

Fiche Lecture

Bounakoff, Duvernoy, Frier

2016

Contents

I	Biomécanique	2
1	Friction	3
1.1	Finger pad friction and its role in grip and touch (2012) <i>Adams et al.</i>	4
1.1.1	Aire de contact	4
1.1.2	Occlusion	7
1.1.3	Evolution of slip in the contact region	9

Part I

Biomécanique

Chapter 1

Friction

1.1 Finger pad friction and its role in grip and touch (2012) *Adams et al.*

Le papier fait un état de l'art de la littérature sur la friction ayant lieu au point de contact entre doigt et surface. Le papier est divisé en 4 parties: Surface de contact, occlusion, l'évolution du slip dans la région de contact et l'influence de la vitesse de glissement.

1.1.1 Aire de contact

Tribologie, science des frottements

La rugosité des faces en contact crée de l'adhérence. Au niveau microscopique, comme illustré à la figure 1.1, les atomes des deux solides sont interaction — liaison chimique, force de Van Der Waals — appliquant une force supplémentaire perpendiculaire à la surface moyenne de contact. Frottement statique, Force de décrochage, adhésion.

Frottement dynamique, énergie libérée lors de la rupture des liaisons.

Origine de la tribologie, Travaux de Leonard De Vinci (1452-1519). Vers 1480, il énonce la loi suivante traduite en français “La friction double l'effort quand le poids double” (*“La confregazione si fa di duplicata fatica in duplicato peso”*), image de l'archive à la figure 1.2 (a). Ainsi, appuyer par d'autres dessins, présent à la figure 1.2 (b), il est supposé que Leonard De Vinci savait que “la force de frottement agissant entre deux surfaces qui glissent est proportionnelle à la charge qui pousse les surfaces l'une contre l'autre et que la friction est indépendante de la surface apparente de contact entre les deux surfaces”. Ce qui devancerait les travaux du physicien français Guillaume Amontons (1663-1705) qui était à l'origine de cette théorie en 1699.

Charles August Coulomb (1736-1806)

- La force de frottement statique est proportionnelle à la charge (lois d'Amontons);
- La force de frottement statique est indépendante de la surface de contact apparente (lois d'Amontons);
- La force de frottement cinétique (en mouvement) est indépendante de la vitesse (La loi de Coulomb).

F. Philip Bowden and David Tabor (1950) - Contact entre deux solides n'a lieu que sur des zones ponctuelles, la pression élevée sur ces points de contact qui induit une déformation plastique. Plus la pression augmente plus il y a d'aspérité en contact. Les forces de friction sont donc dépendantes de la vraie surface de contact.

<http://www.tribology-abc.com/> https://www.canal-u.tv/video/universite_de_tous_les_savoirs/la_tribologie.1457/

...énoncer les formules générales...

Cas de la peau

Modèle général Mécanisme d'adhésion pour un polymère organique : (équation 2.1) F : force de friction; Tau : force de cisaillement ; A : Aire de contact.

Transition thermique d'un polymère typique : (gauche: froid ; droite: chaud) État vitreux – *Glassy state* = i État visco-élastique – *Viscoelastic state* (= i État mélangé – *Melt state*)

Pour un polymère organique dans son état vitreux, la force de cisaillement augmente linéairement avec la pression moyenne en contact, p : (équation 2.2) avec tau_0 la valeur intrinsèque de tau avec



Figure 1.1: Illustration du contact réel entre deux solides — défauts microscopiques sur la surface des solides.

pression nul; α le coefficient de pression. Or, $P=W/A$ avec W la force normale (habituellement on utilise F_n).

Pour un contact entre deux corps parfaitement lisses, ici une sphère de rayon R et un plan, l'équation de hertz nous permet de déduire l'équation suivante: (équation 2.4)

Équation de hertz permet de calculer l'intégrale du profile de pression. E : module de young, propriété du matériaux, représente l'élasticité de celui-ci. Permet de déterminer la déformation pour une contrainte donnée — lois de Hooke. μ : coefficient de poisson intrinsèque au matériaux. rapport de la contraction transversale unitaire sur allongement axiale unitaire.

