

Effectués en laboratoire ou sur le terrain, ils apportent des renseignements précis et fiables sur les performances d'un matériau. Il en existe un grand nombre qui sont réglementés par des normes internationales pour la plupart.

## 1 PRINCIPAUX ESSAIS

Essais mécaniques (traction, dureté, résilience, fatigue, fluage...).

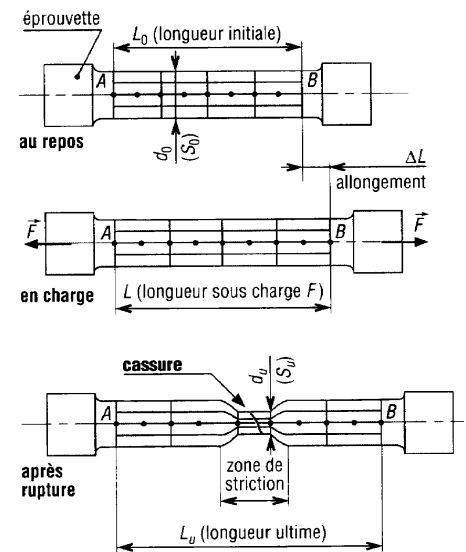
Essais pour la productivité (emboutissage, pliage, usinabilité...).

Essais sur les surfaces (abrasion, rayures, rugosité, adhérence...).

Essais sur les fluides (viscosité, écoulements...).

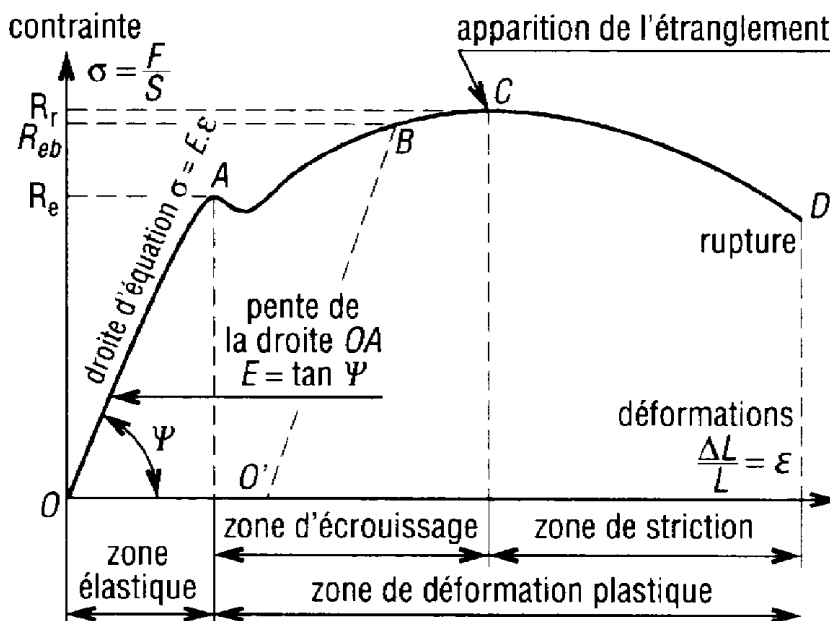
## 2 ESSAI DE TRACTION

Essai le plus classique, il consiste à exercer sur une éprouvette normalisée (pièce de dimensions normalisées fabriquée dans le matériau à tester), cylindrique ou parallélépipédique (plate), deux actions mécaniques et opposées qui vont la déformer progressivement puis la rompre.

