



# Fissuration des poutres

*Jacques CORTADE*



18/11/2015



- Diverses approches de calcul de  $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$
- Adaptation des formules existantes
- Méthode «  $\zeta$  » pour calculer  $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$
- Résultat de la méthode «  $\zeta$  » pour  $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$
- Résultats expérimentaux : flèches et fibres optiques
- Résultats des poutres RL
- Conclusion

Pour les poutres massives, des contraintes internes non uniformes apparaissent, compliquant les problèmes de déformation, donc de fissuration.

C'est pourquoi les formules des codes de calcul, surtout celles de l'Eurocode 2, représentent mal les résultats des expérimentations.

Ces formules sont du type:

$$w = s \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$$

où  $s$  est la distance entre fissures et  $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$  la déformation moyenne.

$$s = 2c + 0,5 f_{ctm} \cdot \Phi_s / (\tau_{bm} \cdot \rho) \quad (\text{CM2010})$$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = (\sigma_s - \beta \cdot \sigma_{sr}) / E_s$$

$$\sigma_{sr} = f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_s) / \rho_s$$

L'objet de cette présentation est de proposer des adaptations ou une approche nouvelle pour ces formules.

Les formules que nous retiendrons sont celles du CM2010,

$$w = s \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \quad \text{MC2010 Eq (7,6-3)}$$

$$s = 2c + 0,5 f_{ctm} \cdot \Phi_s / (\tau_{bm} \cdot \rho) \quad \text{Eq (7,6,4-4)}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = (\sigma_s - \beta \cdot \sigma_{sr}) / E_s \quad \text{Eq (7,6-5)}$$

$$\sigma_{sr} = f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_s) / \rho_s \quad \text{Eq (7,6-6)}$$

Nous n'appliquerons pas l'effet d'échelle car l'espacement entre fissures donne des volumes concernés voisins de celui de l'éprouvette.

Pour des espacements plus grands, pour tenir compte de l'effet d'échelle, nous proposons de multiplier par 0,6 le coefficient  $\beta$  du « tension stiffening »,

L'équation (7,6-5) devient: 
$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = (\sigma_s - 0,6 \cdot \beta \cdot \sigma_{sr}) / E_s$$

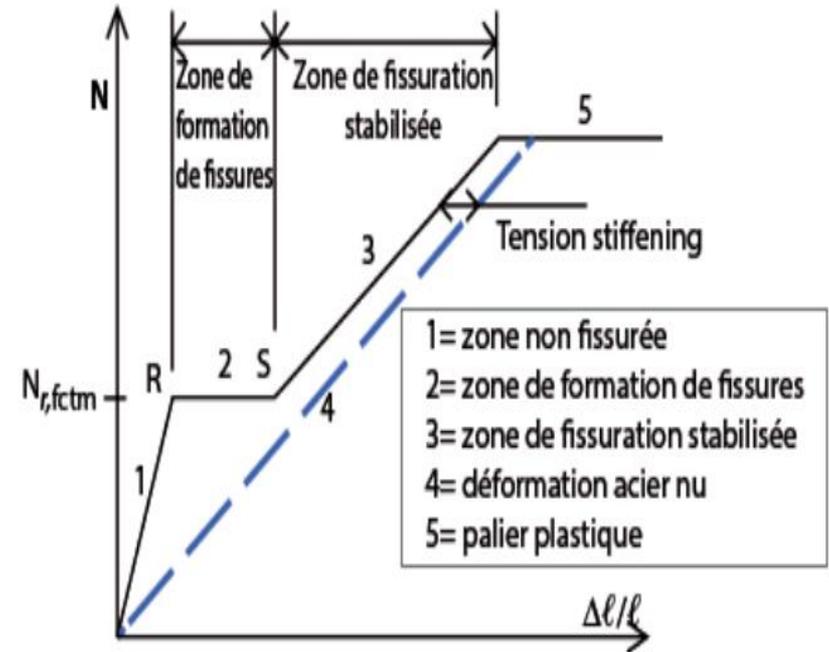
En se référant au calcul des flèches par interpolation entre l'état non fissuré (I) et l'état entièrement fissuré (II) de l'élément, où on utilise une formule du type:

$$\alpha = \zeta \alpha_{II} + (1 - \zeta) \alpha_I$$

où  $\zeta = 1 - \beta (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2$ .

