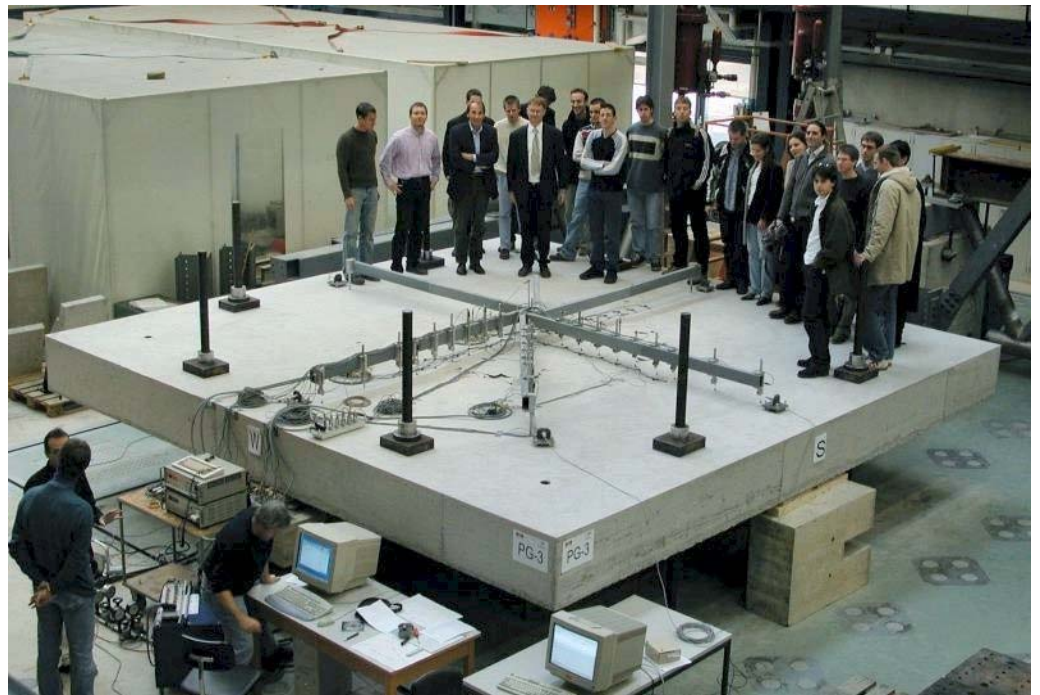


Essais de poinçonnement symétrique des dalles en béton armé sans armature à l'effort tranchant

Punching tests on symmetrical reinforced concrete slabs without shear reinforcement



Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
Institut de Structures
Laboratoire de Construction en Béton (IS-BETON)

Stefano Guandalini
Prof. Dr Aurelio Muttoni

00.03, Rapport 00.03-R1

1^{er} mai 2004

Cette recherche a été soutenue par CEMSUISSE.



Table des matières

1.	Introduction	1
1.1.	Remerciements	1
1.2.	But	2
1.3.	Programme d'essais	2
2.	Dalles essayées	3
2.1.	Paramètres principaux	3
2.2.	Géométrie	3
2.3.	Armature	4
2.4.	Fabrication du corps d'essai	6
2.5.	Matériaux	9
	Béton	9
	Acier d'armature	10
3.	Banc d'essai et instrumentation	13
3.1.	Banc d'essai	13
	Dalles de 3 x 3 m	13
	Grande dalle de 6 x 6 m	14
	Petites dalles de 1.5 x 1.5 m	15
3.2.	Disposition des instruments de mesure et technique de mesure	16
	Essais contrôlés par ordinateur	16
	Mesures en continu	17
	Capteurs de force	18
	Capteurs inductifs, déplacements verticaux, face supérieure	19
	Capteurs inductifs, déplacements verticaux, face inférieure	20
	Inclinomètres	22
	Jauges oméga, déformations face tendue	23
	Jauges oméga, déformations face comprimée	25
	Mesures du changement d'épaisseur de la dalle	27
	Données techniques des instruments de mesure	30
4.	Résultats d'essais	31
4.1.	Grande dalle de 6 x 6 m	31
	Mise en charge	31
	Rotations de la dalle	32
	Déplacements et pentes de la dalle	33
	Mesures du changement d'épaisseur de la dalle	38
	Déformations de la face de la dalle	41
	Fissures	46
4.2.	Dalles de 3 x 3 m	48
	Résultats principaux	48
	Mise en charge	48
	Rotations des dalles	50
	Déplacements et pentes des dalles	51
	Mesures du changement d'épaisseur des dalles	57
	Déformations de la face des dalles	60
	Fissures	69

4.3.	Petites dalles de 1.5 x 1.5 m	72
	Résultats principaux	72
	Mise en charge	72
	Déplacements des dalles	72
	Déformations de la face des dalles	74
	Fissures.....	77
4.4	Comparaison entre les essais	78

D-1. Introduction

Le but de cette recherche est de contribuer à la compréhension du poinçonnement des dalles en béton armé et précontraint et de continuer à trouver une solution théorique à ce problème. Une telle compréhension est indispensable pour élaborer des nouvelles mesures constructives pour s'opposer au poinçonnement et lorsqu'il s'agit de vérifier la capacité portante d'une structure existante.

La recherche est structurée en deux parties, l'une théorique et l'autre expérimentale. Les essais en laboratoire ont pour but de vérifier les résultats théoriques et en particulier le critère de rupture [Muttoni03*]. L'analyse systématique des résultats d'essai existants et les essais décrits dans ce rapport devraient permettre de mieux définir les limites d'application du critère de rupture.

La quasi-totalité des essais rapportés dans la littérature ont été effectués avec des taux d'armature assez élevés, pour éviter une rupture en flexion de la dalle. De plus, très peu d'essais ont été réalisés avec des épaisseurs de dalles importantes (plus de 250 mm). La conséquence est qu'il n'y a pour ainsi dire pas de rupture par poinçonnement en présence de grandes déformations et de grandes ouvertures des fissures. C'est pourquoi une série d'essais avec un taux d'armature très faible a été réalisée pour valider le critère de rupture dans ce domaine.

***Muttoni A.**, *Schubfestigkeit und Durchstanzen von Platten ohne Querkraftbewehrung*, Beton- und Stahlbetonbau, Heft 2, février **2003**

D-1.1 Remerciements

Cette recherche a été réalisée au Laboratoire de construction en béton (IS-BETON) de la faculté ENAC, section de Génie Civil de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, sous la direction du Professeur A. Muttoni. Je tiens à lui exprimer mes plus sincères remerciements pour ses conseils, sa grande disponibilité et son enthousiasme pour la recherche mis à disposition.

Pour la réalisation des essais en laboratoire je remercie Messieurs S. Demierre, R. Gysler, F. Perrin, G. Pidoux et H. Reist. Je tiens aussi à remercier Monsieur T. Maillart qui m'a aidé en laboratoire dans le cadre d'un travail de semestre.

Au niveau financier, ce travail a été rendu possible en grande partie grâce au soutien de CEMSUISSE. L'un des essais en laboratoire a été réalisé en partie avec l'aide financière de HOLCIM, dont je tiens à remercier le Dr J.-P. Jaccoud pour son intérêt.

D-1.2 But

Le but principal de cette recherche est l'étude du phénomène du poinçonnement des dalles en béton armé sans armature de poinçonnement dans le but d'examiner les modèles théoriques existants et de valider le critère de rupture. Pour cela, on a testé onze dalles en variant les paramètres suivants :

- Taille du corps d'essai
- Taille maximale du granulat
- Taux d'armature

D-1.3 Programme d'essais

Les essais de poinçonnement ont été effectués sur des dalles en béton armé de forme carrée. La mise en charge a toujours pris une à deux heures. Pendant les essais, des mesures ont été faites en continu pour obtenir en premier lieu les informations suivantes :

- Charge appliquée sur la dalle
- Déplacements de la dalle
- Changements d'épaisseur de la dalle dans la zone du cône de poinçonnement
- Déformation du béton en surface
- Formation des fissures en surface et à l'intérieur de la dalle

D-2. Dalles essayées

D-2.1 Paramètres principaux

La série d'essai est composée de 10 dalles carrées en béton armé. Cinq dalles ont une largeur de 3 m et une épaisseur de 0.25 m, une dalle (PG-3) est à l'échelle 2 : 1 (*grande dalle*), par contre quatre dalles (PG-6 à 9) sont des *petites dalles* à l'échelle 1 : 2. Le tableau D-2.1 donne une vue d'ensemble des différentes dalles :

Tableau D-2.1: Paramètres principaux des essais

	Dimensions	ρ	Particularité
PG-1	3 x 3 x 0.25 m	1.50%	Armature à la flexion forte
PG-2b	3 x 3 x 0.25 m	0.25%	Armature à la flexion très faible
PG-3	6 x 6 x 0.50 m	0.33%	Grande dalle, PG-10 à l'échelle 2 : 1
PG-4	3 x 3 x 0.25 m	0.25%	PG-2 avec micro-béton (taille max. granulats : 4 mm)
PG-5	3 x 3 x 0.25 m	0.33%	Armature à la flexion faible, acier écroui à froid
PG-6	1.5 x 1.5 x 0.125 m	1.50%	Petite dalle, PG-1 à l'échelle 1 : 2
PG-7	1.5 x 1.5 x 0.125 m	0.75%	Petite dalle, armature à la flexion moyenne
PG-8	1.5 x 1.5 x 0.125 m	0.33%	Petite dalle, PG-10 à l'échelle 1 : 2
PG-9	1.5 x 1.5 x 0.125 m	0.25%	Petite dalle, PG-2b à l'échelle 1 : 2
PG-10	3 x 3 x 0.25 m	0.33%	Armature à la flexion faible

D-2.2 Géométrie

Les dimensions des dalles et des colonnes sont reportées dans la fig. D-2.1. Les 8 trous repartis sur le périmètre des dalles sont utilisés pour la mise en charge des dalles (points d'introduction des forces) (section D-3.1).

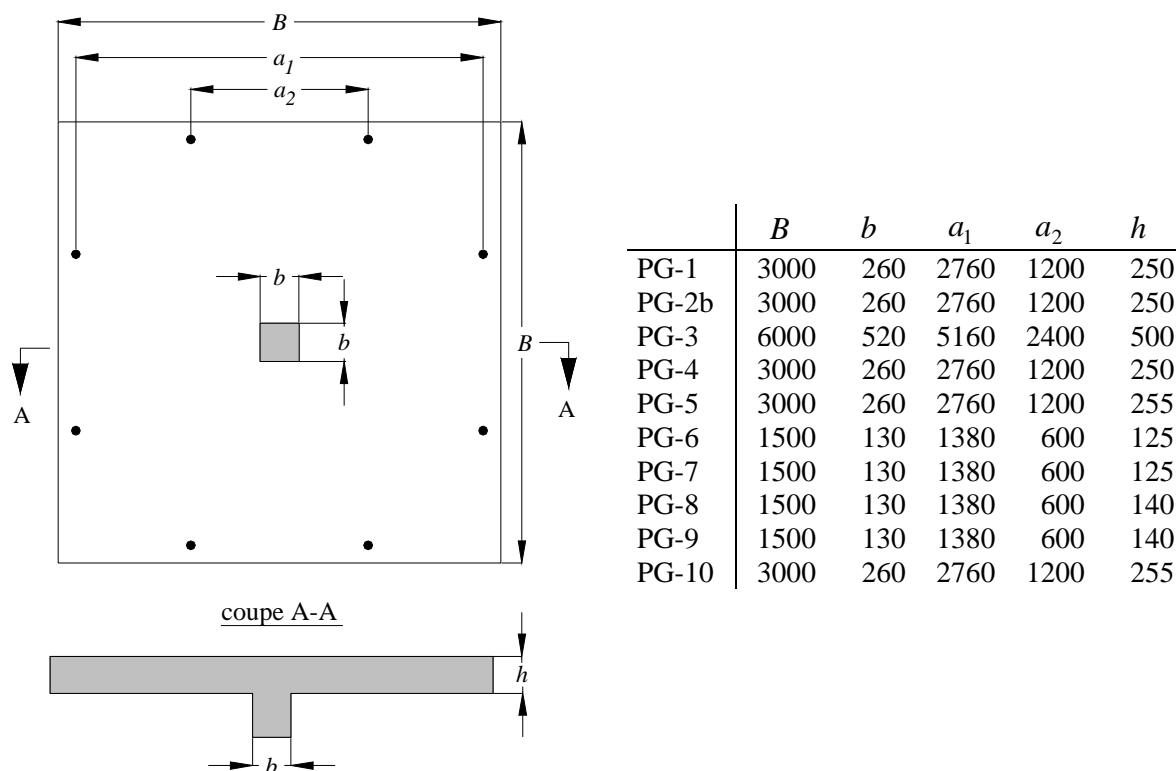


Figure D-2.1: Dimensions des dalles en mm

La mise en charge des petites dalles a été effectuée avec une plaque en acier et un trou central au lieu qu'avec une colonne en béton (fig. D-3.7).

A cause d'un problème lors du bétonnage, deux petites dalles PG-8 et PG-9 ont été produites avec une hauteur de 140 mm au lieu de 125 mm.

D-2.3 Armature

La disposition de l'armature des dalles est montrée dans la fig. D-2.2 et tab. D-2.2. Aucune armature de poinçonnement n'a été utilisée.

Dalles essayées

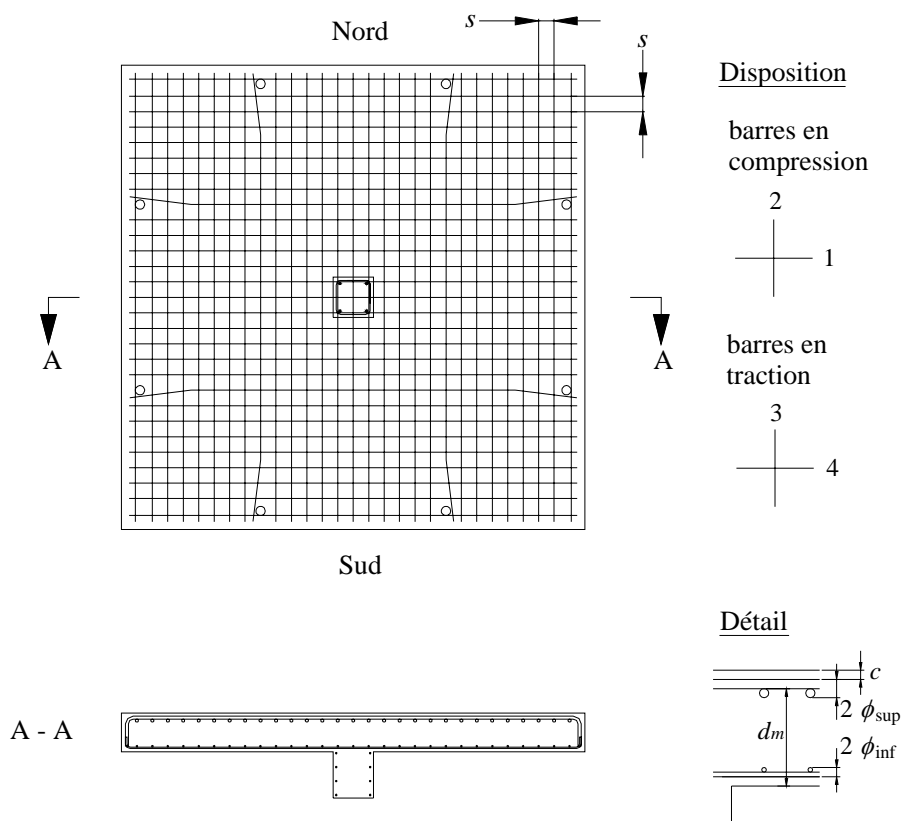


Figure D-2.2: Disposition de l'armature et détail

Tableau D-2.2: Armature des dalles [mm]

	ϕ_{sup}	s_{sup}	ϕ_{inf}	s_{inf}	ρ_{sup}	d_m	c
PG-1	20	100	10	100	1.50%	210	20
PG-2b	10	150	8	150	0.25%	210	30
PG-3	16	135	10	135	0.33%	456	28
PG-4	10	150	8	150	0.25%	210	30
PG-5	10	115	8	115	0.33%	210	30
PG-6	14	110	-	-	1.50%	96	15
PG-7	10	105	-	-	0.75%	100	15
PG-8	8	155	-	-	0.33%	117	15
PG-9	8	196	-	-	0.25%	117	15
PG-10	10	115	8	115	0.33%	210	30

L'armature en traction est composée de barres d'acier de diamètre ϕ_{sup} disposées orthogonalement avec un espacement s_{sup} . L'armature comprimée, avec un diamètre ϕ_{inf} et espacée de s_{inf} , est disposée de la même façon. Dans les petites dalles PG-6 à 9 il n'y a pas d'armature comprimée. Les colonnes en béton sont armées avec 4 barres verticales (8 pour la colonne PG-3) et des étriers disposés avec un espacement de 100 mm.



Figure D-2.3: À droite: armature PG-1, detail colonne; à gauche: armature colonne PG-3

Les zones d'introduction des forces sont renforcées par 2 épingles \varnothing 18 mm avec une longueur d'ancrage d'au moins 500 mm, fixés à l'armature supérieure (sauf pour les petites dalles).



Figure D-2.4: Armature de renforcement des zones d'introduction des forces (dalles PG-1 ÷ 5, 10)

D-2.4 Fabrication du corps d'essai

Toutes les dalles ont été fabriquées dans la halle d'essais de l'IS (Institut de Structures) de l'EPFL (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne).

Après la réalisation du coffrage, les deux nappes d'armature ont été disposées. Avant le bétonnage, des dispositifs pour la mesure de la variation d'épaisseur de la dalle ont été fixés dans les positions prévues au coffrage et aux barres d'armature (fig. D-3.28), sauf pour les petites dalles.

Dalles essayées



Figure D-2.5: Armature complète et bétonnage de la dalle PG-1

La colonne de la grande dalle a été fabriquée avant la dalle, de sorte que la dalle PG-3 a pu être bétonnée directement sur la colonne.

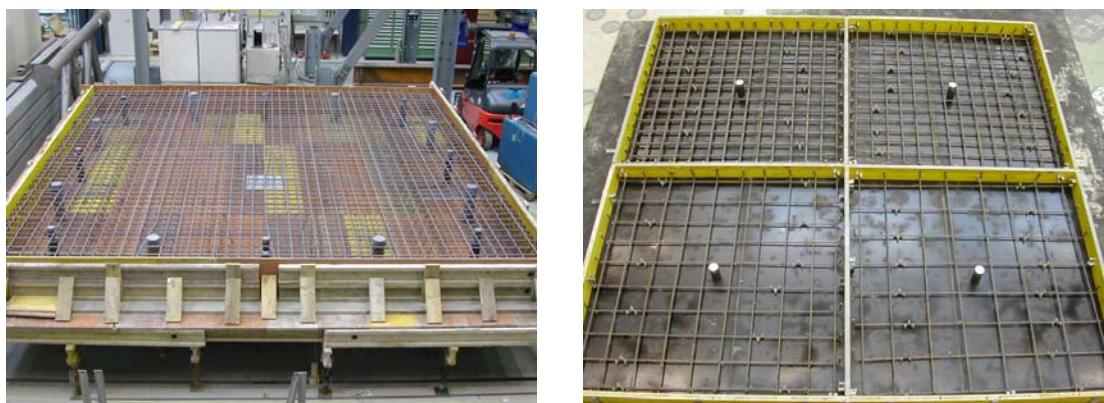


Figure D-2.6: Armature de la grande dalle PG-3 et des petites dalles PG-6 à PG-9

Les dalles de 3 m, y compris les cylindres d'essai, ont nécessité d'un peu moins de 3 m³ de béton, produit dans une usine à l'extérieur de l'EPFL et transporté avec un camion malaxeur. La grande dalle par contre, a eu besoin de trois camions et 18.5 m³ de béton. Pour la mise en place du béton des vibrateurs ont été utilisés et la surface a été lissée à la main avec une taloche. Des essais sur béton frais ont été faits régulièrement pour déterminer les caractéristiques du béton (fig. D-2.7). Les résultats se trouvent au tableau D-2.6. Pour protéger le béton contre un séchage rapide qui aurait causé des fissures de retrait, une feuille en plastique a été disposée quelques heures après le bétonnage pendant au moins une semaine (fig. D-2.8). Le décoffrage a eu lieu après une semaine, sauf pour la grande dalle (2 semaines). Les propriétés du béton ont été vérifiées à 28 jours et le jour même de la mise en charge des dalles (tab. D-2.7).



Figure D-2.7: Essais sur béton frais (gauche) et cylindres (droite)

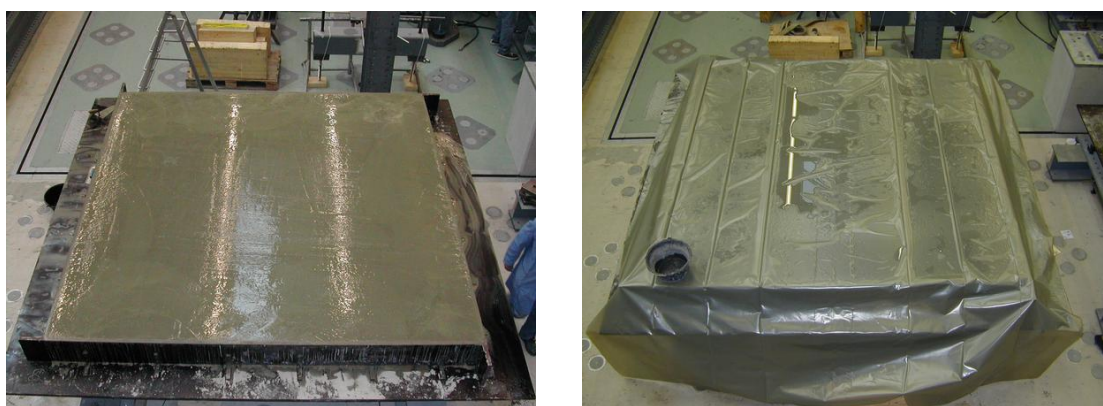


Figure D-2.8: Dalle de 3m après bétonnage (gauche) et pendant la cure (droite)

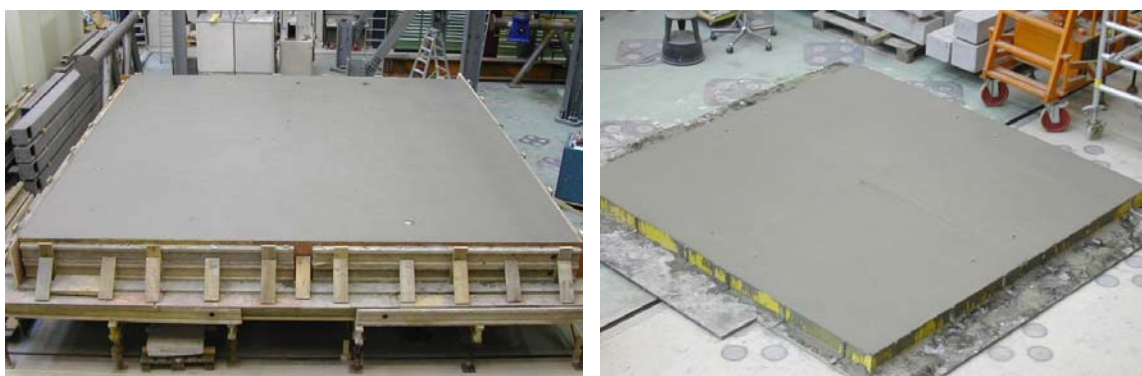


Figure D-2.9: Dalles après bétonnage; à gauche : PG-3; à droite : PG-6 à PG-9

Le tableau D-2.3 montre les dates de production et d'essai des différentes dalles.

Tableau D-2.3: Dates de production et d'essai

	PG-1	PG-2b	PG-3	PG-4	PG-5	PG-6	PG-7	PG-8	PG-9	PG-10
Année	2002	2003	2003	2003	2004		2003-2004			2004
Bétonnage	23.01	15.04	30.09	14.05	13.01		30.09.2003			10.03
Fin cure	30.01	22.04	08.10	21.05	22.01		07.10.2003			16.03
Décoffrage	31.01	22.04	13.10	21.05	22.01		07.10.2003			17.03
Essai	25.02	11.12	10.11	11.06	10.02	07.01	08.01	08.01	09.01	31.03

D-2.5 Matériaux

Béton

Dans le but de tester au poinçonnement des dalles avec des caractéristiques ordinaires, du béton de la classe de résistance C 25/30 (selon la norme SIA 262) souvent utilisé dans la fabrication des planchers-dalles en Suisse, a été choisi. La dimension maximale des granulats est de 16 mm, pour permettre une meilleure ouvrabilité du béton. La dalle PG-4 a été confectionnée avec un micro-béton avec taille maximale des granulats de 4 mm. Le ciment est de type Portland CEM I 32.5, sans additifs. La teneur en ciment est de 325 kg/m³ et en eau de 174 kg/m³, ce qui donne un rapport eau/ciment de 0.54. Les différents composants présents dans 1 m³ de béton peuvent être trouvés dans les tableaux D-2.4 et D-2.5.

Tableau D-2.4: Composition de 1 m³ de béton (dalles PG-1 ÷ 3, 5 ÷ 10)

Sable 0-4	753 kg	37 %
Gravier 4-8	604 kg	30 %
Gravier 8-16	661 kg	33 %
Ciment	325 kg	
Eau	174 kg	$E/C = 0.54$
Adjuvants	-----	

Tableau D-2.5: Composition de 1 m³ de micro-béton (dalle PG-4)

Sable 0-4	1750 kg	97 %
Filler calcaire	60 kg	3 %
Ciment	350 kg	
Eau	192 kg	$E/C = 0.55$
Adjuvants	Retardateur+fluidifiant	

Les essais d'étalement (selon SN EN 12 350-6) et de mesure d'affaissement (slump selon Abrams, SN EN 12 350-2) ont été déterminés sur béton frais pendant le bétonnage. Les résultats sont montrés dans le tab. D-2.6.

Tableau D-2.6: Essais sur béton frais

	Etalement [mm]	Affaissement [mm]	Consistance
PG-1	340	55	plastique
PG-2b	380	35	ferme
PG-3	340	35	ferme
PG-4	405	55	plastique
PG-5	-	50	plastique
PG-6 à 9	355	40	ferme
PG-10	360	30	ferme

Pour déterminer les caractéristiques du béton, au moins 6 cylindres avec diamètre \varnothing 160 mm et hauteur $h = 320$ mm ont été produits pour chaque dalle. Les essais ont été réalisés selon la norme SIA 262/1 en collaboration avec le LMC (Laboratoire des Matériaux de Construction) de l'EPFL. Le même jour de l'essai de poinçonnement, 3 cylindres ont été testés en compression pour déterminer le module d'élasticité E_c et la

résistance moyenne à la compression f_{cm} . Avec les 3 autres cylindres, la résistance à la traction pure a été déterminée. Les éprouvettes cylindriques en béton ont subi une augmentation en charge constante de l'ordre de 0.5 MPa/s. Pendant les essais pour la détermination du module E_c , les cylindres ont été plusieurs fois chargés et déchargés cycliquement entre 10 et 200 kN et les déformations mesurées sur une longueur de 100 mm. Les résultats d'essai sur cylindres sont montrés dans le tableau suivant :

Tableau D-2.7: Valeurs mécaniques du béton à 28 jours et le jour de l'essai

	Age	E_c	f_{cm}	f_{ct}	Age	E_c	f_{cm}	f_{ct}
	[d]	[GPa]	[MPa]	[MPa]	[d]	[GPa]	[MPa]	[MPa]
PG-1	-	-	-	-	33	25.7	27.7	2.0
PG-2b	-	-	-	-	240	34.7	40.5	3.0
PG-3	28	28.7	29.3	-	41	31.8	32.4	2.1
PG-4	28	27.3	32.2	2.0	28	27.3	32.2	2.0
PG-5	28	26.8	29.3	2.3	28	26.8	29.3	2.3
PG-6	28	28.7	29.3	-	99	-	-	-
PG-7	28	28.7	29.3	-	100	33.7	34.7	2.4
PG-8	28	28.7	29.3	-	100	33.7	34.7	2.4
PG-9	28	28.7	29.3	-	101	-	-	-
PG-10	-	-	-	-	21	29.5	28.5	2.2

Acier d'armature

De l'acier de type B500B, TOPAR S, a été utilisé pour l'armature en traction et en compression, sauf pour la dalle PG-5 (acier type B500C écroui à froid, TOPAR R). Les caractéristiques mécaniques de l'armature en traction ont été testées sur 3 barres de longueur 1 m pour chaque dalle. Les essais ont eu lieu au LMM (Laboratoire de Métallurgie Mécanique) de l'EPFL selon la norme SIA 162/1 Essais 31 à 33. La vitesse de chargement était de l'ordre de 10 MPa/s et la longueur de mesure de la déformation 200 mm. Le tableau D-2.8 montre les résultats moyens des valeurs mécaniques des barres en traction (diamètre nominal \varnothing [mm], section effective A_{eff} [mm²], limite d'écoulement f_s [MPa], limite de rupture f_u [MPa], allongement après rupture ε_5 [‰], allongement uniforme ε_{gl} [‰]).

Dalles essayées

Tableau D-2.8: Valeurs mécaniques des barres en traction

	\varnothing [mm]	f_s [MPa]	f_u [MPa]	ε_5 [‰]	ε_{gl} [‰]
PG-1	20	573	656	166	75
PG-2b	10	552	612	220	90
PG-3	16	520	607	-	-
PG-4	10	541	603	208	93
PG-5	10	555*	659	298	70
PG-6	14	526	607	-	-
PG-7	10	550	623	-	-
PG-8	8	525	586	-	-
PG-9	8	525	586	-	-
PG-10	10	577	648	-	-

* : limite conventionnelle d'élasticité, 0.2% d'allongement résiduel mesuré avec un extensomètre

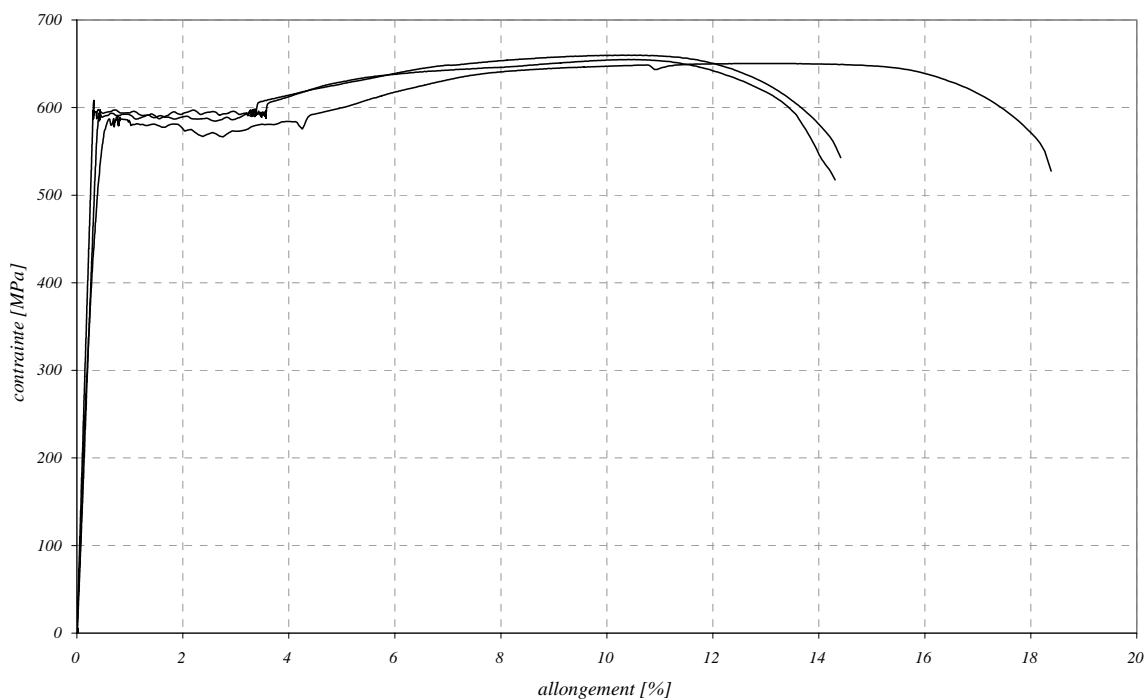


Figure D-2.10: Diagramme contrainte-allongement en traction pour les barres de l'essai PG-2

D-3. Banc d'essai et instrumentation

D-3.1 Banc d'essai

L'installation de tous les essais a eu lieu sur le sol de réaction de la salle de structures 1 de l'IS (Institut de Structures).

Dalles de 3 x 3 m

La figure D-3.1 montre l'installation d'essai, le banc d'essai est montré en élévation (fig. D-3.2).

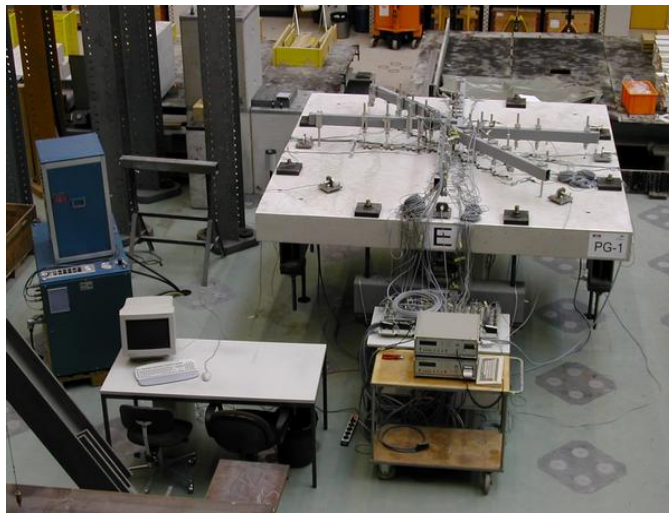


Figure D-3.1: Installation de l'essai PG-1

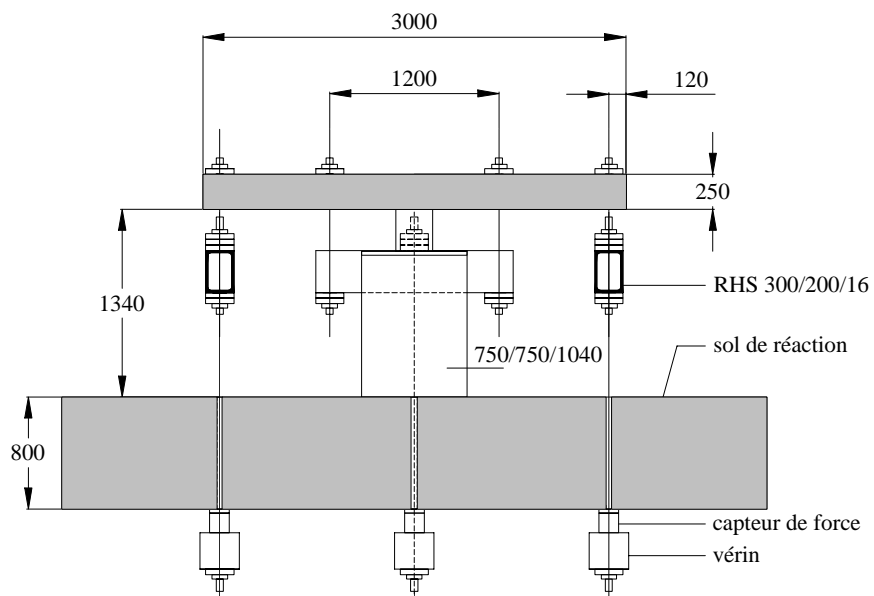


Figure D-3.2: Elévation du banc d'essai

Comme appui du corps d'essai, un bloc en béton armé de dimensions 750/750/1040 mm renforcé par une plaque d'acier de 40 mm en tête a été utilisé. La charge a été appliquée en 8 points disposés symétriquement le long du périmètre de la dalle (section D-2.2). Les 2 points d'applications de chaque côté distants de 1200 mm, ont été reliés par le biais de 2 tiges Dywidag \varnothing 36 mm et d'un profilé creux de type RHS 300/200/16. Lors de la mise en charge, la force a été appliquée sur les 4 côtés grâce à 4 tiges Dywidag \varnothing 36 mm fixées aux milieux des profilées RHS et ancrées à la partie inférieure du sol de réaction, où 4 vérins et 4 capteurs de force ont été disposés. Les vérins creux utilisés sont de type BIERI, capables d'une force maximale de 1'000 kN. Le contrôle de la pression d'huile des vérins a été fait par un groupe hydraulique mobile du type PA 1005/500 de Walter + Bai ou bien par une pompe manuelle avec manomètre.

Grande dalle de 6 x 6 m

La figure D-3.3 montre l'installation de l'essai, le banc d'essai est montré en élévation (fig. D-3.4).



