

M 522, Coef. : 1ECTS	UEM 5 : Productique, Industrialisation	ISTA Constantine
M. Chorfi Sofiane	LUBRIFICATION, huile de coupe, graissage	Le 07/12/2020

Chapitre 1; Tribologie

Objectifs :

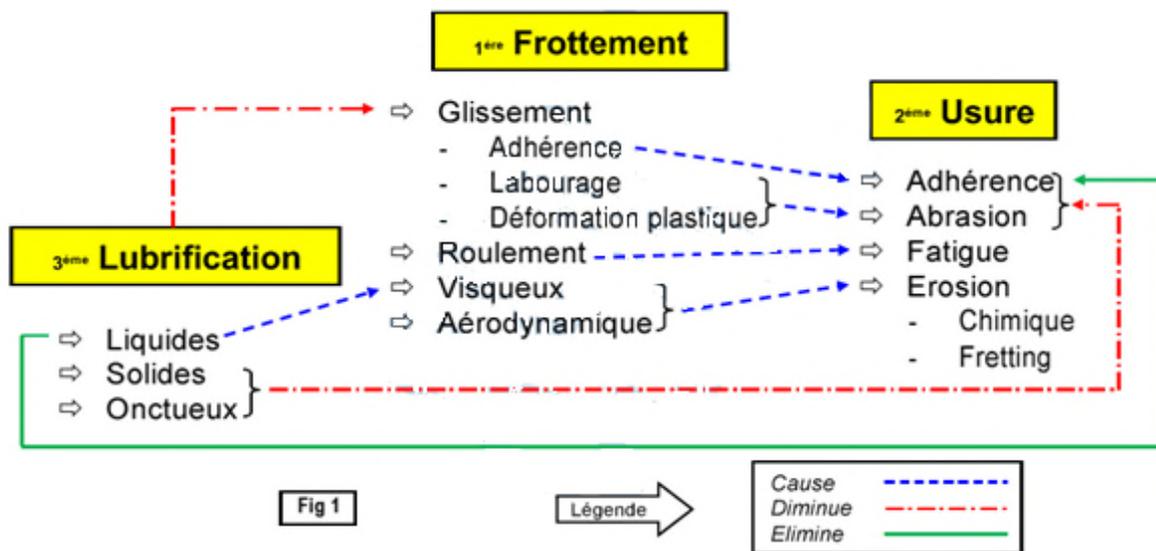
Comprendre les trois phénomènes : frottement, usure et lubrification des surfaces de contact entre deux solides.

1. Définition :

- **La tribologie** est la branche de la mécanique qui étudie le *frottement*, l'*usure* et la *lubrification* des surfaces de contact entre deux solides. Elle s'intéresse principalement aux corps solides ou à l'interaction entre un solide et un lubrifiant liquide (*huile*), onctueux (*graisse*) ou granulaire (*poudre*).

- **La lubrification** permet de séparer les surfaces en contact par un film lubrifiant, et donc de limiter le frottement et l'usure.

La Figure suivante décrit schématiquement les relations qui existent entre les trois aspects de la tribologie.



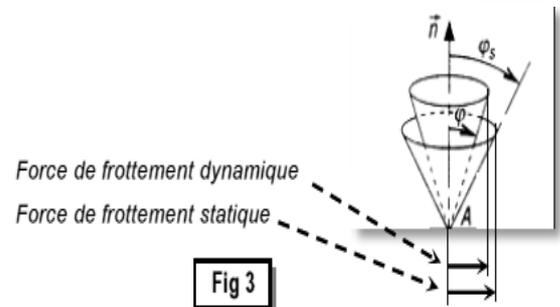
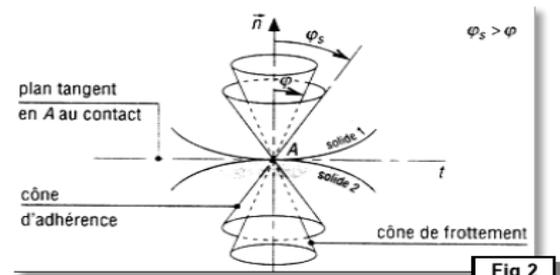
La **force de frottement** est une force de réaction, qui s'oppose toujours au mouvement relatif entre deux corps en contact. (voir fig.2)

- Cette force augmente de zéro à un maximum avant le début du mouvement macroscopique : c'est la force de *frottement statique*. (voir fig.3)

- Après le début du mouvement, elle diminue jusqu'à une nouvelle valeur qui demeure constante tant que le mouvement persiste. C'est la force de *frottement dynamique*. (voir fig.3)

Le **travail effectué** par les forces de frottement a un triple effet :

- (1) de l'énergie est dissipée sous forme de chaleur.
- (2) des déformations plastiques sont générées.
- (3) des particules solides sont arrachées sur les surfaces de contact.



