

CFMSG

*Séance du 18 septembre 2002*

**Instrumentation et mesures sur chantier**

**LES CAPTEURS DES PRESSIONS TOTALES :  
EVALUATION EN LABORATOIRE ET IN SITU**

**Valentin DUCA (SPIE FONDATION)**

**recherche menée au LCPC (1997-2001)**

# Plan

---

- **Généralités sur les capteurs de pression totale**
- **Expérimentations en laboratoire**
- **L'expérimentation de la « Trémie Pasteur »**
- **Conclusions**

# Généralités sur les capteurs des pressions totales

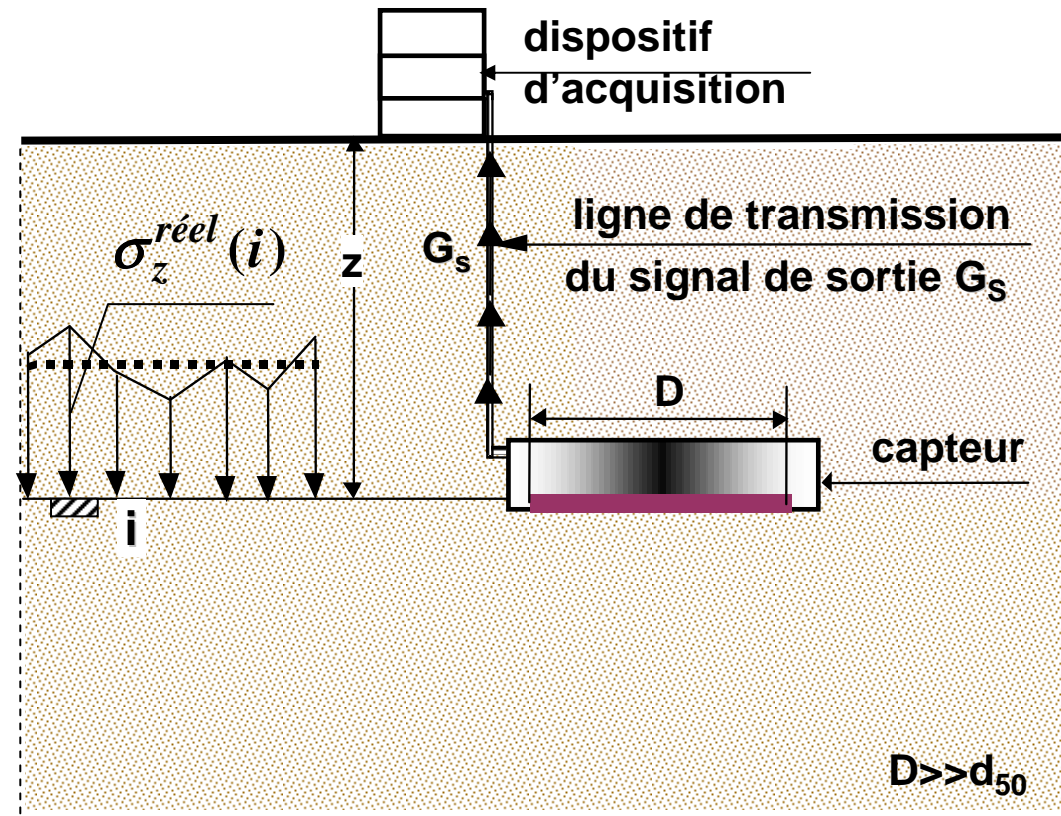
## Mesure de la contrainte moyenne

$$\sigma_z^{th}(z) = \gamma z$$

$$\sigma_z^{réel}(i) \neq \sigma_z^{th}$$

$$\sigma_z^{moyenne}(z) \rightarrow \sigma_z^{th}$$

## Chaîne de mesure

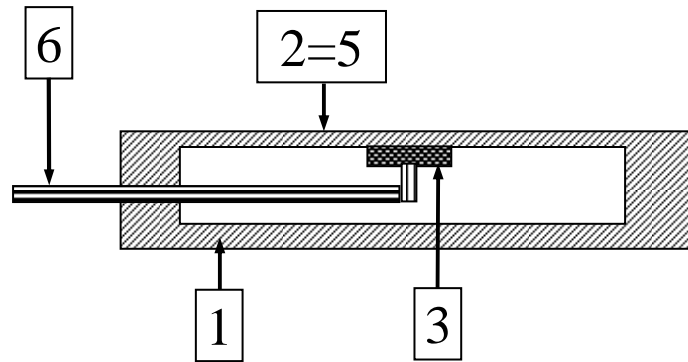


$$\sigma_z^{mesurée} = f(G_s) - \text{étalonnage en milieu fluide}$$

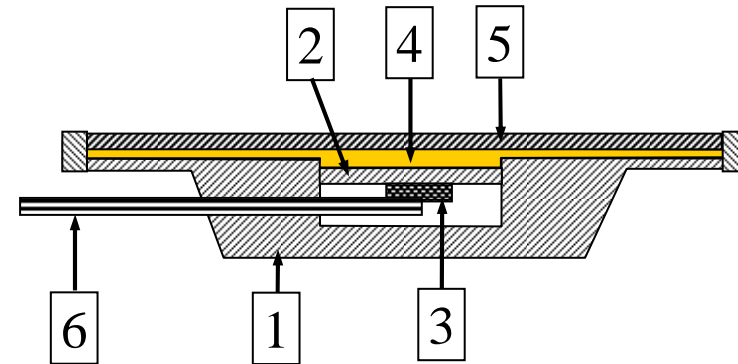
Vice intrinsèque du capteur - **indiscrétion** (perturbation des contraintes à mesurer)

## Deux types des capteurs qui ne se comportent pas de la même façon ...

---



**Capteur à action directe**

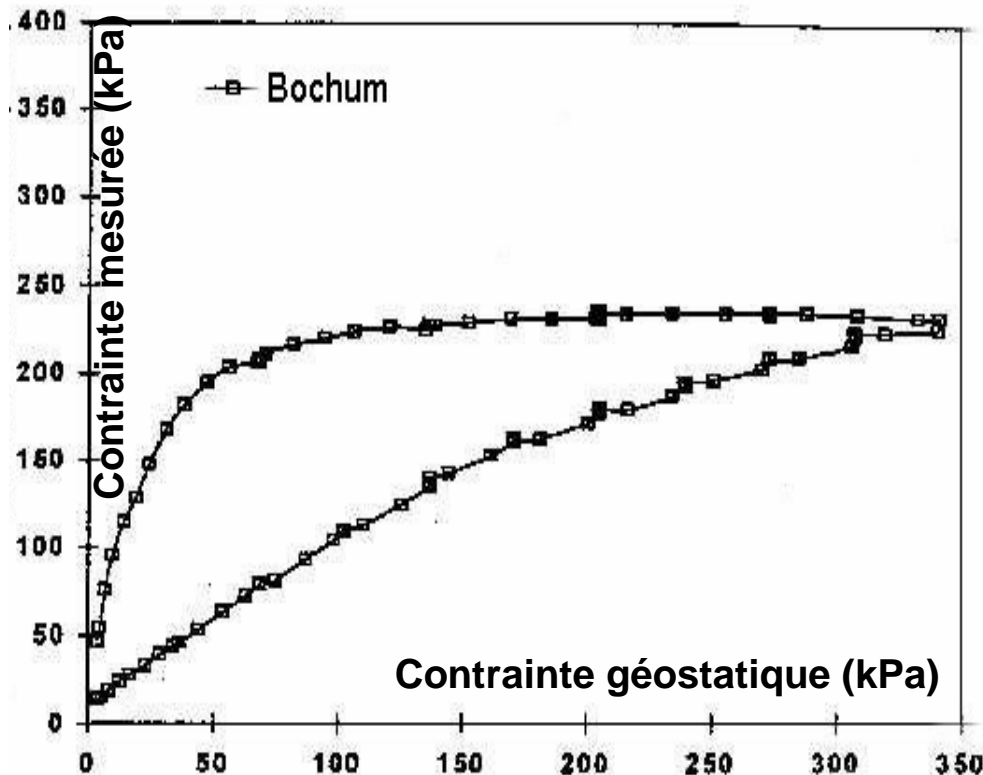


**Capteur à action indirecte**

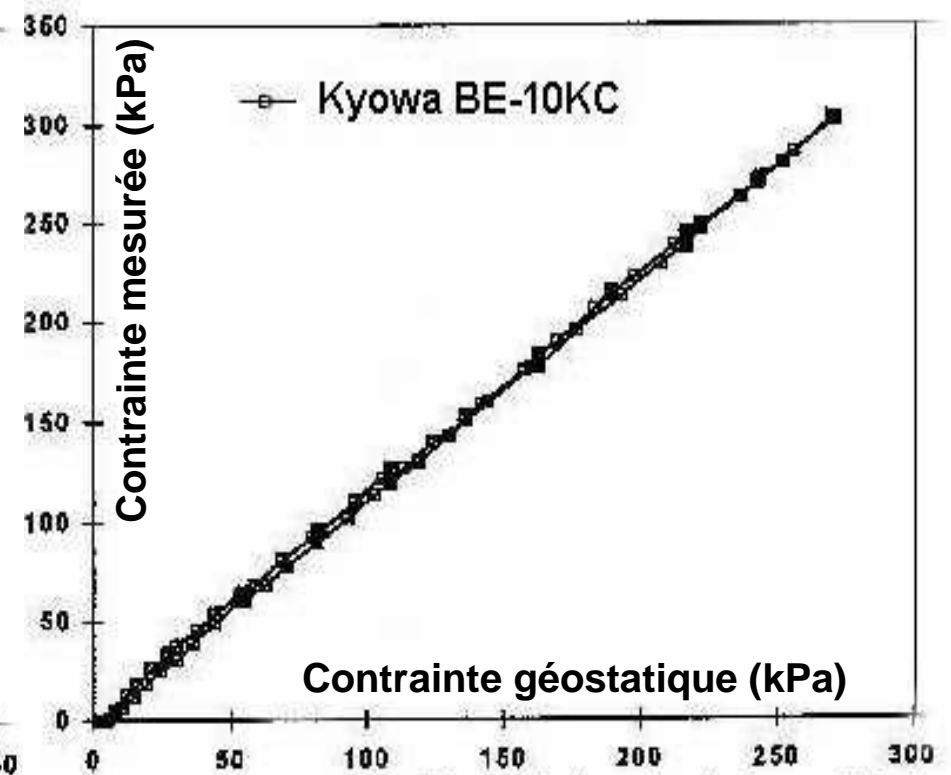
*Légende : 1) Boîtier ; 2) Corps d'épreuve ; 3) Transducteur ;  
4) Espace rempli d'un liquide hydraulique ; 5) Surface active ;  
6) Ligne de transmission*

