

SOMMAIRE

MODE OPERATIONNEL DES ESSAIS DE

TRACTION ET COMPRESSION AU

LABORATOIRE

INTRODUCTION

I.ESSAI DE TRACTION

1. DEFINITION

1.1. EPROUVETTE DE TRACTION

1.2. DEROULEMENT DE L'ESSAI

2. RESISTANCE D'UNE PIECE SOUMISE A LA TRACTION

2.1. RESISTANCE D'UNE PIECE DANS LE CAS GENERAL

II.ESSAI DE COMPRESSION

1. DEFINITION ET PRINCIPE

1.1. APPAREILLAGE

1.2. EPROUVETTE

2. MODE OPERATOIRE

2.1. CALCUL ET EXPRESSIONS DES RESULTATS

CONCLUSION

INTRODUCTION

Les essais mécaniques sont des expériences dont le but est de caractériser les [lois de comportement](#) des [matériaux](#) ([mécanique des milieux continus](#)). La loi de comportement établit une relation entre les contraintes (pression=force/surface) et les [déformations](#) (allongement unitaire [adimensionnel](#)). Il ne faut pas confondre une déformation avec un déplacement ou une dilatation.

L'ingénieur mécanicien a besoin de connaître le comportement mécanique des matériaux pour les utiliser. Ce sont les essais mécaniques qui peuvent lui fournir ces données nécessaires. Elles sont tout d'abord indispensables pour la mise au point des procédés de mise en forme. Si, pendant longtemps, l'empirisme et l'habitude suffisaient pour mener à bien les opérations de **laminage**, de **filage**, de **extrusion**, de **forgeage**, de **usinage**, etc., l'augmentation de la dimension des demi-produits, les exigences accrues de qualité et de précision, les économies d'énergie à réaliser concourent à rendre nécessaires les calculs détaillés de ces diverses opérations. Il est évident qu'ils ne peuvent être menés à bien sans une connaissance précise des lois de comportement mécanique des matériaux faisant intervenir la vitesse de sollicitation et la température, ainsi que les interactions entre les propriétés mécaniques et les évolutions de la structure microscopique.

C'est dans ce sens que dans cet exposé nous nous intéresserons aux essais de traction et de compression dans le but d'avoir une connaissance indéfectible sur la rhéologie des matériaux.

I. ESSAI DE TRACTION

1) DEFINITION

Un **essai de traction** est une [expérience](#) mécanique qui permet de mesurer le degré de [résistance](#) à la [rupture](#) d'un matériau quelconque.

Certains objets manufacturés doivent avoir un minimum de solidité pour pouvoir supporter les charges, le poids et bien d'autres efforts. L'essai de traction permet de caractériser les matériaux, indépendamment de la forme de l'objet sollicité, ou la performance d'un [assemblage mécanique](#). Comme tout essai mécanique, l'essai de traction reproduit une sollicitation simple, donc éloignée des sollicitations réelles, mais facilement maîtrisables et reproductibles.

Cet essai ou expérience consiste à placer une petite barre du matériau à étudier entre les mâchoires d'une machine de traction qui tire sur la barre jusqu'à sa rupture. On enregistre l'allongement et la force appliquée, que l'on convertit ensuite en [déformation et contrainte](#).

L'essai de traction donne plusieurs valeurs importantes :

- le [module de Young](#), E , ou module d'élasticité longitudinale, exprimé en [mégapascals](#) (MPa) ou en gigapascals (GPa) ;
- la [limite d'élasticité](#) (lorsqu'elle existe), R_e , σ_e ou σ_y (*yield stress*), qui sert à caractériser un domaine conventionnel de réversibilité ;
- la [résistance à la traction](#) R_m ou σ_m , qui définit la limite à la rupture ;
- l'[allongement à la rupture](#) A , qui mesure la capacité d'un matériau à s'allonger sous charge avant sa rupture, propriété intéressante dans certaines applications ;
- le [coefficient de Poisson](#), qui chiffre la variation de volume induite par la [déformation](#) des matériaux dans le domaine élastique.

