CEOS.fr

Comportement au jeune âge et phénomènes Thermo-Hydro-Mécaniques

Alain SELLIER

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

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

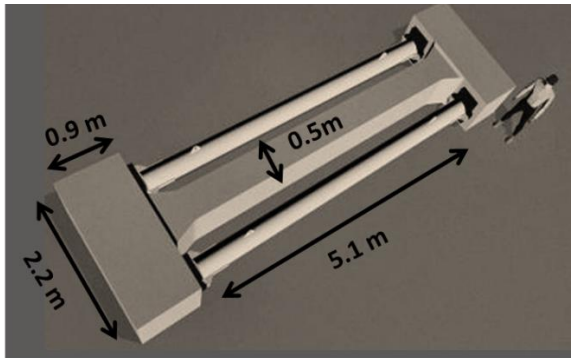
04/06/2015

AFGC

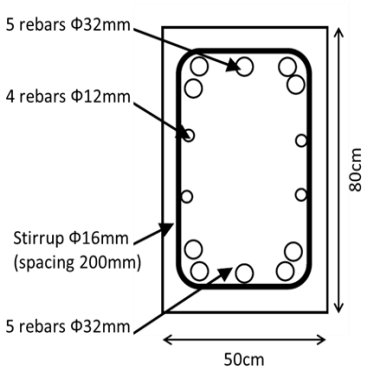
IREX
Institut pour la recherche appliquée et l'expérimentation en génie civil

Objectif des essais en retrait gêné

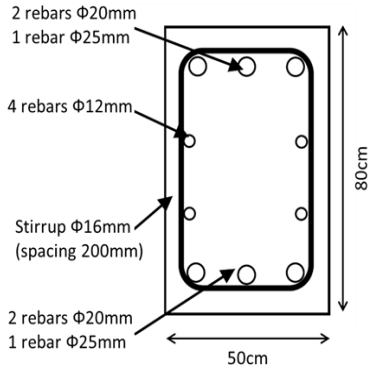
- **Analyser finement le comportement THM au jeune âge d'une structure type** (RG8)
- Analyser **l'effet du pourcentage d'armature** sur le processus de fissuration par retrait géné (comparaison RG8/RG9)
- Analyser **l'effet de l'enrobage** des armatures sur le processus de fissuration par retrait géné (comparaison RG8/RG10)



	RG8	RG9	RG10
%of longitudinal reinforcement	2%	0.56%	2%
cover	30 mm (50 mm for longitudinal rebars)	30 mm (50 mm for longitudinal rebars)	50 mm (70 mm for longitudinal rebars)



RG8 et RG10



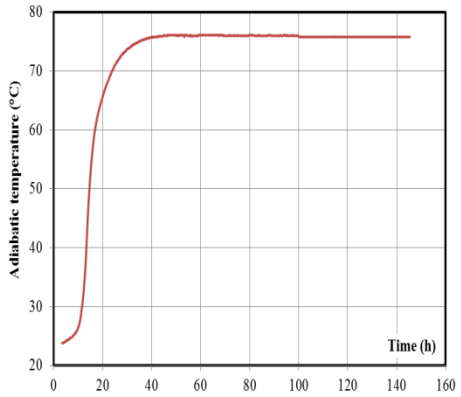
RG9

Caractérisation au jeune âge

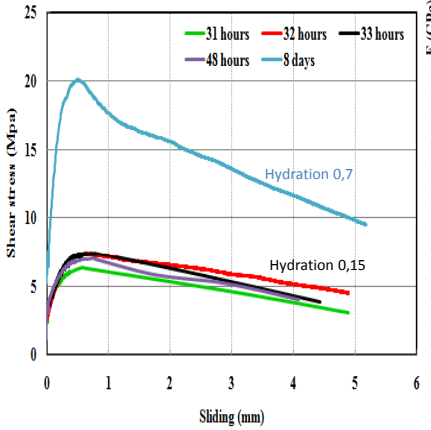
- Mesure chaleur et cinétique d'hydratation
- Evolution des propriétés mécaniques au jeune âge

	Content (kg/m3)
CEMI 52,5N CE CP2 NF Couvrot	400
Sand 0/4 GSM LGP	785
Gravel 4/20 GSM LGP	980
Superplasticiser Cimfluid Adagio 4019	5,4
Total water	185

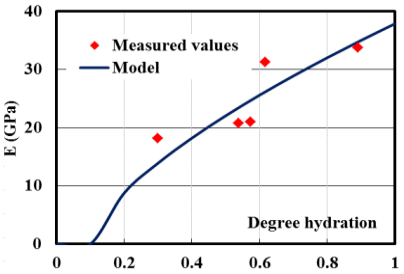
	E	Rc	Rt	Gf
X_{ref} (28d)	35 GPa	62 MPa	4.6 MPa	140 J/m²
n	0.667	1	0.667	0.5
α_0	0.1			
α_{ref} (28d)	0.9			

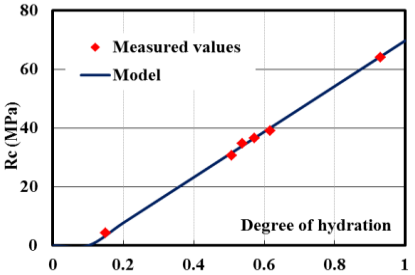


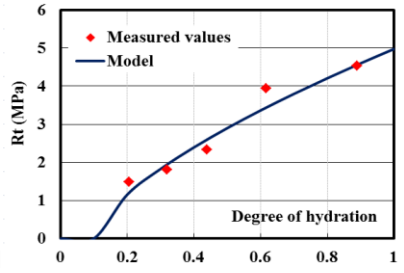
Mesure de la chaleur d'hydratation en condition quasi adiabatique