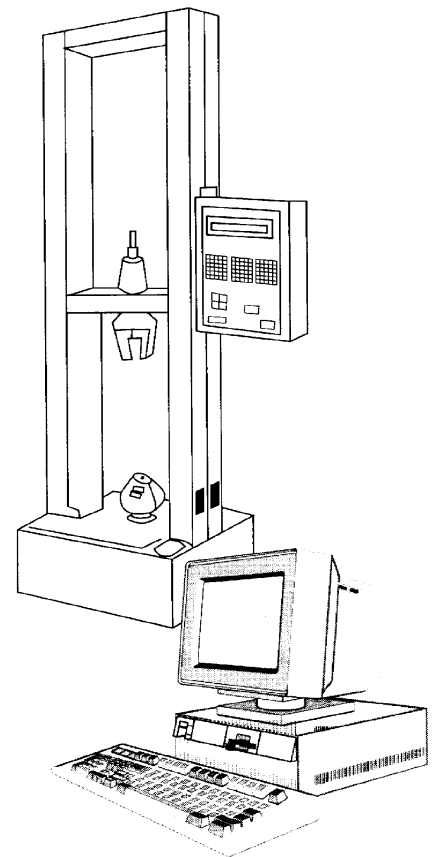


### 2-1 Courbes de contraintes et déformation

Pour un grand nombre de matériaux, comme les alliages, les courbes obtenues présentent une zone, appelée domaine élastique où le graphe est une droite (segment OA). Pour tous les points de cette droite, la déformation (ou l'allongement) est proportionnelle à la contrainte et le matériau se déforme



élastiquement.



## 2-2 Module d'élasticité longitudinale E MPa

Il caractérise la pente de la droite de proportionnalité précédente donc l'élasticité du matériau testé. Plus E est grand, plus le matériau est rigide et inversement.

**Exemples :** acier  $\Rightarrow E = 200\,000$  MPa et élastomère  $\Rightarrow E = 1$  MPa.

## 2-3 Loi de Hooke $\sigma = E \cdot \varepsilon$

Cette loi, ou équation de la droite OA, traduit la proportionnalité précédente  $\sigma$  en MPa, E en MPa et  $\varepsilon$  sans unité).

## 2-4 Limite élastique Re MPa

Elle marque la fin du domaine élastique (au point A). Pour les valeurs supérieures le matériau ne se déforme plus élastiquement mais plastiquement (l'éprouvette ne retrouve plus ses dimensions initiales après "déchargement", il subsiste un allongement permanent soit un phénomène de rémanence).

## 2-5 Limite conventionnelle d'élasticité Re 0,2 MPa

On utilise cette détermination pour les courbes de traction où le palier de fin de limite élastique n'apparaît pas nettement. Pour la mesure de Re on tolère une légère déformation permanente de 0,2% ( $A\% = 0,2$ ).

