

Vers le découplage des modes de rupture dans un milieu élastique orthotrope tridimensionnel

Jérôme AFOUTOU, Frédéric DUBOIS, Nicolas SAUVAT, Mokhfi TAKARLI
Laboratoire GC2D, Université de Limoges, 19300, Egletons, France

Contexte et objectifs

La fissuration du bois est une pathologie pouvant apparaître dans les nœuds d'assemblages, comme en partie courante. Le risque est accentué par les variations d'humidité notamment dans la phase de séchage. Pour mieux comprendre le développement de la fissure, il est nécessaire de développer des outils numériques qui permettent de décrire l'état mécanique en front de fissure, tout en prenant en compte l'orthotropie 3D et les gradients d'humidité dans les sections des ouvrages afin de prédire les risques de propagation à travers des critères énergétiques. **L'originalité de ce travail est de proposer un champ de déplacement orthotrope au voisinage du front de fissure en s'inspirant du champ 3D isotrope.**

Modèle et Approche

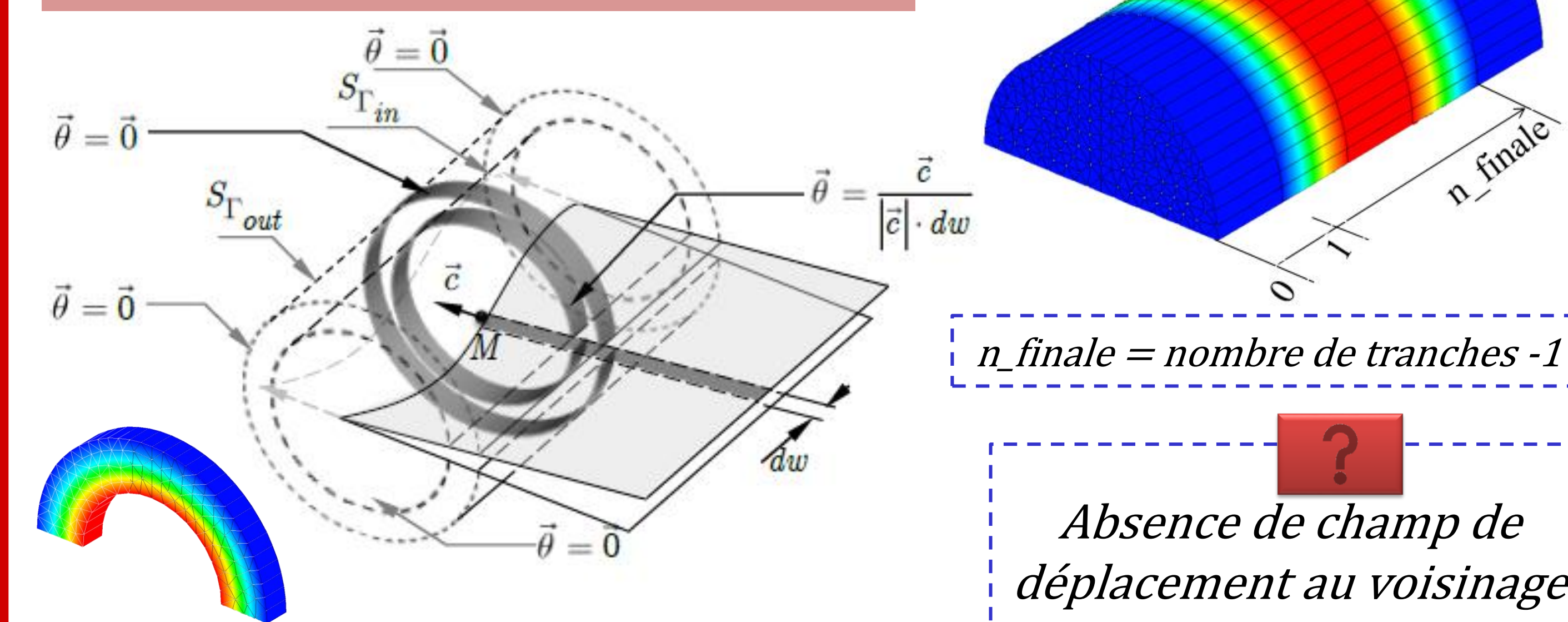
Dans notre approche, mécanique linéaire de la rupture, le taux de restitution d'énergie est le moteur de la fissuration. Ce taux peut s'obtenir par les intégrales invariantes suivantes.

$$G\theta^{3D} = -\int (W \cdot \theta_{k,k} - (\sigma_{ij}^v \cdot u_{i,k} - \sigma_{k,j}^u) \cdot \theta_{k,j}) \cdot dV$$

$$M\theta^{3D} = \frac{1}{2} \int_{S_{\Gamma_{in}}} (\sigma_{ij}^v \cdot u_i - \sigma_{ij}^u \cdot v_{i,1}) \cdot n_j \cdot \theta_k \cdot dS$$

$G\theta^{3D}$: le taux de restitution global
 $M\theta^{3D}$: le taux en découplage de modes

➤ Domaine d'intégration 3D



$n_{finale} = \text{nombre de tranches} - 1$

Absence de champ de déplacement au voisinage du front de fissure pour un matériau orthotrope en 3D

➤ Interprétation physique

$$M\theta^{3D}(u, v) = C_{e1} \cdot \frac{K_I^u \cdot K_I^v}{8} + C_{e2} \cdot \frac{K_{II}^u \cdot K_{II}^v}{8}$$

