

## **I.6.Tribologie en usinage**

### **I.6.1.Introduction**

Quand un outil pénètre dans une pièce métallique pour former un copeau, la matière située près de la surface est fortement cisailée. Le copeau se trouve en contact intime avec la face de coupe de l'outil. Outre ces phénomènes d'ordre mécanique et thermique, les interfaces Outil/Copeau/Pièce sont également le siège de réactions chimiques entre l'outil, la matière coupée et l'atmosphère environnante. Ceux-ci ayant lieu dans une région très petite autour de la pointe de l'outil, les phénomènes liés à la tribologie de la coupe sont très difficiles à étudier et à modéliser.

L'étude de la tribologie en usinage des métaux a pour but de maîtriser, optimiser et améliorer la qualité du produit fini.

### **I.6.2. Phénomènes tribologiques engendrés**

Les grandeurs thermomécaniques au niveau des interfaces Outil/Pièce/Copeau ont un rôle primordial vis à vis du comportement de l'outil lors d'une opération d'usinage (température, pression de contact, vitesse de glissement). La détermination de la température et des efforts de contact dans ces zones ont fait l'objet de plusieurs études bibliographiques.

Dans ce qui suit, On s'intéresse aux méthodes et techniques expérimentales utilisées pour analyser la coupe des métaux, dans le but de caractériser les frottements aux interfaces outil/pièce/copeau lors de l'opération d'usinage.

Certains de ces techniques sont utilisés pour simuler les procédés de mise en forme tel que le forgeage et l'usinage. Afin de mesurer la résistance à l'usure des revêtements pour des outils de coupe, Grzesik et all ont développé un dispositif dérivé des cas classiques,

permettant une longue distance de frottement. Ce dernier utilise un contact cylindre (pion)-plan (pièce). Les forces de frottement et de l'usure linéaire du couple pion-pièce en fonction de la distance de glissement sont acquiert en temps réel. Ce dispositif permet de réaliser des essais de frottement avec des vitesses de glissement relativement élevées (jusqu'à 180 m/min). Par contre, les pressions sont relativement insuffisantes pour simuler celles obtenues dans le cas de la coupe ( $\approx 10\text{MPa}$ ). La figure I.4 illustre le principe de ce tribomètre.

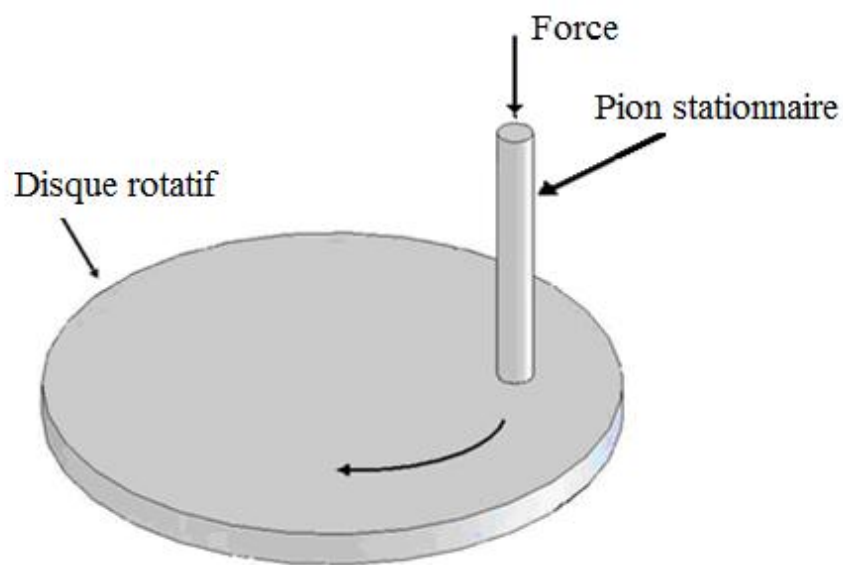
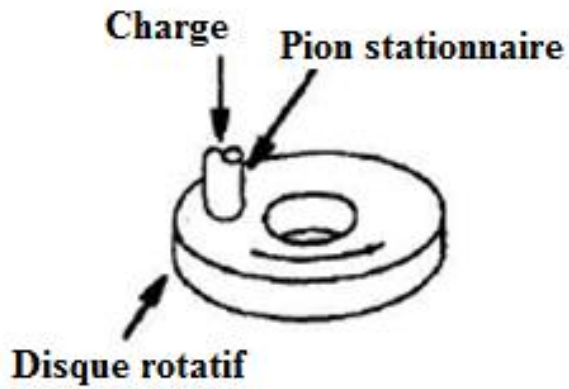
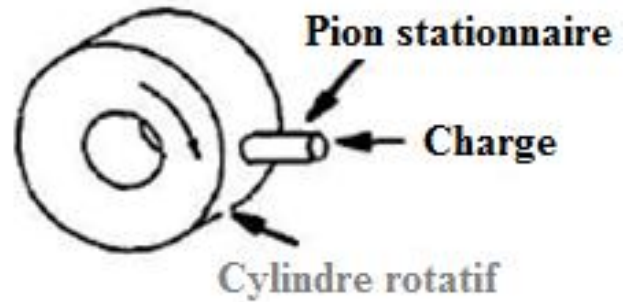