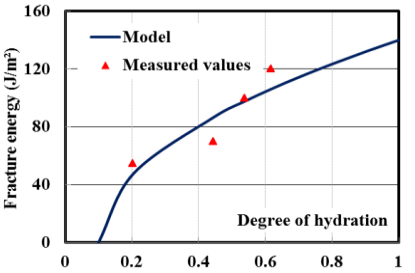


Adhérence acier béton



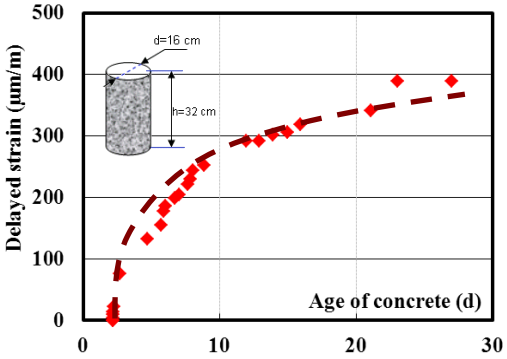




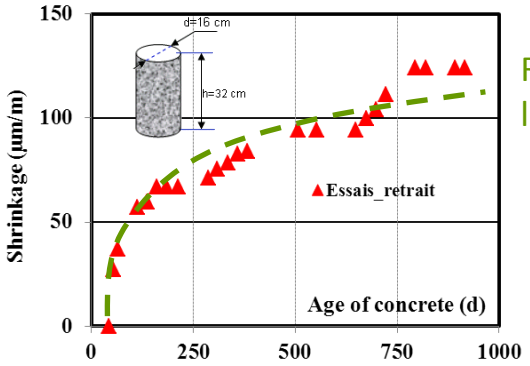


Caractéristiques mécaniques en cours d'hydratation

Fluage et retrait endogènes



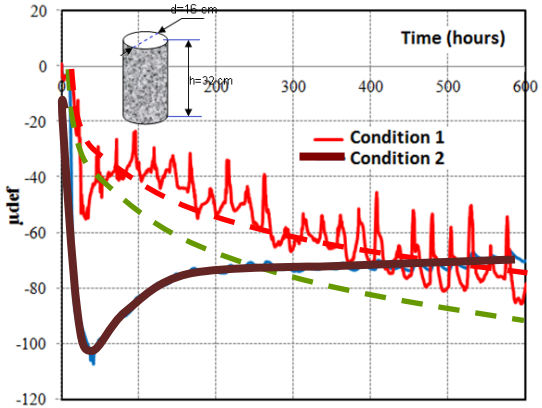
Fluage propre en compression sous 30% de Rc28



Retrait endogène à 20°C

Retrait libre mesuré en laboratoire

- L'exploitation des résultats utilise la déformation libre du QAB pour estimer le retrait au cœur de l'ouvrage

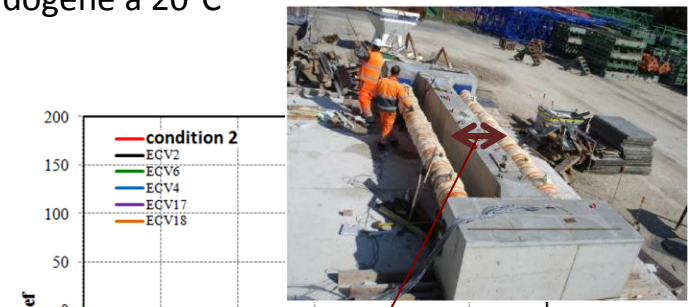


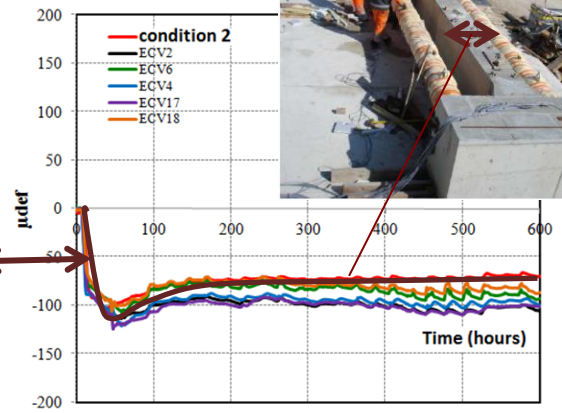
Retrait libre in situ
Retrait libre en condition QAB

Déformation CV dans éprouvette in situ

Déformations CV QAB

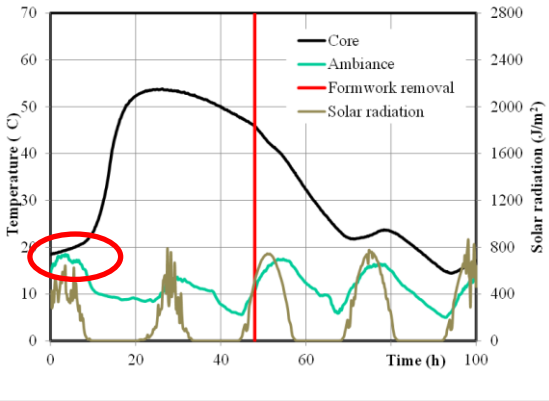
Retrait libre mesuré en laboratoire



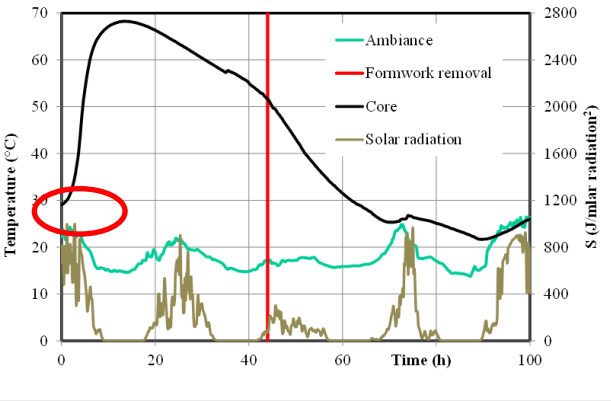


Retrait libre en condition QAB comparé au retrait transversal de RG8

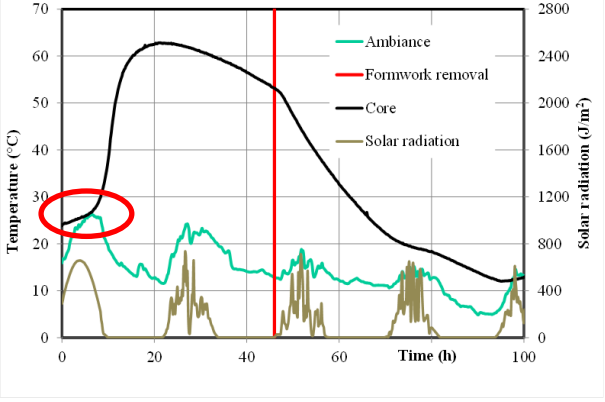
Evolution des températures dans les essais RG



RG8 (avril 2010)



RG9 (juin 2010)

