

Chap II - La rupture fragile

I - Généralités

Avec le développement de l'acier dans la 2^{ème} moitié du 19^{ème} siècle se multiplient les accidents dû à l'utilisation inadéquate de ces matériaux.

Certains de ces accidents étaient soudains et brutaux, caractéristiques d'une rupture fragile.

Exemple 1938 un pont en Belgique s'effondra par un temps très froid.
1943 un pétrolier en construction soudée se brisa complètement en deux.

- Les expertises montraient que la plupart de ces ruptures prirent naissance en des points de concentration des contraintes.
- Les pts de concentration des contraintes = défauts existants ou naissants en cours de service.
- Bien que ces ruptures soient en nombre faible par comparaison avec celles causées par plastification, elles sont particulièrement dangereuses.
- Elles ne peuvent que difficilement être détectées à l'avance car elles se produisent avec peu ou pas de déformation préalable.
- Par ailleurs il faut savoir que une fois initiée, la rupture fragile se développe à une vitesse telle que toute action corrective est impossible (jusqu'à 2000 m/s). Ces caractères justifient donc l'immense effort de recherches qui y a été consacré et qui a abouti à la création de la Mécanique de la rupture.

II - Caractères de la rupture fragile

Nombreuses études se sont penchées sur les mécanismes microscopiques mis en jeu lors d'une rupture fragile.

La majorité des matériaux contiennent beaucoup de défauts dû au matériau lui-même, à sa mise en oeuvre ou à la conception de la pièce considérée.

→ initiateurs de rupture.

Selon la nature et l'importance des forces de liaisons atomiques un matériau peut être caractérisé selon son mode de rupture (fragile ou ductile)

Les principaux paramètres de la ~~fragilité~~ fragilité:

