

# **CHAPITRE I**

## **GENERALITES SUR LA TRIBOLOGIE**

### **I.1. Introduction**

Le comportement des matériaux dont les surfaces de contact sont en mouvement relatif (contact dynamique) apparaît comme un élément essentiel. Selon leur ductilité ou leur fragilité, la nature de leur contact diffère énormément, et les lois de frottement et d'usure varient aussi.

On peut dire que, si la mécanique est la science du mouvement, la tribologie est la science qui permet le mouvement.

### **I.2. Définition de la tribologie**

La tribologie est la science et la technologie de surfaces solides en contact ; elle traite des multiples aspects de l'adhérence, du frottement, de la lubrification et de l'usure.

D'après G. Salomon (1968) la tribologie est la science qui étudie les phénomènes susceptibles de se produire lorsque deux corps en contact sont animés de mouvements relatifs. 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 compréhension des lois physico-chimiques des surfaces permet dans certains cas, d'apercevoir l'origine de leurs comportements particuliers.

La figure I.1 décrit schématiquement les relations qui existent entre les trois aspects de la tribologie (le frottement, l'usure et la lubrification des surfaces de contact entre deux solides).

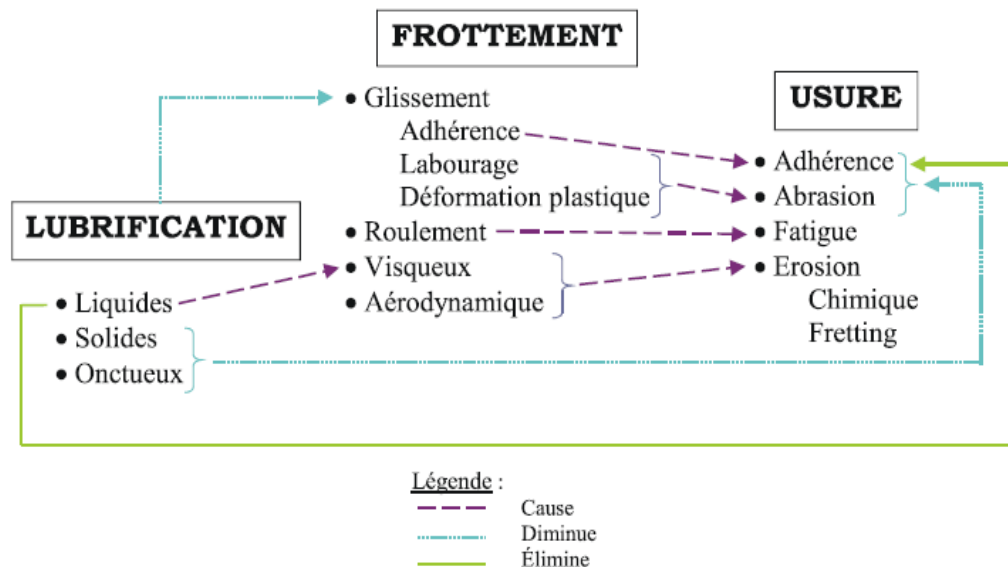


Figure I.1 : Domaines d'étude de la tribologie.

### I.3. Importance de la tribologie

Il faut tout d'abord remarquer que le frottement ne présente pas que des aspects négatifs, ainsi la tenue de route d'une automobile dépend directement du frottement entre les pneumatiques et la route. De même sans l'existence du frottement, l'homme serait incapable de marcher.

Par contre, dans les machines par exemple, le frottement entre les organes conduit à la génération de chaleur et les déformations plastiques qui sont responsables des pertes de rendement, tandis que l'arrachement progressif des particules à la surface des pièces est la cause de l'usure.

L'homme a cherché à supprimer l'usure et à diminuer le frottement pour réduire les défaillances des mécanismes des systèmes mécaniques afin de prolonger leur durée de vie (fonctionnement).

