

Chapitre I : Propriétés et Classification Du Matériaux De Construction

I.1. Introduction :

En sciences des matériaux, il est possible de classer les matériaux de base en trois catégories, mais dans la construction, il est devenu courant de distinguer les matériaux selon les domaines d'emploi et les caractéristiques principales. Les propriétés principales des matériaux de construction peuvent être généralement divisées en plusieurs groupes telles que:

- Propriétés physiques.
- Propriétés mécaniques.
- Propriétés chimiques.
- Propriétés physico-chimiques.
- Propriétés thermiques.

I.2. L'Ingénieur et les Matériaux

L'ingénieur en génie civil doit connaître les matériaux quelque soit son domaine d'activité.

Bureau d'étude ou entreprise (Dans l'étude de projets, exécutions, surveillances et essais de laboratoires)

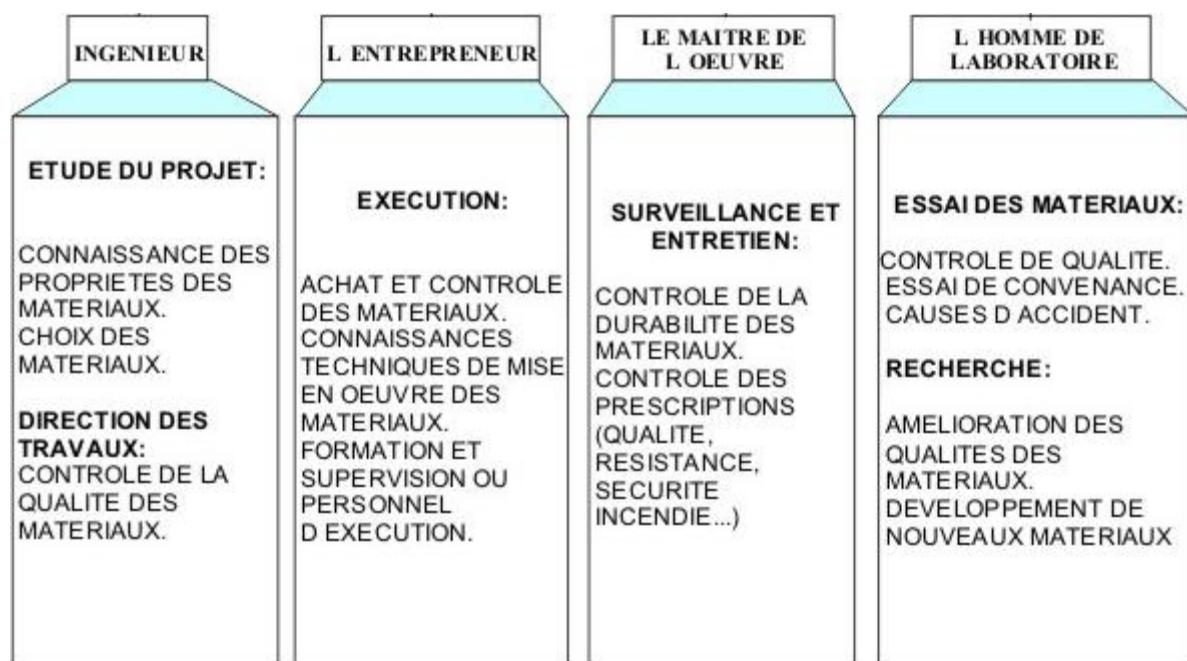


Fig I.1.Domaine d'activité de l'ingénieur.

I.3. Classification des matériaux de construction

En sciences des matériaux, il est possible de classer les matériaux de base en trois catégories:

Les métaux ; Les polymères ; Les céramiques.

Mais dans la construction, il est devenu courant de distinguer les matériaux selon des domaines d'emploi et des caractéristiques principales:

les matériaux de construction et les matériaux de protection.

I.3.1.Les matériaux de construction:

sont les matériaux qui ont la propriété de résister contre des forces importantes:

- Pierres
- Terres cuites
- Bois
- Béton
- Métaux, etc.