Figure D-3.3: Installation de l'essai PG-3

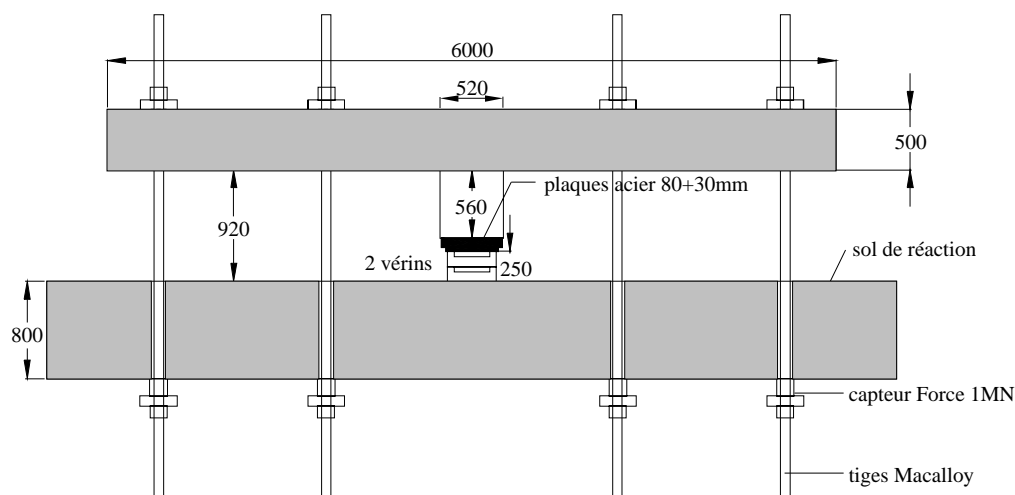


Figure D-3.4: Elévation du banc d'essai

Banc d'essai

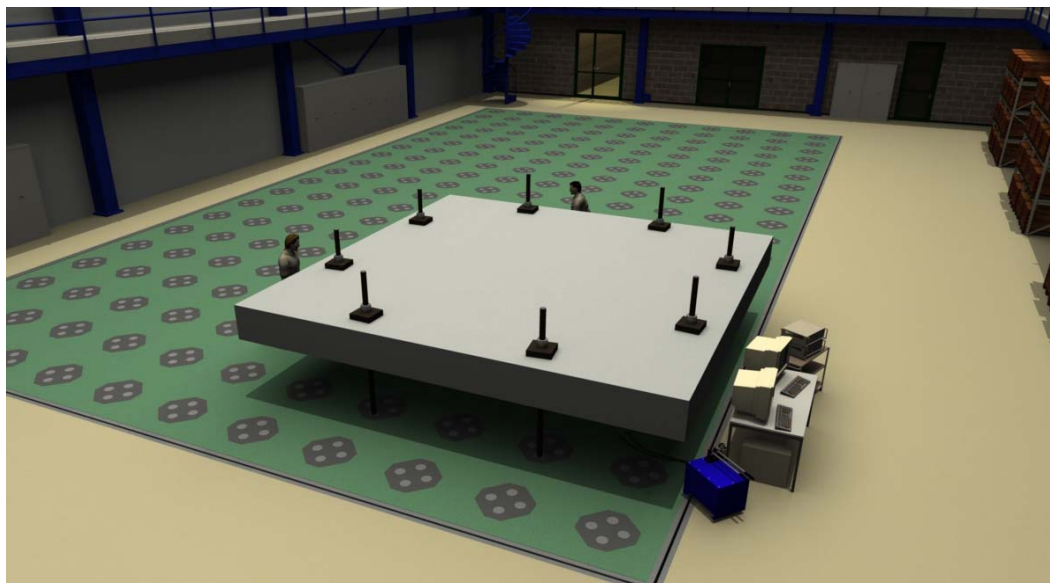


Figure D-3.5: Image virtuelle de la dalle PG-3 dans la halle de structures (image créée par Sylvain Demierre)

La grande dalle est appuyée sur une colonne en béton armé de dimensions 520/520/560 mm. Sous cette colonne, des plaques en acier avec une épaisseur totale de 110 mm et deux vérins plats mis l'un sur l'autre ont été disposés. La charge a été appliquée par ces vérins sous la colonne et la dalle a été retenue au sol de réaction en 8 points le long du périmètre de la dalle (section D-2.2). Les points d'ancrage, deux par coté, distants de 2'400 mm sont reliés au sol de réaction par 8 tiges de type Macalloy d'un diamètre $\varnothing = 70$ mm et d'une longueur de 4 m. Sur chaque tige un capteur de force a été fixé. Les 2 vérins plats utilisés sont de type BIERI, capables d'une force maximale de 3.5 MN et d'une course de 40 mm. Le contrôle de la pression d'huile des vérins a été fait par une pompe manuelle.

Petites dalles de 1.5 x 1.5 m

La figure D-3.6 montre l'installation de l'essai, le banc d'essai est montré en élévation (fig. D-3.7).

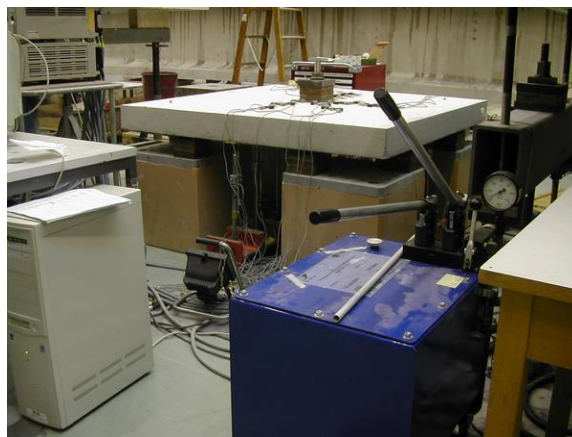
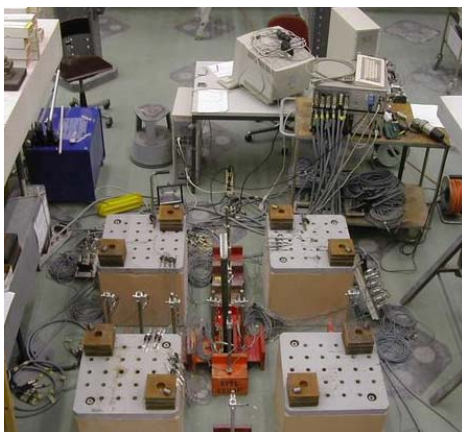


Figure D-3.6: Installation des petites dalles

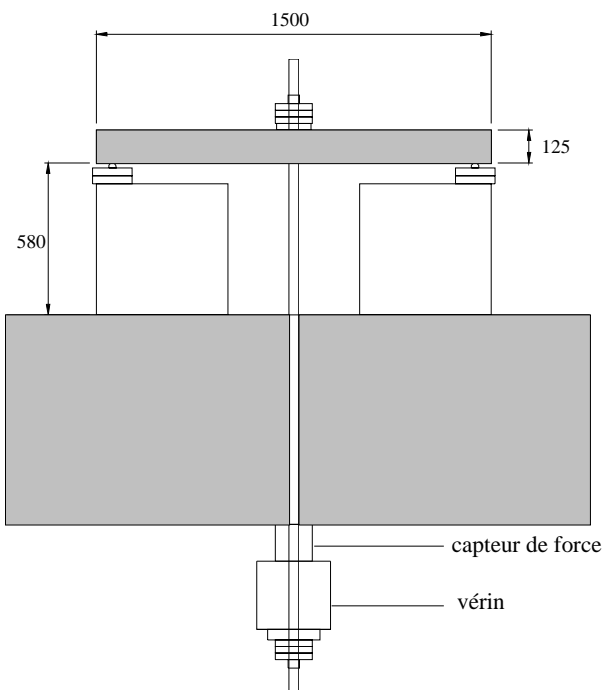


Figure D-3.7: Elévation du banc d'essai

Comme appui du corps d'essai, huit appuis articulés ont été disposés symétriquement le long du périmètre de la dalle sur quatre blocs en béton armé de dimensions 500/500/500 mm renforcé par une plaque d'acier en tête. La disposition des appuis correspond à la position des trous des dalles plus grandes (section D-2.2). Pour charger la dalle, la force a été appliquée au milieu grâce à une tige Dywidag \varnothing 36 mm fixée en haut de la dalle et ancrée à la partie inférieure du sol de réaction, où un vérin et un capteur de force ont été disposés. La plaque en acier avec un trou au milieu disposée au centre sur la face supérieure de la dalle a une forme carrée de 130 mm de côté. Le vérin creux utilisé est de type BIERI, capables d'une force maximale de 1000 kN. Le contrôle de la pression d'huile du vérin a été fait par une pompe manuelle avec manomètre.

D-3.2 Disposition des instruments de mesure et technique de mesure

Essais contrôlés par ordinateur

Pendant les essais, les mesures provenant de deux appareils de mesures du type HBM UPM 100 et 60, avec au total 160 canaux, ont été enregistrées chaque 15 secondes environ sur un ordinateur. Des inclinomètres permettant de mesurer la pente sur plusieurs points de la dalle, étaient connectés à un deuxième ordinateur. Pour permettre un bon contrôle de la mise en charge et des déformations des dalles, les valeurs mesurées de certains capteurs choisis étaient affichées graphiquement à l'écran de l'ordinateur grâce au logiciel LABVIEW (fig. D-3.8). Par exemple la charge totale agissant sur la dalle (somme des valeurs provenant des capteurs de force plus le poids propre de la dalle et de l'équipement d'essai) était toujours représentée en fonction du temps, de même que le déplacement moyen des 4 cotés de la dalle par rapport à la

colonne en fonction de la charge totale. Toutes les mesures choisies avant l'essai pouvaient être affichées à l'écran à tout moment (déformation du béton sur la partie tendue ou comprimée de la dalle, changement de l'épaisseur de la dalle, etc.).

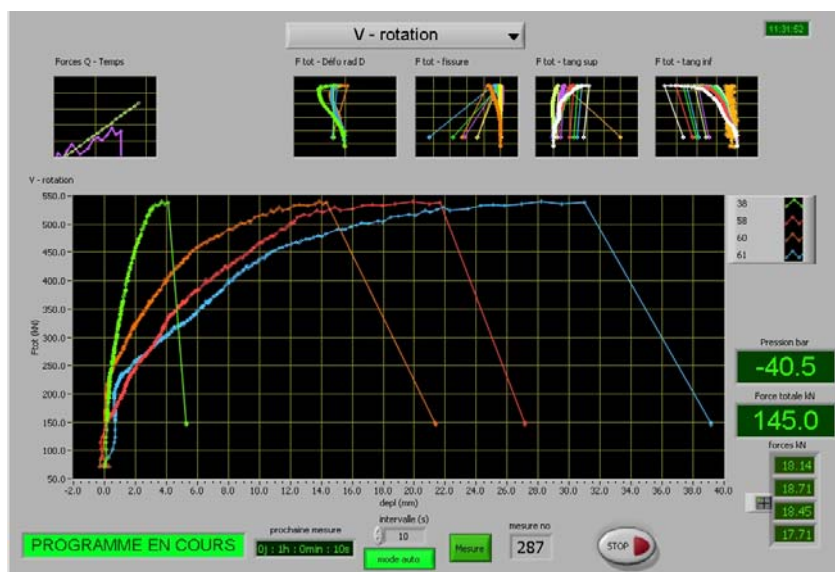


Figure D-3.8: Affichage des graphiques avec logiciel LABVIEW

Mesures en continu

Des mesures en continu des forces, des déplacements, des déformations, des rotations de la dalle pendant la mise en charge ont été effectués. Les six directions de mesures principales pour la première dalle essayée (PG-1) étaient : nord (N), nord-est (NE), est (E), sud (S), sud-ouest (SW) et ouest (W). A cause du comportement symétrique observé, à partir de la deuxième dalle, la même quantité de capteurs a été concentrée sur un quart de dalle, donc sur trois directions principales : N, NE et E (fig. D-3.9 et D-3.11).

Pour ce qui concerne la dénomination des différents capteurs, la systématique suivante a été adoptée :

1. Type de capteur :
 - I** = Capteur inductif : **5, 10, 20, 50** (plage de mesures en mm),
 - O** = Jauge oméga
2. Position sur la dalle :
 - T** = Top / face supérieure de la dalle, **B** = Bottom / face inférieure,
 - I** = Intérieur (mesure de l'épaisseur de la dalle), **T** = Tangentiel
 - N** = Nord, **E** = Est, **S** = Sud, **W** = West / Ouest,
 - 1-10** = Position depuis la colonne vers l'extérieur

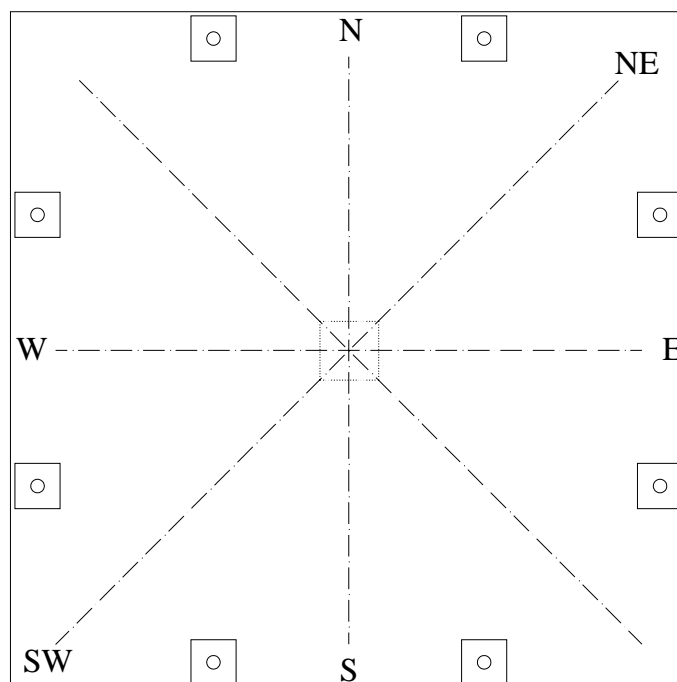


Figure D-3.9: Dalle vue en plan avec axes principaux

Capteurs de force

Sous le sol de réaction de la halle de structures, autour des tiges, des capteurs creux pour la mesure de la force appliquée à la dalle d'essai ont été placés. Quatre capteurs ont été disposés pour les essais des dalles de 3 m, huit pour la grande dalle et un pour les petites dalles (toujours un capteur de force par tige traversant le sol de réaction) (fig. D-3.2, D-3.4 et D-3.7).

Les capteurs de force utilisés, du type Losinger, étaient des cylindres creux à la circonférence desquels sont collées des jauges d'extensométrie. Ces dernières mesurent la déformation sous charge du corps du capteur. Leur capacité maximale était de 1000 kN (fig. D-3.10).



Figure D-3.10: Capteurs de force. A gauche entre une plaque métallique et un vérin (dalles de 3 m et de 1.5 m) ; à droite entre une plaque métallique et une écrou de la tige Macalloy (dalle de 6 m)

Capteurs inductifs pour la mesure des déplacements verticaux, face supérieure

Sur la face supérieure de la dalle, une trentaine de capteurs inductifs avec une plage de mesure entre ± 20 mm et ± 100 mm ont été fixés sur un dispositif rigide composé de profilés métalliques de type RHS soudé ensemble en forme d'étoile et suivant les six directions principales (sauf pour les petites dalles). Cette famille de capteurs a permis de mesurer ponctuellement le déplacement vertical de la face supérieure de la dalle par rapport aux trois appuis fixes de l'étoile disposés sur trois bras de l'étoile. Ces appuis sont disposés sur la dalle elle-même à une distance de 1.20 m du centre de la dalle (pour la grande dalle : 2.40 m). Les figures D-3.11 et D-3.13 montrent l'étoile supérieure et les capteurs inductifs fixés sur les 6 bras (PG-1) ou les 3 bras (PG-2b et suivants) de l'étoile. Les cercles blancs montrent la position des appuis de l'étoile. Pour la dalle PG-10 aucun capteur inductif n'a été placé sur la partie supérieure.

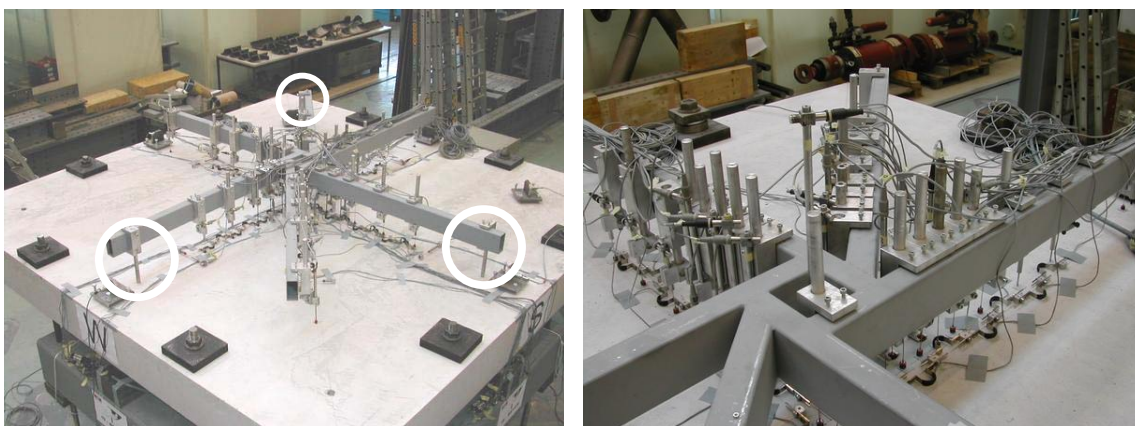


Figure D-3.11: Etoile supérieure. A gauche: PG-1, à droite: PG-2b et suivants

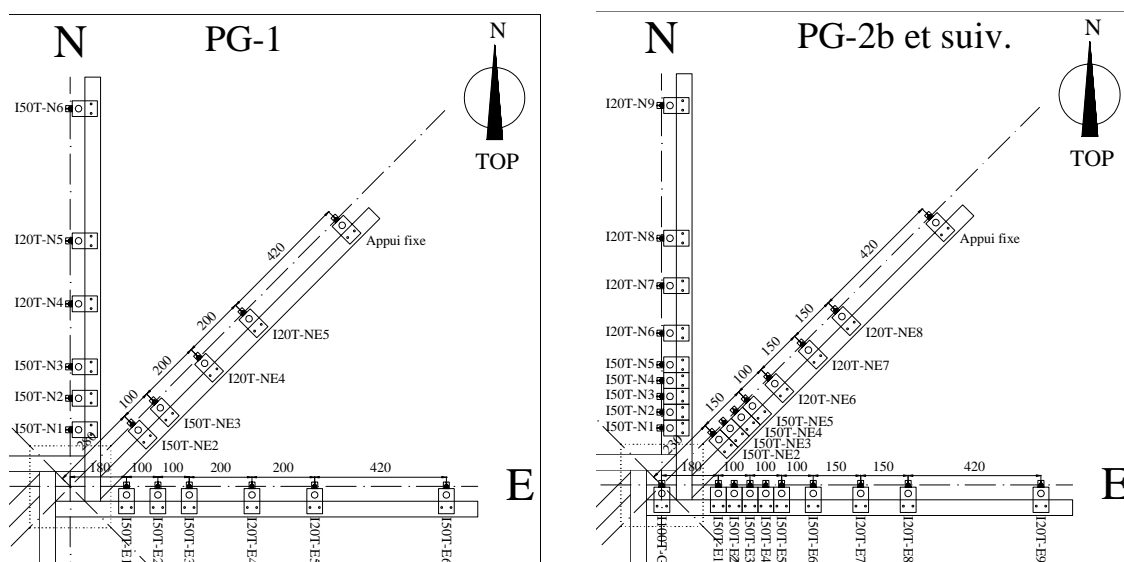


Figure D-3.12: Disposition des capteurs inductifs supérieurs

Les bras de l'étoile supérieure ont été rallongés pour permettre le même type de mesures pour la grande dalle. Les capteurs inductifs ont été concentrés sur un quart de la dalle (trois directions : S, SW et W).

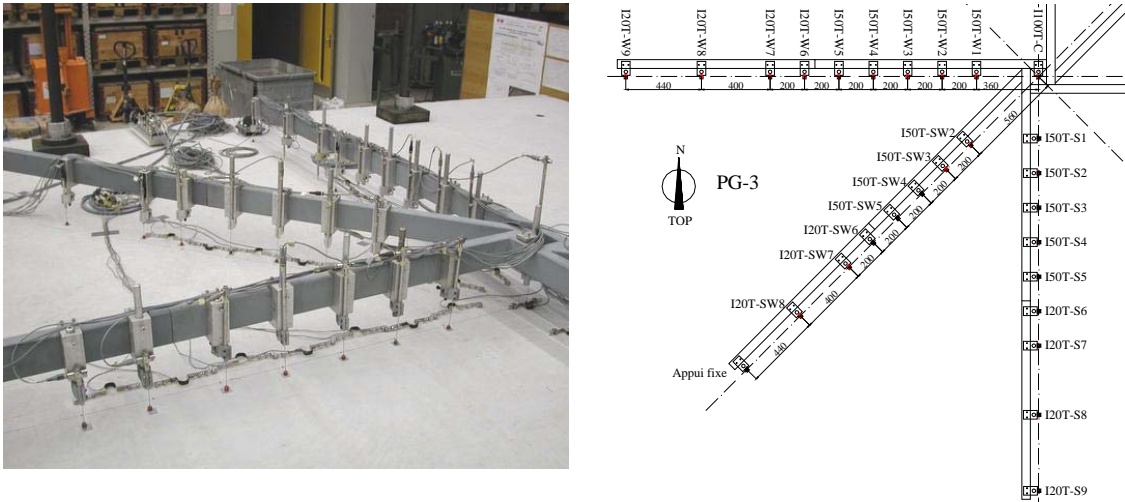


Figure D-3.13: Etoile supérieure rallongée pour la grande dalle

Capteurs inductifs pour la mesure des déplacements verticaux, face inférieure

Une vingtaine de capteurs inductifs avec une plage de mesure entre ± 5 mm et ± 50 mm a été fixée sur un dispositif en forme d'étoile liée à la colonne. Pendant l'essai PG-1 on a mesuré dans 5 directions (N, S, E, W et NE), puis dans 3 directions pour les essais qui ont suivi (N, E, NE). La disposition des capteurs fixés à l'étoile inférieure est montrée dans la fig. D-3.15. On a choisi la même position en plan que pour les capteurs inductifs placés sur la face supérieure des dalles.



Figure D-3.14: Etoile inférieure fixée à la colonne

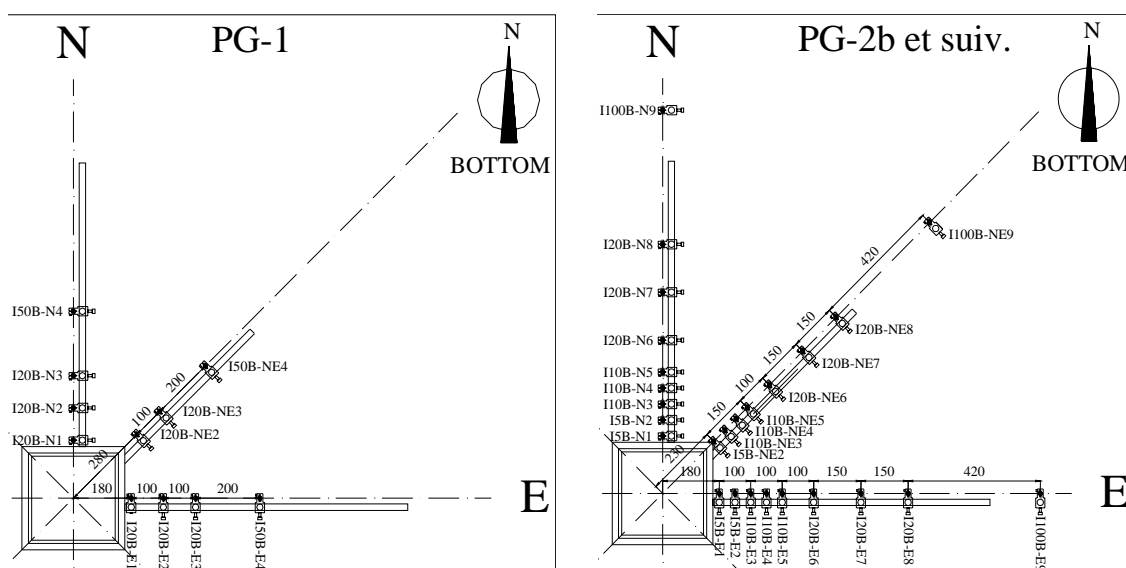


Figure D-3.15: Disposition des capteurs inductifs inférieurs. A gauche: PG-1, à droite: PG-2b et suivants

Au lieu d'utiliser une étoile inférieure, pour la grande dalle PG-3 et les petites dalles, les capteurs inductifs ont été fixés chacun à une tige verticale appuyée sur le sol de réaction.



Figure D-3.16: Capteurs inductifs. A gauche : grande dalle PG-3, à droite : petites dalles

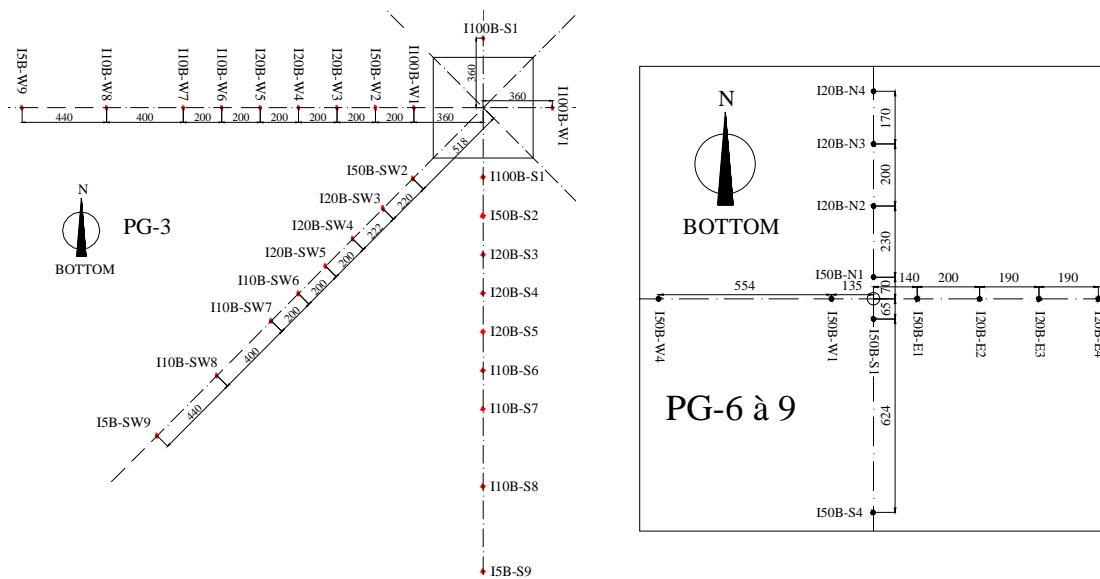


Figure D-3.17: Disposition des capteurs inductifs. A gauche : grande dalle, à droite : petites dalles

Inclinomètres

Pour déterminer la rotation de la dalle, cinq inclinomètres (fig. D-3.19) ont été placés sur la face supérieure de la dalle à une distance de 1.38 m (2.76 m pour la grande dalle PG-3) du centre de la dalle sur les directions suivantes : N, NE, E, S, et W (fig. D-3.18). Ces instruments n'ont pas trouvé place sur les petites dalles. Les inclinomètres étaient reliés à un ordinateur indépendant qui prenait des mesures toutes les 15 secondes environ.

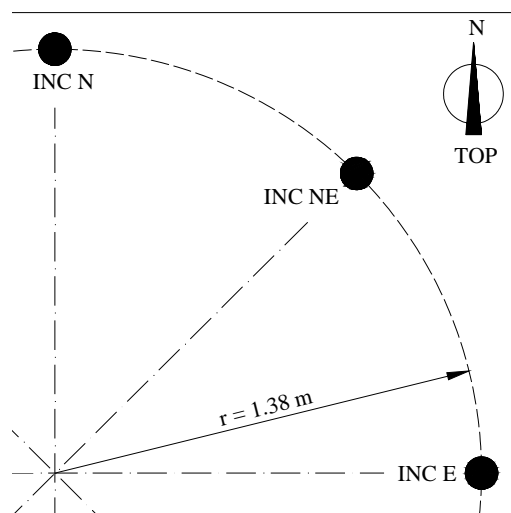


Figure D-3.18: Disposition des inclinomètres ($r = 2.76 \text{ m}$ pour la grande dalle)

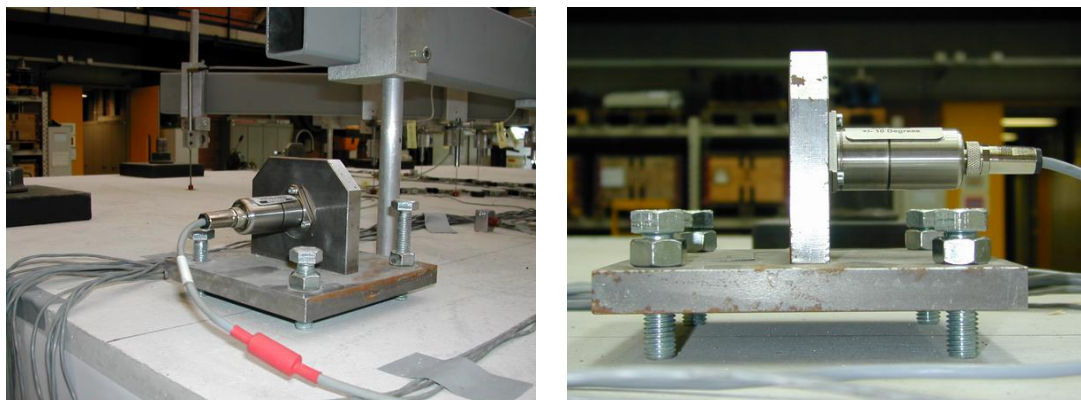


Figure D-3.19: Inclinomètres

Jauges oméga pour la mesure des déformations de la face tendue du béton

La jauge oméga est un capteur constitué d'un support en forme d'oméga au sommet duquel est collé un pont complet de jauges d'extensométrie qui va mesurer les déformations dudit support (fig. D-3.24 droite). Ces jauges ont été fixées à la face des dalles à travers deux taquets en aluminium chacune avec les dimensions 14/20/14 mm collés à la dalle et espacés de 100 mm.

Pour la dalle PG-1 on a disposé sur la face supérieure 44 jauges oméga pour mesurer les déformations radiales sur les six axes principaux et six capteurs inductifs pour les déformations tangentielles. A partir de la dalle PG-2b, les déformations radiales n'ont été mesurées que sur 3 axes (N, E et NE) avec sept jauges dans chaque direction. De plus neuf jauges oméga ont été fixées sur l'axe W pour mesurer les déformations tangentielles (fig. D-3.20 et D-3.21).

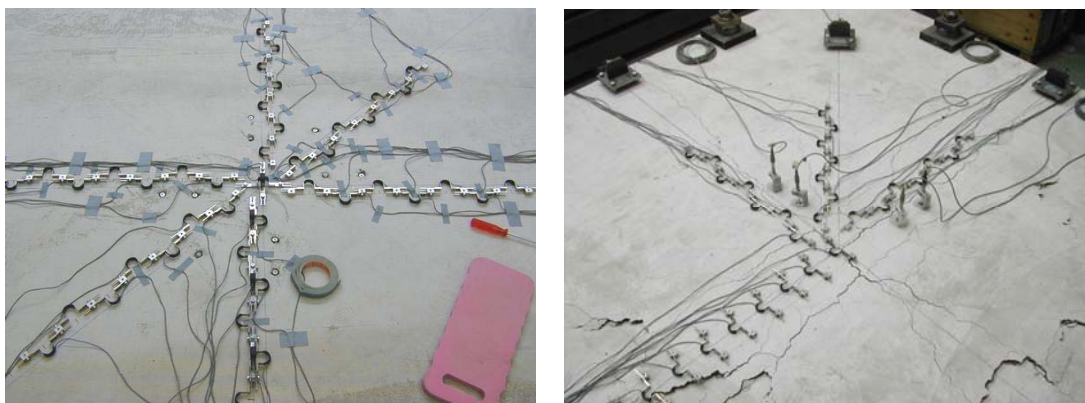


Figure D-3.20: Jauges oméga. A gauche: PG-1, à droite: PG-2b et suivantes

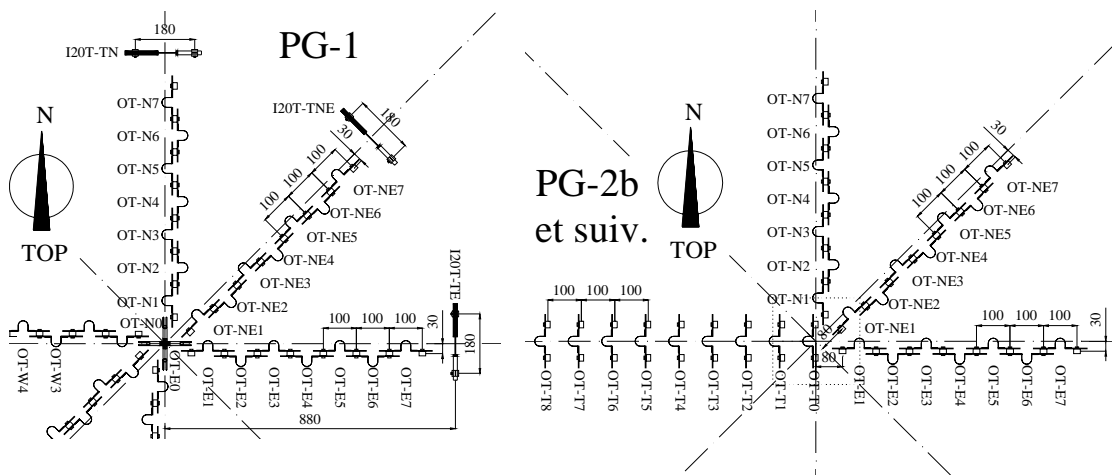


Figure D-3.21: Disposition des jauges oméga. A gauche: PG-1, à droite: PG-2b et suiv.

Pour la grande dalle PG-3 on a disposé sur la face supérieure les mêmes jauges oméga que sur les dalles PG-2b et suivantes, avec les taquets espacés de 200 mm. Les déformations radiales ont été mesurées sur 3 axes (S, W et SW) avec sept jauges dans chaque direction. En plus neuf jauges oméga ont été fixées sur l'axe E pour mesurer les déformations tangentielles (fig. D-3.22).

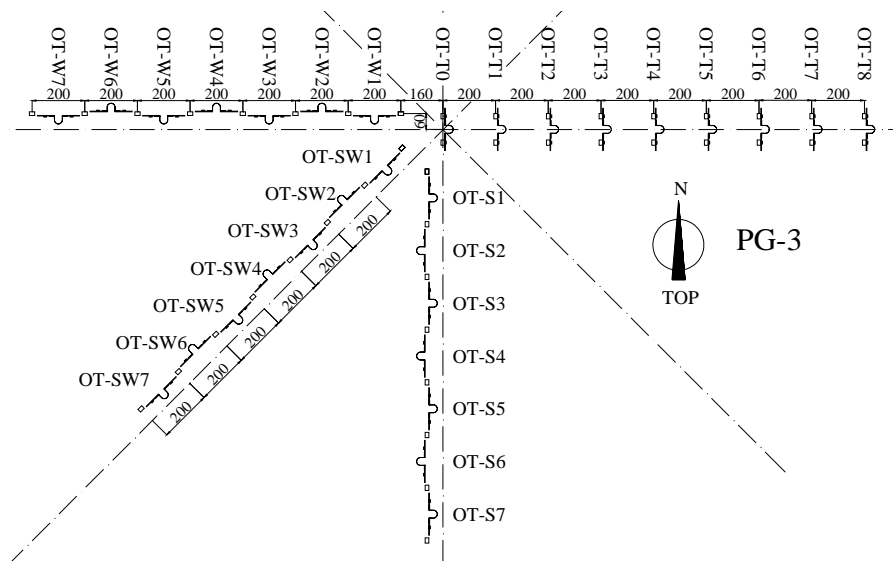


Figure D-3.22: Disposition des jauges oméga sur la face supérieure de la grande dalle

A cause de leur mode de chargement différent, c'est la surface inférieure qui est tendue pour les petites dalles. C'est pourquoi on a disposé pour les dalles PG-6 à PG-9 17 jauges oméga sur la face inférieure. Les déformations radiales ont été mesurées sur 3 axes (N, E et NE) avec quatre jauges dans chaque direction. De plus, cinq jauges oméga ont été fixées sur l'axe W pour mesurer les déformations tangentielles (fig. D-3.23).

