

**Objectifs**

Identifier les propriétés d'un matériau vis-à-vis du comportement souhaité d'une pièce

# 7 COMPORTEMENT MÉCANIQUE DES MATÉRIAUX

## 1 Choix d'un matériau

Le choix d'un matériau a de nombreuses répercussions, sur la forme d'une pièce, sa réalisation, le coût de production du produit et de fonctionnement (par exemple, la consommation en carburant d'un véhicule est fonction de son poids) etc. Il est donc important de définir précisément les caractéristiques requises du matériau pour effectuer ce choix.

La figure 1 montre l'influence d'une caractéristique mécanique (ici la dureté du matériau plastique de la bande de roulement) sur l'aptitude au fonctionnement d'une roue de roller. La valeur choisie sera le résultat d'un compromis entre les qualités finales que l'on cherche à obtenir pour le produit.

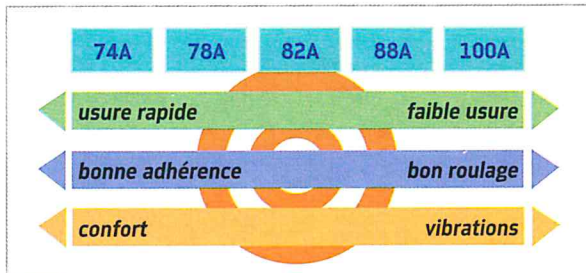


Fig. 1 Comportement d'une roue de roller selon sa dureté

L'ensemble des caractéristiques à prendre en compte pour le choix d'un matériau peut être résumé dans le tableau suivant :

Caractéristiques mécaniques	Caractéristiques physico-chimiques	Caractéristiques de mise en œuvre	Caractéristiques socio-économiques	Caractéristiques écologiques
Concernent les efforts appliqués à l'ensemble étudié et permettent de le dimensionner en fonction du matériau choisi	Concernent les agressions par le milieu extérieur et permettent de déterminer le traitement de surface adapté, ou les qualités thermique et électriques	Concernent la fabrication de l'objet et permettent de trouver le procédé d'obtention adapté au choix du matériau	Concernent les transactions commerciales liées à la fabrication et la vente du produit : coût de revient, prix de vente, marché, délais, emplois, localisation	Concernent, les critères environnementaux, le long du cycle de vie et participent à la détermination de l'empreinte écologique du produit
Masse Élasticité-plasticité Dureté Résilience Tenue en fatigue, etc.	Corrosion Vieillessement Conductibilité Coefficient de dilatation thermique etc.	Formabilité Soudabilité Trepabilité Température de fusion Thermo-plasticité, etc.	Prix et disponibilité de la matière première, coût de production, etc.	Ponction sur les ressources naturelles Recyclabilité Durabilité, Énergie grise etc.

## 2 Caractéristiques physiques élémentaires

### a Masse volumique

La masse volumique est définie comme étant le rapport de la masse d'un objet par le volume qu'il occupe :  $\rho = \frac{M \text{ (kg)}}{V \text{ (m}^3\text{)}}$ .

Un contrepoids d'équilibrage de machine à laver, un volant d'inertie permettant de régulariser le pédalage d'un vélo d'entraînement, etc. sont réalisés en matériaux à masse volumique importante.

A *contrario* l'aéronautique et le bâtiment utilisent souvent des matériaux à faible masse volumique (matériaux composites, aluminium...) pour obtenir un bon compromis entre alléger les structures et les rendre résistantes.

## EXEMPLE

Matériau	Air à 20°C	Eau pure à 4°	Acier	Fonte	Aluminium	Cuivre	Plomb
Masse Volumique $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	1,2	1000	7850	6800-7400	2700	8920	11350
Densité à l'eau (moyenne)	/	1	7,8	7	2,7	8,9	11,3

Matériau	Béton	Verre à vitres	P.E.T	Nylon	Balsa	Chêne	Tungstène
Masse Volumique $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	2200	2530	890 à 980	1140	140	600 à 1200	17600
Densité à l'eau (moyenne)	2,2	2,5	0,89	1,14	0,5 à 0,8 à 15% d'humidité		17,6

## ACTIVITÉ 1

Un avion de ligne A380-700 de 267 tonnes est composé en masse de 20 % d'aluminium (essentiellement pour le fuselage). Calculer la masse d'acier qu'il faudrait soulever si l'on utilisait le même volume de matière.

Chauffer un gaz augmente son volume, ceci diminue sa densité à l'air : sur les montgolfières est installé un brûleur permettant de réchauffer l'air pour faire s'élever la nacelle.

## b Densité

$$d_{\text{air}} = \frac{\rho_{\text{gaz}}}{\rho_{\text{air}}}$$

La densité est le rapport entre la masse volumique du matériau à caractériser et la masse volumique de référence. Selon que l'on cherche à caractériser :

► un gaz, on calculera sa densité à l'air :  $d_{\text{air}} = \frac{\rho_{\text{gaz}}}{\rho_{\text{air}}}$ , (avec  $\rho_{\text{air}}$  pris à 20 °C) ;

► un liquide et un solide, on calculera sa densité à l'eau :  $d_{\text{eau}} = \frac{\rho_{\text{solide/liquide}}}{\rho_{\text{eau pure}}}$  (avec  $\rho_{\text{eau pure}}$  pris à 4 °C).

