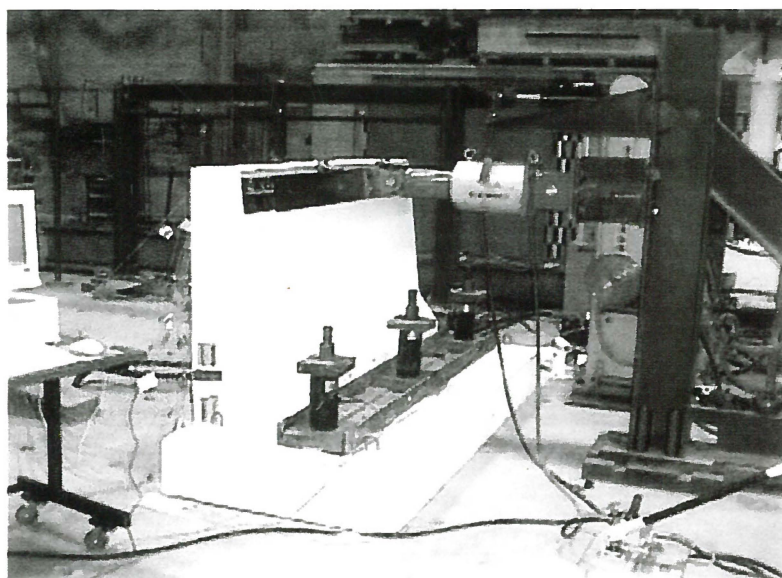


CHAIRE DE RECHERCHE DU CRSNG SUR LE RENFORCEMENT EN MATÉRIAUX COMPOSITES POUR LES STRUCTURES EN BÉTON

Contrat : 1220-99-BD05

CONCEPTION DE GLISSIÈRES DE BÉTON DE TYPES PL2 ET PL3 RENFORCÉES AVEC DE L'ARMATURE EN MATÉRIAUX COMPOSITES

RAPPORT FINAL (Phase II)



Préparé par :

R. Masmoudi, F. Brière, B. Tighiouart et B. Benmokrane

ISIS-Sherbrooke, Département de génie civil, Faculté de génie

Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, J1K 2R1

Tél. : (819) 821-7758

Fax. : (819) 821-7974

E-mail: bbenmokrane@andrew.sca.usherb.ca



ISIS CANADA

The canadian Network of Centres of Excellence on Intelligent Sensing for Innovative Structures

Le réseau canadien de Centres d'excellence sur les innovations en structures avec système de détection intégré

CANQ
US
196
V.2

2001

© Benmokrane et al.

Préambule

Dans le cadre des contrats de recherches 1220-98-BD03 et 1220-99-BD05 entre le ministère des Transports du Québec, Pultrall inc., et l'Université de Sherbrooke, des glissières de ponts en béton armées de barres en matériaux composites en fibre de verre sont soumises à des essais statiques et leur comportement est évalué et comparé à celui des glissières conventionnelles armées avec des barres en acier.

Le rapport d'étape No.1 (Février 1999, Phase I) a porté sur une étude théorique des capacités ultimes des glissières de types PL2 et PL3. Différents cas de design ont été considérés pour les glissières armées avec de l'armature en matériaux composites en fibres de verre (Isorod).

Le rapport d'étape No.2 (Juin 1999, Phase I) a porté sur les résultats de la première série d'essais constituée de quatre glissières (2 PL2 et 2 PL3). Lors des essais de chargement statique sur ces quatre glissières, nous avons observé que la rupture se faisait dans la dalle. Pour éviter ce mode de rupture, nous avons procédé à la fabrication d'une deuxième série de quatre glissières identiques à celles de la première série, en apportant des modifications qui ont permis d'obtenir un mode de rupture dans les murs des glissières et non dans les dalles.

Le rapport d'étape No.3 (Octobre 1999, Phase I) a porté sur les résultats de la deuxième série d'essais, composée de deux glissières de type PL2 (dont une armée avec l'acier, PL2-AC2 et l'autre armée avec l'armature en matériaux composites ISOROD, PL2-IS2) et deux autres glissières de type PL3 (dont une armée avec l'acier, PL3-AC2 et l'autre armée avec l'armature ISOROD, PL3-IS2). Les résultats de cette deuxième série ont montré que le comportement statique des glissières de type PL2 armées à l'aide d'armature en matériaux composites (ISOROD) est similaire à celui des glissières conventionnelles de type PL2. La capacité ultime de la glissière PL3-IS2 a été réduite due à une rupture prématurée des barres ISOROD de type P1. Cette rupture prématurée était due à un mauvais contrôle de qualité d'un lot d'armature Isorod en particulier. Une nouvelle barre d'armature ISOROD de diamètre 20 mm a été conçue et livrée au laboratoire pour la fabrication de deux nouvelles glissières de type PL3-IS ayant des *design* différents.

0102
GAP
JS
196
4.2

Le rapport final (Février 2000, *Phase I du projet de recherche: glissières mixtes acier/composite*) a porté sur les résultats d'essais sur ces deux glissières ainsi qu'une synthèse de tous les essais statiques effectués sur des glissières mixtes acier/composite. Dans ce rapport final de la Phase I, des design pour les glissières de types PL2 et PL3 armées à l'aide d'armature en matériaux composites (Isorod) pour les types d'armature D1, P1 et horizontal et en acier pour le type D2, ont été proposés. Ces design garantissent un comportement statique semblable à celui des glissières conventionnelles de types PL2 et PL3.

Le rapport d'étape no.1 (*Phase II du projet de recherche: glissières armées entièrement de barres en matériaux composites*) a porté sur les résultats d'essais d'une glissière de type PL2 armée avec des barres en matériaux composites (Armature C-BAR) espacées de 100 mm. Les résultats obtenus sur cette glissière ont été comparés à ceux des glissières de la phase I. Les résultats obtenus ont été concluants pour permettre la suite d'une série d'essais composée de deux glissières de type PL2 et de trois autres de types PL3 armées entièrement de barres en matériaux composites, incluant l'armature de liaison dalle/mur de la glissière (armature de type D2).

Le présent rapport final de la Phase II présente les résultats d'essais effectués sur les glissières de types PL2 et PL3 armées entièrement de barres composites, incluant une comparaison à ceux présentés dans le rapport final de la Phase I.

TABLE DES MATIÈRES

1.	INTRODUCTION.....	1
1.1	Travaux réalisés dans la Phase I (contrat no 1220-98-BD03).....	2
1.2	Travaux réalisés dans la Phase II (contrat no 1220-99-BD05).....	3
2.	FABRICATION ET INSTRUMENTATION DES GLISSIÈRES ET PROCÉDURE D'ESSAIS DE LA DEUXIEME SÉRIE.....	4
3.	PRÉSENTATION ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS D'ESSAIS DE CHARGEMENT STATIQUE SUR LES GLISSIÈRES DE LA PHASE II.....	5
3.1	Capacité ultime et mode de rupture.....	5
3.1.1.	Glissières de type PL2.....	5
3.1.2.	Glissières de type PL3.....	6
3.2	Déformation de l'armature de type D2.....	7
3.2.1.	Glissières de type PL2.....	7
3.2.2.	Glissières de type PL3.....	7
3.3	Déformation des armatures de types P1	7
3.3.1.	Glissières de type PL2.....	7
3.3.2.	Glissières de type PL3.....	7
3.4	Déformation de l'armature horizontale.....	8
3.4.1.	Glissières de types PL2.....	8
3.4.2.	Glissières de type PL3.....	8
3.5	Déplacements horizontaux.....	8
3.5.1.	Glissières de type PL2.....	8
3.5.2.	Glissières de type PL3.....	8

3.6 Distribution des déformations dans l'armature de type D2.....	8
3.6.1. Glissières de type PL2.....	8
3.6.2. Glissières de type PL3.....	9
3.7 Distribution des déformations dans l'armature de type P1	9
3.7.1. Glissières de type PL2.....	9
3.7.2. Glissières de type PL3.....	9
3.8. Distribution des déformations dans l'armature de type D1.....	10
3.8.1.Glissières de type PL2.....	10
3.8.2.Glissières de type PL3.....	10
CONCLUSION.....	10
REMERCIEMENTS.....	10
RÉFÉRENCES.....	12

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Détails d'armature des glissières testées dans le cadre de ce projet de recherche.....	14
Tableau 2.1	Propriétés mécaniques en traction des barres d'armature utilisées.....	15
Tableau 3.1	Capacités ultimes des glissières PL2-AC2, PL2-IS2, PL2-CB2 et PL2-CB3 (glissières de type PL2).....	16
Tableau 3.2	Capacités ultimes des glissières PL3-AC2, PL3-IS3, PL3-CB1, PL3-CB2 et PL3-CB3 (glissières de type PL3).....	17

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1	Détails géométriques et de renforcement d'une glissière conventionnelle de type PL2.....	18
Figure 2.2	Détails géométriques et de renforcement de la glissière PL2-CB1.....	19
Figure 2.3	Détails géométriques et de renforcement de la glissière PL2-CB2	20
Figure 2.4	...Détails géométriques et de renforcement de la glissière PL2-CB3.....	21
Figure 2.5	Détails géométriques et de renforcement d'une glissière conventionnelle de type PL3.....	22
Figure 2.6	Détails géométriques et de renforcement de la glissière PL3-CB1.....	23
Figure 2.7	Détails géométriques et de renforcement de la glissière PL3-CB2.....	24
Figure 2.8	Détails géométriques et de renforcement de la glissière PL3-CB3.....	25
Figure 2.9	Vue des armatures de la glissière PL2-CB1 après coulage du béton de la dalle.....	26
Figure 2.10	Vue rapprochée de l'armature de la glissière PL2-CB1.....	26
Figure 2.11	Vue des armatures de la glissière PL2-CB2 après coulage du béton de la dalle.....	27
Figure 2.12	Vue rapprochée des armatures de la glissière PL2-CB2.....	27
Figure 2.13	Vue des armatures de la glissière PL2-CB3 après coulage du béton de la dalle.....	28
Figure 2.14	Vue rapprochée des armatures de la glissière PL2-CB3.....	28
Figure 2.15	Vue des armatures de la glissière PL3-CB1 après coulage du béton de la dalle.....	29
Figure 2.16	Vue rapprochée des armatures de la glissière PL3-CB1.....	29
Figure 2.17	Vue des armatures de la glissière PL3-CB2 après coulage du béton de la dalle.....	30
Figure 2.18	Vue rapprochée des armatures de la glissière PL3-CB2.....	30
Figure 2.19	Vue des armatures de la glissière PL3-CB3 après coulage du béton de la dalle.....	31
Figure 2.20	Vue rapprochée des armatures de la glissière PL3-CB3.....	31

Figure 2.21	Vue du montage expérimental et des barres pliées en matériaux composites utilisés pour les glissières de type PL2.....	32
Figure 2.22	Vue du montage expérimental et des barres pliées en matériaux composites utilisés pour les glissières de type PL3.....	32
Figure 3.1	Vue montrant la première fissure développée au rayon de courbure lors de l'essai de chargement sur les glissières de type PL2.....	33
Figure 3.2	Réseau de fissuration et mode de rupture de la glissière PL2-CB1.....	33
Figure 3.3	Réseau de fissuration et mode de rupture de la glissière PL2-CB2.....	34
Figure 3.4	Vue rapprochée du mode de rupture type par cisaillement/compression (glissière PL2-CB2).....	35
Figure 3.5	Réseau de fissuration et mode rupture de la glissière PL2-CB3.....	36
Figure 3.6	Vue rapprochée du mode de rupture (cisaillement/compression) de la glissière PL2-CB3.....	36
Figure 3.7	Réseau de fissuration et mode rupture par compression de la face arrière du mur de la glissière PL2-CB3.....	37
Figure 3.8	Vue montrant la première fissure développée au rayon de courbure lors de l'essai de chargement sur les glissières de type PL3.....	37
Figure 3.9	Réseau de fissuration et mode rupture de la glissière PL3-CB1.....	38
Figure 3.10	Réseau de fissuration et mode rupture de la glissière PL3-CB2.....	38
Figure 3.11	Réseau de fissuration et mode rupture de la glissière PL3-CB3.....	39
Figure 3.12	Vue rapprochée du mode de rupture (cisaillement/compression) de la glissière PL3-CB3.....	39
Figure 3.13	Comparaison du comportement de l'armature de type D2 à l'interface glissière-dalle (Glissières de type PL2).....	40
Figure 3.14	Comparaison du comportement de l'armature de type D2 à l'interface-dalle (Glissières de type PL3).....	40
Figure 3.15	Comparaison du comportement de l'armature de type P1 au niveau 330 mm (Glissières de type PL2).....	41
Figure 3.16	Comparaison du comportement de l'armature de type P1 au niveau 565 mm (Glissières de type PL2).....	41

Figure 3.17	Comparaison du comportement de l'armature de type P1 au niveau 330 mm (Glissières de type PL3).....	42
Figure 3.18	Comparaison du comportement de l'armature de type P1 au niveau 565 mm (Glissières de type PL3).....	42
Figure 3.19	Comparaison des déformations du béton sur la face arrière au niveau 330 mm (Glissières de type PL2).....	43
Figure 3.20	Comparaison des déformations du béton sur la face arrière au niveau 60 mm (Glissières de type PL2).....	43
Figure 3.21	Comparaison des déformations du béton sur la face arrière au niveau 330 (Glissières de type PL3).....	44
Figure 3.22	Comparaison des déformations du béton sur la face arrière au niveau 60 mm (Glissières de type PL2).....	44
Figure 3.23	Comparaison des déplacements horizontaux (Glissières de type PL2).....	45
Figure 3.24	Comparaison des déplacements horizontaux (Glissières de type PL3).....	45
Figure 3.25	Distribution des déformations le long de l'armature en matériaux composites de type D2 (Glissière PL2-CB2).....	46
Figure 3.26	Distribution des déformations le long de l'armature en matériaux composites de type D2 (Glissière PL2-CB3).....	46
Figure 3.27	Distribution des déformations le long de l'armature en matériaux composites de type D2 (Glissière PL3-CB2).....	47
Figure 3.28	Distribution des déformations le long de l'armature en matériaux composites de type D2 (Glissière PL3-CB3).....	47
Figure 3.29	Distribution des déformations le long de l'armature en matériaux composites de type P1 (Glissière PL2-CB2).....	48
Figure 3.30	Distribution des déformations le long de l'armature en matériaux composites de type P1 (Glissière PL2-CB3).....	48
Figure 3.31	Distribution des déformations le long de l'armature en matériaux composites de type P1 (glissière PL3-CB2).....	49
Figure 3.32	Distribution des déformations le long de l'armature en matériaux composites de type P1 (Glissière PL3-CB3).....	49

Figure 3.33	Distribution des déformations le long de l'armature en matériaux composites de type D1 (Glissière PL2-CB2).....	50
Figure 3.34	Distribution des déformations le long de l'armature en matériaux composites de type D1 (Glissière PL2-CB3).....	50
Figure 3.35	Distribution des déformations le long de l'armature en matériaux composites de type D1 (Glissière PL3-CB2).....	51
Figure 3.36	Distribution des déformations le long de l'armature en matériaux composites de type D1 (Glissière PL3-CB3).....	51

1. INTRODUCTION

Les glissières de béton sont soumises à des conditions environnementales très agressives (sels de déverglaçage, gel-dégel, séchage-mouillage, etc.). Ces conditions environnementales induisent, à plus ou moins long terme, la corrosion de l'armature d'acier et, de ce fait, la fissuration et l'éclatement du béton. Dans le cadre de ce projet, il est proposé l'utilisation d'une armature en matériaux composites en polymères renforcés de fibres (PRF) pour éliminer ce problème. Le remplacement de l'armature d'acier par une armature en matériaux composites permettra de concevoir des glissières très durables comparativement aux glissières conventionnelles [1-2]. La conception et la sélection des glissières en béton est basée sur un indice d'exposition qui dépend des conditions d'opération ainsi que sur l'environnement de la structure. Un niveau de performance (PL-1,2,3) minimum requis est établi ayant comme caractéristique une hauteur minimum à respecter [3]. De plus, la nouvelle norme canadienne du CHBDC "Canadian Highway Bridge Design Code" qui est entré en vigueur au cours de cette année a modifié les dispositions du code concernant les glissières pour les ponts.

Ce projet de recherche, entre le ministère des Transports du Québec (Direction des structures), Pultrall Inc. et l'Université de Sherbrooke, est constitué des quatre Phases suivantes :

- Phase I : Essais de chargement statique sur les glissières de types PL2 et PL3 armées de barres en acier et de barres en matériaux composites ISOROD avec l'armature de liaison dalle/mur de type D2 en acier.
- Phase II : Essais de chargement statique sur des glissières de types PL2 et PL3 armées entièrement avec de l'armature en matériaux composites incluant l'armature de liaison dalle/mur de type D2.
- Phase III : Essais d'impact par pendule sur des glissières de types PL2 et PL3 à grande échelle.
- Phase IV : Mise en application sur des ponts routiers.

