

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

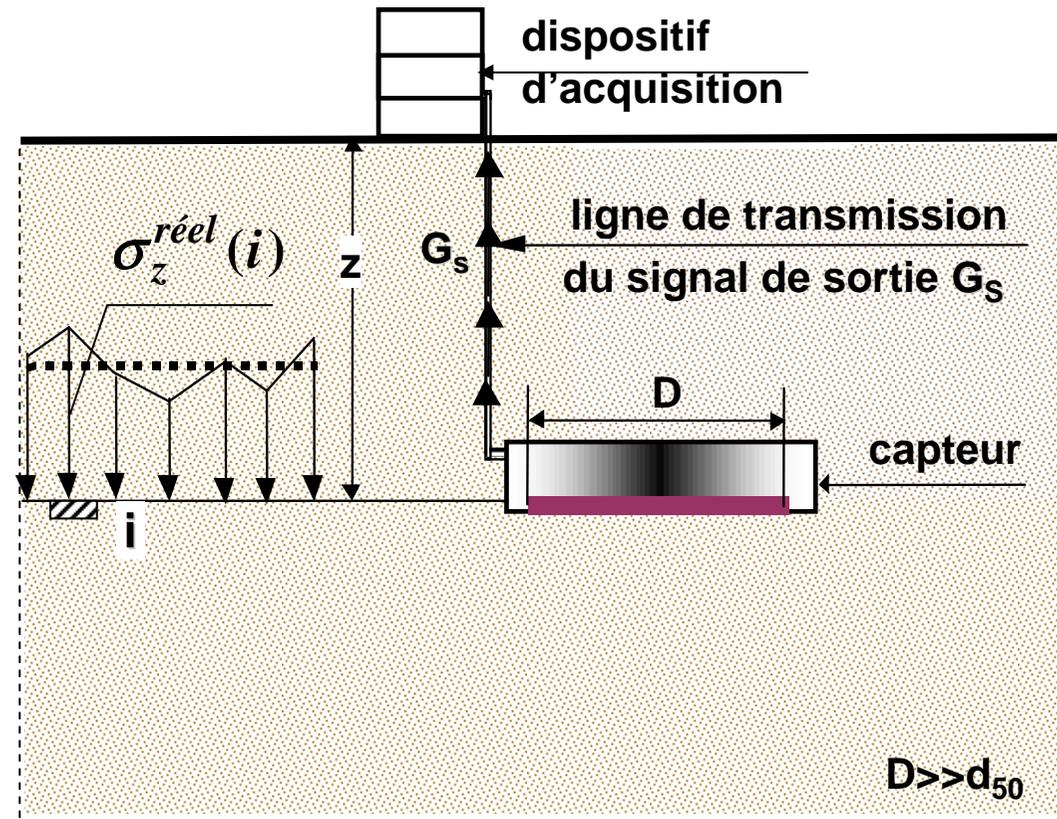
## Mesure de la contrainte moyenne

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

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

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

## Chaîne de mesure

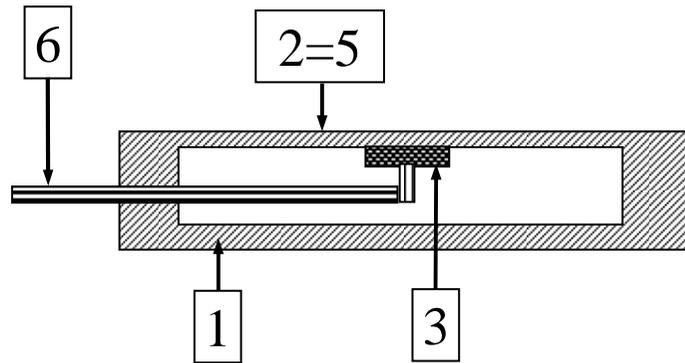


$$\sigma_z^{mesurée} = f(G_s) - \text{étalonnage en milieu fluide}$$

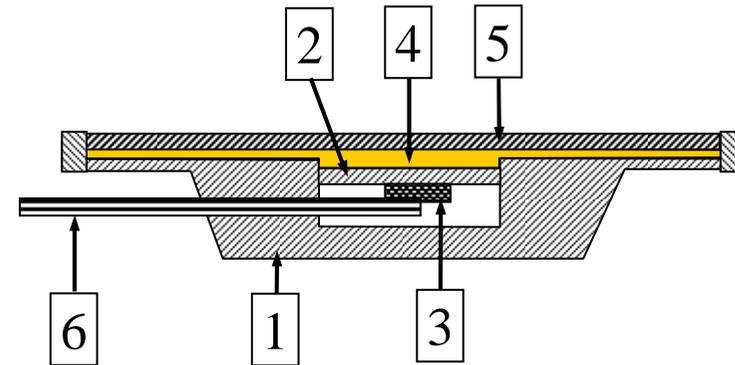
Vice intrinsèque du capteur - **indiscrétion** (perturbation des contraintes à mesurer)

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

---



**Capteur à action directe**

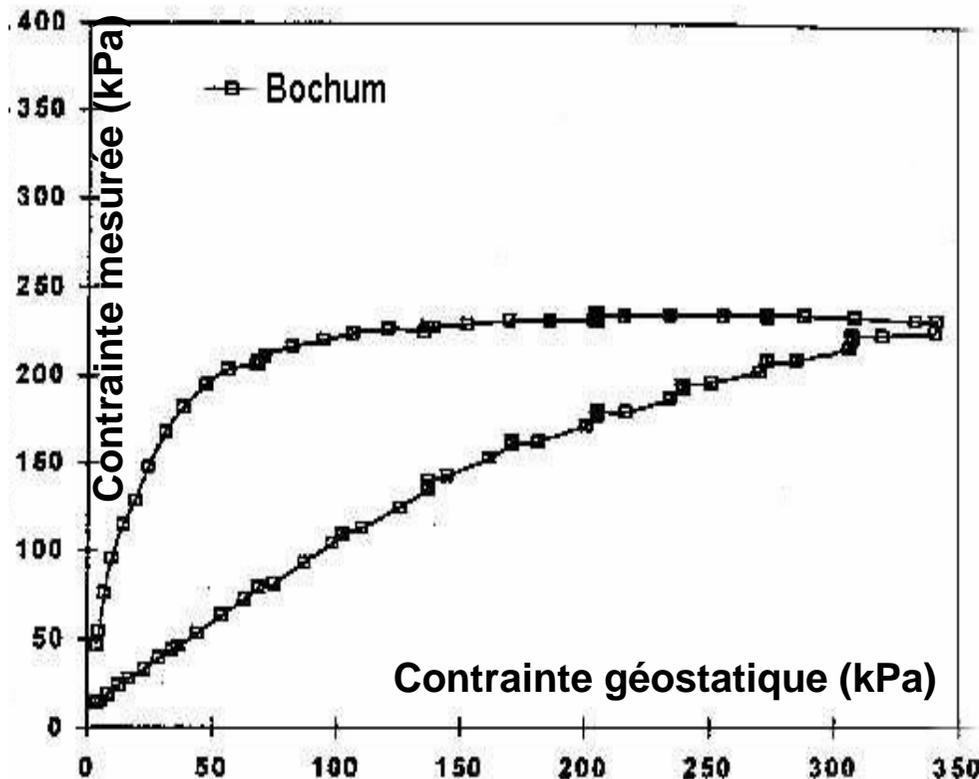


**Capteur à action indirecte**

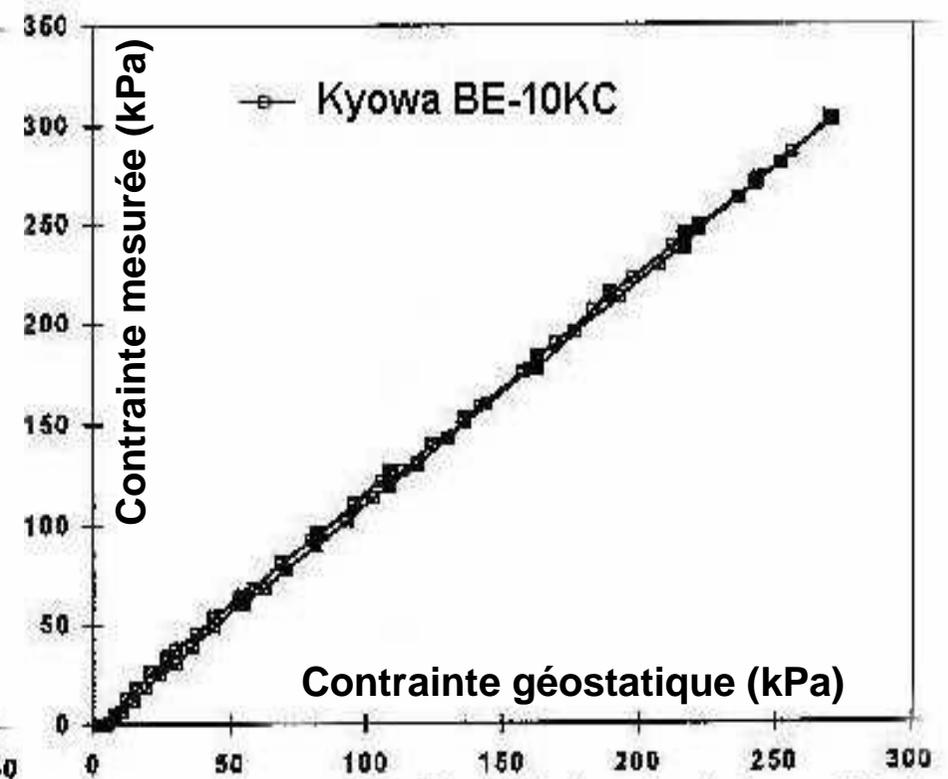
*Légende : 1) Boîtier ; 2) Corps d'épreuve ; 3) Transducteur ;  
4) Espace rempli d'un liquide hydraulique ; 5) Surface active ;  
6) Ligne de transmission*