La densité de référence vaut donc 1. Pour les autres matériaux on donne un nombre sans unité.

## ACTIVITÉ 2

Calculer la densité du plomb relative à l'eau.

## ACTIVITÉ 3

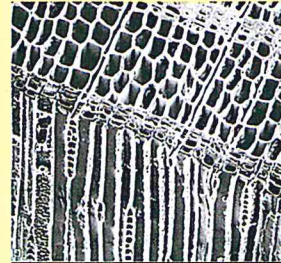
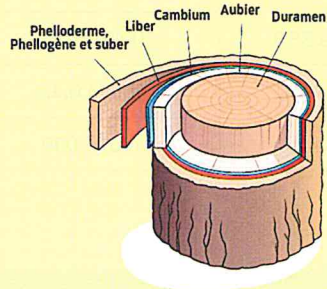
Calculer la masse d'un litre d'huile sachant que la densité relative à l'eau de l'huile est égale à 0,9. De l'huile versée dans l'eau va-t-elle remonter à la surface ?

**c Homogénéité**

Un matériau est homogène s'il possède, en tout point, la même composition et la même structure. Les propriétés chimiques et physiques sont par voie de conséquence les mêmes.

**ACTIVITÉ 4**

La figure ci-dessous montre une coupe transversale d'un arbre. Est-il homogène ?



Parmi les objets suivants indiquez ceux dont le matériau est homogène et les classez par ordre de densité croissante : un matelas en Bultex®, un mur en béton armé, un panneau de bois aggloméré, un double vitrage, un parpaing en ciment.

**d Isotropie**

Un matériau est isotrope s'il présente les mêmes caractéristiques mécaniques dans toutes les directions de la matière :

- ▶ Les métaux et alliages sont généralement isotropes.
- ▶ Le bois et les matériaux composites sont anisotropes.

**e Porosité, perméabilité**

La **porosité** est un nombre sans dimension qui est le rapport du volume de vide d'un matériau à son volume enveloppe total :  $porosité = \frac{V_{vide}}{V_{totale}}$ .

**EXEMPLE**

La pierre ponce (roche volcanique de faible densité) est utilisée pour exfolier et enlever les peaux mortes. Elle présente de nombreux trous en surface, elle est donc poreuse. Son volume total est donné par ses dimensions extérieures (L x l x h) et son volume de vide peut, lui, être estimé par la masse du volume d'eau qu'elle absorbe quand on l'immerge de façon prolongée.

La **perméabilité**  $k$  est la propriété d'un corps qui est traversé par un fluide (liquide ou gaz).

Elle est exprimée en Darcy ( $1 \text{ Darcy} = 0,98 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$ ) et ne dépend pas du fluide.

Pour connaître la vitesse d'écoulement d'un fluide, de masse volumique  $\rho$ , de viscosité dynamique  $\mu$  (mesurée en Pascal seconde), à travers un matériau on utilise le coefficient de conductivité hydraulique  $K$  et la loi de Darcy :

$$K (m/s) = \frac{K \cdot \rho \cdot g}{\mu} \left[ \frac{m^2 \cdot \frac{Kg}{m^3} \cdot \frac{m}{s^2}}{Pa \cdot S} \right] \quad \text{Loi de Darcy : } Q_v = K.A. \frac{\Delta H}{L}$$

où  $Q$  est le débit volumique d'écoulement du fluide, à la surface de la section mesurée,  $\Delta H$  la variation de hauteur et  $L$  la longueur de mesure.

ne pas confondre porosité avec capacité de rétention : une éponge est poreuse. Dès l'avoir plongée sous l'eau, une partie du volume absorbé est jetée dès qu'on la sort, une autre partie est conservée. Cette dernière partie peut être déterminée en essant l'éponge, ce qui illustre sa capacité de rétention.

La perméabilité est utilisée pour caractériser la propriété des tissus ou des façades à empêcher la traversée de l'air ou de l'eau.

Ne pas confondre imperméabilité et déperlance qui n'est pas une qualité du matériau mais un traitement appliqué à sa surface pour le rendre imperméable à une certaine quantité d'eau reçue.

Matière poreuse (roche ou sédiment)	Porosité totale (L/m <sup>3</sup> )	K (Darcy)	Coef. perméabilité (m/s)
Sable	450 à 300	0,25 à 0,35	10 <sup>-3</sup> à 10 <sup>-6</sup>
Argile	550 à 350	0,40 à 0,50	10 <sup>-7</sup> à 10 <sup>-9</sup> (imperméable)
Craie	400 à 100	0,10 à 0,40	10 <sup>-3</sup> à 10 <sup>-5</sup>
Calcaire	100 à 10	0,01 à 0,10	10 <sup>-2</sup> à 10 <sup>-6</sup>

## 3 Propriétés mécaniques

Lorsqu'on cherche à prévoir si une pièce va résister aux efforts qu'on lui applique, il est nécessaire de connaître les grandeurs mécaniques caractéristiques des matériaux en relations avec les propriétés des efforts (valeur, étendue de la surface d'application, vitesse et fréquence d'application).