# La mesure des pressions totales à travers la littérature

## A. Qualification en centrifugeuse des capteurs enfouis dans un sable (Boulebnane, 1996)



a) Capteur à action directe



b) Capteur à action indirecte

# Plan

---

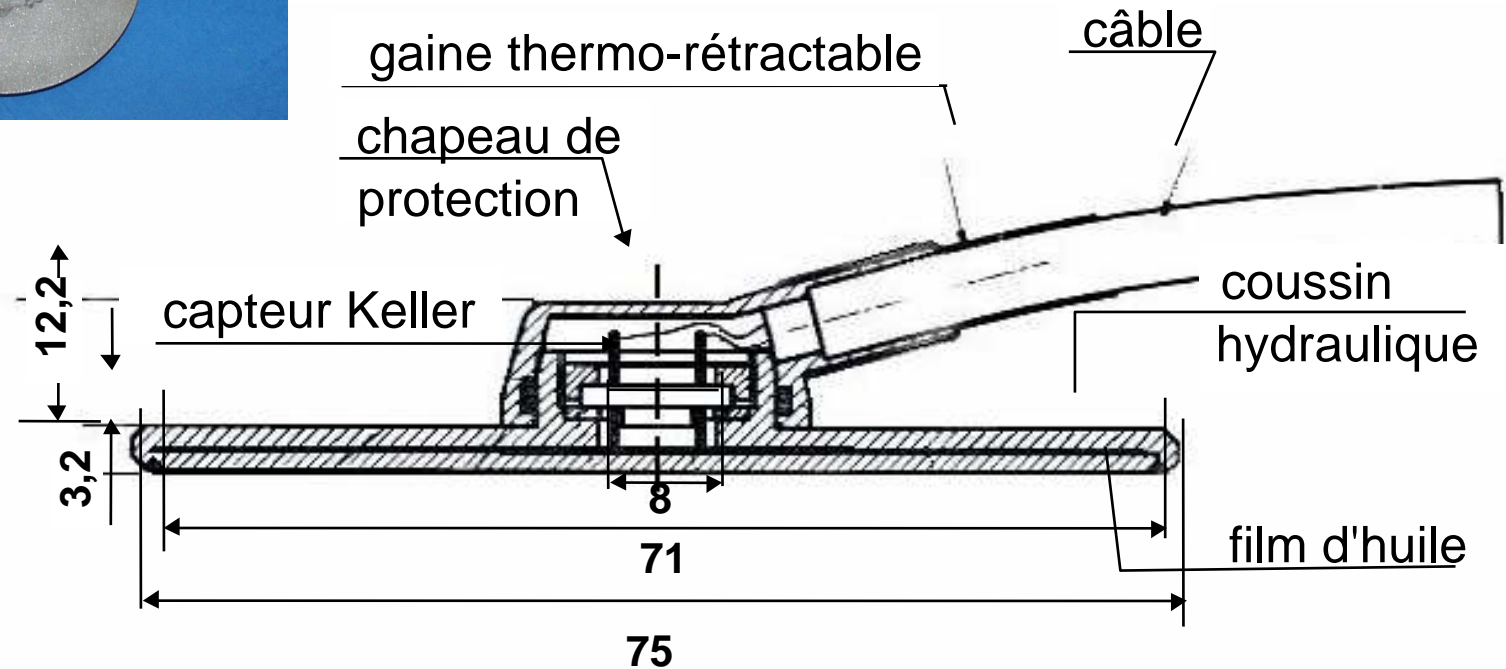
- **Généralités sur les capteurs de pression totale**
- **Expérimentations en laboratoire**
- **L'expérimentation de la « Trémie Pasteur »**
- **Conclusions**

# Exemple : prototype du CECP d'Angers (P7569)

Vue de dessus



Coupe axiale



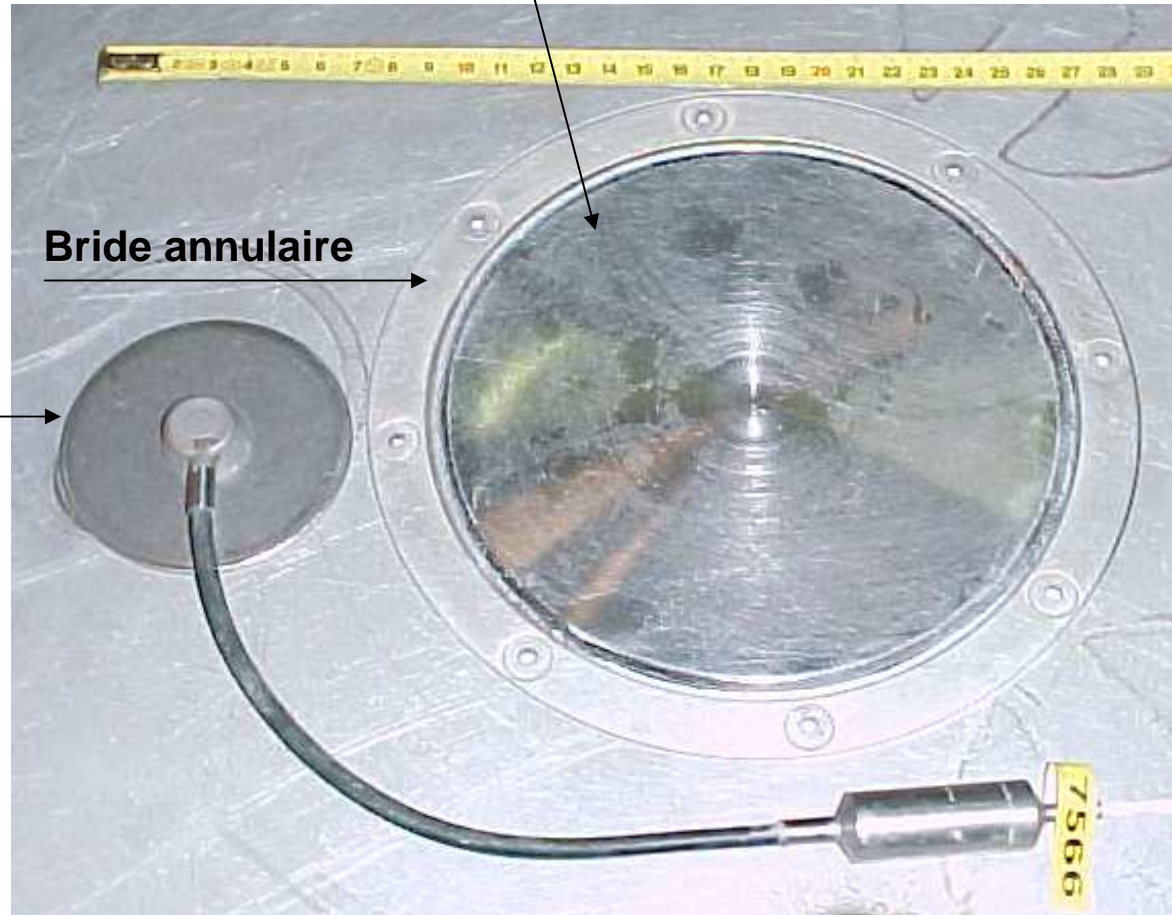
(suite)

---

C. Kyowa BE-F ( $K_2$ )

Bride annulaire

B. Prototype d'Angers  
série 2 (P7566)





# Caractéristiques physiques contribuant à la discrétion

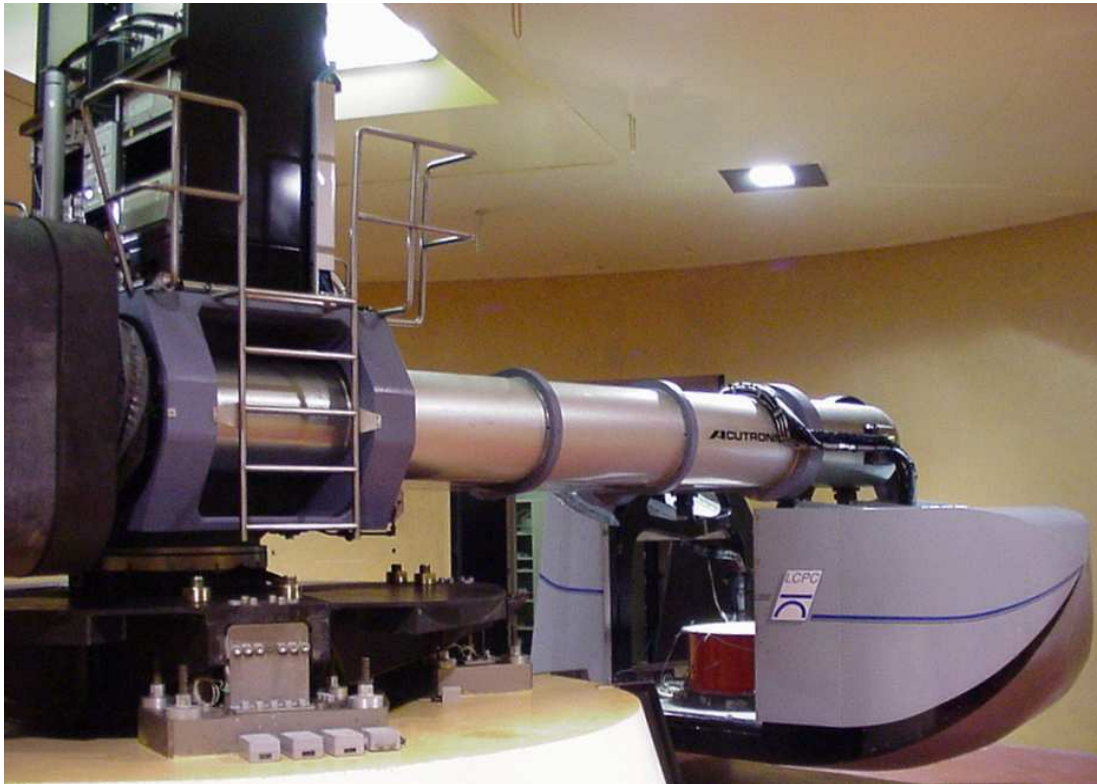
| Capteurs disponibles |                        | Diamètre total (D) (mm) | Epaisseur        |                         |                        | Rapport de forme |             | Raideur surf. active (GPa/m) |     |
|----------------------|------------------------|-------------------------|------------------|-------------------------|------------------------|------------------|-------------|------------------------------|-----|
| Fabricant            | Type                   |                         | coussin (e) (mm) | maximale ( $e_m$ ) (mm) | moyenne ( $e_m$ ) (mm) | (e/D)            | ( $e_m$ /D) |                              |     |
| CECP<br>Angers       | Prototype série 1      | 75                      | 3,2              | 12,2                    | 3,8                    | < 1/23           | < 1/19      | >930                         |     |
|                      | Prototype série 2 et 3 | 75                      | 2,2              | 11,2                    | 2,8                    | <1/34            | <1/26       | >930                         |     |
| Univ. de Brunel      | Prototype              | 75                      | 2                | 12                      | 2,6                    | < 1/37           | < 1/30      | >100                         |     |
| KYOWA                | BE-C                   | 30                      | 6,5              | 9                       | 7,5                    | <1/4,6           | < 1/4       | >1666                        |     |
|                      | BE-M                   | 94                      | 18,2             | 18,2                    | 18                     | <1/5,1           | < 1/5,2     | >625                         |     |
|                      | BE-F *                 | 200                     | 25               | 75                      | 26                     | <1/8             | <1/7        | >295                         |     |
| Slope Indicator      | VW Cell *<br>Jack-Out  | 230                     | 11               | 181                     | 16                     | <1/20            | <1/14       | inconnue                     |     |
|                      |                        |                         |                  |                         |                        | <b>Critères</b>  | < 1/20      | < 1/20                       | >50 |

