

Chapitre 2. Propriétés mécaniques

Chapitre 2 : Propriétés mécaniques

Lorsqu'une charge statique ou variant relativement lentement est appliquée uniformément sur une section transversale ou une surface d'une pièce, le comportement mécanique de cette dernière se détermine par un simple essai contrainte-déformation, le plus souvent réalisées à température ambiante pour les métaux. Les trois façons principales d'appliquer une charge sont: en traction, en compression et en cisaillement (figures 2-1a, b, c). Dans la pratique, les charges de torsion sont plus nombreuses que celles en cisaillement pur : la figure 2-1d illustre ce type de charge.

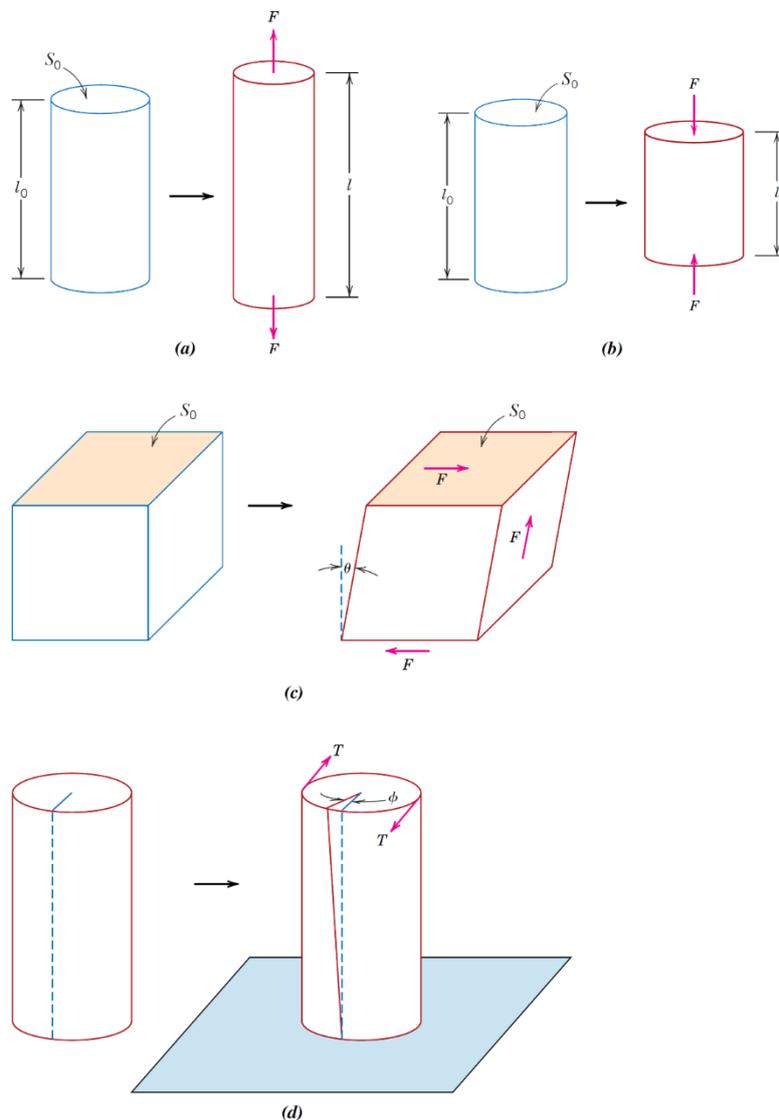


Figure 2-1 : (a) Illustration schématique de la façon dont une charge de traction produit un allongement et déformation linéaire positive. (b) Illustration schématique de la façon dont une charge de compression produit une contraction et une déformation linéaire négative. (c) Représentation schématique d'un cisaillement γ , où $\gamma = \tan \theta$. (d) Représentation schématique d'une déformation (c'est-à-dire d'un angle de torsion ϕ) due à une torsion produite par l'application d'un couple T .

➤ En essai de traction

La contrainte se note (σ). Par définition : $\sigma = \frac{F}{S_0}$

La déformation (ε). Par définition : $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_i - l_0}{l_0}$

➤ En essai de compression

La contrainte se note (σ). Par définition : $\sigma = -\frac{F}{S_0}$

La déformation (ε). Par définition : $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_i - l_0}{l_0}$

➤ En essai de cisson (cisaillement) et de torsion

La contrainte se note (τ). Par définition : $\tau = \frac{F_T}{S_0}$

La déformation (γ). Par définition : $\gamma = \text{tg}\theta$

En torsion, la contrainte de cisson (τ) est fonction du couple appliqué (T), tandis que le cisaillement (γ) est lié à l'angle de torsion Φ .