On est donc amené à réaliser des essais mécaniques (qui font, en général, l'objet d'une normalisation). Chacun de ces essais mécaniques permet de quantifier une ou plusieurs grandeurs caractéristiques du matériau étudié. Parmi eux on trouve :

- ▶ l'essai de rupture en traction ;
- ▶ les essais de dureté ;
- ▶ l'essai de rupture au choc en flexion (aussi appelé essai de résilience).

### a Essai de traction

Trois questions, trois réponses :

La pièce va-t-elle casser ?	Non, tant que la limite de résistance à la rupture n'est pas dépassée
La pièce va-t-elle rester déformée ?	Non, tant que la limite de résistance élastique n'est pas dépassée
Quelle va être la dimension déformée de la pièce sous charge ?	Elle sera calculée à partir de sa longueur d'origine et de son allongement relatif

Les grandeurs caractéristiques du matériau permettant de répondre à ces questions sont issues de l'essai de traction (la traction est une contrainte appliquée pour étirer une pièce).

L'essai de traction consiste à « tirer » lentement sur une éprouvette fabriquée dans le matériau à tester et ce jusqu'à la rupture de l'éprouvette. L'essai de traction est donc un essai destructif.

Durant cet essai, on enregistre la courbe donnant, en fonction de l'allongement de l'éprouvette (en mm), l'intensité de l'action mécanique avec laquelle on « tire » sur l'éprouvette, en Newton (N). On retranscrit les résultats sous la forme d'une courbe sur laquelle on reporte en abscisse les valeurs

de l'allongement relatif  $\varepsilon_x = \frac{\Delta L (mm)}{L (mm)}$  : allongement unitaire relatif (allongement de chaque tranche

d'éprouvette d'une longueur de 1 mm) et en ordonnée la contrainte  $\sigma = N/S_0$ , contrainte normale en [MPa] = [N/mm<sup>2</sup>] représentant la force appliquée sur chaque mm<sup>2</sup> de la section (tranche) de l'éprouvette.

Selon les matériaux et l'usage que l'on souhaite en faire, il est aussi possible de réaliser des essais de traction à chaud, de flexion, de compression, ou de cisaillement. Par exemple, le béton est un matériau qui résiste mal en traction mais à une résistance en compression élevée.

