

Chapitre III : Méthodes d'essais et d'analyse mécaniques

III.1. Introduction

L'essai des matériaux étudie le comportement des matériaux soumis à différentes sollicitations. Il s'agit pour l'essentiel d'observer le rapport qui existe entre les forces appliquées et la déformation, ainsi que les sollicitations limites résultantes entraînant une défaillance des composants.

Les valeurs caractéristiques obtenues par les méthodes d'essai mécanique sont utilisées dans le développement des matériaux, la conception des composants, ainsi que dans l'application de l'assurance qualité. Afin de caractériser aussi précisément que possible les propriétés des matériaux, on dispose d'une série de méthodes d'essai normalisées.

III.2. Essai de traction

L'essai de traction est considéré comme étant la principale méthode des essais destructifs des matériaux. Dans ce dernier, l'éprouvette normalisée de coupe transversale connue est soumise à une force de croissance relativement faible dans la direction longitudinale jusqu'à la rupture. Avant que la striction ne débute, l'éprouvette présente un état de contrainte axiale. Le diagramme force-allongement enregistré permet d'illustrer le rapport qui existe entre la contrainte et la déformation.

III.2.1. Eprouvette

Des éprouvettes du matériau concerné, en forme de barreau cylindrique ou prismatique comportant une partie centrale calibrée à section constante S_0 et longueur L_0 raccordée à chaque extrémité à deux têtes de section plus importante, sont fixées dans une machine de traction. L'éprouvette est généralement obtenue par usinage d'un prélèvement d'un produit ou d'une ébauche moulée.

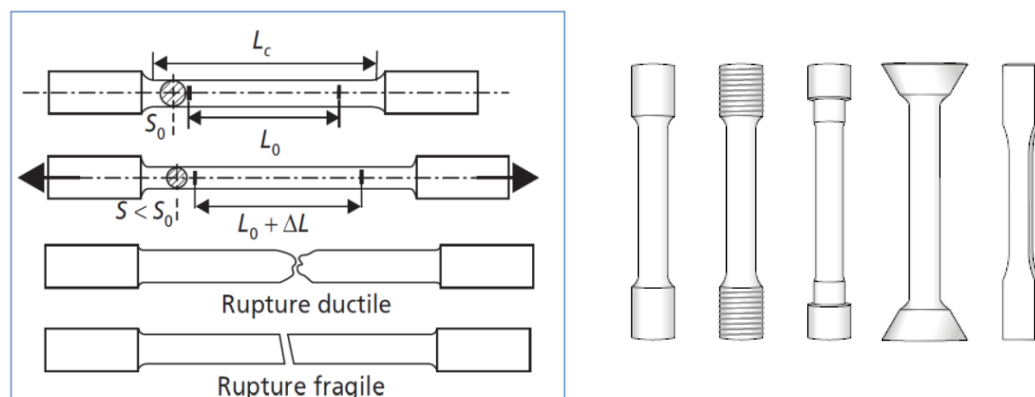


Figure III.1. Eprouvette de traction

III.2.2. Diagramme contrainte-déformation

Le diagramme contrainte-déformation met très bien en évidence les différences de comportement des matériaux, et fournit les valeurs caractéristiques suivantes :

R_m de résistance à la traction, R_e limite d'élasticité, R_p limite de proportionnalité, A allongement de rupture, E module d'élasticité, σ contrainte, ϵ déformation, 1 droite de Hooke, 2 déformation de Lüders, 3 plage de renfort, 4 début de la striction, 5 rupture

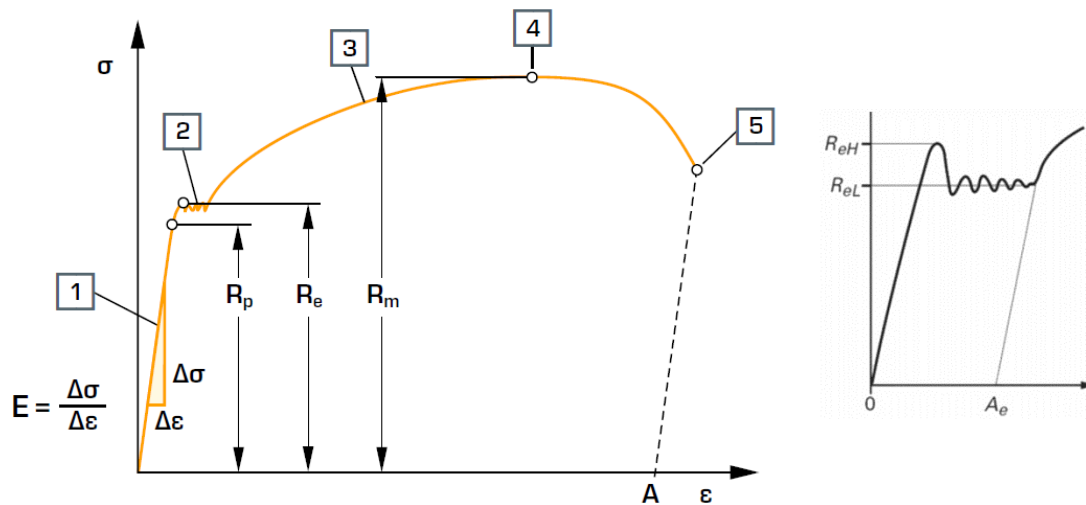


Figure III.2. Diagramme contrainte-déformation

La limite supérieure R_{eH} dépend de la forme de l'éprouvette, de son état de surface, des conditions d'essais et de la machine d'essai. La limite inférieure R_{eL} est moins sensible aux défauts géométriques de l'éprouvette, mais le palier est rarement horizontal en raison de la propagation des bandes de Lüders.

La déformation de Lüders est causée par la présence de défauts dans le matériau. Ces défauts peuvent être des dislocations, des inclusions ou des défauts de surface. Elle se caractérise par l'apparition de bandes parallèles de déformation plastique, appelées bandes de Lüders.

Le phénomène du palier correspond à une déformation hétérogène de l'éprouvette, c'est-à-dire à la naissance d'une petite zone déformée locale, en général près des têtes de l'éprouvette, qui se propage ensuite à toute l'éprouvette.

Pendant le palier, la zone déformée va s'étendre progressivement à toute l'éprouvette et la charge recommencera à croître quand toute l'éprouvette se sera déformée d'une façon homogène.

La plage de renfort correspond à la zone où le matériau se déforme plastiquement, elle indique la capacité du matériau à supporter des charges sans se rompre.

