Université de Marne-la-Vallée
Laboratoire de Mécanique (LaM)

Modélisation du comportement mécanique de la maçonnerie

Leïla ABDOU

Encadreur et co-encadreurs :

Ahmed Mébarki

Ramdane Ami Saada

Fékri Meftah

Travaux antérieurs :

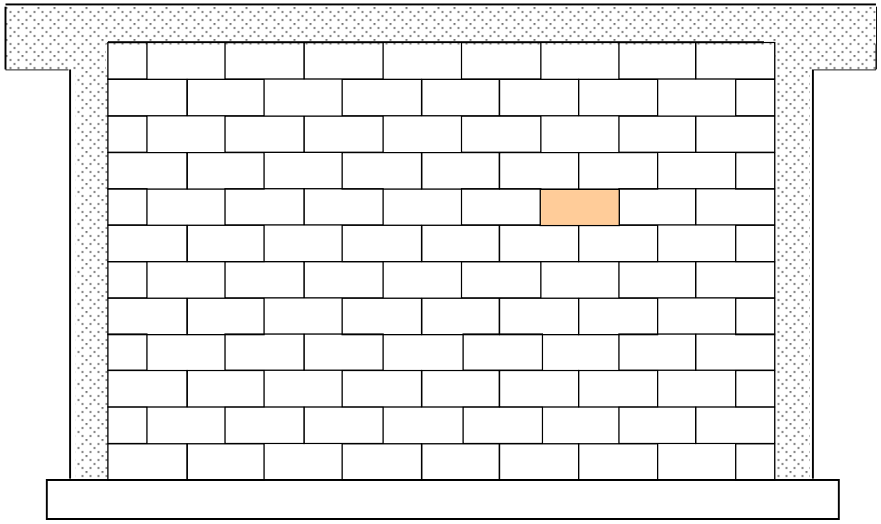
(W. Nechnech, 2000) : Une approche thermo-élasto-plastique endommageable pour le béton

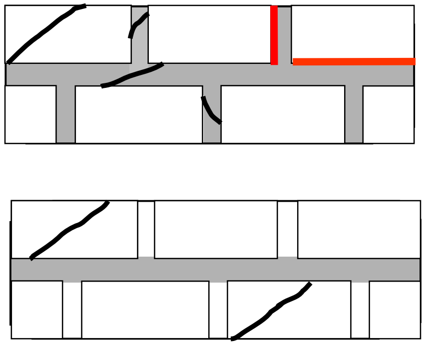
(F. Benboudjema, 2002) : Déformations différées du béton sous sollicitations biaxiales

PLAN DE LA PRESENTATION

- Problématique de la modélisation de la maçonnerie
- Proposition d'un modèle élastoplastique endommageable
- Intégration des équations du modèle dans CAST3M
- Validation du modèle
- Conclusions

PROBLÉMATIQUE DE LA MODÉLISATION DE LA MAÇONNERIE



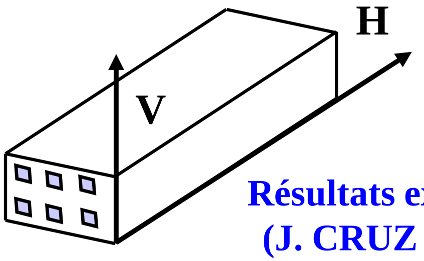


Brique et mortier ⇒ Fissuration, Écrasement

Interface ⇒ Décollement, Glissement

CARACTERISTIQUES DE LA MAÇONNERIE

Matériau composite

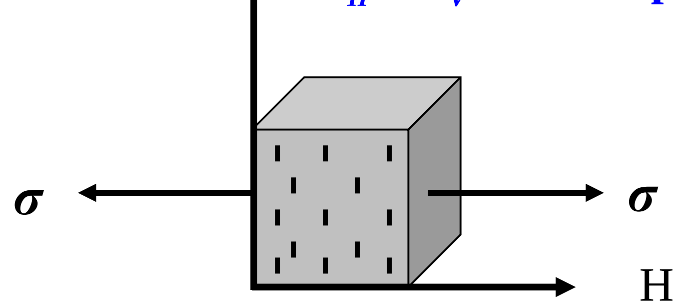


Résultats expérimentaux (J. CRUZ DIAZ, 2002)

$R_H \neq R_V \Rightarrow$ Anisotropie

- **Perforations, trous**
- **Procédé de fabrication**

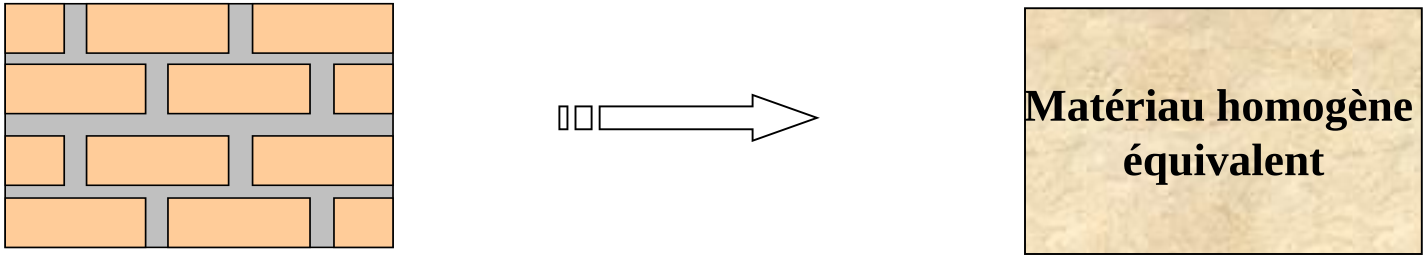
$R_H = R_V \Rightarrow$ Isotropie



Fissuration $\Rightarrow$ Orthotropie induite

Endommagement orthotrope

APPROCHE DE MODÉLISATION



Mécanique de l'endommagement : $$\underline{\sigma} = \left(\underline{\underline{I}} - \underline{\underline{D}}\right)\underline{\underline{E}}_0 \cdot \underline{\varepsilon}_e$$

