

Délaminage de stratifiés composites

PROJET RECHERCHE – Aurore – Flavien – Gérald – Groupe SMRE

SOMMAIRE

1

INTRODUCTION

3

2

ESSAI DCB

7

3

ESSAI MMF

17

4

ESSAI MMB

25

5

CONFRONTATION

29

6

CONCLUSION

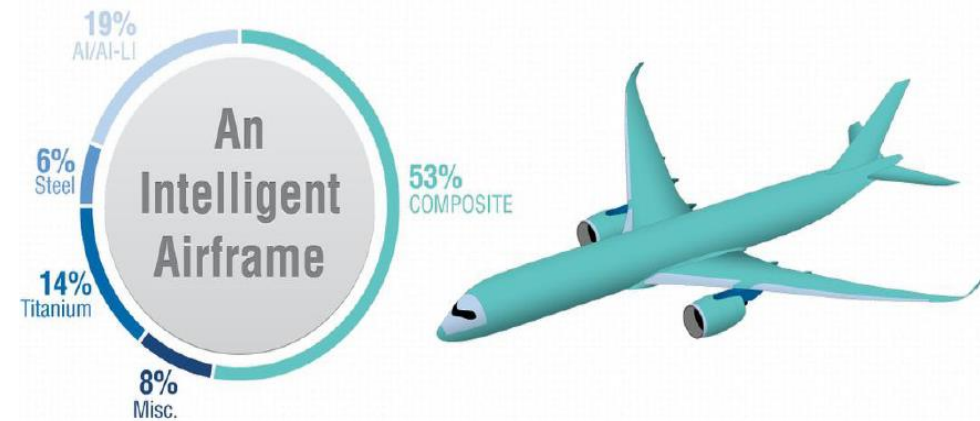
33

1

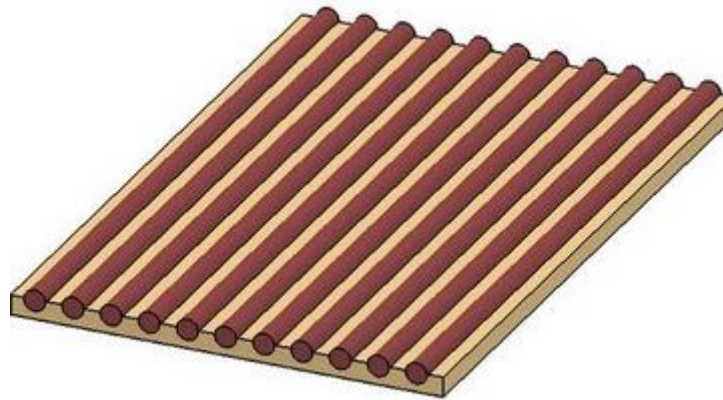
INTRODUCTION

Contexte industriel

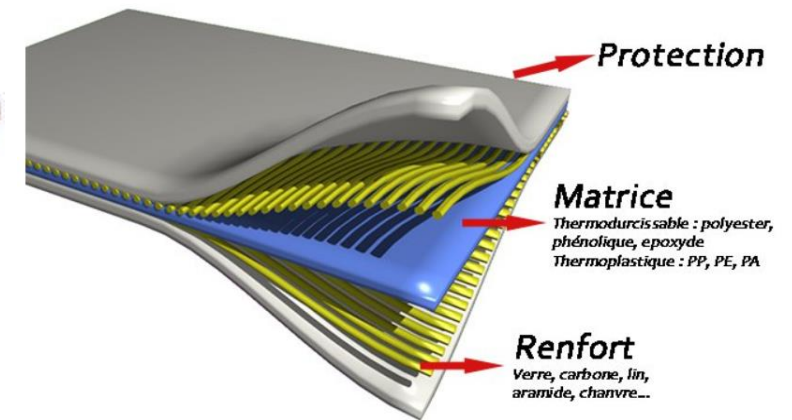
Utilisation des matériaux composites dans la conception de l'A350



Pli unidirectionnel



Stratifié composite



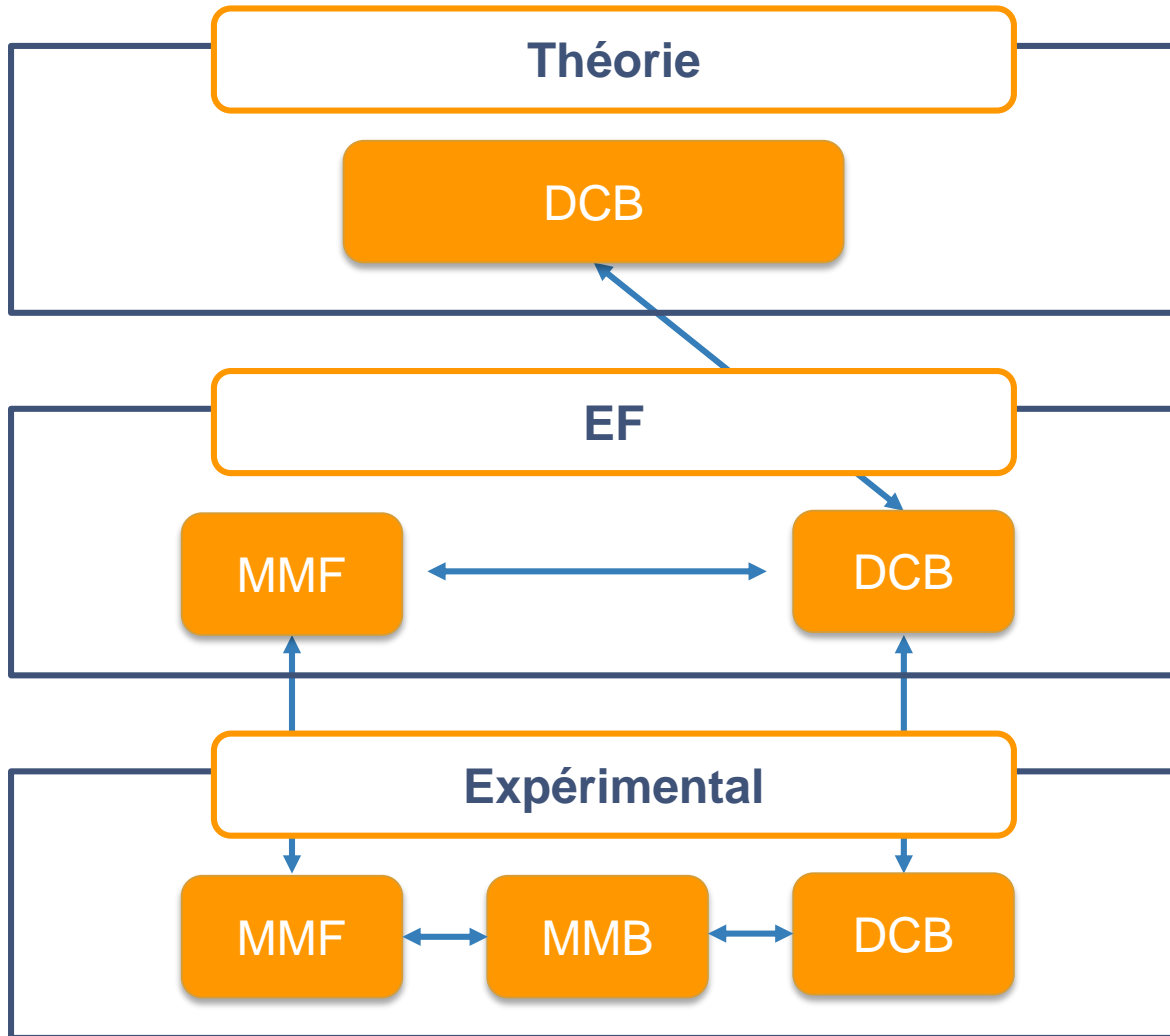
Contexte industriel



Délaminage sur une éprouvette

- Origine du délaminage: flambement local, impact, contrainte entre plis
- Mécanique élastique linéaire de la rupture
- Taux de restitution de l'énergie critique G_c
- Cadre de l'étude:
 - But : développer une approche de mécanique de la rupture pour estimer la tolérance aux dommages des matériaux composites
 - Chargement monotone DCB, MMF et MMB
 - Interface $0^\circ/0^\circ$
 - Calcul de G_c par MEF (DCB et MMF) et comparaison avec l'expérience

Démarche

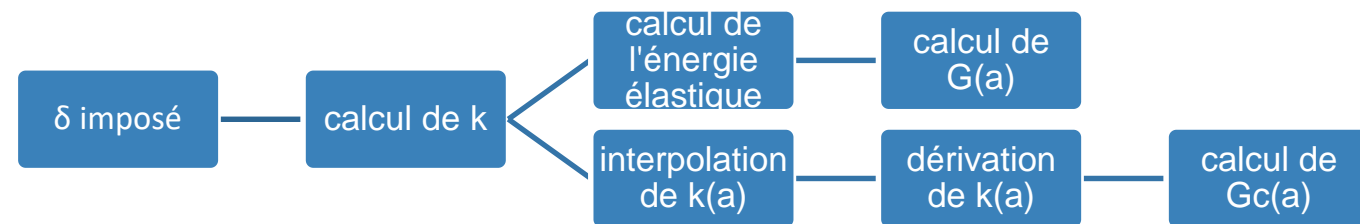


$$k = \frac{P}{\delta}$$

$$W_{\text{élastique}} = \frac{1}{2} k \delta^2$$

$$G_c(a) = -\frac{\delta^2}{2} \frac{\partial k(a)}{b \partial a}$$

$$G(a) = -\frac{W_{\text{élastique}}(a+h) - W_{\text{élastique}}(a)}{b(a+h-a)}$$



DÉMARCHE APPLIQUÉE POUR CALCULER G(A) ET Gc

2

ESSAI DCB

Présentation de l'essai

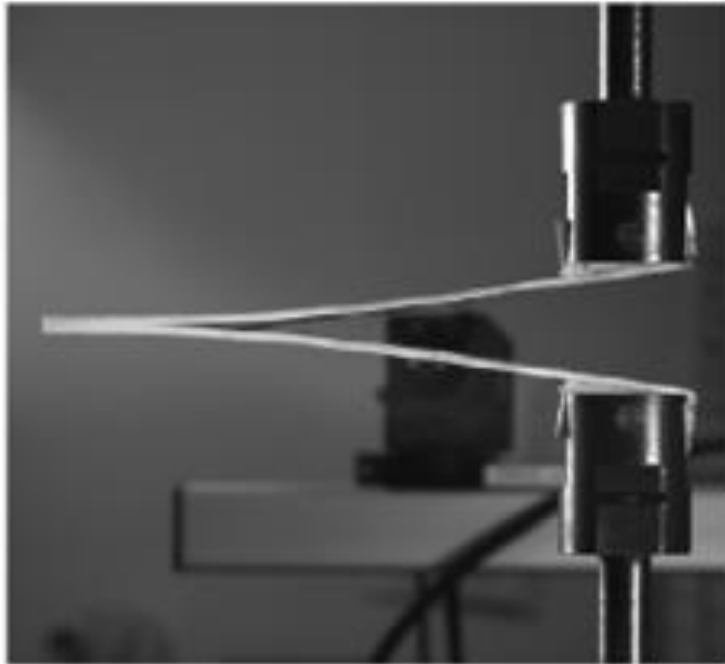
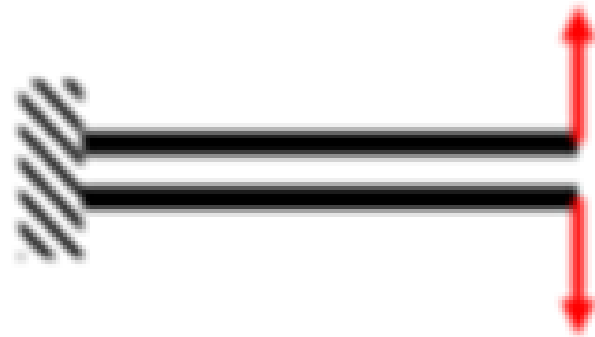


Photo d'un essai DCB



Modèle de doubles poutres
encastrées sollicitées en
flexion

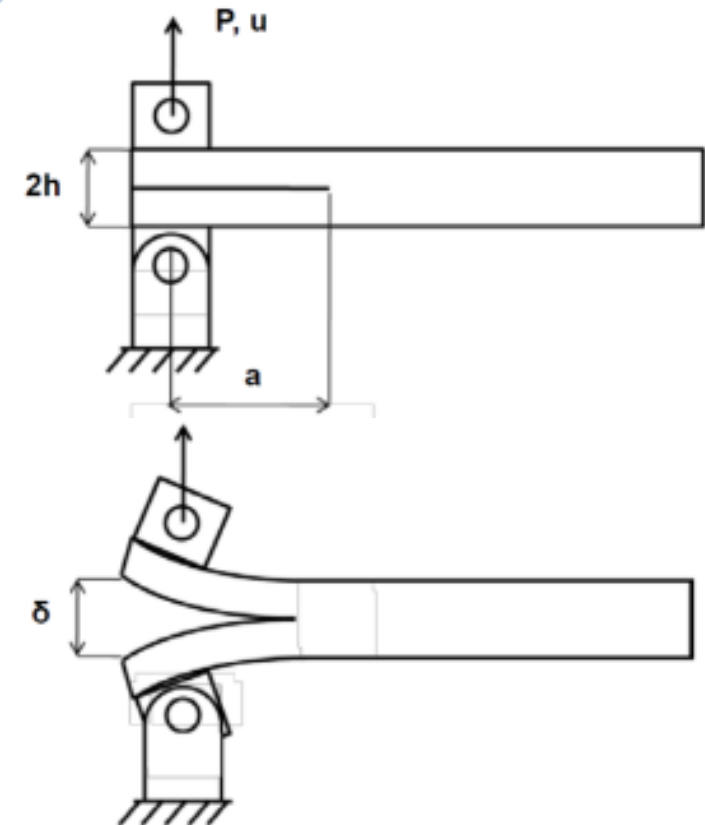


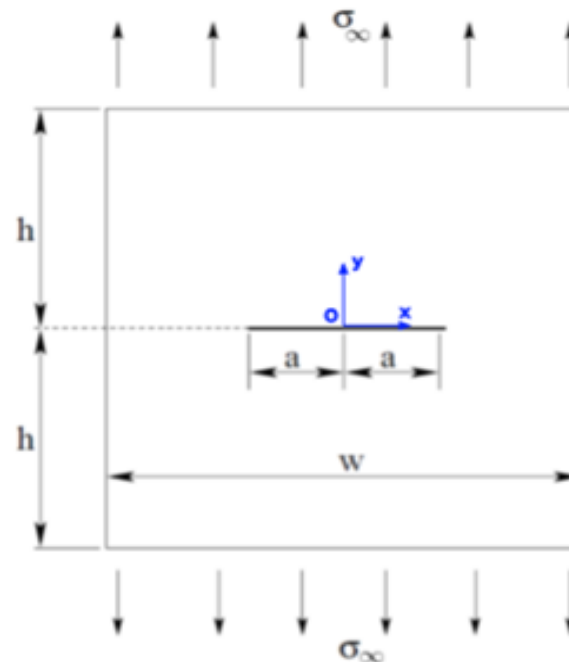
Schéma de l'essai DCB

Approche théorique

Hypothèse :

La rupture du matériau est fragile:

- les non-linéarités matériau sont confinées dans une petite zone au voisinage du front de fissure;
- les énergies de dissipation mises en jeu sont négligeables devant l'énergie dissipée par le processus de création de la fissure.