# 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

---

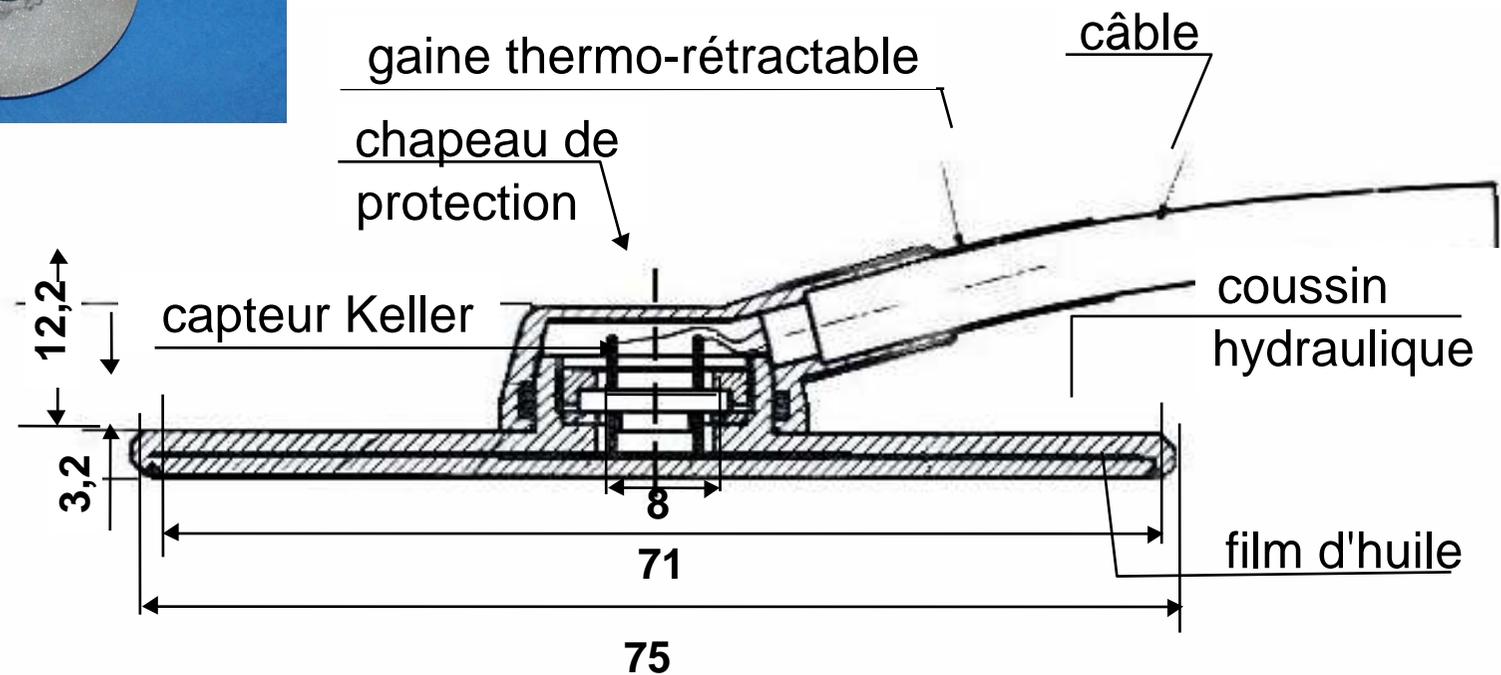
- **Généralités sur les capteurs de pression totale**
- **Expérimentations en laboratoire**
- **L'expérimentation de la « Trémie Pasteur »**
- **Conclusions**

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

Vue de dessus



Coupe axiale



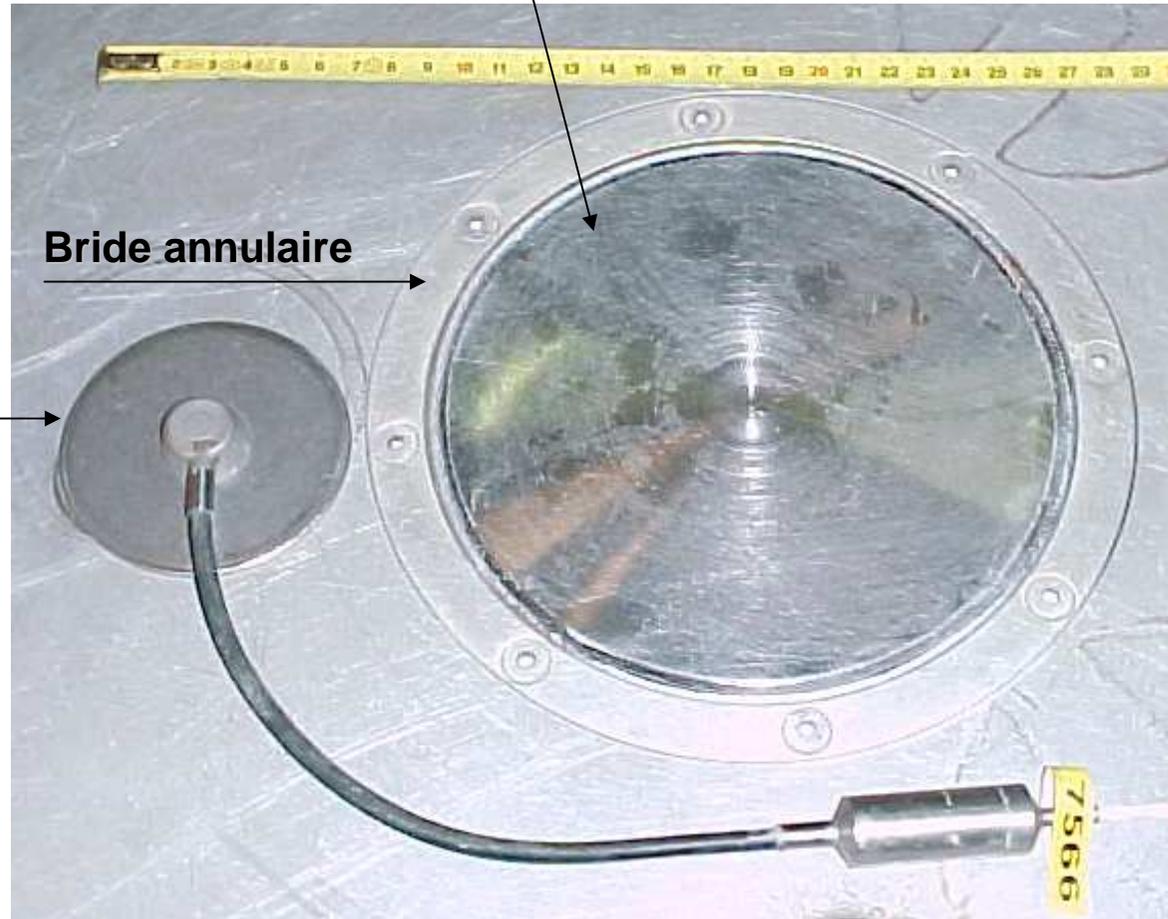
(suite)

---

C. Kyowa BE-F (K<sub>2</sub>)

Bride annulaire

B. Prototype d'Angers  
série 2 (P7566)



## Caractéristiques physiques contribuant à la discrétion

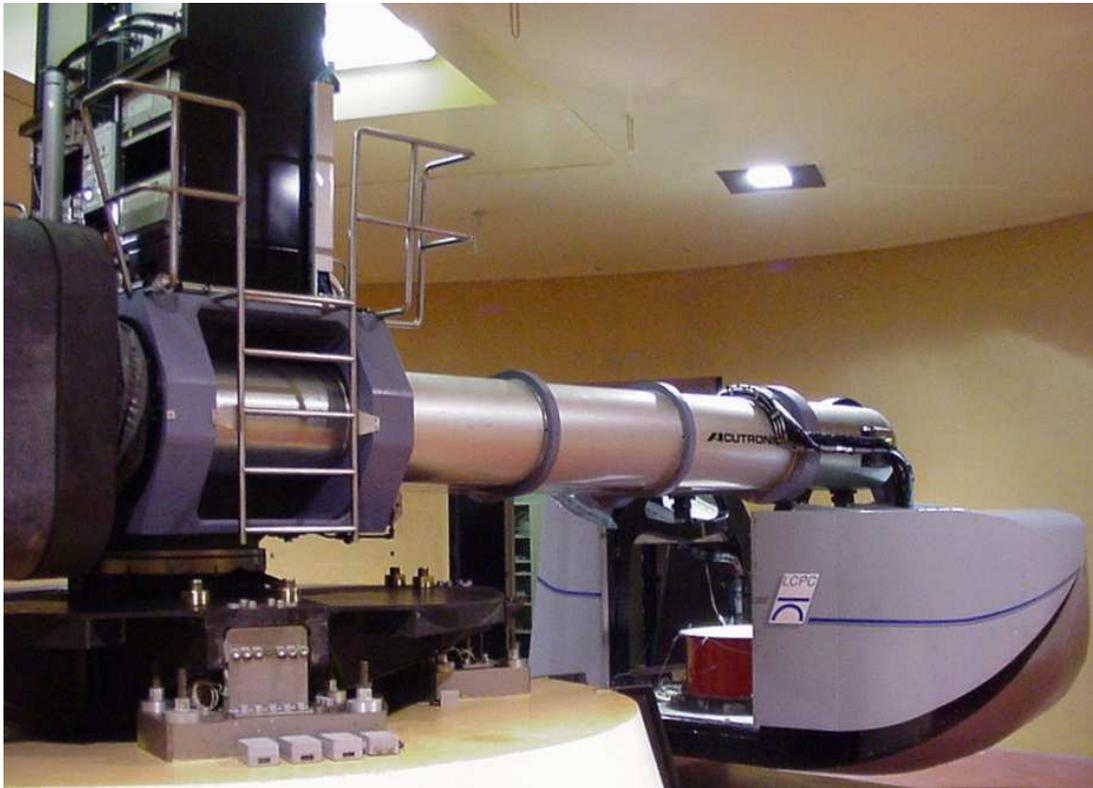
Capteurs disponibles		Diamètre total (D) (mm)	Epaisseur			Rapport de forme		Raideur surf. active (GPa/m)	
Fabricant	Type		coussin (e) (mm)	maximale ( $e_m$ ) (mm)	moyenne ( $e_m$ ) (mm)	(e/D)	( $e_m$ /D)		
CECP Angers	Prototype série 1	75	3,2	12,2	3,8	< 1/23	< 1/19	>930	
	Prototype série 2 et 3	75	2,2	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 * 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