Figure I.4 : Principe du tribo-système ouvert (pion stationnaire et disque rotatif).

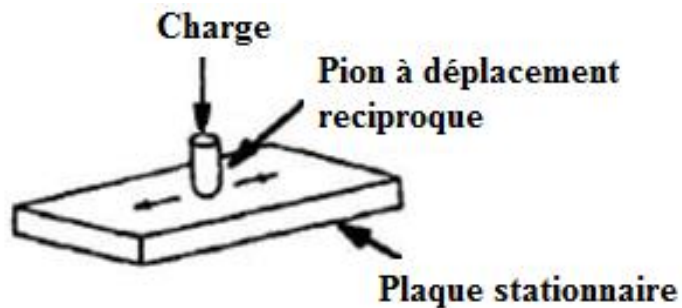
Dans le but de se rapprocher au mieux des mécanismes intervenant entre l'outil et le copeau et de permettre l'étude du comportement du frottement entre ces deux corps, Habak a conçu une nouvelle configuration. Il s'agit d'un contact cylindre-plan pour la simulation du contact copeau/outil. Le cylindre représente le copeau, et l'outil représente le plan (figure I.5). D'où l'idée de faire frotter un disque (le copeau) sur une plaquette d'usinage (l'outil).



(a)



(b)



(c)

Figure I.5: Les essais tribologiques classiques a) Pion stationnaire/disque rotatif, b) Pion Stationnaire/cylindre rotatif, c) Pion à déplacement réciproque/stationnaire.

Le dispositif est placé sur un tour (figure I.6). Ce dernier est instrumenté pour pouvoir reproduire les conditions de l'interaction outil-copeau en coupe et de récolter le maximum d'informations.