Où :

F : est la force instantanée appliquée perpendiculairement à la section transversale de l'éprouvette et s'exprime en newton(N).

S_0 : l'aire initiale (en mm^2) de la section transversale de l'éprouvette.

l_0 : est la longueur initiale (en mm) de l'éprouvette.

l_i : est la longueur instantanée (en mm) de l'éprouvette.

F_T : est la force appliquée parallèlement à la section transversale de l'éprouvette et s'exprime en newton(N).

γ : est l'angle de déformation en cisaillement.

2.1 Les propriétés de l'essai de traction

2.1.1 Définition de l'essai

L'essai le plus courant permettant de déterminer le comportement mécanique d'un matériau est l'essai de traction. On applique une force de traction sur un barreau de dimension standardisée, jusqu'à sa rupture suivant un processus de mise en charge à vitesse de déformation constante.

2.1.2 Epreuve

Les éprouvettes de l'essai de traction uni-axiale ordinaires sont de forme généralement cylindrique ou prismatique, elles sont soigneusement polies et calibrées (figure 2-2).

La longueur de la partie calibrée l_0 doit être proportionnelle à la section selon l'expression suivante : $l_0 = 5,65\sqrt{S_0}$, où (l_0) : longueur initiale entre repères en mm, et (S_0) : Section initiale de l'éprouvette en mm².

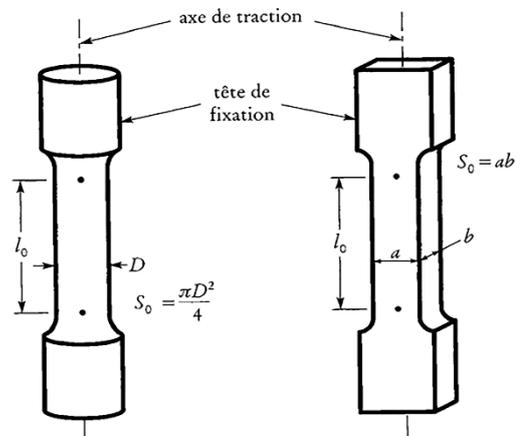


Figure 2-2 : Epreuves de traction

2.1.3 Principe d'essai de traction

L'essai est réalisé sur une machine de traction (figure 2-3), en appliquant lentement et progressivement un effort de traction croissant, dont l'intensité varie de 0 jusqu'à F, sur une éprouvette maintenue solidement entre les mâchoires de la machine. Des appareils adaptés à la machine permettent de mesurer à chaque instant l'effort de traction ou la charge (à l'aide d'un dynamomètre) et l'allongement de l'éprouvette (à l'aide d'un extensomètre).

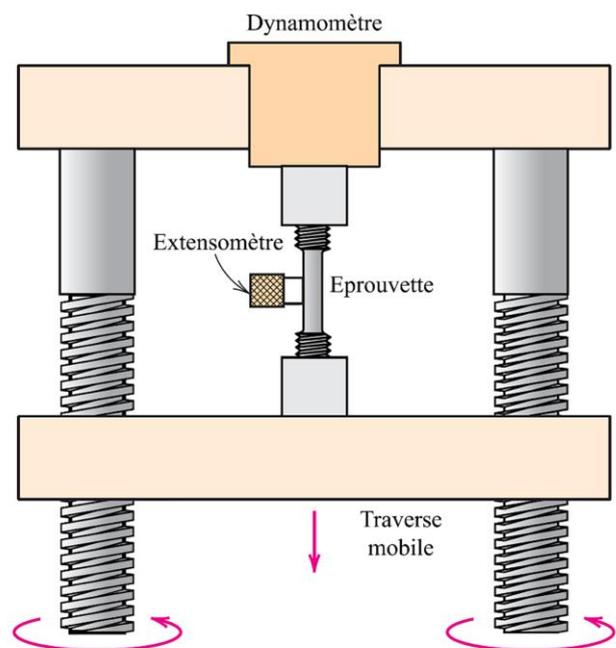


Figure 2-3: Machine d'essai de traction

2.1.4 Contraintes et déformations conventionnelles

Dans l'essai de traction, En enregistrant la force appliquée à l'éprouvette par la machine de traction et son allongement progressif, on détermine une série de caractéristiques mécaniques essentielles. On ne connaît généralement pas la variation de la section de l'éprouvette durant la mesure et, en règle générale, on exprime la force F et l'allongement Δl par rapport aux dimensions initiales de l'éprouvette. On obtient ainsi la **contrainte nominale** (σ) et la **déformation conventionnelle** (ε):

