

Frottement dans les systèmes de déroulement – enroulement de surfaces textiles

D. KUHM^{a,b,c}, M.A. BUENO^a, D. KNITTEL^{b,c}

- a. *Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles (EAC 7189 CNRS/UHA), Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs Sud Alsace, 11 rue Alfred Werner 68093 Mulhouse*
b. *Centre d'Innovation et de Transfert Technologique (CITT, Equipe de recherche en enroulement de bandes), Université de Strasbourg, 17 rue du Maréchal Lefebvre 67100 Strasbourg*
c. *Laboratoire de Génie de la Conception, INSA Strasbourg, 24 boulevard de la Victoire 67084 Strasbourg*

Résumé :

Les systèmes de déroulement / enroulement de bandes doivent faire défiler la bande à vitesse maximale pour lui faire subir un traitement tout en maîtrisant sa tension. Les phases critiques sont le démarrage et l'arrêt du système. Le frottement bande / rouleau est un élément important pendant ces phases où la bande peut glisser sur les rouleaux. Un banc de mesure de frottement ad hoc a été développé. L'influence de l'angle, de la tension, de la bande et de la vitesse de glissement sur le frottement est étudiée et comparée à la littérature existante.

Abstract:

Web handling systems have to transport the web at maximum velocity, while the tension is perfectly controlled. Most critical operating sequences are the starting or the stopping phases. Friction between web and rollers has an important part during this step because the web can slide over rollers. A friction measurement device has been developed and the effect of web, web tension, velocity, winding angle on the friction coefficient has been studied and compared with literature.

Mots clé : frottement, enroulement, textile, cabestan.

1. Introduction

Dans le cadre du déroulement et de l'enroulement de surfaces textiles nous recherchons à déterminer le frottement entre le textile et les rouleaux lors du procédé de fabrication. La connaissance de l'évolution de ce coefficient de frottement lors de variation de paramètres est nécessaire afin de venir enrichir les simulateurs utilisés dans le domaine du déroulement / enroulement [1] et [2]. Ces simulateurs servent à l'analyse, à la commande ou à l'optimisation des procédés d'entraînement et de transport de bandes.

2. Mesure du frottement bande/rouleau

2.1 Principe de la mesure

La loi du cabestan, connue depuis le XVIII^{ème} siècle (Bernoulli et Euler) est utilisée. Soit un fil inextensible enroulé avec un angle θ à la surface d'un cylindre. Une masse est fixée à une extrémité du fil lui donnant ainsi une tension T_1 . La tension T_2 à exercer à l'autre extrémité pour maintenir le système à l'équilibre est plus grande que la tension T_1 du fait du frottement entre le fil et le cylindre. Soit μ le coefficient de frottement entre le fil et le cylindre, la tension T_2 s'exprime :

$$T_2 = T_1 e^{\mu\theta} \quad (1)$$

Cette loi est couramment utilisée pour les textiles et en particulier les fils [3]. Le fil ou la bande présente une certaine rigidité en flexion, qui peut être négligée ici du fait de la finesse des matériaux textiles utilisés. De plus, nous considérons dans une première approche que les matériaux utilisés sont inextensibles.

2.2 Dispositif expérimental

L'objectif de ce dispositif expérimental est de mesurer le coefficient de frottement entre la bande et le rouleau, et ce pour différents paramètres. Sur ce banc de mesure (figure 1), les paramètres que l'on peut faire varier sont :

- le type de bande,
- la tension de bande (de 5 N à 20 N dans cette étude),
- l'angle de contact entre la bande et le rouleau qui varie de 60 à 100 degrés,
- le rouleau lui-même (état de surface et diamètre).

La tension de bande est mesurée à l'aide de capteurs à jauges d'extensométrie. La commande du moteur est une commande en couple afin de détecter le début du glissement entre le rouleau et la bande, non présenté ici.

La vitesse de rotation du rouleau est déterminée à partir d'un codeur angulaire d'une précision de 0,044°. Cette précision du codeur nous permet de détecter des variations de position de 57 µm au minimum si nous utilisons le rouleau de 150 mm de diamètre (en comparaison, l'épaisseur d'une fibre de coton est d'environ 20 µm).

La vitesse de rotation du rouleau peut aller jusque 450 tours/min ce qui correspond à une vitesse linéaire maximale (vitesse de glissement) d'environ 3,5 m/s pour le rouleau de 150 mm de diamètre.

