



Polymères pour la réparation

Réalisé par Mariem LIMAIEM
Présenté par M.Georges WARDEH
Encadré par Mme Elhem GHORBEL
Et M. Oualid LIMAM

ORGAGEC 19-20 Novembre 2015

1. Contexte
2. Matériaux utilisés
3. Campagne expérimentale
4. Résultats et interprétations
5. Conclusions et perspectives



Corrosion des armatures et
altération du béton
d'enrobage

<http://theses.ulaval.ca/archimede/fichiers/26061/ch07.htm>



Altération par gel dégel

<http://www.gramme.be/unite9/pmwikiOLD/pmwiki.php?n=BETON0607>

.ChoisirEtCommanderUnB%E9tonCours2



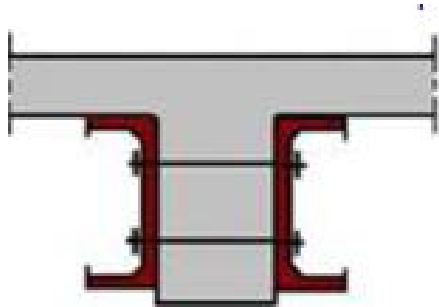
Craquelage de la surface
de béton dû au retrait
du béton

<http://www.guidebeton.com/pathologies-beton>

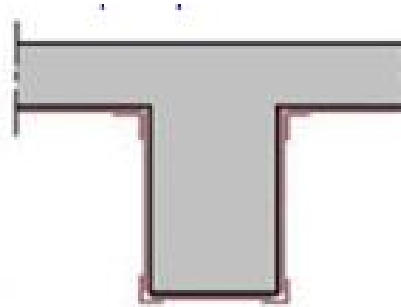


Affecte la durabilité de la structure en diminuant es performances
mécaniques et poser un problème de sécurité

Les solutions de réparation traditionnelles proposées sont



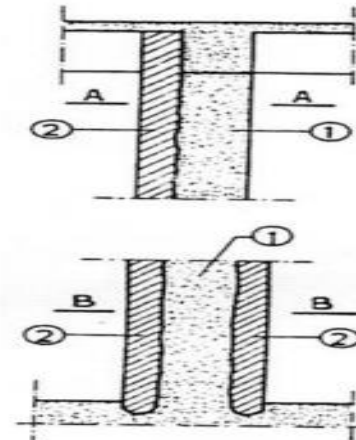
Renforts moisés par profilés
en C ou U



Collage de tôles minces

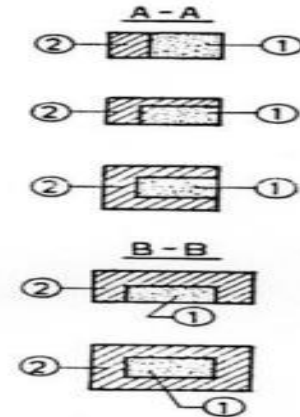
Renforts avec plaques d'aciers

http://www.constructalia.com/francais/rehabiliter_avec_lacier/iii_techniques_de_renforcement_des_poutres#.VktP4dKrTcs

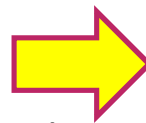


Différentes dispositions pour le chemisage

<http://www.univ-chlef.dz/fgca/images/rehabilitation2.pdf>



-Remplacement de la totalité ou une partie de la structure en tenant compte des défauts de dimensionnement



- Couteuses 24 milliards \$US+ 400 millions de \$US/ aux EU
- Polluantes (transport de lourds matériaux)
- Difficiles et délicates à mettre en œuvre

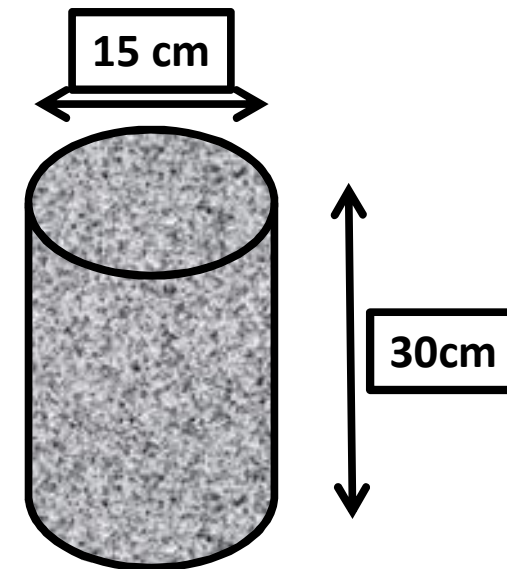
Nous avons opté pour les matériaux composites utilisés dans la réparation

