

GOURC, J. P., IRIGM, Université de Grenoble, France

LECLERCQ, B., ITF Boulogne, France

BENNETON, J. P., DRUON, M. et PUIG, J., Lab. Ponts et Chaussées, France

DELORME, F., EDF, Real, France

TRACTION SUR GEOMEMBRANE: CONTRIBUTION A LA DEFINITION D'UN ESSAI STANDARDISE UNIQUE
TENSILE STRENGTH BEHAVIOUR OF GEOMEMBRANES: CONTRIBUTION TO DEFINE A
UNIQUE STANDARDIZED TEST

ZUGVERHALTEN VON GEOMEMBRANEN: BEITRAG ZUR FESTLEGUNG EINES EINZIGEN STANDARDTEST

Dans le cadre des travaux du Comité Français des Géotextiles et Géomembranes, nous avons commencé un vaste programme d'étude ayant pour objectif de définir une éprouvette de traction unique pour tous les matériaux. Dans cette première phase d'étude, nous montrons que le comportement en traction "apparent" varie beaucoup avec le type d'éprouvette, ce qui rend très difficile pour l'ingénieur de Génie Civil les comparaisons entre géomembranes de nature différente. Nous montrons aussi l'influence particulière de certains paramètres, la vitesse de déformation, la hauteur de l'échantillon, la présence ou non d'un pseudo-palier en effort.

In the works of the French Geotextile and Geomembrane Committee, we have begun a large program the goal of which is to define a unique sample of tensile strength test for all products.

In a first part of this study, we show that the "apparent" tensile strength behaviour varies greatly with the sample type, and thus it is very difficult for the engineer corps to compare the different geomembranes. We show also the special influence of some parameters, the strain rate, the sample height, presence or absence of a stress pseudo-plateau.

1 - INTRODUCTION

Les essais standardisés visant à déterminer le comportement en traction des géomembranes sont très nombreux ; ils varient en fonction de la nature chimique de la membrane étanche, de son domaine d'application, et aussi du pays de référence.

Dans le cadre des travaux du Comité Français des Géotextiles et Géomembranes, l'IRIGM de l'Université de Grenoble a été chargé de mettre sur pied un programme d'essais comparatifs associant un certain nombre de laboratoires français.

L'objectif premier de ce programme d'essais est de tenter de définir un essai unique pour tous les produits, afin de faciliter pour l'ingénieur la comparaison et le choix des géomembranes en fonction de leur comportement en traction.

Une démarche semblable avait été utilisée pour les géotextiles (Leflaive et al. 1) : nous avons sélectionné 14 géomembranes et 7 formes d'éprouvettes de traction.

Nous présentons ci-dessous les premiers résultats de ce vaste programme d'essais, qui n'en est que dans sa première phase. Les laboratoires publics ou parapublics qui y ont participé sont, pour l'Institut Textile de France, le laboratoire de Boulogne, pour les Ponts et Chaussées, le laboratoire Central de Paris, le laboratoire de Toulouse et le CETE de Lyon et pour l'Electricité de France, le Service de Chambéry et le CEMETE d'Aix.

2 - GEOMETRIE DES EPROUVETTES

Une étude bibliographique sur les différentes normalisations existantes nous a amené à sélectionner les éprouvettes "e2" à "e6" du tableau 1. L'éprouvette

"e7" a été récemment proposée par A. ROLLIN (2) pour une série d'essais comparatifs entre géomembranes.

Ils existe deux classes principales de géométries d'éprouvettes, les "bandes" de largeur b constante entre parties pincées dans les mors de traction et les "haltères". Nous avons rajouté à ce programme les "bandes larges" ("e1" et dans certains cas, "e1*", "e1**" et "e1***") comme nous l'avions précédemment fait pour les géotextiles (3) : une géomembrane placée dans un ouvrage sera souvent dans des conditions de déformation plane. L'essai "bande large" est celui qui permet de respecter au mieux ces conditions.

Les paramètres géométriques des éprouvettes sont définis sur la figure 1 : pour les bandes et haltères, h_0 est la hauteur totale ; b_0 est la largeur de la bande ou la largeur minimale d'une haltère (dans ce cas, la largeur est constante sur la zone centrale de hauteur h_c).

Le tableau 1 synthétise toutes les données géométriques relatives aux éprouvettes de notre programme d'essai.

