
Caractérisation des tricots de contention

Sommaire

4.1	Introduction	46
4.2	Dispositif et conditions expérimentales	46
4.3	Résultats	50
4.3.1	Essais sur les chaussettes A	50
4.3.2	Essais sur les chaussettes B	51
4.3.3	Essais sur les chaussettes C	52
4.4	Discussion	52
4.5	Conclusion	57

4.1 Introduction

La notion principale dont il sera question dans ce chapitre est la loi de Laplace [PRS00]. La loi de Laplace est une relation qui permet de relier la tension de surface à la différence de pression (entre les domaines séparés par la surface considérée) et au rayon de courbure. Dans le cadre de la contention, seule la courbure relative à la circonférence de la jambe est considérée, la courbure le long de la jambe étant quasiment nulle.

La loi de Laplace s'écrit dans notre cas,

$$P = \frac{T}{R} \quad (4.1)$$

avec P la pression appliquée par la contention, T la tension dans le sens trame (sens de la circonférence) de l'article de contention et R le rayon de courbure. Cela signifie que pour déterminer la pression exercée localement par la contention, il est nécessaire de connaître la tension dans le tricot ainsi que le rayon de courbure local.

Ce chapitre vise à présenter les essais de traction qui vont nous permettre de déterminer la tension dans les tricots en fonction de leurs elongations. Ceux-ci sont utilisés pour modéliser la pression exercée par les tricots en fonction des différences d'elongations constatées sur les images IRM [Équation (4.1)].

Dans ce chapitre nous présentons les essais réalisés sur trois différents tricots BVSport[®] :

- **la chaussette A**, recouvre la jambe de la cheville jusqu'au dessous du genou. Son port est préconisé lors de l'effort de longue durée. Elle aurait un effet bénéfique sur l'évacuation des toxines responsables de la fatigue musculaire en plus de son effet sur le retour veineux [Figure 4.1-(a)].
- **la chaussette B**, est une chaussette adaptée au port d'une contention au quotidien, permettant l'amélioration du retour veineux [Figure 4.1-(b)].
- **la chaussette C**, est une chaussette dont le port est conseillé après l'effort pendant une durée de 1 à 3 heures [Figure 4.1-(c)]. Cette chaussette présente une particularité de tissage. En effet, les mailles sont différentes lorsqu'elles sont situées sur le mollet ou sur le tibia [Figure 4.2].

4.2 Dispositif et conditions expérimentales

Les essais mécaniques présentés ont pour but de solliciter les tricots dans le sens trame (sens de la circonférence de la jambe), comme c'est le cas lors du port du tricot. On souhaite réaliser des essais n'altérant pas les tricots et représentant de manière réaliste les conditions de port. La machine de traction utilisée (Adamel Lhomargy) est composée de deux mors de 40 mm de large. Le mors inférieur est fixé au bâti et le mors supérieur se déplace verticalement, entraîné par une vis à bille. La machine de traction

4. Caractérisation des tricotés de contention



Figure 4.1 – Articles de contention étudiés

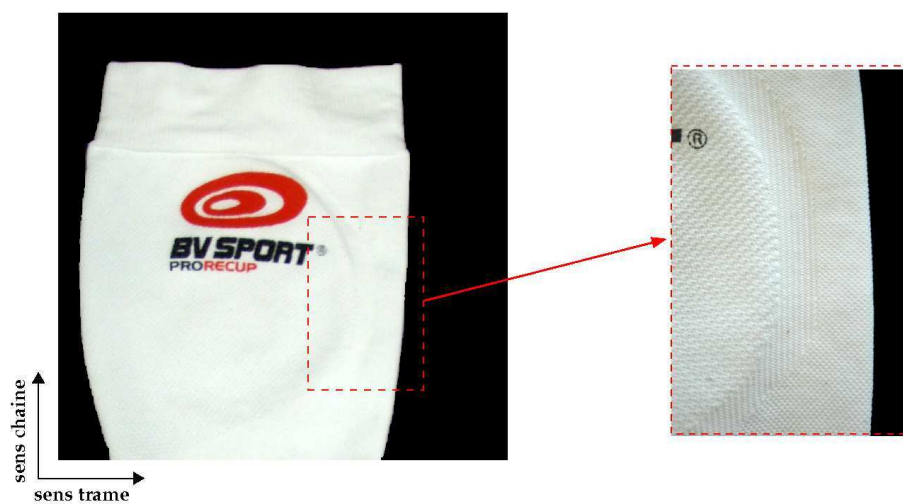


Figure 4.2 – Différence de structuration du tricot entre la partie située sur le mollet et celle sur le tibia pour la chaussette C