Il est possible calculer  $\epsilon_{SM} - \epsilon_{CM}$  par une méthode similaire.

L'avantage de cette approche est de faire apparaître le stade de propagation de fissures, en inclinant la ligne horizontale 2.



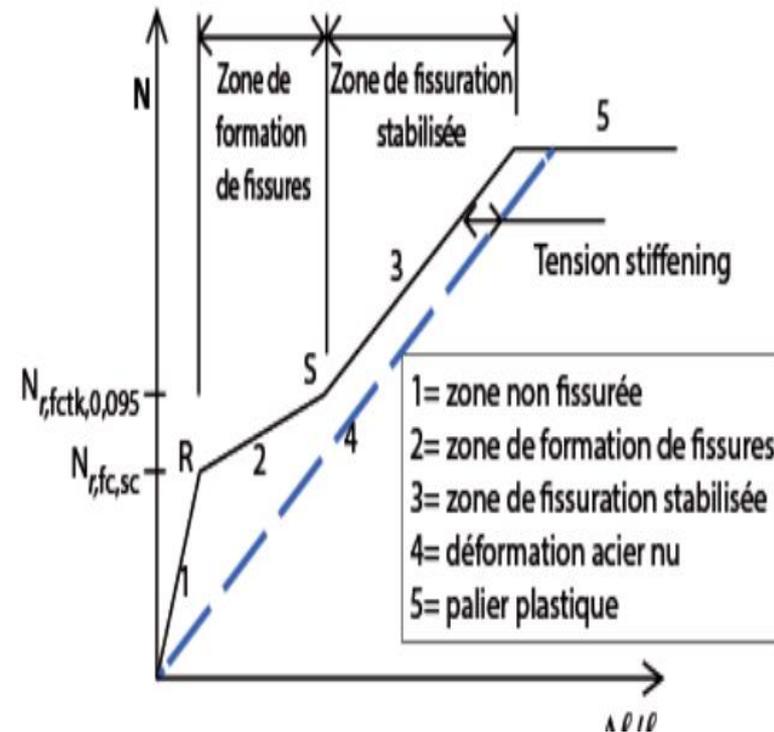
Au point R la valeur de  $f_{ct}$  sera celle de la résistance minimale à la traction dans l'élément  $f_{ct, scale1}$  correspondant au volume  $V_{eq} = \min(1,25;l) \cdot \min(1,25;b) \cdot \min(1,25;h_{cef})$ .  
 Au point S  $f_{ct} = f_{ctk,0,95}$ .