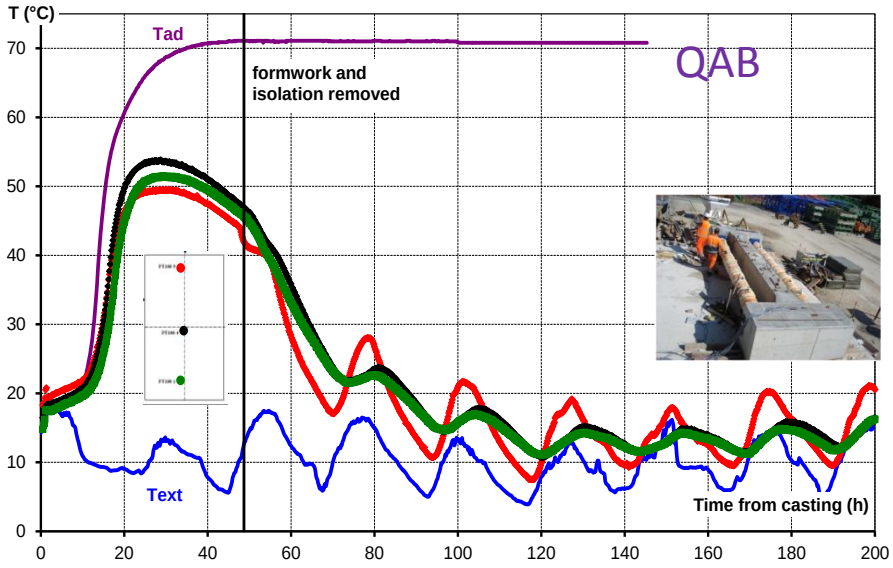


RG10(septembre 2010)

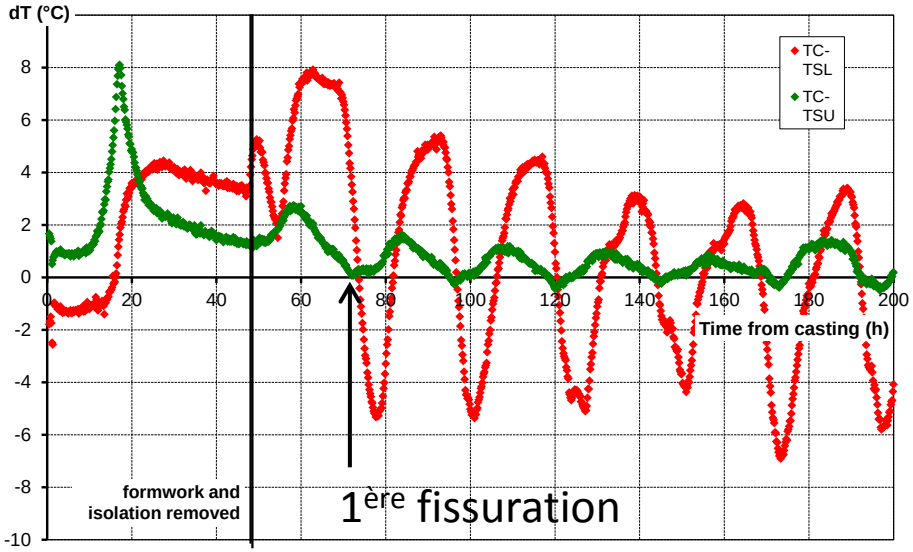
- Températures initiale et extérieures influencent directement la température maximale
- Effet retardateur du superplastifiant atténué avec la température de coulage du béton

- Décoffrage à 48 h, pendant la phase de refroidissement
- Accélération de la vitesse de refroidissement après décoffrage
- Ecart de température maximal à 100 h :
  - RG9 et RG10 48°C (comparables)
  - RG8 40°C

Gradients de températures dans la structure



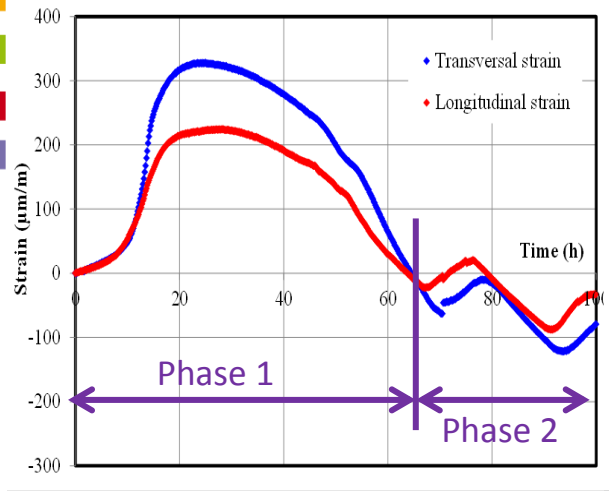
Températures en 3 points de RG8 comparé à la température QAB



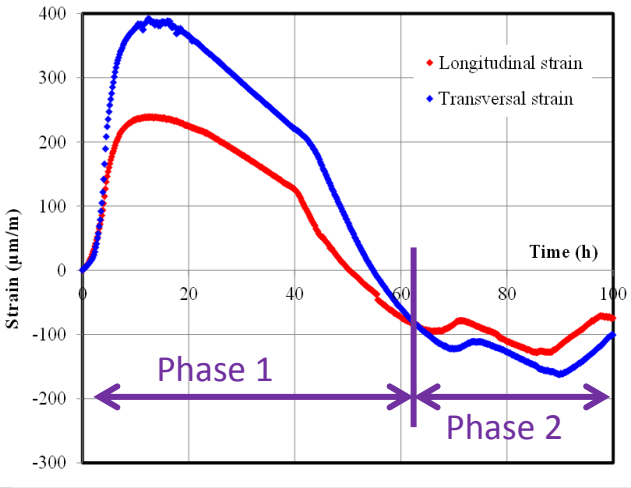
Différence de température face / cœur de RG8

La différence de température entre le cœur et le bord est toujours restée inférieure à 8°C pour RG8

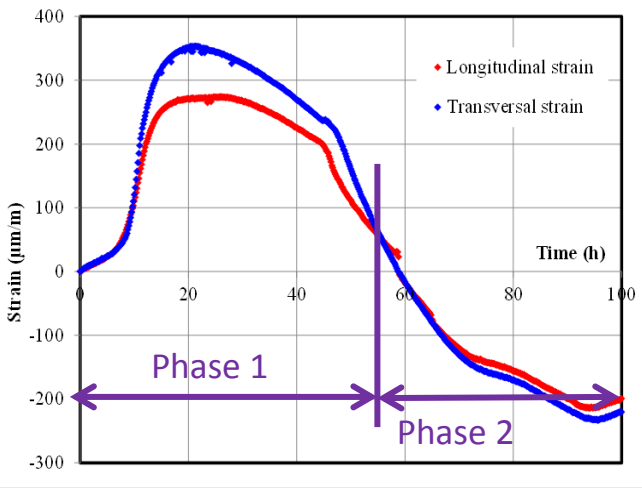
▶ Evolution des déformations au cœur de la structure



RG8 (avril 2010)



RG9 (juin 2010)



RG10(septembre 2010)

