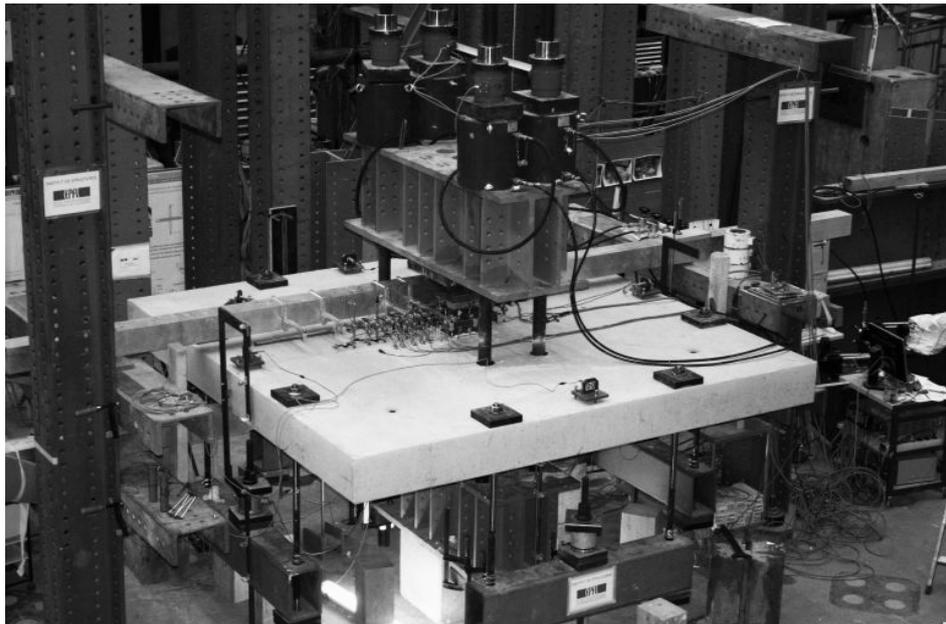


# Essais de poinçonnement de dalles en béton armé avec colonnes continues fortement sollicitées



Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne  
Institut d'Ingénierie Civile  
Laboratoire de construction en béton (IBETON)

Roberto Guidotti  
Dr Miguel Fernández Ruiz  
Prof. Dr Aurelio Muttoni

Rapport : dalles PG21, 22, 35 et 36 - R1

16 juillet 2010



**Rapport d'essai IBETON :**  
**dalles PG21, 22, 35 et 36 - R1**  
**Lausanne le 16 juillet 2010**

Institut	EPFL - ENAC - IIC
Laboratoire	IBETON
Essais effectués	Essais de poinçonnement de dalles en béton armé avec colonnes continues fortement sollicitées
Date des essais	du 29 janvier au 04 mars 2009
Directeur	Prof. Dr Aurelio Muttoni
Collaborateurs	R. Guidotti, G. Guignet
Auteurs du rapport	R. Guidotti, M. Fernández Ruiz, A. Muttoni

Ce rapport contient 56 pages et 6 annexes

*Ce rapport ne peut être reproduit totalement ou partiellement, ni utilisé ou mentionné dans le but de réclame, quel qu'il soit sans l'accord écrit du laboratoire. Les résultats figurant dans ce rapport ne concernent que les objets soumis aux essais.*

1<sup>ère</sup> édition du 16 juillet 2010



# Avant-propos

Ce rapport présente la description et les résultats d'une campagne d'essais de poinçonnement conduite en 2009 dans le LABORATOIRE DE CONSTRUCTION EN BÉTON de l'ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE. La campagne d'essai est composée d'une série de dalles carrées en béton armé testées au poinçonnement symétrique avec l'interaction de l'effort normal de la colonne supérieure. Les dalles ont toutes les mêmes dimensions et diffèrent par leur taux d'armature de flexion et par le rapport entre la force introduite sur la dalle et celle introduite sur la colonne supérieure.

La série est conçue comme complément à la PG série I conduite entre 2006 et 2007 par les mêmes auteurs [Gui07]. Les dalles PG19 et PG20 sont des essais de référence, chargées exclusivement sur la dalle, et font partie de la PG série II [Gui09].

Le premier but de cette étude est de confirmer la conclusion principale tirés de la série précédente pour des taux d'armature différents. En effet les résultats de la première série ont permis de découvrir que l'effort normal, s'il dépasse la résistance à la compression du béton de la dalle, augmente la résistance au poinçonnement de la dalle. Cette augmentations est plus grande plus l'effort normal est élevé, autant que pour un cas la rupture est survenue par la formation d'un mécanisme de flexion.

Le deuxième but est de fournir les mesures expérimentales nécessaires à la validation d'un modèle physique pour le calcul de la résistance d'une telle dalle. Ce modèle est basé sur la théorie de la fissure critique [Mut03, Mut08].



# Table des matières

Avant-propos	5
Notations	9
<b>1 Introduction</b>	<b>11</b>
1.1 Motivation des essais . . . . .	11
1.2 Programme d'essai . . . . .	11
<b>2 Dalles d'essai</b>	<b>13</b>
2.1 Géométrie . . . . .	13
2.2 Armatures . . . . .	13
2.3 Matériaux . . . . .	14
2.3.1 Béton . . . . .	14
2.3.2 Acier . . . . .	15
<b>3 Gestion des essais</b>	<b>17</b>
3.1 Bâti de charge . . . . .	17
3.2 Mode de chargement . . . . .	17
3.3 Mesures . . . . .	19
3.4 Caractéristiques principales des instruments de mesure . . . . .	22
<b>4 Résultats</b>	<b>25</b>
4.1 PG21 : $\rho = 1.50\%$ , $N_R/V_R = 3.83$ . . . . .	27
4.2 PG22 : $\rho = 1.50\%$ , $N_R/V_R = 5.10$ . . . . .	29
4.3 PG35 : $\rho = 0.75\%$ , $N_R/V_R = 7.36$ . . . . .	31
4.4 PG36 : $\rho = 1.50\%$ , $N_R/V_R = 5.42$ . . . . .	33
<b>Bibliographie</b>	<b>35</b>

## TABLE DES MATIÈRES

---

<b>A Relevé des fissures en surface</b>	<b>37</b>
<b>B Relevé des fissures sur la section des dalles coupées</b>	<b>39</b>
<b>C Essais sur le béton durci</b>	<b>41</b>
<b>D Essais de traction des barres d'armature</b>	<b>43</b>
<b>E Plans de coffrage, d'armature et listes de fer</b>	<b>47</b>
<b>F Fiches techniques des produits</b>	<b>53</b>

# Notations

## Majuscules latines

$E_c$	module d'élasticité du béton
$E_{cm,28}$	module d'élasticité moyen du béton à 28 jours
$E_{cm,essai}$	module d'élasticité moyen du béton lors de l'essai
$N$	charge appliquée sur la colonne supérieure (poids propre inclus)
$N_g$	charge initiale appliquée sur la colonne supérieure (poids propre)
$N_R$	charge de rupture appliquée sur la colonne supérieure (poids propre inclus)
$V$	charge appliquée sur la dalle (poids propre inclus)
$V_g$	charge initiale appliquée à la dalle (poids propre)
$V_R$	charge de rupture appliquée à la dalle (poids propre inclus)

## Minuscules latines

$d_g$	diamètre maximal du granulat
$d_m$	hauteur statique moyenne effective de l'armature supérieure
$d_{m,nom}$	hauteur statique moyenne nominale de l'armature supérieure
$d'_m$	hauteur statique moyenne effective de l'armature inférieure
$d'_{m,nom}$	hauteur statique moyenne nominale de l'armature inférieure
$e_{sup}$	espacement des barres d'armature supérieures
$e_{inf}$	espacement des barres d'armature inférieures
$f_c$	résistance à la compression du béton sur cylindre
$f_{ct}$	résistance à la traction directe du béton
$f_{cm,28}$	résistance moyenne à la compression du béton sur cylindre à 28 jours
$f_{cm,cube,28}$	résistance moyenne à la compression du béton sur cube à 28 jours
$f_{ctm,28}$	résistance moyenne à la traction directe du béton à 28 jours

$f_{cm,essai}$	résistance moyenne à la compression du béton sur cylindre lors de l'essai
$f_{ctm,essai}$	résistance moyenne à la traction directe du béton lors de l'essai
$f_s$	limite d'écoulement de l'acier d'armature
$f_t$	résistance à la traction de l'acier d'armature
$h$	épaisseur effective de la dalle
$h_{nom}$	épaisseur nominale de la dalle
$\ell_0$	base de mesure des jauges oméga
$r$	distance au centre de la dalle
$t$	temps à partir du bétonnage ou du début de l'essai
$w$	déformation de la dalle

### Majuscules grecques

$\Delta\ell_i, \Delta\ell_{it}, \Delta\ell_s$	déformations à la surface du béton : inférieure radiale, resp. inférieure tangentielle, resp. supérieure radiale
$\Delta h$	changement d'épaisseur
$\emptyset$	diamètre
$\emptyset_{sup}, \emptyset_{inf}$	diamètre des barres de l'armature supérieure, resp. inférieure

### Minuscules grecques

$\delta$	allongement le long de l'axe nord-sud mesuré au feuillet moyen de la dalle
$\delta_{inf}, \delta_{sup}$	mesure effectuée sur le câble supérieur, resp. inférieur, de l'instrument pour la mesure de l'allongement le long de l'axe de la dalle
$\varepsilon_s$	déformation dans les barres d'armature
$\varepsilon_{su}$	allongement spécifique de rupture de l'acier d'armature
$\rho_{nom}, \rho'_{nom}$	taux d'armature nominal de l'armature supérieure, resp. inférieure
$\rho, \rho'$	taux d'armature effectif de l'armature supérieure, resp. inférieure
$\sigma_s$	contrainte dans les barres d'armature
$\psi$	rotation moyenne de la dalle mesurée à 1380 mm du centre
$\psi_{R,min}, \psi_{R,max}$	rotation moyenne minimale (selon l'axe est-ouest), resp. maximale (selon l'axe nord-sud), de la dalle à la rupture mesurée à 1380 mm du centre

# 1 Introduction

## 1.1 Motivation des essais

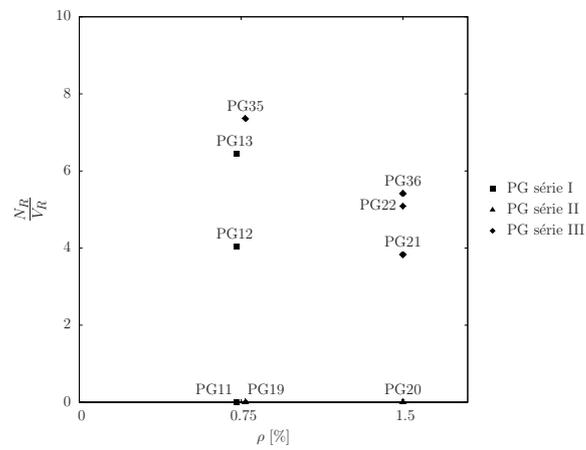
Actuellement, les planchers-dalles en béton armé appuyés sur colonnes constituent une solution économique et efficace pour la réalisation des bâtiments en hauteur. Les colonnes de ces bâtiments sont souvent exécutées avec des bétons à plus haute résistance que celui des dalles et elles transmettent des charges qui peuvent être très importantes. Les régions d'appuis de ces colonnes dans les planchers se trouvent par conséquent soumises à des fortes compressions transversales (prévenant des charges des colonnes  $N$ ) ainsi que à des efforts tranchants importants (provenant des charges des planchers  $V$ ). Il est donc important connaître l'interaction entre ces deux types d'efforts.

Une série préliminaire [Gui07] a montré l'effet positif de la force dans les colonnes  $N$  sur la résistance au poinçonnement  $V_R$  sur des joints colonnes-dalle avec un taux nominal d'armature flexionnelle  $\rho = 0.75\%$ . Cette nouvelle série a été conçue afin d'investiguer l'effet sur des dalles plus armées où les rotations à la rupture sont normalement beaucoup plus faibles. De plus, des forces sur les colonnes  $N$  plus élevées que celle de la première série ont été appliquées aux échantillons. Pour cette raison un joint colonnes-dalle avec  $\rho = 0.75\%$  a été de nouveau testé mais avec un effort  $N$  plus élevé que lors de la série préliminaire.

## 1.2 Programme d'essai

La campagne d'essais se compose d'une série de dalles carrées en béton armé de 3000 mm de côté et de 250 mm d'épaisseur armées que à la flexion. Deux taux d'armature ont été utilisées pour la confection des dalles d'essai, voir figure 1.1. La dalle moins armée est testée au poinçonnement avec l'effort normal maximal du le bâti de charge. Par contre les trois dalles restantes ont été testées différents rapports  $N/V$ . Les essais au poinçonnement ont été effectuées dans la halle 1 de l'Institut d'Ingénierie Civile (IIC) de l'EPFL entre janvier et mars 2009.

Les dalles sont conventionnellement nommées PG( $n^\circ$ dalle).

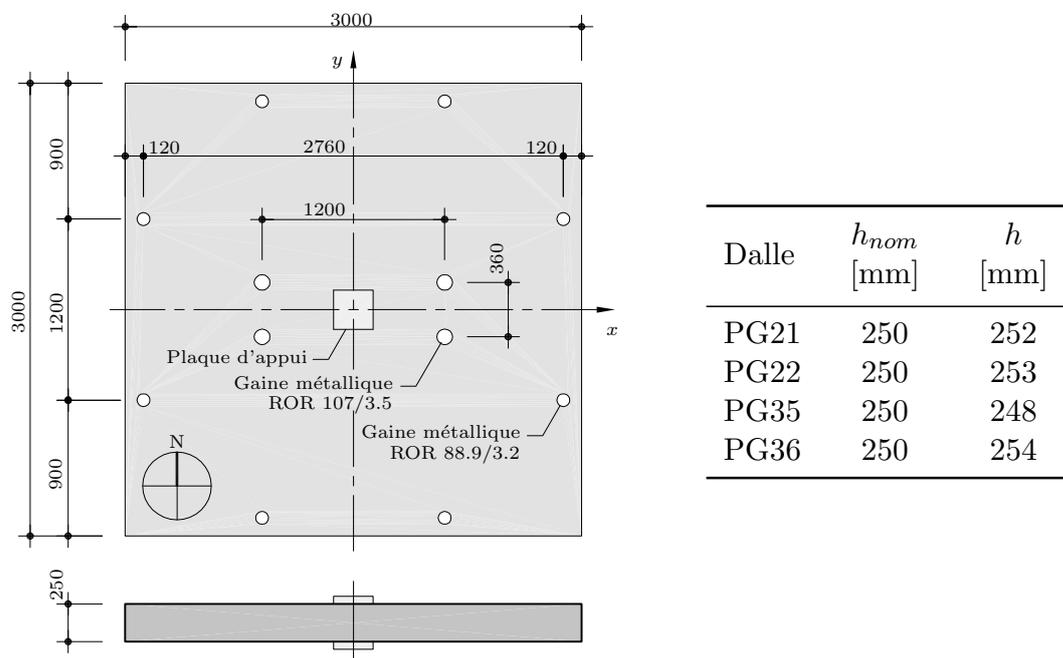


**Fig. 1.1:** Dénomination et particularité des dalles de poinçonnement

## 2 Dalles d'essai

### 2.1 Géométrie

La figure 2.1 montre la géométrie des dalles. Chaque dalle présente huit réservations le long de ses bords qui servent à la mise en charge de la dalle et quatre à l'intérieur pour le passage des grosses tiges nécessaires à la mise en charge des colonnes. Les réservations ont été réalisées au moyen de tubes métalliques de type ROR 88.9/3.2 le long des bords et ROR 107/3.5 à l'intérieur. La position des grands trous a été choisie à l'extérieur de la zone intéressée par la rupture au poinçonnement de façon à ne pas influencer la résistance de la dalle. Toutes les dalles ont une épaisseur nominale  $h_{nom}$  de 250 mm. Le tableau de la figure 2.1 donne les épaisseurs nominales et effectives mesurées après le sciage.