Modèle utilisable dans les deux sens: doigt/surface et point/peau. Le doigt peut aussi être assimilé à une ellipse avec $R=(R'R'')...$

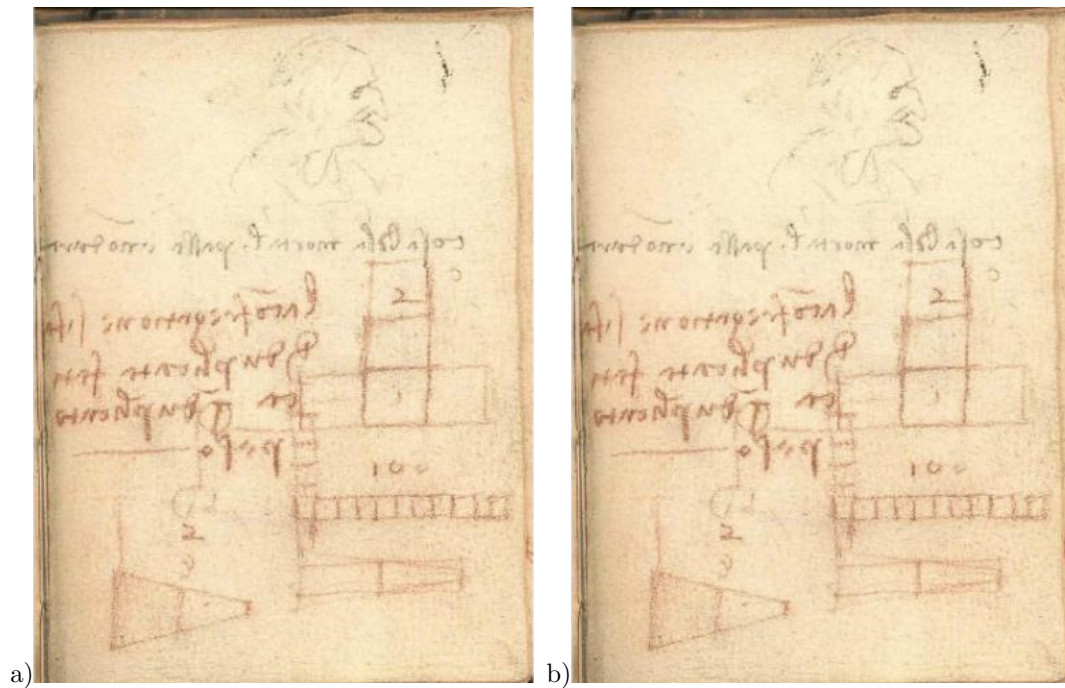


Figure 1.2: Archives des travaux de Leonard De Vinci : a) ;b) .

Caractérisation de l'aire de contact de bout du doigt Il est habituel de mesurer deux paramètres:

- A_{gross} Aire de contact totale (aire de contact réelle + aire des surfaces pas en contact entre les stries)
- A_{ridge} Aire de contact due aux des stries (
- A aire de contact réelle

$$A_{gross} - A_{ridge} = A$$

Grosse déformation de la peau dépend principalement du tissu le plus mous de la peau.

Peau sèche : Aire calculé sera bien plus grande que le contact réel.

État nominal sec Stratum coreum se comporte comme un polymère organique hydrophobe vitreux, e.g. Nylon, Keratin. Pas d'occlusion. Caractéristique de ces polymères : F augmente avec l'absorption de l'humidité bien que τ diminue. Plastification due à l'humidité réduit le module de Young, donc d'après 2.4 A augmente (si on reste dans un modèle de sphère et surface parfaite).

Nylon plastification augment la friction d'un facteur 2 (*from dry to the saturated wet states*. Au poignet augmentation d'un ordre. Cette diff vient de de la sensibilité à l'humidité du stratum coreum, qui modifie le module de Young. Conduisant à une augmentation de A (due à l'aplatissement des aspérités sous la force normale appliqué).

cas pour le bout du doigt État mouiller: une augmentation de F a aussi été observé. Il est supposé que A augmente vers Aridge. De sec à mouiller: E de stratum coreum diminue de 3 ordre – correspondant à une transition d'un état vitreux à un état visco-élastique.

