CEOS.fr

# Recommandation sur l'utilisation des mesures

*Claude Rospars*

18/11/2015

# RECOMMANDATION SUR LES MESURES

- **les mesures sur ouvrage :** indicateur de suivi du bon fonctionnement de l'ouvrage et diagnostique de disfonctionnement
- **Les mesures sur maquette** (démonstrateur): recherche de données spécifiques utiles pour l'ouvrage ciblé:
  - Validation de données THM
  - Validation de réponse mécanique
  - Analyse de la phénoménologie de fonctionnement du corps d'épreuve

Les recommandations présentées résultent de l'expérience acquise au cours du projet national CEOS.fr :

- des blocs massifs avec maturation en retrait libre (blocs RL)
- des blocs massifs avec maturation en retrait gêné (blocs RG) qui ont été testés en flexion 4 points,
- des voiles à l'échelle 1/3 sollicités en cisaillement.

# Mesures = Données géométriques

- Allongement sur une base de mesure
  - Locale, globale (base longue), à cœur ou en surface
- La mesure doit s'apprécier par rapport aux conditions environnementales:
  - Extérieures
  - Intérieures : objets sur lesquels le capteur est posé
- La mesure est parfois absolue (T) souvent relative
- Connaître la gamme de précision des capteurs

**Températures** (T), la **teneur en eau** (H) et **les déformations** (M) du béton d'éléments massifs sont non-uniformes dans une section considérée.

# OBJECTIFS DE L'INSTRUMENTATION

- Mesure de l'évolution thermique de l'ouvrage:
  - Caractériser la phase de maturation
    - Données nécessaires à la compréhension du comportement mécanique = connaissance de l'état du corps d'épreuve en fin de cycle de maturation
      - Mise en place de capteur T (Pt100) sur plusieurs lignes internes pour couvrir plusieurs plans de la pièce
      - Evaluer les conséquences des éventuels gradients internes de température: des microdéformations par extensomètres ECV.
    - Données globales complémentaires pour valider la phénoménologie
- Caractérisation du comportement mécanique du béton de remplissage - Fissuration
  - Distribution des charges mécaniques au cours du temps et sous charge
  - Quantifier les déformations élastiques et la fissuration

# OBJECTIFS DE L'INSTRUMENTATION

- Etablir le comportement sous charge et/ou dans le temps
  - Mesure des déformations différées
  - Déformations globales d'intérêt
  - Déformations locales (externes et internes)
  - Caractériser l'endommagement

Un minimum de données initiales doivent être disponibles:
✓ Températures dans toute la pièce,
✓ Eprouvettes témoins de calibrage
✓ Données météorologiques
Une surveillance des capteurs pendant le très jeune âge est nécessaire, notamment pour optimiser le moment du décoffrage et éviter de la fissuration liée aux gradients thermiques.

# L'analyse d'une mesure doit se faire à travers un calcul Quantité mesurée - Donnée mécanique

## Calcul analytique

- Evaluation de la grandeur physique recherchée à partir de la mesure

## Modélisation

- Calcul des grandeurs physiques recherchées non mesurées
- Modélisation : grandeur locale « moyenne » ≠ mesure
- Pertinence des données d'entrée CL
- Vérification = Interprétation
- Evaluations des contraintes : non accessibles par une mesure directe
- Teneur en eau réelle : difficile à appréhende

**Interprétation**
**Diagnostic**

**Expertise**

**Réitérations**

## Observation

- Moyens d'observation
  - ✓ Instrumentation (THM)
  - ✓ Données mesurées
  - ✓ Qualification/Étalonnage
  - ✓ Inspection visuelle

  - ✓ Éprouvettes + essais laboratoire
  - ✓ Essais destructifs complémentaires

  ….

## Température (T)

- Mesures au jeune âge en un maximum de points du corps d'épreuve car elle influence:
  - les caractéristiques mécaniques du béton
  - Les caractéristiques physico-chimiques
  - Un usage de capteurs peu intrusifs et donnant une valeur absolue de température est préconisé (type Pt 100)
- Préconisations pour le décoffrage **pour les ouvrages épais**:
  - Vérifications des températures au sein de la pièce avant décoffrage

**REX de CEOS**

- **Ecart entre $T_{ext}$ et $T_{surf}$ ne doit pas excéder 40°C**
- **Gradient T interne ne doit pas excéder 10°C / 0,5m**
- **Le ferraillage doit être adapté à la reprise des charges consécutives au gradient thermique**