I.3.2. Les matériaux de protection:

sont les matériaux qui ont la propriété d'enrober et protéger les matériaux de construction principaux:

- Enduits
- Peintures
- Bitume,
- Pierres naturelles, etc.

I.4. Propriétés des matériaux de construction:

Les propriétés principales des matériaux peuvent être divisées en plusieurs groupes tels que:

- Propriétés physiques: (la dimension; la densité; la masse volumique de différentes conditions; la porosité; l'humidité etc..)
- Propriétés mécaniques: (la résistance en compression, en traction, en torsion etc...)
- Propriétés chimiques: (l'alcalinité, l'acide etc...)
- Propriétés physico-chimiques: (l'absorption, la perméabilité, le retrait et le gonflement etc...)
- Propriétés thermiques: (la dilatation, la résistance et comportement au feu, degré de transition vitreuse, etc...)

I.4.1. Propriétés et caractéristiques physiques:

I.4.1.1. Propriétés liées à la masse et au volume:

- Masse spécifique
- Masse volumique
- Porosité, densité

I.4.1.2. Propriétés liées à l'eau:

- Humidité
- Perméabilité
- Degré d'absorption d'eau
- Variation de dimension en fonction de la teneur en eau

I.4.1.3. Propriétés thermiques:

- Résistance et comportement au feu
- Chaleur spécifique
- Coefficient d'expansion thermique

I.4.2. Caractéristiques et propriétés mécaniques principales:

la résistance à la compression, la résistance à la traction, le module de formation, le module d'élasticité, etc. Les matériaux de construction doivent:

1. posséder certaines propriétés techniques
2. pouvoir facilement être travaillés
3. être économiques.

La science des matériaux s'efforce de relier les propriétés macroscopiques des matériaux à leur structure microscopique.

La technologie des matériaux s'occupe des domaines d'application de la science des matériaux à l'art de construire (à savoir: choix des matériaux, détermination de leurs caractéristiques, connaissance de leurs propriétés, techniques de mise en œuvre, méthodes d'essais, développement de nouveaux matériaux ou systèmes de matériaux).

Dans ce cours on va présenter quelques propriétés comme les propriétés physiques et les propriétés mécaniques.

I.4.1. Les propriétés physiques:

I.4.1.1 La masse volumique apparente:

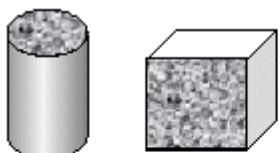
Définition: C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent en état naturel, après passage à l'étuve à 105 ± 5 °C, notée γ_{ap} et exprimée en (gr/cm³ ; kg/m³; T/m³).

*Détermination:

Il existe plusieurs méthodes pour déterminer la masse volumique apparente des matériaux de construction selon leur dimension et leur dispersion:

a) Pour les matériaux solides :

les roches naturelles, le béton, le bois .., on peut faire des échantillons de forme géométrique (cubique, cylindrique, ..).



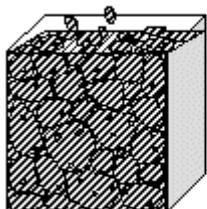
$$\gamma_{ap} = \frac{M_s}{V_{ap}}$$

Fig I.2

γ_{ap} – Masse volumique apparente (kg/m³).
 M_s – Masse d'un corps sèche.
 V_{ap} – Volume apparent.

b) Pour les matériaux incohérents: (ensemble de grains – sable ou gravier).

La détermination de la masse volumique apparente peut se faire en utilisant un récipient standard (de volume connu).



$$\gamma_{ap} = \frac{M_s}{V_{ap}}$$

γ_{ap} – Masse volumique apparente (kg/m³).
 M_s – Masse d'un corps sèche.
 V_{ap} – Volume apparent.