Part du mode I

Part du mode II

$$K_I^u = 8 \cdot \frac{M\theta^{3D}(K_I^v = 1, K_{II}^v = 0)}{C_{e1}}$$

$$K_{II}^u = 8 \cdot \frac{M\theta^{3D}(K_I^v = 0, K_{II}^v = 1)}{C_{e2}}$$

$${}^v GI = C_{e1} \cdot \frac{(K_I^u)^2}{8} = \frac{8M^2}{C_{e1}}$$

$${}^v GII = C_{e2} \cdot \frac{(K_{II}^u)^2}{8} = \frac{8M^2}{C_{e2}}$$

Proposition

➤ Adaptation champ isotrope au cas orthotrope

$$u_x = \frac{C_{e1}}{4 \cdot (k_i^* + 1)} \cdot K_I^\sigma \cdot \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \cdot \left[(2k_i^* - 1) \cdot \cos \frac{\theta}{2} - \cos \frac{3\theta}{2} \right]$$

$$- \frac{C_{e2}}{4 \cdot (k_i^* + 1)} \cdot K_{II}^\sigma \cdot \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \cdot \left[(2k_i^* + 3) \cdot \sin \frac{\theta}{2} + \sin \frac{3\theta}{2} \right]$$

$$u_y = \frac{C_{e1}}{4 \cdot (k_i^* + 1)} \cdot K_I^\sigma \cdot \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \cdot \left[(2k_i^* + 1) \cdot \sin \frac{\theta}{2} - \sin \frac{3\theta}{2} \right]$$

$$+ \frac{C_{e2}}{4 \cdot (k_i^* + 1)} \cdot K_{II}^\sigma \cdot \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \cdot \left[(2k_i^* + 3) \cdot \cos \frac{\theta}{2} + \cos \frac{3\theta}{2} \right]$$

$$u_z = \frac{K_{III}^\sigma}{4 \cdot \mu} \cdot \sqrt{\frac{r}{2\pi}} \cdot \left[(2k_i^* + 1) \cdot \sin \frac{\theta}{2} \right]$$

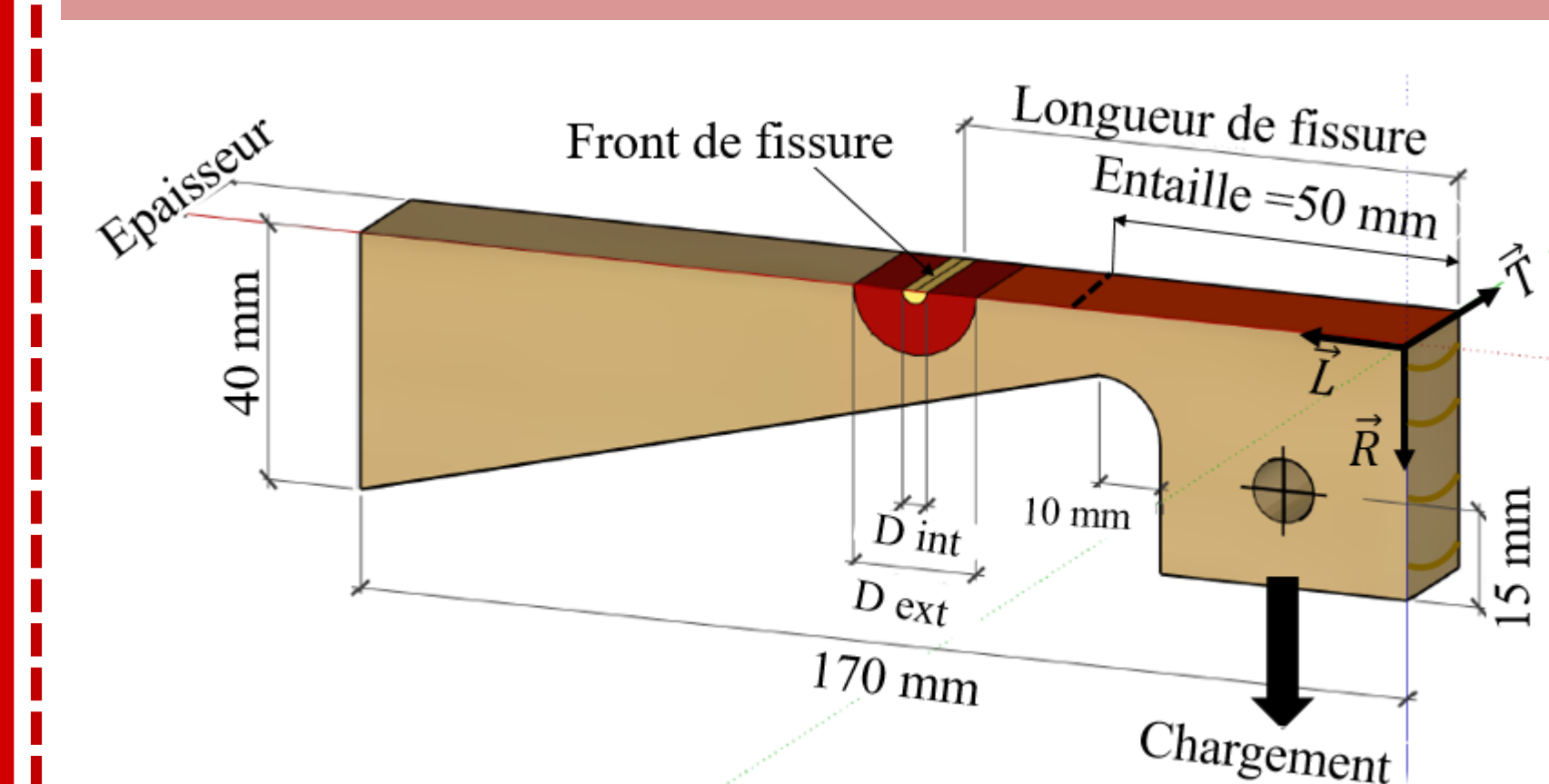
u_x, u_y, u_z : composantes champ de déplacement au voisinage du front de fissure.