- Phase 1 : La dilatation thermique (mesurée par CV) est partiellement gênée dans le sens longitudinal (effets des tirants externes restés froids) : le béton est comprimée
- Le coefficient de dilation thermique est de 400/40K≈10um/K
- Phase 2 : la contraction thermique est gênée dans le sens longitudinal : le béton passe en traction

▶ Détection de la fissuration au cœur de la structure

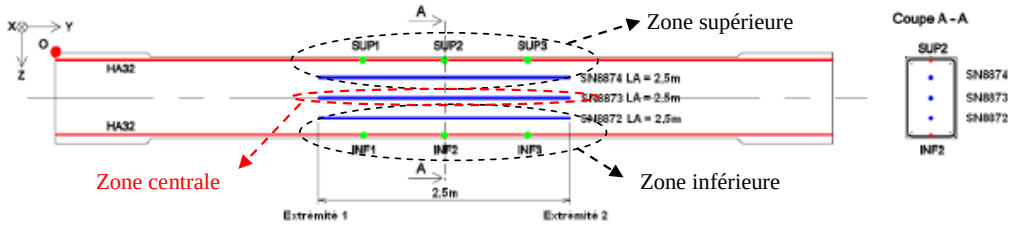
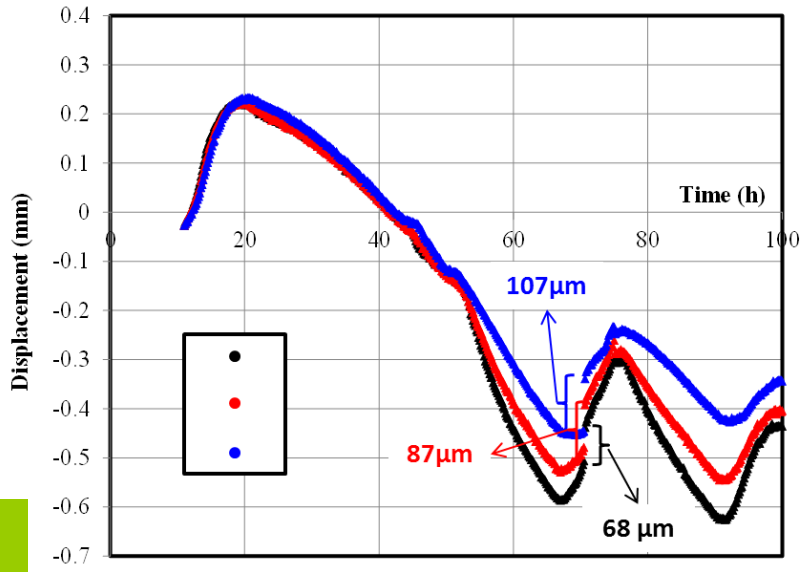


Figure 1 : Répartition des capteurs à fibre optique et des jauges électriques dans les zones d'exploitation

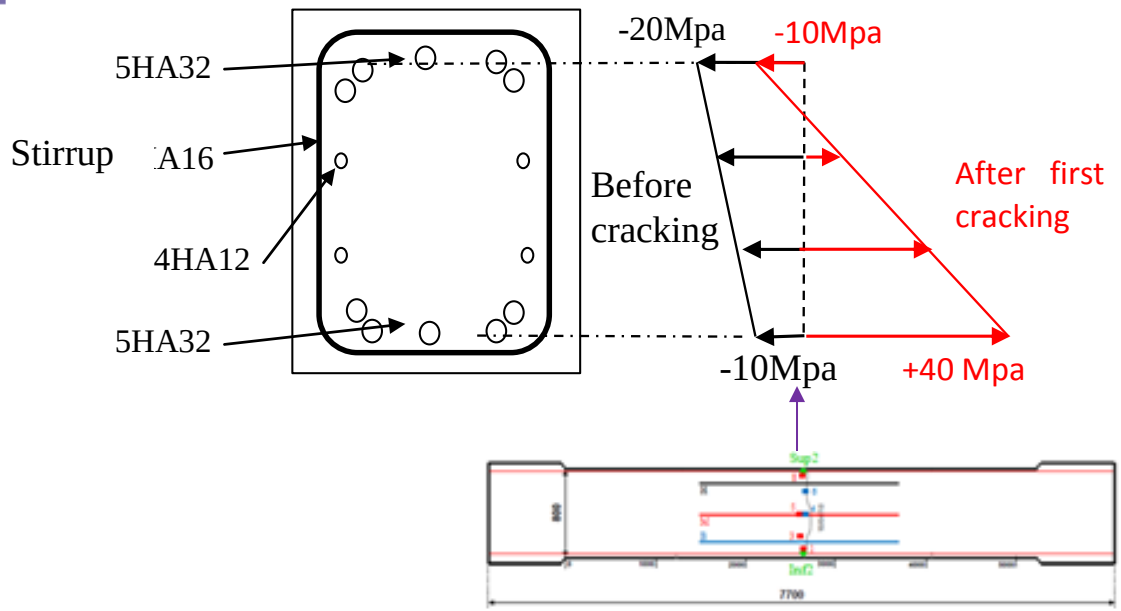
- Les élongations brutales des fibres permettent de détecter les fissures et d'accéder à leur ouverture
- L'ouverture de la 1ere fissure est plus importante en bas (ouverture non constante, en partie en raison du poids propre et des gradients thermiques)



Déplacements relatifs mesurés par fibres optiques (longues de 2,5m)

