



**RENFORCEMENT DE DALLES EPAISSES  
VOLET EXPERIMENTAL**

**Rapport d'étape  
Département de génie civil**

**Présenté à  
Sylvain Goulet ing.  
Chargé de projet  
Ministère des transports du Québec**

**Par  
Josée Bastien, ing. PhD, responsable  
Marc Jolin, ing. PhD  
Philippe Provencher, étudiant**

**1<sup>er</sup> juin 2009**



Le présent document est tiré en majeure partie d'un document de travail réalisé par Monsieur Philippe Provencher dans le cadre de ses études de maîtrise à l'Université Laval. Monsieur Philippe Provencher poursuit actuellement des études supérieures sous la direction et co-direction des professeurs Josée Bastien et Marc Jolin au Département de génie civil de l'Université Laval.

## Table des matières

Liste des figures .....	ii
Liste des tableaux .....	ii
1. Introduction .....	1
2. Méthodologie .....	1
2.1. Caractéristiques des dalles .....	1
2.2. Instrumentation des barres .....	3
2.3. Coulée des dalles .....	6
2.4. Renforcement des dalles .....	8
2.5. Essais de chargement en trois points .....	8
3. Présentation des résultats .....	10
3.1. Propriétés mécaniques du béton .....	10
3.2. Comportement des dalles .....	12
3.3. Schémas de fissuration des dalles .....	17
3.4. Déformation des barres de renforcement en cisaillement .....	20
3.5. Autopsie des dalles .....	27
4. Discussion et Conclusion .....	31

## Liste des figures

Figure 1 : Section des dalles .....	2
Figure 2 : Jauges de déformation sur une barre de renforcement en cisaillement .....	4
Figure 3 : Position des jauges de déformation sur les armatures de flexion .....	5
Figure 4 : Position des jauges sur les renforcements en cisaillement .....	6
Figure 5 : Camion malaxeur chez BPDFL .....	7
Figure 6 : Cure humide des dalles chez BPDFL .....	7
Figure 7 : Renforcement des poutres à l'Université Laval .....	8
Figure 8 : Montage de l'essai de chargement 3 points (dalle type 3B) .....	9
Figure 9 : LVDT au droit d'une fissure de cisaillement .....	10
Figure 10 : Courbes de chargement des dalles de type 1 .....	12
Figure 11 : Courbes de chargement des dalles de type 2 .....	13
Figure 12 : Courbes de chargement des dalles de type 3 .....	13
Figure 13 Schémas de fissurations essais 1Aa, 1Ba et 2Aa .....	18
Figure 14 Schémas de fissuration essais 2Ba, 3Aa et 3Ba .....	19
Figure 15 Déformation des jauges sur les barres de renforcement #2 de la dalle 1Ba .....	20
Figure 16 Déformation des jauges sur les barres #3 de la dalle 1Ba .....	21
Figure 17 Déformation des jauges sur les barres #4 de la dalle 1Ba .....	22
Figure 18 Position des barres de renforcement #2,3 et 4 de la dalle 1Ba, face sud .....	22
Figure 19 Position des barres de cisaillement #2, 3 et 4 de la dalle 1Ba, face nord .....	23
Figure 20 Déformation des jauges sur les barres de renforcement #2 de la dalle 2Ba .....	23
Figure 21 Déformation des jauges sur les barres de renforcement #3 de la dalle 2Ba .....	24
Figure 22 Position des barres de renforcement #2 et 3 de la dalle 2ba, face sud .....	24
Figure 23 Position des barres de renforcement #2 et #3 de la dalle 2Ba, face nord .....	25
Figure 24 Déformation des jauges sur les barres de renforcement #2 de la dalle 3Ba .....	25
Figure 25 Déformation des jauges sur les barres de renforcement #3 de la dalle 3Ba .....	26
Figure 26 Position des barres de renforcement #2 et #3 de la dalle 3Ba, face sud .....	26
Figure 27 Position des barres de renforcement #2 et #3 sur la dalle 3Ba, face nord .....	27
Figure 28 Adhésion béton-époxy-barre .....	28
Figure 29 Lien époxy-barre de renforcement .....	28
Figure 30 Essai 2Ba - Vue globale des barres de renforcement #2 et #3, face sud .....	29
Figure 31 Essai 2Ba - Barres de renforcement #2 et #3, face sud .....	29
Figure 32 Essai 3Ba - Glissement d'une barre de renforcement .....	30

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques recherchées du béton .....	2
Tableau 2 : Propriétés mécaniques du béton .....	11
Tableau 3 : Mode de rupture des dalles de type 1 .....	14
Tableau 4 : Mode de rupture des dalles de type 2 .....	15
Tableau 5 : Mode de rupture des dalles de type 3 .....	16

## 1. Introduction

Au Québec, les infrastructures routières en béton se détériorent rapidement. Le ministère des transports du Québec possède un grand nombre de structures en béton, notamment des structures de type dalle épaisse (sans armature de cisaillement) construites majoritairement dans les années 50 à 70. Les charges qui sollicitent ces structures sont aujourd'hui beaucoup plus importantes que celles prévues lors de leur conception. De plus, ce type de structure présente parfois une lacune au niveau de la résistance au cisaillement, pouvant entraîner une rupture fragile de l'ouvrage.

Le Ministère des transports du Québec (MTQ) en collaboration avec l'Université Laval, a donc mis en place un projet de recherche visant à évaluer la capacité en cisaillement de structures de type dalle épaisse (sans armature de cisaillement) de même qu'évaluer l'efficacité d'un type de renforcement en cisaillement de ces mêmes dalles. Le projet de recherche consiste donc à soumettre des éléments de dalles de grandes dimensions, renforcées et non renforcées, à des sollicitations en cisaillement. Ces essais permettront de déterminer l'efficacité du renforcement en terme de gain en résistance à l'ultime et de comportement à la rupture.

## 2. Méthodologie

La réalisation du projet a nécessité la fabrication et l'instrumentation de 12 dalles de béton armée. Afin de représenter au mieux les conditions de fabrication usuelles, la fabrication et le renforcement des poutres ont été confiés aux entrepreneurs, *Bétons Préfabriqués du Lac inc. (BPDL)* pour la fabrication et *Cimota inc.* pour le renforcement. Les essais et l'instrumentation ont été réalisés au Laboratoire sur la durée de vie des infrastructures de l'Université Laval.

### 2.1. Caractéristiques des dalles

Les 12 dalles de béton sont divisées en trois groupes : type 1, 2 et 3. Chacun de ces groupes est composé de deux dalles non renforcées (A) et de deux dalles renforcées (B). Toutes les dalles ont une largeur de 610 millimètres et une longueur de 5 mètres. Ces dalles sont soumises à essais de chargement en trois points sur une portée libre de 4 mètres (appuis simples). Les dalles de types 1 et 2 ont une profondeur de 450 mm avec chacune des pourcentages d'armature de flexion de 3,10 et 2,06 % respectivement. Celles de type 3 ont une profondeur de 750 millimètres et un pourcentage d'armature de flexion de 1,17% (Figure 1). Le renforcement

en cisaillement pour les types de dalle 1 et 3 est formé de barres no 15 alors qu'il est de diamètre plus réduit (barre # 10) pour les dalles de type 2. Le renforcement en cisaillement est conçu de manière à respecter l'espacement maximal et la quantité d'acier minimale selon la norme canadienne CAN/CSA-S6-06 (Code canadien sur le calcul des ponts routiers). Les dalles sont conçues de façon à ce que la rupture survienne en cisaillement. Plus de détails sur les caractéristiques géométriques des dalles et leur armatures d'acier peuvent être trouvés à l'annexe A.

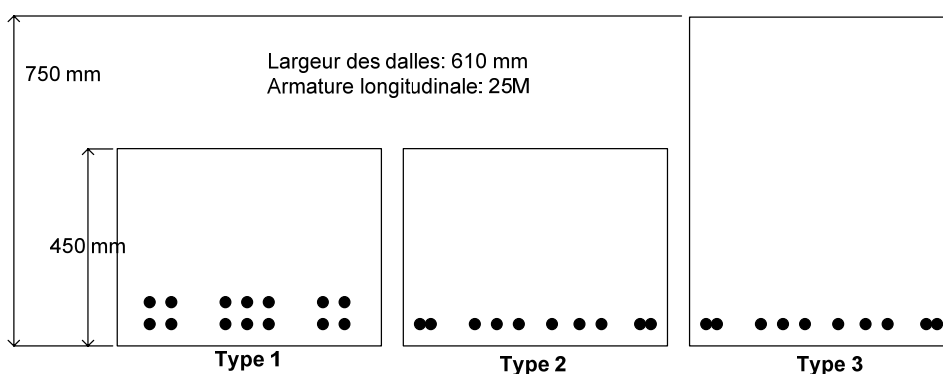


Figure 1 : Section des dalles

Les caractéristiques du béton et de l'acier sont choisies pour que les propriétés mécaniques des matériaux soient similaires à celles des ouvrages en place devant être renforcés. Les barres d'armature ainsi que les barres de renforcement en cisaillement sont donc des barres d'acier crénelées de nuance 400W. Les caractéristiques recherchées pour le matériau béton sont présentées au tableau ci-dessous. Deux essais de convenance réalisés chez BPD L ont permis de mettre au point une formule de mélange de béton qui respectait les caractéristiques demandées, y compris la résistance à 28 jours (Tableau 2).