3 - CONDITIONS GENERALES D'ESSAI

Afin de ne pas affecter le comportement des matériaux, température (20° C) et hygrométrie (65 % d'humidité relative) sont maintenues constantes.

Suivant les laboratoires, les machines de traction différent et en particulier le serrage des éprouvettes entre mors.

Notons que la grande déformabilité de certaines géomembranes nécessite pour les mors une course importante (écartement maximal des mors supérieur à 1 m dans certains cas).

L'élongation de l'éprouvette est appelée Δh et la déformation relative moyenne, appelée "déformation", est égale à :

$$\epsilon = \Delta h / h_0 \quad \text{"déformation"}$$

Dans le cas des éprouvettes en haltère, la déformation réelle se concentre souvent en partie centrale. Nous avons donc introduit un second paramètre de déformation, qui n'est significatif que dans le cas où la déformation se localise dans la zone centrale (figure 1):

$$\epsilon_c = \Delta h / h_c \quad \text{"déformation centrale"}$$

A l'aide d'un extensomètre, nous avons pour certaines éprouvettes en haltère mesuré entre deux repères placés en partie centrale la déformation :

$$\epsilon_r = \Delta h_r / h_r \quad \text{"déformation entre repères"}$$

En ce qui concerne la vitesse de déplacement des mors, nous l'avons fait varier en fonction de la hauteur des éprouvettes, de manière à obtenir une vitesse de "déformation centrale" pratiquement constante :

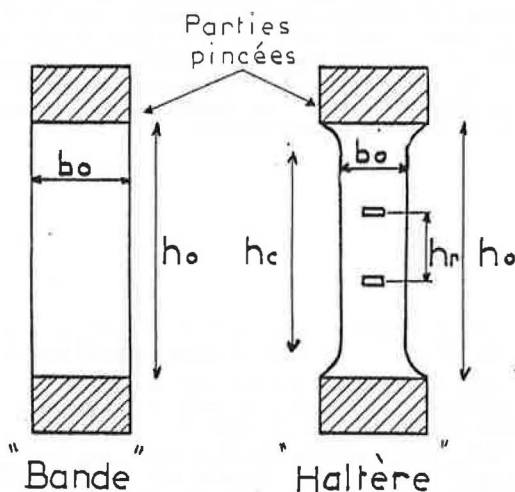


Figure 1 : Paramètres géométriques d'une "bande" et d'une "haltère"

$$\dot{\epsilon}_c = \frac{\Delta h}{h_c} \cdot \frac{1}{\Delta t} \approx 50 \% \text{ par minute}$$

($\Delta h / \Delta t$ vitesse de déplacement des mors)

Dans le tableau 1, nous avons noté les vitesses $\dot{\epsilon}$ correspondantes.

Tableau 1 : Géométrie des éprouvettes testées

Éprouvette	Référence	Éprouvette	h_0	h_c	h_r	ϵ_c	$\dot{\epsilon}_c$
e1	Type		200	70		35	50
e1*	C.F.G.G.		200	140			
e1**			500	70			
e1***			500	140			
e2	NF G07001		500	200		100	50
e3	NF 154.102		25	120		50 à 60	41,7 à 5
e4	ISO RS27(1966) Type 2		6	70	33	16,5	23,6
e5	ISO RS27(1966) Type 1		10	115	60	40	34,8
e6	Type LC.P.C.		25	85	60	30	35,3
e7	Type E.P Montréal		100	100	50	25	25

4 - NATURE DES GEOMEMBRANES TESTEES

Nos essais ont porté sur un échantillonnage de 14 géomembranes représentatif du marché français actuel. Dans le tableau 2, nous les avons classifié en fonc-

TABLEAU 2 - GEOMEMBRANES TESTEES

Classe	Nature	Homogène	Armé	Support	Épaisseur mm	Masse surfacique g/m ²
A Bitumineux	Bitume oxydé		A1		4,3	5146
			A2		4,35	3780
B Thermoplastique	PVC plastifié	B1	B3	B4	1	1250
					B2	1,4
					1,2	1437
					1,2	1502
	PVC non plastifié	B5			2	2800
	CPE	B6			2	2972
		B7			1,2	1550
	PP-EPDM	B8			2	1820
	PE + BITUME	B9			2	1774
	Polyéthylène				B10	0,8
C. Elastomère	BUTYL	C1			1	1210
	Hypalon		C2		1,2	1821

tion de leur nature chimique et de leur structure (homogène, armée, ou renforcée par un support).