PROPRIETES DU MATERIAU ET GRANDEURS MESUREES

Grandeur	Propriété
E	souplesse/rigidité : souple si E est faible, rigidité si E est élevé
R_e	dureté : mou si R_e est faible, dur si R_e est élevé
A	ductilité, malléabilité : fragile si A est faible, ductile et malléable si A est élevé

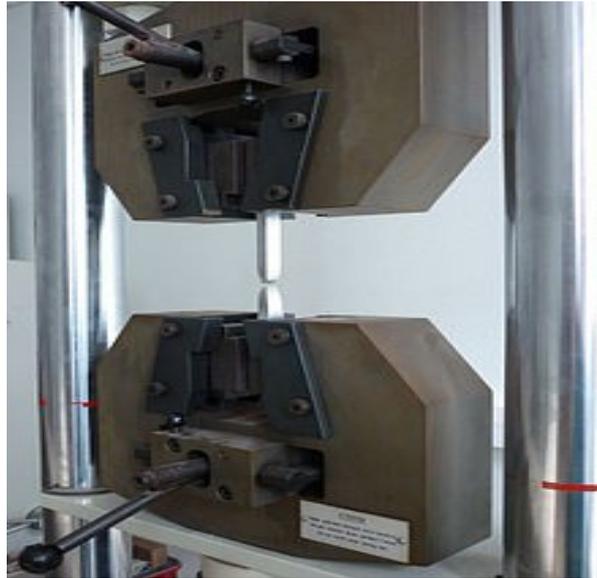


Fig1.Essai de traction terminé

1.1) ÉPROUVETTE DE TRACTION

On peut effectuer les essais sur un barreau cylindrique ou de section rectangulaire ([éprouvette plate](#)). L'éprouvette cylindrique permet d'avoir un système symétrique et un système d'accrochage simple (par vissage), l'éprouvette plate permet de voir ce qui se passe sur une face : apparition de lignes de glissement, forme des cristallites ([métallographie](#)), mesure de [texture](#) par [diffractométrie X](#), etc.

Les extrémités de l'éprouvette sont élargies, avec un congé, afin d'être sûr que la [déformation plastique](#) et la rupture auront lieu dans la partie centrale de l'éprouvette : les phénomènes de contact au niveau de la liaison à la machine sont complexes et ne représentent pas ce que l'on veut tester, on limite donc l'impact de l'essai sur ces zones. Les dimensions de l'éprouvette sont normalisées, ce qui n'interdit pas d'utiliser d'autres formes d'éprouvette si l'essai n'a pas besoin de répondre aux normes (par exemple dans le cadre de la recherche et du développement).

Les éprouvettes cylindriques sont habituellement obtenues par [tournage](#). Les éprouvettes plates peuvent être obtenues par sciage d'une tôle puis [fraisage](#).

Les éprouvettes sont fréquemment prélevées dans une pièce réelle ou un brut (lingot, tôle, profilé, ...). Dans ce cas, l'endroit où l'éprouvette est prélevée, et la direction de prélèvement ont une importance : la matière est souvent [hétérogène](#) et [anisotrope](#). Cela pose le problème de la représentativité de l'essai ([échantillonnage](#)).

Toutefois, l'essai n'a de sens que si l'éprouvette elle-même est homogène, ceci étant en général garanti par sa petite taille par rapport aux variations de propriétés de la matière. Par ailleurs, pour l'analyse du résultat, on considère en général qu'elle est isotrope.

Dans l'éprouvette, on s'intéresse à la partie calibrée, qui est la partie dans laquelle la section droite ne varie pas (partie de largeur uniforme). Au sein de cette partie calibrée, on trace deux repères « un peu à distance » des congés ; les efforts et la déformation dans cette partie entre repère est réputée uniforme ([principe de Saint-Venant](#)). La longueur de la partie calibrée est notée L_c . La longueur de la partie entre repères est notée L_0 , et est normalisée à

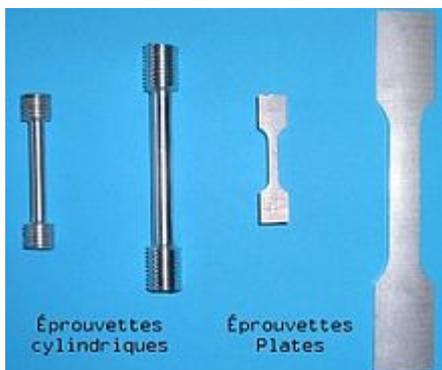
$$L_0 = k \times \sqrt{S_0}$$

Où

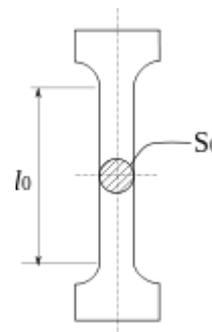
- k est un coefficient dépendant du matériau ; pour l'acier, $k = 5,65$;
- S_0 est l'aire de la section droite.