Le tableau I.1 suivant montre que la tribologie trouve ses applications dans deux grands domaines: celui des systèmes mécaniques et celui de la mise en œuvre des matériaux.

| Systèmes mécaniques                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Mise en œuvre des matériaux                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Vivant: animal, homme</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Membranes biologiques</li> <li>- Prothèses biomécaniques</li> </ul> <p><b>-Organes de machines</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Paliers, roulements</li> <li>- Segments</li> <li>- Cames, engrenages, freins</li> <li>- Joints</li> </ul> <p><b>Terre</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mouvements des sols</li> <li>- Tremblements de terre</li> <li>- Ecoulement des glaciers</li> </ul> | <p><b>Types de matériaux</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Artificiels : métaux, polymères</li> <li>- Céramiques, Composites</li> <li>- Naturels</li> </ul> <p><b>Adhérence, collage</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Composites, textiles, fibres matrices</li> </ul> <p><b>Déformations plastiques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Laminage, filage, extrusion</li> <li>- Emboutissage, découpage</li> <li>- Outillages de coupe, polissage</li> </ul> <p><b>Lubrifiants</b></p> <p><b>Traitements des surfaces</b></p> |

Tableau I.1 : Impacts de la tribologie sur la société.

#### I.4. Système tribologique

Un système tribologique se définit comme un système mécanique, formé de deux matériaux antagonistes en contact, animés de mouvements relatifs. Ces deux solides évoluent dans un milieu ambiant et peuvent être séparés par un film intercalaire appelé troisième corps. Sur le plan tribologique, le troisième corps est un opérateur qui transmet la charge d'un premier corps sur l'autre et accommode en s'écoulant (débit) d'une façon dissipative (frottement)

l'essentiel de la différence de vitesse entre deux corps. Les troisièmes corps séparent partiellement ou entièrement les premiers corps.

La figure I.2 représente deux solides A et B en contact (premiers corps) et le milieu interfacial I désigné sous le terme de troisième corps.

Les premiers corps sont les matériaux délimitant le contact et à travers lesquels les efforts sont transmis. Le troisième corps est le volume de matière séparant les premiers corps. Des particules élémentaires sont détachées d'un ou des deux premiers corps et s'agglomèrent. Cet agglomérat de particules constitue le troisième corps. Ces particules peuvent être piégées ou refoulées du contact.

Le troisième corps a quatre fonctions principales qui sont :

- La transmission de la charge normale aux premiers corps ;
- L'accommodation de la différence de vitesse entre les premiers corps ;
- La séparation des premiers corps, afin d'éviter leur interaction directe ce qui contribue à la diminution de leur dégradation ;
- La transformation de l'énergie cinétique en chaleur, qui est ensuite dissipée via les premiers corps ou via le débit de troisième corps.

Ce tribosystème se trouve dans un environnement E qui constitue l'ambiance de fonctionnement du contact. Des interactions entre cet environnement et le contact peuvent ainsi avoir lieu en fonction de sa composition, sa température et sa pollution éventuelle.

Les contraintes locales sont générées par le chargement normal et le déplacement tangentiel imposé. Elles affectent le volume du matériau.

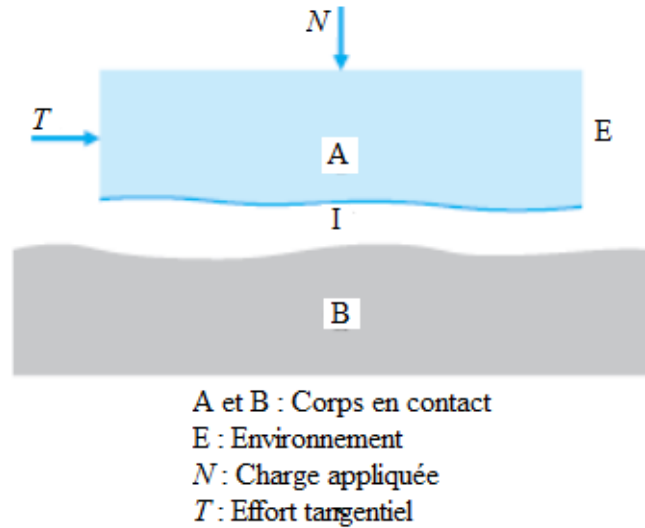


Figure I.2 : Représentation schématique d'un système tribologique.

