



# Modélisation du comportement cyclique (Voiles)

*Christian La Borderie Université de Pau*

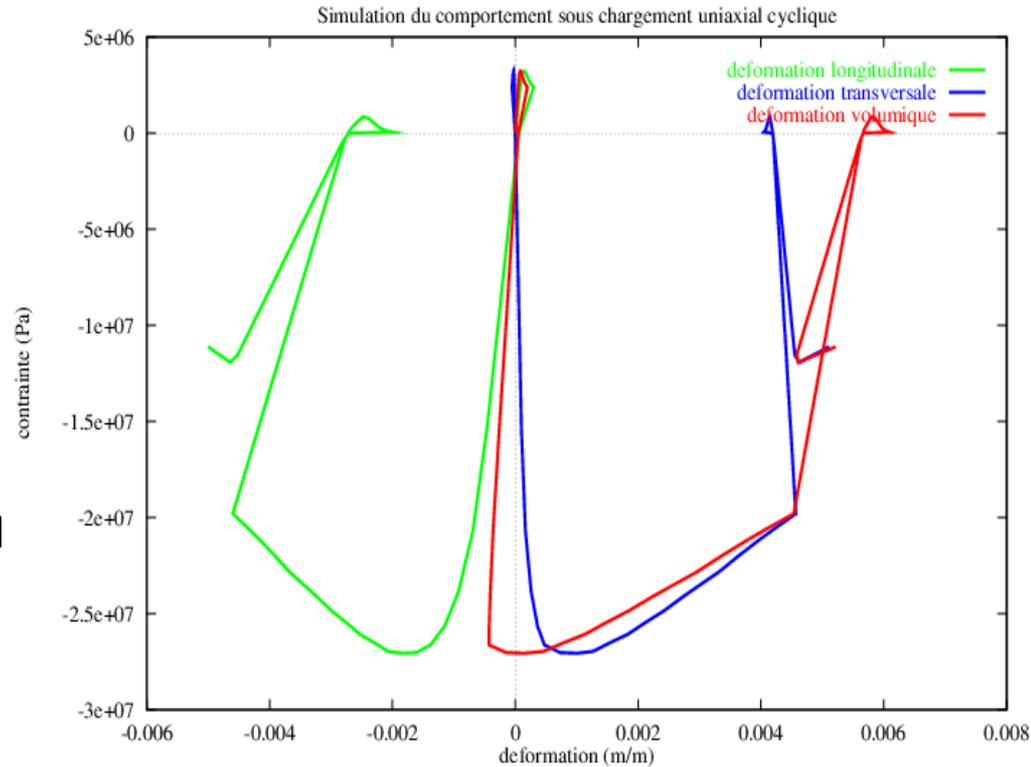


04/06/2015



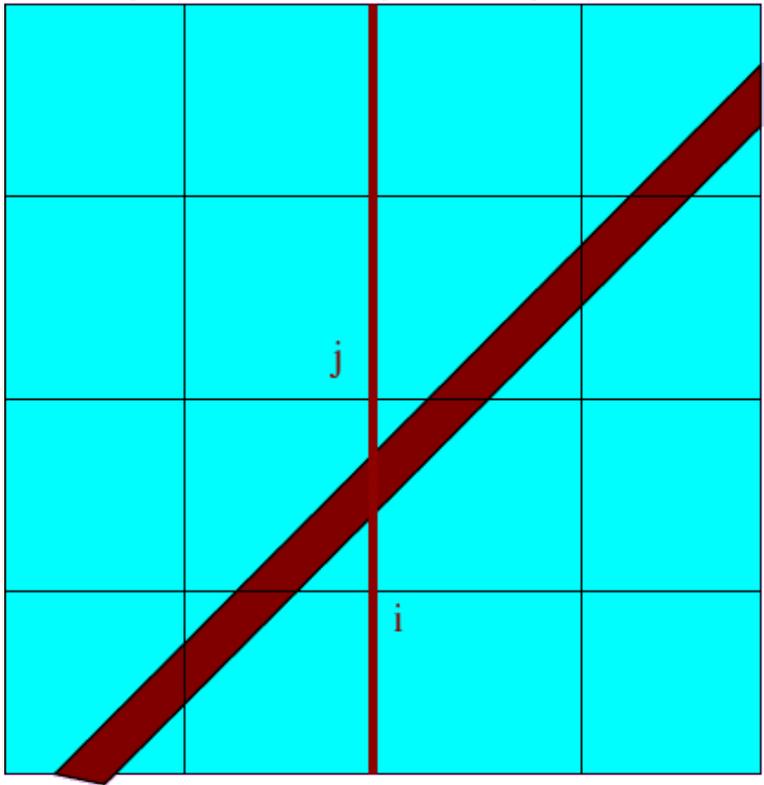
- Compléter les expérimentations afin de :
  - Mieux comprendre les phénomènes mis en jeu.
  - Apprécier la validité des hypothèses.
  - Évaluer l'influence de paramètres de conception ou de chargement.
- Étapes
  - Développement des modèles
  - Identification des paramètres et validation sur les expérimentations « réelles » CEOS.fr
  - Expériences numériques
  - Dépouillement

