

Annexe : Principe de la pré-fissuration d'une éprouvette par essai sandwich

La mécanique de la rupture et la mesure de la ténacité

école _____
normale _____
supérieure _____
paris – saclay _____

Sébastien GRANGE - Jean-Loup PRENSIER

Edité le 20/04/2007

La pré-fissuration des éprouvettes en matériau fragile ne peut pas se faire de façon simple car la fissuration est un phénomène *instable* pour ces matériaux. En effet, imaginons une éprouvette soumise à un essai de flexion trois points, comme sur la figure 1. La rigidité en flexion de cette poutre est EI , où E est le module d'Young du matériau (inchangé au cours de l'essai) et I le moment quadratique qui vaut, pour une section rectangulaire,

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

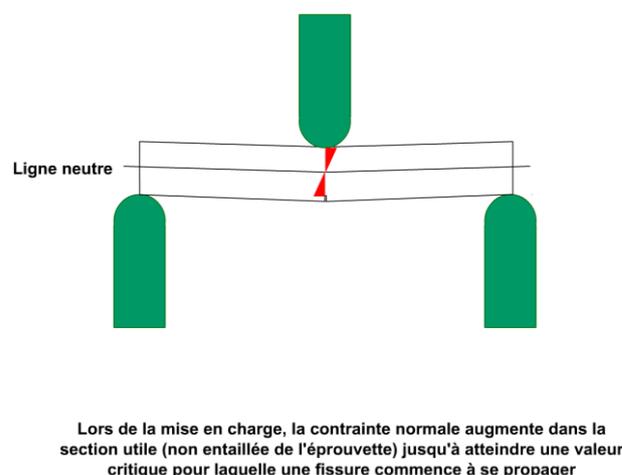
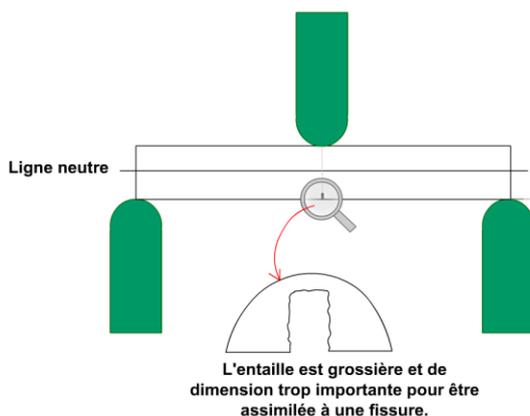
où b est l'épaisseur de l'éprouvette et h sa hauteur. Si l'éprouvette est entaillée, on peut admettre que la partie entaillée n'a plus aucune rigidité en flexion. Le moment quadratique vaut alors :

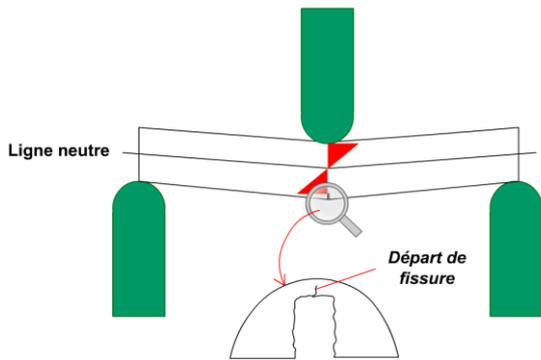
$$I = \frac{b(h-a)^3}{12}$$

où a est la longueur de la fissure. Cette expression montre que plus la longueur de la fissure augmente, plus la rigidité en flexion diminue et donc, plus les contraintes normales augmentent au sein du matériau. Par conséquent, lorsqu'une fissure se propage au sein d'un matériau fragile, sa propagation est instable et conduit obligatoirement à la rupture de l'éprouvette (ce n'est pas le cas pour les matériaux ductiles, car la plasticité apparaît). Ce mécanisme est récapitulé sur les vues de la figure 1.

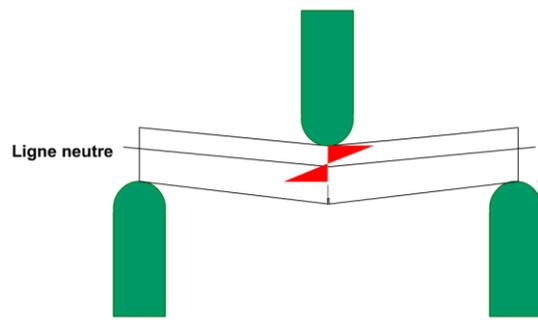
Pour pré-fissurer une éprouvette fragile, il faut donc utiliser une technique permettant de *stopper la fissuration* à temps ; l'essai sandwich est une de ces techniques.

Imaginons une éprouvette entaillée chargée dans un montage de flexion 3 points
- l'objectif est de créer une fissure à partir de l'entaille existante.