Tableau 1 : Caractéristiques recherchées du béton

Résistance à 28 jours (MPa)	Type de ciment	Affaissement (mm)	Gros granulats (mm)	Teneur en air %
30 ± 2	GU	80 ± 30	5 - 20	5 - 8

## 2.2. Instrumentation des barres

Des jauges de déformation ont été installées sur les barres d'armature de flexion et sur les barres de renforcement en cisaillement afin de déterminer leur déformation durant les essais de chargement. Il s'agit de jauges CEA-06-250LW-350 et CEA-06-250LW-120 de la compagnie *Vishay*. Les jauges sont recouvertes d'un enduit de protection caoutchouté pour les protéger durant leur manipulation et leur mise en place.

Pour les dalles non-renforcées en cisaillement, des jauges sont positionnées uniquement sur les armatures de flexion. Dans le cas des dalles renforcées en cisaillement, des jauges sont placées tant sur les barres de renforcement en cisaillement que sur les armatures de flexion.

. La position des jauges sur les armatures de flexion est présentée à la Figure 3.

Pour les dalles renforcées, l'ensemble des barres de renforcement en cisaillement sont instrumentées en trois localisations. Ces barres ont leur longueur de 345 mm ou 645 mm selon l'épaisseur des dalles dans lesquelles elles sont introduites. La position des jauges de déformation sur les barres de renforcement est présentée à la Figure 4.

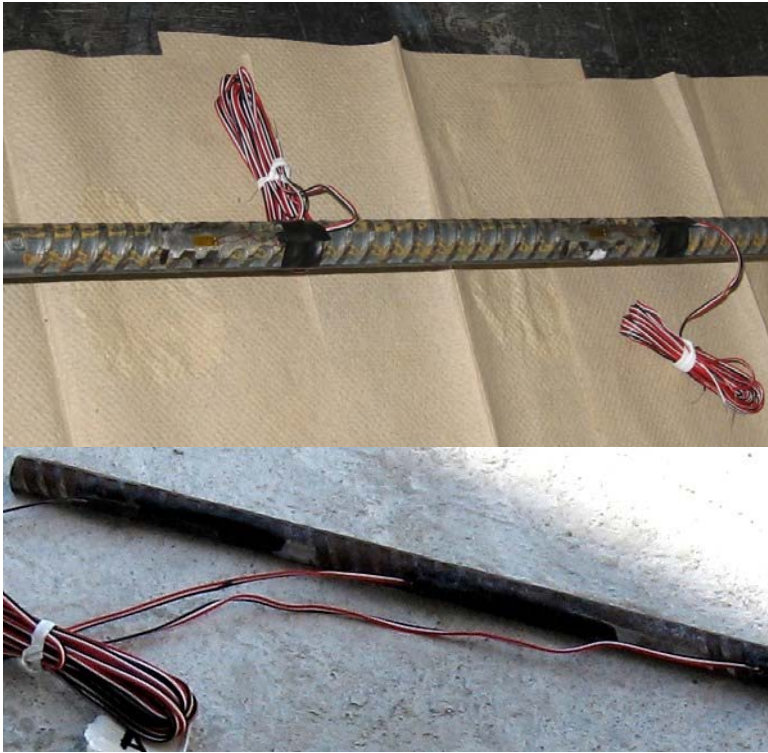


Figure 2 : Jauges de déformation sur une barre de renforcement en cisaillement

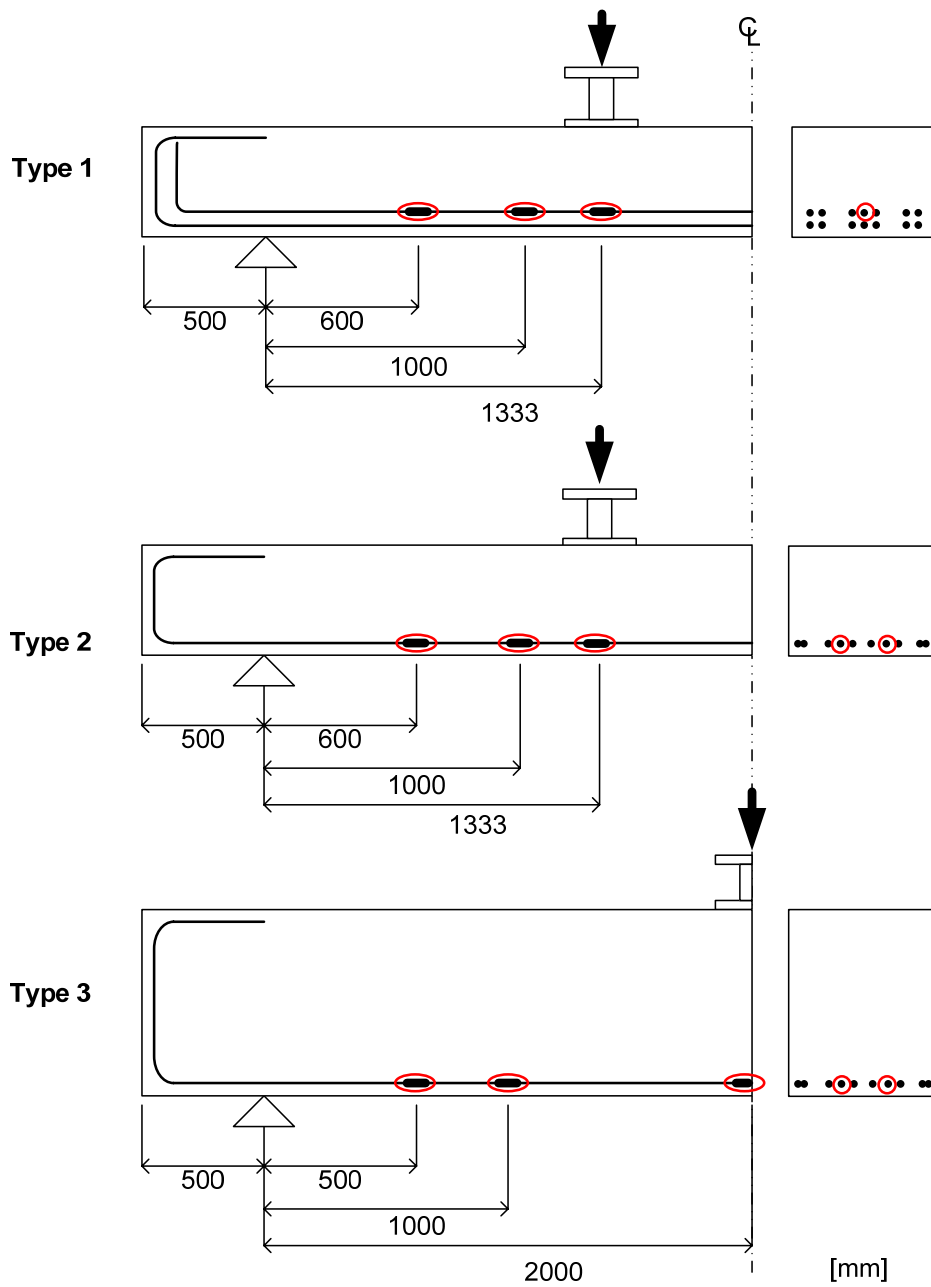


Figure 3 : Position des jauges de déformation sur les armatures de flexion



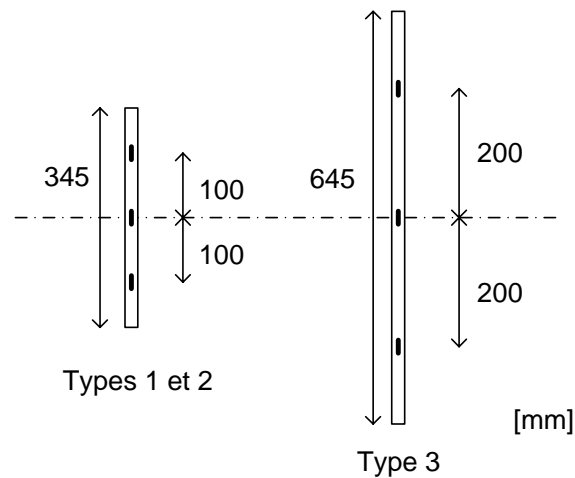


Figure 4 : Position des jauges sur les renforcements en cisaillement

### 2.3.Coulée des dalles

Les dalles des groupes 1 et 2 furent coulées à l'usine d'Alma de BPDL dans la semaine du 14 juillet 2008. Puisque la compagnie ne pouvait fabriquer toutes les dalles d'un groupe d'une seule coulée, il a été décidé de les fabriquer en groupe de deux. Pour obtenir une bonne corrélation entre les dalles non-renforcées (type A) et renforcées (type B), une dalle de type A et une dalle de type B furent fabriquées de la même coulée. Les dalles de type 3, furent coulées les 4 et 5 août 2008. Puisque le volume de deux dalles dépassait la capacité du malaxeur utilisé (Figure 5), chacune d'elle a été coulée avec une gâchée de béton différente, bien que les poutres aient été fabriquées en groupe de deux. Une cure humide de sept jours réalisée à l'aide d'une toile de jute et d'un système d'arrosage a suivi le décoffrage des dalles (Figure 6).



