

Chapitre II Dégradation et endommagement mécanique

II.1 Usure et frottement

L'usure physique dans le sens technique, est défini comme un processus caractérisé par une attaque mécanique, en première ligne par un frottement conduisant à une perte progressive de matière en surface d'un corps solide par séparation de petites particules, donc c'est un changement de forme non voulue de la surface.

Les pertes occasionnées par l'usure dans l'industrie mondiale s'élèvent annuellement à plusieurs millions de tonnes de métaux. A cause de l'usure, beaucoup de machines et équipements sont remplacés, le plus souvent, avec d'énormes dépenses.

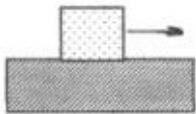
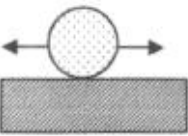
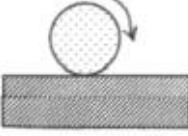
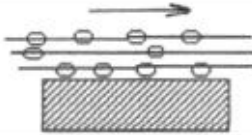
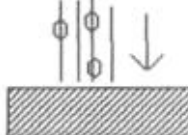
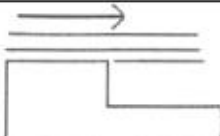
Il n'est pas possible d'indiquer par l'intermédiaire d'une certaine valeur caractéristique la tenue à l'usure d'un métal vis-à-vis des différentes contraintes ou sollicitations d'usure. L'utilisation économique d'un métal est défini seulement par les différents essais d'usure et pour des sollicitations bien déterminées.

Une analyse du processus indique que la tenue à l'usure ou le phénomène d'usure sont influencés par :

- Les métaux accouplés.
- La rugosité des couches limites (surface, lubrification).
- Le type de mouvement (glissement, roulement, écoulement, chocs, etc.).
- La vitesse du mouvement.
- L'enlèvement des particules solides.

Les principaux types d'usure sont classés d'après les phases de contact, les interactions mécaniques et l'importance relative des effets mécaniques et chimiques. On distingue deux catégories principales d'usure :

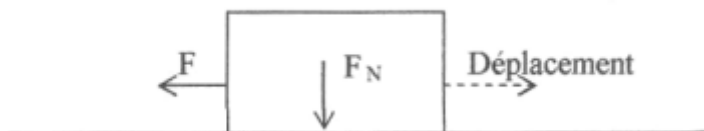
- L'usure due aux frottements entre corps solides.
- L'usure due aux impacts et aux fluides (érosion)

Type d'usure	Type de contact	Mécanismes Prédominants	Nom
Usure due au frottement entre solides.		Mécanique Chimique	Usure par glissement Usure par corrosion
		Mécanique Chimique	Usure par frottement Usure-Frottement
		Mécanique Chimique	Usure par roulement Usure par corrosion
Usure due aux impacts et aux fluides		Mécanique Chimique	Usure par érosion Corrosion - Erosion
		Mécanique Chimique	Usure par impact Corrosion impact
		Mécanique Chimique	Usure par cavitation Corrosion - Cavitation

Le frottement

Contacts non lubrifiés

Pour faire glisser un solide sur une surface plane, il faut appliquer une force égale ou supérieure à la force de frottement F qui agit parallèlement à la surface dans le sens opposé au mouvement,



Son intensité est proportionnelle à la force normale F_N , appelée aussi charge, qui agit perpendiculairement à la surface de contact. Le facteur de proportionnalité f porte le nom de coefficient de frottement.

$$F = f \cdot F_N$$

Le coefficient de frottement est une propriété du système, formant le contact sa valeur dépend entre autres de :

- Facteurs mécaniques : force normale, vitesse de déplacement, viscosité du lubrifiant.
- Facteurs chimiques : humidité, oxydants, additifs.
- Propriétés des matériaux : dureté, plasticité, énergie de surface.