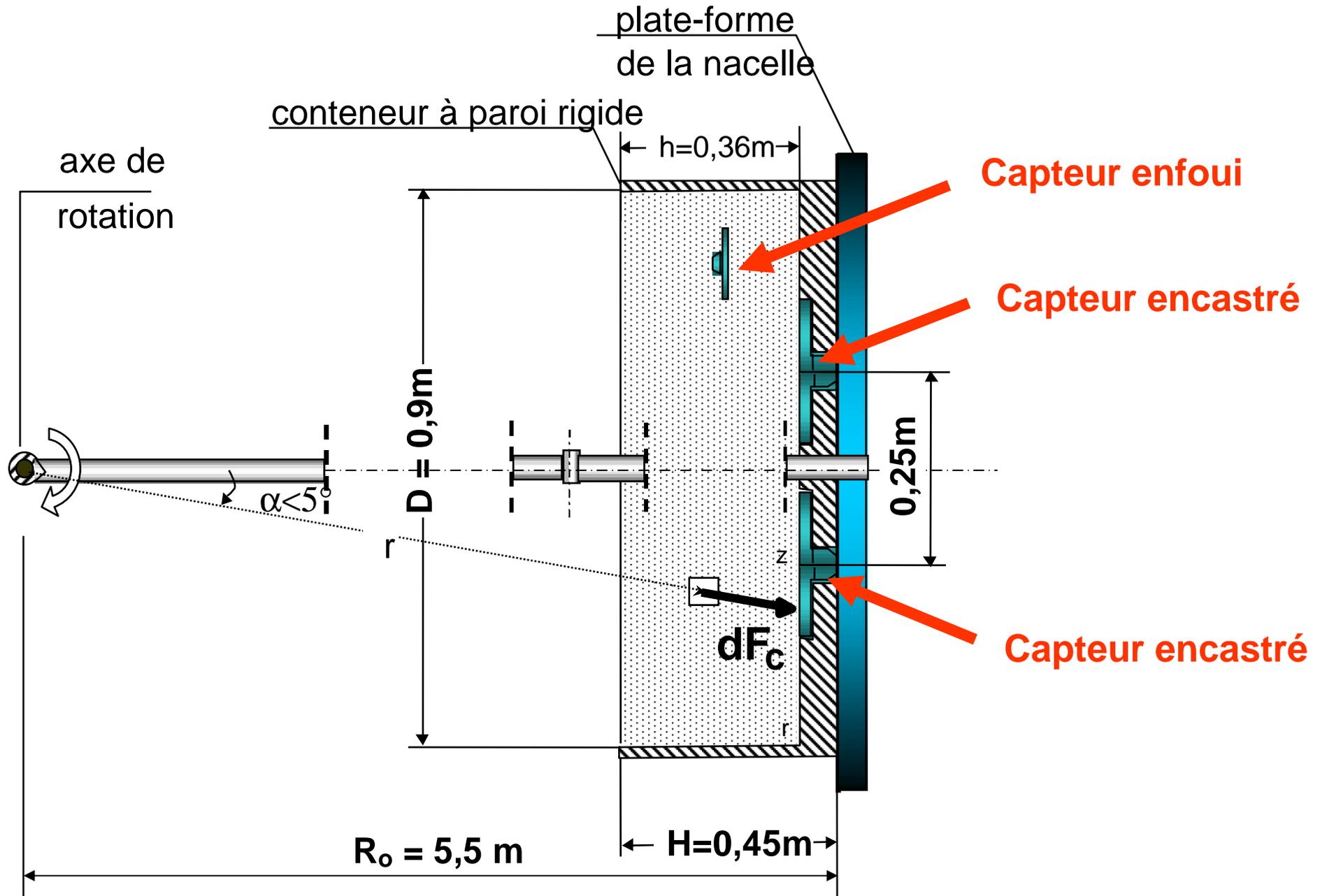


# Conditions d'essai

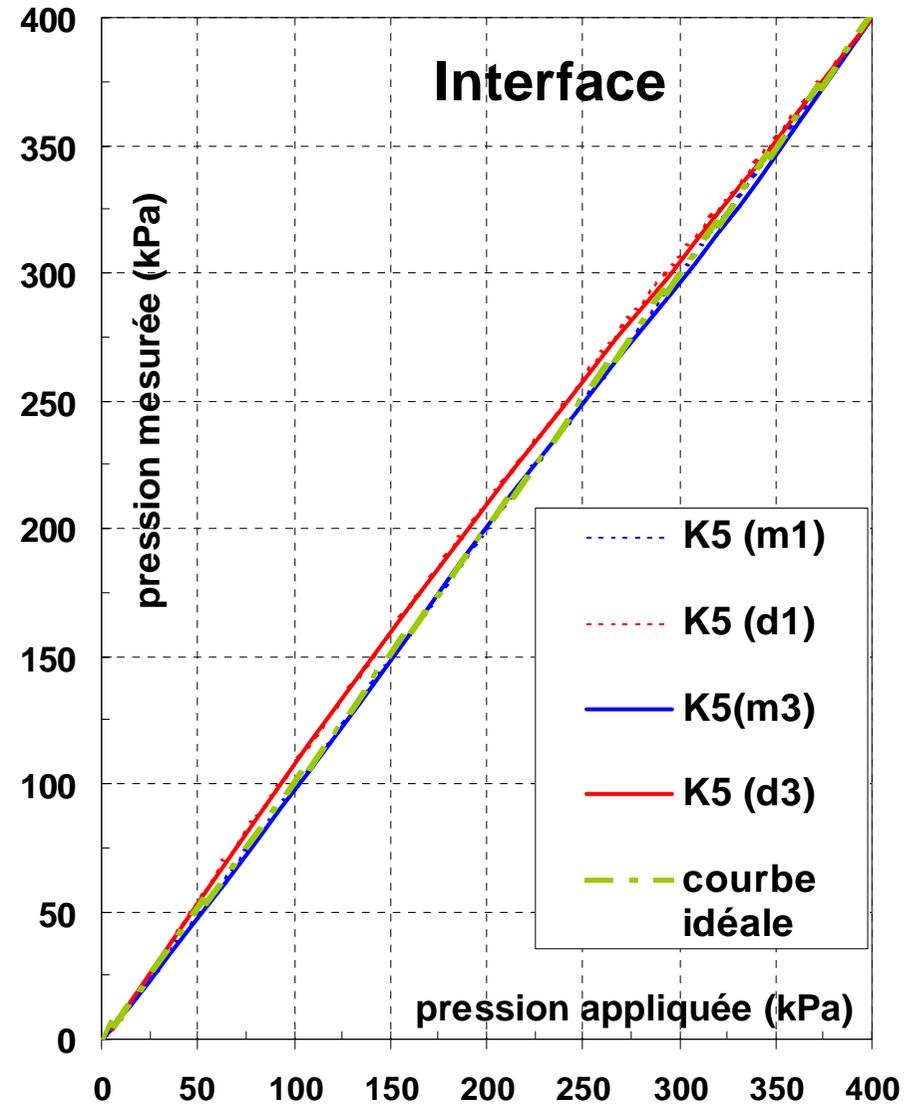
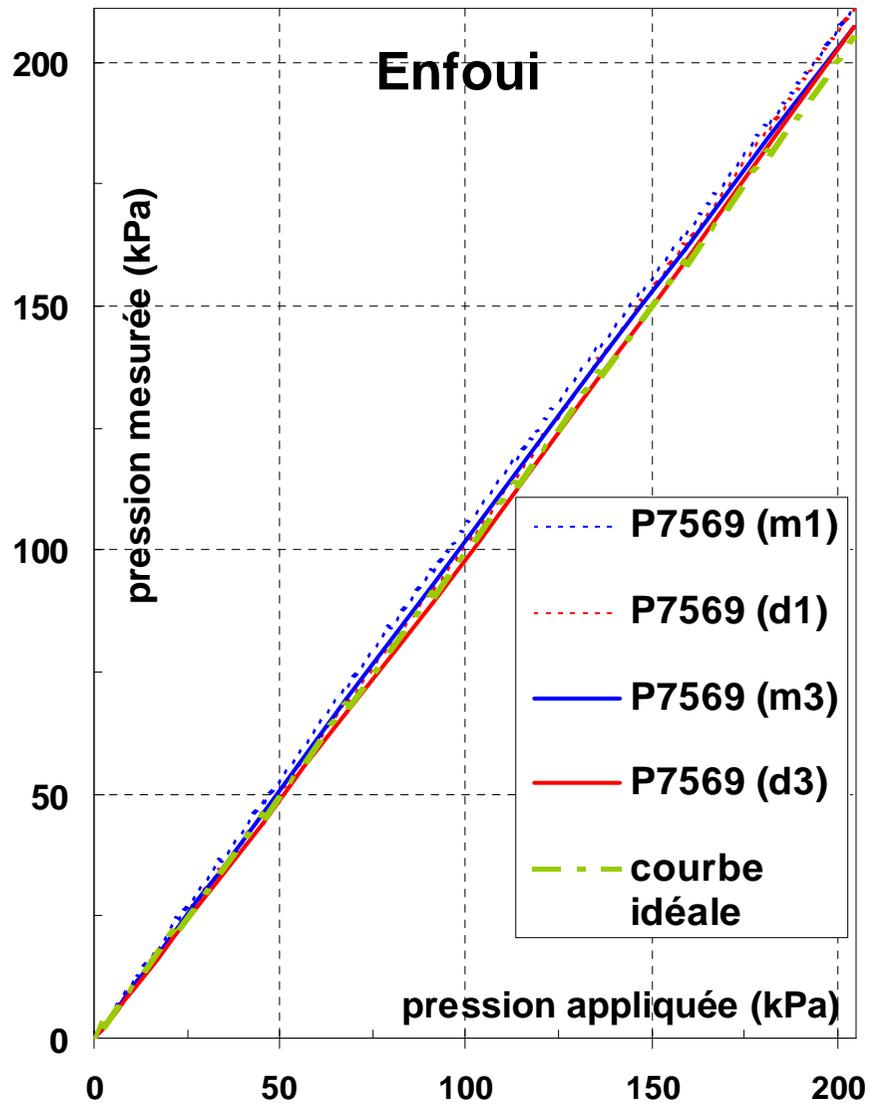
---