- Résine époxydes renforcée par des fibres de Carbone délivré par SIKA
- Mortier modifié au Latex

| Contexte | Matériaux utilisés | Campagne expérimentale | Résultats et interprétations | Conclusions et perspectives |
|----------|--------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|
|----------|--------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|

| Formules sur granulats humides | Eau d'ajout | 172 |
|--------------------------------|--|-----|
| | Ciment Cem III/A-L 42,5 N de Rochefort | 299 |
| | Filler Calcaire Betocarb HP OG | 58 |
| | Sable Sandrancourt | 781 |
| | Sable recyclé 0/4 | 0 |
| | Gravillon Givet 4/10 | 265 |
| | Gravillon recycle 4/10 | 0 |
| | Gravillon Givet 6,3/20 | 812 |
| | Gravillon recycle 10/20 | 0 |
| | Superplastifiant MC PowerFlow 3140 | 2,1 |
| | Retardateur Centrament Retard 370 | 0 |
| | Eau efficace (kg/m ³) | 175 |

Formulation du béton C35-0R-0R
Dans le cadre du PN



Les dimensions des éprouvettes

| Contexte | Matériaux utilisés | Campagne expérimentale | Résultats et interprétations | Conclusions et perspectives |
|----------|--------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|
|----------|--------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|

☀ **PRFC** : Un composite unidirectionnel mono couche formé par de l'Époxyde renforcée par des fibres de carbone . L'épaisseur du tissu est 1.3 mm.

- ✓ Résine époxydique SIKADUR330 de densité 1.3 de couleur gris clair
- ✓ Tissu de fibre de carbone de Densité 1.7g/cm³ de couleur noir



Résine

Résine malaxée

Tissu de fibres de carbone

☀ **Mortier modifié au Latex**

| Composition chimique | Vinyl Acetat Copolymère en poudre |
|----------------------|-----------------------------------|
| Tg °C | 16 |
| TFFM °C | 6 |
| applications | Adhesive, mastic, réparation, |
| Forme | Poudre blanche |

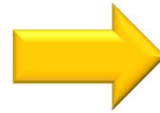
Latex coalescent et torment un film autour des particules du ciment.



Poudre de latex émulsifiée



**Application
de la résine**



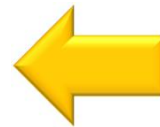
**Nombre
d'éprouvettes
réalisées 3**



**Lissage de
la surface**



**Pose
du tissu**



**Les fibres sont
orientées
perpendiculairement
au chargement de
compression**



Mortier Modifié au Latex

Pour déterminer le dosage optimal

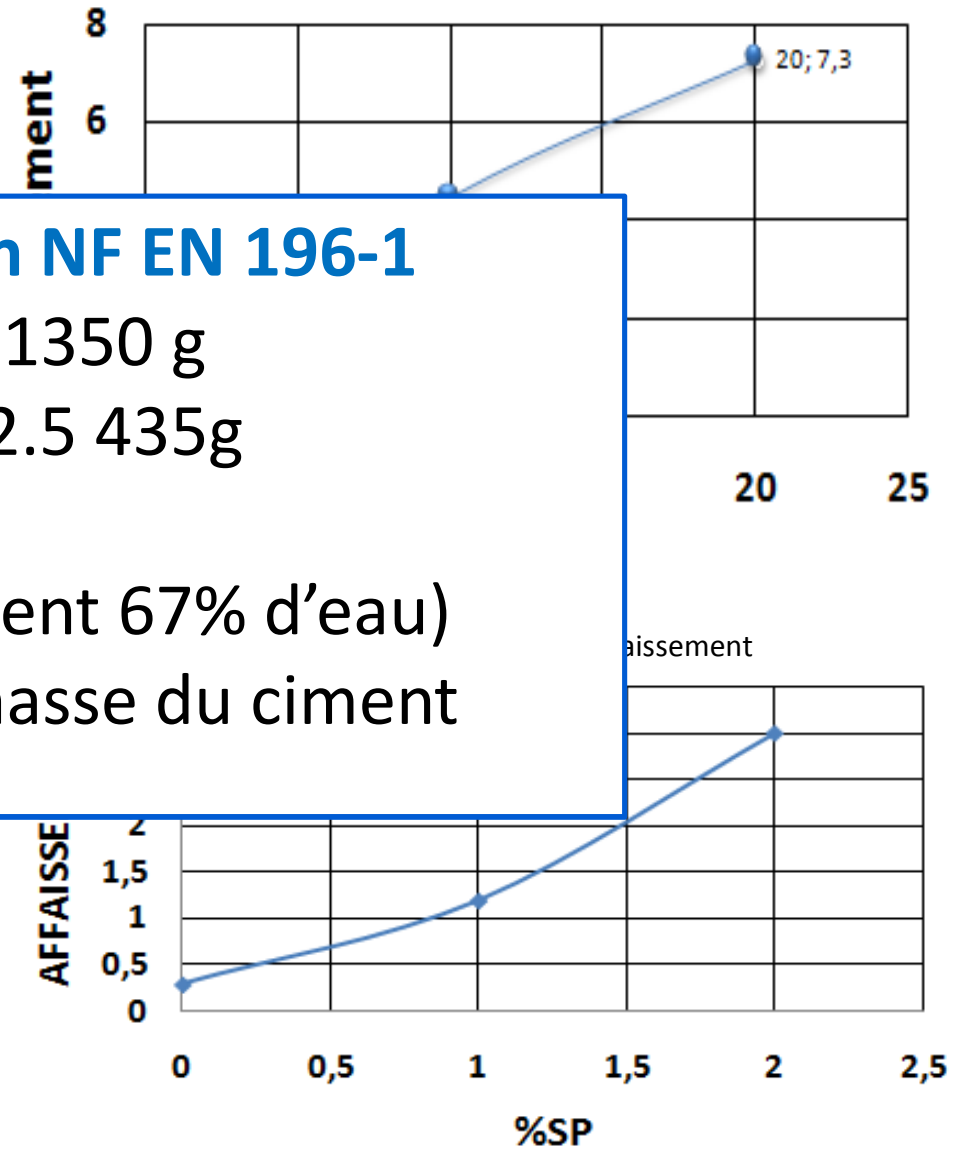
(coefficient de contraction α)