II. Mise en œuvre d'un modèle numérique de la jambe

est munie d'une cellule de force de 1 kN de capacité. Les acquisitions et le pilotage de la machine sont réalisés *via* un programme développé sous LabView©. Les tricots sont sollicités à une vitesse de 200 mm.min⁻¹. Cette vitesse est préconisée par la pré-norme européenne relative à la contention [cTC01]. Cette pré-norme impose également 5 cycles de chargement jusqu'à la déformation imposée lors des essais afin de stabiliser la structure interne du tricot. Les valeurs accessibles dans ce type d'essais sont la longueur initiale de l'échantillon (L_0) et la longueur actuelle (L) imposée. Pour des raisons de simplicité et d'interprétation, nous choisissons d'utiliser comme mesure cinématique, la déformation nominale *i.e.* une déformation linéaire par rapport au déplacement ou *déformation ingénieur* [Hje04] définie par,

$$e = \frac{L - L_0}{L_0} = \lambda - 1 \quad (4.2)$$

λ étant l'élongation dans la direction de sollicitation. Les déformations imposées lors des essais sont de l'ordre de 60 %, soit une élongation de 1,6. Porté, la circonférence du tricot est égale à celle du mollet, ce qui permet de déterminer la déformation du tricot en condition de port [Tableau 4.1]. La déformation maximale est de 39,3 %.

	Diamètre initial (mm)	Circonférence du mollet (mm)	Déformation sens trame (%)
Chaussette A	280	390	39,3
Chaussette B	290	390	34,5
Chaussette C	292	390	33,6

Tableau 4.1 – Valeurs des déformations subies par les différents tricots lors de l'enfilage

Porté, le tricot présente des déformations quasi-nulles dans le sens chaîne pour les tricots A et B et une déformation moyenne de 50 % pour le tricot C. Ces observations ont été réalisées à partir de chaussettes quadrillées [Figure 4.3] et portées. Les mesures des déformations du quadrillage sont prises à une hauteur de mollet correspondant à l'endroit où les mors seront positionnés. On mesure plus particulièrement les déformations des carrés numérotés 14 et 16 sur la [Figure 4.3], les résultats sont présentés dans le [Tableau 4.2]. Dans des essais préliminaires nous avons montré l'importance de la prise en compte des déformations dans le sens chaîne pour pallier les effets de bords dus au liage des fibres textiles [SP74]. Il est donc nécessaire d'utiliser un montage n'altérant pas les tissus et tenant compte des déformations dans le sens chaîne. De plus, on souhaite solliciter les tricots sur une faible largeur étant donnée la variation de pression supposée selon la hauteur du mollet. La condition de non-altération des tissus impose la conception d'un montage où la découpe des tricots est évitée, prévenant ainsi aussi des phénomènes d'*effilochement*.

Afin de respecter l'absence de déformation dans le sens chaîne des tricots A et B, les tricots sont cousus de manière lâche autour de tiges d'acier positionnées de part et

4. Caractérisation des tricots de contention

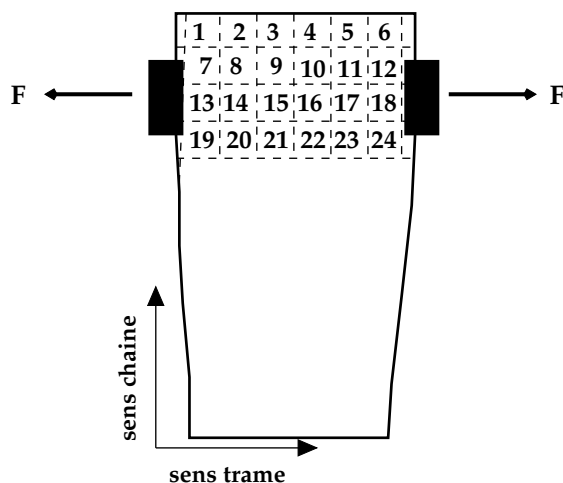


Figure 4.3 – Exemple de quadrillage des chaussettes et positionnement des mors sur la chaussette A

