

RIGO, J. M. et KARAM, G., Université de Liège, Belgique

METHODE DE CALCUL DES CONTRAINTES ET DEFORMATIONS DANS UN GEOTEXTILE SOUS CHARGE
METHOD OF CALCULATION OF STRESSES AND DEFORMATIONS IN A GEOTEXTILE UNDER LOAD
METHODE ZUR ERMITTLUNG VON SPANNUNGEN UND VERFORMUNGEN EINES GEOTEXTILS
UNTER LASTEINWIRKUNG

Cette contribution présente une méthode originale permettant le calcul des contraintes et déformations dans des géotextiles nontissés, aiguilletés ou thermoliés.

L'étude théorique et l'expérience sont en bon accord.

Grâce à cette théorie, nous pouvons donner une explication du phénomène de contraction latérale importante que l'on constate sur des éprouvettes de traction de différentes largeurs.

This contribution presents a new method of calculation of stresses and strains in thermobonded and spunbonded non woven geotextiles under load.

This theoretical study and the experience are in good agreement.

Thanks to this theory, lateral contractions that are observed during tensile tests in different widths can be explained.

1. INTRODUCTION

Le but de ce travail est d'essayer d'éclaircir le comportement interne d'un géotextile nontissé du point de vue des déplacements et des contraintes.

Les nontissés ayant une structure fibreuse et très complexe, nous pouvons nous attendre à l'intervention d'un grand nombre de paramètres (type de fibres, liaisons...).

Plusieurs auteurs se sont penchés sur ce problème particulier et délicat de la détermination du "coefficient de POISSON" des géotextiles (ou plutôt coefficient de contact). Leurs résultats étaient très divergents.

Dans leurs études, ces mêmes auteurs ont supposé la nappe de géotextile comme un milieu continu, ce qui est loin de la réalité et ce qui peut expliquer la relative invraisemblance des résultats, certaines valeurs de coefficient de POISSON dépassent en effet, de loin, la valeur de 0,5 qui est le maximum pour un milieu continu d'après le second principe de la thermodynamique.

Pour tenir compte de cette structure discrète des nontissés, il faut imaginer un modèle spécifique. Cette étude sera limitée aux deux types de géotextiles les plus utilisés, qui sont : les thermoliés et les aiguilletés.

2. MODELE PROPOSE

Nous nous proposons donc de modéliser le produit fibreux. Ceci nécessite un certain nombre d'hypothèses simplificatrices.

2.1. Hypothèses de calcul

- 1) Le géotextile est supposé homogène, c'est-à-dire statistiquement identique en tout point (voir mode de fabrication).

- 2) Les filaments sont continus (l'étude ne s'applique pas aux géotextiles constitués de fibres courtes).
- 3) Les filaments sont rectilignes :
 - pour les thermoliés, il existe un soudage entre les divers filaments; nous pouvons considérer qu'entre deux points de l'échantillon, nous avons un fil fictif constitué par les filaments réels soudés les uns aux autres

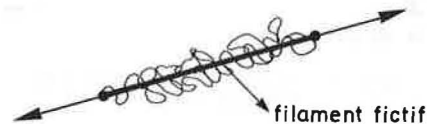


Figure 1 : modélisation des filaments

- pour les aiguilletés, on pose le même principe. Les points de soudage sont ici constitués par des points de frottement.
- 4) Le géotextile est supposé isotrope.
 - 5) Le géotextile est supposé bidimensionnel.
 - 6) Nous négligeons les effets secondaires tels que fluage et relaxation.
 - 7) Les fibres travaillent uniquement en traction.

2.2. Allure du modèle proposé

En se basant sur les hypothèses précédentes, nous pouvons établir l'allure du modèle.

Soit un filament fictif, appartenant à un échantillon soumis à un essai de traction "bande large" et qui forme un angle β avec l'axe vertical oy . Ce filament relie un point A quelconque à un point voisin immédiat de la mordache.

