



CEOS.fr

RESULTATS DE L'EXPERIMENTATION SUR VOILES

Philippe Bisch – EGIS INDUSTRIES



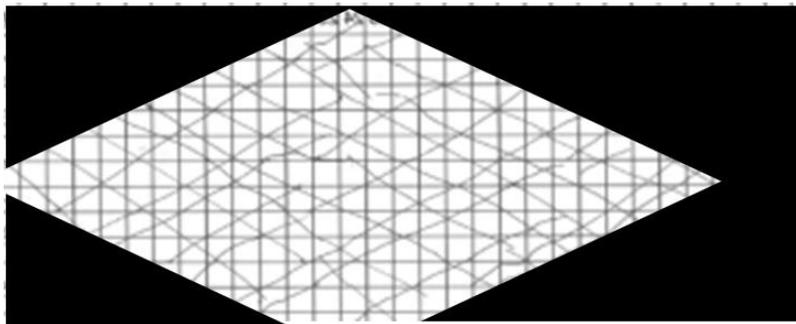
Ministère
de l'Écologie,
du Développement
durable
et de l'Énergie

18/11/2015

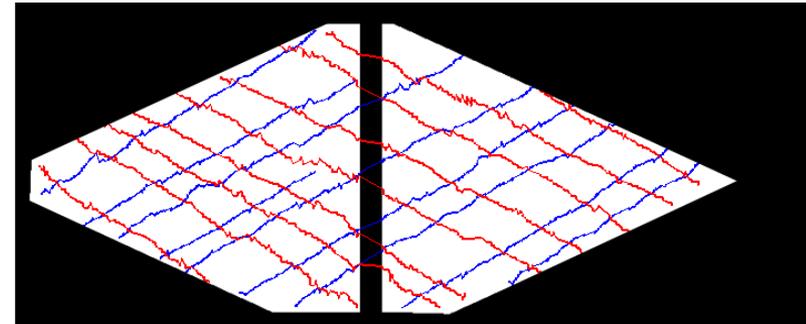




Relevé manuel des fissures

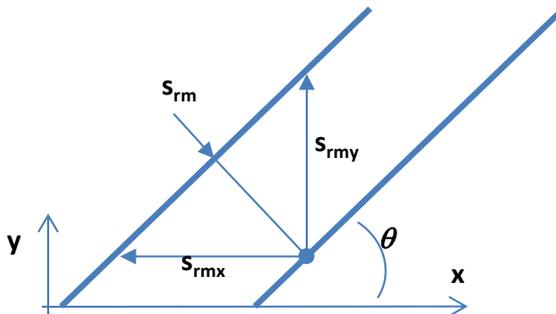


Corrélation d'images (DIC)



ESPACEMENTS MOYENS OBTENUS PAR LA DIC

| Test n° | Maquette | Angle [°] | | E spacement moyen [mm] | | | | | |
|---------|-------------------------------|----------------|----------------|------------------------|----------|----------|----------------|----------|----------|
| | | Force à gauche | Force à droite | Force à gauche | | | Force à droite | | |
| | | | | s_r | s_{rx} | s_{ry} | s_r | s_{rx} | s_{ry} |
| 1 | Béton C25 HA10 @ 100×100mm | 29,5 | 33,2 | 88,4 | 180 | 102 | 72,6 | 155 | 87 |
| 2 | Béton C40 HA10 @ 100×100mm | 30,1 | 29,6 | 98,6 | 197 | 114 | 98,5 | 199 | 113 |
| 3 | Béton C40 HA10 @ 100×100mm | 28,4 | - | 98,0 | 206 | 111 | - | - | - |
| 4 | Béton C40 HA8 @ 80×80mm | 29,8 | 30,5 | 121,2 | 244 | 140 | 118,5 | 239 | 138 |