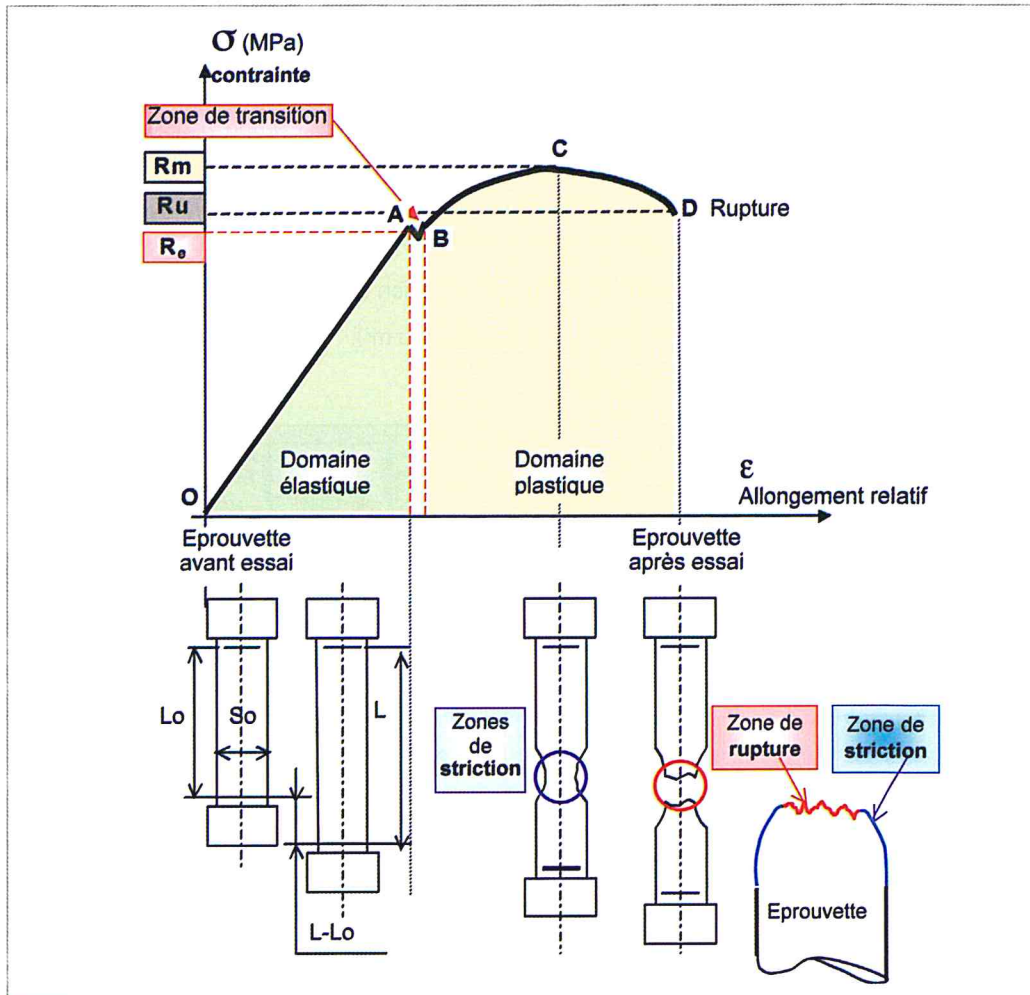


Fig. 2 Diagramme de l'essai de traction

Le tracé de la courbe (voir figure 2) définit 3 zones :

- ▶ le **domaine élastique**. Pour tous les points du segment [OA], la déformation est donc proportionnelle à la contrainte. La suppression de la charge entraîne la suppression de la déformation, l'éprouvette reprend sa forme et sa dimension d'origine. Le matériau est *parfaitement élastique*. On en déduit en A : **Re Résistance élastique** [MPa] ou limite élastique qui est la contrainte maximale admise par l'éprouvette dans le *domaine élastique*  $Re = \frac{Fe}{S_0}$  (N/mm<sup>2</sup>), et E : *module de Young d'élasticité longitudinale* [MPa] qui caractérise la pente de la droite de proportionnalité (OA). Plus E est grand et plus le matériau est rigide ;
- ▶ le **domaine plastique** (partie BC). L'allongement n'est plus proportionnel à l'effort appliqué. À la suppression de la charge, il reste une déformation, l'éprouvette ne reprend pas sa longueur initiale. L'éprouvette a une déformation plastique (permanente). En C correspond une intensité **Rm** qui est la contrainte maximale que l'éprouvette ne doit pas dépasser pour conserver ses propriétés ;
- ▶ la **zone de striction** (partie CD). On relâche l'effort appliqué, mais l'allongement continue de croître. Il apparaît un étranglement, ou striction, qui s'accroît jusqu'à la rupture en D. En D correspond **Ru** contrainte maximale admise par l'éprouvette au moment de la rupture.

Après l'essai, on réunit les deux morceaux de l'éprouvette et on mesure leur longueur cumulée ainsi que la dimension de la section au droit de la rupture  $S_u$ .

On détermine alors sa longueur finale au moment de la rupture :  $l_u$ .

On analyse et interprète les résultats pour déterminer son **allongement** % :  $A\% = 100 \frac{l_u - l_0}{l_0}$   
 et son coefficient de striction  $Z\% = \frac{S_0 - S_u}{S_0}$ .

On peut dès lors définir les propriétés suivantes :

- ▷ **Élasticité** : elle caractérise l'aptitude qu'a un matériau à reprendre sa forme et ses dimensions initiales après avoir été déformé. Un ressort a un comportement élastique ;
- ▷ **Plasticité** : un matériau qui ne reprend pas sa forme et ses dimensions initiales après avoir été déformé est dit plastique. La pâte à modeler, le zinc, le cuivre ont un comportement plastique ;
- ▷ **loi de Hooke** : ( $\sigma = E \cdot \epsilon$ ). Cette loi, ou équation de la droite OA, traduit la proportionnalité entre contraintes et déformations dans la zone élastique.

N : composante normale de la force de cohésion en Newton(s).

$S_0$  : section initiale de l'éprouvette en  $\text{mm}^2$  (ou  $\text{m}^2$ ).

Exemples de valeurs usuelles :

	Acier courant	Acier à grande résistance	Fonte	Alliage d'aluminium	Cuivre	Matières plastiques	Fibre de verre	Fibre de carbone	Bois	Béton
Re (MPa)	180 à 360	650 à 1500		35 à 200	70 à 1350					
R (MPa)	290 à 670	800 à 2000	100 à 900	80 à 350	200 à 1400	15 à 30	3 500 à 4 700	2 000	10 à 20	1,1 à 5,3
A%	10 à 30	8 à 40	0,8 à 25	3 à 35	3 à 28	300 à 800				
E (MPa)	210 000 à 220 000		80 000 à 170 000	75 000	90 000 à 150 000	200 à 5 000	80 000	240 000 à 640 000	10 000 à 15 000	20 000 à 50 000

## b Essai de dureté

La **dureté** est la caractéristique exprimant la résistance du matériau à l'application d'un effort sur une petite surface (localisée). L'inverse d'une **matière dure** est une matière molle. La valeur de la dureté est généralement obtenue à partir d'une échelle, par comparaison entre matériaux, le plus dur pénétrant ou rayant le plus mou.