	Carré	Déformation sens trame (%)	Déformation sens chaîne (%)
Chaussette A	14	48,3	6,3
	16	46	7,9
Chaussette B	14	42,5	2,5
	16	37,5	2,5
Chaussette C	14	52,5	45
	16	37,5	55

Tableau 4.2 – Déformation du quadrillage de référence pour les 3 articles lors du port

II. Mise en œuvre d'un modèle numérique de la jambe

d'autre des mors [Figure 4.4]. Les déplacements dans le sens chaîne sont ainsi bloqués et les déplacements dans le sens trame sont permis.

Grâce à ce montage, on peut de la même manière imposer une déformation de

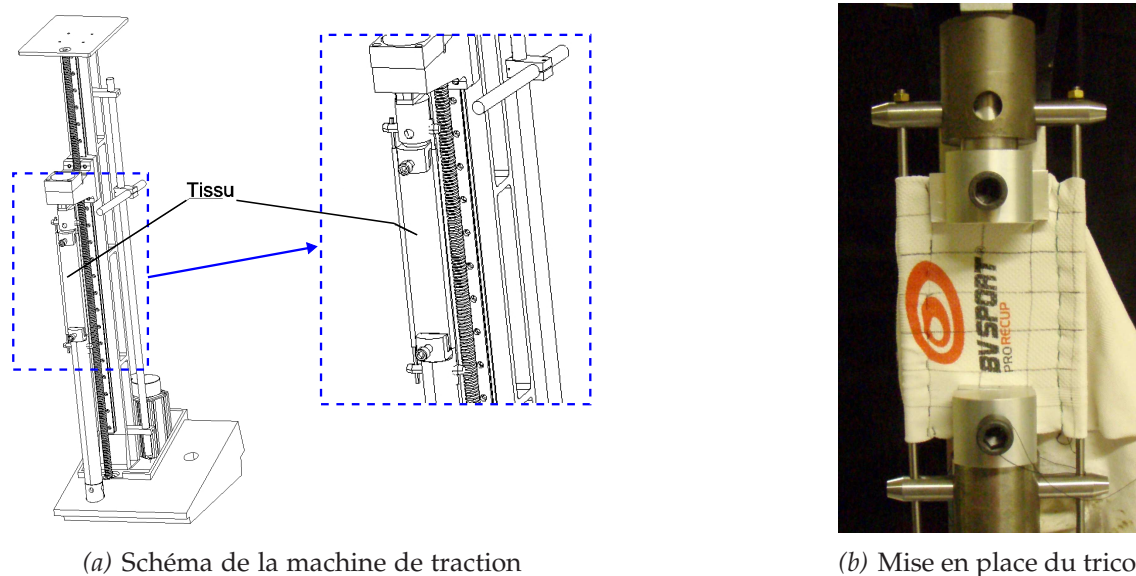


Figure 4.4 – Montage expérimental utilisé pour la caractérisation des tricots BVSPORT[®]

50 % dans le sens chaîne pour le tricot C en écartant les tiges d'acier et ainsi pré-tendre le tricot pour se rapprocher des conditions du port de cet article. Afin de comparer les essais à nombre de mailles sollicitées constant, les mors utilisés pour la caractérisation du tricot C sont d'une largeur de 60 mm contre 40 mm pour les chaussettes A et B. La découpe des tricots n'étant pas souhaitée, les tricots sont sollicités sur toute la circonférence. Cela signifie que deux épaisseurs de tricot sont prises entre les mors. Nous avons montré au préalable que la rigidité des tricots est bien doublée dans ce cas en comparaison à la prise d'une seule épaisseur dans les mors.

4.3 Résultats

4.3.1 Essais sur les chaussettes A

Les essais qui sont réalisés sont composés de deux séries de mesures et chacune de ces séries comporte trois essais successifs [Figure 4.5]. Les deux séries sont espacées dans le temps de 3h, chacune d'elle est donc précédée d'un cyclage préconisé par la pré-norme européenne [cTC01]. Les courbes présentées sont la courbe moyenne de l'ensemble des essais encadrée par les courbes des valeurs maximales et minimales.