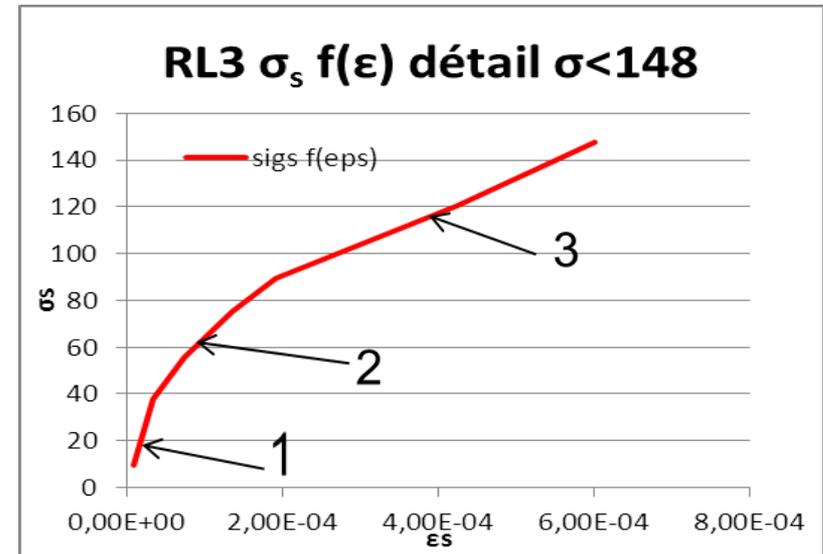
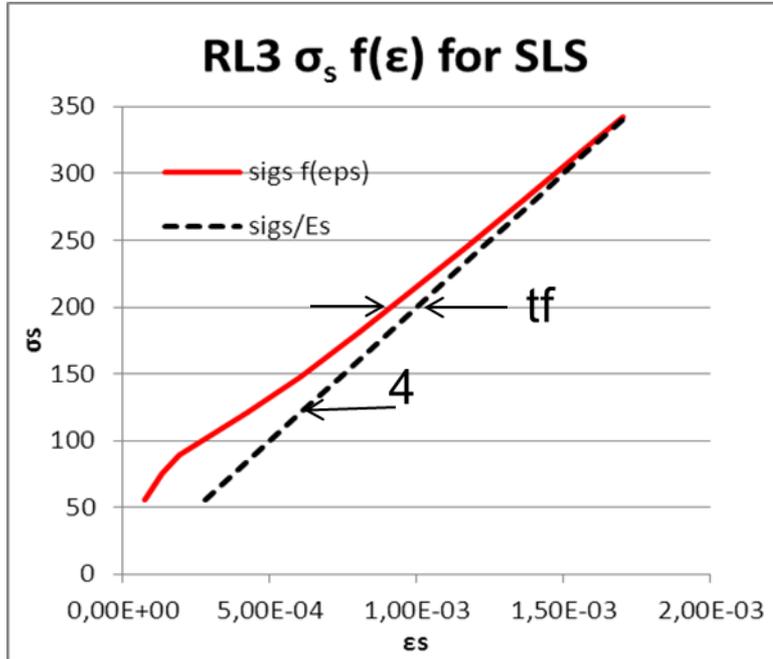
Nous poserons  $\varepsilon = \zeta \varepsilon_{II} + (1 - \zeta) \varepsilon_I$   
 où  $\zeta = 1 - \beta (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2$ .

$\varepsilon_I$  est la déformation dans l'état non fissuré et  $\varepsilon_{II}$  celle de l'état fissuré.

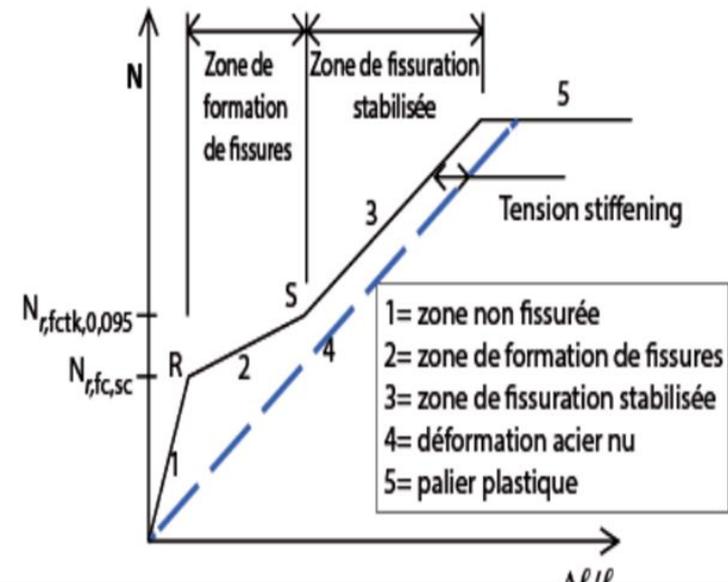
Donc  $\varepsilon_I$  donnera le point R, début de la fissuration, et  $\varepsilon_{II}$  correspondra au début du stade de fissuration stabilisée (plus de fissure nouvelle) qui commence au point S.