Approche théorique

Energie dissipée:

$$E = 2\gamma A$$

Energie potentielle:

$$E_{potentielle} = (1/2) k x^2$$

Flèche y_a :

$$y_a = -\frac{Pa^3}{3EI}$$

Déplacement:

$$\delta = 2|y_a| = \frac{2Pa^3}{3EI}$$

Raideur apparente:

$$k(a) = \frac{P}{\delta} = \frac{3EI}{2a^3}$$

Energie potentielle:

$$W_{elas}(a) = \frac{1}{2} k(a) \delta^2 = \frac{3EI}{4a^3} \delta^2$$

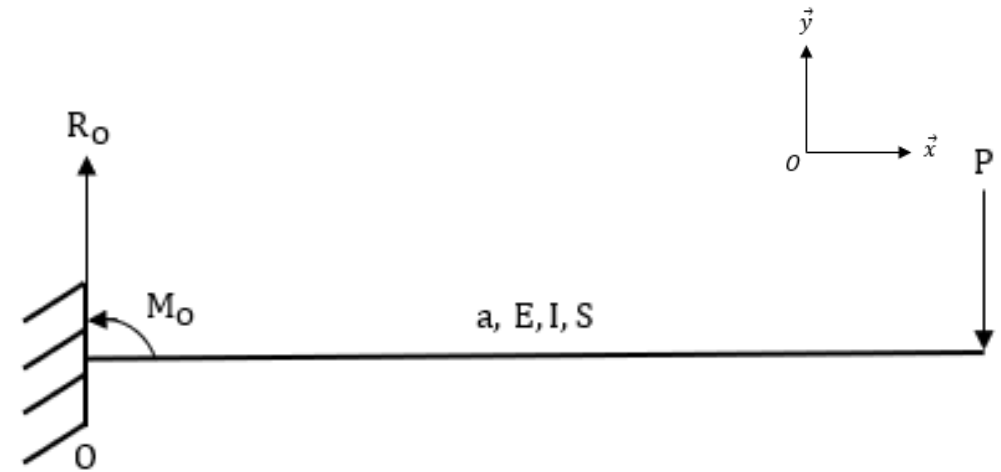


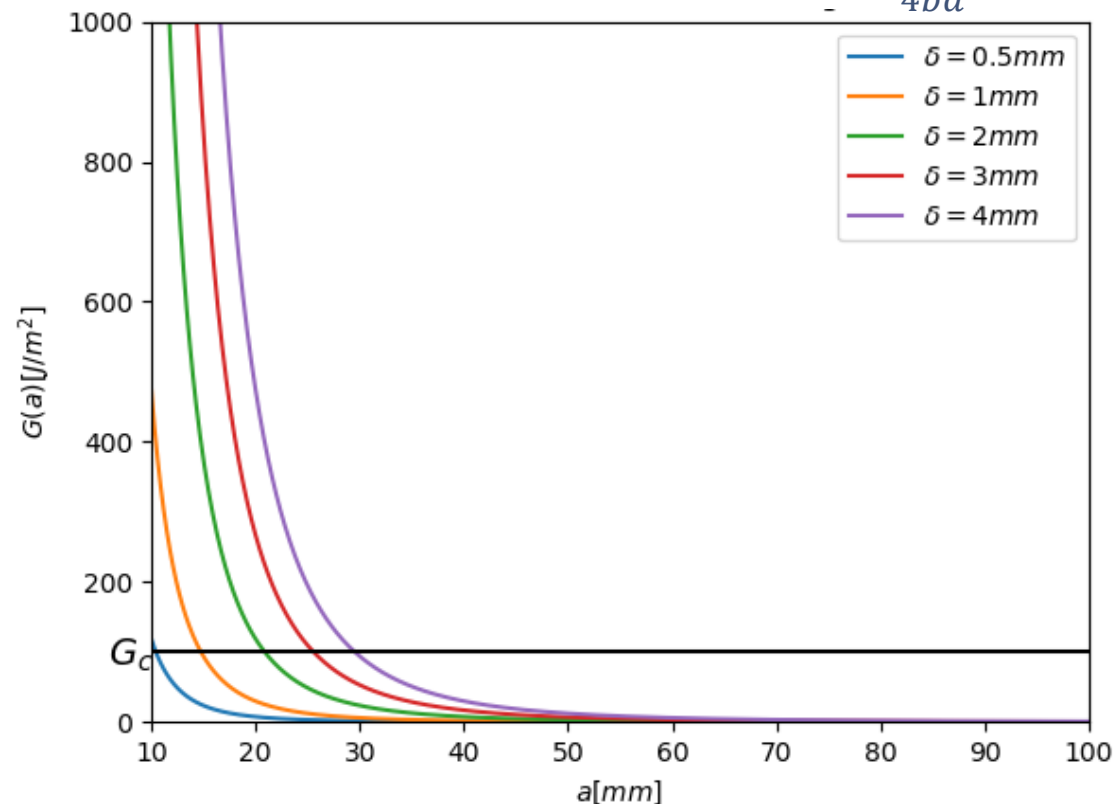
Schéma du modèle poutre pour l'essai DCB

Approche théorique

Critère d'énergie:

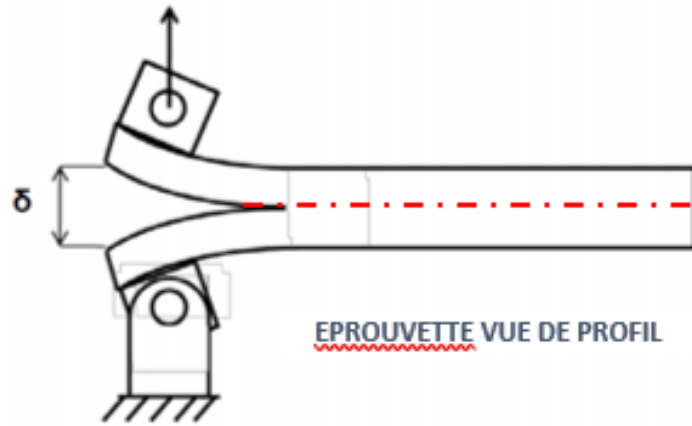
Taux de restitution d'énergie de fissuration:

$$G = \frac{9EI}{4ba^4} \delta^2$$



Taux de restitution de l'énergie en fonction de la longueur de fissure

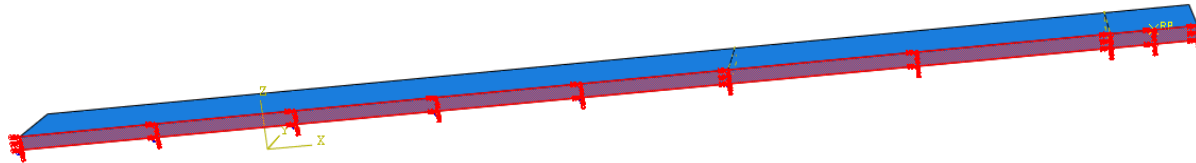
Approche par éléments finis: conditions aux limites