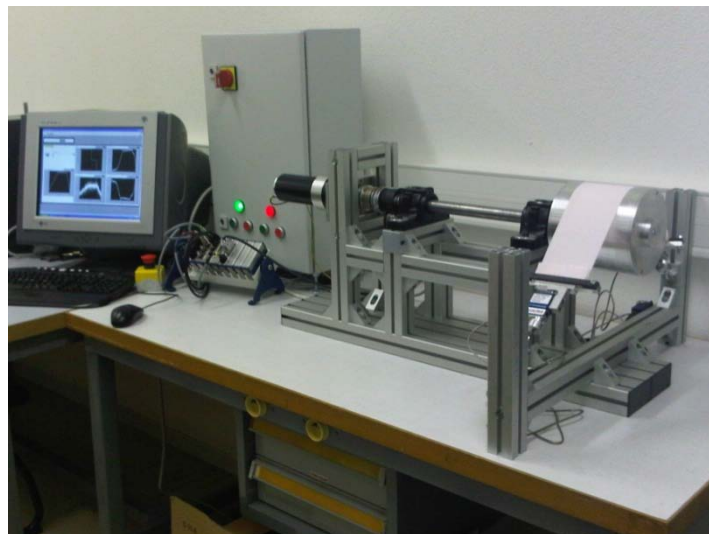


FIG. 1 – Banc de frottement bande / rouleau.

La figure 2 illustre les données qui peuvent être enregistrées :

- la consigne de couple transmise à la carte de commande du moteur, ainsi que l'image du courant réellement envoyé au moteur,
- les tensions T_1 et T_2 mesurées par les capteurs de force,
- la valeur de l'angle mesurée par le codeur,

La vitesse linéaire du rouleau est obtenue à partir de l'angle donné par le codeur incrémental. Le coefficient de frottement bande / rouleau est calculé à partir des tensions de bande en utilisant la loi de cabestan (équation 1). L'écart type du coefficient de frottement varie de 0,002 à 0,01 suivant le type de bande.

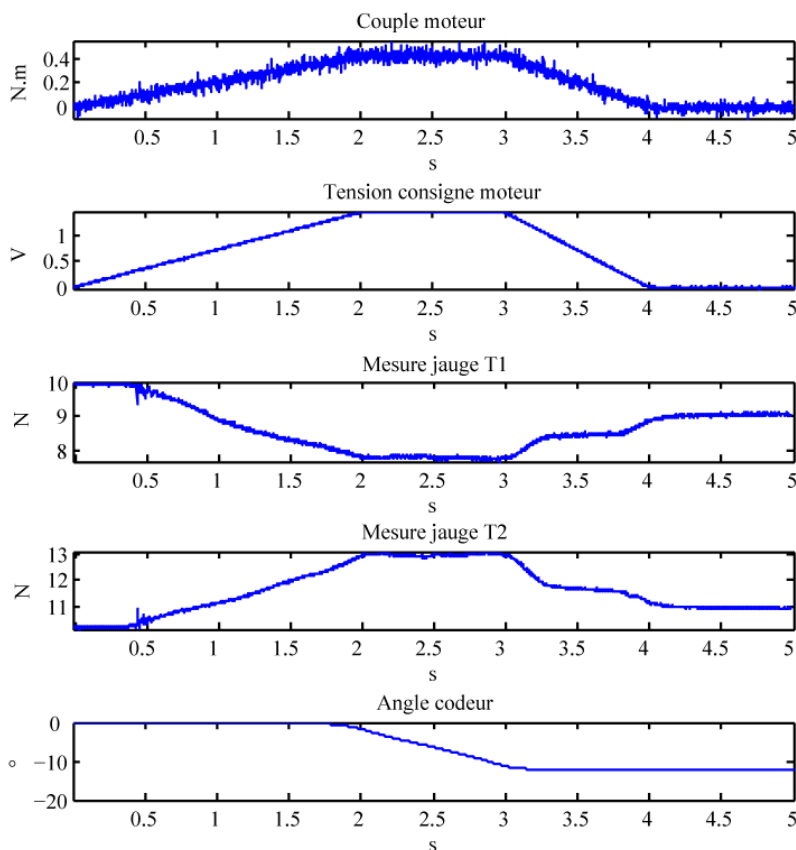


FIG. 2 – Données enregistrables avec le banc de mesure.

2.3 Bandes utilisées lors des mesures

Trois types de surfaces textiles ont été utilisés lors de cette étude : la première bande est un tissu en coton type chemise (toile n°1), la seconde est un tricot dont une face est non-pileuse (tricot n°2) et l'autre face est pileuse (tricot n°3).

3. Résultats et discussion

3.1 Influence de la tension de bande

Le coefficient de frottement μ diminue lorsque la tension de bande et donc la force normale augmentent. Ce phénomène est illustré pour la toile 1 dans la figure 3.