### EXEMPLE

Le diamant pur est la substance minérale non traitée la plus dure connue, elle rayera n'importe quel autre matériau normal.

La dureté, généralement caractérisée par de forts liens intermoléculaires, diminue aux hautes températures.

Il y a trois principales façons de qualifier la dureté :

- la résistance aux déformations permanentes dues au frottement d'un objet pointu : c'est la **dureté d'éraflure** (résistance à l'usure, à l'abrasion) ;
  - la résistance aux déformations permanentes dues à l'enfoncement d'un objet pointu : c'est la **dureté de pénétration** (résistance au marquage) ;
  - la longueur du rebond d'un objet ayant chuté sur le matériau : c'est la **dureté de rebond**, liée à l'élasticité.
- ▷ La **dureté d'éraflure** utilisée pour les minéraux peut être quantifiée par l'échelle de Mohs. Elle est basée sur dix minéraux facilement disponibles. C'est une échelle ordinale, qui nécessite de procéder par comparaison avec deux autres minéraux dont on connaît déjà la dureté. Cette échelle n'est ni linéaire ni logarithmique.
  - ▷ 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. Elle peut être quantifiée par les caractéristiques de dureté :

- Rockwell (HRB ou HRC), Vickers (HV) et Brinell (HB) pour les métaux ;
- Knoop (HK) pour les matériaux fragiles (verre et céramiques) ;
- Monnin et Janka pour le bois ;
- Shore pour les matériaux plastiques, les élastomères les cuirs et des bois (Shore A pour les matériaux mous, Shore D pour les durs) ;
- Barcol, pour les matières composites ;
- par nano-indentation pour les nano-matériaux.

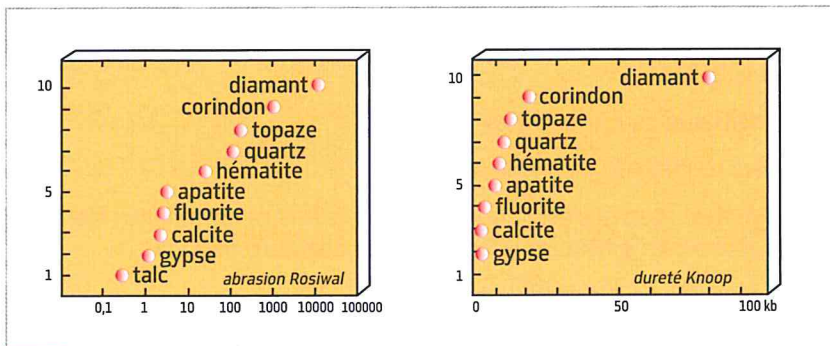


Fig. 3 Comparaison des duretés Rosiwal et Knoop

MATIÈRES ET STRUCTURES

**ACTIVITÉ 5**

Choisir l'échelle qui va être utilisée pour qualifier la dureté des pneumatiques de véhicules.

► La **dureté de rebond**, ou dureté dynamique, est utilisée pour les bétons. Elle peut être quantifiée par la dureté de Bennett. Un ressort de tarage connu projette une bille en acier sur le parement en béton. Le béton sera d'autant plus grand que la hauteur de rebond mesurée sera importante.

Les solutions pour augmenter la dureté sont :

- des solutions mécaniques : écrouissage, galetage, grenailage ;
- des solutions chimiques : trempe des métaux ferreux.

**C Essai de rupture en flexion par choc (norme ISO 148-1)**

Les formes et les dimensions des pièces influencent les capacités à résister aux chocs.

L'énergie de rupture, de symbole général K, caractérise la capacité d'un matériau à absorber les chocs sans se rompre.

L'essai mesure l'énergie qu'il faut fournir à un pendule pesant, pour briser une éprouvette entaillée (en U ou en V), réalisée dans le matériau à tester.

L'énergie de rupture est exprimée en Joule.

Lorsque cette énergie est faible on dit que le matériau est peu résilient.

L'énergie de rupture diminue aux basses températures.

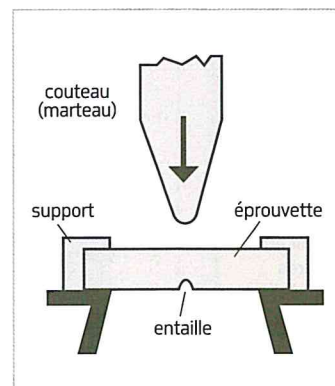


Fig. 4 Essai de rupture

Exemples de valeurs usuelles							
	Acier	Acier non allié	Acier allié	Fonte	Alu	Alliage cuivre	Matière plastique
Kv (0°)	25 à 40	50	20 à 90	15	15	30 à 50	

La **ductilité** est l'aptitude qu'a un matériau à se déformer sans se rompre. C'est une déformation plastique. Elle s'oppose à la **fragilité**.