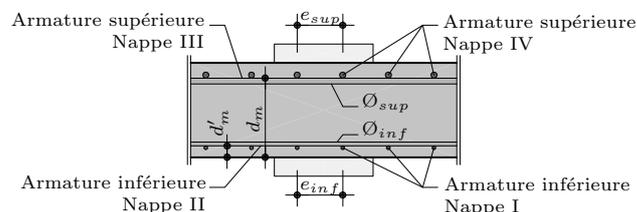


**Fig. 2.1:** Géométrie des dalles et hauteurs nominales et effectives

### 2.2 Armatures

Les dalles n'ont que de l'armature de flexion. Les barres d'armature sont disposées parallèlement aux bords de la dalle en nappes orthogonales. La figure 2.2 montre un schéma de la disposition des armatures de flexion. L'orientation conventionnelle choisie pour l'axe nord-sud coïncide avec la direction des nappes internes II et III pour toutes les dalles, c'est-à-dire avec la direction de moment résistant de flexion le plus petit (axe faible). Les tableaux 2.1 et

2.2 contiennent les données nominales et effectives (mesurées) des armatures supérieures et inférieures. Les plans d'armature détaillés pour chaque dalle sont présentés dans l'annexe E. L'espacement des armatures inférieures et supérieures ( $e_{inf}$  et  $e_{sup}$ ), les diamètres ( $\varnothing_{inf}$  et  $\varnothing_{sup}$ ) ainsi que les taux d'armature ( $\rho$  et  $\rho'$ ) varient selon les éprouvettes. La hauteur statique effective  $d_m$ , soit la distance entre la fibre la plus comprimée du béton et l'interface des deux nappes d'armature supérieures (figure 2.2), et la hauteur des armatures inférieures  $d'_m$  ont été mesurées sur les dalles coupées.



**Fig. 2.2:** Schéma de la disposition de l'armature de flexion

**Tab. 2.1:** Paramètres des armatures supérieures

Dalle	$\varnothing_{sup}$ [mm]	$e_{sup}$ [mm]	$d_{m,nom}$ [mm]	$\rho_{nom}$ [%]	$d_m$ [mm]	$\rho$ [%]
PG21	20	100	210	1.50	195	1.61
PG22	20	100	210	1.50	200	1.57
PG35	16	125	210	0.75	205	0.78
PG36	20	100	210	1.50	207	1.52

**Tab. 2.2:** Paramètres des armatures inférieures

Dalle	$\varnothing_{inf}$ [mm]	$e_{inf}$ [mm]	$d'_{m,nom}$ [mm]	$\rho'_{nom}$ [%]	$d'_m$ [mm]	$\rho'$ [%]
PG21	10	100	30	0.37	32	0.40
PG22	10	100	30	0.37	38	0.39
PG35	10	125	30	0.30	37	0.31
PG36	10	100	30	0.37	40	0.38

## 2.3 Matériaux

### 2.3.1 Béton

Les quatre dalles ont été bétonnées avec le même type de béton fabriqué dans une centrale et fourni à l'usine de préfabrication au moyen de deux transports séparés. La taille maximale du granulat est  $d_g = 16$  mm. Les valeurs nominales de la recette sont résumées dans le tableau 2.3.

**Tab. 2.3:** Composition du béton

Composition		[kg/m <sup>3</sup> ]	[%]
Sable 0-4		760	41
Gravier 4-8		275	15
Gravier 8-16		800	44
Ciment <sup>1</sup>		350	
Eau efficace <sup>2</sup>	Cam I	155	E/C = 0.44
	Cam II	164	E/C = 0.47
Adjuvant <sup>3</sup>		2.1	0.6

Les dalles ont été bétonnées en un seul jour (19 décembre 2008) dans une usine de préfabrication. Des essais sur le béton durci, voir tableau 2.5, ont été effectués pour suivre l'évolution dans le temps de la résistance à la compression et pour avoir la résistance du béton lors des essais de poinçonnement. Ces essais ont été réalisés en compression simple et traction directe sur des éprouvettes cylindriques Ø160 mm et 320 mm de hauteur<sup>4</sup>. De plus, la résistance à la compression mesurée sur cubes (150 mm) est donnée dans les tableaux des essais sur le béton durci<sup>5</sup>.

Le tableau 2.5 résume les résistances et le module d'élasticité obtenus à 28 jours ( $f_{cm,28}$ ,  $f_{ctm,28}$  et  $E_{cm,28}$ ) et lors de l'essai de chaque dalle ( $f_{cm,essai}$ ,  $f_{ctm,essai}$  et  $E_{cm,essai}$ ). Les détails des tests effectués sur le béton durci sont donnés à l'annexe C.

### 2.3.2 Acier

L'acier d'armature utilisé pour la confection des spécimens a fait l'objet d'essais de traction avec mesure de l'allongement. Les essais ont été conduits dans le laboratoire de l'Institut d'Ingénierie Civile (IIC) de l'EPFL. Les éprouvettes ont été prélevées dans l'usine de préfabrication au moment du montage des cages d'armature. Trois barres ont été testées pour chaque diamètre utilisé. Le tableau 2.4 résume les résultats significatifs de chaque diamètre alors que les détails des essais ainsi que les diagrammes contrainte-déformation ( $\sigma_s$ - $\varepsilon_s$ ) sont donnés à l'annexe D.

**Tab. 2.4:** Caractéristiques des aciers d'armature  
(valeurs entre parenthèses : écart-type)

Ø	$f_s$	$f_t$	$\varepsilon_{su}$
[mm]	[MPa]	[MPa]	[%]
10	500 (7)	553 (2)	4.5 (0.4)
16	510 (2)	607 (4)	12.9 (0.5)
20	551 (3)	659 (1)	9.4 (1.0)

1. Ciment type : CEM II/A-LL 42,5 N (Holcim Fluvio 4), voir annexe F.
2. Mesure du contenu d'eau par brûlage effectuée par le laboratoire mobile Holcim.
3. Adjuvant : Superfluidifiant Sika® ViscoCrete® - 3088, voir annexe F.
4. Les essais de compression sur cylindre ont été conduits par le laboratoire de l'Institut d'ingénierie civile (IIC) et ceux de traction par le laboratoire des matériaux de construction (LMC) de l'EPFL.
5. Les essais de compression sur cubes ont été conduits par le laboratoire Holcim.

**Tab. 2.5:** Essais sur le bétons durci

Camion	$f_{cm,28}$ [MPa]	$f_{ctm,28}$ [MPa]	$E_{cm,28}$ [GPa]	$f_{cm,cube,28}$ [MPa]	Dalle	Age essai [j]	$f_{cm,essai}$ [MPa]	$f_{ctm,essai}$ [MPa]	$E_{cm,essai}$ [GPa]
I	40.3 <sup>1</sup>	3.2 <sup>1</sup>	31.4 <sup>1</sup>	53.3	PG21	41	47.3	3.6	33.1
					PG22	53	48.4	3.6	33.3
II	39.0	3.1	31.0	51.0	PG35	75	49.6	3.7	33.7
					PG36	68	49.5	3.7	33.6

1. Les valeurs mécaniques sur cylindre du béton du camion I à 28 jours n'ont pas été mesurées. Les valeurs montrées ont été calculées sur la base des essais à autres ages et l'évolution de ceux du camion II.

## 3 Gestion des essais

### 3.1 Bâti de charge

La figure 3.1 montre les dimensions principales du bâti de charge. Le même bâti a été utilisé pour tous les essais de poinçonnement décrits dans le présent rapport. Les dalles sont appuyées sur une plaque métallique carrée  $260 \times 260$  mm représentant la colonne. Une couche de plâtre d'environ 1 mm d'épaisseur a été coulée entre la dalle et la plaque afin de régulariser la surface d'appui. La colonne repose sur une grande poutre métallique s'appuyant sur un bloc en béton ( $500 \times 500 \times 500$  mm) posé sur le sol de réaction.

La dalle est mise en charge au moyen de quatre vérins de type BIERI de 1000 kN de capacité chacun qui s'appuient sur la face inférieure du sol de réaction. La force de chaque vérin est transmise par une barre Dywidag à une poutre de répartition métallique ROR  $300 \cdot 200 \cdot 16$  enfin elle est transmise par deux barres Dywidag en deux points le long du bord de la dalle où se trouvent les plaques métalliques de répartition  $200 \times 200$  mm.

Une plaque métallique carrée  $260 \times 260$  mm représentant la colonne supérieure a été posé au centre de la dalle, avec une couche de plâtre d'environ 1 mm. Sur la plaque centrale supérieure s'appuie une deuxième grande poutre métallique reliée à celle d'en bas au biais de quatre tiges Macalloy  $\varnothing 76$  mm. Les tiges traversent la dalle dans les quatre réservations intérieures. Entre les écrous supérieurs des tiges Macalloy et la grande poutre métallique trouvent place quatre vérins BIERI de 2000 kN de capacité chacun qui permettent d'introduire la force sur la colonne supérieure.

### 3.2 Mode de chargement

La force sur la dalle  $V$  et celle sur la colonne supérieure  $N$  ont été appliquée simultanément. L'augmentation de la force sur la dalle a été fixée pour toute la série à 15 kN/min et elle reste constante tout le long de l'essai. Par contre l'augmentation de la force dans la colonne varie d'essais en essais de façon à imposer le rapport  $N/V$  choisi. Dépassée la limite technique du bâti pour la force sur la colonne (entre 7500 et 8500 kN à dépendance de la pompe manuelle utilisée) la charge est maintenue constante pour toute la suite de l'essais.

La dalle PG36 a été chargée jusqu'à la charge maximale sur la colonne quand une rupture du système hydraulique est survenue. Ceci a produit une décharge presque instantanée de la colonne accompagnée par une légère augmentation de la charge sur la dalle due à l'allongement de la pile de plaques inférieures. Ensuite la force sur la dalle a été réduite pour empêcher une rupture à force constante. Etant donné que la dalle n'a pas reporté des ruptures, après réparation du système hydraulique, l'essai a été recommencé en récupérant la même courbe de chargement suivie lors de la première mise en charge.

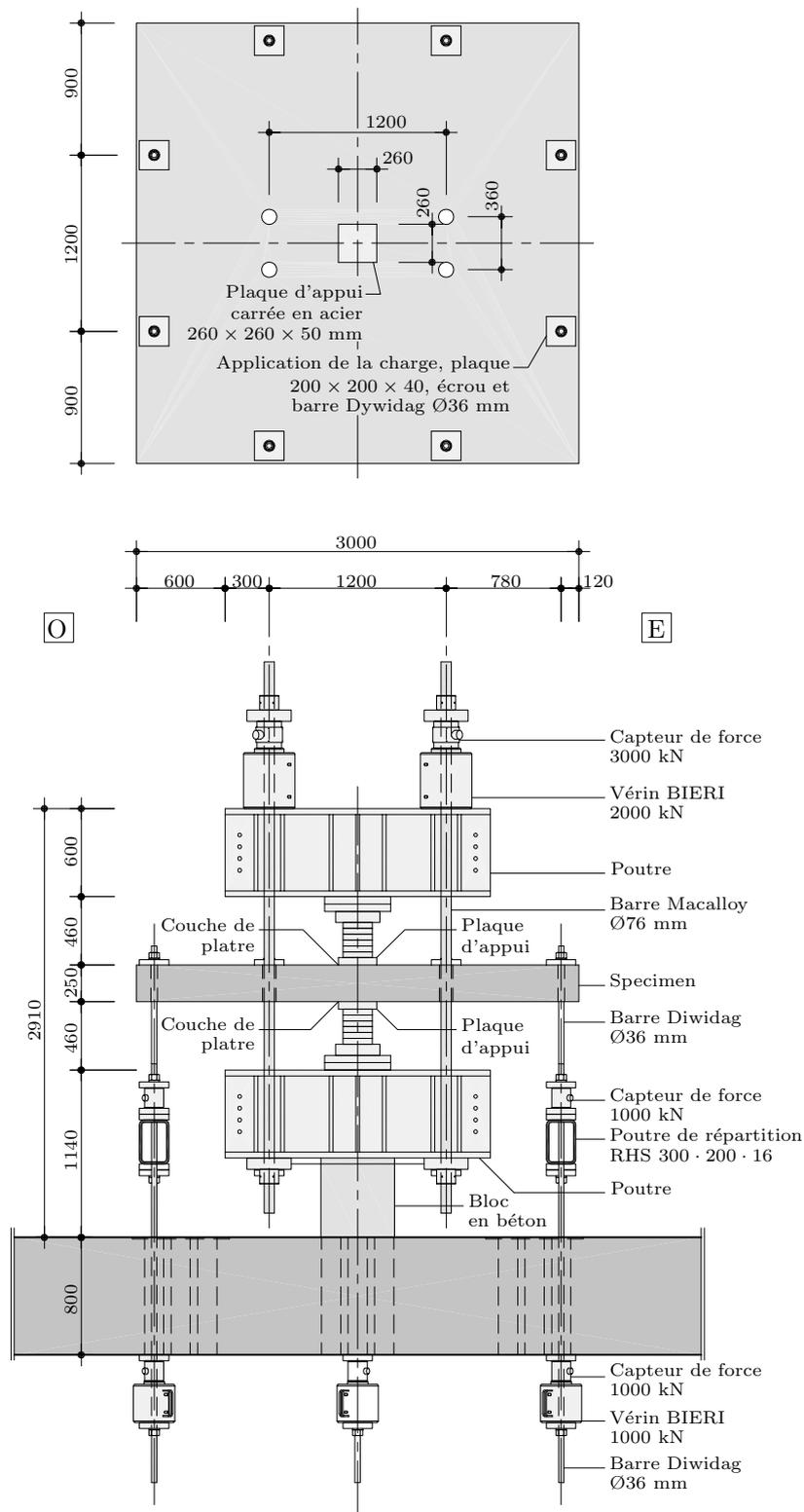


Fig. 3.1: Bâti de charge, dimensions en [mm]

### 3.3 Mesures

Diverses mesures ont été effectuées pendant les essais :

1. Mesure des forces introduite :

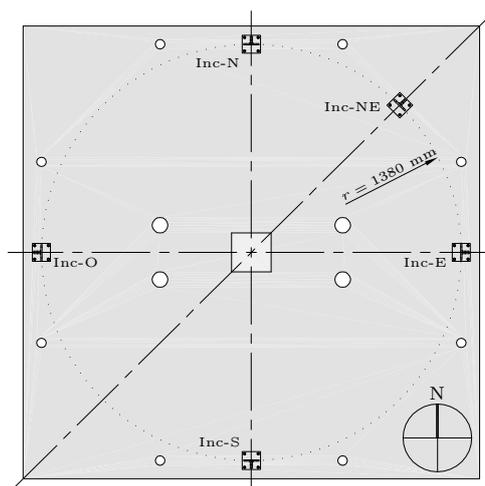
Huit capteurs de force de 1000 kN ont été utilisés pour le contrôle de la force appliquée au périmètre de la dalle; 4 placés entre les vérins et la surface inférieure du sol de réaction et 4 placés entre les profilés de répartition RHS et les écrous des tiges reliées aux vérins. La différence observée pendant les essais entre les deux séries de mesures est inférieure à 0.5%. Dans les résultats du chapitre 4 la moyenne entre les deux séries des mesures, augmentée du poids propre de la dalle et de la partie du bâti attachée à la dalle ( $V_g = 63.0$  kN), est présentée.