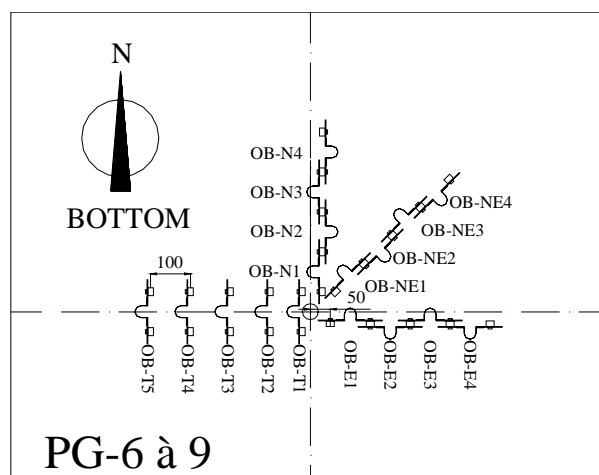


Figure D-3.23: Disposition des jauges oméga sur la face inférieure des petites dalles

Jauges oméga pour la mesure des déformations de la face comprimée du béton

Pour la face inférieure des dalles, le même système de jauges oméga que pour la face supérieure a été utilisé. Sous la PG-1, 40 jauges oméga (six directions) et 6 capteurs inductifs (déformations tangentielles) ont été fixés (fig. D-3.25 gauche). Six de ces jauges oméga ont trouvé place tout près de la colonne pour mesurer les déformations tangentielles. A partir de la PG-2b, par contre, les capteurs ont été concentrés surtout sur un quart de dalle (fig. D-3.25 droite).

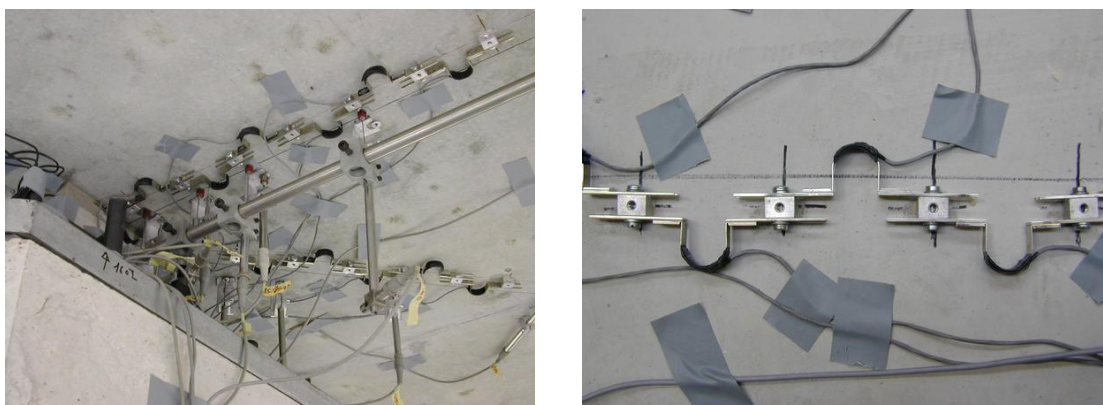


Figure D-3.24: Jauges oméga fixées sur la partie inférieure de la dalle

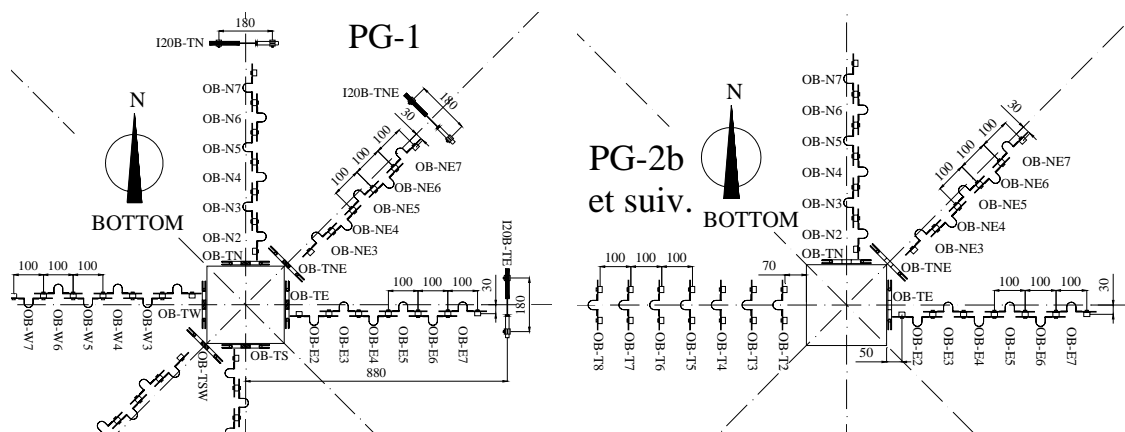


Figure D-3.25: Disposition des jauges oméga. A gauche: PG-1, à droite: PG-2b et suivants

Sous la grande dalle, 27 jauges oméga ont été fixées avec les taquets espacés de 100 mm. Trois de ces jauges oméga ont trouvé place tout près de la colonne pour mesurer les déformations tangentielles.

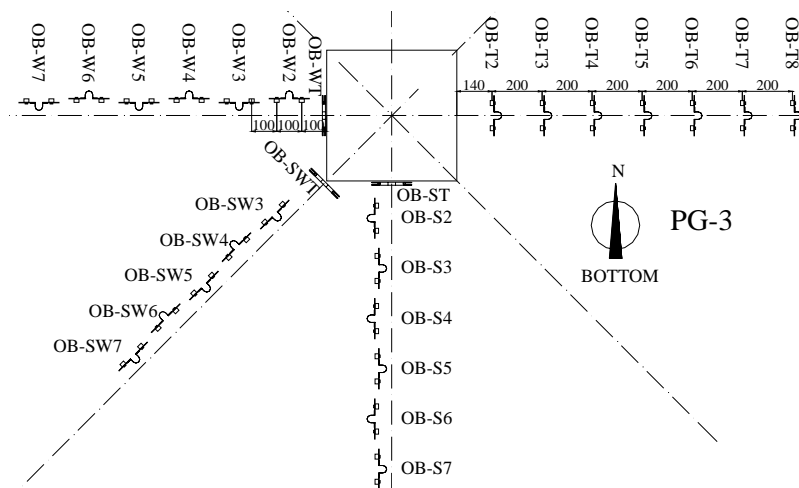


Figure D-3.26: Disposition des jauges oméga à la face inférieure de la grande dalle

La face comprimée du béton des petites dalles est celle supérieure. Aux dalles PG-6 à PG-9 on a disposé 16 jauges oméga sur la face supérieure. Les déformations radiales ont été mesurées sur 3 axes (N, E et NE) avec quatre jauges dans chaque direction. En plus quatre jauges oméga ont été fixées sur l'axe W pour mesurer les déformations tangentielles (fig. D-3.27).

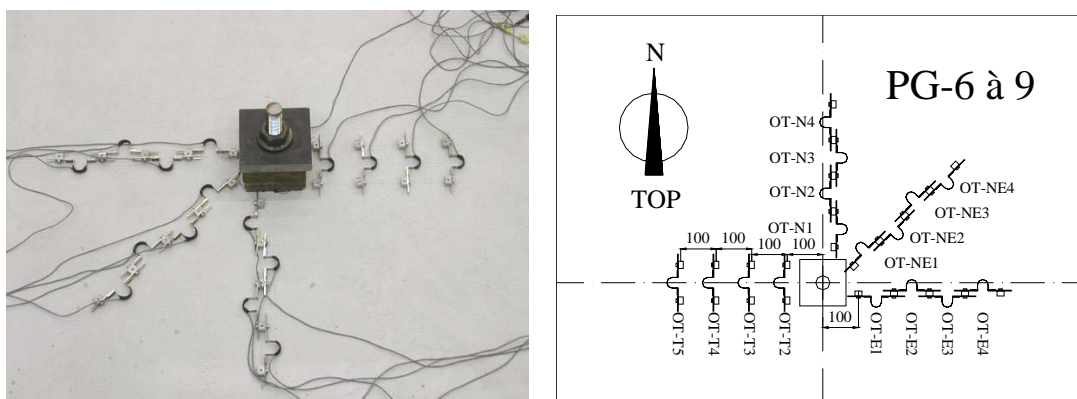


Figure D-3.27: Disposition des jauges oméga sur la face supérieure des petites dalles

Mesures du changement d'épaisseur de la dalle

Avant le bétonnage, des tiges en acier d'un diamètre \varnothing 3 mm et d'une longueur de 250 mm (500 mm pour la grande dalle) ont été fixées au coffrage et aux barres d'armature supérieures. Des rondelles en acier ont été soudées au milieu de ces tiges pour assurer un ancrage dans le béton alors que la tige elle-même était désolidarisée du béton par une couche de caoutchouc mou (la dalle PG-1 avait aussi des tiges avec ancrage près de la face supérieure). Les mesures ont été faites grâce à des capteurs inductifs disposés sur la face supérieure et inférieure.

Grâce à ce dispositif spécialement développé, il a été possible de mesurer l'ouverture des fissures à l'intérieur de la dalle à différents endroits pendant les essais. De cette façon, le suivi du développement de la fissure d'effort tranchant, qui reste invisible en face et qui est responsable de la ruine de la structure, devient possible.

La figure D-3.28 à gauche montre une coupe de la dalle PG-1 avec ce dispositif de mesure. A partir de la dalle PG-2b (fig. D-3.28 à droite), seulement quatre tiges avec rondelle au milieu (deux par direction de mesure N et E) ont été placées pour chaque essai. La photo fig. D-3.29 montre le détail des tiges et des rondelles dans une coupe de la dalle après essai. La disposition des tiges et des capteurs inductifs est montrée schématiquement à la fig. D-3.30. Les photos de la fig. D-3.31 montrent le détail de la fixation des capteurs inductifs à la face de la dalle.

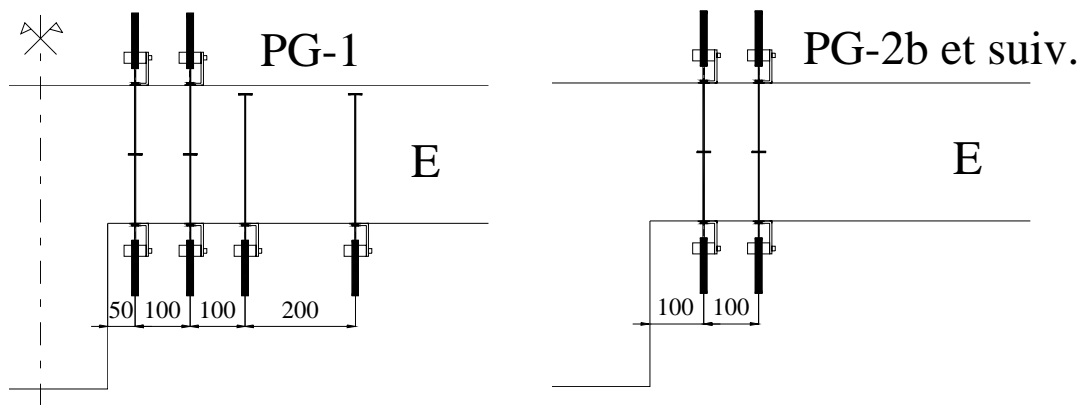


Figure D-3.28: Sections avec dispositif de mesure des fissures internes. A gauche: PG-1, à droite: PG-2b et suivants



Figure D-3.29: Section de la dalle PG-10 avec détail du dispositif de mesure des fissures internes

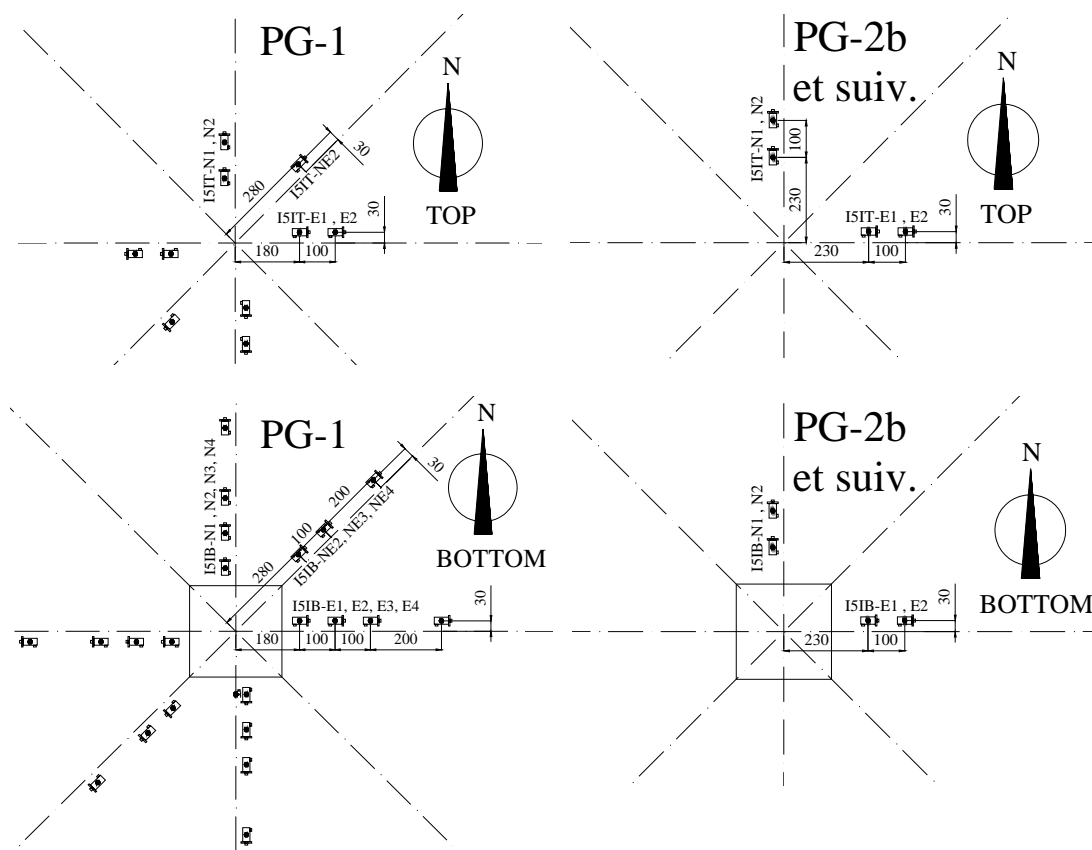


Figure D-3.30: Schéma de la disposition des capteurs inductifs. A gauche: PG-1, à droite: PG-2b et suivants

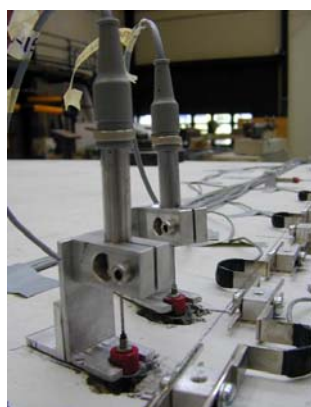


Figure D-3.31: Détail de la fixation des capteurs inductifs à la face de la dalle

Le même système a été adopté pour la grande dalle PG-3. Quatre tiges ont été disposées selon la fig. D-3.32 à l'intérieur de la dalle.

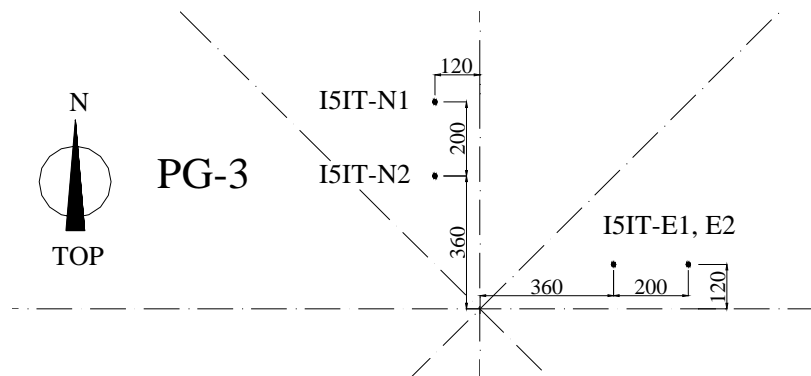


Figure D-3.32: Disposition des capteurs pour la mesure des fissures internes de la grande dalle PG-3

Données techniques des instruments de mesure

Tableau D-3.1: Données techniques des instruments de mesure

	Instrument	Plage de mesure	Non-linéarité et hystérèse	Précision
Force	Capteur de force Losinger	± 1000 kN	-	± 1 %
Rotation	Inclinomètre Wylér	± 10 °	-	± 1 μ rad
Déplacement	Capteur inductif HBM W5	± 5 mm		
	Capteur inductif HBM W10	± 10 mm	$\pm 0.4\%$	± 10 μ m
	Capteur inductif HBM W20	± 20 mm		
	Capteur inductif HBM W50	± 50 mm		
Déformation	Jauge oméga TML PI-2-50	± 2 mm	$\pm 0.5\%$	± 0.1 ‰

D-4. Résultats d'essais

D-4.1 Grande dalle de 6 x 6 m

Mise en charge

Le graphique D-4.1 montre le déroulement de la mise en charge en fonction du temps. La force maximale exercée par la colonne sur la dalle au moment du poinçonnement a été de 2153 kN. Au temps $t = 0$ seulement le poids propre de la dalle, du système de mise en charge et des instruments de mesure chargeait la colonne (environ 450 kN). La durée de l'essai a été de deux heures environ. La vitesse de mise en charge a été constante depuis le début jusqu'à la rupture par poinçonnement de la dalle.

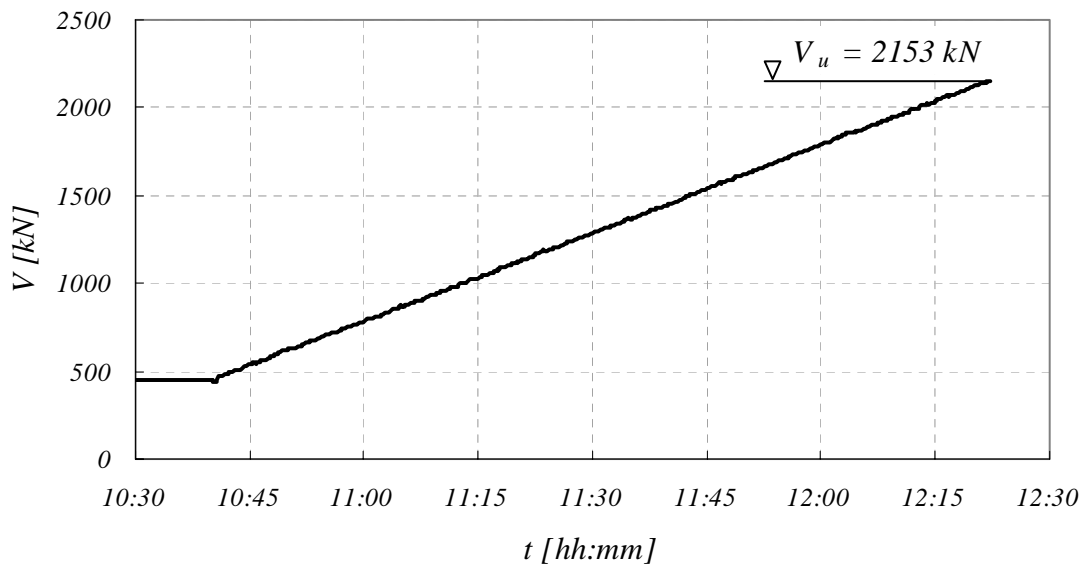


Figure D-4.1: Déroulement de la mise en charge

Rotations de la dalle

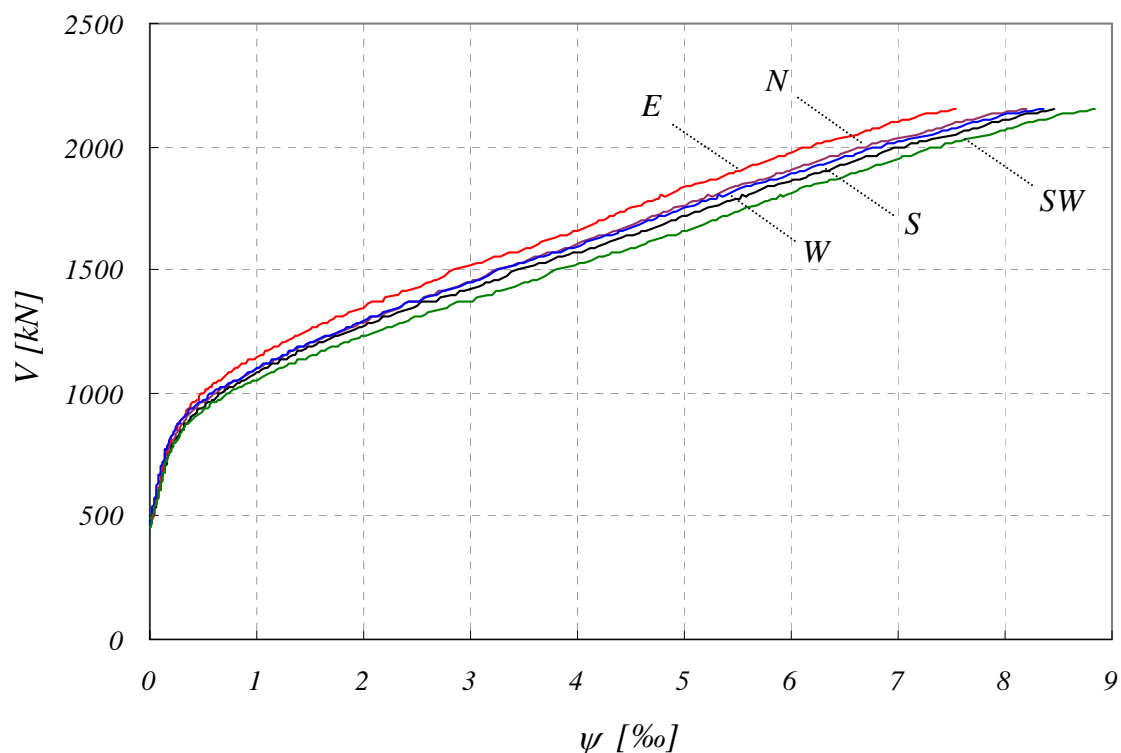


Figure D-4.2: Rotation de la dalle en fonction de la force V (inclinomètres à $r = 2.76$ m)

Le graphique D-4.3 montre la rotation moyenne de la dalle mesurée avec les inclinomètres placés sur l'axe N-S et E-W. Rotation maximale avant rupture : 8.4 ‰ (rotation ultime sur l'axe E-W : 8.0 ‰).

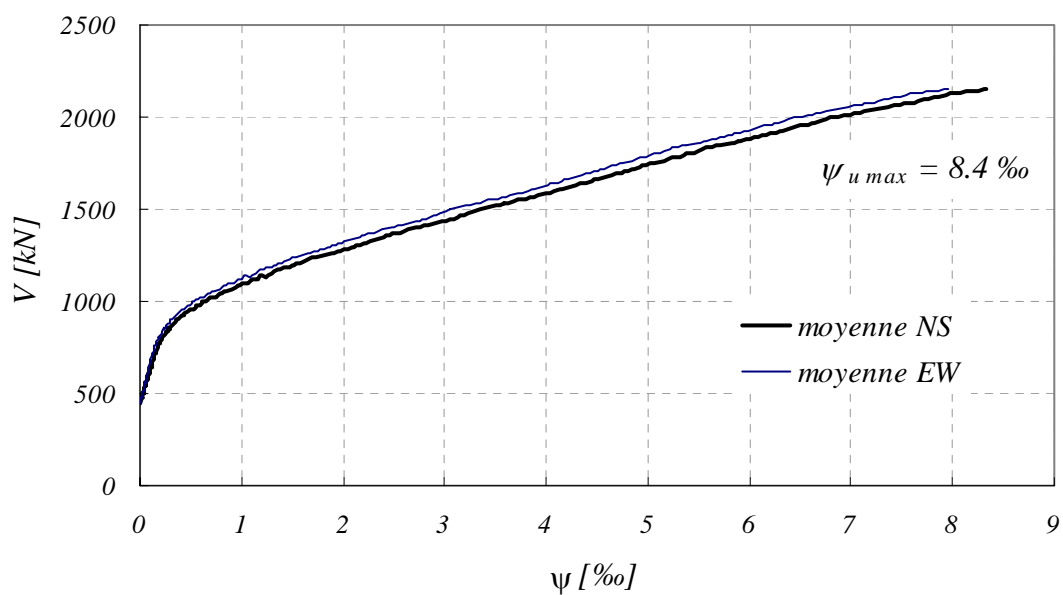


Figure D-4.3: Rotation de la dalle en fonction de la force V (moyenne des inclinomètres)

Déplacements et pentes de la dalle

Les figures suivantes montrent les valeurs enregistrées par les capteurs inductifs disposés sur la partie supérieure et inférieure de la dalle.

Ces valeurs ont été corrigées en supprimant l'effet de rotation corps rigide de la dalle (correction maximale de 0.5 mm à la rupture, pratiquement négligeable).

A chaque direction de mesure, correspondent différentes figures :

1. Force V – Déplacement w face supérieure : Mesures de chaque capteur inductif.
2. Force V – Déplacement w face inférieure : Mesures de chaque capteur inductif.
3. Déplacement w – Distance depuis le centre r pour différents niveaux de force V ($w=0$ placé au milieu de la dalle pour les déplacements de la face supérieure et au bord de la colonne pour les déplacements de la face inférieure).

Changement d'épaisseur Δh – Distance depuis le centre r pour le niveau de force V ultime (différence entre les mesures de la face supérieure et inférieure)

4. Pente w' – Distance depuis le centre r pour différents niveaux de force V (calculé en partant des déplacements)

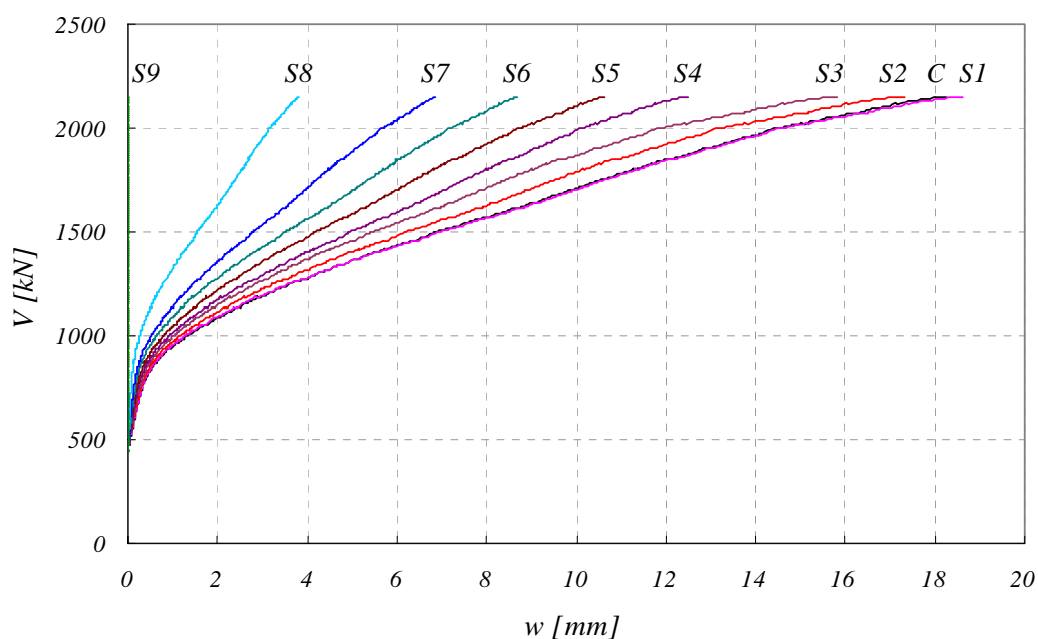


Figure D-4.4: Déplacements w face supérieure, axe S

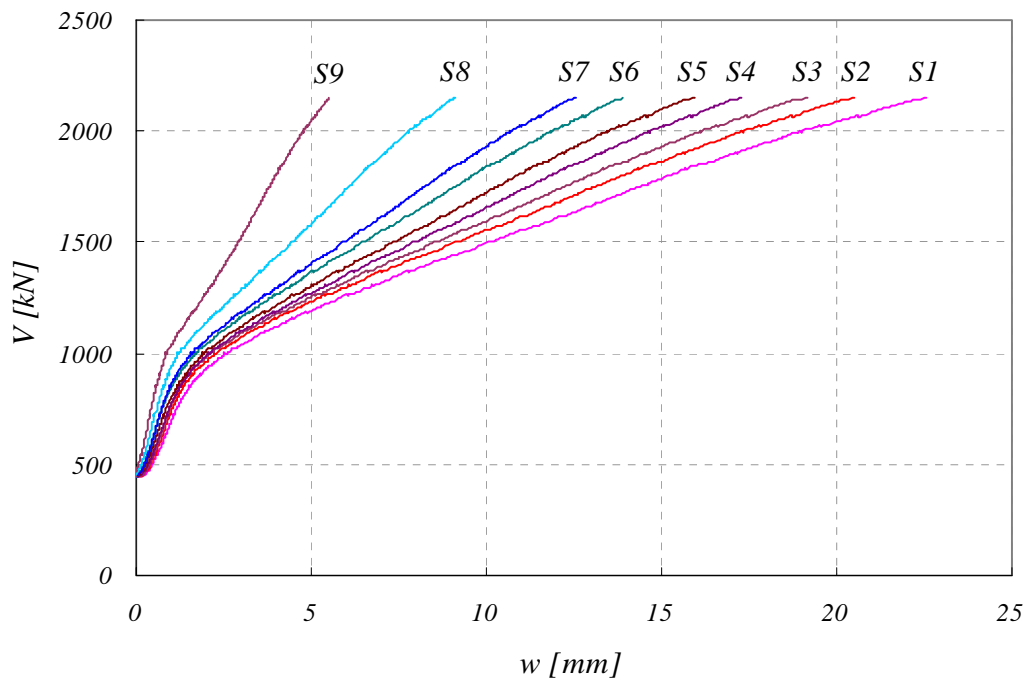


Figure D-4.5: Déplacements w face inférieure, axe S

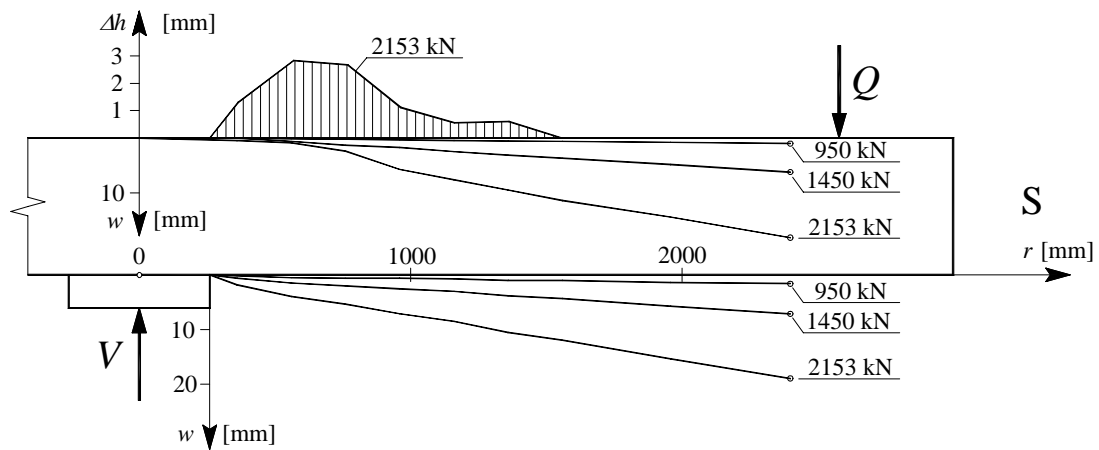


Figure D-4.6: Déplacements w face sup. et inf. et augmentation d'épaisseur Δh , axe S

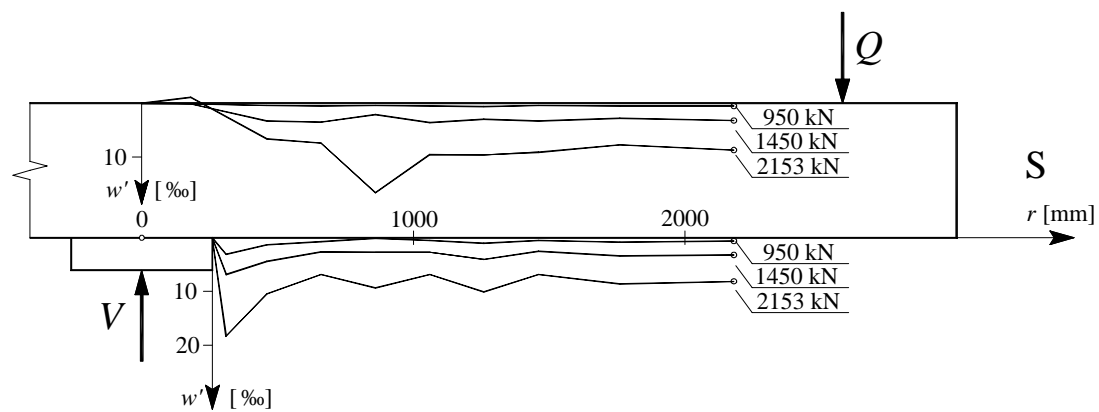


Figure D-4.7: Pentes w' face supérieure et inférieure, axe S

Résultats d'essai

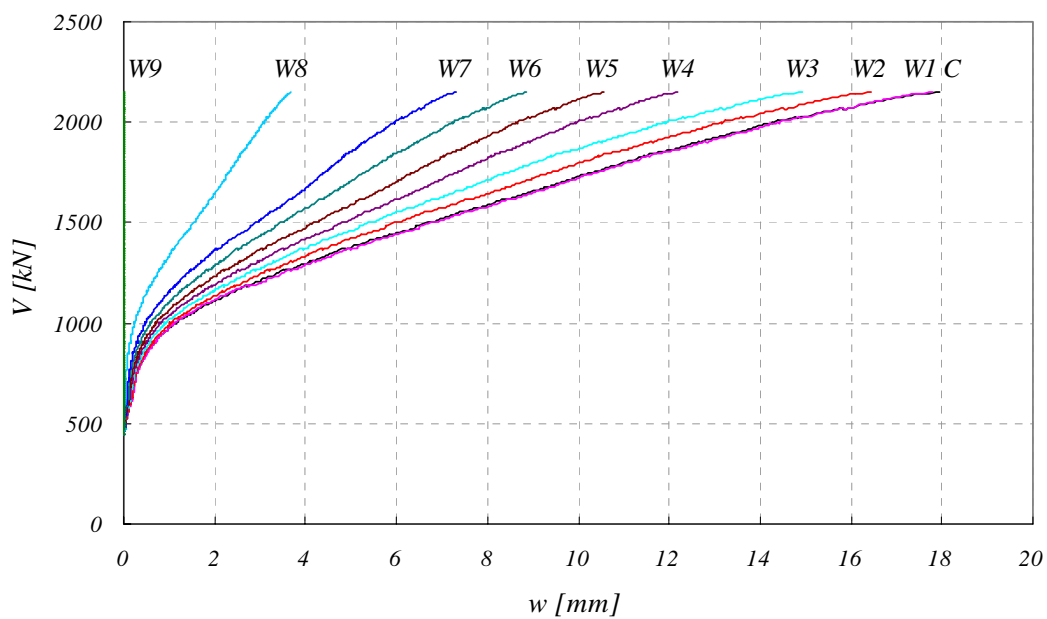


Figure D-4.8: Déplacements w face supérieure, axe W

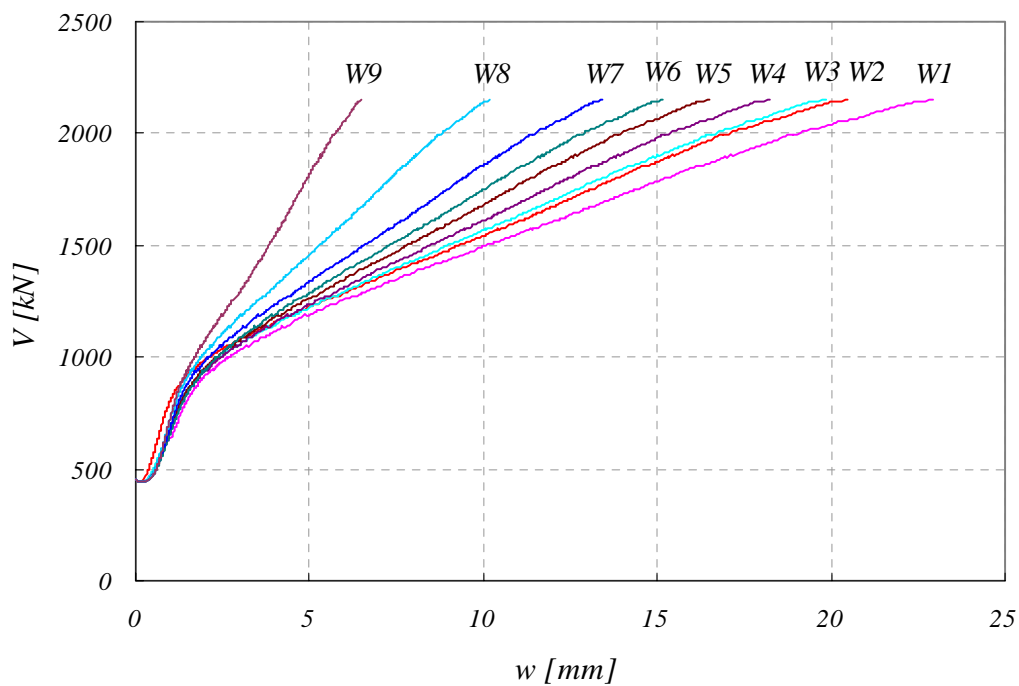


Figure D-4.9: Déplacements w face inférieure, axe W

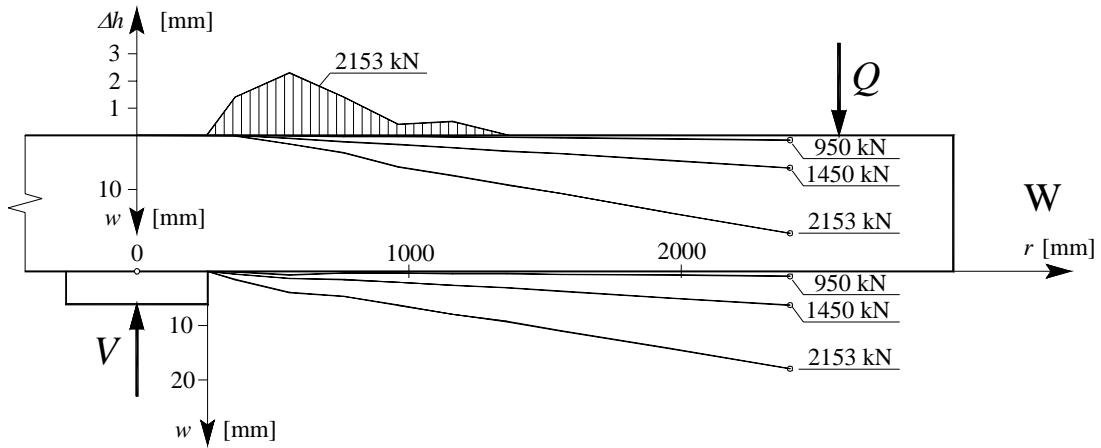


Figure D-4.10: Déplacements w face sup. et inf. et augmentation d'épaisseur Δh , axe W