- 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



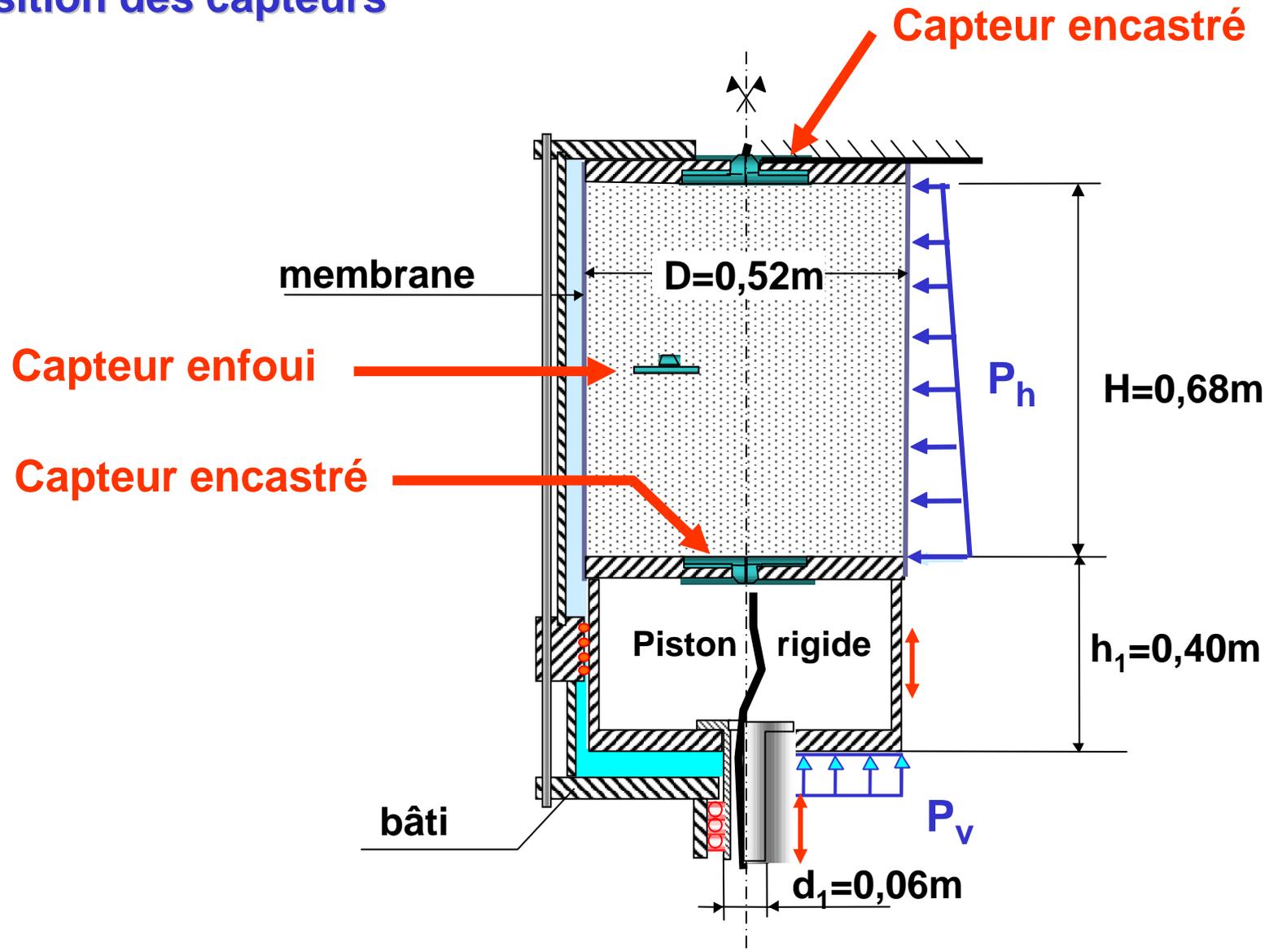
## Tableau des résultats

Capteur	Nombre essais	Hystérésis maximale (%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
P7569	9	1,87	1,084	0,033	1,084	0,032	1,034	0,056
P7571	9	1,41	1,061	0,032	1,058	0,027		
P7563	5	1,20	1,005	0,036	1,009	0,042		
P7565	3	0,90	0,944	0,012	0,940	0,009		
P7566	5	1,50	0,975	0,016	0,979	0,013		
P7507	1	0,62	1,042	-	1,036	-		
P7509	1	0,92	1,043	-	1,034	-		
B2	6	2,39	1,019	0,027	0,990	0,025	1,023	0,043
B3	6	2,32	1,065	0,030	1,037	0,026		
B4	4	2,46	1,015	0,020	0,985	0,016		
B5	6	2,32	1,039	0,058	1,016	0,050		
5KC*	7	1,35	1,141	0,056	1,143	0,057		
10KC*	7	1,21	1,210	0,091	1,214	0,095		
M9	2	2,29	0,981	0,013	0,979	0,007	0,951	0,041
M10	1	1,05	0,894	-	0,894	-		
K <sub>2</sub>	4	2,90	0,977	0,011	0,960	0,013	0,979	0,017
K <sub>5</sub>	4	3,40	1,007	0,016	0,985	0,016		