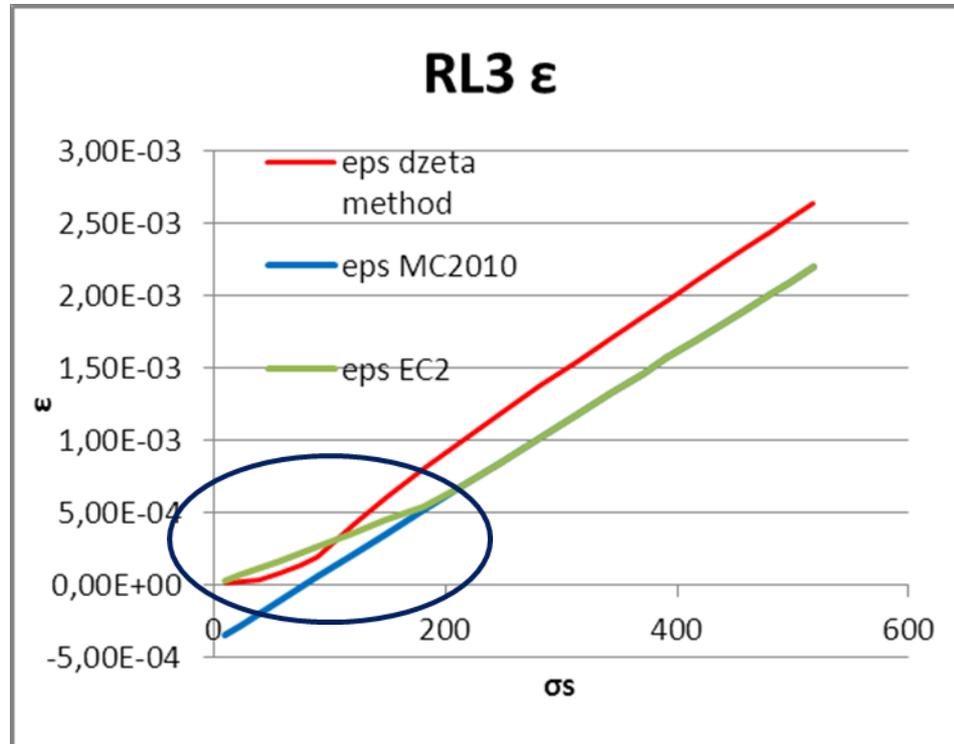
Quant à la ligne 2, qui représente la zone de formation de fissure, nous adopterons une interpolation pour relier les points R et S.



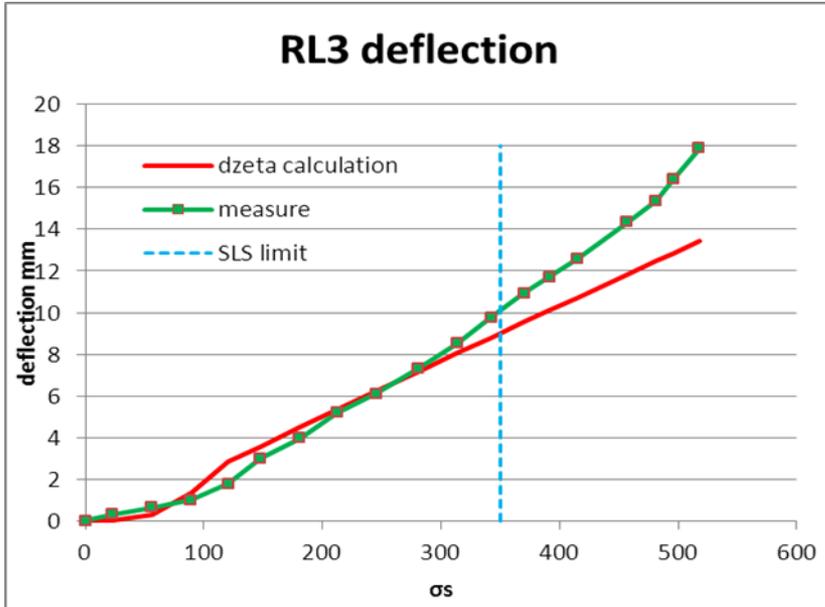


Le « tension stiffening effect » **tf** (raidissement en tension) est variable avec la charge et décroît quand elle augmente.