Fig.I.3

La masse volumique d'un ensemble de grains est fortement influencée par la composition granulométrique, la forme des grains, le degré de tassemement ainsi que la teneur en eau lorsque les grains sont petits. La masse volumique apparente des sables ou des graviers peuvent varier entre 1400 à 1650 kg/m³.

c) Pour les matériaux de construction qui n'ont pas de forme géométrique (forme de patate):

La détermination de la masse volumique apparente des matériaux avec cette forme peut se faire de façon indirecte. Dans ce cas, les échantillons étudiés doivent être enrobés de paraffine afin d'être protégés de la pénétration de l'eau, ensuite on va les peser dans l'eau.

Pour déterminer la masse volumique des matériaux de ce type on a:

Ms : Masse sèche d'échantillon (g)

Ms+P : Masse sèche d'échantillon après avoir enrober une paraffine (g).

M_{(S+P)L}: Masse sèche d'échantillon après avoir enrobé de paraffine et pesé dans l'eau (g).

g_P: Masse de la paraffine ayant enrobé de l'échantillon et γ_P – masse volumique absolue de paraffine.

$$\gamma = \frac{\gamma_{ap} \frac{M_s}{(M_{S+P} - M_{(S+P)L})}}{1 - \frac{g_P}{\gamma_P}}$$

$M_{S+P} - M_{(S+P)L}$ – est la poussée d'Archimèdes.

$\frac{(M_{S+P} - M_{(S+P)L})}{1}$ – volume apparent d'échantillon absorbée par la parafine.

$\frac{g_P}{\gamma_P}$ – volume de parafine.

I.4.1.2. La masse volumique absolue:

Définition: C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seule, pores à l'intérieur des grains exclus), après passage à l'étuve à 105 °C, notée (γ_{ab}) et exprimée en (g/cm³, kg/m³ ou T/m³).

*Détermination:

Si les matériaux étudiés sont poreux, on doit les concasser et les broyer jusqu'à ce que la dimension des grains de matériaux (l'échantillon) devienne inférieure à 0,2 mm. Ceci afin d'éliminer les pores et les vides existants dans les matériaux. Ensuite, on verse l'échantillon dans un récipient, qui contient de l'eau pour pouvoir déterminer la masse volumique absolue (Voir la figure 3)

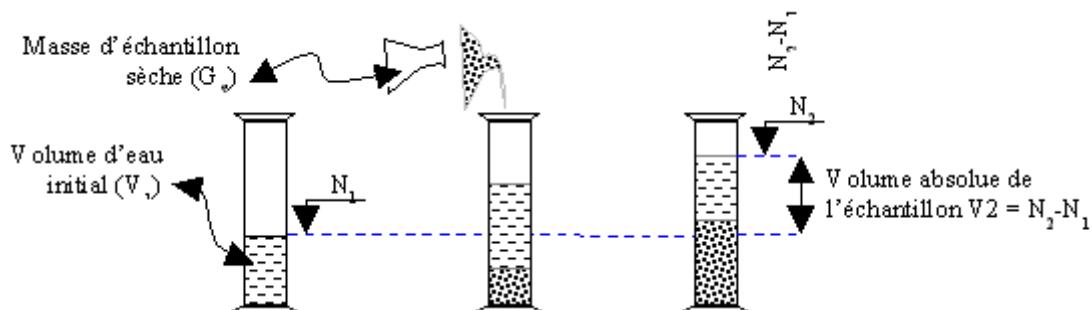


Fig.I.4: Détermination de la **masse volumique absolue** d'un matériau.

D'abord on va remplir le voluménomètre d'eau (N_1), ensuite on verse l'échantillon sec dans le voluménomètre et le niveau de l'eau va augmenter (N_2). La différence entre le niveau N_1 et N_2 est le volume absolu de l'échantillon. La masse volumique absolue peut se calculer:

$$\gamma = \frac{M_s}{N_2 - N_1} \quad \gamma_{ab}$$

Si les grains ne sont pas poreux, la masse spécifique absolue et apparente sont identiques

$\gamma_{granules\;usuels} = 2,60 \text{ à } 2,70$ (en moyenne 2,68)

A la place de la masse spécifique et de la masse volumique, on utilise aussi les anciennes dénominations de poids spécifique et de poids volumique ainsi que les notions de densité apparente qui sont des nombres sans dimension égaux au rapport de la masse spécifique ou de la masse volumique à la masse d'un volume égal absolu ou apparent d'eau à 4° C.