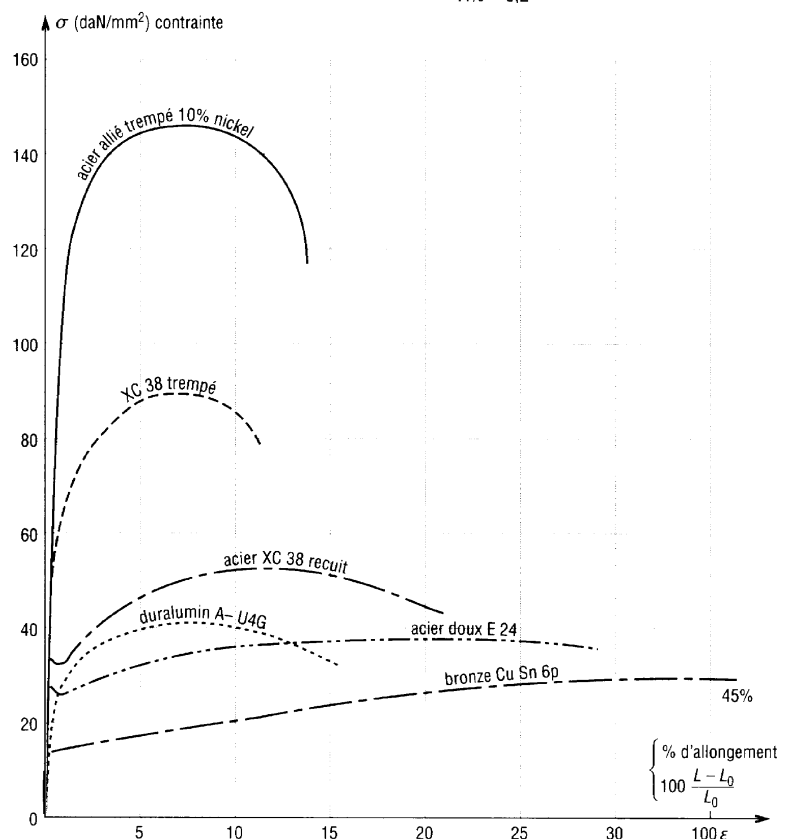
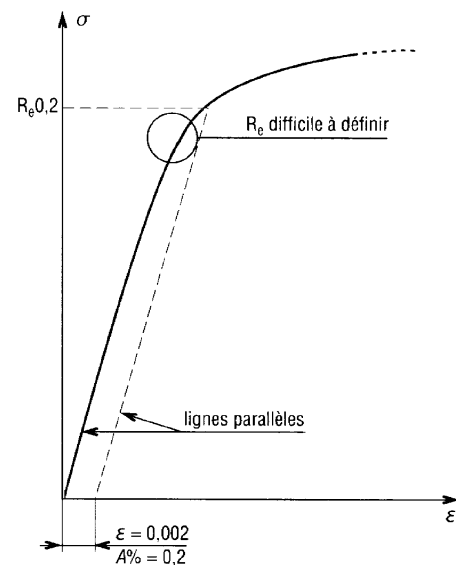
## 2-6 Limite maximale Rm MPa

C'est la contrainte maximale que peut supporter le matériau avant d'atteindre la zone de striction. Utilisé dans le calcul des organes de sécurité. Souvent appelée résistance à la rupture.

## 2-7 Phénomène d'écrouissage

Surtout employé en compression, il permet d'augmenter la limite élastique Re sans modifier la résistance à la rupture Rr. Dans un premier temps le matériau est déformé plastiquement avant point de striction, chemin OB. Au relâchement le "déchargement" se fait suivant la droite BO' parallèle à OA. Après remise en charge, la nouvelle courbe caractéristique du matériau est devenu O'BC avec Reb comme nouvelle limite élastique.

## 2-8 Courbes de traction de divers matériaux



### 3 ESSAI DE RESILIENCE

La résilience, de symbole général K, caractérise la capacité d'un matériau à absorber les chocs sans se rompre. Ce risque est amplifié aux basses températures. Elle est mesurée sur des machines du type Charpy (éprouvette sur deux appuis) ou Izod (éprouvette encastree).