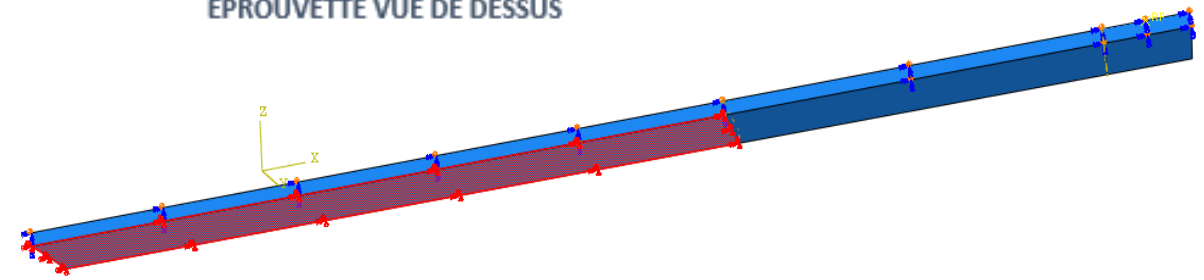
EPROUVETTE VUE DE PROFIL



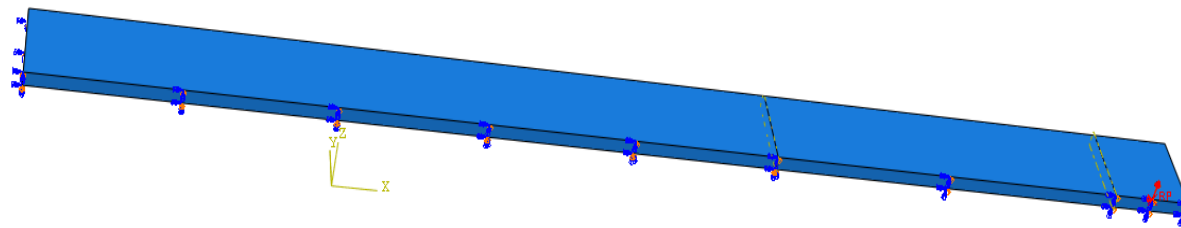
EPROUVETTE VUE DE DESSUS



VISUALISATION DES CONDITIONS DE SYMÉTRIE DANS LE PLAN LONGITUDINAL

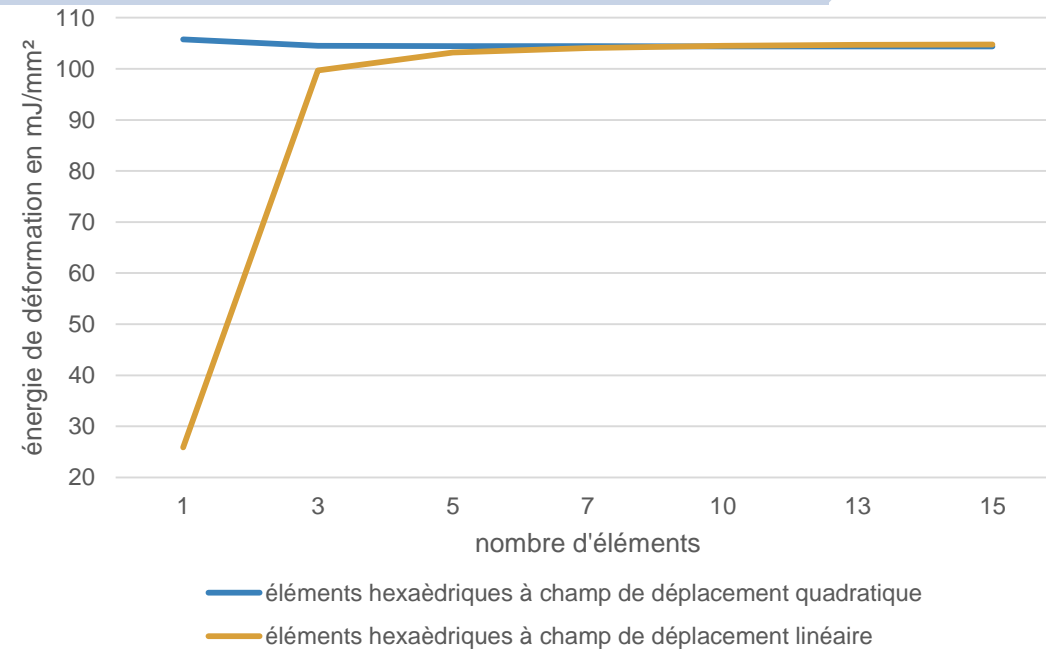


CONDITIONS DE SYMÉTRIE DANS LE PLAN TRANSVERSAL



CONDITIONS AUX LIMITES EN DÉPLACEMENT

Approche par éléments finis: Maillage

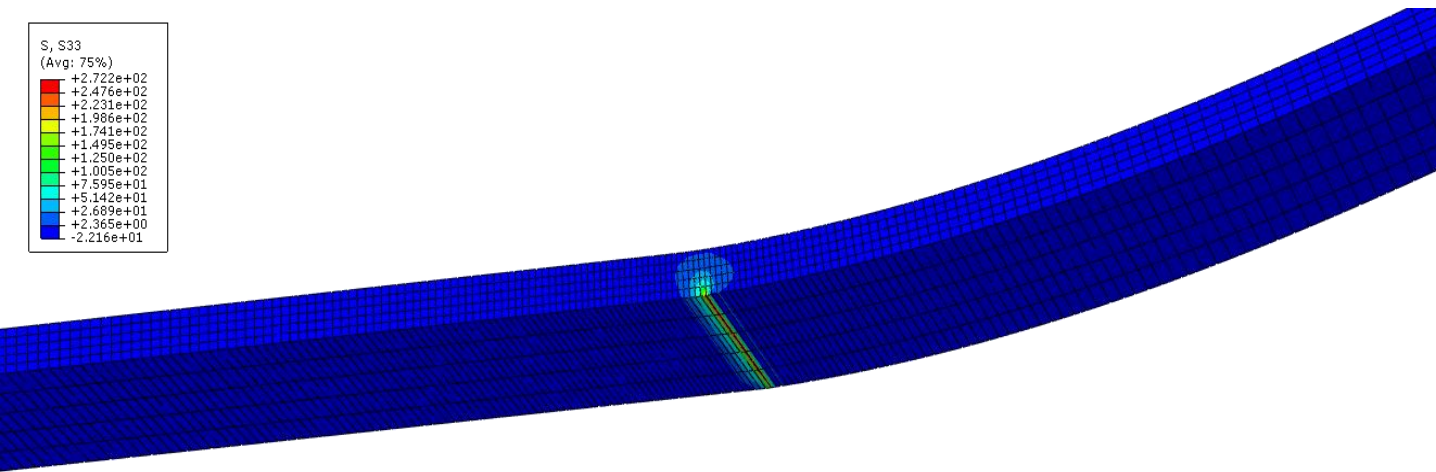


Énergie de déformation en fonction du nombre d'éléments dans l'épaisseur

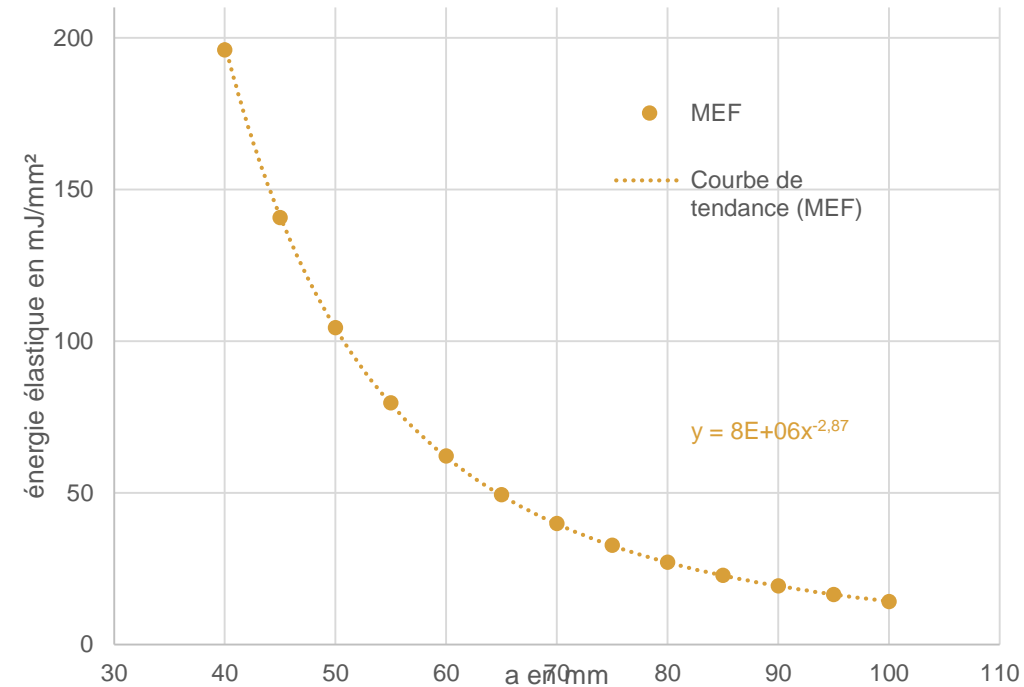


Visualisation du maillage utilisé

Approche par éléments finis: Résultats

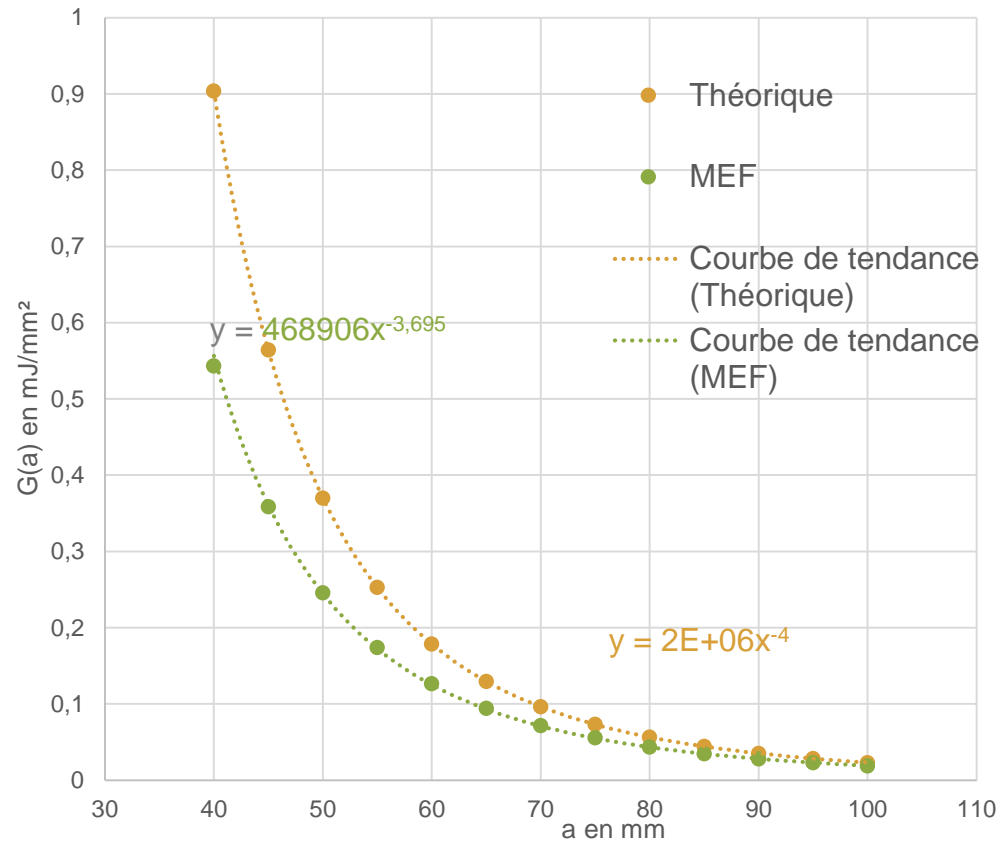


Simulation numérique de la déformation de la poutre