C_{e1} et C_{e2} , complaisances élastiques réduites.

K_i^σ , facteur d'intensité de contrainte en mode i .

k_i^* , nouveau paramètre qui devrait être constant.

➤ Eprouvette DCBIV sollicitée en mode I

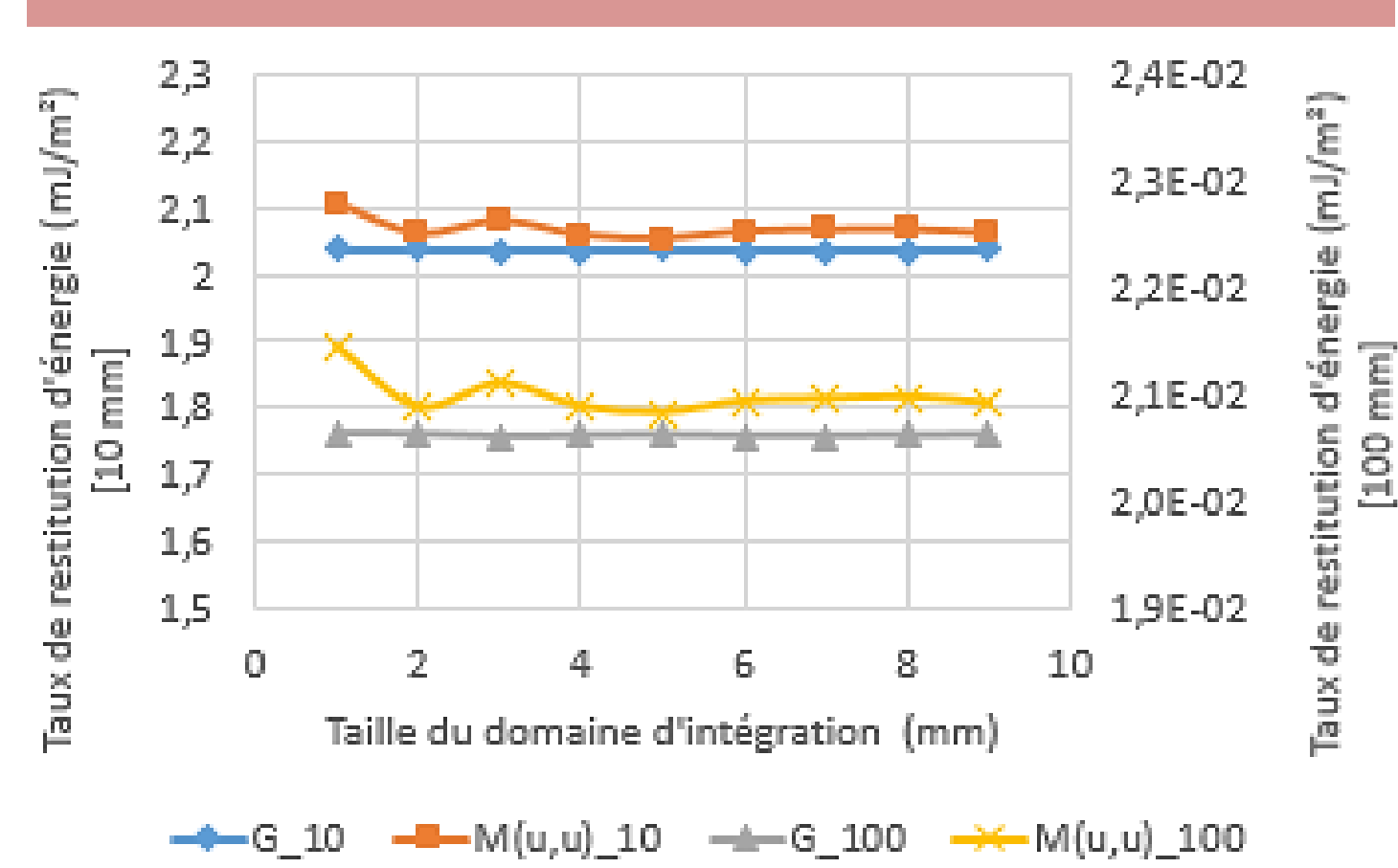


Matériau élastique orthotrope cylindrique.