- **Contrainte conventionnelle** : est la charge rapportée (F) à la section initiale (S_0). La contrainte conventionnelle (Nominale) se note σ , par définition :

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \quad \text{Eq 2-1}$$

- **Déformation conventionnelle** : est l'allongement absolu (Δl) rapporté à la longueur initiale (l_0). La déformation conventionnelle se note (ε). Par définition :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} \quad \text{Eq 2-2}$$

2.1.5 Courbe conventionnelle contrainte-déformation

Rappelons que la courbe de traction charge-déplacement, $F = f(\Delta l)$ où $\Delta l = l - l_0$ étant l'allongement absolu de l'éprouvette suite à l'application de la charge (F), est une caractéristique de l'échantillon. Celle-ci peut être modifiée de façon que les résultats obtenus ne soient fonction que du matériau étudié et non de la géométrie de l'éprouvette. Ainsi, on obtient $\sigma = f(\varepsilon)$ [courbe contrainte-déformation].

À titre d'exemple, les figures 2-4 et 2-5 représentent la courbe de traction d'un métal à comportement ductile. Une courbe de traction de ce type permet de déterminer les caractéristiques mécaniques essentielles.

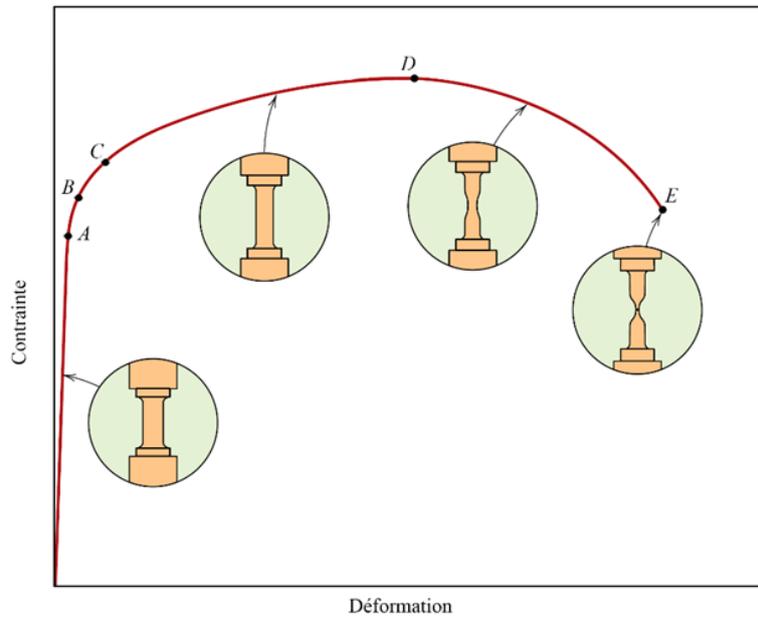


Figure 2-4 : Courbe de contrainte-déformation typique jusqu'à la rupture au point E. Les médaillons représentent la forme de l'éprouvette déformée en divers points de la courbe.