III.2.3. courbe conventionnelle et rationnelle de traction

La courbe conventionnelle est obtenue en divisant la force appliquée par la section initiale de l'éprouvette, tandis que la courbe rationnelle est obtenue en divisant la force appliquée par la section instantanée de l'éprouvette. La courbe conventionnelle est généralement utilisée pour la plupart des applications mais moins précise pour les matériaux soumis à de fortes déformations,

tandis que la courbe rationnelle est plus précise Plus précise pour étudier les phénomènes aux grandes déformations, tels que le coefficient d'anisotropie et d'écrouissage

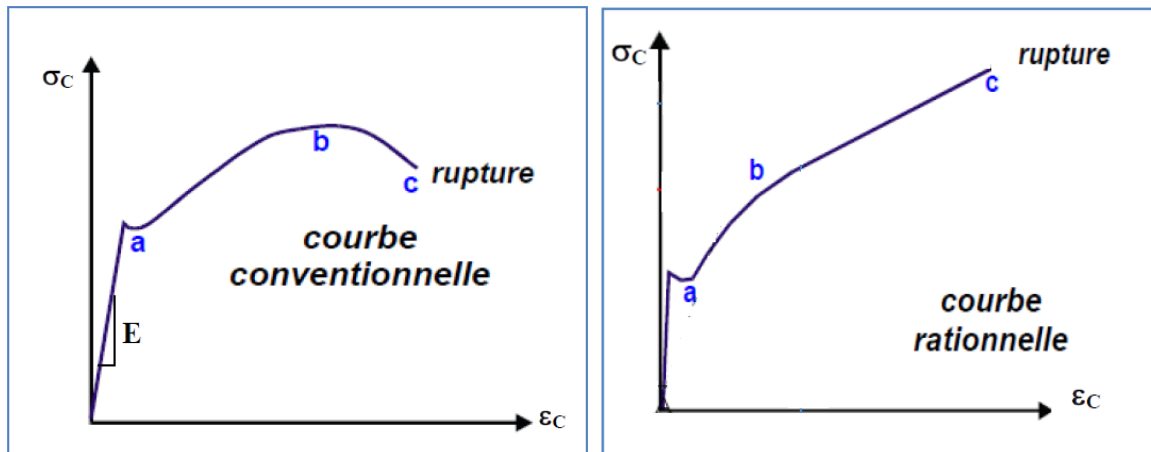


Figure III.3. Courbe conventionnelle et rationnelle de traction

III.3. Essai de compression

Les essais de compression tiennent une place moins importante que les essais de traction dans le contrôle des matériaux métalliques. L'essai de compression consiste à soumettre une éprouvette de forme cylindrique, placée entre les plateaux d'une presse, à deux forces axiales opposées. Si le matériau étudié est ductile, la rupture ne peut être atteinte avec ce test. L'essai de compression est surtout utilisé pour déterminer la contrainte de rupture des matériaux fragiles (comme les céramiques). 1 poinçon de compression, 2 éprouvette, 3 plaque de compression, F force d'essai

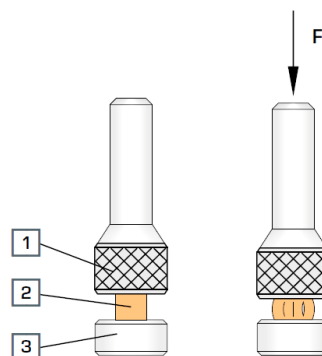


Figure III.4. Procédure de l'essai de compression

III.3.1. Eprouvette

L'éprouvette doit être constituée d'un cylindre droit, d'un prisme droit ou d'un tube droit. Les extrémités des éprouvettes doivent être parallèles et perpendiculaires à la direction de

l'application de l'effort. - Sauf spécification contraire, la hauteur des éprouvettes, en fonction des dimensions de leur section droite, doit être égale à h .

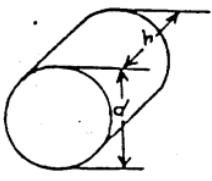
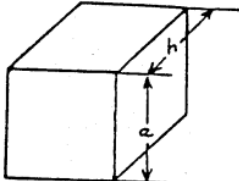
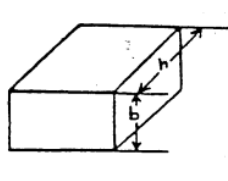
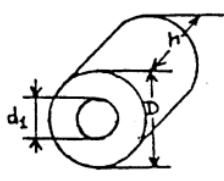
Cylindrique	Prisme carré	Prisme rectangulaire	Tube cylindrique
			
$h = 2,5 \cdot d$	$h = 2,9 \cdot a$	$h = 2,9 \cdot b$	$h = 2,5 \sqrt{D^2 + d_i^2}$

Figure III.5. Epreuves de compression

III.3.2. Diagramme contrainte-compression

Le diagramme contrainte-compression montre l'évolution de la contrainte en fonction de la déformation lors d'un essai de compression. Les caractéristiques mécaniques d'un matériau, telles que la limite d'élasticité, la résistance à la compression et la déformation à la rupture, peuvent être déterminées à partir du diagramme contrainte-écrasement.

σ contrainte, ϵ écrasement, s limite d'écrasement à 0,2%, σ_y contrainte de fluage de compression, σ_F résistance à la compression, 1 plage élastique, 2 rupture

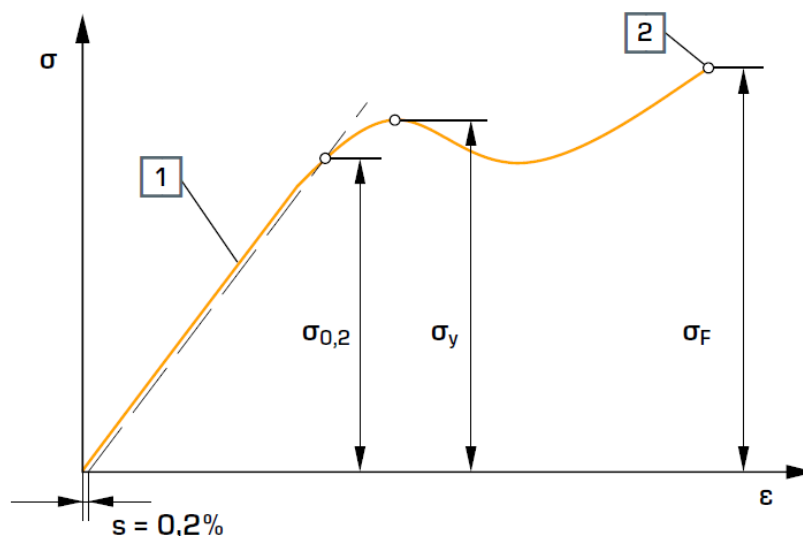


Figure III.6. Diagramme contrainte-compression

La contrainte de fluage de compression est utilisée pour évaluer la capacité d'un matériau à résister à la déformation permanente sous charge de compression.

