §1.2 : (1) Type de textile et armure (11 = Tricot jersey, 12 = Tricot côte... 21 = Tissé uni... 31 = Non-tissé liaison mécanique, 32 = Non-tissé liaison chimique...) ; (2) Matière (01 = polyamide, 02 = polyester, 03 = polypropylène, 12 = polyamide-polyester...) ; (3) Renforcement (0 = non renforcé, 1 = renforcé dans 1 direction ; 2 = dans 2 directions, 3 = dans 3 directions) ; (4) Masse surfacique (exemple : 0270 = $270\text{g}/\text{m}^2$). Exemple : (31/02/0/0270) = non-tissé à liaison mécanique en polyester, non renforcé, de masse surfacique $0.27\text{kg}/\text{m}^2$.

c - Contrôle sur le chantier

L'étiquetage des rouleaux doit comprendre 3 lignes : (1) Firme, nom commercial du produit, type ; (2) Code ; (3) Masse, longueur et largeur du textile en rouleau. Contrôle : (1) Immédiat : peser et mesurer le rouleau ; calculer sa masse surfacique et la comparer au dernier nombre du code ; (2) Homogénéité : prélever des échantillons à différents endroits dans longueur et largeur et mesurer leur masse surfacique ; (3) Propriétés : faire au laboratoire les mesures correspondant aux spécifications (et éventuellement d'autres mesures si elles sont très caractéristiques du matériau, fiables et faciles).