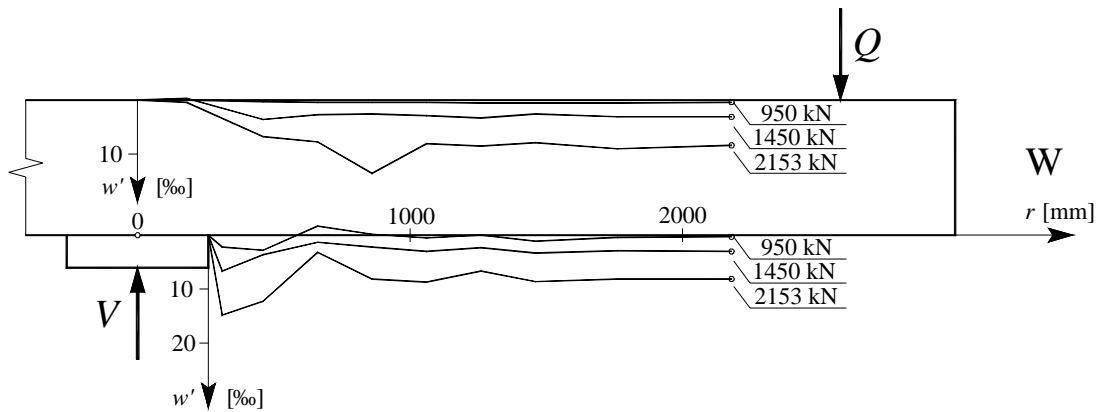


Figure D-4.11: Pentes w' face supérieure et inférieure, axe W

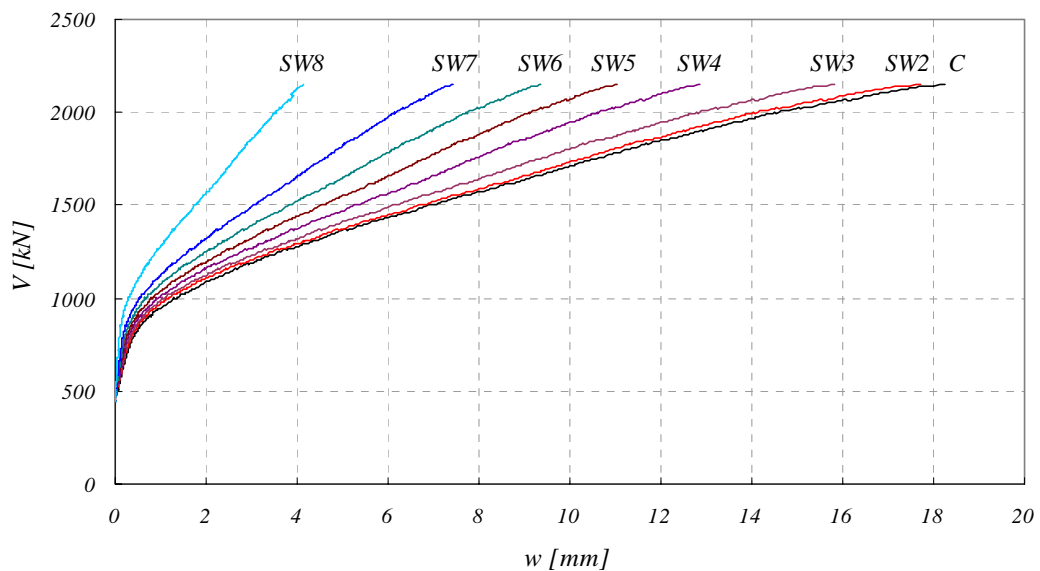


Figure D-4.12: Déplacements w face supérieure, axe SW (position $SW9$: appui fixe)

Résultats d'essai

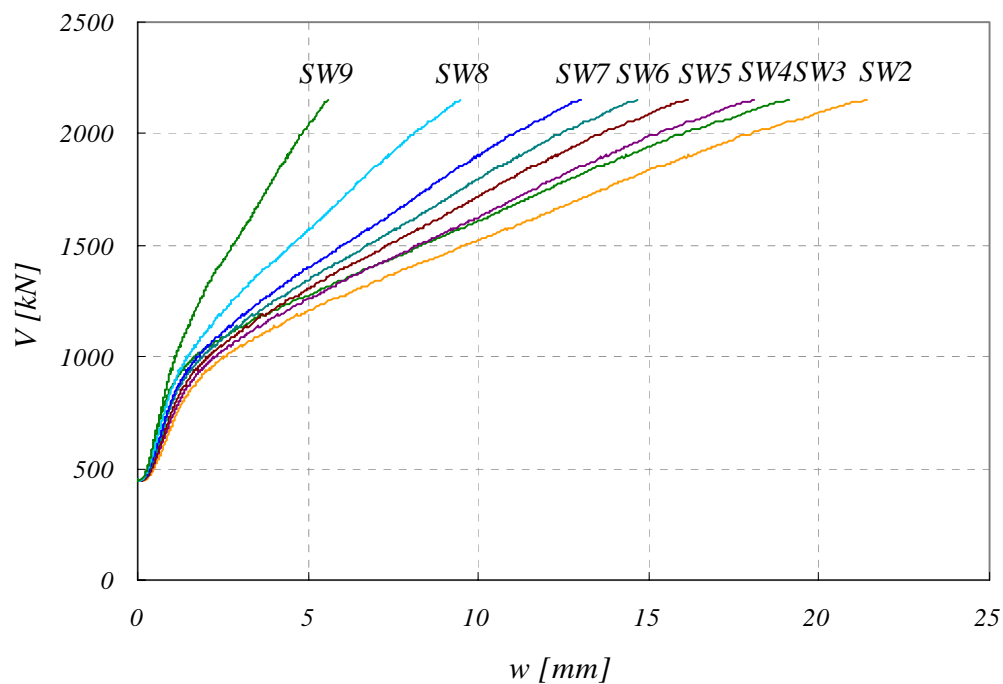


Figure D-4.13: Déplacements w face inférieure, axe SW

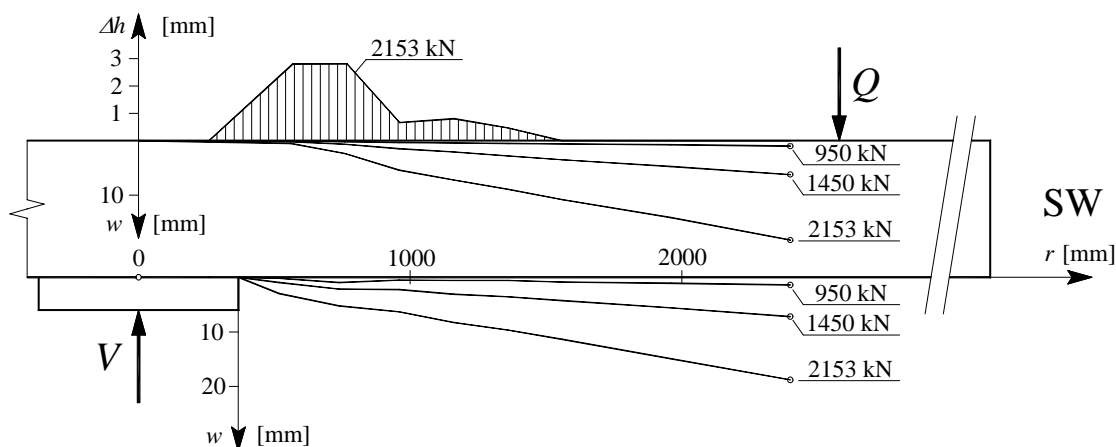


Figure D-4.14: Déplacements w face sup. et inf. et augmentation d'épaisseur Δh , axe SW

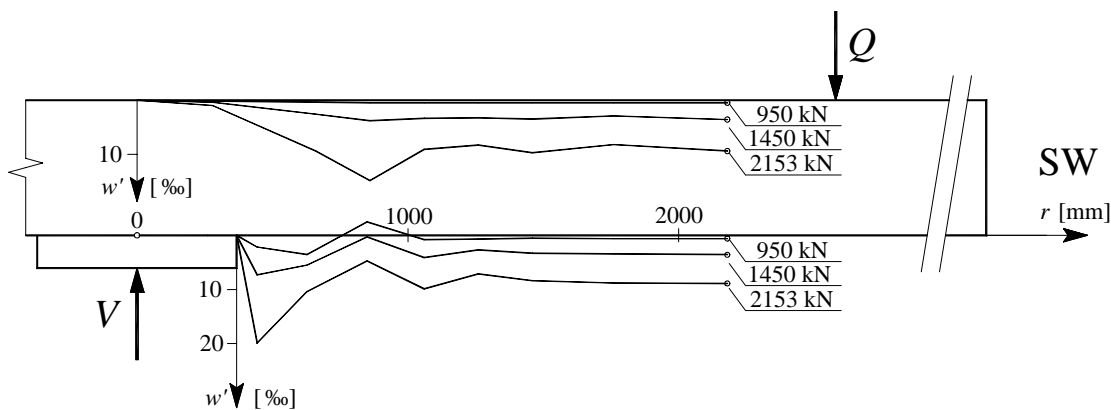


Figure D-4.15: Pentes w' face supérieure et inférieure, axe SW

Mesures du changement d'épaisseur de la dalle

Les graphiques suivants montrent les mesures faites avec le dispositif développé à l'IS-BETON qui a rendu possible de mesurer l'ouverture des fissures à l'intérieur de la dalle pendant l'essai, à différents endroits (fig. D-3.28) :

1. Changement d'épaisseur de la dalle Δh en fonction de la force V : Mesures de chaque capteur inductif, 4 sur la face supérieure (T) et 4 sur celle inférieure (B) (fig. D-4.16).
2. Changement d'épaisseur Δh en fonction de la position r des tiges pour différents niveaux de force V . La somme des deux valeurs provenant des capteurs d'en haut et d'en bas de chaque tige sont montrées pour les deux axes Nord et Est (fig. D-4.17 et D-4.18).
3. Répartition du changement d'épaisseur $\Delta h_{\text{sup}}/\Delta h_{\text{tot}}$ en fonction de la position r des tiges pour différents niveaux de force V , exprimée en pourcentage de changement d'épaisseur de la partie d'en haut par rapport au changement de l'épaisseur total (fig. D-4.19 et D-4.20).

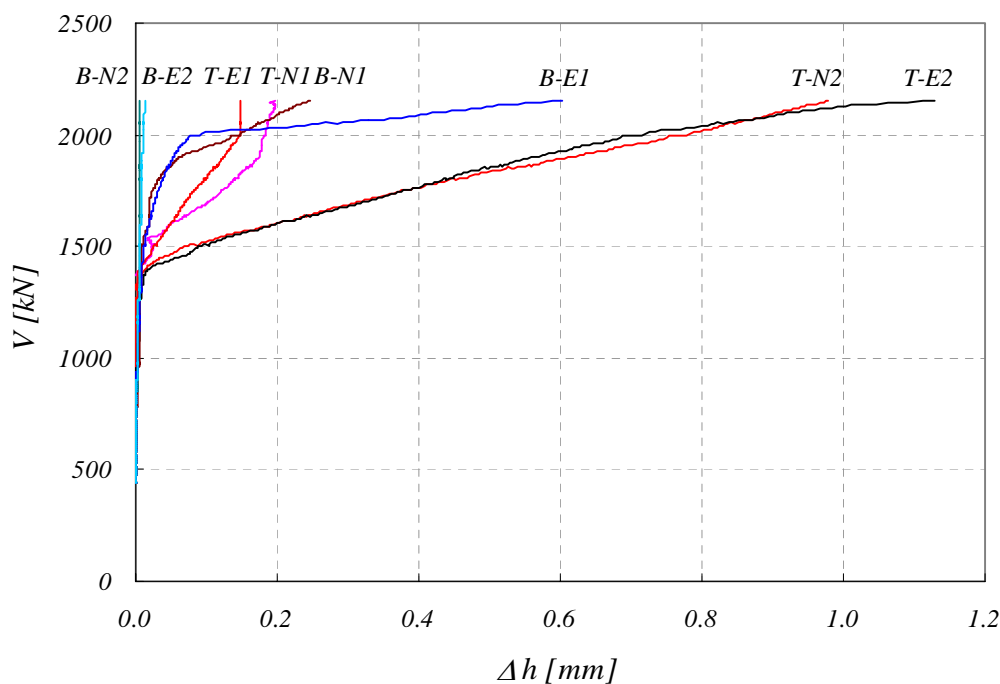


Figure D-4.16: Changement d'épaisseur Δh en fonction de la force V

Résultats d'essai

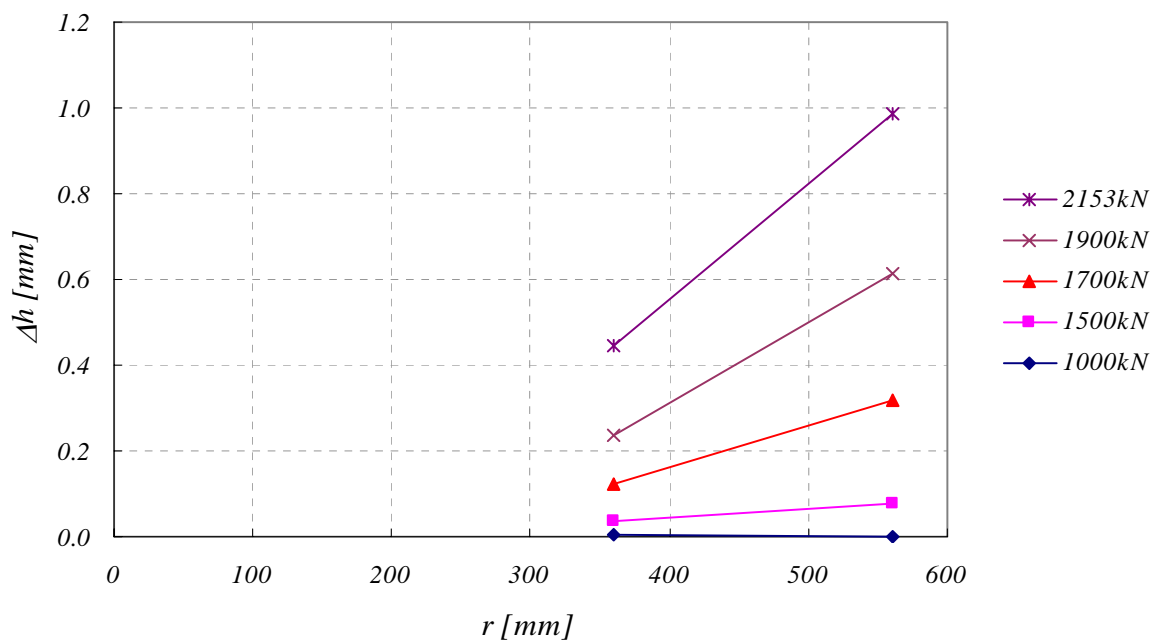


Figure D-4.17: Changement d'épaisseur Δh en fonction de la position r des tiges pour différents niveaux de force V , axe N

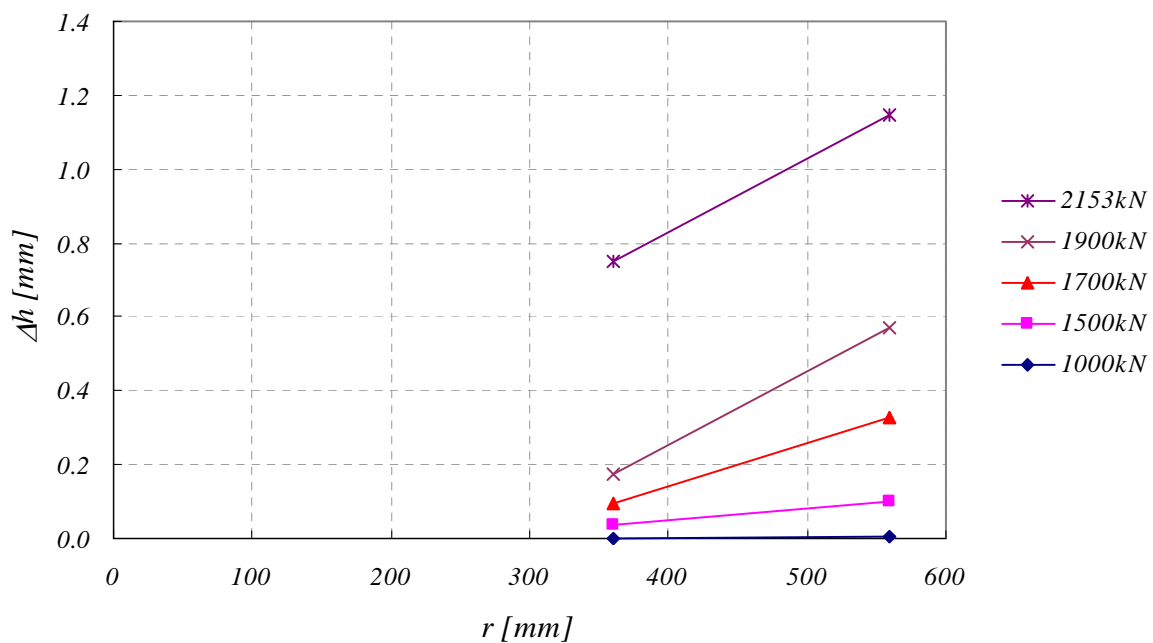


Figure D-4.18: Changement d'épaisseur Δh en fonction de la position r des tiges pour différents niveaux de force V , axe E

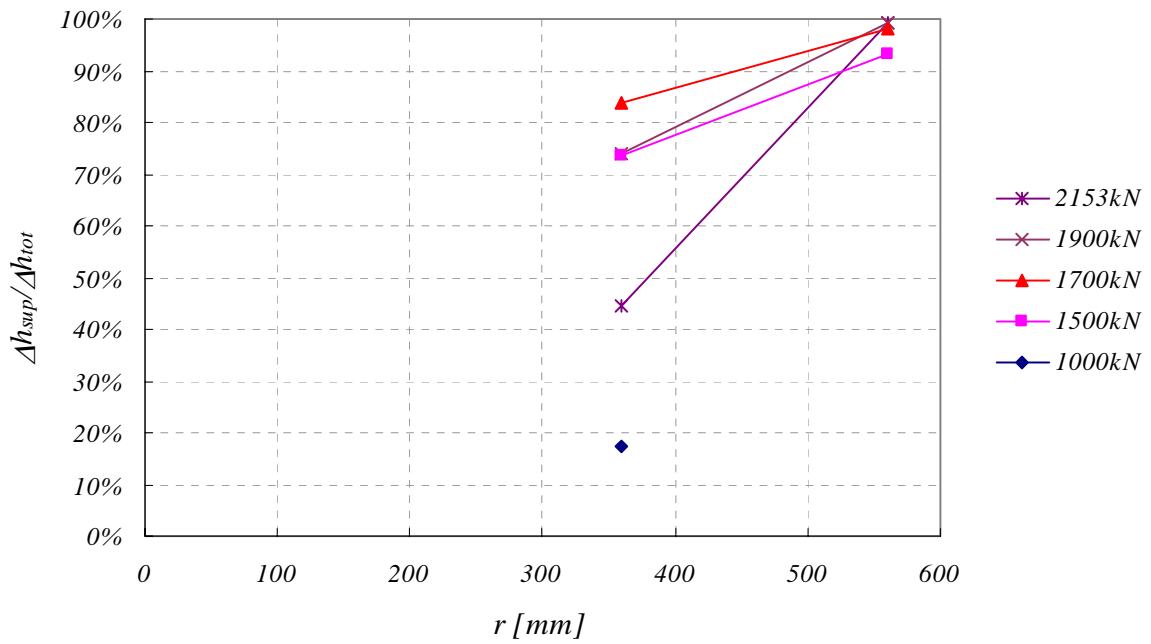


Figure D-4.19: Répartition du changement d'épaisseur Δh en fonction de la position r des tiges pour différents niveaux de force V , axe N

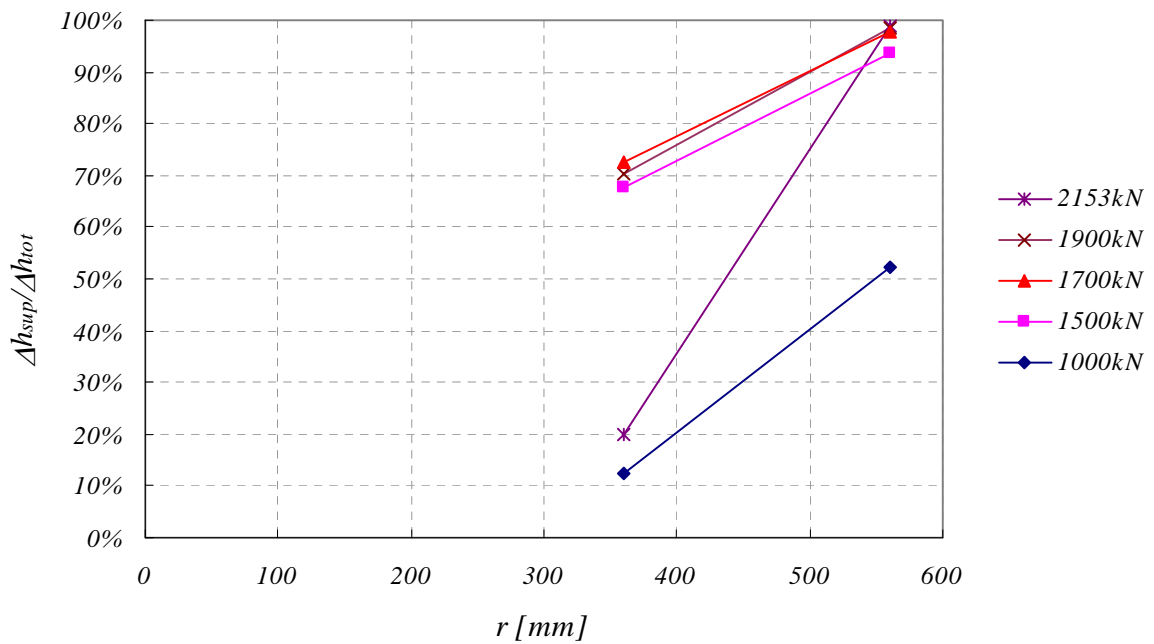


Figure D-4.20: Répartition du changement d'épaisseur Δh en fonction de la position r des tiges pour différents niveaux de force V , axe E

Déformations de la face de la dalle

Les déformations radiales et tangentielles des faces supérieure et inférieure de la dalle ont été enregistrées en continu grâce aux jauges oméga.

La figure D-4.21 montre les résultats des mesures des trois jauges oméga disposées tangentiellement tout près de la colonne.

Les figures D-4.22 à D-4.33 montrent les déformations de la face supérieure et inférieure de la dalle. Il y a toujours trois représentations graphiques pour chaque direction de mesure :

1. Force V – Déformation ε face supérieure : mesures de chaque capteur inductif
2. Force V – Déformation ε face inférieure : mesures de chaque capteur inductif
3. Déformations ε – Distance depuis le centre r pour trois différents niveaux de force V

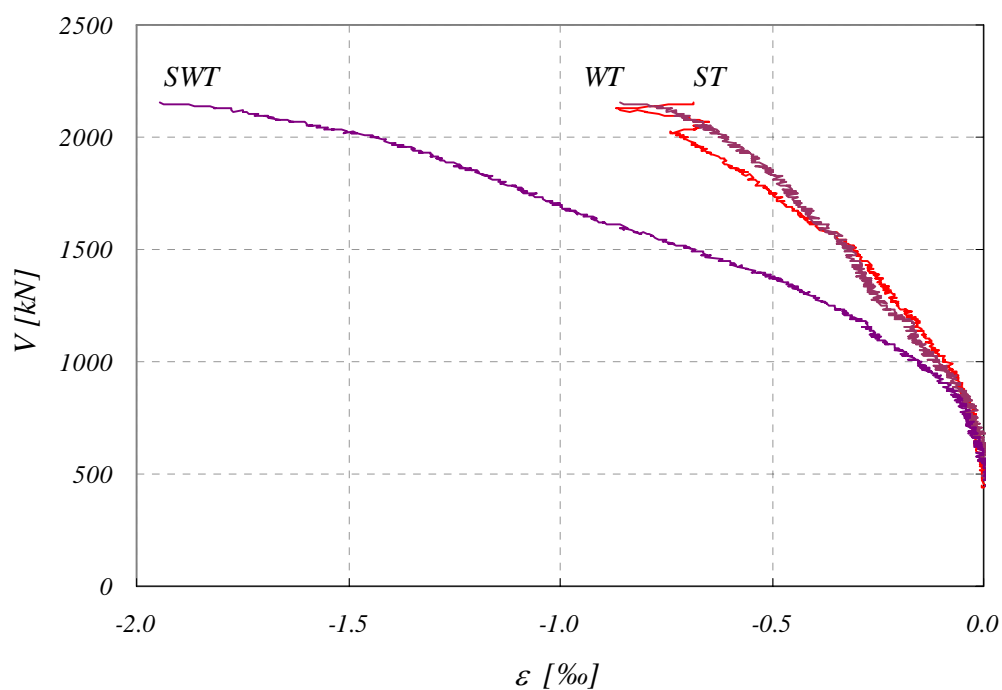


Figure D-4.21: Déformations tangentielles face inférieure près de la colonne

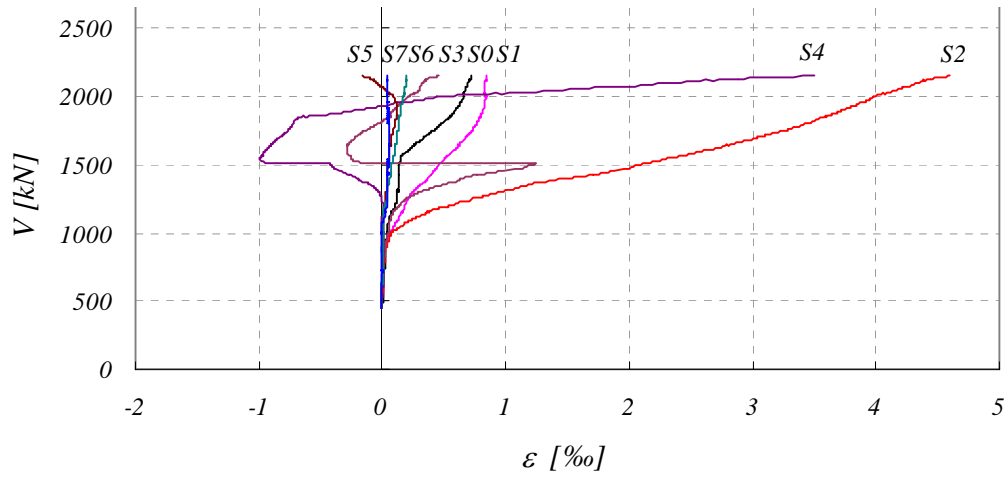


Figure D-4.22: Déformations radiales face supérieure, axe S

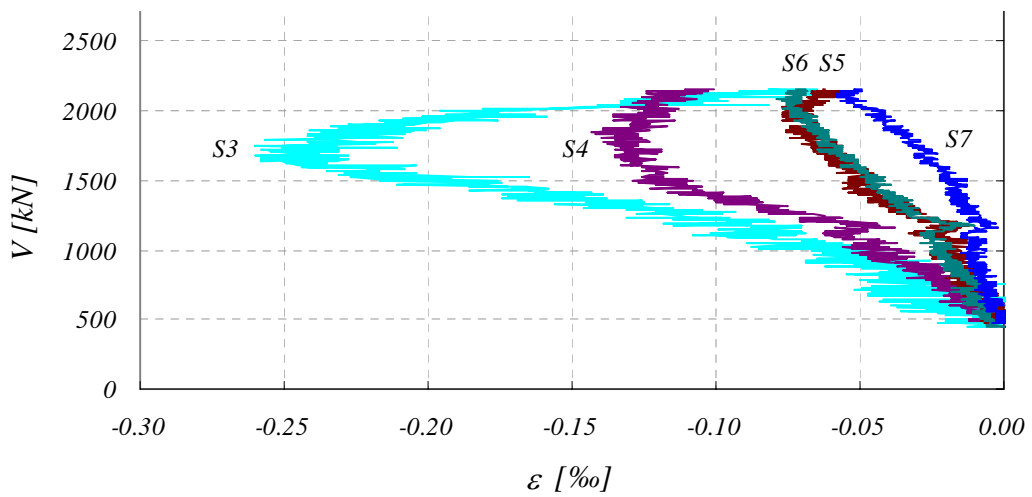


Figure D-4.23: Déformations radiales face inférieure, axe S (capteur S2 défectueux)

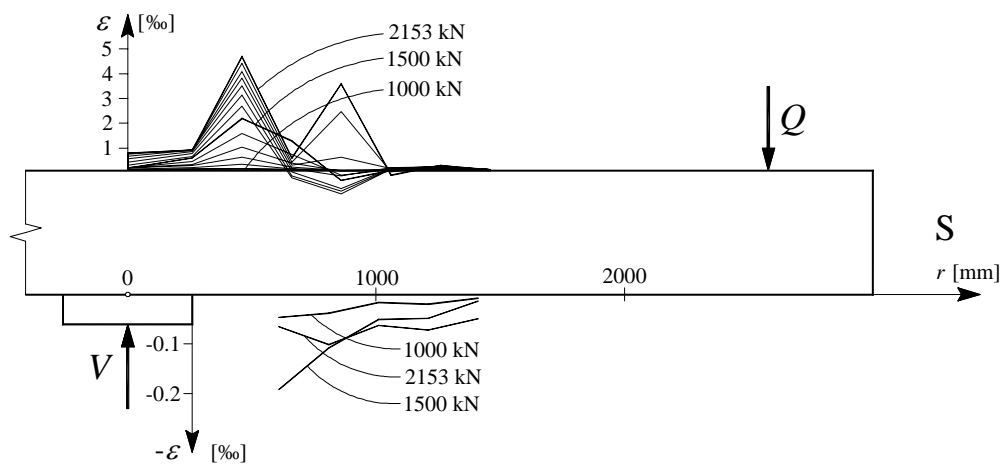


Figure D-4.24: Déformations radiales face supérieure et face inférieure, axe S

Résultats d'essai

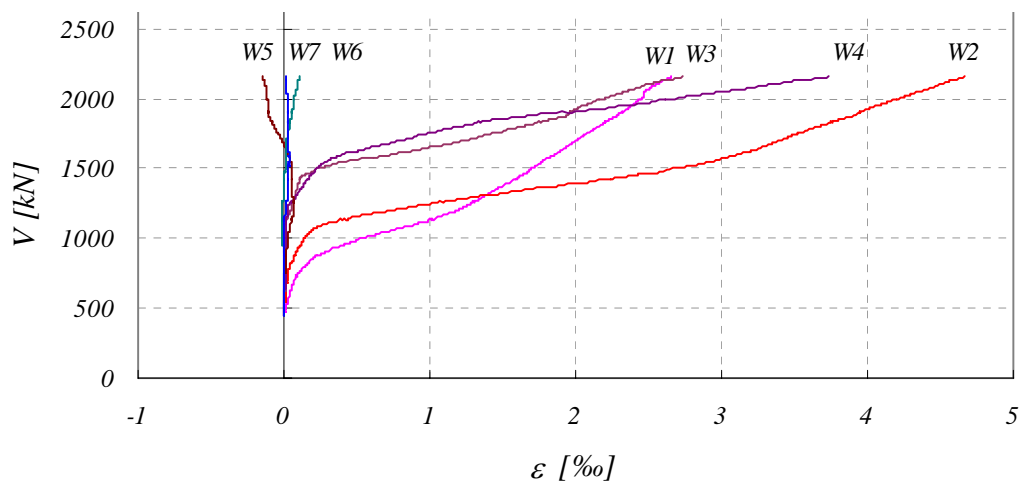


Figure D-4.25: Déformations radiales face supérieure, axe W

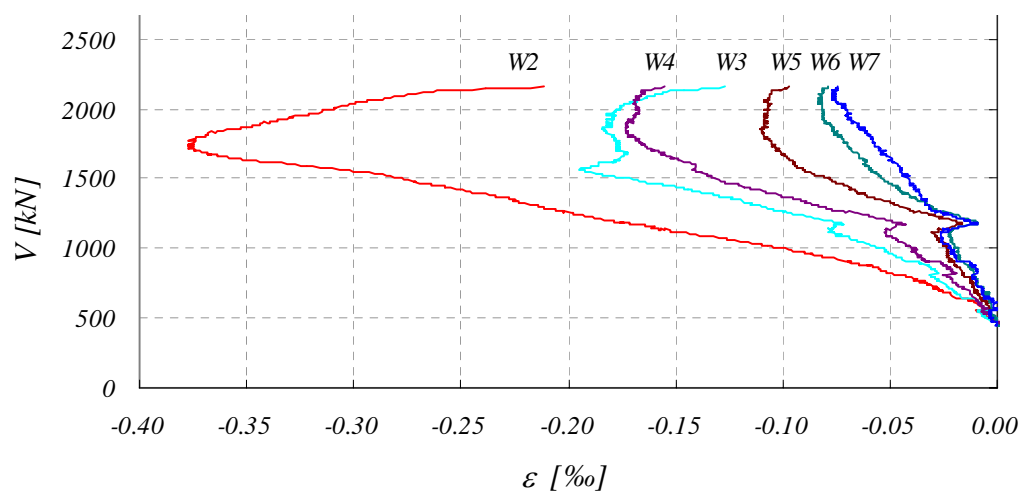


Figure D-4.26: Déformations radiales face inférieure, axe W

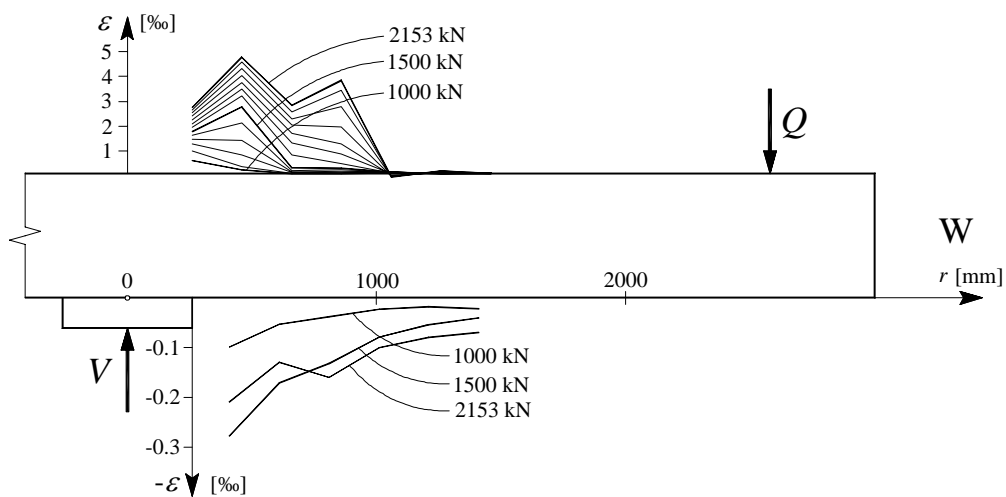


Figure D-4.27: Déformations radiales face supérieure et face inférieure, axe W

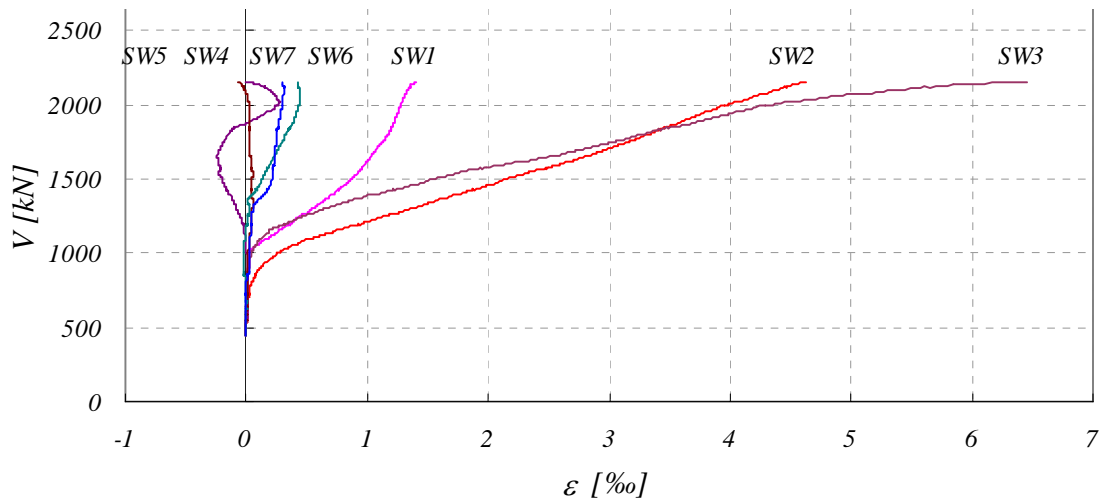


Figure D-4.28: Déformations radiales face supérieure, axe SW

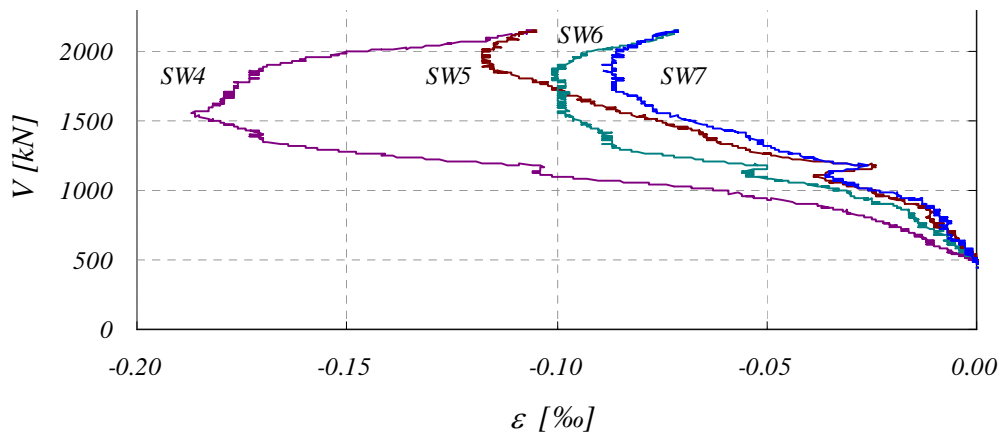


Figure D-4.29: Déformations radiales face inférieure, axe SW (SW3 défectueux)