Dans la pratique, pour une éprouvette cylindrique en acier de diamètre d_0 , on a

$$L_0 = 5 \times d_0.$$



Éprouvettes normalisées de traction



représentation schématique

1.2) DEROULEMENT DE L'ESSAI

L'essai est pratiqué sur machine de traction. Une fois l'éprouvette en place, on applique une légère précharge afin d'être sûr que l'on n'a pas de jeu. Puis, on effectue un déplacement de la travée qui a pour effet d'étirer l'éprouvette, et on mesure l'effort généré par ce déplacement ; le mouvement peut se faire par un système de vis sans fin ou un piston hydraulique, l'effort se

mesure par la déformation élastique de la travée ou, p
force inséré dans la ligne de charge.

L'essai s'arrête à la rupture de l'éprouvette.



Machine de traction Walter+Bai

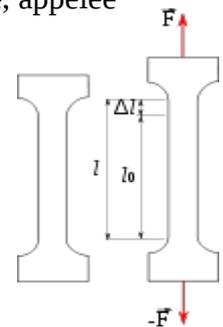
- **Courbe conventionnelle**

À partir du déplacement u de la travée, on calcule la déformation conventionnelle, appelée « extension » et notée e :

$$e = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Où

- L_0 est la longueur entre repères ;
- ΔL est l'allongement de l'éprouvette ; on néglige l'élongation des extrémités de l'éprouvette et l'on prend $\Delta L = u$;



et à partir de la force F , mesurée par un [dynamomètre](#), on calcule la [contrainte](#) conventionnelle, appelée « charge unitaire » et notée R :

$$R = \frac{F}{S_0}$$

Où S_0 est l'aire de la section droite dans la partie calibrée de l'éprouvette. On obtient ainsi la courbe conventionnelle $R = f(e)$.

- **Courbe rationnelle**

La courbe conventionnelle suffit pour la plupart des applications. Mais si l'on s'intéresse de manière fine aux phénomènes aux grandes déformations, il faut tenir compte de la modification des dimensions de l'éprouvette. On définit pour cela :

- la déformation longitudinale vraie, ϵ_1 , prenant en compte le cumul des allongements :

$$\epsilon_1 = \ln \frac{L}{L_0}$$

$d\epsilon_1 = dl$ soit

où L est la longueur réelle de la partie entre repères, $L = L_0 + \Delta L$;

- la contrainte vraie, σ , calculée à partir de l'aire réelle de la section droite à l'instant considéré, S :

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

La courbe $\sigma = f(\epsilon_1)$ est appelée courbe rationnelle.

La variation de section est déterminée à partir du [module de Poisson](#)

✚ cas d'un matériau ductile

Dans un premier temps, la déformation est élastique. La courbe de traction est donc une droite, la pente de cette droite donne le module de Young E .

À partir d'un certain allongement, la courbe s'infléchit : c'est le début de la déformation plastique. La transition peut être franche (rupture de pente), ce qui permet de déterminer facilement la limite d'élasticité R_e . On a dans ce cas là en général un plateau avec une contrainte inférieure à la contrainte maximale dans le domaine élastique, correspondant au fait que les dislocations se sont libérées des atomes étrangers qui les épinglaient. On définit alors une limite d'élasticité haute, R_{eH} , qui est le maximum de la partie élastique, et une limite d'élasticité basse, R_{eL} (*low*), correspondant au plateau.

Lorsque la rupture n'est pas franche — c'est notamment le cas des matériaux très ductiles —, on définit la limite d'élasticité conventionnelle comme étant la contrainte donnant 0,2 % de déformation résiduelle, $R_{e0,2}$; on peut aussi la définir pour d'autres valeurs de déformation résiduelle (par exemple $R_{p0,1}$ pour 0,1 % de déformation).