Pour la mesure de la force appliquée à la colonne une série de 4 capteurs de force de 3000 kN ont été utilisés. Ces capteurs ont été placés directement sur les vérins de 2000 kN avant les plaques des écrous Macalloy. Les valeurs de  $N$  présentées dans les résultats du chapitre 4 sont la somme des lectures des capteurs en question majorées par le poids de la grande poutre supérieure avec les plaques et les éléments du bâti qu'ils lui sont suspendus ( $N_g = 24.0$  kN).

La figure 3.1 donne des informations supplémentaires sur l'emplacement de l'instrumentation pour la mesure des forces.

2. Mesure de la rotation :

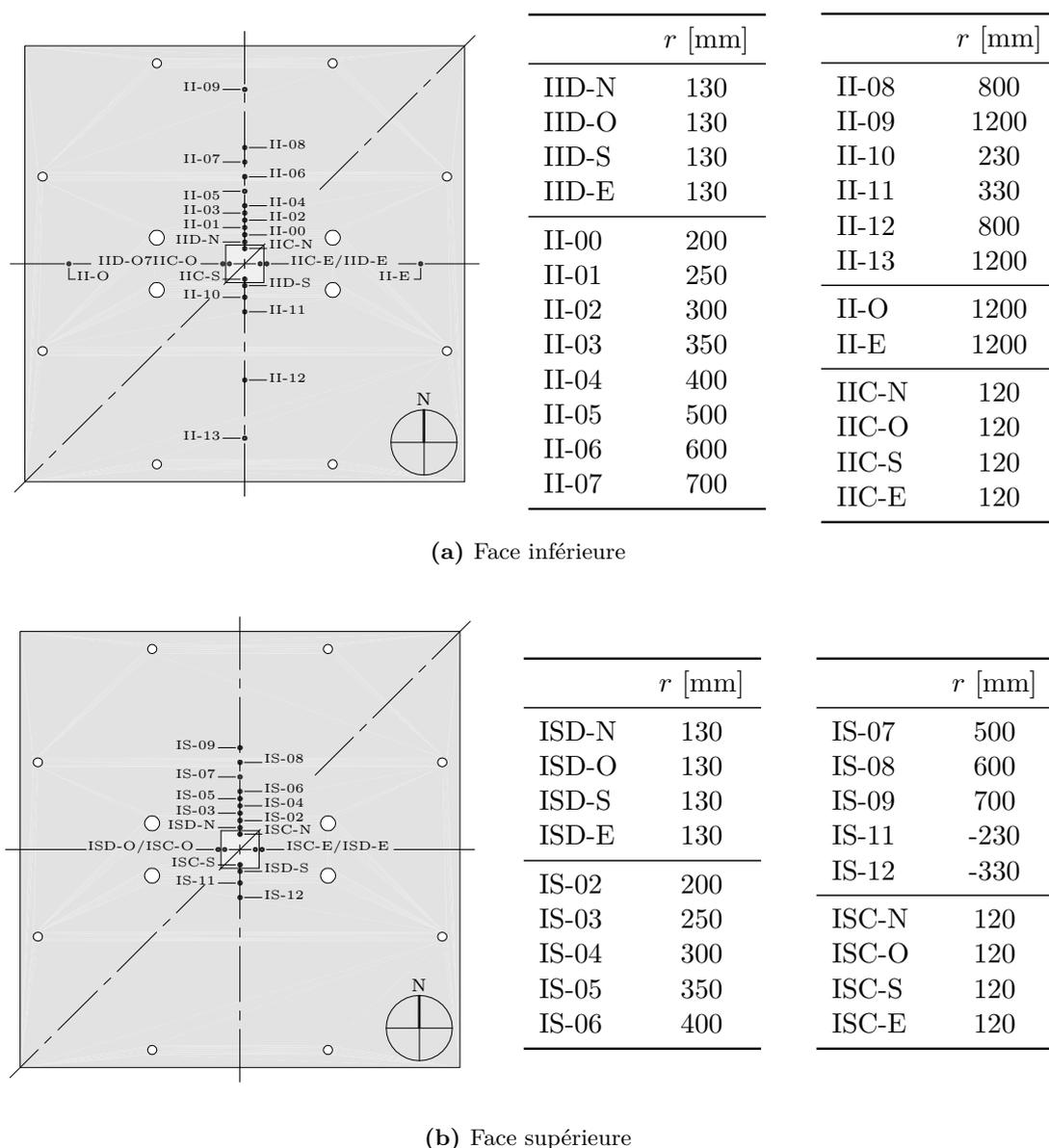
La rotation  $\psi$  de la dalle a été mesurée au moyen de cinq inclinomètres disposés sur la face supérieure des dalles, à 1380 mm du centre. La figure 3.2 donne un schéma de leur emplacement.



**Fig. 3.2:** Disposition des inclinomètres

3. Mesure des flèches :

Afin de mesurer la flèche des dalles en fonction de la charge appliquée, des mesures de déplacement aux faces inférieures et supérieures ont été effectuées à l'aide de capteurs inductifs. Pour cela, 12 capteurs inductifs ont été placés sur la face supérieure des dalles dans la direction nord - sud et 16 ont été disposés sur la face inférieure selon la même direction. De plus, deux capteurs ont suivi les déformations à l'est et à l'ouest des dalles (fig. 3.3).



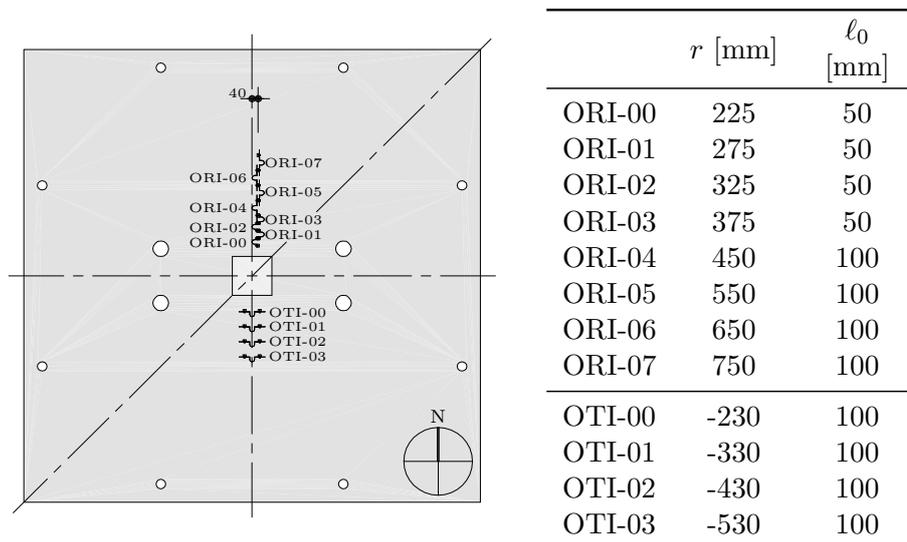
**Fig. 3.3:** Disposition des capteurs de déplacement et distances du centre de la dalle  $r$

4. Mesures sur les plaques d'appui :

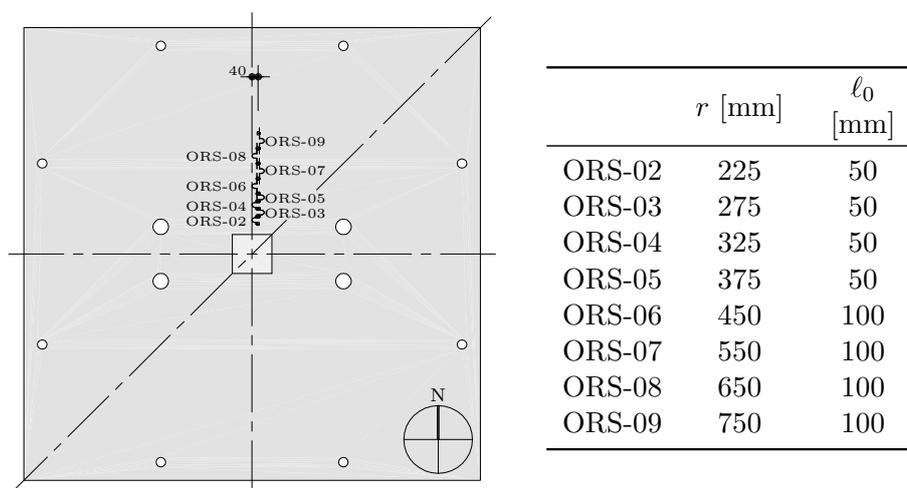
Quatre capteurs inductifs étaient disposés pour suivre les mouvements de chaque plaque métallique d'appui dans les directions nord, sud, est et ouest (fig. 3.3).

5. Mesures de déformations :

Des jauges oméga ont été placées sur les faces supérieure et inférieure des dalles. Ces mesures ont permis de connaître la déformation du béton en surface sur une base  $\ell_0$  de 100 et 50 mm. L'emplacement des jauges oméga ainsi que leur distance du centre de la dalle et leur base de mesure sont donnés à la figure 3.4.



(a) Face inférieure



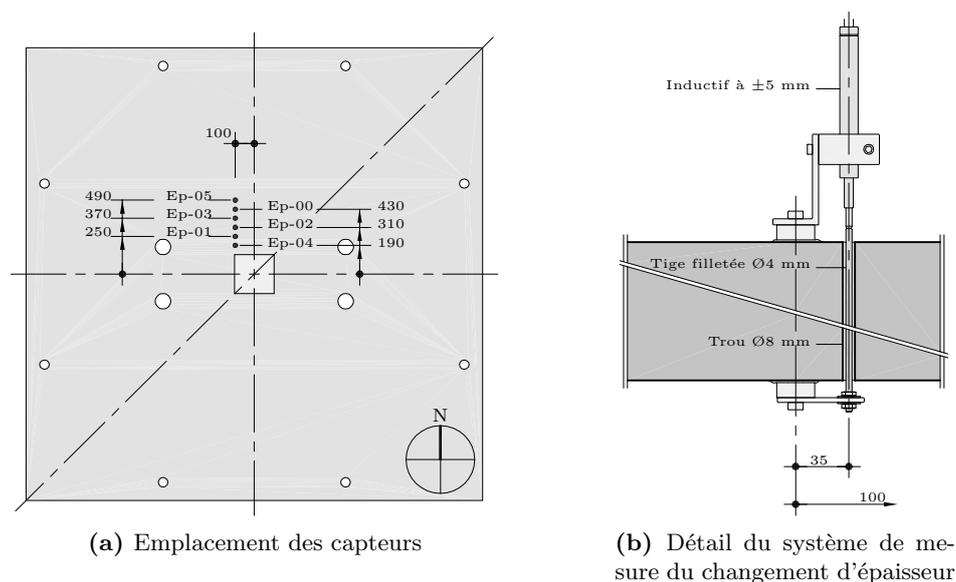
(b) Face supérieure

**Fig. 3.4:** Emplacement des jauges oméga, distances du centre de la dalle  $r$  et bases de mesure  $\ell_0$

## 6. Mesures de changement d'épaisseur.

Le changement d'épaisseur de la dalle a été mesuré à l'aide du système montré à la figure 3.5(b). Le système est constitué d'une tige traversant la dalle dans un trou  $\varnothing 8$  mm. Cette tige est fixée à une extrémité à la surface inférieure et son mouvement est suivi à l'autre extrémité par un capteur inductif fixé sur la face supérieure de la dalle. Cette mesure permet de connaître l'ouverture de la fissure de poinçonnement à l'intérieur de la dalle. Six mesures ont été effectuées pour chaque dalle avec ce système.

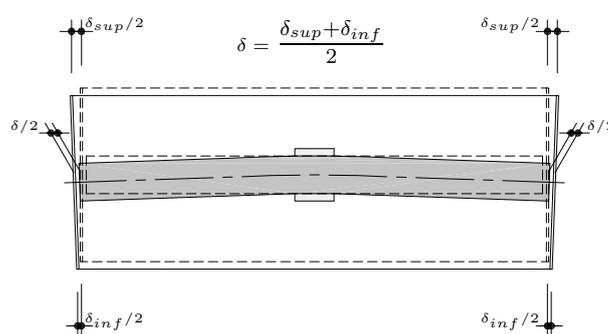
L'emplacement des systèmes de mesure de changement d'épaisseur est montré à la figure 3.5(a), avec les positions de chaque trou. Les trous ont été percés après durcissement du béton.



**Fig. 3.5:** Captteurs de changement d'épaisseur

#### 7. Mesure de la dilatance.

La dilatance  $\delta$ , soit l'allongement de l'axe nord-sud du feuillet moyen de la dalle, a été mesurée par le système montré à la figure 3.6. Ce système est constitué de deux barres verticales fixées aux extrémités de la dalle au niveau de l'axe nord-sud. Sur ces dernières, deux capteurs et un système de câbles d'acier, poulie et contrepoids sont disposés. Le système permet de mesurer l'écartement des extrémités supérieures et inférieures des deux barres. La dilatance est ainsi donnée par la moitié de la somme des deux écartements en considérant comme positif celui de l'extrémité supérieure et négatif celui de l'inférieure.