### I.5. Circuit tribologique

Le concept de circuit tribologique et de débits de troisième corps furent introduits par Yves Berthier et S. Descartes. Les particules de troisième corps adhèrent aux premiers corps à l'arrêt, mais lors du mouvement, les particules du troisième corps sont constamment en mouvement et sont soumis à des gradients de vitesse. Cette circulation de

matière à l'intérieur et à l'extérieur du contact est définie sous le terme de circuit tribologique. Afin d'expliquer la circulation du troisième corps dans le contact, des débits, qui représentent la quantité de troisième corps circulant pendant un temps donné, sont décrits et constituent le circuit tribologique (figure. I.3). Ce circuit décrit les débits activés lors du frottement entre deux premiers corps.

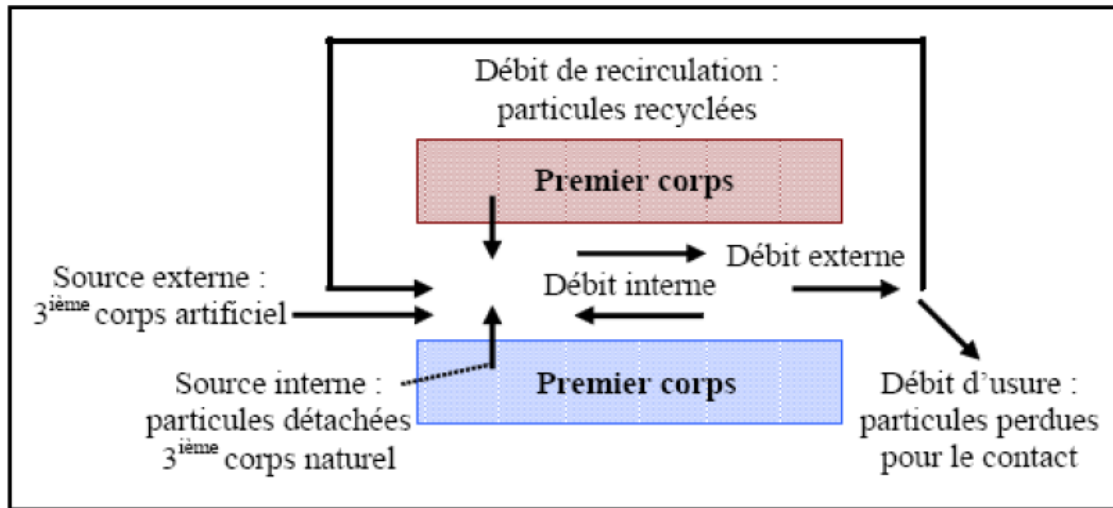


Figure I.3 : Représentation schématique du circuit tribologique dans le cas d'un contact entre deux solides.