capteurs d'interface (le critère de limitation du rapport de forme ne s'applique pas)

# Moyens d 'essai en laboratoire

---

Centrifugeuse du LCPC



Chambre triaxiale du CERMES

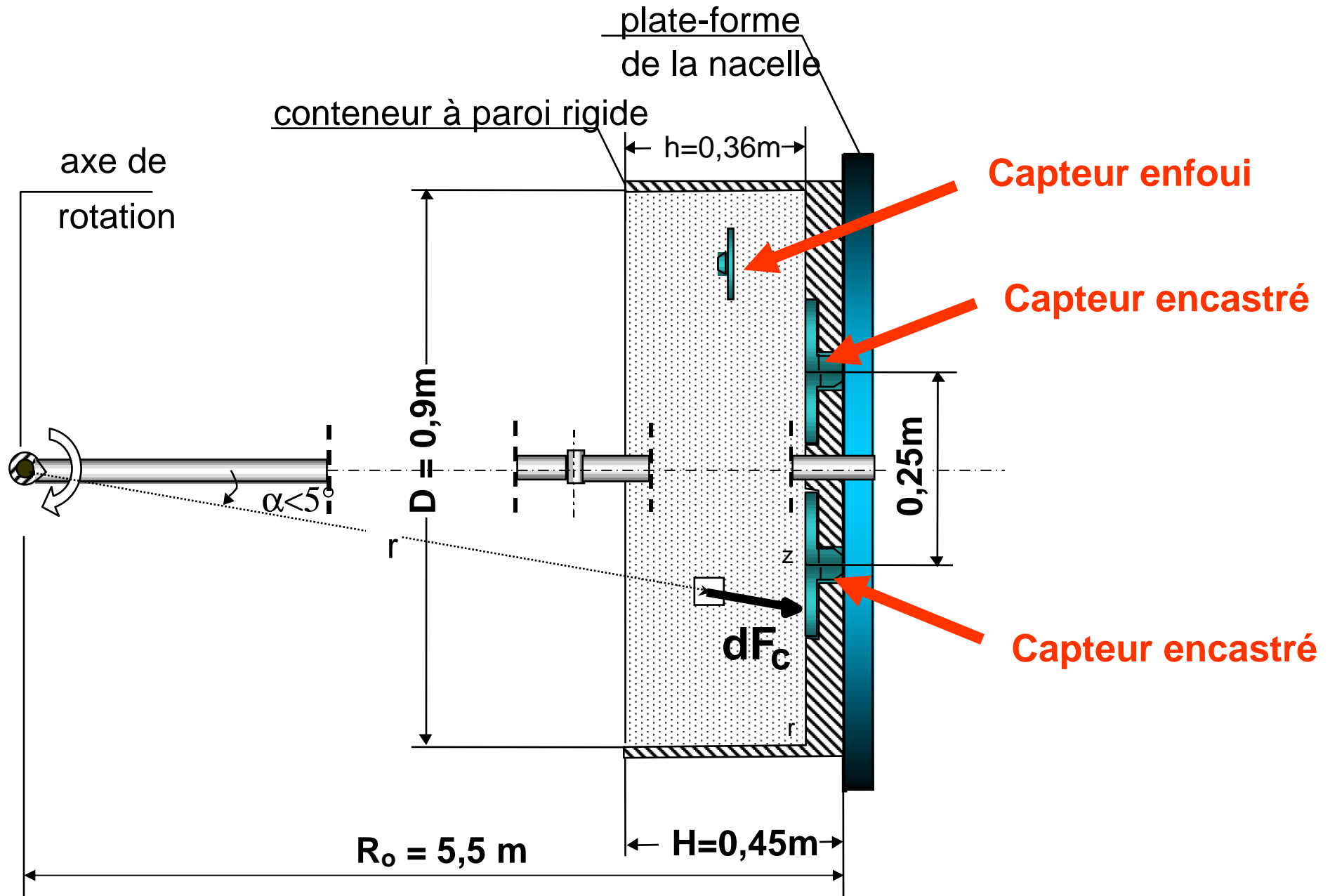


# Conditions d'essai

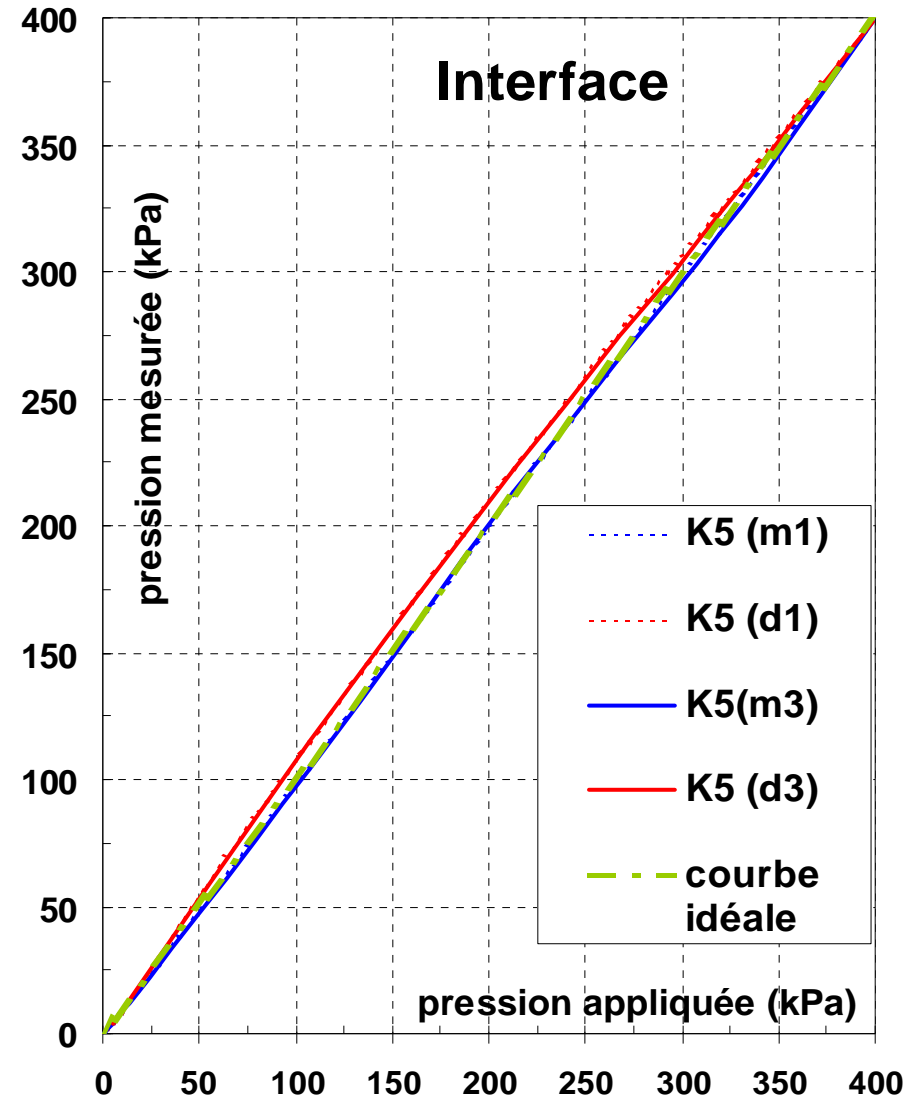
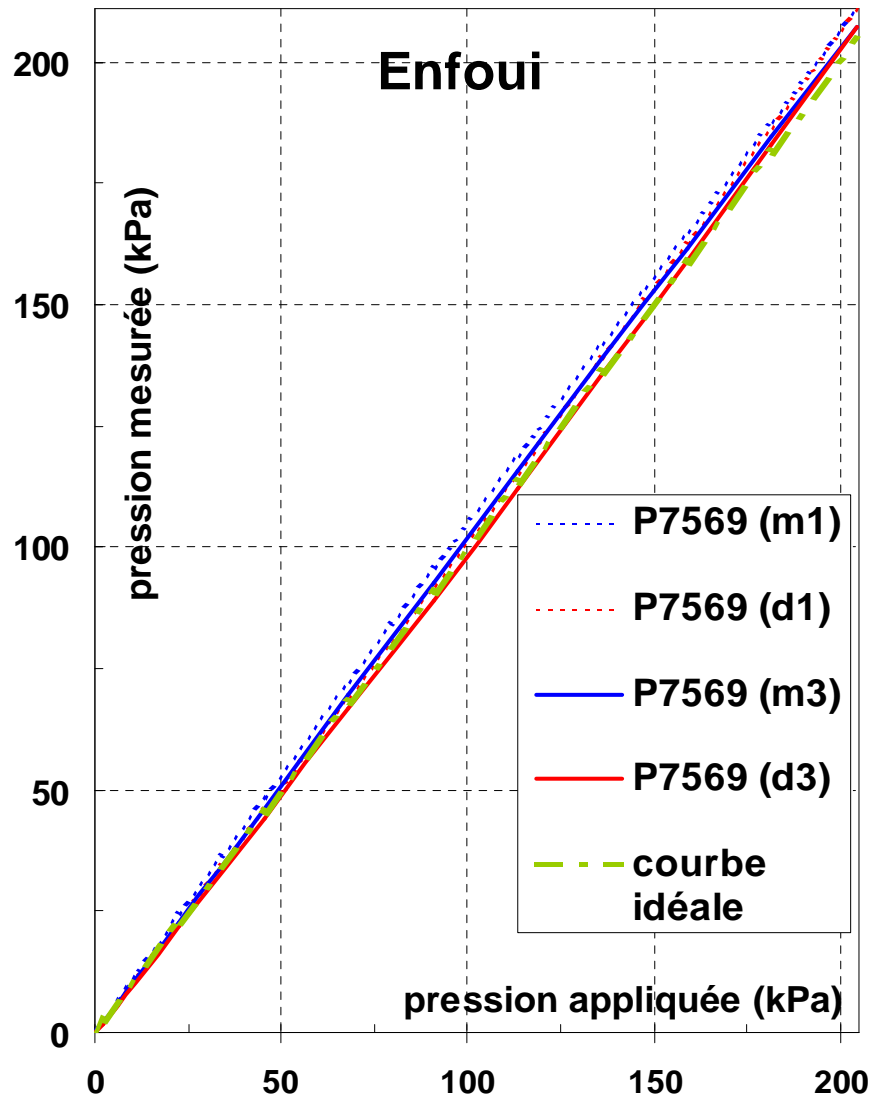
---

