

## Introduction

Les essais de matériaux se répartissent en cinq grandes catégories :

- les essais mécaniques ;
- les essais thermiques et électriques;
- les tests de résistance à la corrosion,
- les tests de résistance aux radiations,
- les essais sur les impacts environnementaux.

Des méthodes d'essai standard ont été établies par des organismes nationaux et internationaux tels que l'Organisation internationale de normalisation (ISO) et l'American Society for Testing and Materials (ASTM).

Ces essais permettent d'obtenir des bases de données sur les matériaux.

## Essais de traction

L'essai de traction consiste à appliquer un effort axial sur une éprouvette de dimension normalisée.

Cet essai permet d'obtenir des informations sur :

- le comportement élastique,
- le comportement plastique,
- le degré de résistance à la rupture d'un matériau.

**Ductilité** : aptitude d'un matériau à se déformer

$$\text{Allongement relatif : } \epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

$$\text{Contrainte appliquée : } \sigma_e = \frac{F_e}{S_0}$$

Dans le domaine élastique, la **loi de Hooke** traduit le comportement élastique du matériau :  $\sigma = E \times \epsilon$

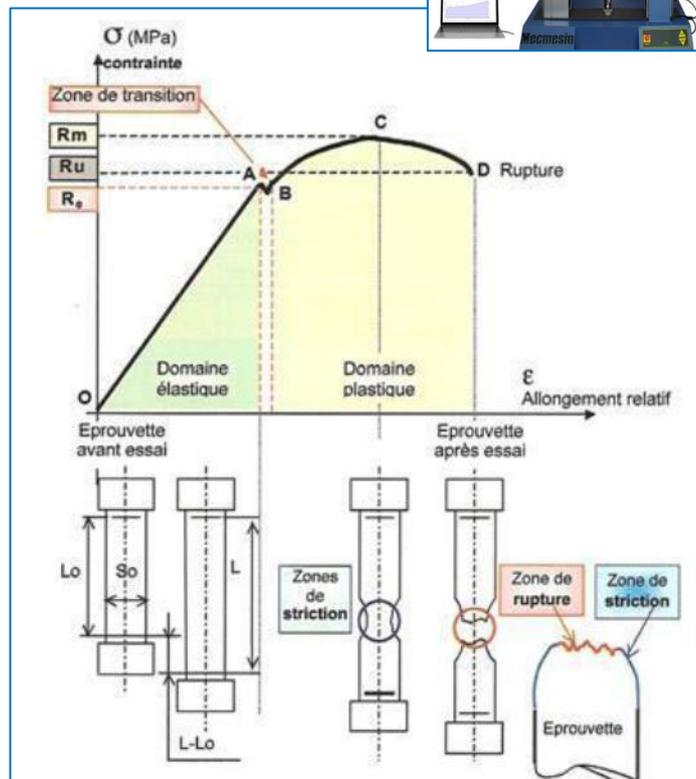
E : est le module d'élasticité ou module de Young, exprimé en MPa (Méga Pascal) ou en N/mm<sup>2</sup>.

Exemples :

E caoutchouc  $\approx 100$  MPa

E acier  $\approx 100\,000$  MPa

E céramique  $\approx 800\,000$  MPa



L'allongement à rupture  $A\%$  caractérise la **ductilité** d'un matériau c'est-à-dire son aptitude à se déformer plastiquement sans se rompre : plus  $A\%$  est grand, plus le matériau est ductile.