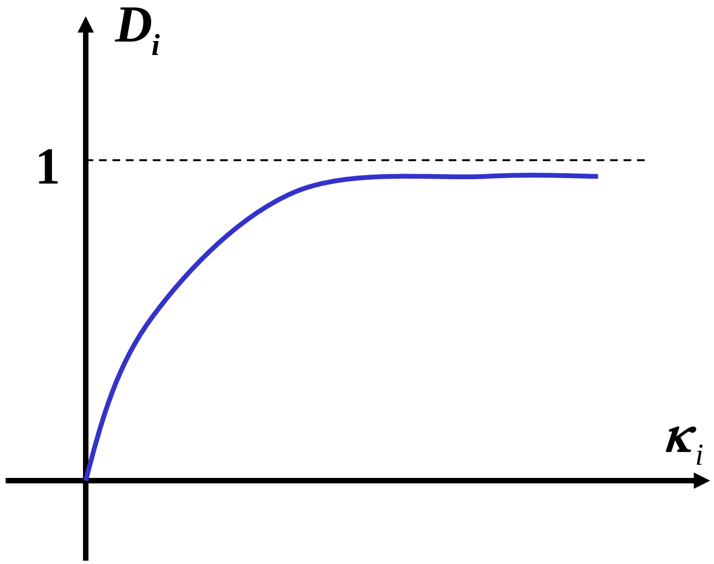
$$\left(1 - D_i\right) = \left(1 - D_c\right)\left(1 - D_{ti}\right)$$

Couplage plasticité /endommagement : $$\tau_x = f\left(\kappa_x\right)$$

COUPLAGE PLASTICITÉ/ENDOMMAGEMENT

$$\hat{\underline{\underline{\kappa}}} = \begin{pmatrix} \kappa_{tI} & 0 \\ 0 & \kappa_{tII} \end{pmatrix}$$

$$\hat{\underline{\underline{D}}} = \begin{pmatrix} D_{tI} & 0 \\ 0 & D_{tII} \end{pmatrix}$$



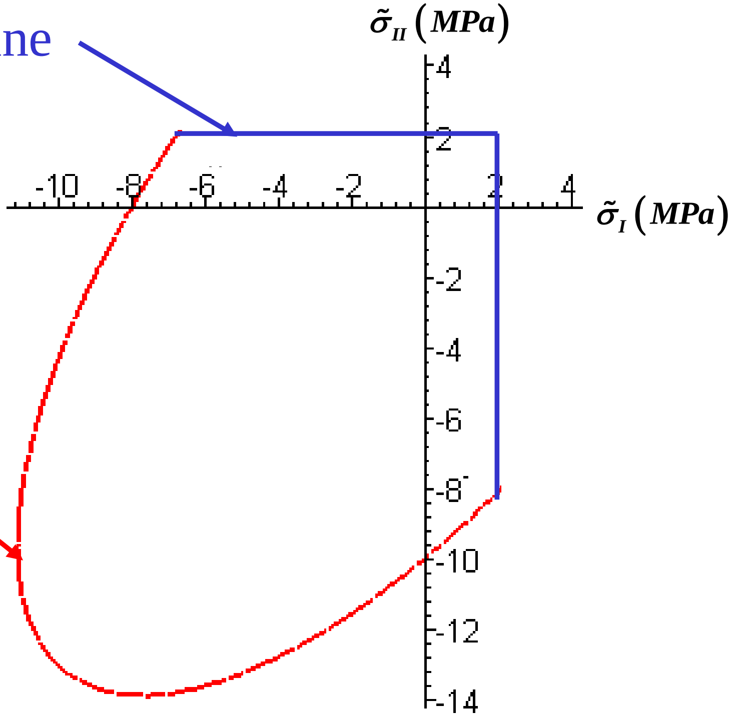
$$\begin{cases} (1 - D_c) = \exp(-c_c \kappa_c) \\ (1 - D_{ti}) = \exp(-c_{ti} \kappa_{ti}) \end{cases}$$

$$F\left(\underline{\tilde{\sigma}}, \tilde{\tau}_c, \tilde{\tau}_t\right) \leq 0$$

CRITÈRE DE PLASTICITÉ

Rankine

Hill



$$\tilde{\sigma} = \sigma / (1 - D)$$

$$\begin{cases} F_{t1} = \tilde{\sigma}_I - \tilde{\tau}_{tI}(\kappa_{tI}) \\ F_{t2} = \tilde{\sigma}_{II} - \tilde{\tau}_{tII}(\kappa_{tII}) \end{cases}$$