4. Caractérisation des tricot de contention

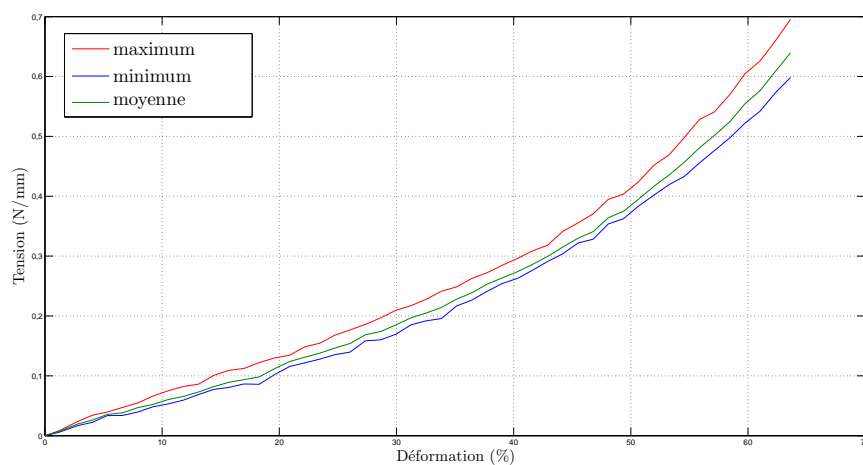


Figure 4.5 – Courbes de traction pour la chaussette A

4.3.2 Essais sur les chaussettes B

Le dispositif expérimental est identique à celui utilisé pour les chaussettes A. Ici encore, nous proposons deux séries de trois essais, chacune espacées dans le temps (6h). Les résultats présentés sont aussi la courbe moyenne de l'ensemble des essais encadrée par les courbes des valeurs maximales et minimales [Figure 4.6].

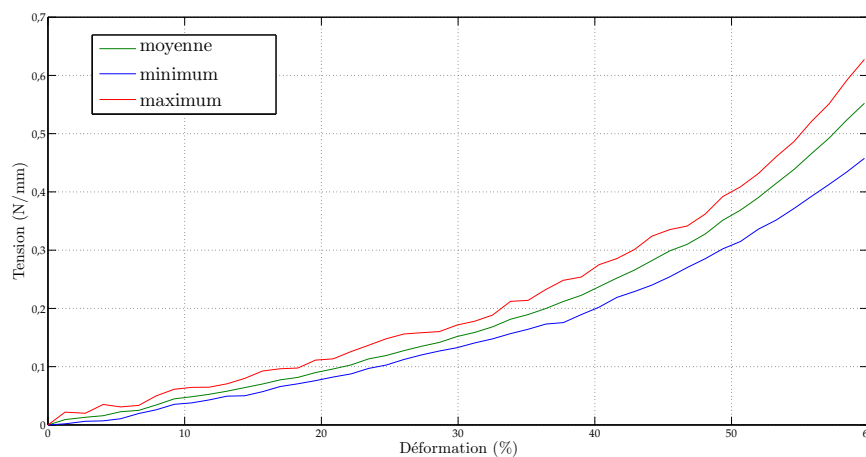


Figure 4.6 – Courbes de traction pour la chaussette B

II. Mise en œuvre d'un modèle numérique de la jambe

4.3.3 Essais sur les chaussettes C

Comme nous l'avons présenté précédemment, les chaussettes C ont fait l'objet d'attentions particulières concernant les essais de traction. L'observation d'une déformation transverse non-négligeable a incité la pré-déformation appliquée au tricot avant de débiter les essais. Ayant constaté une déformation transverse moyenne de 50 %, on impose celle-ci avant de débiter l'essai. La distance entre les tiges d'acier est augmentée afin de pré-déformer le tricot de 50%. Afin de raisonner à nombre de mailles constant, on utilise des mors de 60 mm au lieu de 40 mm comme précédemment. Nous présentons la courbe de traction moyenne obtenue sur 2 séries composées chacune de 4 essais encadrée par les courbes de valeurs maximales et minimales.