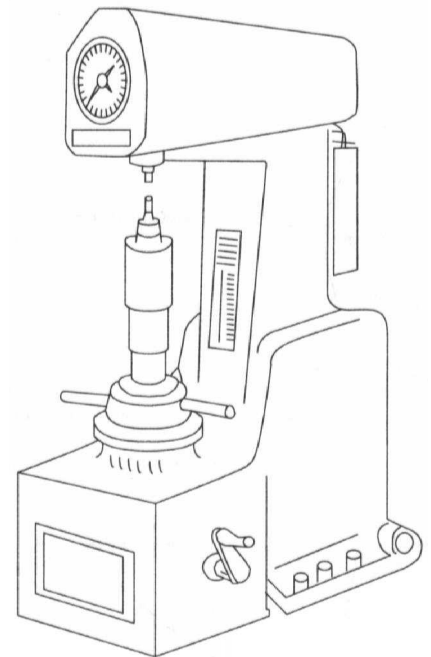
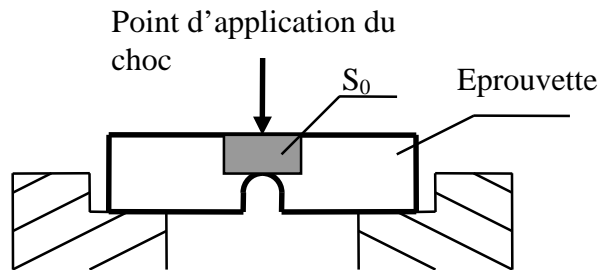
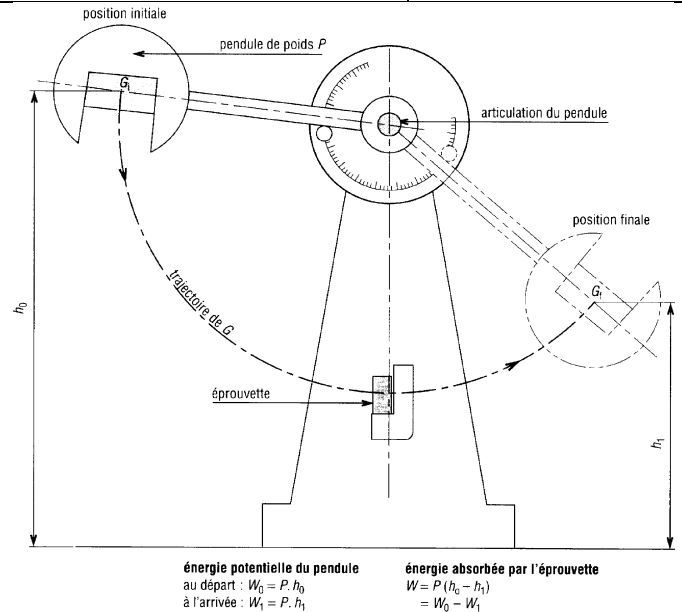
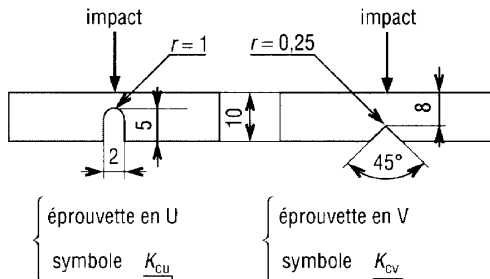
L'essai, qui est un essai **comparatif** entre matériaux, mesure l'énergie qu'il faut fournir à un pendule pesant pour briser une éprouvette entaillée du matériau à tester.

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

$$W = P \cdot h_0 - P \cdot h_1 = P (h_0 - h_1)$$

La résilience est égale au rapport de W sur l'aire de la section au droit de l'entaille.

Deux cas :  $K_{cu}$  ou  $K_{cv} = \frac{W_0 - W_1}{S_0}$



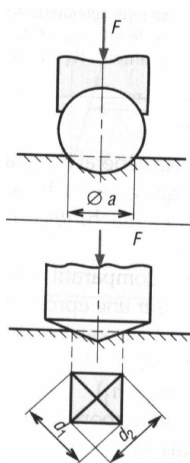
### 4- ESSAI DE DURETE

La dureté, de symbole général H, caractérise la capacité d'un matériau à résister au marquage (empreintes, rayures. . .), à l'usure et à l'érosion.

Elle peut être évaluée en mesurant une empreinte laissée en surface par un poinçon agissant sous l'action d'une force connue (essais Brinell, Vickers et Rockwell) mais aussi par une hauteur de rebondissement d'un objet très dur sur la surface à tester (essai Shore pour élastomères et plastiques).

#### 4-1 Dureté Brinell (symbole HB)

Elle est obtenue par calcul. Après essai, on mesure l'empreinte laissée par une bille polie (diamètre : 1-2,5-5-10 mm) et la valeur de la charge F appliquée pour obtenir cette empreinte (essai usuel : F = 3 000 daN, d = 10 mm, pendant 15 à 60 secondes). Utilisation : tous métaux.



$$HB = \frac{F}{10\pi \left( 5 - \sqrt{25 - \frac{d^2}{4}} \right)}$$

#### 4-2 Dureté Vickers (symbole HV)

Elle est obtenue par calcul ; le principe est identique au précédent mais avec une pyramide droite en diamant à base carrée dont l'angle au sommet est de  $136^\circ$ . Utilisation : tous métaux.  $HV = \frac{0.189 \times F}{d^2}$  tel que  $d=d_1+d_2$

Variante : essai Knoop (micro dureté, empreinte en forme de losange, matériaux durs pour petites pièces et pièces à sections fines).