III.4. Essai de Flexion

Le cas de charge de flexion le plus étudié dans les essais des matériaux est l'essai de flexion à trois points. Il s'agit d'étudier une poutre logée sur deux appuis, et soumise au milieu à une charge unique. L'essai de flexion démontre le rapport qui existe entre la charge appliquée sur

une poutre en flexion et sa déformation élastique. Il met en évidence l'influence exercée par le module d'élasticité et le moment d'inertie géométrique. (1) élément de pression, (2) éprouvette, (3) deux appuis pour le logement de la poutre, F force d'essai

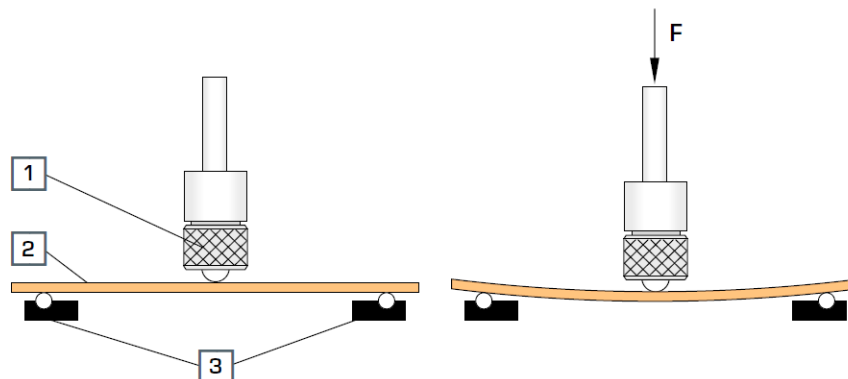


Figure III.7. Procédure de l'essai de flexion à trois points

III.4.1. Epreuve

L'échantillon est généralement en forme de barre ou de plaque, avec des dimensions spécifiques définies par la norme applicable (par exemple, ASTM D790 ou ISO 178).

Les échantillons pour la norme ASTM D790 doivent être de forme rectangulaire, avec une longueur d'au moins 8 fois la largeur. La largeur doit être comprise entre 6 et 30 mm. L'épaisseur doit être comprise entre 1 et 12 mm.

ASTM D790 exige que les dimensions d'un échantillon soient généralement 3,2 mm d'épaisseur (profondeur), 12,7 mm de largeur et 127 mm de longueur

III.4.2. Diagramme de flexion

L'enregistrement de la courbe Effort-Flèche permet de calculer à l'intérieur de la zone linéaire, la rigidité à la flexion K : $K = \Delta F / \Delta f$

L'effort est augmenté progressivement jusqu'à la rupture de l'éprouvette. Ceci permet d'obtenir la résistance à la flexion R_f .

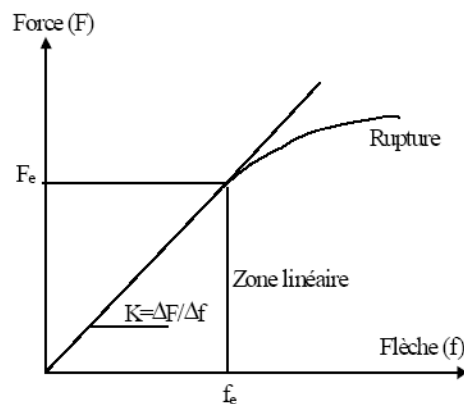


Figure III.8. Diagramme de flexion

III.5. Essai de dureté

La dureté est la mesure de la résistance d'un matériau à la pénétration. Cette dernière est fonction de plusieurs facteurs dont les principaux sont : la déformation élastique et plastique, le frottement pénétreur-surface indentée, la géométrie de pénétreur, ses propriétés mécaniques et la charge qui y est impliquée. Des tests de dureté sont utilisés pour étudier les effets du traitement thermique, l'érouissage, la trempe et du formage à froid.

III.5.1. Eprouvettes

La surface de l'éprouvette doit être propre, plane et lisse soigneusement préparée. Plus des dimensions du pénétreur sont petites, plus l'état de la surface doit être lisse. Une application du polissage est parfois obligatoire. La préparation de l'éprouvette doit être faite sans provoquer des altérations des propriétés du matériau dues, par exemple, au chauffage ou à, l'érouissage. L'épaisseur de l'éprouvette doit être suffisante pour qu'aucune trace d'une déformation ne soit visible sur la surface opposée à celle de l'application de la charge. D'après une règle générale, l'épaisseur minimale est au moins dix fois supérieure à la profondeur de l'empreinte.

III.5.2. Exécution de l'essai

On emploie pour l'exécution de l'essai un dispositif qui est suffisamment rigide et stable. L'essai doit être fait sans choc et sans vibrations, autrement les résultats sont erronés. L'éprouvette doit être installée sur un support rigide du dispositif pendant l'action de la charge. Les essais les plus courants se font par pénétration, les essais les plus classiques sont les essais Brinell, Vickers et Rockwell.

III.5.3. Dureté Brinell

Il consiste à imprimer dans la pièce à essayer une bille en acier ou en carbures de tungstène de diamètre **D(mm)** de 10 mm de diamètre sous une charge **F(N)**, et à mesurer le diamètre **d** de l'empreinte résiduelle après retrait de la charge. La charge d'essai **F(N)** est choisie dans une gamme normalisée adaptée au diamètre de l'indenteur et au matériau testé. La pression est maintenue pendant 15 à 30 s selon le métal.

$$HBW = \frac{0.102 * 2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

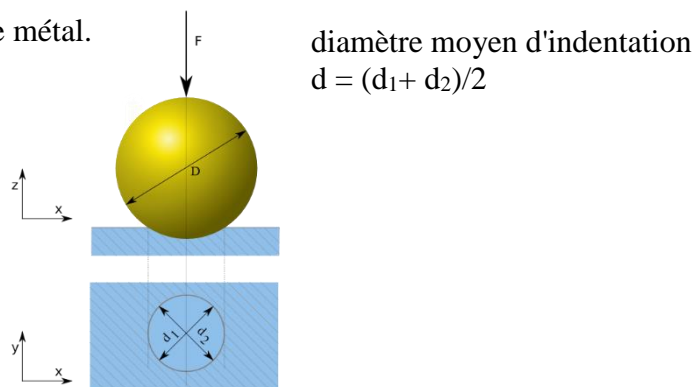


Figure III.9. Principe de l'essai Brinell

III.5.4. Dureté Vickers

La dureté Vickers est caractérisée par l'empreinte faite par un indenteur sous une charge donnée durant 15 secondes. L'indenteur est formé d'une pyramide en diamant à base carrée dont les faces opposées font un angle de 136° . La charge appliquée est comprise entre 1 et 120 kgf, la mesure s'effectuant à l'aide d'un microscope. La dureté Vickers (HV) est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$HV = 0.102 * \frac{2F \cdot \sin(136^\circ/2)}{d^2} = 0.189 \cdot \frac{F}{d^2}$$