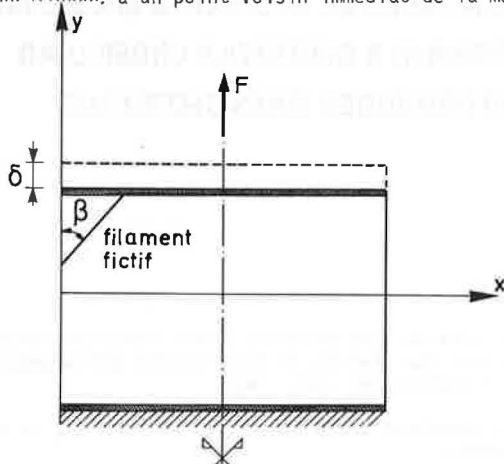


Figure 2 : discrétisation de la nappe

Lors d'un mouvement vertical des pinces, le point solidaire des mors se déplacera verticalement de dh .

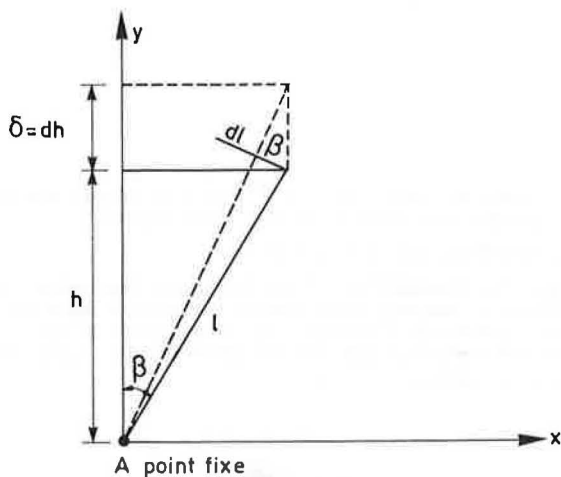


Figure 3 : mouvement élémentaire du filament fictif

A étant pris comme point de référence et dh est le déplacement de la mordache par rapport à ce point. Pour un déplacement dh , le filament s'allonge de dl : $dl = dh \cdot \cos \beta$

Le point A est supposé être relié à tous les points de la mordache par un filament fictif. Le mouvement du point A sera donc le résultat de la combinaison des efforts et mouvements de tous les filaments qui le relient à la mordache. Tous ces filaments ne gouvernent pas les mouvements du point A. En effet, si d_x représente le mouvement latéral de A, on aura :

$$dl \sin \beta = dh \cos \beta \sin \beta$$

En dérivant cette fonction par rapport à β , on obtient l'angle de fibre fictive qui engendre d_x maximum :

$$\frac{\partial d_x}{\partial \beta} = 0 \text{ donne : } \beta = 45^\circ$$

Or, les fibres ne résistant pas à la compression, ce sont les fibres orientées à 45° qui conditionnent la contraction latérale de l'échantillon.

Si le point A appartient à la frontière de géotextile, nous pouvons supposer la configuration représentée à la figure 4 pour expliquer la contraction latérale de l'échantillon.

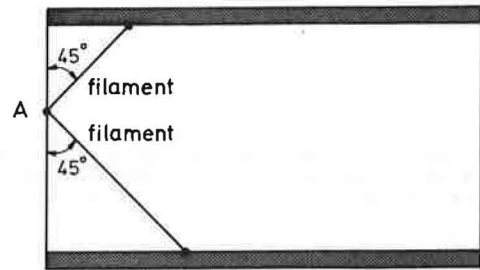


Figure 4 : point A appartenant à la frontière libre d'une éprouvette de traction "bande large"

Les observations faites plus haut nous permettent de discrétiser l'ensemble de l'éprouvette de la façon suivante :

- si l'on souhaite calculer les contraintes et déformations en un point du géotextile, on relie ce point à 4 points des mors par des bielles à 45° ;
- ces bielles représentent une bande de filament d'une largeur unitaire;
- les résistances et rigidités des bielles sont donc chiffrables;
- chaque point est indépendant du voisin. Le mouvement de chaque point peut donc être étudié isolément;
- les points à étudier se situent au voisinage des bords libres de l'éprouvette seront reliés d'une part à des points des mors par des bielles à 45° et, d'autre part, aux points extrêmes des mors par des bielles inclinées à plus de 45° .

3. COMPORTEMENT ELASTIQUE LINEAIRE DU MODELE

Cette discrétisation étant faite, nous avons pu résoudre ce problème par la méthode des déplacements appliqués au calcul des treillis.

En première approximation, nous avons supposé un comportement linéaire des bielles en prenant comme module de YOUNG des bielles, le module moyen à l'origine des géotextiles.