- Sable de Fontainebleau ( $d_{50}=0,2$  mm) de granularité uniforme ( $C_u=1,5$ )
  
- Fabrication par pluviation (poids volumique prédéfini,  $\gamma_s= 15,3$  kN/m<sup>3</sup>)
  
- Situations de mesure privilégiées :
  - mesure des contraintes principales agissant dans la zone centrale des échantillons
  
  - mesure des contraintes principales agissant à l'interface des échantillon et d'une paroi rigide
  
- Techniques de mise en place spécifiques pour chaque capteur

# Essai en centrifugeuse



# Essais en centrifugeuse : résultats



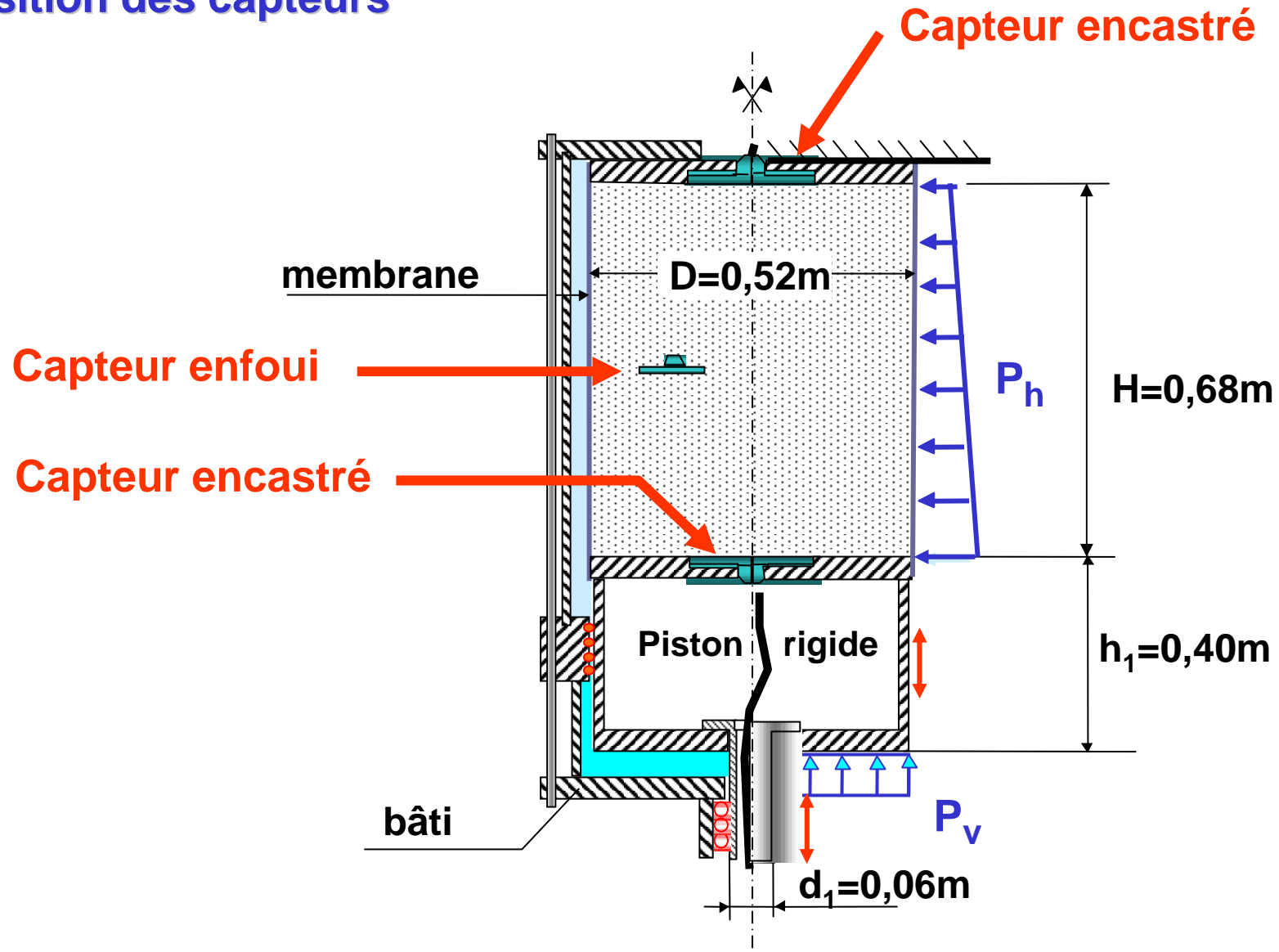
## Tableau des résultats

| Capteur              | Nombre essais | Hystérésis maximale<br>(%EM) | Facteur moyen de variation de la réponse (cycle 2) |            |                |            |                  |              |
|----------------------|---------------|------------------------------|----------------------------------------------------|------------|----------------|------------|------------------|--------------|
|                      |               |                              | montée                                             |            | descente       |            | par type capteur |              |
|                      |               |                              | valeur moyenne                                     | écart type | valeur moyenne | écart type | valeur moyenne   | écart type   |
| <b>P7569</b>         | 9             | <b>1,87</b>                  | 1,084                                              | 0,033      | 1,084          | 0,032      | <b>1,034</b>     | <b>0,056</b> |
| <b>P7571</b>         | 9             | <b>1,41</b>                  | 1,061                                              | 0,032      | 1,058          | 0,027      |                  |              |
| <b>P7563</b>         | 5             | <b>1,20</b>                  | 1,005                                              | 0,036      | 1,009          | 0,042      |                  |              |
| <b>P7565</b>         | 3             | <b>0,90</b>                  | 0,944                                              | 0,012      | 0,940          | 0,009      |                  |              |
| <b>P7566</b>         | 5             | <b>1,50</b>                  | 0,975                                              | 0,016      | 0,979          | 0,013      |                  |              |
| <b>P7507</b>         | 1             | <b>0,62</b>                  | 1,042                                              | -          | 1,036          | -          |                  |              |
| <b>P7509</b>         | 1             | <b>0,92</b>                  | 1,043                                              | -          | 1,034          | -          |                  |              |
| <b>B2</b>            | 6             | <b>2,39</b>                  | 1,019                                              | 0,027      | 0,990          | 0,025      | <b>1,023</b>     | <b>0,043</b> |
| <b>B3</b>            | 6             | <b>2,32</b>                  | 1,065                                              | 0,030      | 1,037          | 0,026      |                  |              |
| <b>B4</b>            | 4             | <b>2,46</b>                  | 1,015                                              | 0,020      | 0,985          | 0,016      |                  |              |
| <b>B5</b>            | 6             | <b>2,32</b>                  | 1,039                                              | 0,058      | 1,016          | 0,050      |                  |              |
| <b>5KC*</b>          | 7             | <b>1,35</b>                  | 1,141                                              | 0,056      | 1,143          | 0,057      |                  |              |
| <b>10KC*</b>         | 7             | <b>1,21</b>                  | 1,210                                              | 0,091      | 1,214          | 0,095      | <b>1,177</b>     | <b>0,084</b> |
| <b>M9</b>            | 2             | <b>2,29</b>                  | 0,981                                              | 0,013      | 0,979          | 0,007      |                  |              |
| <b>M10</b>           | 1             | <b>1,05</b>                  | 0,894                                              | -          | 0,894          | -          |                  |              |
| <b>K<sub>2</sub></b> | 4             | <b>2,90</b>                  | 0,977                                              | 0,011      | 0,960          | 0,013      | <b>0,979</b>     | <b>0,017</b> |
| <b>K<sub>5</sub></b> | 4             | <b>3,40</b>                  | 1,007                                              | 0,016      | 0,985          | 0,016      |                  |              |