- Entaille
- Vitesse de déformation
- Température

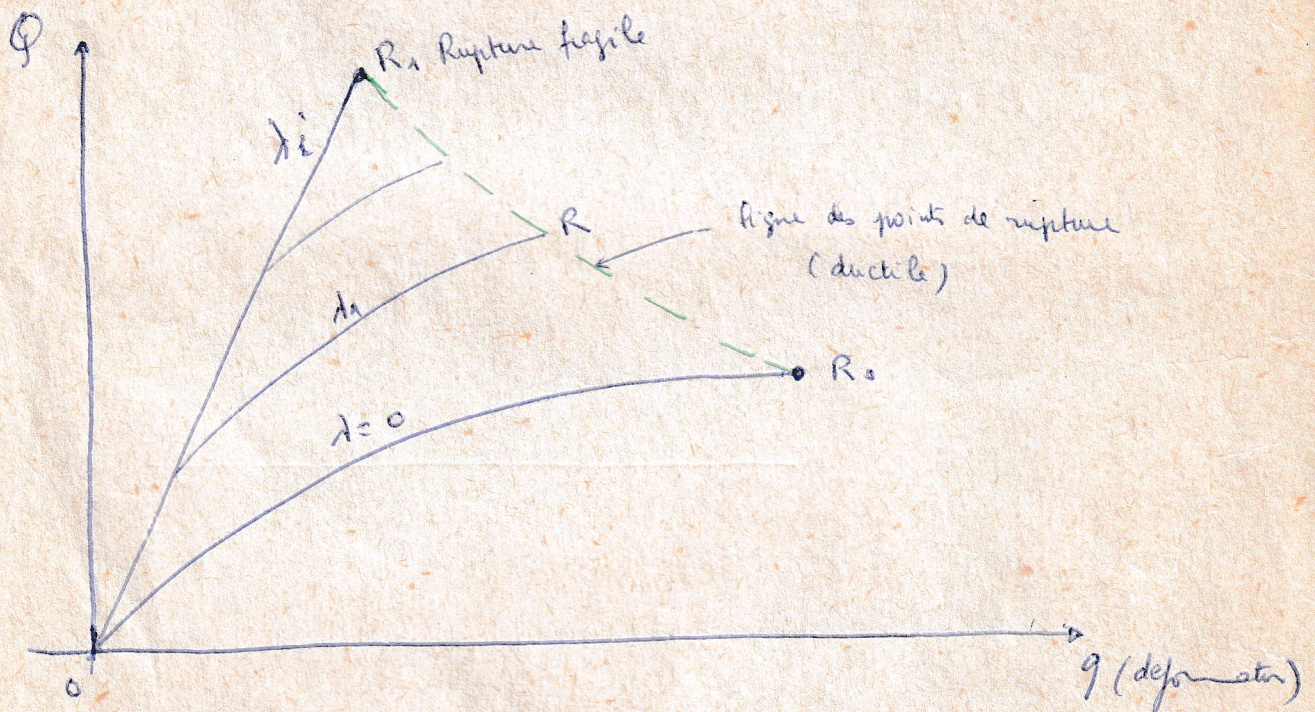
⊕ Forme

La forme de la pièce sollicitée joue un rôle non négligeable. Des géométries présentant des angles vifs peuvent provoquer une fragilité marquée.

⊕ Vitesse

La vitesse de déformation peut modifier le comportement. Un matériau peut se déformer ductilement pour des sollicitations lentes et se comporter comme un matériau fragile lors du choc. En effet pour des vitesses de charges ou de déformation croissante, les déformations avant rupture sont de plus en plus faibles et les contraintes de plus en plus élevées (mode de rupture passe du glissement vers le clivage).

À très grande vitesse pour la majorité des matériaux, la rupture est fragile.



λ paramètre qui décrit la vitesse de charge

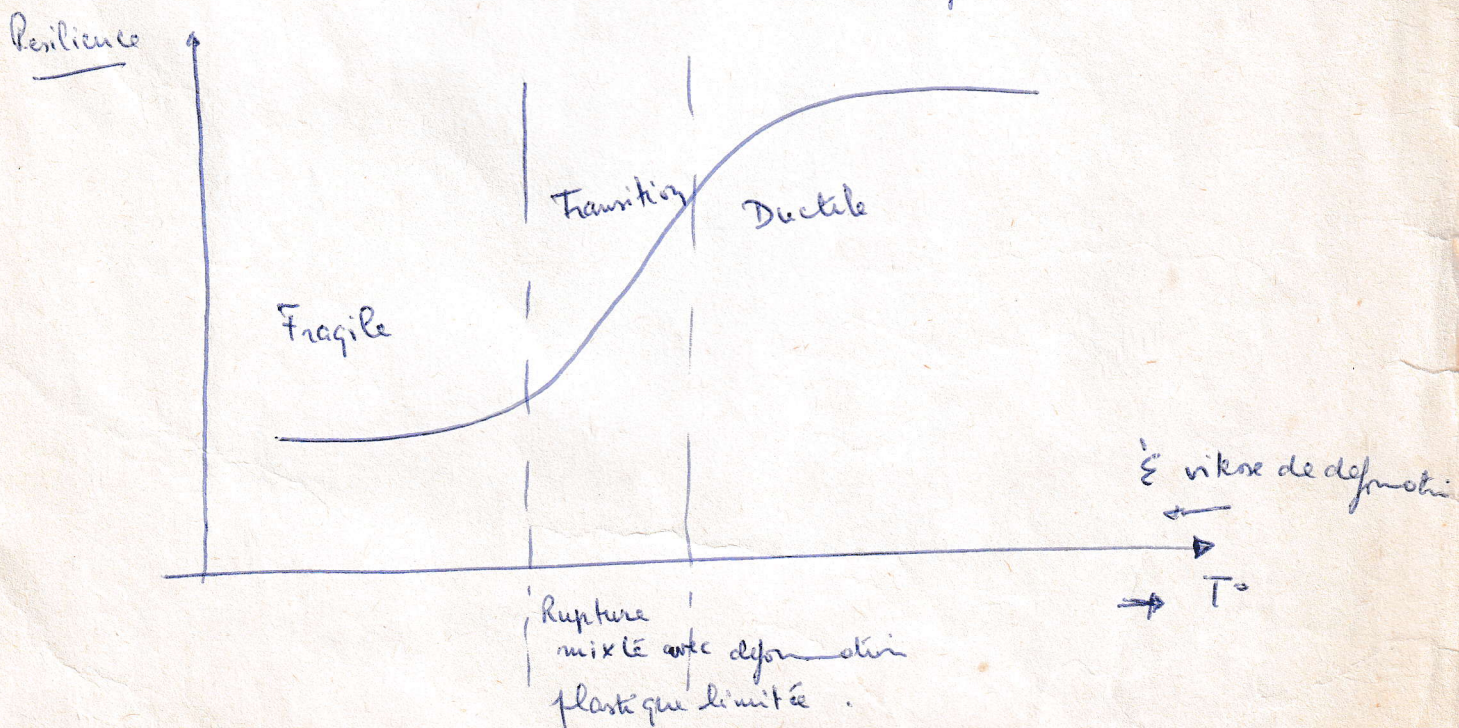
$\lambda_i \rightarrow$ croissantes.