Compte tenu de la discrétisation envisagée, on comprend que les points situés sur la médiane, donc à mi-hauteur de l'échantillon et de plus, situés à plus de h (hauteur de l'échantillon) du bord libre de l'échantillon n'ont pas de mouvement latéral mais uniquement un mouvement vertical. En effet, ces points sont reliés par 4 bielles également inclinées (45°) aux mordaches. Ces 4 points de contact ont un mouvement vertical. Pour des raisons de symétrie, le point investigué se déplacera verticalement.

Pour les points proches des bords libres, un mouvement horizontal est détectable car la symétrie n'y existe plus.

Le tableau synoptique ci-après donne un aperçu des résultats des mouvements d'un point situé à 14 mm du bord libre de l'échantillon et sur sa médiane (test sur 100 x 500 mm).

Dans ce cas, la contraction latérale mesurée expérimentalement est plus grande que celle obtenue par calcul. Cela peut s'expliquer essentiellement par le phénomène de plastification des bielles.

Nous pouvons nous attendre donc à une meilleure correspondance avec l'expérience en tenant compte de la non-linéarité du comportement des bielles et du géotextile.

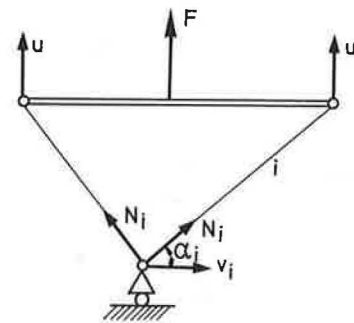


Figure 5 : méthode des travaux virtuels, éléments de la matrice de rigidité

TABLEAU 1

Matériau	Discretisation du modèle	Courbes obtenues	Appréciations
- Thermolié (T) comportement linéaire des bielles 			- la théorie linéaire, malgré qu'elle est éloignée du comportement réel du géotextile, donne une bonne approximation de son comportement - les résultats pour un thermolié sont plus significatifs. Les thermoliés sont plus proches des hypothèses de calcul de notre modèle.
- Aiguilleté (A) comportement linéaire des bielles 			

4. COMPORTEMENT ELASTIQUE NON LINEAIRE DU MODELE

En réalité, le comportement des géotextiles n'est pas linéaire. Il est possible de tenir compte de ce comportement par une approche multilinéaire de la courbe force-déplacement.

En se basant sur le théorème des travaux virtuels et sur l'équilibre incrémental, nous pouvons établir la matrice de rigidité (Figure 5).

$$K_T = \begin{bmatrix} \sum_{\text{barres}} \frac{A_i E_t}{L_i} \cdot \sin^2 \alpha_i + N_i b_s \\ \sum_{\text{barres}} - \frac{A_i E_t}{L_i} \cdot \sin \alpha_i \cdot \cos \alpha_i - N_i b_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \sum_{\text{barres}} - \frac{A_i E_t}{L_i} \cdot \sin \alpha_i \cos \alpha_i + N_i a_s \\ \sum_{\text{barres}} \frac{A_i E_t}{L_i} \cdot \cos^2 \alpha_i - N_i a_c \end{bmatrix}$$

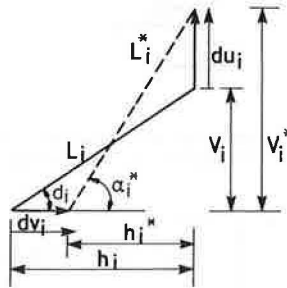


Figure 6 : mouvement élémentaire d'un filament fictif

avec (Figure 6) $a_s = \frac{h_i}{L_i^2} \cdot \sin \alpha_i$

$$b_s = \frac{1}{L_i} - \frac{v_i \sin \alpha_i}{L_i^2}$$

$$a_c = \frac{h_i}{L_i^2} \cdot \cos \alpha_i - \frac{1}{L_i}$$

$$b_c = - \frac{v_i}{L_i^2} \cdot \cos \alpha_i$$

En résolvant numériquement le système d'équation linéaire pour n barres :

$$\begin{bmatrix} K_T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} du \\ dv_1 \\ dv_2 \\ \vdots \\ dv_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} dF \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

Le tableau 2 résume les résultats obtenus dans ce cas pour un point situé sur la médiane de l'échantillon à une distance de 14 mm du bord libre.

Pour les points situés à plus de h (hauteur de l'échantillon) du bord libre, il n'y a pas de mouvement transversal.

On remarquera la bonne concordance entre la théorie et l'expérience.