l'a

La formulation optée selon NF EN 196-1

- Sable ($\phi < 2$ mm) 1350 g
- Ciment CEM II 52.5 435g
- E/C=0.5
- SP=1.5% (il contient 67% d'eau)
- Latex 5% de la masse du ciment

Nous avons réalisé **10 gâchées.**



Le MML a été utilisé pour la réparation d'éprouvettes endommagées à 35% et à 70%

La surface du béton endommagé

- à 35% est parfaitement lisse et aucune fissure n'est apparue
- à 70 % est partiellement rugueuse, apparition des macro fissures



Eprouvette endommagée à 35% confinée par MML



Eprouvette endommagée à 70.4% confinée par MML

Endommager des éprouvettes cylindriques avec des chargements monotones et cycles de charge/décharge en compression axiale

- Des essais de compression monotone (x3)
- Des essais de compression cyclique charge/décharge (x3) pour **suivre l'évolution de l'endommagement**

- Des essais de compression cyclique à déformation imposée à D35% et 70%

- Réparation avec PRFC (35%) et MML (35% et 70%)

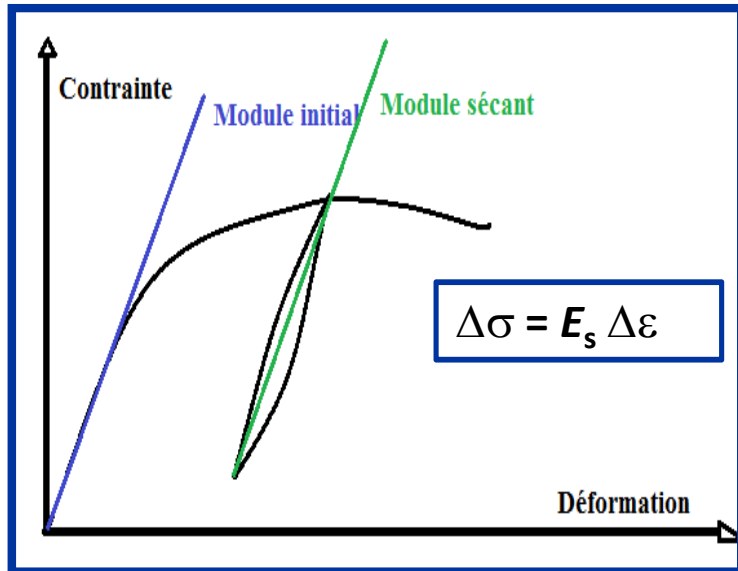
- Presse de compression INSTRON 3000 KN
- Vitesse de chargement 0.5 MPa/s
- Capteurs de déformation : couronne