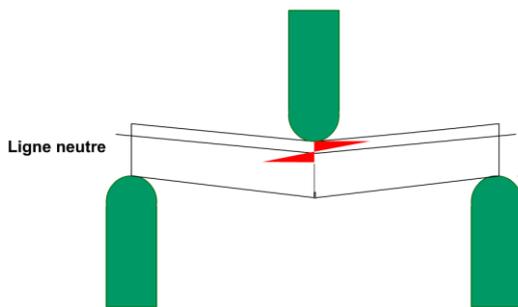




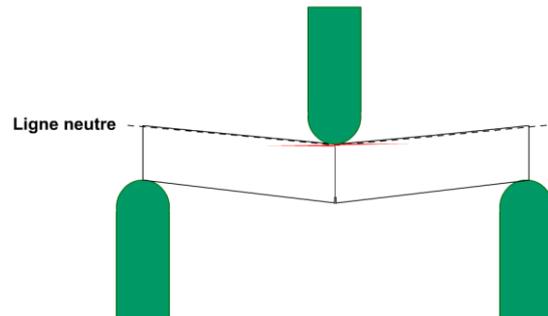
Lors de la mise en charge, la contrainte normale augmente dans la section utile (non entaillée de l'éprouvette) jusqu'à atteindre une valeur critique pour laquelle une fissure commence à se propager



La section utile (et la rigidité) de l'éprouvette diminuent alors que le chargement est constant. La fissure se propage et traverse l'éprouvette de manière instable.



La section utile (et la rigidité) de l'éprouvette diminuent alors que le chargement est constant. La fissure se propage et traverse l'éprouvette de manière instable.



La section utile (et la rigidité) de l'éprouvette diminuent alors que le chargement est constant. La fissure se propage et traverse l'éprouvette de manière instable.

L'éprouvette est rompue: ce type de montage ne permet pas de créer une fissure sur une éprouvette d'un matériau fragile.

Figure 1 : Essai de flexion 3 points sur une éprouvette entaillée en 6 vues

Le principe de l'essai sandwich est représenté sur la figure 2. L'éprouvette entaillée de matériau fragile est placée entre deux poutres de matériaux ductiles (par exemple acier ou alliage d'aluminium). Cet ensemble est soumis à un essai de flexion trois points.

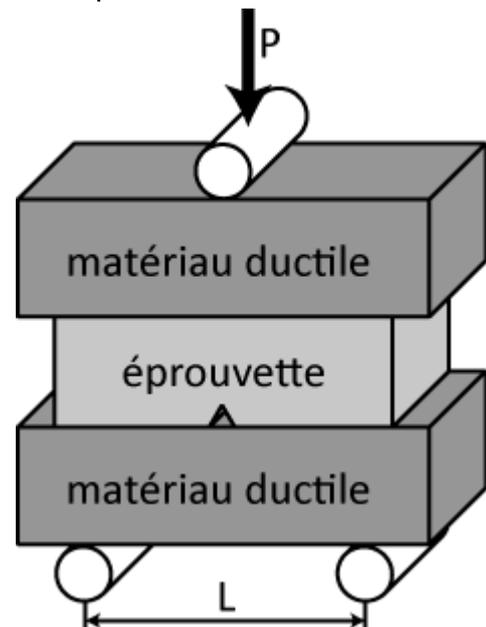
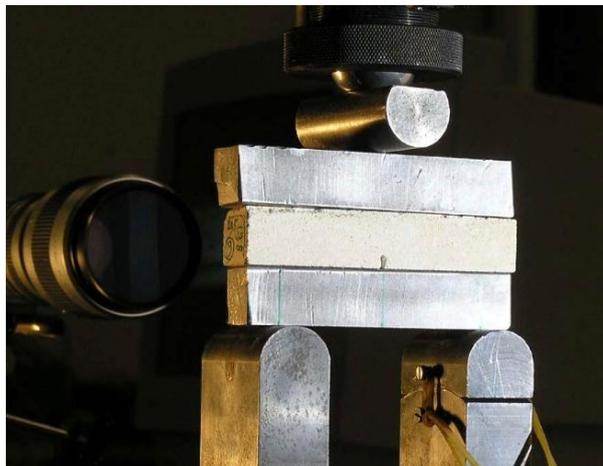