**Fig. 3.6:** Système de mesure de la dilatance

### 3.4 Caractéristiques principales des instruments de mesure

Le tableau 3.1 résume les plages de mesure et les données techniques des instruments de mesure utilisés lors des essais.

**Tab. 3.1:** Données techniques des instruments de mesure

Mesure :	Instrument	Type	Plage de mesure
Force	Capteur de force	Losinger	0 ÷ -1000 kN
		HBM	0 ÷ -2000 kN
		H. Dietrich	0 ÷ -3000 kN
Rotation	Inclinomètre	Wyler	± 17.5 mrad
Déplacement	Inductif	HBM W5	±5 mm
		HBM W10	±10 mm
		HBM W20	±20 mm
		HBM W50	±50 mm
		HBM W100	±100 mm
Déformation	Jauge oméga	TML PI-2-100	±2 mm
Epaisseur	Inductif	HBM W5	±5 mm
Dilatation	Inductif	HBM W10	±10 mm



## 4 Résultats

Ce chapitre présente les résultats principaux des essais, pour chaque dalle, dans le même format :

- (a) historique du chargement :  
 $V-t$  et  $N-t$
- (b) rapport charge sur la dalle et charge sur la colonne supérieure (avec indication des mises en charge et décharges<sup>1</sup>) :  
 $V-N$
- (c) charge sur la dalle - rotation mesuré avec les inclinomètres (moyenne nord-sud et est-ouest) :  
 $V-\psi$
- (d) charge sur la dalle - changement d'épaisseur de la dalle à l'extérieur de la colonne :  
 $V-\Delta h$
- (e) déformée mesurée sur la face supérieure et sur la face inférieure à divers niveaux de charge sur la dalle  $V = 0 - 20\% - 40\% - 60\% - 80\% - 90\% - 95\% - 100\% V_R$
- (f) charge sur la colonne supérieure - changement d'épaisseur de la dalle entre les colonnes :  
 $N-\Delta h$
- (g) charge sur la dalle - déformation radiale de la face inférieure mesuré par les jauges oméga ( $\ell_0 = 50$  mm) :  
 $V-\Delta \ell_i$
- (h) charge sur la dalle - déformation radiale de la face inférieure mesuré par les jauges oméga ( $\ell_0 = 100$  mm) :  
 $V-\Delta \ell_i$
- (i) charge sur la dalle - déformation tangentielle de la face inférieure mesuré par les jauges oméga ( $\ell_0 = 100$  mm) :  
 $V-\Delta \ell_{it}$
- (j) charge sur la dalle - déformation radiale de la face supérieure mesuré par les jauges oméga ( $\ell_0 = 50$  mm) :  
 $V-\Delta \ell_s$
- (k) charge sur la dalle - déformation radiale de la face supérieure mesuré par les jauges oméga ( $\ell_0 = 100$  mm) :  
 $V-\Delta \ell_s$
- (l) charge sur la dalle - dilatance de l'axe moyen nord-sud :  
 $V-\delta$

---

1. Pour plus de renseignements sur les raisons et les modalités des différentes mises en charge - décharges voir la section 3.2.

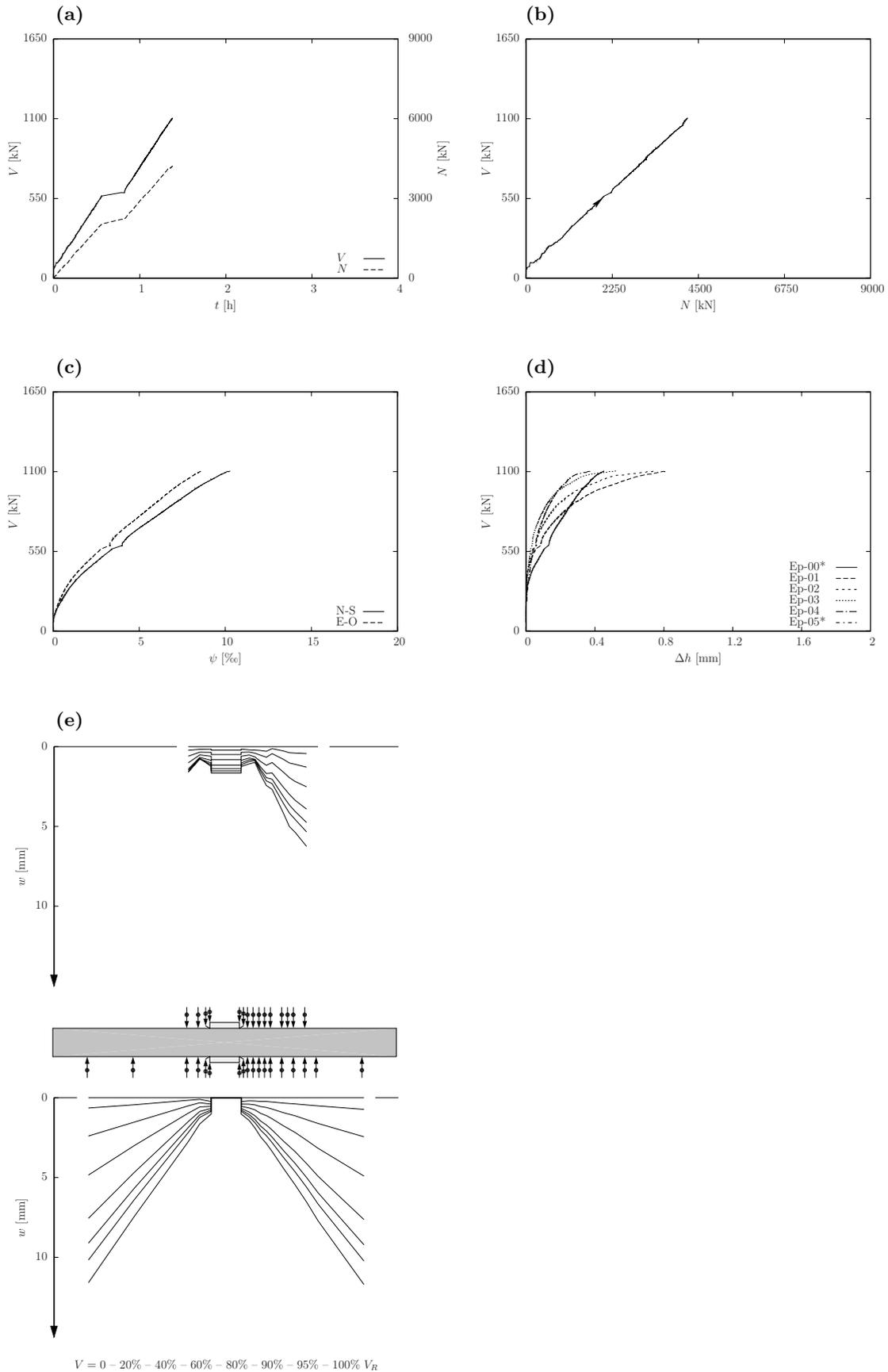
Les courbes indiquées par un astérisque (\*) sont tronquées, le signal étant devenu inutilisable à un certain moment de l'essai.

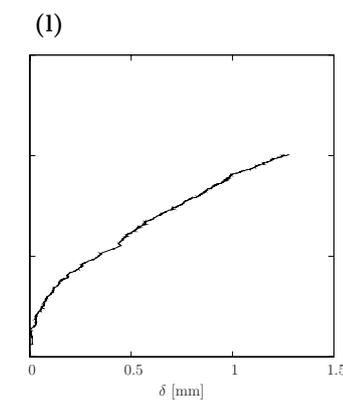
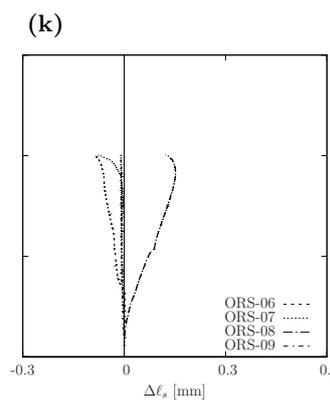
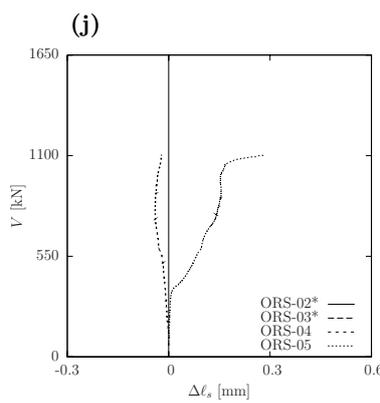
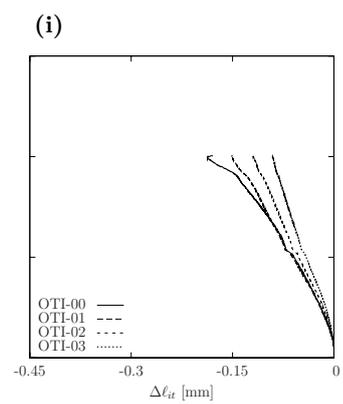
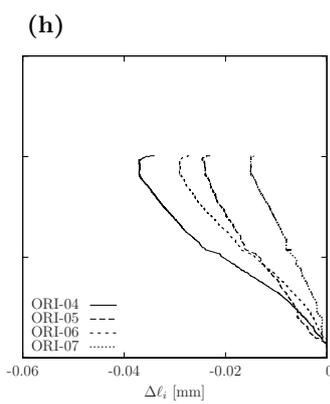
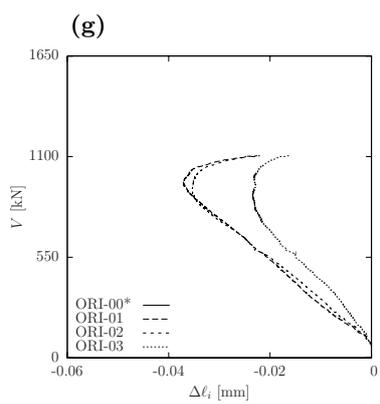
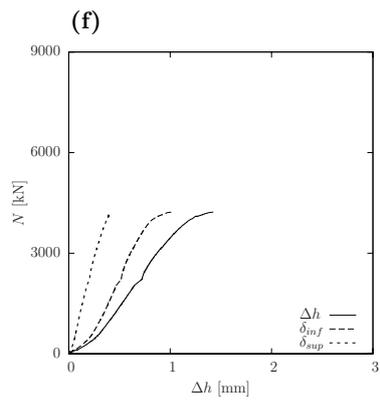
Le tableau 4.1 donne une vue d'ensemble des caractéristiques des dalles et des résultats principaux. La valeur des charges de rupture  $V_R$  et  $N_R$  incluent le poids propre de la dalle et du bâti de charge ( $V_g = 63$  kN et  $N_g = 24$  kN). Les rotations à la rupture  $\psi_{R,max}$  et  $\psi_{R,min}$  sont les moyennes des inclinomètres placés le long des axes nord-sud et est-ouest.

**Tab. 4.1:** Résumé des résultats

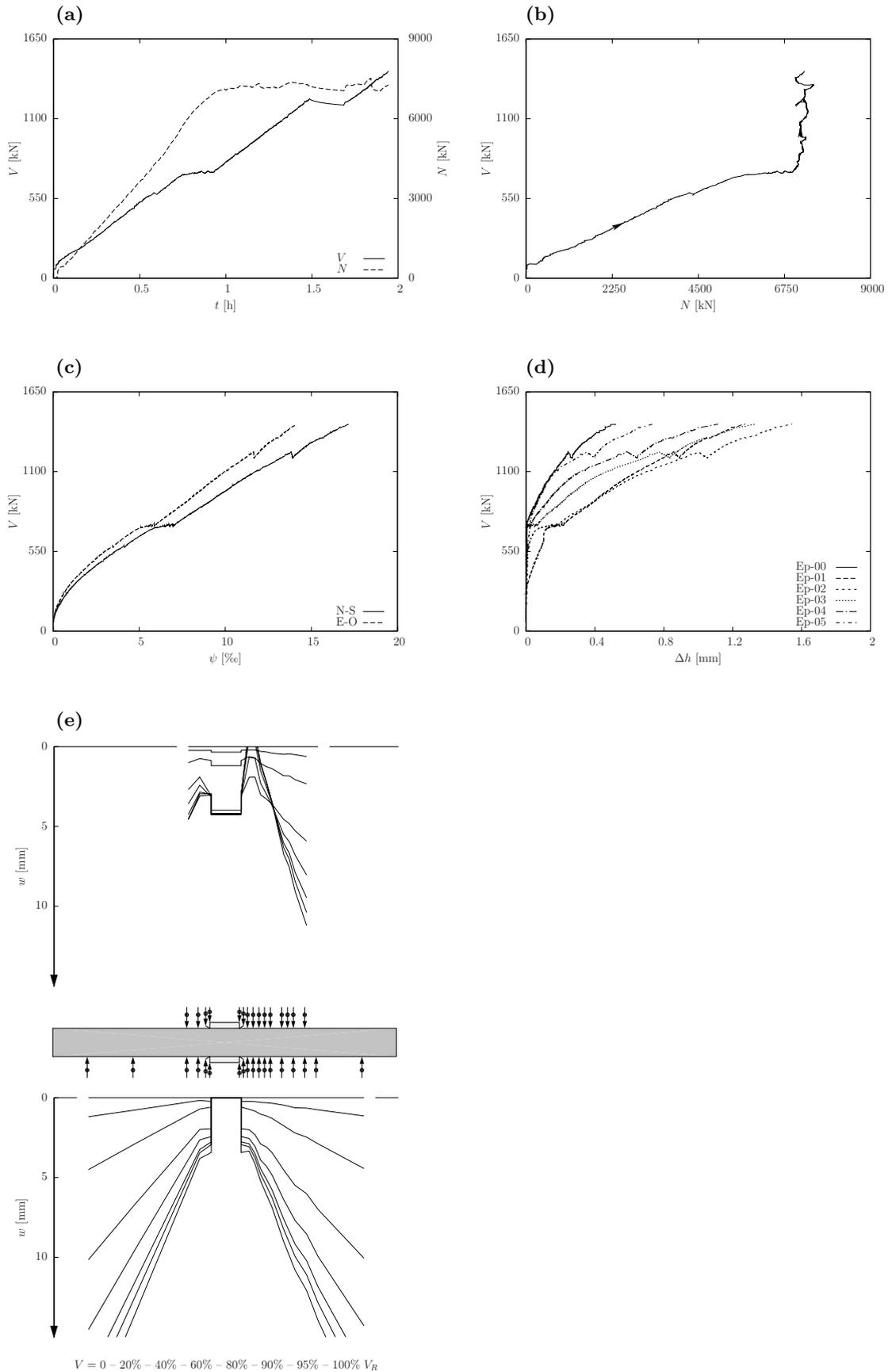
Dalle	$d_m$ [mm]	$\rho$ [%]	$f_s$ [MPa]	$f_{cm,essai}$ [MPa]	$f_{ctm,essai}$ [MPa]	$V_R$ [kN]	$N_R$ [kN]	$\psi_{R,max}$ [‰]	$\psi_{R,min}$ [‰]
PG21	195	1.61	551	47.3	3.6	1105	4227	10.3	8.6
PG22	200	1.57	551	48.4	3.6	1428	7275	17.2	14.1
PG35	205	0.78	510	49.6	3.7	894	6577	43.5	26.0
PG36	207	1.52	551	49.5	3.7	1543	8364	16.9	14.2