Nous présentons ci-dessous une analyse plus détaillée de chaque produit.

A1	: Terranap 431 TPP	Non tissé aiguilleté polyester imprégné de bitume oxydé
A2	: Coletanche NTP2	Non tissé aiguilleté imprégné de bitume oxydé
B1	: PVC SELS	Membrane homogène en PVC plastifié
B2	: Alkorplan PVC	Membrane homogène en PVC plastifié
B3	: Alkorplan PVC	Membrane en PVC plastifié avec armure tissée
B4	: PVC Amoco	Membrane en PVC plastifié sur support nontissé aiguilleté
B5	: Elvaloy	Membrane en PVC non plastifié (Alloy)
B6	: Alkorflex	Membrane en polyéthylène chloré
B7	: Alkorflex	Membrane en polyéthylène chloré armée
B8	: Santoprene	Membrane à base de polypropylène et d'EPDM (éthylène propylène diène monomère)
B9	: Carbofol	Membrane à base de copolymère d'éthylène et bitume
B10	: Intermembrane	Nontissé thermolié polypropylène enduit de polyéthylène
C1	: Butyl	Membrane homogène à base de butyl (comonomère d'isoprène et isobutylène)
C2	: Hypalon Pennel et Flipo	Membrane à base de polyéthylène chlorosulfoné armé

5 - INFLUENCE DE LA GEOMETRIE DES EPROUVETTES - Résultats d'essais

Nous présentons ci-dessous les diagrammes correspondant aux essais de traction sur 6 produits parmi les 14 testés. Les courbes présentées correspondent à la moyenne obtenue à partir de 5 éprouvettes.

Soit T l'effort de traction pour une éprouvette de largeur initiale b_0 (pour une haltère, b_0 est la largeur centrale), correspondant à la déformation relative moyenne ϵ . Nous avons ramené cet effort à un effort par unité de largeur, afin d'obtenir une comparaison entre les différentes éprouvettes :

effort par unité de largeur $\alpha = T/b_0$

déformation $\epsilon = \Delta h/h_0$

Les valeurs correspondant à la rupture (pic en effort) seront appelées α_R et ϵ_R .

L'observation des diagrammes présentés sur les figures 2 à 7 montre qu'il existe des écarts importants entre les courbes de traction obtenues sur une même géomembrane, mais pour des géométries d'éprouvette différentes. On constate en fait que les courbes se trouvent dans un fuseau assez étroit, dont s'excluent systématiquement les éprouvettes "bande large e1" et les éprou-

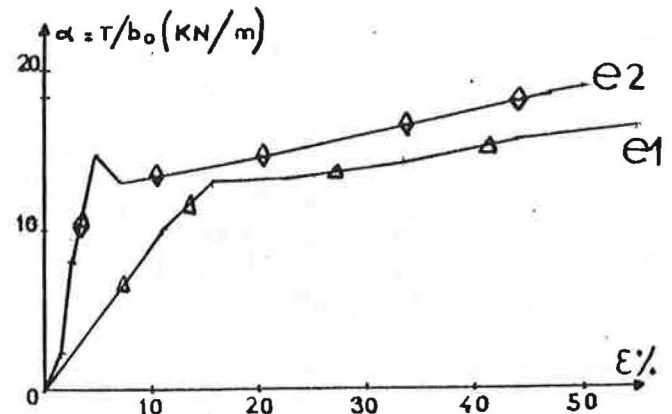


Figure 2 - Géomembrane bitumineuse (A2) - Influence de la géométrie d'éprouvette

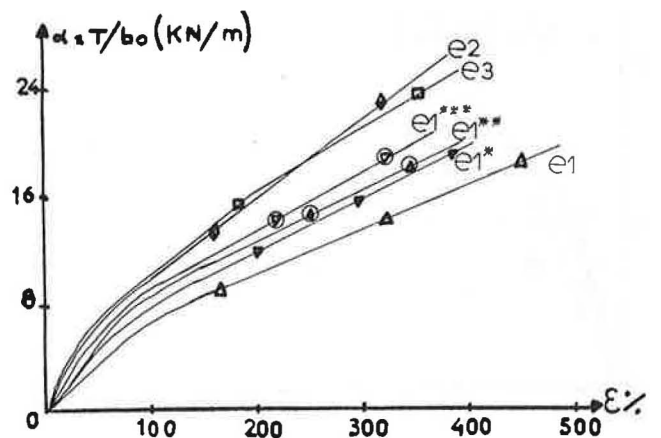


Figure 3-a - Géomembrane PVC plastifié (B2) - Influence de la géométrie d'éprouvettes en "bandes"