- Endommagement unilatéral
- Plasticité
- 2D ou 3D
- Énergie de fissuration

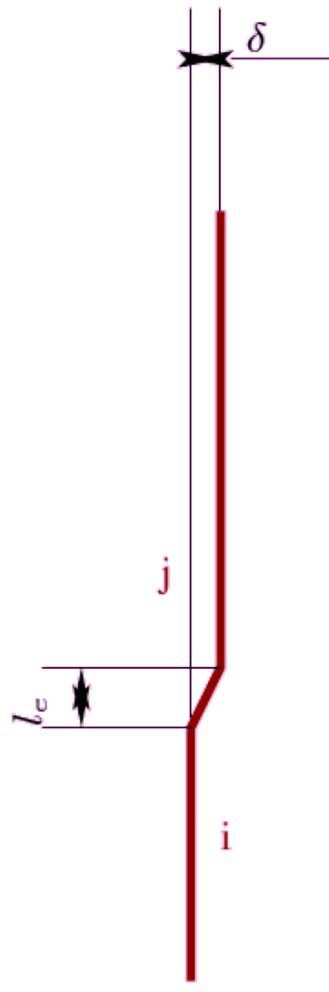


# Couplage acier - béton

Le : Longueur d'engrènement  $\sim \frac{1}{2}$   
diamètre granulat (5mm)

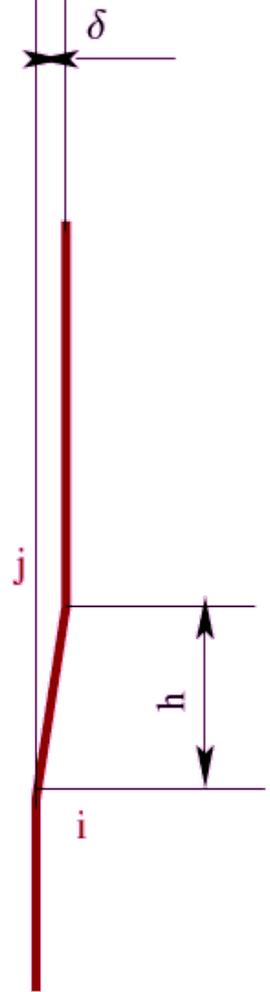


Correction de l'inertie de l'armature

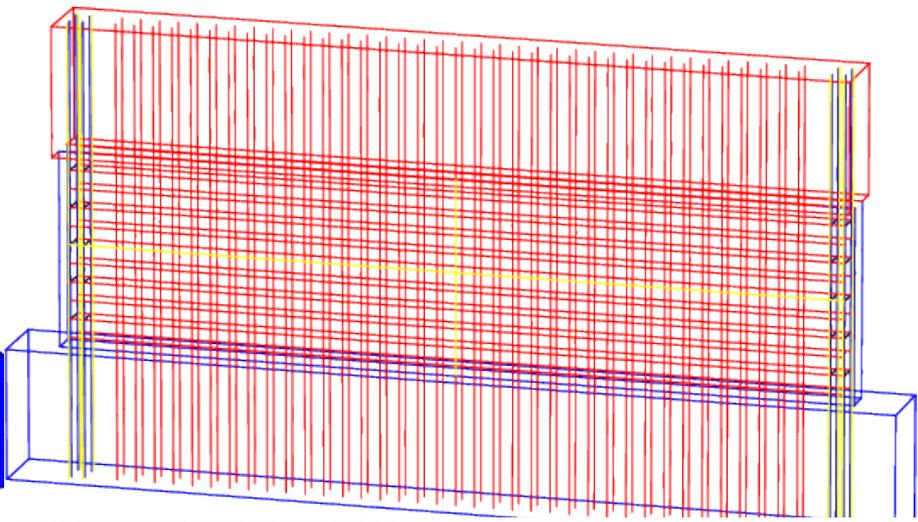
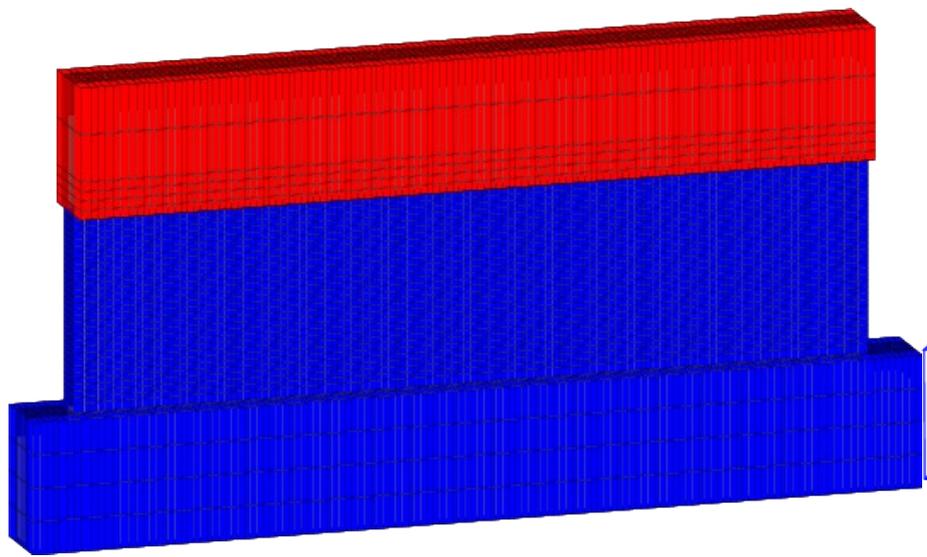