## Teneur en eau (H)

- La teneur en eau pilote le comportement mécanique:
  - Retraits
  - Modification du comportement élastique
  - Fluage
- Au delà de la phase de durcissement :
  - Permet de quantifier la part du retrait hydrique de dessiccation du fluage mécanique du béton

Pas de mesures de teneur en eau sur CEOS.fr

Moyens de mesures en cours de qualification:

- TDR (Mesure de la réflexion d'ondes ou fréquentielles)
- Pulse (Ecole Centrale Lille)

Capteurs assez volumineux et difficiles à interpréter

## Mesures déformations locales ECV (M)

- Mesures de dilatation et de retrait au jeune âge avec une répartition globale des capteurs dans la pièce.
- Le retrait n'est pas homogène dans un corps d'épreuve épais

**Mesures locales réparties dans la zone d'étude**

**Utilisation de capteur ECV + Pt 100**

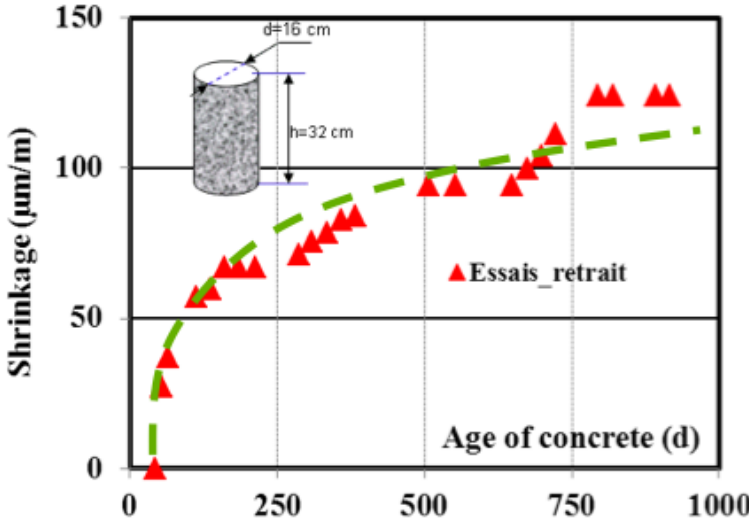
- Spécification d'éprouvettes Libres et QAB pour caractériser le béton au très jeune âge

Aide à la détection de la **microfissuration** par comparaison mesures in-situ / éprouvettes témoins

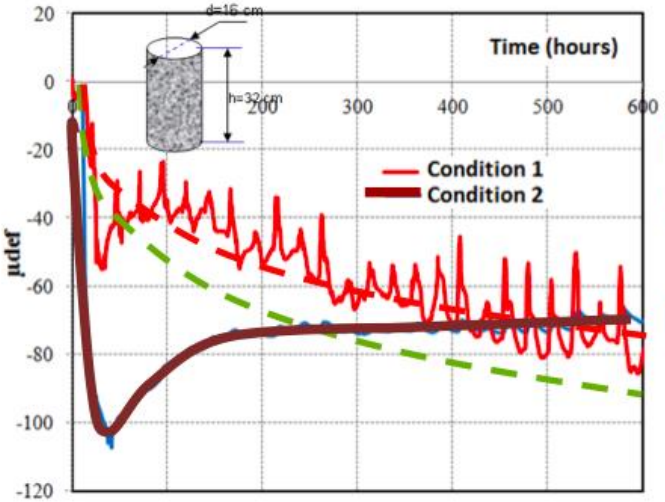
Eprouvettes Libres et QAB en attente le long d'un corps d'épreuve

## Evolution des retraits, du module d'élasticité (M)

- Utilisation d'éprouvettes témoins pour caractériser par des essais destructifs l'évolution du module du béton
- Essais à l'anneau
- Essais complémentaires en laboratoire à un instant t
- ……




