



# Description des essais et instrumentation

*Louis Demilecamps  
Hervé Lançon*



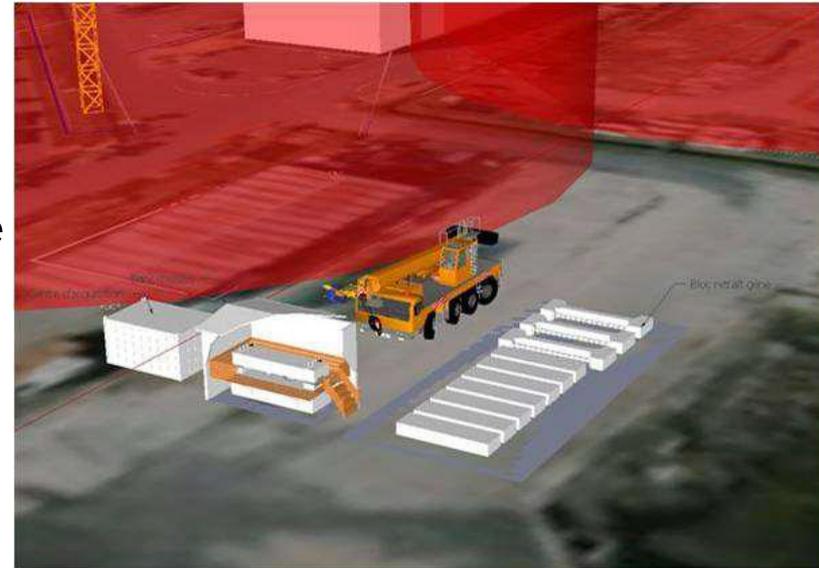
18/11/2015



- ▶ Tests de flexion sur blocs parallélépipédiques (RL)  
"Echelle 1"
    - Retrait libre + cycle de flexion
  - ▶ Tests en retrait gêné puis flexion sur poutre-tirants de grandes dimensions (RG)
    - Retrait gêné + test de flexion
- réalisés en 2009-2010 par une équipe aux compétences multiples dans les installation de Vinci
- ▶ Tests "Echelle 1/3" : similaires au programme 1.1 (RL 1/3)
    - Réalisés en 2011 par le CEBTP
  - ▶ Voiles "Echelle 1/3" : tests en cisaillement statique ou alterné
    - Réalisés en 2010 par le CSTB
  - ▶ 4. Tirants en traction pure
    - Réalisés en 2013 par le CEBTP

## ► Organisation générale:

- Conception-fabrication d'un banc d'essais spécifique
- Fabrication de 7 corps d'épreuve parallélépipédiques :  $6.1\text{m} \times 1.60\text{m} \times 0.80\text{m}$  ( $7.8\text{m}^3$ ) pour les tests en retrait libre
- Fabrication de 3 corps d'épreuve en I :  $7.7\text{m} \times 0.50\text{m} \times 0.80\text{m}$  ( $5.5\text{m}^3$ ) pour les tests en retrait gêné



- Coulage et maturation (28 jours) des blocs
- Installation et fixation sur le banc-dalle d'essai
- Flexion 4 points jusqu'à fissuration (chargement vertical ascendant par deux rangées de vérins)

## ▶ Retrait Libre RL (grands blocs : 6,10x1,6x0,8)

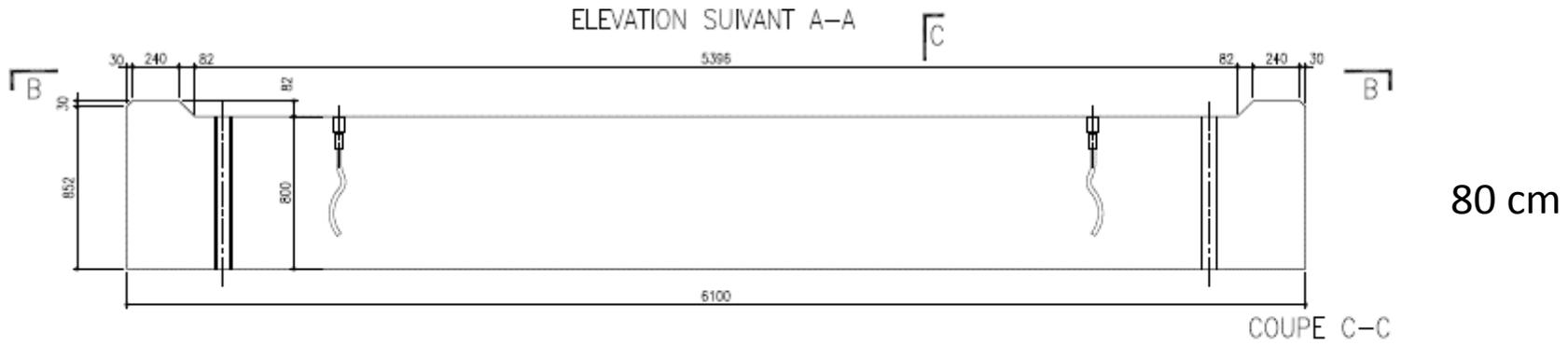
- RL1: bloc de référence : béton de référence, ferrailage de référence (pourcentage et diamètre)
- RL2: béton de référence, pourcentage d'armatures réduit, même diamètre
- RL3: béton de référence, même pourcentage d'armatures, réduction du diamètre
- RL4: béton de référence, modification des dispositions de ferrailage (deux enrobages : 3 et 7cm)
- RL5: Ferrailage de référence, changement de béton (/résistance en traction)
- RL6: Etude de la variabilité entre blocs identiques => 2ème exemplaire du bloc de référence
- RL7: Bloc de référence avec des défauts locaux provoqués (tubes PVC par exemple)

Benchmark Concrack

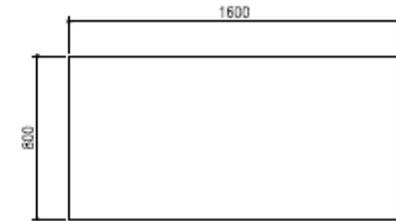
## ▶ Retrait gêné RG (dimension du tirant "réduites" ~6.10x0.80x0.50)

- RG8: même caractéristiques que RL1
- RG9: béton de référence, ferrailage minimum
- RG10: béton de référence, ferrailage renforcé