I.4.1.3. La porosité et la compacité:

a) Porosité:

La porosité est le rapport du volume vide au volume total.

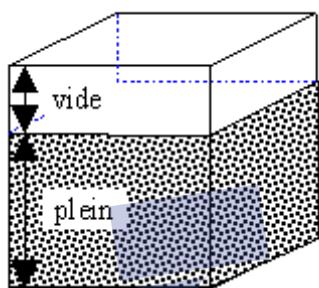


Fig.I.5: Volume quelconque.

On peut aussi définir la porosité comme le volume de vide par unité de volume apparent.

$$p = \frac{\text{volume de vide}}{\text{volume total}}$$

b) Compacité:

La compacité est le rapport du volume des pleins au volume total.

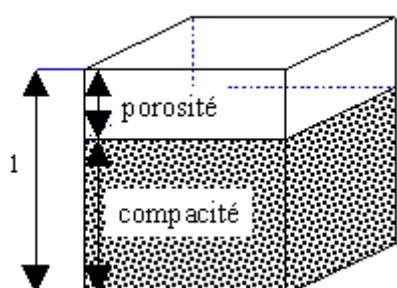


Fig.I.6: Volume unitaire.

Ou volume des pleins par unité de volume apparent.

$$C = \frac{\text{volume solide}}{\text{volume total}}$$

La porosité et la compacité sont liées par relation:

$$P+C=1$$

La porosité et la compacité sont souvent exprimées en %. La somme des deux est alors égale à 100%. En effet:

$$p + c = \frac{\text{volume vide}}{\text{volume total}} + \frac{\text{volume solide}}{\text{volume total}} = 1$$

I.4.1.4. L'humidité (teneur en eau):

L'humidité est une des propriétés importantes des matériaux de construction. Elle est un indice pour déterminer la teneur en eau réelle des matériaux au moment de l'expérience.

En général l'humidité est notée W et s'exprime en pourcentage (%). On peut déterminer l'humidité de matériaux quelconques en utilisant la formule suivante:

$$W = \frac{m_w}{m_s} \cdot 100\%$$

Où :

m_s : est la masse sèche d'échantillon (après passage à l'étuve)

m_w : est la masse de l'eau.

Le degré de l'humidité des matériaux dépend de beaucoup de facteurs, surtout de l'atmosphère où ils sont stockés, le vent, la température et de la porosité du matériau.

I.4.1.5. L'absorption de l'eau:

L'absorption de l'eau du matériau est la capacité de conserver des échantillons quand ils sont immergés au sein de l'eau à température de 20,5 °C et à la pression atmosphérique. A cette condition l'eau peut pénétrer dans la plupart des vides intersticiels du matériau. Si la porosité du matériau est importante, l'absorption de l'eau est plus grande, mais l'absorption est toujours inférieure à la porosité du matériau.

$$w_m = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100\% \text{ en pourcentage}$$

$$w_v = \frac{m_2 - m_1}{V} \cdot 100\% \text{ en kg/m}^3$$

Où :

m_2 – est la masse du matériau saturé
 m_1 – est la masse du matériau sec.

V – est le volume naturel du matériau.

Le rapport entre la résistance à la compression d'un matériau saturé R_{sat} à la résistance à la compression à l'état sec R_{sec} s'appelle le coefficient de ramollissement.

$$Kram = \frac{R_{sat}}{R_{sec}}$$

Il caractérise la résistance à l'eau des matériaux, exemples :

Argile → Kram= 0 ; Métaux et verre → Kram= 1

I.4.1.6. Degré de Saturation:

La résistance mécanique des matériaux dépend de plusieurs facteurs. Un des plus importants facteurs influençant la résistance est le degré de saturation.

On a remarqué que les matériaux absorbants de l'eau, ont une résistance certainement diminuée. C'est pourquoi on doit déterminer le degré de saturation de matériaux.