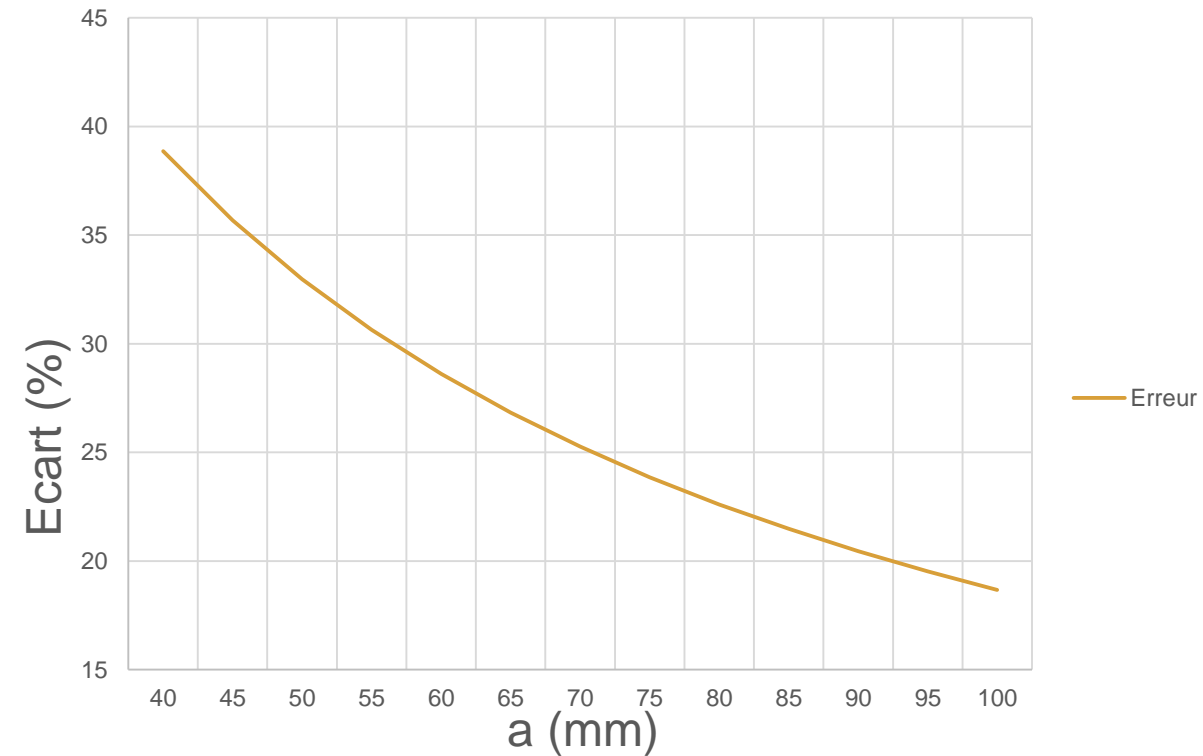


Energie élastique en fonction de la longueur de fissure

Approche par éléments finis: Résultats

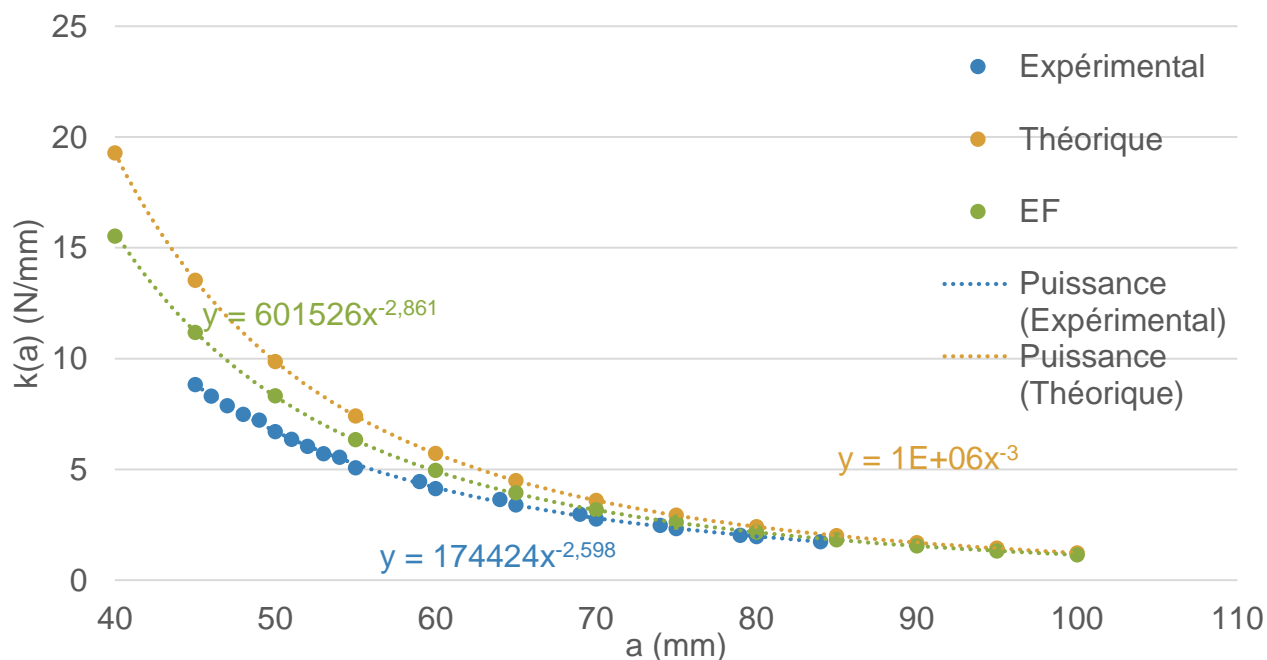


G en fonction de a

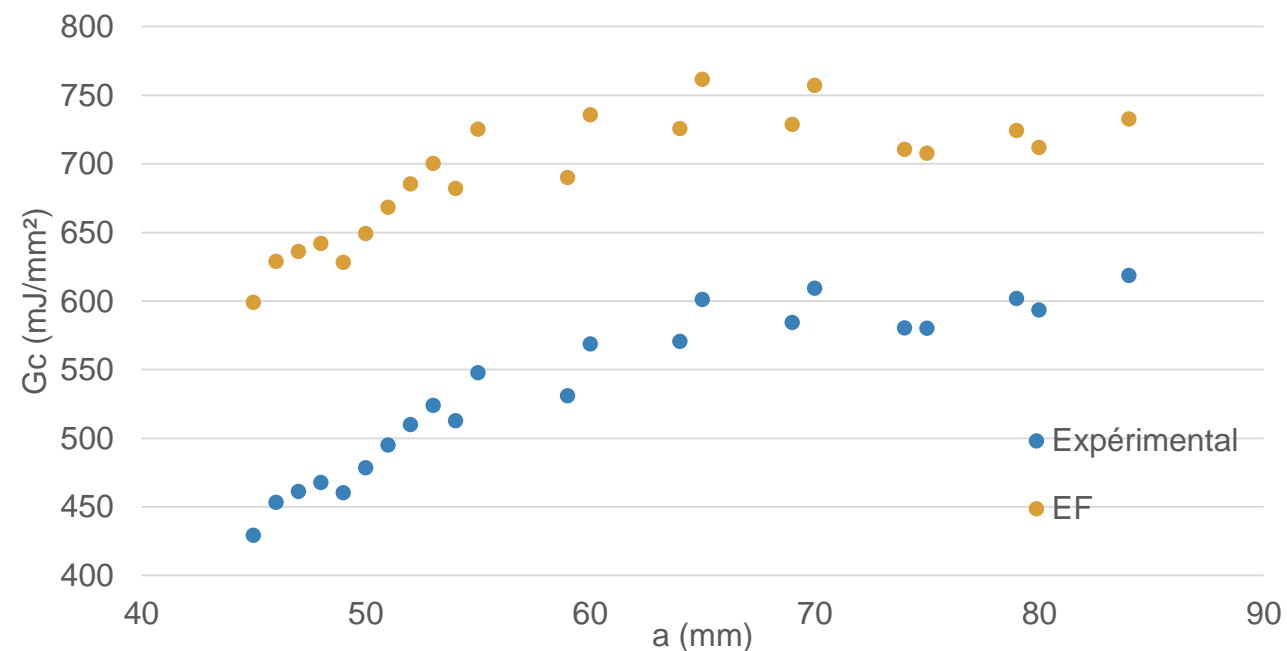


Ecart entre les modèles théorique et EF

Approche par éléments finis: comparaison des résultats



Rigidité en fonction de la longueur de fissure



Taux de restitution de l'énergie critique en fonction de la longueur de fissure

3

ESSAI MMF

Présentation de l'essai

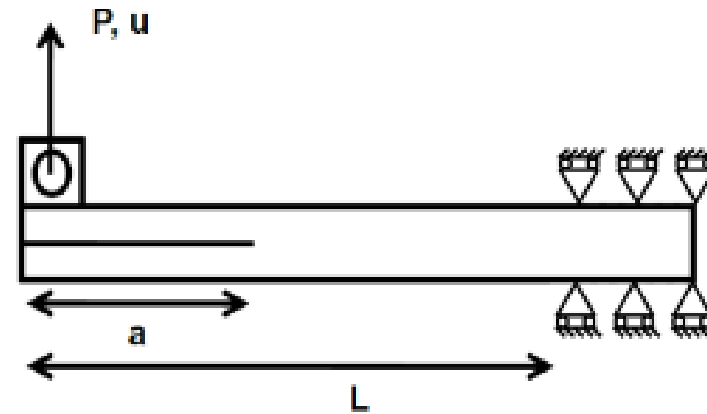
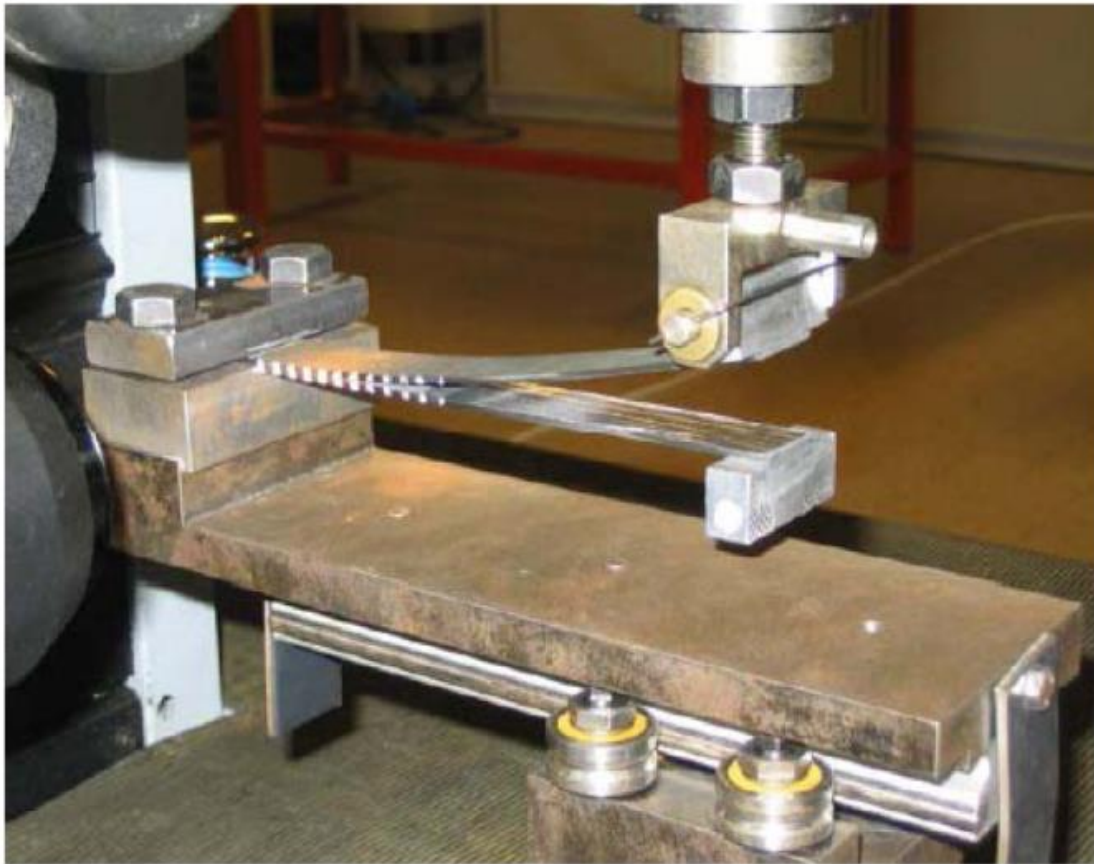
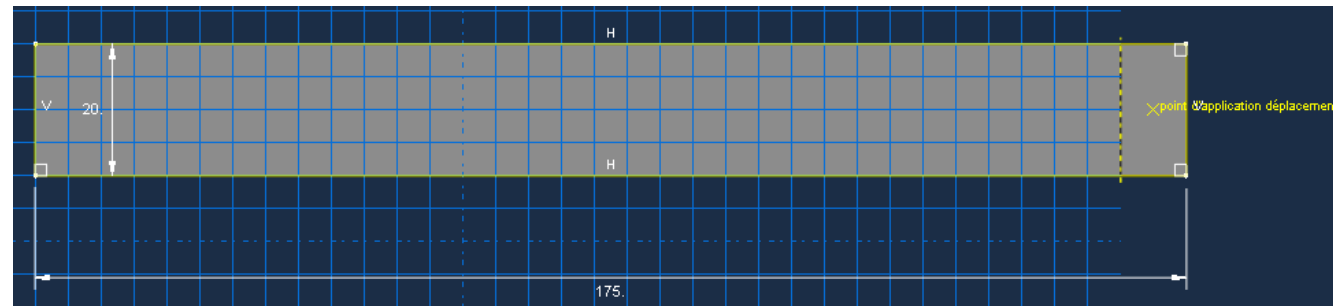
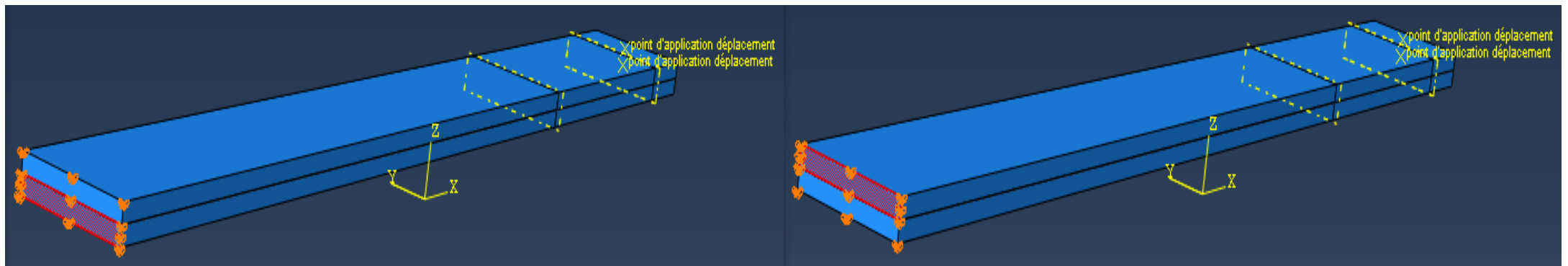