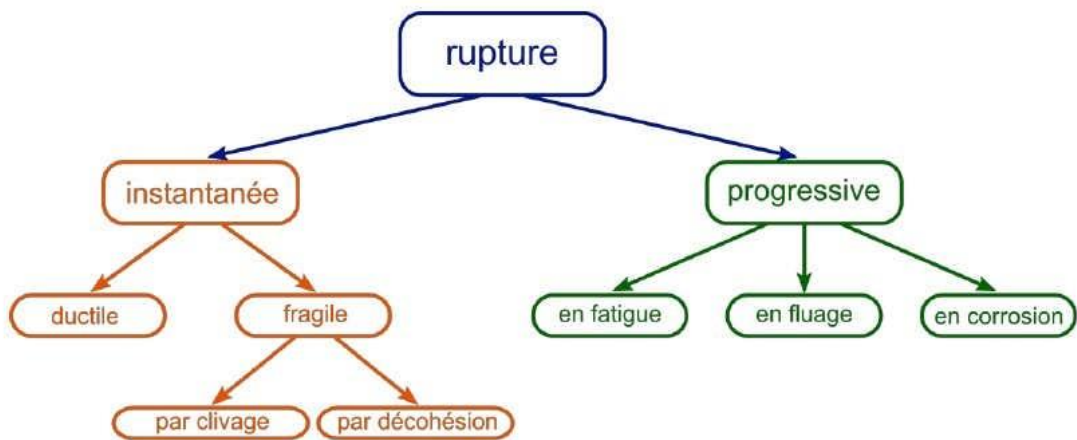
Dans les systèmes à mouvement, on cherche le plus souvent à minimiser les frottements, pour cela, on utilise normalement des lubrifiants. Ces derniers permettent de réduire le coefficient de frottement jusqu'à des valeurs inférieures à 0,1.

II.2 La rupture

La rupture mécanique est une interruption de la continuité du matériau (de la pièce, structure...). Cette rupture peut être une simple cassure ou ouverture au sein du matériau (rupture partielle), ou fragmentation en deux ou en plusieurs parties (rupture totale). Dans ce dernier cas elle ne peut plus assurer sa fonction.



Classement des ruptures selon leur cinétique

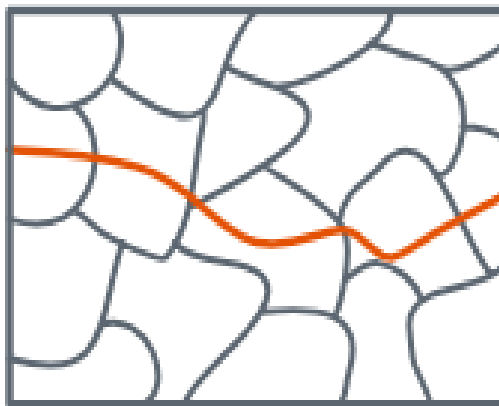


II.2.1 la rupture fragile

Une rupture fragile montre des fissures à propagation rapide avec une moindre déformation plastique. La propagation des fissures empêche toute déformation plastique autour de la surface de rupture. En règle générale, les ruptures fragiles se produisent sur les matériaux à base d'acier au cours d'un usage normal.

Au point de vue microscopique, la rupture fragile se caractérise par un processus de rupture localisé essentiellement à l'intérieur des grains (**rupture Transgranulaire par clivage**) le long de plans atomiques bien définis ou **intergranulaire**

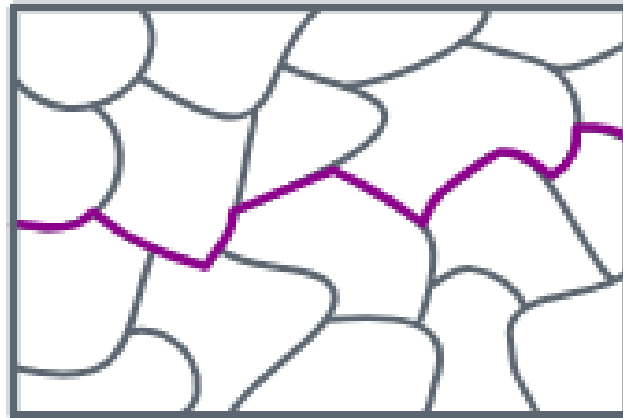
a) Rupture Transgranulaire (par clivage)



Rupture transgranulaire

b) Rupture intergranulaire

Ce type de rupture est caractérisé par une décohésion intergranulaire, où la fissure suit les joints entre les grains du matériau.



Rupture intergranulaire

II.2.1.1 Les faciès de rupture

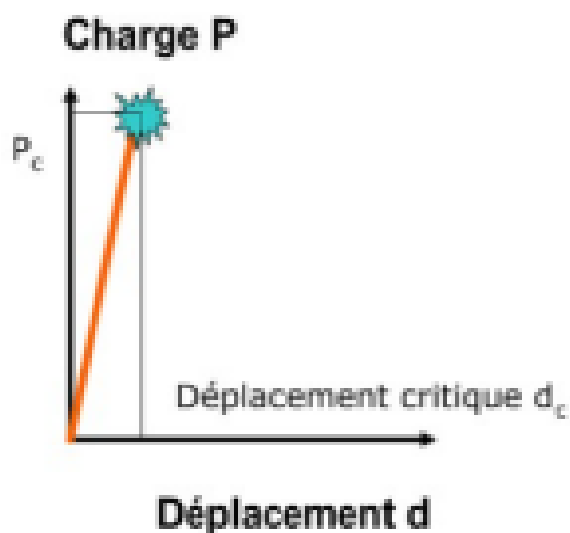
Les faciès caractéristiques de rupture, déterminés généralement à l'aide de microscopie optique de grande agrandissement ou électronique à balayage.