1.1 Travaux réalisés dans la Phase I (Contrat No. 1220-98-BD03)

La première série d'essais réalisés sur les glissières PL2-AC1, PL2-IS1, PL3-AC1 et PL3-IS1 (Rapport d'étape No.2, [5]) a permis de conclure que la capacité ultime des quatre glissières a été limitée par la rupture en traction du béton de la dalle. Une vérification du design de l'armature de la dalle a été effectuée selon la norme AASHTO donnant lieu à une augmentation de l'armature transversale de la dalle. De plus, deux cornières métalliques ont été utilisées afin de confiner le béton en compression et éviter ainsi sa rupture en traction. Les résultats de la deuxième série d'essais statiques (Glissières PL2-AC2, PL2-IS2, PL3-AC2 et PL3-IS2) ont montré que les modifications apportées ont permis d'éviter le mode de rupture par traction du béton de la dalle, observé lors des essais de la première série. Aucune dalle, parmi les quatre glissières testées, n'a subi de dommage ni de fissuration. Les quatre glissières ont été amenées jusqu'à la rupture des murs. Par ailleurs, les résultats de cette deuxième série (Rapport d'étape No.3, [6]) ont montré que le comportement statique des glissières de type PL2 armées à l'aide d'armature en matériaux composites (ISOROD) est identique à celui des glissières conventionnelles de type PL2. Cependant, la capacité ultime de la glissière PL3-IS2 a été réduite, due à une rupture prématurée des barres ISOROD de type P1. Cette rupture prématurée est due à un mauvais contrôle de qualité d'un lot en particulier de barres ISOROD. Une nouvelle barre ISOROD de diamètre 20 mm a été par la suite conçue et livrée au laboratoire pour la fabrication d'une nouvelle glissière PL3-IS3. Aussi, comme il est souvent recommandé dans le domaine des matériaux composites pour le béton d'utiliser des barres de petits diamètres et avec des espacements plus courts, nous avons procédé à la fabrication et à la mise en essai d'une quatrième glissière PL3-IS4 en utilisant des barres ISOROD de diamètre 15 mm partout et un espacement de 100 mm au lieu de 200 mm pour les armatures de types P1 et D1. Le rapport final de la Phase I [7] a porté, quant à lui, sur les résultats d'essais sur ces deux glissières (PL3-IS3 et PL3-IS4) et sur la base des résultats obtenus dans le cadre de ce projet, des design ont été proposés pour les glissières de types PL2 et PL3 armées à l'aide d'armature en matériaux composites (ISOROD), en vue de leur utilisation dans les ponts autoroutiers en béton au Québec. Ces design garantissent un comportement statique semblable à celui des glissières conventionnelles de types PL2 et PL3 et des capacités ultimes statiques équivalentes à celles des glissières conventionnelles.

1.2 Phase II du projet de recherche (Contrat No. 1220-99-BD05)

La Phase II de ce projet de recherche porte sur l'évaluation du comportement statique des glissières de types PL2 et PL3 armées entièrement de barres en matériaux composites incluant l'armature de type D2, qui assure la liaison entre la dalle et le mur de la glissière.

Le rapport d'étape de la Phase II [8] a porté sur les résultats d'essais de chargement statique de la glissière PL2-CB1. Notons que pour cette glissière, les armatures de types D1, D2 et P1 sont des barres en matériaux composites courbées, connues sous le nom commercial C-BARTM produites par la compagnie Marshall Industries Composites Inc. (Lima, Ohio, USA) alors que l'armature horizontale est constituée de barres en matériaux composites de type ISOROD, fournies par la compagnie Pultrall Inc., (Thetford Mines, Québec). Aussi dans ce rapport d'étape [8], les résultats de l'essai réalisé sur cette glissière (PL2-CB1) sont comparés à ceux obtenus pour les glissières PL2-AC2 et PL2-IS2. Les résultats de cet essai ont été concluants pour permettre la mise en place d'une série d'essais composée de deux glissières de type PL2 (PL2-CB2 et PL2-CB3) et de trois autres de type PL3 (PL3-CB1, PL3-CB2 et PL3-CB3) armées entièrement de barres en matériaux composites (armatures droites et courbées). Le tableau 1 résume l'ensemble des glissières testées au cours des phases I et II de ce projet de recherche.

Ce rapport final présente les résultats d'essais de chargement statique sur les glissières PL2-CB1, PL2-CB2, PL2-CB3 et PL3-CB1, PL3-CB2, PL3-CB3. Ces résultats sont comparés à ceux des glissières PL2-AC2, PL2-IS2 et PL3-AC2, PL3-IS3, respectivement.

2. FABRICATION ET INSTRUMENTATION DES GLISSIÈRES ET PROCÉDURE D'ESSAIS

La fabrication et l'instrumentation des six glissières de la Phase II ont été identiques à celles des glissières de la Phase I du projet de recherche. La procédure de fabrication des glissières et l'instrumentation des barres d'armature et du béton ont été décrites dans le rapport d'étape N°2 de la Phase I [5] soumis au Ministère des Transports du Québec, Division des Structures.

Le tableau 2.1 présente les propriétés mécaniques en traction des barres d'armature utilisées pour la fabrication des glissières (armature en acier et armatures en matériaux composites à base de fibres de verre ISOROD et C-BAR).

Les figures 2.1 à 2.4 présentent les détails de renforcement (diamètres et formes géométriques des armatures et espacements entre les armatures) des glissières PL2-AC2, PL2-CB1, PL2-CB2 et PL2-CB3, respectivement, alors que les figures 2.5 à 2.8 présentent les détails de renforcement des glissières PL3-AC1, PL3-CB1, PL3-CB2 et PL3-CB3, respectivement. On peut distinguer l'armature horizontale droite et les armatures verticales pliées (courbes) de types P1, D1 et D2. Ces deux types de glissières en béton (Types PL2 et PL3) pour les ponts ont été conçues conformément au nouveau Code canadien pour le calcul des ponts autoroutiers (CHBDC, 2000).

Les figures 2.9 à 2.20 montrent des vues de disposition des armatures en matériaux composites dans les murs de six glissières de types PL2 et PL3 ayant fait l'objet de la Phase II du projet de recherche.

Les figures 2.21 et 2.22 montrent des vues du montage expérimental utilisé pour les essais de chargement statique sur les glissières de types PL2 et PL3, respectivement. Ces 2 figures montrent également les armatures courbes en matériaux composites de types P1, D1 et D2 utilisés pour les glissières de types PL2 et PL3. Le montage expérimental utilisé pour les essais de chargement effectués dans la Phase II de ce projet de recherche est analogue à celui utilisé lors des essais réalisés dans la Phase I du projet.

3. PRÉSENTATION ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS D'ESSAIS DE CHARGEMENT STATIQUE SUR LES GLISSIÈRES DE LA PHASE II

Cette section présente les résultats d'essais de chargement statique effectués sur les six glissières de la Phase II. Ces résultats sont aussi comparés à ceux obtenus lors des essais effectués dans la Phase I du projet.

3.1 Capacité ultime et mode de rupture

3.1.1 Glissières de type PL2

Le tableau 3.1 présente les charges de plastification de l'armature de type D2, les charges maximales enregistrées (les moments maximums correspondants, au niveau de l'interface dalle/mur) et les niveaux de déformation dans l'armature de type P1 correspondant à ces charges maximales enregistrées, pour les glissières PL2-AC2, PL2-IS2, PL2-CB1, PL2-CB2, et PL2-CB3.

Le tableau 3.1 montre que les charges de plastification de l'armature d'acier D2 des glissières PL2-AC2 et PL2-IS2 sont égales. La charge maximale enregistrée de la glissière PL2-CB3 (277 kN.m) est environ égale à 87% celle de la glissière PL2-AC2 (318 kN.m). Les glissières PL2-CB2 et PL2-CB3 armées entièrement de barres en matériaux composites C-BAR et ISOROD respectivement, présentent des capacités statiques semblables. Il est à noter que les détails de l'armature (diamètres et espacements) dans ces glissières sont identiques à ceux du design conventionnel.

Les niveaux de déformations de l'armature de type P1 au voisinage du rayon de courbure de la glissière, correspondant à la charge maximale enregistrée, sont : 3000 $\mu\epsilon$ pour PL2-AC2 (plastification), 3700 $\mu\epsilon$ pour PL2-IS2, 1800 $\mu\epsilon$ pour PL2-CB1, 6700 $\mu\epsilon$ pour PL2-CB2, et 6300 $\mu\epsilon$ pour PL2-CB3. Ces valeurs indiquent que l'armature en matériaux composites de type P1 (glissières PL2-CB2 et PL2-CB3) est sollicitée, au niveau du rayon de courbure et à l'état ultime de la glissière, à environ 30 à 40 % de sa résistance à la traction. Notons le niveau, relativement faible, de la déformation de l'armature de type P1 (1800 $\mu\epsilon$) de la glissière PL2-CB1. Ceci est principalement dû au pourcentage d'armature, qui est deux fois plus élevé que ceux des glissières PL2-CB2 et PL2-CB3, pour les armatures D1, D2 et P1.

Il est à noter que lors des essais de chargement, la première fissure s'est toujours développée au rayon de courbure du mur de la glissière comme le montre un exemple type illustré à la figure 3.1.

En général, la rupture des glissières s'est produite par cisaillement/compression du béton du mur de la glissière, comme montré par les figures 3.2 à 3.7 pour les trois glissières de type PL2 qui ont été testées.

3.1.2 Glissières de type PL3

Le tableau 3.2 présente les charges de plastification de l'armature de type D2, les charges maximales enregistrées (les moments maximums correspondants, au niveau de l'interface dalle/mur) et les niveaux de déformation dans l'armature de type P1 correspondant à ces charges maximales enregistrées, pour les glissières PL3-AC2, PL3-IS3, PL3-CB1, PL3-CB2, et PL3-CB3.

Le tableau 3.2 montre que la charge maximale enregistrée de la glissière PL3-CB3 (324 kN.m) est environ égale à 85 % celle de la glissière PL3-AC2 (379 kN.m). Une erreur du logiciel d'acquisition de données a limité l'enregistrement des résultats à une charge de 243 kN (250 kN.m) pour la glissière PL3-CB2. Cependant, la charge maximale enregistrée pour cet essai était de l'ordre de 338 kN (348 kN.m). Les glissières PL3-CB2 et PL3-CB3 armées entièrement de barres en matériaux composites C-BAR et ISOROD respectivement, présentent des capacités statiques semblables. Rappelons que les diamètres et les espacements dans ces glissières sont identiques au design conventionnel.

Les niveaux de déformations de l'armature de type P1 au voisinage du rayon de courbure de la glissière, correspondant à la charge maximale enregistrée, sont : 2200 $\mu\epsilon$ pour PL3-AC2 (début de plastification), 5400 $\mu\epsilon$ pour PL3-IS3, 3400 $\mu\epsilon$ pour PL3-CB1, 5400 $\mu\epsilon$ pour PL3-CB2, et 5300 $\mu\epsilon$ pour PL3-CB3. Ces valeurs indiquent que l'armature en matériaux composites de type P1 (glissières PL3-CB2 et PL3-CB3) est sollicitée, au niveau du rayon de courbure et à l'état ultime de la glissière, à environ 30 % de sa résistance à la traction. Notons le niveau, relativement faible, de la déformation de l'armature de type P1 (3400 $\mu\epsilon$) de la glissière PL3-CB1. Ceci est principalement dû au pourcentage d'armature, qui est plus élevé (1.33 fois) que ceux des glissières PL3-CB2 et PL3-CB3, pour les armatures D1, D2 et P1.

Comme lors des essais de chargement sur les glissières de Type PL2, la première fissure, observée lors des essais sur les glissières de Type PL3, s'est développée également au niveau du rayon de courbure du mur de la glissière comme le montre un exemple type illustré à la figure 3.8.

Par ailleurs, comme on peut le constater dans les figures 3.9 à 3.12, les ruptures des glissières de Type PL3 se sont aussi produites par cisaillement/compression du béton (de façon analogue au mode de rupture observé pour les glissières de type PL2).

3.2 Déformations de l'armature de type D2

3.2.1 Glissières de type PL2

La figure 3.13 présente les variations des déformations de l'armature de type D2 en fonction du moment appliqué pour les glissières PL2-AC2, PL2-IS2, PL2-CB1, PL2-CB2 et PL2-CB3. Cette figure montre que les comportements des armatures en matériaux composites courbées de type D2 C-BAR (glissière PL2-CB2) et ISOROD (glissière PL2-CB3) sont semblables en termes de rigidités et déformations ultimes.

3.2.2 Glissières de type PL3

La figure 3.14 présente les déformations de l'armature de type D2 en fonction du moment appliqué pour les glissières PL3-AC2, PL3-IS3, PL3-CB1, PL3-CB2 et PL3-CB3. Cette figure montre que les comportements des armatures en matériaux composites courbées de type D2 C-BAR (glissière PL3-CB2) et ISOROD (glissière PL3-CB3) sont semblables.

3.3 Déformations de l'armature de type P1

3.3.1 Glissières de type PL2

Les figures 3.15 et 3.16 présentent les déformations des armatures de type P1 en fonction du moment appliqué, aux niveaux 330 mm et 565 mm à partir de la dalle, respectivement. Ces figures indiquent que l'armature de type P1 commence à être sollicitée à un moment appliqué de 100 à 130 kN.m pour toutes les glissières de type PL2 à l'exception de la glissière PL2-CB1. On peut donc conclure que le début de fissuration au niveau du rayon de courbure des glissières est atteint à un moment appliqué d'environ 100 à 130 kN.m. Notons qu'à l'état ultime, l'armature de type P1 des glissières PL2-IS2, PL2-CB2 et PL2-CB3 présente de grandes déformations sans augmentation notable de la charge appliquée. Ce comportement indique un transfert de charge de l'armature de type D2 à l'armature de type P1.

3.3.2 Glissières de type PL3

Les figures 3.17 et 3.18 présentent les déformations des armatures de type P1 en fonction du moment appliqué, aux niveaux 330 mm et 565 mm à partir de la dalle, respectivement. Ces figures indiquent que l'armature de type P1 commence à être sollicitée à un moment appliqué de 130 à 150 kN.m pour toutes les glissières de type PL3. On peut donc conclure que le début de fissuration au

niveau du rayon de courbure des glissières de types PL3 est atteint à un moment appliqué d'environ 130 à 150 kN.m.

3.4 Déformations du béton

3.4.1 Glissières de types PL2

Les figures 3.19 et 3.20 présentent les déformations du béton au centre des glissières en fonction du moment appliqué, aux niveaux 330 mm et 60 mm, mesurés à partir de la dalle, respectivement. Ces deux figures montrent que les comportements à la compression des bétons des différentes glissières sont, à toute fin pratique, identiques et que les déformations aux niveaux 60 et 330 mm sont semblables.

3.4.2 Glissières de type PL3

Les figures 3.21 et 3.22 présentent les déformations du béton au centre des glissières en fonction du moment appliqué, aux niveaux 330 mm et 60 mm, mesurés à partir de la dalle, respectivement. Ces deux figures montrent que les comportements à la compression des bétons des différentes glissières sont, à toute fin pratique, identiques et que les déformations aux niveaux 60 et 330 mm sont semblables.

3.5 Déplacements horizontaux

3.5.1 Glissières de type PL2

La figure 3.23 présente les déplacements horizontaux des glissières de type PL2. Cette figure montre que les rigidités flexionnelles des glissières sont, à toute fin pratique, semblables.

3.5.2 Glissières de type PL3

La figure 3.24 présente les déplacements horizontaux des glissières de type PL3. Cette figure montre que les rigidités flexionnelles des glissières sont, à toute fin pratique, semblables.

3.6 Distribution des déformations dans l'armature de type D2

3.6.1 Glissières de type PL2

Les figures 3.25 et 3.26 présentent les distributions des déformations dans les armatures en matériaux composites de type D2 des deux produits C-BAR et ISOROD, respectivement. L'objectif

initial de ces instrumentations est d'évaluer le niveau de contrainte dans les coins déformés. Comme on peut le constater, ces figures montrent que les déformations dans les zones B, C et D sont très faibles. Ces figures montrent aussi que les zones A et E sont plus sollicitées que les zones B, C et D, mais elles sont encore loin des déformations ultimes. Si on compare la figure 3.2 avec les figures 3.25 et 3.26, on constate que la zone critique (section où l'effort est maximum) de l'armature de type D2 est celle située à l'interface dalle/glissière.

3.6.2 Glissières de type PL3

Les figures 3.27 et 3.28 présentent les distributions des déformations dans les armatures en matériaux composites de type D2 des deux produits C-BAR et ISOROD, respectivement. Comme on peut le constater, ces figures montrent que les déformations dans les coins sont très faibles. Ces figures montrent aussi que les zones les plus sollicitées, après celles de l'interface dalle/glissière (Figure 2) sont les zones B, C et D, mais elles sont encore loin des déformations ultimes.

3.7 Distribution des déformations dans l'armature de type P1

3.7.1 Glissières de type PL2

Les figures 3.29 et 3.30 présentent les distributions des déformations dans les armatures en matériaux composites de type P1 des deux produits C-BAR et ISOROD, respectivement. Ces figures montrent que les déformations dans les zones B (au niveau du rayon) sont très faibles. Ces figures montrent aussi que la section la plus sollicitée est celle située au niveau 330 mm. À l'état ultime, la section située à 565 mm devient autant sollicitée.

3.7.2 Glissières de type PL3

Les figures 3.31 et 3.32 présentent les distributions des déformations dans les armatures en matériaux composites de type P1 des deux produits C-BAR et ISOROD, respectivement. Ces figures montrent que les déformations dans les zones B (au niveau du rayon) sont très faibles. Ces figures montrent aussi que la section la plus sollicitée est celle située au niveau 330 mm. À l'état ultime, la section située à 565 mm devient autant sollicitée.

3.8 Distribution des déformations dans l'armature de type D1

3.8.1 Glissières de type PL2

Les figures 3.33 et 3.34 présentent les distributions des déformations dans les armatures en matériaux composites de type D1 des deux produits C-BAR et ISOROD, respectivement. Ces figures montrent que les déformations dans les coudes sont très faibles et que dans l'ensemble, les niveaux dans l'armature de type D1 sont relativement faibles, comme on pouvait s'y attendre.

3.8.2 Glissières de type PL3

Les figures 3.35 et 3.36 présentent les distributions des déformations dans les armatures en matériaux composites de type D1 des deux produits C-BAR et ISOROD, respectivement. Ces figures montrent que les déformations dans les coins sont très faibles et que dans l'ensemble, les niveaux dans l'armature de type D1 sont relativement faibles, comme on pouvait s'y attendre.

CONCLUSION

Les séries d'essais, réalisées dans le cadre des Phases I et II de ce projet de recherche, ont permis d'évaluer le comportement général, sous charges statiques, des glissières de types PL2 et PL3 en béton armé de barres en matériaux composites en comparaison avec celles armées conventionnellement en acier. Les niveaux de déformation des armatures de types D1, D2, P1 et horizontale ainsi que ceux du béton ont été mesurés en fonction de la charge appliquée et ce pour les barres en matériaux composites (ISOROD et C-BAR) et en acier. Aussi, les déplacements horizontaux des murs des glissières ont été mesurés en fonction de la charge appliquée.