**Figure 5 : Camion malaxeur chez BPD**



**Figure 6 : Cure humide des dalles chez BPD**

Le béton a été échantillonné durant la coulée des dalles. En effet, BPD a échantillonné cinq cylindres de béton par dalle dont un pour vérifier la résistance à la compression du béton au décoffrage et deux autres pour chacun des essais à 7 et 28 jours. De plus, nous avons conservé six cylindres par dalle pour nos propres essais de caractérisation du béton.

## 2.4. Renforcement des dalles

Suite à la livraison des dalles à l'Université Laval, dans les semaines du 18 août et du 1<sup>er</sup> septembre 2008, les dalles de type B furent renforcées par l'entrepreneur. Ce renforcement consistait à introduire verticalement des barres crnelées selon un espacement prédéterminé le long des poutres (voir annexe A). Le renforcement fut effectué à l'extérieur devant le laboratoire du département de génie civil. Des trous furent percés à partir du dessus des poutres en laissant un recouvrement de 70 millimètres au bas des poutres. Les trous étaient ensuite remplis d'époxy puis les barres d'acier y étaient insérées. La quantité d'époxy injectée (HIT-RE 500-SD Epoxy Adhesive Anchor System, de la compagnie Hilti) permettait de combler entièrement les trous qui étaient plus profonds que la longueur des barres, assurant un recouvrement de 35 millimètres d'époxy en partie supérieure. Le perçage pour le renforcement fut exécuté à la main à l'aide d'une perceuse à percussion et d'un guide pour assurer la verticalité des trous. Des représentants de la compagnie Hilti étaient présents sur les lieux lors du renforcement pour superviser et approuver la méthode de nettoyage des trous et d'injection d'époxy (Figure 7)



Figure 7 : Renforcement des poutres à l'Université Laval

## 2.5. Essais de chargement en trois points

Des essais de chargements en trois points sur les dalles se sont déroulés du 22 septembre au 7 novembre au Laboratoire sur la durée de vie des infrastructures de l'Université Laval. Ces essais furent réalisés sur la presse MTS 311 (Figure 8). Les dalles furent chargées au tiers (type 1 et 2) ou au centre (type 3) de la portée de 4 mètres. Le chargement fut effectué par incréments de

déplacement en mode quasi-statique jusqu'à la rupture afin d'éviter une rupture soudaine et imprévue.



**Figure 8 : Montage de l'essai de chargement 3 points (dalle type 3B)**

En plus des jauges de déformation sur les armatures coulées dans le béton et sur les barres de renforcement, de l'instrumentation fut mise en place au moment des essais pour mesurer la flèche des poutres ainsi que la progression de certaines fissures. Pour ce faire, un LVDT fut positionné sous la poutre au point d'application de la charge. De plus, des LVDTs furent installés sur la poutre au droit des fissures principales pour en mesurer la progression durant les essais (Figure 9). Toutes les données des essais de chargement furent enregistrées à l'aide de deux systèmes d'acquisition appelés *Système 4000* et *Système 6000* de Vishay. Le *Système 6000* enregistre les données relatives aux capteurs de déplacement de type LVDT, le déplacement de la tête de charge, la charge induite par la presse et les données provenant des jauges de déformation des poutres non renforcées en cisaillement. Le *Système 4000* enregistre les

données provenant des jauges de déformation supplémentaires des dalles renforcées en cisaillement.



Figure 9 : LVDT au droit d'une fissure de cisaillement

### 3. Présentation des résultats

Les paragraphes qui suivent présentent d'abord les propriétés mécaniques du béton puis viennent les résultats montrant le comportement des dalles lors des essais de chargement.

#### 3.1. Propriétés mécaniques du béton

Le Tableau 2 présente les résultats des essais de compression réalisés pour caractériser chacune des huit gâchés nécessaires à la fabrication des 12 dalles de béton armé de ce projet, ainsi que les résultats obtenus lors du dernier essai de convenue.

Tableau 2 : Propriétés mécaniques du béton

Groupe	Gâchée	Résistance en compression du béton						Module élastique du béton
		7 jours (MPa)		28 jours (MPa)		Jour de l'essai (MPa)		Jour de l'essai (MPa)
Essai de convenance		21,7		30,0		-		-
Type 1	1a	21,6	22,1	31,4	31,7	31,4	32,5	-
	1b	22,6		32,0		33,6		28382
Type 2	2a	22,5	22,4	32,5	32,2	34,8	35,2	30794
	2b	22,2		31,8		35,7		30366
Type 3	3Aa	22,3	22,5	31,9	32,0	35,8	35,0	30571
	3Ba	22,7		32,1		34,0		28396
	3Ab	22,3		32,0		33,2		28241
	3Bb	22,6		32,0		37,2		30371

### 3.2.Comportement des dalles

Les Figure 10, Figure 11 et Figure 12 présentent respectivement les courbes de charge-flèche pour les dalles de type 1, 2 et 3 tandis que les Tableau 3,Tableau 4, Tableau 5 décrivent brièvement les modes de rupture des dalles en plus de donner la charge maximale atteinte et la flèche (sous la charge) à la rupture. Il est bon de rappeler ici que les dalles de type 1 et 2 ont été sollicitées au tiers de leur portée tandis que les dalles de type 3 ont été sollicitées au centre de leur portée. Également, dans les figures et tableaux qui suivent la nomenclature suivante, chiffre-Xx, a été utilisée afin d'identifier les différents essais. Le chiffre représente le type de la dalle ( 1, 2 ou 3), la lettre majuscule fait référence au fait que la dalle soit non-renforcée en cisaillement (A) ou renforcée en cisaillement(B). Finalement la lettre minuscule ( a ou b) sert à distinguer les deux essais similaires.

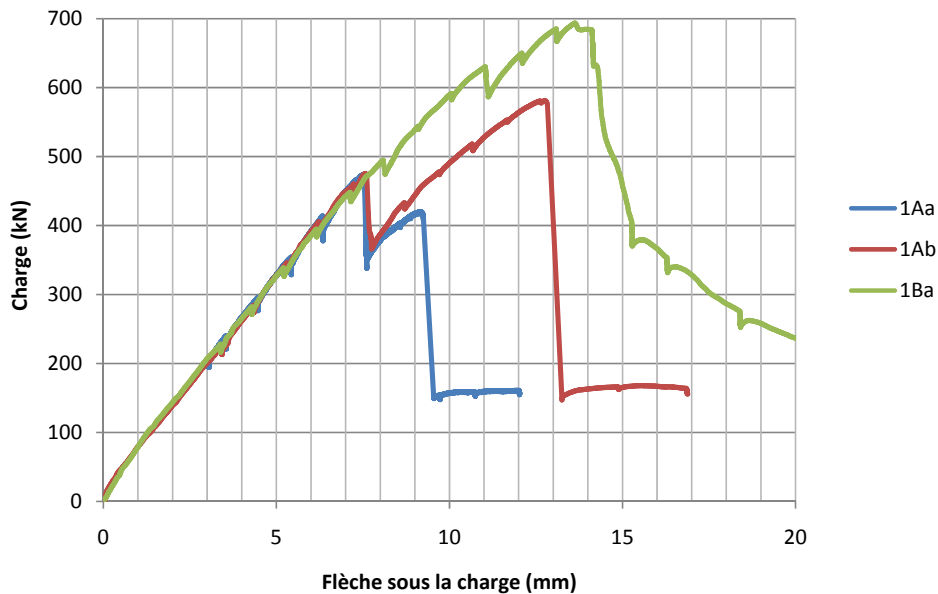


Figure 10 : Courbes de chargement des dalles de type 1

Suite à un mauvais fonctionnement du système de chargement, l'essai de la dalle 1Bb n'a pu être enregistré.