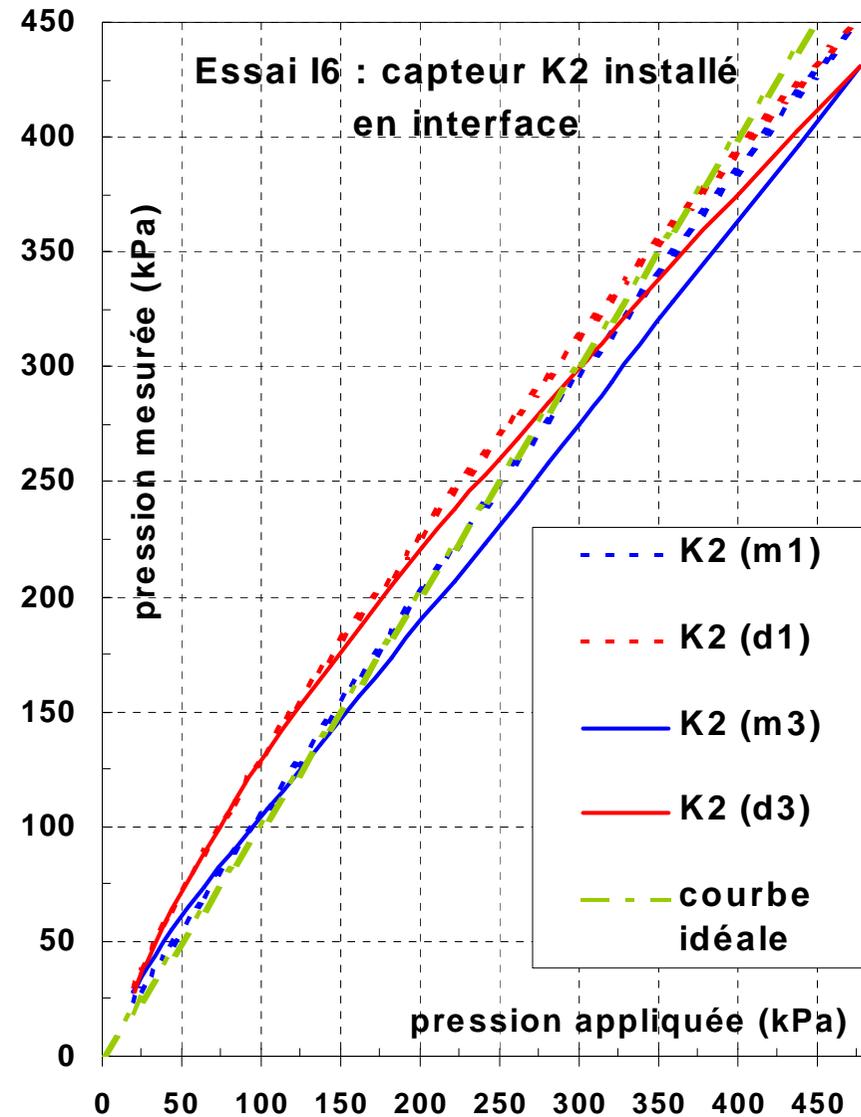
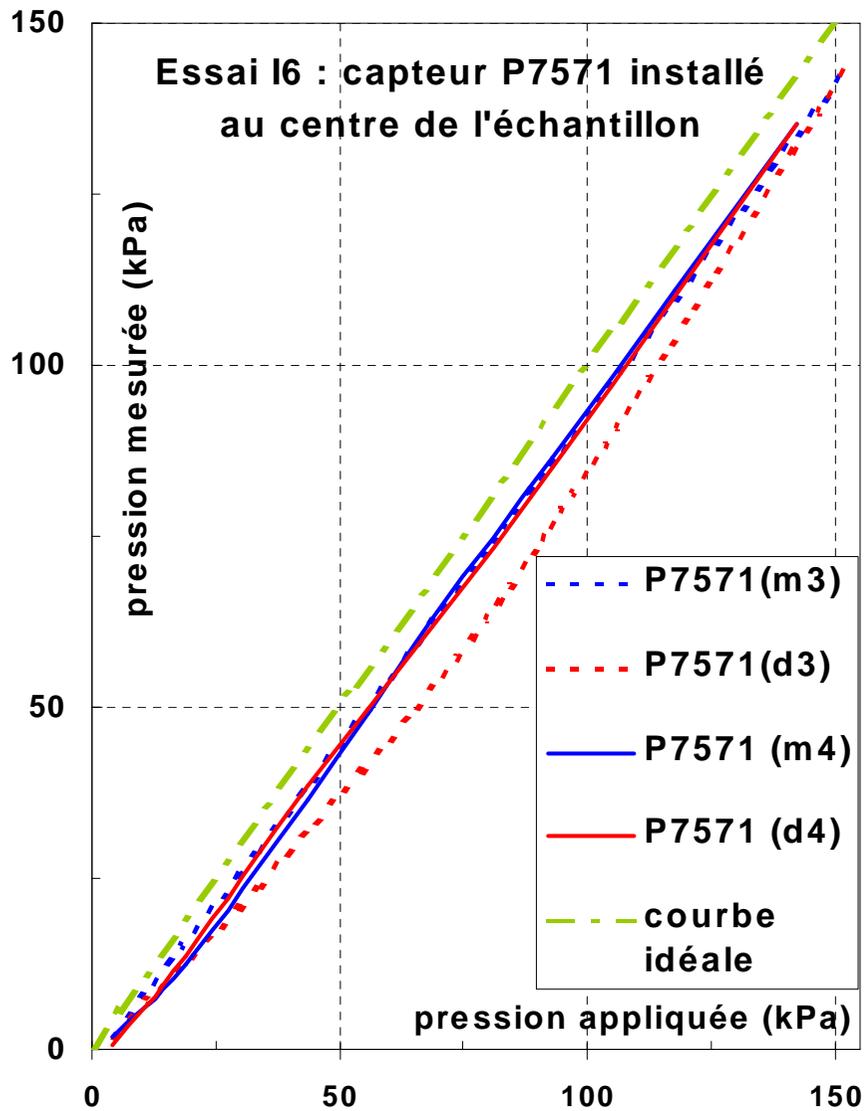
\*- résultats de l'expérimentation A1 exclus de l'analyse statistique.

# Essais en chambre triaxiale

## Position des capteurs



# Essais en chambre triaxiale : résultats

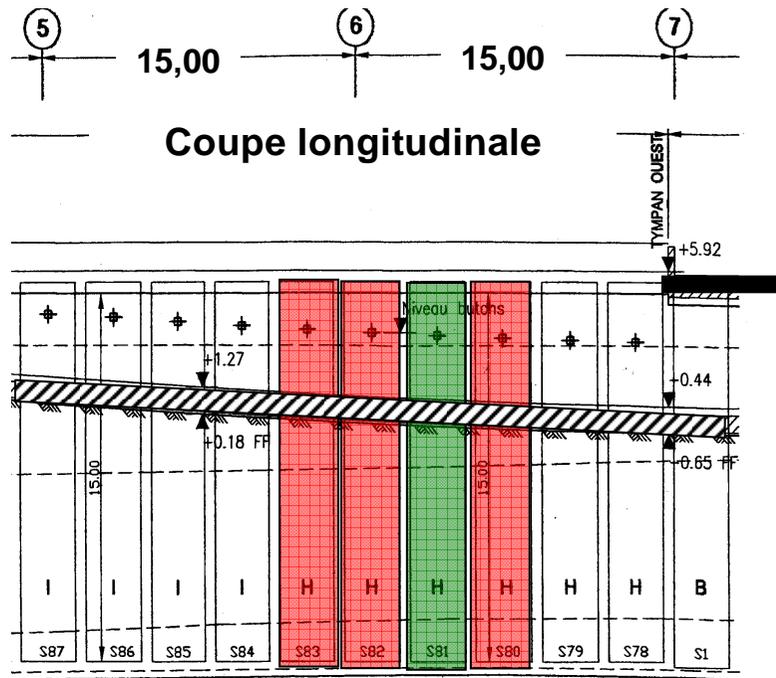


# Plan

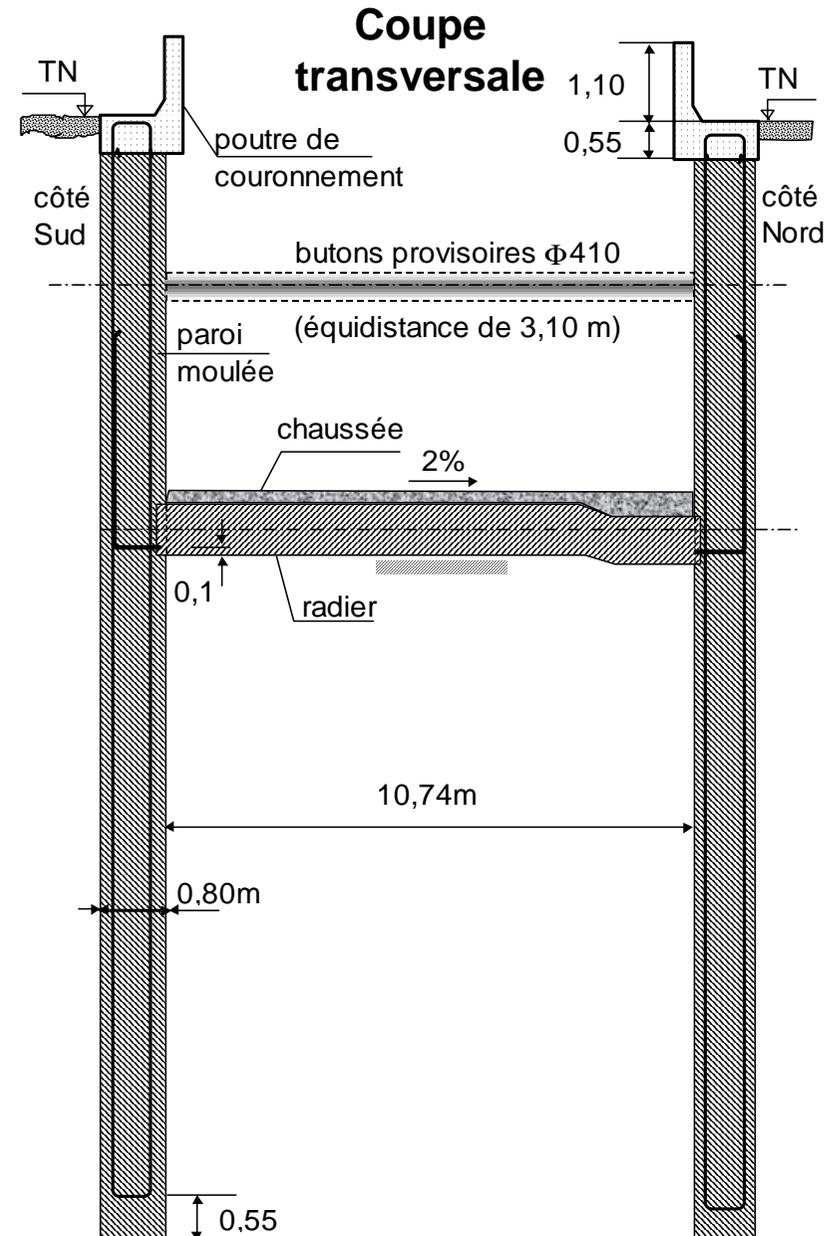
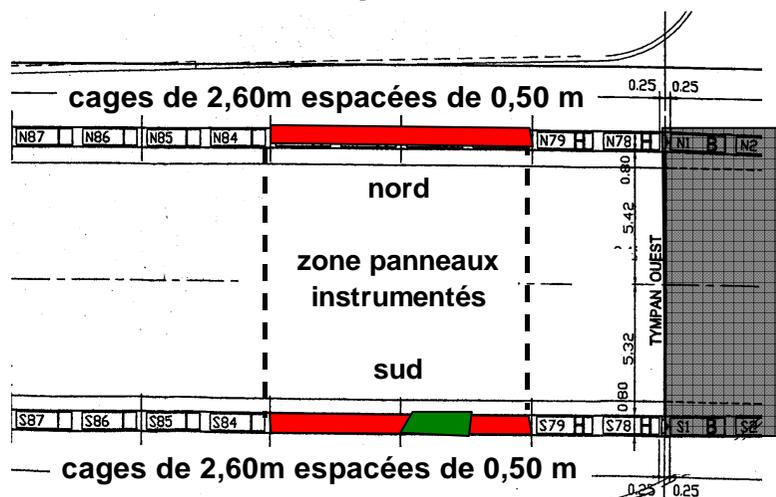
---