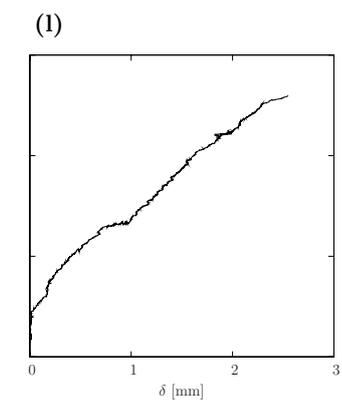
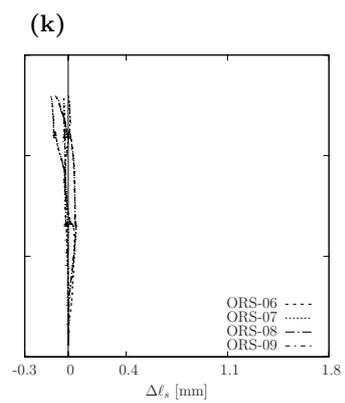
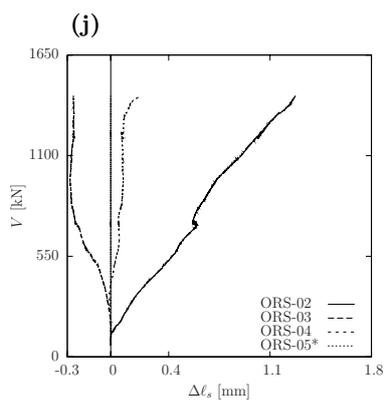
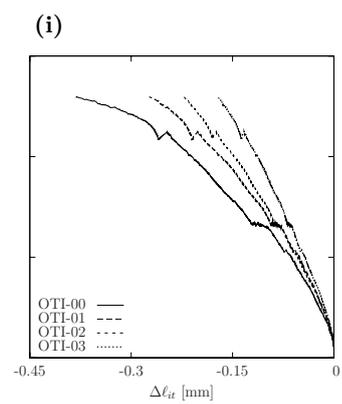
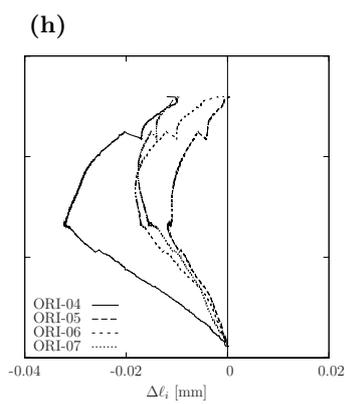
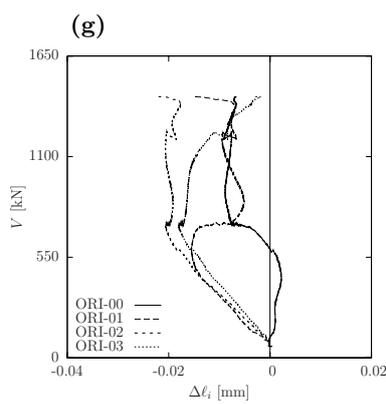
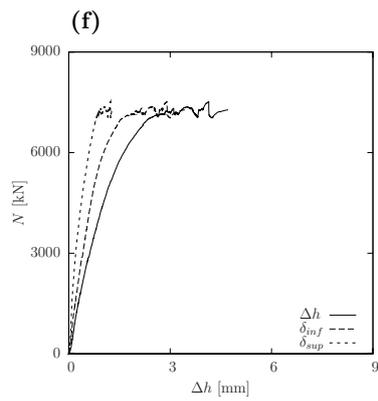
### 4.1 PG21 : $\rho = 1.50\%$ , $N_R/V_R = 3.83$



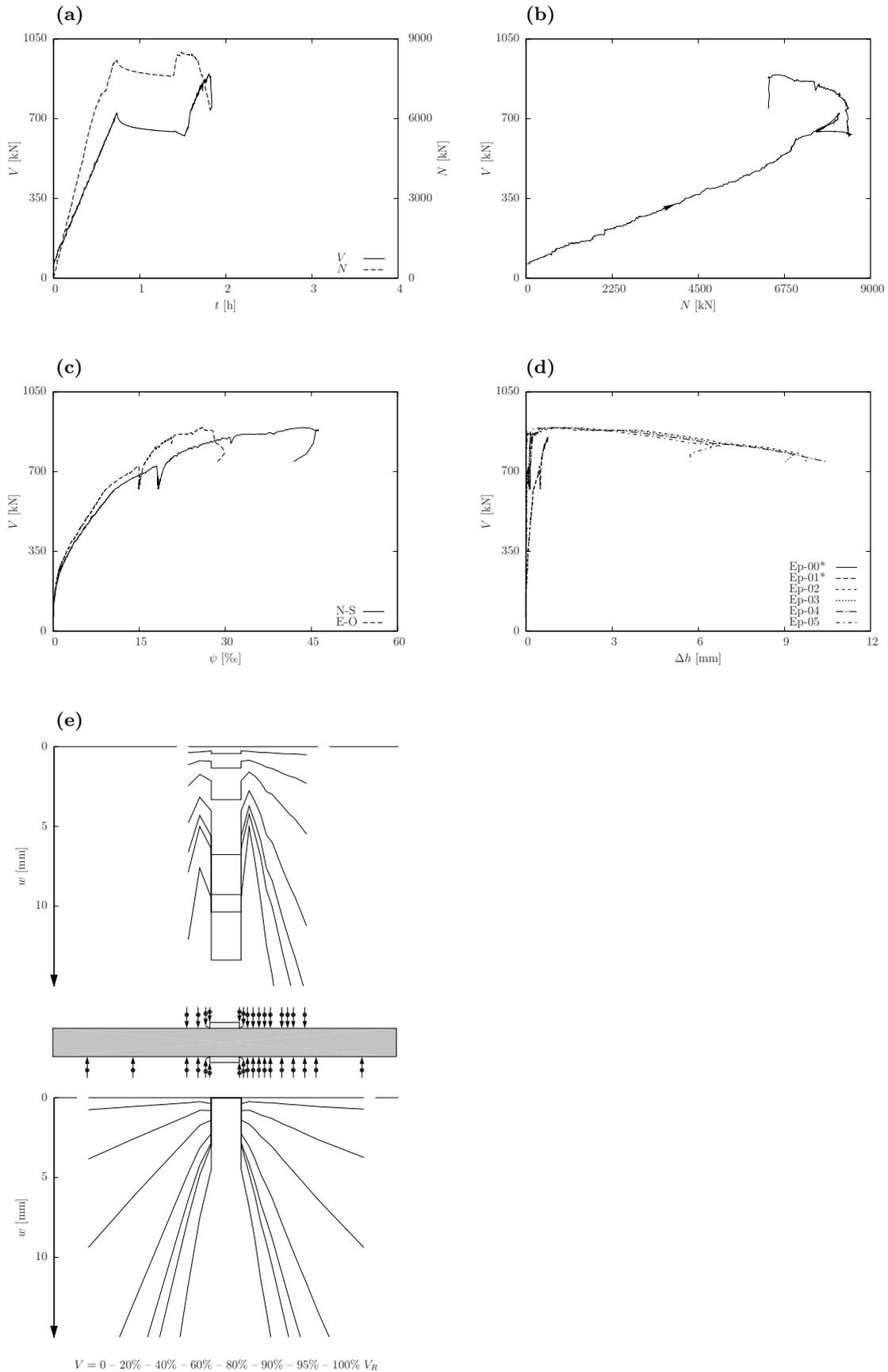


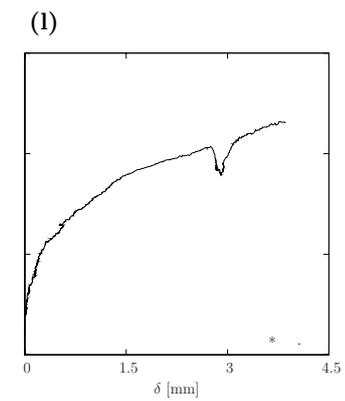
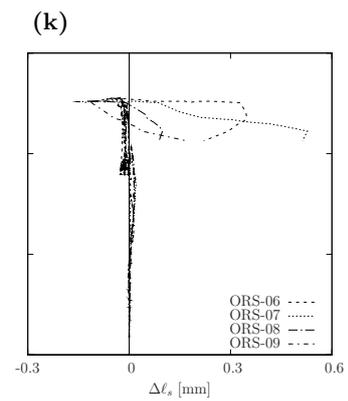
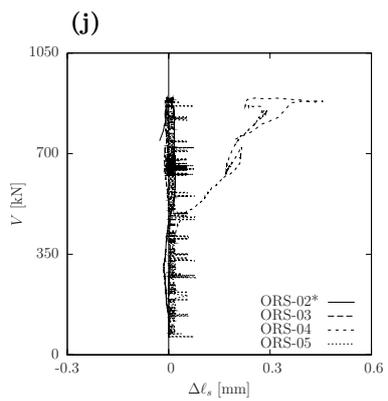
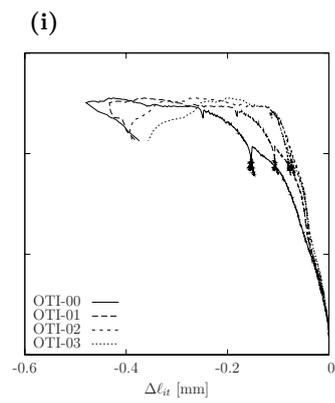
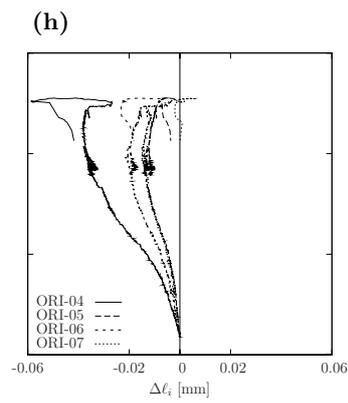
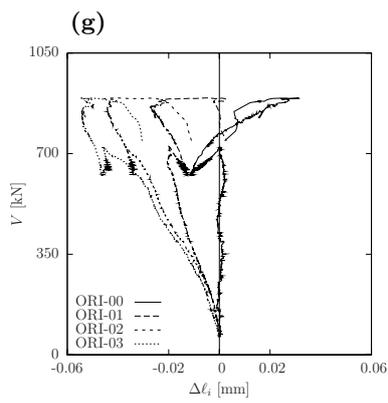
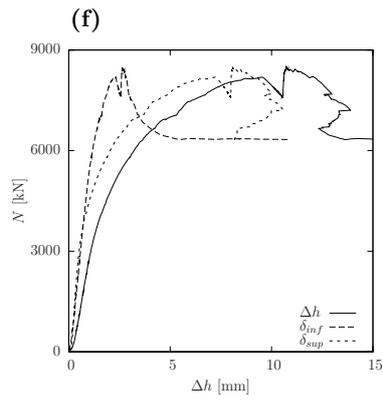
### 4.2 PG22 : $\rho = 1.50\%$ , $N_R/V_R = 5.10$