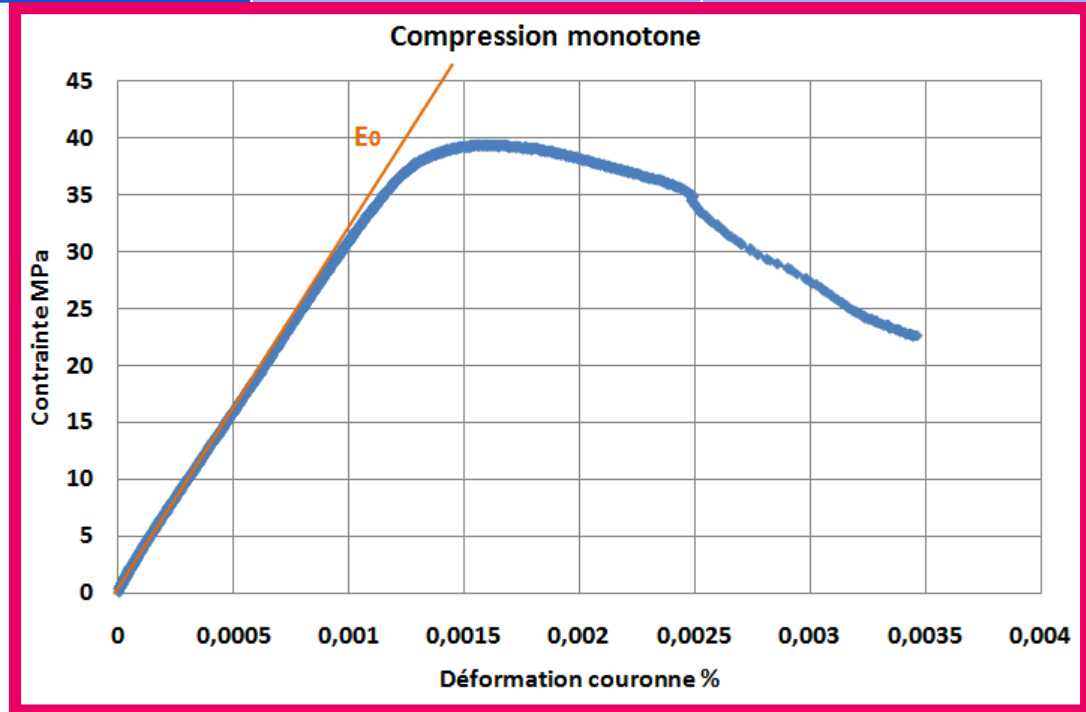
Presse de compression INSTRON



Couronne



Module initial et module sécant



Le module sécant diminue au cours de l'endommagement de cycle en cycle.

$$D = 1 - \frac{E_i}{E_0}$$

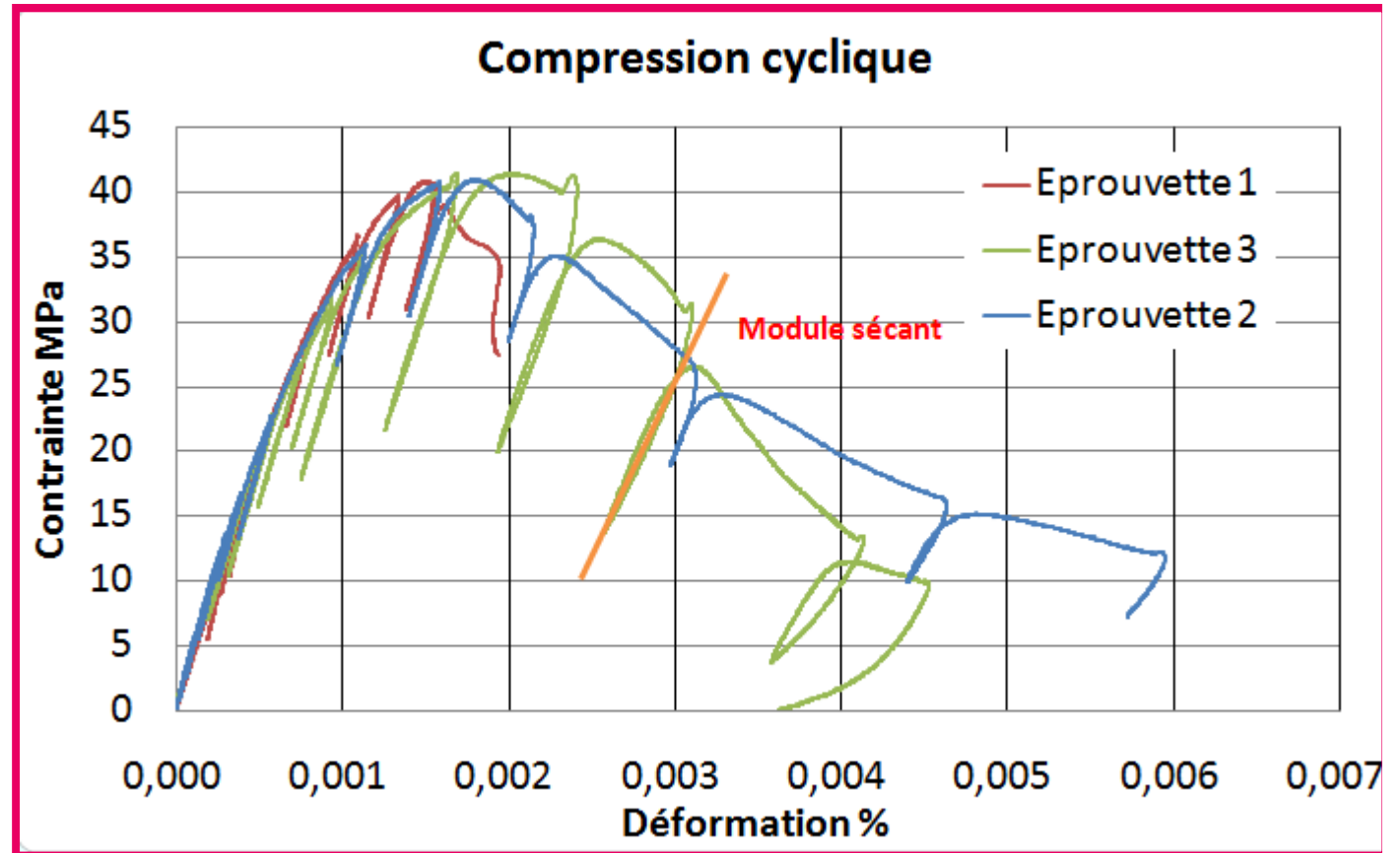
tels que E0 est le module d'élasticité initiale
Et Ei est le module du ième cycle