Estimation des contraintes

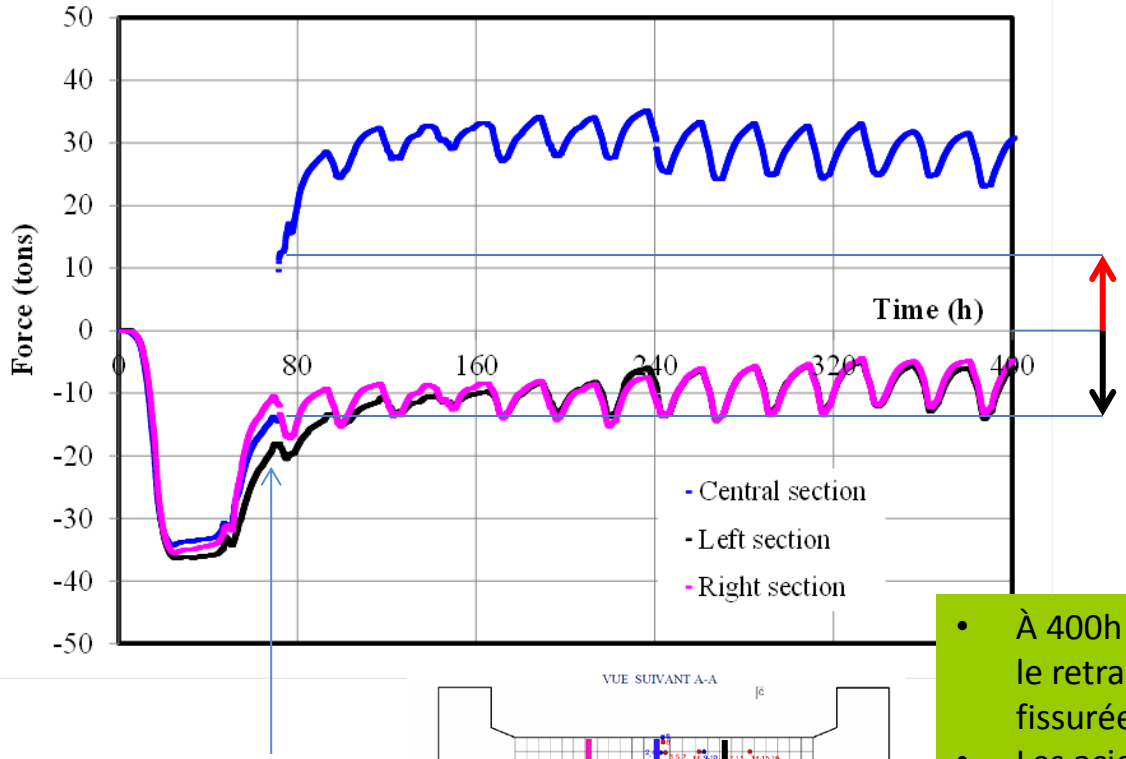
- Contraintes dans les armatures (déduites des jauges collées sur les **aciers**)



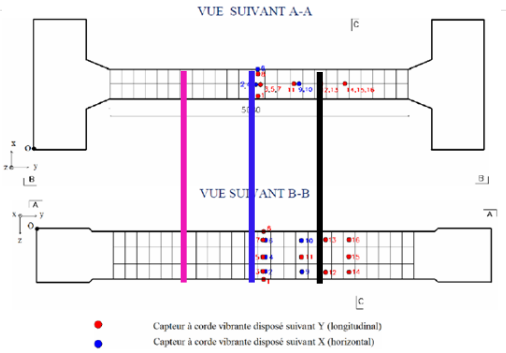
Analyse des contraintes dans les armatures juste **avant** et **après** la 1ère fissuration de RG8 à 72h

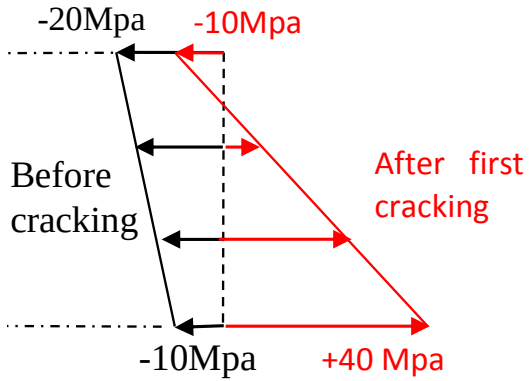
- Juste avant la 1ère fissuration les aciers sont comprimés alors que le béton est en traction. La compression initiale des aciers (-15Mpa en moyenne) est attribuée au retrait endogène du béton gêné par les aciers (l'équilibre avec le béton entraîne une tension de +0,3MPa dans le béton)
- Cette contrainte peut être retrouvée par équilibre statique avec le retrait endogène en déformation imposée au béton
- La tension dans les aciers après fissuration est de +15MPa en moyenne, la force dans les aciers, dans cette section, passe alors de -12t à +12t

Forces dans les aciers longitudinaux (cas de RG8)



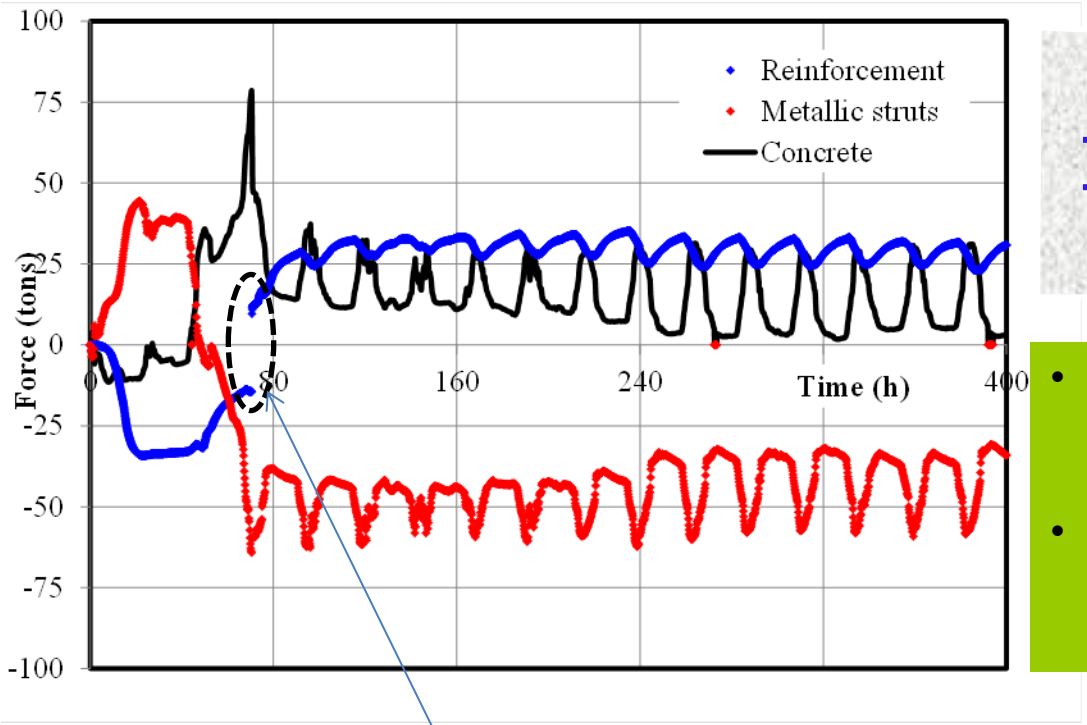
1ère fissuration à 72h, au voisinage immédiat de la section centrale