Lorsque tous les vides d'un corps sont remplis d'eau, on dit qu'il est saturé.

Le degré de saturation est le rapport du volume de vide rempli d'eau au volume total de vide. Il joue un grand rôle dans les phénomènes de destruction des matériaux poreux par le gel. En se transformant en gel, l'eau augmente de 9% en volume environ.

Le degré de saturation est l'absorption maximale de matériaux sous les conditions de pression et de température.

Il y a deux moyens pour réaliser la saturation dans les échantillons de matériaux: l'immersion des échantillons dans l'eau bouillante et à la saturation en pression d'air .

Pour déterminer le degré de saturation en pression d'air, on a la démarche suivante:

- Immerger les échantillons dans l'eau.
- Donner la pression de base de 20 mm Hg jusqu'au moment où on peut éliminer toutes les bulles d'air.
- Ensuite on fait baisser la pression de base de 20 mm Hg à la pression atmosphérique. À ce moment là, presque tout le vide est rempli d'eau et dans ce cas-là on dit que les échantillons sont saturés.

Le degré de saturation peut se calculer par la formule suivante:

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\%$$

où:

S_r : est le degré de saturation (%)

V_w : est le volume de l'eau.

V_v : est le volume des vides.

*L'eau et les matériaux pierreux (Divers états de l'eau dans un matériau poreux):

On distingue trois grandes catégories d'eau:

- L'eau absorbée: qui se trouve dans le vide entre les particules de matière solide;
- L'eau adsorbée: qui se trouve à la surface des particules solides; Plus les particules sont petites, plus cette eau joue un rôle important. La première couche moléculaire est orientée et présente des propriétés voisines de celles de l'état solide;
- L'eau chimiquement liée: qui fait partie des particules solides.

Ces distinctions ne sont pas toujours absolument claires. Par exemple, dans le gypse $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ et dans le plâtre $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$, l'eau intervient dans l'édifice cristallin, mais tout en conservant son identité. Dans un spectre infrarouge du gypse et du plâtre, il apparaît les bandes anhydrite CaSO_4 et eau H_2O juxtaposées. On parle d'eau d'hydratation ou de cristallisation.

Par contre, dans la réaction $\text{MgO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mg(OH)}_2$, l'eau se combine chimiquement en perdant son identité.

*L'eau dans les granulats destinés à la confection des bétons:

En général, les granulats naturels utilisés pour la confection du béton sont peu poreux et n'absorbent pratiquement pas d'eau lorsqu'ils sont gâchés avec le ciment et l'eau. Par contre, des granulats artificiels, tels le LECA (Light expanded clay aggregate = agrégats légers expansés d'argile), sont poreux. Il faut alors tenir compte de l'absorption de l'eau par les granulats lorsque l'on détermine la quantité d'eau requise pour fabriquer le béton.

I.4.1.7. Hygroscopicité :

C'est la capacité du matériau à absorber les vapeurs d'eau, elle dépend de la température de l'aire, de son humidité, du type, du % et des dimensions des pores ainsi que de la nature du matériau. Plus les pores augmentent plus l'hygroscopicité croît.

- Matériaux hydrophiles → Attirent énergétiquement par leurs surfaces les molécules d'eau.
- Matériaux hydrofuge → repoussent l'eau

I.4.1.8. La perméabilité:

C'est la capacité du matériau à laisser passer l'eau sans pression, elle est caractérisée par la quantité d'eau passant pendant une heure à pression constante par 1m^2 de surface du matériau. La majorité des matériaux denses, tels que l'acier, le verre le bitume et les plastiques sont étanches à l'eau.

I.4.1.9. Résistance au gel:

C'est le pouvoir d'un matériau saturé d'eau de supporter la congélation et le dégel alternatifs sans aucun signe de destruction ni perte sensible de résistance. Le degré de résistance au gel est établit en déterminant le coefficient de résistance au gel d'après la formule :

$$K_{Rg} = \frac{R_{Rg}}{Rsat}$$

Avec :

R_{Rg}: Résistance à la compression du matériau après l'essai de gel.