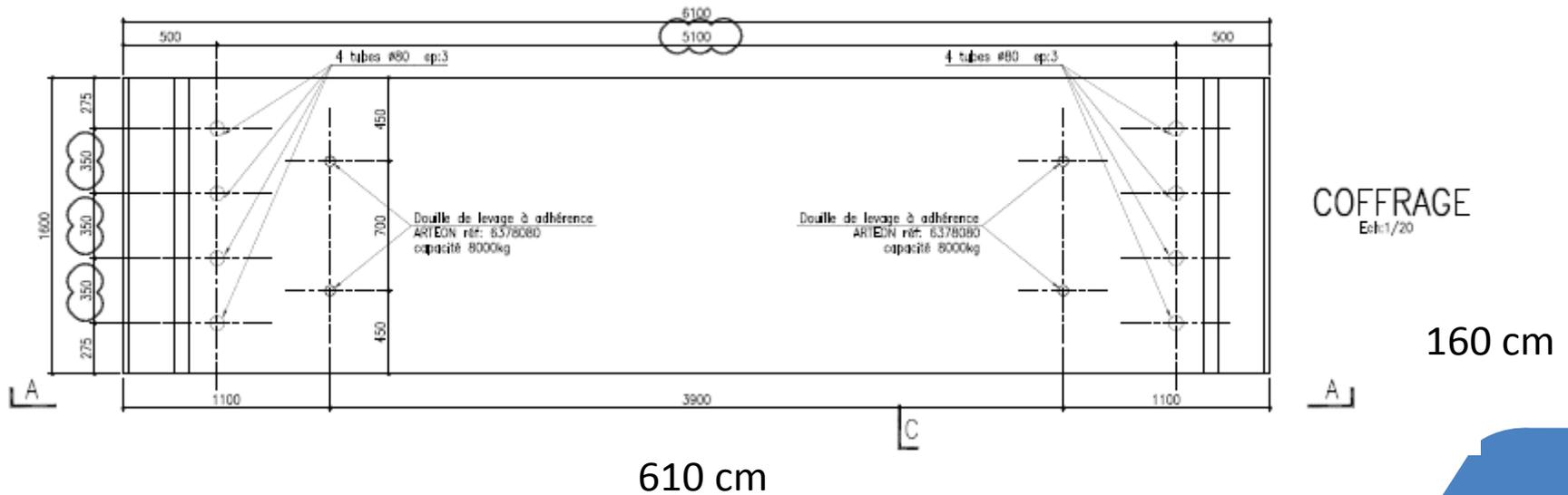
## ▶ = Benchmark

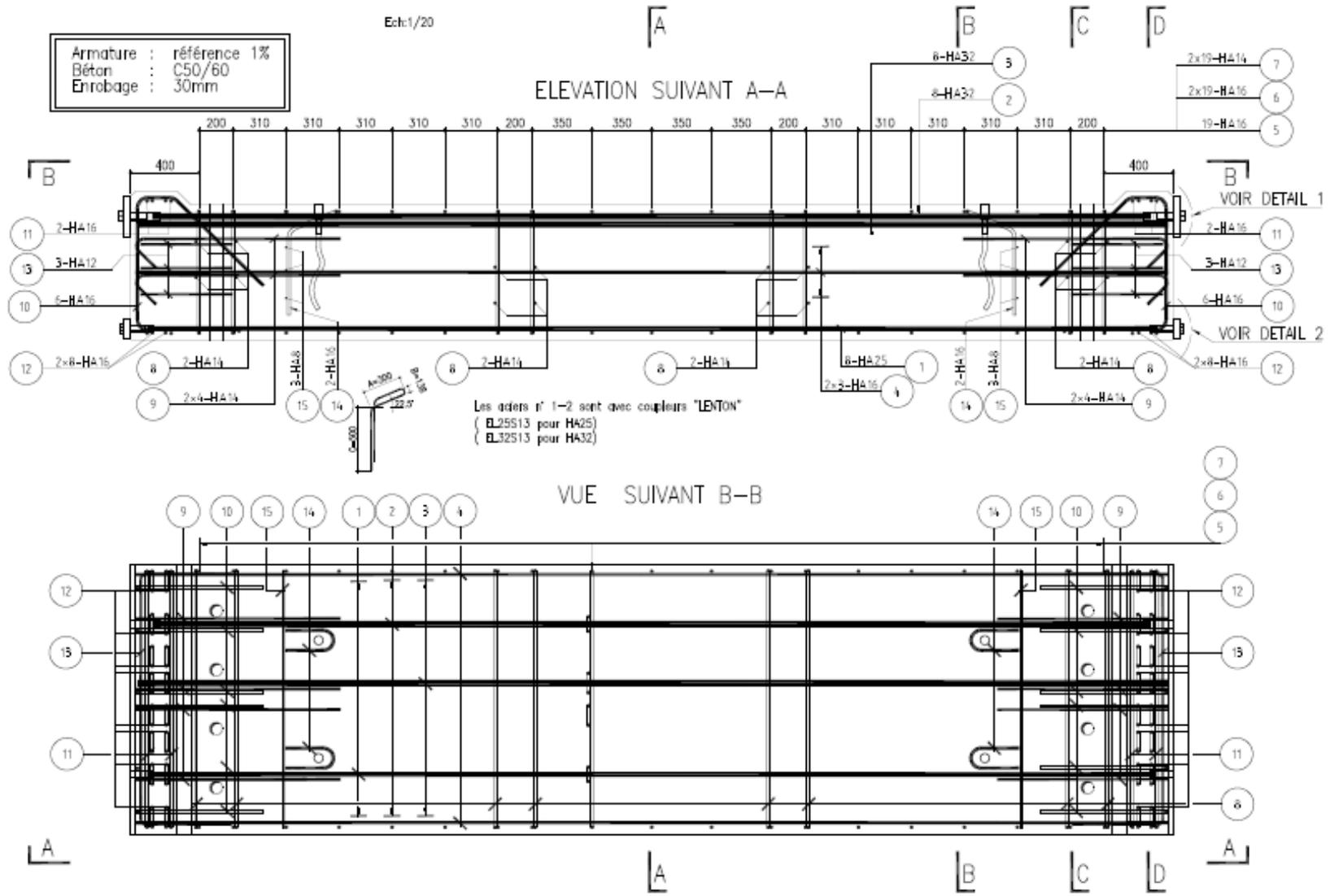


 = cotes impératives ±1mm



VUE SUIVANT B-B







**RL (FS) testing body:  
reinforcement**





RL testing  
body





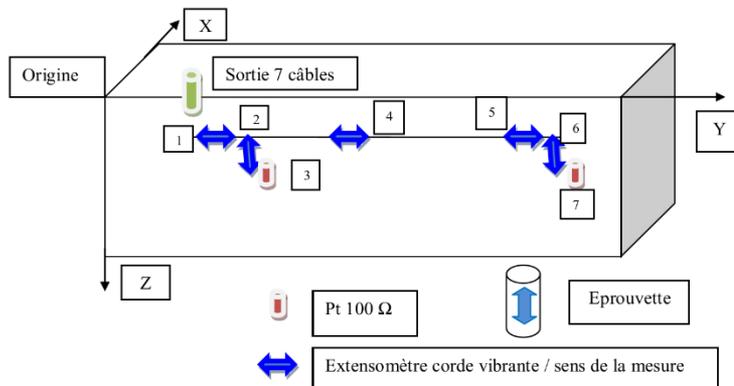


Corps d'épreuve  
(RG): déplacement du  
poste de fabrication  
vers le banc de test en  
flexion

## ► Zoom Métrologie conditions d'ambiance



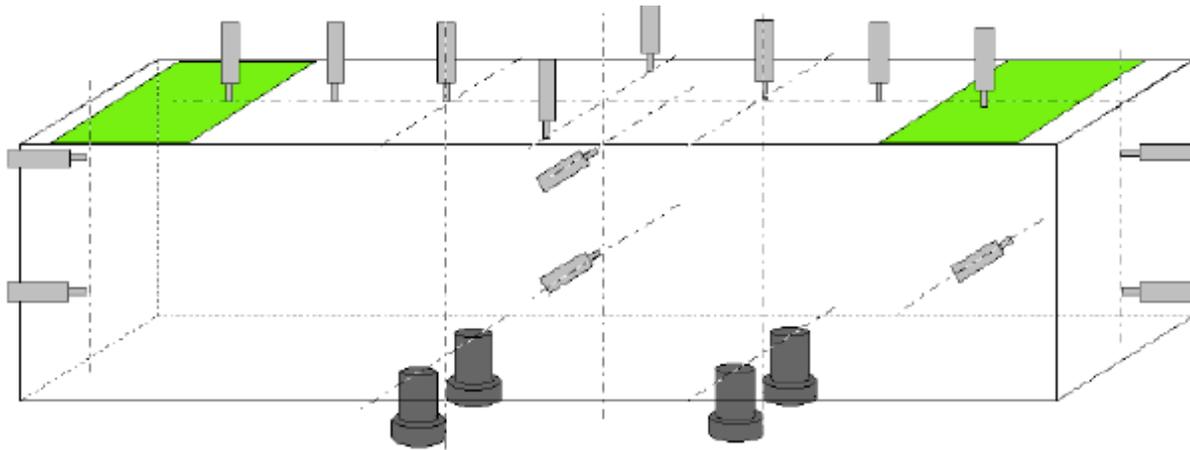
Station météorologique	
Baromètre	1
Capteur d'humidité	1
Ensoleillement	2
Anémomètre/Girouette avec mat de 3 mètre	1
Sonde de température Pt 100	1
Centrale de mesures	1



## Fonctionnement du bâti d'essai

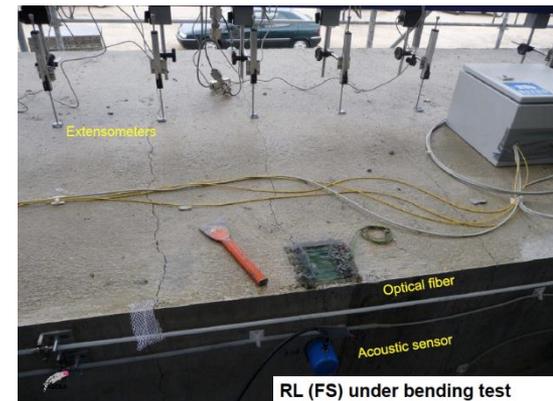
Capteurs zone d'essais	
Capteurs dans la fondation "extensomètres à corde vibrante"	6
Sondes de température Pt 100 fondation structure et air	5
Inclinomètres de surface bi-directions avec capot de protection	2
Extensomètres à corde vibrante sur butons	6

## ► *Zoom Métrologie* : instrumentation des essais



-  4 jacks + pressure sensors
-  Displacement sensors

 Fixation area



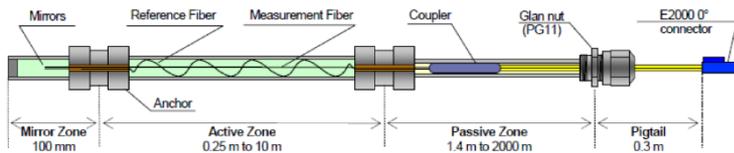
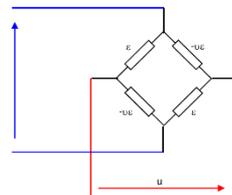
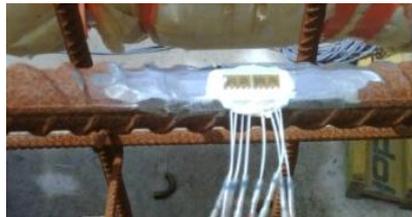
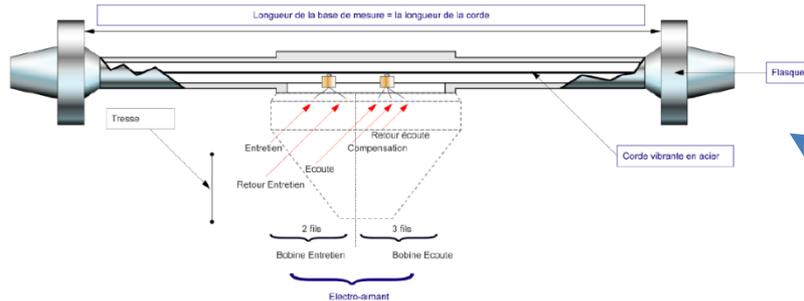
## ► Zoom Métrologie : instrumentation des blocs

Bloc	RL1	RL2	RL3	RL4	RL5	RL6	RL7	RG8	RG8bis	RG9	RG10	Total général
Capteur de déplacement sur bati d'essai	15	15	15	15	13	13	13	13	13	13	13	151
Force calculée à partir de la pression vérins sur bati d'essai	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	20
Extensomètre à corde vibrante <b>et sa température associée</b> - noyé et témoin	18	18	18	18	18	16	17	22	23	23	23	214
Jauge de déformation <b>et sa température associée</b> sur armatures et témoin	7	7		7				6	7	7		41
<b>Sonde de température</b>	9	8	9	9	9	9	6	9	8	8	9	93
Extensomètre base longue à Fibre Optique - noyé	5	3	3					3	3	3		20
Extensomètre base longue à Fibre Optique - en parement	6	6	6	4	5	6	6	3	3	3	3	51
<b>Total général</b>	<b>62</b>	<b>59</b>	<b>53</b>	<b>55</b>	<b>47</b>	<b>46</b>	<b>44</b>	<b>56</b>	<b>59</b>	<b>59</b>	<b>50</b>	<b>590</b>

Avec températures associées aux capteurs : **845**



## ► Zoom Métrologie : Mesures des déformations par extensomètres

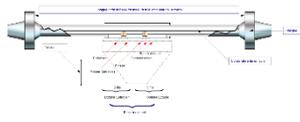


	Total général
Extensomètre à corde vibrante <b>et sa température associée</b> - noyé et témoin	214
Jauge de déformation <b>et sa température associée</b> sur armatures et témoin	41
Extensomètre base longue à Fibre Optique - noyé	20
Extensomètre base longue à Fibre Optique - en parement	51
<b>Total général</b>	<b>326</b>
	<b>581</b>

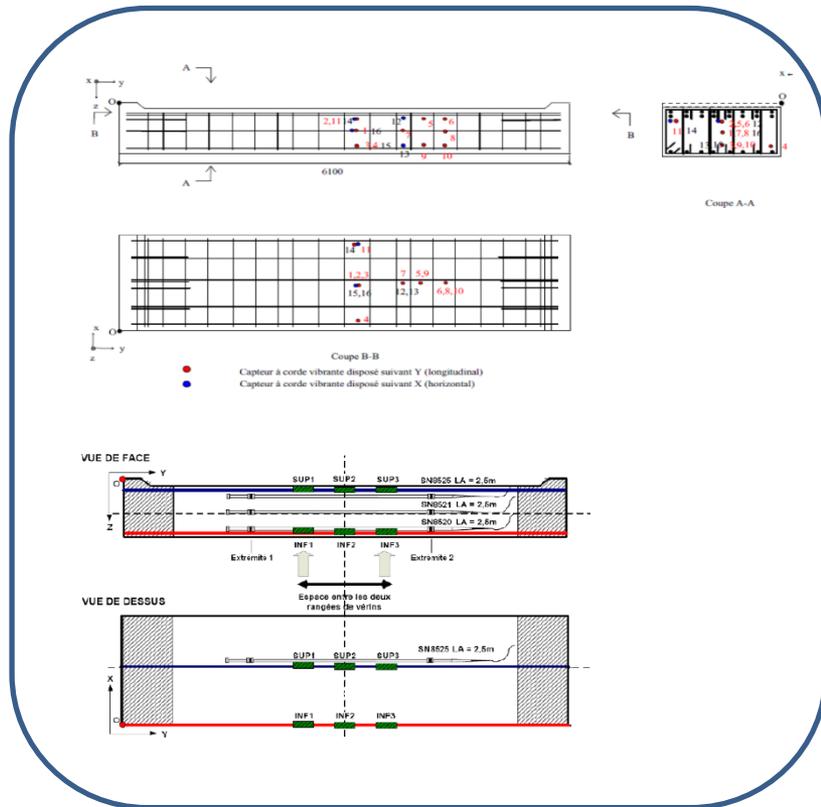
## ► Nécessaire prise en compte des conditions de température

## Zoom Métrologie : Mesures des déformations par extensomètres

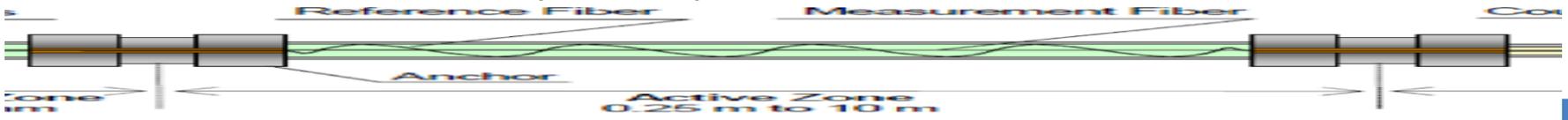
110 à 280 mm (butons)