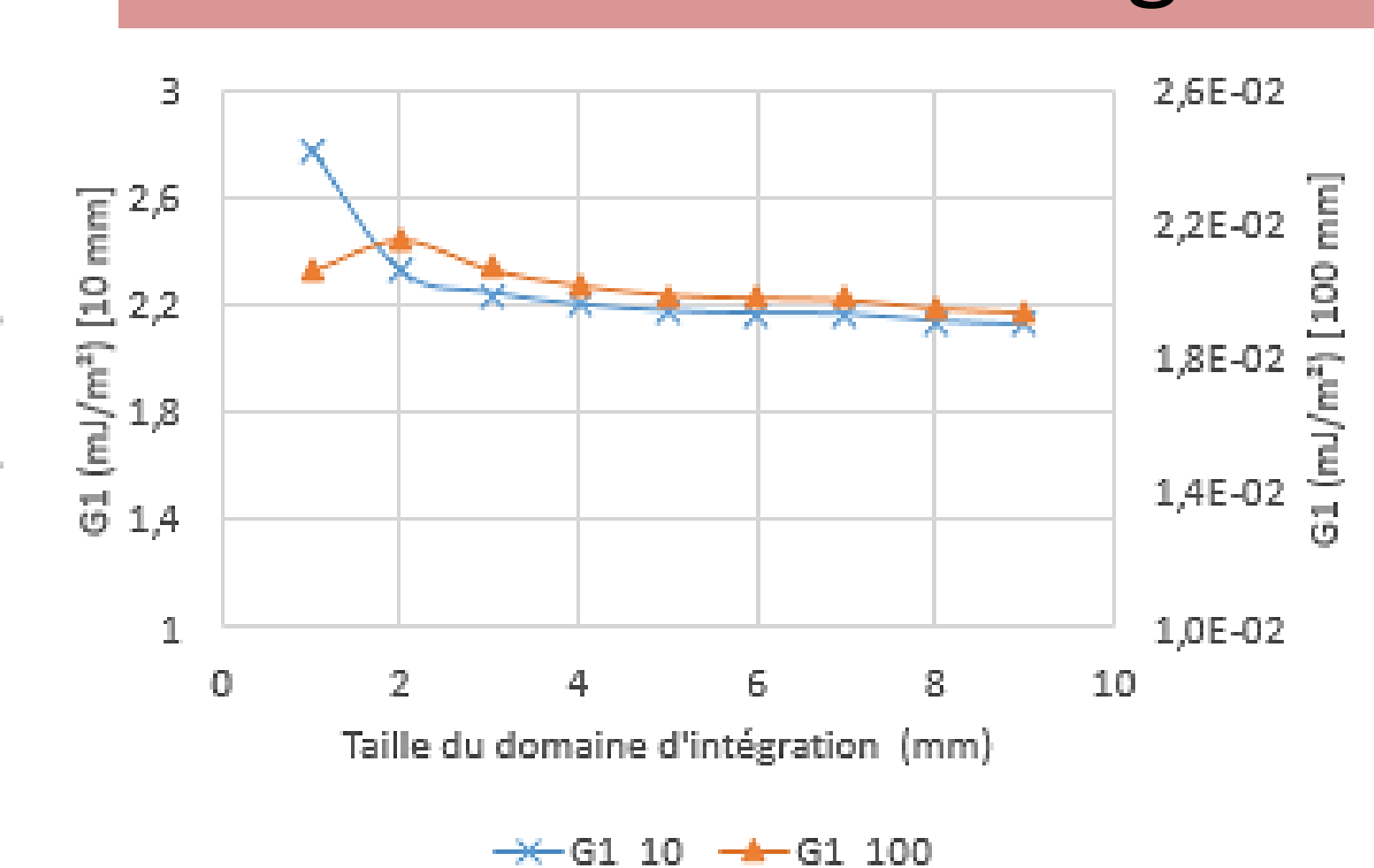
Paramètres d'étude: taux de restitution moyen et le long du front de fissure, épaisseur, longueur de fissure, taille de la couronne.