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

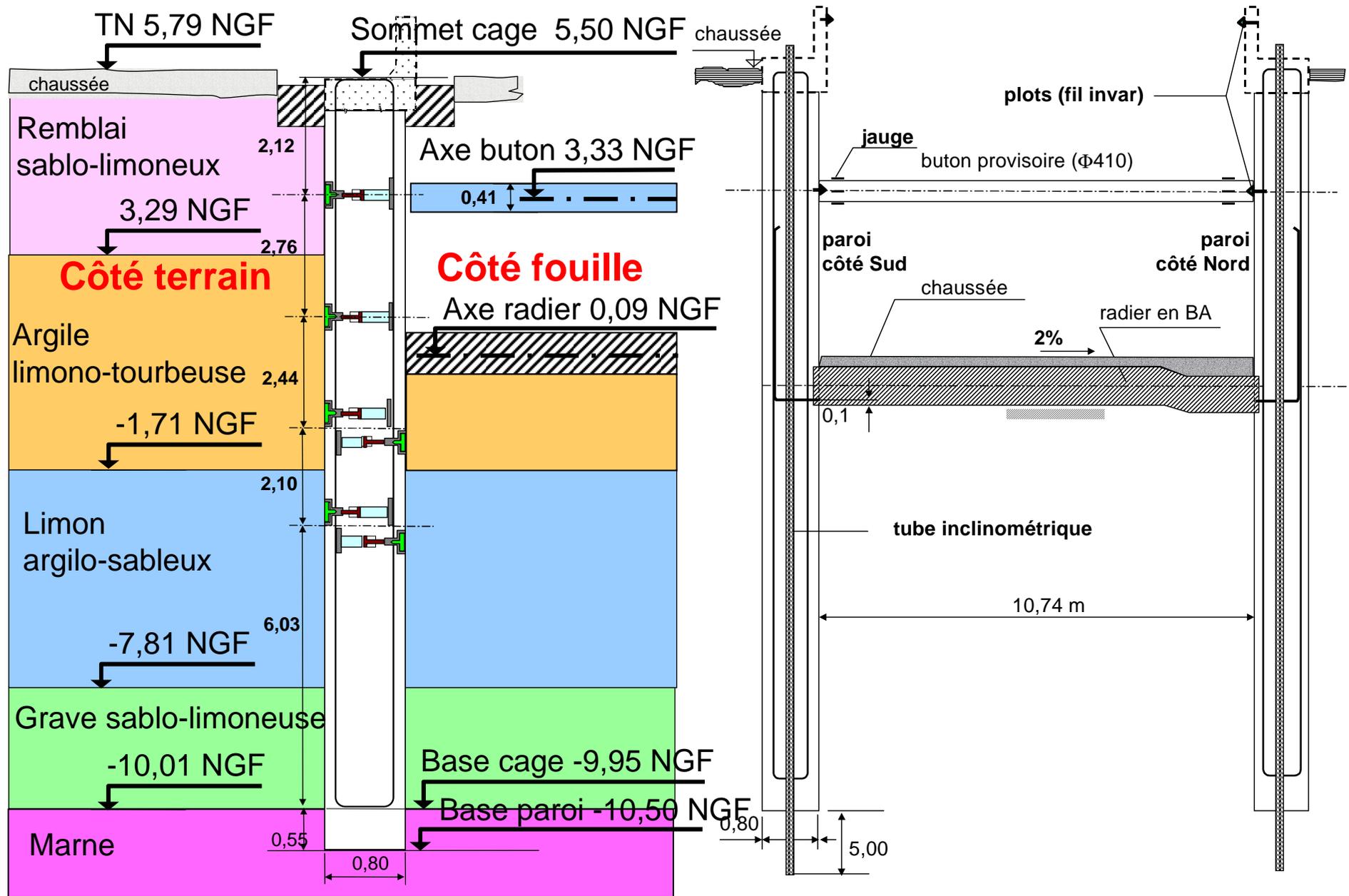
# La « Trémie Pasteur » (Rouen)