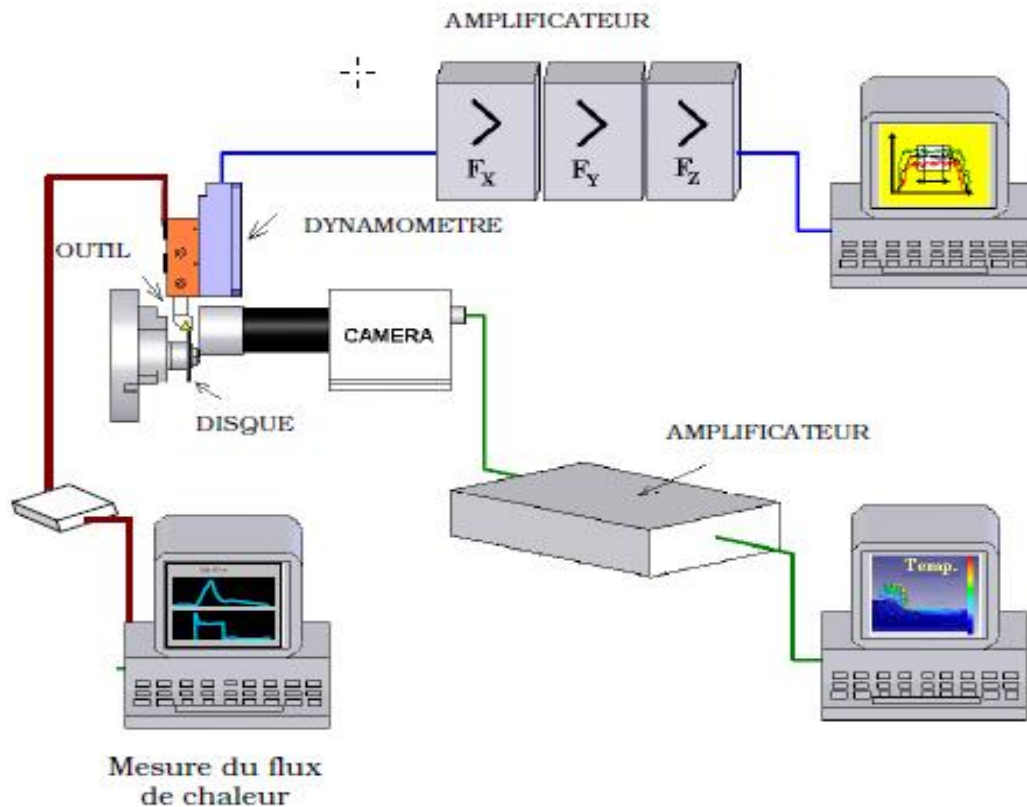


Figure I.6 : Instrumentation d'un dispositif de coupe orthogonale.

L'ensemble est constitué de :

- Une platine dynamométrique, solidaire de la plaquette permet de mesurer les trois composantes de l'effort dus au frottement ( $F_r$ ,  $F_a$ ,  $F_t$ ).
- Une résistance de chauffage de la plaquette.
- Un système un bras de levier, permet la mise en charge par l'accrochage de masses.
- Un vérin pneumatique permet une application progressive de la charge.
- Une caméra infrarouge pour qualifier les champs de température produite par frottement.

## I.7. Tribo-systèmes

Généralement, les dispositifs tribologiques peuvent être classés en deux familles : les tribo-systèmes fermés et les tribo-systèmes ouverts. Ils sont tous basés sur le même principe. Il s'agit de l'application d'une charge à l'aide d'un pion sur le matériau à tester.

### **I.7.1.Tribo-systèmes fermés**

Dans ce type de tribomètre, le pion frotte sur la même piste pour tester sa résistance à l'usure. En effet, ces dispositifs recyclent la surface de contact. Des débris issus de l'usure entraînent la formation d'un troisième corps. Donc, pour évaluer un coefficient de frottement apparent entre le pion et le disque, il est primordial de ne considérer que les mesures effectuées au début de l'essai. Autrement dit, les mesures ne sont valables qu'avant la dégradation de la surface.

Les dispositifs d'essai les plus répandus, dans le domaine de la tribologie, sont les essais de type " pion-disque ", qui consiste en un frottement d'un pion de surface plane ou sphérique (contact plan/plan ou plan/sphère) sur un disque cylindrique, plan ou annulaire composé du matériau usiné (acier) comme l'illustre la figure I.5.

Cette configuration est loin d'être similaire à une opération d'usinage du fait du renouvellement du contact outil/piste. On note aussi que les pressions atteintes restent très inférieures à celles rencontrées en usinage ( $<10\text{MPa}$ ). Ce n'est pas une simulation raisonnable du contact entre l'outil et les débris. On note que dans ce cas, l'usinage est un tribo-système ouvert. Ce dispositif permet de réaliser des essais de frottement à des vitesses de l'ordre de  $180\text{ m/min}$  avec des efforts de contact relativement élevés ( $10\text{ KN}$ ). Contrairement à ce dispositif, dans ce cas l'outil est en contact permanent avec une

nouvelle surface "fraîche. Vu les différents inconvénients cités ci-dessus, d'autres tribo-systèmes ouverts sont développés.

### **I.7. 2. Tribo-systèmes ouverts**

Ces types de dispositifs recyclent la surface de contact. En effet, le pion frotte sur la même piste pour tester en générale sa résistance à l'usure. Des débris issus de l'usure entraînent la formation d'un troisième corps. Donc, pour évaluer un coefficient de frottement apparent entre le pion et le disque, il est primordial de ne considérer que les mesures effectuées au début de l'essai, c'est-à-dire avant la dégradation de la surface.

Ce type de dispositif, oblige le pion à frotter toujours sur une surface neuve pour surmonter les problèmes des systèmes présentés précédemment.