## 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 al 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.

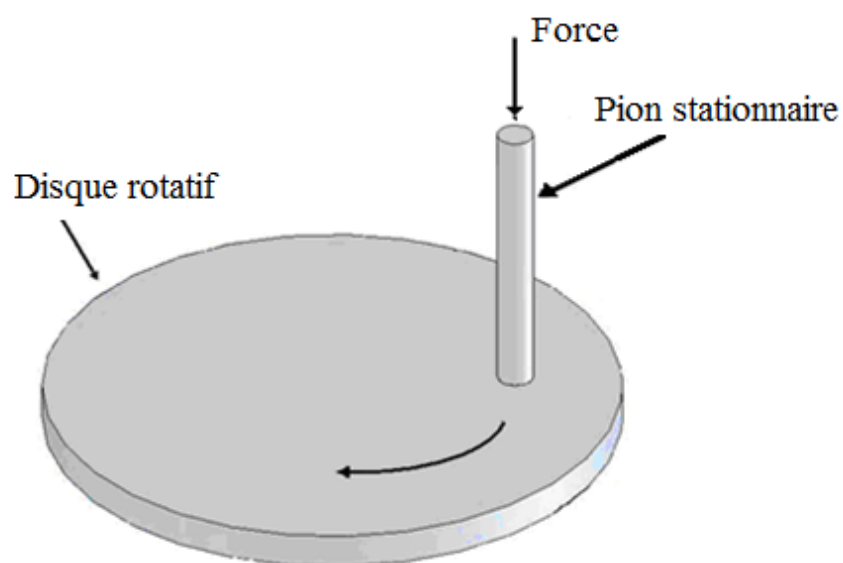
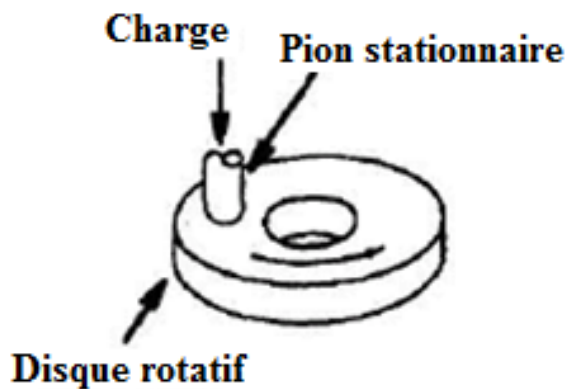
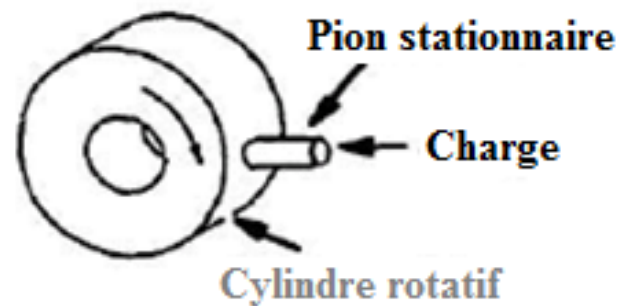


Figure I.4 : Principe du tribo-système ouvert (pion stationnaire et disque rotatif).

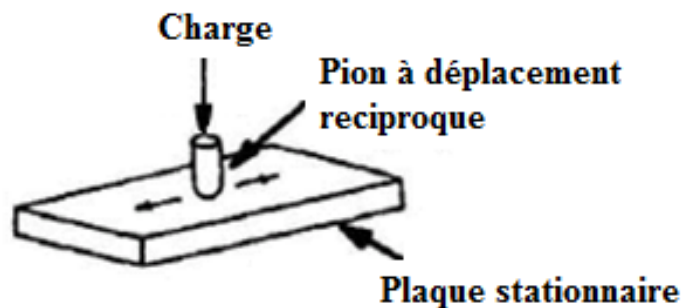
Dans le but de se rapprocher au mieux des mécanismes intervenant entre l'outil et le copeau et de permettre l'étude du comportement du frottement entre ces deux corps, Habak a conçu une nouvelle configuration. Il s'agit d'un contact cylindre-plan pour la simulation du contact copeau/outil. Le cylindre 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.