Rsat: Résistance à la compression du matériau saturé d'eau.

Pour les matériaux résistant au gel K_{Rg} doit être supérieure à 0,75.

I.4.1.10. Conductibilité thermique :

C'est la capacité du matériau de laisser passer la chaleur à travers son épaisseur. Elle est caractérisée par le coefficient de conductibilité thermique, égale à la quantité de chaleur traversant un échantillon de 1m d'épaisseur, de 1m² de surface pendant une heure.

Elle dépend de la structuration du matériau, de sa nature et de la porosité.

Plus les pores augmentent, plus le coefficient augmentent (Pores communicants).

I.4.1.11. Capacité calorifique:

C'est la capacité d'absorber la chaleur, elle est caractérisée par la chaleur spécifique; qui est la quantité de chaleur dépensée pour éléver de 1°C la température de 1 kg du matériau. La chaleur spécifique est déterminée par :

$$C = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)} \text{ en J/kg.}^{\circ}\text{C}$$

Q : Qtite de chaleur dépensée pour éléver la chaleur de t1 à t2. en joule (J)

m : masse du matériau. t₁, t₂, température du matériau avant et après chauffage.

I.4.1.12. Résistance au feu:

C'est le pouvoir d'un matériau de résister à l'action des hautes températures sans perte de capacité portante (résistance et déformation). Tous les matériaux de construction sont divisés en matériaux incombustibles, peu combustible et combustible. Parmi les mes matériaux qui ne se consument pas (incombustible) on à : les minéraux naturels, artificiel et les métaux. Certains soutiennent le feu le plus violent sans se fissurer ni se déformer, exemple, la brique et l'argile ; les autres, tel l'acier subissent des déformations importantes.

I.4.1.13. La réfractarité:

C'est le pouvoir d'un matériau de résister à l'action continues des hautes températures sans se déformer ou se fondre.

- Matériau réfractaire → $t \geq 1580 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Matériau peu fusible → t de 1530 à 1580 °C
- Matériau fusible → $t \leq 1530 \text{ } ^\circ\text{C}$

I.4.1.14. Stabilité thermique:

C'est le pouvoir de résister à un certain nombre de cycles de variation calorifique brusque sans se détruire. Plus la dilatation croît, plus la stabilité thermique augmente. Le verre et le granite, par exemple, sont thermiquement instables.

I.4.1.15. Imperméabilité aux radiations nucléaires:

C'est la capacité de stopper les rayons γ et les flux de neutrons ; certains ouvrage d'industrie atomiques sont appelées à remplir des fonctions de protection biologique ;
 -Flux de neutrons : stoppés par les matériaux contenant une grande quantité d'eau.

-Les rayons γ : stoppés par les matériaux de masse spécifique élevée (plomb, béton, béton très lourd, béton + bore, cadmium ou lithium).

I.4.1.16. La durabilité:

C'est le pouvoir d'un matériau en service de résister à l'action des facteurs atmosphériques et autres.

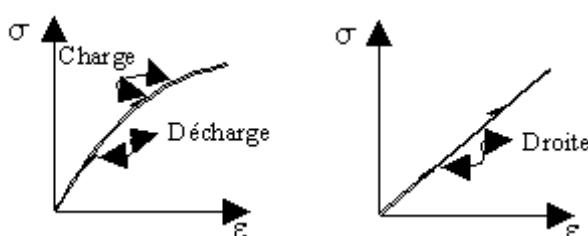
I.4.2 Les propriétés mécaniques:

I.4.2.1. La déformation:

La déformation est une des propriétés essentielles pour des matériaux de construction. Selon la caractérisation des déformations, on les divise en trois sortes:

a). Déformation élastique:

Lorsque l'on effectue un essai de mise en charge et si, après décharge le corps reprend les mêmes formes qu'il avait avant l'essai et qu'il ne reste aucune déformation résiduelle, on dit que le corps a un comportement parfaitement élastique.



(Fig.I.7).

De nombreux corps soumis à des charges peu élevées ont un comportement presque élastique et la déformation est approximativement proportionnelle à la contrainte.