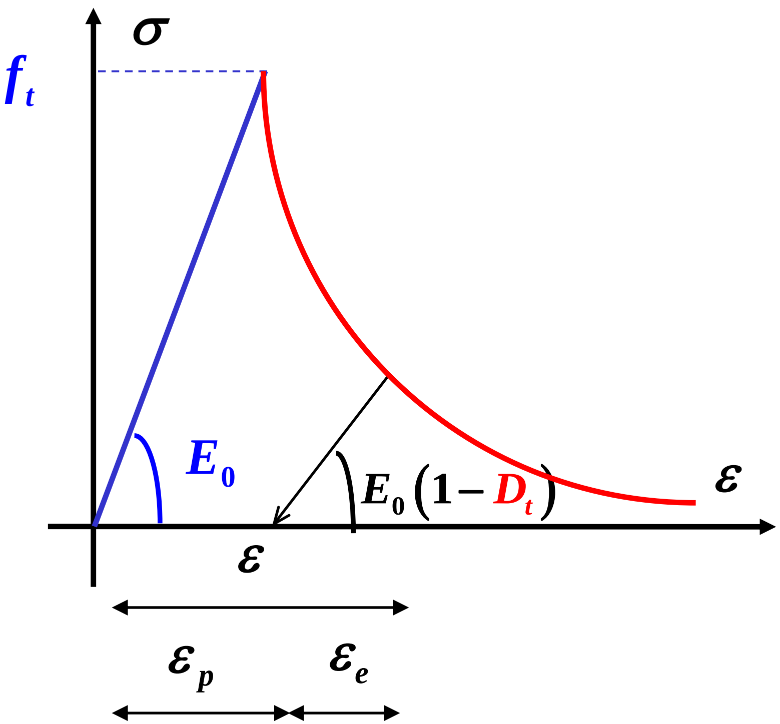
$$A\tilde{\sigma}_{xx}^2 + B\tilde{\sigma}_{yy}^2 + C\tilde{\sigma}_{xx}\tilde{\sigma}_{yy} + D\tilde{\sigma}_{xy}^2 = 1$$

Loi de normalité

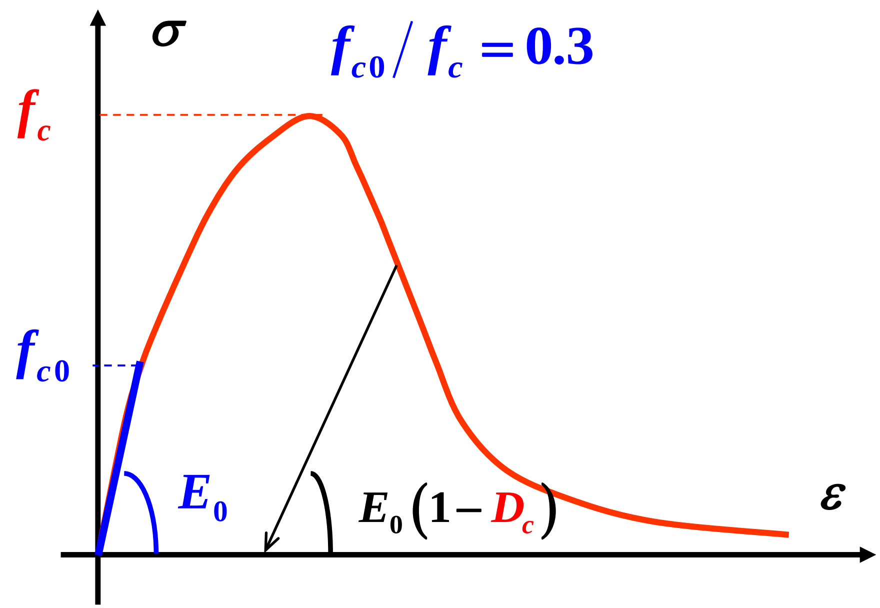
$$\dot{\underline{\varepsilon}}^p = \dot{\lambda}_{t1}\frac{\partial F_{t1}}{\partial \underline{\tilde{\sigma}}} + \dot{\lambda}_{t2}\frac{\partial F_{t2}}{\partial \underline{\tilde{\sigma}}} + \dot{\lambda}_{c}\frac{\partial F_{c}}{\partial \underline{\tilde{\sigma}}}$$