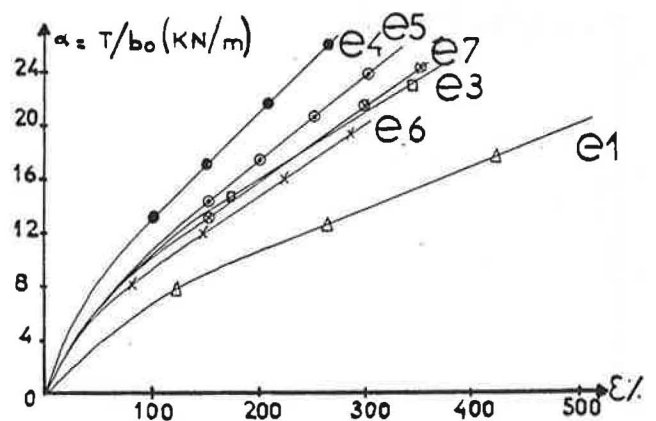


Figure 3-b - Géomembrane PVC plastifié (B2) - Influence de la géométrie d'éprouvettes en "haltères" - Comparaison avec des "bandes"

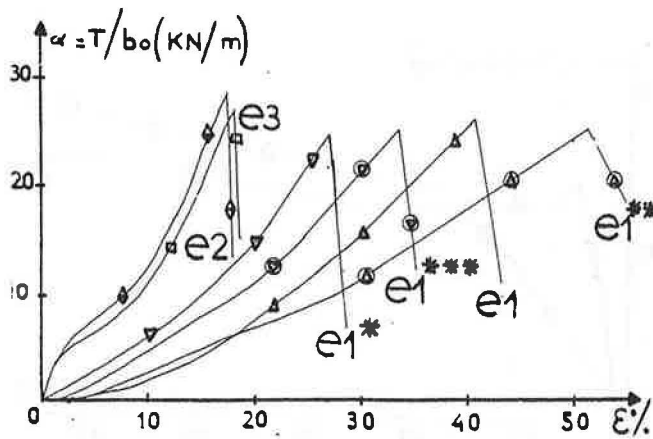


Figure 4 - Geomembrane PVC plastifié armée (B3) - Influence de la géométrie d'éprouvettes en "bandes" - Essais interrompus après le pic en α

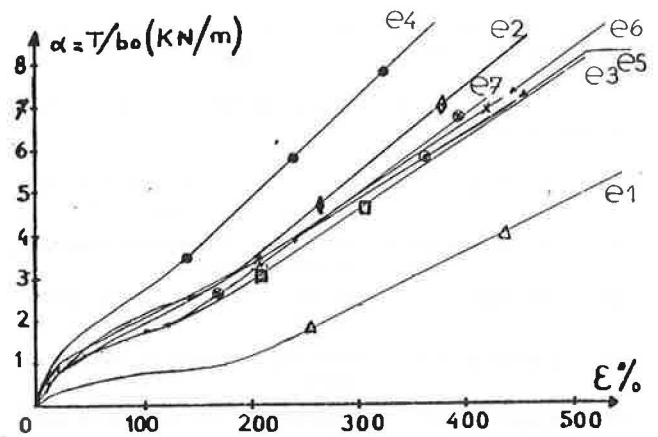


Figure 7 - Géomembrane butyl (G1) - Influence de la géométrie d'éprouvette

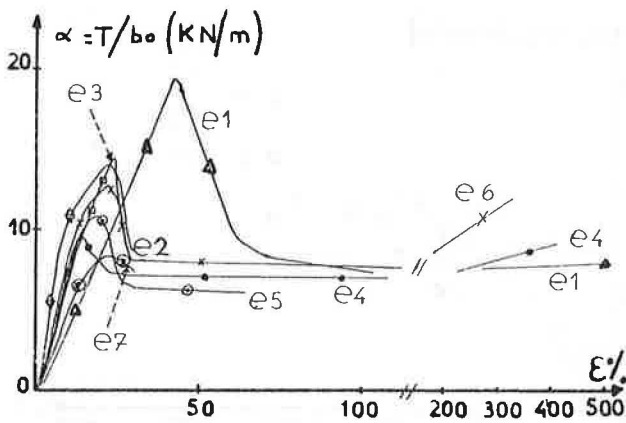


Figure 5 - Géomembrane PVC plastifié sur support non-tissé (B4) - Influence de la géométrie d'éprouvette