Problème réel

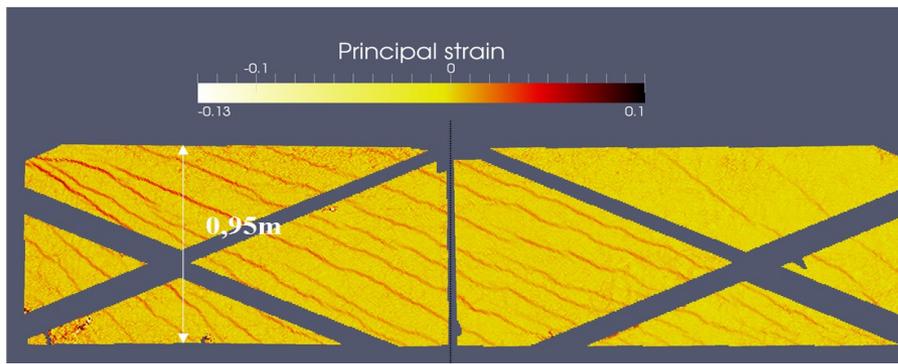
$$I_{EF} = I \frac{h^3}{l_e^3}$$



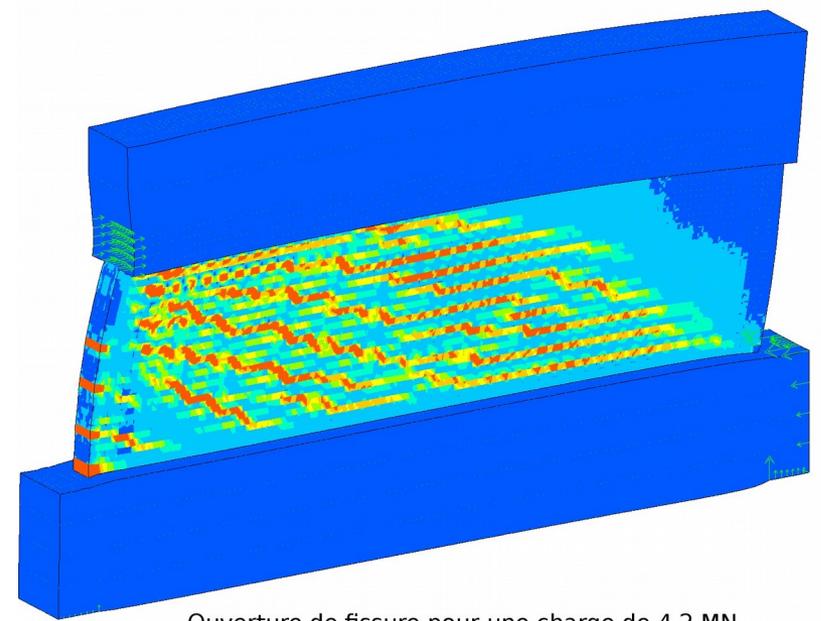
Problème discrétisé