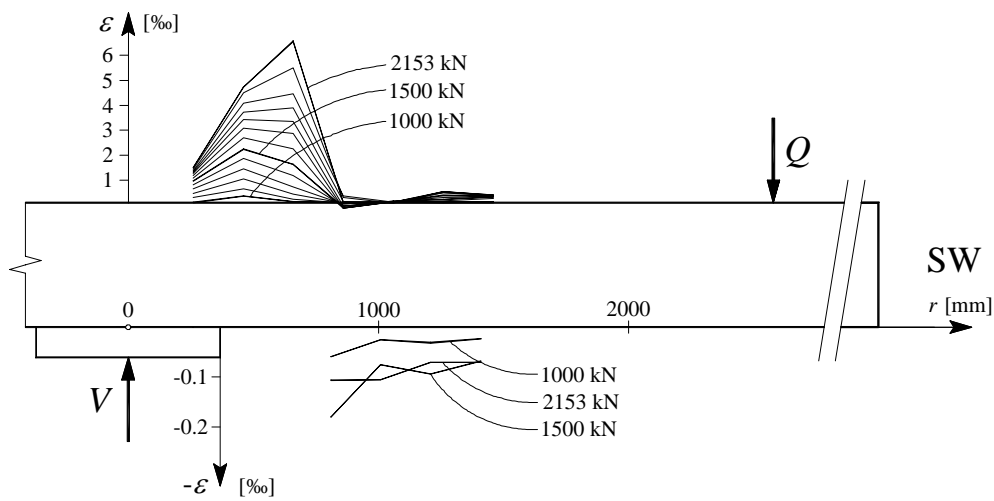


Figure D-4.30: Déformations radiales face supérieure et face inférieure, axe SW

Résultats d'essai

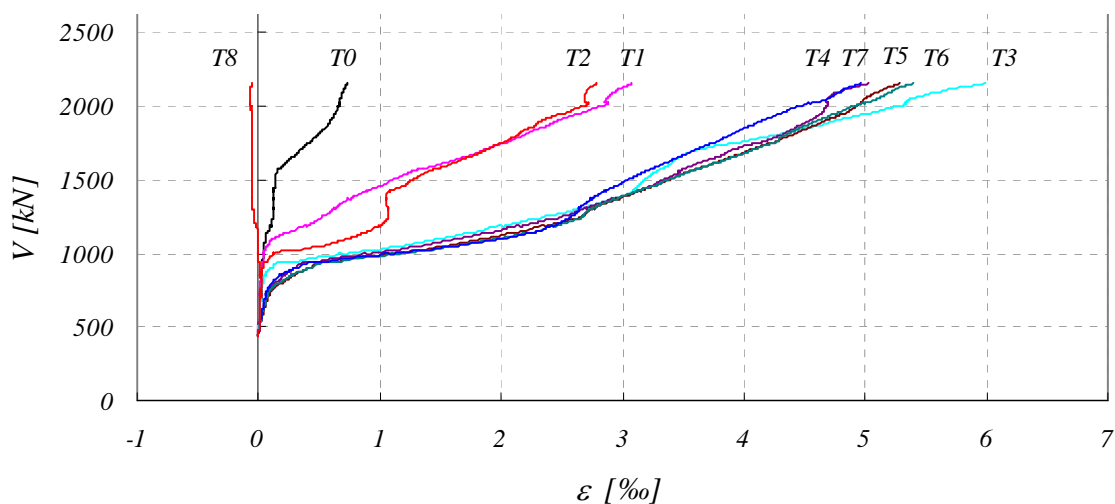


Figure D-4.31: Déformations tangentielles face supérieure, axe E

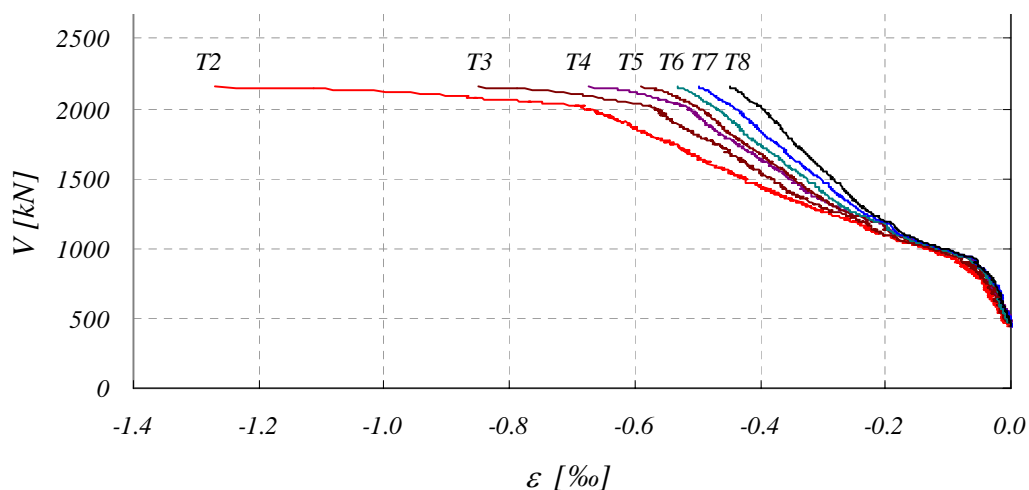


Figure D-4.32: Déformations tangentielles face inférieure, axe E

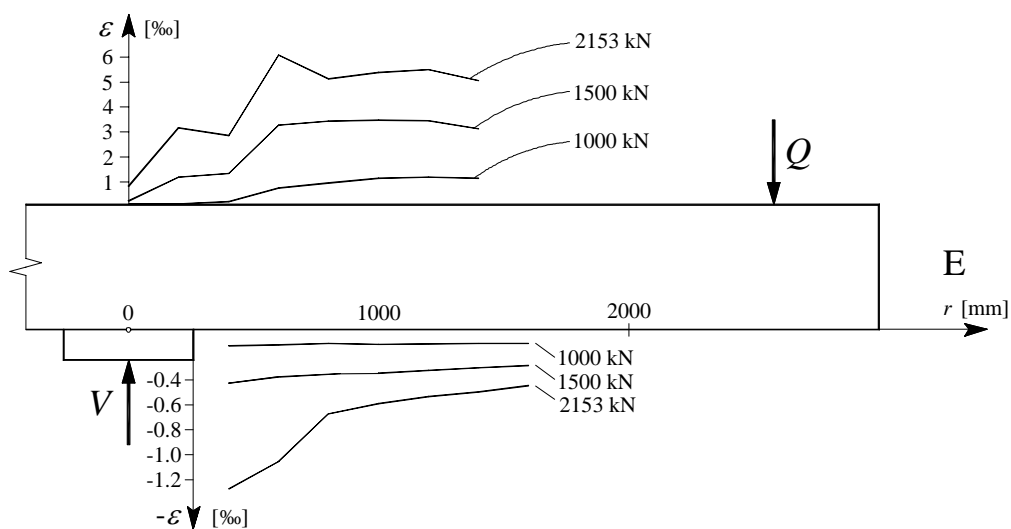


Figure D-4.33: Déformations tangentielles face supérieure et face inférieure, axe E

Fissures

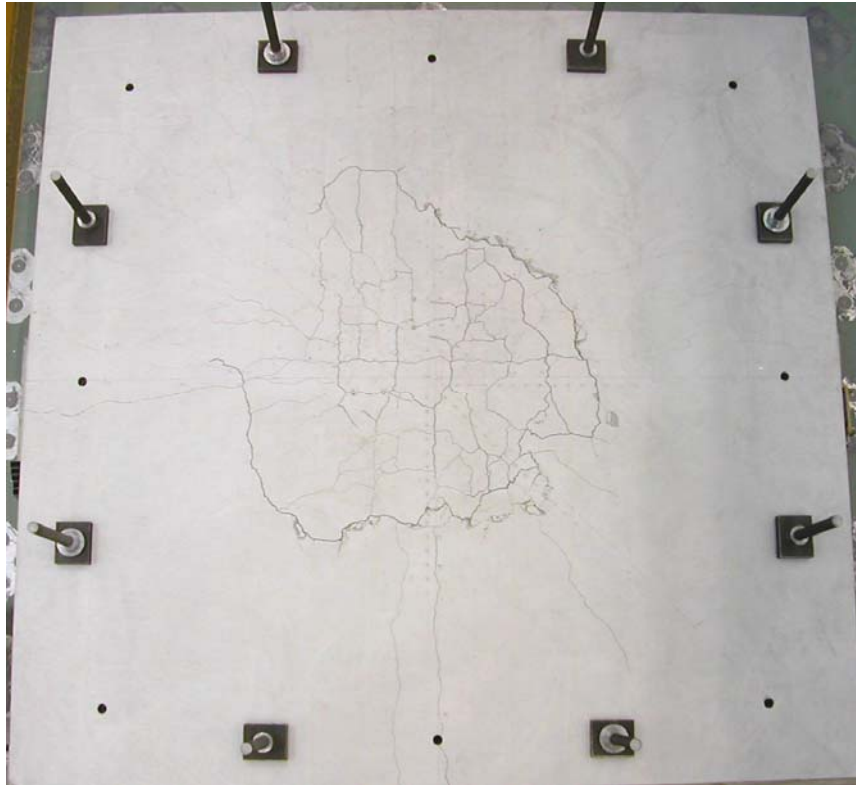


Figure D-4.34: Fissures de la face supérieure (Nord : gauche)

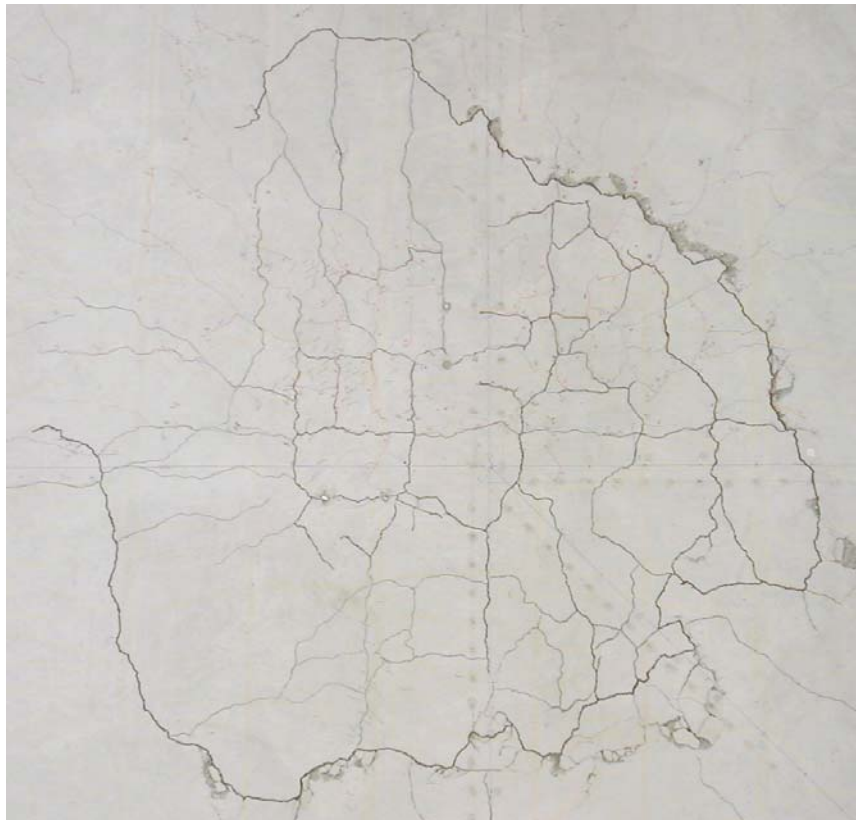


Figure D-4.35: Détail de la partie supérieure du cône de poinçonnement



Figure D-4.36: Coupe NS (Nord : gauche)



30°

38°



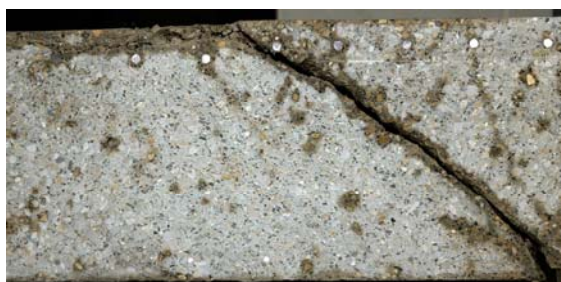
30°

45°

Figure D-4.37: Détails coupe NS et pentes de la fissure de poinçonnement

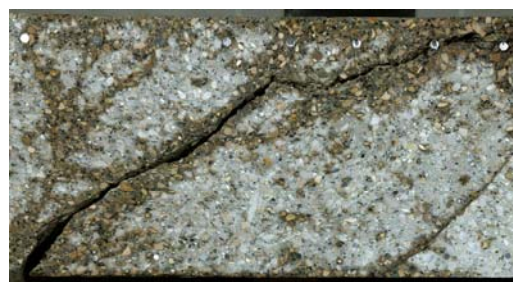


Figure D-4.38: Coupe WE (West : gauche)



32°

43°



38°

12°

Figure D-4.39: Détails coupe WE et pentes de la fissure de poinçonnement

Au bord de la dalle PG-3, huit essais de « pull-out » ont été effectués après l'essai de poinçonnement. Les fissures et une partie de l'ancrage sont visibles au bord des fig. D-4.36 et D-4.38. Ces essais n'ont pas influencé l'essai principal de poinçonnement.

D-4.2 Dalles de 3 x 3 m

Résultats principaux

Tableau D-4.1: Résultats principaux des dalles de 3 x 3 m

	PG-1	PG-2b	PG-4	PG-5	PG-10
V_u [kN]	1023	440	408	550	540
ψ_u [‰]	8.9	30.1	24.4	24.7	22.3

Les valeurs de la résistance au poinçonnement V_u ont été calculées en sommant les valeurs données par les quatre capteurs de force et en ajoutant le poids propre de la dalle et le poids du système de mise en charge (73 kN).

Les rotations ψ_u sont le résultat de la moyenne des deux inclinomètres placés sur l'axe NS au moment du poinçonnement. Cette moyenne est toujours plus grande que celle des capteurs placés sur l'axe EW.

Mise en charge

La vitesse de mise en charge a été constante depuis le début jusqu'à la rupture par poinçonnement des dalles, sauf pour la dalle PG-2b, où trois paliers ont été faits pour mieux suivre la formation des fissures en face. Les graphiques D-4.40 et D-4.41 montrent le déroulement de la mise en charge en fonction du temps. Au temps $t = 0$ seulement le poids propre des dalles, du système de mise en charge et des instruments de mesure chargeait la colonne ($V = 73$ kN). La durée des essais a été de une heure à une heure et demie environ. Les résistances au poinçonnement sont montrées au tab. D-4.1.

Résultats d'essai

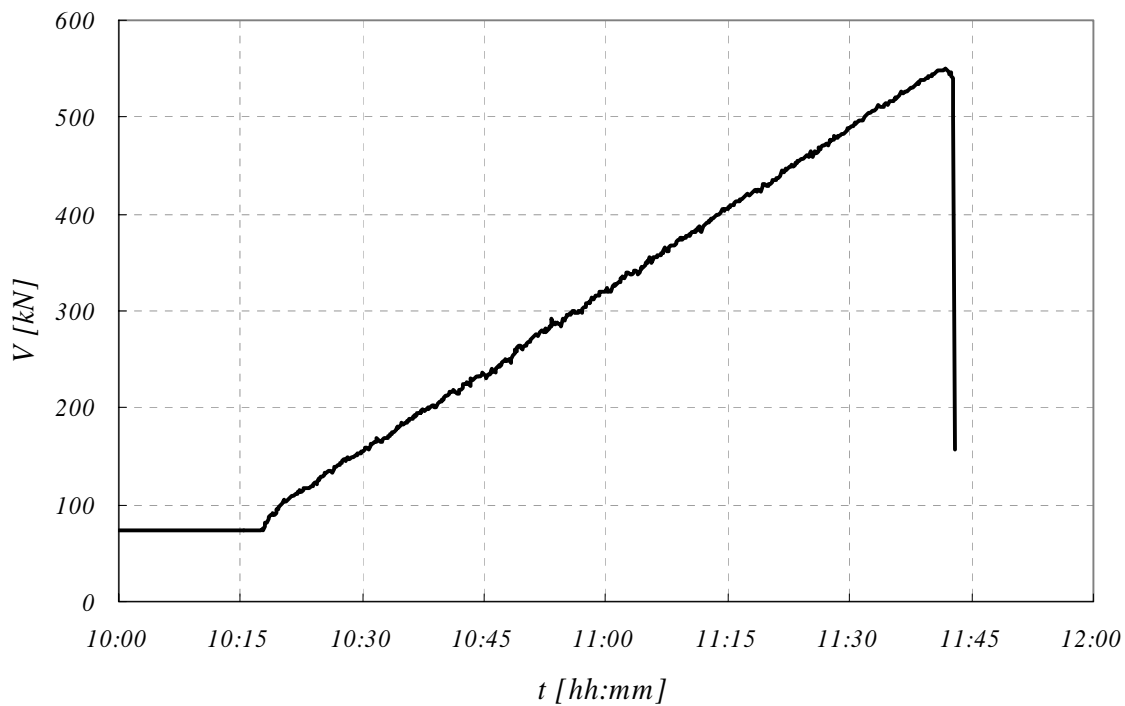


Figure D-4.40: Mise en charge constante, essai PG-5

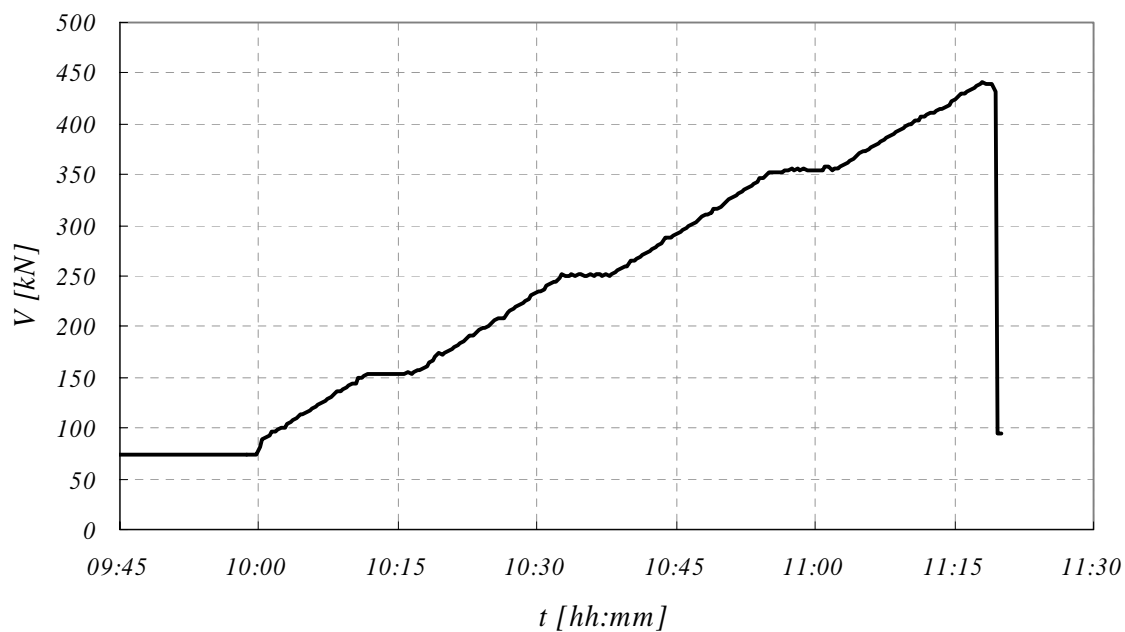


Figure D-4.41: Mise en charge avec 3 paliers, dalle PG-2b

Rotations des dalles

Le graphique D-4.42 montre la rotation moyenne de la dalle mesurée avec les inclinomètres placés sur l'axe NS (axe faible). Les rotations mesurées avec les inclinomètres sur l'axe EW, montrées au tab. D-4.2, sont plus petites.

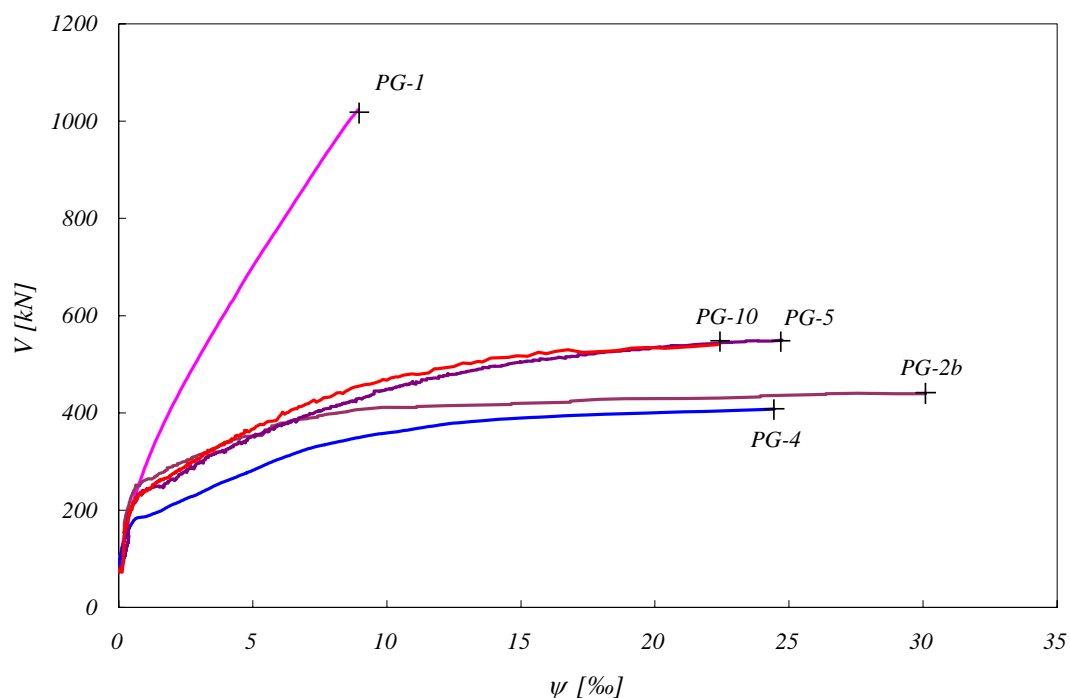


Figure D-4.42: Rotation des dalles en fonction de la force V (moyenne des inclinomètres N et S)

Tableau D-4.2: Rotations à la rupture moyenne axe NS et axe EW

	PG-1	PG-2b	PG-4	PG-5	PG-10
ψ_{NS} [‰]	8.9	30.1	24.4	24.7	22.3
ψ_{EW} [‰]	7.1	25.6	18.4	20.7	18.1

Déplacements et pentes des dalles

Les figures D-4.43 à D-4.60 montrent les déplacements et pentes des dalles. Les valeurs mesurées avec les capteurs inductifs ont été corrigées en supprimant l'effet de rotation corps rigide de la dalle (hypothèses pour les déplacements : $N9 = S9$ et $W9 = E9$) (fig. D-3.15).

Il y a toujours deux différentes représentations graphiques pour chaque direction de mesure :

1. Déplacement w – Distance depuis le centre r pour différents niveaux de force V
 En plus pour certains cas : Changement d'épaisseur Δh – Distance depuis le centre r pour le niveau de force V ultime (différence entre les mesures de la face supérieure et inférieure).
2. Pente w' – Distance depuis le centre r pour différents niveaux de force V (calculé en partant des déplacements)