20 mm



6000 mm noyé ou en parement

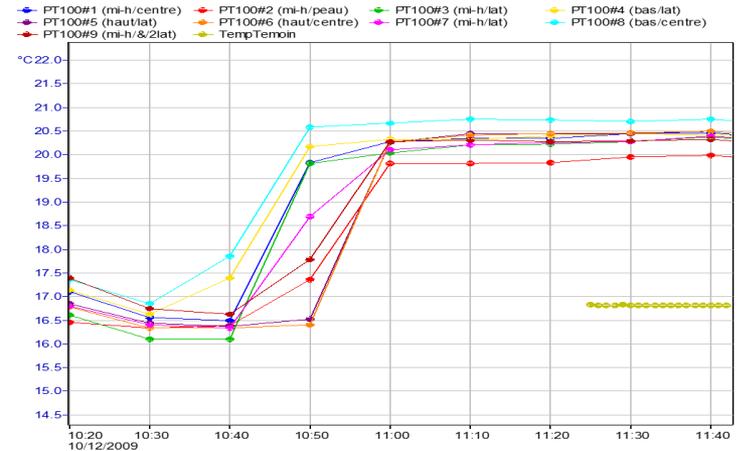


## Zoom Métrologie : Température

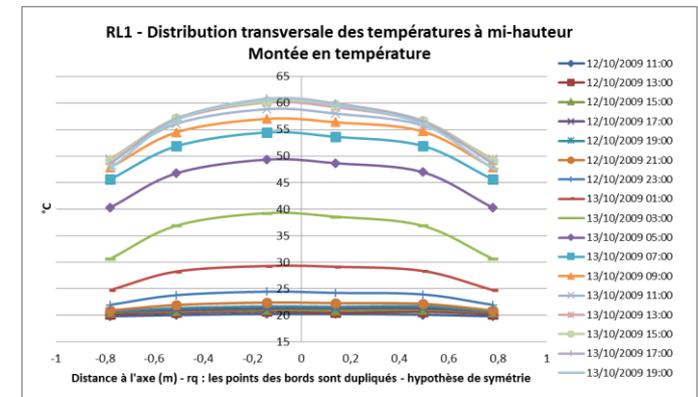


Photographie d'une sonde Pt 100

	Total général
Extensomètre à corde vibrante et sa température associée - noyé et témoin	214
Jauge de déformation et sa température associée sur armatures et témoin	41
Sonde de température	93
<b>Total général</b>	<b>348</b>



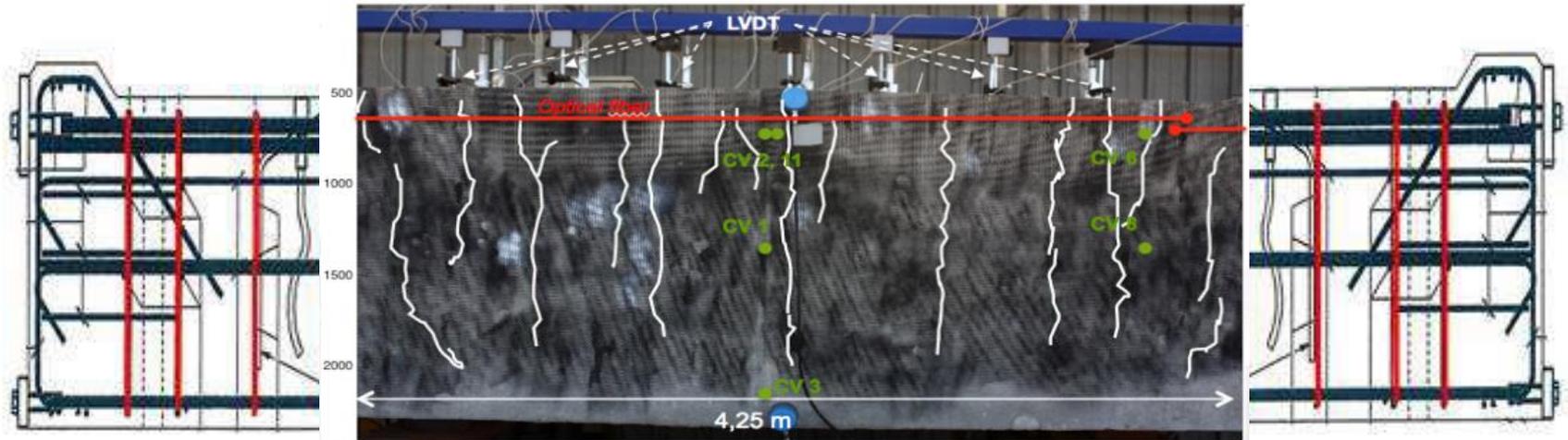
- ▶ Sondes PT 100 pour comportement thermique (0,3°C)
- ▶ Résistances bobine et thermistances pour conditionnement des mesures CV et jauges résistives



## ► Instrumentation et contrôle des essais



## ► Fusion des données



- ✓ Utilisation des capteurs noyés et capteurs en surface (Pt100, Extensomètres à cordes vibrantes, Fibres optiques)
- ✓ Mesures locales et fibres optiques base longue
- ✓ Mesure de déplacement (LVDT)
- ✓ Corrélation d'images pour la détection de la fissuration des zones d'intérêt
- ✓ Détection acoustique : Advitam, ISTERRE (Locadiff®)

## ► Programme de Caractérisation du béton

- Test calorimétrique sur ciments par bouteille de Longavant
- Test QAB sur bétons
- Module de Young et coefficient de Poisson, résistance à la compression au jeune âge (6 échéances pour permettre un suivi maturométrique)
- Résistance à la traction (aux mêmes âges)
- Energie de fracturation
- Retrait endogène
- Retrait de séchage
- Mesure de la perte en poids sur éprouvette 16\*32 en conditions de laboratoire (50% HR)
- Mesure de fluage au jeune âge en compression et en traction
- Test à l'anneau en conditions endogènes
- Coefficient de dilatation thermique
- Capacité calorifique du béton, des agrégats et de la pâte

► Planning du Programme d'essai:

▪ **Blocs RL :**

- Bétonnage
- 2-3 jours prise-durcissement.
- 1 à 3 mois de maturation en conditions ambiantes
- Transfert sur le banc d'essai et fixation
- Chargement par paliers (flexion), jusqu'à la charge de service ou au-delà

▪ **Blocs RG :**

- Bétonnage (butons métalliques en position)
- 2-3 jours prise-durcissement (« isolation » thermique)
- 1 mois de maturation en conditions ambiantes
- Transfert sur le banc d'essai et fixation
- Chargement par paliers (flexion), jusqu'à la charge de service ou au-delà

▪ **Mesures des efforts et observation-relevé des fissures**

## ► Planning du Programme d'essais

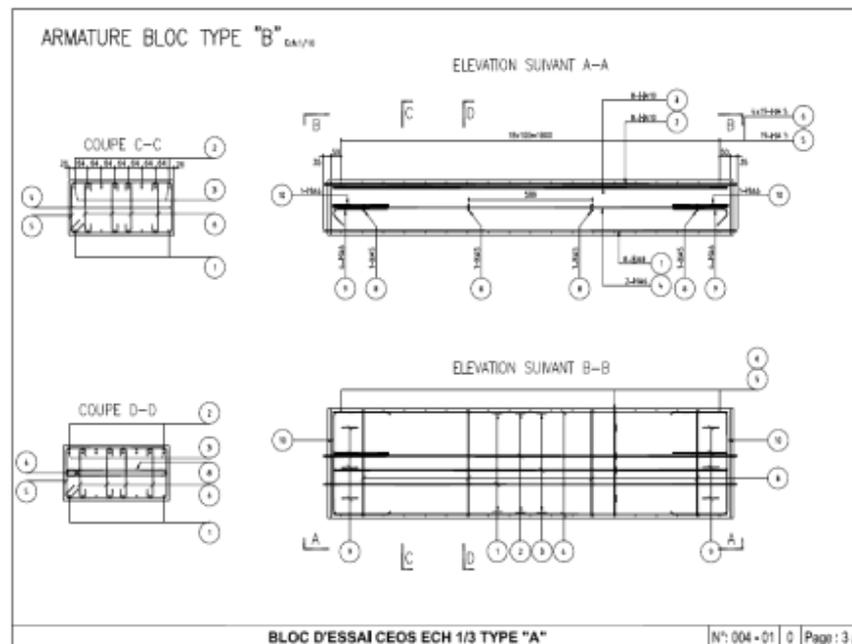
Corps d'épreuve	sept-09	oct-09	nov-09	DECEMBRE 20	Janv-10	FEVRIER 2010	mars-10	avr-10	mai-10	juin-10	juil-10	AOUT 2010	sept-10	oct-10	nov-10	DECEMBRE 20	
RL1		●		▼		D O U S						D O U S					
RL2			●		▼												
RG8			●		▼			●	▼								
RG8BIS								●	▼								
RL3								●	▼								
RL4									●	▼							
RG9										●	▼						
RL6										●	▼		▼				
RL5													●	▼			
RG10													●	▼			
RL7														●	▼		▼

- COULAGE
- ▼ ESSAI



Corps d'essai	Nombres	Type de béton	Diamètre max Granulat	Armatures Sup	Armatures Inf	Cadres	Espacement	Enrobage
A	1	C50	20 mm	16HA10	8HA8	HA5	10cm	15 mm
B (Bloc de référence)	3	C50*	8 mm	16HA10	8HA8	HA5	10cm	15 mm
C	1	C50*	8 mm	8HA14	8HA8	HA5	10cm	15 mm
D	1	C50*	8 mm	16HA10	8HA8	HA6	14,4cm	15 mm

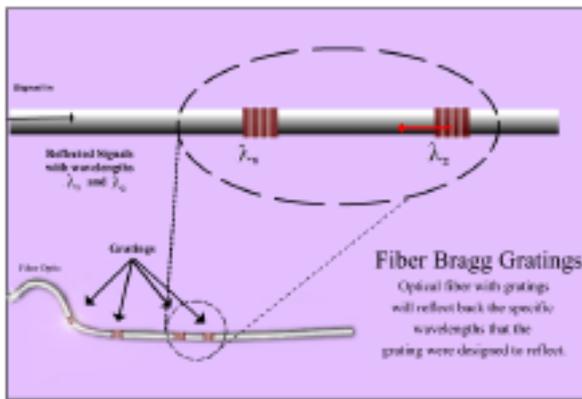
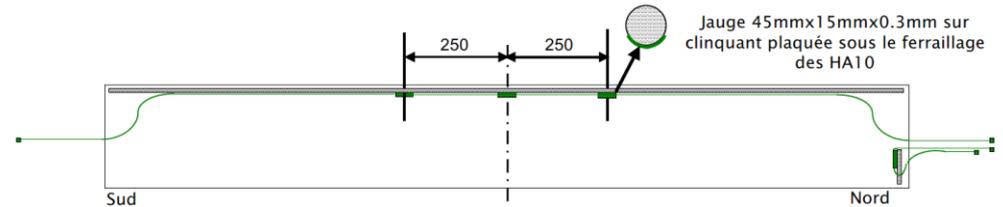
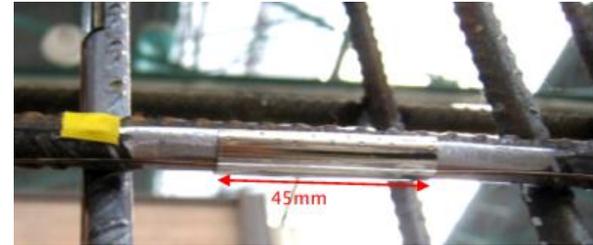
C50\* : micro-béton C50





## Zoom Métrologie : Jauges déformations à réseau de Bragg

- Les capteurs mesurent la déformation des armatures sur lesquelles ils sont soudés
- Plusieurs capteurs sur un même câble optique (intrusivité des câbles réduite)