- Temperature

- Un abaissement de la température agit dans le même sens qu'une augmentation de la vitesse de déformation. En effet, la température est un facteur déterminant.
- Si certains matériaux restent ductiles des plus basses jusqu'aux plus hautes températures la plupart des autres matériaux tendent à être fragiles à basse température et ductiles à hautes températures et ce pour une vitesse de déformation imposée.
- Il est évident que plus la T^0 s'abaisse et plus le matériau devient "cassant" c'est à dire sujet à une rupture fragile. A T^0 plus élevée on constate au contraire que la ~~rupture~~ rupture s'accompagne d'une plus grande déformation plastique, caractère révélateur d'une rupture ductile. Les T^0 auxquelles se manifestent ces comportements dépendent du matériau considéré.
- La mise en évidence du changement de comportement se fait aisément par observation du faciès des éprouvettes de traction rompues à différentes T^0 .
- La rupture fragile se caractérise par une cassure "plane" et un faciès dit "à grain".
- La rupture ductile présente d'importantes zones de déformation plastique et un faciès dit "à nœud".

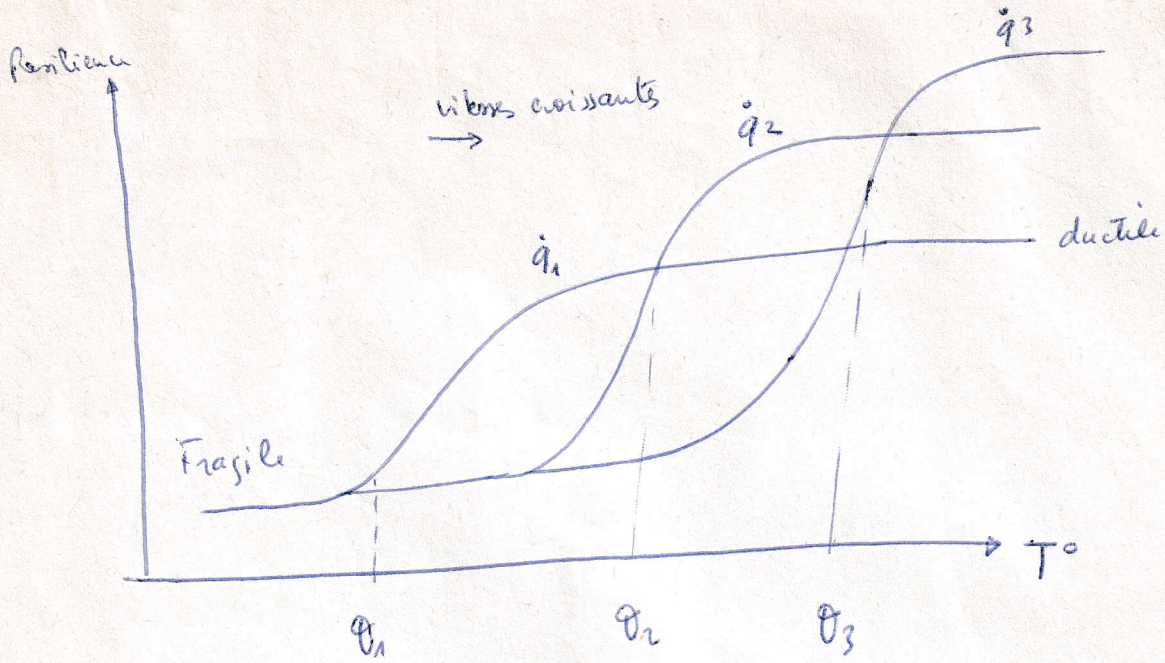
La transition de l'état fragile vers l'état ductile se fait dans le domaine de transition centré autour d'une température T_t (souvent de l'ordre de $0,5T_f$, si T_f est le point de fusion du matériau).