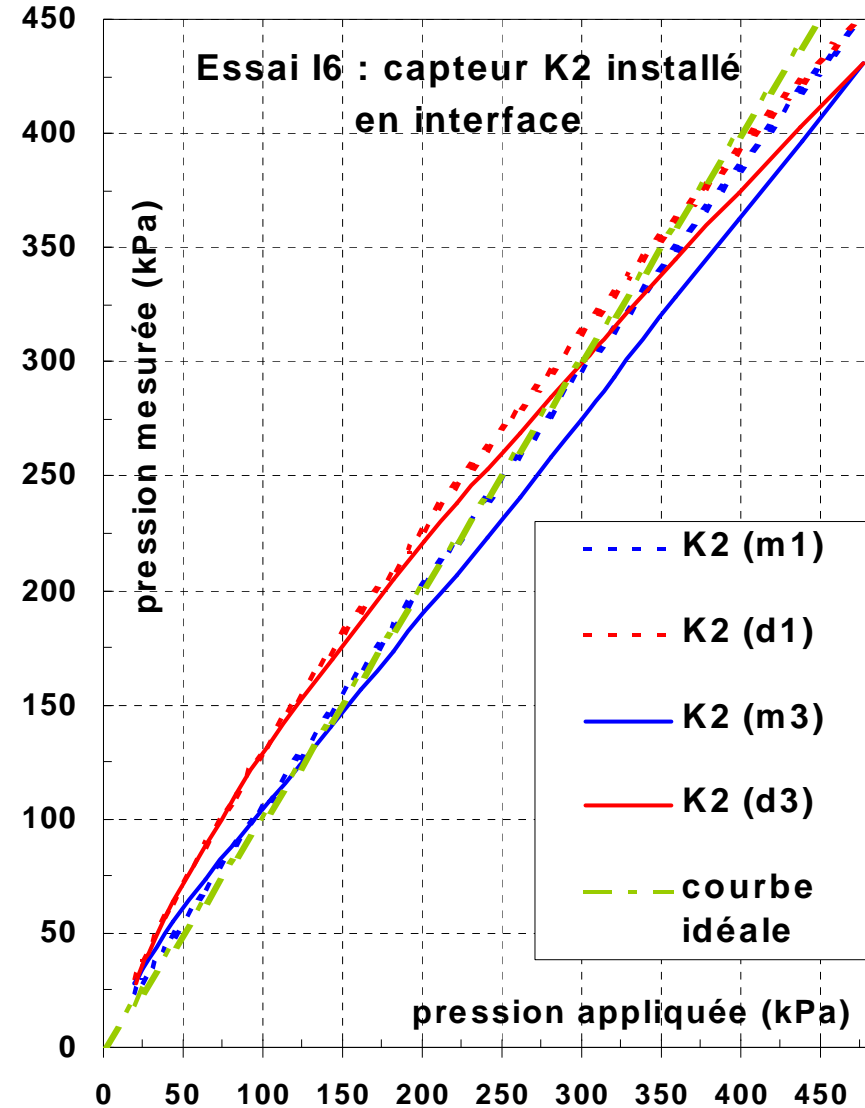
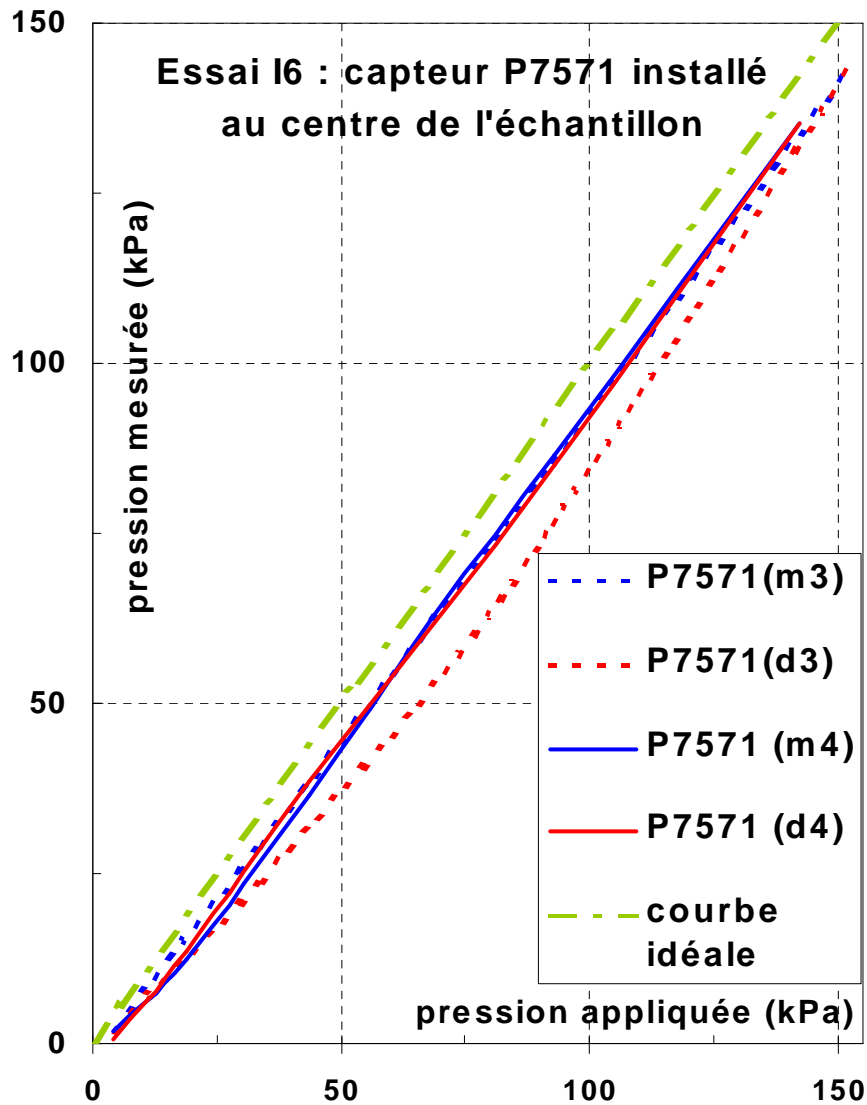
\*- résultats de l'expérimentation A1 exclus de l'analyse statistique.

# Essais en chambre triaxiale

## Position des capteurs



# Essais en chambre triaxiale : résultats



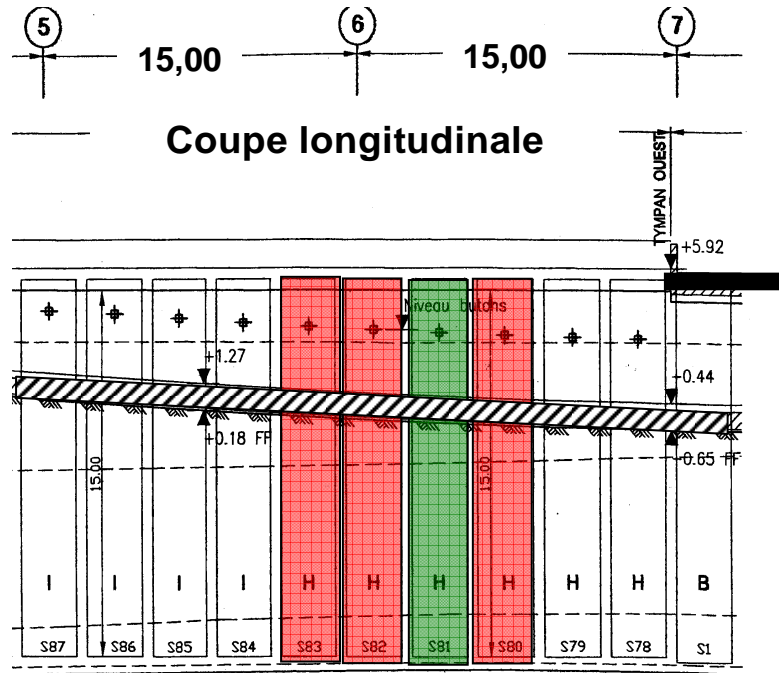


# Plan

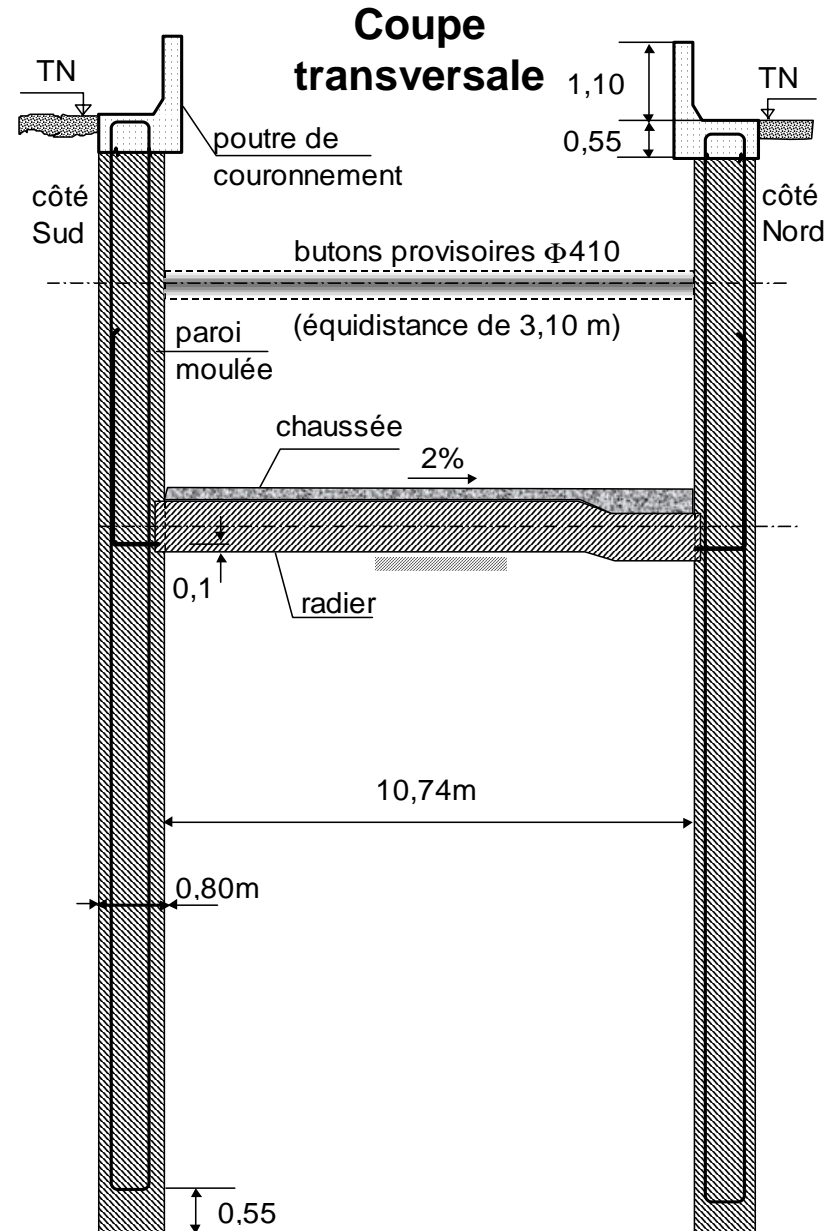
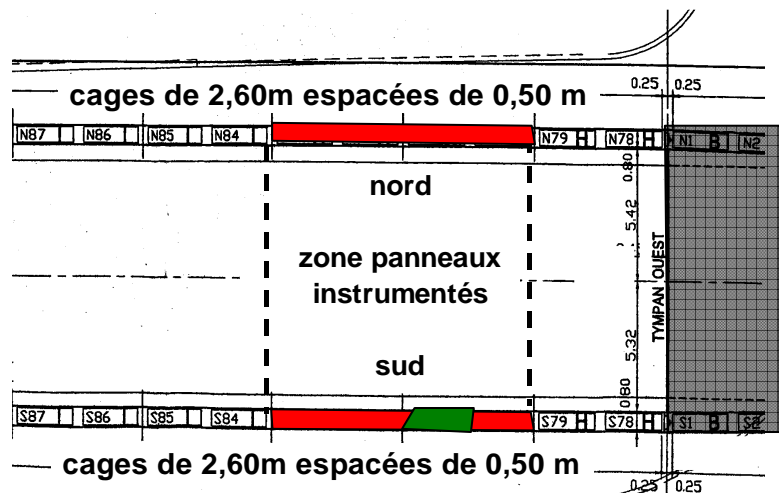
---