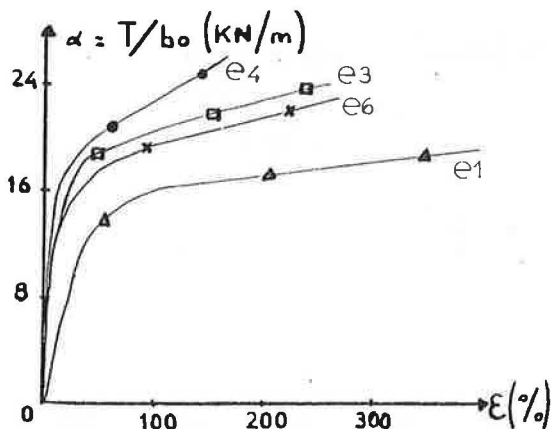


Figure 6 - Géomembrane PP-EPDM (B8) - Influence de la géométrie d'éprouvette

vettes "haltères e4", à l'amincissement central le plus fort. Dans le chapitre suivant, nous avons pu expliquer l'écart constaté pour les éprouvettes "haltères" par rapport aux "bandes" par une localisation de la déformation en zone centrale.

Par contre, des études complémentaires seront nécessaires pour expliquer l'écart important des diagrammes obtenus sur "bande large" par rapport à ceux sur "bande étroite" :

Rappelons que pour les géotextiles nontissés ou tissés (3) nous avons obtenu, pour des éprouvettes "bande large", des efforts à la rupture α_R et des déformations à la rupture ϵ_R supérieurs à ceux obtenus pour des éprouvettes "e2".

Dans le cas des géomembranes, nous obtenons des déformations ϵ_R ici aussi supérieures pour les éprouvettes "e1" à celles obtenues pour les éprouvettes "e2", mais par contre les efforts à la rupture α_R sont ici systématiquement inférieurs pour les éprouvettes "e1" à ceux obtenus pour les éprouvettes "e2" sauf dans le cas de la géomembrane B4. Cette géomembrane est justement supportée par un géotextile nontissé qui lui donne sa résistance de pic, et on retrouve donc dans ce cas les conditions de la référence (3).

6 - PREMIERE ANALYSE DES PARAMETRES D'ESSAI

Le programme d'essais interlaboratoires français n'en est que dans sa première phase. Aussi nous ne concluons pas prématurément sur le choix optimal de la géométrie de l'éprouvette, de la vitesse de traction, ou des mors de serrage.

Le comportement en traction des géomembranes varie beaucoup avec leur nature chimique et leur structure, comme le montrent les figures 2 à 7. Nous allons illustrer, par quelques exemples particuliers, la démarche scientifique globale qui a été définie, pour l'approche de ce problème, afin de limiter un programme d'essais dans des proportions raisonnables.

6.1 - Classification des produits

La figure 8 regroupe les diagrammes de traction obtenus sur deux PVC plastifiés B1 et B2 et un PVC non plastifié B5, pour deux types d'éprouvettes "e2" et "e3". Les résultats ont été unifiés en divisant l'effort de traction α par la masse surfacique μ , ce qui est jus-

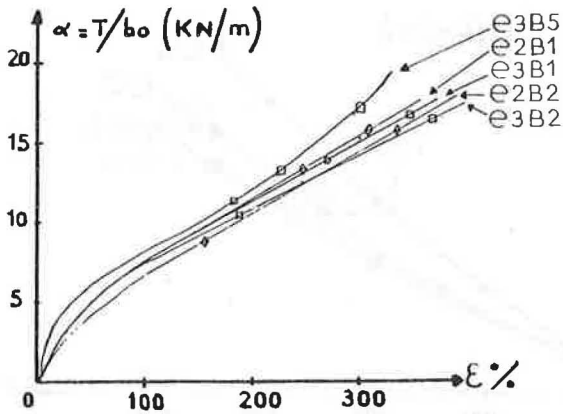


Figure 8 - Traction sur 3 PVC, plastifiés ou non plastifiés, et de masse surfacique différente

tifié pour des matériaux homogènes. On constate une bonne similarité des résultats, ce qui signifie de ne considérer dans la suite du programme qu'un seul PVC, B2 dans le cas présent.