Schéma de l'essai

Approche par éléments finis

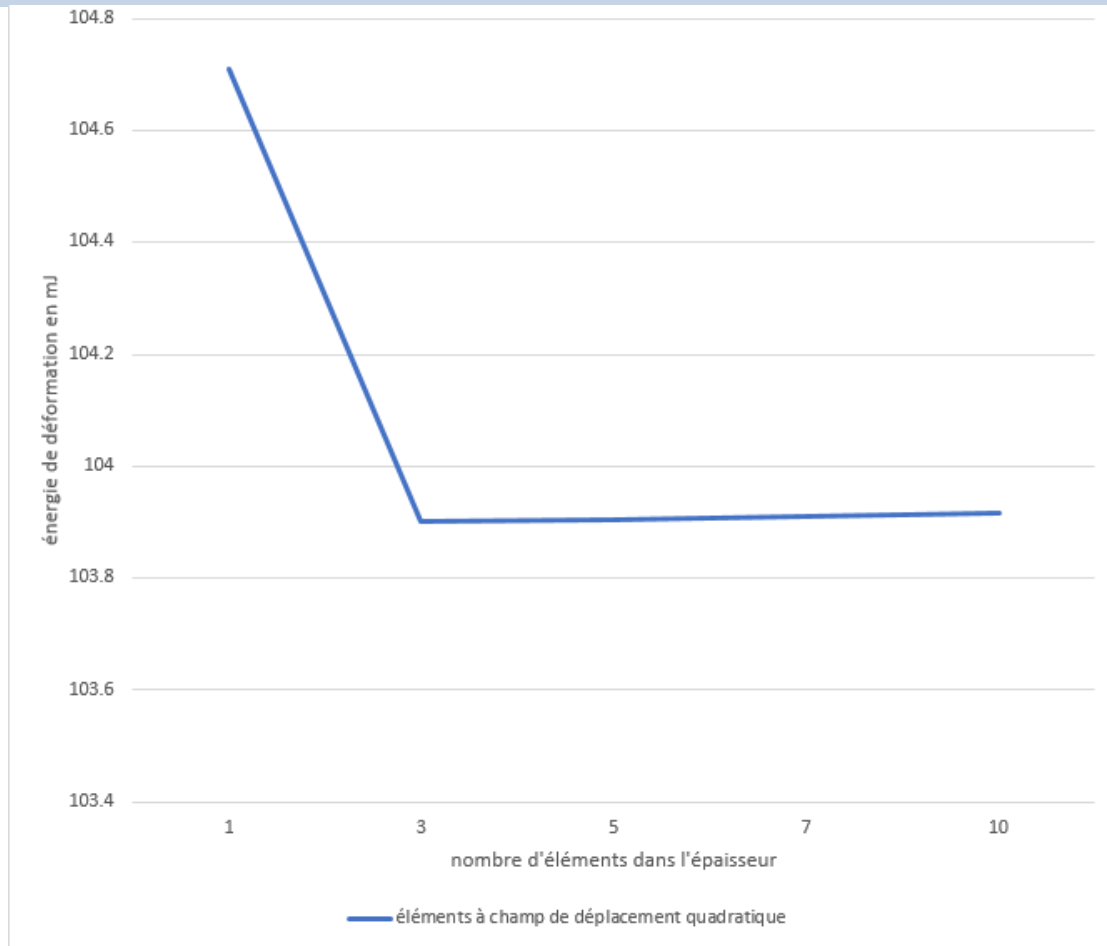


Modélisation d'une partie l'éprouvette

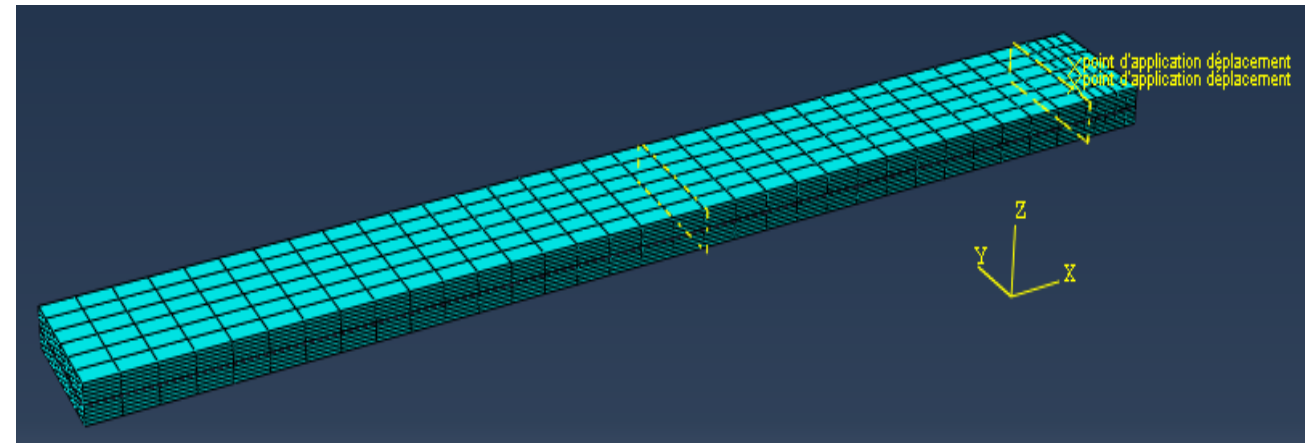


Conditions aux limites de l'éprouvette

Approche par éléments finis : Maillage



Energie de déformation en fonction du nombre d'éléments dans l'épaisseur

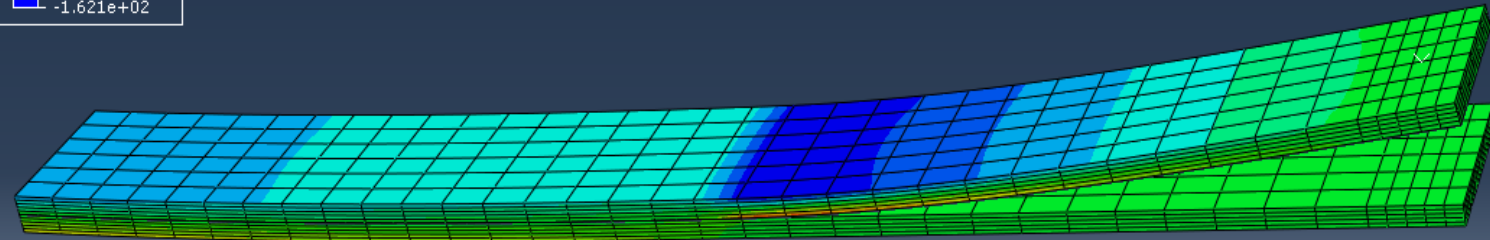


Maillage utilisé

Résultats : Simulations

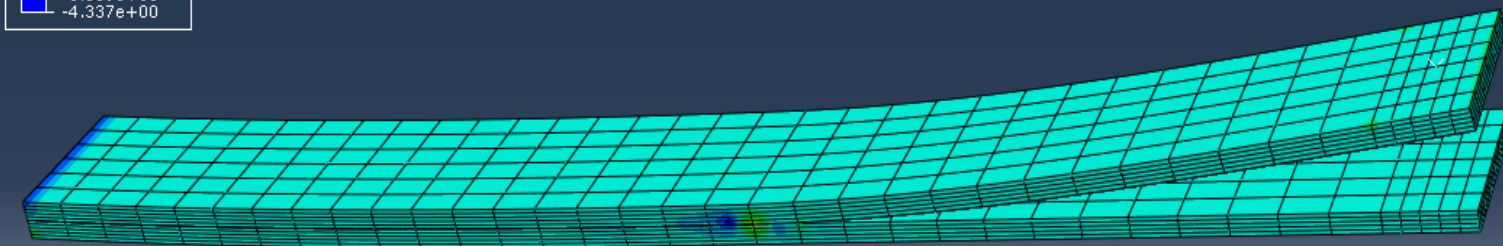
Visualisation de la contrainte
sur le front de fissure

S, S11
(Avg: 75%)
+1.844e+02
+1.555e+02
+1.267e+02
+9.778e+01
+6.890e+01
+4.002e+01
+1.114e+01
-1.774e+01
-4.662e+01
-7.549e+01
-1.044e+02
-1.333e+02
-1.621e+02

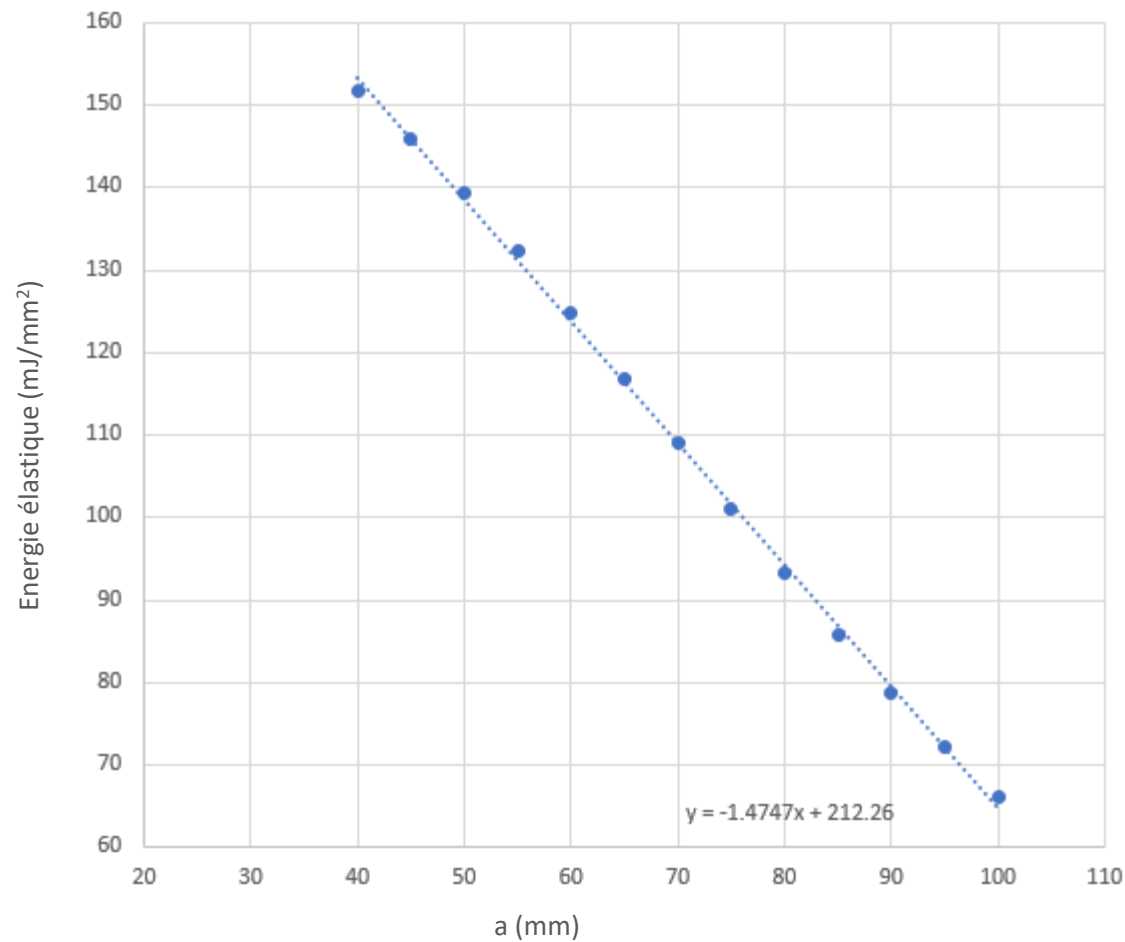


Visualisation de la contrainte de
cisaillement sur l'éprouvette

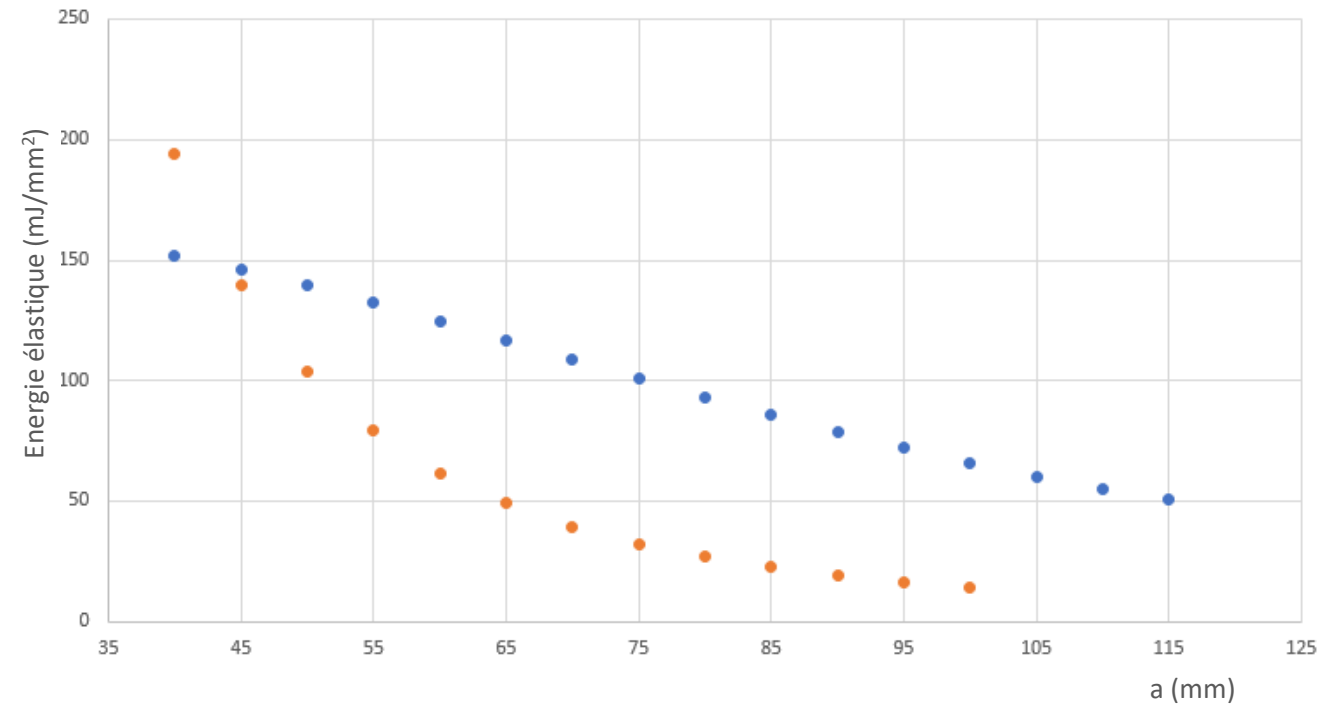
S, S33
(Avg: 75%)
+1.089e+01
+9.617e+00
+8.348e+00
+7.080e+00
+5.811e+00
+4.543e+00
+3.274e+00
+2.006e+00
+7.371e-01
-5.315e-01
-1.800e+00
-3.069e+00
-4.337e+00