- **Généralités sur les capteurs de pression totale**
- **Expérimentations en laboratoire**
- **L'expérimentation de la « Trémie Pasteur »**
- **Conclusions**

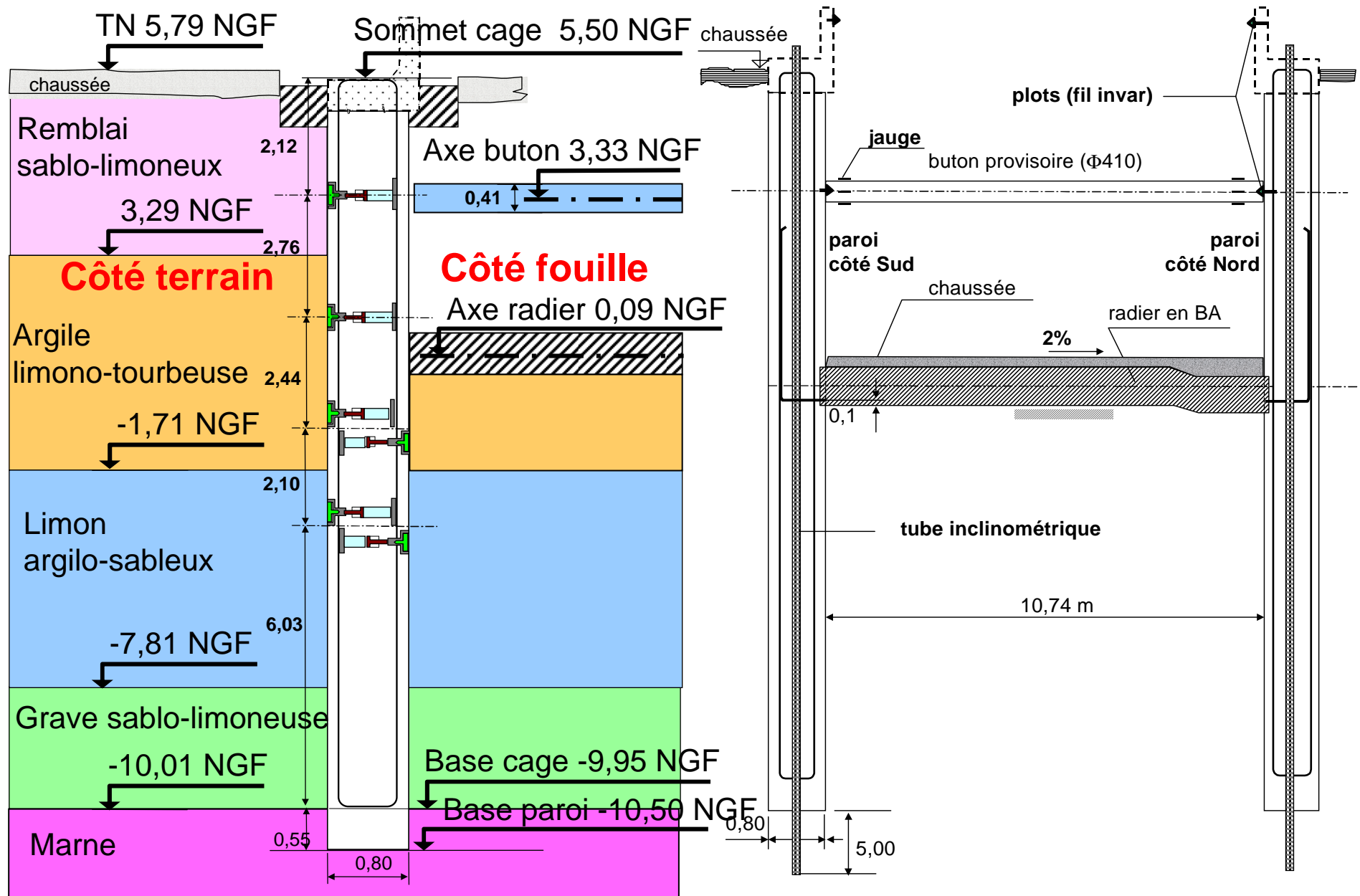
# La « Trémie Pasteur » (Rouen)