Les armatures courbes en matériaux composites (Types P1, D1 et D2) utilisées dans toutes les glissières de Type PL2 et PL3 se sont très bien comportées lors des essais de chargement et aucune rupture n'a été constatée.

Les glissières de Types PL2 et PL3 armées entièrement d'armature en matériaux composites ont montré un comportement comparable en terme de fissuration à celui observé pour les glissières équivalentes armées en acier. La rupture de toutes les glissières testées dans le cadre de ce projet de recherche s'est produite par cisaillement/compression du béton. Les résultats obtenus ont aussi montré aussi que les capacités ultimes atteintes des glissières armées entièrement de barres en matériaux composites sont inférieures d'environ 10 à 15 % à celles des glissières conventionnelles pour les

conditions d'essais considérés dans le cadre de ce projet de recherche. Cette différence entre les capacités ultimes est principalement due à la différence entre les modules d'élasticité des barres en matériaux composites et de l'acier. En effet, avec un module d'élasticité de l'ordre de 40 GPa pour les barres en matériaux composites, les fissures de cisaillement dans le béton sont plus larges et plus ouvertes (glissières conventionnelles et glissières armées à l'aide d'armature en matériaux composites de façon analogue) ce qui peut limiter la résistance statique ultime des glissières armées avec des matériaux composites comparativement à celles des glissières conventionnelles. Cette explication est corroborée par le fait qu'aucune rupture des barres en matériaux composites (armature de Type D2) n'a été observée lors des essais de chargement statique.

L'analyse des résultats d'essais sur ces 16 glissières (sept de type PL2 et neuf de type PL3) a permis de proposer des designs pour les glissières en béton armé entièrement de barres en matériaux composites de types PL2 et PL3. Ces designs garantissent des capacités ultimes d'au moins égales à 85 % celles des glissières conventionnelles. Les détails de renforcement sont montrés sur les figures 2.4 et 2.8 pour les glissières de types PL2 et PL3, respectivement. Notons que ces designs ont été retenus pour la réalisation des essais d'impact, prévus dans la Phase III de ce projet de recherche et qu'ils utilisent l'armature en matériaux composites Isorod droite et courbe.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le ministère des Transports du Québec (Direction des Structures) et les compagnies Pultrall Inc. (Thedford Mines, Québec) et Marshall Industries Composites Inc. (Lima, Ohio), pour leur collaboration et aide financière pour la réalisation de ce projet. Les auteurs remercient également Claude Dugal, François Ntacorrigira et Frédéric Turcotte , techniciens au Département de génie civil de l'Université de Sherbrooke, pour leur précieuse aide technique fournie lors de la fabrication des glissières et la réalisation des essais de chargement.

RÉFÉRENCES

- [1] Benmokrane B., and Rahman, H., (eds.), (1998), "Durability of Fiber Reinforced Polymer (FRP) Composites for Construction", Proceeding of the First International Conference, CDCC'98, Sherbrooke, Québec, Canada, 692p.

- [2] Japan Concrete Institute, (ed.), (1997), "Non-metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures", Proceeding of the third International Symposium (FRPRCS-3), Sapporo, Japan, vol. 1, 728p.

- [3] Trottier M., (1998), "Dispositifs de retenue (parapets de ponts), Nouvelle Norme Canadienne du CHBDC chapitre 12, Semaine des infrastructures urbaines, Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines, 4^{ème} édition, Montréal, Québec, Canada, pp.269-280.

- [4] Masmoudi R., Beaumier E. et Benmokrane B., (Février 1999) "Conception d'une glissière de béton renforcé avec de l'armature en matériaux composites", Rapport d'étape N° 1, soumis au ministère des Transports du Québec (Direction des structures), 35p.

- [5] Beaumier E., Masmoudi R. et Benmokrane B., (Juin 1999) "Conception d'une glissière de béton renforcé avec de l'armature en matériaux composites", Rapport d'étape N° 2, soumis au ministère des Transports du Québec (Direction des structures), 70p.

- [6] Masmoudi R., Beaumier E., Masmoudi R. et Benmokrane B., (Octobre 1999) "Conception d'une glissière de béton renforcé avec de l'armature en matériaux composites", Rapport d'étape N° 3, soumis au ministère des Transports du Québec (Direction des structures), 48p.

- [7] Masmoudi R., Beaumier E., et Benmokrane B., (Février 2000) "Conception d'une glissière de béton renforcé avec de l'armature en matériaux composites", Rapport final (Phase I), soumis au ministère des Transports du Québec (Direction des structures), 87p.
- [8] Masmoudi R., et Benmokrane B., (Mars 2000) "Conception de glissières de béton de types PL2- et PL3 renforcées avec de l'armature en matériaux composites", Rapport d'étape (Phase II), soumis au ministère des Transports du Québec (Direction des structures), 31p.

Tableau 1. Détails d'armature des glissières testées dans le cadre de ce projet de recherche
(Contrats no. 1220-98-BD03 et 1220-99-BD05)

Phase du projet	Type de glissière	Armature de type D1	Armature de type D2	Armature de type P1	Armature horizontale
Phase I : Armature en acier et armature mixte (acier et composite)	PL2-AC1 et PL2-AC2	Acier 15M @ 200	Acier 15M @ 200	Acier 15M @ 200	Acier 15M
	PL2-IS1 et PL2-IS2	ISOROD 15M @ 200 (droite)	Acier 15M @ 200	ISOROD 15M @ 200 (droite)	ISOROD 15M
	PL3-AC1 et PL3-AC2	Acier 15M @ 200	Acier 20M @ 200	Acier 20M @ 200	Acier 15M
	PL3-IS1, PL3-IS2	ISOROD 15M @ 200(droite)	Acier 20M @ 200	ISOROD 15M @ 200(droite)	ISOROD 15M
	PL3-IS3	ISOROD 15 M @ 200 (droite)	Acier 20M @ 200	ISOROD 20M @ 200 (droite) Nouvelle barre	ISOROD 15M
	PL3-IS4	ISOROD 15M @ 100	Acier 20M @ 200	ISOROD 15M @ 100	ISOROD 15M
Phase II : Armature entièrement en matériaux composites	PL2-CB1	C-BAR 15M @ 100	C-BAR 15M @ 100	C-BAR 15M @ 100	ISOROD 15M
	PL2-CB2	C-BAR 15M @ 200	C-BAR 15M @ 200	C-BAR 15M @ 200	C-BAR 15M
	PL2-CB3	ISOROD 15M @ 200	ISOROD 15M @ 200	ISOROD 15M @ 200	ISOROD 15M
	PL3-CB1	C-BAR 15M @ 100	C-BAR 15M @ 100	C-BAR 15M @ 100	ISOROD 15M
	PL3-CB2	C-BAR 15M @ 200	C-BAR 20M @ 200	C-BAR 20M @ 200	C-BAR 15M

Tableau 2.1 Propriétés mécaniques en traction des barres d'armature utilisées

Type de la barre		Limite élastique MPa	Résistance à la traction, MPa	Module d'élasticité, GPa	Déformation, %
Acier	15M et 20M	400	600	200	$\varepsilon_y = 0.2$
ISOROD	15M (droites)	--	640	41	$\varepsilon_u = 1.55$
	15M (courbes)		740	42	$\varepsilon_u = 1.76$
	20M (courbes)		730	49	$\varepsilon_u = 1.49$
C-BAR	15M (droites)	--	700	42	$\varepsilon_u = 1.80$
	15M (courbes)		630	41	$\varepsilon_u = 1.55$

Tableau 3.1 Capacités ultimes des glissières PL2-AC2, PL2-IS2, PL2-CB1, PL2-CB2 et PL2-CB3
(glissières de type PL2)

Glissière No.	Charge (moment) de plastification de l'armature D2 kN, (kN.m)	Charge (moment) maximale enregistrée kN, (kN.m)	Niveau de déformation dans l'armature P1 (au niveau du rayon) correspondant à la charge maximale enregistrée x 10 ⁻⁶
PL2-AC2	312, (240)	414, (318)	3000
PL2-IS2	312, (240)	362, (279)	3700
PL2-CB1	<i>n.a.</i>	464, (327)	1800
PL2-CB2	<i>n.a.</i>	357, (251)	6700
PL2-CB3	<i>n.a.</i>	392, (277)	6300

n.a. non applicable

Tableau 3.2 Capacités ultimes des glissières PL3-AC2, PL3-IS3, PL3-CB1, PL3-CB2 et PL3-CB3
(glissières de type PL3)

Glissière No.	Charge (moment) de plastification de l'armature D2 kN, (kN.m)	Charge (moment) maximale enregistrée kN, (kN.m)	Niveau de déformation dans l'armature P1 (au niveau du rayon) correspondant à la charge maximale enregistrée $\times 10^{-6}$
PL3-AC2	345, (355)	368, (379)	2200
PL3-IS3	300, (309)	305, (314)	5400
PL3-CB1	<i>n.a.</i>	411, (403)	3400
PL3-CB2	<i>n.a.</i>	243, (250) 338, (348)	5400
PL3-CB3	<i>n.a.</i>	315, (324)	5300

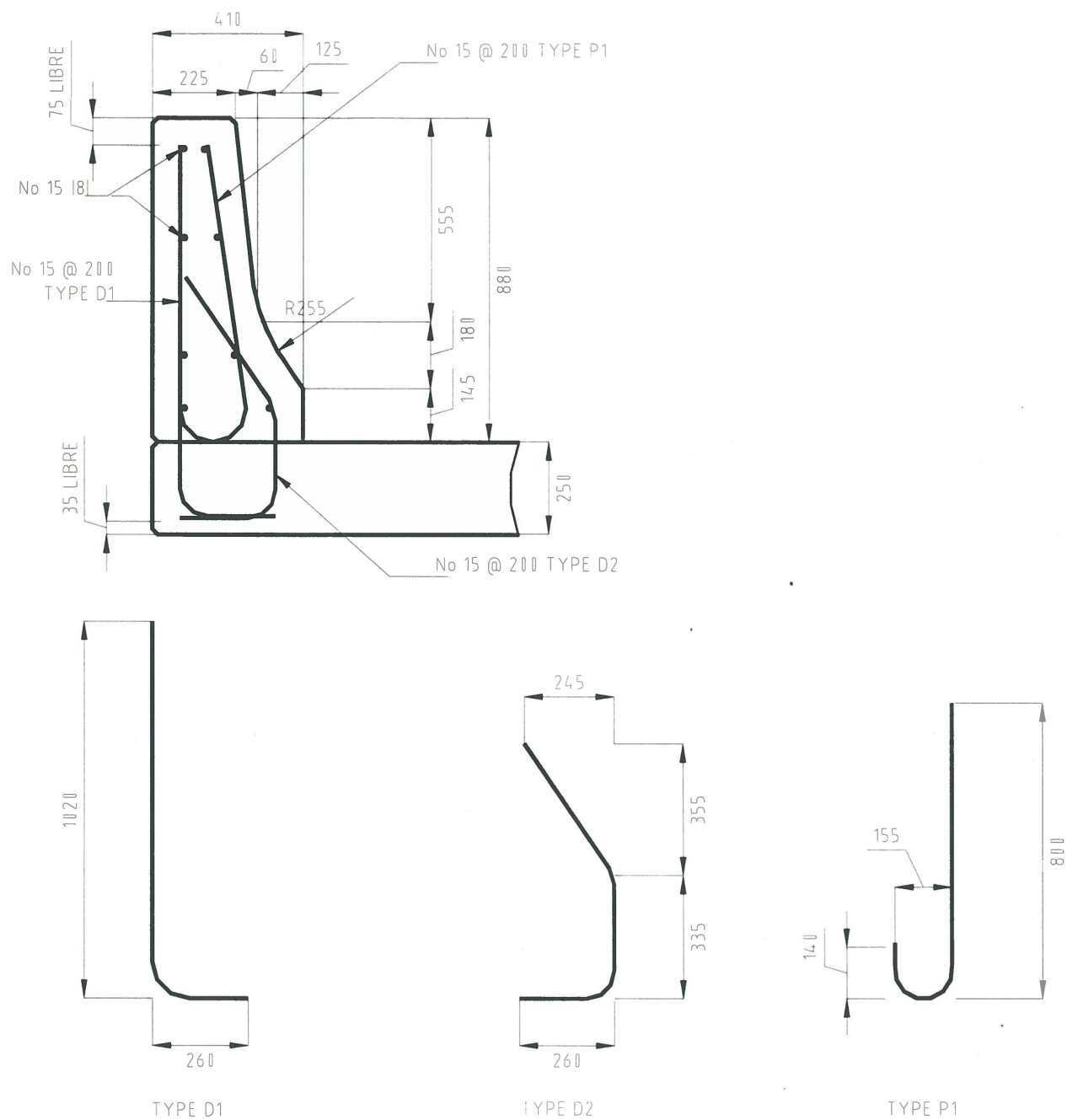
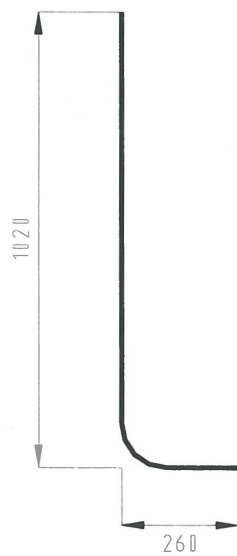
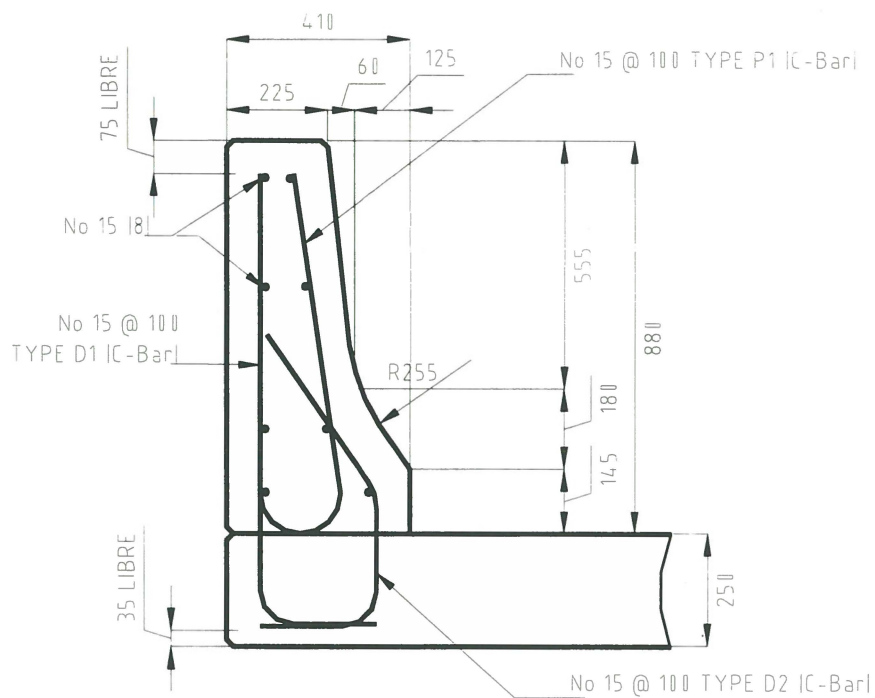
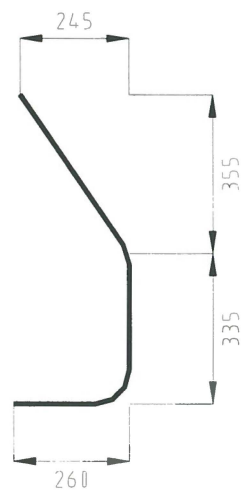


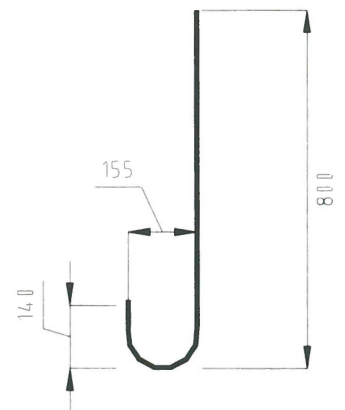
Figure 2.1 Détails géométriques et de renforcement d'une glissière conventionnelle de type PL2



TYPE D1

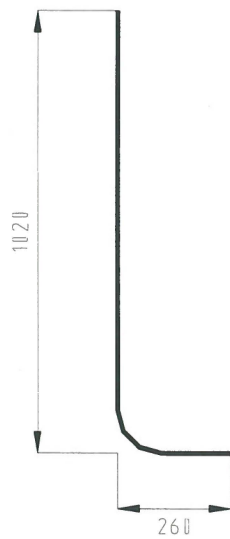
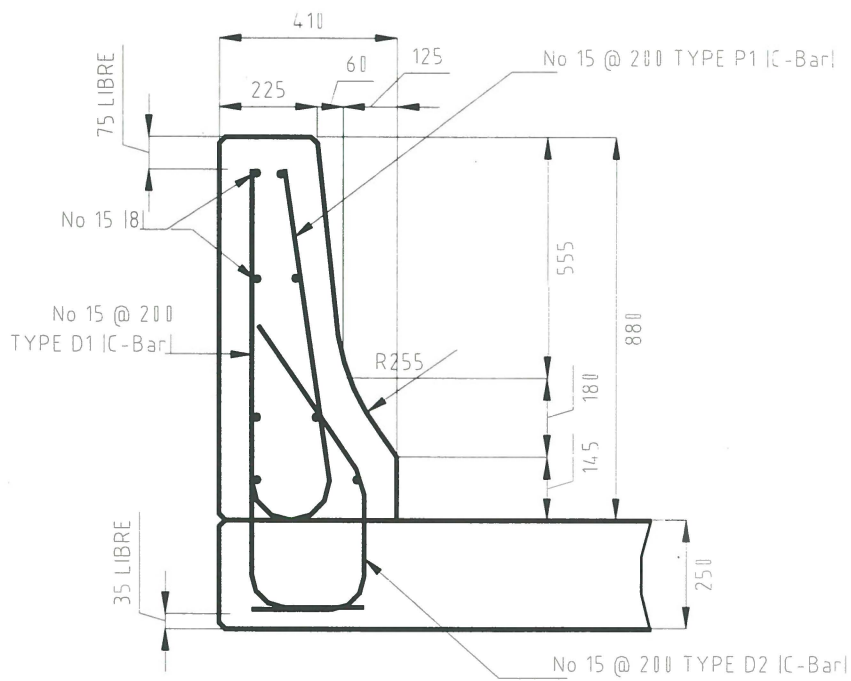