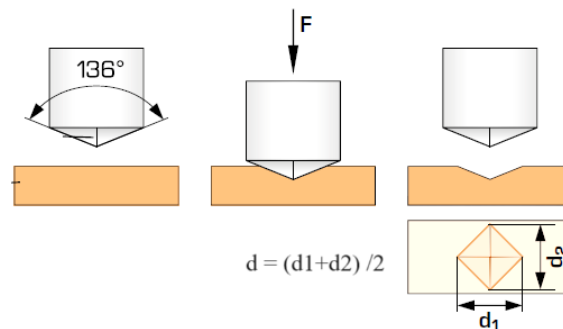


Figure III.10. Principe de l'essai Vickers

III.5.5. Dureté Rockwell

L'essai de dureté Rockwell consiste à imprimer, en deux temps, dans la couche superficielle de la pièce à essayer, un pénétrateur qui peut être **un cône ou une bille** et mesurer l'accroissement rémanent de la profondeur de pénétration. Cet essai permet une lecture directe mais ne convient pas aux pièces moulées ou à gros grains.

Il existe plusieurs essais de dureté Rockwell, les plus courants sont l'essai Rockwell HRC et l'essai Rockwell HRB :

L'essai **Rockwell HRC** se réalise avec un cône de diamant d'angle de 120° et un arrondi de 0,2mm. La charge à appliquer est de 1373N. $HRC = 100 - (e_2 - e_0) / (0,002)$

Avec $e = e_2 - e_0$ e_2 et e_0 en mm

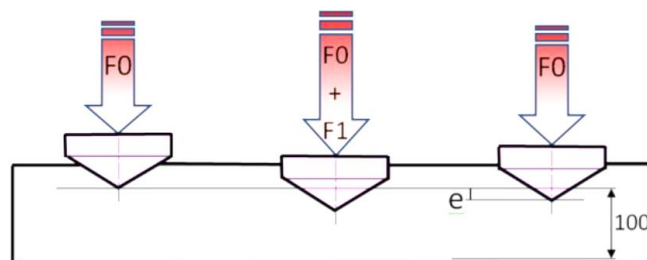


Figure III.11. Principe de l'essai Rockwell HRC

L'essai **Rockwell HRB** se réalise avec une bille en acier trempé. La charge appliquée est de 883 N. La bille à un diamètre de 1,5875 mm.

$HRB = 130 - (e_2 - e_0) / (0,002)$ avec $e = e_2 - e_0$ e_2 et e_0 en mm

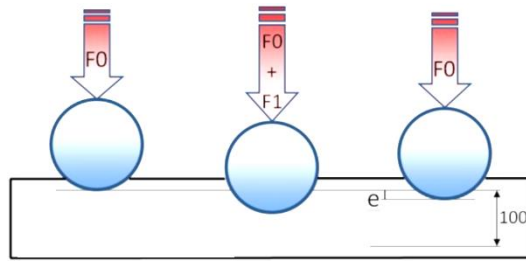


Figure III.12. Principe de l'essai Rockwell HRB

III.6. Essai de Torsion

Définition : Une poutre est sollicitée à la torsion simple si elle est soumise à deux couples de moments opposés portés par la ligne moyenne.

Le torseur s'exprime ainsi par :

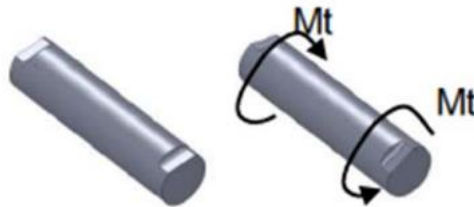
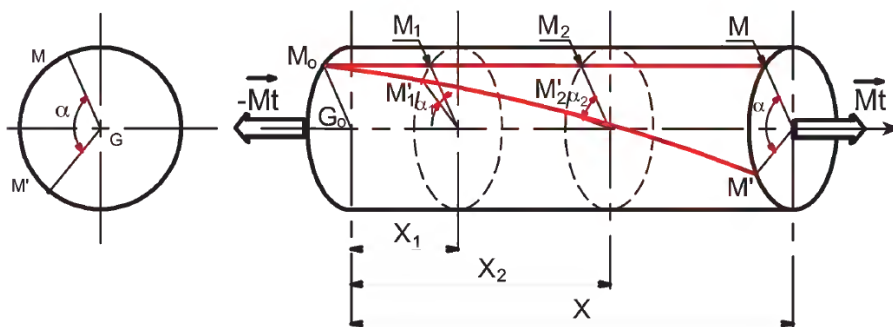
$$\{T\} : \begin{Bmatrix} 0 & Mt \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}$$


Figure III.13. Moments des actions extérieures appliqués à de la poutre

Calcul de l'angle de torsion

Sous l'action du moment de torsion M_t , la génératrice M_0M initialement rectiligne, devient un arc d'hélice M_0M' .



Les points M_1 , M_2 , et M tournent autour de l'axe de l'éprouvette pour venir respectivement en M'_1 , M'_2 et M' .

On relève les angles (α_1) , (α_2) et (α) et on constate que :

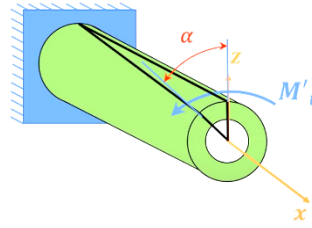
$$\alpha_1 / x_1 = \alpha_2 / x_2 = \alpha / x = \text{constante.}$$

Cette constante, notée θ , est appelée angle unitaire de torsion : $\theta = \alpha / L$

L : Longueur de l'éprouvette en mm

θ : est exprimé en rd/mm

α : angle de torsion en rd.



α : Un angle de torsion (rad ; deg)

Pour la contrainte de cisaillement maximale τ_{max} :

$$\tau_{max} = \frac{M_t}{I_G} \cdot R_{max}$$

$$I_G = \frac{\pi \cdot (D_{ext}^4 - D_{int}^4)}{32}$$

La contrainte de cisaillement minimale τ_{min} :

$$\textcircled{1} \quad \tau_{min} = \frac{M_t}{I_G} \cdot R_{min}$$

$$\textcircled{2} \quad \tau_{min} = \tau_{max} \frac{D_{int}}{D_{ext}}$$

Calcul de l'angle de torsion α :

$$\tau = G \cdot \theta \cdot R = \frac{M_t}{I_G} \cdot R$$

$\theta = \frac{\alpha}{L}$: Angle de Torsion unitaire (rad/mm)

G : module de cisaillement (MPa)

$$\Rightarrow \theta = \frac{M_t}{I_G \cdot G}$$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{M_t \cdot L}{I_G \cdot G}$$

<https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=R5bx3Qq7hho>

III.7. Essai de fatigue

La fatigue est un processus qui, sous l'action de contraintes ou déformations cycliques, répétées ou alternées, modifie les propriétés locales d'un matériau et peut entraîner la formation de fissures et éventuellement la rupture de la structure.

