

# Fiche Lecture

Bounakoff, Duvernoy, Frier

2016

## 1 Biomécanique

### 1.1 Friction

#### 1.1.1 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.

**Aire de contact**

## 2 Aire de contact

### 2.1 Tribologie, science des frottements

La rugosité des faces en contact crée de l'adhérence. Au niveau microscopique, comme illustré à la figure 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.

[width=0.7]Photos/LeonardDeVinci<sub>friction</sub><sub>1</sub>

Figure 1: Illustration du contact réel entre deux solides — défauts microscopiques sur la surface des solides.

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 2 (a). Ainsi, appuyer par d'autres dessins, présent à la figure 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.

a)[width=0.45]Photos/LeonardDeVinci<sub>friction\_1</sub> b)[width=0.45]Photos/LeonardDeVinci<sub>friction\_1</sub>

Figure 2: Archives des travaux de Leonard De Vinci : a) ;b) .

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 force de friction est donc dépendant 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/](https://www.canal-u.tv/video/universite_de_tous_les_savoirs/la_tribologie.1457/)

...énoncer les formules générales...

## 2.2 Cas de la peau

### 2.2.1 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* = État visco-élastique – *Viscoelastic state* (= 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 pression nul;  $\alpha$  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.  $\mu$  : 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  $R=(R' R'')$ ...

### 2.2.2 Caractérisation de l'aire de contact de bout du doigt

Il est habituel de mesurer deux paramètres:

- *Agross* Aire de contact totale (aire de contact réelle + aire des surfaces pas en contact entre les stries)
- *Aridge* Aire de contact due aux des stries (
- *A* aire de contact réelle

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

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  $\tau$  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 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  $A_{ridge}$ . 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,  $\mu$ , 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.

## 2.3 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.

### **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.

**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, evolue 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 enregistré. 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 distribué selon une parabole inversé 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 tangentielle 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 propriétés anisotropiques du doigt et donc les limites de l'application des équations de Hertz. Par la suite l'article discute de nouveaux modèles théoriques pour des forces supérieures à 1N. (équations 4.6-4.8) La conclusion étant que le coefficient d'adhésion diminue linéairement avec les forces tangentielles.

La conclusion de cette partie suggère qu'une diminution du "gross area" précède toujours un glissement. Ceci pointe vers un mécanisme de pelage\de décollement. Néanmoins, l'ensemble des études (et les équations établies) considèrent seulement une valeur constante de la "gross area".