TYPE D2

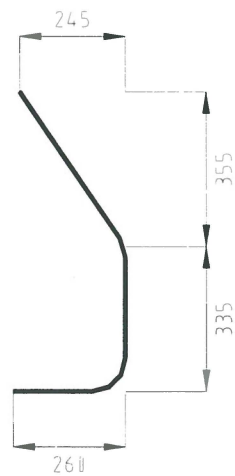


TYPE P1

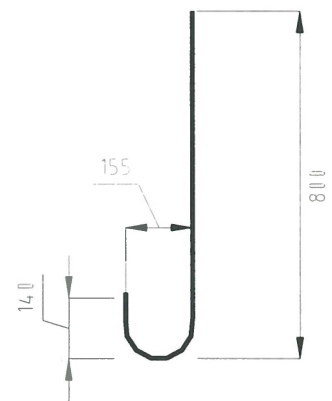
Figure 2.2 Détails géométriques et de renforcement de la glissière PL2-CB1



TYPE D1

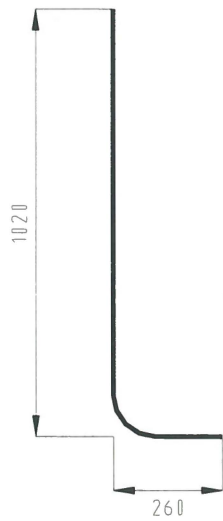
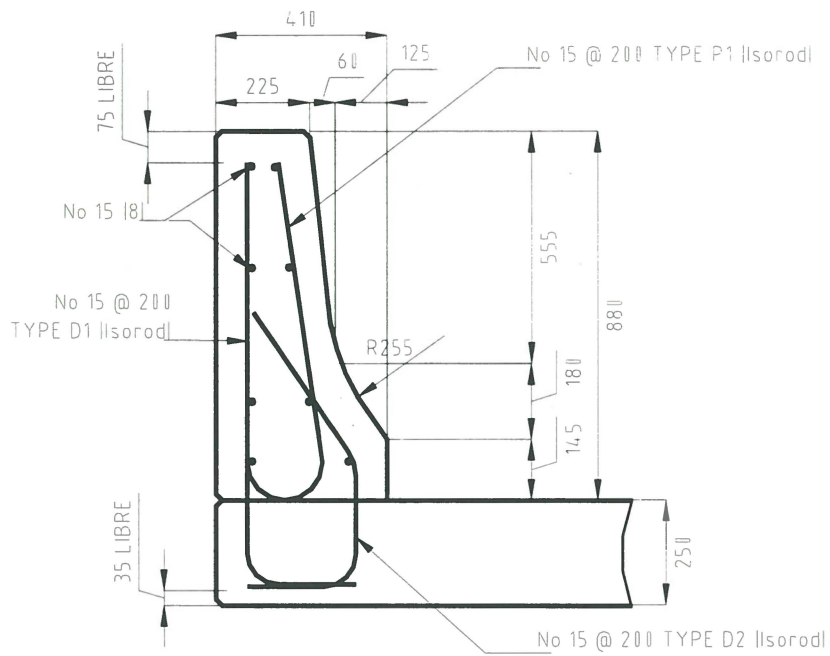


TYPE D2

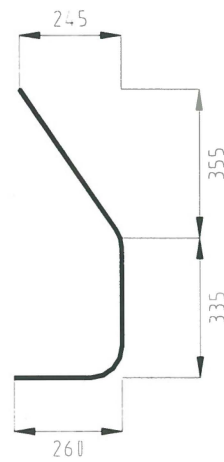


TYPE P1

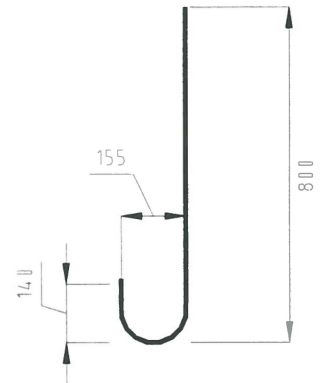
Figure 2.3 Détails géométriques et de renforcement de la glissière PL2-CB2



TYPE D1



TYPE D2



TYPE P1

Figure 2.4 Détails géométriques et de renforcement de la glissière PL2-CB3

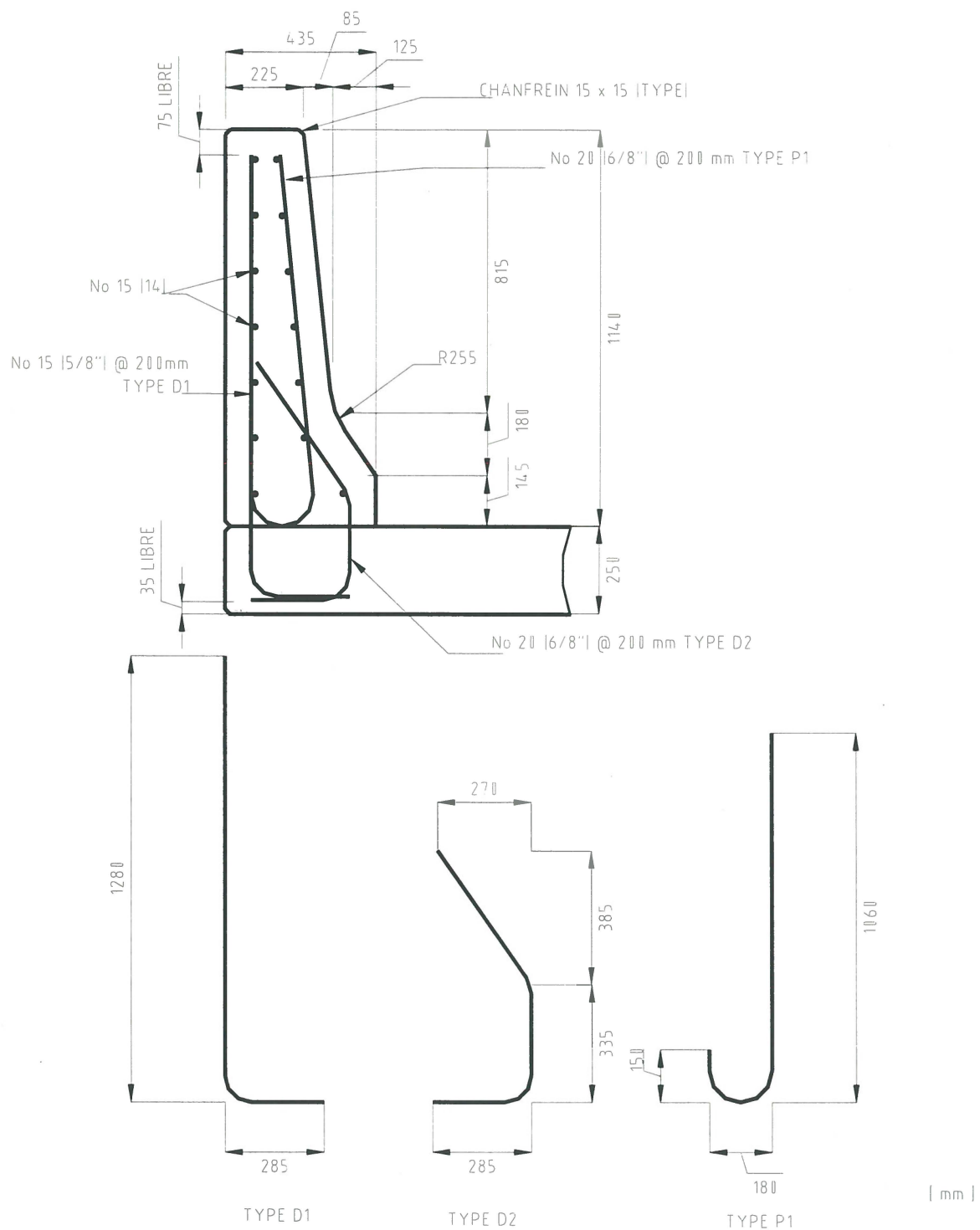


Figure 2.5 Détails géométriques et de renforcement d'une glissière conventionnelle de type PL3