6.2 - Influence de la vitesse d'essai $\dot{\epsilon}$ et de la hauteur de bande h_0

Nous avons effectué pour un PVC plastifié non armé B2, une double série d'essais de traction sur éprouvettes de largeur $b_0 = 25$ mm.

Série a : h_0 variable $\Delta h/\Delta t$ constant = 50 (mm/mn)

Série b : h_0 variable $\dot{\epsilon} = \frac{\Delta h}{h_0} \cdot \frac{1}{\Delta t}$ constant = 50 (%/mn)

Les résultats sont présentés sur les figures 9-a, pour l'effort de rupture α_R et 9-b pour la déformation de rupture ϵ_R .

Nous avons rajouté les valeurs obtenues dans le programme général d'essais pour $\dot{\epsilon}_c = 50$ (%/mn).

Dans le domaine de variation considéré ici, la vitesse de traction n'influe pas sur la déformation à la rupture (figure 9-b) puisque les courbes à $\Delta h/\Delta t$ et $\dot{\epsilon}$ sont pratiquement confondues. Par contre l'effort à la rupture α_R croît, la vitesse de déformation $\dot{\epsilon}$ diminue ($\Delta h/\Delta t$ constant, h_0 croissant) figure 9-a.

Dans ce second cas, la croissance de α_R avec $\dot{\epsilon}$ décroissant se superpose à une croissance systématique de α_R avec la hauteur h_0 de l'éprouvette croissante. Par contre, la déformation ϵ_R décroît lorsque la hauteur h_0 est croissante.

6.3 - Comparaison haltère - bande

Dans le cas des éprouvettes de forme "haltère", on obtient une focalisation des grandes déformations dans la zone centrale. Afin de quantifier ce phénomène, nous avons comparé la "déformation moyenne ϵ ", ainsi que la "déformation centrale ϵ_c " (réf. chapitre 3) à la "déformation centrale ϵ_c entre repères" mesurée malheureusement à un seul instant de l'essai. ϵ_r peut être considérée comme la déformation caractéristique du comportement.

Dans le tableau 3 nous avons regroupé les résultats pour 4 géomembranes et 3 types d'éprouvettes :

$\epsilon/\epsilon_r \approx 1$ déformation homogène sur toute la hauteur h_0

$\epsilon_c/\epsilon_r \approx 1$ déformation focalisée en zone centrale à largeur minimale (h_c - figure 1)

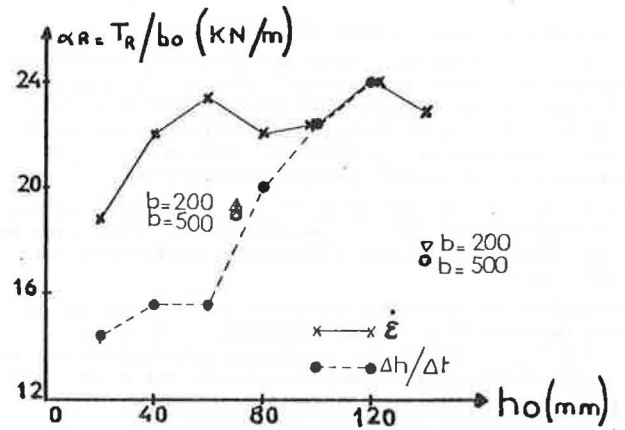


Figure 9-a - Traction sur bande ($b_0 = 25$ mm) pour un PVC B2 - Influence de la hauteur h_0 et de $\dot{\epsilon}$ sur l'effort de rupture

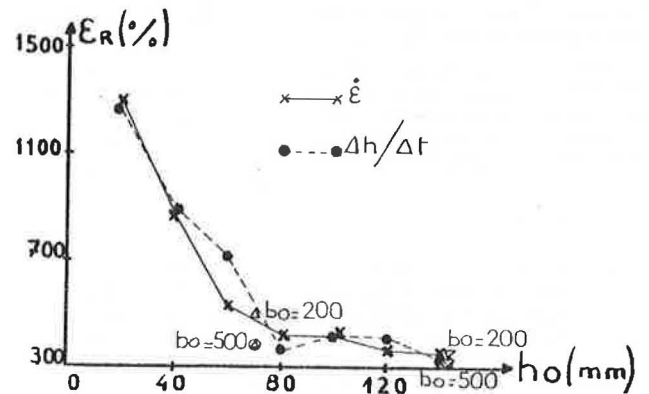


Figure 9-b - Traction sur bande ($b_0 = 25$ mm) pour un PVC B2 - Influence de h_0 et $\dot{\epsilon}$ sur la déformation à la rupture