### **I.8. Tribomètres**

Les tests tribologiques sont conduits à l'aide de tribomètres qui peuvent travailler à l'air ou sous atmosphère contrôlée, avec ou sans lubrifiant. La figure I.7 montre un exemple de tribomètre de laboratoire de type pion-plan à mouvement linéaire alternatif. Les paramètres imposées sont généralement la charge appliqué, la vitesse de glissement et les conditions environnementales (taux d'humidité, atmosphère contrôlée : nature et pression des gaz introduits, etc.). Les grandeurs mesurées sont généralement la force de frottement, la température des surfaces, la résistance de contact et l'usure.

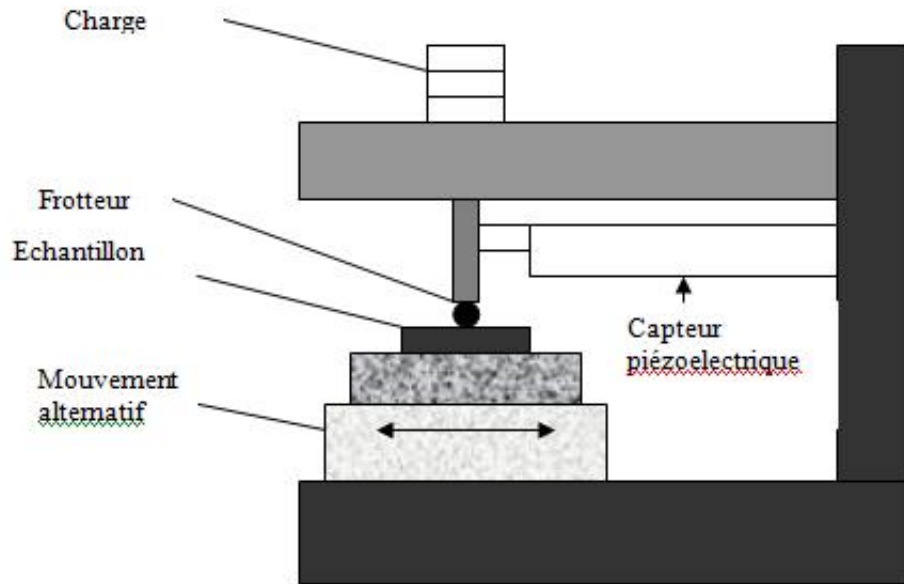


Figure I.7 : Principe du tribomètre de laboratoire.

### I.8.1. Tribomètre d'Hedenquist

La solution proposée par Hedenquist et al, consiste à donner un mouvement d'avance à un pion cylindrique (revêtu) qui frotte sur un cylindre rotatif en acier (figure I.8). Dans cette configuration, le pion est continuellement en contact avec une surface nouvelle. Cependant, plusieurs améliorations peuvent être introduites à ce système pour se rapprocher des conditions de contact produites lors de l'usinage. Dans la configuration telle qu'il est conçu, le système ne permet pas une régénération de la surface de frottement comme dans le cas de l'usinage. De plus, la pression maximale autorisée ne dépasse pas 15MPa. En terme de facilité d'expérimentation, ce dispositif nécessite de régénérer la surface après chaque essai dans des conditions très fines afin d'obtenir un état de surface négligeable devant les sillons générés par frottement. Ceci rend le temps de manipulation assez long. Enfin, la longueur des barres utilisables étant limitée et le pas de l'hélice étant grand, le temps d'essai est très limité.

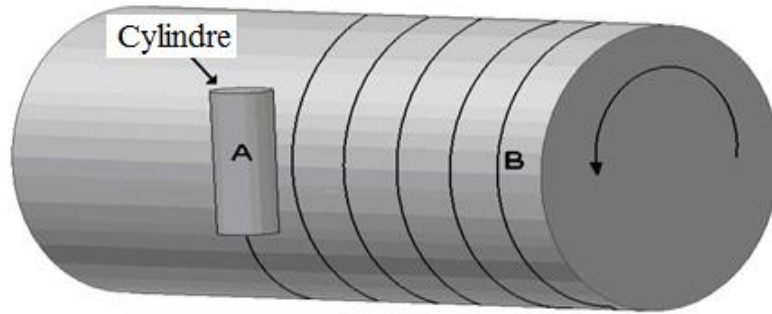


Figure I.8 : Principe du tribomètre d'Hedenquist.