COMPORTEMENT DE LA MAÇONNERIE

TRACTION

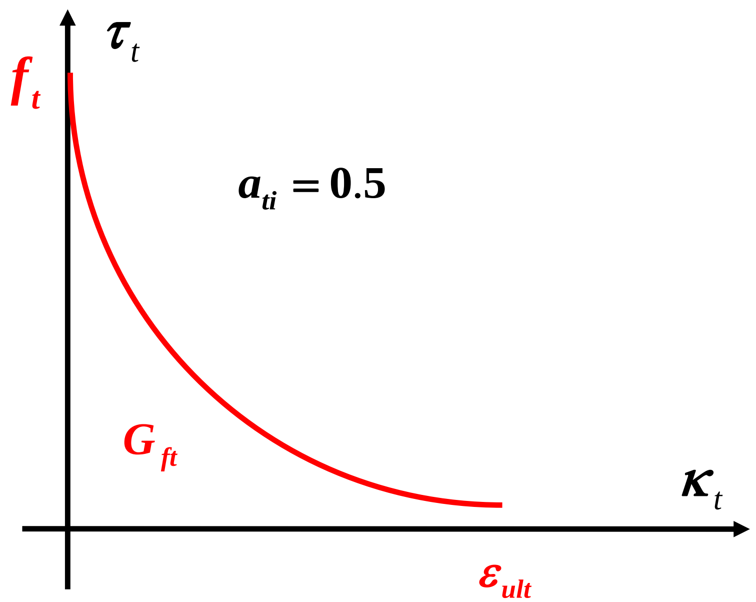


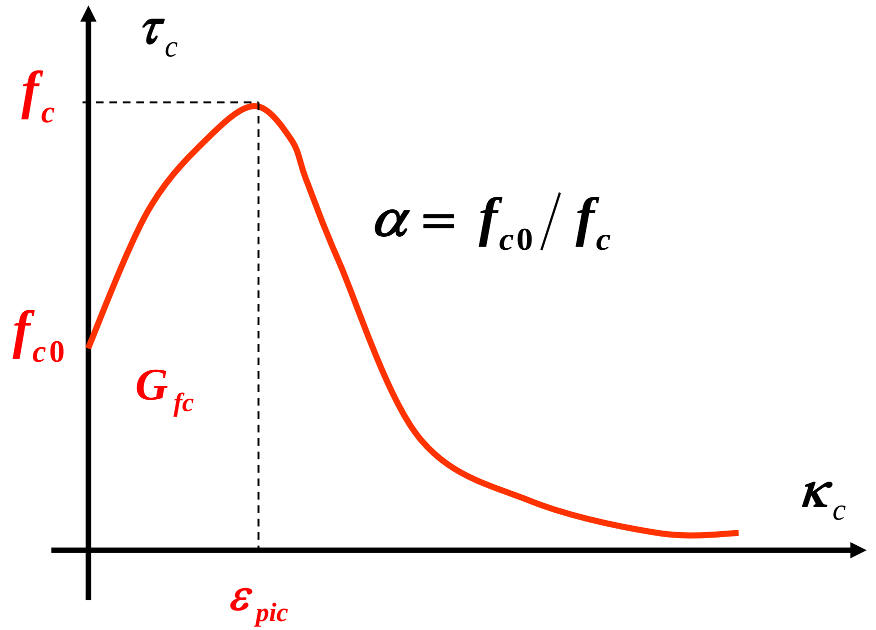
COMPRESSION



$$\underline{\varepsilon} = \underline{\varepsilon}_e + \underline{\varepsilon}_p$$

COMPORTEMENT DE LA MAÇONNERIE





$$\tau_{xi} = f_{xi}\left[\left(1+a_{xi}\right)\exp\left(-b_{xi}\kappa_{xi}\right)-a_{xi}\exp\left(-2b_{xi}\kappa_{xi}\right)\right]$$

$a_{ti} < 1$ $\qquad$ $a_{ci} > 1$

$$\tilde{\tau}_{xi} = \tau_{xi} / \left(1-D_i\right) = f\left(a_{xi}, b_{xi}, c_{xi}\right)$$

RÉSOLUTION DU PROBLÈME MÉCANIQUE

- Résolution du problème mécanique: Algorithme proposé par CAST3M

- Modification des fichiers sources: Évaluation de l'état de contraintes admissibles

- Mise en place d'un processus ***d'itérations internes***

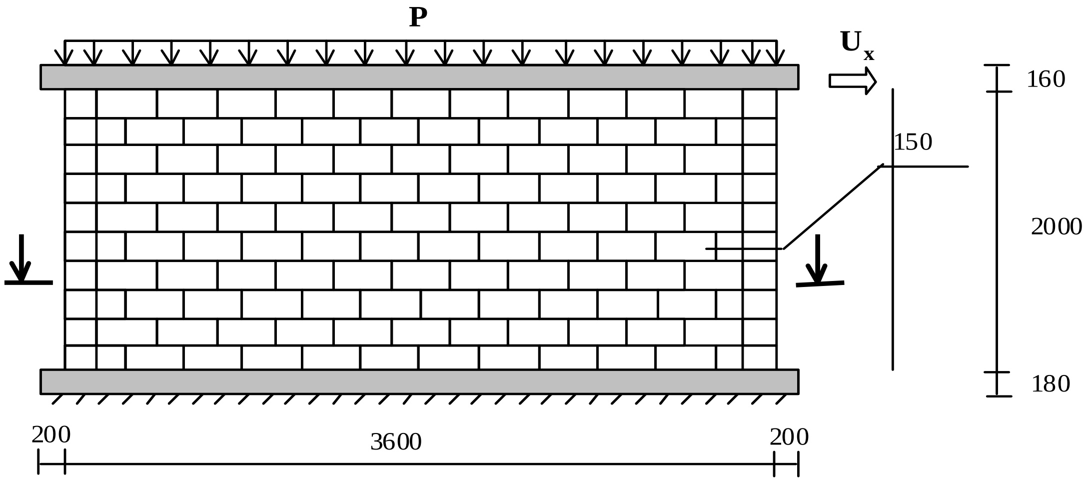
$$\left(\underline{\tilde{\sigma}}_n, \underline{\varepsilon}_n, \Delta\underline{\varepsilon}_n, \Delta\underline{V}_n\right) \rightarrow \left(\underline{\tilde{\sigma}}_{n+1}, \underline{\varepsilon}_{n+1}, \Delta\underline{V}_{n+1}\right)$$

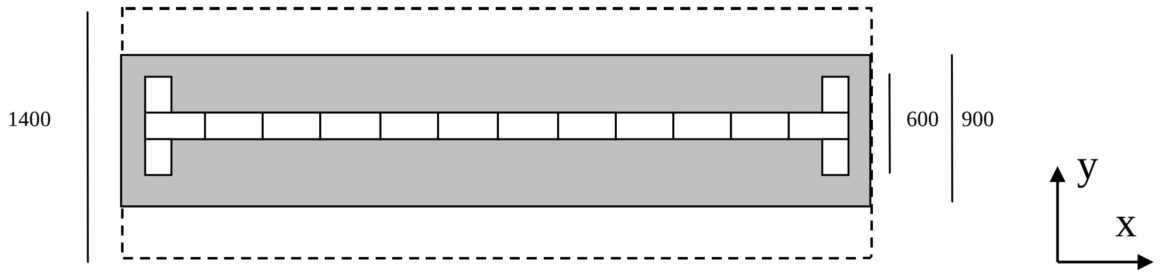
$$\begin{cases} F_{t1}\left(\Delta\kappa_{tI}, \Delta\kappa_{tII}, \Delta\kappa_c\right) = 0 \\ F_{t2}\left(\Delta\kappa_{tI}, \Delta\kappa_{tII}, \Delta\kappa_c\right) = 0 \\ F_c\left(\Delta\kappa_{tI}, \Delta\kappa_{tII}, \Delta\kappa_c\right) = 0 \end{cases}$$