Pour résumer l'ensemble des résultats, les essais sur les chaussettes BVSport[®]

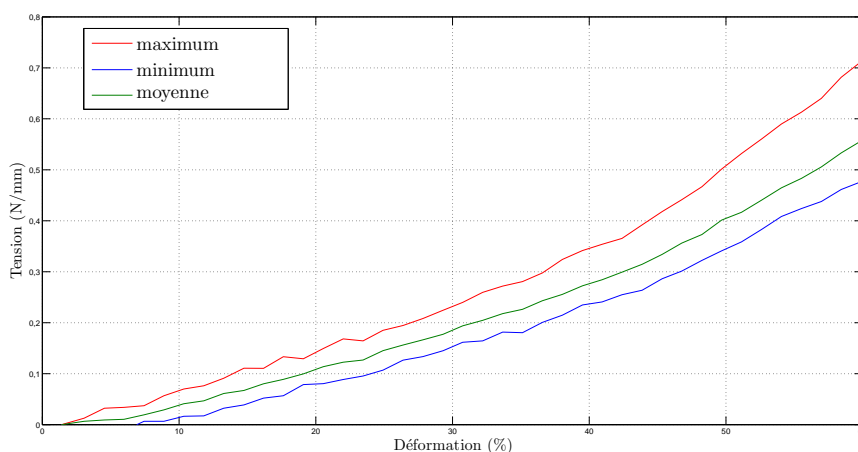


Figure 4.7 – Courbes de traction pour la chaussette C

montrent que les chaussettes présentent des comportements assez proches [Figure 4.8].

4.4 Discussion

La caractérisation des tricots présentée a été précédée d'études préliminaires qui ont permis d'aboutir à ces résultats. La taille des mors utilisés a d'abord été étudiée. En effet, nous avons montré qu'à longueur d'échantillon (dimension dans le sens trame) égale, la taille du mors a un effet considérable [Figure 4.9]. Plus la largeur du mors est grande devant la longueur de l'échantillon, plus la tension dans le tricot est faible à déformation donnée. Pour ces essais d'étude de l'influence de la largeur des mors, les tiges d'acier n'avaient pas été introduites. On peut donc en conclure que les effets de bord dus au liage des fibres [SP74] sont prépondérants sur la sollicitation dans le sens trame lorsque la largeur du mors est faible. Pour compléter ces remarques sur la taille des mors, nous

4. Caractérisation des tricotés de contention

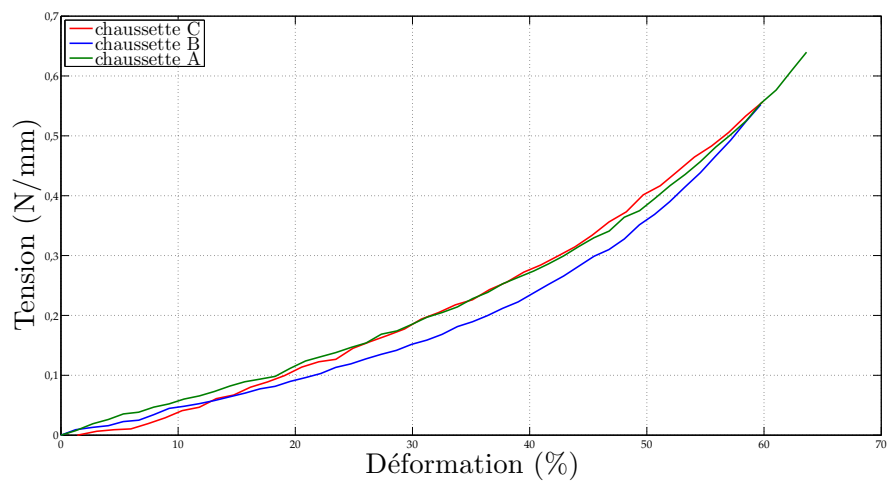


Figure 4.8 – Courbes moyennes de tension/déformation des trois types de chaussettes testées