Résultats

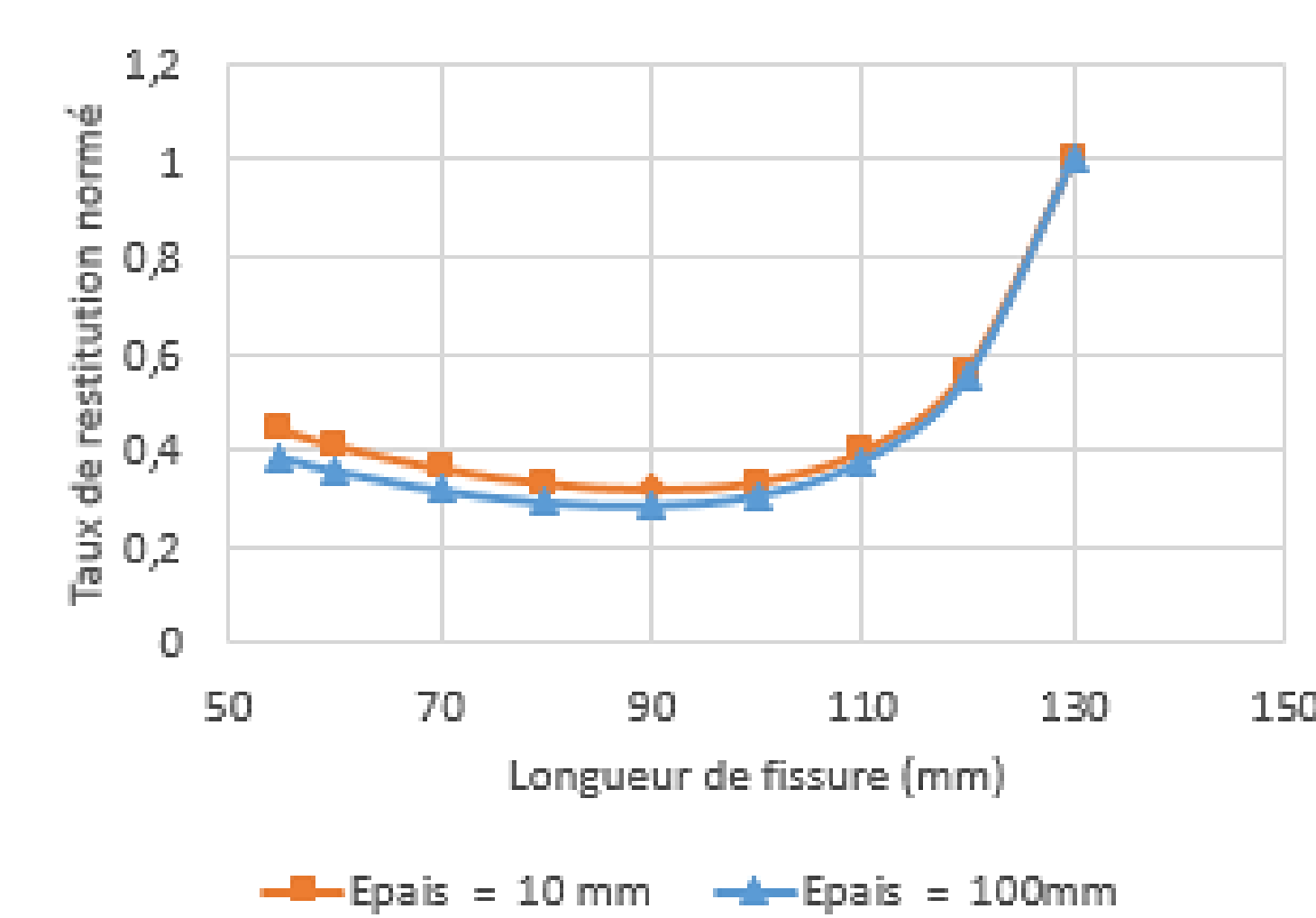
➤ Stabilité du modèle



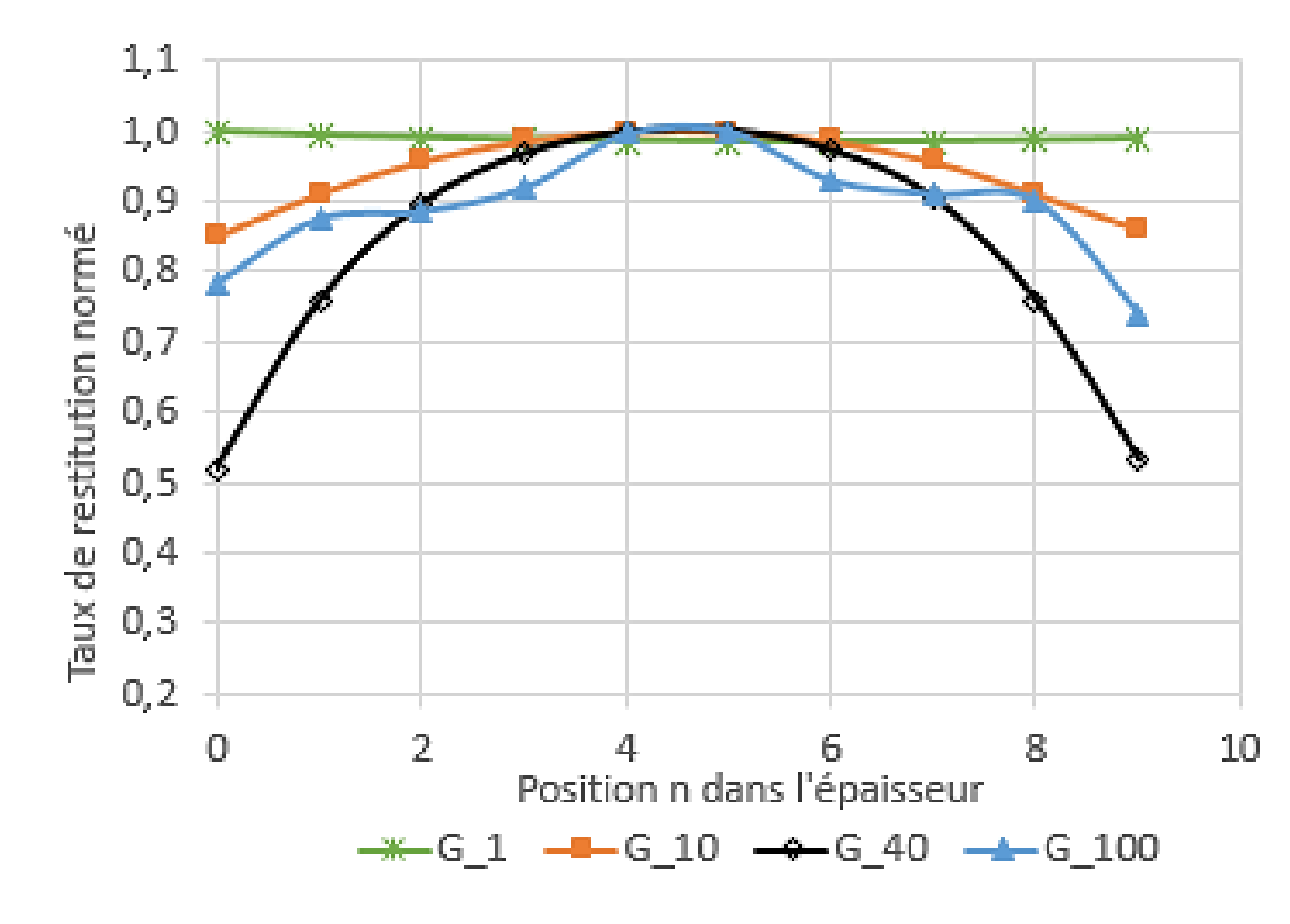