Utilisation de la méthode de Newton-Raphson

VALIDATION DU MODÈLE

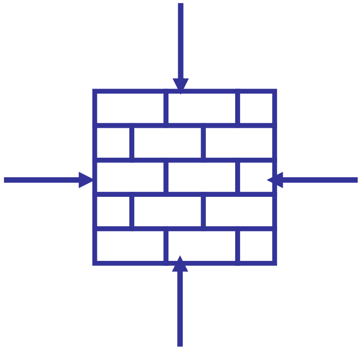
[Ganz H.R. & Thürliman B., 1984]





PARAMÈTRES DU MODÈLE

Sollicitations d 'un « VER »
[Ganz H.R. & Thürliman B., 1982]



Paramètres élastiques

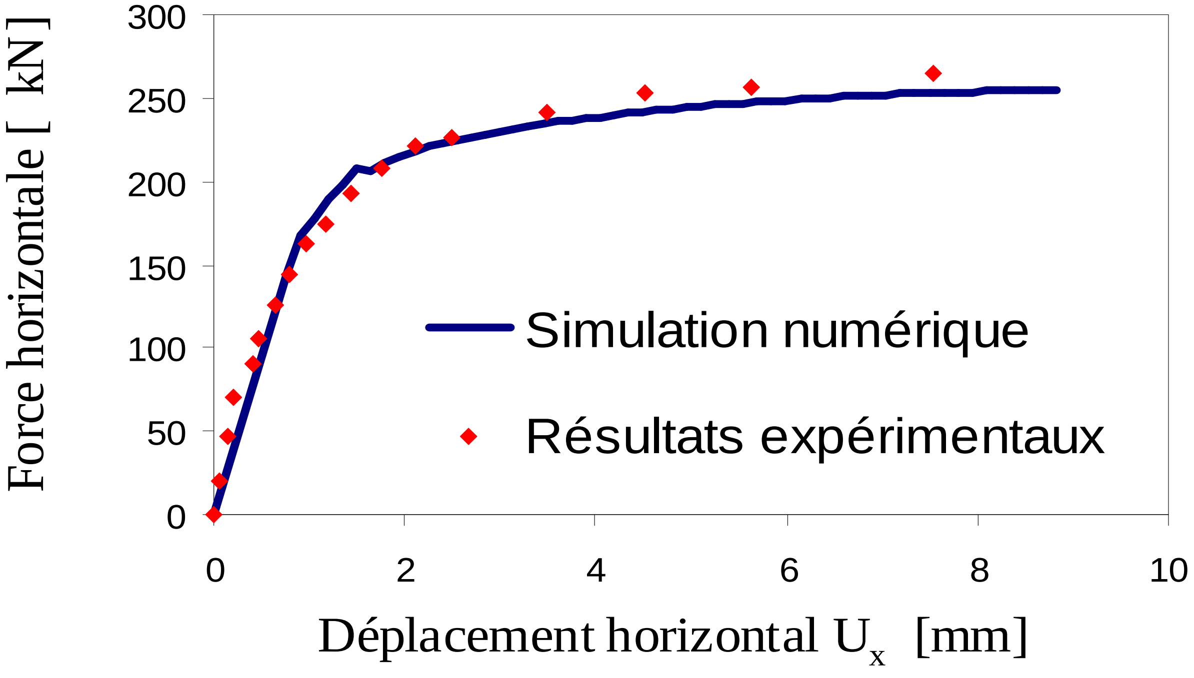
$$E_x, E_y, G_{xy}, \nu_{xy}$$

Paramètres inélastiques

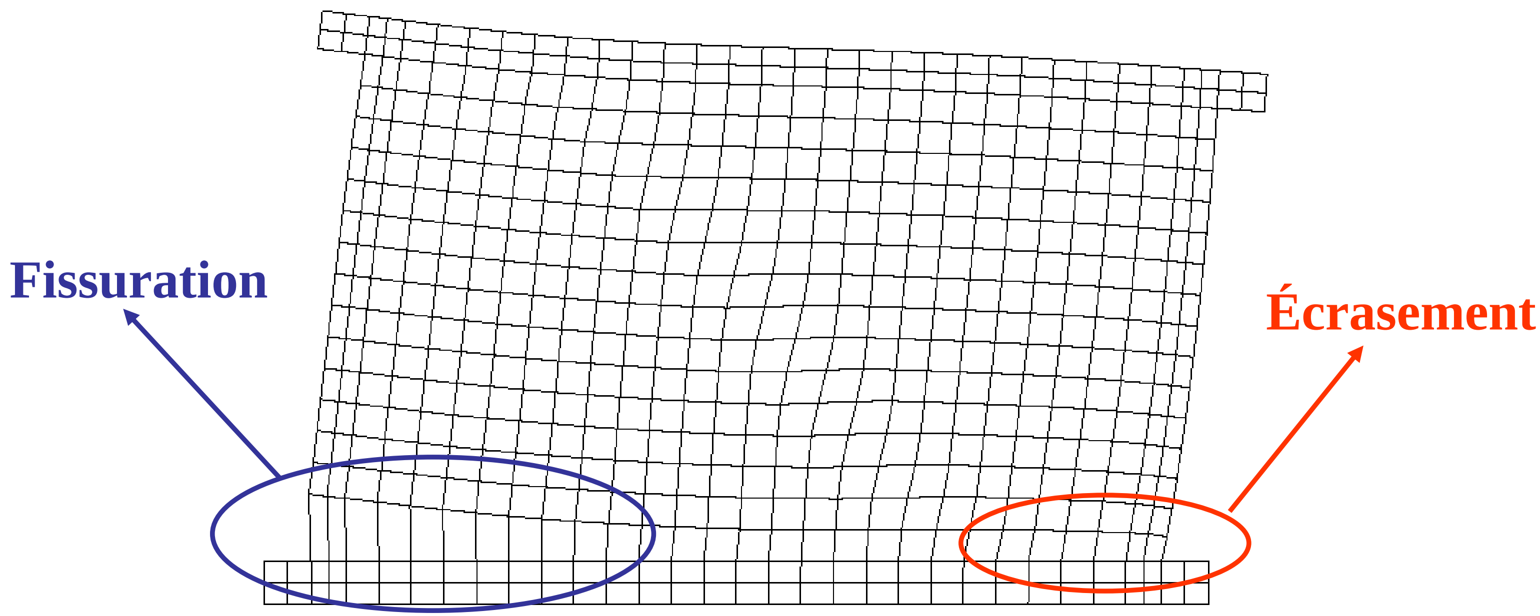
$$\begin{cases} f_{tx}, f_{ty}, f_{cx}, f_{cy}, f_b, \tau_u \\ G_{ftx}, G_{fty}, G_{fcx}, G_{fcy} \end{cases}$$