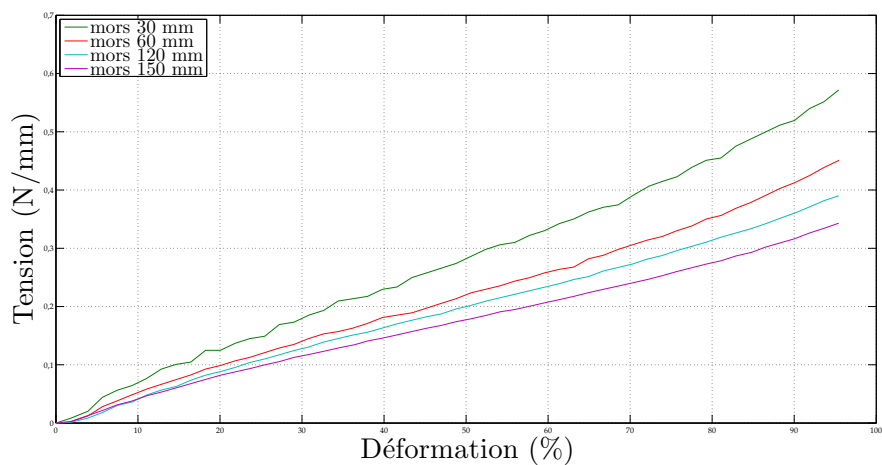


Figure 4.9 – Courbe de traction expérimentale (tension / allongement) pour 4 largeurs de mors différentes

II. Mise en œuvre d'un modèle numérique de la jambe

avons réalisé des essais comparant non plus les tailles de mors mais le rapport de la longueur de l'échantillon sur la largeur du mors [Figure 4.10]. À rapport constant, les

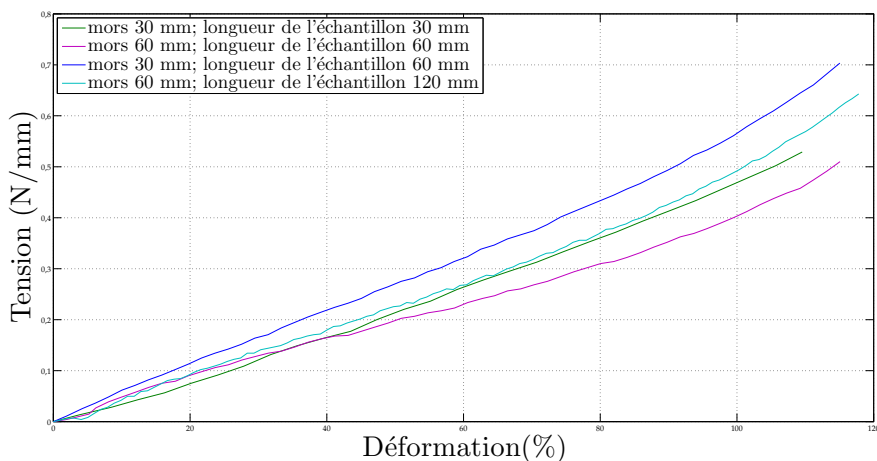


Figure 4.10 – Courbes de traction expérimentales (effort / déformation) pour des rapports (longueur de l'échantillon / largeur du mors) de 1 et 2

courbes suivent les mêmes tendances. Ces résultats sont appuyés par des simulations EF qui nous permettent de conclure que le rapport de la longueur de l'échantillon sur la taille du mors importe plus que la taille du mors elle-même. Cependant dans l'étude des tricots BVSPORT[®], nous avons utilisé des mors de faible largeur (40 mm), dans le but de caractériser les tricots de manière locale, et la longueur des échantillons est définie par le diamètre initial des tricots, soit 90 mm. On réalise donc des essais avec un rapport de 2,25. La tension dans le tricot obtenue est donc plus élevée que celle que l'on aurait obtenue avec des échantillons d'une longueur de 40 mm. Là encore l'introduction des tiges d'acier peut permettre d'atténuer les différences entre les différents rapports.

Concernant la chaussette C, nous avons remarqué une différence de tissage sur le pourtour du tricot [Figure 4.2]. En effectuant les essais sur deux configurations différentes (on tourne le tricot de 90° autour de l'axe du sens chaîne afin de modifier l'endroit de prise du tricot [Figure 4.11]), nous avons observé l'absence d'influence de l'endroit de saisie du tricot.