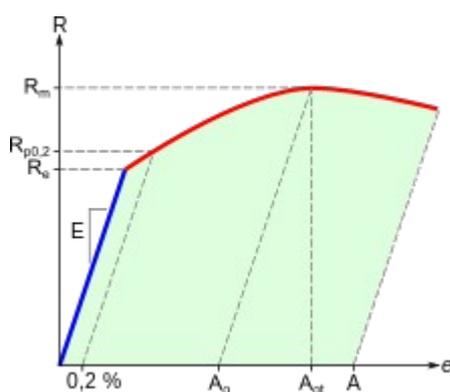
La courbe de traction présente ensuite un maximum qui détermine la résistance à la traction conventionnelle R_m . L'allongement plastique à ce point est appelé allongement sous charge maximale et est noté A_g ; c'est la déformation résiduelle maximale que l'on peut imposer. On définit également l'allongement total sous charge maximale, A_{gt} , qui inclut la déformation élastique. Le paramètre A_g renseigne sur la déformation maximale que l'on peut atteindre

pour de la mise en forme, et A_{gt} permet de régler l'appareil de mise en forme (puisque c'est une déformation totale que l'on impose).

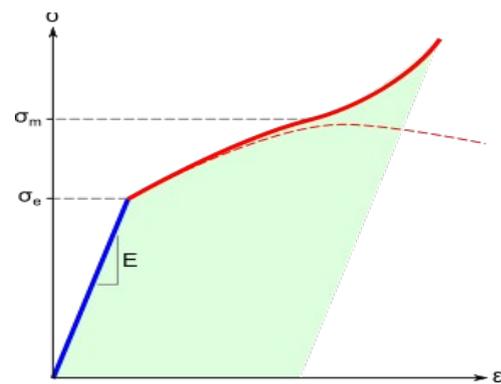
À partir de ce point, la déformation est concentrée dans une zone, c'est la striction (« étranglement »). La force enregistrée diminue, puisque la section diminue dans la zone de striction.

La rupture a ensuite lieu dans la zone de striction. La charge unitaire R n'a pas de sens particulier à l'endroit de la rupture.

La courbe de traction rationnelle est, quant à elle, toujours croissante. La striction marque un point d'inflexion, puisque la section diminue plus vite que la force. On note que la contrainte vraie σ atteinte au moment de la rupture est très supérieure à la charge unitaire R .



Courbe de traction conventionnelle typique d'un matériau ductile



Courbe de traction rationnelle typique d'un matériau ductile

Le faciès de rupture de l'éprouvette présente une direction de rupture typique à 45° par rapport à l'axe de traction. C'est en effet la direction où la contrainte de cisaillement est maximale. Sur l'éprouvette rompue, on mesure :

- la longueur ultime L_u , qui est la longueur entre repère mesurée en rapprochant les deux demies éprouvette rompues ;
- la section ultime S_u mesurée au plus étroit, dans la zone de striction.

On détermine ainsi :

- l'allongement à la rupture ;
- $$A\% = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100$$
- $$Z\% = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100$$



- le coefficient de striction.

2) RESISTANCE D'UNE PIECE SOUMISE A LA TRACTION

Dans un mécanisme ou une structure, les pièces ne doivent pas rompre, ce qui impose que les contraintes en traction soient inférieures à R_m . Mais elles doivent par ailleurs conserver leurs dimensions, faute de quoi le mécanisme risque de ne plus fonctionner.

La fabrication et le fonctionnement présentant des incertitudes, on applique un [coefficient de sécurité](#) s (ou parfois noté n), en général entre 2 et 5. On définit alors la limite pratique élastique R_{pe} :

$$R_{pe} = \frac{R_e}{s} .$$

La conception sur le cas de charge limite, ou [état limite ultime](#) (ELU), est donc validée si, pour toutes les structures en traction, on a :

$$\sigma \leq R_{pe} .$$

Le coefficient de sécurité dépend des règles de l'art du domaine concerné ou bien de normes. De manière générale, on a :

- pour un fonctionnement constant, sans à coup, dans un milieu maîtrisé (toutes les charges sont connues) et avec un matériau bien caractérisé : $1 \leq s \leq 2$;
- cas usuel : $2 \leq s \leq 3$;
- milieu mal maîtrisé (risque d'accident, charge mal connues), matériau mal caractérisé : $3 \leq s \leq 5$.