- Dans les machines, la génération de chaleur et les déformations plastiques sont responsables des pertes *de rendement*, tandis que l'arrachement progressif des particules à la surface des pièces est la cause de l'*usure*.

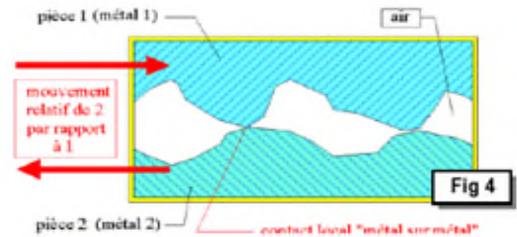
- En transmission de puissance, les pertes de rendement et l'usure doivent être éliminées le plus possible. La **lubrification** constitue le principal moyen pour minimiser l'impact de ces deux phénomènes inévitables : elle fait l'objet du troisième sujet d'étude de la tribologie. Cependant la lubrification n'est pas toujours possible. Son efficacité est d'autant plus grande que les surfaces en contact possèdent des propriétés compatibles et de bonnes caractéristiques géométriques, notamment au niveau microscopique. C'est pourquoi une bonne connaissance des phénomènes de frottement et d'usure peut aider à contrôler et minimiser leurs effets négatifs.

- En tribologie, l'état de surface des corps en contact possède une importance critique. En effet, la nature et les défauts des surfaces génèrent *adhérence*, *abrasion*, *fatigue* et *érosion*.

2. Les régimes du frottement :

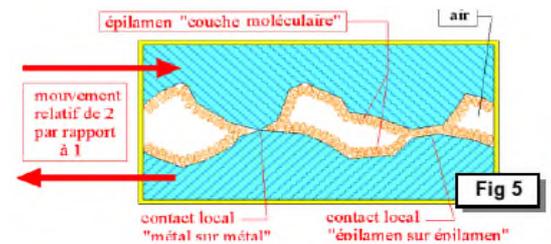
2.1. Le régime du frottement sec :

- Aucun film lubrifiant entre les surfaces en contact. Le glissement y est le plus difficile et l'usure la plus rapide. Il est caractérisé par des contacts locaux fréquents sur les aspérités (*irrégularité*) des surfaces, des échauffements, des arrachements et des microsoudures. (voir fig.4)



2.2. Le régime de lubrification limite, ou onctueuse :

- Un film de lubrifiant recouvre les surfaces en contact sous la forme d'un épilamen (*très fine couche*). Le frottement est diminué ($f \approx 0.03$ à 0.2) et le glissement favorisé. Les contacts locaux directs, sans épilamen, sont plus rares. Il y a moins d'arrachement, de microsoudures et d'usure.



- Ce régime est favorisé par des faibles vitesses, des faibles viscosités de l'huile et des fortes pressions de contact. (voir fig.5)

2.3. Le régime de lubrification hydrodynamique :

- Il n'y a plus aucun contact entre les surfaces. Celles-ci est toujours séparées par une couche de lubrifiant d'épaisseur minimale ($e = 0.02$ à 0.008 mm). Le mouvement, à condition que la vitesse soit suffisante, crée une portance hydrodynamique comparable au ski nautique. (voir fig.6)

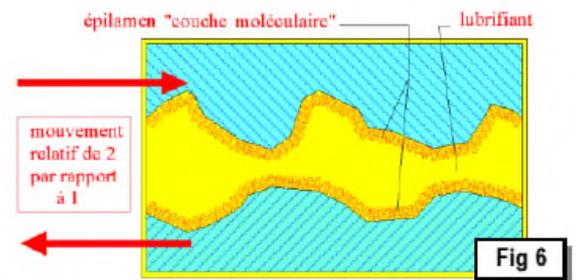


Fig 6

- Le frottement est très réduit ($f \approx 0.008$ à 0.02) et l'usure pratiquement nulle.

2.4. Le régime de lubrification mixte :

- C'est un mélange de frottement onctueux et de frottement hydrodynamique, caractérisé par une portance hydrodynamique intermittente avec quelques contacts locaux. Le frottement ($f \approx 0.04$ à 0.1) et l'usure sont encore réduits. (voir fig.7)

2.5. Le régime élasto-hydrodynamique :

- Cet état est obtenu avec des surfaces de contact élastiques, fortement chargées et généralement en contact selon un point ou une ligne.