Résultats : Evolution de l'énergie élastique

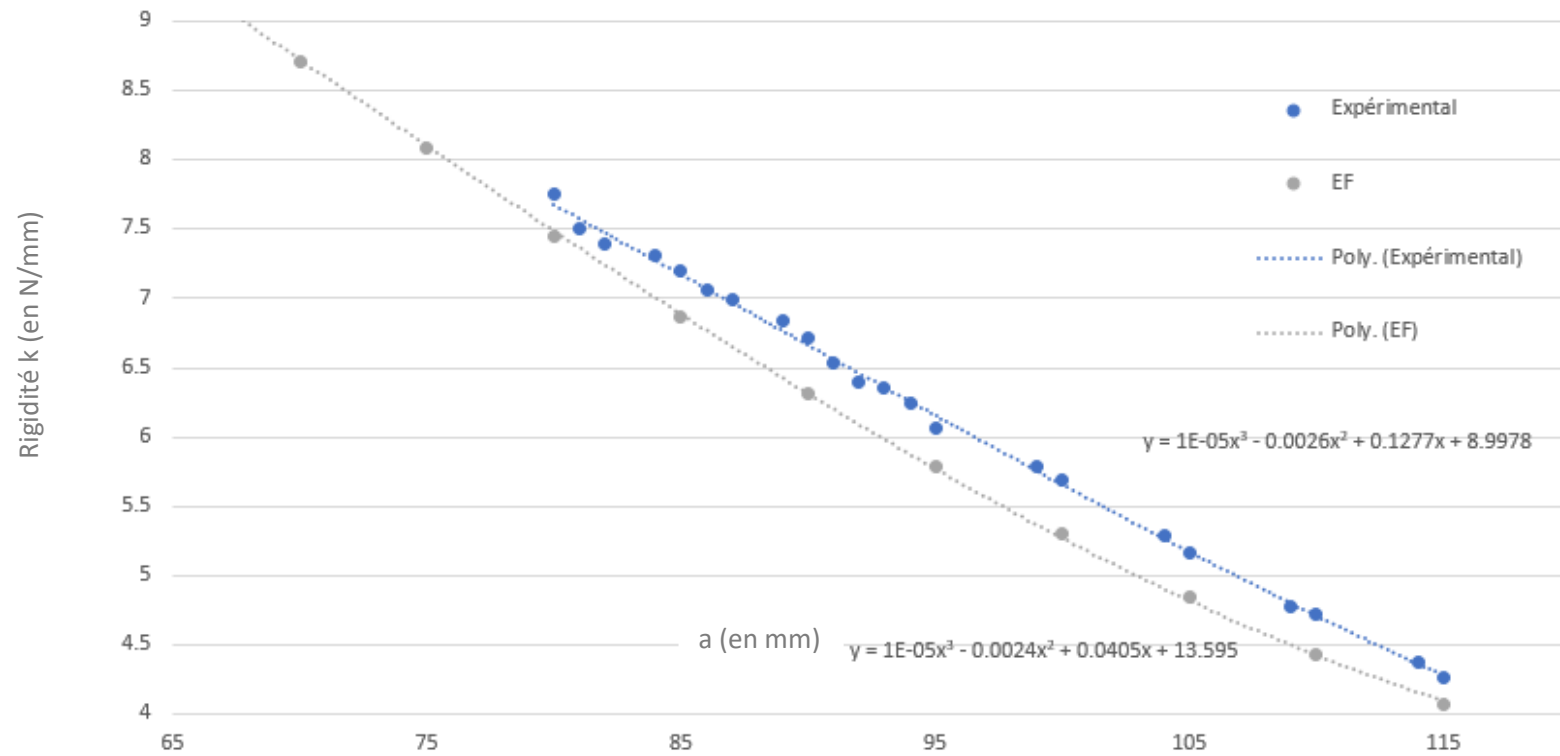


Energie élastique en fonction de la longueur de fissure



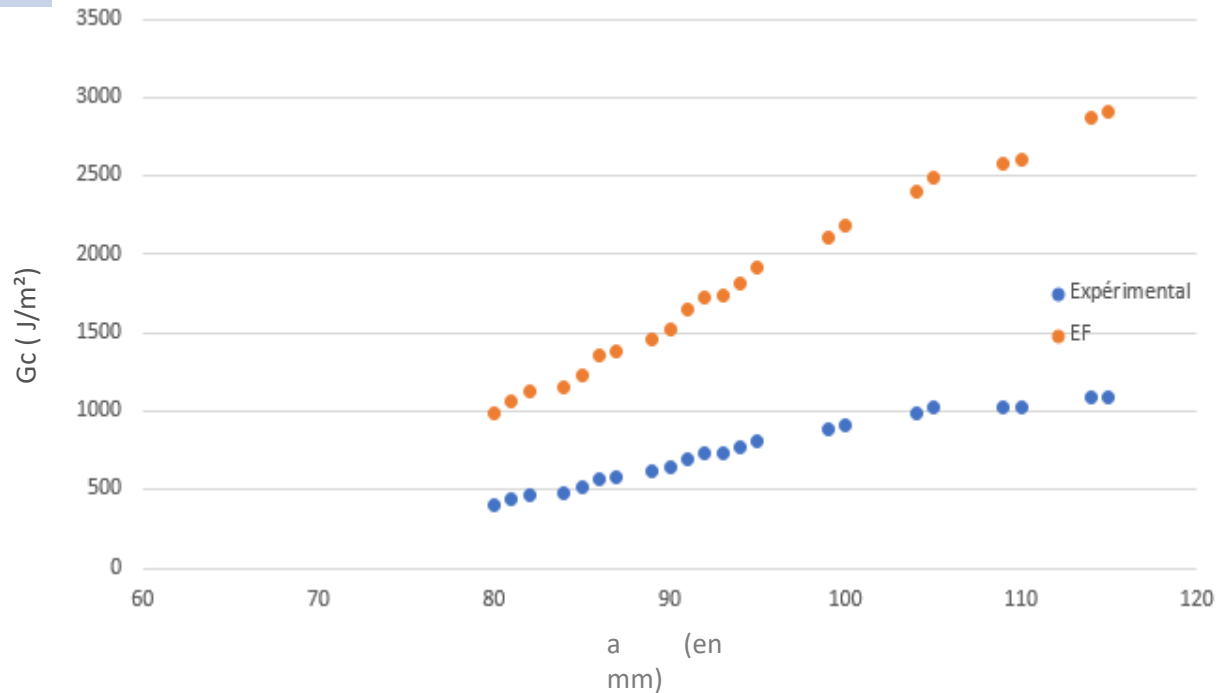
Comparaison de l'évolution de l'énergie élastique entre les essais DCB et MMF par la méthode des éléments finis

Confrontation des résultats : Rigidité

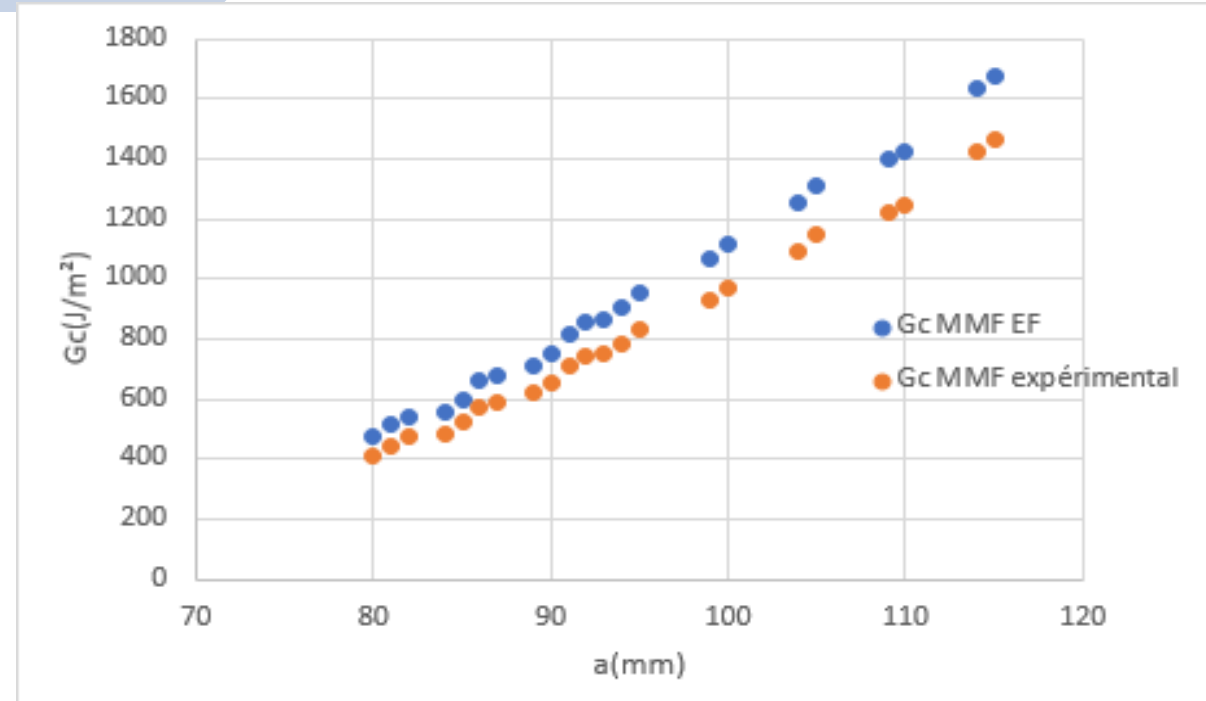


Comparaison de l'évolution de la rigidité obtenu expérimentalement et par la méthode des éléments finis

Confrontation des résultats: Taux de restitution de l'énergie critique



Taux de restitution de l'énergie critique en fonction de la longueur de fissure pour le modèle éléments finis et les résultats expérimentaux (interpolation polynomiale de la rigidité)



Taux de restitution de l'énergie critique en fonction de la longueur de fissure pour le modèle éléments finis et les résultats expérimentaux (interpolation linéaire de la rigidité)