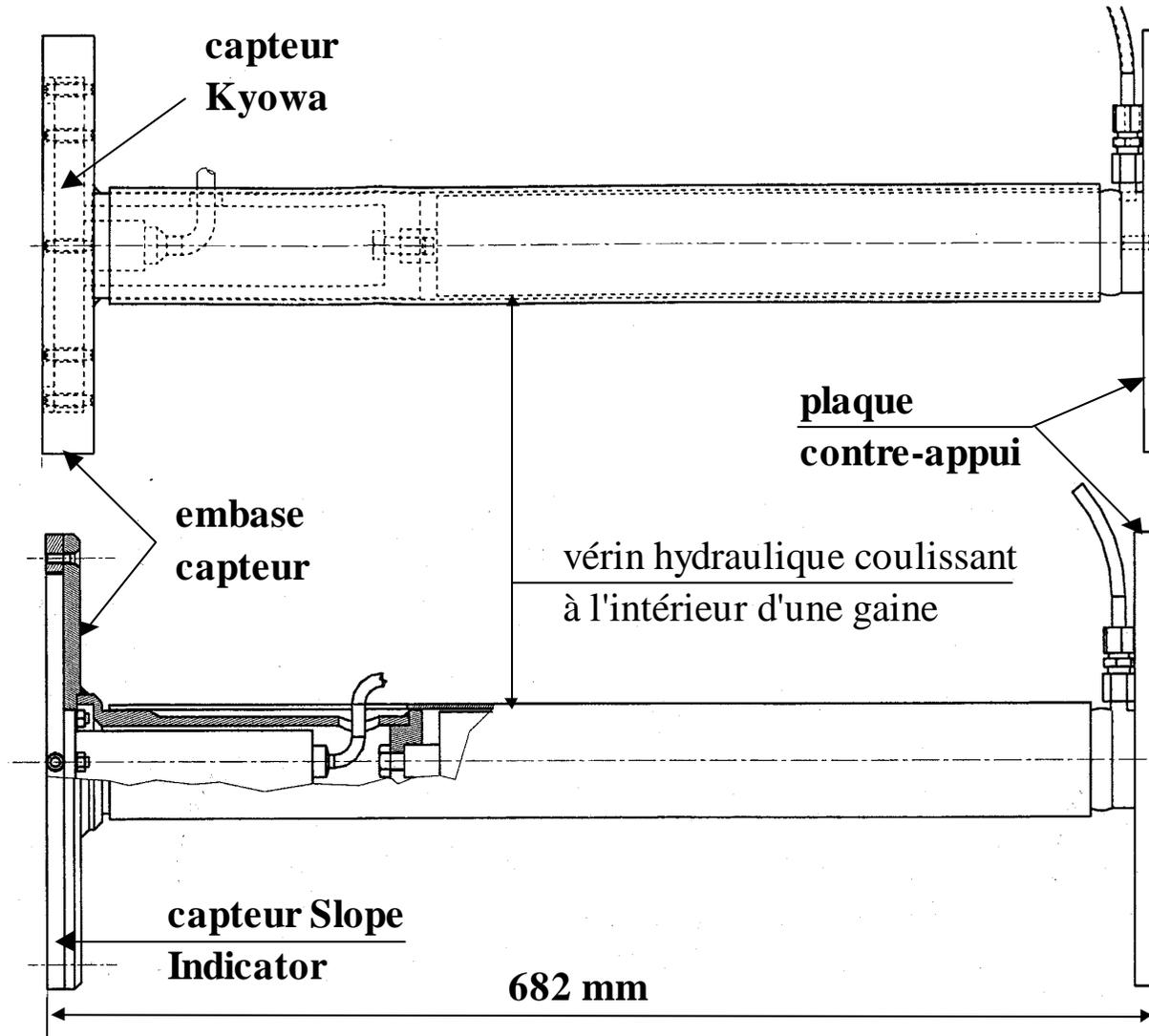
**Vue en plan**



# 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 : préterrassément et mise en place des butons**

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

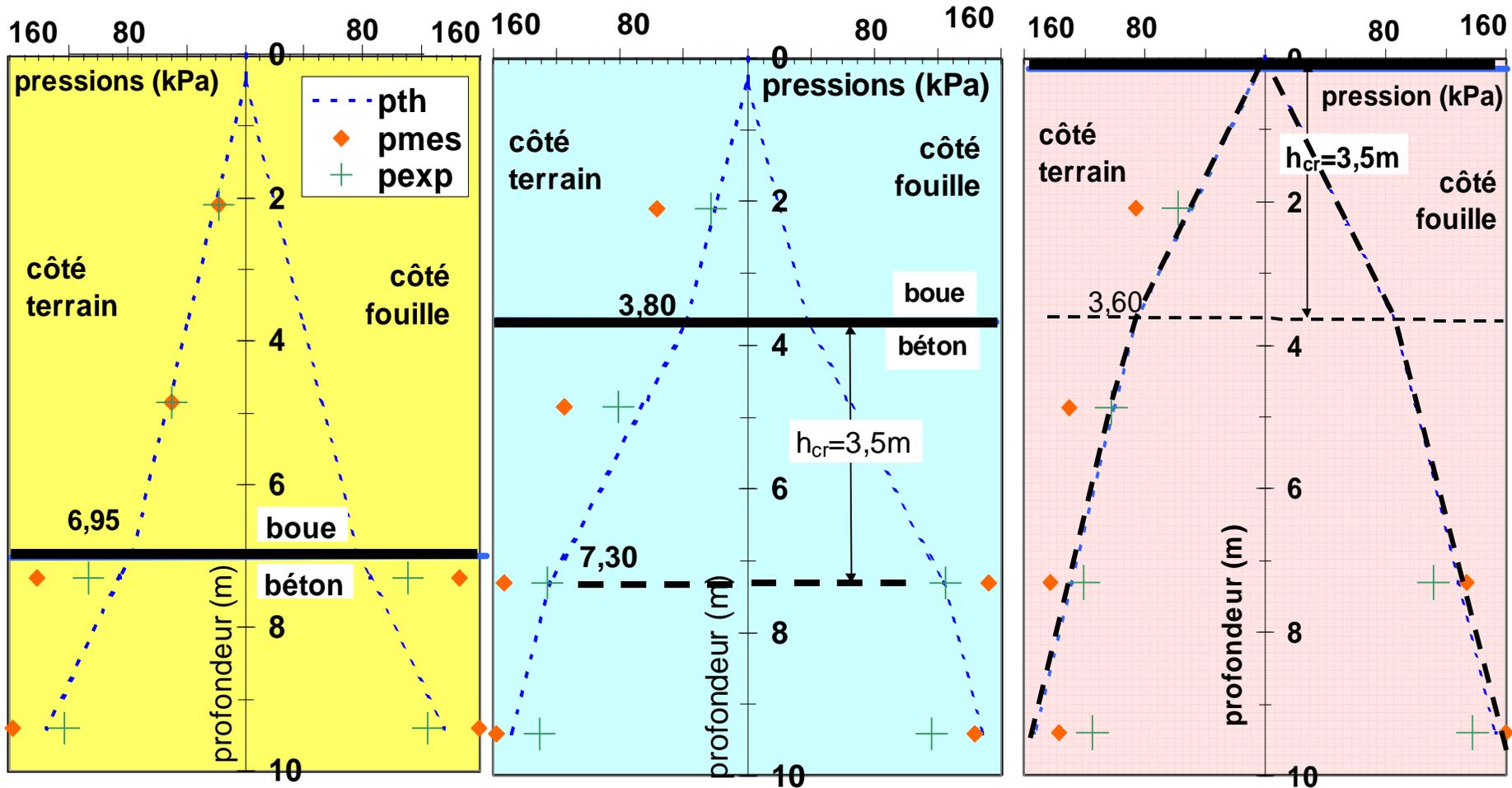
**Séquence 6 : mise en œuvre du radier**

**Séquence 7 : dépose des butons**

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

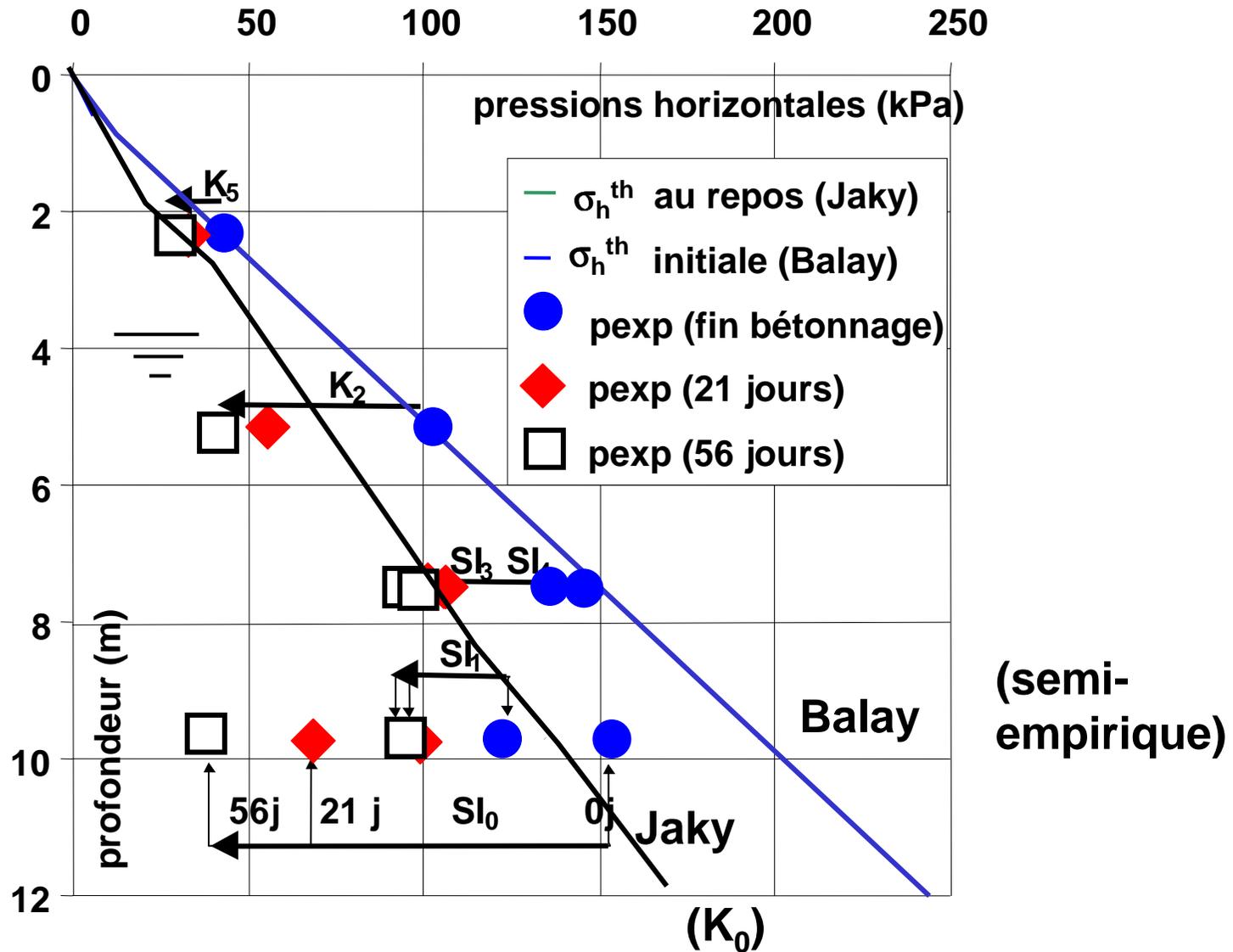
# Séquence 0 (bétonnage du panneau instrumenté)