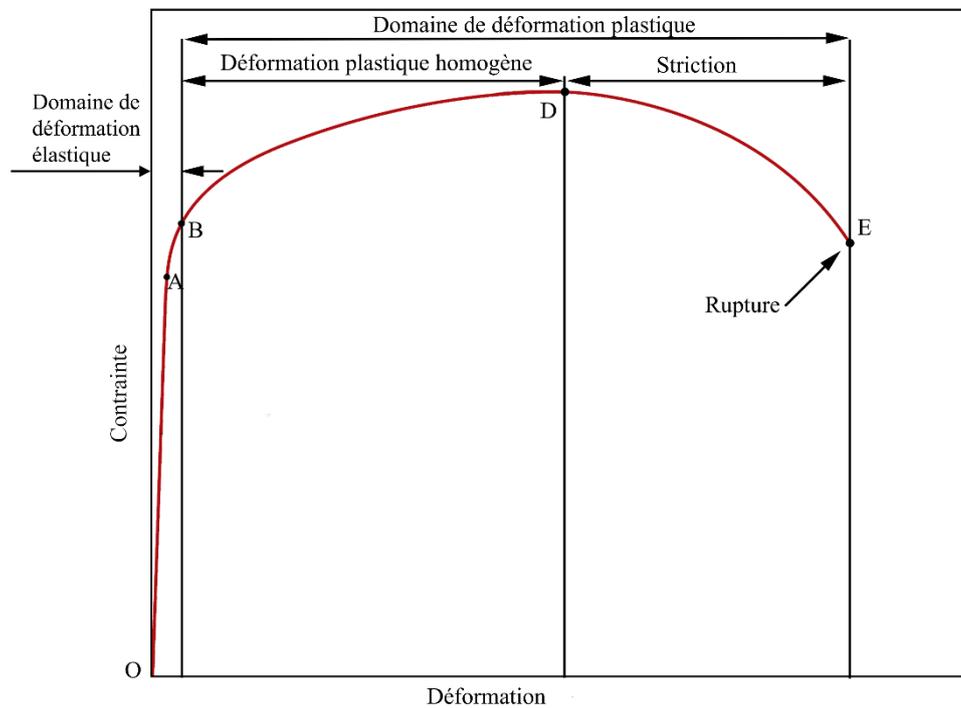


Figure 2-5 : Courbe de contrainte-déformation d'un métal ductile représente les différentes zones de déformations.

2.1.6 Caractéristiques mécaniques des métaux en traction

2.1.6.1 Déformation élastique :

Une déformation proportionnelle à la contrainte appliquée est appelée *déformation élastique*. La déformation élastique n'est pas permanente, c'est-à-dire que la pièce reprend sa forme initiale quand on supprime la charge appliquée. Comme le montre le diagramme contrainte-déformation (figure 2-6), appliquer une charge revient à se déplacer vers le haut, sur le segment rectiligne. Dès la suppression de la charge, on parcourt le segment dans le sens contraire et on revient à l'origine.

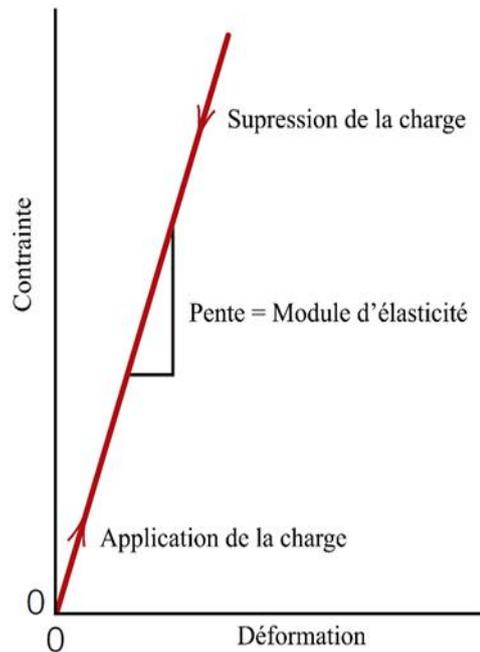


Figure 2-6 : Diagramme schématisé contrainte-déformation montrant la déformation élastique linéaire pendant les cycles d'application et de suppression de charge

2.1.6.2 Déformation plastique :

Est une déformation qui est permanente ou irréversible après la suppression de la charge appliquée et qui s'accompagne de déplacement des atomes permanents.

2.1.6.3 Loi de Hook

Pour la plupart des métaux soumis à des contraintes de traction relativement faibles, la contrainte et la déformation sont proportionnelles selon la relation suivante :

$$\sigma = E\varepsilon \quad \text{Eq 2-3}$$

Cette égalité est appelée *loi de Hook* et la constante de proportionnalité E (GPa) est appelée *Module d'élasticité, ou Module de Young*.

2.1.6.4 Module d'élasticité

Le *module d'élasticité* E ou *module de Young* donné par la pente de la partie élastique de la courbe contrainte σ – déformation ε (figure 2-6). Ce module élastique est fonction de l'énergie des liaisons entre les atomes ou molécules constituant le matériau. On peut considérer que ce

Chapitre 2 : Propriétés mécaniques

module est *la rigidité* ou *la résistance à la déformation élastique* d'un matériau. Plus le module est grand, plus le matériau est rigide. Pour la plupart des métaux typiques, la valeur de ce module est comprise entre 45 GPa pour le magnésium et 407 GPa pour le tungstène. Le tableau 2-1 donne la valeur du module d'élasticité pour plusieurs métaux et alliages à la température ambiante.