Cœur béton	Jauge de déformation Bragg	Capteurs de température Bragg	ECV	PT100	Quantité de mesures par bloc
Fourniture	SITES	SITES	RINCENT	RINCENT	
Installation	SITES	SITES	RINCENT	RINCENT	
Acquisition	SITES		RINCENT		
Bloc A	4	1	1	2	34 048
Bloc B1	4	1	4	2	38 788
Bloc B2	4	1	4	2	34 437
Bloc C	4	1	4	2	34 503
Bloc D1	4	1	4	2	37 684
Bloc D2	4	1	4	2	32 323
Total capteurs	24	6	21	12	211 783
Total voies de mesures	24	6	21	12	
<b>Total voies de mesures</b>				<b>63</b>	

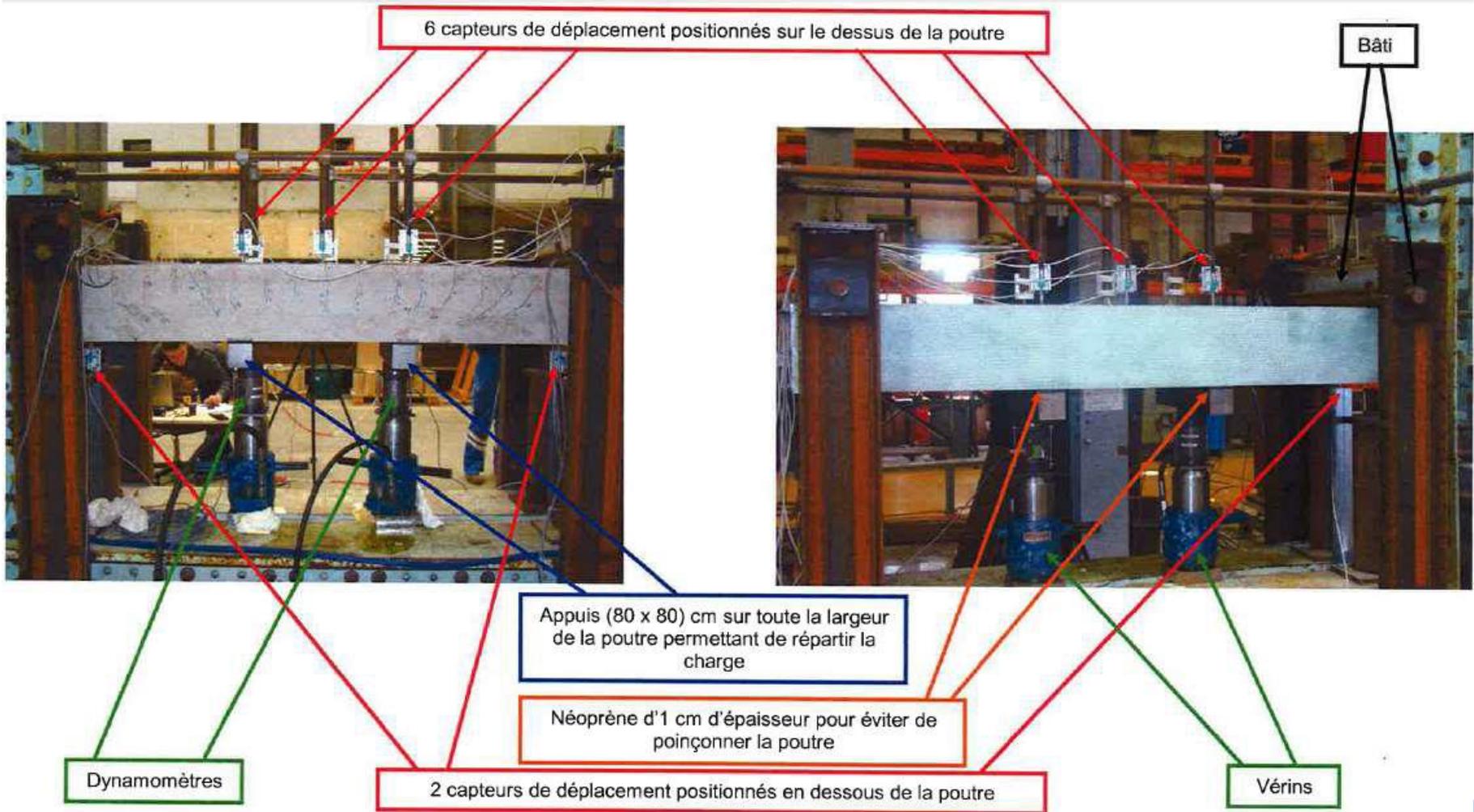
Quantité de capteurs et voies de mesure à cœur béton des blocs 1/3

## ► **Zoom Métrologie** : Compléments d'instrumentation en surface

Parement	Jauge de déformation béton	Capteurs de déplacement	Cale dynamométrique	Quantité de mesures par bloc
Fourniture	RINCENT	CEBTP	CEBTP	
Installation	RINCENT	CEBTP	CEBTP	
Acquisition	RINCENT	CEBTP		
Bloc A	3	8	2	57 853
Bloc B1	3	8	2	72 851
Bloc B2	3	8	2	56 656
Bloc C	3	8	2	58 484
Bloc D1	3	8	2	64 893
Bloc D2	3	8	2	56 307
Total capteurs	18	18	12	<b>367 044</b>
Total voies de mesures	18	18	12	
<b>Total voies de mesures</b>			<b>48</b>	

Quantité de capteurs et voies de mesure parement et bâti blocs 1/3

## ► Installation pour les essais 1/3 (CEBTP)



## ► Les objectifs de CEOS.fr :

- Etude de la fissuration d'une voile en béton armé sous chargement cyclique (ou plutôt alterné)
- Détermination de la fissuration pendant et après un tremblement de Terre
- Paramètres attendus : évolution des fissures, ouvertures et espacements.
- Objet du programme expérimental :
  - Produire des données de référence pour la modélisation du comportement d'une structure soumise à des chargements cycliques.
  - Susceptibles d'être intégrées aux données existantes et permettant d'établir et/ou vérifier les formules de fissuration

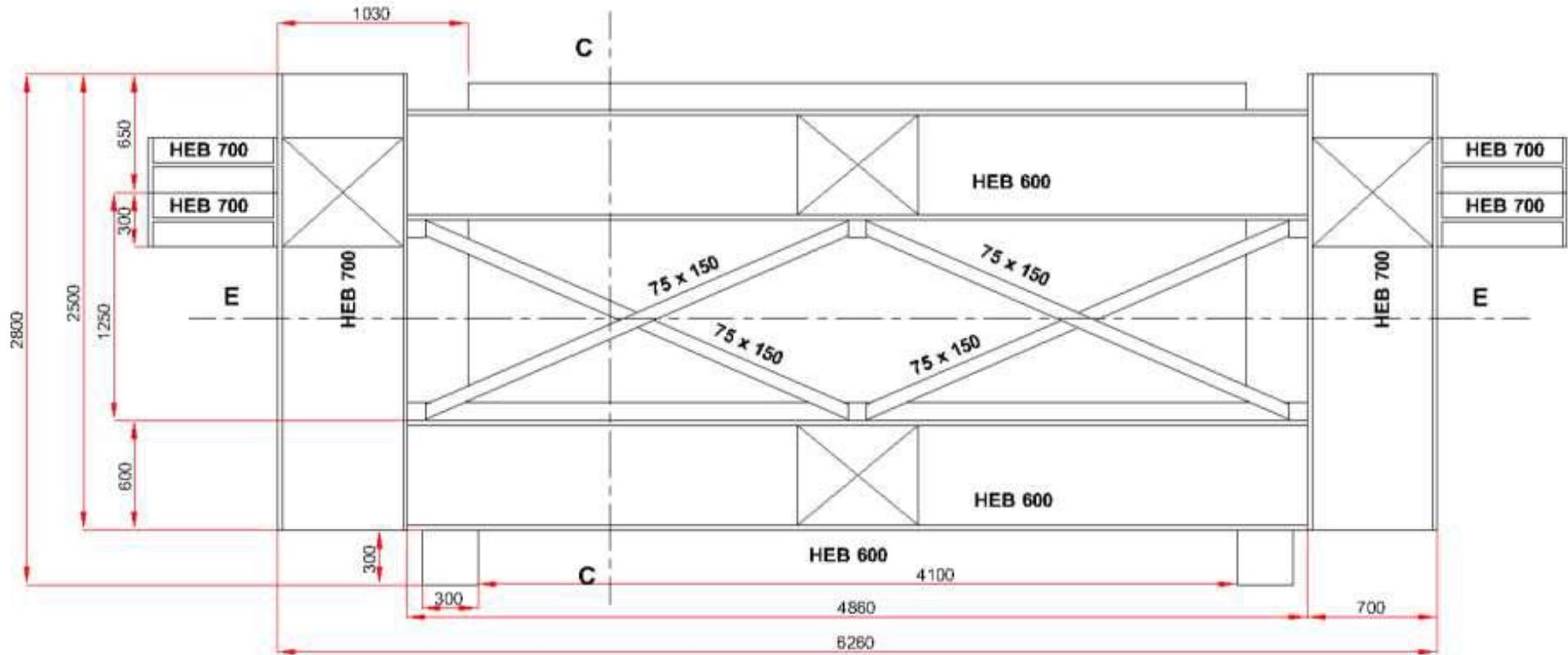
## Réalisation d'une voile à l'échelle 1/3 qui respecte les contraintes de tests et les capacités des vérins (4MN)

- ✓ Voile : Epaisseur 0,15 m x Hauteur 1,05 m x Longueur 4,2 m (ratio = 1/4)
- ✓ Représentant une structure «vraie» de dimensions:  
0,45 m x 3,15 m x 12,6 m

## ► Caractéristiques des Voiles testés

	Non Alternate Loading (reference)	Alternate Loading (reference)	Alternate Loading Modified parameter: <u>Concrete</u>	Alternate Loading Modified parameter: <u>Steel reinforcement</u>
Concrete	<b>C40</b>	<b>C40</b>	<b>C25</b>	<b>C40</b>
Cracking maximum load (MN)	<b>1,47</b>	<b>1,47</b>	<b>1,09</b>	<b>1,47</b>
Steel Reinforcement	<b>φ10@10</b>	<b>φ10@10</b>	<b>φ10@10</b>	<b>φ8@8</b>
$P_{s,eff}$	<b>0,0105</b>	<b>0,0105</b>	<b>0,0105</b>	<b>0,0084</b>
$\sigma_{sr}$ Mpa	<b>350,5</b>	<b>350,5</b>	<b>260,4</b>	<b>434,9</b>
Maximum load (MN)	<b>3,30</b>	<b>3,30</b>	<b>3,30</b>	<b>2,64</b>
$w_k$ (V) (mm)	<b>0,38</b>	<b>0,49</b>	<b>0,54</b>	<b>0,46</b>
$s_{rm}$ (mm)	<b>176</b>	<b>176</b>	<b>176</b>	<b>177</b>