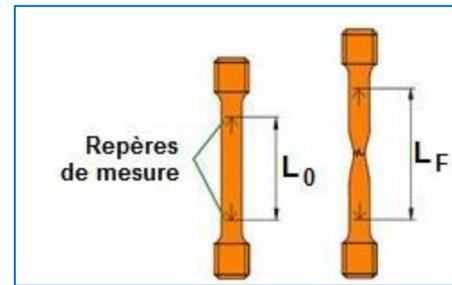
$A\%$  : allongement à rupture en %

$L_0$  : longueur initiale en mm

$L_F$  : longueur après la rupture en mm

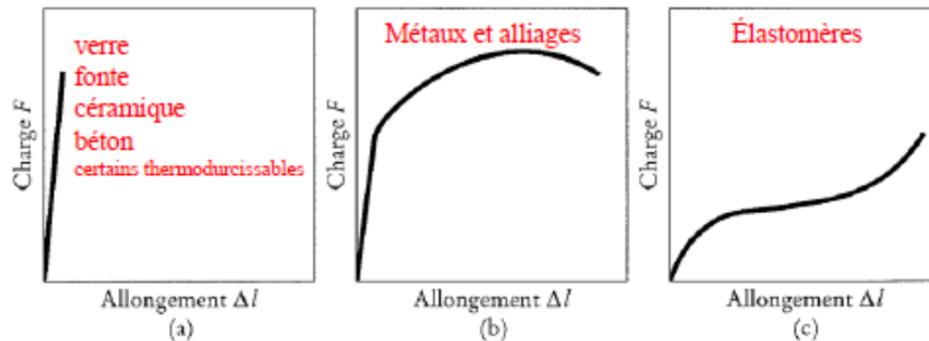
$$A\% = \frac{L_F - L_0}{L_0} \cdot 100$$

La ductilité des matériaux est mise à profit avec le procédé d'emboutissage, technique de fabrication permettant d'obtenir, à partir d'une feuille de tôle plane et mince, un objet dont la forme n'est pas développable. L'emboutissage est notamment utilisé dans l'industrie automobile, en électroménager, ...



### Comportements caractéristiques en traction :

- comportement fragile (exemple : verre)
- comportement ductile (exemple : métaux)
- comportement élastique non linéaire (exemple : élastomère)

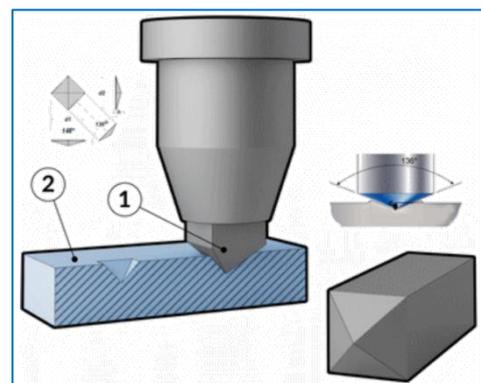


## Essais de dureté

La dureté est définie comme la résistance mécanique qu'un corps oppose à la pénétration d'un autre corps. En conséquence, lors des méthodes d'essai les plus communes, un pénétrateur dur est empreint dans la surface de l'échantillon de façon perpendiculaire.

Un avantage de l'essai de dureté, contrairement à l'essai de traction, réside dans le fait qu'on peut obtenir des valeurs caractéristiques des matériaux sans détruire l'échantillon.

La dureté de pénétration est évaluée en mesurant une empreinte laissée en surface par un poinçon pénétrateur (bille, cône, pyramide droite à base carrée) en matériau dur (acier poli ou diamant) sous l'action d'une force connue.



La dureté peut être quantifiée par des caractéristiques de dureté telles que :

- Rockwell (HRB ou HRC), Vickers (HV) et Brinell (HB) pour les métaux.
- Shore pour les matériaux plastiques, élastomères, cuirs et bois.
- Knoop (HK) pour le verre.

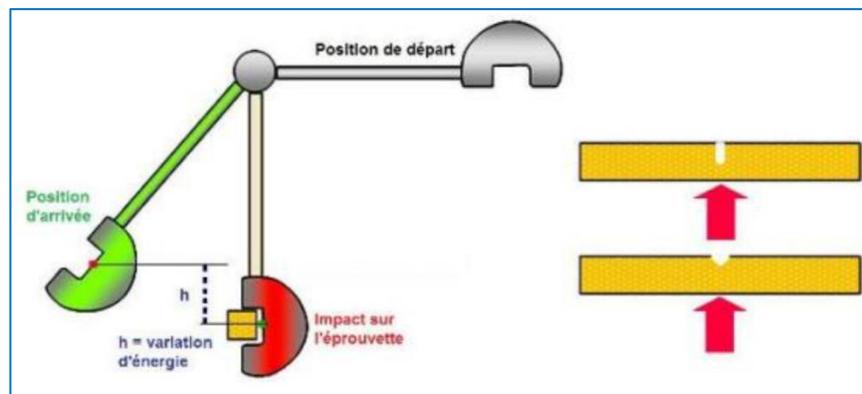
## Essais de résilience

La **rupture** est la séparation d'un matériau en plusieurs parties sous l'action d'une contrainte.

L'**essai de résilience** a été élaboré pour prendre en compte ces phénomènes de rupture.