### I.8.2. Tribomètre d'Olsson

Olsson [35] a proposé une solution très intéressante pour caractériser les phénomènes tribologiques aux interfaces Outil/Pièce/Copeau lors d'une opération d'usinage (figure I.9).

En effet, un pion instrumenté (A) en effort est placé juste après un outil de coupe(C) qui va régénérer la surface de frottement(D). Ce dernier frotte sur une surface chimiquement activée. Les pressions locales sont de l'ordre 15MPa ce qui reste faible par rapport aux pressions en usinage ( $> 1000\text{N/mm}^2$ ).

Le tribomètre d'Olsson présente également un inconvénient du à l'outil de coupe qui régénère la surface (figure I.9). En effet, l'outil introduit un flux de chaleur lié à l'action de coupe. Par conséquent, le pion frotte sur une surface possédant une température initiale différente de la température ambiante. De plus cette température initiale dépend de la vitesse de coupe

(vitesse de frottement). La caractérisation du frottement par ce dispositif impose donc un dispositif complémentaire permettant de connaître la température initiale. A titre de comparaison, le dispositif de Hedenquist ne possède pas de tel problème.



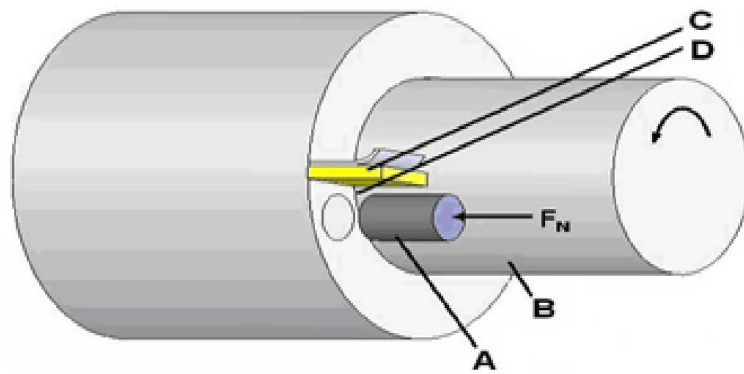


Figure I.9 Principe du tribomètre d'Olsson (A : Pion, B : Cylindre, C : Outil de régénération, D : Surface régénérée).

### I.8.3. Tribomètre Grzesik

Grzesik et Zalisz ont développé un dispositif dérivé des cas classiques, permettant une longue distance de frottement afin de mesurer la résistance à l'usure des revêtements pour des outils de coupe. Ce dispositif utilise un contact cylindre (pion)-plan (pièce). Il donne en temps réel, les forces de frottement et l'usure linéaire du couple pion-pièce en fonction de la distance de glissement.

Ce dispositif permet de réaliser des essais de frottement avec des vitesses de glissement relativement élevées allant jusqu'à 180 m/min. Par contre les pressions sont insuffisantes pour simuler celles obtenues dans le cas de la coupe (environ 10MPa).

La figure I.10 illustre le principe de ce tribomètre.

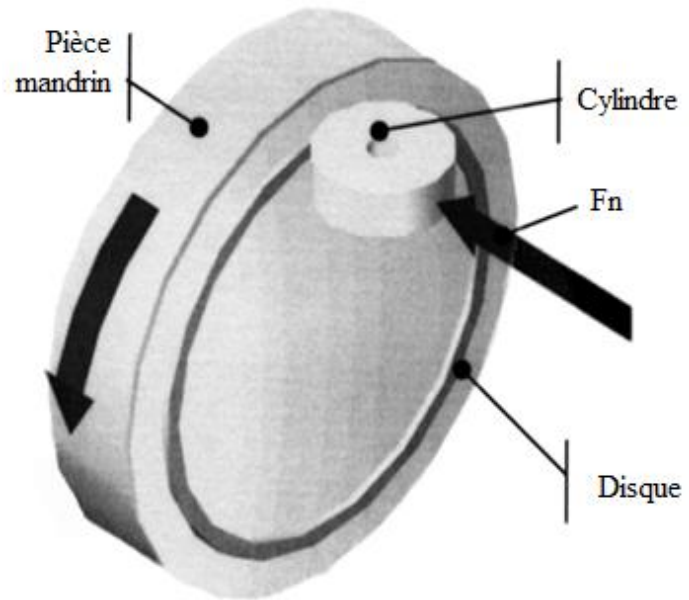


Figure I.10 : Principe du tribomètre Grzesik.