Ces deux caractères peuvent être appréciés à partir du comportement durant :

- l'essai de rupture en flexion par choc par l'observation du faciès de rupture (voir figures 6 et 7) ;
- l'essai de traction par la détermination de son allongement % (si  $A\% > 5\%$ , le matériau est considéré comme ductile, si  $A\% < 5\%$ , le matériau est dit fragile) et de son coefficient de striction  $z$  (si  $z$  est grand ( $> 5$ ) le matériau est ductile, si  $z$  est faible ( $< 0,1$ ) le matériau est semi-fragile).

► Un matériau est **ductile** si :

- son allongement et sa striction à la rupture sont importants (ex. : les métaux sont généralement des matériaux ductiles) ;
- l'énergie dépensée pour le casser est importante.

► Inversement un matériau est **fragile** si :

- son allongement et sa striction à la rupture sont faibles, la déformation n'est pas visible à l'œil nu avant la rupture (ex. : le béton et la fonte sont des matériaux fragiles) ;
- l'énergie dépensée pour le casser est faible.

Il y a une relation entre l'énergie de rupture et le caractère fragile ou ductile.

## EXEMPLE

Le verre utilisé pour les vitrages a une faible énergie de rupture, il est aussi fragile.

Dans le langage courant, on parle de « fragilité » pour désigner un matériau qui rompt sous l'action d'une petite force. C'est en fait un matériau peu résistant.

La ductilité dépend de la température, de la pression et de la vitesse de déformation :

- quand la température augmente, le seuil de plasticité diminue ;
- quand la pression augmente, le seuil de rupture augmente ;
- quand la vitesse de déformation augmente, le seuil de rupture diminue.

La malléabilité est une propriété voisine de la ductilité qui évalue la capacité d'un matériau à être réduit en tôle de faible épaisseur. Par exemple, l'or et le cuivre sont très ductiles et malléables.



Fig. 5 Faciès de rupture fragile (fracture)



Fig. 6 Faciès de rupture ductile (cupules d'arrachement)

## 4 Mesure du frottement

Le frottement peut être défini comme l'ensemble des phénomènes physico-chimiques qui ont tendance à empêcher deux solides en contact à se déplacer l'un par rapport à l'autre à l'endroit du contact.

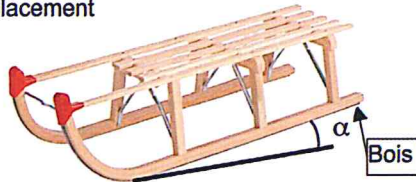
Réalisons les expériences suivantes.



EXEMPLE

1. Demandons à la même personne de monter sur deux luges en bois, l'une avec des patins en bois, l'autre avec des patins en métal. On les place au même endroit d'une pente enneigée et on constate que pour le même angle d'inclinaison, la même charge, les mêmes dimensions de luge, c'est toujours la luge aux patins en métal qui se déplace alors que celle aux patins en bois reste immobile.

Pas de Déplacement



Déplacement



2. De même, lâchons les luges dans une pente suffisamment inclinée pour que les deux luges se mettent en mouvement. On constate que c'est toujours la luge aux patins de bois qui s'arrête en premier.

Ces deux phénomènes s'expliquent par le frottement.

Le frottement est caractérisé par un **coefficient de frottement  $\mu$**  (statique ou dynamique).

Plus ce coefficient est élevé, plus il est difficile de déplacer les objets.

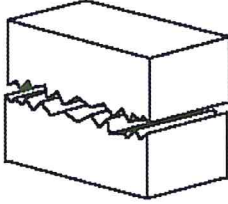
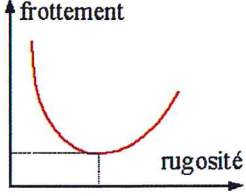
Lorsque les deux solides en contact sont immobiles et que l'on cherche à les déplacer, on utilise le coefficient de frottement statique  $\mu_0$ , ou **coefficient d'adhérence**.

Lorsque les deux solides en contact sont mobiles l'un par rapport à l'autre, le frottement va ralentir ce déplacement avec un coefficient de frottement dynamique  $\mu$ , ou **coefficient de glissement**.

Une série d'expériences permet de montrer que ces coefficients  $\mu$  et  $\mu_0$  dépendent des paramètres géométriques et physiques de la zone de contact réelle entre les deux surfaces ainsi que de la nature et de la force de l'interaction :

Ils sont fonction de	Ils ne sont pas fonction de
La nature des matériaux en contact	La taille des surfaces en contact
La lubrification	
L'état de surface des pièces, rugosité (incidence faible # 5 %)	La forme des surfaces en contact
La température et la pression au contact	

La force de frottement doit être vaincue avant que le glissement ne se produise. Les phénomènes mis en jeu sont complexes et sont liés à des résistances :

Ils sont fonction de	Ils ne sont pas fonction de
Mécanique des surfaces, pourtant réputées lisses, présentant de microscopiques aspérités (rugosité) qui engendrent un barrage.	
Physico-chimiques. La courbe ci-contre montre qu'une surface trop polie génère tout de même du frottement : il y a attraction moléculaire, ce sont les forces de Van der Waals.	
Électromagnétiques et microsoudures de contact	

On cherche à limiter les effets du frottement lorsqu'on veut limiter l'usure des pièces, les pertes d'énergie, l'échauffement, le niveau sonore de fonctionnement d'un mécanisme (voir figure 7).