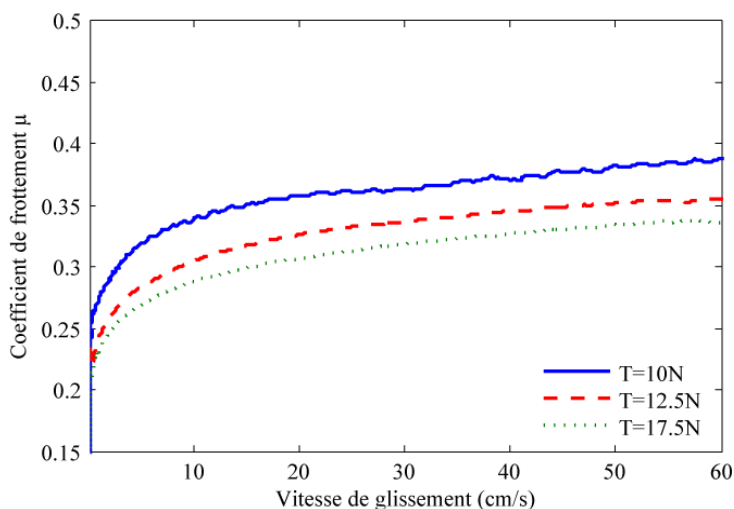


FIG. 3 – Coefficient de frottement en fonction de la tension (toile 1).

Les mêmes observations sont faites pour les autres types de surfaces textiles. Ce phénomène a aussi été observé pour le cas des fibres de nylon [4], pour les fils [5], pour le cas des non-tissés [6] et pour le cas des bandes plastiques diverses [7]. Ce phénomène peut s'expliquer par la loi de Coulomb qui implique que le coefficient de frottement μ dépend uniquement de la force normale N et de la force tangentielle F_f .

$$\mu = \frac{F_f}{N} \quad (2)$$

La relation entre la force de frottement et la force normale dans l'équation 2 est modifiée pour les polymères ou les matériaux textiles en introduisant les coefficients α et n dépendant des matériaux [8].

$$F_f = \alpha N^n \quad \text{avec } n < 1 \quad (3)$$

Le coefficient de frottement diminue alors lorsque la charge normale augmente.

3.2 Influence de l'angle d'enroulement

Lorsque l'angle de contact bande / rouleau change, la valeur du coefficient de frottement μ change peu. La figure 4 permet d'illustrer ce phénomène. Cela est concordant avec la théorie, car le fait de changer l'angle de contact ne change pas l'état de la surface de contact et donc le coefficient de frottement. Cependant dans la littérature, il existe des applications où le coefficient de frottement diminue quand l'angle augmente [9], mais il s'agit de variations importantes d'angle (de 50° à 400°).

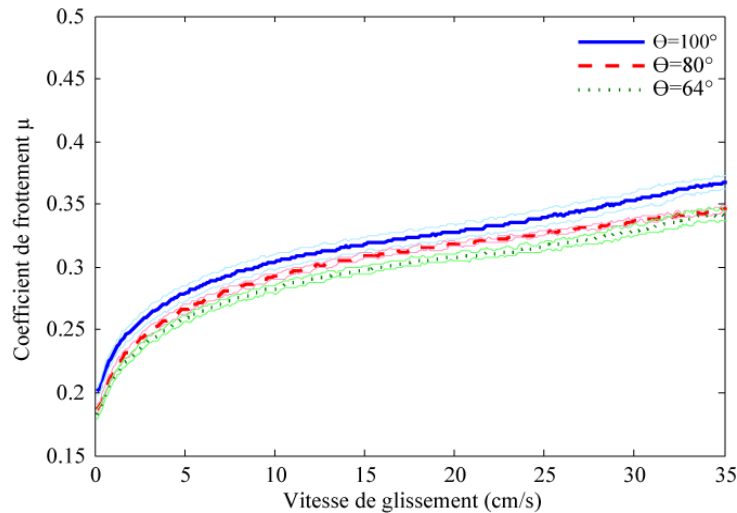


FIG. 4 – Coefficient de frottement et son écart type en fonction de l'angle (toile 1).

3.3 Influence de la vitesse de glissement

Comme l'illustre la figure 5, lorsque la vitesse de glissement augmente, la valeur du coefficient de frottement augmente jusqu'à se stabiliser pour des vitesses de glissements très élevées (1 m/s). Ce phénomène se vérifie pour différentes étoffes.