Retrait endogène à 20°C




Déformation CV dans éprouvette in situ

Déformations CV QAB

Retrait libre mesuré en laboratoire

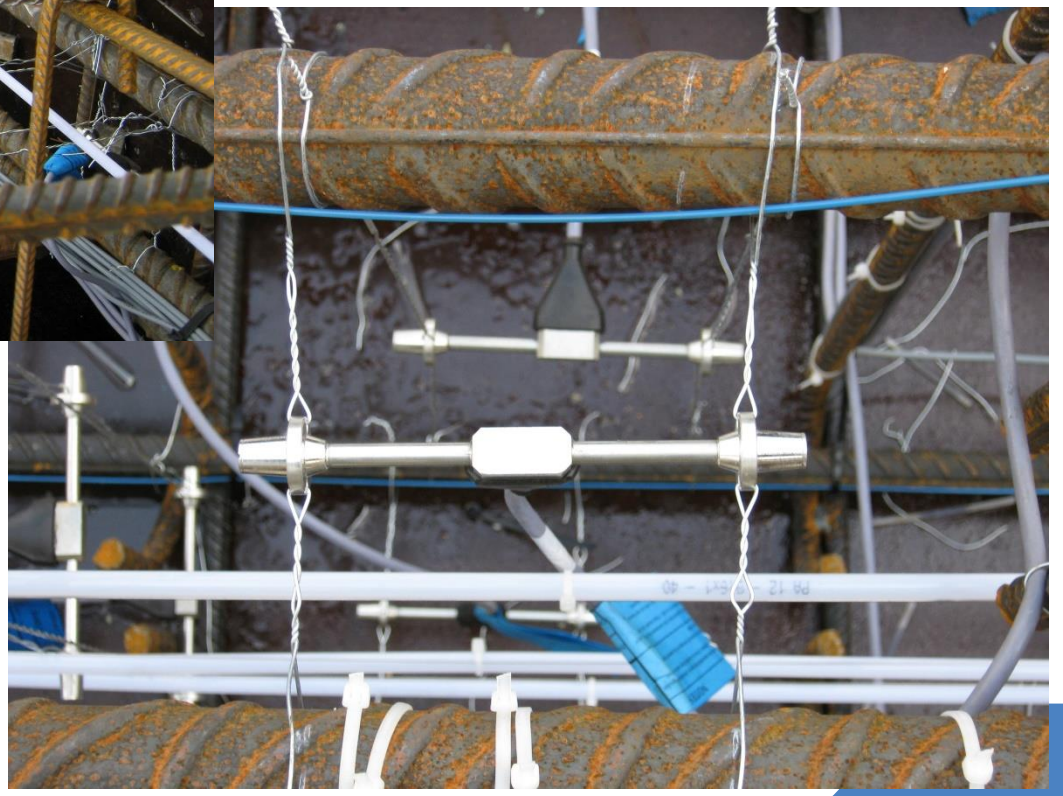
## ▶ Sélection des mesures (démonstrateur)

| Paramètre à mesurer | T ou H ou M |
|---|---|
| Caractéristiques des conditions physiques au moment du bétonnage et au jeune âge (maturation du béton 8 j) | T : 8°C à 70°C maxi (interne, environnement, externe)<br>H : teneur en eau, pression hydrostatique maxi (hauteur levée de bétonnage)<br>M : pression sur le corps du capteur (hauteur levée de bétonnage et chocs au déversement du béton), mesures des capteurs béton solide<br>C : pH 13,5, béton liquide |
| Performance métrologique du moyen sélectionné | Fiche technique complète du moyen de mesure du constructeur et raccordement métrologique |
| Conditions de mise en œuvre | Cahier des charges et plans des positions des capteurs<br>Mesures initiales des T + Météo |
| Nombre de mesures à effectuer | A adapter entre la phase de maturation et celle du suivi ou de l'essai |

**Paramètres en interaction**

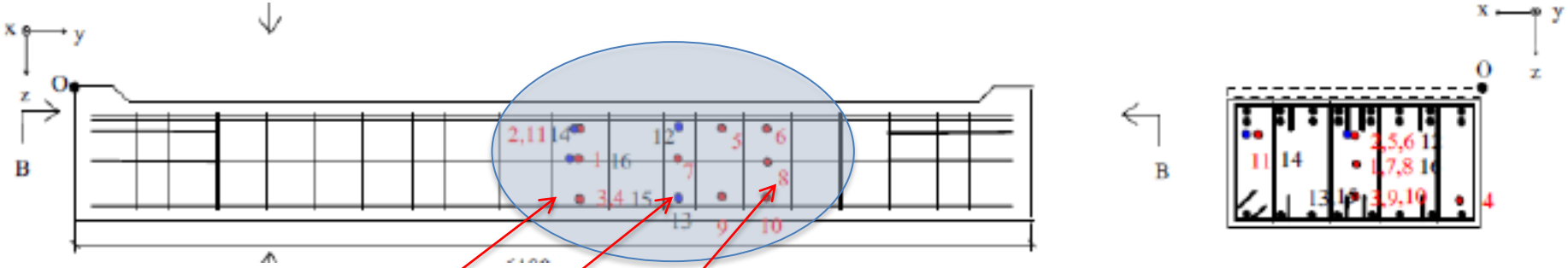
**Attention au surnombre de capteurs (intrusivité)**