Tableau 3 - Déformation moyenne et déformation focalisée pour haltères

Géomembrane	Type	Comportement en traction	ϵ_r (%)	h_c (mm)	Δh (mm)	$\dot{\epsilon}_c$ (%)	ϵ/ϵ_r	ϵ_c/ϵ_r
B2 (PVC Plastifié)	e6		100	60	87,5	103	1,03	1,46
	e4		250	33	119	170	0,68	1,44
	e5		285	60	320	$\epsilon_r = 270$	0,97	1,87
C1 (Butyl)	e6		100	60	90,5	106,5	1,07	1,51
	e4		250	33	131	187	0,75	1,59
	e5		368	60	474	$\epsilon_r = 412$	1,12	1,86
B8 (PP-EPDM)	e6		100	60	80	94	0,94	1,33
	e4		250	33	83,5	119,5	0,48	1,02
	e5		x	x	x	x	x	x
B9 (E-Butume)	e6		100	60	70,5	83	0,83	1,18
	e4		250	33	83	118,5	0,47	1,00
	e5		x	x	x	x	x	x

On peut distinguer 2 types de comportement :

Pour les géomembranes B8-B9 qui présentent un pseudo-palier de l'effet de traction α pour des déformations élevées, la déformation tend effectivement à se focaliser dans la zone centrale, et l'utilisation du paramètre ϵ (au lieu de ϵ_r) n'est pas réaliste et ϵ_c serait préférable, du moins en grandes déformations.

Pour les géomembranes B2 et C1 dont l'effort α augmente régulièrement avec ϵ , le paramètre ϵ_c n'est plus du tout significatif toute l'éprouvette participant à la déformation.

Cependant la correction effectuée pour C1 dans le cas des haltères e4 et e5 est exemplaire : les points $\alpha = f(\epsilon_r)$ - figure 10 - se placent pratiquement sur la courbe (à déformation homogène) obtenue sur bande e2. On peut ainsi justifier l'écart systématique des courbes "e4" par rapport aux autres éprouvettes.

7 - CONCLUSIONS

Les premiers travaux interlaboratoires présentés ici montrent les différences de comportement à la traction "apparent" que l'on peut obtenir en modifiant les dimensions géométriques de l'éprouvette d'essais.

Il apparaît urgent, pour l'ingénieur du Génie Civil, de définir un essai unique permettant une comparaison objective des comportements en traction. C'est l'objectif que nous poursuivons au cours de la seconde phase du programme d'essais interlaboratoires.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) Leflaive E., Pauté J.L., Segouin M. : "La mesure des caractéristiques en traction en vue des applications pratiques", 2nd International Conference on geotextiles (Las Vegas, USA, 1982)
- (2) Rollin A.L. : "Testing of geomembranes", 2nd Canadian Symposium on geotextiles and geomembranes (Ed. monton, CANADA, 1985)
- (3) Baudonnel J., Giroud J.P., Gourc J.P. : "Etude expérimentale et théorique du comportement en traction des géotextiles nontissés", 2nd International Conference on geotextiles (Las Vegas, USA, 1982)

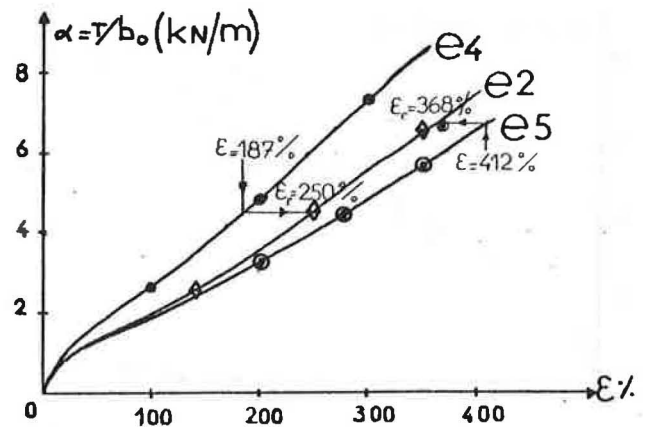


Figure 10 - Prise en compte de la déformation ϵ_r au lieu de la déformation moyenne ϵ pour des éprouvettes "haltère"