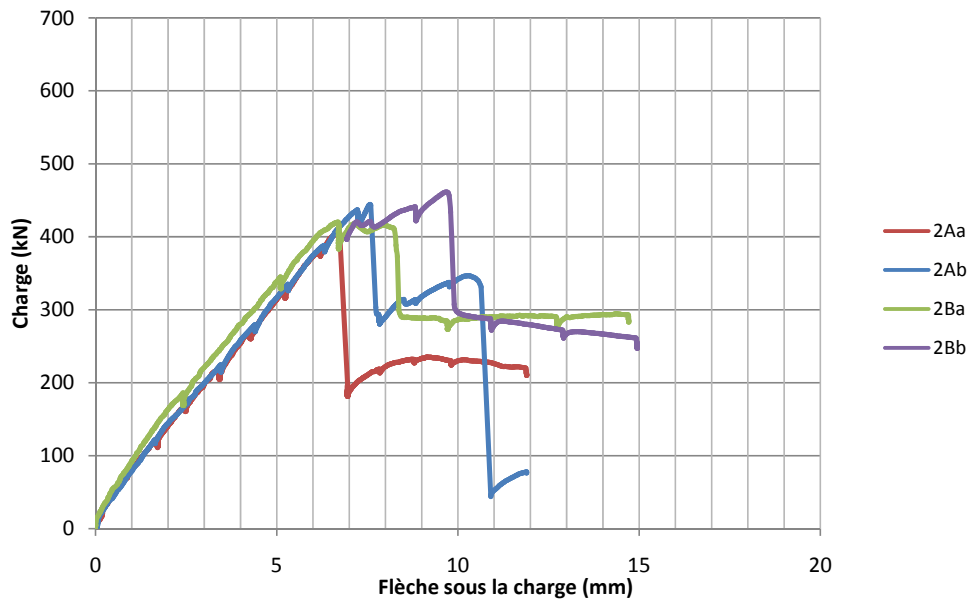


Figure 11 : Courbes de chargement des dalles de type 2

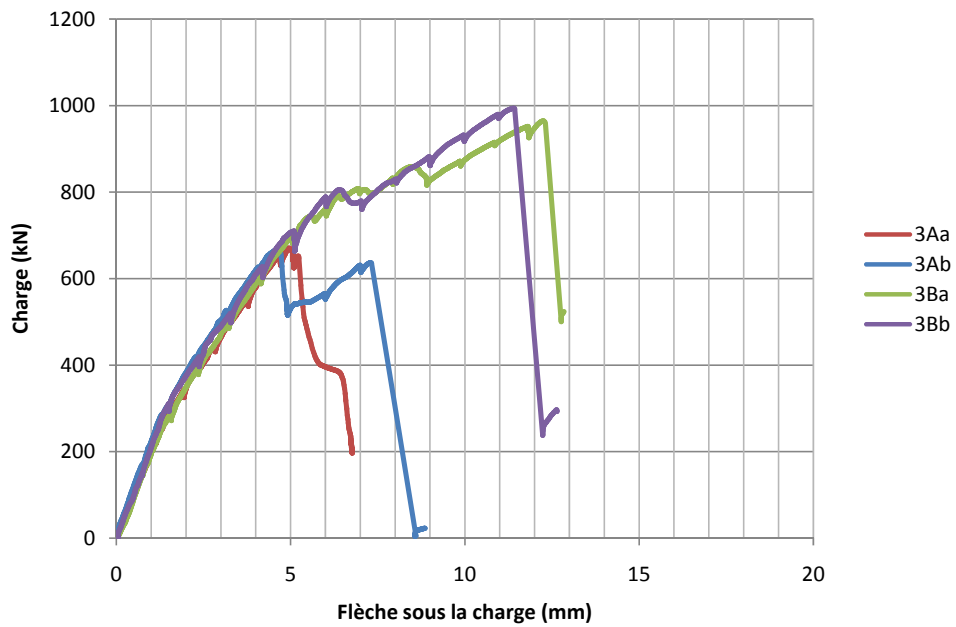


Figure 12 : Courbes de chargement des dalles de type 3



Tableau 3 : Mode de rupture des dalles de type 1

Poutre	Charge maximale		Flèche rupture (mm)	Mode de rupture	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">                     Type 1                      :: :: ::                 </div>
	Pratique (kN)	Théorique* (kN)			
1Aa	474	401	7,5	Rupture subite et atteinte de la charge maximale dès l'apparition de la fissure de cisaillement.	
1Ab	475		7,6	Rupture subite et atteinte de la charge maximale dès l'apparition de la fissure de cisaillement. Suite à la rupture, la charge est remontée à 581 kN avec une flèche de 12,6 mm avant une seconde rupture subite.	
Moyenne 1A	475		7,6		
1Ba	694	792	13,6	La fissuration en cisaillement apparait à 5 mm de flèche et progresse jusqu'à la rupture. Rupture progressive, presque imperceptible mis à part la diminution de la charge observée à l'écran du système d'acquisition.	
1Bb	-		-	Une erreur du système informatique de la presse, lors de la mise en place de la dalle, a causé la rupture de la dalle avant le début de l'essai. Aucune donnée n'est disponible.	
<b>Delta 1A-1B</b>	<b>46%</b>	-	<b>80%</b>		

\*Valeurs fournies par le MTQ.

Tableau 4 : Mode de rupture des dalles de type 2

Poutre	Charge maximale		Flèche rupture	Mode de rupture
	Pratique (kN)	Théorique* (kN)	(mm)	
2Aa	405	384	6,7	Rupture subite et atteinte de la charge maximale dès l'apparition de la fissure de cisaillement.
2Ab	444		7,6	
Moyenne 2A	<b>425</b>		<b>7,2</b>	
2Ba	420	576	8,2	Comportement très similaire au type 2A, il y a cependant une faible déformation supplémentaire à l'atteinte de la charge maximale.
2Bb	461		9,7	Il y a une certaine ductilité suite à la fissuration en cisaillement, par contre la rupture est subite à l'atteinte de la charge maximale.
Moyenne 2B	<b>441</b>		<b>9,0</b>	
<b>Delta 2A-2B</b>	<b>4%</b>	-	<b>25%</b>	



\*Valeurs fournies par le MTQ.

Tableau 5 : Mode de rupture des dalles de type 3

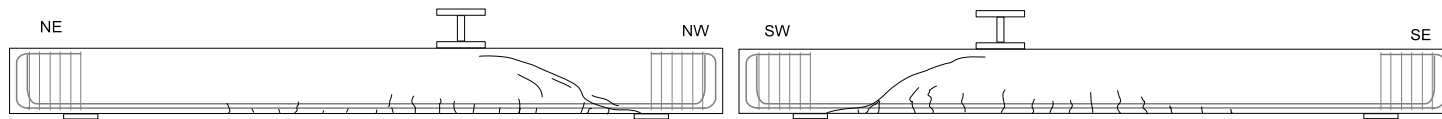
Poutre	Charge maximale		Flèche rupture	Mode de rupture	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">                     Type 3                      .. . . . .                 </div>
	Pratique (kN)	Théorique* (kN)	(mm)		
3Aa	670	708	5	Rupture subite et atteinte de la charge maximale dès l'apparition de la fissure de cisaillement.	
3Ab	666		4,6		
Moyenne 3A	<b>668</b>		<b>4,8</b>		
3Ba	964	1248	12,25	La fissuration en cisaillement apparait à 5 mm de flèche et progresse jusqu'à la rupture. À la rupture, la fissuration est très importante. Par contre, la rupture est très subite, accompagnée d'une augmentation importante de la flèche.	
3Bb	994		11,4		
Moyenne 3B	<b>979</b>		<b>11,8</b>		
<b>Delta 3A-3B</b>	<b>47%</b>	-	<b>146%</b>		

\*Valeurs fournies par le MTQ.

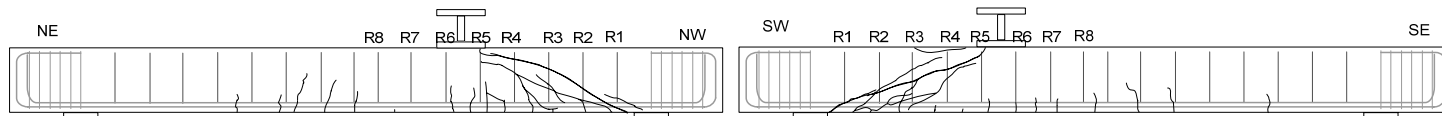
### **3.3.Schémas de fissuration des dalles**

Les figures qui suivent présentent certains schémas de fissuration issus des différents essais au moment de l'atteinte du chargement maximum. Plus de détails sur ces schémas de fissurations peuvent être trouvés à l'annexe B. Dans cette annexe les schémas de fissurations en fonction du chargement sont présentés.