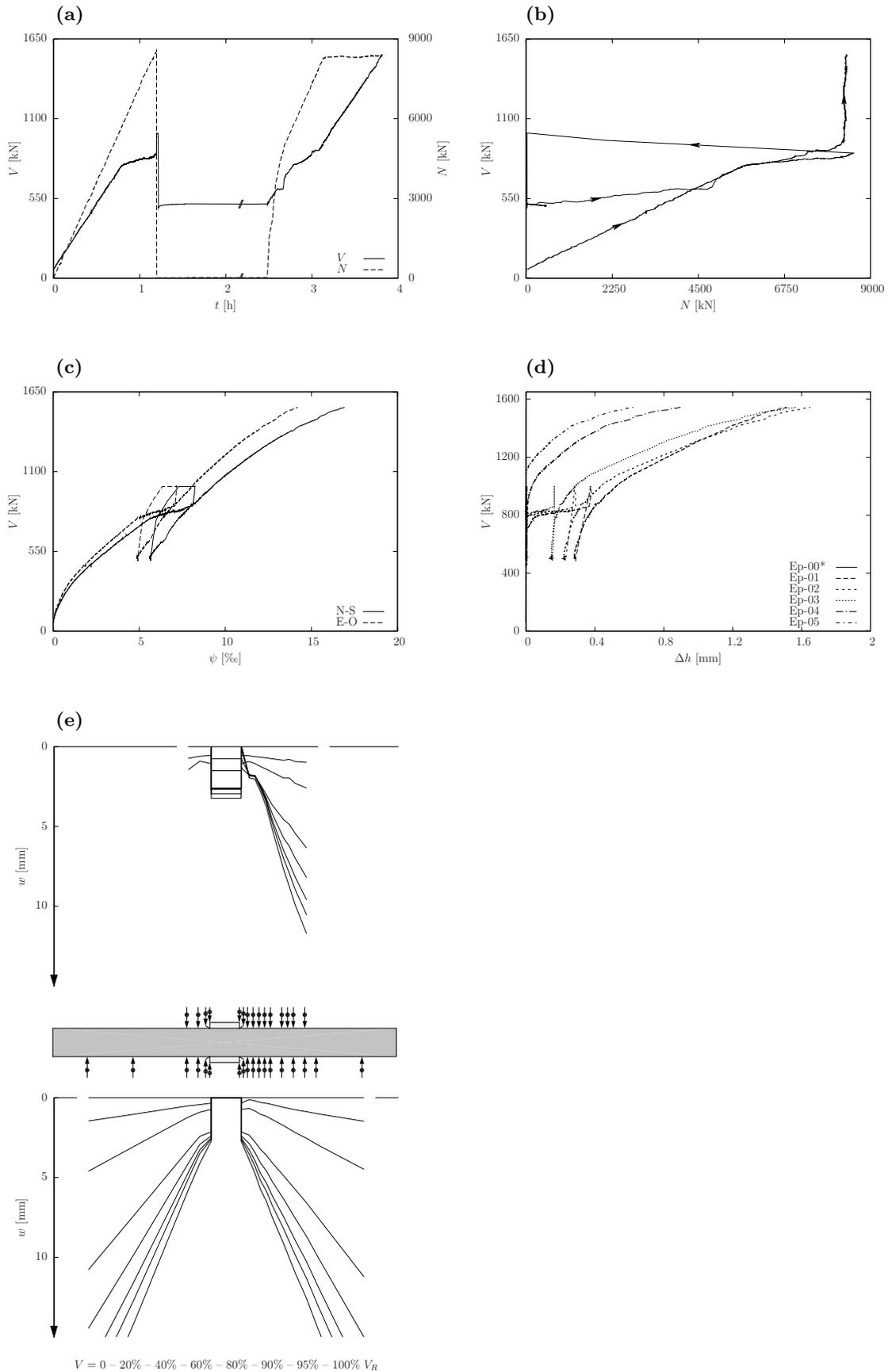


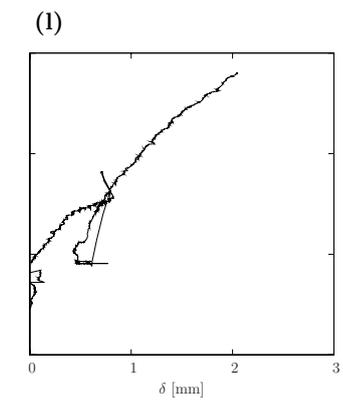
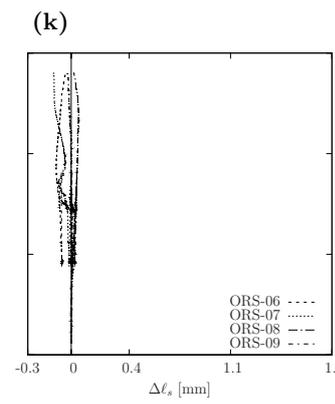
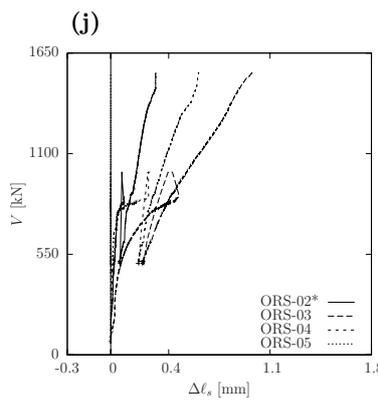
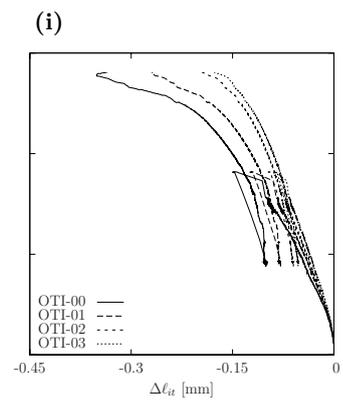
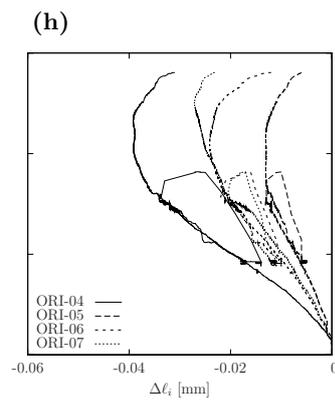
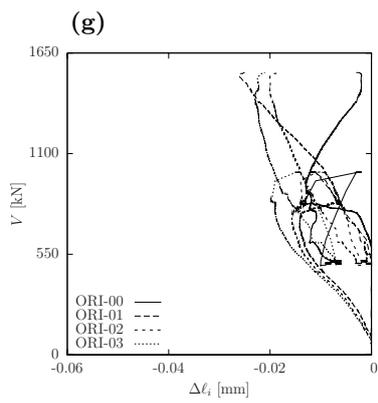
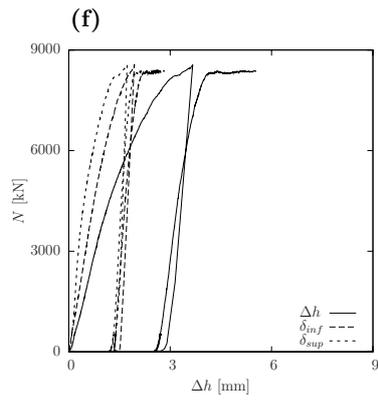
### 4.3 PG35 : $\rho = 0.75\%$ , $N_R/V_R = 7.36$





### 4.4 PG36 : $\rho = 1.50\%$ , $N_R/V_R = 5.42$





# Bibliographie

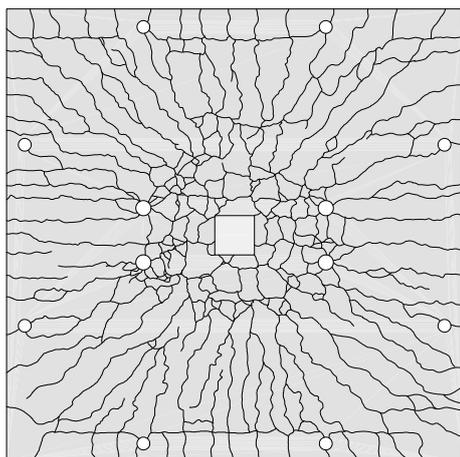
- [Gui07] **Guidotti R., Fernández Ruiz M., Muttoni A.**; *Influence de l'effort normal des colonnes sur la résistance au poinçonnement des dalles en béton armé*; Rapport d'essais; EPFL – IS – IS-BETON; Lausanne, 2007.
- [Gui09] **Guidotti R., Fernández Ruiz M., Muttoni A.**; *Essais de poinçonnement de dalles en béton vibré et béton autocompactant avec différentes tailles maximales du granulat*; Rapport d'essais; EPFL – IIC – IBETON; Lausanne, 2009.
- [Mut03] **Muttoni A.**; *Schubfestigkeit und durchstanzen von platten ohne querkarftbewehrung*; Beton- und Stahlbetonbau; Vol. 98 (2), 2003; 74 – 98.
- [Mut08] **Muttoni A.**; *Punching shear strength of reinforced concrete slabs without transverse reinforcement*; ACI Structural Journal; Vol. 105 (4), 2008; 440 – 450.
- [SIA 262/1] **SIA Société suisse des Ingénieurs et des Architectes**; *SIA 262/1 – Construction en béton - Spécifications complémentaires*; SIA, Zürich; 2003; 40 pp.
- [SIA 262] **SIA Société suisse des Ingénieurs et des Architectes**; *SIA 262 – Construction en béton*; SIA, Zürich; 2003; 90 pp.



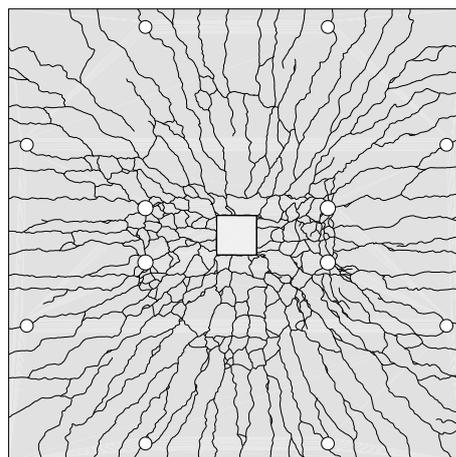
# **Annexe A**

## **Relevé des fissures en surface**

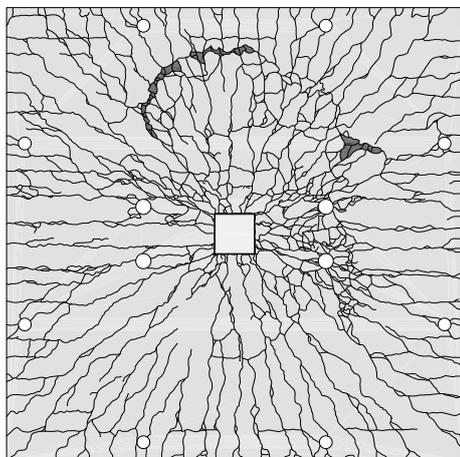
**PG21**



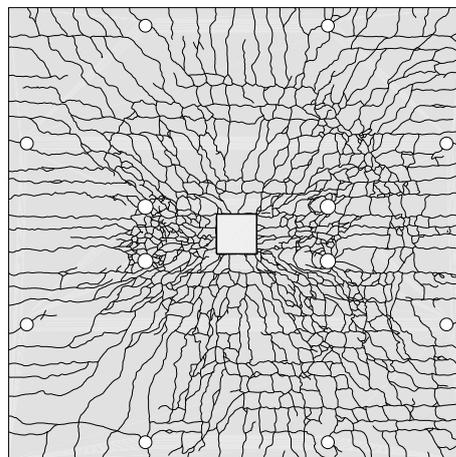
**PG22**



**PG35**



**PG36**



**Fig. A.1:** Relevé des fissures sur la face supérieure des dalles

# **Annexe B**

## **Relevé des fissures sur la section des dalles coupées**

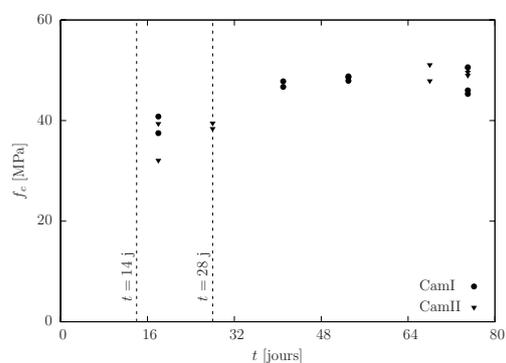


# **Annexe C**

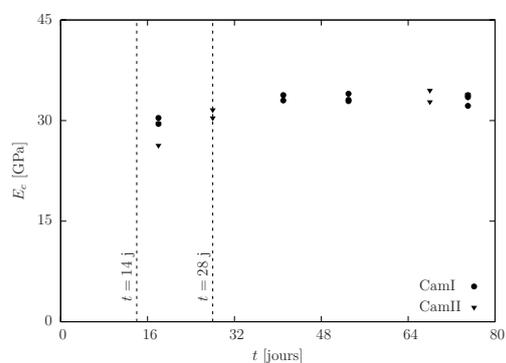
## **Essais sur le béton durci**

**Tab. C.1:** Essais sur le béton durci

Dalles	Echantillon	Age [jours]	$f_c$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{ct}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$E_c$ [kN/mm <sup>2</sup> ]	Commentaires
PG21 et PG22	CamI-01	18	37.5	-	29.5	
	CamI-02	18	40.8	-	30.4	
	CamI-03	41	46.7	-	33.0	
	CamI-04	41	47.8	-	33.8	
	CamI-05	53	48.6	-	33.1	Essai dalle PG22
	CamI-06	53	47.9	-	32.9	Essai dalle PG22
	CamI-07	53	48.8	-	34.0	Essai dalle PG22
	CamI-08	75	45.3	-	32.2	Essai dalle PG21
	CamI-09	75	50.6	-	33.8	Essai dalle PG21
	CamI-10	75	46.0	-	33.5	Essai dalle PG21
PG35 et PG36	CamII-01	18	32.1	-	26.3	
	CamII-02	18	39.4	-	29.6	
	CamII-03	28	38.4	-	30.4	
	CamII-04	28	39.5	-	31.6	
	CamII-05	31	-	3.2	-	
	CamII-06	31	-	3.0	-	
	CamII-07	31	-	3.2	-	
	CamII-08	68	51.1	-	34.5	Essai dalle PG36
	CamII-09	68	47.9	-	32.8	Essai dalle PG36
	CamII-10	75	49.6	-	33.8	Essai dalle PG35
	CamII-11	75	50.2	-	33.9	Essai dalle PG35
	CamII-12	75	49.0	-	33.5	Essai dalle PG35



(a) Résistance à la compression



(b) Module d'élasticité

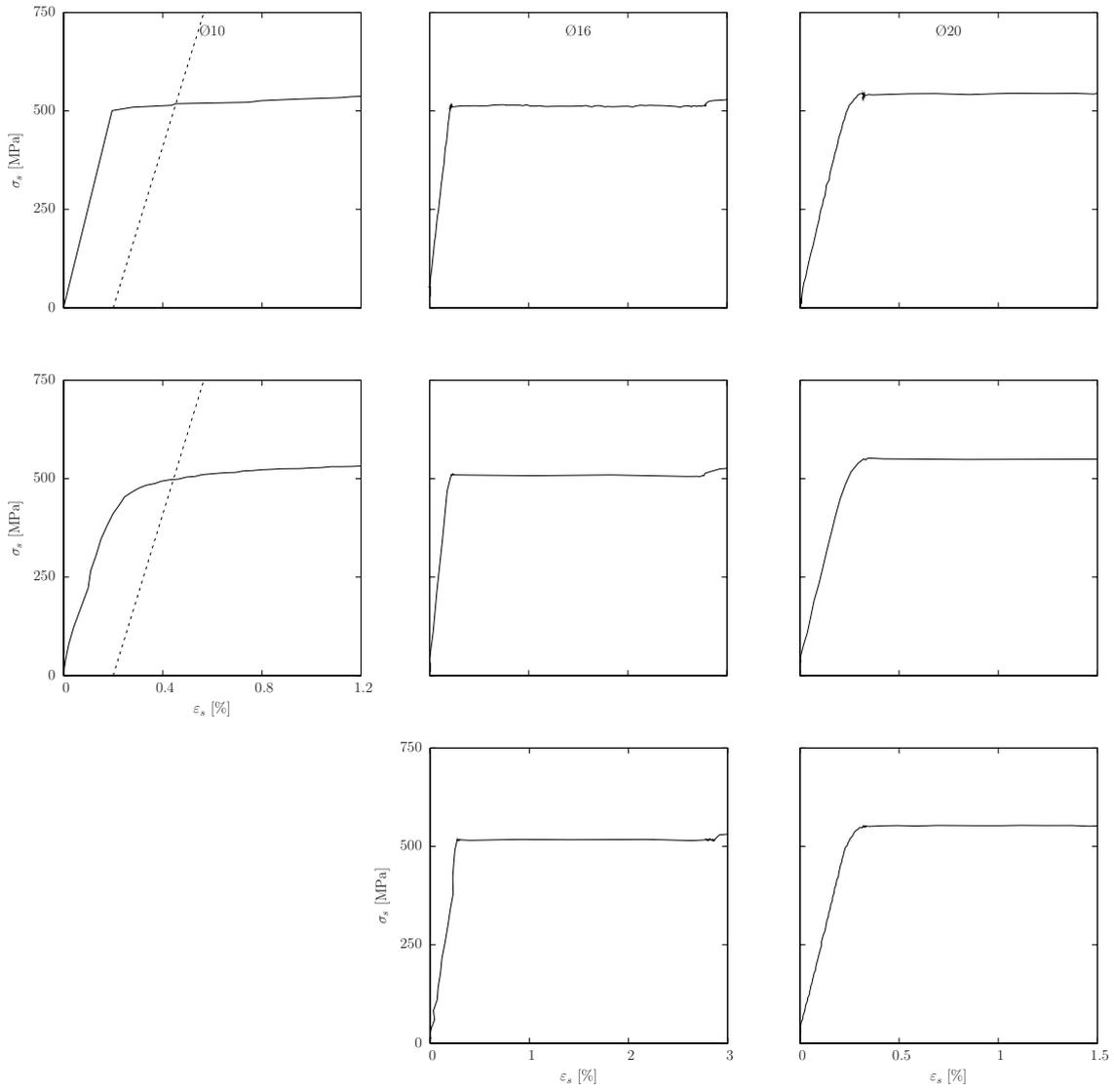
**Fig. C.1:** Evolution dans le temps des caractéristiques mécaniques du béton