On notera aussi que T_t est fonction de la vitesse de déformation ou de sollicitation.



Courbe de transition fragile-ductile

Le faciès de rupture est composé d'une zone à grains (fragile) entourée d'une zone à nerf (ductile).

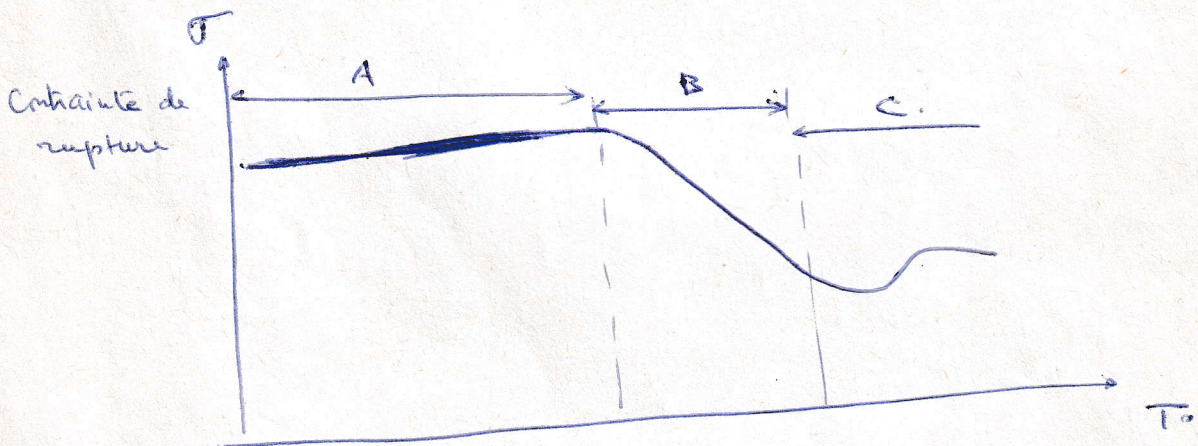


Pour un même matériau, les mécanismes physiques qui contrôlent la rupture vont donc dépendre de la T_0 . On distingue 3 domaines

Région A : Rupture fragile qui se produit par propagation des défauts pré-existants

Région B : rupture fragile ou semi-fragile initiée ou assistée par déformation plastique