Dalle 1Aa (charge max 474 kN @ 7,5 mm)



Dalle 1Ba (charge max 694 kN @ 13,6 mm)



Dalle 2Aa (charge max 405 kN @ 6,7 mm)

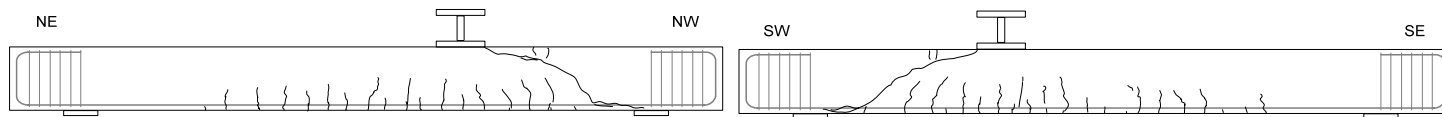
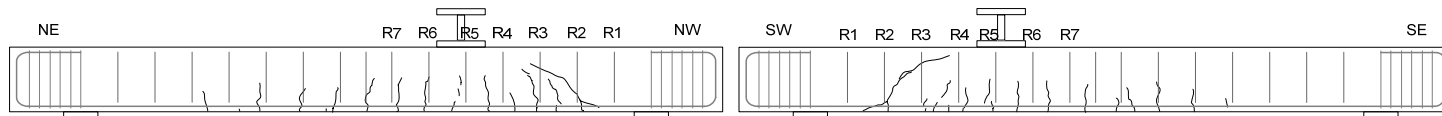
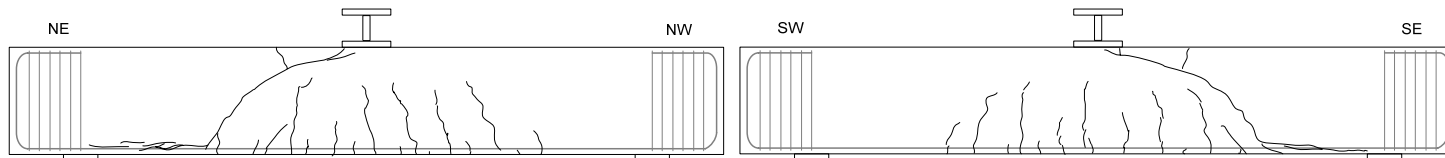


Figure 13 Schémas de fissurations essais 1Aa, 1Ba et 2Aa

Dalle 2Ba (charge max 420 kN @ 6,7 mm)



Dalle 3Aa (charge max 670 kN @ 5,0 mm)



Dalle 3Ba (charge max 964 kN @ 12,25 mm)

12,0 mm/948 kN

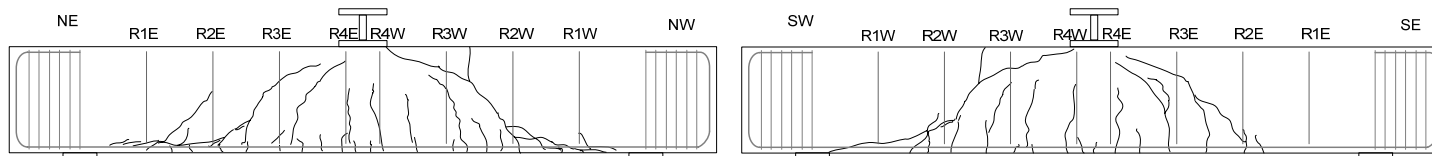


Figure 14 Schémas de fissuration essais 2Ba, 3Aa et 3Ba

### 3.4. Déformation des barres de renforcement en cisaillement

Les figures qui suivent présentent les déformations enregistrées par les jauges de déformation placées sur les armatures de renforcement en cisaillement se trouvant dans les zones les plus fissurées (cisailées) des dalles. Dans ces figures, la numérotation des barres instrumentées est la même que celle utilisée dans la section précédente (3.3) Pour plus de clarté, des figures représentant la position des barres de renforcement sur les faces sud et nord des dalles sont également proposées dans cette section.

Sur certaines figures, les enregistrements des jauges de déformation sur les barres de renforcement sont absents ou encore s'interrompent brusquement. Dans ces cas, il peut s'agir d'un mal fonctionnement des jauges ou encore que celles-ci ont atteint leur plage d'utilisation.

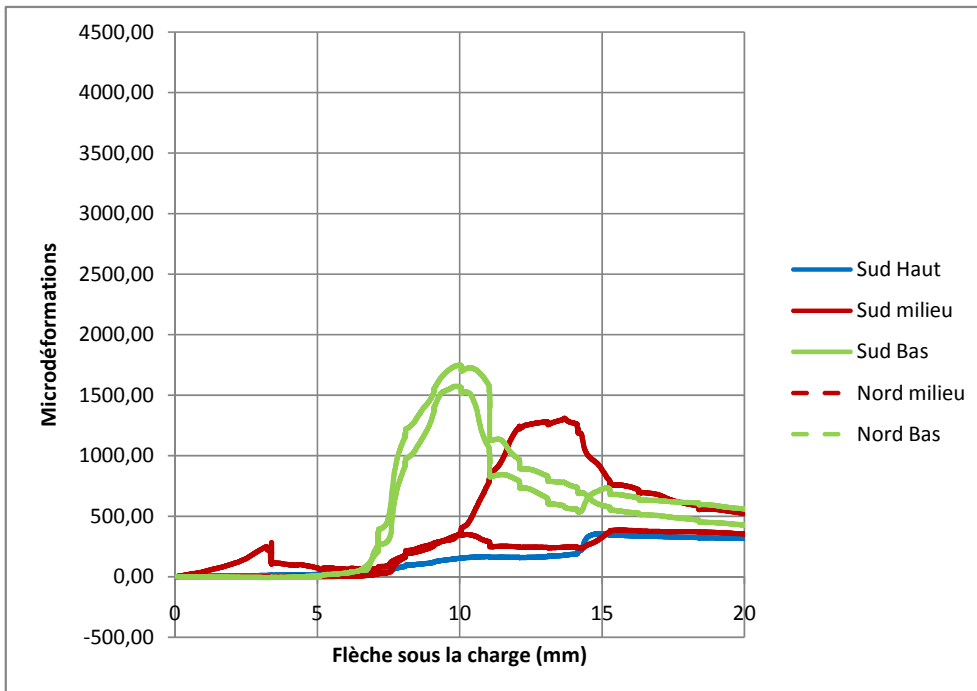


Figure 15 Déformation des jauges sur les barres de renforcement #2 de la dalle 1Ba