# Annexe D

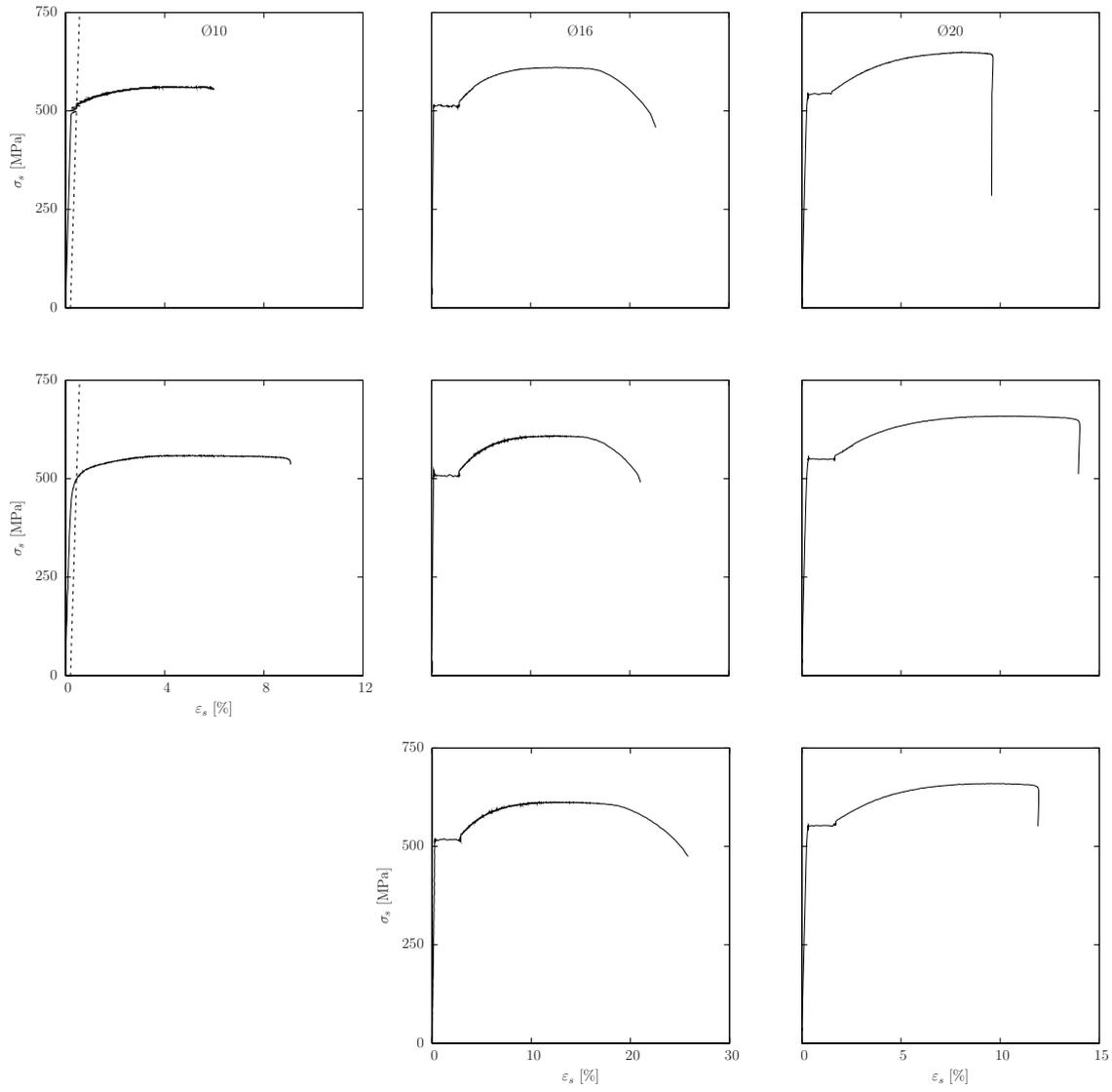
## Essais de traction des barres d'armature

Les essais de traction des barres d'armature ont été effectués avec une machine AMSLER de 1000 kN. La mesure de l'allongement a été réalisée avec un vidéo-extensomètre et la mesure de la force introduite avec un capteur de force intégré dans la machine. La contrainte a été déduite en divisant la force mesurée par l'aire nominale de la section.

Les figures D.1 et D.2 montrent les courbes contrainte-déformation de certains des tests réalisés. Pour certaines barres l'allongement lors de la striction a été mesuré. Pour les barres d'armature en acier écroui à froid, la ligne nécessaire pour la détermination de la contrainte d'écoulement, conformément la norme SIA 262 [SIA 262] (chiffre 3.2.2.2), est montrée en pointillé.



**Fig. D.1:** Essais de traction des barres d'armature, détail du début d'écroutissage



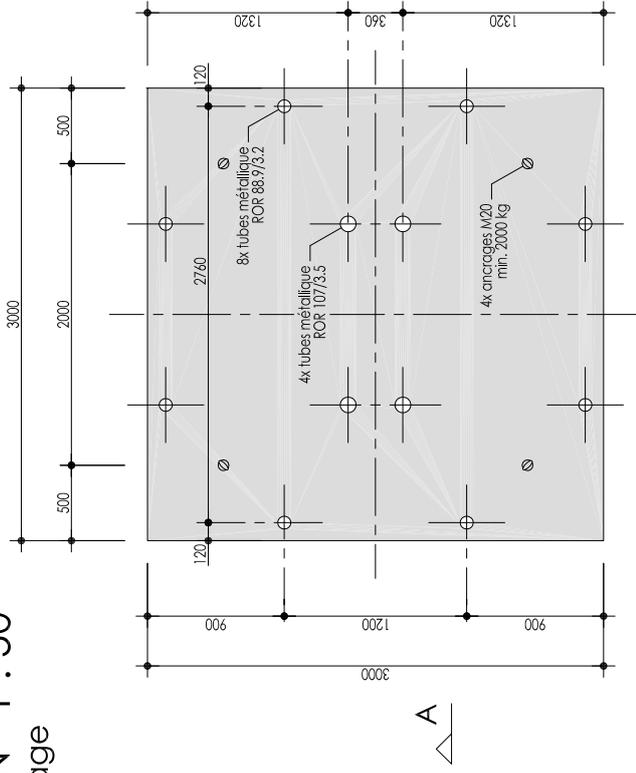
**Fig. D.2:** Essais de traction des barres d'armature, courbe jusqu'à la rupture



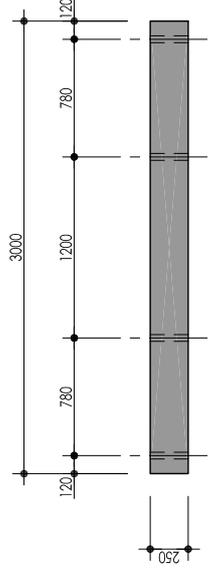
# **Annexe E**

## **Plans de coffrage, d'armature et listes de fer**

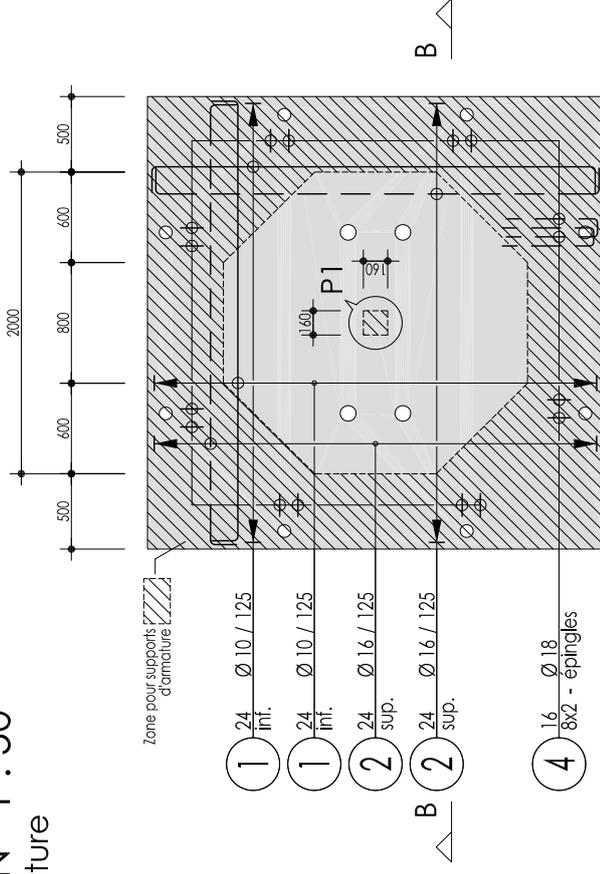
### PLAN 1 : 50 coffrage



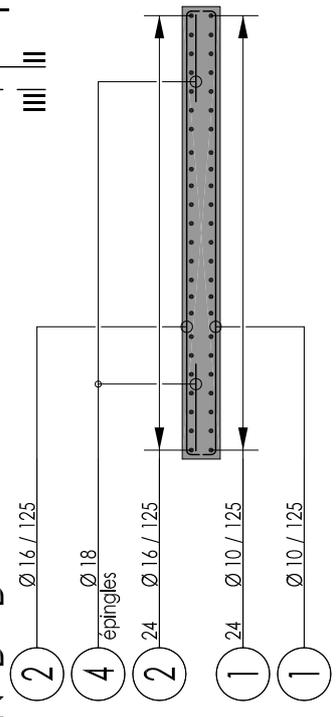
### SECTION A - A



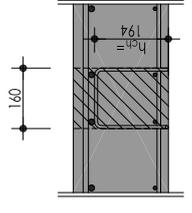
### PLAN 1 : 50 armature



### SECTION B - B



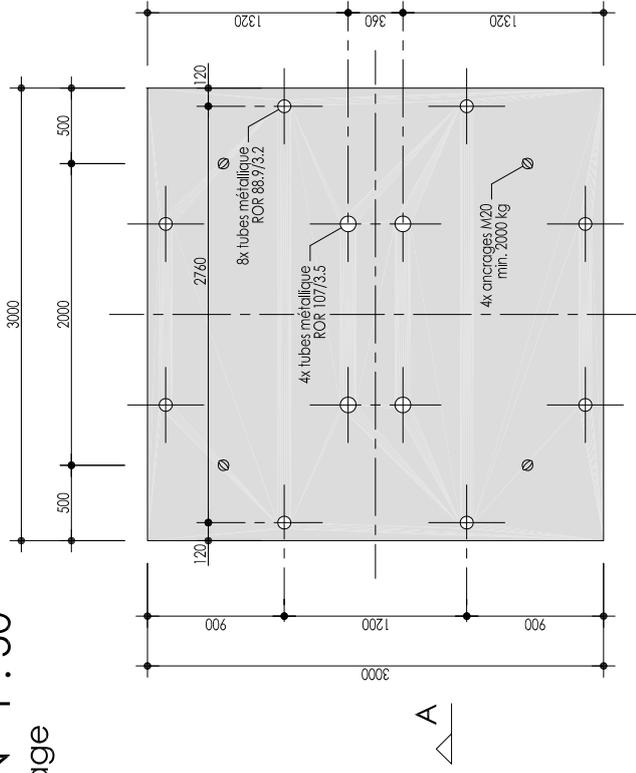
### DETAIL P1 1 : 20



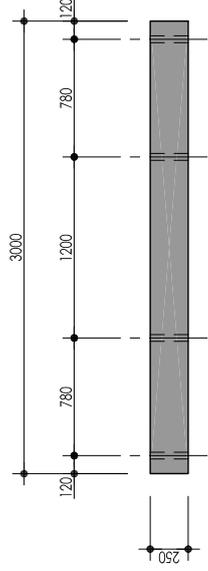
Date :	06 octobre 2008	Béton :	- PG35 vibré (fourni par Halcim)
Des. :	rg	Con. :	rg
Révisions :	a) 30.10.08 - tournés trous int.	D <sub>max</sub> :	- PG35 16 mm
		Enrobage :	20 mm (sur surfaces coffrées)
<b>Dalles de poinçonnement</b>		<b>EPFL - ENAC - IS-Béton</b>	
Dalles : PG35 (ρ=0.75 %)		laboratoire de construction en béton	
plan de coffrage et d'armature		Plan N° : 2008-08.02-005a	

Remarques :  
- pour essais des matériaux 1 barre Pos. 2  
est à transmettre à l'EPFL