Remarque: Hydrophobie de la peau – angle de contact de 100 degré.

Observé communément que F pour le bout du doigt augmente lorsque F_n diminue, dans le cas de charge faible, inférieur à 3,5 N. D'après (2.1)(2.2) et (2.4), on a : $F = \dots$ (équation 2.5)

Approximé par : $F = \dots$ (équation 2.6) avec n index de charge de friction; K_2 coef de friction dépend de la charge

donc coef de friction, μ , vaut : (équation 2.7)

...

Déformation du bout du doigt est bien plus complexe que le poignet (dont on a calculé le coef de friction)

2N déformation limite du bout du doigt due au fait que le tissu underlying est compressé contre les phalanges.

Discussion

Les équation de hertz ne sont pas applicable à chaque fois. Adams, Warman sont d'accord que la suggestion de Wolfman est incorrect (et bam dans les dents). Suggestion de wolfman : la friction de la peau pourrait être décrite par un coef de friction indépendant de la pression. Suggestion incorrect car le modèle prédit un indice de charge de 2/3. Il est difficile de distinguer les eq (2.8) et (2.6) car erreur dans les données, les données sont rare en particulier lorsque le charge est faible.

1.1.2 Occlusion

[29] Smith and Scott

- coefficient de friction de l'extrémité du doigt, sur un certain nombre de surface, qui augmente de .36 à .79 après 7 essais.

- Réponse physiologique de la sécrétion de la transpiration.

[77] Smith and al

Expérience de blocage des sécrétions de transpiration sur la main -> augmentation de la force exercée sur les objets agripés car interprétation de glisse.

[78] Johansson and Westling

Friction décroît grandement après s'être lavés les mains car suppression de l'humidité sur les mains.

[67] André et al

- Découverte d'une relation entre le coefficient de friction et l'humidité sur le bout du doigt.
- Outil de test de l'humidité développé auparavant [79].
- Valeur MAX de coefficient de friction a un niveau intermédiaire d'humidité (entre sec et très humide); [Fig. 4]

[80] André et al

- Dépendant de l'état initial de l'humidité, ce taux peut soit augmenter soit baisser au cours de l'exploration pour atteindre une valeur optimale, variant en fonction du type de contact. [Fig. 3-4]

- Valeur arbitraire de 7.75 de coefficient/rapport entre le coefficient de friction et le taux d'humidité pour un grip optimal.

3.1

- Rapport de coefficient de friction en fonction de la friction de départ et la friction à l'état constant de déplacement.

- Il y a une évidence forte que l'augmentation de la friction est due à une occlusion mécanique tel que le niveau de sécrétion de transpiration n'est pas influencé par l'action du glissement -; résultats indentiques obtenus même lorsque le doigt reste statique pendant un temps variable avant le glissement.

- Il est possible qu'il ait un lien neurologique entre pression du contact/sécrétion de transpiration -; MAIS aucune évidence expérimentale.

[53]

Coefficient de friction qui augmente d'un ordre en magnitude

[62] + Fig. 6

Ajouter de l'eau sur la surface pour atteindre une occlusion complète.

[80] André and al, [81] Tomlinson and al

Taux d'humidité optimal pour obtenir le meilleur coefficient de friction

[83]

???

[33]

- Une solution a été proposé que l'augmentation de la friction impliquée par la présence de l'humidité est due aux **forces de capillarité**.

[85]

Il a été montré que les force de capillarité contribue majoritairement sur des systèmes qui ne sont pas la peau. Donc ca pourrait être un axe de recherche si les forces de capillarité sont de même grandeur que les forces normales.

[86]

La force adhésives mesurées = 5mN soit un petit nombre face à la force normale requise pour une exploration.

[53]

Dans la même idée de petites valeurs ont été détectées en extrapolant les forces frictionnelles mesurées avec une force appliquée nulle.