# MESURES DES PARAMÈTRES : T, H, M



# MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE DES MESURES : EXEMPLE

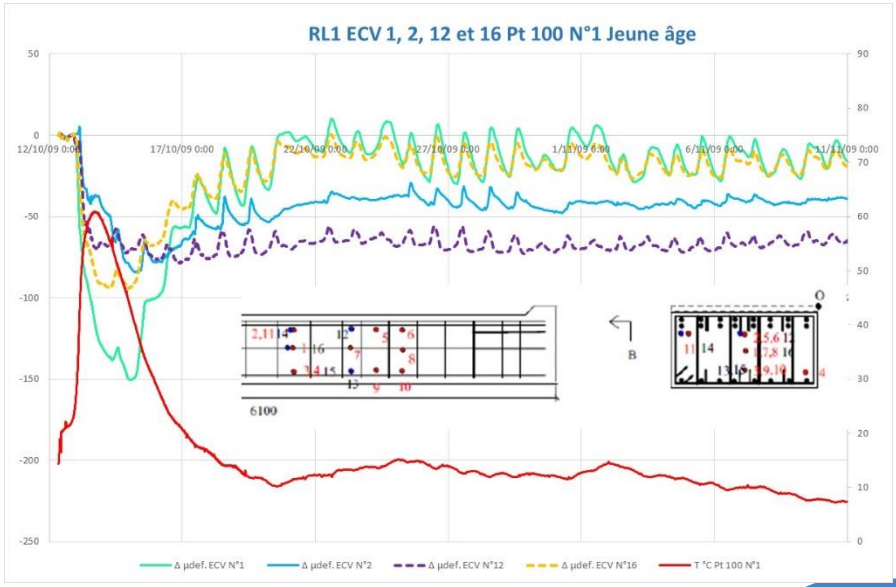
## ▶ Principe d'instrumentation des poutres :



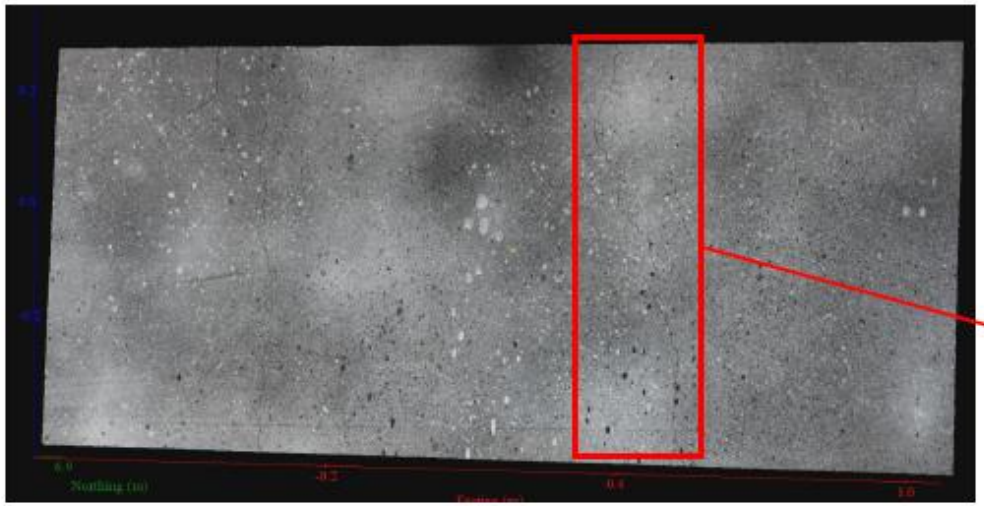

**Instrumentation de la moitié de la poutre:**

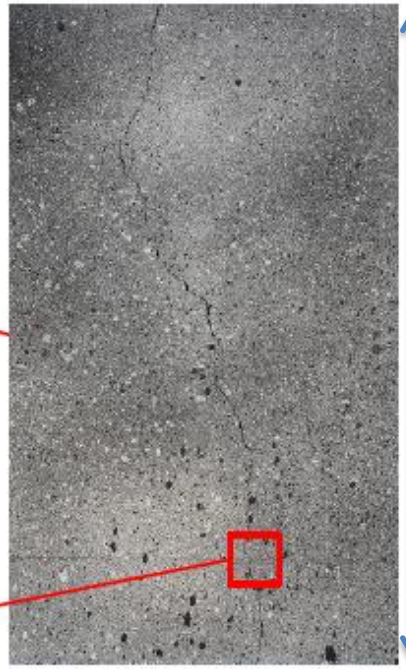
- 3 zones : centre poutre, fin de la zone de moment constant + milieu
- 3 lignes de capteurs: cœur, haut et bas
  - ECV (longitudinal et transverse) + Pt100
  - Répartition latérale face gauche et droite à cœur et en surface