Cet essai consiste à imposer un choc à l'aplomb de l'entaille d'une éprouvette, maintenue par deux appuis sur la face opposée, de façon à provoquer l'ouverture de la fissure entaillée : on utilise pour cela un mouton-pendule de Charpy.

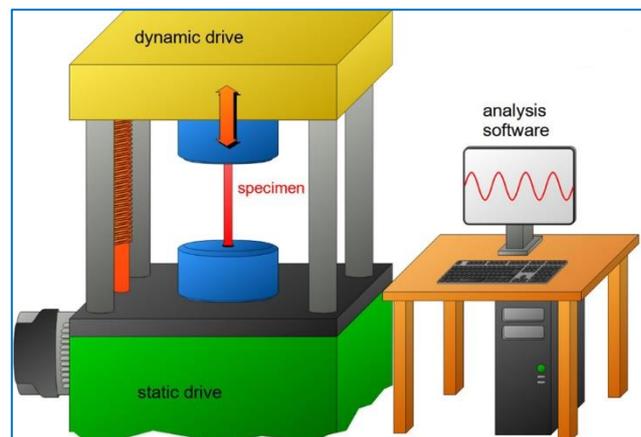
On détermine l'énergie absorbée « h » dont on déduit la résilience. La résilience est l'énergie exprimée en Joules/cm<sup>2</sup>. On la note K<sub>Cv</sub> ou K<sub>Cu</sub> (Charpy + entaille V ou U)



## Tests de fatigue

La **fatigue** des matériaux est l'endommagement ou la défaillance d'un matériau ou d'un composant soumis à des contraintes variables dans le temps et fréquemment répétées.

La fatigue des matériaux est causée par la déformation plastique, qui, dans sa forme la plus petite, est appelée déformation microplastique. Sous l'effet d'une charge supplémentaire (par exemple, développement de fissures), ce dommage pourra alors s'aggraver jusqu'à la défaillance finale du matériau ou du composant.



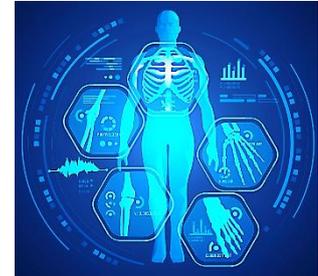
L'enquête sur de nombreux cas de dommages a abouti aux conclusions suivantes :

- Défaillance soudaine de composants, fonctionnant sans problème depuis longtemps.
- La défaillance n'est pas due à une seule surcharge.
- La défaillance du matériau se produit bien en dessous des limites de résistance statique.
- La charge varie dans le temps et est souvent répétitive.

## Les Contrôles Non Destructifs (CND)

Le Contrôle Non Destructif (CND), appelé aussi Essais Non Destructifs (END) regroupe l'ensemble des procédés et techniques qui permettent de donner des informations sur l'intégrité et la santé d'un matériau ou d'une pièce sans l'altérer ou la détruire.

Le CND est aux matériaux ce que l'imagerie médicale est au corps humain.



### Les applications du CND

Tous les secteurs industriels utilisent le CND : aéronautique, aérospatial, nucléaire, pétrochimie, ferroviaire, automobile, métallurgie, fonderie... sur des pièces importantes pour la sûreté d'un équipement ou d'une installation.

Les CND doivent permettre la mise en évidence de tous les défauts susceptibles d'altérer la conformité d'une pièce à l'usage auquel elle est destinée.

Le CND est appliqué aux pièces forgées, laminées, moulées soudées... dans trois cas :

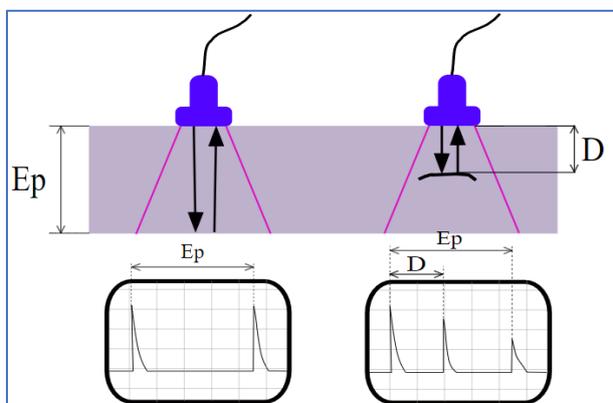
- le contrôle en cours de fabrication, qui aboutit en général au tri de pièces défectueuses
- le contrôle en réception de pièce ou d'installation pour détecter, définir la nature et caractériser des défauts
- le contrôle en service pour détecter, définir et dimensionner des défauts apparaissant en cours de vie et suivre leur évolution dans le temps