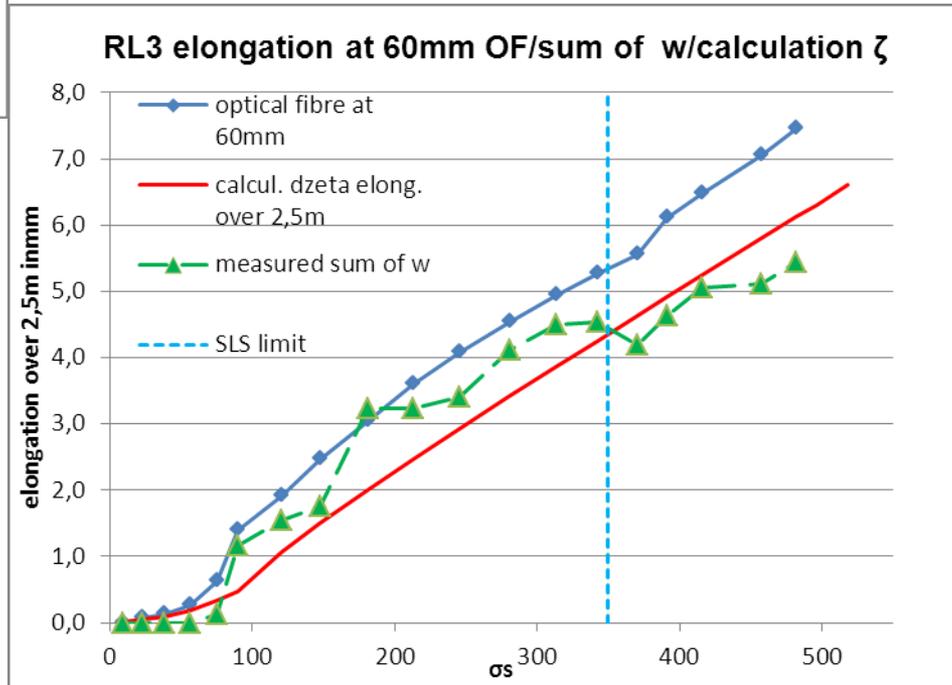


Cet exemple (pour RL3) montre les courbes représentant  $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$  suivant le CM 2010 et EC2-1-1, comparées à celle de la méthode «ζ». Le comportement de la structure aux faibles valeurs de  $\sigma_s$  est plus réaliste que le  $\sigma_s/E_s$  de l'EC2-1-1 ou que l'absence de prise en compte de cette zone de faible contrainte dans le CM 2010.

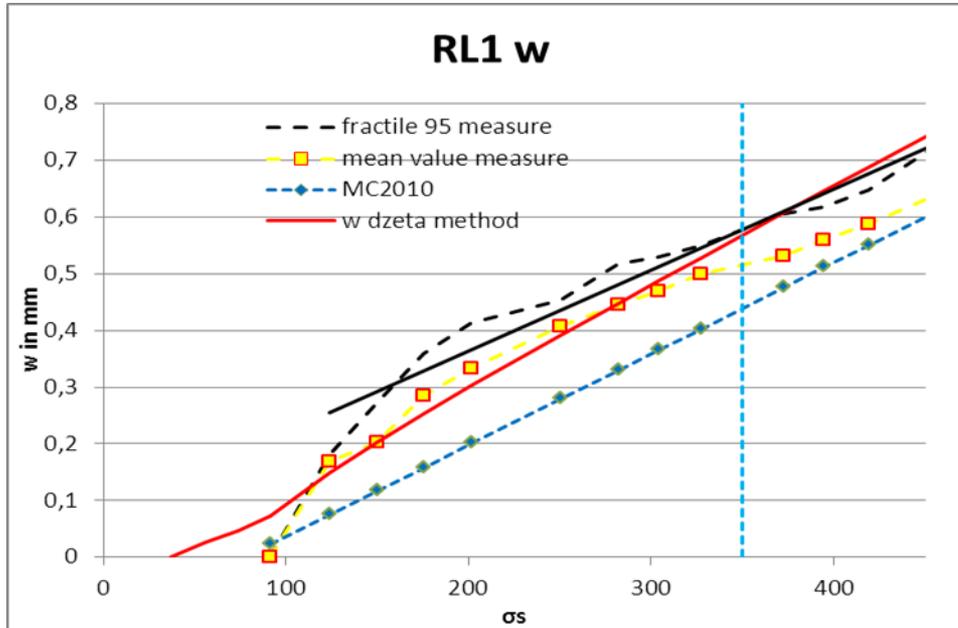


La flèche calculée en utilisant la méthode “ $\zeta$ ” et les résultats des jauges de déplacement sont en bonne concordance.