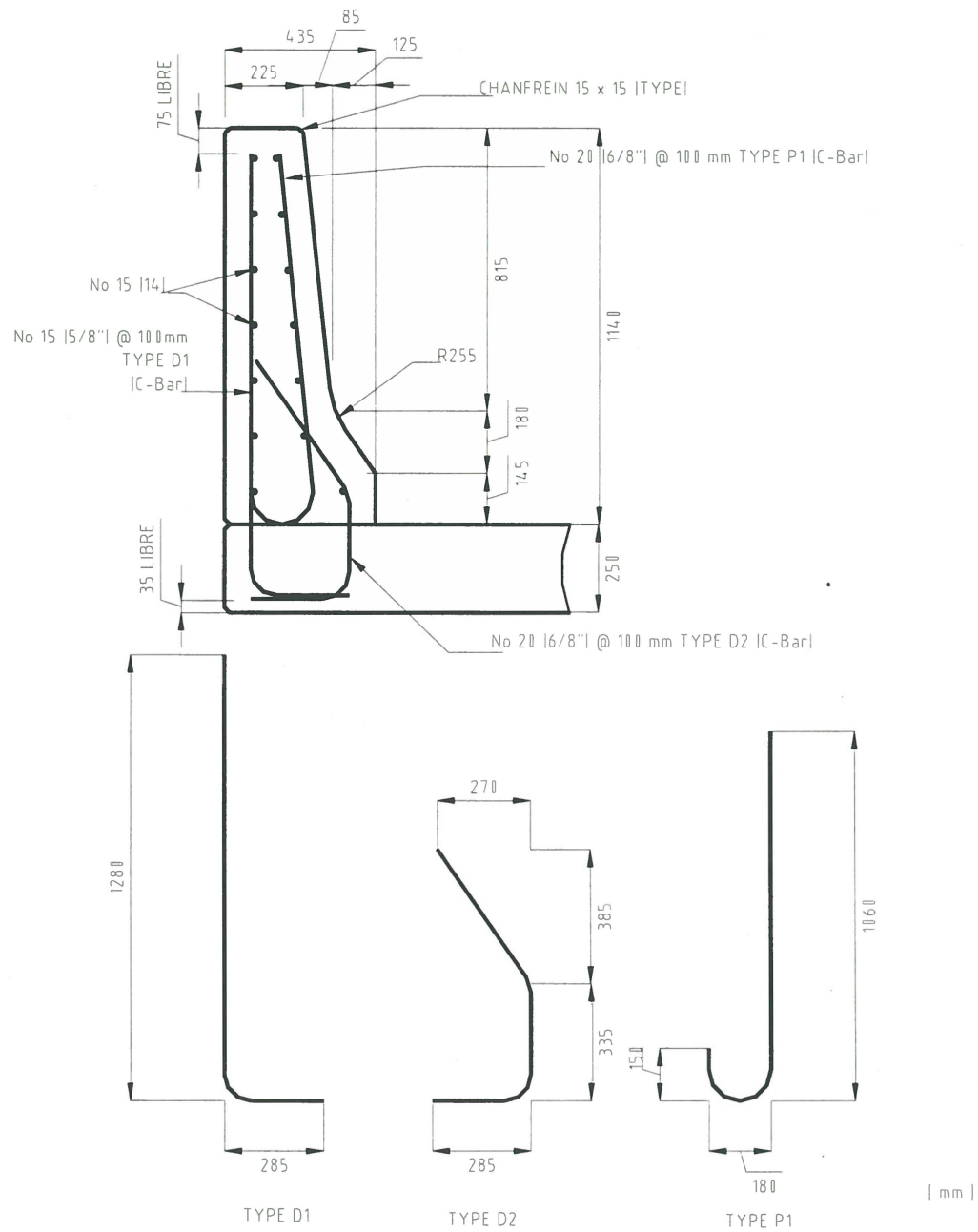


Figure 2.6 Détails géométriques et de renforcement de la glissière PL3-CB1

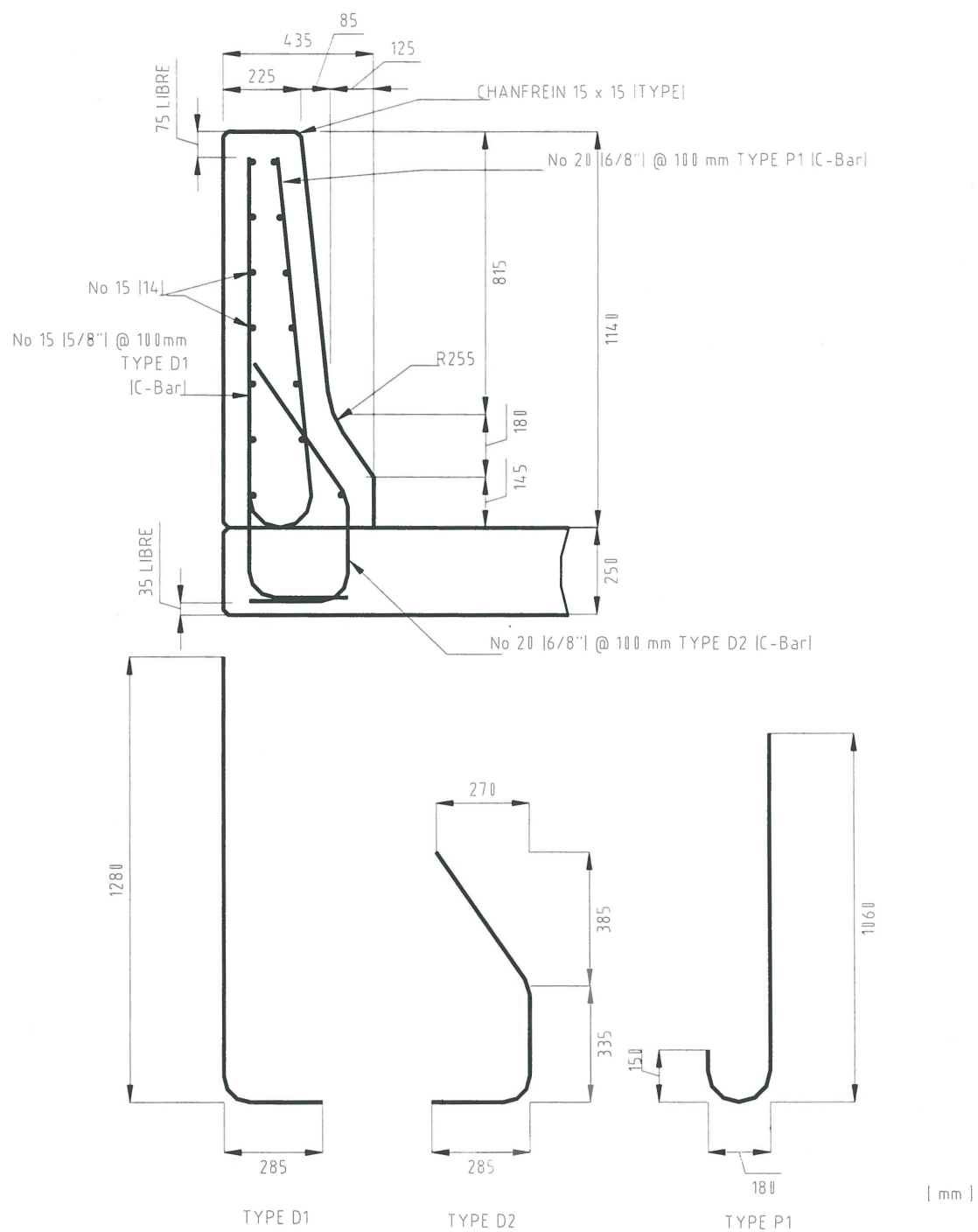


Figure 2.7 Détails géométriques et de renforcement de la glissière PL3-CB2

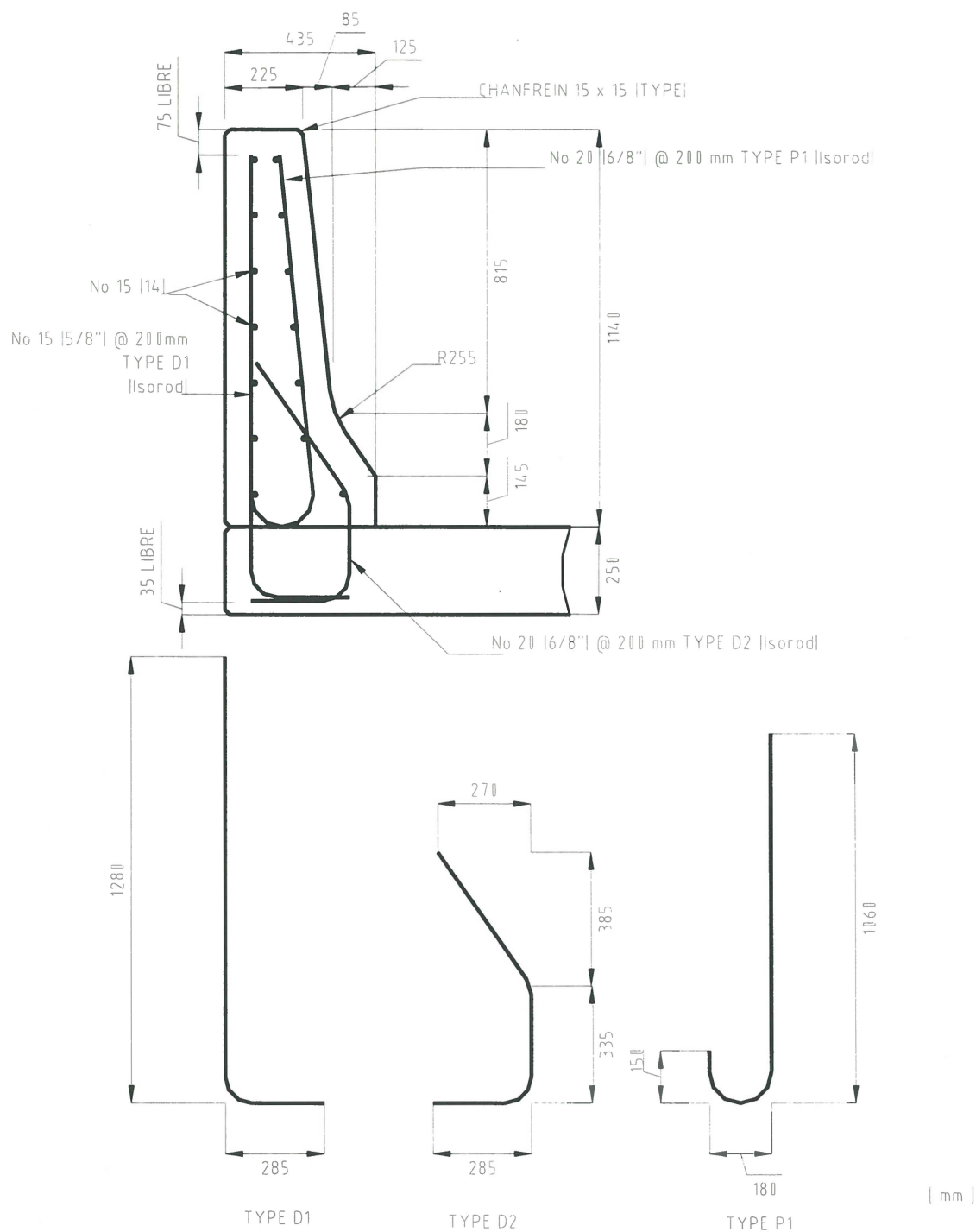


Figure 2.8 Détails géométriques et de renforcement de la glissière PL3-CB3

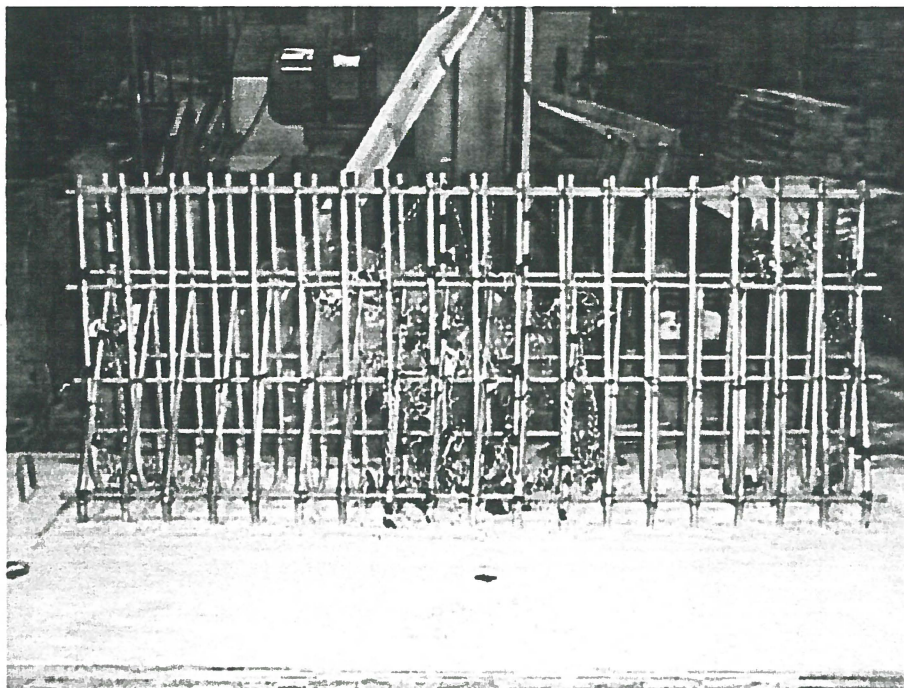


Figure 2.9 Vue des armatures de la glissière PL2-CB1 après coulage du béton de la dalle



Figure 2.10 Vue rapprochée de l'armature de la glissière PL2-CB1

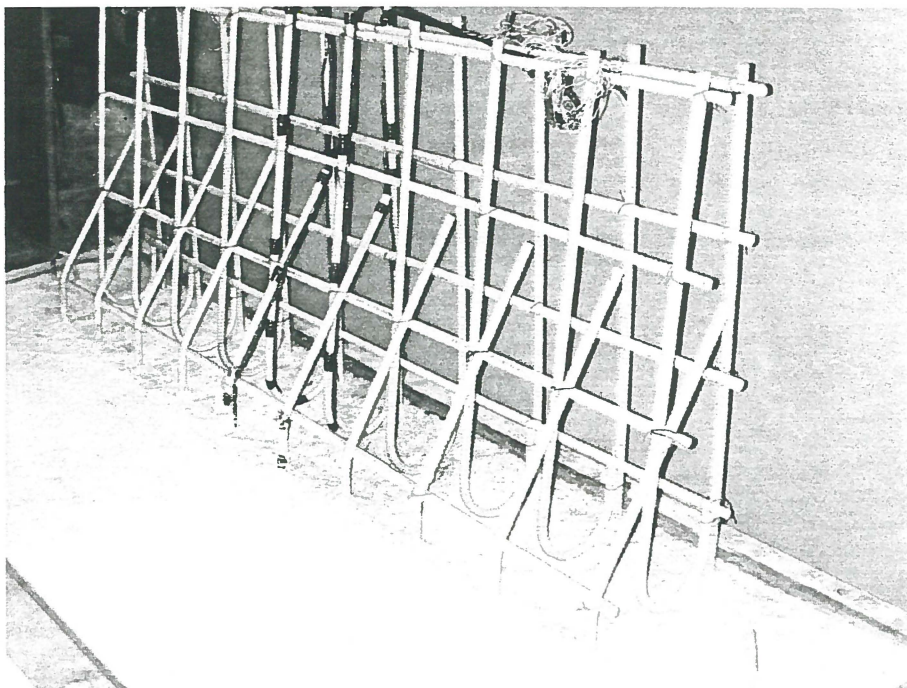


Figure 2.11 Vue des armatures de la glissière PL2-CB2 après coulage du béton de la dalle

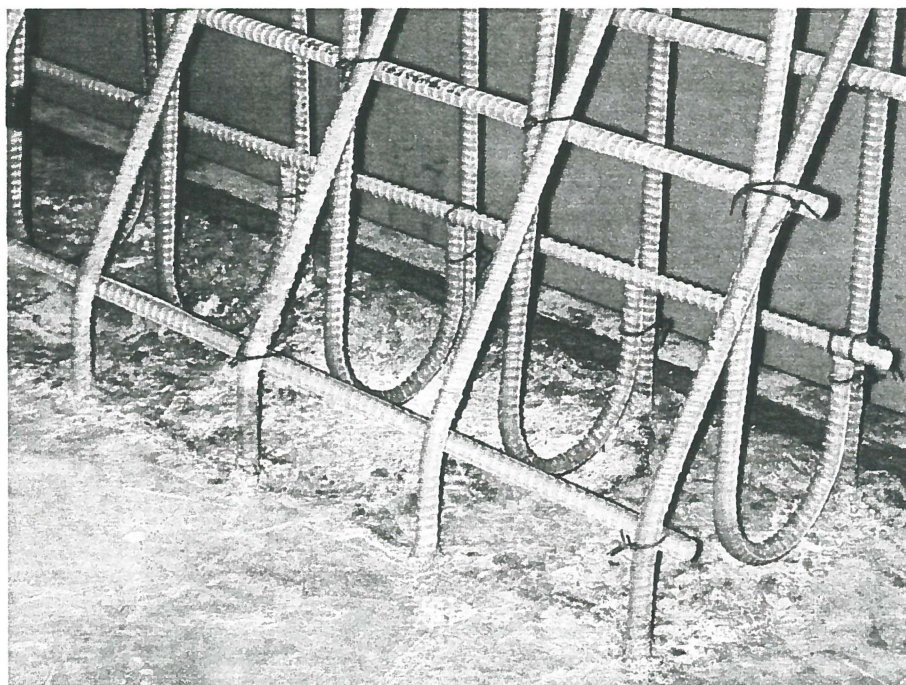


Figure 2.12 Vue rapprochée des armatures de la glissière PL2-CB2

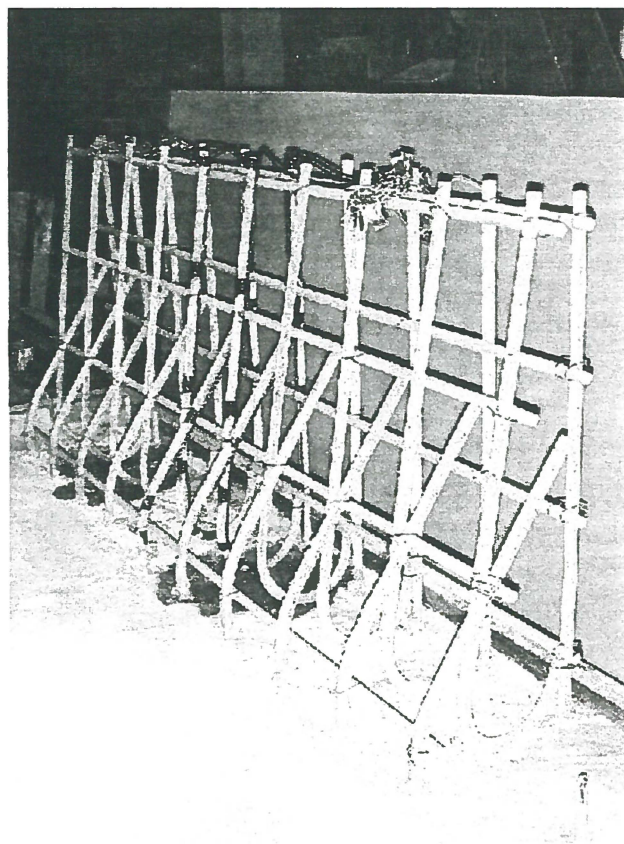


Figure 2.13 Vue des armatures de la glissière PL2-CB3 après coulage du béton de la dalle

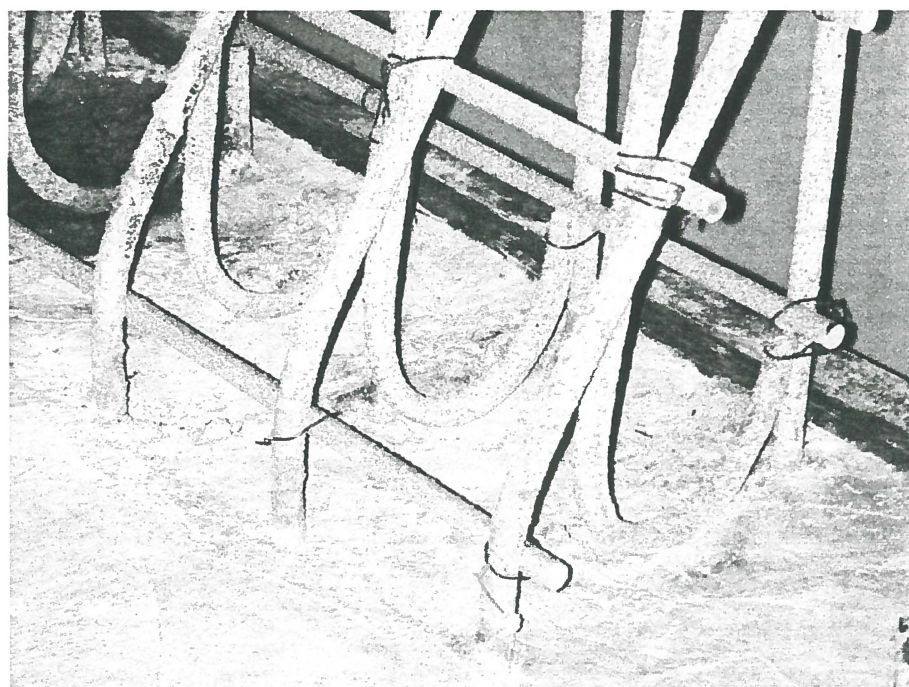


Figure 2.14 Vue rapprochée des armatures de la glissière PL2-CB3

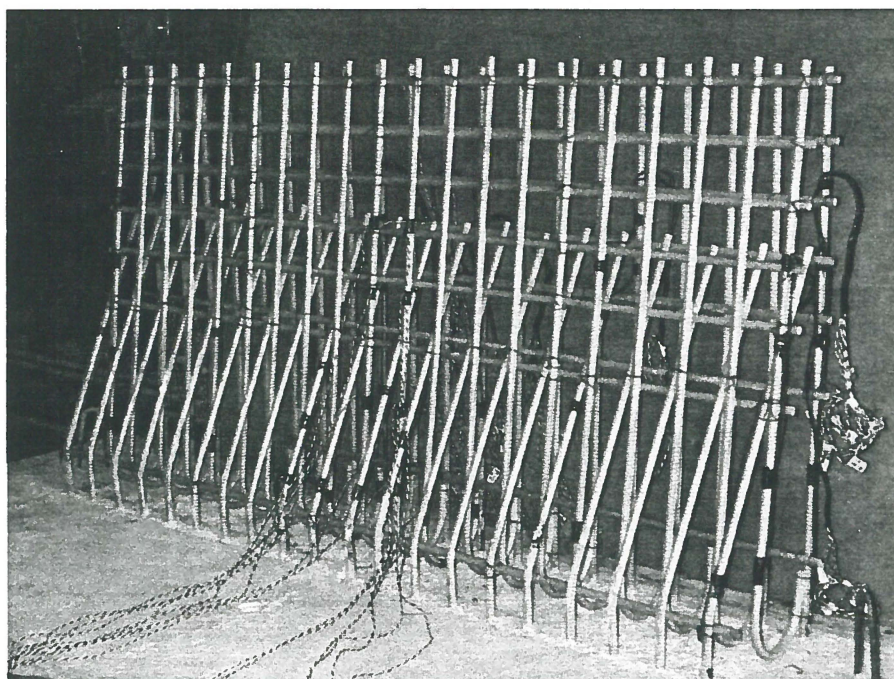


Figure 2.15 Vue des armatures de la glissière PL3-CB1 après coulage du béton de la dalle

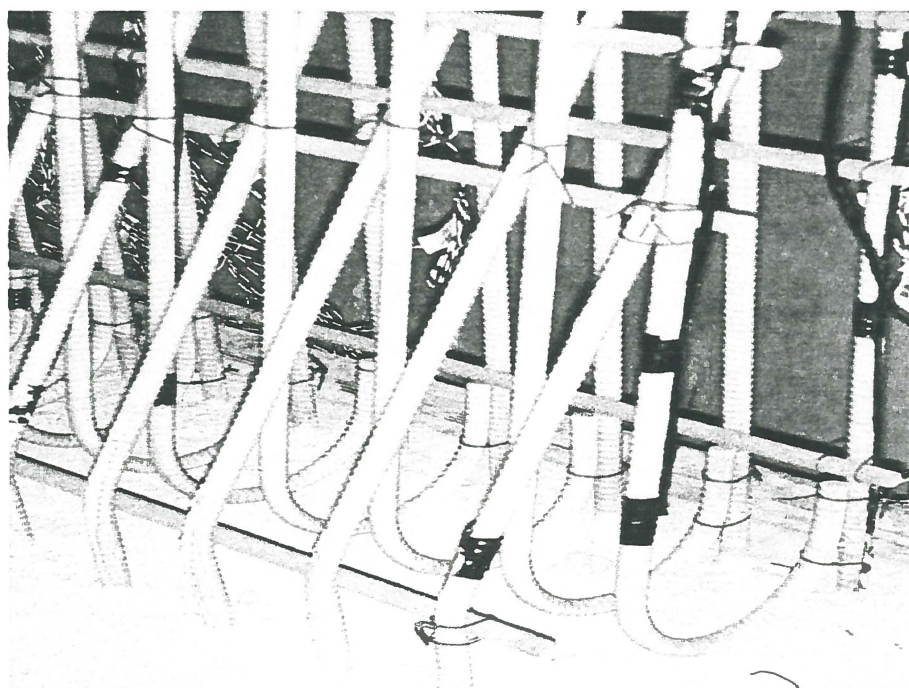


Figure 2.16 Vue rapprochée des armatures de la glissière PL3-CB1

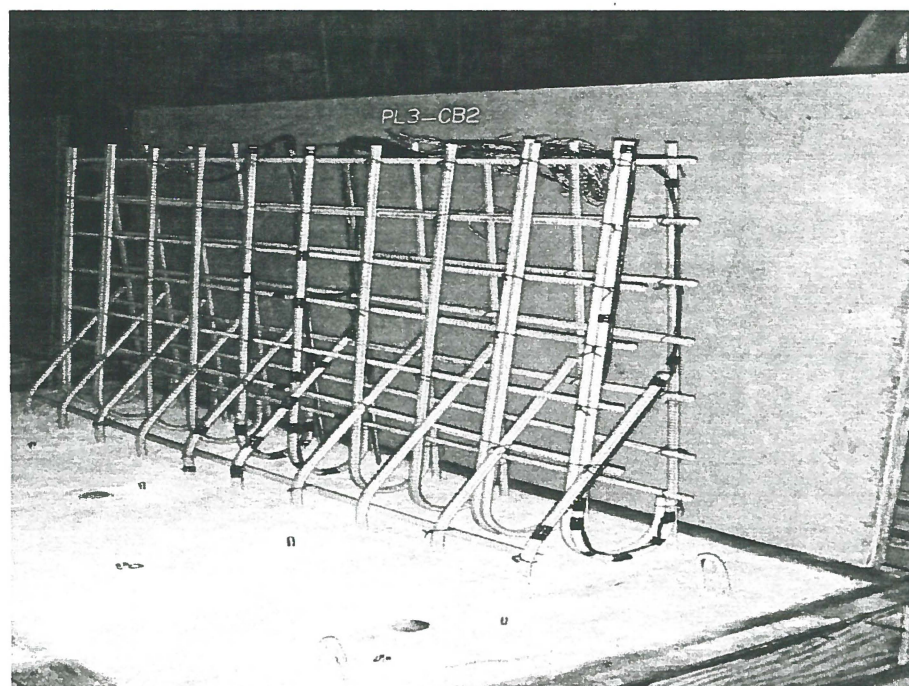


Figure 2.17 Vue des armatures de la glissière PL3-CB2 après coulage du béton de la dalle