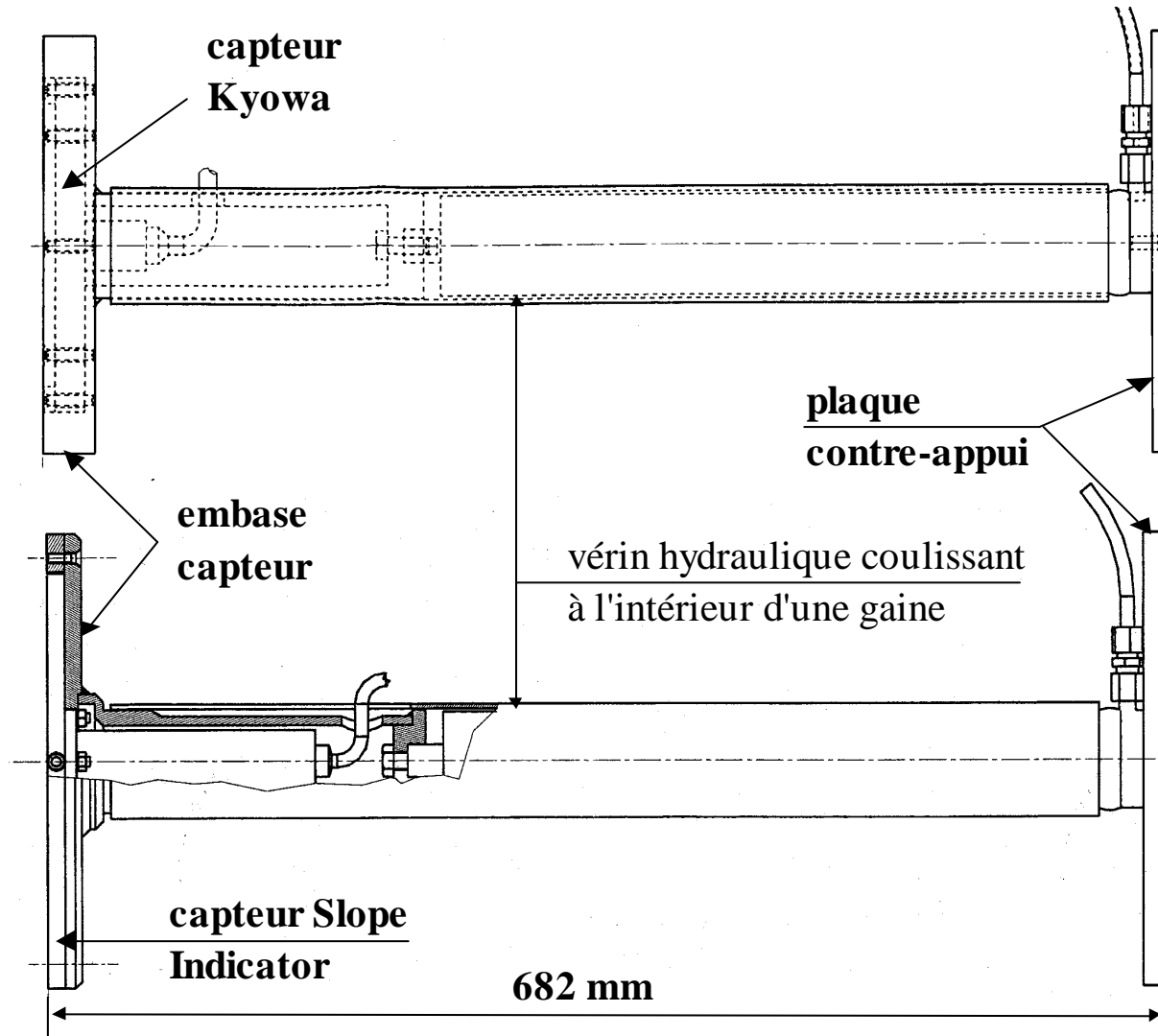
**Vue en plan**



# Principe de l'instrumentation



# Dispositifs de mesure des pressions totales



# Phasage de la construction et phasage de mesure

---

**Séquence 0 : mise en place de l'équipement et bétonnage du panneau instrumenté**

**Séquence 1 : béton jeune**

**Séquence 2 : mise en place d'un panneau adjacent**

**Séquence 3 : exécution de la poutre de couronnement**

**Séquence 4 : préterrassement et mise en place des butons**

**Séquence 5 : excavation jusqu'au fond de fouille**

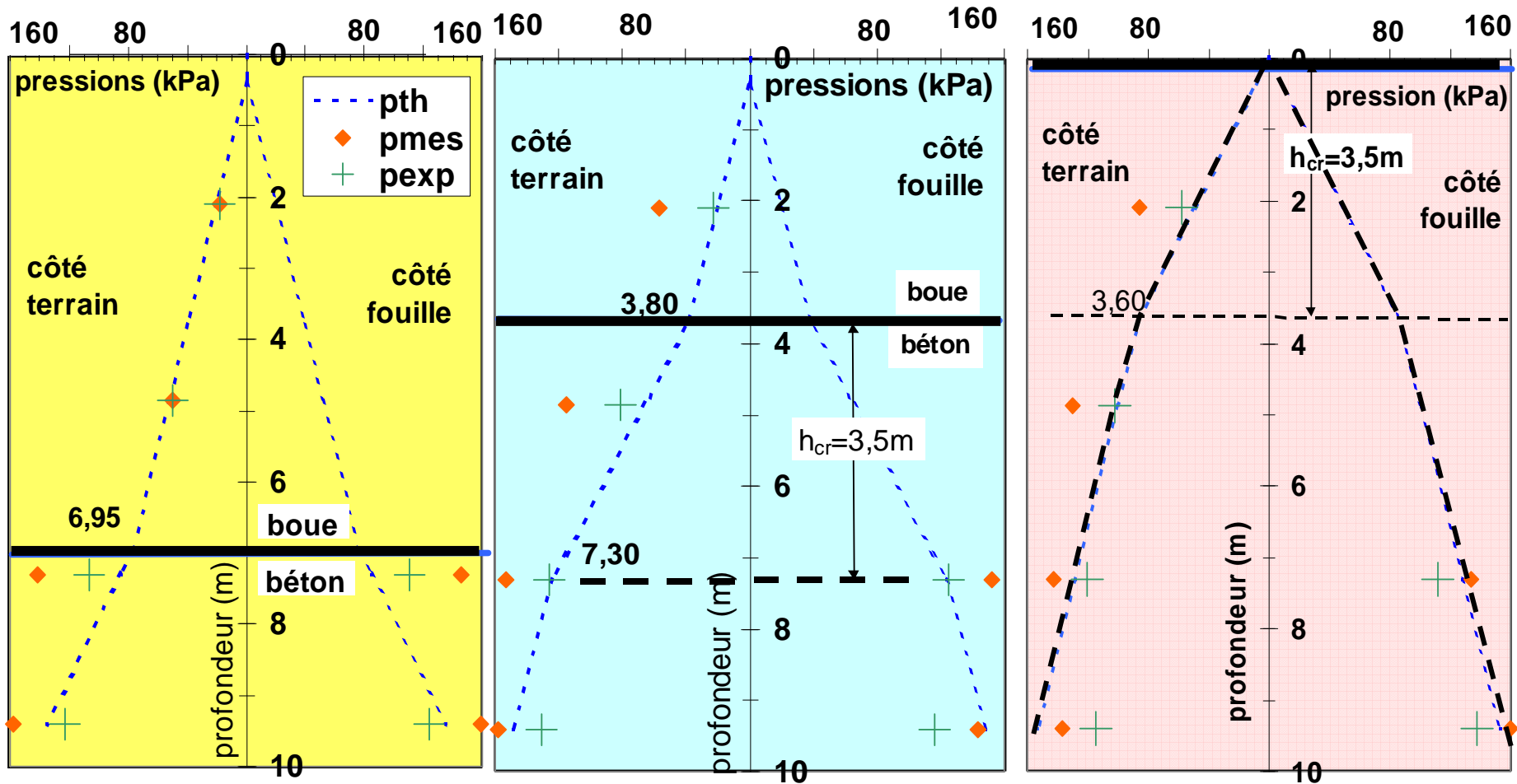
**Séquence 6 : mise en œuvre du radier**

**Séquence 7 : dépose des butons**

**Séquence 8 : cinq semaines après la fin des travaux**

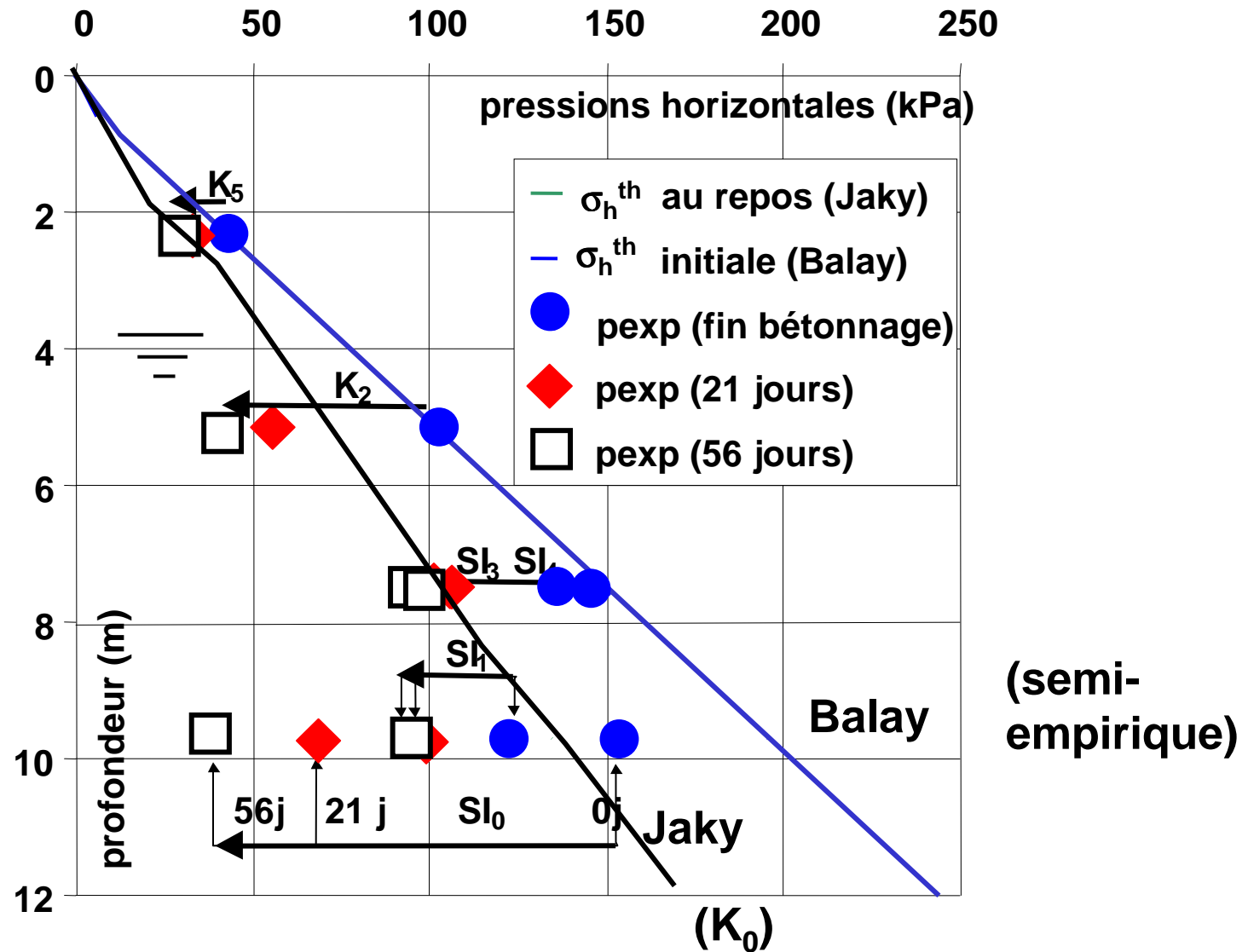
# Séquence 0 (bétonnage du panneau instrumenté)