Exemples typiques : roulements, engrenages, cames...

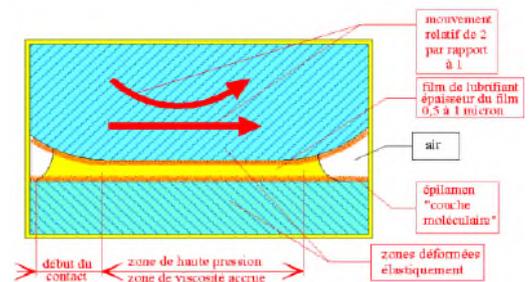


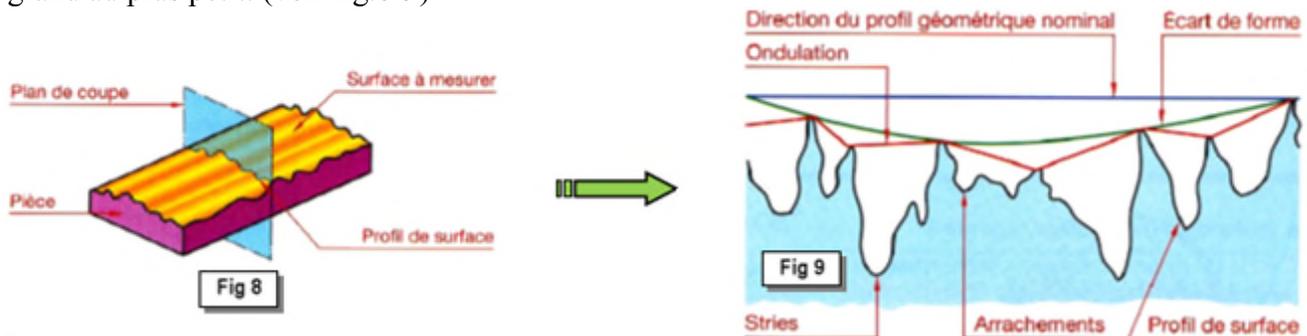
Fig 7

- Pour ces systèmes la géométrie des surfaces n'est pas favorable à la formation du film hydrodynamique, de plus la pression de contact y est très élevée ($\gg 1 \text{ GPa}$). Cependant, du fait des déformations élastiques des surfaces en contact, de leur vitesse relative, de la géométrie du début de contact, le tout combiné à l'accroissement de la viscosité entraînée par la forte augmentation de la pression, amène la formation d'un film très mince (0,5 à 1 mm) appelé film élasto-hydrodynamique. Le frottement est pratiquement nul dans le cas d'un roulement pur et de l'ordre 0,06 pour un glissement pur.

3. Etats de surface :

3.1. Principaux défauts de surfaces :

- Les défauts possibles d'une surface peuvent être divisés en quatre catégories, en allant du plus grand au plus petit. (voir fig.8-9)



3.1.1. Défaut d'ordre 1 :

- Ils correspondent aux défauts géométriques des surfaces : planéité, rectitude, circularité...

3.1.2. Défaut d'ordre 2 :

- Ils sont relatifs aux ondulations, sortes de collines et de vallées successives, inscrites dans le profil et engendrées par les vibrations, déformations des machines, traitements thermiques...

3.1.3. Défaut d'ordre 3 :

- Ce sont les stries de rugosité, sortes de sillons tracés avec régularité dans le relief des ondulations par les outils de coupe.

3.1.4. Défaut d'ordre 4 :

- Plus irrégulières, parfois accidentels, ils correspondent à des arrachements, fentes...

3.2. Caractéristique du profil :

3.2.1. Longueur d'évaluation (l_n) :

Longueur, mesurée suivant la direction générale du profil.