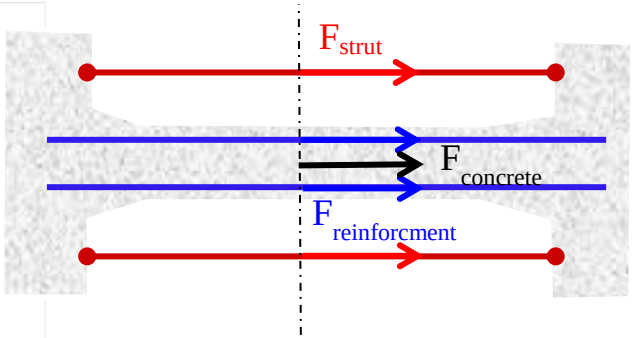




- À 400h les aciers restent comprimées par le retrait gêné dans les sections non fissurées
- Les aciers ne passent en traction qu'aux droit des fissures
- Les aciers sont totalement réancrés à 80 cm de la fissure

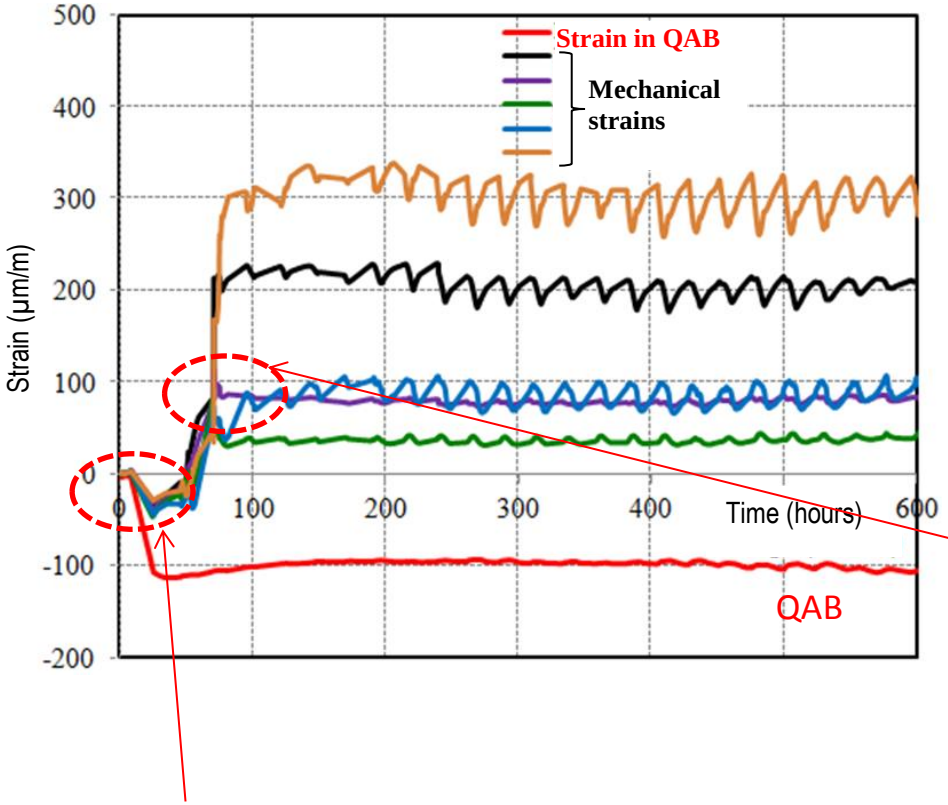
- Contrainte moyenne dans le béton à la 1ère fissuration
  - Par bilan des forces :

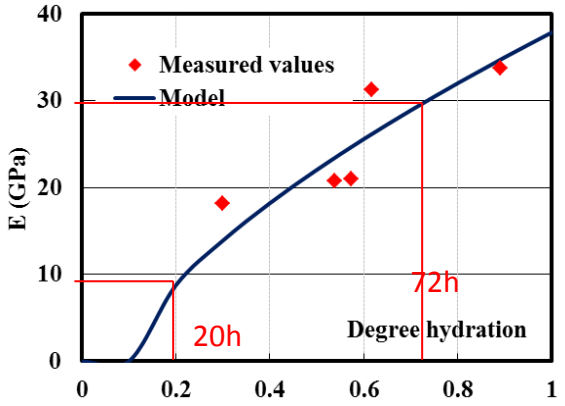




- La force dans le béton se déduit de l'équilibre global de la section : 76 tonnes juste avant fissuration
- On en déduit la contrainte moyenne de 1ère fissuration : 1,9 MPa

Champ de contrainte dans le béton lors de la 1ère fissuration





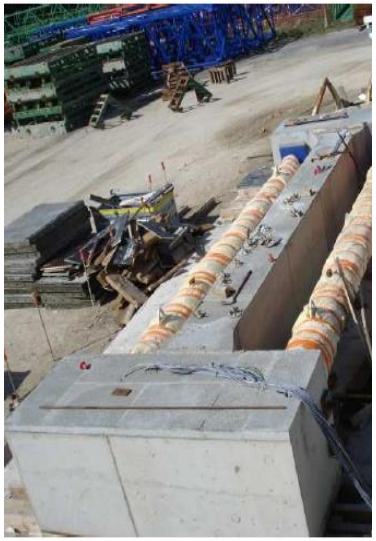
À 72h : 75tonnes/0,4m2 = 1,9MPa/(100um/m)=19000MPa

A 72h le module est **0,6** X Eci: il y a donc relaxation de la contrainte du béton par fluage au jeune âge

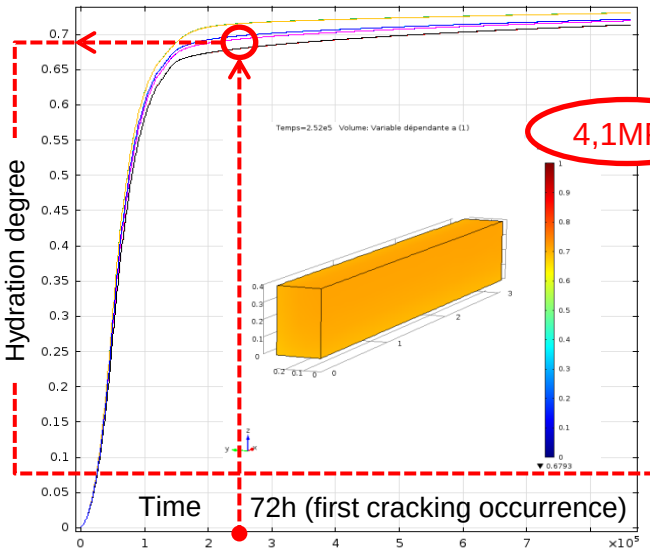
- À 20h : (-12t/0,4m2=-0,3MPa)/(-40um/m)=Ec 7500MPa compatible avec module jeune âge atténué par fluage jeune âge