### Les types de défauts recherchés

On recherche deux types de défauts :

- les défauts de surface comme des criques, trous, fissures, piqûres...
- les défauts internes comme des porosités, soufflures, inclusions, fissurations non débouchantes, variations d'épaisseur due à l'usure ou à la corrosion

### Les ultrasons



La technique des ultrasons repose sur la propagation dans la pièce d'une onde ultrasonore.

Dès que l'onde sonore rencontre une discontinuité (bord de la pièce ou défaut), cela génère un écho : une partie de l'onde sonore est renvoyée vers la source.

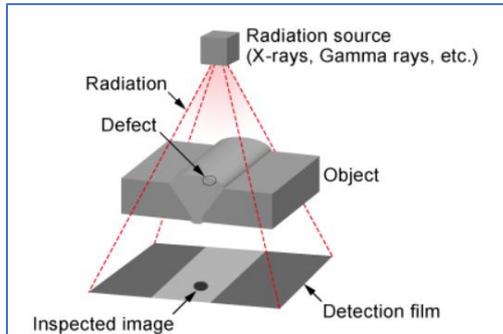
En connaissant la vitesse de propagation de l'onde sonore dans le matériau et le temps mis par l'onde pour aller jusqu'à la discontinuité et revenir, on peut calculer la profondeur de la discontinuité.

Vitesse de propagation des sons dans l'air : 330 m/s

Vitesse de propagation des sons dans l'eau : 1 500 m/s

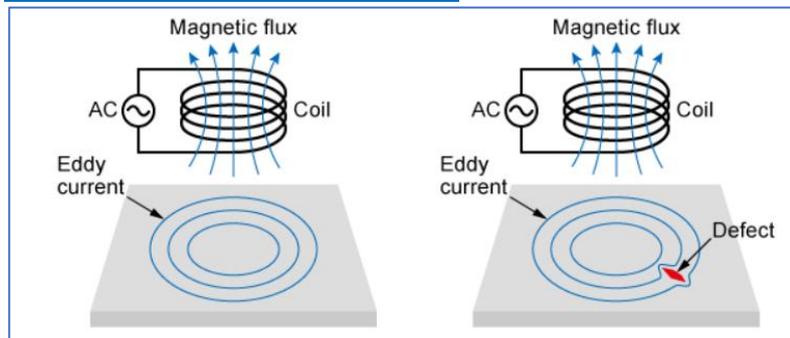
Vitesse de propagation des sons dans les métaux : entre 4 000 m/s et 6 000 m/s

## La radiographie



La radiographie industrielle consiste à faire traverser par un rayonnement électromagnétique de très courte longueur d'onde, comme les rayons X ou les rayons  $\gamma$ , la matière à inspecter. Lors de leur passage à l'intérieur de la pièce, les photons voient leur énergie absorbée totalement ou partiellement par la matière, selon sa densité. Un film placé derrière la pièce est irradié par les photons qui ont encore suffisamment d'énergie. Il récupère ainsi le radiogramme, où les zones avec des défauts sont représentées par une variation de la densité optique

## Les courants de Foucault



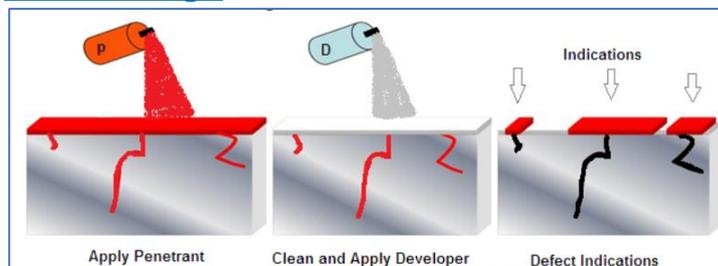
Cette technique utilise des courants induits, à l'intérieur de la pièce, par le champ magnétique généré par l'appareil de mesure.