3.2.2. Longueur de base (l_r) :

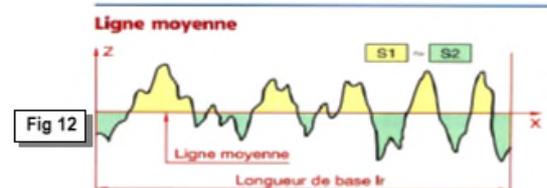
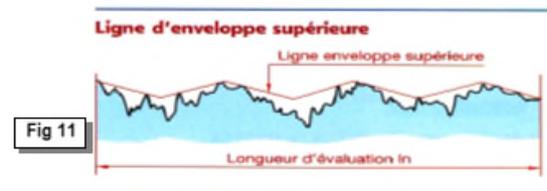
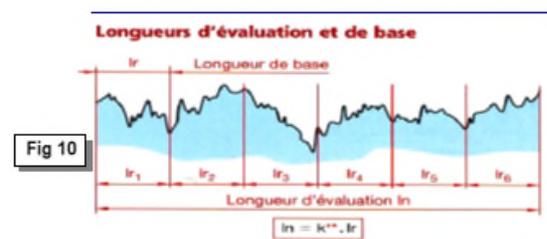
Partie de la longueur d'évaluation utilisée pour séparer les irrégularités du profil.

3.2.3. Ligne enveloppe supérieure :

Segments de droites joignant les points les plus hauts des saillies locales du profil.

3.2.4. Ligne moyenne :

C'est une droite ayant la direction générale du profil et qui divise le profil de telle sorte qu'à l'intérieur de la longueur de base, la somme des carrés des écarts à partir de cette ligne soit minimale « ligne des moindres carrés ».



3.3. Paramètres :

3.3.1; Paramètre liés aux motifs :

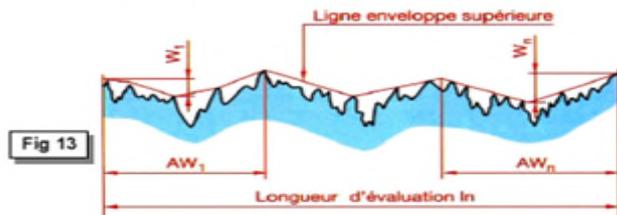
$$W \approx \frac{W_1 + \dots + W_n}{n} \text{ avec } n \geq 3$$

$$AW \approx \frac{AW_1 + \dots + AW_n}{n} \text{ avec } n \geq 3$$

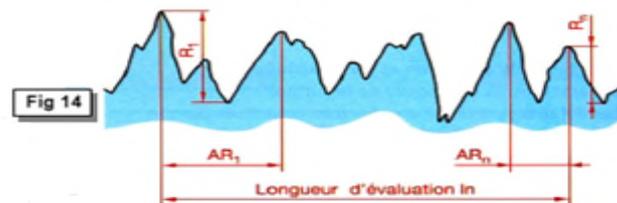
$$R \approx \frac{R_1 + \dots + R_n}{n} \text{ avec } n > 8$$

$$AR \approx \frac{AR_1 + \dots + AR_n}{n} \text{ avec } n > 8$$

Paramètres d'ondulation liés aux motifs



Paramètres de rugosité liés aux motifs



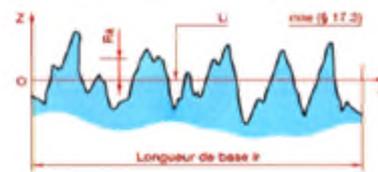
3.3.2. Paramètre liés à la ligne moyenne :

Ecart arithmétique du profil R_a :

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |z(x)| dx \quad R_a = \frac{|z_1| + \dots + |z_n|}{n}$$

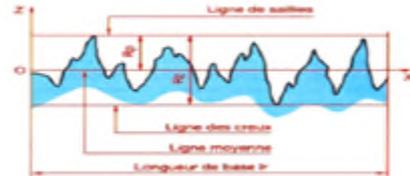
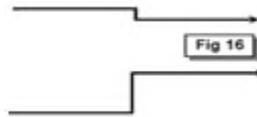
Fig 15

Paramètres de rugosité liés à la ligne moyenne



Hauteur maximale de saillies R_p :

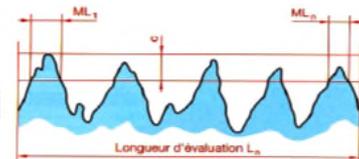
Hauteur maximale du profil R_z :
Taux de longueur portante
 $R_{mr}(c)$:



Taux de longueur portante $R_{mr}(c)$:

$$R_{mr}(c) = \frac{ML_1 + \dots + ML_n}{L_n}$$

Fig 17



3.4. Choix des états de surface : FIG 18

$R_a > 6.3$: Spécifications peu sévères, correspondant à ce qu'il est possible d'obtenir avec un grand nombre de pièces brutes, sans usinage complémentaire.

$1.6 \leq R_a \leq 6.3$: Spécification moyennes, correspondent à ce qu'il est possible d'obtenir usuellement avec les procédés d'usinages classiques. $R_a < 1.6$: Spécifications devenant sévères.