III.7.1. Cycle de contrainte en fatigue

Les essais de fatigue sont définis par des normes, et ils sont de plusieurs types :

- Traction – compression
- Flexion plane ou rotative
- Torsion.

Les éprouvettes sont soumises à des sollicitations périodiques. La contrainte passe par un maximum σ_{max} et par un minimum σ_{min} .

On en déduit : La contrainte moyenne : $\sigma_m = (\sigma_{max} + \sigma_{min}) / 2$

L'amplitude de contrainte : $\sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) / 2$

L'étendue de variation de contrainte : $\Delta\sigma = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) = 2\sigma_a$

Rapport de charge R : $R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$

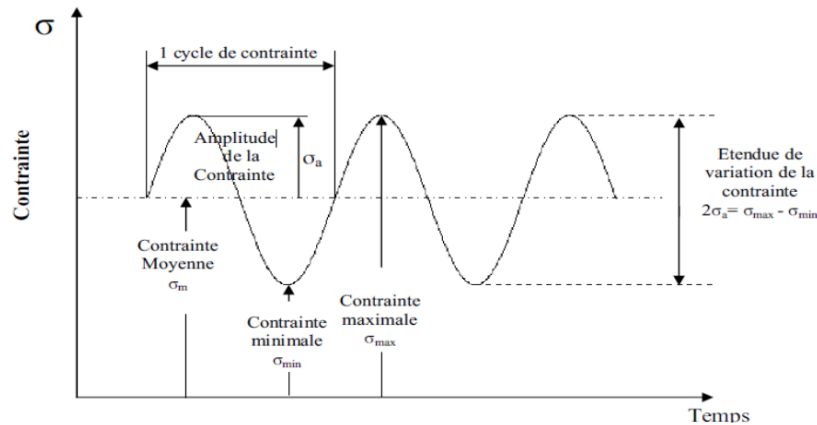


Figure III.14. Cycle de contrainte en fatigue

III.7.2. Courbe de Wöhler

Cette courbe est appelée S-N (Stresses- Number of cycles) universellement connue la courbe la plus ancienne et qui permette de visualiser la tenue de la pièce ou des matériaux dans tout le domaine de fatigue. Elle définit une relation entre la contrainte appliquée et le nombre de cycles à rupture NR. Pour la tracer, on réalise généralement des essais simples, qui consistent à soumettre chaque éprouvette à des cycles d'efforts périodiques, d'amplitude de chargement constante fluctuant autour d'une valeur moyenne fixée, et de noter le nombre de cycles à rupture NR. La courbe S-N peut faire apparaître l'existence d'une « limite d'endurance », définie comme niveau de contrainte sous lequel un matériau résistera aux contraintes cycliques « indéfiniment » sans rompre.

- 1) Domaine de la fatigue oligocyclique où les ruptures surviennent après un petit nombre de cycles ($N \leq 10^3 \dots 10^5$ cycles) Calculs très spécifiques (low cycle)
- 2) Domaine de l'endurance limitée où les ruptures surviennent après un nombre de cycles croissant avec la décroissance de la contrainte ($10^3 \dots 10^5 \leq N \leq 10^7 \dots 10^8 \dots$)

Tentatives d'extrapolation

- 3) Domaine de l'endurance illimité où les ruptures ne se produisent pas avant un nombre de cycles supérieur à la durée de vie envisagée de la pièce ($N \geq 10^7 \dots 10^8 \dots$)

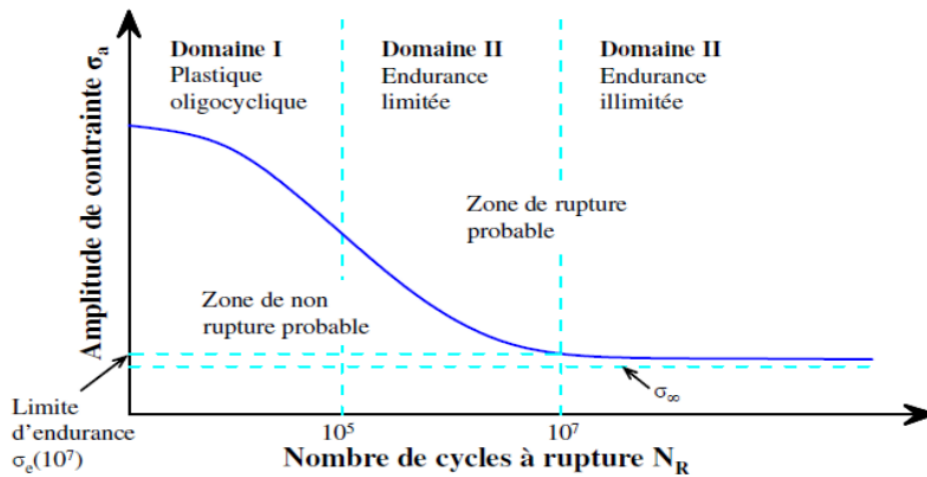


Figure III.15. Représentation schématique d'une courbe de Wöhler

III.8. Analyse mécanique dynamique DMA

L'analyse mécanique dynamique (AMD) (en anglais : dynamic mechanical analysis, DMA) est une technique conçue pour mesurer les propriétés mécaniques et viscoélastiques des matériaux en fonction de la fréquence et la température, après avoir appliqué une déformation suivant différents types de montages (flexion trois points, traction, compression, cisaillement, torsion) sous sollicitation dynamique sinusoïdale avec régulation de la température.

L'analyse des données permet d'obtenir facilement l'évolution des modules de stockage élastique et de dissipation visqueuse ainsi que le déphasage de la réponse du matériau en fonction de la température. Le retard de phase est essentiel, car il permet de différencier les matériaux purement élastiques des matériaux purement visqueux.