**Une enquête réalisée au Royaume-Uni révèle que les économies annuelles rendues possibles par de meilleures propriétés tribologiques se répartissent comme suit :**

Réduction de la consommation d'énergie due à un faible frottement	5%
Réduction de la main d'œuvre	2%
Réduction des coûts de lubrification	2%
Réduction des coûts de maintenance et de remplacement	45%
Réduction des pertes dues aux pannes	22%
Réduction des investissements grâce à une disponibilité et une efficacité accrues	4%
Réduction des investissements en raison d'une plus longue durée de service de l'usine	20%

**Fig. 7** Économies réalisables par amélioration des propriétés de frottement

On cherche à utiliser les effets du frottement lorsqu'on veut par exemple transformer une énergie mécanique en énergie thermique (les freins automobiles), découper (le sciage), polir (un parquet, affûter des couteaux, faire briller une carrosserie automobile), ou encore dessiner avec un crayon, laver un vêtement.

## a Rendement

Les transformations de l'énergie se font avec des pertes (en raison des frottements, de la dissipation calorifique, etc.). Un système mécanique qui transforme une énergie quelconque en énergie mécanique a un rendement qui s'exprime par :

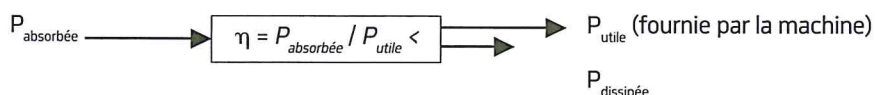
$$\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{absorbée}}} \text{ avec } \eta < 1 \quad P_{\text{dissipée}} = P_{\text{absorbée}} - P_{\text{utile}}$$

La **puissance absorbée** est la puissance fournie au système par la source d'énergie (ex. : puissance électrique fournie au moteur).

La **puissance utile** est la puissance fournie par le système au milieu extérieur (ex. : puissance nécessaire pour soulever une cabine d'ascenseur).

La **puissance dissipée** est la puissance perdue sous forme de chaleur et de bruit.

$$P_{\text{dissipée}} = P_{\text{absorbée}} - P_{\text{utile}} = \frac{P_{\text{utile}}}{\eta} - P_{\text{utile}} = \left( \eta \frac{1}{\eta} \right) \cdot P_{\text{utile}}$$



## b Usure

C'est la perte progressive de matériau due au contact de surfaces en mouvement relatif.

### EXEMPLE

L'usure des revêtements routiers varie selon la charge sur les essieux.

Le passage d'un camion de 13 tonnes dégrade autant la route que le passage de 100 000 automobiles. Le calcul des revêtements autoroutiers tient compte presque uniquement des poids lourds, les automobiles intervenant très peu ou pas du tout.

L'usure est mesurée par le taux d'usure spécifique  $W_s$  (la perte de volume par distance de glissement et charge [ $10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ ]) d'un matériau.

De nombreux phénomènes indépendants participent à l'usure, on distingue notamment l'abrasion, le grippage, la corrosion, l'endommagement sous des efforts répétés (fatigue), ou cumulés à la chaleur (fluage), la cavitation, les réactions chimiques, etc.

**C Solutions pour diminuer le frottement**

Lorsqu'on veut réduire le frottement deux solutions sont possibles :

- ▶ interposer des éléments roulants, on remplace le frottement de glissement par du frottement de roulement ;
- ▶ lubrifier par adjonction d'un fluide limitant les frottements entre deux corps (eau, huile). Le fluide sépare les deux corps et diminue le nombre de contacts et capte les calories libérées par l'échauffement puis dissipe cette énergie thermique.

**SYNTHÈSE**

Grandeurs caractéristiques des principales propriétés mécaniques des matériaux

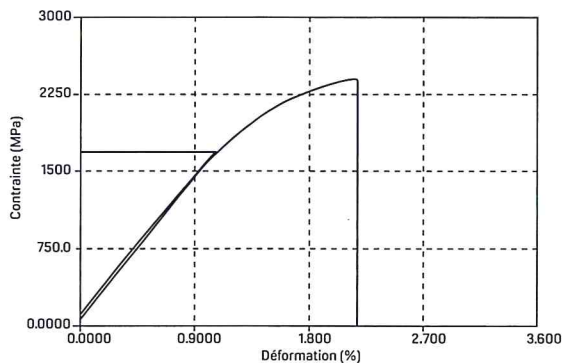
Propriétés	Caractéristiques	Grandeur
Élasticité, la plasticité	Limite apparente d'élasticité ou de rupture en résistance à la traction	$R_e$ en MPa $R_u$ en MPa
Rigidité	Module d'élasticité de Young	E en MPa
Dureté	Dureté Brinell, Vickers, Rockwell, Shore, Monnin, Mohs	HB, $H_v$ , HRC, HRB
Ductilité/Fragilité	Allongement pour cent	A%
Résistance aux chocs	Énergie de rupture	$K_u$ ou $K_v$
Résistance aux fissures	Ténacité	

## POUR S'ENTRAÎNER

### 1 Traction sur un fil en acier à ressort

La courbe ci-dessous est le résultat d'un essai de traction sur un fil en acier à ressort.