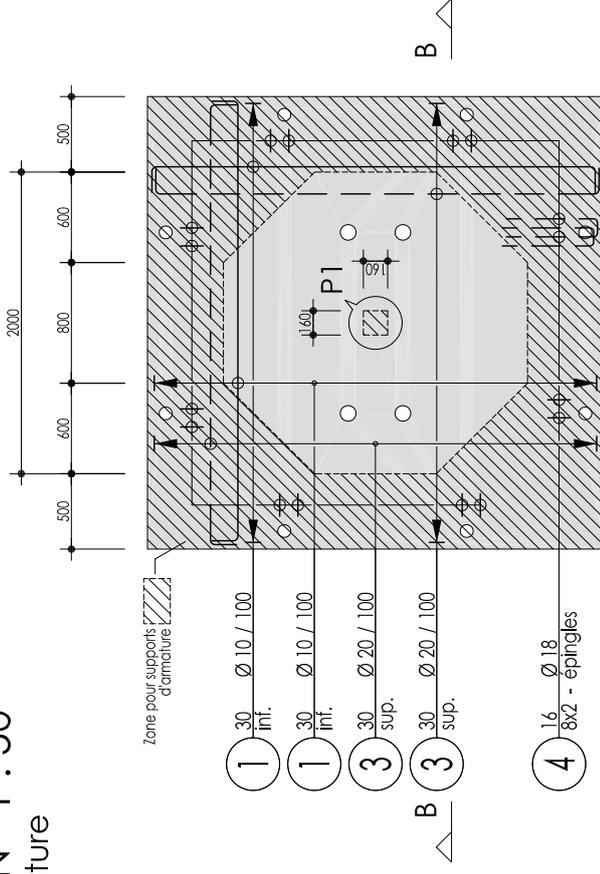
### PLAN 1 : 50 coffrage



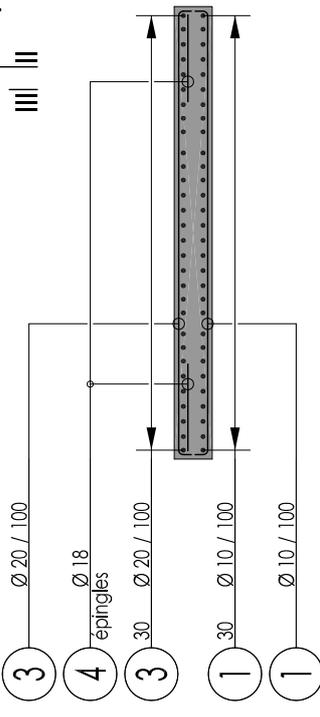
### SECTION A - A



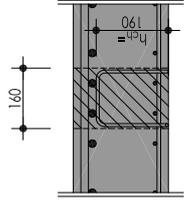
### PLAN 1 : 50 armature



### SECTION B - B



### DETAIL P1 1 : 20



Date : 29 septembre 2008	Béton : - PG21/22/36	vibré (fourni par Holcim)
Des. : rg	Con. : rg	
Révisions :	D <sub>max</sub> :	16 mm
a) 06.10.08 - ajoutée PG36	Enrobage : 20 mm (sur surfaces coffrées)	
b) 30.10.08 - tournés trous int.		
<b>Dalles de poinçonnement</b>		<b>EPFL - ENAC - IS-Béton</b>
Dalles : PG21/22/36 (ρ=1.50 %)		laboratoire de construction en béton
plan de coffrage et d'armature		Plan N° : 2008-08.02-003b

Remarques :  
- pour essais des matériaux 1 barre Pos. 3  
est à transmettre à l'EPFL

Ingénieur :	Liste d'armatures No. : 2008-08.02-901a	
Construction : Dalles de poinçonnement série : PG et PT dalles : de PG19 à PG36; PT41 et PT42	Pour le plan No. : de 2008-08.02-001 à 005 et de 2008-07.01-001 à 002	
	Date : 07.10.2008	<b>ACIER B 500B TOPAR S selon SIA 262</b>
Dessiné : rg		
Vérifié : -		
Révisé : -		
Entreprise : EPFL - ENAC - IS-BETON GC B2, 1015 Lausanne		

### Récapitulation de la liste d'armatures :

Ø [mm]	Longueurs fixes et de stock :		Poids par m [kg/m] :	Ø [mm]	Barres façonnées :	
	Longueur [m] :	Poids [kg] :			Longueur [m] :	Poids [kg] :
6			0.222	6		
8			0.395	8		
10			0.617	10	3027.12	1867.7
12			0.888	12		
14			1.21	14		
16			1.58	16	1149.24	1815.8
18			2.00	18	363.52	727.0
20			2.47	20	1831.80	4524.5
22			2.98	22		
26			4.17	26		
30			5.55	30		
34			7.13	34		
40			9.87	40		

Total longueurs fixes et de stock : - kg	Total barres façonnées : 8935.0 kg
--	------------------------------------

Nombre de positions : (sans les longueurs de stock) 7	Total général : 8935.0 kg
---	---------------------------

Paniers de support : (longueur 2.5 m)	Cavaliers :
---------------------------------------	-------------

Nbre.	Longueur totale [m]	Hauteur [mm]	Pied plast.		Nbre.	Hauteur [mm]	Remarques	Pied plast.	
			avec	sans				avec	sans
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>





# **Annexe F**

## **Fiches techniques des produits**

# Fiche produit

1er trimestre 2009



Marque : **Fluvio 4**  
 Désignation normalisée SN EN 197-1 : Ciment Portland au calcaire CEM II/A-LL 42,5 N  
 Numéro certificat de conformité CE : 0965-CPD-C0263  
 Usine : **Eclépens / CH**  
 Matériaux de base : Clinker (K) - calcaire (LL)  
 Indication concernant la quantité de calcaire selon la norme SN EN 206-1, Annexe NC: La teneur pondérale en calcaire du ciment vaut en moyenne 17% de la masse de ciment.  
 Régulateur : Gypse



Reg. Nr. 30975

Essais selon la norme SN EN 196 (SIA 215.001)			Exigences de la norme SN EN 197-1 (SIA 215.002)		
	moyenne	écart type			
Résistance à 2 jours	24.7	1.1	≥	10.0	N / mm <sup>2</sup>
Résistance à 28 jours	50.8	1.1	≥	42.5 / ≤ 62.5	N / mm <sup>2</sup>
Besoin en eau	29.2	0.7		non fixé	
Début de prise	211	16	≥	60	minutes
Stabilité de volume (Le Chatelier)	0.4		≤	10	mm
Perte au feu	8.0			non fixé	%
Insoluble	-			non fixé	%
SO <sub>3</sub>	2.7		≤	3.5	%
Chlorures	0.02		≤	0.10	%

**Données complémentaires**

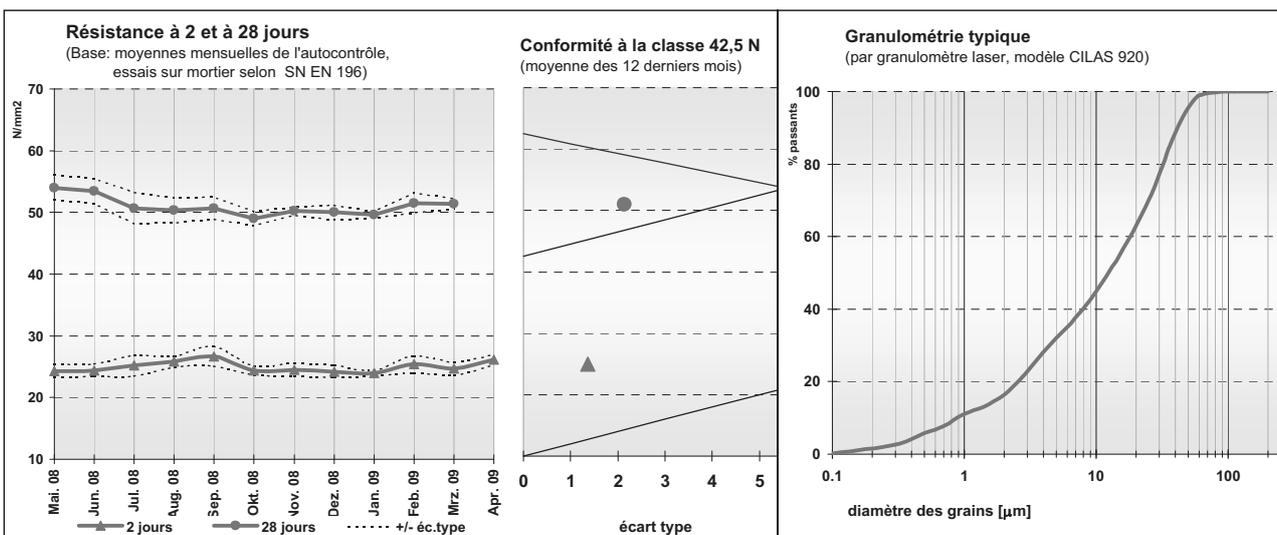
Na<sub>2</sub>O équivalent **0.76** %  
(totalité)

Blaine **4130** cm<sup>2</sup>/g  
(La valeur Blaine est déterminée de manière relative. Par conséquent on ne peut comparer entre elles que des valeurs Blaine pour un même type de ciment produit dans la même usine.)

**Valeur indicative**

Densité apparente **env. 1130** kg/m<sup>3</sup>  
(méthode d'essai DIN 1060/EN 459; non tassé)

Masse volumique **env. 3060** kg/m<sup>3</sup>



Etélabi par : Holcim (Schweiz) AG, Produktmanagement Zement Date actualisée : 22.05.09/TSC Archive : PM-ZM LN-Datenbank Date d'impression : 17.06.2009

Remarques:

Les valeurs ci-dessus ne constituent pas une garantie, mais elles confirment que les exigences de la norme SN EN 197-1 sont respectées.  
 Pour tout renseignement: Holcim (Suisse) SA - Ventés Ciments tél. : 058 / 850 92 55; fax : 058 / 850 92 90; e-mail : marketing-ch@holcim.com

## Sika® ViscoCrete®-3088

### Adjuvant du béton (FM-VZ)

#### Description du produit

Sika® ViscoCrete®-3088 est un superplastifiant/réducteur d'eau de la dernière génération pour béton et mortier. Le produit satisfait aux exigences d'un adjuvant du béton du type FM-VZ selon la norme EN 934-2.

#### Emploi

Sika® ViscoCrete®-3088 convient pour la confection de béton en préfabrication, béton sur chantier et béton de centrale. Sika® ViscoCrete®-3088 est utilisé pour le béton en cas de temps de transport ou délai de mise en œuvre légèrement prolongés.

A teneur en liants définie et granulats donnés, les caractéristiques spécifiques du béton sont fonction de sa teneur en eau et du dosage de Sika® ViscoCrete®-3088.

Sika® ViscoCrete®-3088 s'utilise pour les sortes de béton suivantes:

- Béton avec réduction d'eau maximale
- Béton hautes performances
- Béton en été et en cas de longs transports et délais de mise en œuvre prolongés

L'utilisation de Sika® ViscoCrete®-3088 est recommandé en combinaison avec les types de ciments suivants:

- Ciments très réactifs
- Mélanges de ciments riches en fines

#### Avantages

Sika® ViscoCrete®-3088 combine plusieurs mécanismes d'action.

Par adsorption à la surface et le cloisonnement des fines pendant le processus d'hydratation, les propriétés suivantes sont atteintes:

- Réduction d'eau extrêmement importante (donc étanchéité et résistances élevées)
- Fluidité élevée (donc moins de travail pour la mise en œuvre et le compactage)
- Étanchéité fortement améliorée
- Meilleures caractéristiques de fluage et de retrait
- Carbonatation du béton ralentie

Sika® ViscoCrete®-3088 ne contient ni chlorures ni autres substances susceptibles de provoquer ou de favoriser la corrosion de l'acier et peut donc être utilisé sans restrictions pour la construction d'ouvrages en béton armé et précontraint.

#### Caractéristiques du produit

Genre	Jaumâtre
Couleurs	Emballage perdu (fût) de 220 kg
Conditionnement	Conteneur plastique échangeable de 1000 kg (propriété de Sika Schweiz AG)

#### Stockage

**Conditions de stockage /** En emballage d'origine non entamé, stocké à des températures entre +5 °C et +35 °C; 12 mois à partir de la date de production.

Protéger de l'influence directe des rayons du soleil et du gel.

Si le produit Sika® ViscoCrete®-3088 est gelé, celui-ci peut être réutilisé après avoir été lentement dégelé à température ambiante et après un malaxage intensif.

#### Caractéristiques techniques

Base chimique	Polycarboxylate modifié en phase aqueuse
Uniformité	Homogène
Densité	1.06 ± 0.01 kg/l (densité relative)
Valeur pH	5.5 ± 0.5
Teneur en alcalis	< 3.0 M-% (équivalent Na <sub>2</sub> O)
Teneur usuelle en corps solides	30.0 ± 1.0 M-%
Viscosité	60 mPa s à +20 °C
Teneur en chlorure soluble dans l'eau	< 0.1 M-%

#### Remarques pour la mise en œuvre

**Dosage** 0.2 – 2.0 %. Les dosages se rapportent au poids du ciment.

#### Instructions pour la mise en œuvre

**Malaxage des produits** Sika® ViscoCrete®-3088 est ajouté dans l'eau de gâchage ou dans le malaxeur en même temps que l'eau.

Nous recommandons un malaxage mouillé soigneux pendant au moins 60 secondes.

Pour éviter un excès d'eau dans le béton, il faut veiller en plus à ne pas procéder au dosage fin de l'eau avant 40 secondes.

**Temps d'utilisation** Au vu de la durée de mise en œuvre prolongée du béton enrichi de Sika® ViscoCrete®-3088, les facteurs suivants peuvent faire augmenter la pression de coffrage:

- Consistance du béton
- Vitesse de montée du niveau
- Changements de températures

**Autres remarques**  
Avec Sika® ViscoCrete®-3088 on confectionne des bétons de la plus haute qualité. Il faut cependant aussi avec Sika® ViscoCrete®-3088, observer les règles de l'art de la préparation et de la mise en oeuvre de béton.

Il faut également veiller à observer un traitement de cure optimal du béton jeune. Pour garantir une mise en oeuvre et un traitement de cure optimal du béton, il faut prévoir les mesures nécessaires selon SIA 262.

**Renseignements importants**  
Sika® ViscoCrete®-3088 se combine de façon utile avec les produits Sika® suivants:

- Sika® Stabilizer-229
- SikaPump®
- SikaFume®-HR/-TU
- Sika® Retarder et Sika® Retardol-25
- Fro-V5-A-V10
- Sika® PerFin-300

Des essais préliminaires avec ces produits sont indispensables. Notre service d'assistance technique est à votre disposition pour tout conseil relatif à un objet important.

**Valeurs mesurées**  
Toutes les valeurs techniques indiquées dans cette fiche technique du produit sont basées sur des tests effectués en laboratoire. Des circonstances indépendantes de notre volonté peuvent conduire à des déviations des valeurs effectives.

**Restrictions locales**  
Les indications mentionnées dans cette fiche technique du produit sont valables pour le produit correspondant livré par Sika Schweiz AG. Veuillez prendre en considération que les indications dans d'autres pays peuvent diverger. A l'étranger, veuillez consulter la fiche technique du produit locale.

**Renseignements importants de sécurité**  
Pour plus de détails, veuillez consulter la fiche de sécurité actuelle sous [www.sika.ch](http://www.sika.ch)

**Renseignements juridiques**  
Les informations contenues dans la présente notice, et en particulier les recommandations concernant les modalités d'application et d'utilisation finale des produits Sika, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que Sika a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales, conformément aux recommandations de Sika. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou recommandations écrites, ou autre conseil donné, n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés, ni aucune garantie de conformité à un usage particulier. L'utilisateur du produit doit vérifier par un essai sur site l'adaptation du produit à l'application et à l'objectif envisagés. Sika se réserve le droit de changer les propriétés de ses produits. Nos agences sont à votre disposition pour toute précision complémentaire. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont soumises à nos Conditions générales de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.



Sika Schweiz AG  
Case postale  
CH-8046 Zurich  
Téléphone 044 435 40 40  
Fax 044 435 46 55  
[www.sika.ch](http://www.sika.ch)