Les courants induits, parce qu'ils forment des boucles et sont à la même fréquence que le courant d'excitation, engendrent un champ

magnétique alternatif de réaction sortant de la pièce à inspecter. Les défauts superficiels dévient les lignes des courants de Foucault, et par suite modifient le champ magnétique résultant. La variation du champ magnétique est enfin mesurée au moyen d'un élément sensible au champ magnétique alternatif, qui peut être une bobine ou un capteur de champ magnétique.

L'utilisation des courants de Foucault est limitée aux pièces électriquement conductrices. Elle s'étend de l'inspection des tubes (échangeurs, générateurs de vapeurs de centrales nucléaires) à la recherche des défauts débouchant sur des surfaces plus ou moins planes. Il est aussi possible de mesurer des épaisseurs de parois.

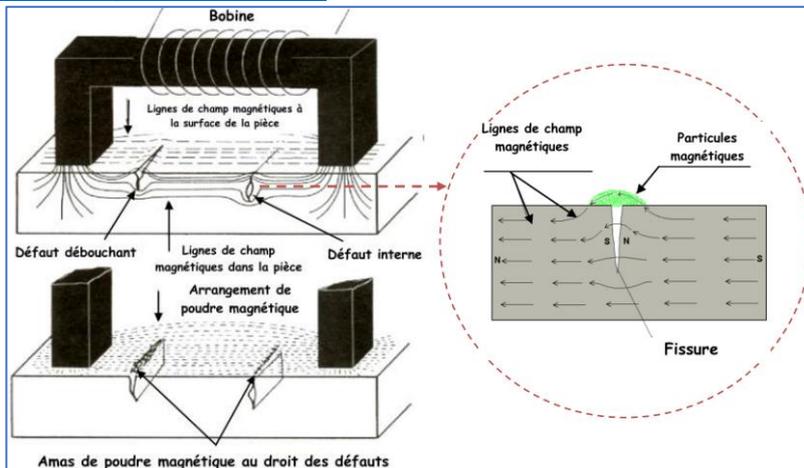
## Le ressuage



Le ressuage consiste à appliquer sur la surface de la pièce à contrôler, préalablement nettoyée et séchée, un liquide d'imprégnation coloré ou fluorescent. Ce liquide pénètre, par capillarité, dans les ouvertures des défauts. Après un certain temps, l'excès de liquide présent à la

surface de la pièce est éliminé par lavage. La surface est ensuite recouverte d'un révélateur qui attire le liquide d'imprégnation retenu dans les défauts, ce que désigne le terme « ressuage ». Il donne ainsi une indication renforcée de ceux-ci, dont l'observation est généralement réalisée visuellement.

## La magnétoscopie



Le contrôle par flux de fuite magnétique consiste à soumettre la pièce à un champ magnétique constant.

Les défauts superficiels provoquent une déviation des lignes de champ. Ils sont ensuite généralement visualisés soit à l'aide d'un produit indicateur porteur de limaille de fer (magnétoscopie), soit à l'aide d'un film

magnétisable (Magnétographie), soit à l'aide d'appareils de mesure de champ magnétique.

## La thermographie Infrarouge



La thermographie infrarouge est une méthode d'essai non destructif basée sur la mesure des températures de surface qui met essentiellement en œuvre les transferts de chaleur par conduction et rayonnement thermiques.

On chauffe de manière contrôlée la surface du matériau à inspecter et on mesure l'évolution de température grâce à une caméra infrarouge.

Dans le cas de pièces défectueuses, l'analyse de la séquence d'images permet de mettre en évidence des discontinuités dans la propagation de la chaleur. Celles-ci peuvent être dues par exemple à un délaminage, une fissure ou une infiltration d'eau.

## L'examen visuel et télévisuel



Le contrôle visuel permet de mettre en évidence plusieurs types de défauts :

### Suite à la fabrication, on peut détecter :

- les défauts de soudage: fissures, cratères, inclusions, manques de fusion, manques ou excès de pénétration, défauts d'alignements, ...
- sur pièce usinée: défaut d'état de surface, arrachement de matière, ....
- en fonderie: ride de peau, inclusion, peau d'orange, ....

### Lors d'opérations de maintenance, on peut détecter :

- pièce usinée: usure, corrosion, filetage détérioré, ....
- sur soudure: fissure de fatigue, défauts évolutifs, ....
- sur pièce: traces de chocs, frottement, usure, corrosion, fissure de fatigue, ....
- sur massif béton: fissure, épaufure, éclatement, délitement, affouillement, ....