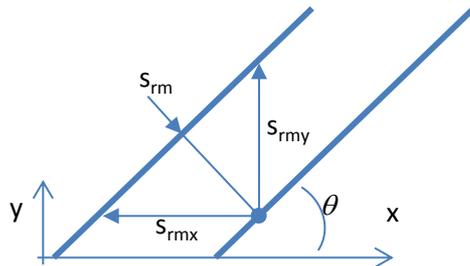


Valeur moyenne = 80,5 mm
Plus de variabilité

Valeur moyenne = 98,4 mm

⇒ INFLUENCE DE f_{ct} : $\Delta = 22\%$
Pas pris en compte dans les formules

| Test n° | Maquette | Angle [°] | | Espacement moyen [mm] | | | | | |
|---------|-------------------------------|----------------|----------------|-----------------------|----------|----------|----------------|----------|----------|
| | | Force à gauche | Force à droite | Force à gauche | | | Force à droite | | |
| | | | | s_r | s_{rx} | s_{ry} | s_r | s_{rx} | s_{ry} |
| 1 | Béton C25 HA10 @ 100×100mm | 29,5 | 33,2 | 88,4 | 180 | 102 | 72,6 | 133 | 87 |
| 2 | Béton C40 HA10 @ 100×100mm | 30,1 | 29,6 | 98,6 | 197 | 114 | 98,5 | 199 | 113 |
| 3 | Béton C40 HA10 @ 100×100mm | 28,4 | - | 98,0 | 206 | 111 | - | - | - |
| 4 | Béton C40 HA8 @ 80×80mm | 29,8 | 30,5 | 121,2 | 244 | 140 | 118,5 | 239 | 138 |



Valeur moyenne = 119,9 mm

Valeur moyenne = 98,4 mm

⇒ INFLUENCE DU POURCENTAGE D'ARMATURES : $\Delta = 22\%$

MC10 :

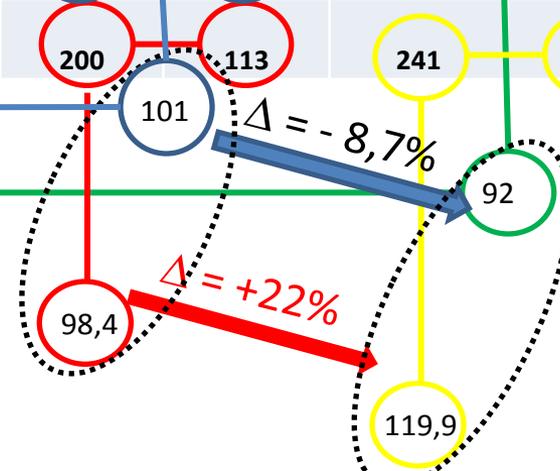
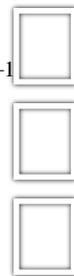
$$l_{s,max} = k \cdot c + \frac{1}{4} \cdot \frac{f_{ctm}}{\tau_{bms}} \cdot \frac{\phi_s}{\rho_{s,ef}}$$

Pour les murs épais : $h_{eff} = 2,5(c + \phi/2)$

| Murs C40 | Hypothèse a) : c moyen | | Hypothèse b) : c par nappe d'armatures | | | |
|--------------------------------|------------------------|----------|--|------|----------|------|
| | φ 10 @ 100 | φ 8 @ 80 | φ 10 @ 100 | | φ 8 @ 80 | |
| | | | H | V | H | V |
| c mm | 15 | 14 | 10 | 20 | 10 | 18 |
| $h_{eff} = 2,5(c + \phi/2)$ mm | 50 | 45 | 37,5 | 62,5 | 35 | 55 |
| ρ_{eff} % | 1,57 | 1,40 | 2,09 | 1,26 | 1,80 | 1,14 |
| ϕ/ρ_{eff} mm | 637 | 573 | 477 | 796 | 446 | 700 |
| $\phi/7,2 \rho_{eff}$ mm | 88 | 80 | 66 | 110 | 62 | 97 |
| s_r (x or y) mm | 206 | 188 | 152 | 261 | 144 | 238 |
| Valeurs moyennes (/1,5) | 137 | 125 | 101 | 174 | 96 | 153 |
| Résultats expérimentaux moyens | | | | | | |
| | | | 200 | 113 | 241 | 139 |

$$s_{rm} = \left(\frac{\sin \theta}{s_{rmx}} + \frac{\cos \theta}{s_{rmy}} \right)^{-1}$$

$\theta = 30^\circ$



⇒ POUR LES MURS EPAIS, LA VALEUR DE L'ÉPAISSEUR EFFECTIVE DONNÉE PAR LES NORMES N'EST PAS APPROPRIÉE

MC10 :