▶ Contrainte de traction du béton à la 1ère fissuration

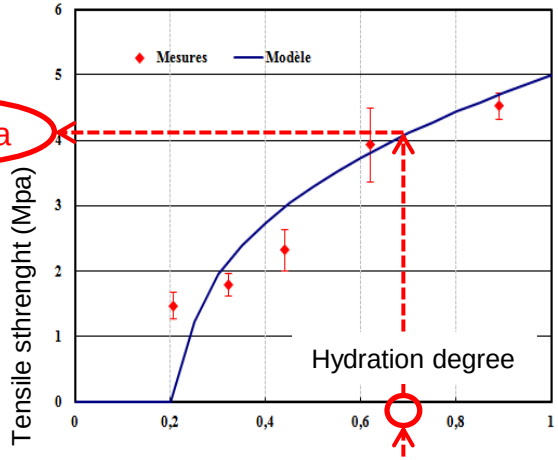
RG8bis analysis



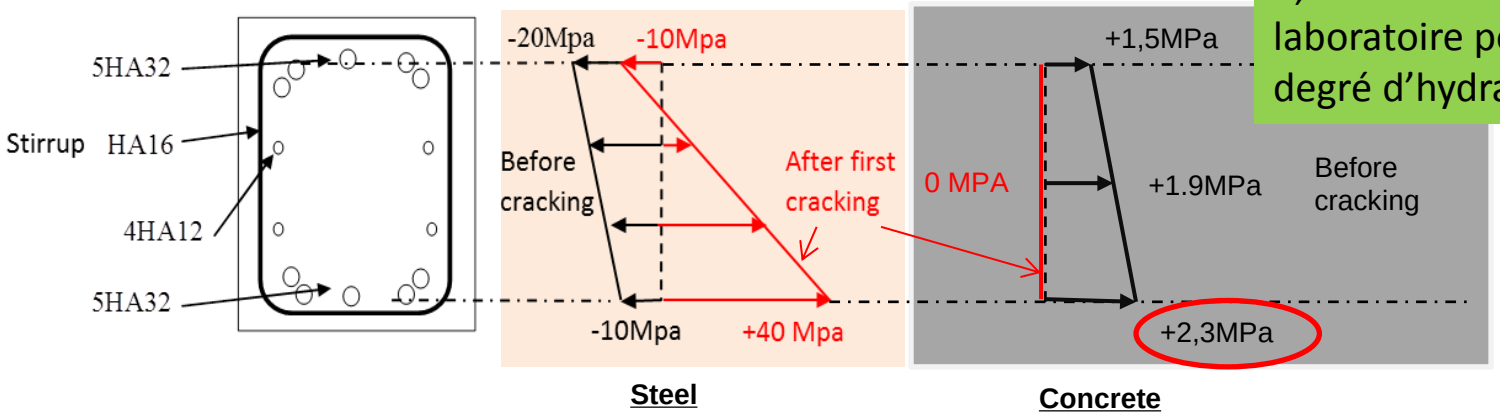
Hydration degree prediction at 72h



Tensile strength from split test at 72h

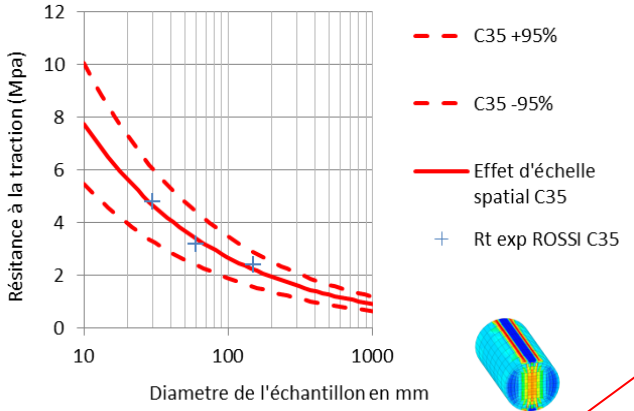


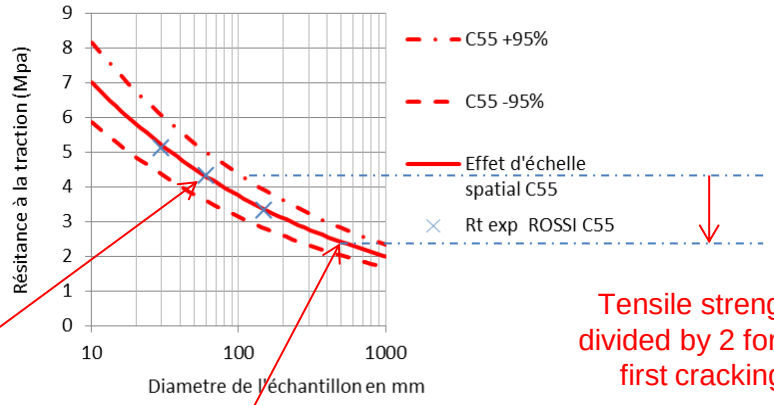
- **Stress profiles in steel & concrete just before and after cracking**



Rupture à 2,3MPa au lieu de 4,1MPa mesuré en laboratoire pour le même degré d'hydratation ?

Importance de l'effet d'échelle probabiliste pour expliquer la 1ère fissuration

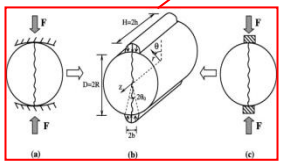




Tensile strength divided by 2 for the first cracking

$$\frac{R_{t(M)}}{R_{t/Vref}} = \left(\frac{V_{ref}}{V_{eq(M)}}\right)^{1/m}$$

Weibull scale effect law



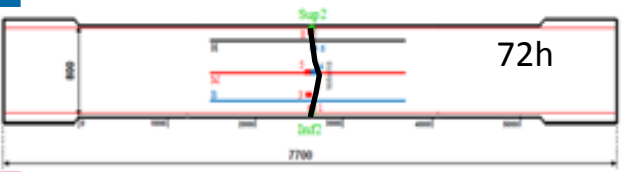
Reference volume of Split test (242cm3)

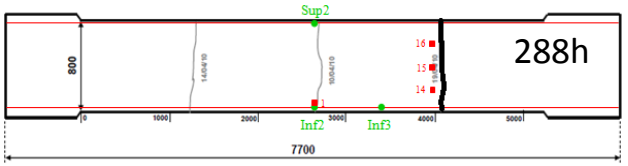
Loaded volume during CEOS RG tests (2,5m3)

Dans un élément de grande dimension, la prise en compte du retrait et du gradient de contrainte ne suffisent pas à expliquer la 1ère fissuration : il faut utiliser un contrainte de traction minorée par « effet d'échelle probabiliste »