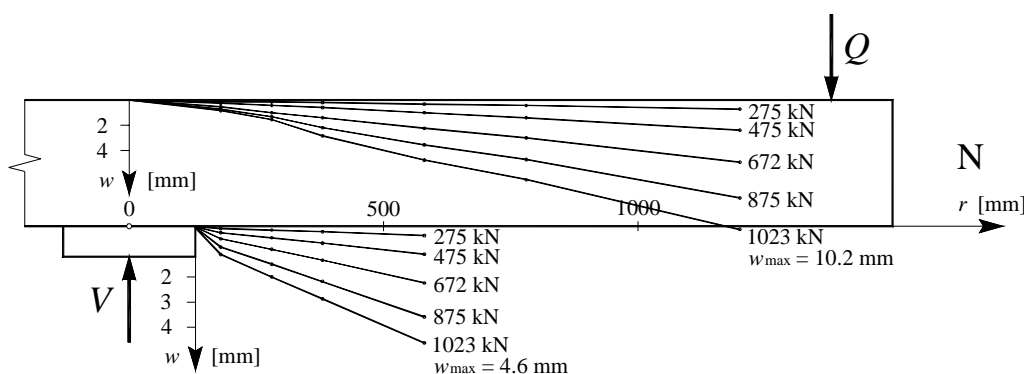


Figure D-4.43: PG-1 : déplacements w face supérieure et face inférieure, axe N

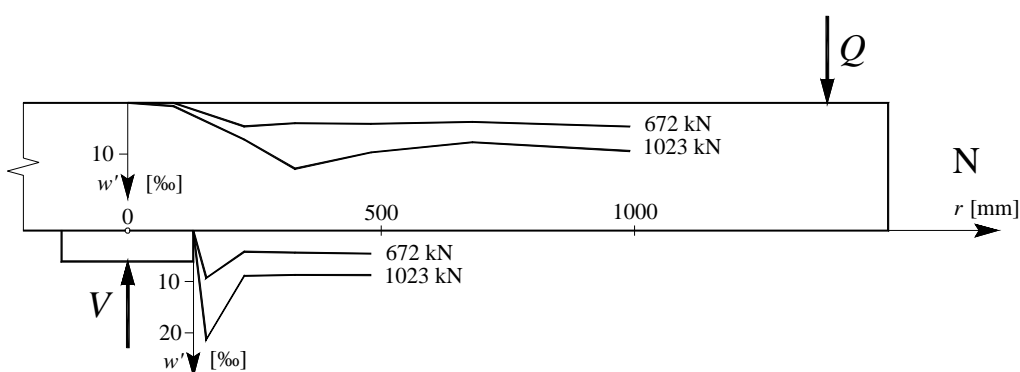


Figure D-4.44: PG-1 : pentes w' face supérieure et face inférieure, axe N

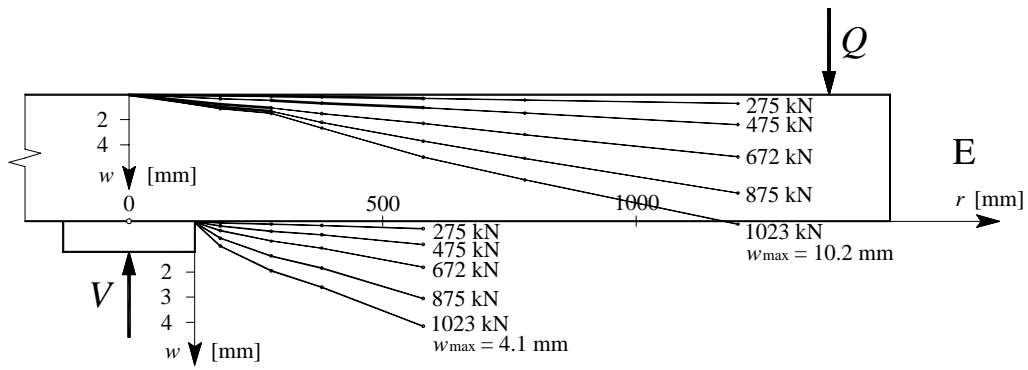


Figure D-4.45: PG-1 : déplacements w face supérieure et face inférieure, axe E

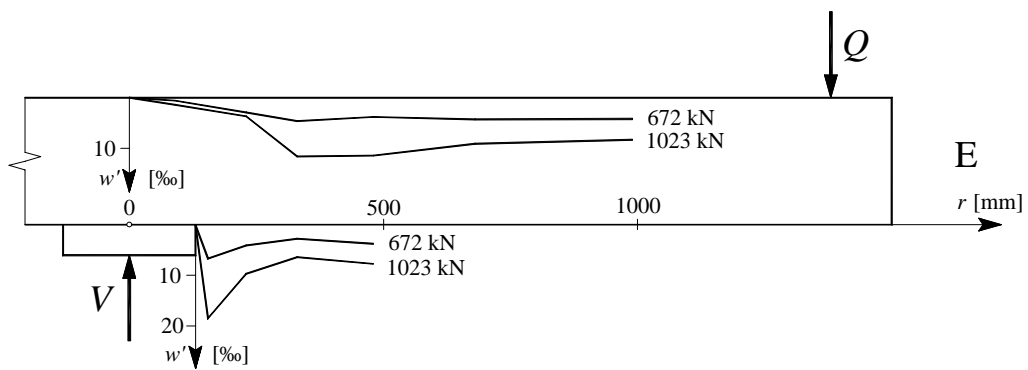


Figure D-4.46: PG-1 : pentes w' face supérieure et face inférieure, axe E

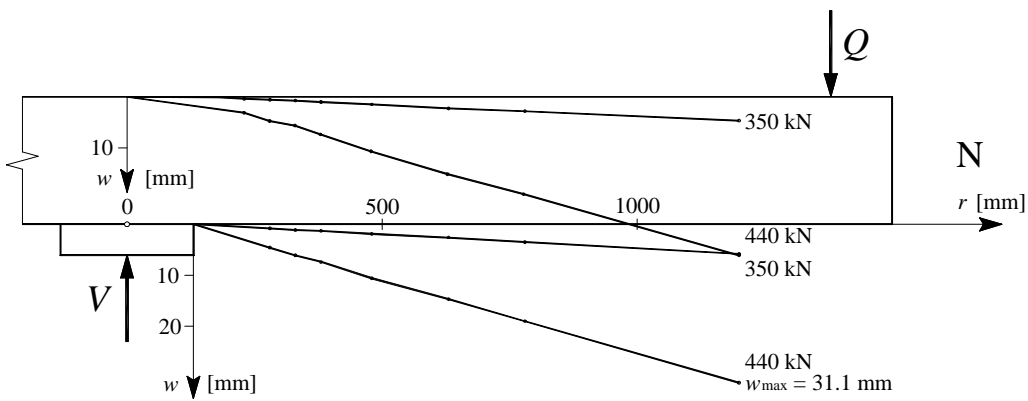


Figure D-4.47: PG-2b : déplacements w face supérieure et face inférieure, axe N

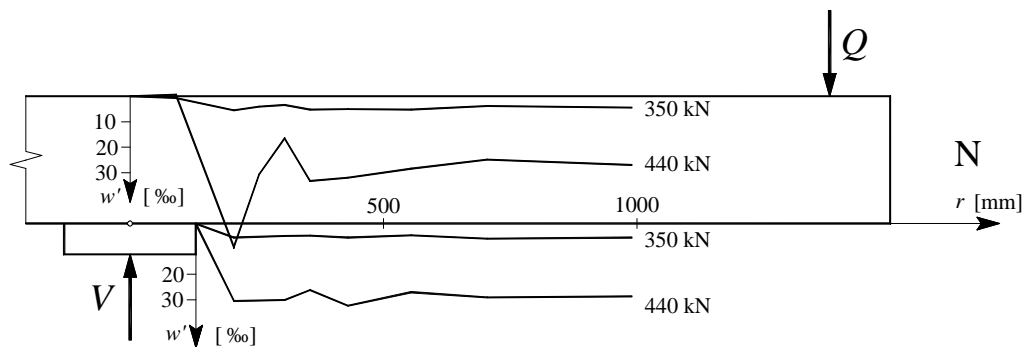


Figure D-4.48: PG-2b : pentes w' face supérieure et face inférieure, axe N

Résultats d'essai

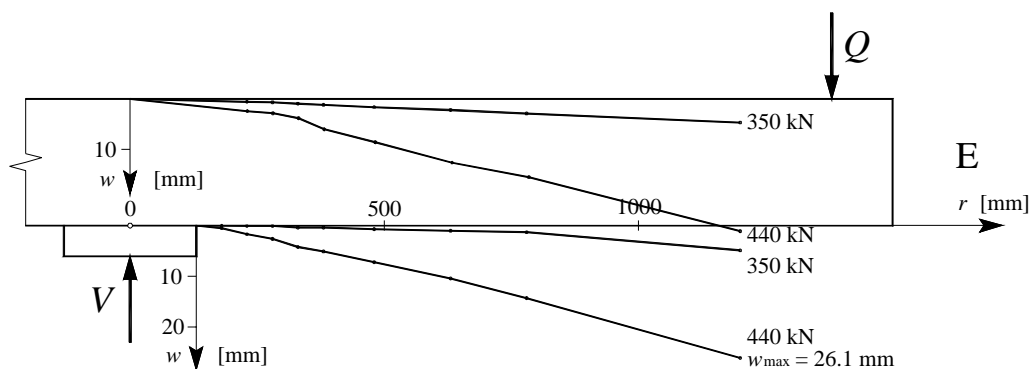


Figure D-4.49: PG-2b : déplacements w face supérieure et face inférieure, axe E

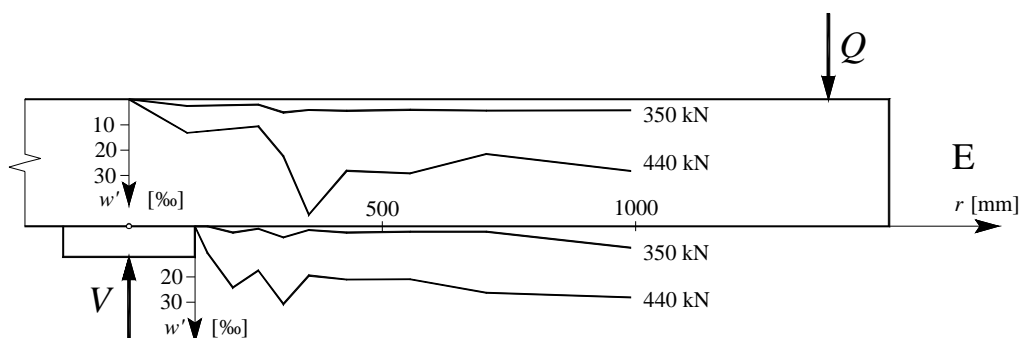


Figure D-4.50: PG-2b : pentes w' face supérieure et face inférieure, axe E

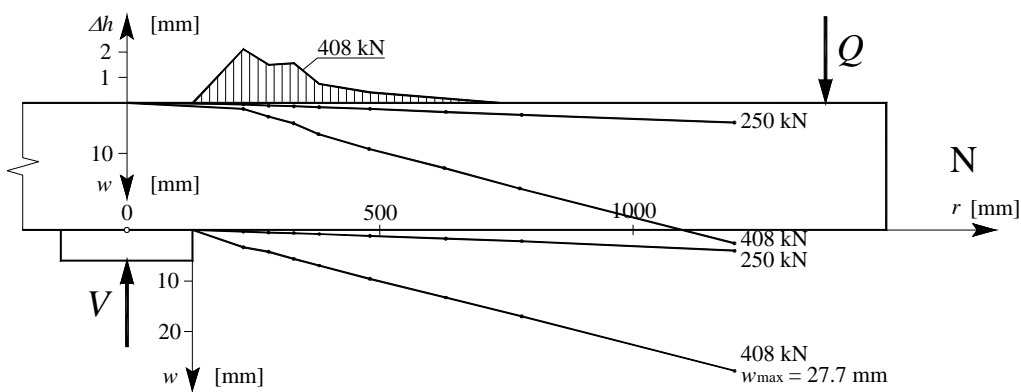


Figure D-4.51: PG-4 : déplacements w face supérieure et face inférieure, axe N

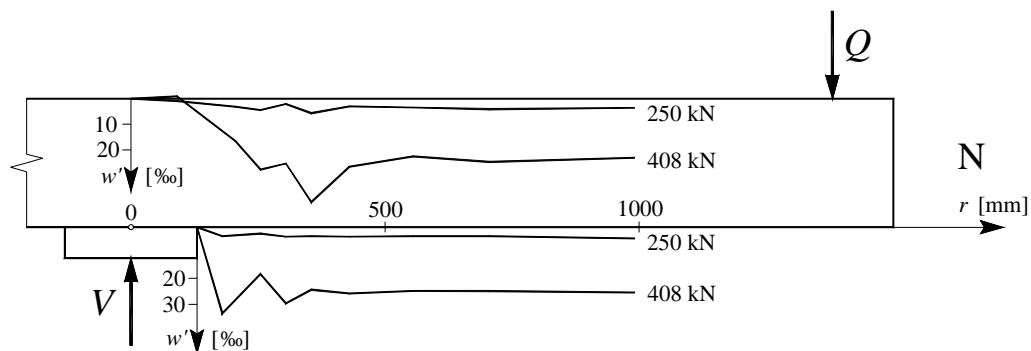


Figure D-4.52: PG-4 : pentes w' face supérieure et face inférieure, axe N

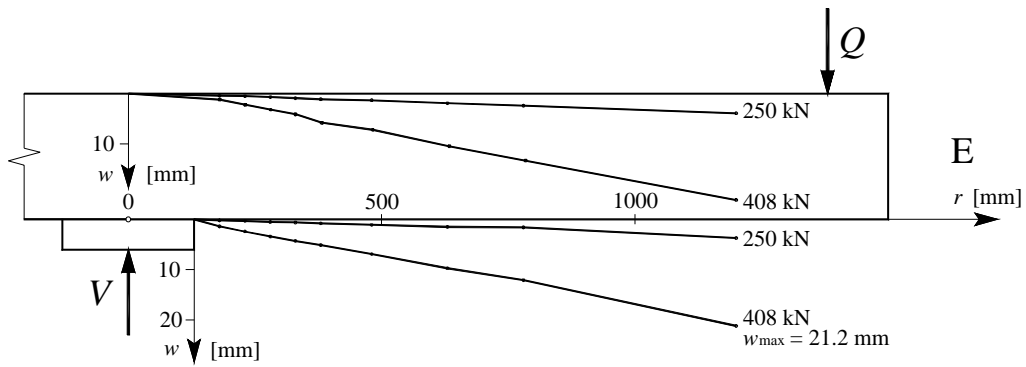


Figure D-4.53: PG-4 : déplacements w face supérieure et face inférieure, axe E

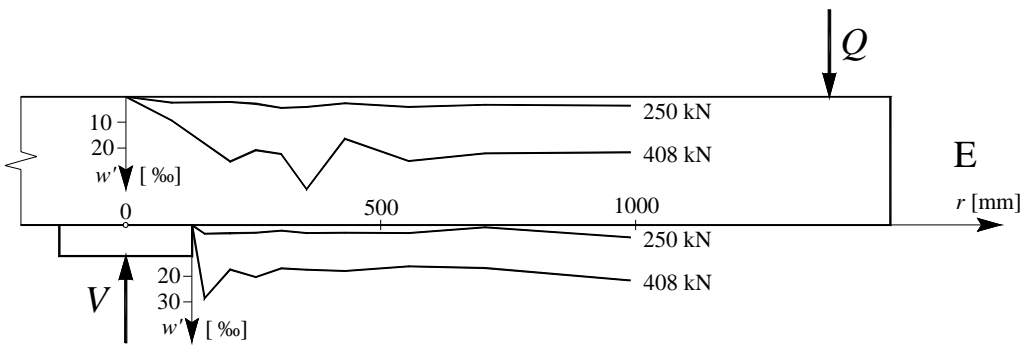


Figure D-4.54: PG-4 : pentes w' face supérieure et face inférieure, axe E

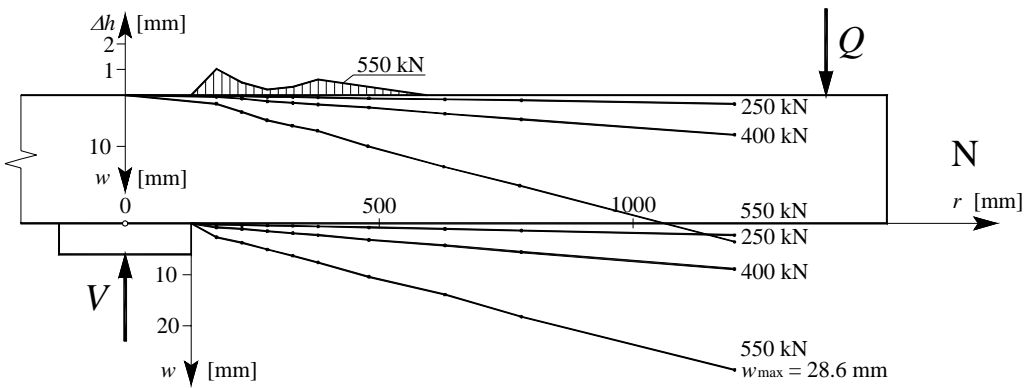


Figure D-4.55: PG-5 : déplacements w face supérieure et face inférieure, axe N

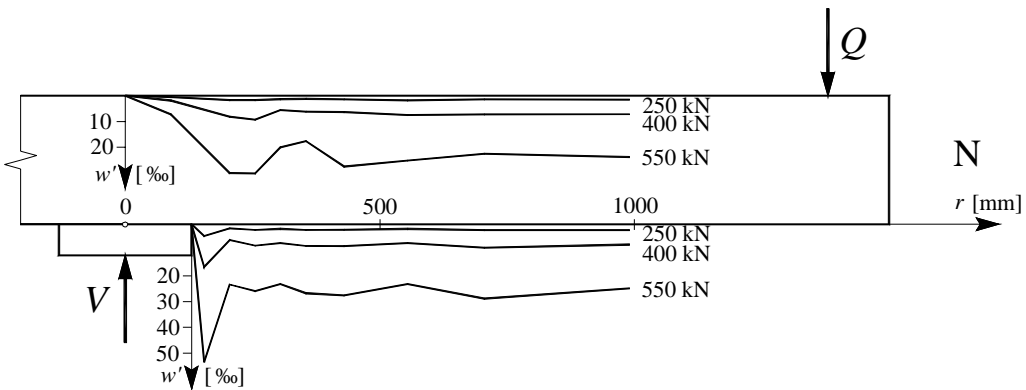


Figure D-4.56: PG-5 : pentes w' face supérieure et face inférieure, axe N

Résultats d'essai

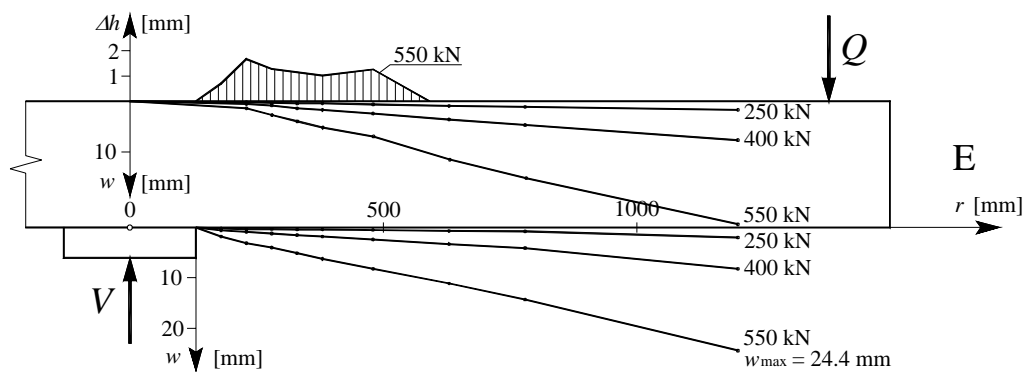


Figure D-4.57: PG-5 : déplacements w face supérieure et face inférieure, axe E

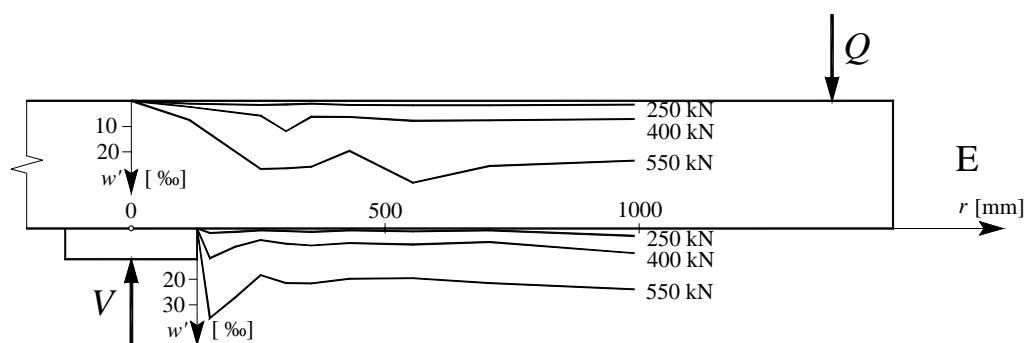


Figure D-4.58: PG-5 : pentes w' face supérieure et face inférieure, axe E

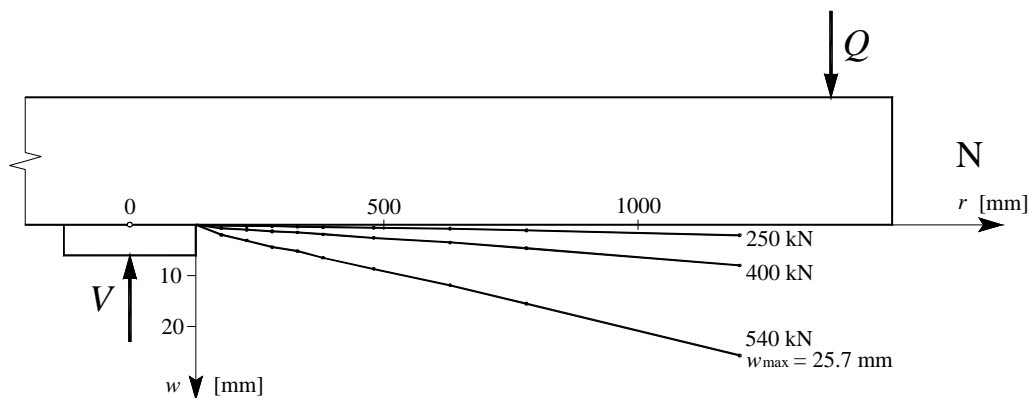


Figure D-4.59: PG-10 : déplacements w face inférieure, axe N

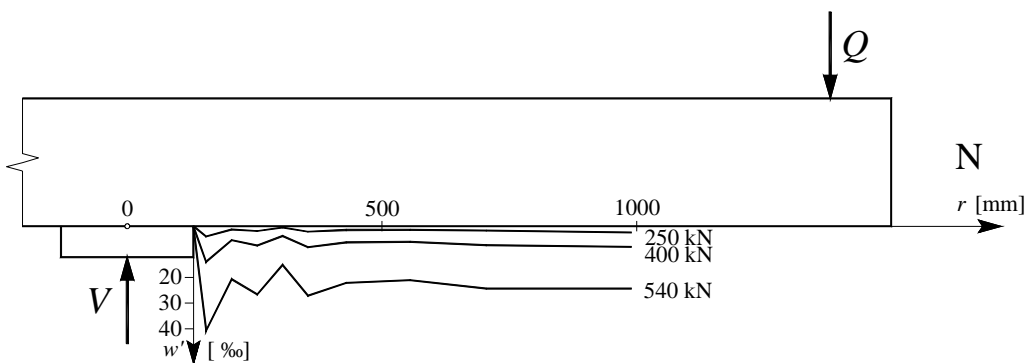


Figure D-4.60: PG-10 : pentes w' face inférieure, axe N

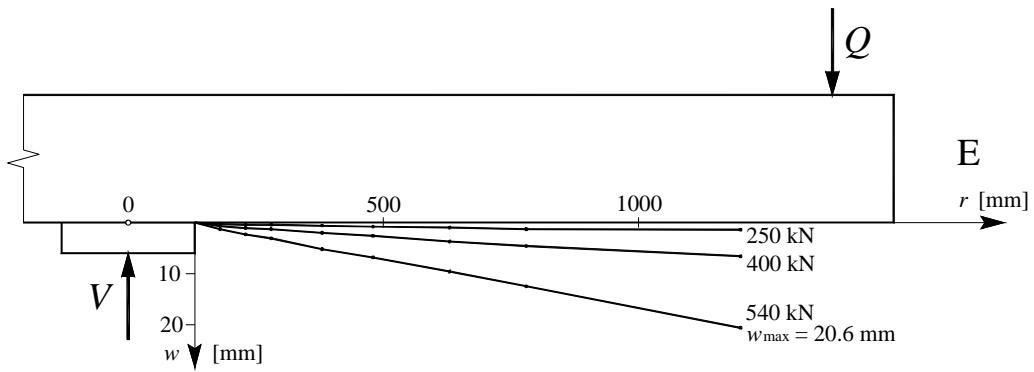


Figure D-4.61: PG-10 : déplacements w face inférieure, axe E

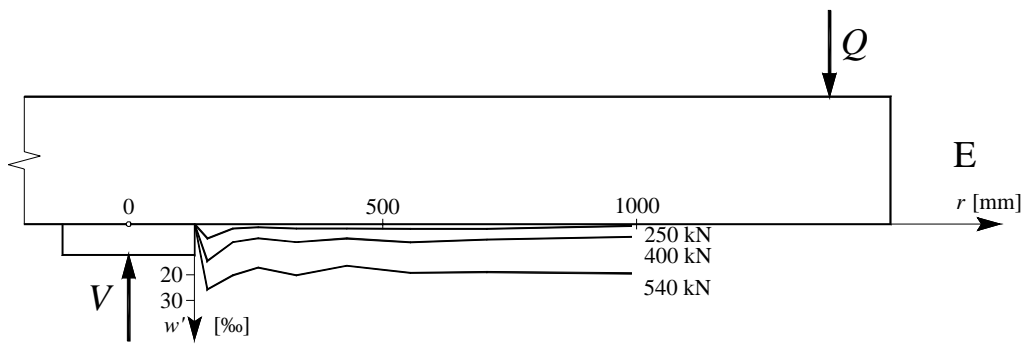


Figure D-4.62: PG-10 : pentes w' face inférieure, axe E

Mesures du changement d'épaisseur des dalles

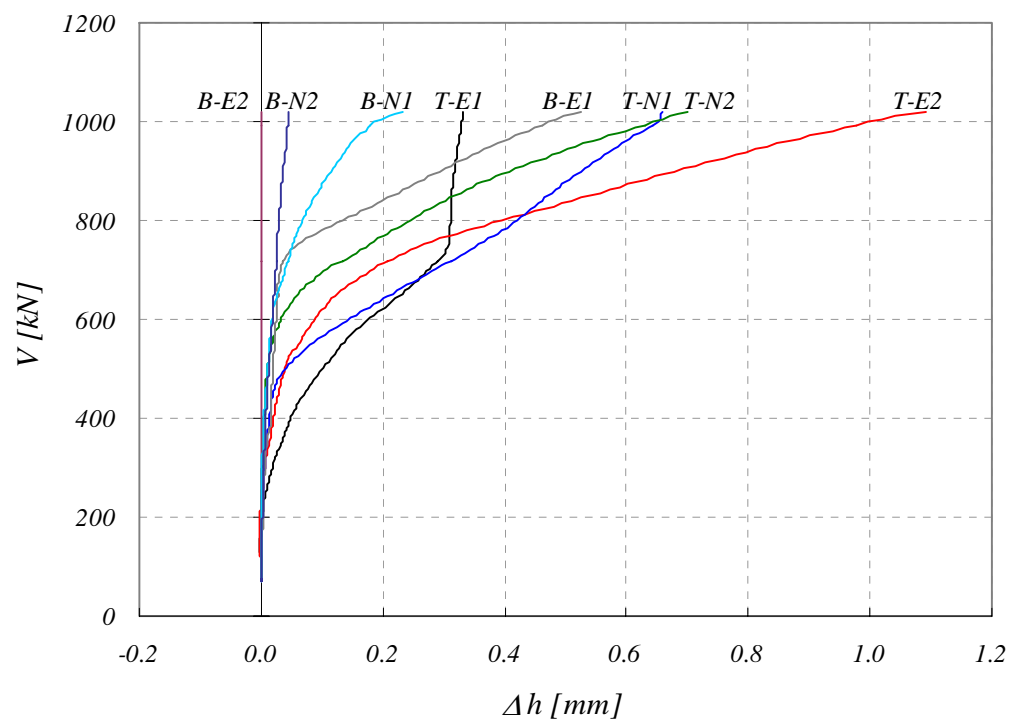


Figure D-4.63: PG-1 : changement d'épaisseur de la dalle

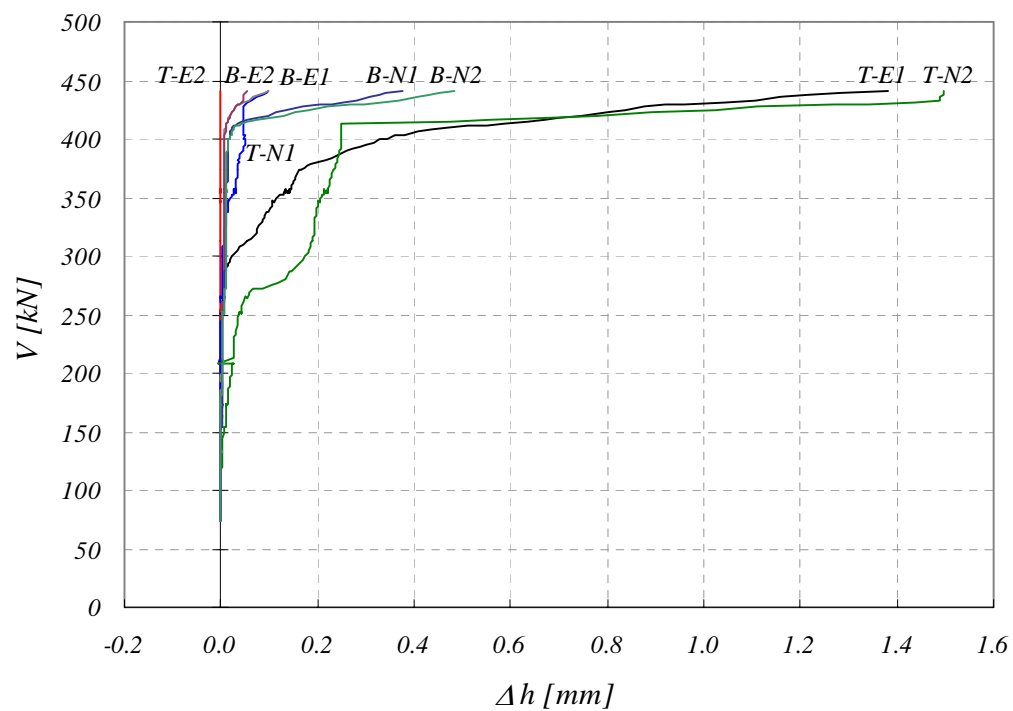


Figure D-4.64: PG-2b : changement d'épaisseur de la dalle

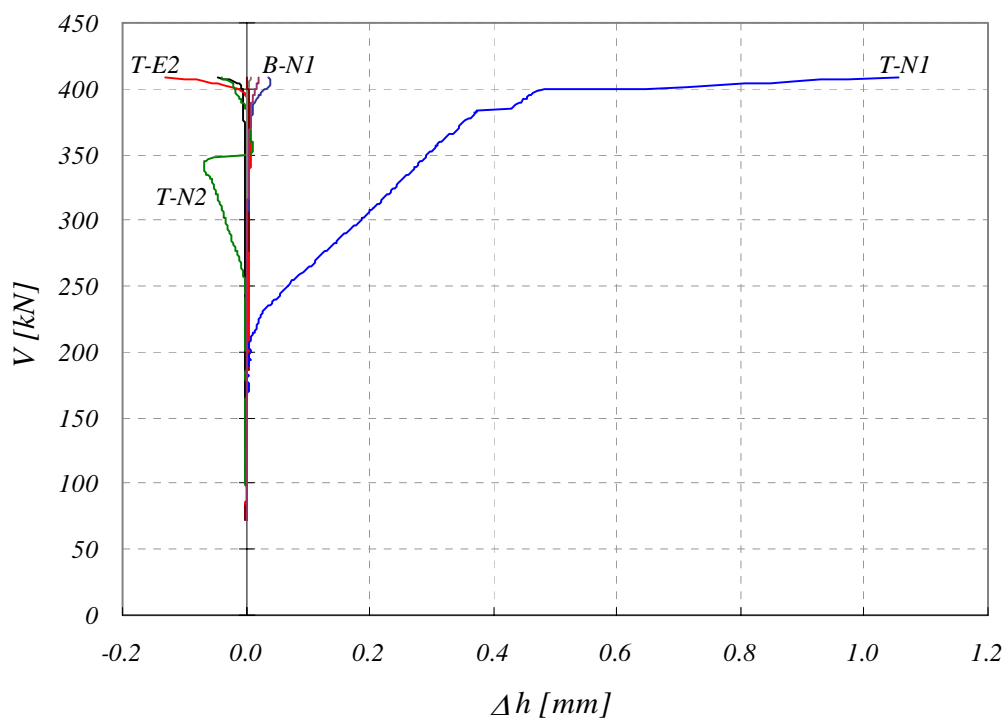


Figure D-4.65: PG-4 : changement d'épaisseur de la dalle

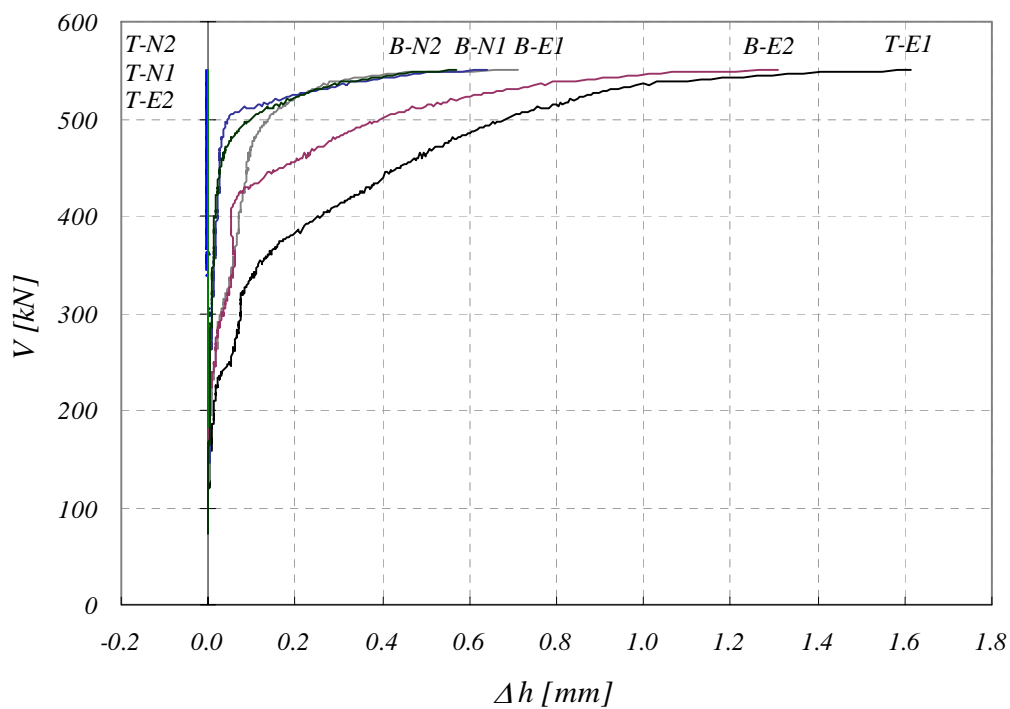


Figure D-4.66: PG-5 : changement d'épaisseur de la dalle

Résultats d'essai

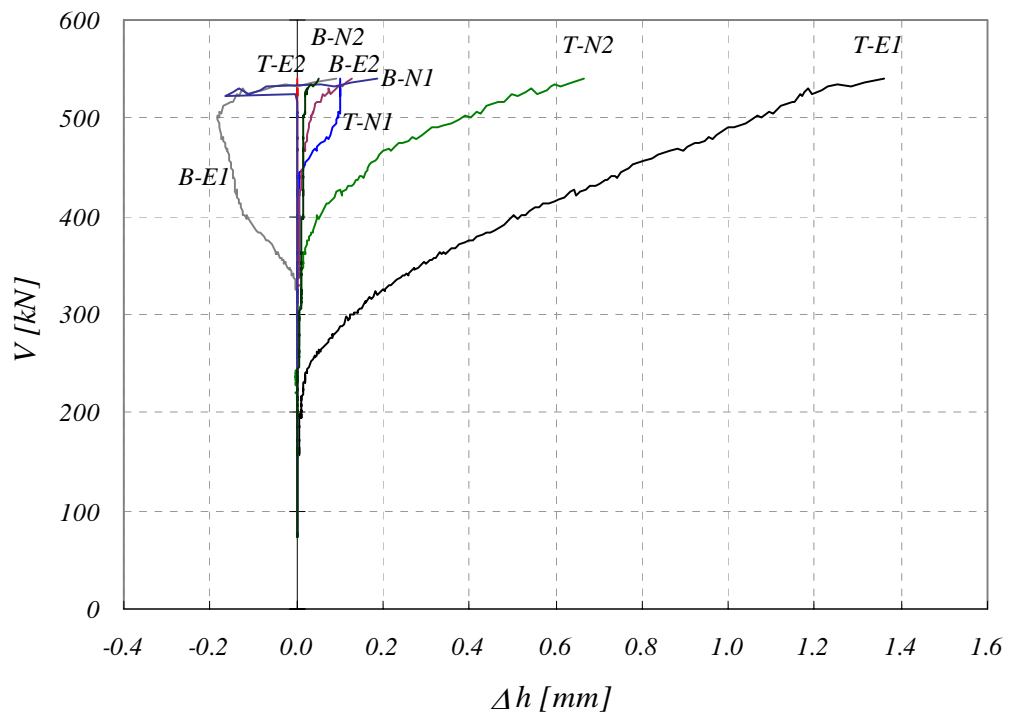


Figure D-4.67: PG-10 : changement d'épaisseur de la dalle

Déformations de la face des dalles

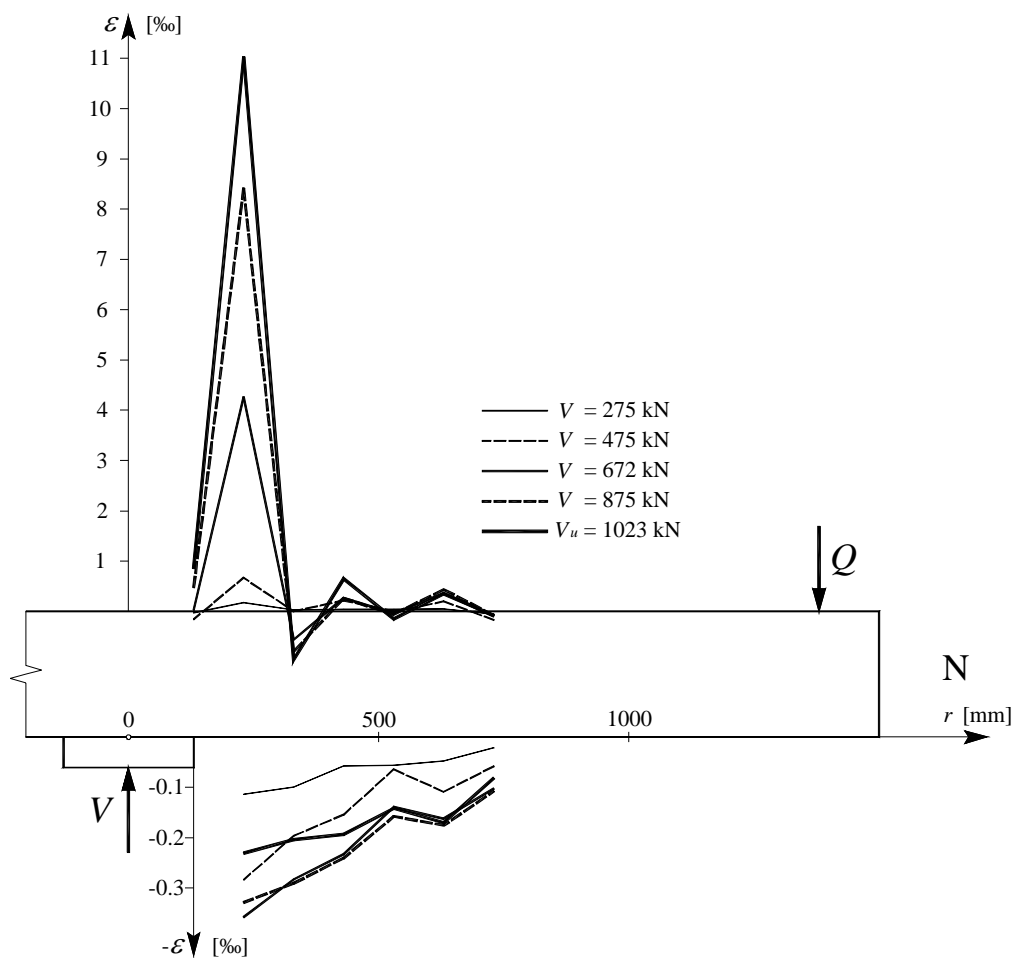


Figure D-4.68: PG-1 : Déformations radiales face supérieure et face inférieure, axe N

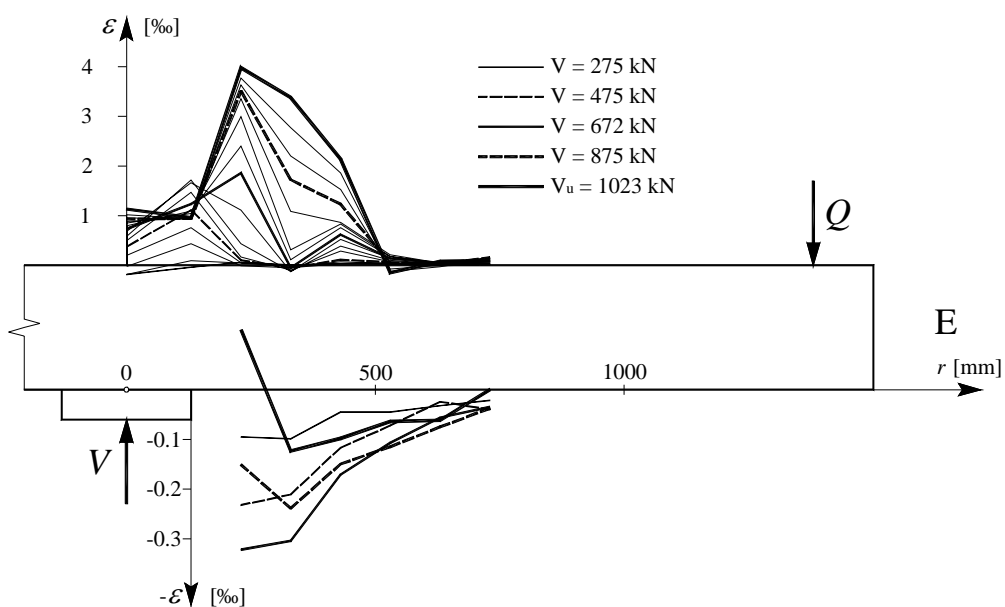


Figure D-4.69: PG-1 : Déformations radiales face supérieure et face inférieure, axe E

Résultats d'essai

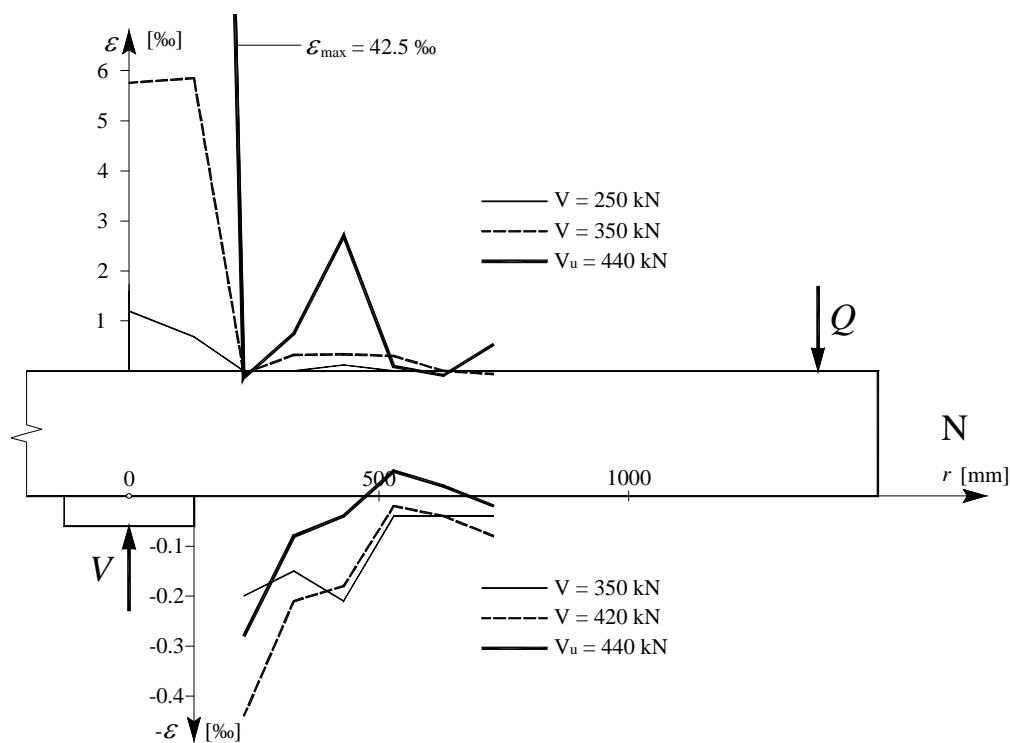


Figure D-4.70: PG-2b : Déformations radiales face supérieure et face inférieure, axe N