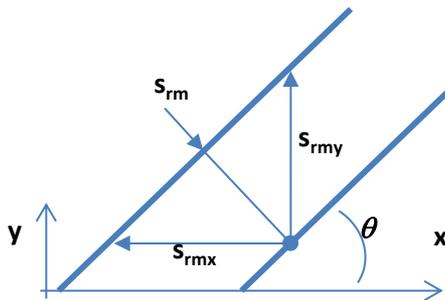
$$l_{s,max} = k \cdot c + \frac{1}{4} \cdot \frac{f_{ctm}}{\tau_{bms}} \cdot \frac{\phi_s}{\rho_{s,ef}} \quad \text{avec : } h_{eff} = h/2$$

| Hypothèse a) : c moyen | φ 10 @ 100 | φ 8 @ 80 |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------|
| $h_{eff} = h/2$ mm | 75 | 75 |
| ρ_{eff} % | 1,05 | 0,838 |
| ϕ/ρ_{eff} mm | 955 | 955 |
| $\phi/7,2 \rho_{eff}$ mm | 133 | 133 |
| s_r (x or y) mm | 295 | 293 |
| Valeur moyenne (/1,5) | 196 $\Delta \approx 0\%$ | 195 |
| S_{rm} | 144 | 143 |
| Résultats expérimentaux moyens | 98,4 | 119,9 $\Delta = +22\%$ |

⇒ POUR LES VOILES EPAIS, PRENDRE L'ÉPAISSEUR TOTALE POUR ÉPAISSEUR EFFICACE N'APPORTE PAS LA SOLUTION

⇒ PRENDRE LA DISTRIBUTION 3D DES CONTRAINTES POURRAIT AMÉLIORER LA SOLUTION

| Test n° | Maquette | Angle [°] | E spacement moyen [mm] | | | | | | |
|---------|----------------------------------|----------------|------------------------|----------|-------|----------------------|----------|---------|-------|
| | | Valeur moyenne | EXPERIMENTALE | | | THEORIQUE (MC10)/1,5 | | | |
| | | | s_{rx} | s_{ry} | s_r | s_{rx} | s_{ry} | C moyen | s_r |
| 1 | Béton C25 HA10 @ 100×100mm | 31 | 156 | 95 | 80 | 101 | 174 | 137 | 101 |
| 2 | Béton C40 HA10 @ 100×100mm | 30 | 198 | 114 | 99 | 101 | 174 | 137 | 101 |
| 3 | Béton C40 HA10 @ 100×100mm | 28 | 206 | 111 | 98 | 101 | 174 | 137 | 101 |
| 4 | Béton C40 HA8 @ 80×80mm | 30 | 238 | 139 | 120 | 96 | 153 | 125 | 92 |



⇒ **VALEUR ERRONEE DE L'EPaisseur EFFECTIVE**

⇒ **DOUTES SUR L'APPLICATION DE L'HYPOTHESE DE VECCHIO & COLLINS MEME AVEC 30°**

$$s_{rm} = \left(\frac{\sin \theta}{s_{rmx}} + \frac{\cos \theta}{s_{rmy}} \right)^{-1}$$

| Test n° | Maquette | Angle moyen | E spacement moyen expérimental [mm] | | | EC2/1,5 | MC10/1,5 |
|---------|-------------------------------|-------------|-------------------------------------|----------------|---------|---------|----------|
| | | | Force à gauche | Force à droite | Moyenne | | |
| 1 | Béton C25 HA10 @ 100×100mm | 31,4 | 88 | 73 | 80 | 134 | 100 |
| 2 | Béton C40 HA10 @ 100×100mm | 29,9 | 99 | 99 | 99 | 136 | 101 |
| 3 | Béton C40 HA10 @ 100×100mm | 28,4 | 98 | - | 98 | 138 | 103 |
| 4 | Béton C40 HA8 @ 80×80mm | 30,1 | 121 | 118 | 120 | 135 | 101 |

$$s_{rm} = \left(\frac{\sin \theta}{s_{rmx}} + \frac{\cos \theta}{s_{rmy}} \right)^{-1}$$