**Exemple** : Comparaison ligne de cœur et surface au jeune âge (RL1)



- D.IC. : Optimisation de la méthodologie pour les application sur ouvrages

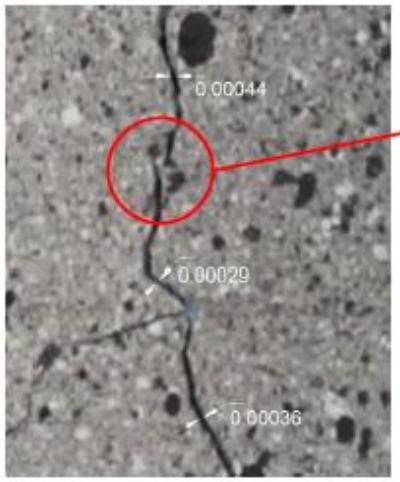




Essais sur Tirants

30 cm

wing crack




- Précision accrue (1/10 µm)
- Statistique sur les ouvertures de fissures en fonction du chargement

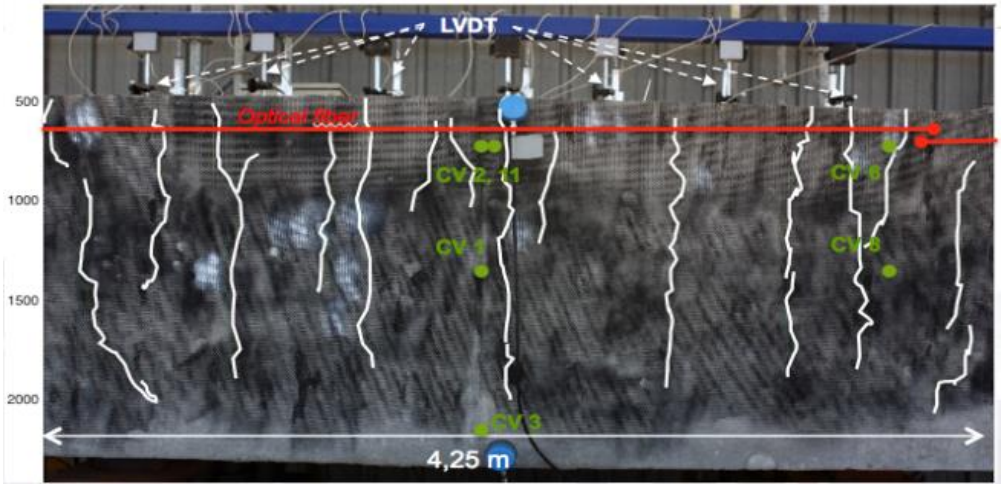
# RECOMMANDATION SUR LES MESURES

- Recommandation pour l'utilisation de la DIC sur ouvrages ou grands corps d'épreuve:
  - Mouchetis pour augmenter les contrastes naturels du béton, sans gradients trop importants (blanc/noir)
  - Mouchetis aléatoire préférable à un motif régulier
  - Cibles fixes (3 minimum) pour repère absolu – Eviter de les placer sur le bati
  - Définition de points homolgues
  - Mesure de l'intensité lumineuse au cours de l'essais

Importance sur des ouvrages d'avoir la position exacte de l'appareil ou d'être en mesure de replacer la photo dans un cadre comparable (position, intensité lumineuse)

- Conclusions : L'instrumentation est le seul moyen en continu permettant:
  - de quantifier l'autocontrainte et sa variation due aux retraits du béton pour déterminer le fluage,
  - d'obtenir le coefficient de dilatation du béton armé,
  - de comparer les comportements physiques dans le temps, des éléments de structure ou des structures en béton armé,
  - de détecter de la fissuration interne dans des éléments massifs en béton armé,
  - d'alimenter en permanence les codes de calculs numériques avec des données réelles,
  - de diagnostiquer l'évolution de l'état de santé d'un ouvrage,
  - de prendre la décision de maintenir l'exploitation ou la maintenance d'un ouvrage,
  - …
  - Le temps de dépouillement et de l'analyses des données est long – **NE PAS LE NÉGLIGER LORS DE LA RÉALISATION D'ESSAIS** sur maquette (3 ans pour CEOS.fr)

# MERCI POUR VOTRE ATTENTION




Grace Hopper, mathématicienne, informaticienne et militaire :

*Une mesure exacte vaut l'avis d'un millier d'experts*