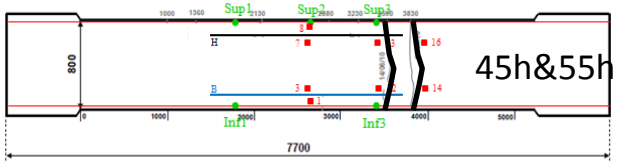
COMPARAISON DES FACIES DE FISSURATION DES 3 ESSAIS EN RG

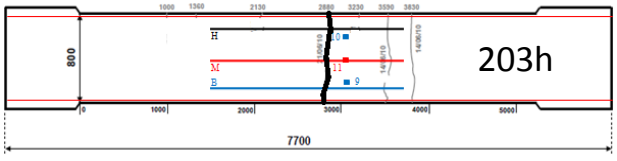
RG8 (r=2%,c=30mm)

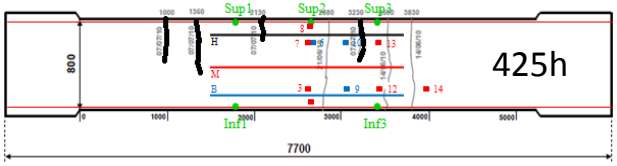




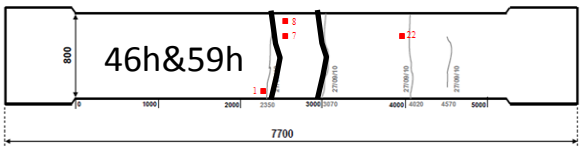
RG9 (r=0,56%,c=30mm)

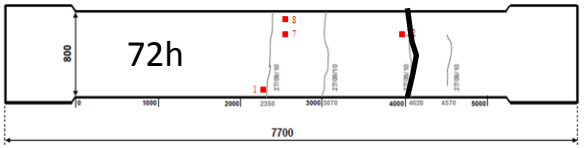


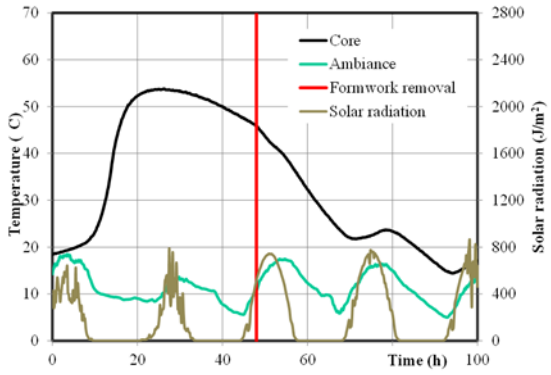


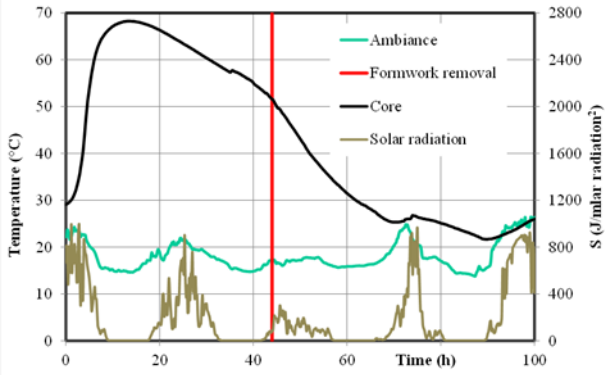


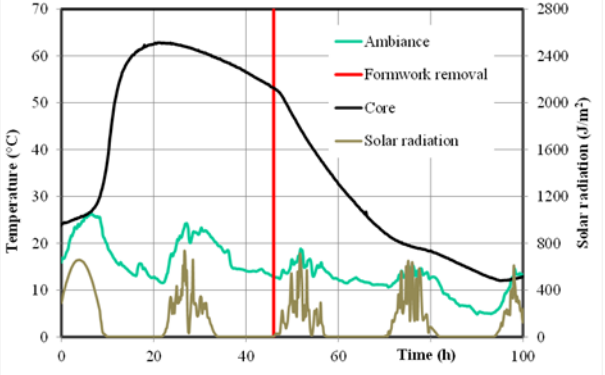
RG10 (r=2%,c=50mm)











- RG10/RG8 : enrobage passe de 20 à 30 mm → +1 fissure traversante
- RG10/RG9 : armature passe de 2% à 0,56% → -1 fissure traversante

CONCLUSION ANALYSE DES ESSAIS RG

Bilan méthodologique

- Mesure des caractéristiques mécaniques en fonction de l'hydratation (**Rt, Rc, E, Gf, Adhérence acier béton, vitesse d'hydratation**)

- Exploitation de CV en QAB et directions libres pour corriger les CV axiales →Accés aux **Déformations mécaniques du béton, mise en évidence de la relaxation des contraintes au jeune âge (de l'ordre de 40% à 72h)**

- Exploitation des FO → **Instants de fissuration et ouvertures de fissures**

- Exploitation des Jauges sur armatures → **Efforts dans les aciers et au gradient de déformation de la section**

- CV sur butons → **Efforts dans les butons**

- Déduction des contraintes dans le béton à la rupture par analyse de l'équilibre statique de l'ensemble→ **Contrainte maximale dans le béton à la 1ère fissuration 2.3 MPa**

Principaux enseignements de l'analyse des RG

- **Influence de la section d'acier et de l'enrobage** sur le nombre de fissures confirmée, disponible pour tester les modèles numériques (cf. partie modélisation)

- Les aciers s'opposent au **retrait**, la contrainte peut être estimée à partir d'un équilibre statique basée sur la déformation de retrait endogène, elle est de l'ordre de Rt/10 dans RG8.

- La contrainte estimée dans le béton juste avant **rupture** est de l'ordre de 50% de celle mesurée en laboratoire au même degré d'hydratation →**La rupture à Rt réduit, attribuée à l'effet d'échelle probabiliste, cet effet ne peut pas être négligée pour estimer les 1ère fissurations des pièces massives**.

- La relation contrainte-déformation déduite de l'analyse statique et de l'analyse en déformation montre qu'une **relaxation de contrainte** d'environ 40% a eu lieu au jeune âge →la relaxation de la contrainte dans le béton au jeune âge ne peut pas être négligée, donc, **si la contrainte de calcul est estimée à partir d'une analyse thermoélastique, une minoration de celle-ci peut être envisagée**.

CEOS.fr

Comportement au jeune âge et phénomènes Thermo-Hydro-Mécaniques

Merci pour votre attention

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

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

04/06/2015

AFGC

IREX
Institut pour la recherche appliquée et l'expérimentation en génie civil