Cracking pattern for monotonic loading



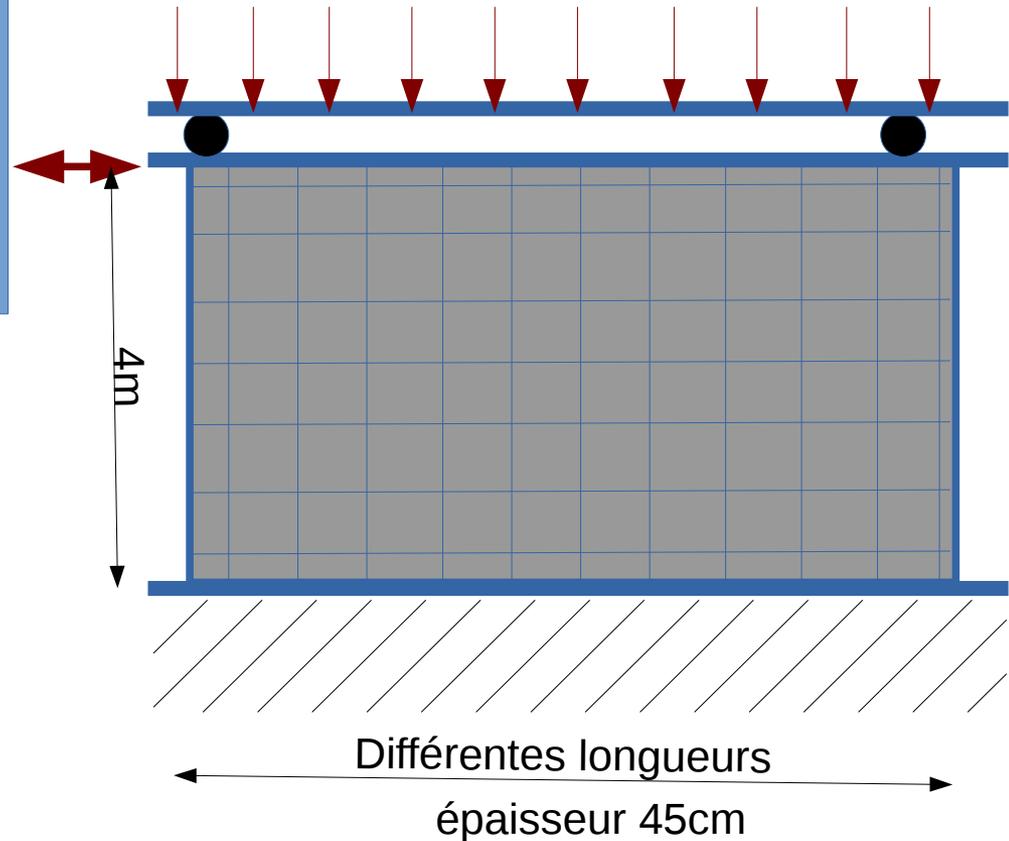
Push from the left : Effort 3600 kN → Middle of the beam