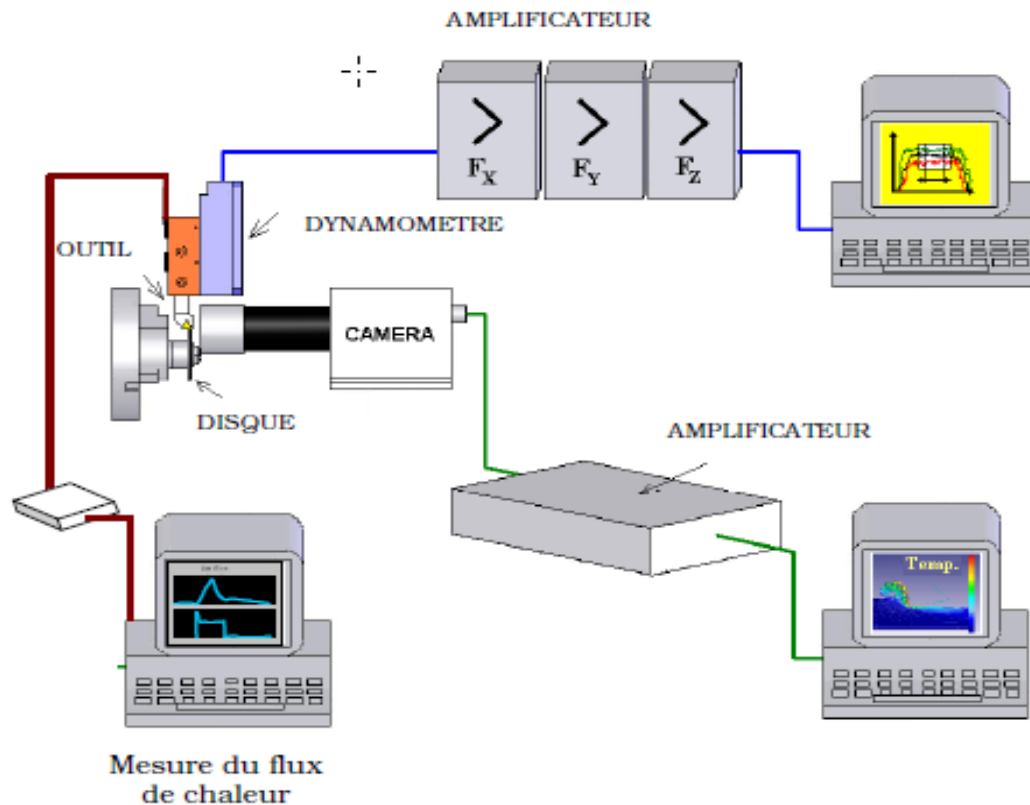


Figure I.6 : Instrumentation d'un dispositif de coupe orthogonale.

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.

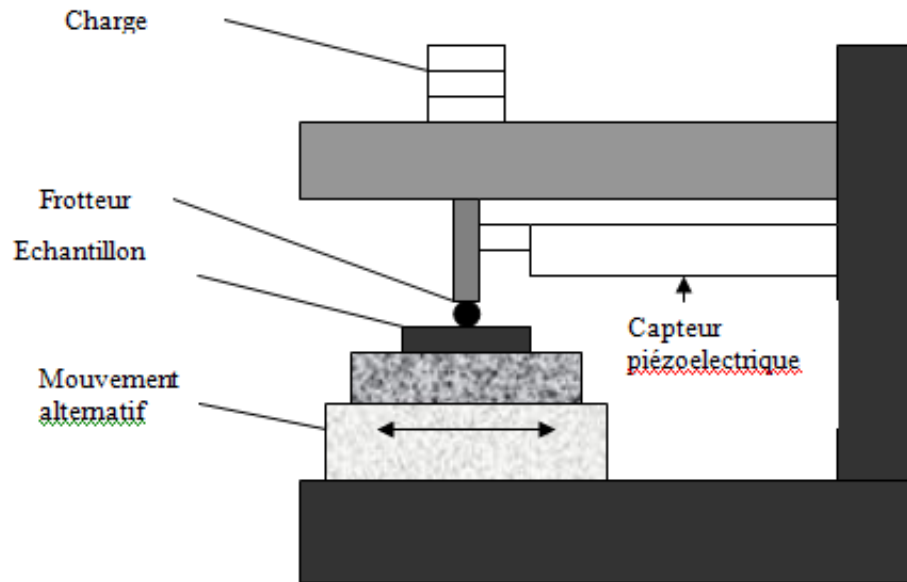


Figure I.7 : Principe du tribomètre de laboratoire.