La rupture se produit sans déformation plastique. Cela est typique des métaux soumis à de basses températures ou des matériaux durs comme la fonte. La surface de fracture est généralement brillante et lisse avec des motifs caractéristiques, tels que des facettes cristallines.



Facès de rupture fragile d'une fonte après un essai de traction

- **Allure de diagramme charge-déplacement**

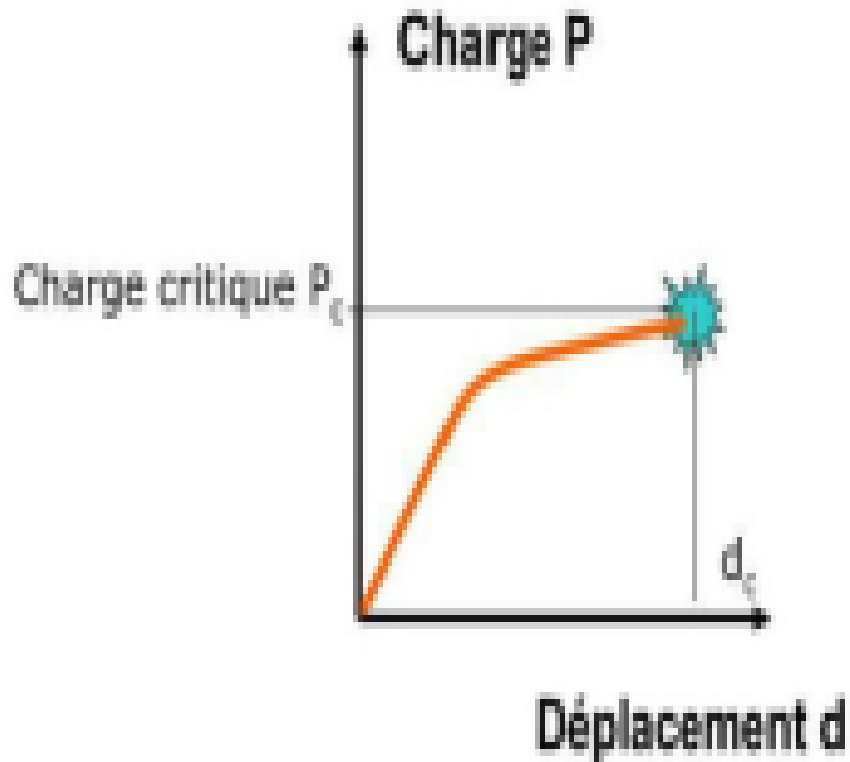


II.2.2 Rupture ductile

La rupture ductile (plasticité) est observée sur de nombreux matériaux métalliques et montre une large déformation, telle qu'un étirement et une striction qui se prolongent jusqu'à la rupture.

Lorsque nous faisons un essai de traction sur un acier, celui-ci peut se déformer beaucoup avant de finalement rompre, contrairement à ce que nous observons pour un matériau fragile comme le verre qui casse (presque) sans déformation apparente. Ce mode de rupture associé à un fort niveau de déformation (plastique) est dit ductile.