=; Ces données ont comme hypothèse un avant-bras sec donc les adhésions ne peuvent avoir lieu que par des interactions moléculaires plutôt que des forces capillaires.

[81]

Récemment faite, cette étude sur l'extrémité du doigt en friction suivit d'une immersion dans l'eau ne provoque pas de résultats assez probant sur les ponts capillaires.

=> aucun résultat concluant sur une utilité des forces capillaires.

[62] Passumarty and al

- Recherche sur la valeur de friction de doigt par rapport au temps (selon plusieurs surface).
- μ_0 = friction minimale tel que la moyenne de $\mu_0 = 0.23$ - 0.37
- μ_{∞} = friction maximale tel que la moyenne de $\mu_{\infty} = 3.1$ - 3.6
- Ratio de transpiration n'est pas corrélé avec le glissement.

[85][82]

Indique que l'eau entre une glace et un élastomère décroît alors que la peau gagne en plasticité avec l'eau.

[88] ???

Force de retrait qui n'est que faible pour le retrait du doigt car les aspérités forment des forces de répulsions. Mais les forces d'adhésion peuvent avoir lieu lorsque ces aspérités sont déformées (sous une force normale).

[89] ???

Il parle de mode I, II, III sur les forces adhésives.

[90]

- Bizarrement la friction avec du papier diminue en fonction du temps du glissement (Fig. 7)
- Augmentation de la rugosité, baisse de la friction

[91]

On a attribué ce phénomène à un dépôt de lipides OU par le biais de l'absorption de l'humidité par le papier [eq. 3.1 // Fig. 7]

[33] Dans l'idée de l'augmentation de la rugosité qui induit une baisse de la friction, il pense que c'est dû à une baisse des forces capillaires. Problème, forces capillaires tellement faible par rapport à la force normale.

1.1.3 Evolution of slip in the contact region

Cette partie de l'article discute de comment la force de pression (normal et lateral), et donc le contact, évolue avant et pendant un glissement. Ces informations étant importante pour ajuster les forces avec lesquels un objet est tenu ou manipulé. En effet ces forces augmentent lorsque un glissement est sur le point de se produire. Les auteurs citent principalement l'article "Effect of skin hydration on the dynamics of fingertip gripping contact", où des images de glissement ont pu être enregistrées. La principale observation est que lorsque la force tangentielle augmente, l'aire de contact réduit petit à petit jusqu'à ce que le doigt entre en glissement.

Cattaneo [98] et Mindlin [99], utilisent les équation du contact de Hertz pour décrire la formation du "slip annulus" en fonction de la force de contact. Les équations de hertz permettent aussi de déterminer que la force de contact est distribuée selon une parabole inversée avec un maximum au centre de la surface de contact (1.5p) et une limite de 0 au bords. Cette application

des équations de Hertz est justifié pour des relativeent faibles forces (inférieur à 1N). (équations 4.1-4.3)

Tada et al. [96] et André et al. [95] ont essayé de mettre en relation ces résultat théorique avec des mesures expérimental. Ils ont trouvé que la théories sousestiment les forces tangentielles mesuré expérimentalement. Ces résultat expérimentaux suggerent un seuil de valeur pour les forces tangentiel qui viendrais reduire le coefficient d'adhésion.

Tüzün et Walton [100] détermine une valeur maximale pour les forces tangentielle. (équations 4.4 et 4.5)

Wang et Hayward [102] pointent les propriété anisotropique du doigt et donc les limitent de l'application des équations de Hertz. Par la suite l'article discutent de nouveaux model théorique pour des forces supérieur à 1N. (équations 4.6-4.8) La conclusion etant que le coefficient d'adhesion diminue linéairement avec les forces tangentielles.

La conclusion de cette partie suggere qu'une diminution du "gross area" précédent toujours un glissement. Ceci pointe vers un mechanism de pelage\de décollement. Néanmoins, l'ensemble des études (et les équations établis) considèrent seulement une valeur constant de la "gross area".