Une des principales sources d'incertitude propre à notre montage est la mise en place de tiges d'acier. En effet si celles-ci permettent de tenir compte des déformations dans le sens chaîne, leur introduction est génératrice de frottements.

Les coutures des tricots nécessaires pour les fixer autour des tiges d'acier sont réalisées de manière suffisamment lâche pour ne pas entraver les déformations dans le sens de la sollicitation mais sont cependant susceptibles d'entraîner des frottements supplé-

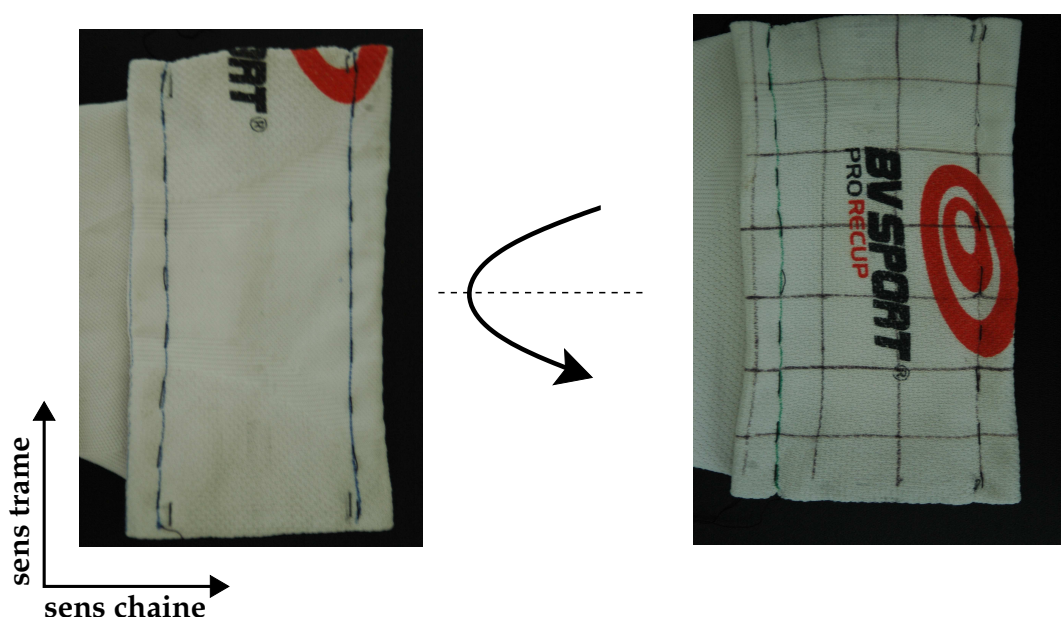


Figure 4.11 – Les configurations de tricotés testées

mentaires.

En tenant compte des déformations dans le sens chaîne du tricot, il semble que le montage de traction mis au point est plus proche du port du tricot qu'un essai de traction sur des tricotés découpés. Cependant l'introduction de tiges d'acier entraîne des frottements non-négligeables. Nous proposons alors l'encadrement de la courbe de la chaussette C. L'influence des écarts de tension sur l'identification des paramètres matériaux sera évaluée dans la suite de cette étude. Nous avons montré que les frottements du tricot sur les tiges sont de l'ordre de 10 % de la tension totale pour 30 à 40 % de déformation [Figure 4.12]. La proportion de frottement par rapport à la tension totale varie selon la déformation. Portés, les tricotés se déforment de 33,6 à 44,4 % [Tableau 4.1], nous choisissons donc de considérer une marge d'erreur dans le calcul de la tension de 10 %. Dans les simulations EF, nous n'utiliserons que la courbe concernant la chaussette C, nous encadrons donc la courbe de la chaussette C par des courbes à $\pm 10\%$ [Figure 4.13]. Le choix de la chaussette utilisée est arbitraire, nous aurions pu de la même manière utiliser la chaussette B. L'utilisation de la chaussette A est écartée car les images IRM sous la contention de cette chaussette seule n'ont pas été réalisées.