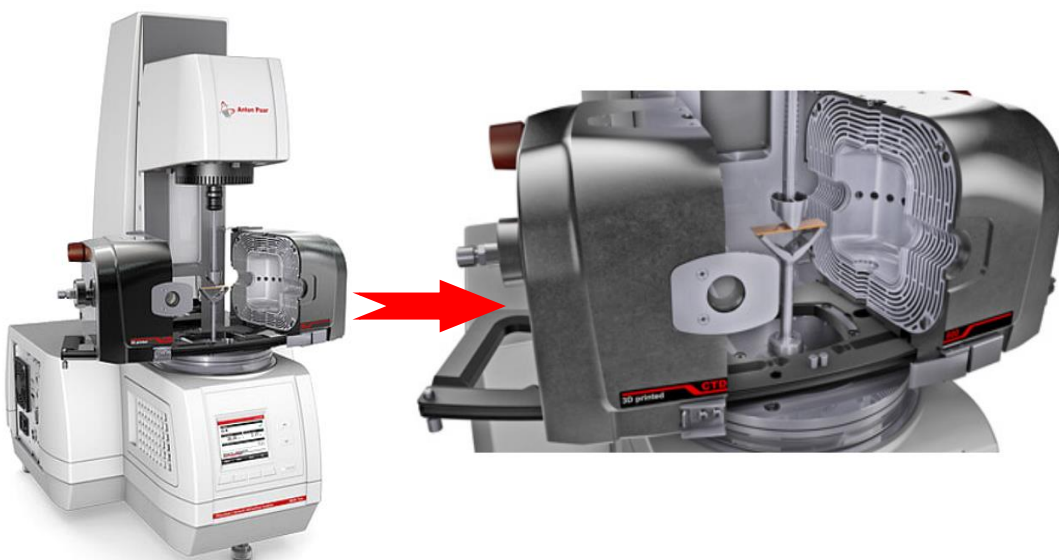


Figure III.16. Système d'analyse mécanique dynamique (montages ; flexion trois points)

III.9. Essai de résilience

La résilience est la capacité d'un matériau à absorber l'énergie d'un choc en se déformant (déformation rapide). La résilience, de symbole général K est mesurée sur des machines du type Charpy.

III.9.1. Principe de l'essai

Un marteau de masse m est fixé à l'extrémité d'un pendule. Ce pendule peut tourner dans le plan vertical autour d'un axe horizontal. L'éprouvette repose sur un support et se trouve au point le plus bas sur la trajectoire du marteau. Pour effectuer un essai, on écarte le bras jusqu'à ce que le marteau atteigne sa position initiale P et on le lâche. Quand le pendule vient frapper l'éprouvette, il a une énergie cinétique qui est égale à l'énergie potentielle qu'il avait à sa position de départ mgh_0 , h étant la hauteur du marteau par rapport à sa position d'équilibre. Après la rupture, le marteau remonte.

L'énergie absorbée par l'éprouvette (W) est égale à la différence des énergies potentielles du pendule entre : le début ($W_0 = P.h_0$) et l'arrivée ($W_1 = P.h_1$) :

$$W = P.h_0 - P.h_1 = P (h_0 - h_1)$$

La résilience est égale au rapport de W sur l'aire de la section au droit de l'entaille. Deux cas : K_{cu} ou K_{cv} :

$$K_{cu} \text{ ou } K_{cv} = (W_0 - W_1) / S_0$$

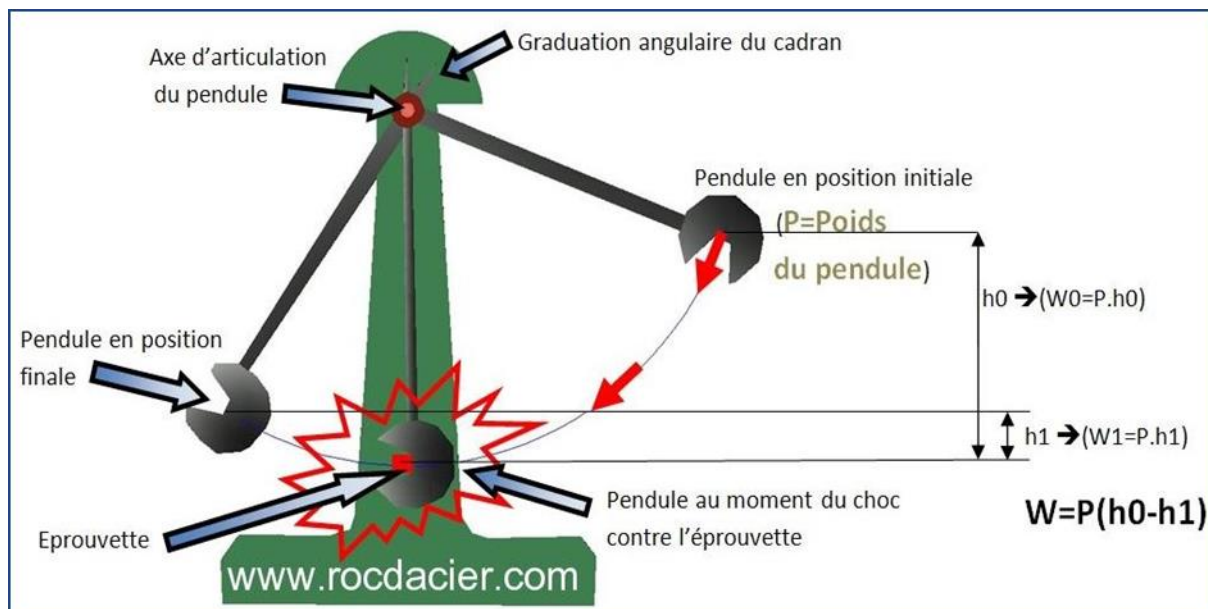


Figure III.17. Disposition avant et après l'essai Charpy

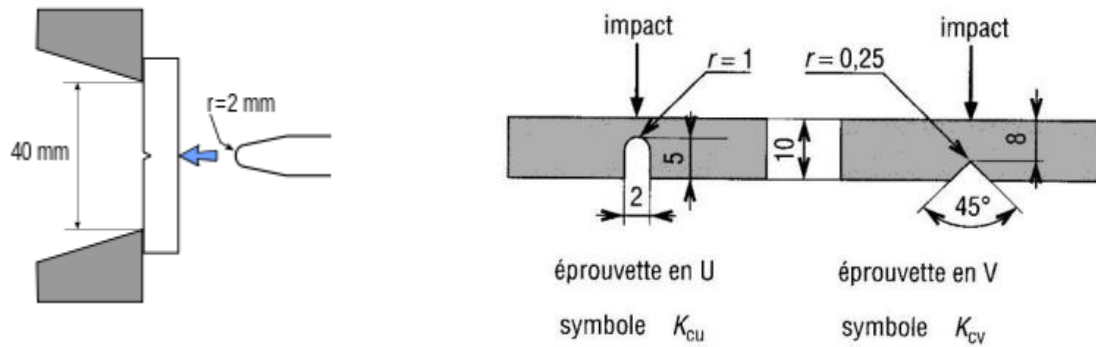


Figure III.18. Eprouvettes entaillée Charpy

III.9.2. Effet de température

La mesure de l'énergie de rupture absorbée varie en fonction de la température (Figure III.19). A haute température, l'énergie de rupture est relativement élevée, ce qui correspond à une rupture de type ductile. Lorsque la température baisse, la valeur de l'énergie de rupture chute considérablement ce qui correspond à une rupture de type fragile. L'apparence de la surface de défaillance révèle la nature de la rupture et peut faciliter la détermination de la température de transition ductile-fragile.