Pour les matériaux fragiles, la résistance pratique à l'extension est fondée sur la résistance à la traction, le coefficient de sécurité est donc plus élevé :

$$R_{pe} = \frac{R_m}{s}$$

2.1) RESISTANCE D'UNE PIECE DANS LE CAS GENERAL

L'essai de traction modélise une sollicitation de traction, et peut aussi servir de manière directe à une sollicitation de compression. Mais ces cas sont assez rares : bielle, élingue, chaîne, câble, tirant. Dans le cas général, la sollicitation est différente ([cisaillement](#), [flexion](#), [torsion](#), sollicitation composée), et même si la pièce est soumise à une traction uniaxiale, la

complexité de sa forme fait que localement, sur la pièce, on n'est pas dans un état de contrainte uniaxiale.

On peut toutefois extraire une [contrainte équivalente](#) σ_{eqv} à partir du tenseur des contraintes, comme par exemple la contrainte de von Mises ou de Tresca. La vérification à l'ELU devient alors

$$\sigma_{eqv} \leq R_{pe}.$$

II. ESSAI DE COMPRESSION

1. DEFINITION ET PRINCIPE

Cet essai consiste à appliquer un effort de compression à un échantillon reposant sur une surface indéformable. Cette sollicitation provoque un écrasement de l'éprouvette. On mesure simultanément les contraintes et déformations au cours de l'essai.

La norme définit entre autre :

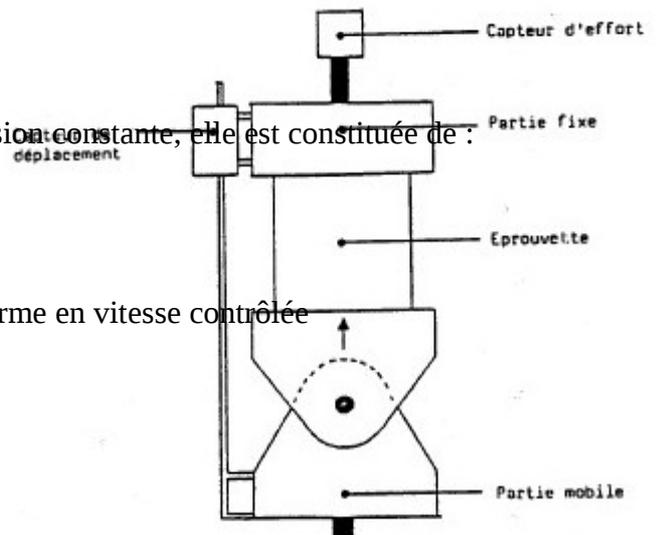
- La contrainte de rupture
- La contrainte au seuil d'écoulement
- La déformation à la rupture
- La déformation au seuil d'écoulement

Pour obtenir des résultats comparatifs en compression il est nécessaire d'employer des éprouvettes de forme, de dimensions et de mode d'obtention identiques, et de les soumettre à essais dans des conditions bien définies de traitement préalable, de température, d'humidité et de vitesse de mise en charge.

1.1) APPAREILLAGE

La machine d'essai est du type à vitesse de compression constante, elle est constituée de :

- un plateau fixe
- un plateau mobile
- un mécanisme d'entraînement de mouvement uniforme en vitesse contrôlée
- un indicateur d'effort
- Indicateur de déformation

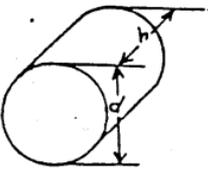
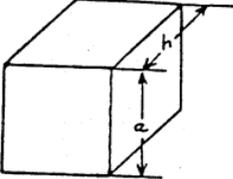
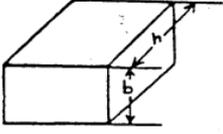
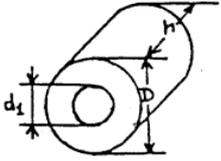


Elle doit permettre à tout instant d'évaluer la distance séparant deux points déterminés de l'éprouvette ou la distance entre les surfaces de contact de la machine.

1.2) 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.