#### 4-3 Dureté Rockwell (symbole HR)

C'est l'essai de dureté le plus connu mondialement. Dans ce cas, la dureté, contrairement à Brinell et Vickers, est obtenue par lecture directe d'une longueur d'enfoncement d'un pénétrateur bille acier ou cône diamant.

Une précharge ( $F_0$ ) permet de faire une empreinte initiale et, par là, d'éliminer les incertitudes propres aux défauts de la surface.

### 5- ESSAI DE FLUAGE

#### 5-1- Définition

Le fluage est la déformation continue des objets, avec le temps, sous l'action d'efforts appliqués constants.

#### 5-2- Essai

C'est un essai de traction, à chaud ou non, souvent de très longue durée (milliers d'heures).

La rupture par fluage se produit, après un temps long, sous des charges constantes bien inférieures à limites usuelles du matériau ( $R_r$  ou  $R_e$ ).

Ce phénomène est observé dans les systèmes travaillant pendant de longues durées (10, 20 ans...) ou dans les machines travaillant à températures élevées, comme les chaudières, les moteurs d'avion ou les aubes de turbine.

La chaleur accentue fortement le phénomène. Certains matériaux (matières plastiques...) sont sensibles au fluage à température ambiante.

### 6- ESSAI DE FATIGUE OU D'ENDURANCE

#### 6-1- Phénomène de fatigue

Il est de première importance sur les structures d'avions et dans de nombreux autres domaines (roulements, engrenages, arbres de transmission...). Une roue de voiture mal équilibrée est un exemple de système soumis à un phénomène de fatigue, un effet de résonance peut l'amplifier.