Figure 2.18 Vue rapprochée des armatures de la glissière PL3-CB2

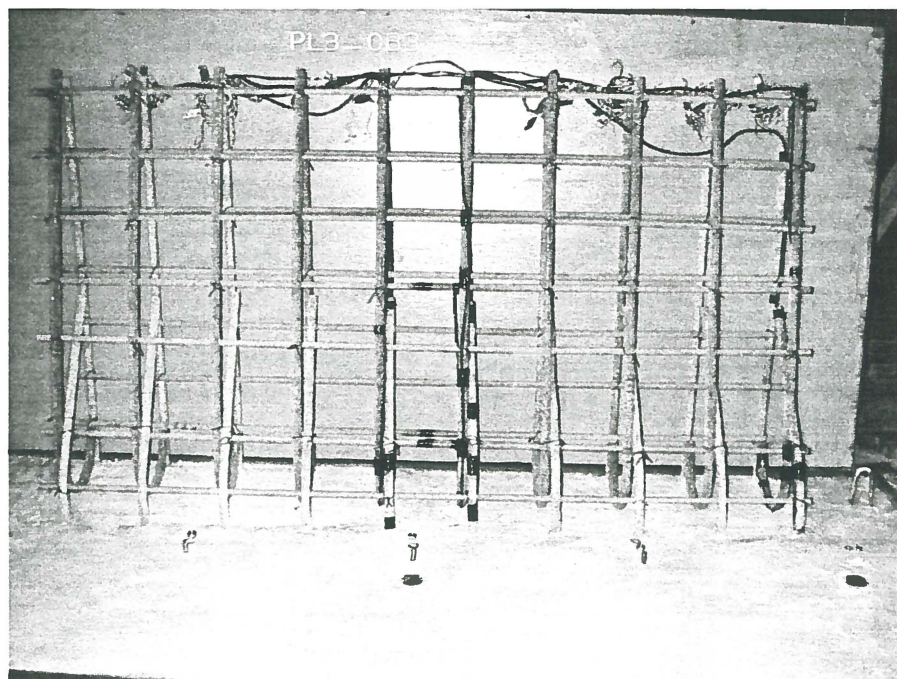


Figure 2.19 Vue des armatures de la glissière PL3-CB3 après coulage du béton de la dalle

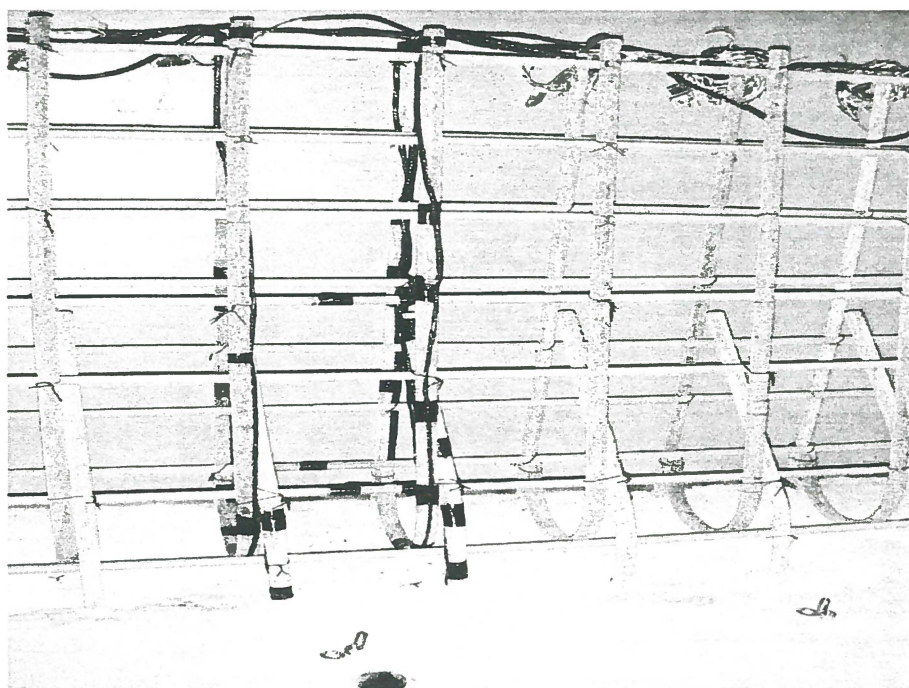


Figure 2.20 Vue rapprochée des armatures de la glissière PL3-CB3

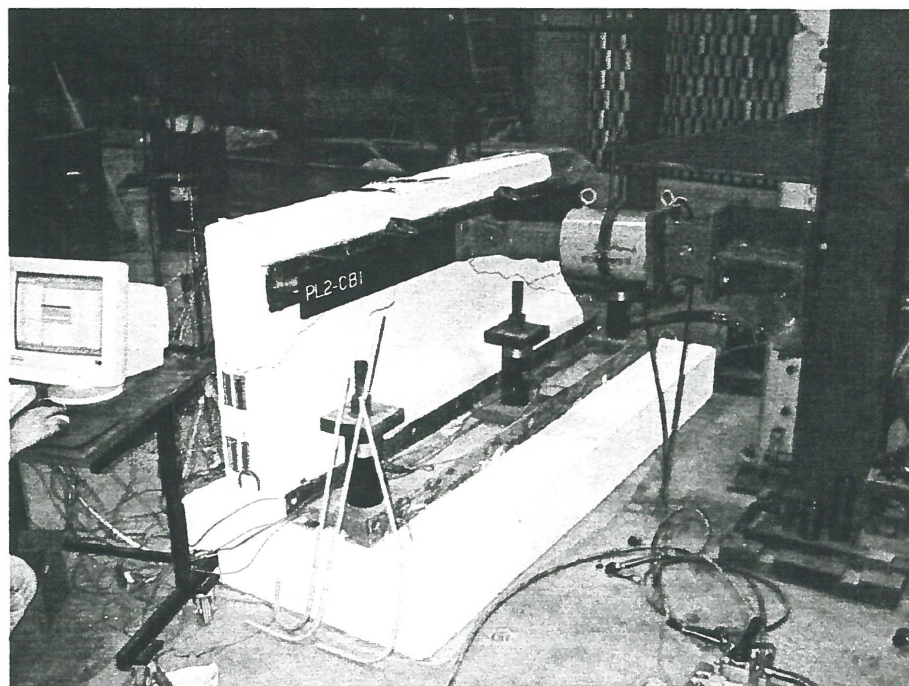


Figure 2.21 Vue du montage expérimental et des barres pliées en matériaux composites utilisés pour les glissières de type PL2

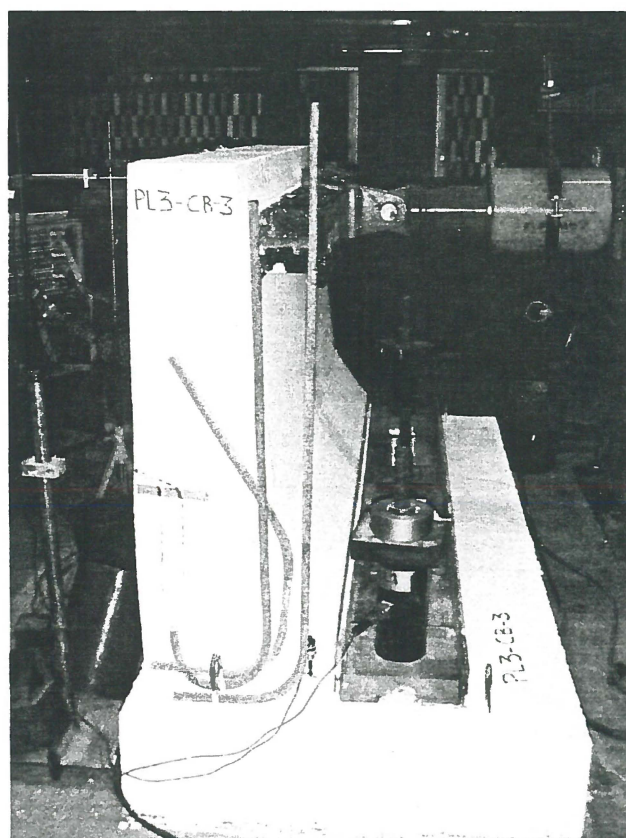


Figure 2.22 Vue du montage expérimental et des barres pliées en matériaux composites utilisés pour les glissières de type PL3

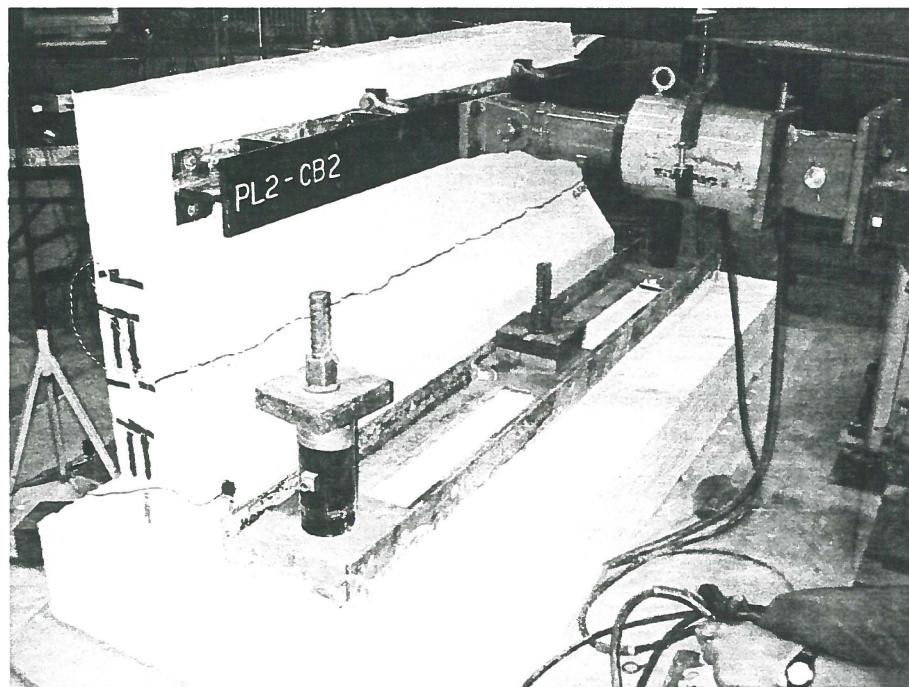


Figure 3.1 Vue montrant la première fissure développée au rayon de courbure lors de l'essai de chargement sur les glissières de type PL2

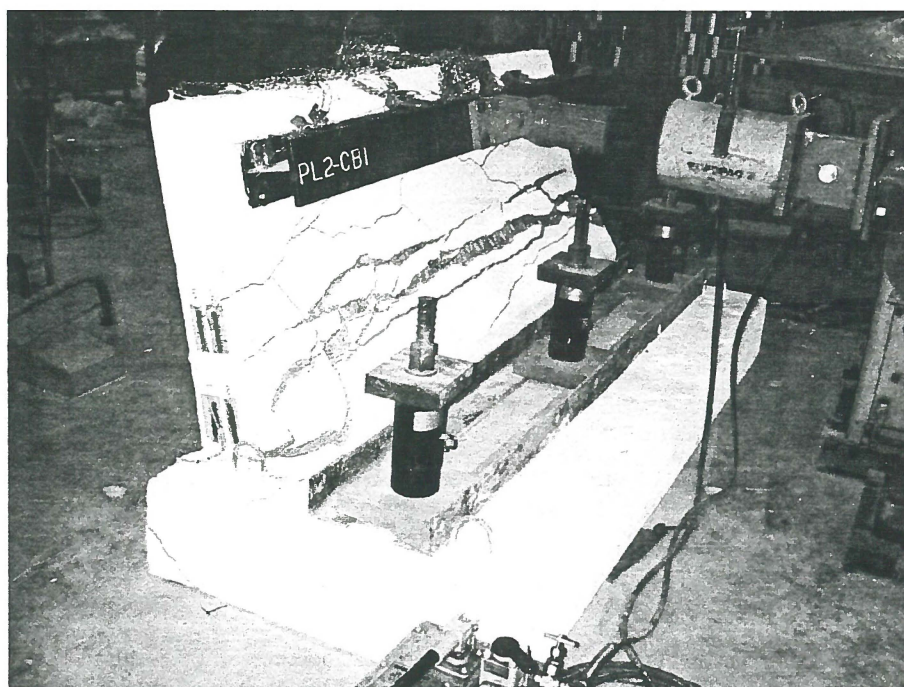


Figure 3.2 Réseau de fissuration et mode rupture de la glissière PL2-CB1

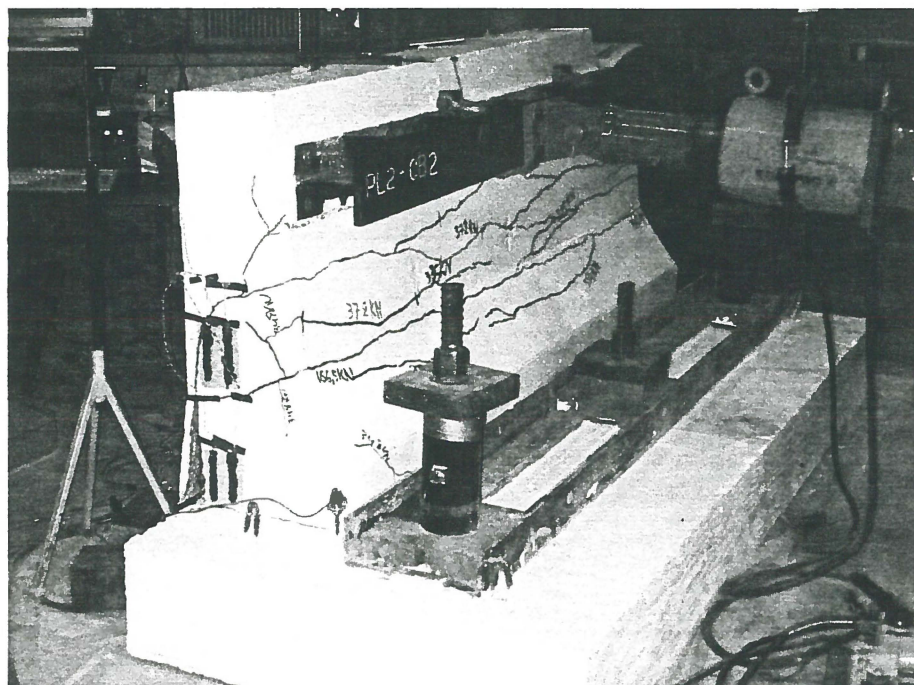


Figure 3.3 Réseau de fissuration et mode rupture de la glissière PL2-CB2

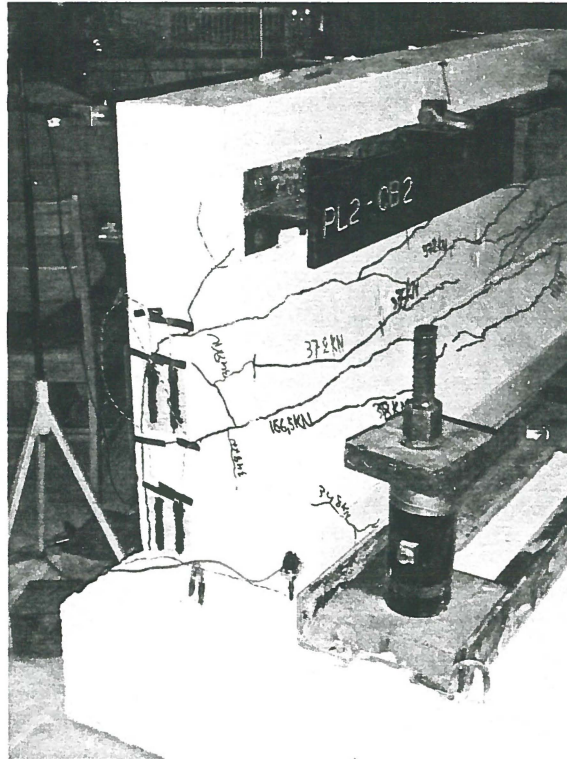


Figure 3.4 Vue rapprochée du mode de rupture type par cisaillement/compression (glissière PL2-CB2)