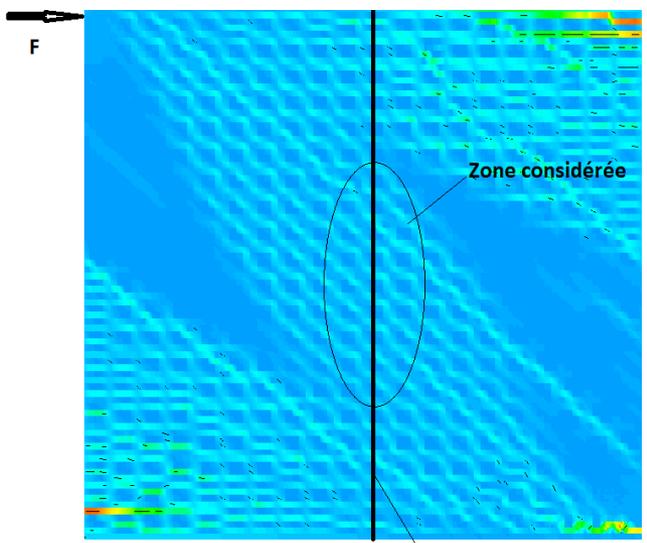


Ouverture de fissure pour une charge de 4.2 MN

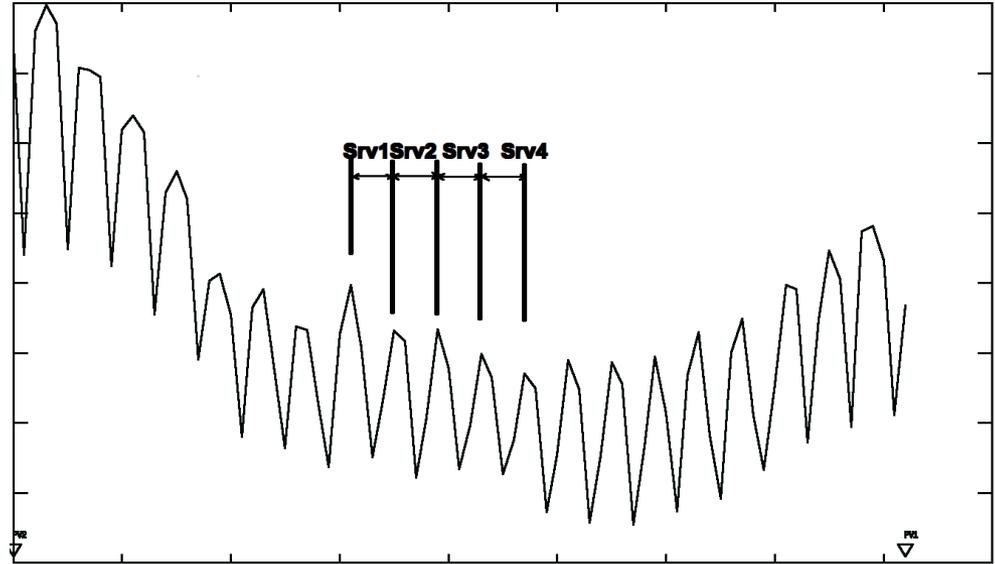
- Géométrie simple reflétant le coeur de voile.
- Conditions aux limites de cisaillement parfait en déplacement
- Chargement monotone
- 2D

- Aciers : HA 16, 20, 25, 32.
- @ : 20 cm, 25cm.
- Résistance béton : 25, 40, 60 MPa.
- Rapport d'aspect : 1, 2, 4.
- Contrainte verticale :
  - 0, -10 Mpa (compression),
  - 2 Mpa (tension)





Barre verticale médiane considérée pour la détermination des caractéristiques de fissuration



Contrainte le long de la barre

Espacement vertical, espacement horizontal ==> Angle de fissuration

- 5 Variables d 'entrée

- L'élanement du voile L/H (rapport entre la longueur et la hauteur)
- La charge normale appliquée  $\sigma_N$
- La résistance en compression du béton  $f_{ck}$
- Le diamètre des barres  $\Phi$
- L'espacement des barres  $e_b$

- 2 variables de sortie

- Angle de fissuration  $\theta$
- Espacement de fissures  $S_{rm}$

- Variables adimensionnées :

- $\widehat{f}_{ck} = f_{ck} / 40$

- $\widehat{\sigma} = \frac{\langle \sigma_N \rangle^+}{f_{tcm}} + \frac{\langle \sigma_N \rangle^-}{f_{ck}}$

- $\rho = \frac{2\pi\Phi^2}{4e_b e} = \frac{\pi\Phi^2}{2e_b e}$

$$\theta = k_0 + k_1 \frac{L}{H} + k_2 e_b + k_3 \hat{f}_{ck} + k_4 \rho + k_5 \hat{\sigma}$$

|    | Estimate | Std. Error | Pr(> t )     |
|----|----------|------------|--------------|
| k0 | 54.5145  | 7.4850     | 1.10e-11 *** |
| k1 | 0.6225   | 0.9088     | 0.4943       |
| k2 | 0.9634   | 2.9531     | 0.7446       |
| k3 | -12.6058 | 2.0500     | 5.23e-09 *** |
| k4 | 266.4482 | 142.5365   | 0.0633 .     |
| k5 | -52.4863 | 2.1575     | < 2e-16 ***  |