Compression monotone sur C35-0R-0R



E0 = 32.5 GPa
fc28 = 40 Mpa
εc1 = 0.0015 %

La compression cyclique a permis de suivre l'évolution de l'endommagement sur un béton C35-OR-OR



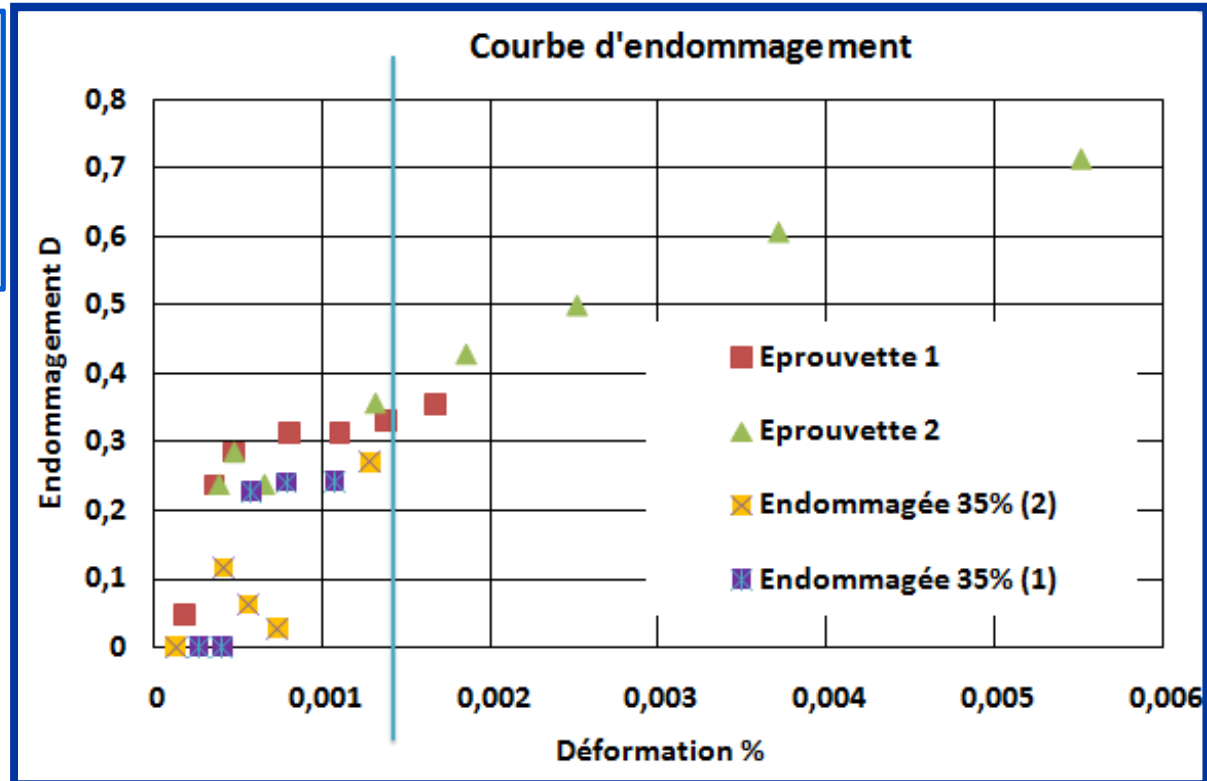
Compression cyclique sur trois éprouvettes