II. Mise en œuvre d'un modèle numérique de la jambe

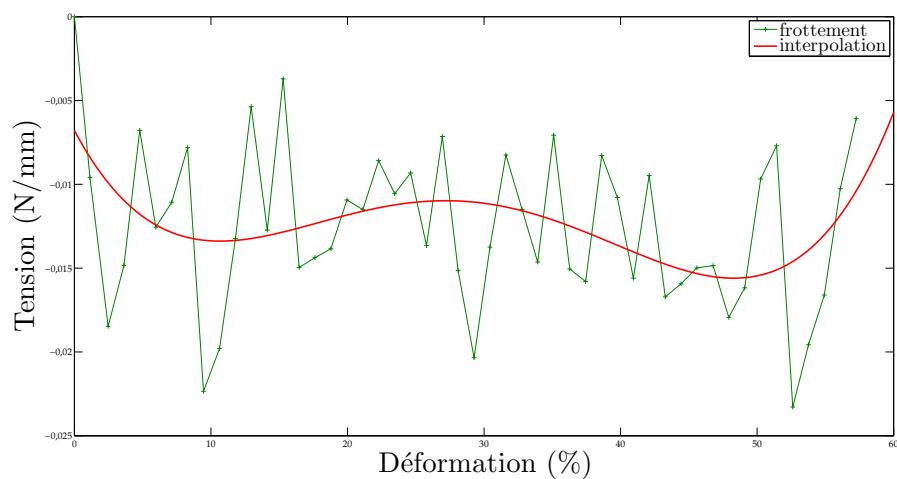


Figure 4.12 – Courbe caractérisant le frottement dû aux tiges introduites et interpolation de celle-ci par un polynôme de degré 4

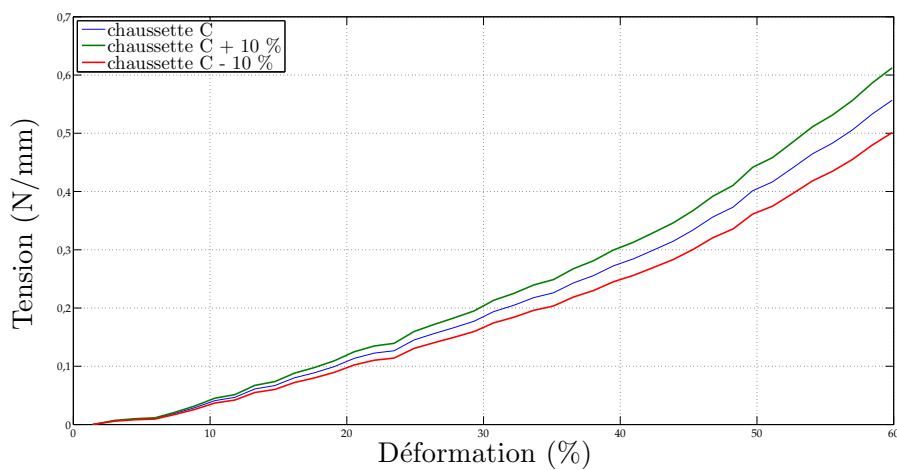


Figure 4.13 – Courbe de traction de la chaussette C encadrée à $\pm 10\%$

4.5 Conclusion

Ce chapitre avait pour but de déterminer la tension dans le tricot en fonction de l'élongation afin pouvoir calculer la pression appliquée par celui-ci avec la loi de Laplace et lors du port d'une contention. Nous avons présenté un montage original pour tenir compte des déformations dans le sens chaîne du tricot. En effet, les tricots ont un comportement orthotrope avec couplage [DG07] d'où la nécessité de prendre en compte ces déformations. Pour la conception d'un modèle numérique 2D, il semble que des essais de traction uniaxiaux constituent une première approche satisfaisante du comportement des tricots de contention même si une caractérisation 2D pourrait la compléter comme réalisé dans [Gai04]. D'après les courbes de traction obtenues, il est à présent possible de déterminer la tension dans le tricot quelque soit le niveau de déformation. Il reste à déterminer les rayons de courbure locaux pour déterminer la pression appliquée. Nous avons fait l'hypothèse que la tension dans le tricot est uniforme à une déformation donnée *i.e.* le tricot se déforme de la même manière sur tout son pourtour. *A priori* rien ne justifie une déformation hétérogène du tricot, comme l'indiquent les résultats de [DG07] et [Gai04].

II. Mise en œuvre d'un modèle numérique de la jambe