4

ESSAI MMB

Présentation de l'essai

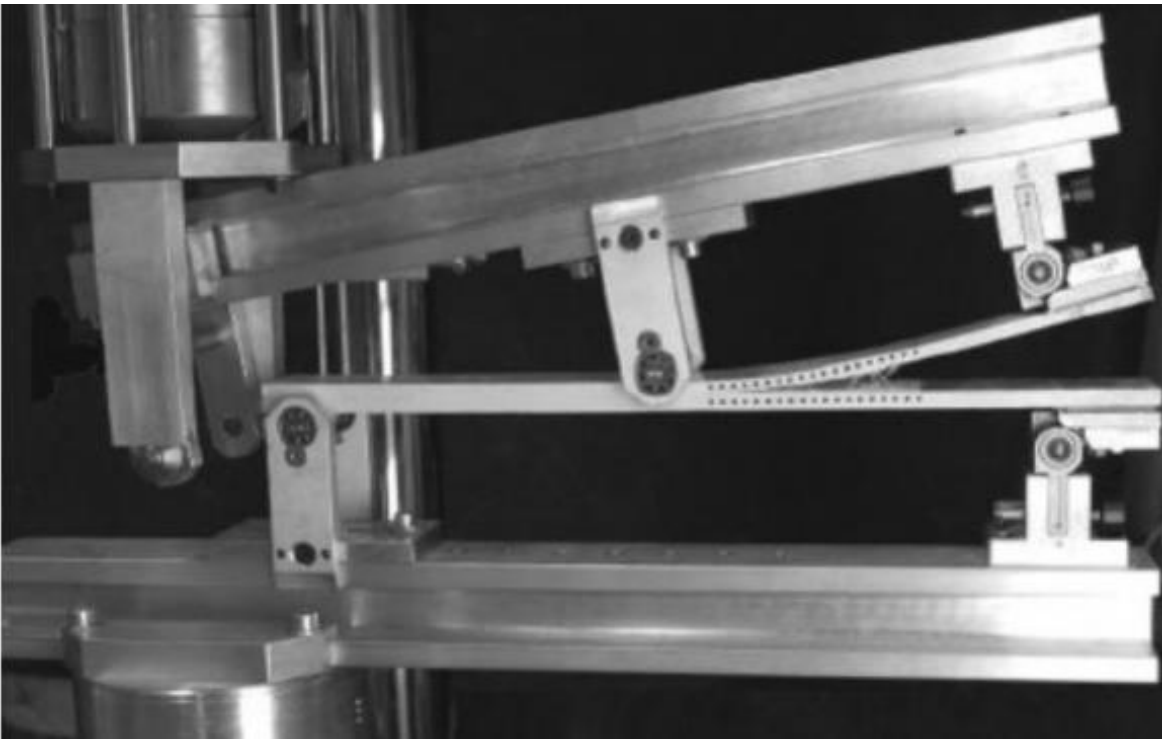


Photo d'un essai MMB

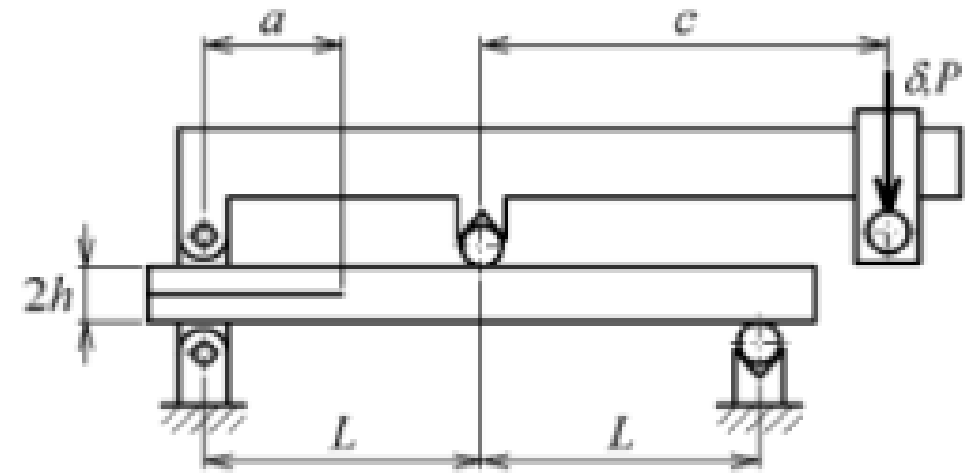
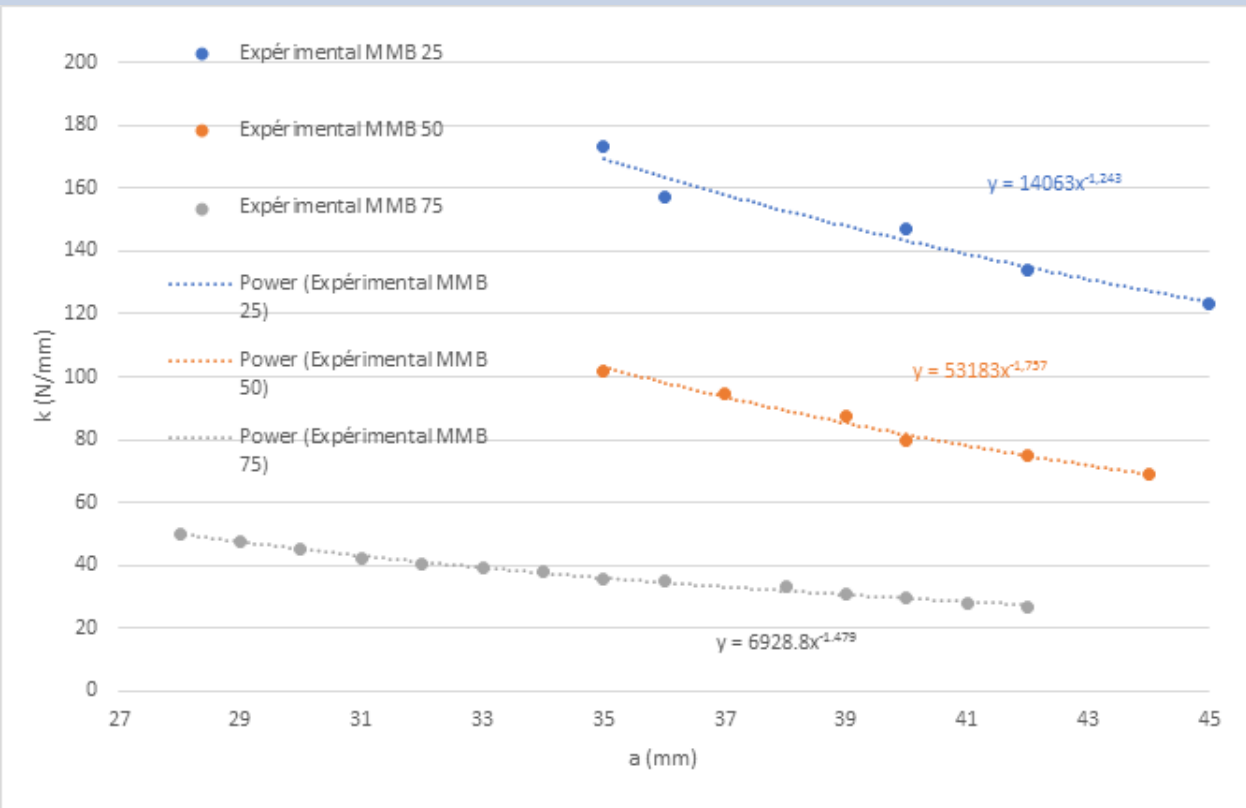
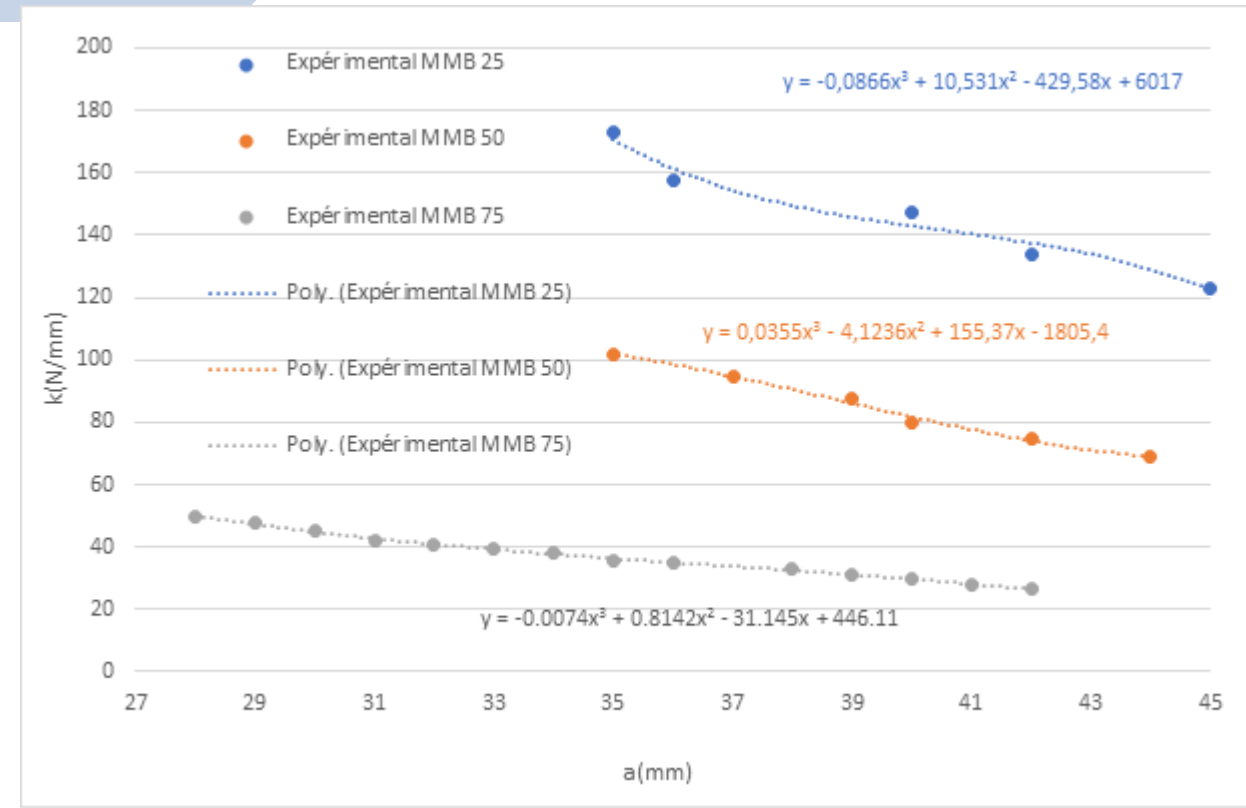


Schéma de l'essai

Confrontation des résultats expérimentaux: rigidité



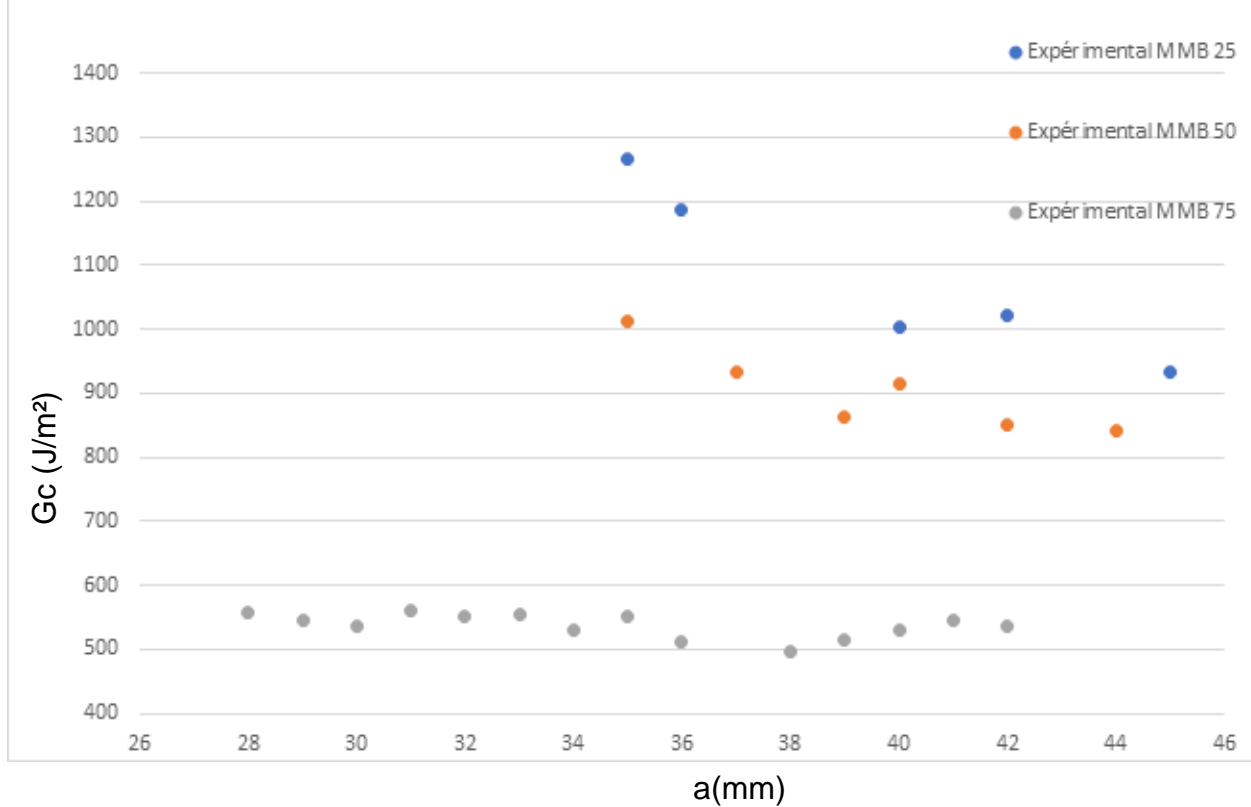
Rigidité en fonction de la longueur de fissure (interpolation puissance)



Rigidité en fonction de la longueur de fissure (interpolation polynomiale)

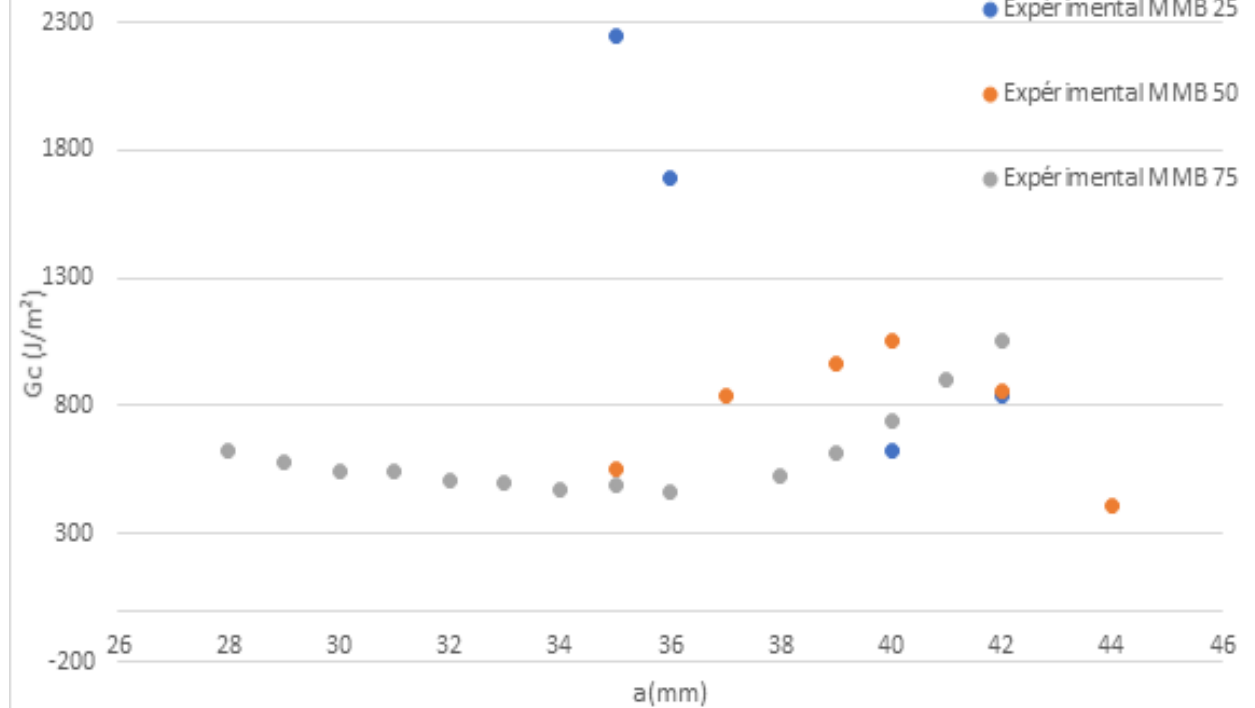
Confrontation des résultats expérimentaux: G_c

$G(a)=G_c$ expérimental loi puissance



Taux de restitution de l'énergie critique en fonction de la longueur de fissure (interpolation puissance)

$G(a)=G_c$ expérimental loi polynomiale



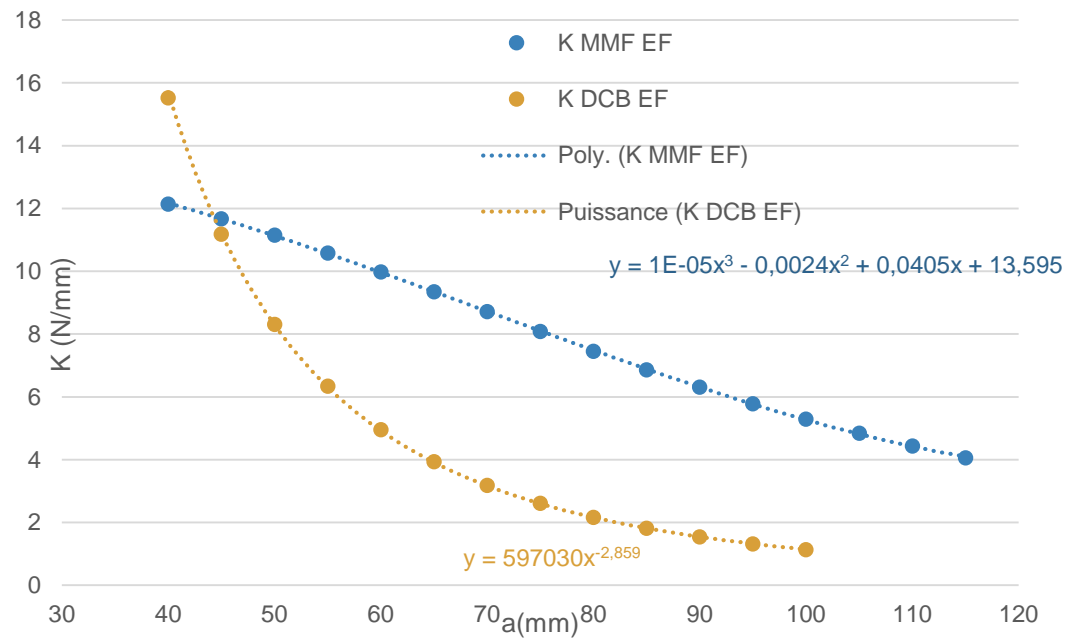
Taux de restitution de l'énergie critique en fonction de la longueur de fissure (interpolation polynomiale)