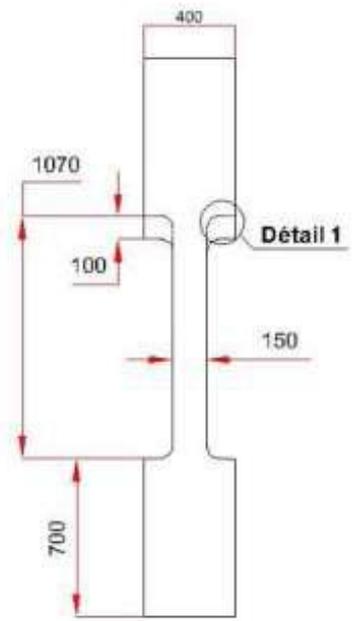
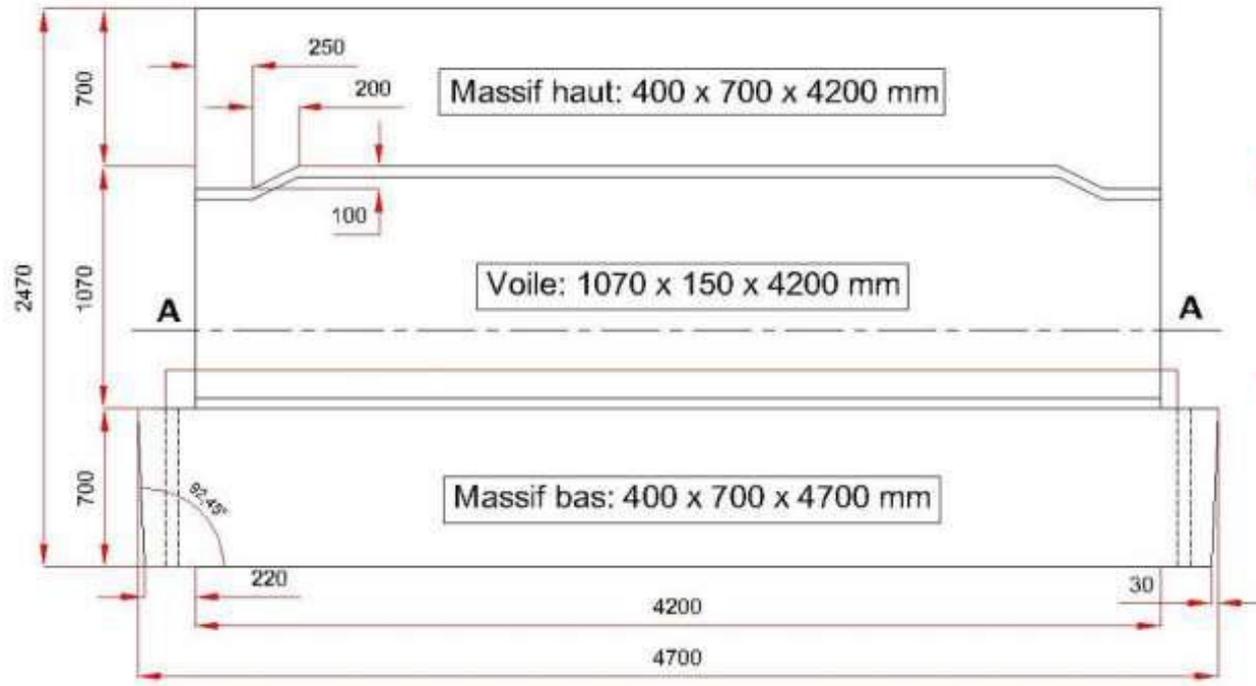
## Configuration du bâti d'essais



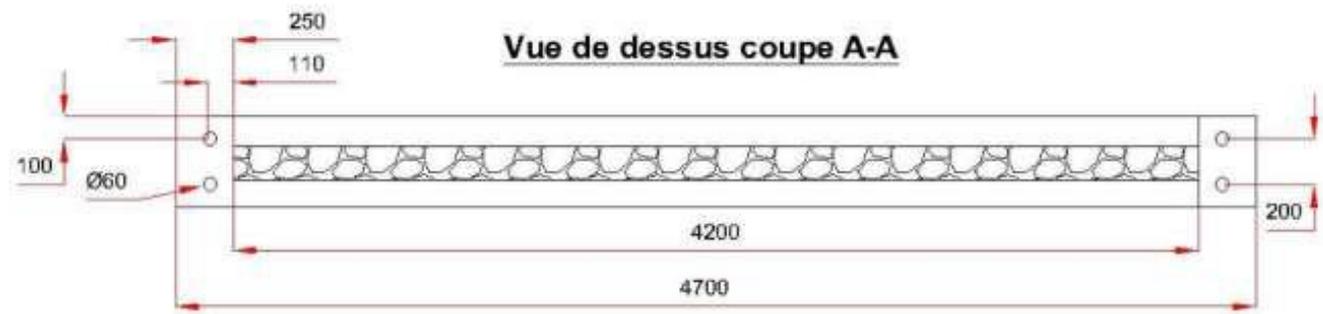




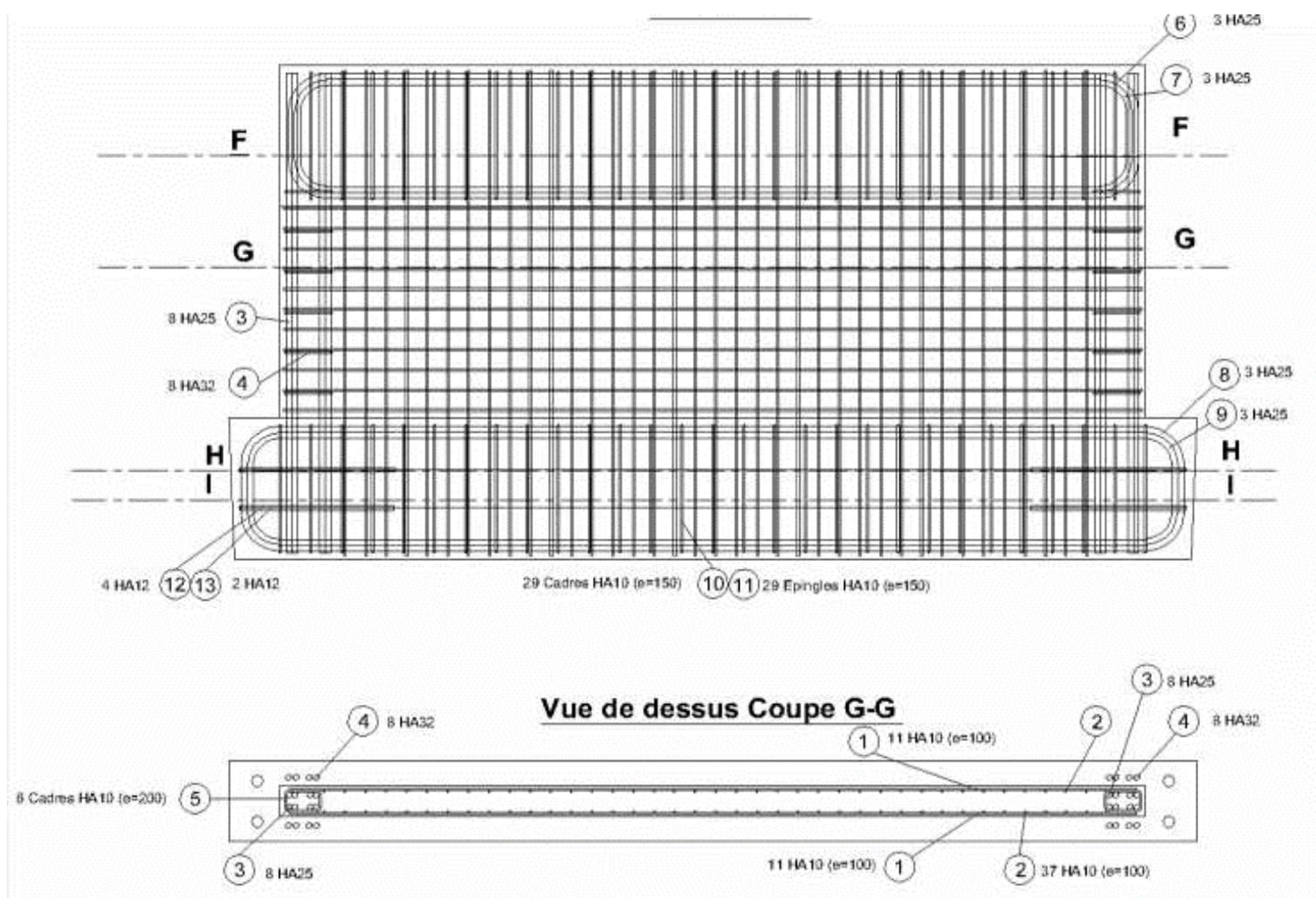
Vue de face

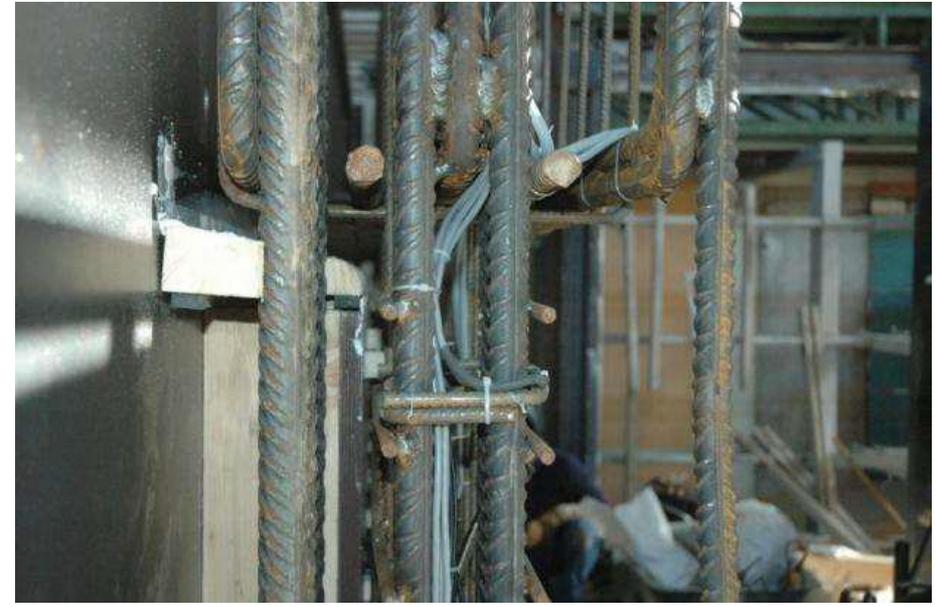


Vue de dessus coupe A-A

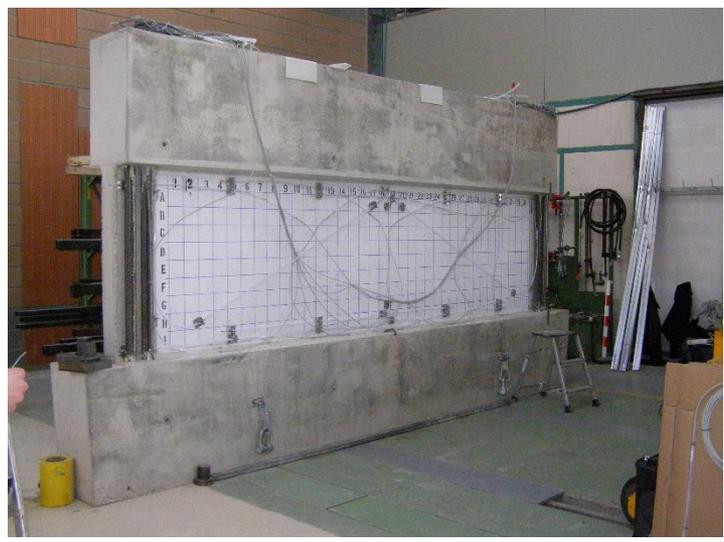


## Plan de ferrailage (Voile 1 – benchmark)

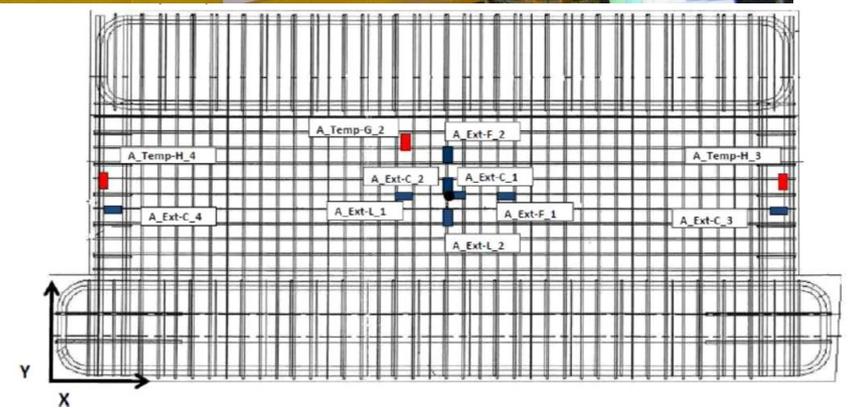
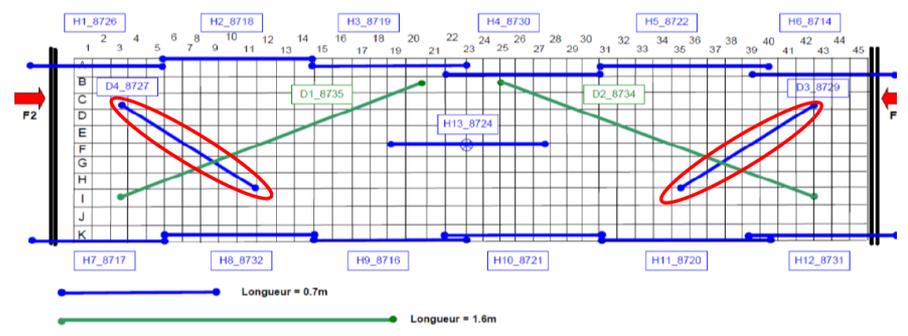