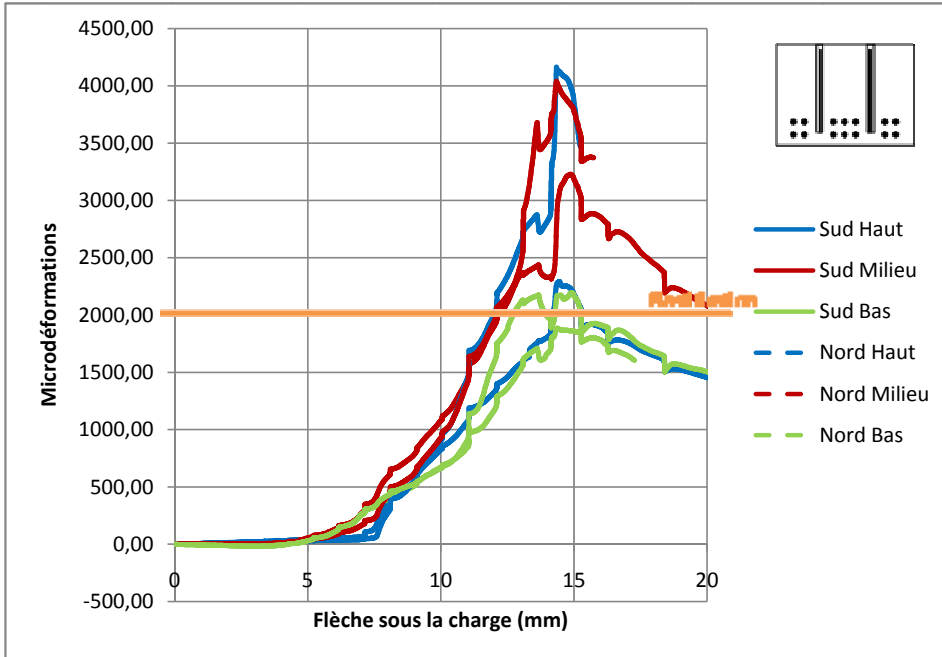


Figure 16 Déformation des jauges sur les barres #3 de la dalle 1Ba



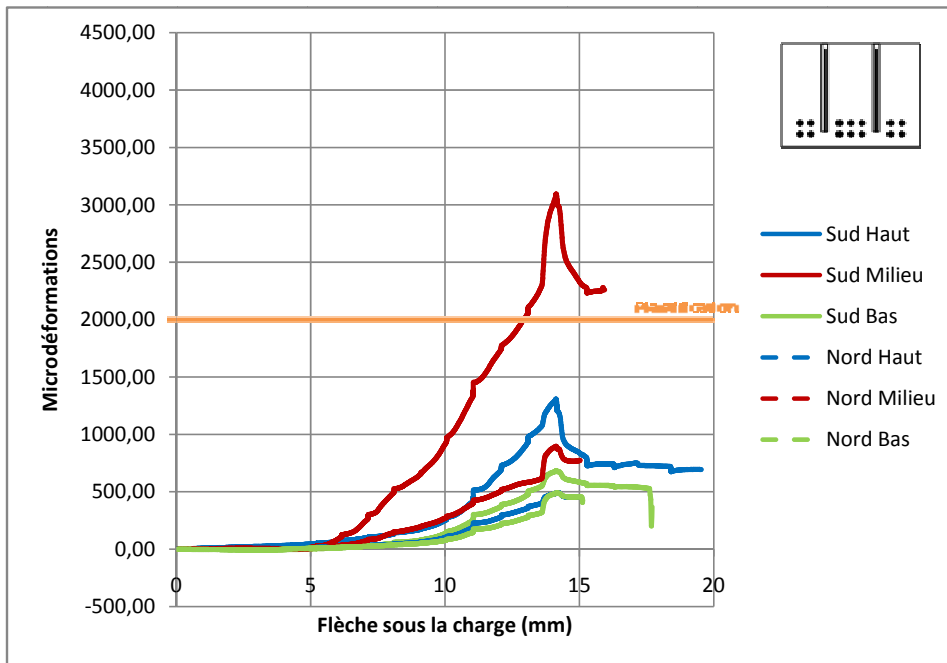


Figure 17 Déformation des jauges sur les barres #4 de la dalle 1Ba

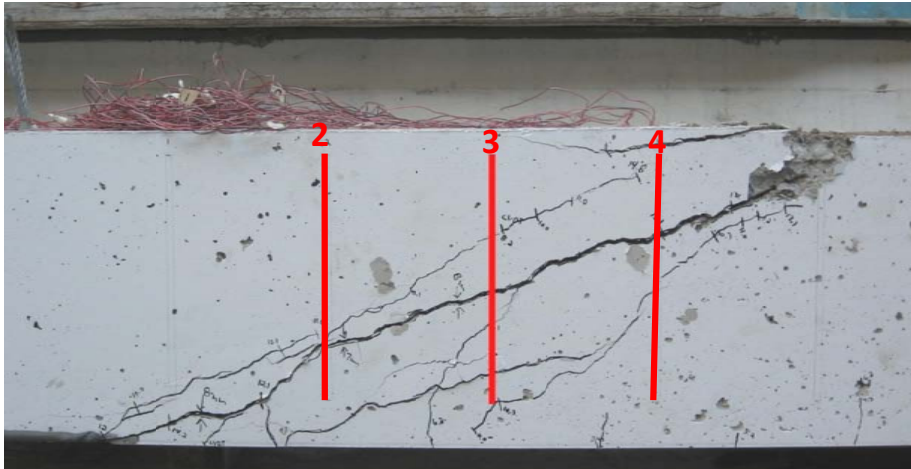


Figure 18 Position des barres de renforcement #2,3 et 4 de la dalle 1Ba, face sud

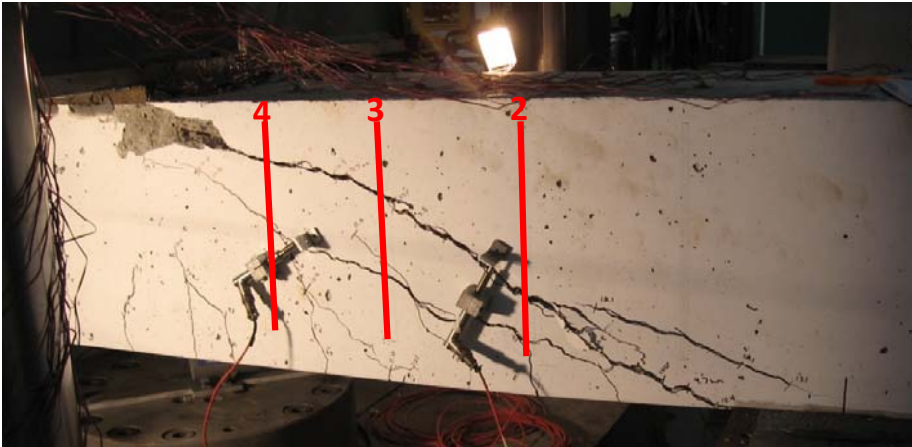


Figure 19 Position des barres de cisailage #2, 3 et 4 de la dalle 1Ba, face nord

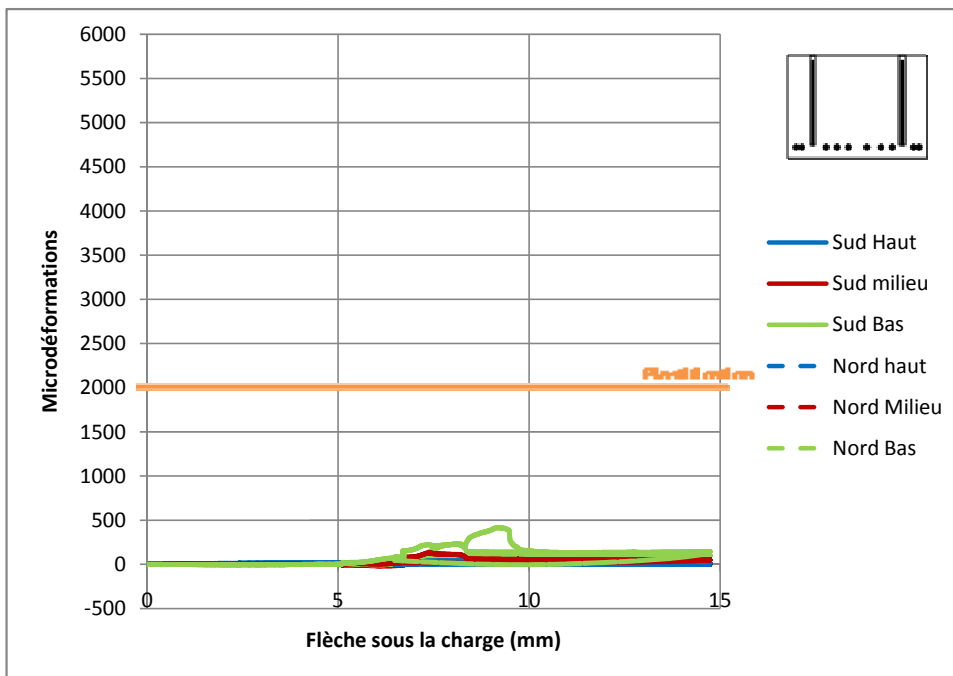


Figure 20 Déformation des jauges sur les barres de renforcement #2 de la dalle 2Ba

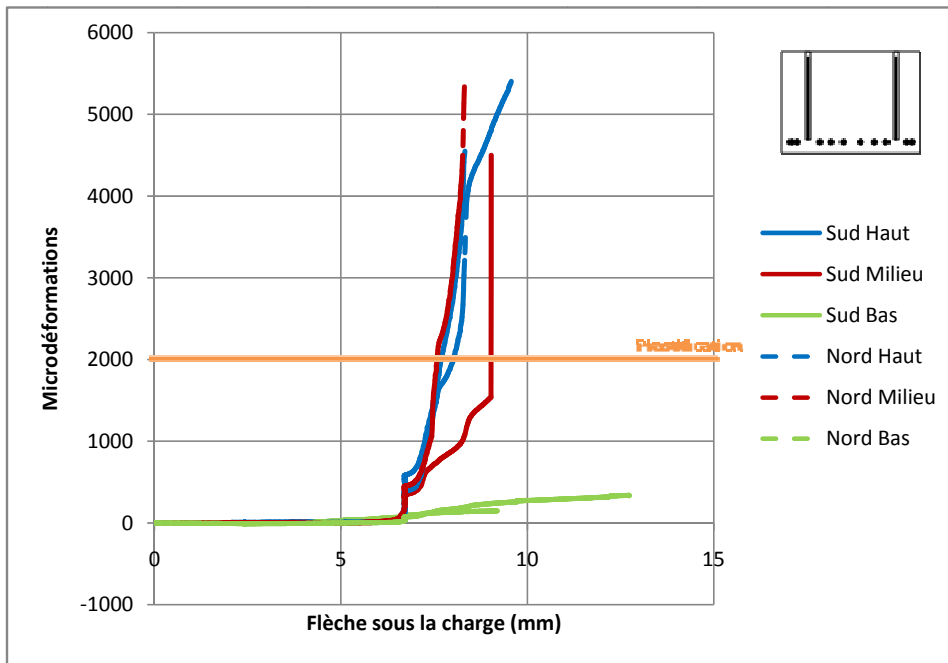


Figure 21 Déformation des jauges sur les barres de renforcement #3 de la dalle 2Ba