\*\*\* : valeurs significatives

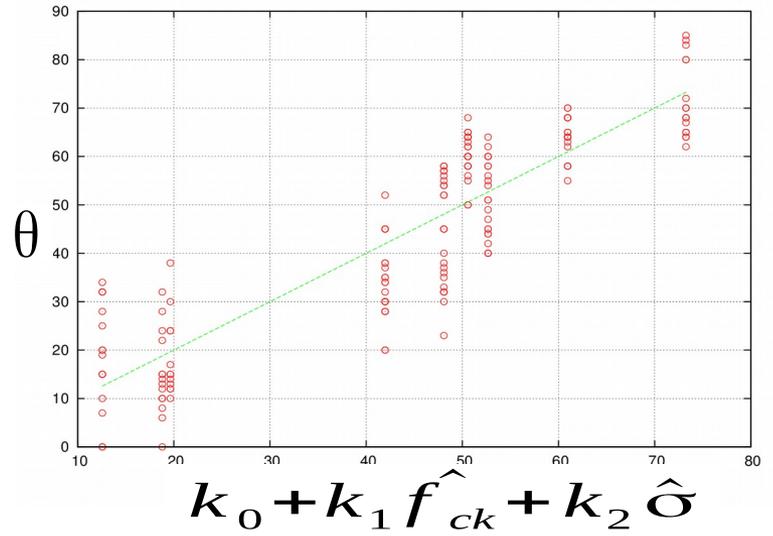
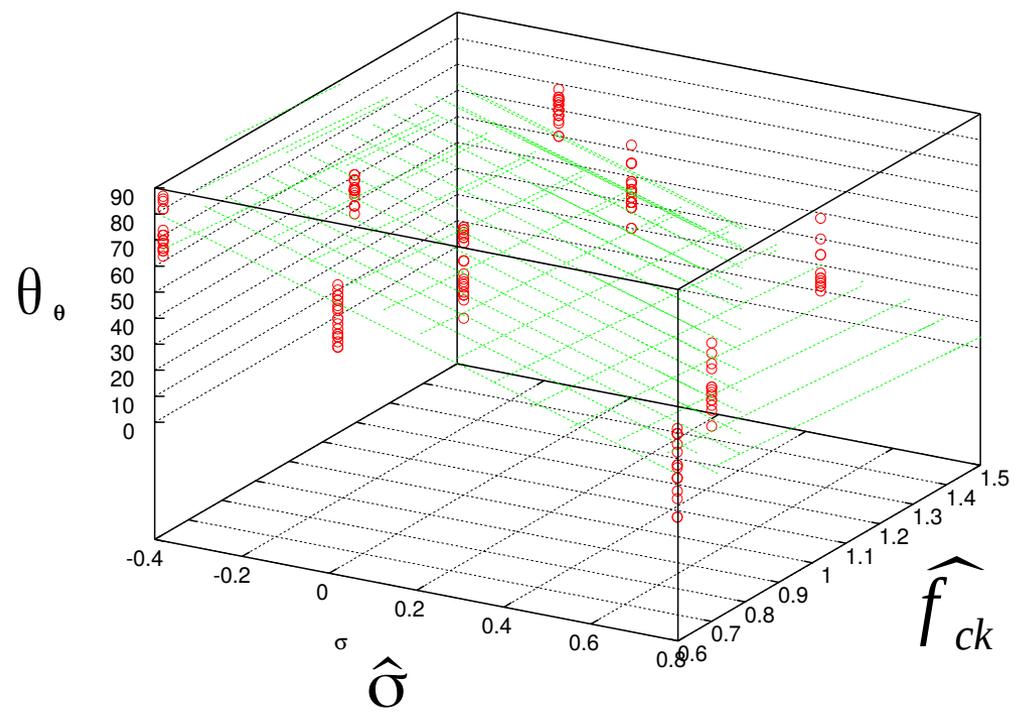
$$\theta = k_0 + k_1 \hat{f}_{ck} + k_2 \hat{\sigma}$$

|       | Estimate | Std. Error | Pr(> t )     |
|-------|----------|------------|--------------|
| $k_0$ | 60.306°  | 2.262      | < 2e-16 ***  |
| $k_1$ | -12.220° | 2.036      | 1.08e-08 *** |
| $k_2$ | -51.489° | 2.104      | < 2e-16 ***  |