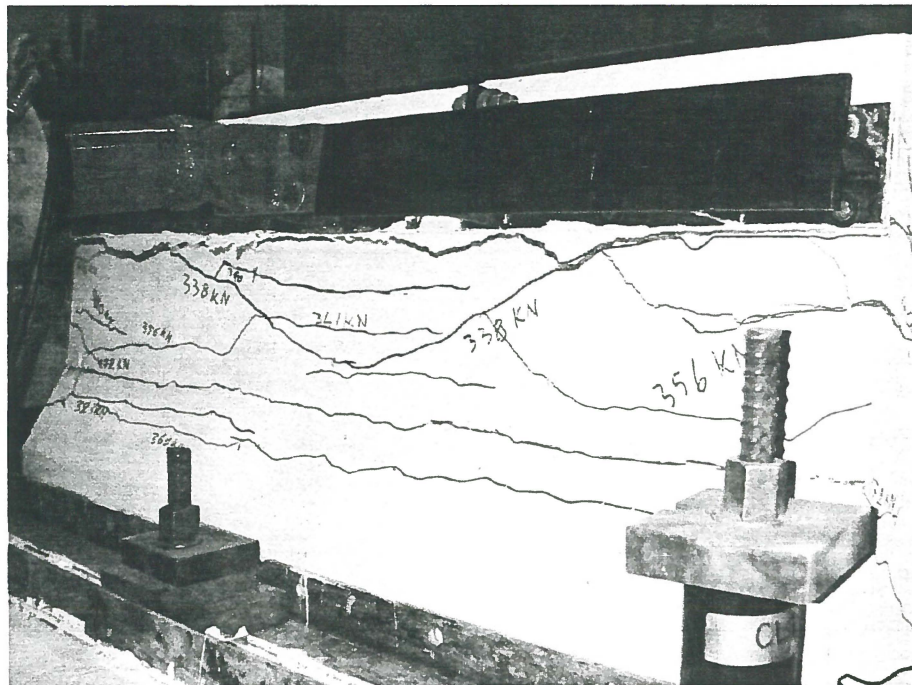


Figure 3.5 Réseau de fissuration et mode rupture de la glissière PL2-CB3

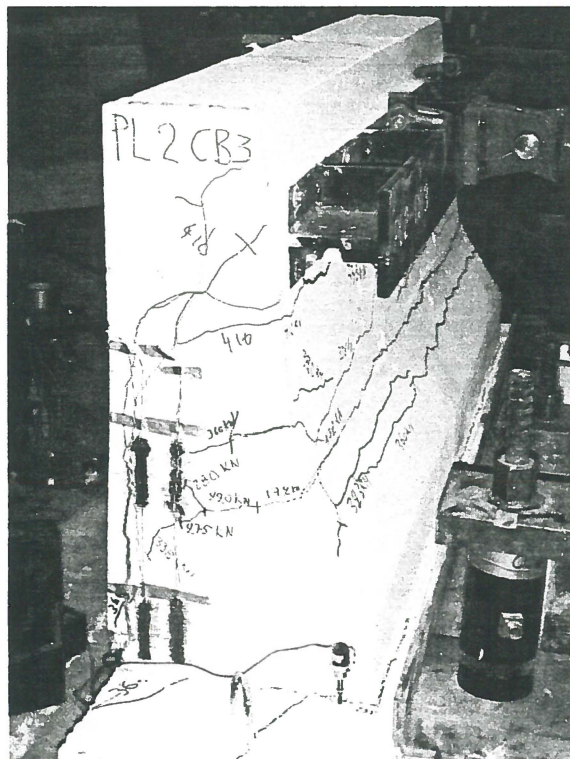


Figure 3.6 Vue rapprochée du mode de rupture (cisaillement/compression) de la glissière PL2-CB3

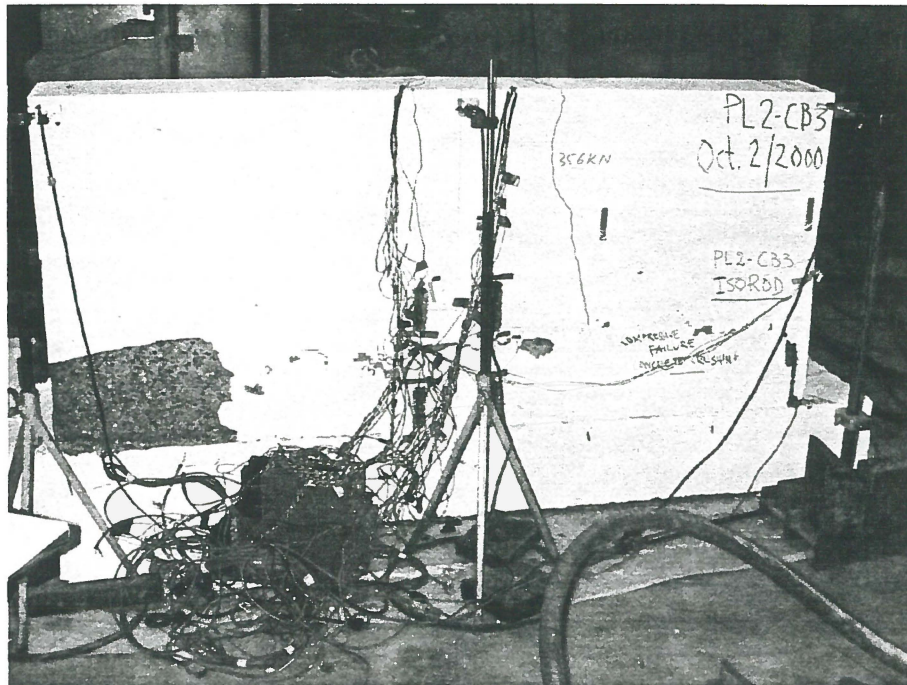


Figure 3.7 Réseau de fissuration et mode rupture par compression de la face arrière du mur de la glissière PL2-CB3

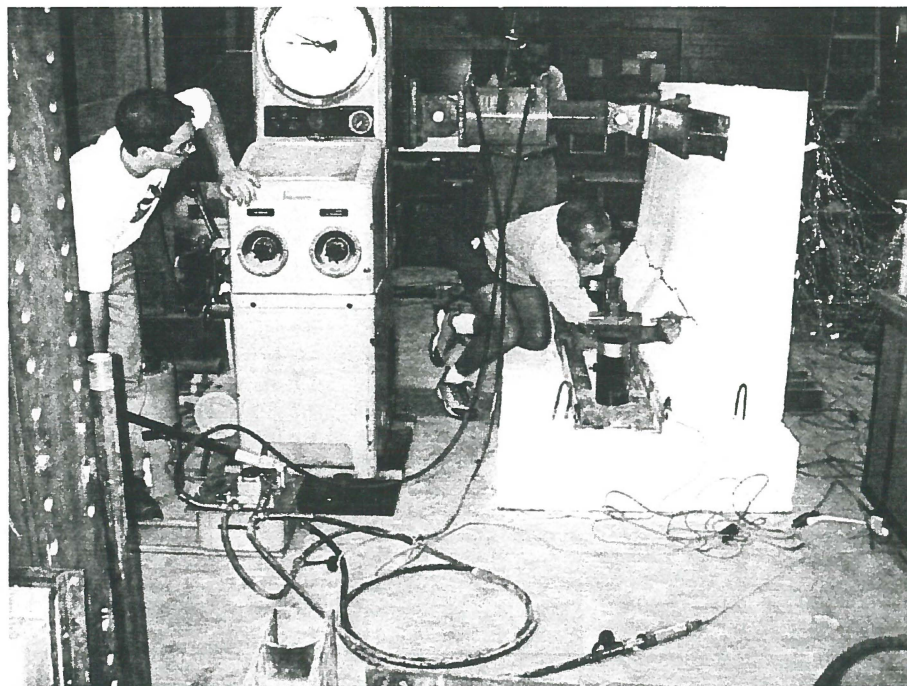


Figure 3.8 Vue montrant la première fissure développée au rayon de courbure lors de l'essai de chargement sur les glissières de type PL3

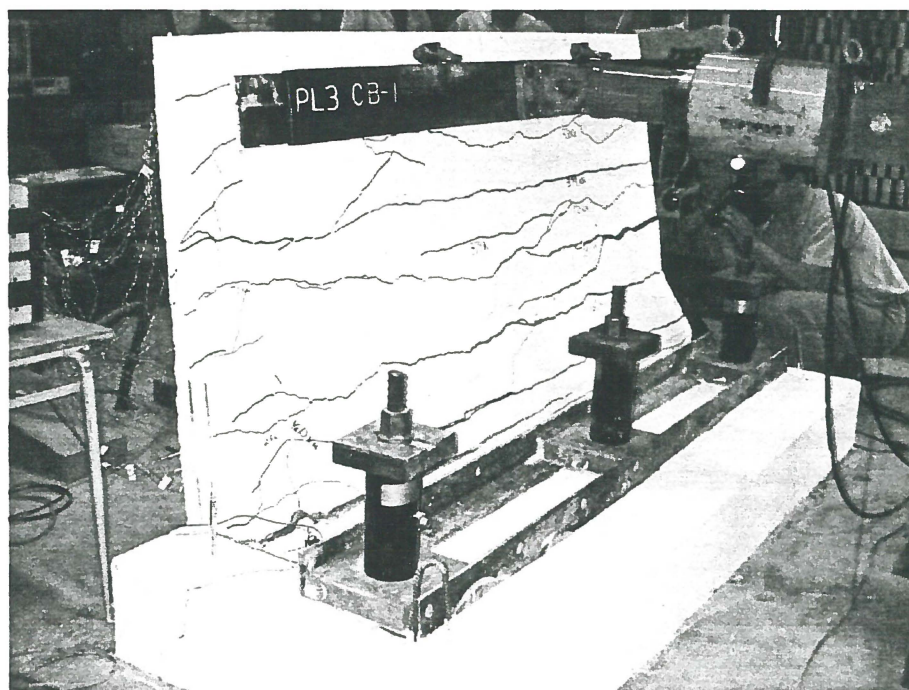


Figure 3.9 Réseau de fissuration et mode rupture de la glissière PL3-CB1

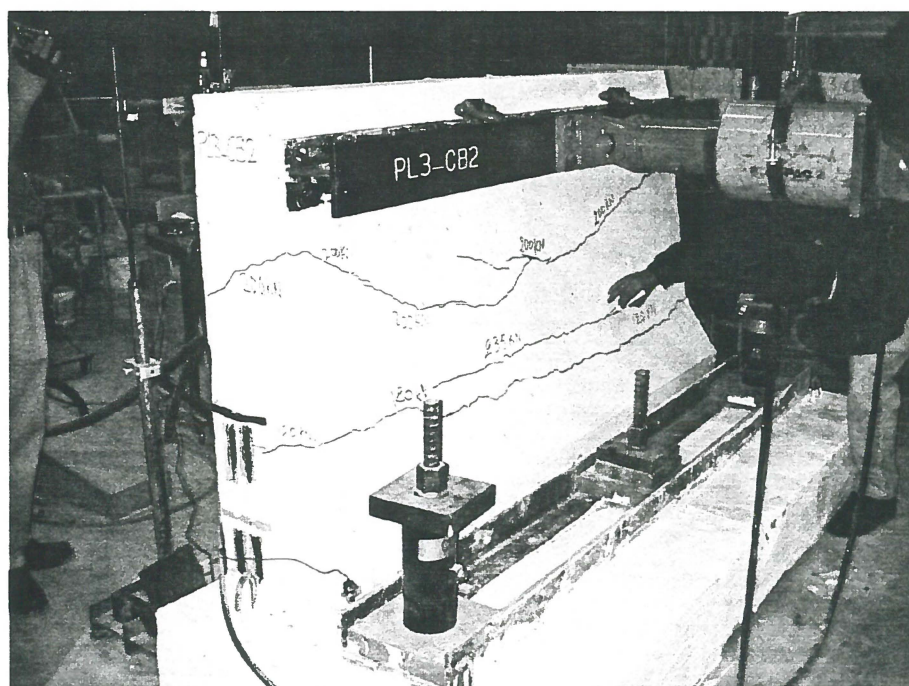


Figure 3.10 Réseau de fissuration et mode rupture de la glissière PL3-CB2

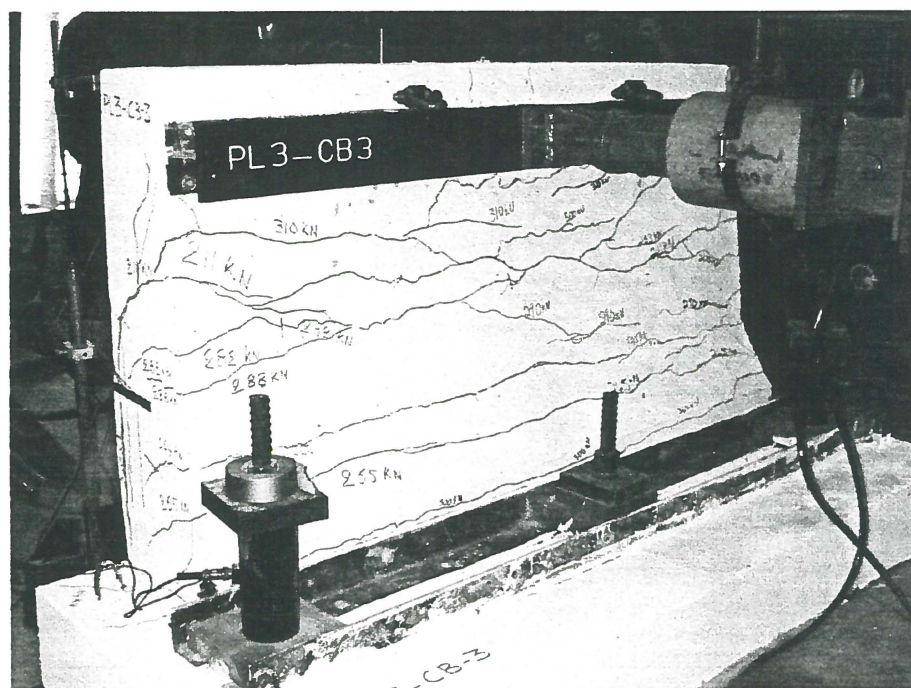


Figure 3.11 Réseau de fissuration et mode rupture de la glissière PL3-CB3

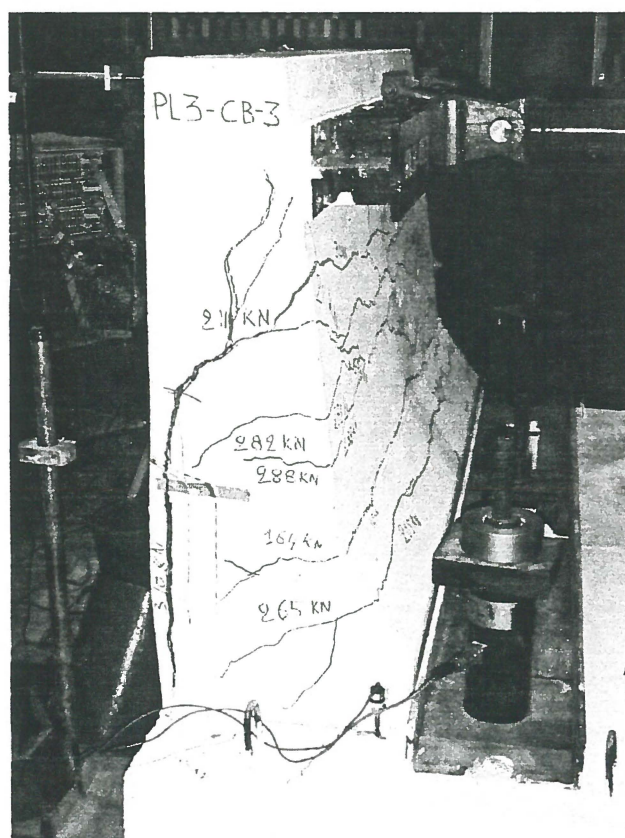


Figure 3.12 Vue rapprochée du mode de rupture (cisaillement/compression) de la glissière PL3-CB3

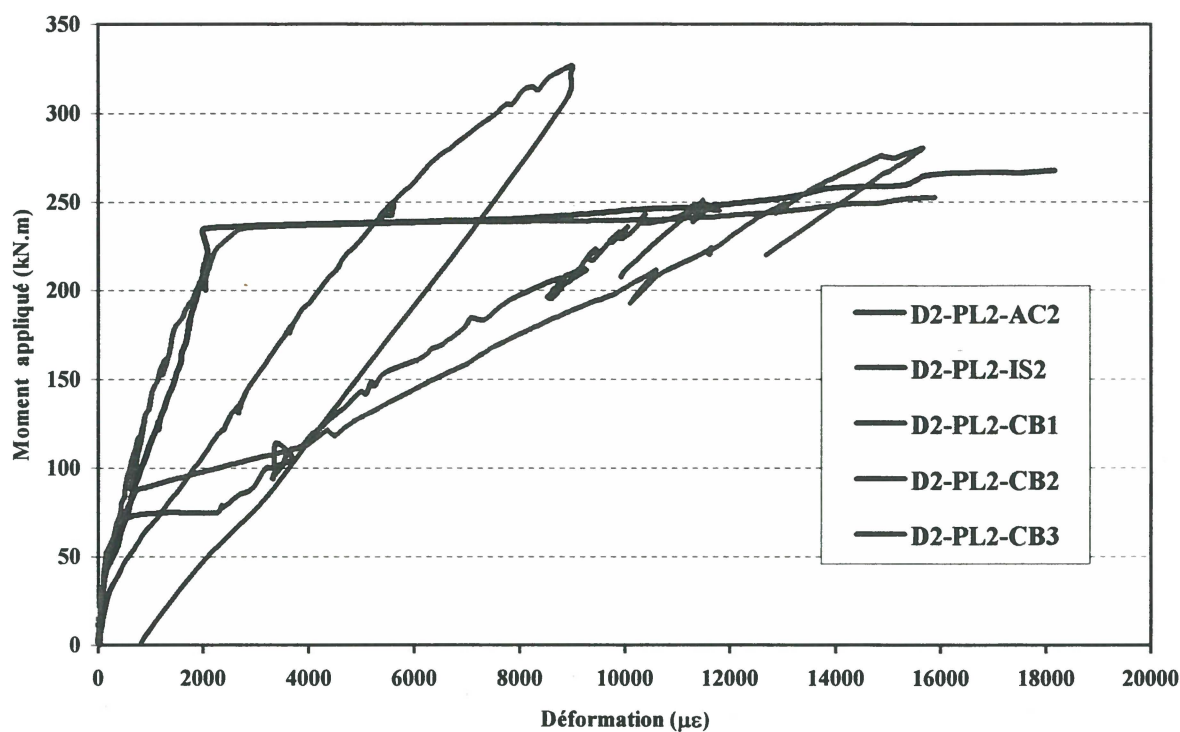


Figure 3.13. Comparaison du comportement de l'armature de type D2 à l'interface glissière-dalle (Glissières de type PL2)