Le modèle a ensuite été appliqué à des échantillons de 5 cm de hauteur entre mors.

Sur base de procédé photographique, HEARLE et STEVENSON avaient obtenu un "coefficient de POISSON" (avec toute la réserve sur cette notion), ou plus exactement une contraction latérale, de 1,5.

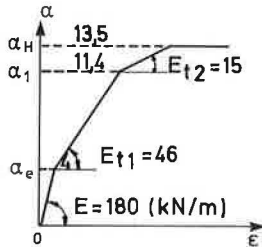
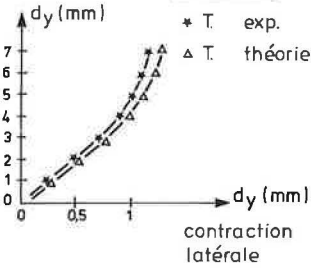
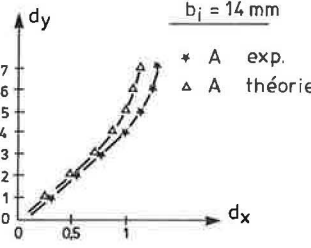
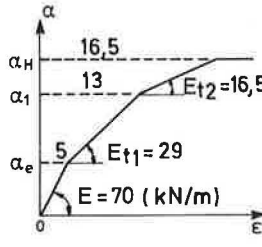
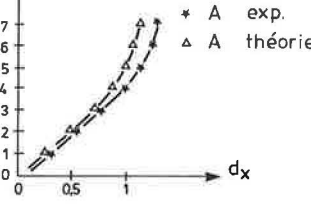
Nous avons obtenu un rapport de 1,4 par calcul.

5. CONCLUSIONS

Il est possible de conclure de la manière suivante :

- 1) vu la structure discrète et les phénomènes de déformation, de réorientation et de glissement des fibres qui existent dans un géotextile, son comportement diffère des théories des milieux élastiques continus. Nous ne pouvons pas parler de "coefficient de POISSON" mais plutôt de coefficient de contraction latérale des géotextiles;
- 2) dès lors, les théories de renforcement des sols pour lesquelles l'on se base sur un "coefficient de POISSON" des géotextiles en utilisant la théorie d'élasticité sont très discutables;
- 3) nous avons expliqué le comportement interne d'un type d'échantillon de géotextile nontissé; cette explication peut s'étendre à d'autres types d'échantillons et des modèles adéquats peuvent être utilisés;
- 4) les modules d'élasticité que nous avons attribué aux bielles sont tirés d'un essai global sur l'échantillon. Cette solution est discutable mais c'est la seule que nous connaissons.

TABLEAU 2

Matériau	Discrétisation du modèle	Courbes obtenues	Appréciations
<p>- Thermolié (T) tri-linéaire</p> 	Voir tableau 1	<p>$b_i = 14 \text{ mm}$</p>  <p>$b_i = 14 \text{ mm}$</p> 	<p>Nous remarquons la plus grande approche par notre modèle des résultats expérimentaux.</p> <p>En travaillant en non-linéaire, les résultats du calcul sont plus proches de la réalité</p>
<p>- Aiguilleté (A) tri-linéaire</p> 		<p>$b_i = 14 \text{ mm}$</p> 	

6. BIBLIOGRAPHIE

- RIGO J.M. - PERFETTI J.
Nouvelle approche de la mesure de la résistance à la traction des géotextiles nontissés.
Bulletin de Liaison du Laboratoire des Ponts et Chaussées, mai 1980.
- PERFETTI J.
Les géotextiles.
Thèse de doctorat, 1982.
- GOURC J.P.
Quelques aspects du comportement des géotextiles en mécanique des sols.
Thèse de doctorat, Grenoble, 1982.
- HEARLE J.W.S. - STEVENSON P.J.
Studies in nonwoven fabrics.
Textile Research Journal, vol. 34, n° 3,
Manchester, mars 1964.
- HEARLE J.W.S. - SULTAN M.A.I.
Study of needled fabrics. Parts IV and V.
Journal of the Textile Institute, vol. 59, n° 4,
Manchester, avril 1968.
- NADER MIR - ARABCHAIM
Mécanique des géotextiles nontissés.
Stage de DEA. Ecole Centrale de Paris.
- GIROUD J.P.
Geotextiles and Geomembranes.
Definitions, properties and design.
1984.