\*\*\* : valeurs significatives

# Effet des variables sur $\theta$

$$\theta = k_0 + k_1 \hat{f}_{ck} + k_2 \hat{\sigma}$$

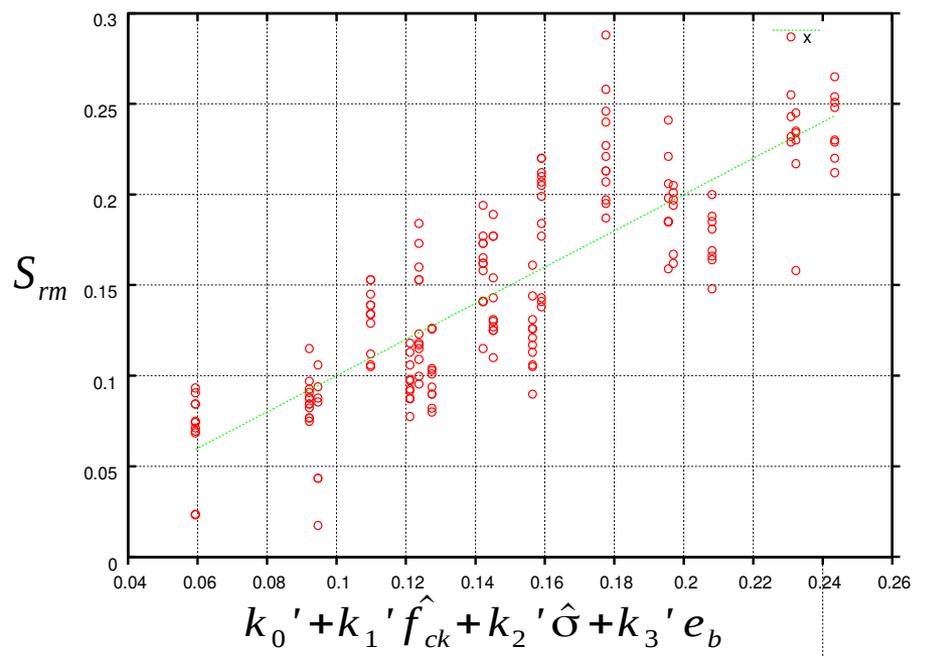
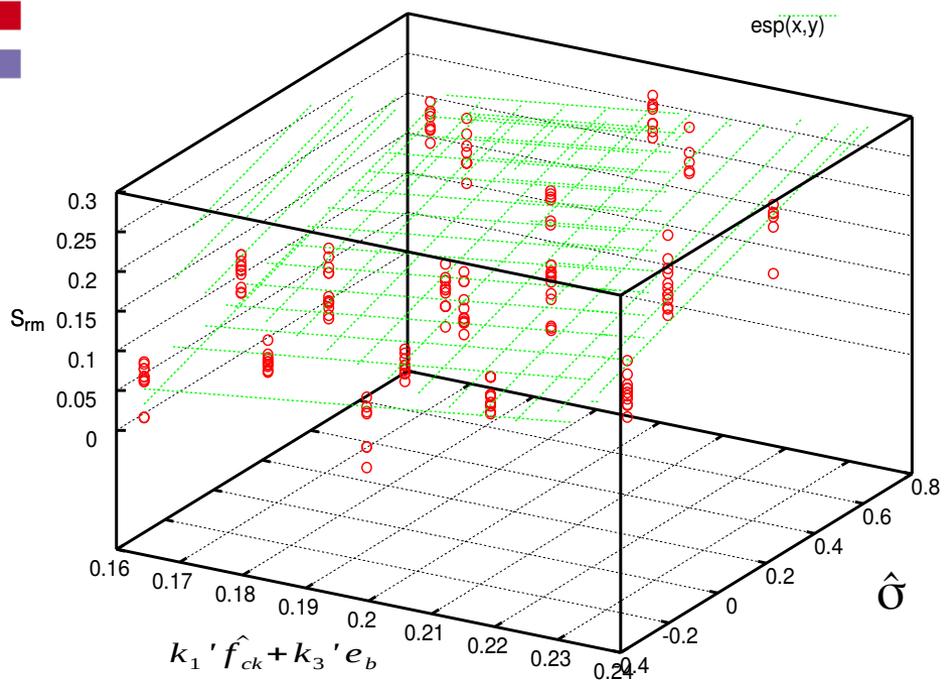


$$S_{rm} = k_0' + k_1' \hat{f}_{ck} + k_2' \hat{\sigma} + k_3' e_b$$

|        | Estimate    | Std. Error | Pr(> t )     |
|--------|-------------|------------|--------------|
| $K'_0$ | -0.054541 m | 0.022434   | 0.0161 *     |
| $K'_1$ | 0.037018 m  | 0.006744   | 1.40e-07 *** |
| $K'_2$ | 0.126194 m  | 0.006966   | < 2e-16 ***  |
| $K'_3$ | 0.70620 m   | 0.09566    | 6.04e-12 *** |