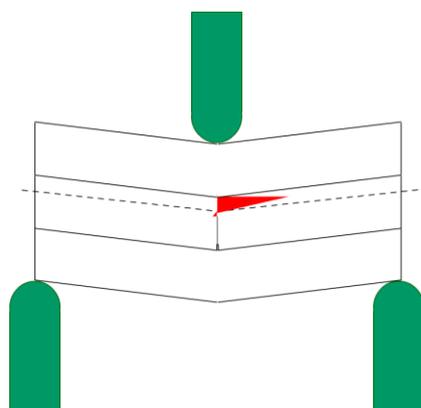
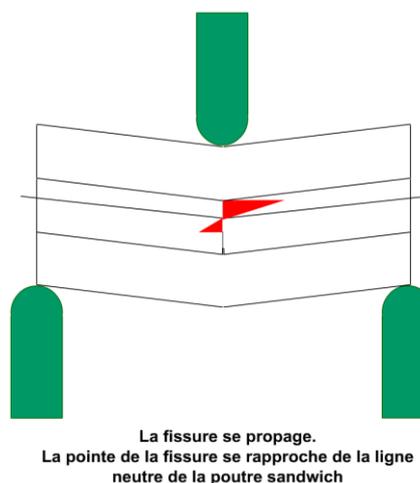
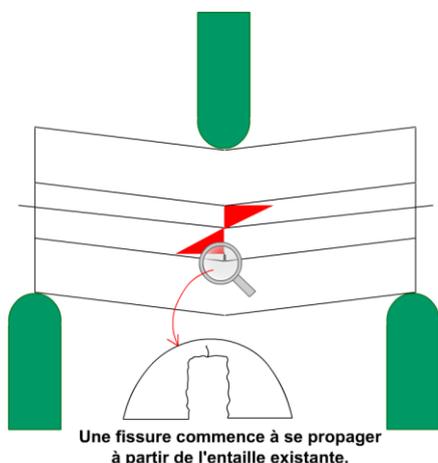
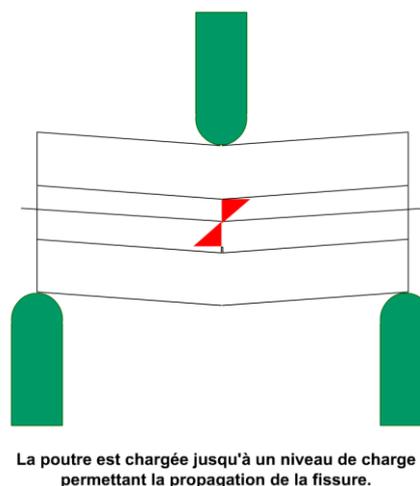
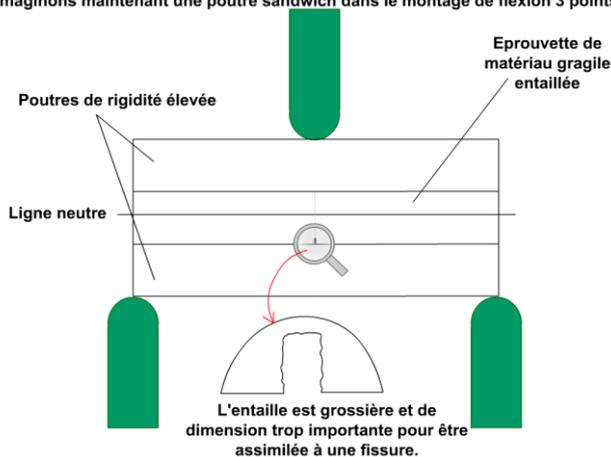
Figure 2 : Photos et schéma de l'essai sandwich

On choisit de prendre les poutres ductiles telles que leur rigidité (EI) soit supérieure à celle de l'éprouvette. La rigidité de l'ensemble en flexion dépend donc essentiellement de la rigidité des

poutres ductiles. Lorsque l'éprouvette n'est pas fissurée, la ligne neutre du système (ligne où les contraintes normales sont nulles) est au centre de l'éprouvette (figures 1 et 3). Si l'éprouvette est entaillée, on peut admettre que la partie entaillée n'a plus aucune rigidité en flexion. La ligne neutre va donc se déplacer vers le haut. Cependant, comme la rigidité des poutres ductiles n'a pas changé et qu'elle est bien supérieure à celle de l'éprouvette, la ligne neutre se déplace peu en tout cas, moins que la pointe de la fissure, comme le montre l'animation de la figure 3.

Au début de l'essai, la fissure est sollicitée en traction, ce qui tend à l'ouvrir. Vient alors un moment où la pointe de la fissure atteint la ligne neutre, où les contraintes normales sont nulles. Par conséquent, la pointe de fissure n'est plus sollicitée en traction ; si jamais elle venait quand même à dépasser la ligne neutre, elle se retrouverait sollicitée en compression, ce qui refermerait la fissure et stopperait sa propagation. La fissuration ne peut donc pas se poursuivre.

Imaginons maintenant une poutre sandwich dans le montage de flexion 3 points



Pour un niveau de charge donné, la fissure n'est plus sollicitée (se trouve au niveau de la ligne neutre de la poutre sandwich) et ne se propage plus.
L'objectif de l'essai est atteint: une fissure est générée dans la matériau fragile

Figure 3 : Essai sandwich pour la pré-fissuration d'éprouvettes en 5 vues

Une fois la propagation stoppée, la localisation de la pré-fissure est détectée, par exemple à l'aide d'une méthode de corrélation d'images, et l'éprouvette peut être utilisée pour mesurer la ténacité du matériau.

Ressource publiée sur Culture Sciences de l'ingénieur : <http://eduscol.education.fr/sti/si-ens-paris-saclay>