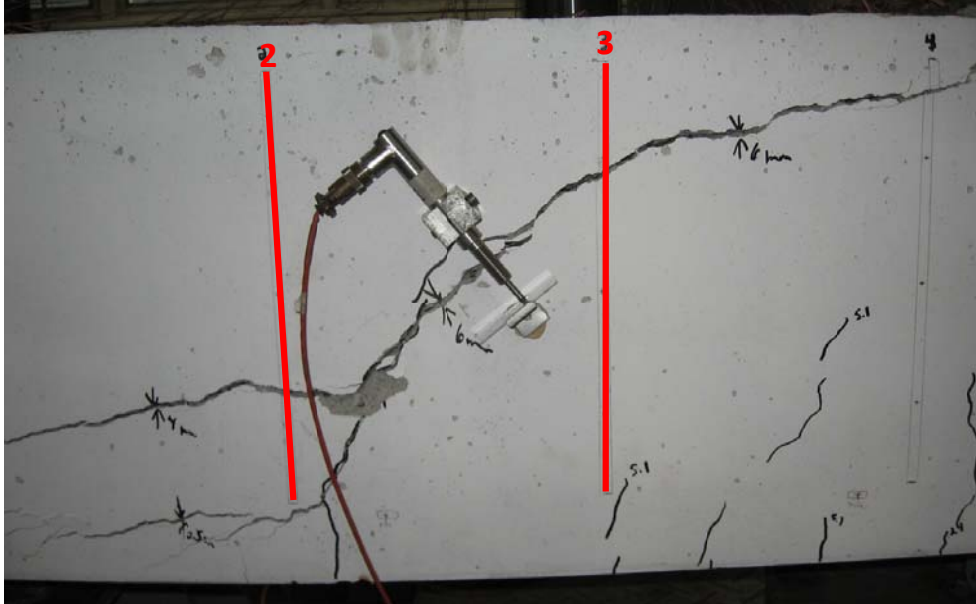


Figure 22 Position des barres de renforcement #2 et 3 de la dalle 2ba, face sud

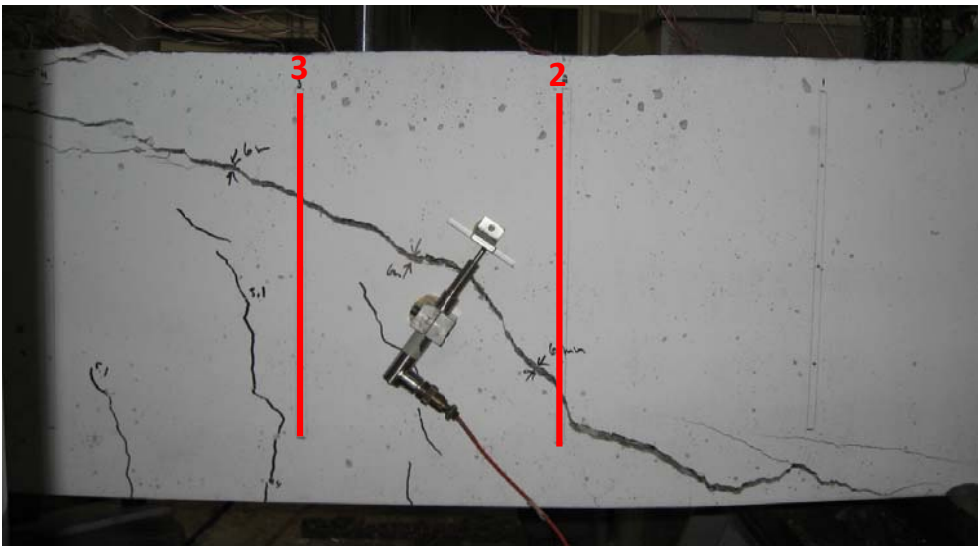


Figure 23 Position des barres de renforcement #2 et #3 de la dalle 2Ba, face nord

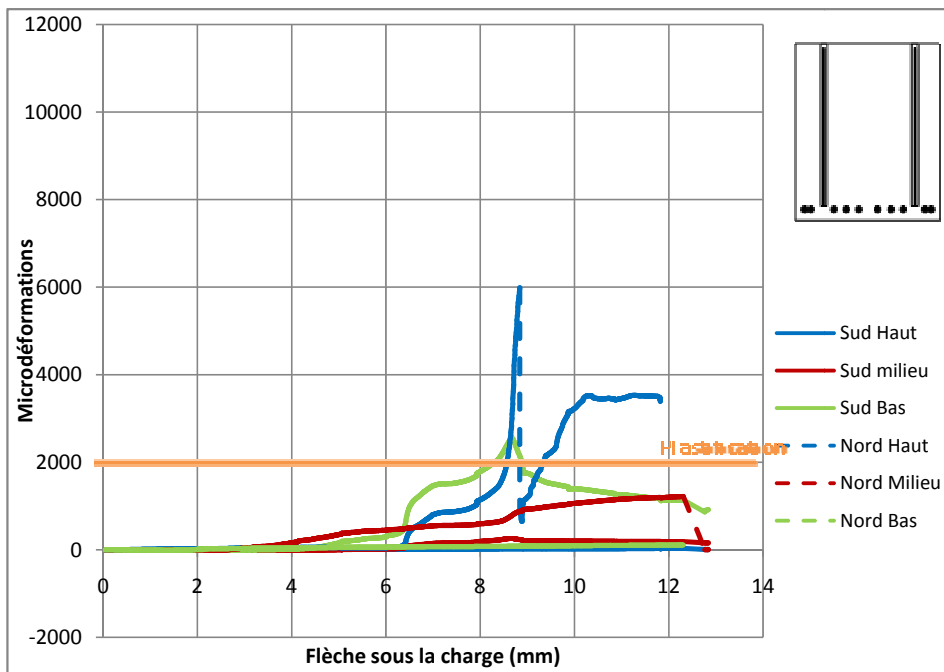


Figure 24 Déformation des jauges sur les barres de renforcement #2 de la dalle 3Ba

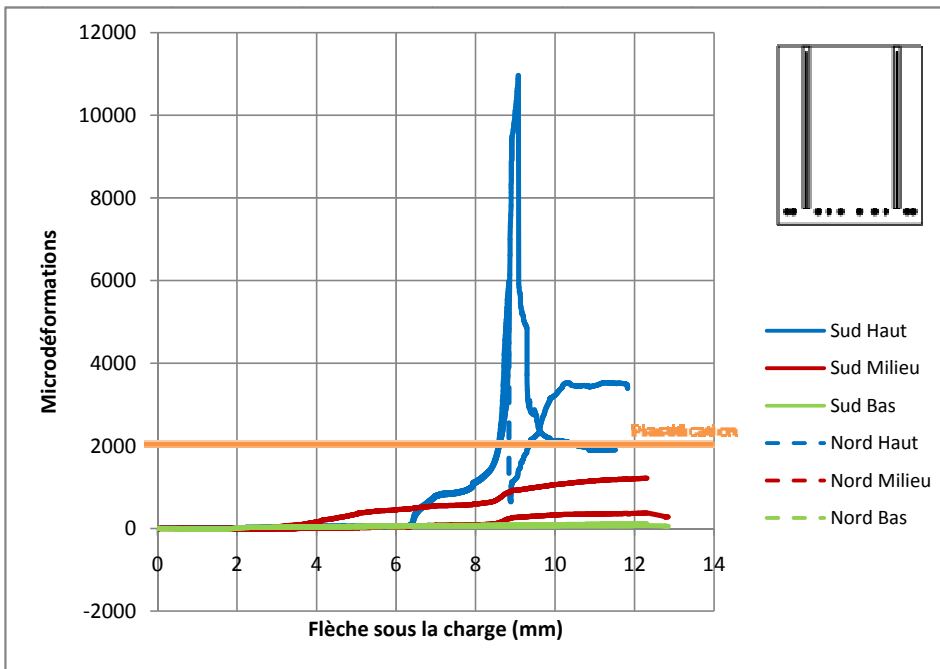


Figure 25 Déformation des jauges sur les barres de renforcement #3 de la dalle 3Ba