Par Mariem LIMAIEM et MINH DUC

Le module de rigidité
a diminué de 32.5 GPa
15 GPa pour $D=66.66\%$
Et $D=100\%$

Le module sécant diminue
au fur et à mesure que
l'endommagement
évolue

$$D = 1 - \frac{E_i}{E_0}$$



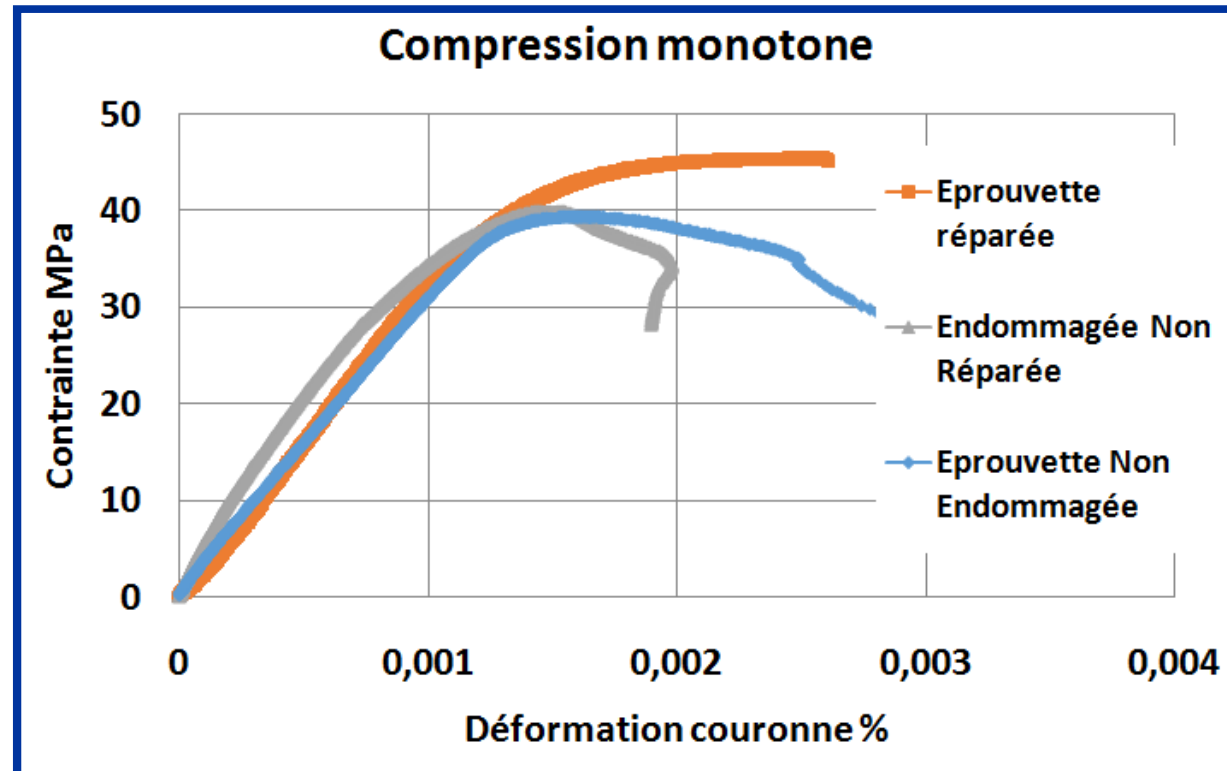
Taux d'endommagement en fonction de la déformation

A partir de cette courbe nous avons réalisé des essais à déformation imposée à un taux d'endommagement de

- D1=35 % ➡ Def1=0.0015 qui seront réparées par confinement avec PRFC et MML
- D2=70% ➡ Def2=0.0045 qui seront réparées par confinement avec MML



Eprouvette réparée par PRFC



Comparaison du comportement d'une éprouvette réparée à une éprouvette non réparée