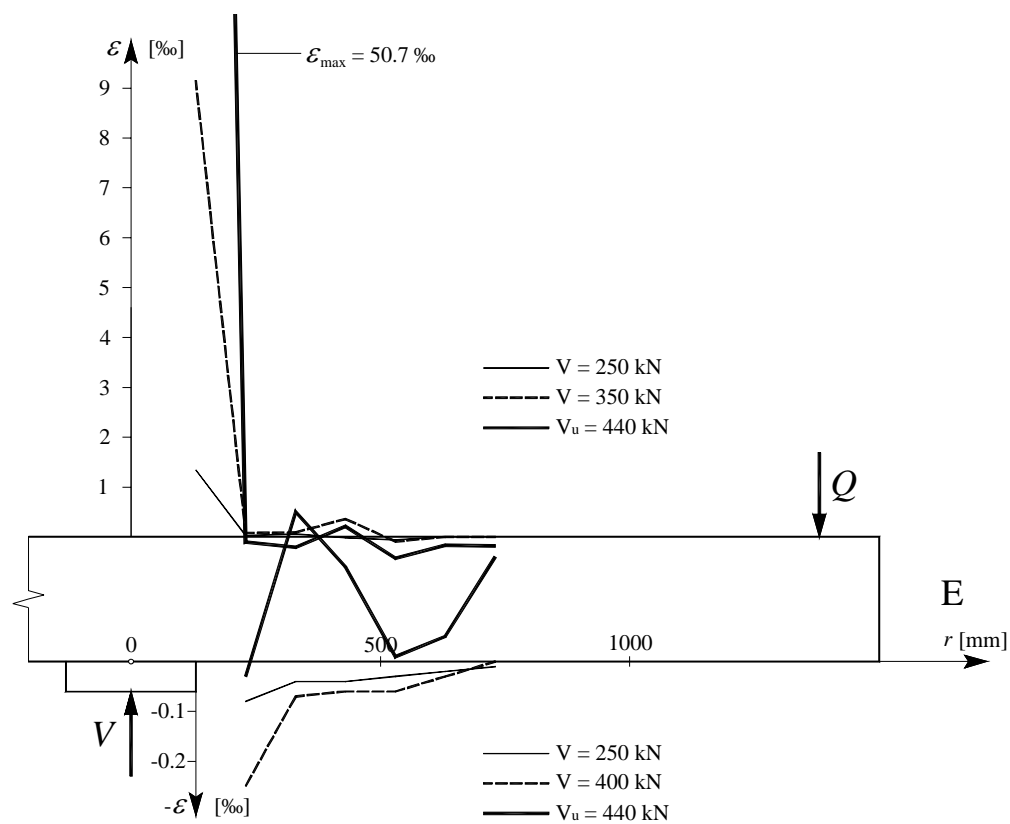


Figure D-4.71: PG-2b : Déformations radiales face supérieure et face inférieure, axe E

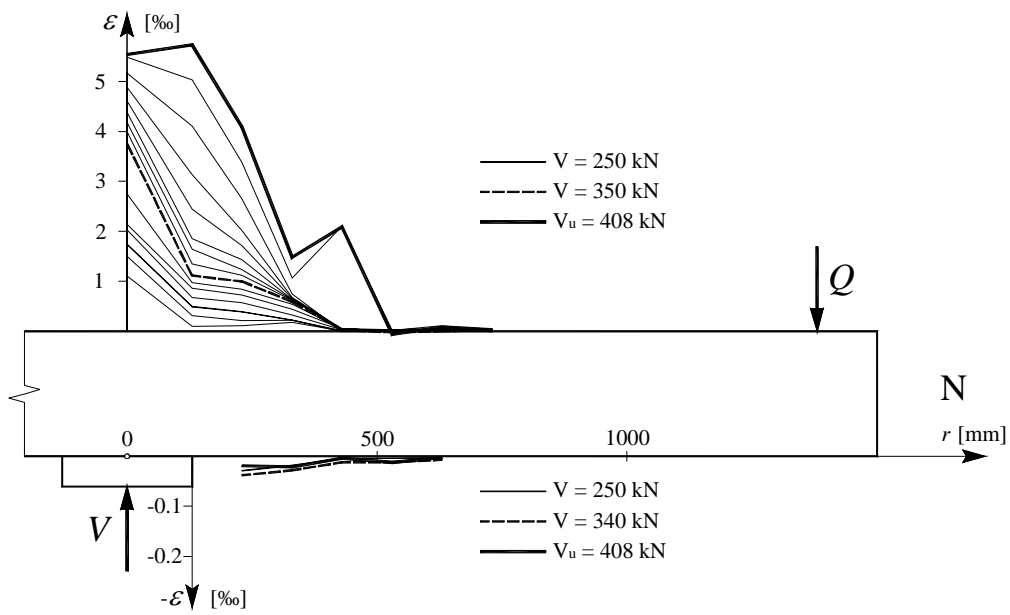


Figure D-4.72: PG-4 : Déformations radiales face supérieure et face inférieure, axe N (capteur B-N7 défectueux)

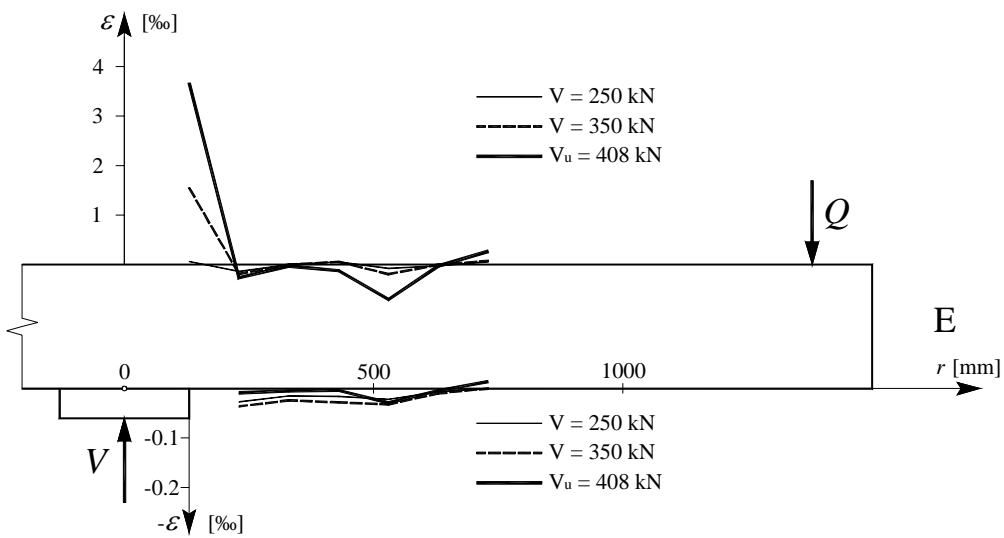


Figure D-4.73: PG-4 : Déformations radiales face supérieure et face inférieure, axe E

Résultats d'essai

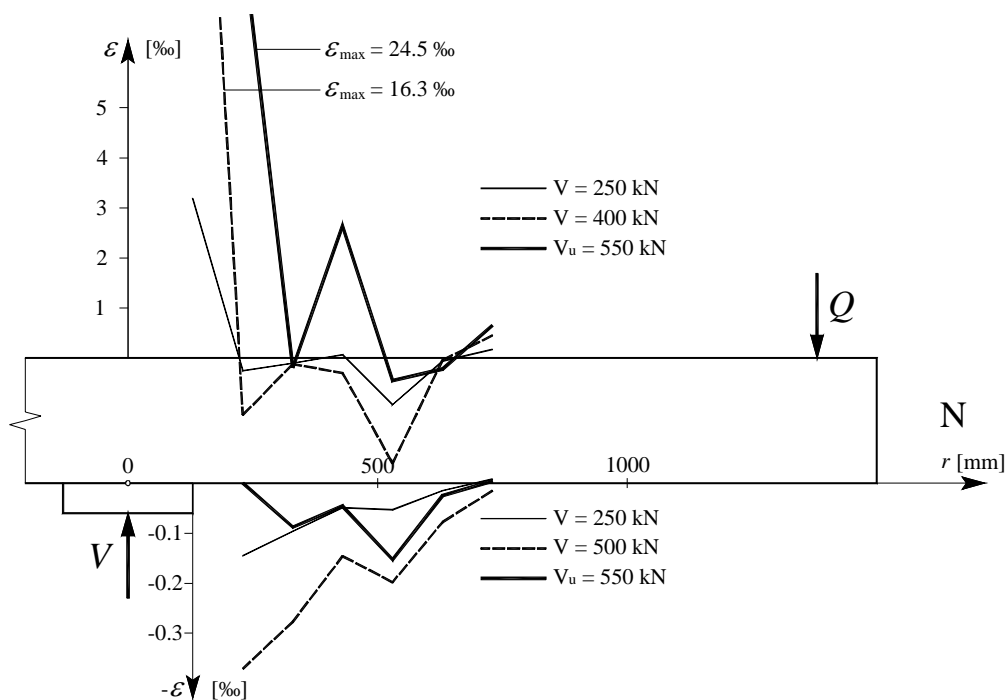


Figure D-4.74: PG-5 : Déformations radiales face supérieure et face inférieure, axe N

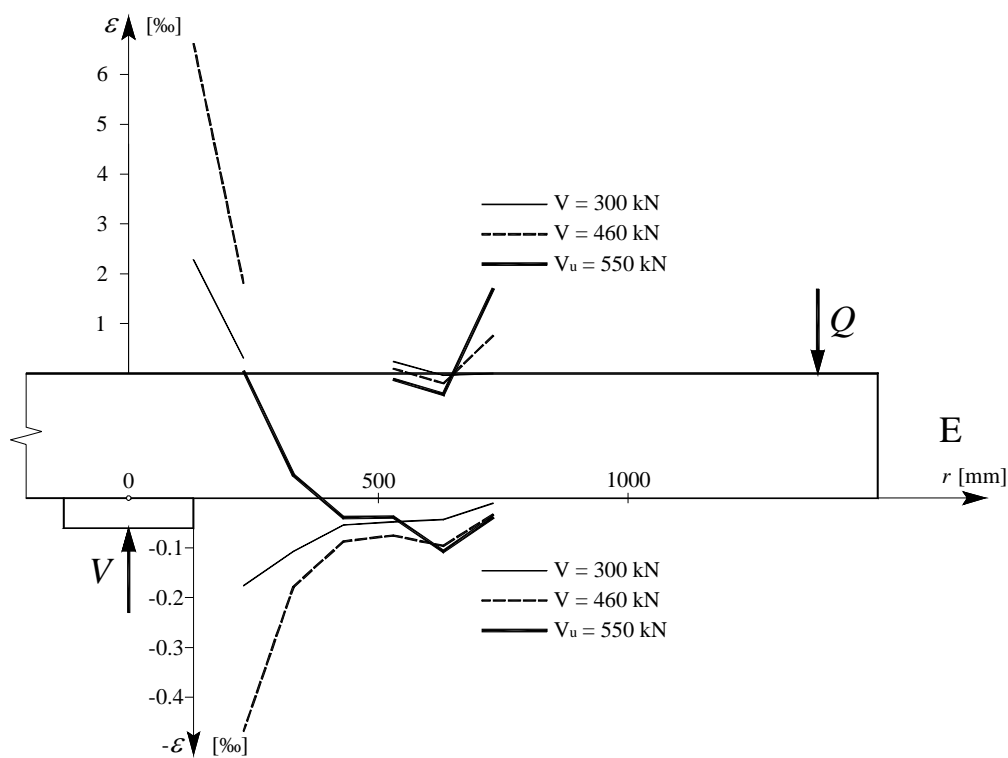


Figure D-4.75: PG-5 : Déformations radiales face supérieure et face inférieure, axe E (capteurs partie sup. défectueux)

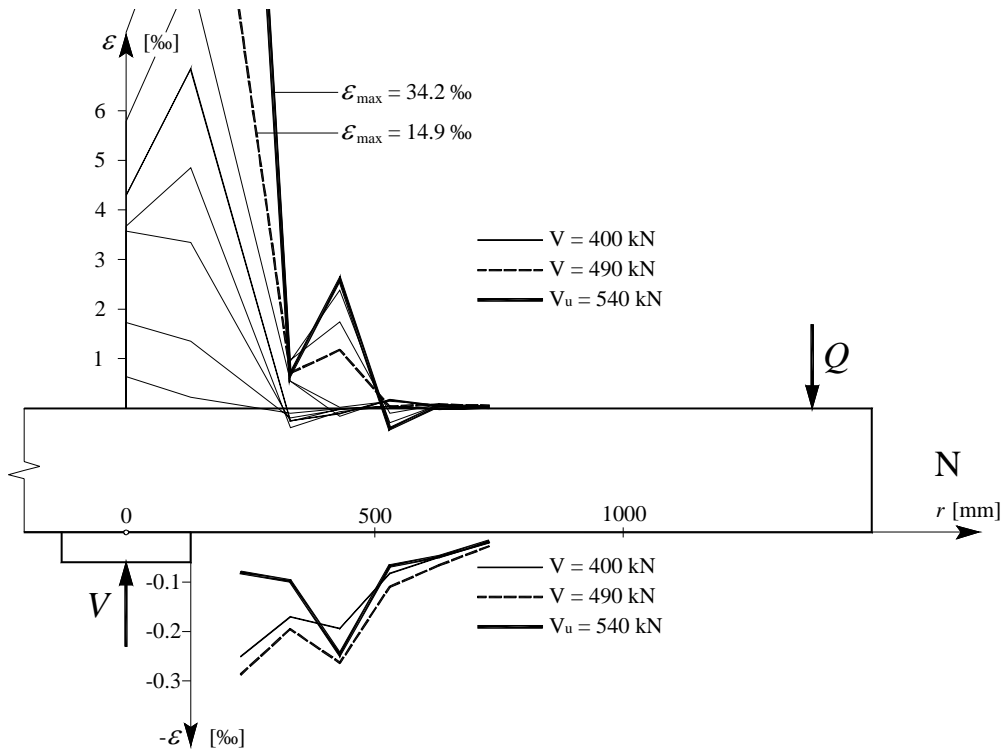


Figure D-4.76: PG-10 : Déformations radiales face supérieure et face inférieure, axe N

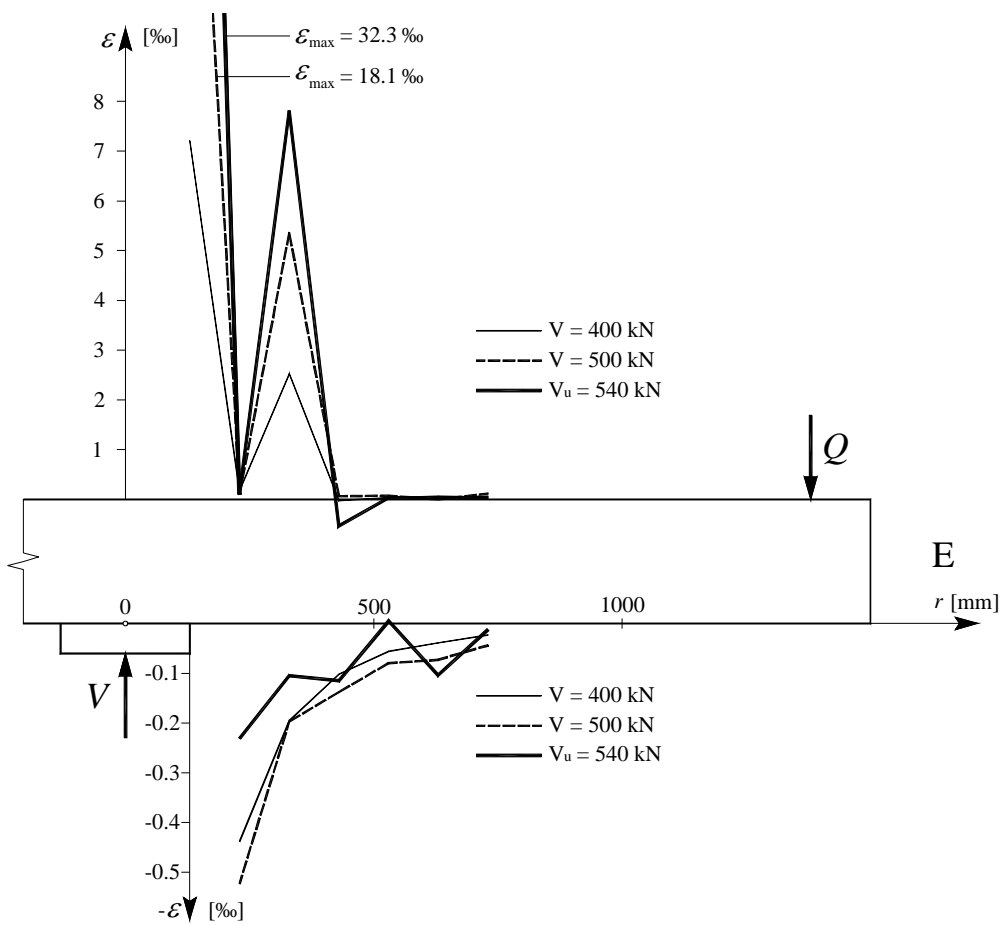


Figure D-4.77: PG-10 : Déformations radiales face supérieure et face inférieure, axe E

Résultats d'essai

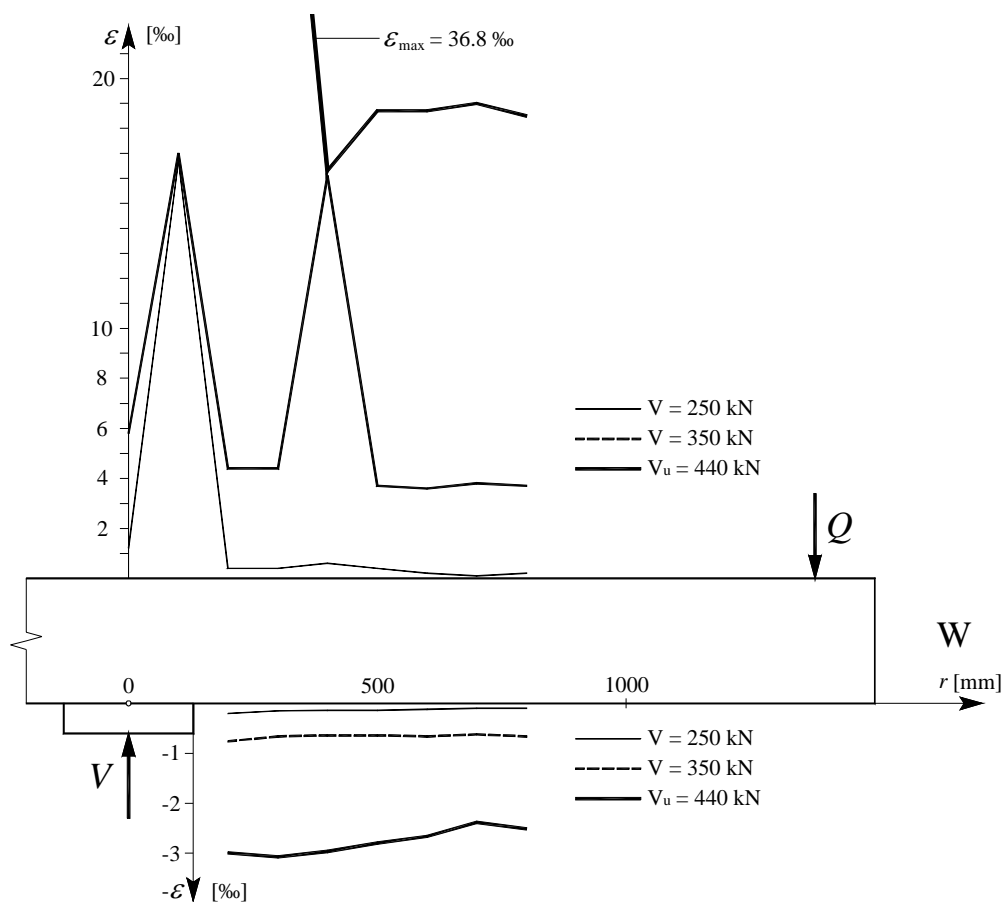


Figure D-4.78: PG-2b : Déformations tangentielles face supérieure et face inférieure, axe W

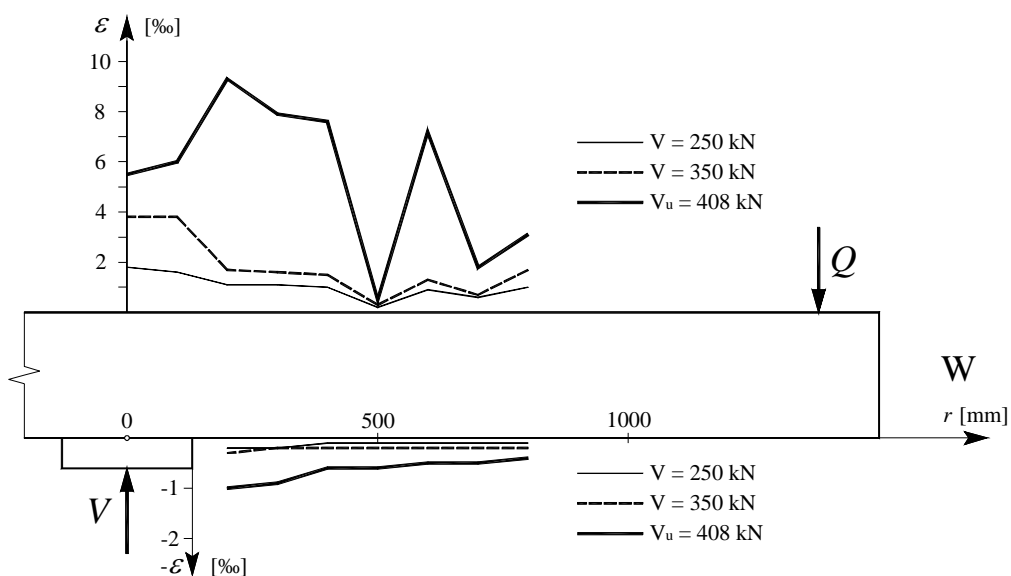


Figure D-4.79: PG-4 : Déformations tangentielles face supérieure et face inférieure, axe W

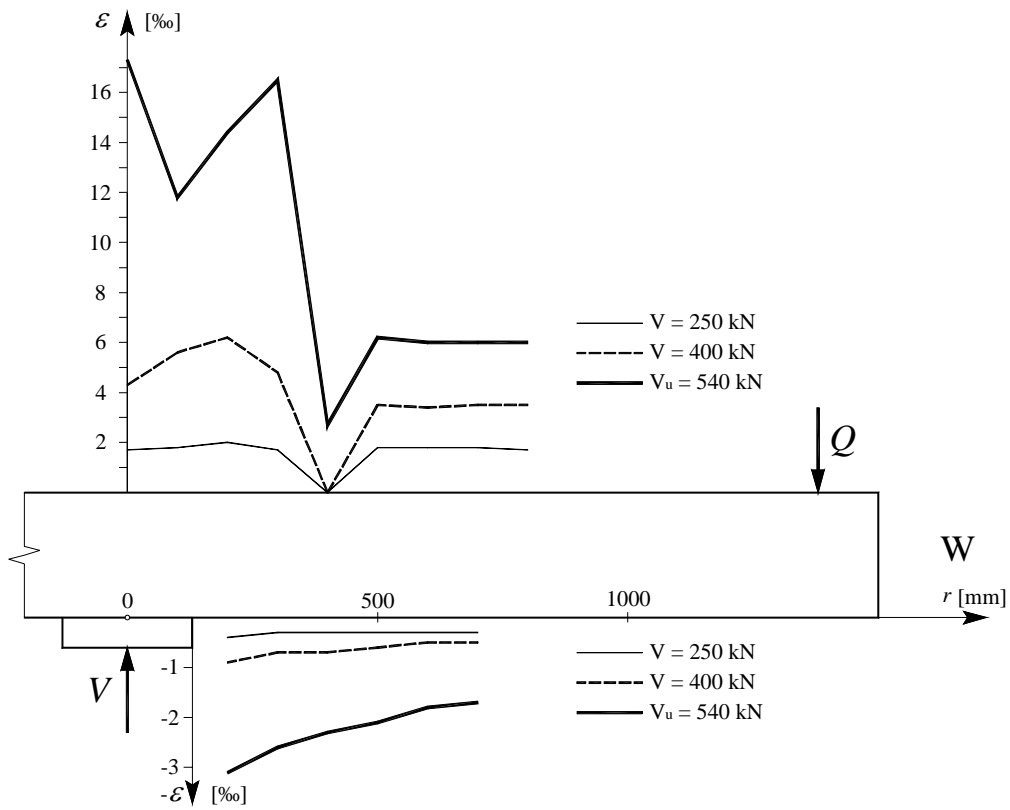


Figure D-4.80: PG-10 : Déformations tangentielles face supérieure et face inférieure, axe W

Résultats d'essai

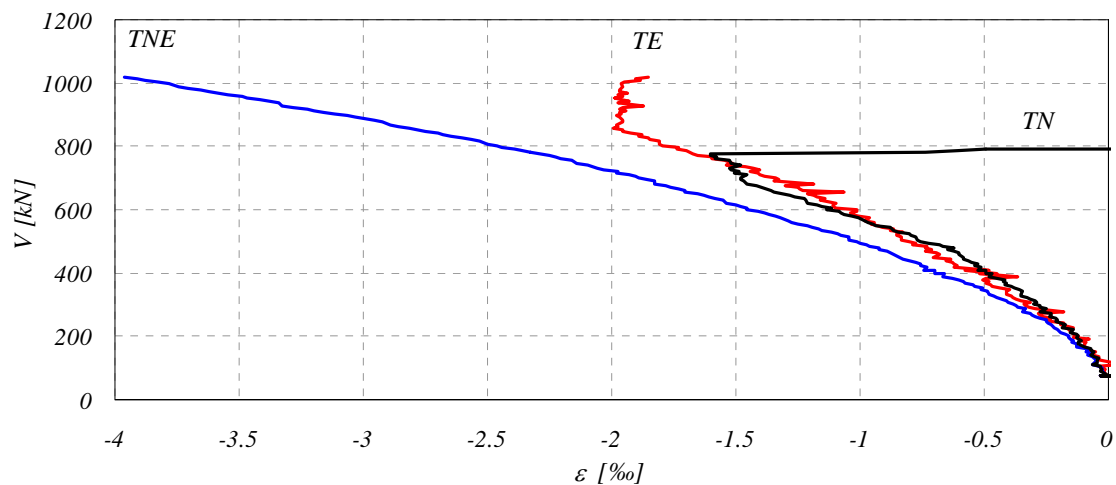


Figure D-4.81: PG-1 : Déformations tangentielles face inférieure près de la colonne

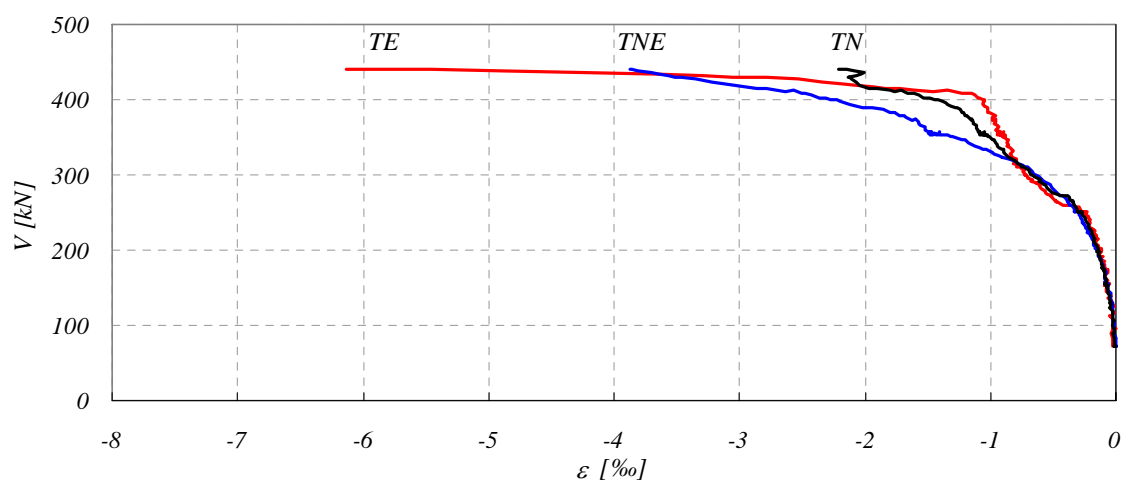


Figure D-4.82: PG-2b : Déformations tangentielles face inférieure près de la colonne

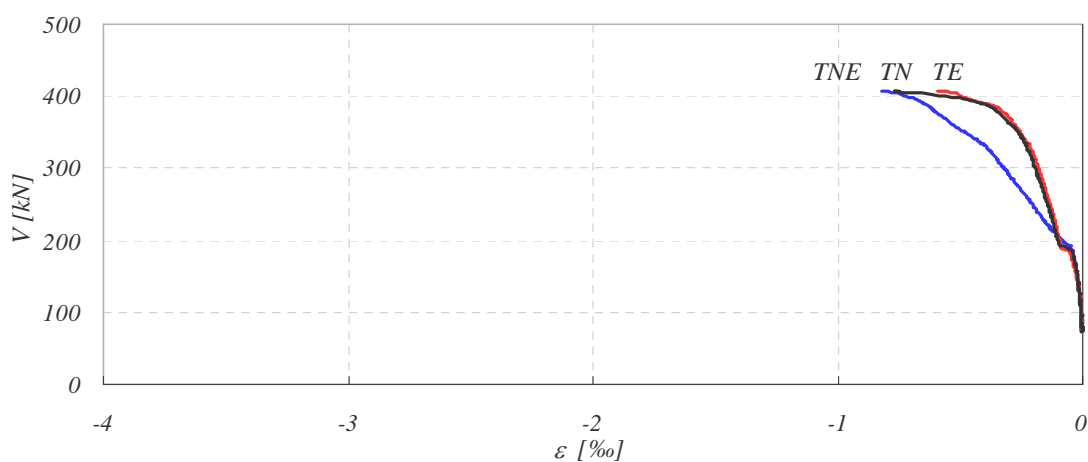


Figure D-4.83: PG-4 : Déformations tangentielles face inférieure près de la colonne

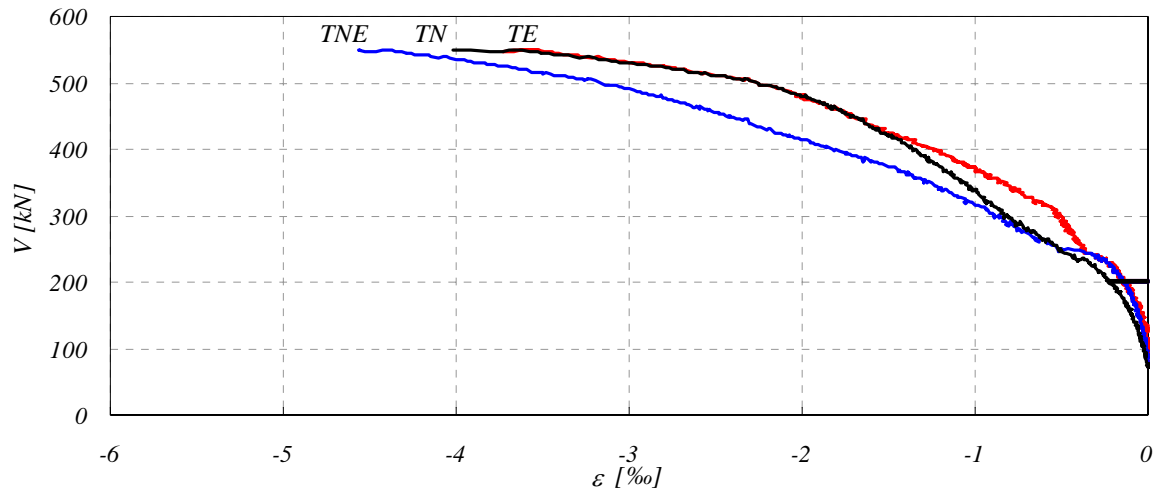


Figure D-4.84: PG-5 : Déformations tangentielles face inférieure près de la colonne

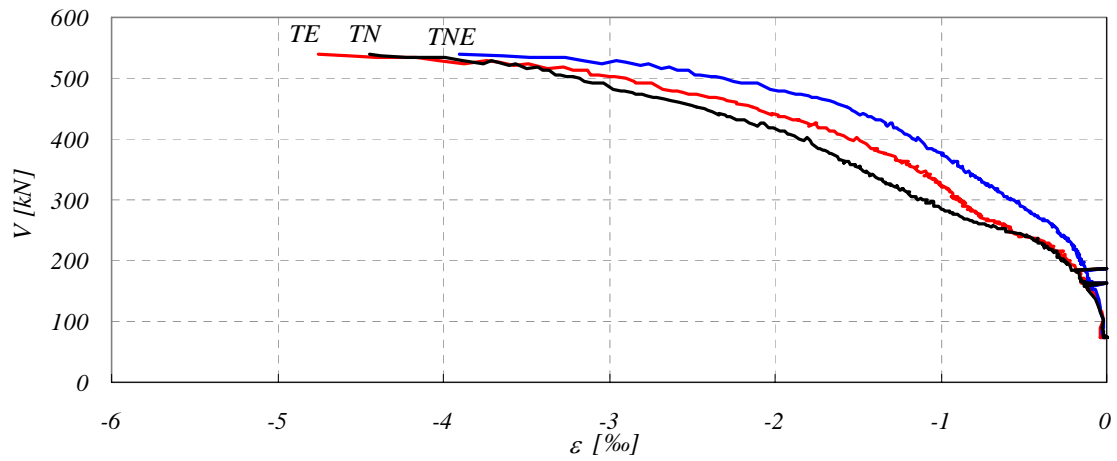


Figure D-4.85: PG-10 : Déformations tangentielles face inférieure près de la colonne