⇒ GLOBALEMENT, LE RESULTAT EST MEILLEUR AVEC LE MC10

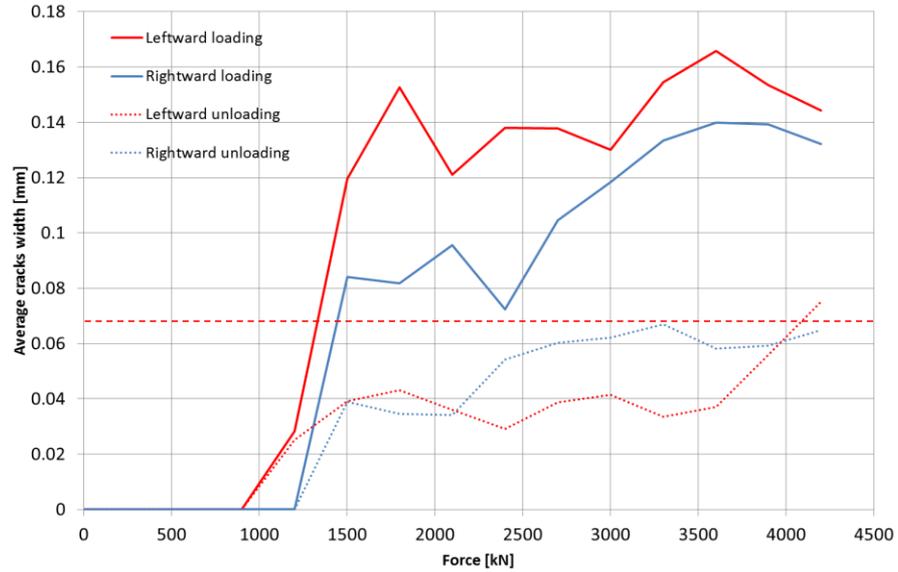
| | Voile n°1 C25 | Voile n°2 C40 | Voile n°3 C40 | Voile n°4 C40 |
|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| f_{ctm} (conception) MPa | 2,6 | 3,5 | 3,5 | 3,5 |
| Force (conception) kN | 1 090 | 1 470 | 1 470 | 1 470 |
| f_{ctm} (mesurée) Mpa | 2,0 | 3,3 | 3,5 | 2,5 |
| Force (corrigée) kN | 840 | 1 390 | 1 470 | 1 050 |
| Force (observée) kN | 1 200 | 900 | 900 | 600 |

Exception

Fissuration prématurée

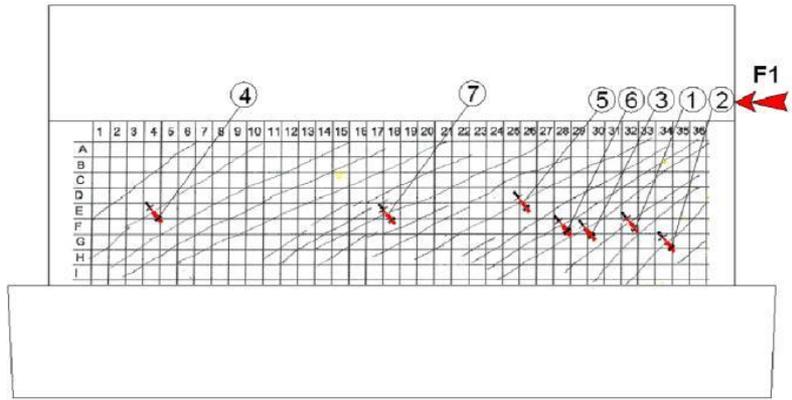
Causes pour la fissuration prématurée :

- Effet structural
- Distribution de la déformation dans l'épaisseur (effet 3D)
- Retrait gêné par les armatures
- Effet d'échelle