5

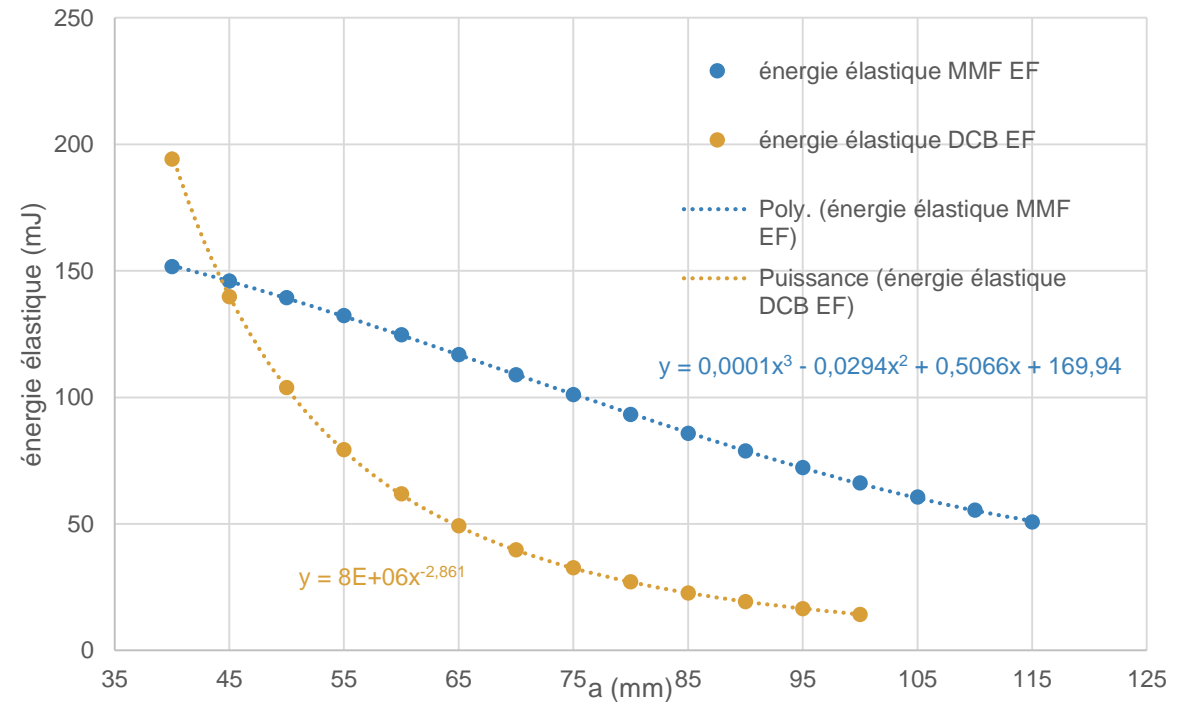
CONFRONTATION

Approche numérique

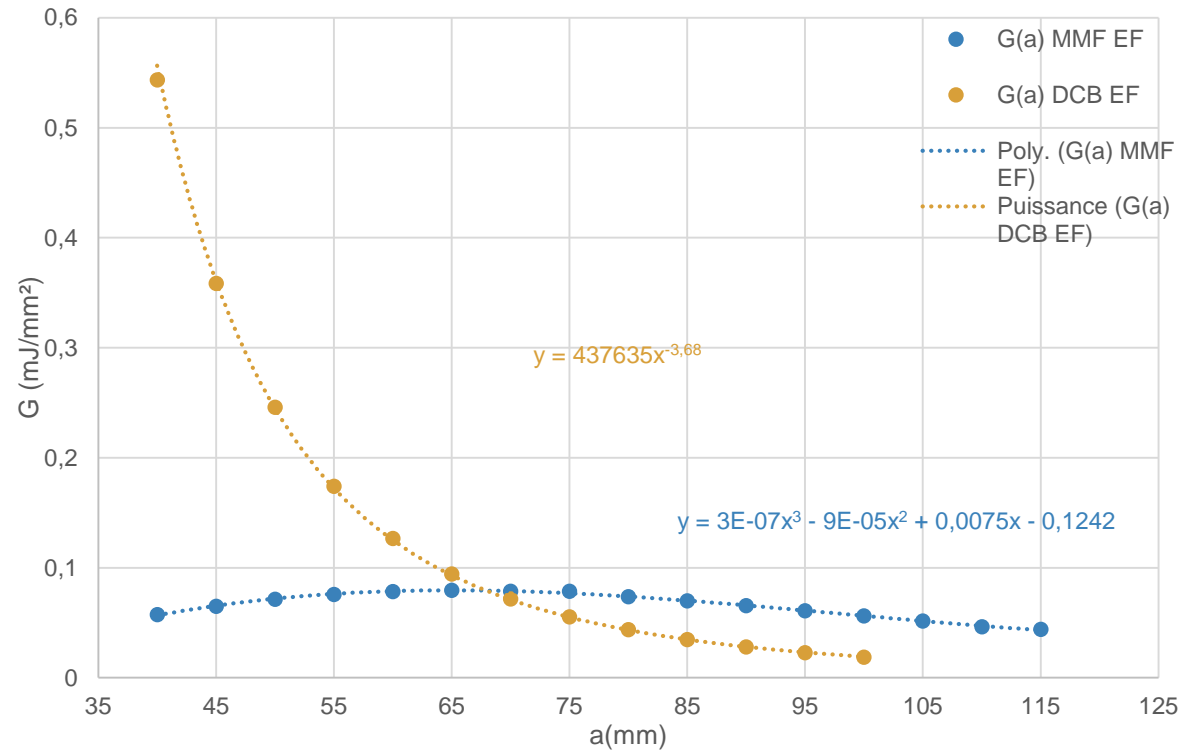
Comparaison de la rigidité obtenue par éléments finis pour DCB et MMF



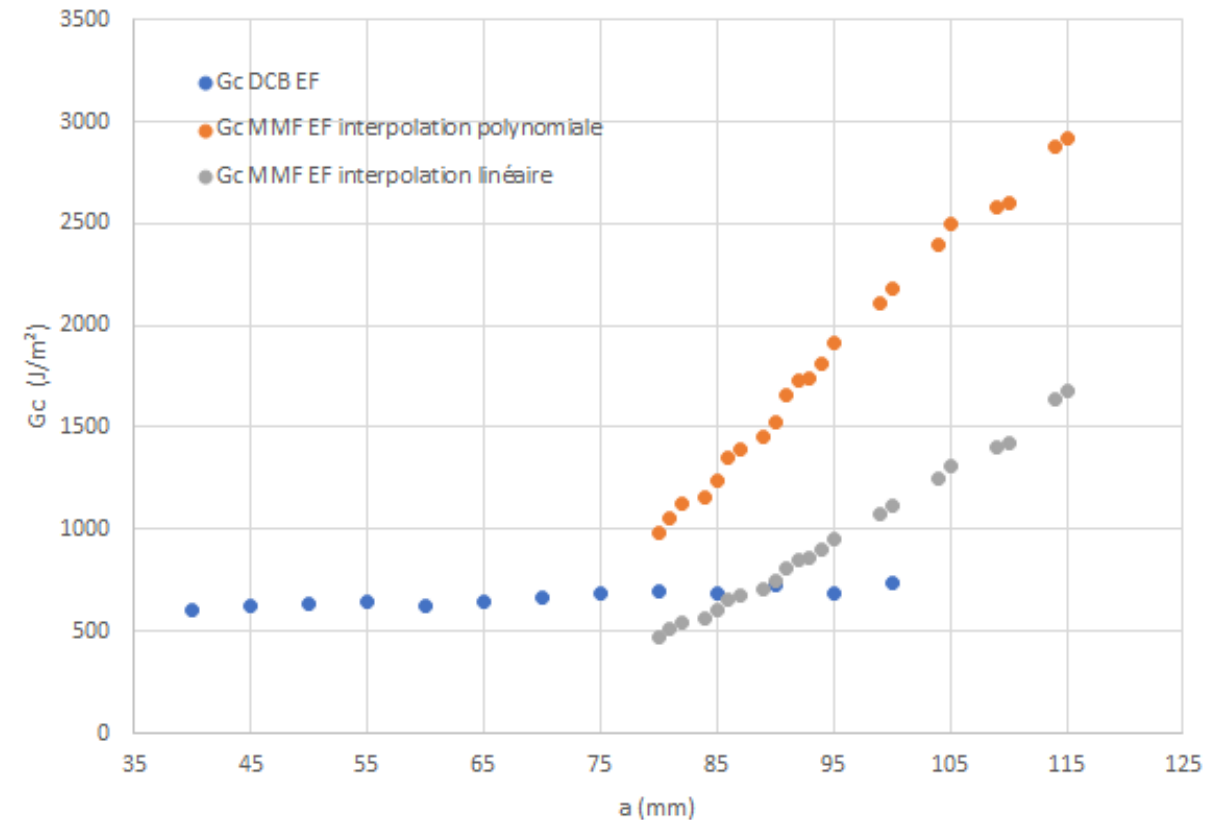
Comparaison de l'évolution de l'énergie élastique entre les essais DCB et MMF par la méthode des éléments finis



Approche numérique

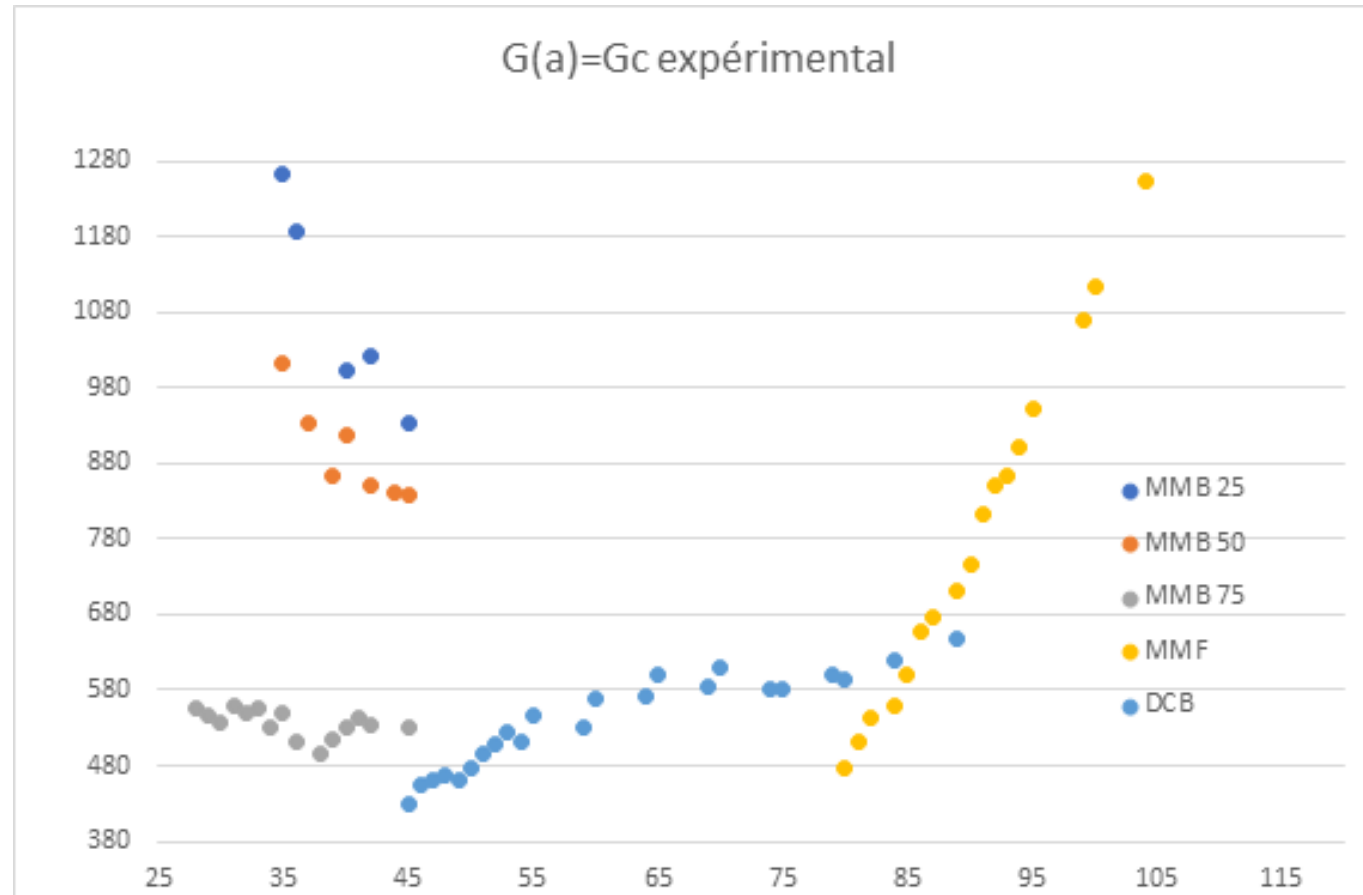


Comparaison des taux de restitution obtenus par éléments finis pour DCB et MMF



Comparaison des taux de restitution d'énergie critiques obtenus par éléments finis pour DCB et MMF

Approche expérimentale



Evolution expérimentale du taux d'énergie critique pour les trois essais

6

CONCLUSION

Synthèse et perspectives

Synthèse :

- DCB: similarité modèle poutre et EF (approche simplifiée + théorie de Griffith)
- G_c pas constant:
 - DCB: augmente, se stabilise puis réaugmente légèrement
 - MMF: croît linéairement
 - MMB: globalement décroissant
- Influence de $k(a)$ sur G_c

Perspectives :

- Établir un modèle éléments finis pour l'essai MMB
- Établir des modèles de zone cohésive pour les trois essais
- Refaire les calculs éléments finis en prenant les mêmes valeurs de déplacement que pour les résultats expérimentaux
- Étudier le mode 3 de rupture