## Trois niveaux d'interfaces béton-boue

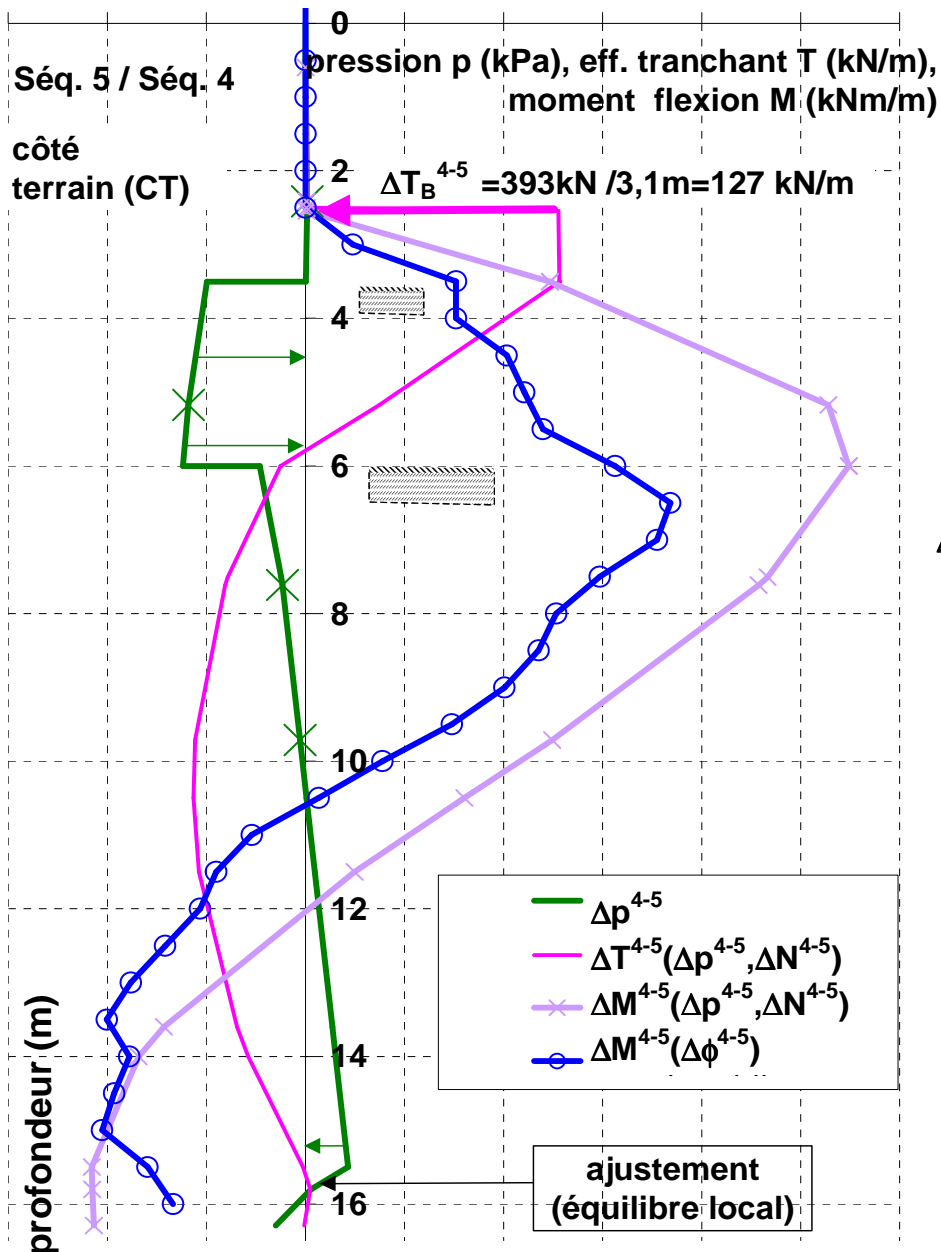


# Comportement observé et prévisions théoriques

## Séquences 1, 2, 3 (durcissement du béton)



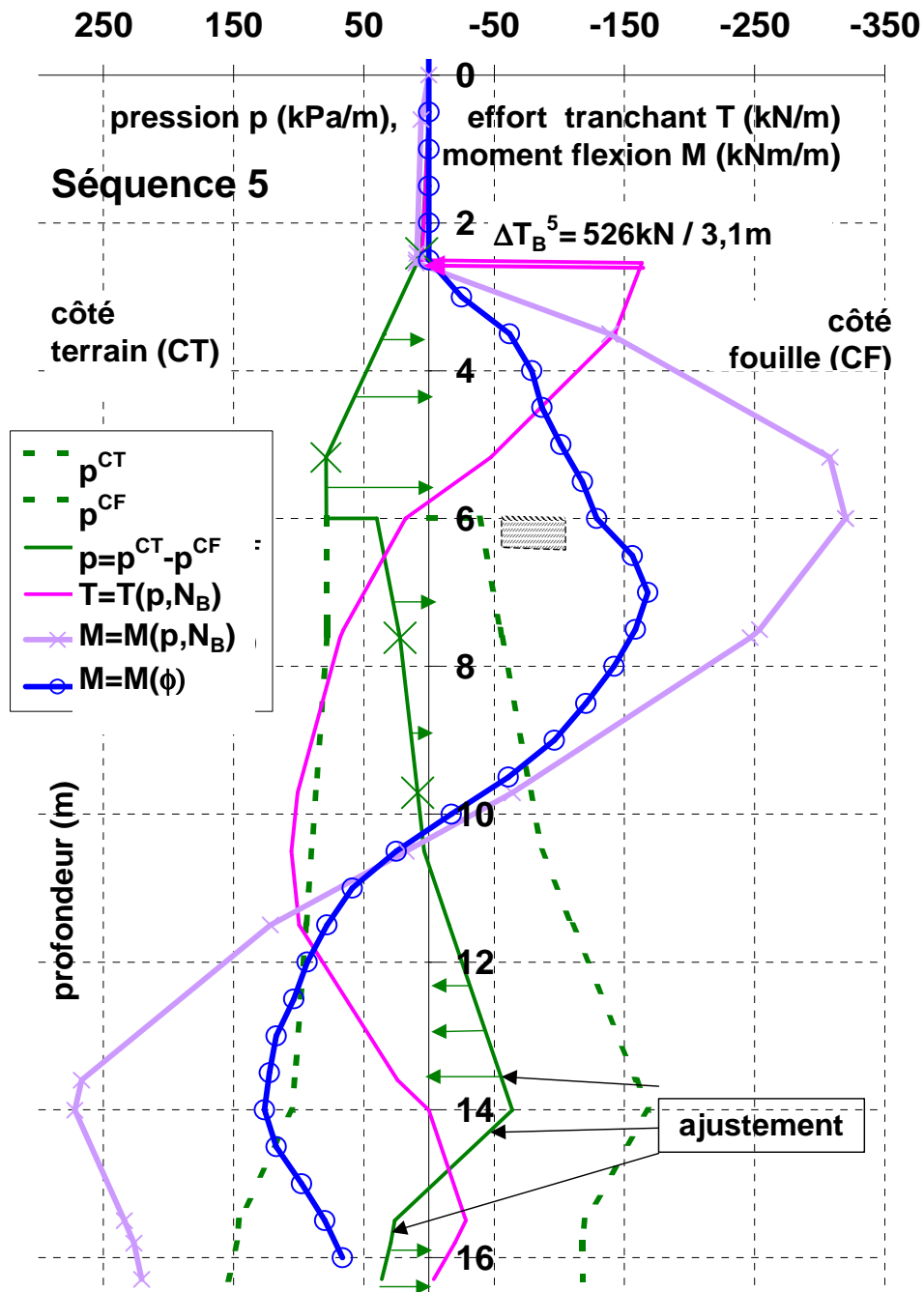
150 100 50 0 -50 -100 -150 -200 -250 -300



## Séquence 5 - Séquence 4 (relation expérimentale «efforts - déplacements»)

$$\Delta M^{4-5}(\Delta \phi^{4-5}, EI) \stackrel{?}{=} \Delta M^{4-5}(\Delta p^{4-5}, \Delta N_B^{4-5})$$





## Séquence 5

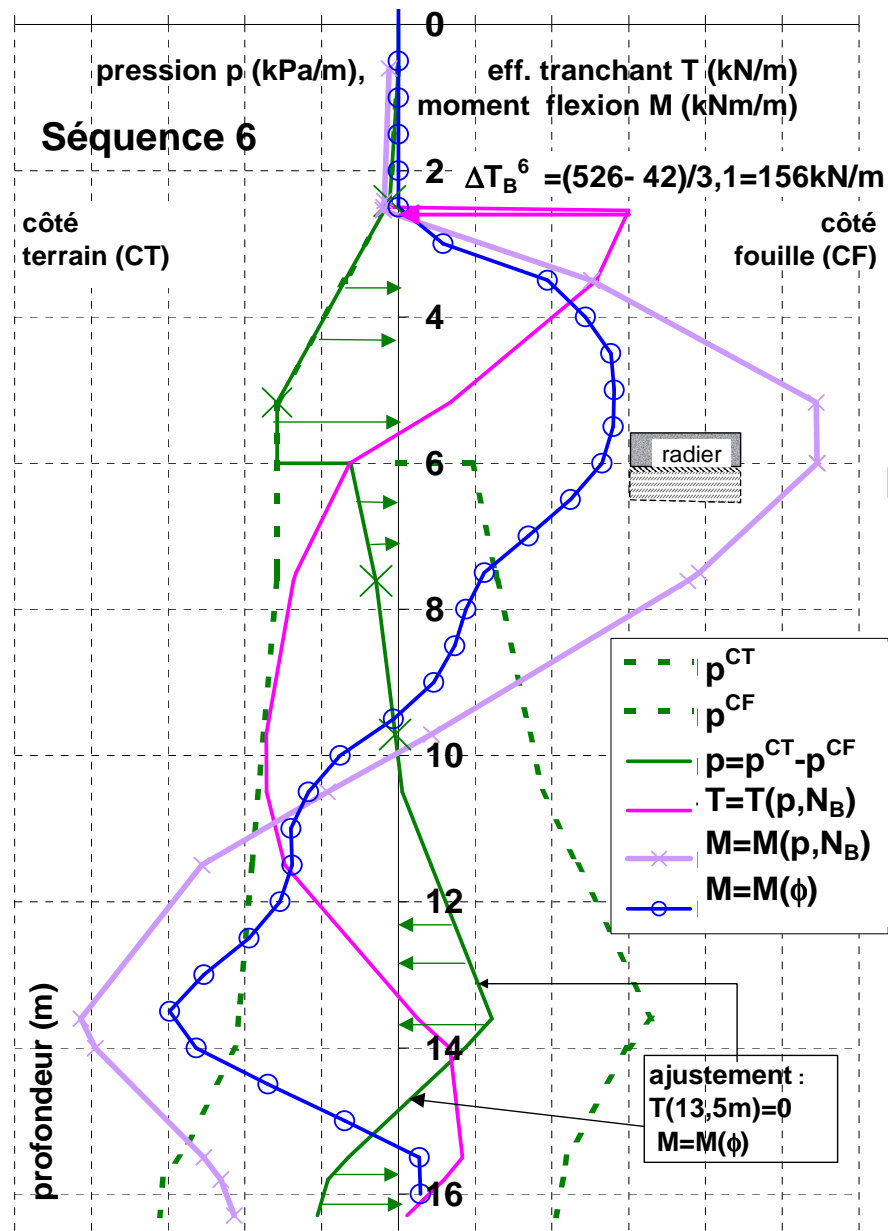
(relation expérimentale «efforts - déplacements»)

**Ajustements imposés :**

$p^5(10,5\text{m})=0 \Rightarrow p^5(SI_0)=78\text{kPa}$

$T^5(14\text{m})=0 \Rightarrow N_B^5= 526 \text{ kN}$

250 200 150 100 50 0 -50 -100 -150 -200 -250 -300



**Séquence 6**  
**(relation expérimentale «efforts - déplacements»)**

**confirmation de la pertinence des ajustements opérés**

# Plan

---

- **Généralités sur les capteurs de pression totale**
- **Expérimentations en laboratoire**
- **L'expérimentation de la « Trémie Pasteur »**
- **Conclusions**

# Conclusions

---



## **Evaluation en laboratoire des capteurs :**

- **exercice nécessaire...;**
- **la centrifugeuse permet la qualification de la discrétion des capteurs...**



## **L'expérimentation de la « Trémie Pasteur » est un exemple de mesures in situ réussies :**

- **bétonnage de la paroi ;**
- **durcissement du béton dans la paroi ;**
- **flexion de la paroi.**