Si l'on reporte les mesures sur un diagramme contrainte (σ) et déformation (ε), on obtient une ligne droite (**Fig.I.7**). Ce type de déformation est appelée élasticité linéaire.

b) Déformation plastique:

La déformation est dite plastique, si après décharge le corps ne reprend pas les mêmes formes qu'il avait avant l'essai, il reste quelques déformations (**fig.I.8**). Cette déformation est appelée aussi déformation résiduelle.

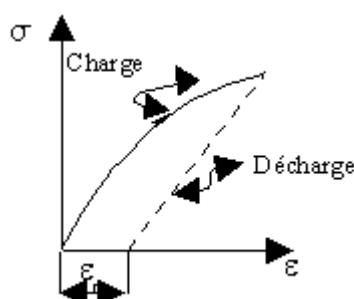


Fig. I.8.Déformation plastique.

c) Le fluage et la relaxation:

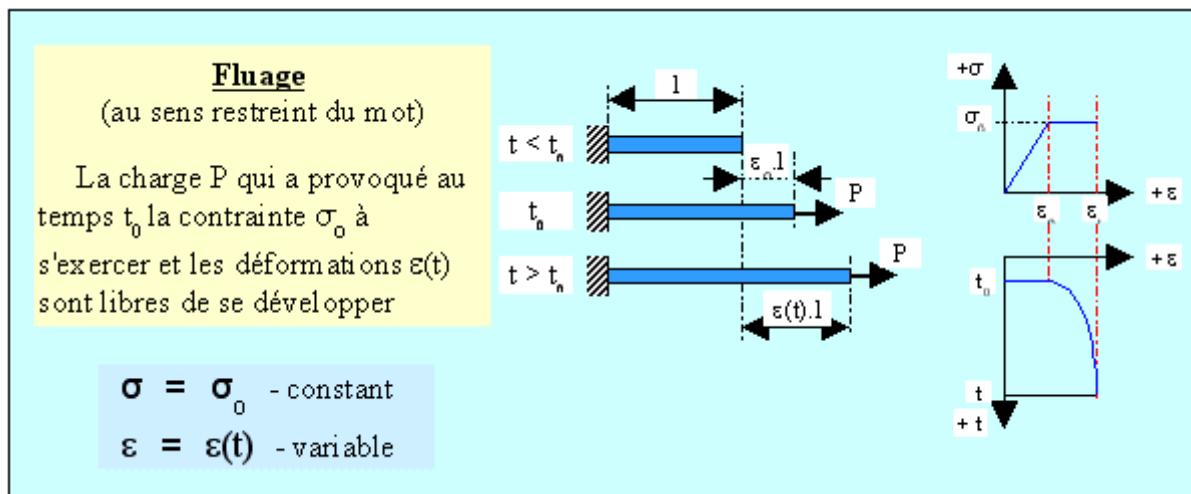
Lorsqu'un corps est soumis à l'action prolongée d'une force, la déformation instantanée apparaissant lors de la mise en charge est suivie d'une déformation différée lente à laquelle on donne le nom de fluage.

Le fluage peut se manifester de deux façons:

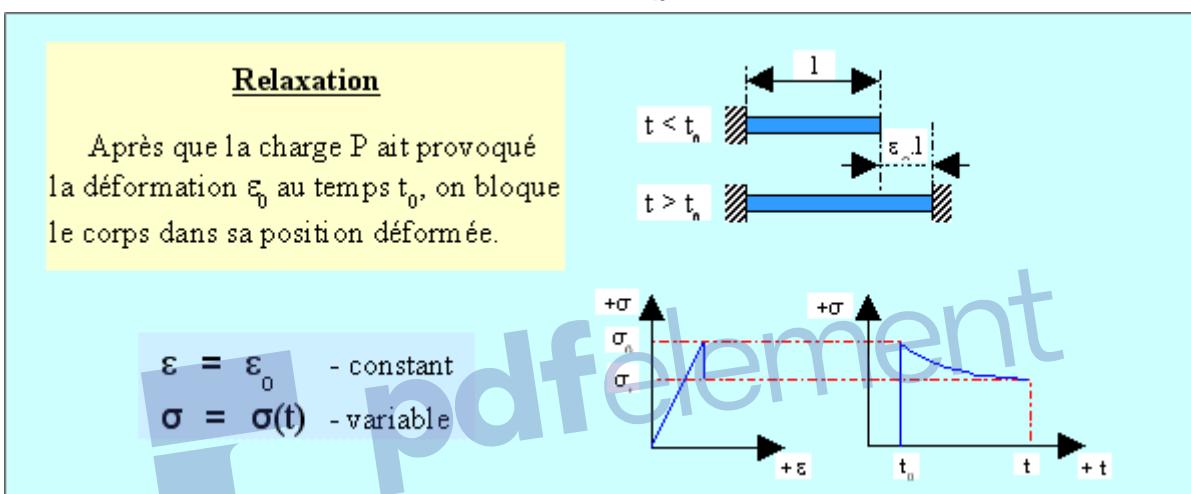
- 1) Le fluage proprement dit (au sens restreint du mot)
- 2) La relaxation.

Admettons que l'action permanente ou de longue durée à laquelle est soumis le corps ait produit un état de contrainte σ_0 et une déformation ε_0 à l'instant de la mise en charge. Deux cas extrêmes peuvent se produire:

a



b



(Fig. I.9.a, b). Fluage et relaxation.

La relaxation est une conséquence du fluage, comme cela est bien mis en évidence par les définitions suivantes:

- Fluage proprement dit = Fluage sous charge constante.
- Fluage sous charge variable = Superposition de fluages débutant à des âges variables.
- Relaxation = Fluage sous charge décroissante variable telle que la déformation reste constante.

d) Déformation visqueuse:

La déformation est dite visqueuse, si après décharge le corps ne reprend pas instantanément les mêmes formes qu'il avait avant l'essai, mais il se produit lentement.

I.4.2.1. La résistance:

En général la résistance des matériaux est sa capacité contre les actions des forces externes (les charges, les conditions d'ambiance) étant définie en contrainte maximale quand l'échantillon est détruit.

La propriété principale de béton durci est sa résistance à la compression. Pour pouvoir évaluer la résistance à la compression, on doit avoir la valeur moyenne de trois échantillons au moins, dont les différences entre eux doivent être inférieures à 15 %.

Il existe deux méthodes pour déterminer la résistance des matériaux : Méthode «Destructif » et méthode «Non destructif».

a) Méthode destructif:

La Méthode de destruction d'échantillon est la plus utilisée, surtout pour déterminer la résistance à la compression de béton, mortier, bloc de béton etc.. Ce type de détermination est largement usité dans les laboratoires. Le mode opératoire est le suivant:

- Préparation des échantillons.
- Entretien des échantillons.
- Destruction des échantillons.
- Détermination des valeurs de résistance.

L'opération de l'essai est exécutée sur les réglementations de la norme concernée.

b) Méthode Non destructif:

La méthode de non destruction d'échantillon est une des méthodes, qui permet l'obtention rapide de la résistance des matériaux des ouvrages (béton d'un ouvrage), sans procéder à des prélèvements de béton durci par carottage.

Généralement il existe quelques moyens usités :

- On utilise l'appareil qui s'appelle « scléromètre ». En fait il s'agit de tester la dureté de surface d'un béton durci (d'ouvrage). Cette dureté d'autant plus élevée que le béton est plus résistant, cela permet d'avoir un ordre de grandeur de la résistance atteinte par un béton à un âge donné.
- On utilise l'appareil qui peut lancer le rayon X à travers l'ouvrage. Selon le changement de la vitesse du rayon X, il est possible de déterminer la résistance du matériau.
- L'utilisation de l'auscultation sonique : Le principe de l'essai consiste à mesurer la vitesse du son à l'intérieur du béton. Cette vitesse est d'autant plus élevée que le béton est plus résistant; cela permet d'avoir un ordre de grandeur de la résistance atteinte par un béton à un âge donné.