\*\*\* : valeurs significatives

$$S_{rm} = k_0' + k_1' \hat{f}_{ck} + k_2' \hat{\sigma} + k_3' e_b$$

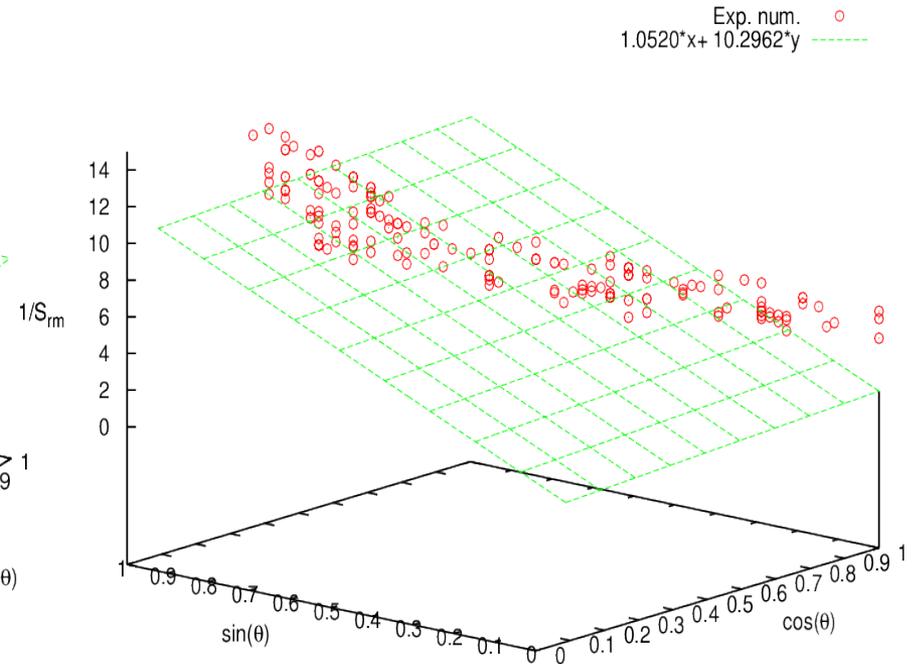
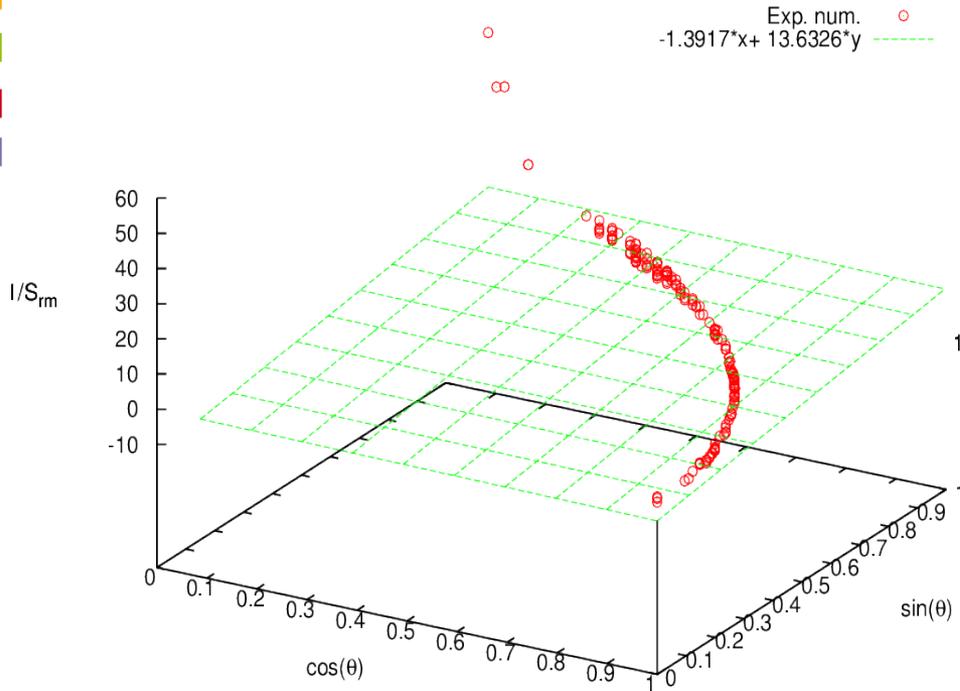


$$S_{rm} = \frac{1}{\frac{\cos(\theta)}{S_{rmx}} + \frac{\sin(\theta)}{S_{rmy}}} \quad \text{OU} \quad \frac{1}{S_{rm}} = \frac{\cos(\theta)}{S_{rmx}} + \frac{\sin(\theta)}{S_{rmy}}$$

Si on propose le modèle :

$$\frac{1}{S_{rm}} = k_1 \cos(\theta) + k_2 \sin(\theta)$$

|       | Estimate | Std. Error | Pr(> t )   |
|-------|----------|------------|------------|
| $k_1$ | -1.3917  | 0.8677     | 0.111      |
| $k_2$ | 13.6326  | 0.8496     | <2e-16 *** |



Hypothèse valable dans la majorité des cas

Non validité dans les cas où la compression domine la rupture

- Avancées significatives (Cyclique + Voiles)
- Meilleure compréhension des phénomènes
- Mise en évidence des faiblesses toujours existantes
  
- Complémentarité expérimentation / modélisation
- Applications dans le domaine de l'ingénierie