## Trois niveaux d'interfaces béton-boue

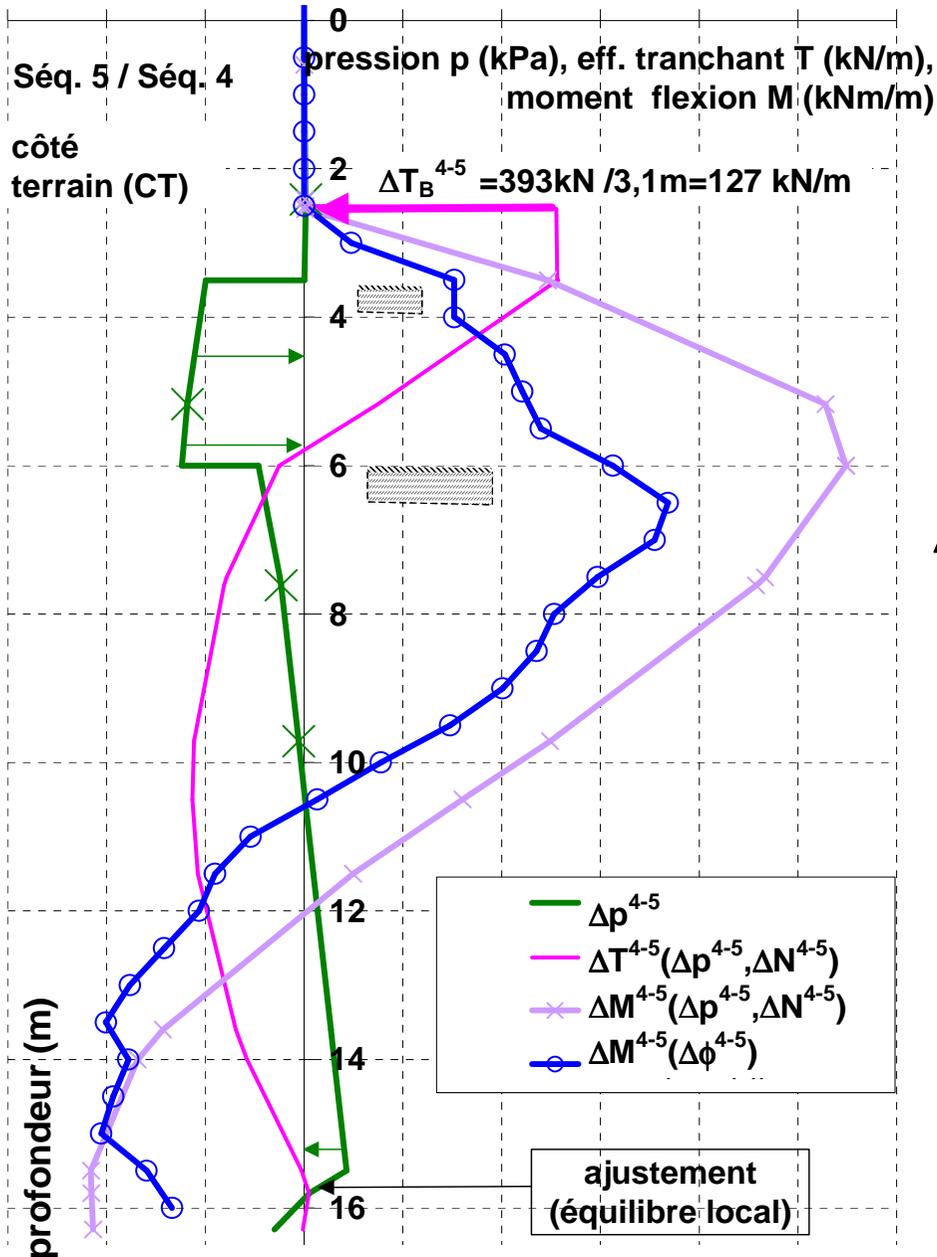


# Comportement observé et prévisions théoriques

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

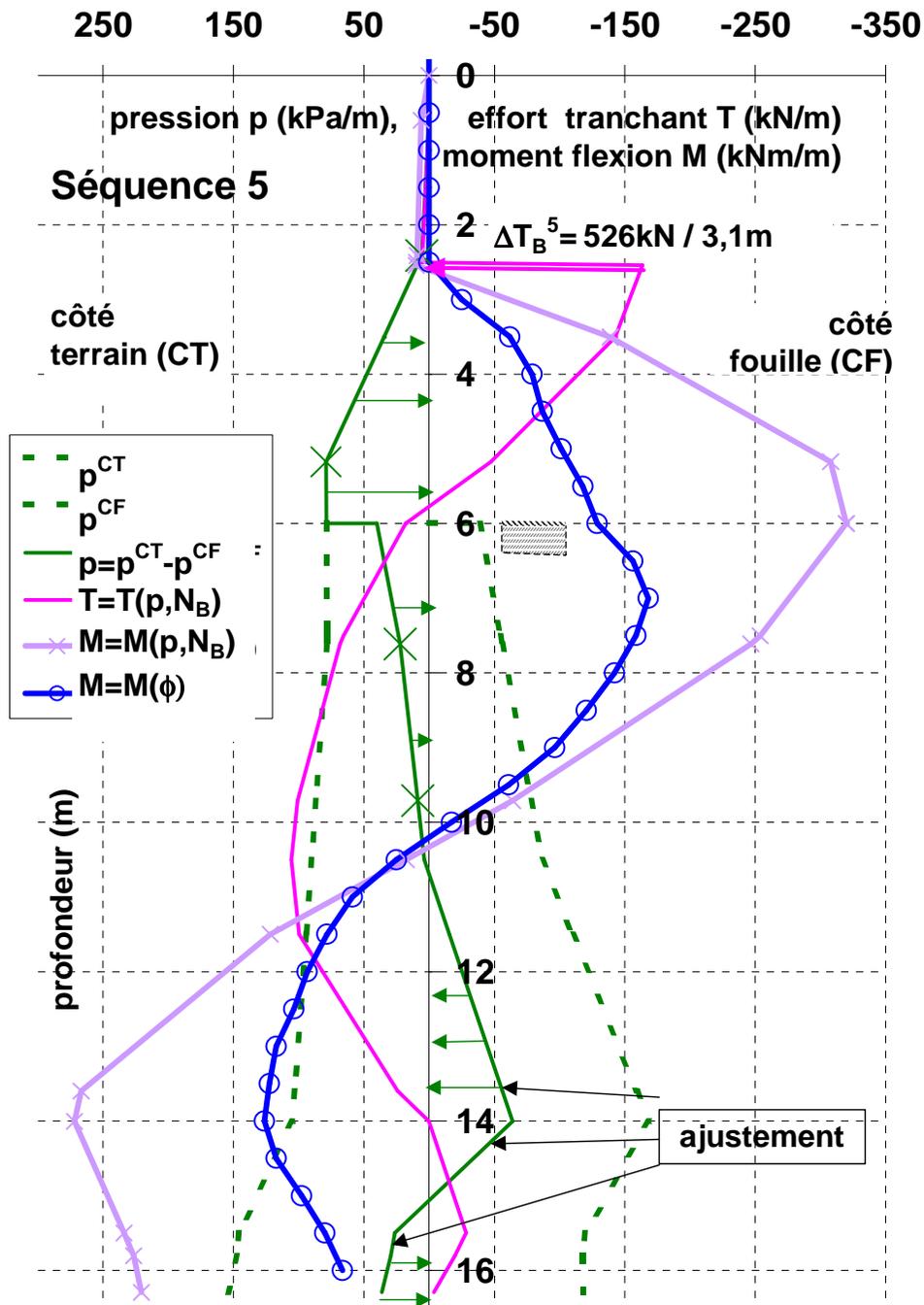


150 100 50 0 -50 -100 -150 -200 -250 -300



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

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



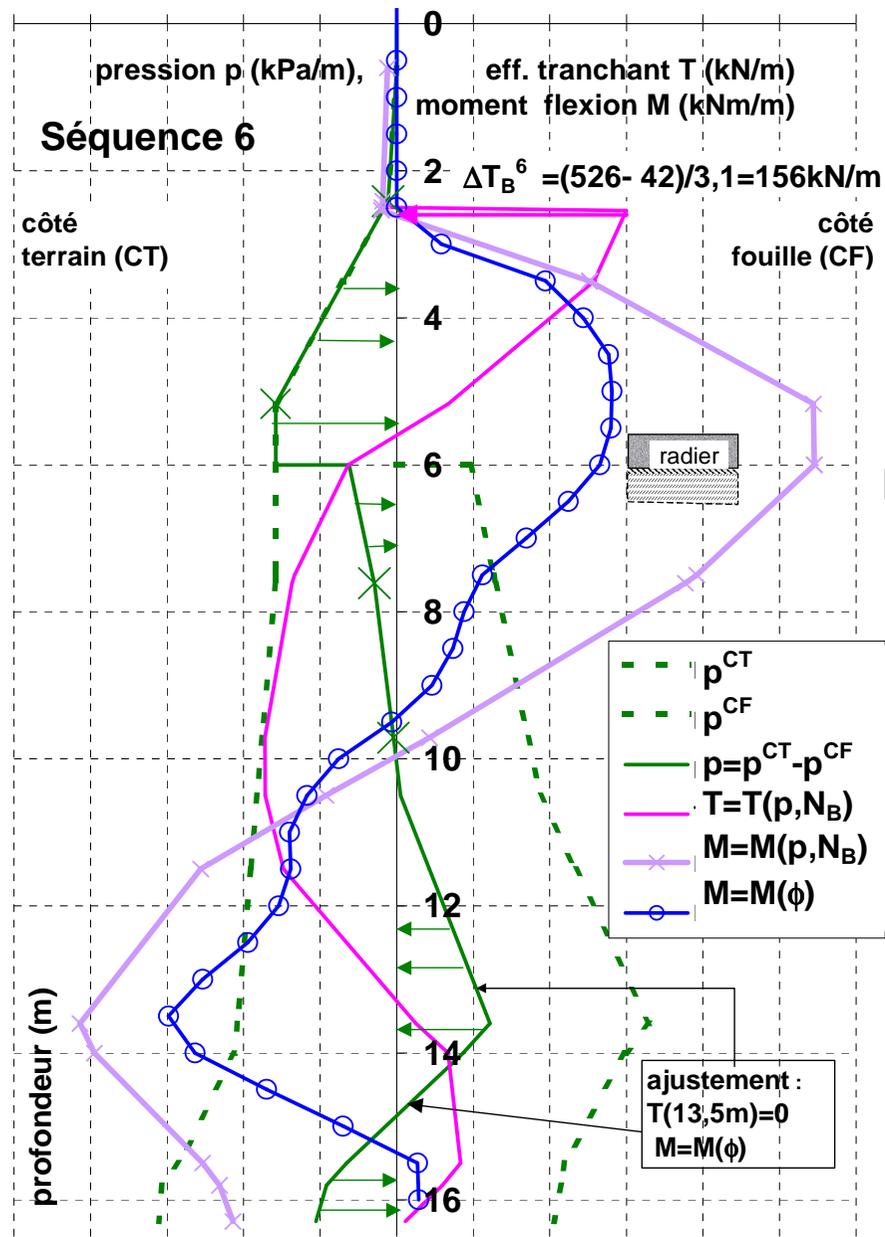
**Séquence 5**  
 (relation expérimentale «efforts - déplacements»)

**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.**