## Zoom Métrologie

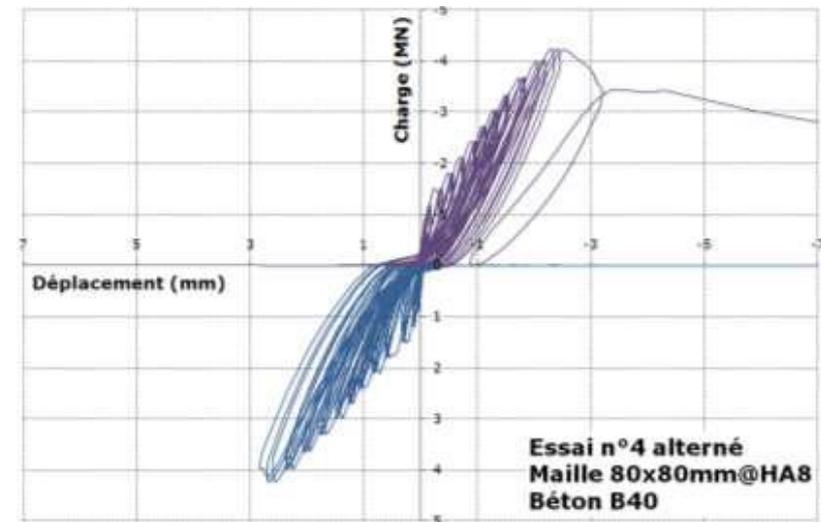
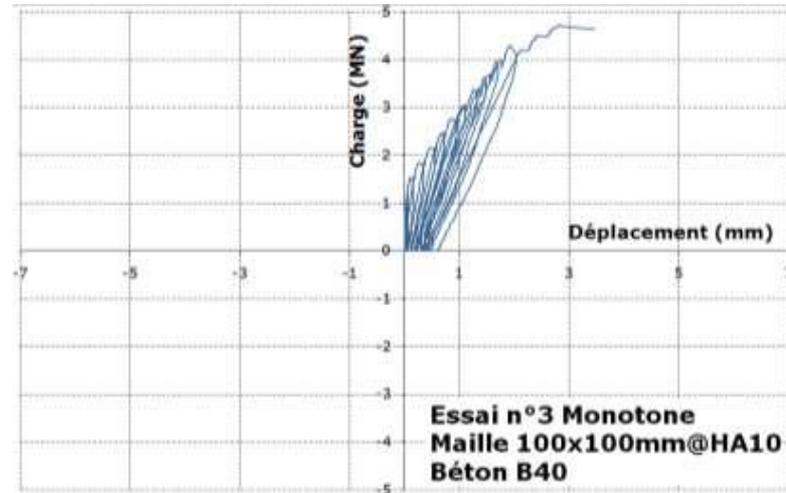
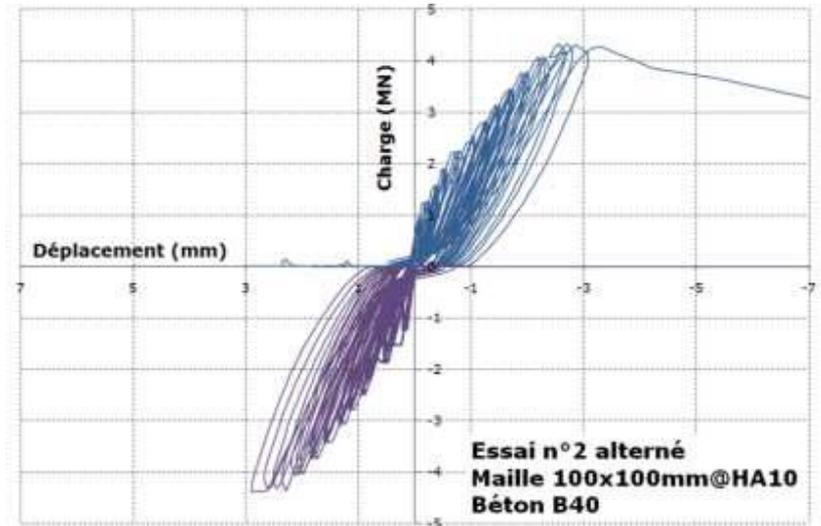
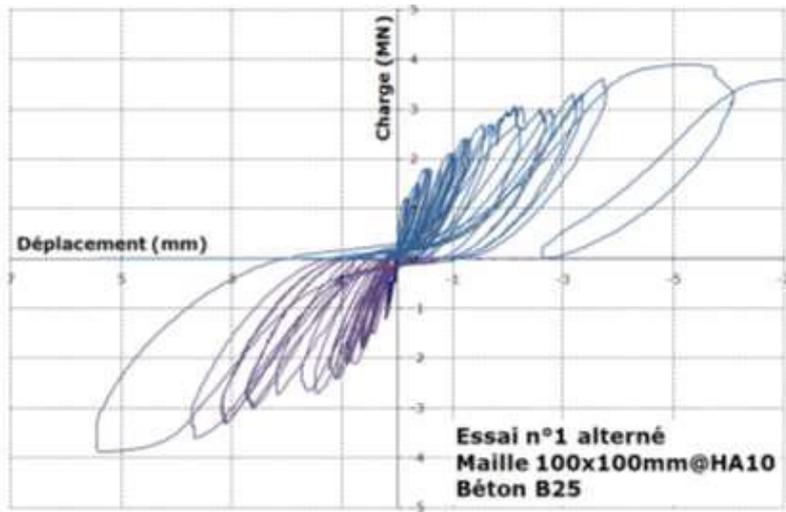


face B



■ : Jauges de déformation à fibre optique Bragg

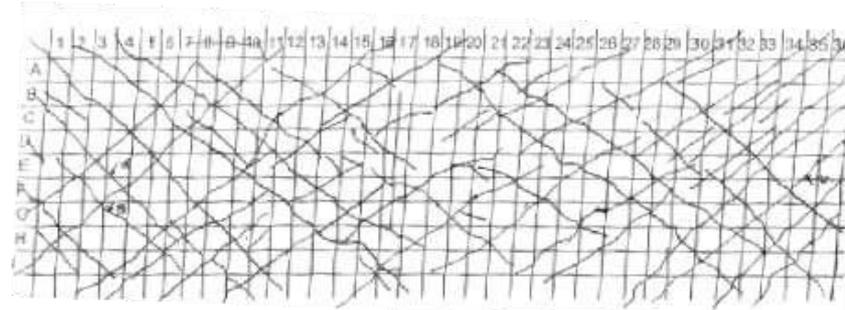
## ► Programme de chargement



## ► Relevés de fissuration $F = 4000$ kN

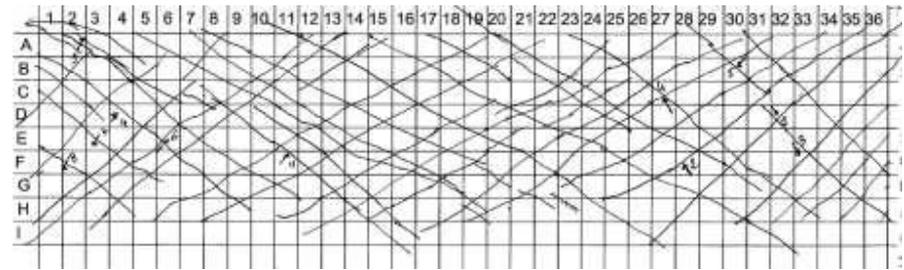
Test n°1 Chargement alterné  
Treillis : 100x100mm@HA10  
Béton : C25

**Charge Max. = 3894kN**



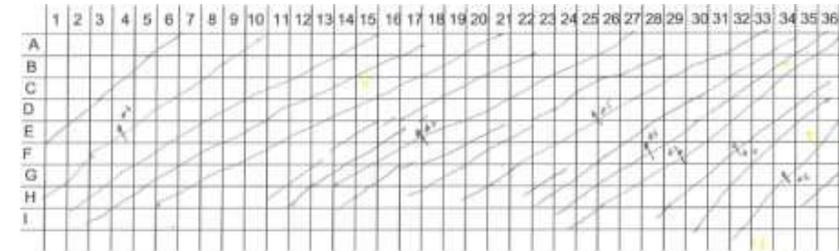
Test n°2 Chargement alterné  
Treillis : 100x100mm@HA10  
Béton : C40

**Charge Max. = 4381kN**



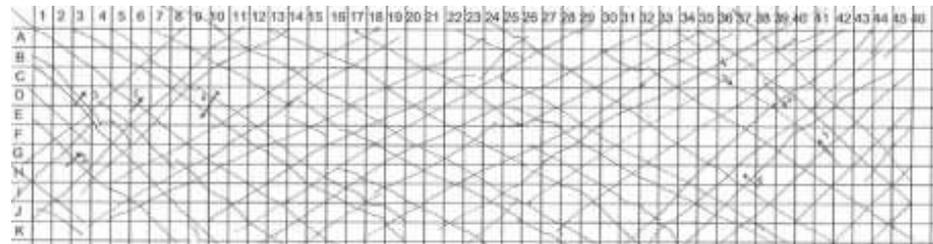
Test n°3 Chargement unidirectionnel  
Treillis : 100x100mm@HA10  
Béton : C40

**Charge Max. = 4710kN**



Test n°4 Chargement alterné  
Treillis : 80x80mm@HA8  
Béton : C40

**Charge Max. = 4238kN**

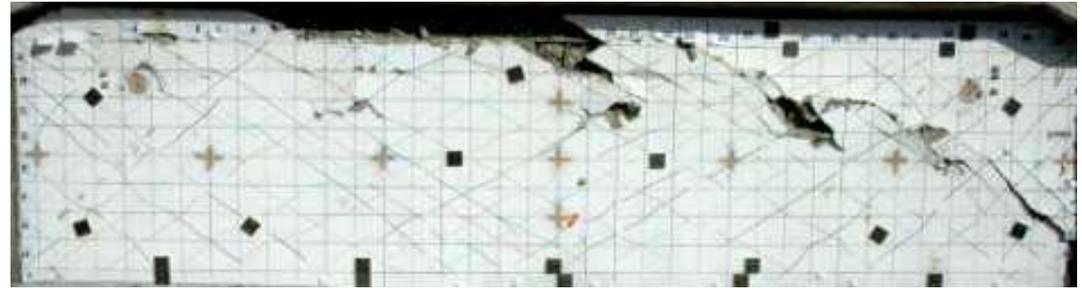


## ► Photos des voiles après essais

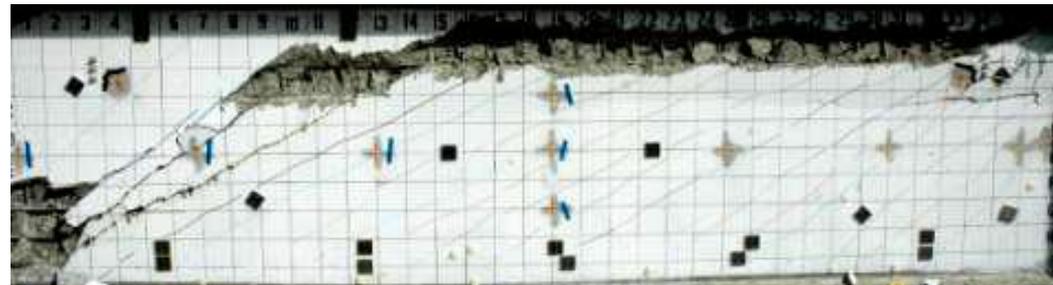
Test n°1 Chargement alterné  
Treillis : 100x100mm@HA10  
Béton : C25