L'évolution du coefficient de frottement en fonction de la vitesse est bien connue [10], [11] et [4]. D'après Howell *et al.* l'augmentation du coefficient de frottement avec la vitesse serait due à la chaleur générée par le frottement [10]. Taylor *et al.* imputent cette augmentation suivie d'une stabilisation à la lubrification par l'air [12]. Cependant cette stabilisation du coefficient de frottement intervient pour des vitesses plus faibles que dans notre étude. Budinski met en évidence dans son étude que l'influence de la vitesse sur μ dépend du matériau ; le coefficient de frottement peut soit se stabiliser quand la vitesse augmente, soit diminuer ou au contraire augmenter [7].

Les investigations menées éliminent l'influence de l'air comme lubrifiant. Des mesures réalisées à l'aide d'une caméra thermique ont permis de constater qu'aucun échauffement supérieur à 0,1°C n'a été observé à la surface du textile, même lors d'essais prolongés. Cette variation est suffisamment faible pour ne pas avoir d'influence notable sur la surface des matériaux en contact. En effet, le rouleau en aluminium possède une capacité thermique très supérieure à celle du textile et absorbe donc quasi instantanément la chaleur générée par le frottement. Cette absorption de la chaleur par le rouleau est également observée dans [4].

La figure 6 illustre cette absence de changement de température de la bande à la fin d'un essai de frottement dont la durée est de 25 secondes.

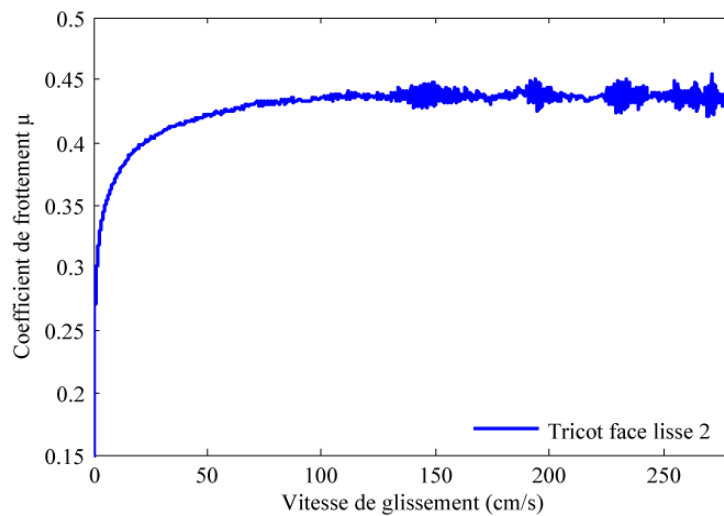


FIG. 5 – Stabilisation du coefficient de frottement à haute vitesse (tricot 2).

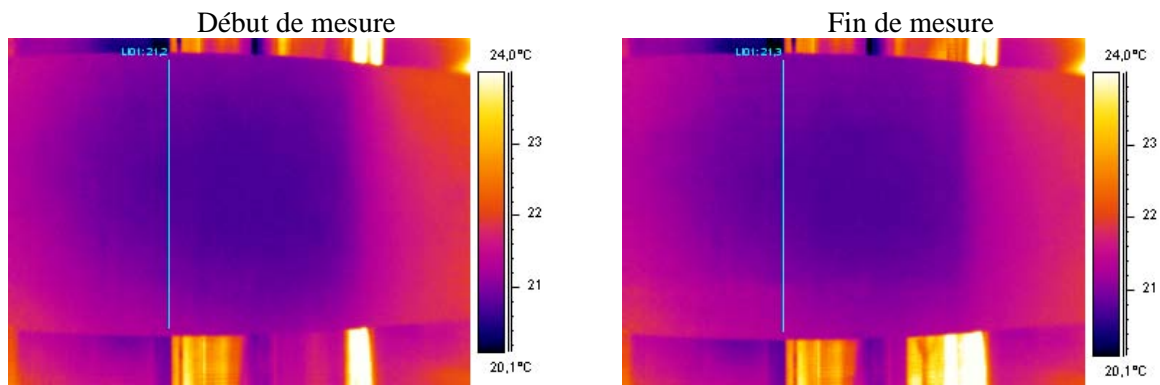


FIG. 6 – Température de la bande en début (à gauche) et en fin de mesure (à droite).

3.4 Influence de l'étoffe

La valeur du coefficient de frottement μ change lorsque l'étoffe change, comme l'illustre la figure 7. La surface pileuse 3 donne un plus grand coefficient de frottement que l'autre face du même tricot non-pileuse 2. Ces résultats sont tout à fait cohérents.