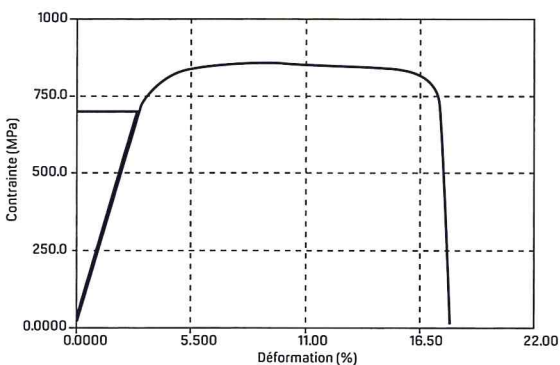
- Déterminer la valeur de la limite élastique et du module de Young.
- Le matériau testé est-il de type fragile ou ductile ?



### 2 Traction sur alliage de titane

La courbe ci-contre est le résultat d'un essai de traction sur alliage de titane.

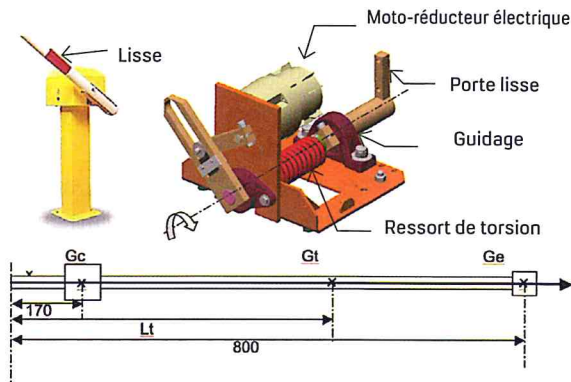
- Déterminer la valeur de la limite élastique et du module de Young.
- Le matériau testé est-il de type fragile ou ductile ?
- Quelle est sa déformation maximale ?



### 3 Dimensionner un motoréducteur

Les barrières ERO sont utilisées dans la plupart des pages d'autoroute.

On cherche à dimensionner le motoréducteur qui doit fournir une action mécanique capable de relever la barrière et ce dans n'importe quelle position lors du mouvement de montée ou de descente.



Pour aider le moteur électrique, un ressort hélicoïdal de torsion a été implanté (raideur du ressort de compensation  $K = 0,45 \text{ N.m/deg}$ ).

On étudie le fonctionnement du mécanisme réel grâce à une maquette sur laquelle la lisse d'origine ( $L = 2,5 \text{ m}$ ) a été remplacée par un ensemble formé de trois parties :

- un tube d'une longueur de 850 mm et de masse linéique est de  $1 \text{ kg/m}$  ;
- l'embout de centre de gravité  $G_e$  est placé à 800 mm de l'axe de rotation de la lisse et de masse  $M_e = 2,8 \text{ kg}$  ;
- le contre poids dont le centre de gravité  $G_c$  est placé à 170 mm de l'axe de rotation de la lisse et de masse  $M_c = 2,8 \text{ kg}$ .

- Déterminer la masse du tube  $M_t$  et la position du centre de gravité  $G_t$
- Déterminer la position du centre de gravité de la lisse réelle et de celle de la maquette.
- Comparer les résultats obtenus pour la position du cdg

### 4 Choix d'un matériau câble elec A380

La société AIRBUS fabrique des avions de ligne. Depuis l'A320 elle remplace les commandes hydrauliques par des commandes by-wire (électriques). Pour cela, elle utilisait jusqu'à présent des câbles à base de cuivre. Lors de la conception de son dernier né, l'A380 elle a cherché à utiliser de l'aluminium. Un des critères pour ce remplacement est que les câbles devaient avoir la même conductibilité électrique.

La conductibilité électrique est mesurée en siemens par mètre et correspond à la conductance d'une portion de fil de 1m de long et de  $1\text{m}^2$  de section.

- Conductibilité électrique du cuivre :  $59,6 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1}$  ;
- de l'aluminium :  $37,7 \times 10^6 \text{ S.m}^{-1}$ .
- Masse volumique du cuivre :  $8,96 \text{ g.cm}^3$  (à  $20^\circ\text{C}$ ).
- Masse volumique de l'aluminium :  $2,7 \text{ g.cm}^3$ .

- Pour une même conductibilité, établir le diamètre des câbles en aluminium qu'il est nécessaire d'utiliser.
- Pour un mètre linéaire de câble quel est le rapport de la masse du câble en cuivre et de celle du câble en aluminium ?