- Dans le cas où un flambage des éprouvettes se produit au cours de l'essai le rapport d'effilement doit être réduit ce qui conduit à des éprouvettes de hauteur h_1 .

Cylindrique	Prisme carré	Prisme rectangulaire	Tube cylindrique
			
$h = 2,5 \cdot d$	$h = 2,9 \cdot a$	$h = 2,9 \cdot b$	$h = 2,5 \sqrt{D^e + d^2}$
$h_1 = 1,5 \cdot d$	$h_1 = 1,74 \cdot a$	$h_1 = 1,74 \cdot b$	$h_1 = 1,5 \sqrt{D^e + d^2}$

2. MODE OPERATOIRE

• Conditionnement des éprouvettes

Les éprouvettes sont conditionnées de 86 à 106 heures à $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ et à $50\% \pm 5\%$ d'humidité relative

Sauf spécifications contraires, effectuer l'essai dans la même atmosphère que celle du conditionnement.

• Vitesse d'essai

La vitesse de compression est conventionnellement la vitesse d'approche des deux plateaux de la machine lorsqu'elle fonctionne à vide. La vitesse à utiliser est fonction de la hauteur de l'éprouvette selon la relation :

$$V = 0,3 \cdot h$$

V = vitesse d'essai en millimètre par minute
h = hauteur de l'éprouvette en millimètres

2.1. RESULTATS CALCUL ET EXPRESSION DES

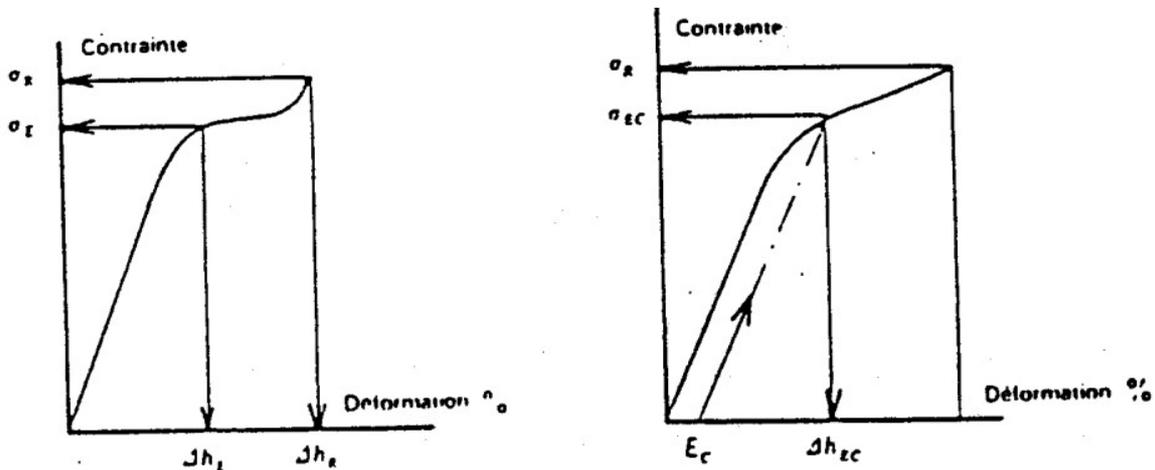
$$\sigma = \frac{F}{S_0}$$

F s'exprime en Newtons (N), la section en mm², la contrainte σ en MPa.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

L_0 : longueur initiale, ΔL : déformation relative

- **Courbes de sollicitation**



Conclusion

Le comportement des matières plastiques en compression est, du point de vue moléculaire, assez complexe et l'on ne peut énoncer de lois générales de comportement. On pratiquera donc les essais de compression pour simuler des cas concrets et on exploitera avec une grande prudence les résultats obtenus.

CONCLUSION

Pour conclure nous pouvons affirmer, qu'il ne saurait être convenablement de conduire des opérations d'ouvrages sans une connaissance précise des lois de comportement mécanique.

Il faut déterminer les propriétés mécaniques des matériaux pour dimensionner les structures de façon à éviter divers modes de ruines : le flambage, la déformation plastique exagérée, la rupture brutale ou la rupture différée par fatigue, corrosion sous contrainte ou fluage. Il est indispensable de maîtriser de mieux en mieux ces questions en raison tant des exigences accrues de sécurité.