Tableau 2-1: Modules d'élasticité et de cisaillement, et coefficient de Poisson pour divers alliages métalliques, à la température ambiante.

Alliage métallique	Module d'élasticité (GPa)	Module de cisaillement (GPa)	Coefficient de poisson
Acier	207	83	0,30
Aluminium	69	25	0,33
Cuivre	110	46	0,34
Laiton	97	37	0,34
Magnésium	45	17	0,29
Nickel	207	76	0,31
Titane	107	45	0,34
Tungstène	407	160	0,28

Pour certains matériaux (dont la fonte grise, le béton et de nombreux polymères), ce segment élastique initial de la courbe contrainte-déformation n'est pas linéaire (figure 2-7); et on ne peut alors pas déterminer un module d'élasticité comme ci-dessus. Dans tel cas de comportement non linéaire, on utilise normalement *le module tangent* ou *le module sécant*. Le module tangent est considéré comme la pente de la courbe contrainte-déformation pour une valeur donnée de la contrainte ; le module sécant représente la pente d'une sécante tracée de l'origine à un point donné de la courbe contrainte-déformation. La détermination de ces modules est illustrée à la figure 2-7.

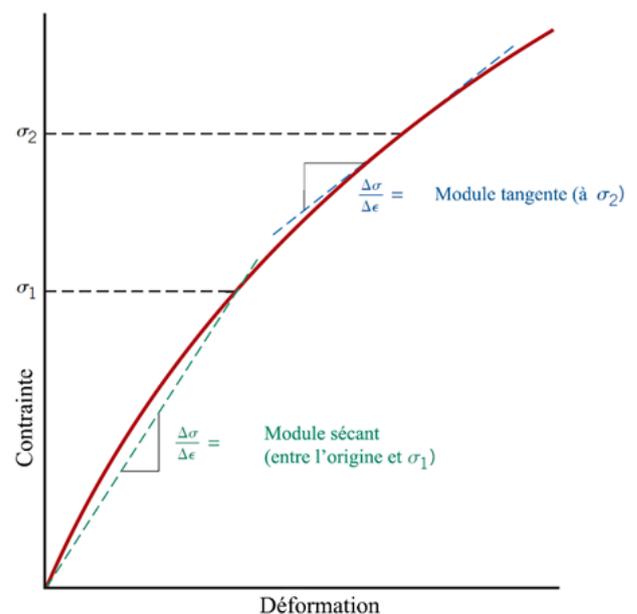


Figure 2-7: diagramme schématisant le comportement élastique non linéaire et la détermination des modules tangent et sécant.

2.1.6.5 Limite de proportionnalité :

Correspond à la fin du domaine proportionnel (point A, figure 2-4), on peut écrire la limite proportionnelle comme suite :

$$\sigma_{pr} = \frac{F_{pr}}{S_0} \quad \text{Eq 2-4}$$

2.1.6.6 La limite d'élasticité :

Correspond le point B (figure 2-4), qui donne la valeur de la contrainte nominale à partir de laquelle le matériau commence à se déformer d'une façon irréversible. On peut écrire la limite d'élasticité comme suite :

$$\sigma_e = \frac{F_e}{S_0} \quad \text{Eq 2-5}$$

2.1.6.7 La limite d'écoulement :

Représenté par le segment horizontal (figure 2-8b), appelé aussi le palier d'écoulement. La limite d'écoulement est la contrainte à partir de laquelle la déformation croît sans accroissement notable de la charge.

$$\sigma_{ec} = \frac{F_{ec}}{S_0} \quad \text{Eq 2-6}$$

2.1.6.8 Limite conventionnelle d'élasticité

La courbe de plusieurs matériaux soumis à la traction ne présente pas de palier d'écoulement bien marqué (en particulier l'aluminium, le duralumin, le bronze, aciers à haut carbone et alliés) ; pour de tels matériaux, on considère que l'écoulement commence au point où la courbe contrainte-déformation cesse d'être linéaire. Mais comme on ne peut pas déterminer précisément ce point, on convient de tracer une droite parallèle à la partie élastique de la courbe contrainte-déformation avec un décalage précis, habituellement de 0,002. La contrainte correspondant à l'intersection de cette parallèle avec la courbe contrainte-déformation. La figure 2-8a illustre la détermination de cette valeur.