Fissures

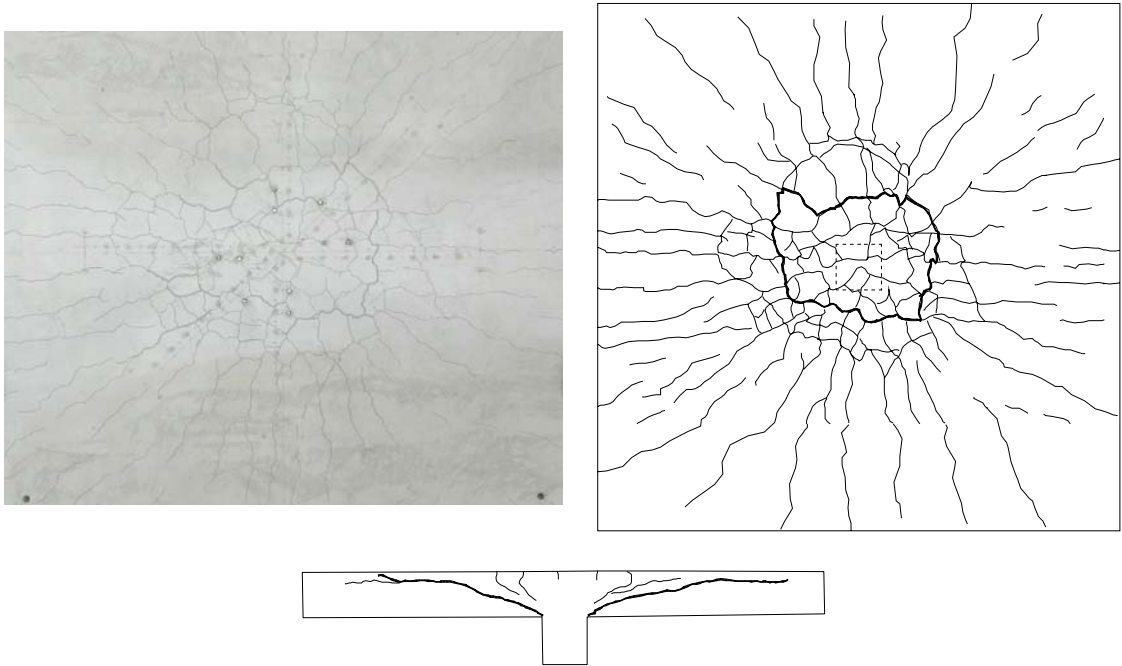


Figure D-4.86: PG-1 : Fissures face supérieure (N en haut) et coupe NS

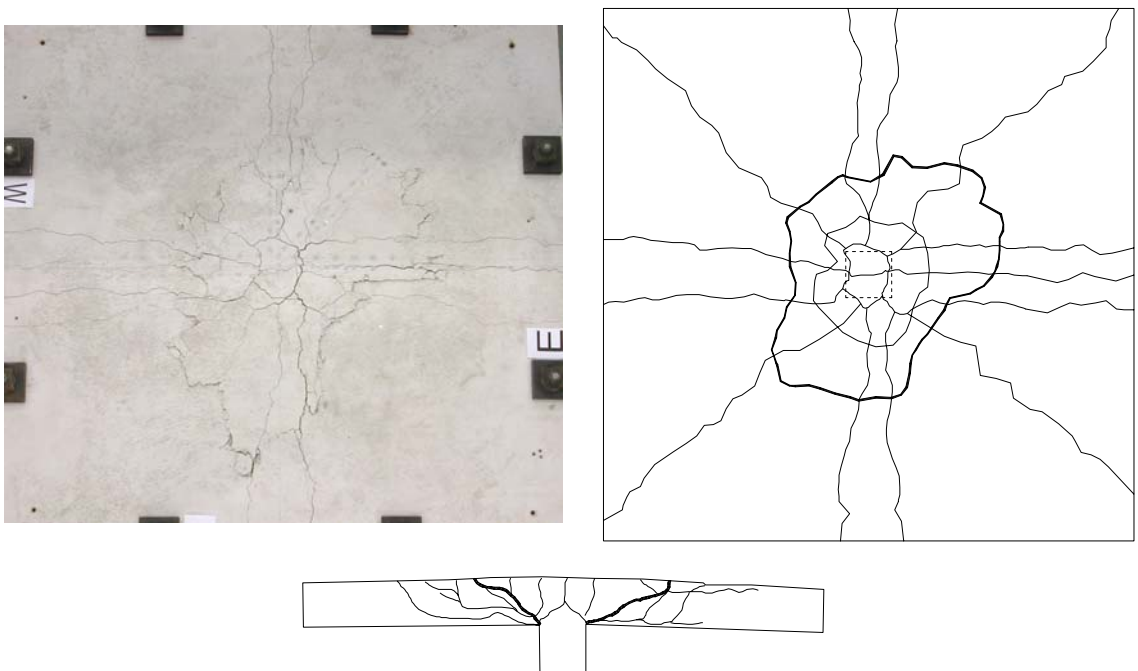


Figure D-4.87: PG-2b : Fissures face supérieure (N en haut) et coupe NS

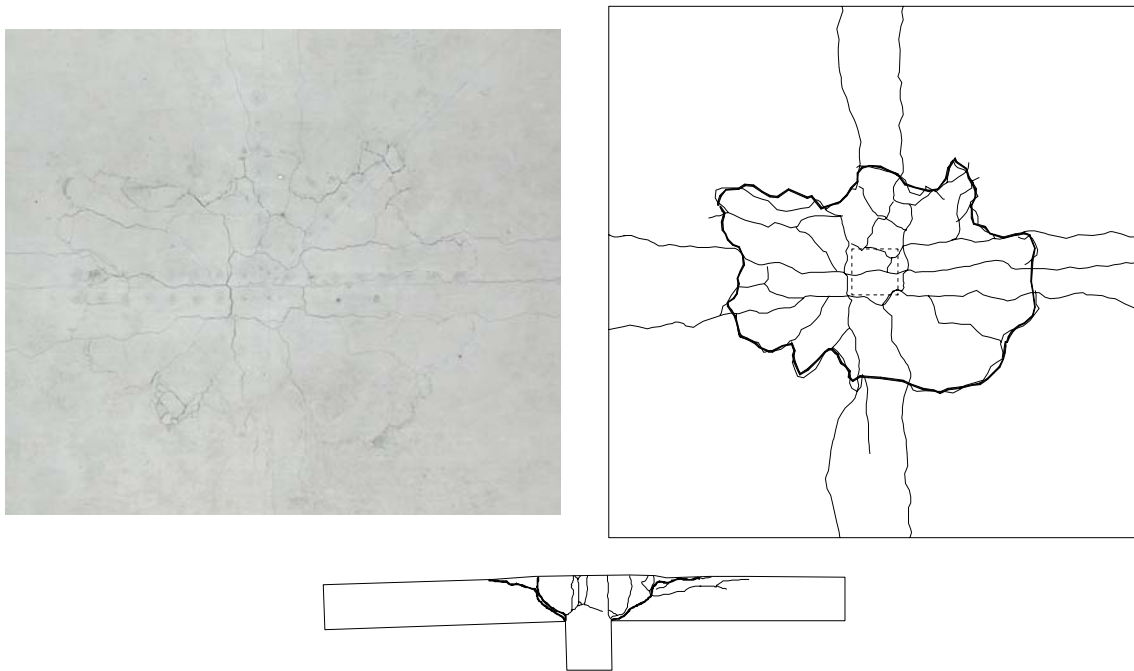


Figure D-4.88: PG-4 : Fissures face supérieure (N en haut) et coupe NS

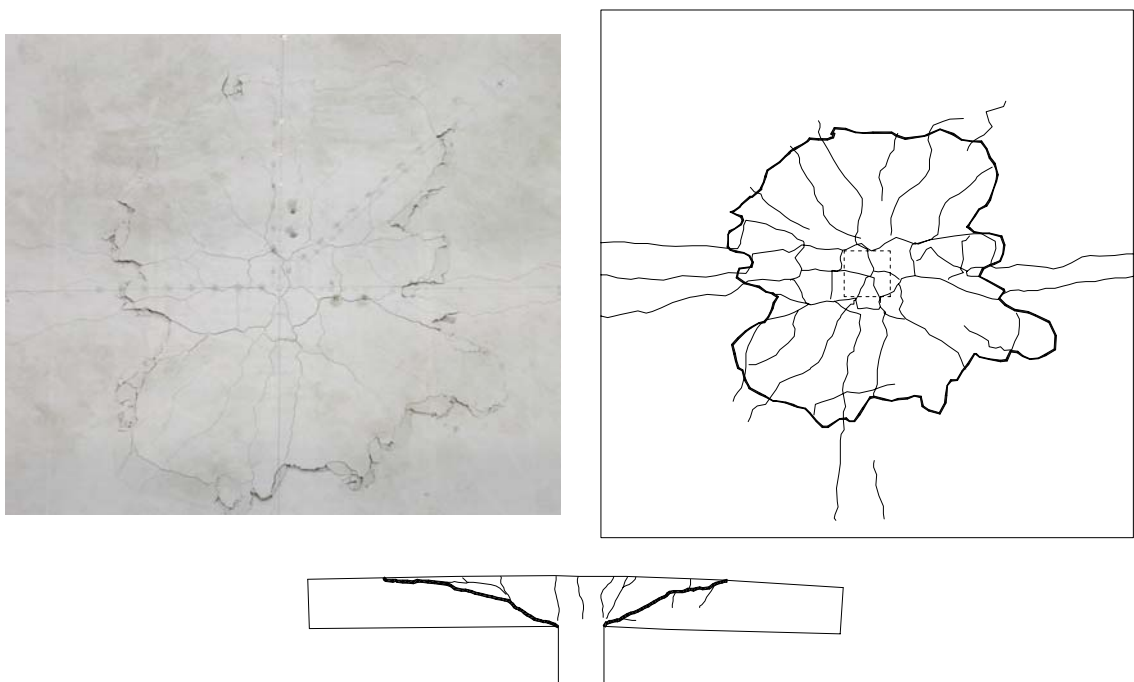


Figure D-4.89: PG-5 : Fissures face supérieure (N en haut) et coupe NS

Résultats d'essai

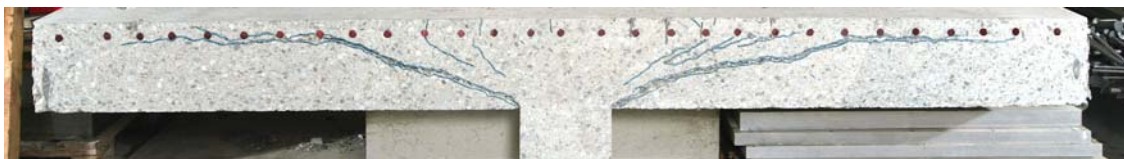


Figure D-4.90: PG-1 : coupe



Figure D-4.91: PG-2b : coupe



Figure D-4.92: PG-4 : coupe

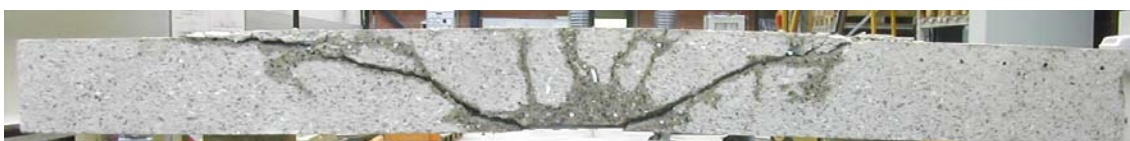


Figure D-4.93: PG-5 : coupe



Figure D-4.94: PG-10 : coupe

Tableau D-4.3: Pentes des fissures de poinçonnement

	gauche 2	gauche 1	colonne	droite 1	droite 2
PG-1	18°	22°		25°	12°
PG-2b	18°	40°		30°	12°
PG-4	70°	38°		30°	60°
PG-5	14°	30°		27°	27°
PG-10	13°	38°		38°	14°

D-4.3 Petites dalles de 1.5 x 1.5 m

Résultats principaux

Tableau D-4.4: Résultats principaux des dalles de 1.5 x 1.5 m

	PG-6	PG-7	PG-8	PG-9
V_u [kN]	238	241	140	115
ψ_u [‰]	11.7	22.3	31.8	42.1

Les rotations ψ_u sont le résultat de la moyenne des deux capteurs inductifs placés sur l'axe NS, prêt de la tige, divisé par leur distance depuis l'axe des appuis. Il s'agit donc d'une sécante. Cette moyenne est toujours légèrement plus grande que celle des capteurs placés sur l'axe EW.

Mise en charge

La vitesse de mise en charge a été constante depuis le début jusqu'à la rupture par poinçonnement des dalles. Le graphique D-4.95 montre le déroulement de la mise en charge en fonction du temps. Au temps $t = 0$ seulement le poids du système de mise en charge sollicitait la colonne ($V = 1$ kN). La durée des essais a été de une heure à une heure et demie environ. Les résistances au poinçonnement sont montrées au tab. D-4.4.

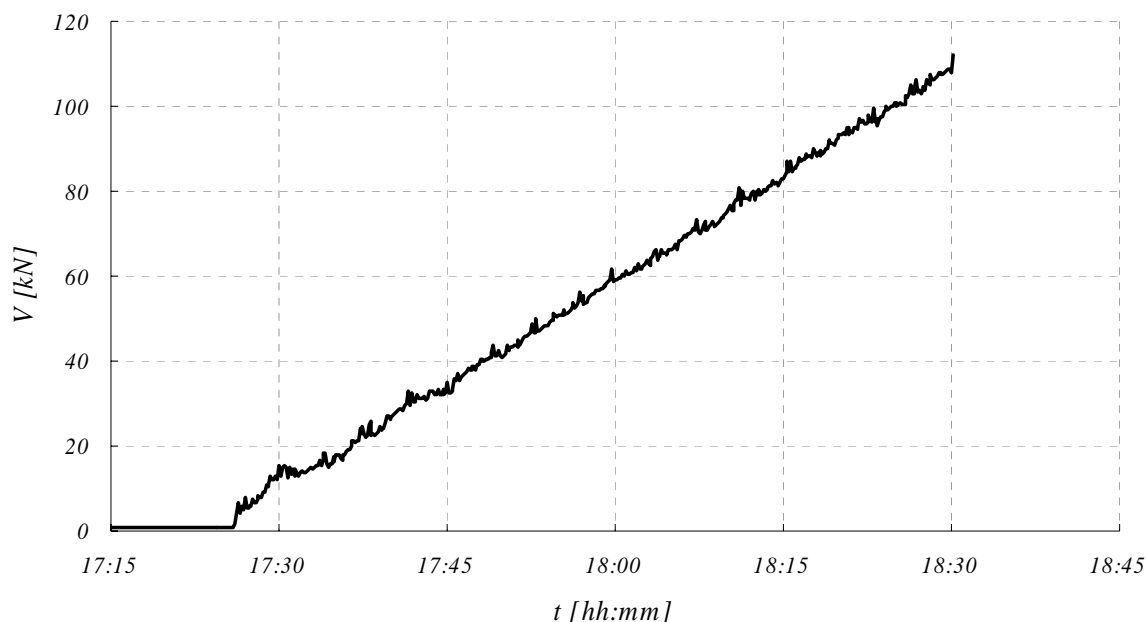


Figure D-4.95: Mise en charge constante, essai PG-8

Déplacements des dalles

Les figures D-4.96 à D-4.99 montrent les déplacements de la partie inférieure des dalles. Déplacement w – Distance depuis le centre r pour différents niveaux de force V .

Résultats d'essai

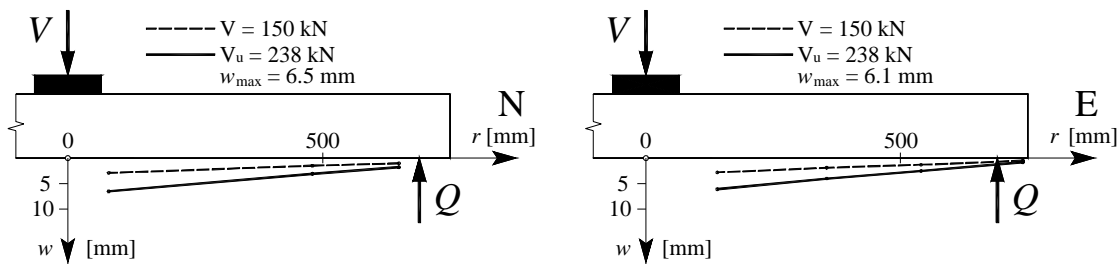


Figure D-4.96: PG-6 : déplacements w face inférieure, axes N et E

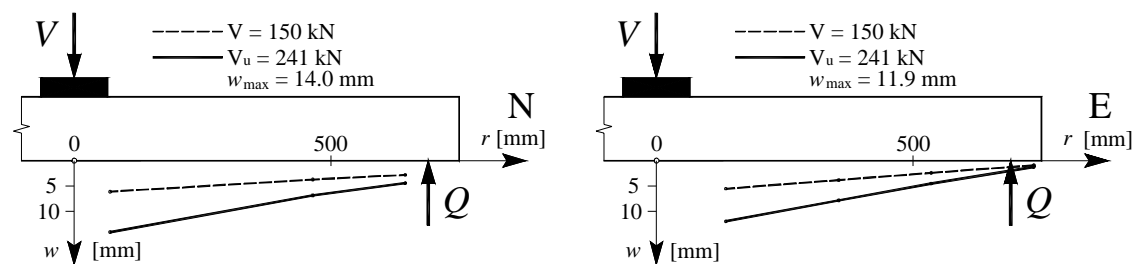


Figure D-4.97: PG-7 : déplacements w face inférieure, axes N et E

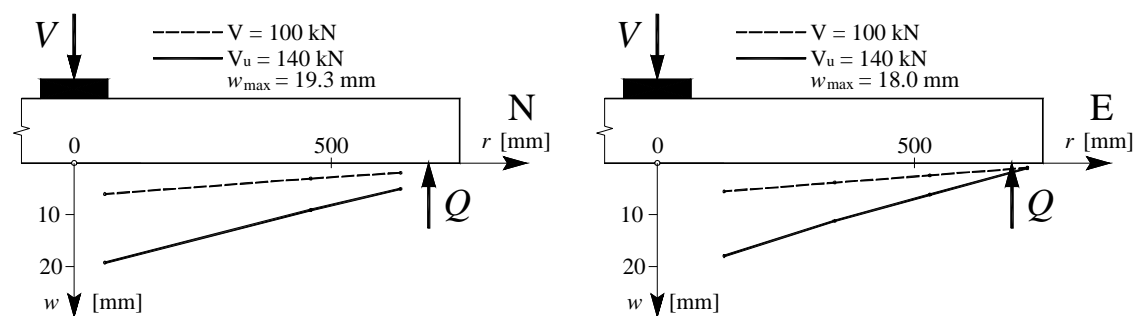


Figure D-4.98: PG-8 : déplacements w face inférieure, axes N et E

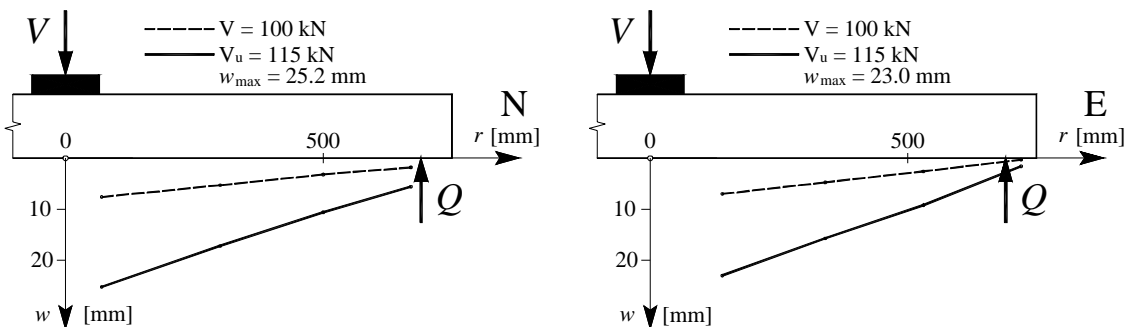


Figure D-4.99: PG-9 : déplacements w face inférieure, axes N et E

Déformations de la face des dalles

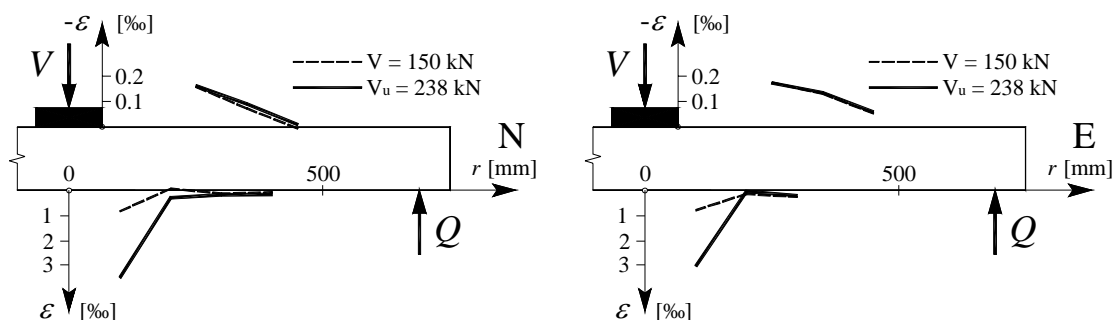


Figure D-4.100: PG-6 : déformations ε radiales face supérieure et face inférieure, axes N et E

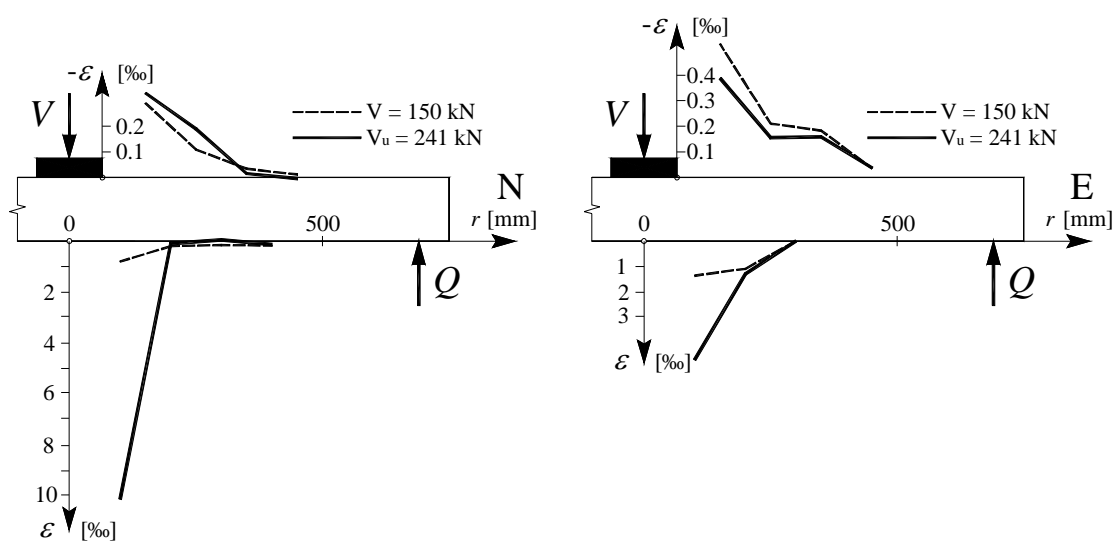


Figure D-4.101: PG-7 : déformations ε radiales face supérieure et face inférieure, axes N et E

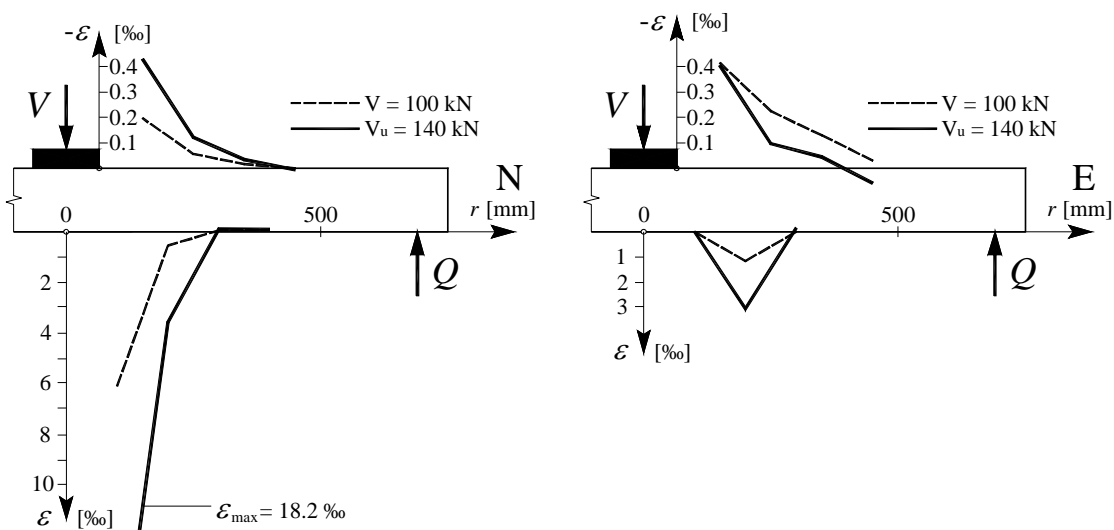


Figure D-4.102: PG-8 : déformations ε radiales face supérieure et face inférieure, axes N et E

Résultats d'essai

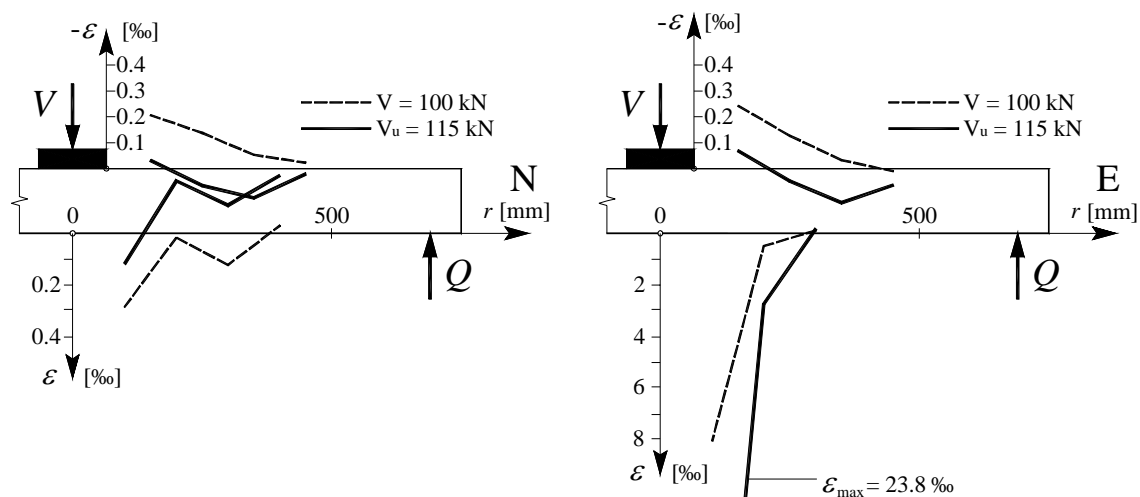


Figure D-4.103: PG-9 : déformations ε radiales face supérieure et face inférieure, axes N et E

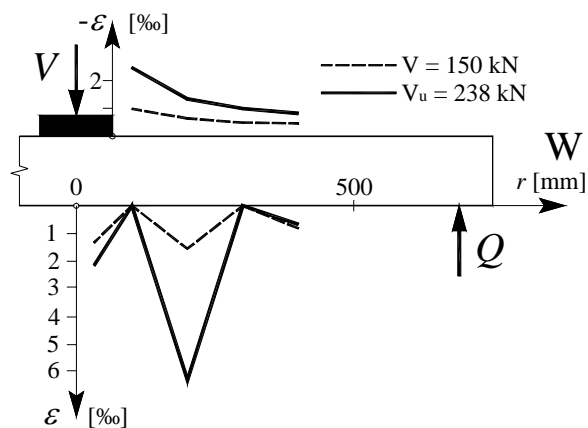


Figure D-4.104: PG-6 : déformations ε tangentielle face supérieure et face inférieure, axe W

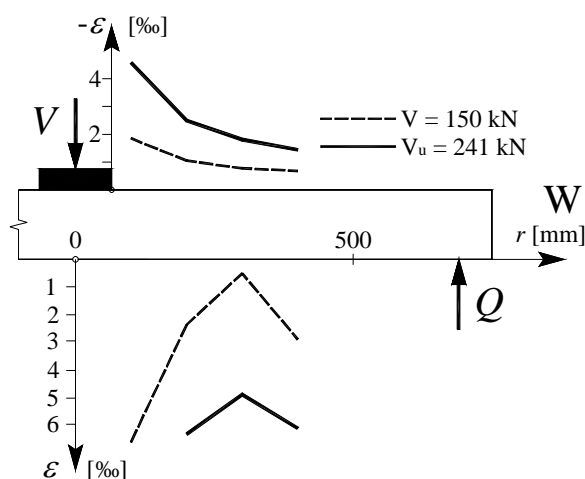


Figure D-4.105: PG-7 : déformations ε tangentielle face supérieure et face inférieure, axe W

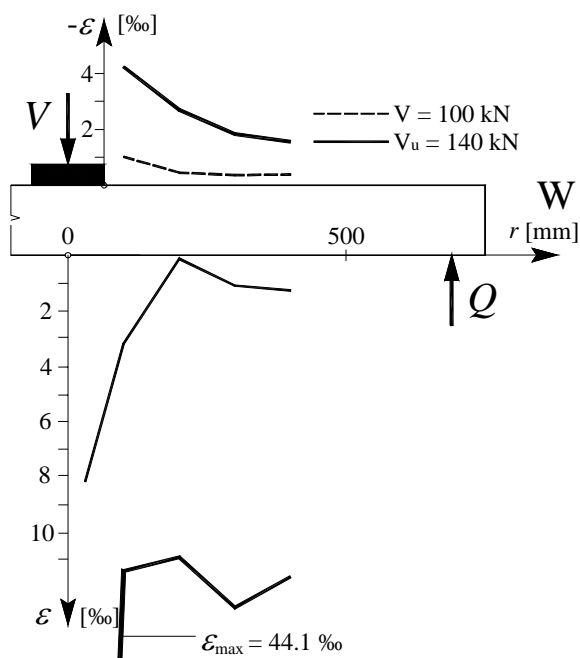


Figure D-4.106: PG-8 : déformations ε tangentielles face supérieure et face inférieure, axe W

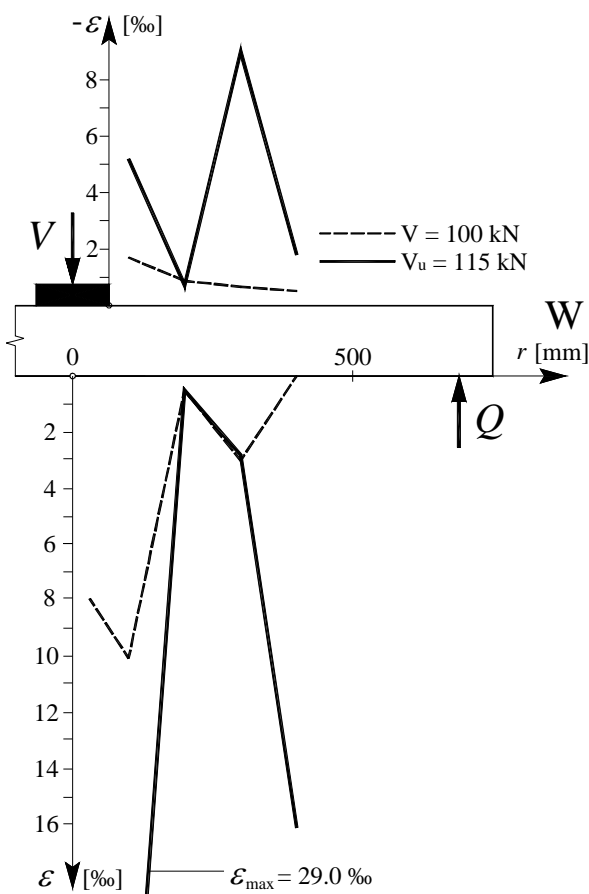


Figure D-4.107: PG-9 : déformations ε tangentielles face supérieure et face inférieure, axe W

Fissures

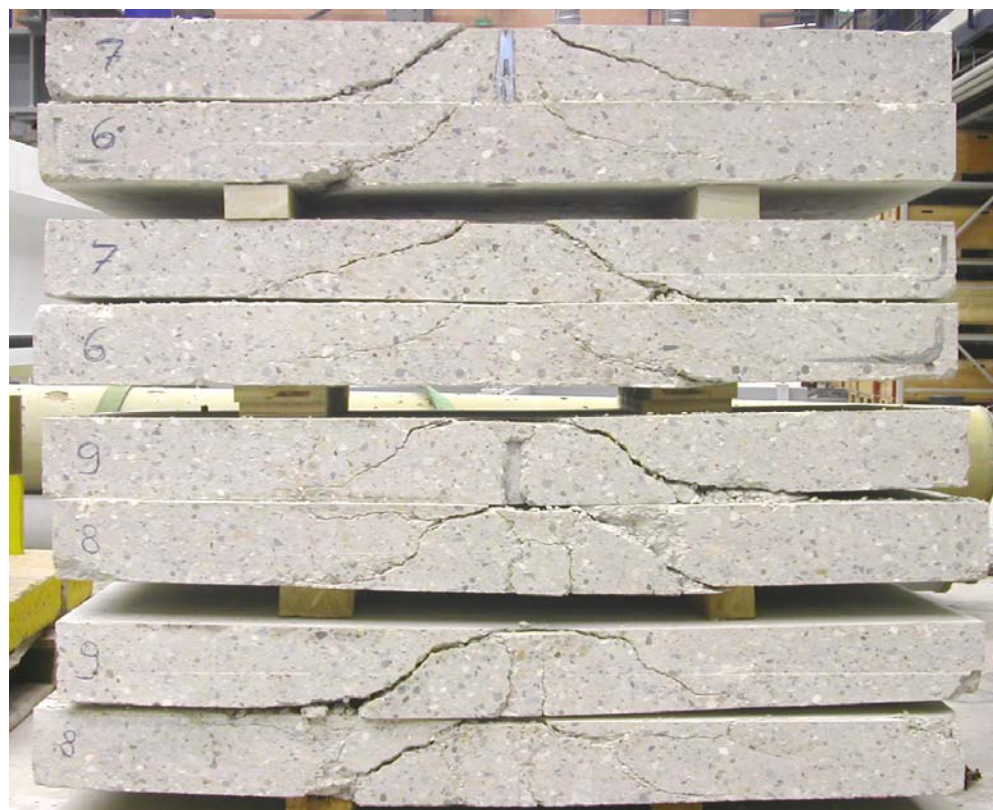


Figure D-4.108: Coupes des dalles PG-6 à PG-9

Tableau D-4.5: Pentes des fissures de poinçonnement

	gauche 2	gauche 1	colonne	droite 1	droite 2
PG-6	12°	43°		40°	15°
PG-7	13°	33°		44°	16°
PG-8	37°	26°		18°	58°
PG-9	41°	16°		15°	45°

D-4.4 Comparaison des essais

Pour pouvoir comparer les différents essais dans un seul diagramme Force - Rotation, les suivantes opérations ont été effectuées :

Les valeurs de rotation ψ sur l'axe de l'abscisse ont été multipliées par l'hauteur statique d et un facteur de correction $k_{D_{max}}$ qui tient compte de la taille maximal du granulat [Muttoni03] :

$$k_{D_{max}} = \frac{48}{D_{max} + 16}$$

D_{max} : Diamètre maximal du granulat

Sur l'axe de l'ordonnée, la force agissante sur la colonne V a été transformée en rapport entre contrainte de cisaillement τ à une distance $d/2$ du bord de la colonne et résistance nominale de la contrainte de cisaillement τ_c :

$$\tau = \frac{V}{d_m \cdot (\varnothing + d) \cdot \pi} \quad \tau_c = 0.3 \cdot \sqrt{f_c}$$

\varnothing : Diamètre de la colonne (colonne ronde avec même périmètre que la colonne carrée)

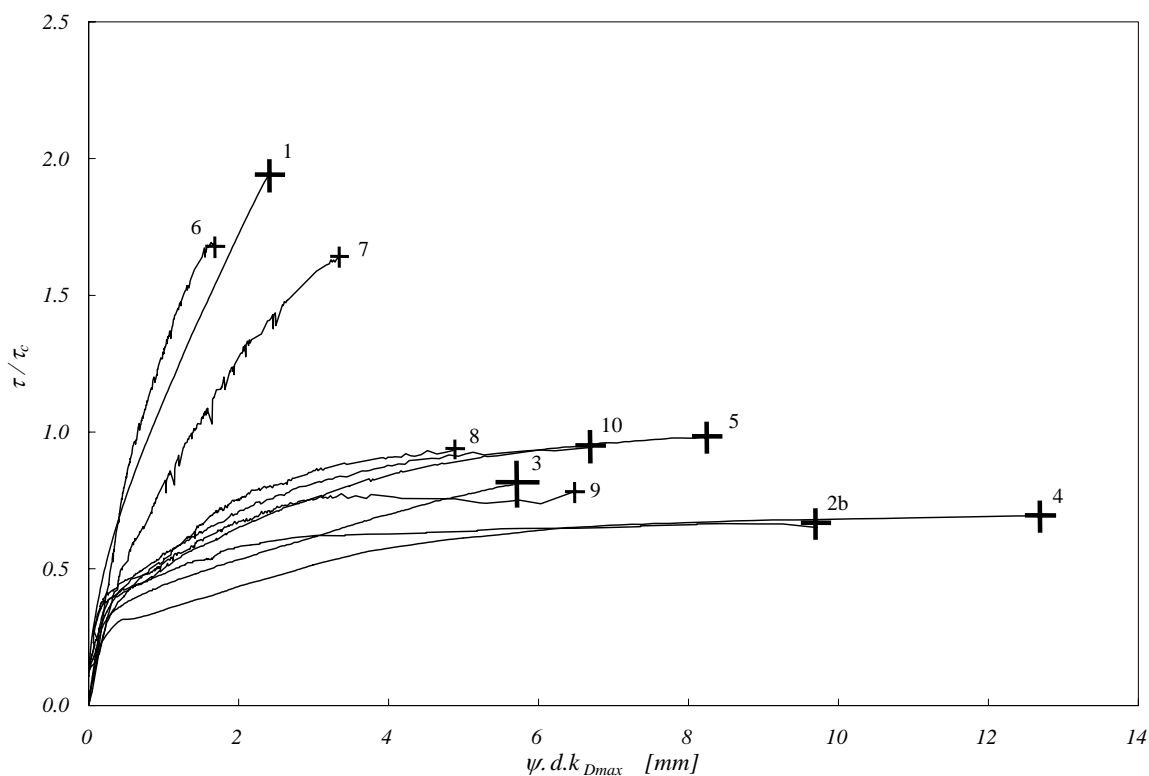


Figure D-4.109: Comparaison entre les différents essais

Rapport d'essai IS-BETON n° 00.03-R1
Lausanne, 1^{er} mai 2004

Client	CEMSUISSE
Type d'essai	Essais de poinçonnement
Période d'essai	février 2002 – mars 2004
Collaborateurs	S. Guandalini, G. Oreiller
Rapporteurs	S. Guandalini, A. Muttoni

Ce rapport contient 78 Pages.

Les résultats montrés dans ce rapport, contiennent seulement mensurations et observations faites pendant les essais.

Aucune partie de ce rapport ne peut être reproduite sous n'importe quel forme sans autorisation écrite des rapporteurs.

1^{ère} version: Lausanne, le 1^{er} mai 2004

2^{ème} version: Lausanne, le 1^{er} septembre 2005