Seules les valeurs d 'endommagement ont été postulées

Cisaillement du mur



DÉFORMATION DU MUR

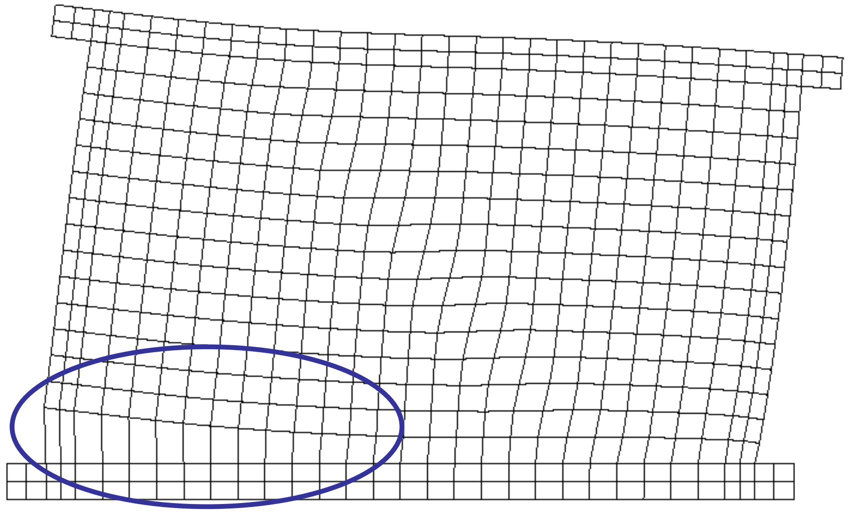


Écrasement : D_c

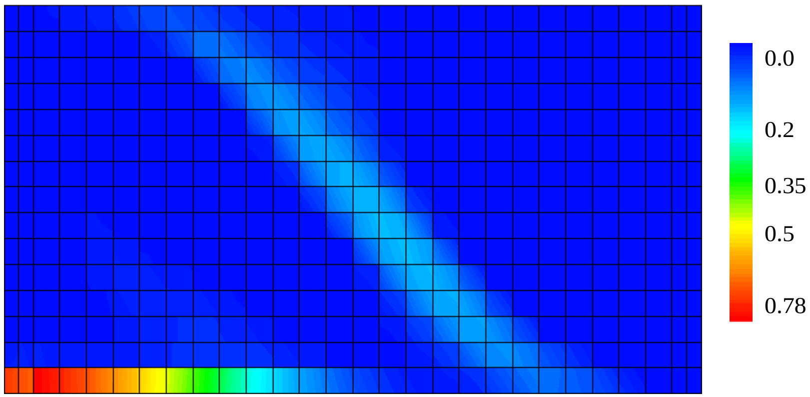
Fissures horizontales : D_{ty}

Fissures verticales : D_{tx}

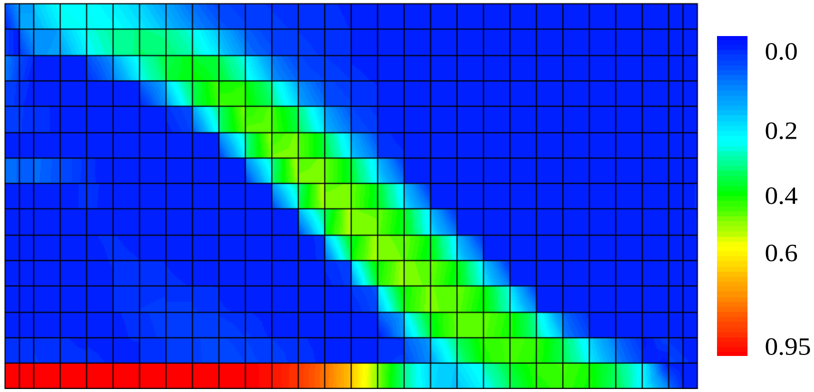
ÉVOLUTION DE L'ENDOMMAGEMENT



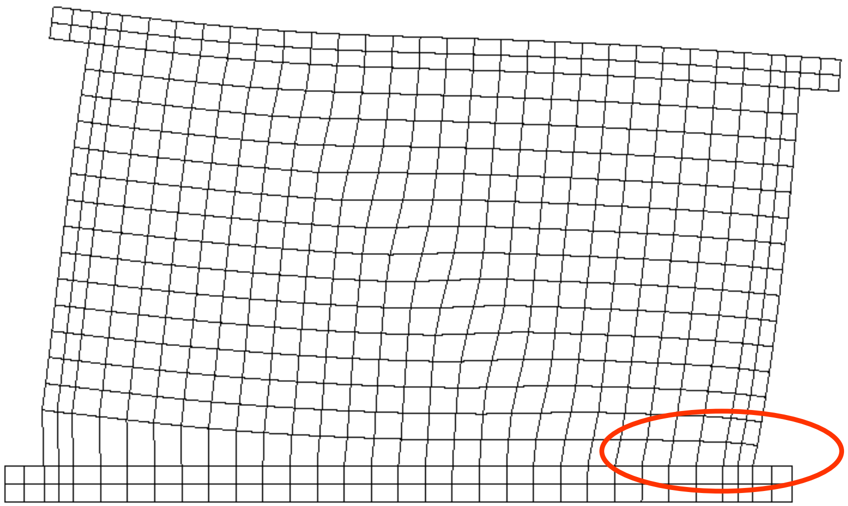
U_x=2mm



U_x=9mm

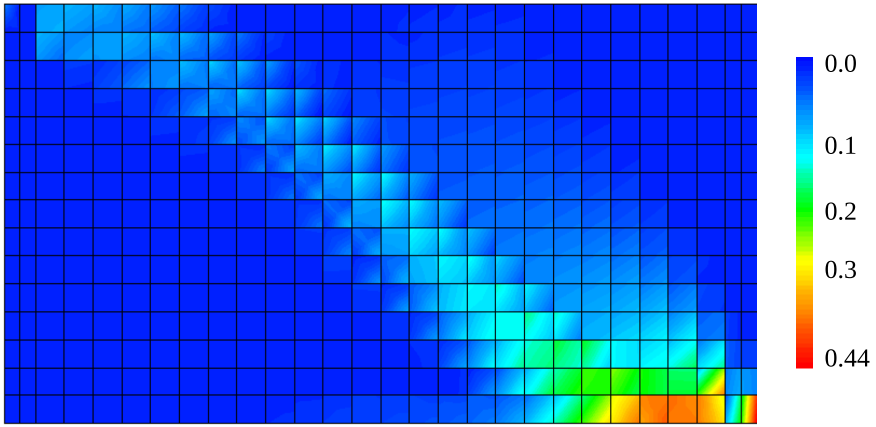


ÉCRASEMENT DU MUR