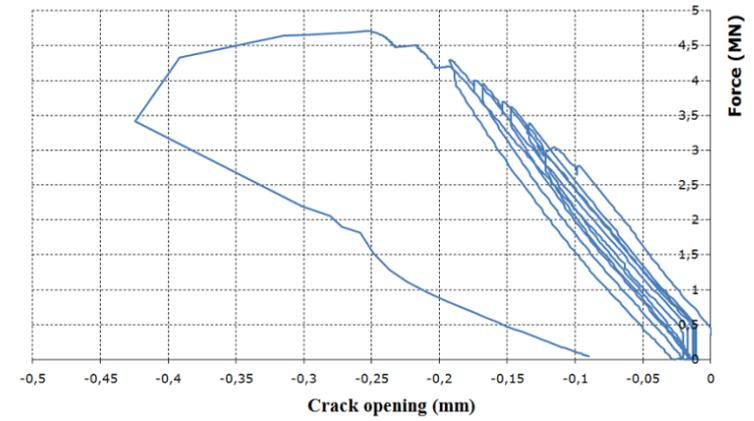


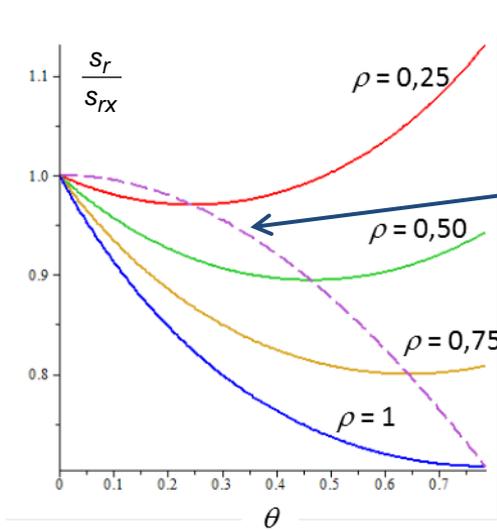
← Voile n°2

↓ Voile n°3



Crack opening measured by D7



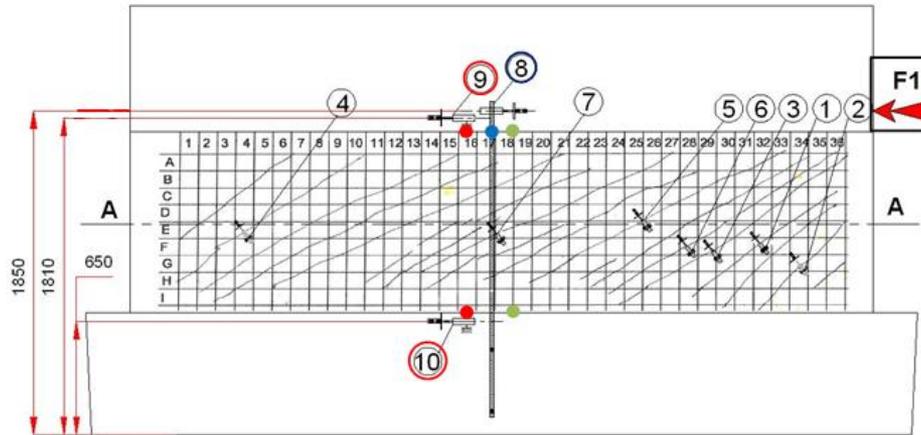


$$\rho = \frac{s_{rx}}{s_{ry}}$$

OPTIMUM : $\rho = \tan \theta$

(basé sur $s_{rm} = \left(\frac{\sin \theta}{s_{rmx}} + \frac{\cos \theta}{s_{rmy}} \right)^{-1}$)

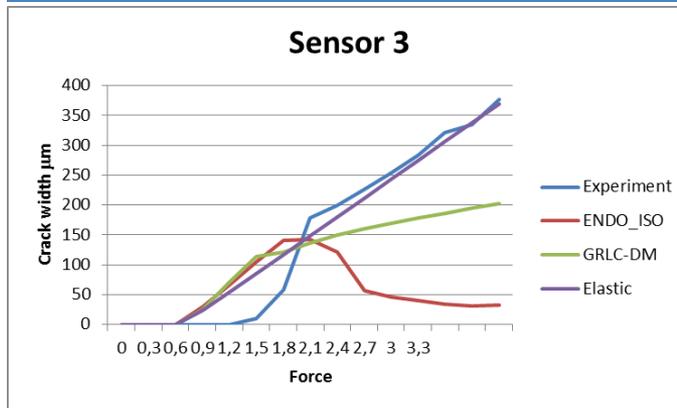
⇒ SI LES NAPPES D'ARMATURES SONT ADÉQUATEMENT CONÇUES RELATIVEMENT À θ , UNE ERREUR D'ÉVALUATION DE L'ANGLE N'AFFECTE PAS SIGNIFICATIVEMENT L'ÉVALUATION DE L'ESPACEMENT ENTRE FISSURES, DONC LEUR OUVERTURE.



TROIS TYPES DE CALCUL STRUCTUREL SONT TESTÉS :

- **Elastique (linéaire)**
- **Approche globale non linéaire (GLRC_DM)**
- **Approche semi-globale multicouche (non linéaire) (ENDO-ISO)**

TESTES AVEC LA MEME FORMULE (basée sur le MC10)



- L'HYPOTHESE DE VECCHIO & COLLINS POSE QUESTION, AU MOINS POUR LES ANGLES INTERMEDIAIRES
- LA RESISTANCE DU BETON A LA TRACTION A UNE INFLUENCE SUR L'ESPACEMENT DES FISSURES
- LA DEFINITION DE LA SECTION EFFICACE DU MC10 ET DE L'EC2 N'EST PAS APPROPRIEE
- UNE FISSURATION "PREMATUREE" EST OBSERVEE (due à différents effets)
- LA FORMULE DU MC10 POUR L'ESPACEMENT DE FISSURES DONNE DE MEILLEURS RESULTATS QUE CELLE DE L'EC2
- LA QUALITE DES RESULTATS CONCERNANT L'OUVERTURE DE FISSURE DEPEND BEAUCOUP DU MODELE DE STRUCTURE UTILISE

**MERCI POUR VOTRE
ATTENTION**