L’allongement des fibres optiques et la somme des ouvertures de fissures observées sur la longueur de la fibre sont en bon accord avec les résultats de la méthode “ $\zeta$ ”.

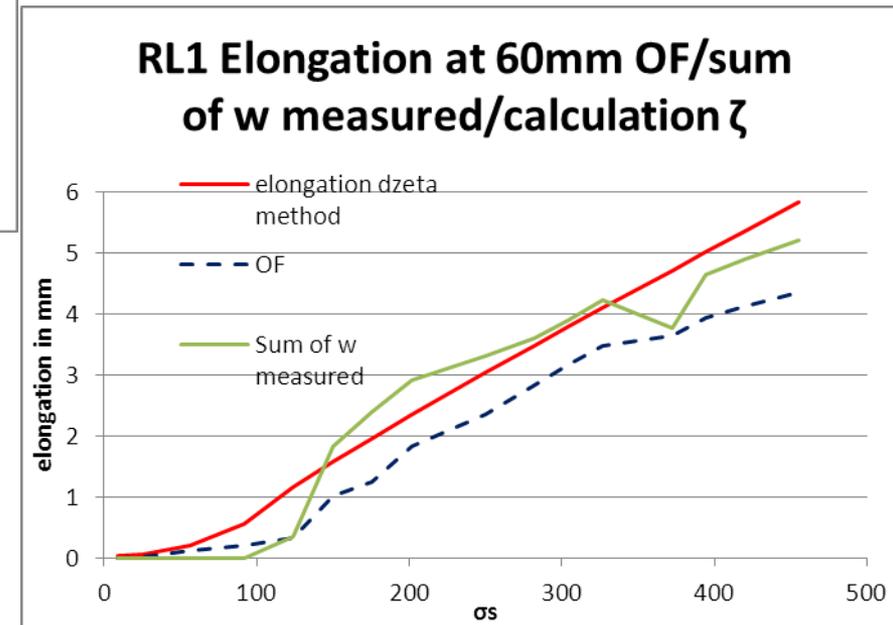


Note: la méthode « $\zeta$ » a été utilisée pour calculer le  $w$  des RL en lui associant l'espacement de fissures  $2 l_{s,max}$  du CM2010.



RL1 est la poutre de base avec 1,13% d'armatures, un béton C50,  $c=50\text{mm}$ ,  $\phi 32\text{mm}$   
 Etant donné qu'elle a subi une fissuration au jeune âge, les fissures sont plus larges qu'attendu,

La méthode « $\zeta$ » donne bien la somme des  $w$  mesurés qui est un peu plus grande que l'allongement des fibres optiques.



Nous, proposons donc de modifier le calcul de l'ouverture des fissures en utilisant l'une des deux méthodes proposées pour calculer  $w = s \varepsilon$  :

Pour l'espacement, retenons  $s = 2 l_{s,max}$ , du CM2010.

Pour  $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$

1° ) la méthode du CM 2010 en modifiant (7,6-5)

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = (\sigma_s - 0,6 \cdot \beta \cdot \sigma_{sr}) / E_s$$

2° ) la méthode « $\zeta$ » qui consiste à faire 2 calculs:

- Le premier suppose la section non fissurée:  $\varepsilon_I$
- Le deuxième la section entièrement fissurée:  $\varepsilon_{II}$

La déformation correspondant à la charge sera donnée par:

$$\varepsilon = \zeta \varepsilon_{II} + (1 - \zeta) \varepsilon_I \quad \text{où } \zeta = 1 - \beta (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2.$$

$\zeta$  est calculé comme il a été dit plus haut.

**MERCI POUR VOTRE ATTENTION**