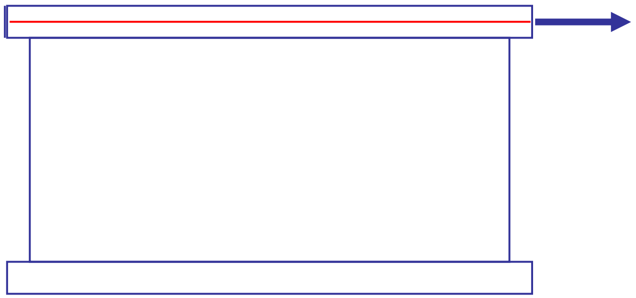


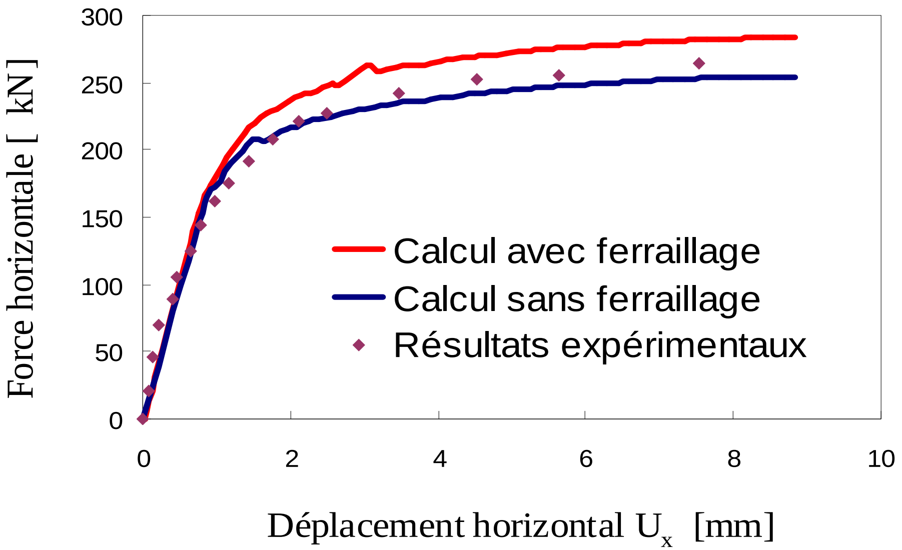
Soulèvement du mur

Écrasement



CHAÎNAGE SUPÉRIEUR ARMÉ

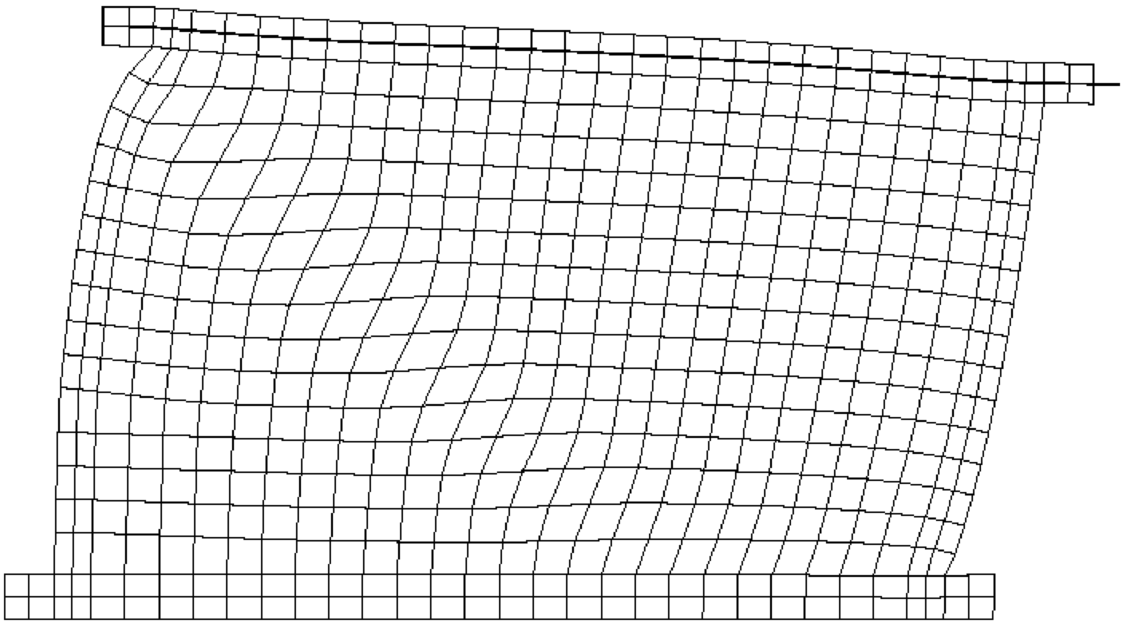




La présence d 'armature

- N 'affecte pas la phase élastique
- Augmente la capacité portante du mur

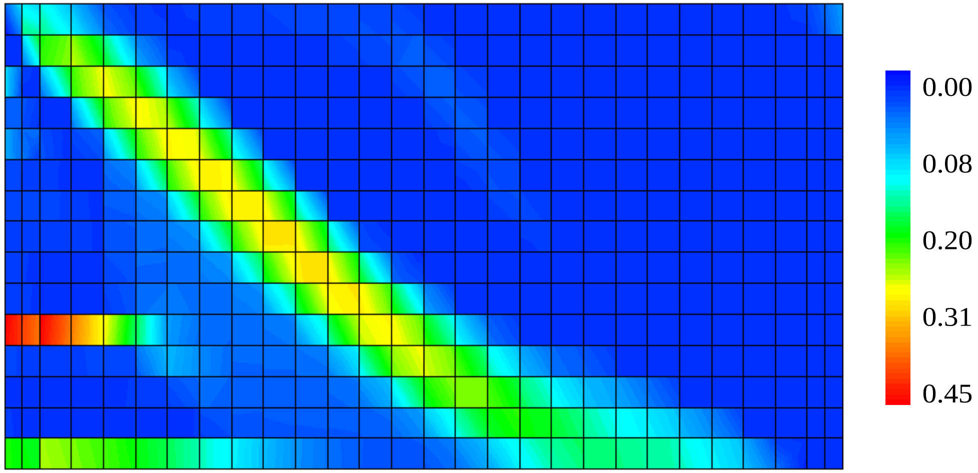
ÉVOLUTION DE L'ENDOMMAGEMENT



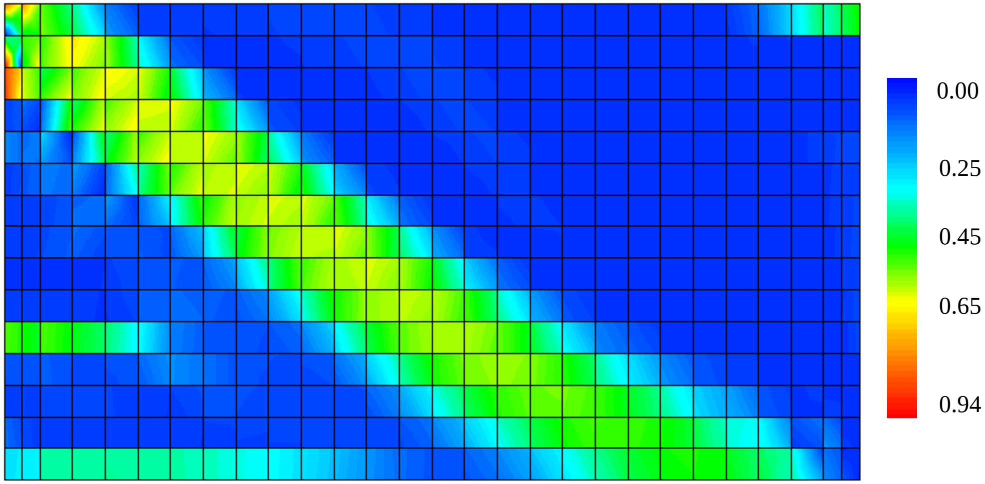
Fissures réparties → Pas de soulèvement du mur

ÉVOLUTION DE L'ENDOMMAGEMENT

U_x=2mm



U_x=9mm



CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

- Proposition d'un modèle de maçonnerie:
  - Anisotropie du matériau
  - La fissuration et l'écrasement du matériau
- Corrélation entre les résultats expérimentaux et la modélisation
- Etude de l'influence des armatures dans le chaînage horizontal:
  - Capacité portante du mur
  - Modes de rupture (évolution de l'endommagement)
- Outil pour la proposition de modèles simplifiés pour la maçonnerie (analyse des bielles)