- Le module d'élasticité initial a augmenté de 5%
- La résistance à la compression a augmenté de 12.5%
- Nette amélioration de la ductilité

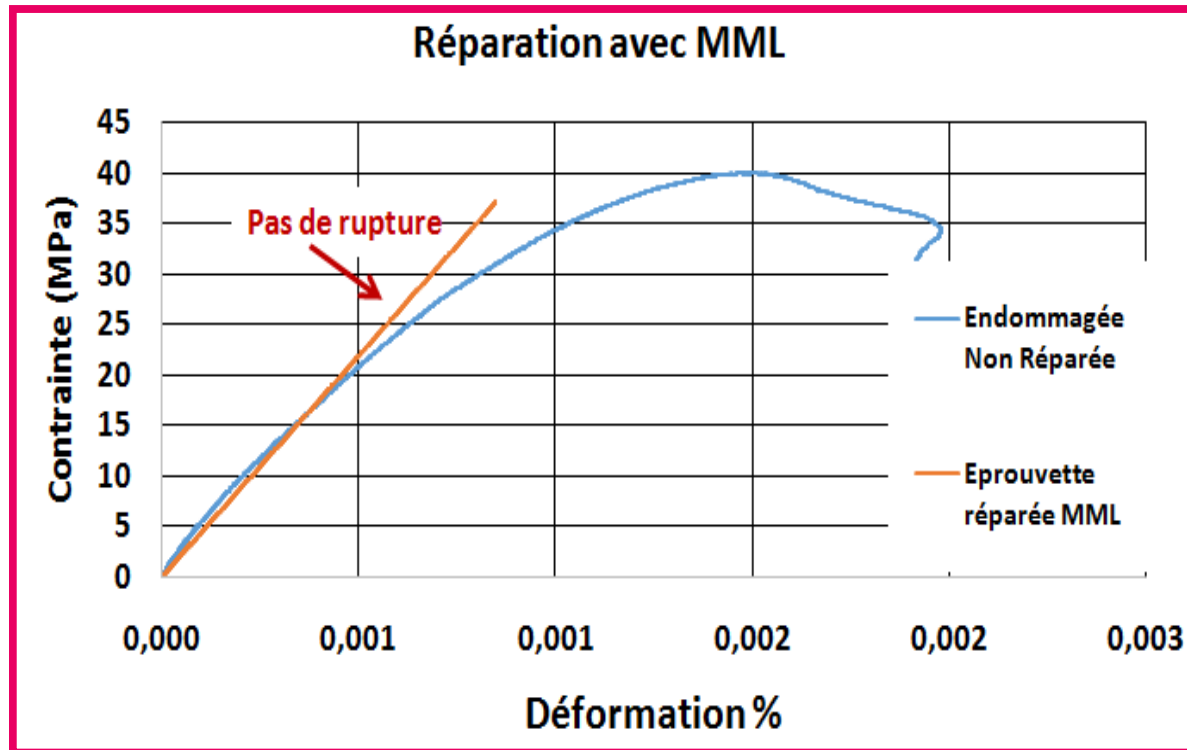


Eclatement
du tissu



Séparation de la partie
extérieure

- Séparation du tissu au niveau du chevauchement
- Rupture explosive
- Absorption de la résine
- Décohésion entre résine et béton