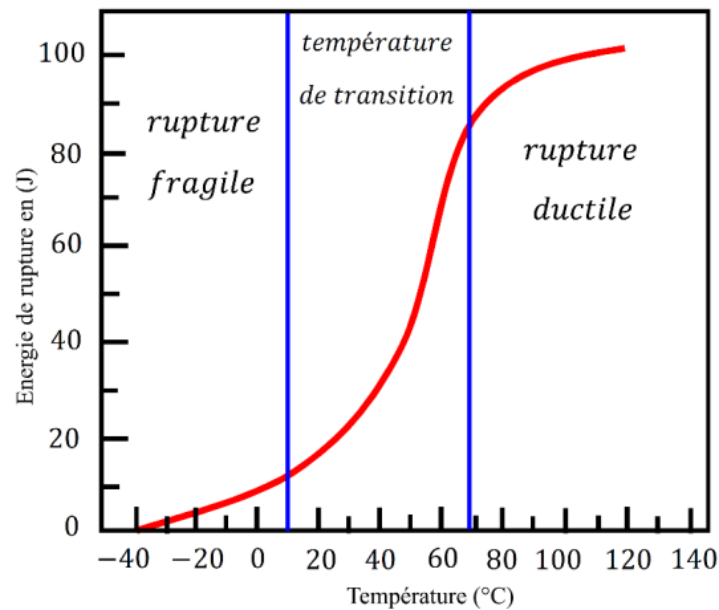


Figure III.19. Influence de la variation de température sur l'énergie de rupture d'une éprouvette en acier doux

III.10. Les essais rhéologiques

La rhéologie (rheos = qui coule, logie = science de) est une science qui traite de l'écoulement, des déformations (ou vitesse de déformation) et plus généralement de la viscosité des matériaux sous l'effet de contraintes.

III.10.1. Objectif de la rhéologie

C'est de déterminer l'équation d'état rhéologique du fluide en effectuant des mesures relatives des forces et des déplacements et en exploitant ces résultats à l'aide des équations de mouvement. Les fluides peuvent aussi se classer en deux familles relativement à leur viscosité, une de leurs caractéristiques physico-chimiques. La famille des fluides "newtoniens" (comme l'eau, l'air et la plupart des gaz) et celle des fluides "non-newtoniens" (quasiment tout le reste les polymères, les gels, les boues, les pâtes, le goudron...).

On appelle fluide newtonien un fluide dont la loi contrainte – vitesse de déformation est linéaire. La constante de proportionnalité est appelée viscosité.

III.10.2. Instrument de mesure

Les mesures de rhéométrie sont effectuées à l'aide d'un rhéomètre. Selon le type de rhéométrie, il est possible d'utiliser des rhéomètres de conception différente. Les rhéomètres les plus courants sont les rhéomètres rotatifs et les rhéomètres oscillatoires.

Les rhéomètres rotatifs sont les rhéomètres les plus courants. Ils fonctionnent en appliquant une force de cisaillement à un échantillon de matériau qui est maintenu entre deux plaques. La force de cisaillement est appliquée par une vis sans fin ou un moteur. La réponse du matériau à cette force de cisaillement est mesurée à l'aide d'un capteur de contrainte ou de déformation.

Les rhéomètres oscillatoires fonctionnent en appliquant une déformation oscillatoire à un échantillon de matériau. La déformation oscillatoire est appliquée par un piston ou un cône. La réponse du matériau à cette déformation oscillatoire est mesurée à l'aide d'un capteur de contrainte ou de déformation.

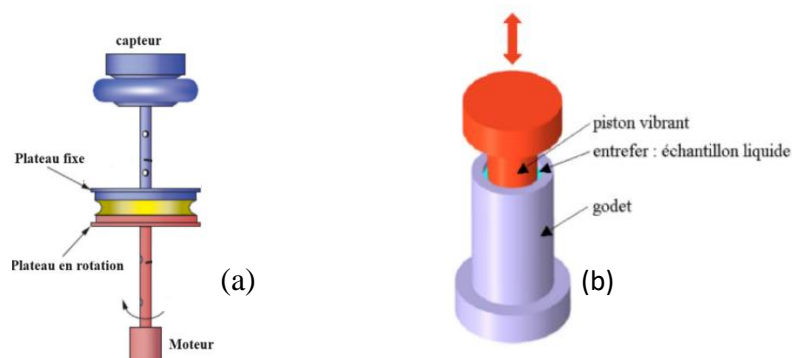


Figure III.20. Rhéomètres (a) rotatif et (b) oscillatoire

III.10.3. Rhéomètres rotatifs à cellule de couette

L'échantillon est placé dans l'entrefer de deux cylindres, Le cylindre intérieur, souvent appelé rotor, tourne à une vitesse définie, la chemise cylindrique extérieure étant immobile. Le rotor force le liquide à s'écouler dans l'entrefer. La résistance du liquide cisailé entre la couche stationnaire et la couche tournante engendre sur le cylindre intérieur un couple relatif à la viscosité qui s'oppose au couple produit par le moteur. Un capteur de couple est placé entre le moteur d'entraînement et l'axe du cylindre intérieur. La torsion du ressort du capteur est la mesure directe de viscosité.

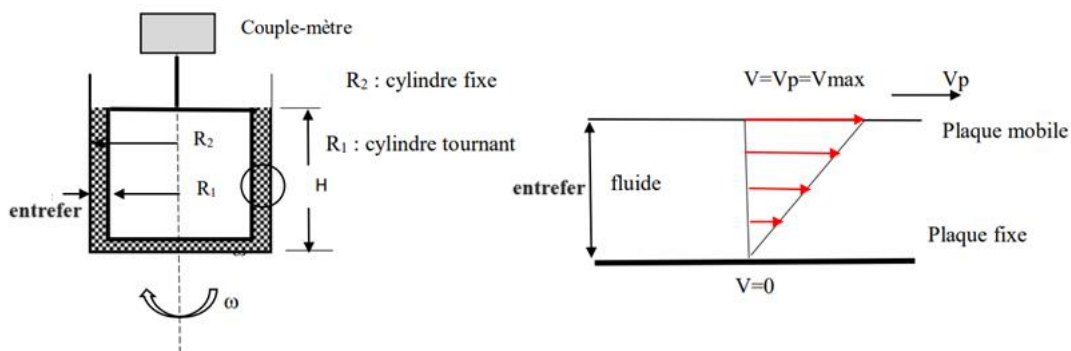


Figure III.21. Schéma d'un rhéomètre rotatif à cellule de couette

III.10.4. Domaine d'étude

Dans la pratique, la rhéologie est une extension des disciplines telles que l'élasticité et la mécanique des fluides newtoniens, aux matériaux dont le comportement mécanique ne peut être décrit par ces théories classiques.