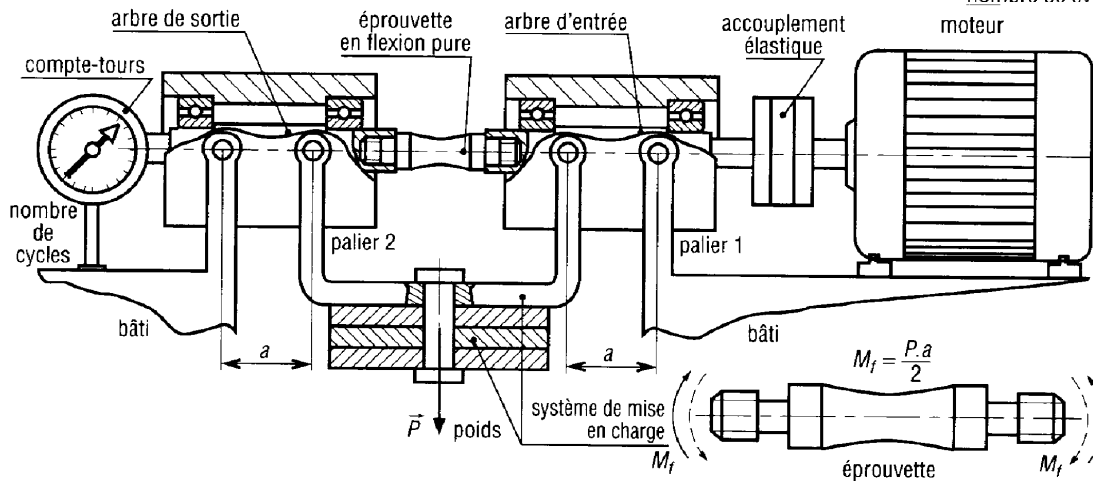
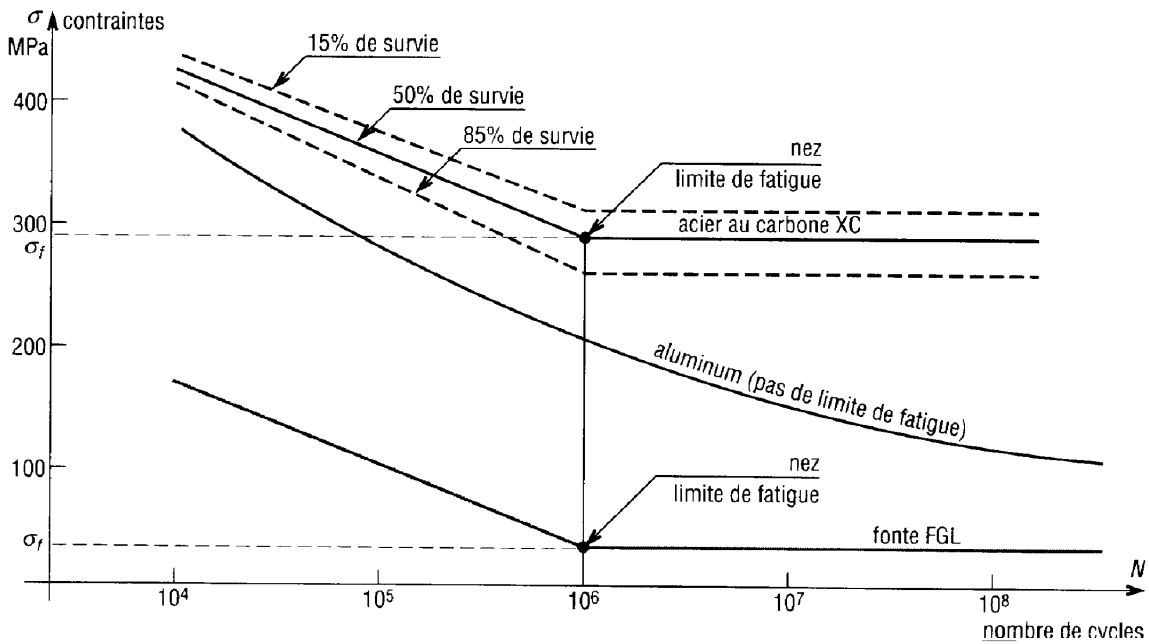
La rupture peut se produire, après un certain nombre de cycles ou allers et retours, sous des efforts bien inférieurs aux limites usuelles du matériau ( $R_r$  et  $R_e$ ).

#### 6-2- Essai de fatigue

C'est un essai statistique dans la mesure où des éprouvettes identiques, sous les mêmes conditions d'essai, donnent des résultats différents. Il y a une répartition statistique des résultats autour d'une valeur moyenne ou médiane. Cette valeur moyenne, une fois déterminée est choisie comme représentative de la capacité du matériau (analogie avec la durée de vie des roulements).

Il y a trois types d'essais de fatigue : traction compression, torsion alternée et flexion alternée (le plus classique) et flexion pure alternée  $M_f$ .

## Courbes d'endurance



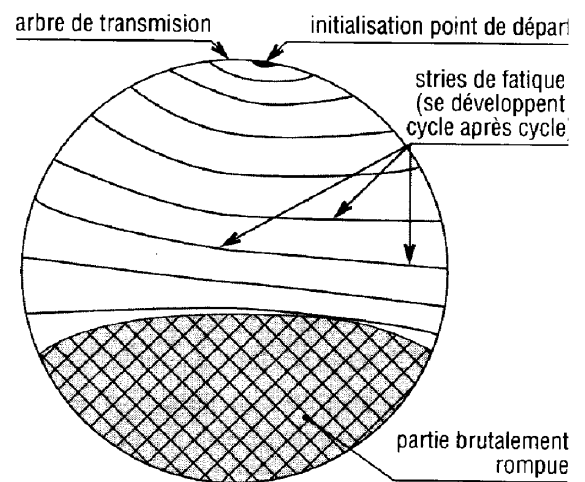
## 6-3- Mode de rupture

Les fissures de fatigue démarrent à partir des imperfections en surface soit :

rayures, empreintes, stries d'usure, arête de filetage, hétérogénéité due au traitement thermique, défauts du réseau cristallin...