Réparation d'une éprouvette D=35% avec MML

Une augmentation du module initial de 17%

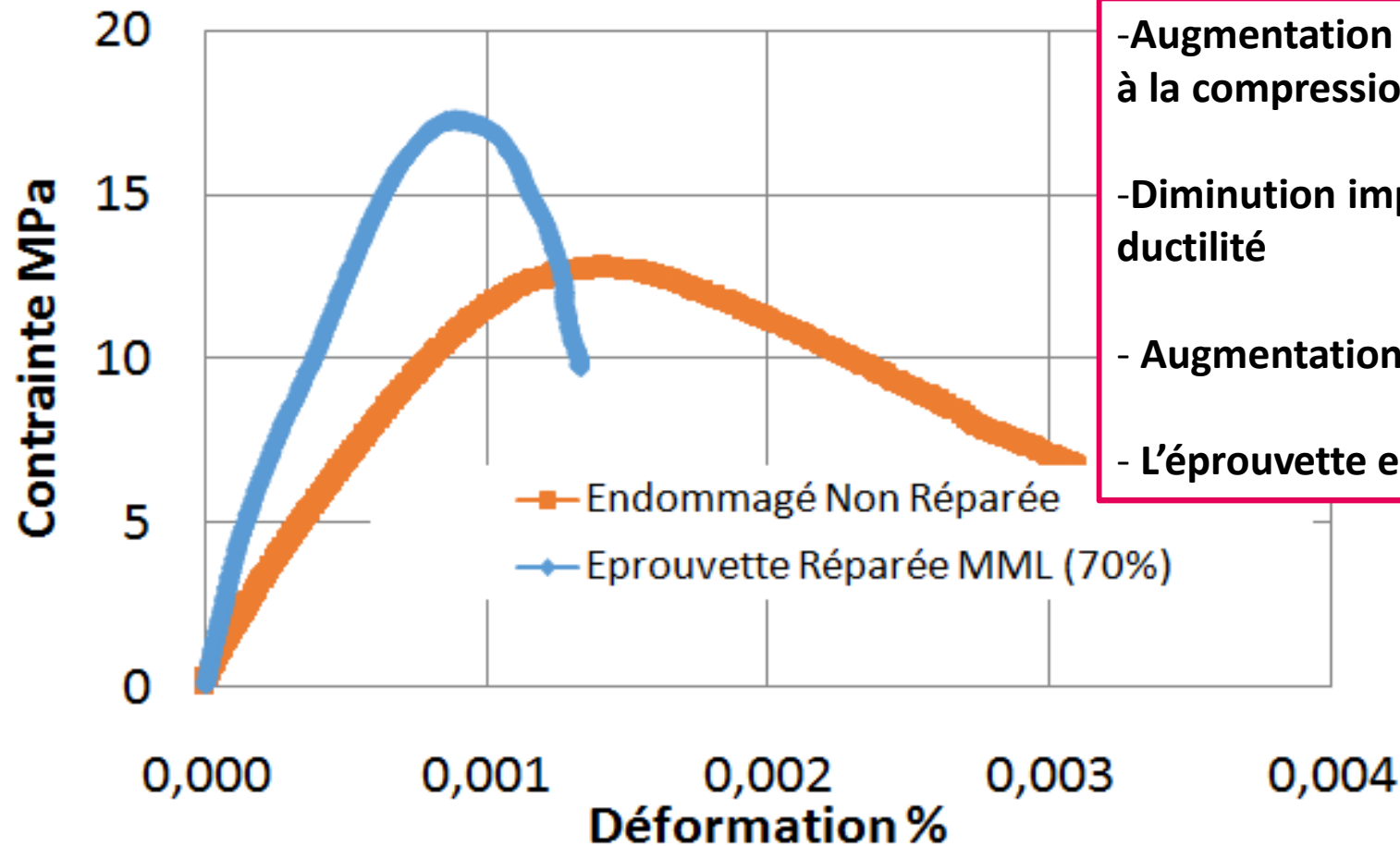
On ne peut pas avoir une information sur la nouvelle résistance à la compression à la rupture.



Séparation de la couche de MML

| Contexte | Matériaux utilisés | Campagne expérimentale | Résultats et interprétations | Conclusions et perspectives |
|----------|--------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|
|----------|--------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|

Réparation avec MML pour D=70%



- Augmentation de la résistance à la compression par 36.22%
- Diminution importante de la ductilité
- Augmentation du Eode 60%
- L'éprouvette est plus fragile

Réparation d'éprouvette endommagée à 70.4%

| | | | | |
|----------|--------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Contexte | Matériaux utilisés | Campagne expérimentale | Résultats et interprétations | Conclusions et perspectives |
|----------|--------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|

Conclusions

- Déterminer l'évolution d'endommagement suivant la déformation pour un béton **C35-OR-OR**
- La réparation avec **une seule couche** de PRFC a permis d'augmenter la résistance à la compression par **12.5%** et d'améliorer la ductilité
- **Le latex** joue le rôle d'un **super plastifiant**
- En **faible taux d'endommagement**, la réparation au MML **ne se manifeste pas** contrairement à des **taux élevés 70%**, la résistance à la compression est augmentée **de 36%**
- La nature de **la surface** de contact du béton joue un rôle dans la performance de la réparation avec le MML : pour une surface rugueuse, le mortier adhère plus

| | | | | |
|----------|--------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Contexte | Matériaux utilisés | Campagne expérimentale | Résultats et interprétations | Conclusions et perspectives |
|----------|--------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|

Perspectives

- Etudier la réparation avec des PRFC en utilisant plusieurs couches et différentes valeurs de chevauchement
- Etudier le comportement des éprouvettes ayant subi des taux d'endommagement plus importants >70%
- Etudier la durabilité des solutions proposées vis-à-vis des cycles gel/dégel, vieillissement et carbonatation

Merci de votre attention