- Verres, bois, polymères ...
- Industrie alimentaire
- Géophysique: volcans, avalanches, coulées de boue...
- Biologie: sang, sève (liquide dans les végétaux), liquide viscoélastique dans les plantes carnivores.
- Exemples : la mousse à raser ou la peinture peuvent s'étaler mais ne coulent pas

III.11. Essai de fluage

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

Le fluage est l'une des caractéristiques essentielles des matières plastiques. Il peut être corrélé par un essai de traction. La température favorise le fluage. La destruction des liaisons, le glissement entre les macromolécules, le frottement interne retardant les déformations sont les

principales causes du fluage. Le phénomène apparaît également pour des métaux travaillant sous charge à de hautes températures (fours, moteurs, réacteurs...). Essai modifiant la structure.

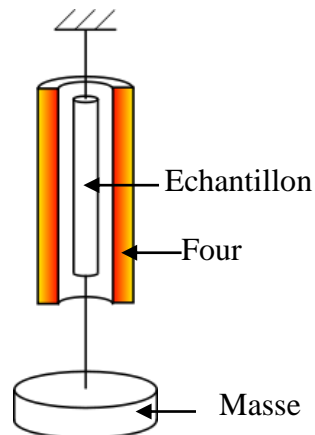


Figure III.22. Essai de fluage à chaud.

On peut observer les résultats suivants :

- primaire : ralentissement de la vitesse de fluage.
- secondaire : vitesse de fluage constante.
- tertiaire : diminution importante de la section résistante, endommagement final de l'éprouvette, rupture.

Un essai de fluage déformation consiste à mesurer la déformation en fonction du temps. En pratique un essai de fluage consiste à maintenir une éprouvette à haute température sous charge constante (et non sous contrainte constante), et à mesurer la déformation en fonction du temps.

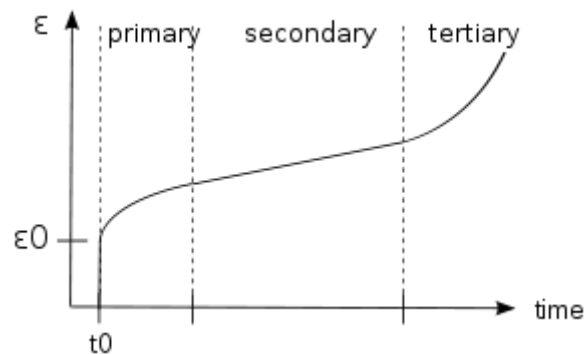


Figure III.22. Courbe de fluage

III.12. Essais tribologiques

La tribologie est définie comme les sciences et technologies qui étudient les interactions entre deux surfaces en contact. Elle comprend trois domaines : le frottement, l'usure et la lubrification. Les essais tribologiques sont des tests scientifiques qui permettent d'étudier les interactions entre les surfaces en mouvement relatif, notamment en ce qui concerne le

frottement, l'usure et la lubrification. Parmi les différents types d'essais tribologiques, on peut citer :

III.12.1. Essai de frottement bille sur disque rotatif

Les essais de frottement bille sur disque rotatif, sont des tests utilisés pour étudier les caractéristiques de frottement et d'usure des matériaux. Ces essais reproduisent le mouvement de rotation présent dans de nombreux mécanismes tribologiques réels, et ils sont réalisés sous air (milieu sec ou lubrifié), en atmosphère contrôlée ou sous vide



Figure III.23. Principe d'essai de frottement bille sur disque rotatif

III.12.2. Essai bille plan linéaire alternatif

Cette méthode consiste à faire osciller une bille sur une surface plane en régime linéaire alternatif, avec une vitesse et une course spécifiques, tout en mesurant les forces de frottement et les déplacements relatifs entre les surfaces en contact

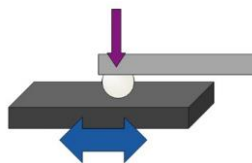


Figure III.24. Principe d'essai de frottement bille plan linéaire alternatif

III.12.3. Essai plan-plan linéaire alternatif

L'essai est effectué en appliquant une force de cisaillement oscillatoire à deux surfaces en contact. La réponse des surfaces à cette force est mesurée pour déterminer les propriétés de friction et d'usure.

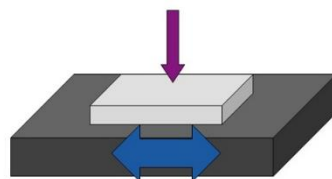


Figure III.25. Principe d'essai de frottement plan-plan linéaire alternatif

III.12.4. Essai bloc-cylindre rotatif

L'essai est effectué en appliquant une force de cisaillement oscillatoire à un bloc en contact avec un cylindre rotatif. La réponse du bloc à cette force est mesurée pour déterminer les propriétés de friction et d'usure.

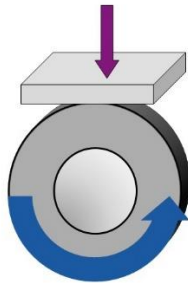


Figure III.26. Principe d'essai de frottement bloc-cylindre rotatif

III.12.5. Essai cavitation

L'essai de cavitation est un type d'essai tribologique qui est utilisé pour évaluer la résistance à la cavitation d'un matériau ou d'un revêtement. La cavitation est un phénomène physique qui se produit lorsque des bulles de gaz se forment et implosent dans un fluide. Les implosions de bulles peuvent causer des dommages importants aux surfaces, car elles peuvent produire des forces et des températures élevées.

Les essais de cavitation sont utilisés pour évaluer la résistance des matériaux à la cavitation, ce qui est pertinent dans de nombreuses applications industrielles, telles que les pompes, les turbines et les hélices.

L'essai de cavitation est effectué en soumettant un échantillon de matériau ou de revêtement à un flux de fluide sous pression. Le fluide est généralement de l'eau, mais il peut être tout autre fluide contenant des bulles de gaz. La pression du fluide, la vitesse du fluide et la durée de l'exposition sont des paramètres importants qui peuvent être contrôlés dans l'essai de cavitation.

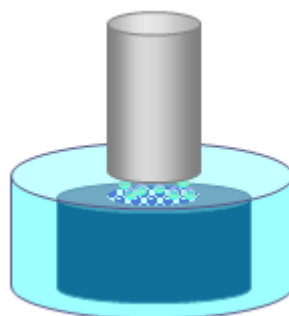


Figure III.27. Principe d'essai de cavitation