Après amorce, la fissure s'agrandit sous l'action des efforts alternés qui écartent et rapprochent continuellement les parties fissurées ; il y a un phénomène de concentration de contraintes en ces points.

La rupture définitive se produit brutalement lorsque les dimensions de la partie non encore fissurée ne sont plus suffisantes pour supporter les charges exercées.



## 7- LES VERNIS CRAQUELANTS

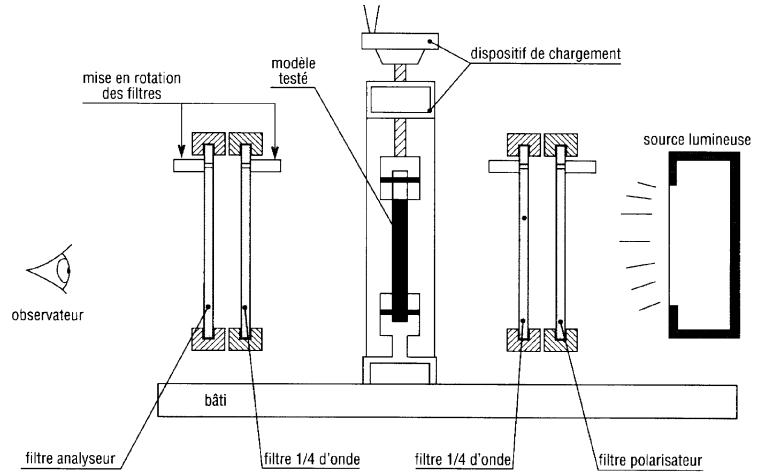
Projetés sur la surface à étudier comme un aérosol, ils sont utilisés pour localiser visuellement les zones les plus chargées et indiquer les directions principales des déformations.

Ils permettent de choisir les emplacements de collage des jauges de contraintes et leur orientation ; l'orientation des craquelures est toujours perpendiculaire à la direction de la déformation en traction la plus importante.

## 8- METHODES PHOTOELASTIQUES

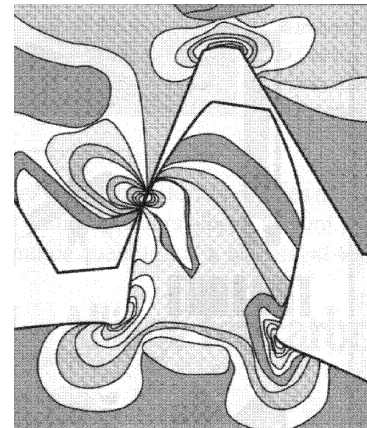
Plus précises que les vernis craquelant, ces méthodes permettent des études plus détaillées sur les zones les plus chargées, les directions principales des déformations par exemple. Les résultats sont particulièrement intéressants près des formes amenant des concentrations de contraintes (trous, encoches, épaulements...).

Une matière plastique transparente est utilisée pour modéliser l'objet réel. Un système optique spécial (polariscope), permet d'observer des motifs colorés, interpréter et visualiser les zones de contraintes. Il est ainsi possible, par dessins et essais successifs, d'améliorer la définition des objets.



Les pièces soumises à des vibrations ou des charges dynamiques peuvent être étudiées avec un système stroboscopique.

L'étude dans les trois dimensions est envisageable par tranches découpées dans des modèles 3D "figés".



## 9- EXTENSOMETRIE ELECTRIQUE

### 9-1 Principe

Elle est basée sur l'emploi des **jauges de contraintes**. C'est la méthode expérimentale la plus usuelle pour vérifier les résultats théoriques (calculs de contraintes, de déformations...).