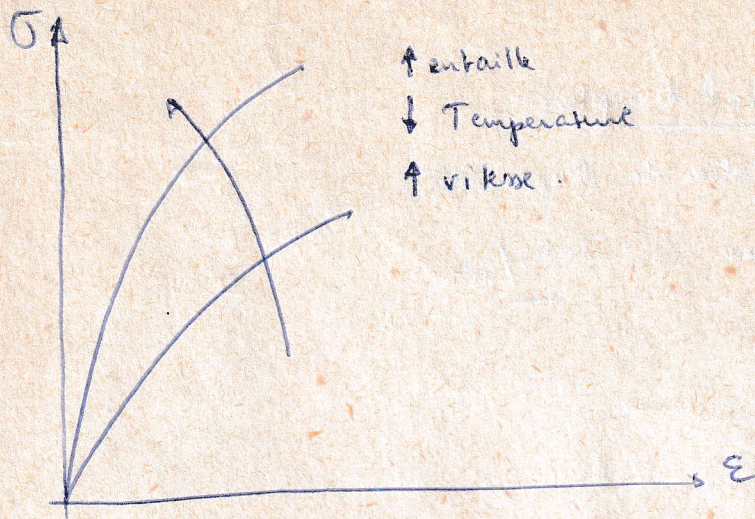
Région C : rupture ductile qui se produit après déformation plastique importante.



D'un point de vue physique on peut faire une distinction selon le mode de rupture à l'échelle des liaisons atomiques -

- Dans un solide ductile, la rupture intervient par glissement (activé par la présence de défauts : dislocations)
- Dans un solide fragile, la rupture se produit par clivage selon un plan atomique (ce qui nécessite une force de traction suffisante pour briser les liaisons).

L'effet de l'entaille, de la vitesse de déformation et de la T° sur la courbe σ - ϵ est illustré par la figure suivante :



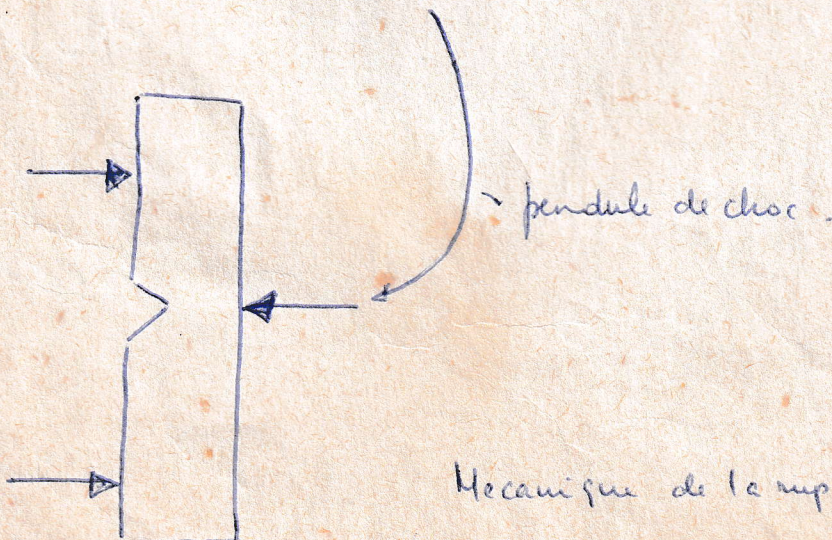
Plus cette courbe est élevée et plus le matériau est fragile.

Essais de choc

Des essais de choc réalisés à différentes températures montrent que la résilience est étroitement liée à la T° ainsi que le fait apparaître la courbe de transition de la résilience.

Alors que l'essai de traction renseigne sur la résistance d'un matériau pour des efforts appliqués de façon lente et progressive, l'essai de résilience mesure la ténacité aux chocs : la fragilité est l'inverse de la résilience.

La sensibilité d'un matériau à l'effet d'entaille se mesure par un essai de résilience consistant en un chargement statique ou dynamique d'une éprouvette entaillée. L'essai le plus traditionnel est l'essai de flexion par choc sur éprouvettes bi-appuyées communément appelé essai Charpy.



→ la résilience est mesurée par l'énergie dissipée au cours du choc pour obtenir la rupture de l'éprouvette :

$$K = \frac{W}{S} = \frac{\text{travail de rupture}}{\text{Section de l'éprouvette}}$$

Résilience s'exprime en Joules/m²