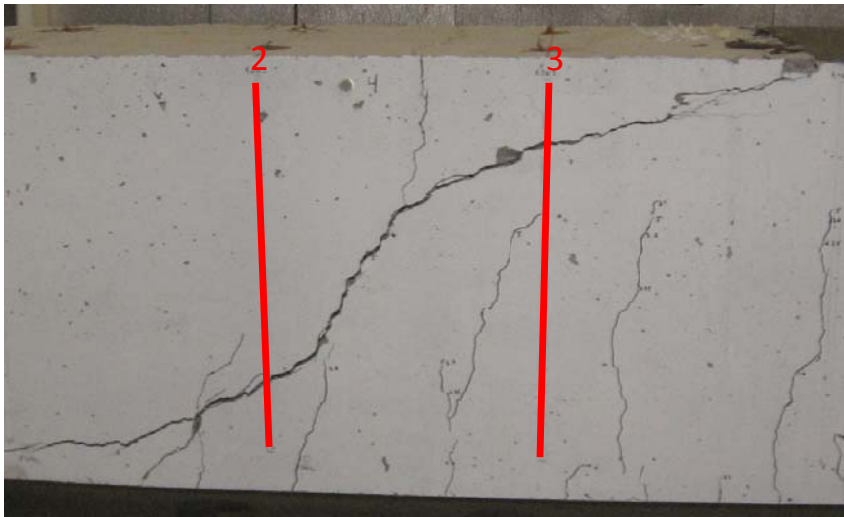


Figure 26 Position des barres de renforcement #2 et #3 de la dalle 3Ba, face sud



Figure 27 Position des barres de renforcement #2 et #3 sur la dalle 3Ba, face nord

### 3.5. Autopsie des dalles

À la suite des essais de chargement, une autopsie des certaines dalles de type 2B et 3B a été réalisée. Ces autopsies avaient pour but principal de qualifier le lien béton-époxy-barre. Également ces autopsies avaient pour but d'essayer de comprendre les résultats des essais sur dalle de type 2 pour lesquels peu de gain en résistance avaient été observé suite à l'introduction du renforcement en cisaillement. Il appert de mentionner ici, bien que cela va de soit, que ces autopsie ont été réalisés alors que les dalles ont été amenées à l'ultime.

De façon générale, il appert que le lien béton-époxy-barre est de qualité comme en font foi les figures 28 et 29. Sur cette dernière, on observe l'époxy en rouge, la protection de caoutchou de la jauge (en noir) puis enfin la jauge de déformation elle-même.

Les figures 30 et 31 examinent la face sud relative à l'essai 2Ba . On y observe bien la position des barres de renforcement de même que la fissuration principale ayant mené à la ruine de la dalle.

Mis en forme : Justifié



Figure 28 Adhésion béton-époxy-barre



Figure 29 Lien époxy-barre de renforcement



Figure 30 Essai 2Ba - Vue globale des barres de renforcement #2 et #3, face sud



Figure 31 Essai 2Ba - Barres de renforcement #2 et #3, face sud



L'examen de la figure 31 montre que la fissure principale semble avoir contourné l'extrémité inférieure de la barre no 2 tandis qu'elle a croisé la barre no 3 en son tiers supérieur. Il est possible de remarquer un décollement de l'époxy sur cette portion du tiers supérieur de la barre no 3 ce qui laisse supposer qu'il y a eu perte d'adhérence et possiblement glissement de l'ancrage de cette barre.

La figure 32 montre l'extrémité supérieure de l'empreinte d'une barre de renforcement de l'essai 3Ba. On y remarque le capuchon d'époxy puis l'empreinte de la barre de renforcement ce qui laisse supposer qu'il y a eu glissement de la barre à l'ultime.



**Figure 32 Essai 3Ba - Glissement d'une barre de renforcement**

## 4. Discussion et Conclusion

Les résultats présentés aux sections précédentes conduisent à différents commentaires et conclusions. Ceux-ci sont présentés aux paragraphes qui suivent.

L'examen du comportement global des dalles, en particulier les courbes charge-flèche, montrent que les deux essais de même type (a et b) démontrent des comportements très similaires ce qui conduit à conclure à la répétitivité des essais. Par ailleurs, pour les dalles de type 1 et 3 le renforcement en cisaillement permet d'atteindre une charge à la rupture d'environ 40% supérieur. Ce n'est pas le cas des dalles de type 2 pour lesquelles il n'y a pas eu de gain substantiel de la résistance à la rupture suite à l'introduction du renforcement en cisaillement.

Le tableau 2 ainsi que les schémas de fissuration informent sur les modes de ruptures. Les dalles non renforcées atteignent la rupture de façon soudaine sans que ne paraissent de signes annonciateurs de la rupture. En effet, quelques fissures de flexion apparaissent avant la rupture (voir annexe B) et l'apparition d'une seule fissure de cisaillement mène soudainement à la rupture.

Dans le cas des dalles renforcées de type 1, la rupture fait suite à l'apparition progressive de plusieurs fissures de cisaillement qui croisent deux à quatre barres de renforcement en cisaillement. Pour les dalles renforcées de type 2, la rupture fait plutôt suite à l'apparition soudaine d'une importante fissure de cisaillement. Cette fissure, depuis l'appui, longe l'armature de flexion pour ensuite remonter vers l'application de la charge. Pour les dalles de type 3, sollicitées à leur mi-portée, des fissures verticales de flexion paraissent d'abord progressivement puis celles-ci bifurquent vers la localisation de la charge. La rupture survient lorsque qu'une fissure horizontale partant de l'appui rejoint une importante fissure de cisaillement.

Ces dernières constatations laissent suggérer que la fissuration a tendance à se propager, depuis l'appui, entre l'armature de flexion et l'armature de cisaillement soit aux endroits où elle ne rencontre aucun obstacle. Ceci est en partie dû au fait qu'il n'y a pas de continuité entre l'armature de flexion et celle de cisaillement. En effet il n'y a pas l'effet de confinement usuel engendré par la cage formée par les armatures de renfort.

L'examen des déformations enregistrées sur les barres de renforcement en cisaillement donne également des informations intéressantes. De façon générale, les jauges à proximité des fissures montrent qu'il y a atteinte de la plastification localisée des armatures dans ces régions. Encore une fois, cela laisse supposer que l'ancrage des barres était efficace à ce moment. Par ailleurs, les informations de la section 3.5 laissent croire que la rupture finale est accompagnée d'un glissement de certaines barres de renforcement.

De façon détaillée, pour l'essai 1Ba, la fissure de cisaillement principale croise les barres #2, 3, 4. Les figures 16 et 17 montrent que les barres #3 et 4 ont été sollicitées au-delà de leur limite

d'élasticité en cours d'essai. En ce qui concerne l'essai 2Ba, les jauges de la barre #2 ne semblent pas avoir détecté la présence de la fissure. Cela peut être dû à un mal fonctionnement des jauges ou encore, au fait que la fissure a, en partie, contourné la barre. Par ailleurs, la barre #3 a enregistré des déformations très importantes, bien au-delà de la limite de plasticité des barres. L'arrêt de l'enregistrement des déformations survient avec la rupture de la dalle à une flèche d'environ 8mm (figure 11) et survient, selon toute probabilité avec un glissement de la barre #3 (voir section 3.5, décollement de l'époxy).

En ce qui concerne l'essai 3Ba, les mesures montrent que les jauges ont enregistrées des déformations (en partie supérieure pour la barre #3 et en partie inférieure pour la barre #2) jusqu'à une flèche d'environ 9mm. Par la suite, les jauges situées au centre de ces barres ont également mesuré des déformations au-delà de la limite élastique des barres. Finalement la fin des enregistrements survient au environ de 12 mm de flèche (figure 12) et survient, selon toute probabilité, avec un glissement de la barre #3 (voir section 3.5, empreinte)

Les différentes informations recueillies et présentées à la section 3 du présent document semblent cohérentes. De façon générale, suite à une plastification, la rupture finale survient par glissement d'une ou plusieurs barres de renforcement ce qui est un comportement attendu. Par ailleurs, étant donné l'absence de crochet des barres de renforcement et, par conséquent, du niveau de confinement inférieur du béton par rapport aux pratiques usuelles, la charge maximale attendue à l'ultime en cours d'essai est nettement inférieure aux chargements théoriques calculés (voir tableaux 1, 2 et 3).