➤ Invariance de l'intégrale



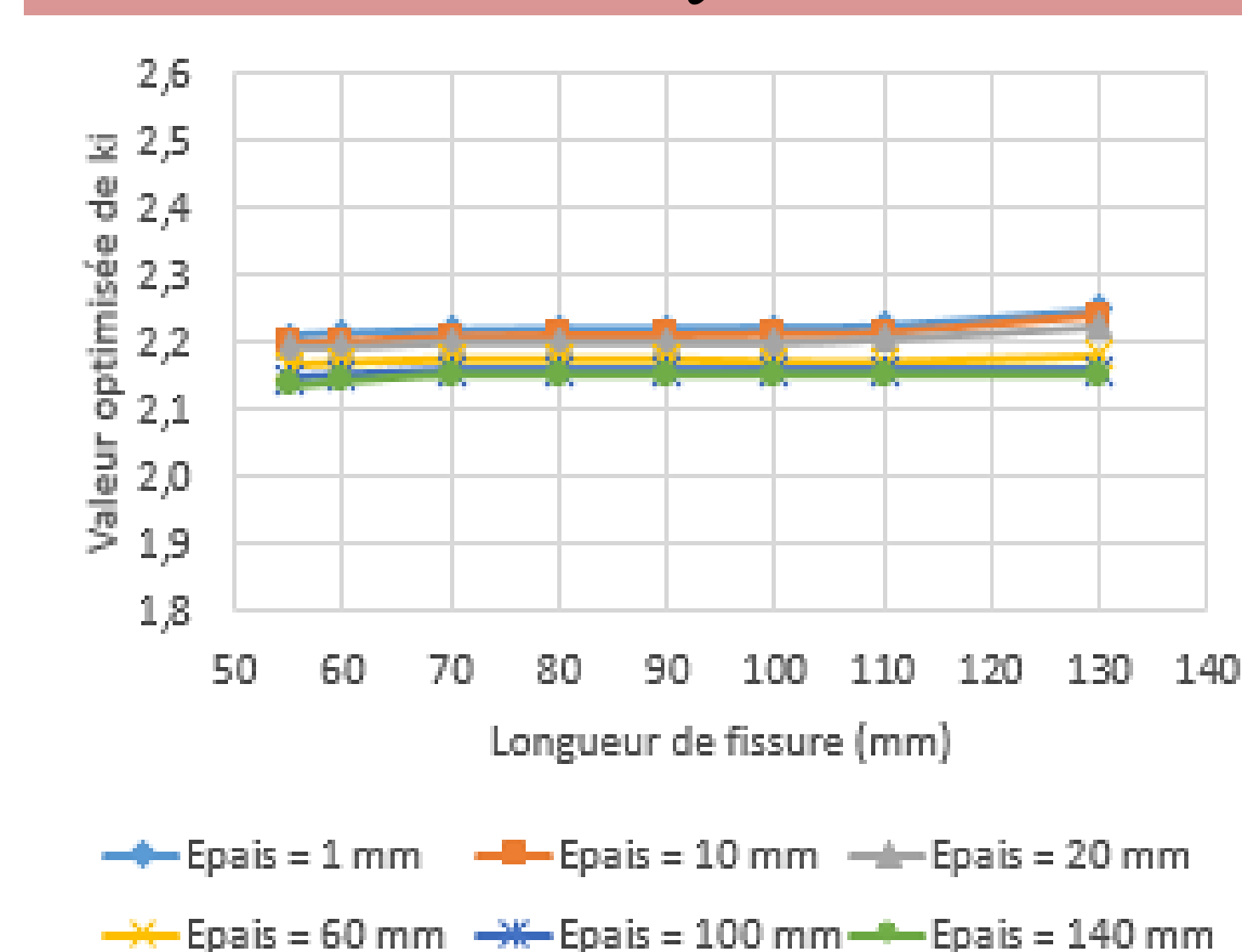
➤ G = f(longueur de fissure)