- Allure de diagramme charge-déplacement

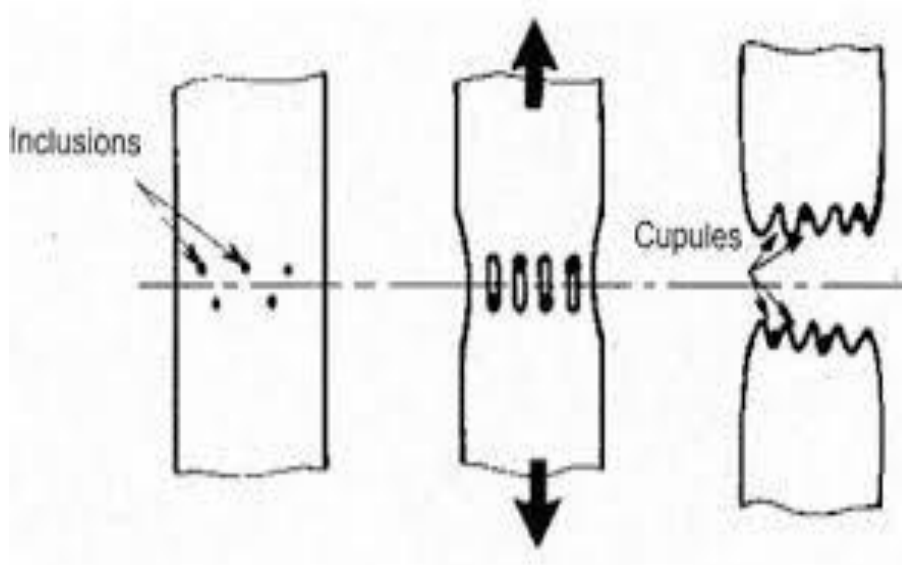


➤ Mécanisme de la rupture ductile

La rupture ductile d'un matériau métallique se produit par développement de micro-vides ou de bandes de cisaillement dans la matrice métallique, autour des inclusions ou d'autres discontinuités telles que les joints de grains.

Le mécanisme microscopique de la rupture ductile consiste en trois étapes :

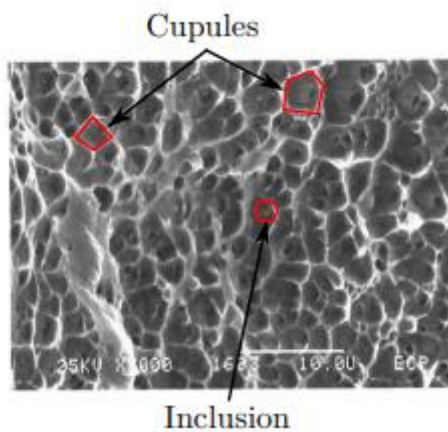
- Décohésion de la matrice métallique autour d'inclusions, de taille typique de quelques μm , et donc création d'une cavité.
- Grossissement de cavités par plasticité.
- Coalescence des cavités et formation d'un défaut macroscopique



Mécanisme de la rupture ductile

II.2.2.1 Les faciès de rupture

Le faciès de rupture - c'est-à-dire le lieu de la rupture finale - montre un réseau de cavités avec parfois des inclusions à l'intérieur

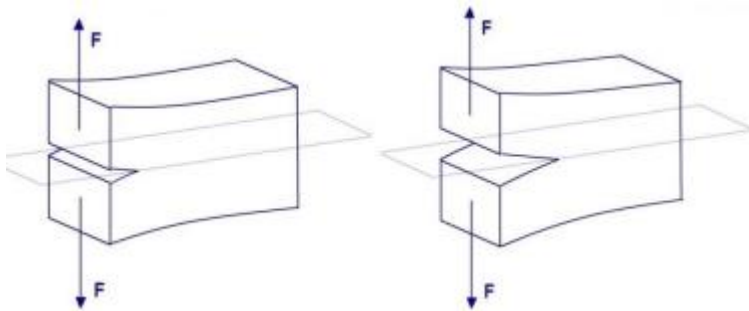


Faciès de rupture d'un acier où des particules/inclusions sont parfois visibles au centre des cupules (cavités)

➤ Les modes de rupture

Nous supposons ici que les fissures sont planes et se propagent dans leur plan. Il est ainsi possible de montrer que l'état général de propagation se limite à la superposition de trois modes :

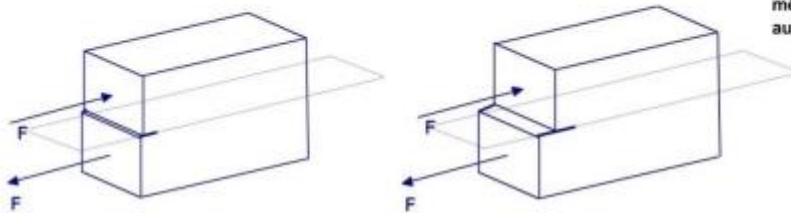
- Mode I (mode par ouverture) : les surfaces de la fissure se déplacent perpendiculairement au plan de fissure,
- Mode II (glissement de translation) : les surfaces de la fissure se déplacent dans le plan de fissure et dans une direction perpendiculaire au front de fissure,
- Mode III (glissement de rotation) : les surfaces de la fissure se déplacent dans le plan de fissure et dans une direction parallèle au front de la fissure.