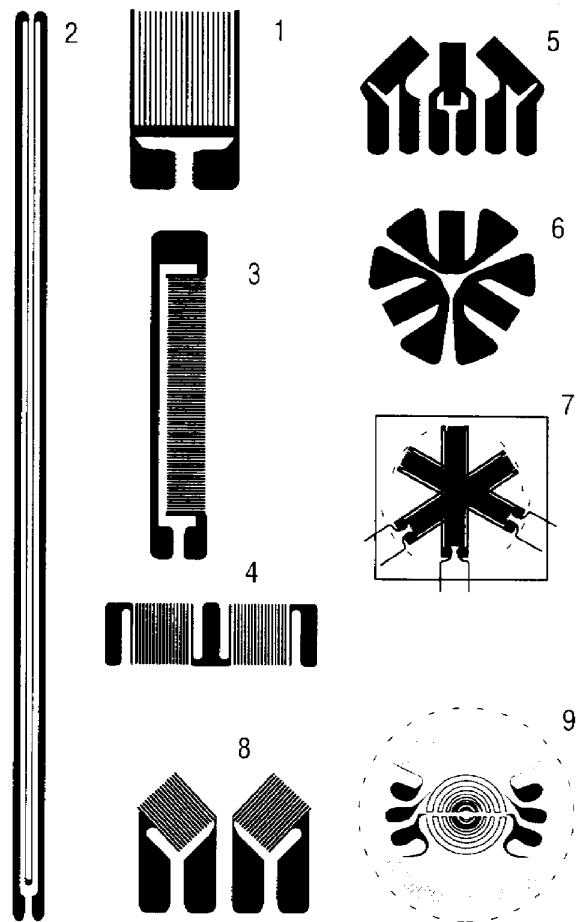
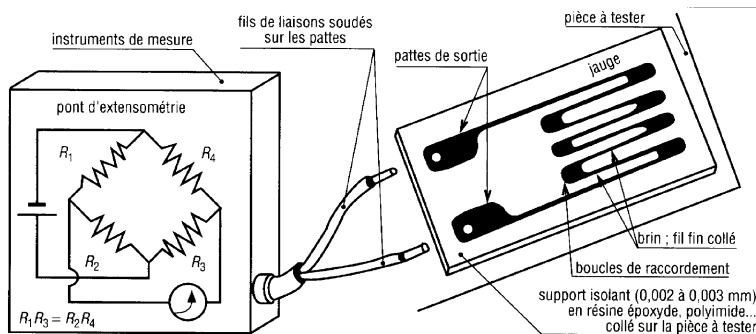
Les jauges sont collées sur la surface à étudier et mesurent les déformations en un point donné. La déformation subie est transformée en variation de résistance électrique mesurée par un pont d'extensométrie, c'est le principe du pont de Wheatstone. Les contraintes sont ensuite obtenues par calcul à partir des lois de la résistance des matériaux ou élasticité.

9-2 Essai

Sous l'effet d'un allongement la section du brin (fil) de la jauge diminue, il en résulte une variation de la résistance électrique du fil. En mesure, R1, est une jauge active collée sur la structure et R2, une jauge identique collée sur une pièce de même matière. R2, ne subit aucune contrainte et est à la même température que R1. Dans certains capteurs (forces, pressions, couples, déplacements...) on utilise généralement quatre jauges judicieusement disposées.

Une jauge peut servir très longtemps, cependant il n'est pas possible de la décoller sans la détruire.

Elles sont souvent fabriquées de la même manière que les circuits imprimés et sont disponibles dans plusieurs formes et dans de nombreuses dimensions (0,1 mm à 10 cm et plus).



jauges simples 1 2 3 ; rosette à 2 jauges 4 ;  
rosette à 3 jauges 5 6 7 ; pour torsion et  
cisaillement 8 ; capteurs de pression 9