Test n°2 Chargement alterné  
Treillis : 100x100mm@HA10  
Béton : C40



Test n°3 Chargement unidirectionnel  
Treillis : 100x100mm@HA10  
Béton : C40



Test n°4 Chargement alterné  
Treillis : 80x80mm@HA8  
Béton : C40



## 1 barre (4 poutres)

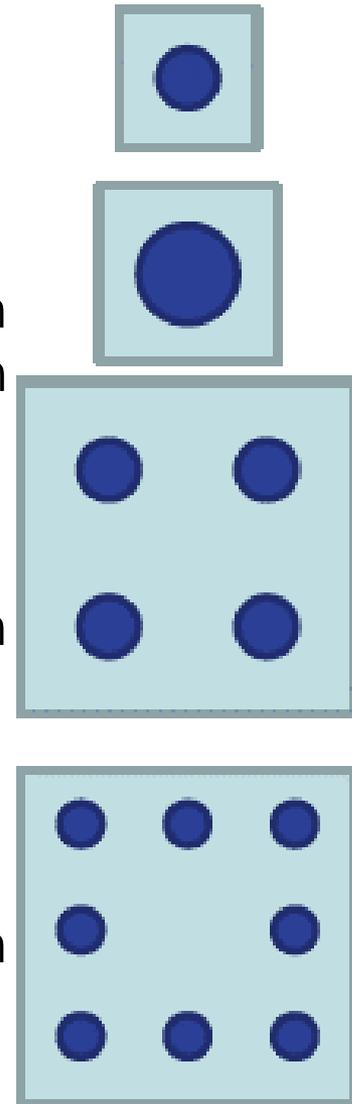
- 1  $\Phi 25$  / dimensions béton 135 x 135 x 3200 mm
- 1  $\Phi 40$  / dimensions béton 170 x 170 x 3200 mm

## • 4 barres (3 poutres)

- 4  $\Phi 25$  / dimensions béton 355 x 355 x 3200 mm
- Avec et sans cadres  $\Phi 8$

## • 8 barres (2 poutres)

- 8  $\Phi 16$  / dimensions béton 355 x 355 x 3200 mm
- avec cadres  $\Phi 8$



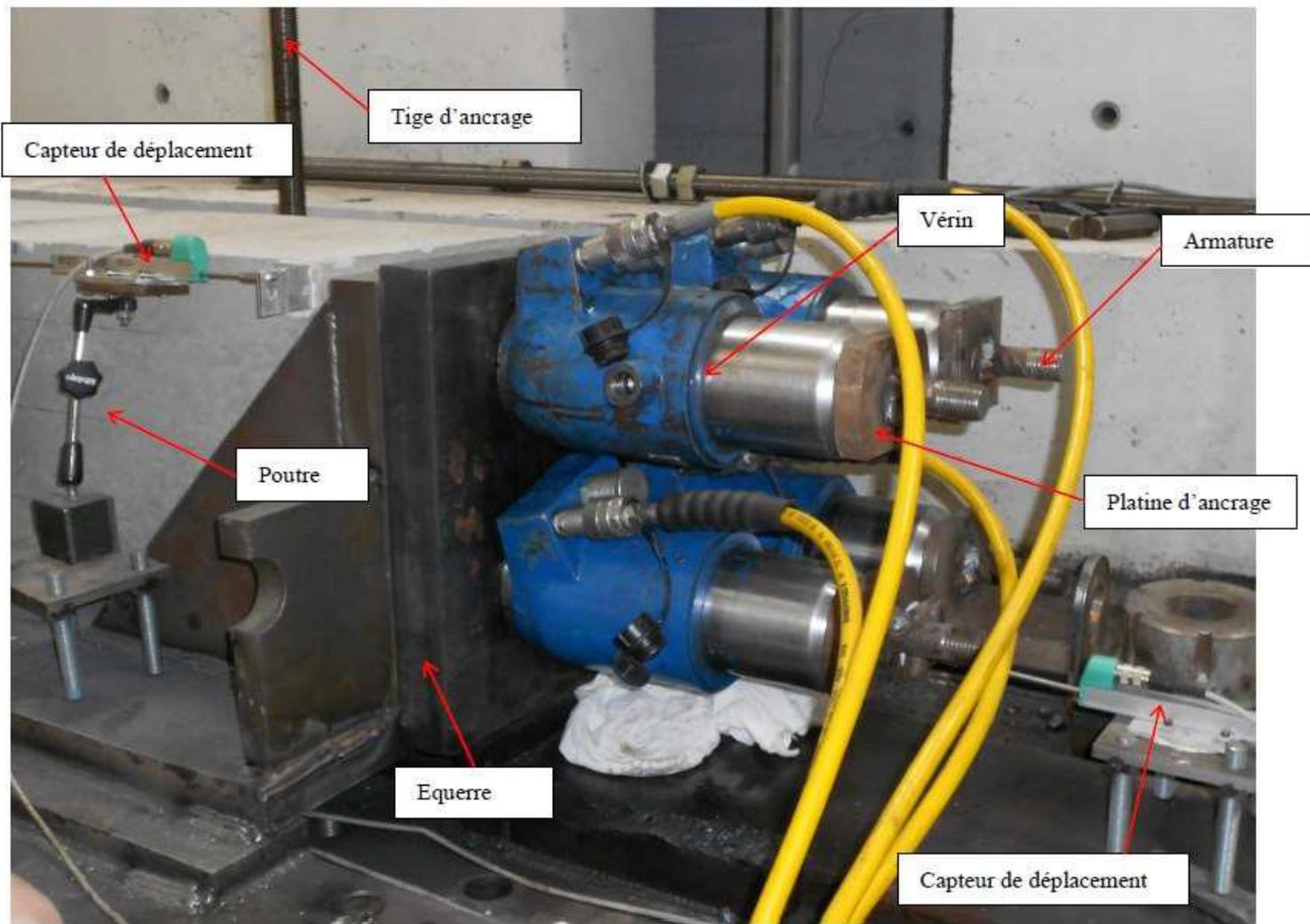
## ► Caractéristiques des armatures

Tie	1 $\phi$ 40	1 $\phi$ 25	4 $\phi$ 25	8 $\phi$ 16
Diameter	40	25	25	16
Yield strength (MPa)	533	537	552	529
Modulus (GPa)	197	215	211	202

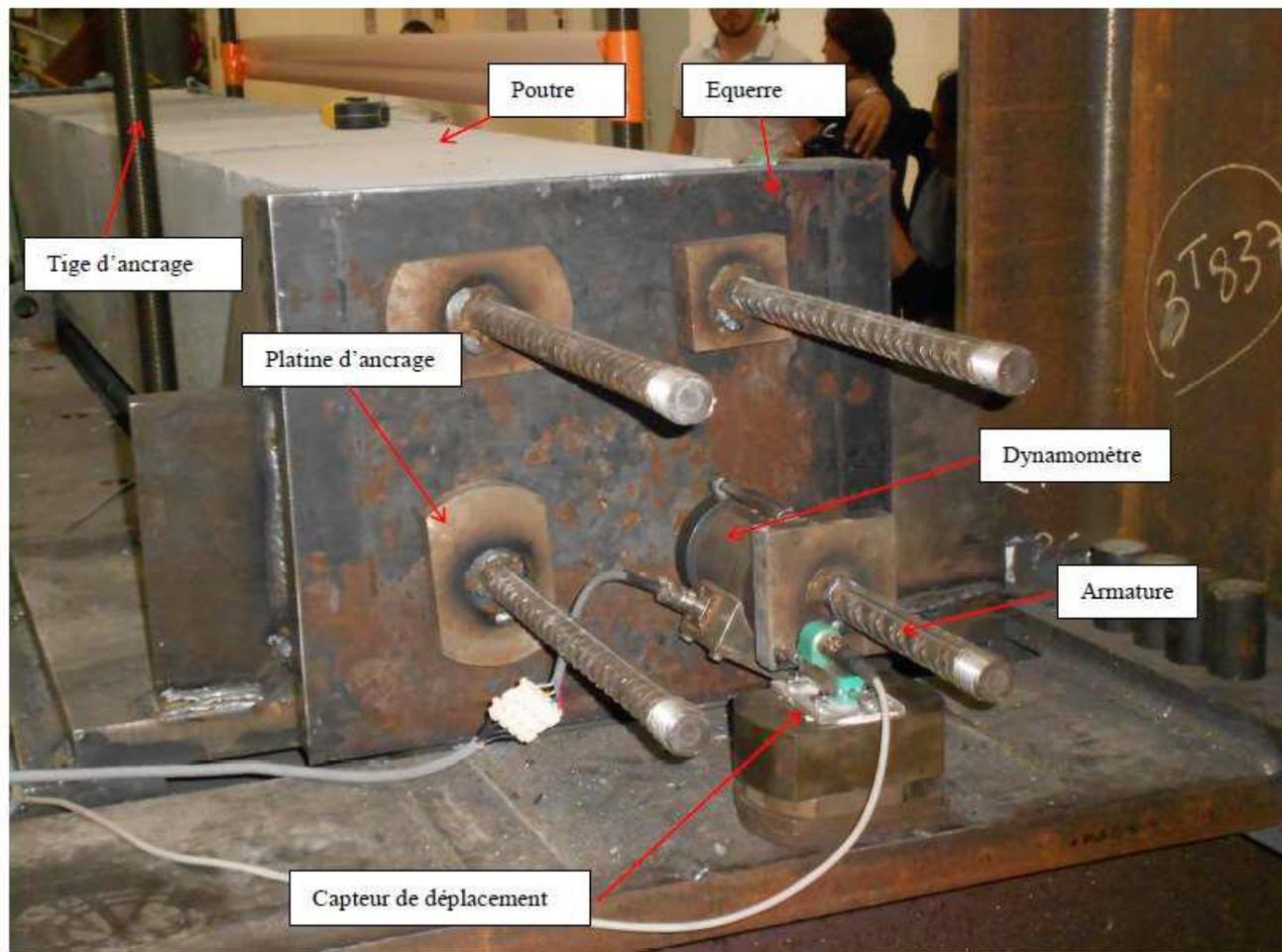
## ► Caractéristiques des bétons

Tie	170x170	135x135	355x355
f <sub>ctm</sub> (MPa)	3,5	3,4	3,3
f <sub>cm</sub> (MPa)	48	46	44