FISSURE DE MODE I:

Mode par ouverture

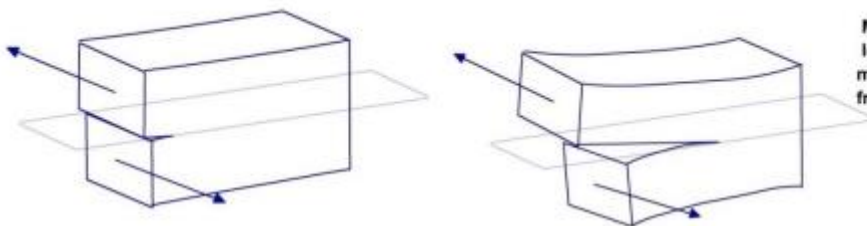
les surfaces de la fissure se déplacent dans des directions opposées et perpendiculairement au plan de fissure



FISSURE DE MODE II:

Mode par glissement de translation:

les surfaces de la fissure se déplacent dans le même plan et dans une direction perpendiculaire au front de fissure



FISSURE DE MODE III:

Mode par glissement de rotation:

les surfaces de la fissure se déplacent dans le même plan et dans une direction parallèle au front de la fissure.

II.3 Le fluage

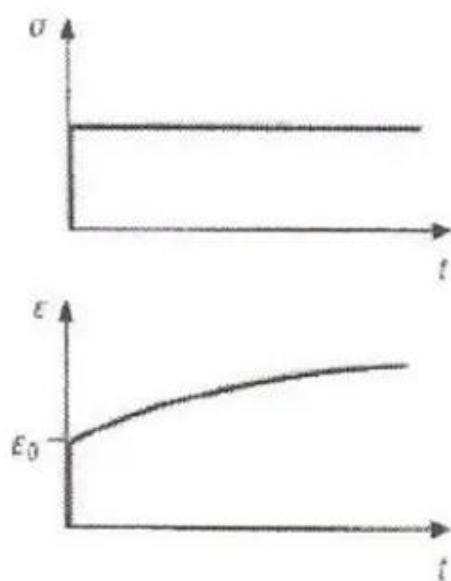
Le fluage est le phénomène physique qui provoque la déformation irréversible d'un matériau soumis à une contrainte constante pendant un temps donné

Le fluage correspond à une déformation générée par la combinaison de trois éléments agissant de manière concomitante sur le matériau : la température, le temps et la contrainte. La contrainte est inférieure à la limite d'élasticité du matériau et la température est généralement constante. Le fluage est similaire à la fatigue en ce sens qu'il provoque des dommages irréversibles dans le matériau. La différence entre ces deux modes d'endommagement réside dans le fait qu'en fatigue c'est la fissuration qui provoque la rupture alors qu'en fluage c'est la déformation. Phénoménologiquement, si l'on soumet un matériau à une contrainte donnée, inférieure à sa limite d'élasticité, et si la température reste inférieure à la moitié environ de sa température de fusion (exprimée en Kelvin), alors la déformation imposée est entièrement restituée quand la charge est retirée. Le matériau est sollicité dans le domaine élastique. Au-dessus de cette température seuil, une déformation résiduelle, permanente est constatée dans le cas précis où la contrainte appliquée et/ou la durée d'application de la charge sont suffisantes. Le matériau est sollicité dans des conditions où le fluage opère : une déformation, sous contrainte constante se produit, elle est évolutive dans le temps et peut conduire à la rupture.

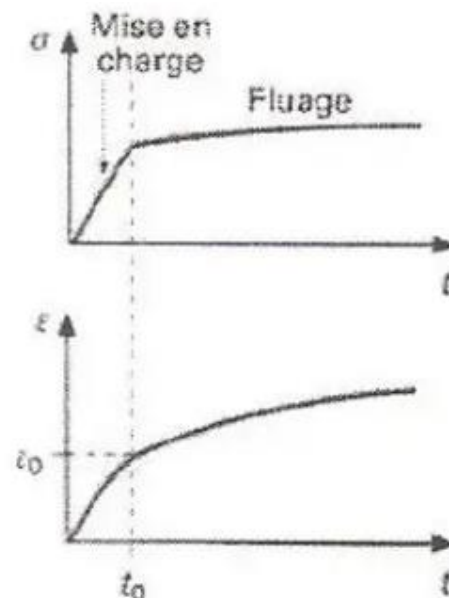
C'est un phénomène qui est activé thermiquement

$$T(K) > 0.4 \text{ à } 0.5 T_f \quad \xrightarrow{\sigma} \quad \epsilon$$

L'essai de fluage permet de mesurer la déformation en fonction du temps $\epsilon=f(t)$



(a) essai de fluage théorique



(b) essai de fluage expérimental

σ =contrainte appliquée

ϵ =déformation

t =temps

ϵ_0 =déformation en fin de mise en charge

t_0 =début de fluage