$$\sigma_{0,2\%} = \frac{F_{0,2\%}}{S_0} \quad \text{Eq 2-7}$$

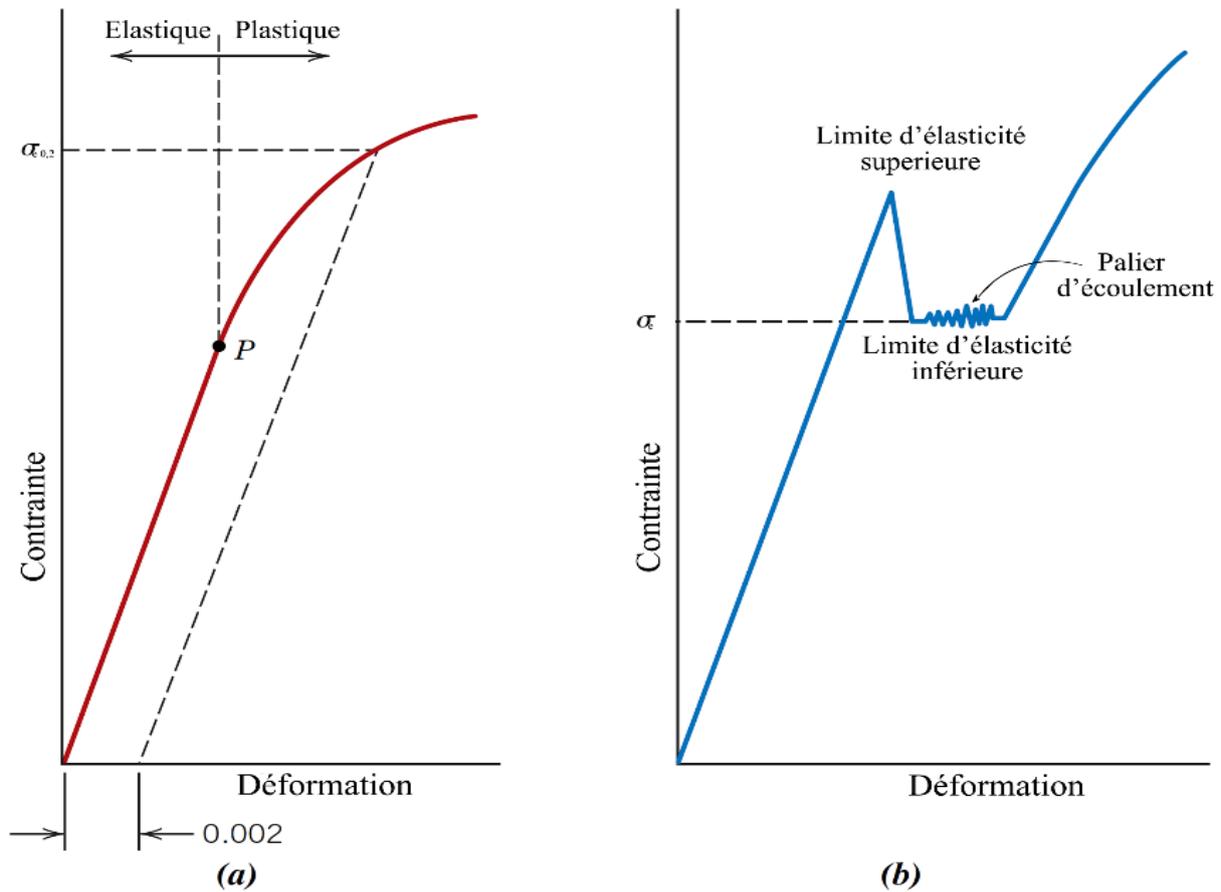


Figure 2-8 : a) Courbe contrainte-déformation typique d'un métal montrant les déformations élastique et plastique, la limite de proportionnalité (Point P) et la limite conventionnelle d'élasticité ($\sigma_{e0,2}$) déterminée par la méthode de la parallèle décalée de 0,002. b) Comportement contrainte-déformation représentatif de quelques aciers illustrant le phénomène d'écoulement plastique à la limite d'élasticité (palier d'écoulement).

2.1.6.9 La résistance à la traction :

Correspond le point D de la courbe contrainte-déformation (Figure 2-4) qui est définie par la contrainte nominale maximale supportée par l'éprouvette.

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{\max}}{S_0} \quad \text{Eq 2-8}$$