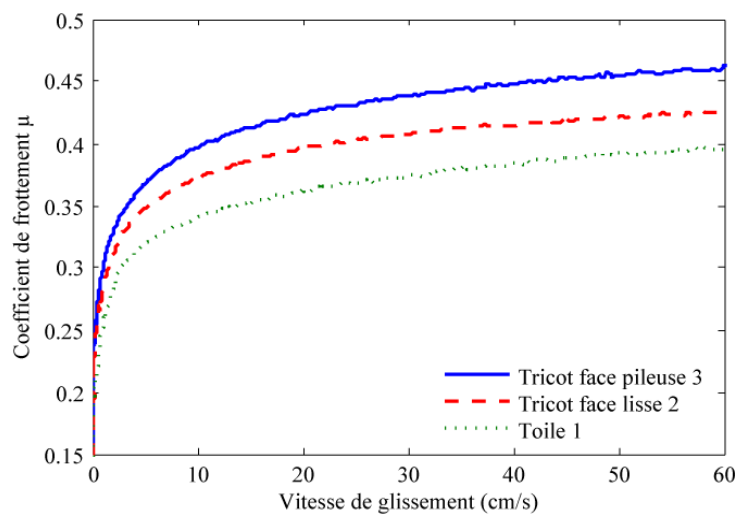


FIG. 7 – Coefficient de frottement en fonction de l'étoffe.

Conclusion

L'ensemble de ces mesures de frottement met en évidence une influence de la tension identique à celle recensée dans la littérature pour des faibles vitesses de glissement. La faible influence de l'angle de contact a également été montrée à travers les mesures. L'évolution du coefficient de frottement en fonction de la vitesse de glissement a été présentée et met en évidence un coefficient limite pour chaque étoffe. La discrimination des étoffes par leur coefficient de frottement augmente lorsque la vitesse augmente. L'ensemble de ces mesures nous permet donc de connaître l'évolution du coefficient de frottement des échantillons de bande et donc d'améliorer les simulateurs de systèmes de déroulement / transport / enroulement de bandes en incluant le coefficient de frottement bande / rouleau. Un simulateur est en cours de finalisation.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier la Région Alsace pour le soutien qu'elle a apporté à ces travaux.

Le banc de mesure a été réalisé conjointement à l'Université de Haute-Alsace et à l'Université de Strasbourg.

Références

- [1] **Koç, H. 2000.** *Modélisation et commande robuste d'un système d'entraînement de bande flexible.* PhD Thesis. Strasbourg, France. : 2000.
- [2] **Kuhm, D., Knittel, D. et Bueno, M. A. 2009 .** Modelling and robust control of an industrial accumulator in roll to roll systems. *35th IEEE Annual Conference on Industrial Electronics, Porto, Portugal.* 2009.
- [3] **Howell, H.G. 1953.** The general case of friction of a string round a cylinder. *J. Text. Inst. .* 44, 1953, Vol. 8.
- [4] **Tu, C.F. et Fort, T. 2004.** A study of fiber-capstan friction. 1. Stribeck curves. *Tribology international.* 37, 2004.
- [5] **Ramkumar, S.S, et al. 2003.** Experimental Study of the Frictional Properties of Friction Spun Yarn. *Journal of Applied Polymer Science.* 2003, Vol. 88.
- [6] **Makinson, R. 1970.** A useful method for calculating coefficients of friction of wool fibres from capstan measurement. *Journal of the Textile Institute.* 1970, Vol. 61, 10.
- [7] **Budinski, K.G. 2001.** Friction of plastic webs. *Tribology International.* 34, 2001.
- [8] **Bowden, F.P. et Young, J.E. 1951.** Friction of diamond, graphite, and carbon and the influence of surface films. *Proceedings of the Royal Society.* A208, 1951, Vol. 44.
- [9] **Levin, E. 1991.** Friction experiments with a capstan. *American Journal of Physics.* 1991, Vol. 59, 1.
- [10] **Howell, H.G., Mieszkis, K.W. et Tabor, D. 1959.** *Friction in Textiles.* London : Butterworths Scientific Publications, 1959.
- [11] **Robins, M.M., Rennell, R.W. et Arnel, R.D. 1988.** The friction of Polyester Staple Fibres : The Effects of Speed, Processing, Spin, Finish, Humidity, and Counterface-surface Roughness. *Journal of Textile Institute.* 1988.
- [12] **Taylor, P.M. et Pollet, D.M. 2000.** The Low-force Frictional Characteristics of Fabrics against Engineering Surfaces. *Journal of Textile Institute.* 91, 2000, Vol. 1, 1.