► Bâti d'essais



► Bâti d'essais

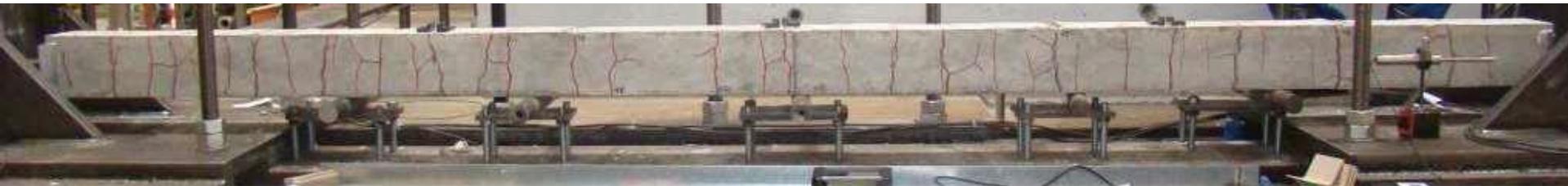


## ► Relevés de fissuration

- 1  $\Phi 40$  , section 170x170



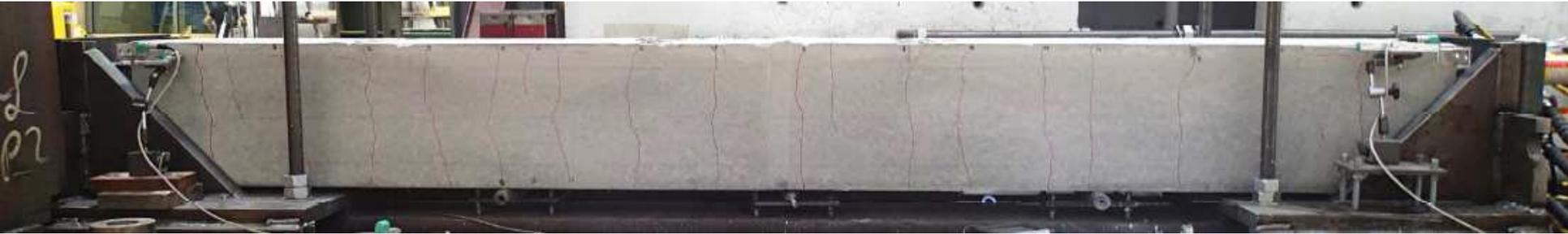
- 1  $\Phi 25$  , section 135x135



- 4  $\Phi 25$  , section 355x355



- 8  $\Phi 16$  , section 355x355



- Mesures des ouvertures (fissuromètre) et espacements + DIC

Ties	1 $\Phi 40$		1 $\Phi 25$		4 $\Phi 25$			8 $\Phi 16$	
N°	4	5	9	10	1	2	3	4	5
Crack Spacing (mm)	284	253	245	236	314	335	373	260	267



- ▶ Valorisation des données expérimentales fiabilisées sur portail internet avec accès sur demande aux membres de CEOS.fr



The screenshot shows the SIMON-e website interface. At the top, there is a banner with various images of structures and the text "Veille sur vos structures". Below the banner is the SIMON-e logo and the text "Système d'Information de Monitoring par Internet". The main content area is divided into two columns. The left column has a "Présentation" section with a description of the service and a "Références" section with a link to a bridge project in Tunisia. The right column has a "Se connecter" section with input fields for username and password, a "Se connecter" button, and links for "Mot de passe perdu ou oublié ?" and "Obtenir un accès de démonstration".

**SIMON-e** by SITES  
Système d'Information de Monitoring par Internet

**Présentation**

SIMON-e © est un service Web offert aux gestionnaires et aux maîtres d'ouvrages. Il leur permet de connaître la santé de leurs bâtiments, ponts, monuments..., en accédant aux informations de monitoring, 24/24H, 7/7J et en tout lieu.

**Références**

Ouvrage : Pont de Rades la Goulette  
Localisation : Tunisie

**Se connecter**

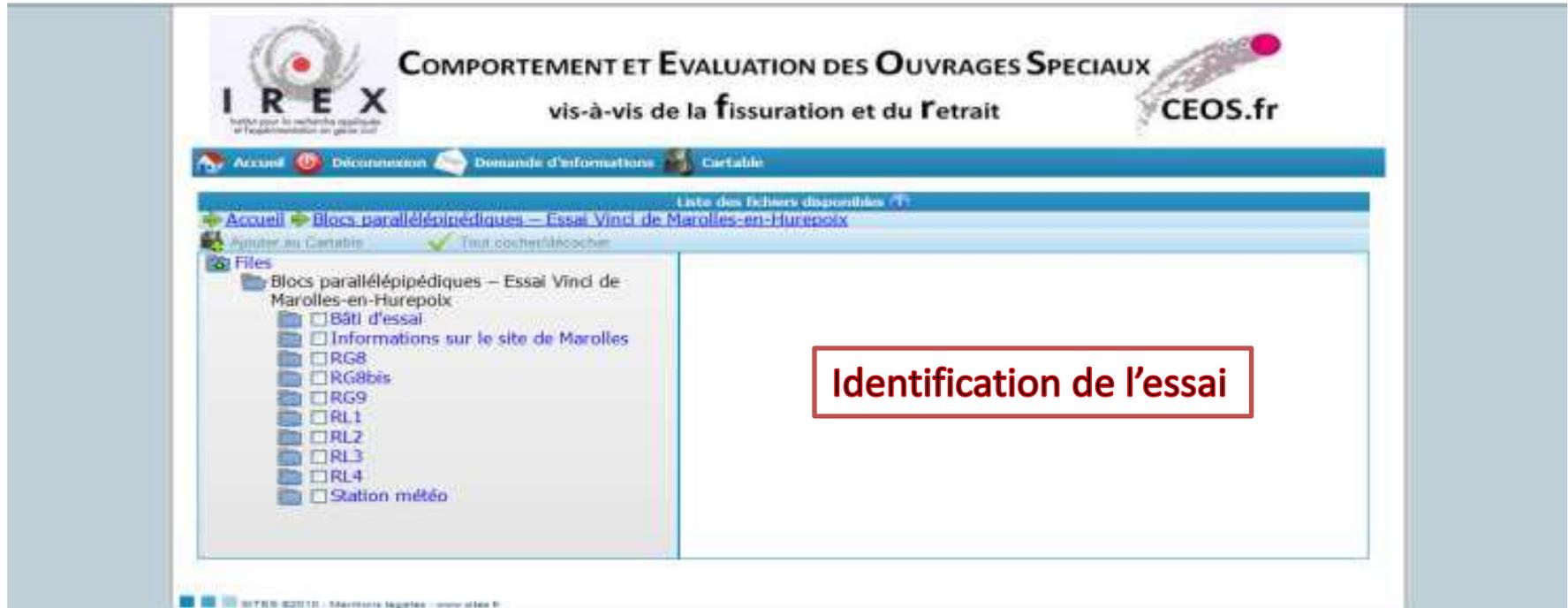
Nom d'utilisateur :

Mot de passe :

**Se connecter**

[Mot de passe perdu ou oublié ?](#)  
[Obtenir un accès de démonstration.](#)

SITES ©2010 - Mentions légales - www.sites.fr



**IREX** COMPORTEMENT ET EVALUATION DES OUVRAGES SPECIAUX  
vis-à-vis de la fissuration et du retrait

Accueil Déconnexion Demande d'informations Cartable

Liste des fichiers disponibles

Accueil Blocs parallélépipédiques – Essai Vinci de Marolles-en-Hurepoix

Ajouter au Cartable Tout cocher/décocher

Files

- Blocs parallélépipédiques – Essai Vinci de Marolles-en-Hurepoix
  - Bâti d'essai
  - Informations sur le site de Marolles
  - RG8
  - RG8bis
  - RG9
  - RL1
  - RL2
  - RL3
  - RL4
  - Station météo

Identification de l'essai



Accueil Déconnexion Demande d'informations Cartable

Liste des fichiers disponibles

Accueil Blocs parallélépipédiques – Essai Vinci de Marolles-en-Hurepoix RG8bis

Ajouter au Cartable Tout cocher/décocher

Blocs parallélépipédiques – Essai Vinci de Marolles-en-Hurepoix

- RG8bis
  - Etalonnage des capteurs de pression
  - Etalonnage des vérins
  - Fissuration Advitam
  - Plans de ferrailage
  - Procédure d'essai

Données\_Bloc\_RG8bis.xls  
Fichier\_capteurs\_Bloc\_RG8bis.xls  
Fichier\_événements\_Bloc\_RG8bis\_indice1.pdf  
Plans\_d'instrumentation\_Bloc\_RG8bis.pdf

Nature du fichier de données

Fichiers de données

## ► « Densité » d'instrumentation

- **Objectif du PN** : analyse et compréhension de la fissuration d'ouvrages « spéciaux »
- **Ouvrages « hors normes », massifs/épais** : besoin d'une instrumentation importante pour une description du comportement THM ; capteurs à cœur et en surface des corps d'épreuve



## ► Durée et planning d'essais : $\geq 2$ ans

- contrôle des conditions atmosphériques pour les intégrer dans l'analyse des données (toutes saisons) : mise en place d'une station météorologique
- « protection » des corps d'épreuves



## ► Mesures THM

- contrôles détaillés et variés du 'T' et du 'M'
- manque de données sur le 'H'

- ▶ Mesures et contrôle de tous les éléments mis en place
  - corps d'épreuves, bâtis, butons, environnement
  - ~ 3 250 000 mesures...



- ▶ Eprouvettes libres / QAB
- ▶ **Eprouvette libre** cylindrique  $\varnothing 16 \times L 32$  cm instrumentée avec ECV ; placée à proximité de l'ouvrage de façon à subir les mêmes conditions environnementales que l'ouvrage
- ▶ **Eprouvette QAB** cylindrique  $\varnothing 16 \times L 32$  cm instrumentée avec ECV dans un caisson isolé



## ► ECV

- Extensomètres à cordes vibrantes : REX sur ~60 ans
- Sensibles au retrait, au fluage ; seuil d'ouverture détecté ~200  $\mu\text{m}$  avec une précision de 10  $\mu\text{m}$
- Calibration corps d'épreuve vs éprouvette témoin (éprouvettes libres et QAB)

## ► FO

- Capteurs à fibre optique : qualifications et validations en environnements contrôlés et *in situ*
- Capteurs « base longue » permettant d'intercepter les phénomènes sur un plus grand volume

## ► Mesures par comparaisons :

- Installation **dans** et **sur** les **corps d'épreuve**
- entre des **capteurs de même nature** installés dans différentes conditions et/ou placés sur différents axes dans un corps d'épreuve (identification et orientation des déformations)
- entre **capteurs de natures différentes**

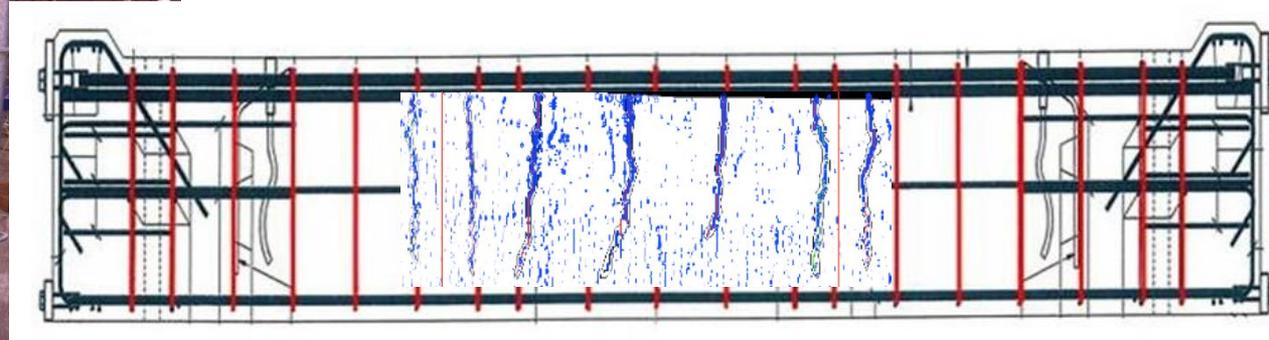
## ► Quantification de la fissuration

- Mesures espacements et ouvertures de fissures



Fissuromètres  
Résolution: 1 / 100 mm

Reconstruction des *pattern* de fissuration par corrélation d'images (DIC)



Les données analysées issues des essais CEOS.fr sont en cours de stockage dans une base spécifique



[http://cheops.necs.fr/fydexbuilder/builder/view\\_list/](http://cheops.necs.fr/fydexbuilder/builder/view_list/)

**16 h 45** Mise à disposition des résultats (S. GHAVAMIAN – NECS)