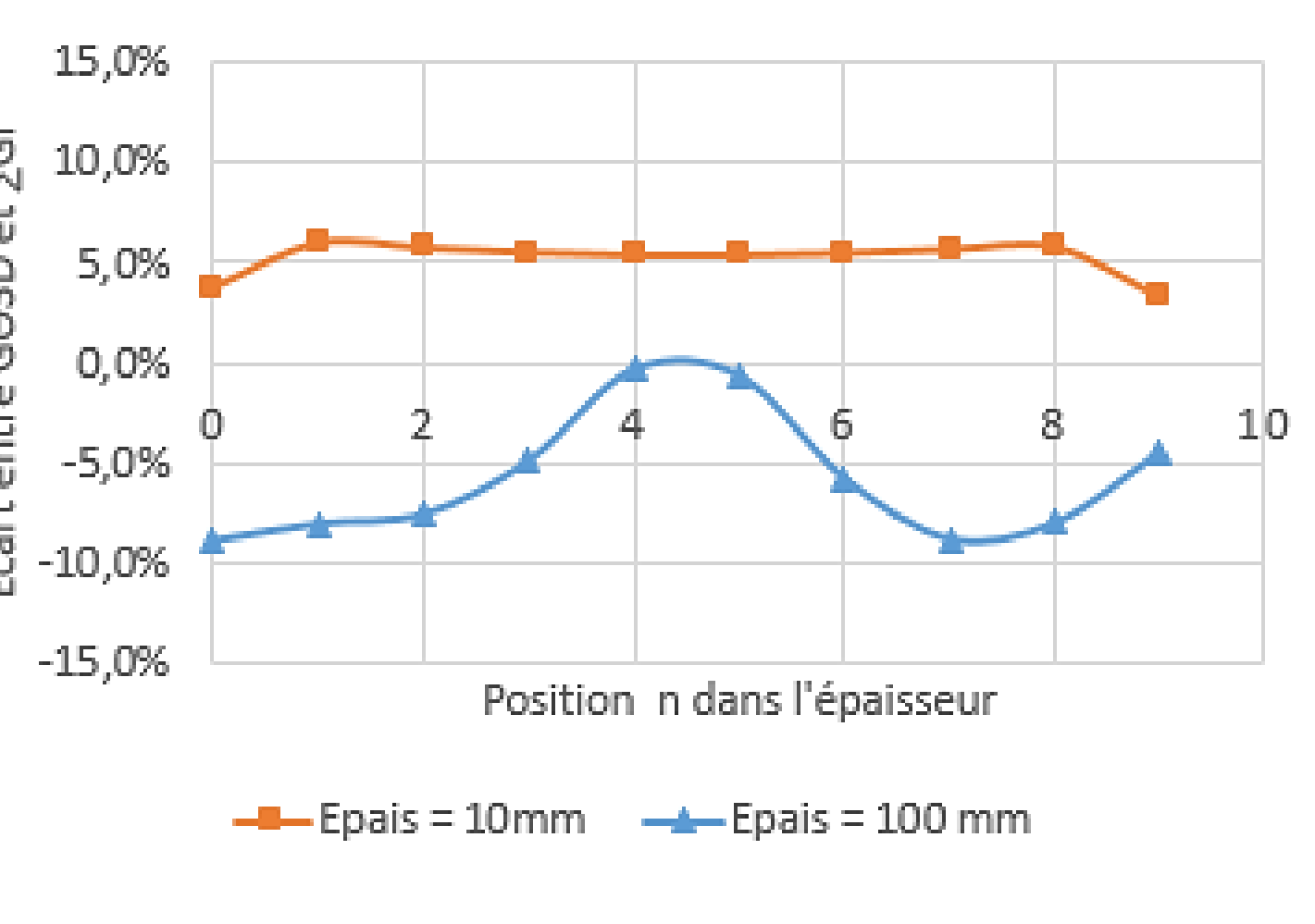
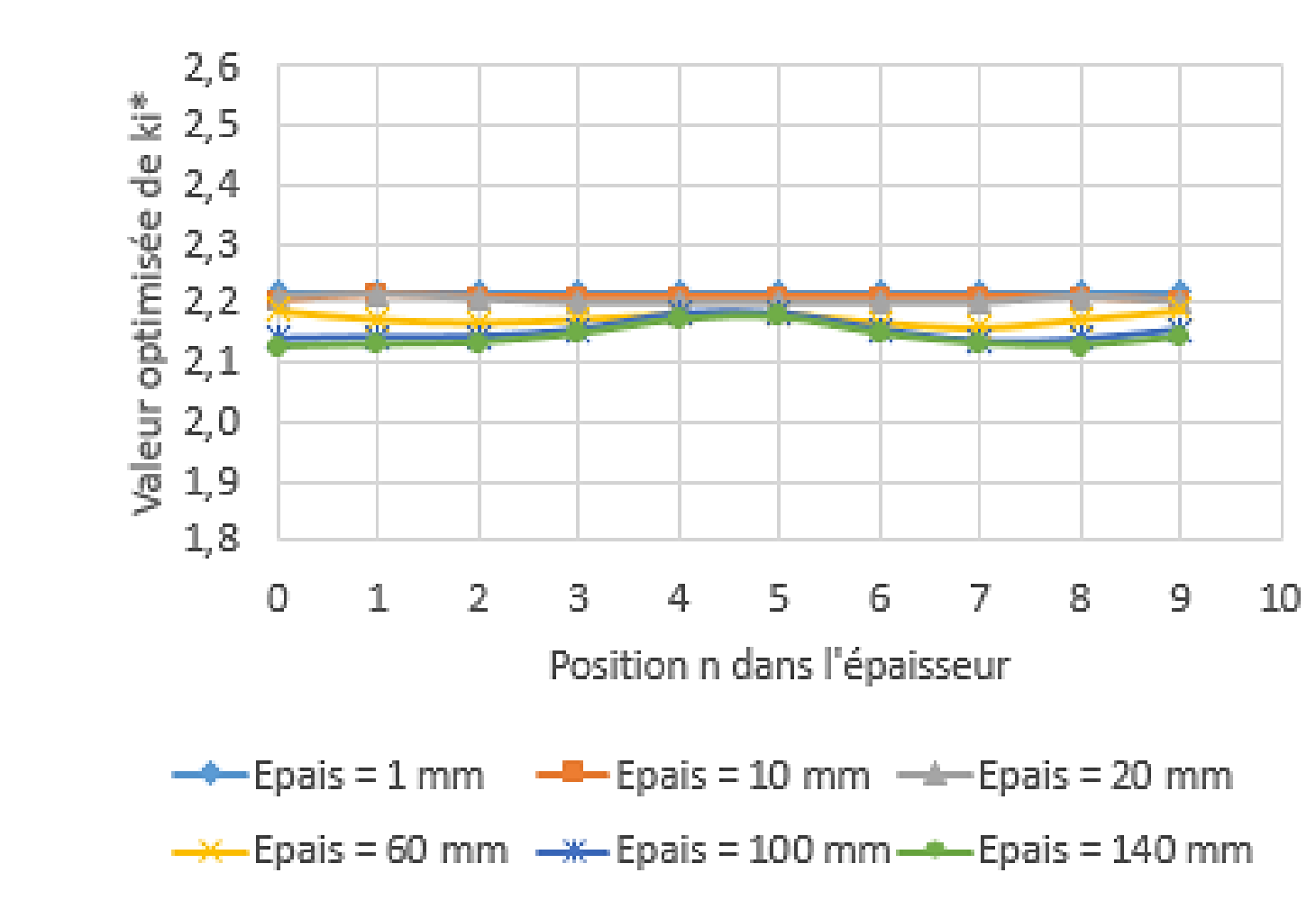
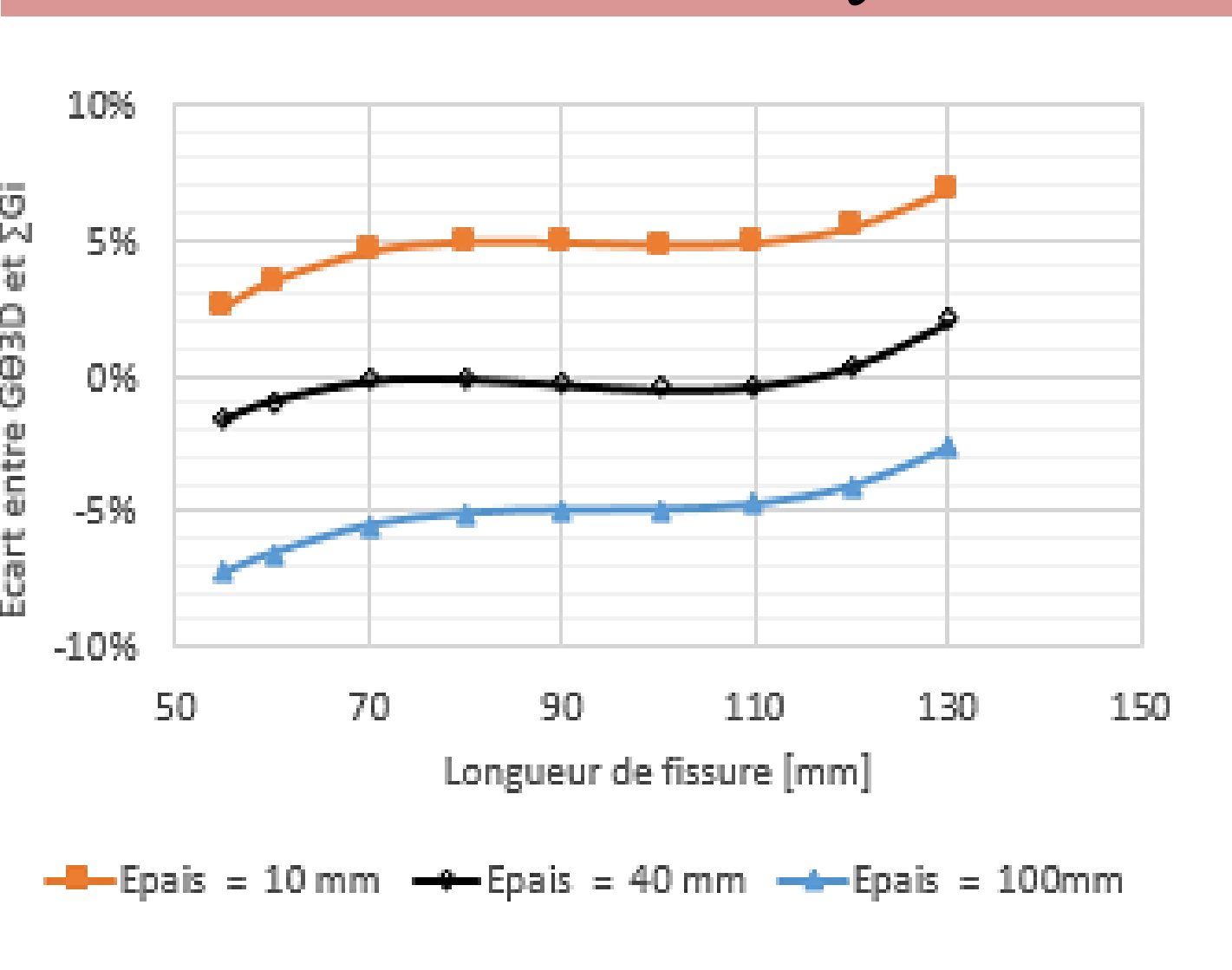
➤ G = f(de la position n)



➤ Valeurs de k_i^* optimisées



➤ Utilisation de k_i^* global



NB: Pour les études de sensibilité dans l'épaisseur, la longueur de fissure est constante et vaut 80 [mm].

Conclusion et perspectives

1. Les valeurs de taux de restitution et les écarts observés montrent bien que l'on peut supposer k_i^* constante quelles que soient la longueur de fissure et l'épaisseur pour le calcul du taux de restitution moyen ou par tranche dans l'épaisseur. Cependant, il va falloir vérifier si k_i^* n'est pas tributaire de la géométrie et des propriétés intrinsèques du matériau.
2. Le champ de déplacements au voisinage du front de fissure proposé est pertinent au vue des premières validations (stabilité du modèle et indépendance du domaine d'intégration). Mais il faudra le vérifier avec un mode de sollicitation mixte.
3. Confrontation de l'approche avec un modèle 2D en déformation plane et contrainte plane en utilisant le champ 2D orthotrope au voisinage de la pointe de fissure.