### 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.

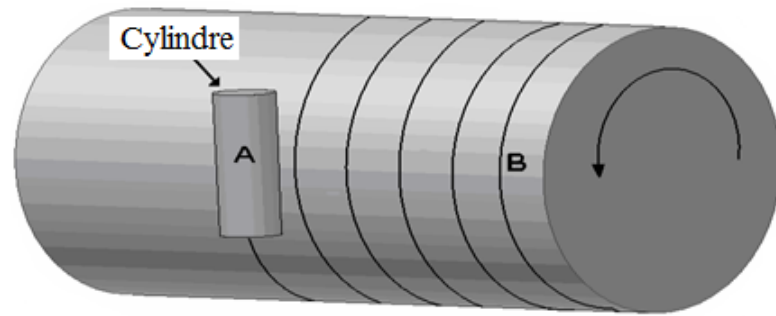


Figure I.8 : Principe du tribomètre d'Hedenquist.

### 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 dû 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.

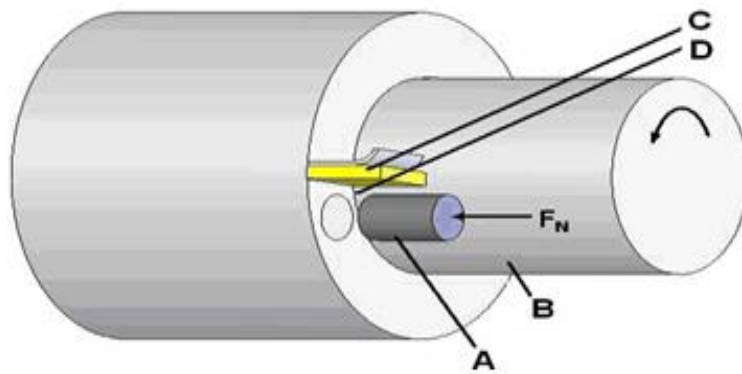


Figure I.9 Principe du tribomètre d'Olsson (A : Pion, B : Cylindre, C : Outil de régénération, D : Surface régénérée).

### 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.

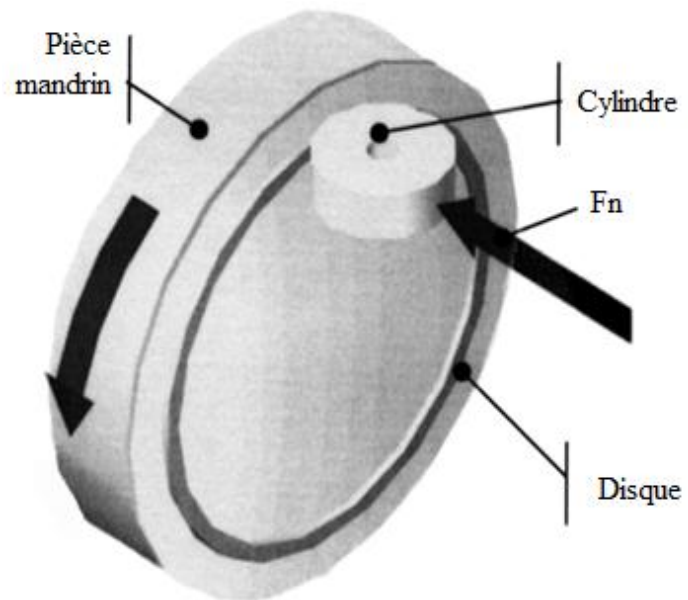


Figure I.10 : Principe du tribomètre Grzesik.