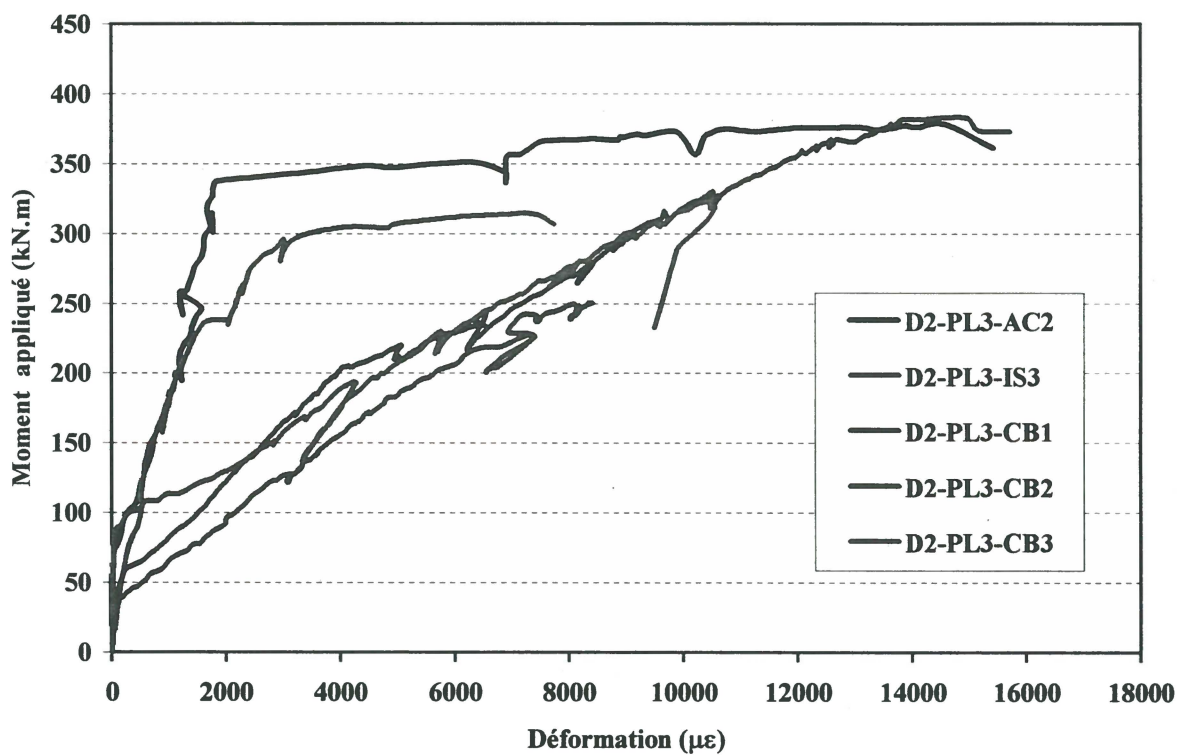


Figure 3.14. Comparaison du comportement de l'armature de type D2 à l'interface glissière-dalle (Glissières de type PL3)

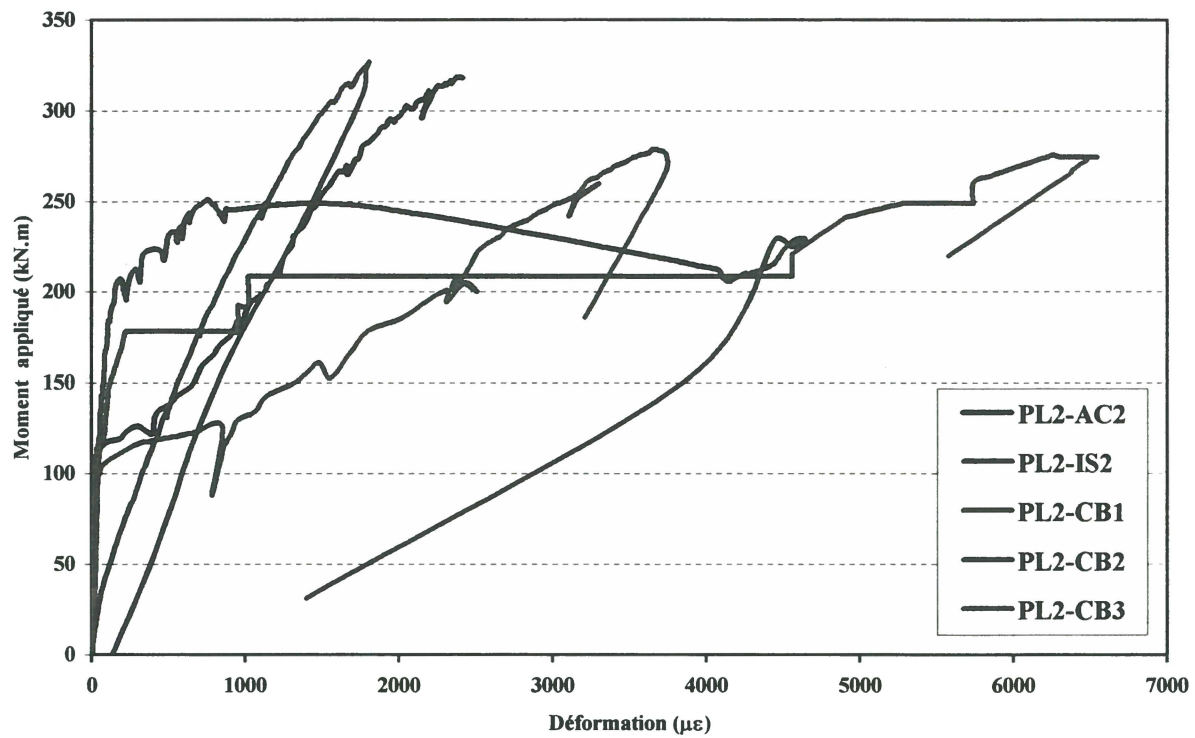


Figure 3.15. Comparaison du comportement de l'armature de type P1 au niveau 330 mm (Glissières de type PL2)

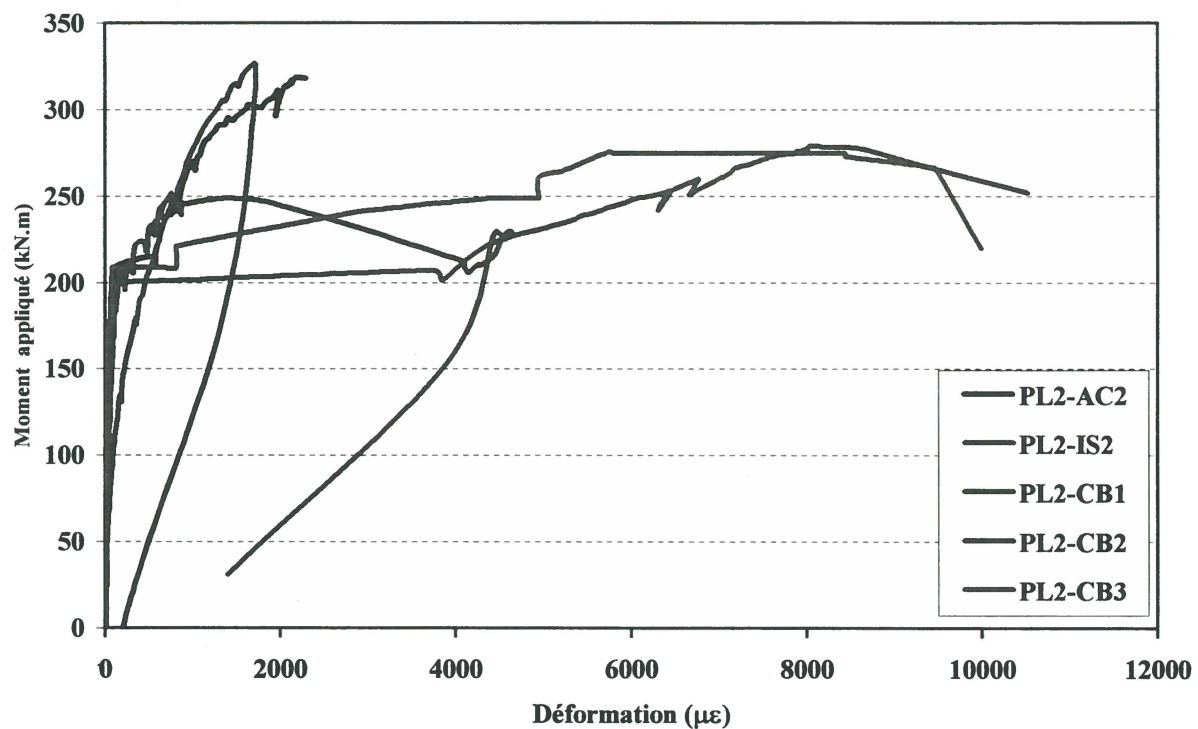


Figure 3.16. Comparaison du comportement de l'armature de type P1 au niveau 565 mm (Glissières de type PL2)

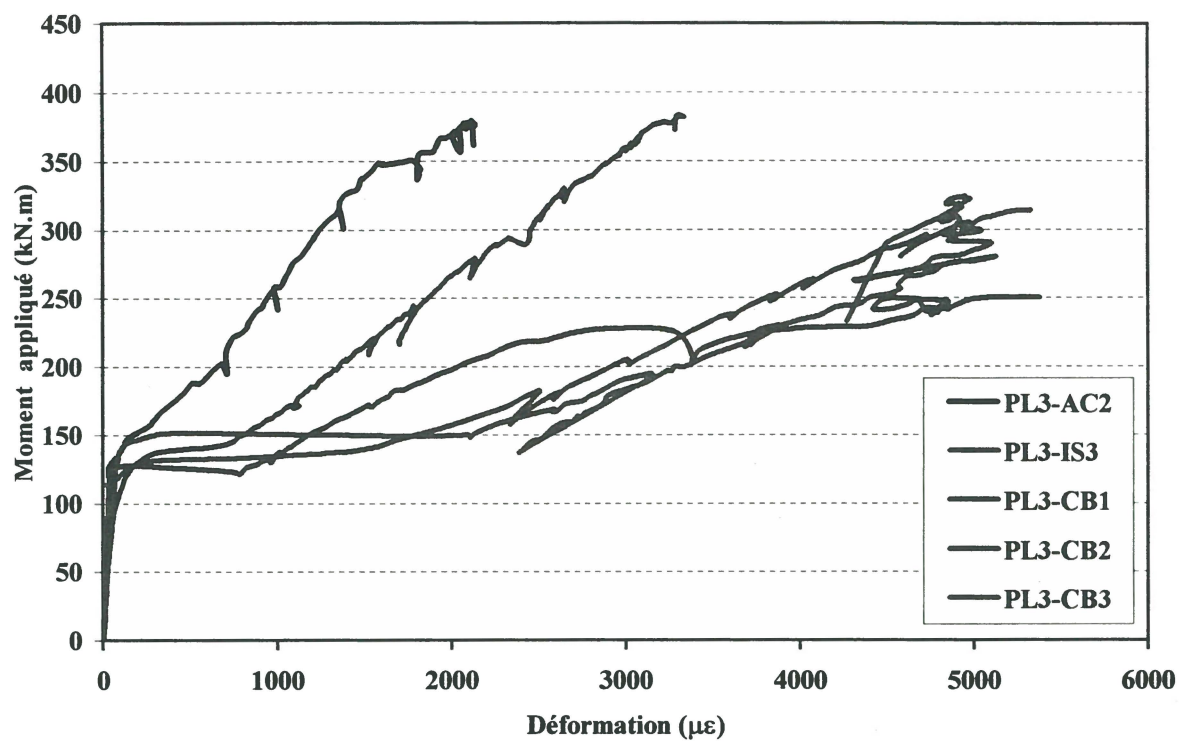


Figure 3.17. Comparaison du comportement de l'armature de type P1 au niveau 330 mm (Glissières de type PL3)

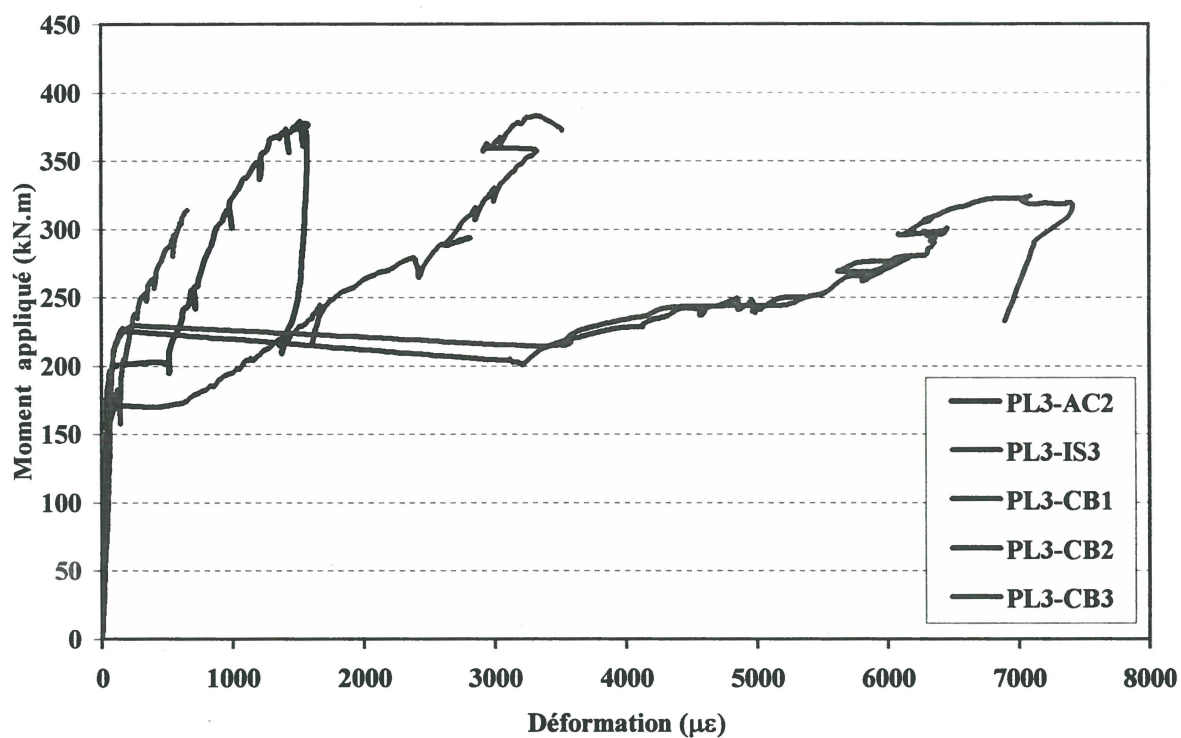


Figure 3.18. Comparaison du comportement de l'armature de type P1 au niveau 565 mm (Glissières de type PL3)

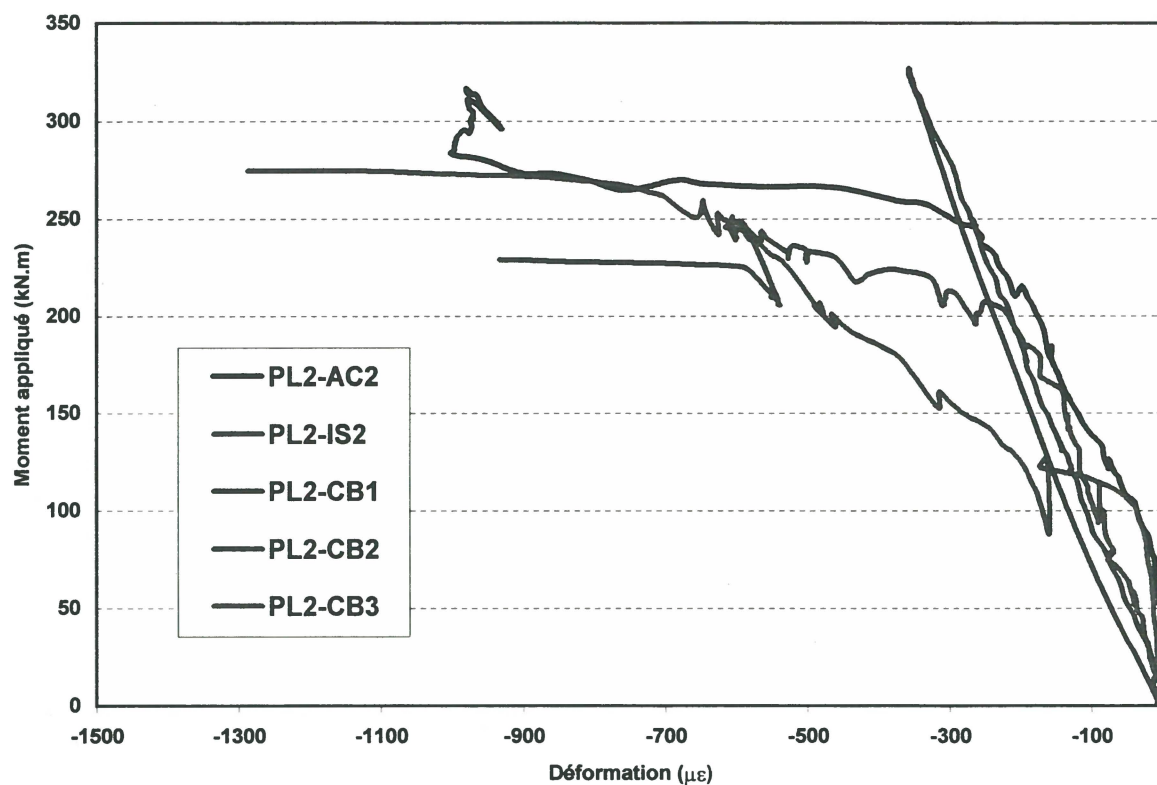


Figure 3.19. Comparaison des déformations du béton sur la face arrière au niveau 330 mm (Glissières de type PL2)

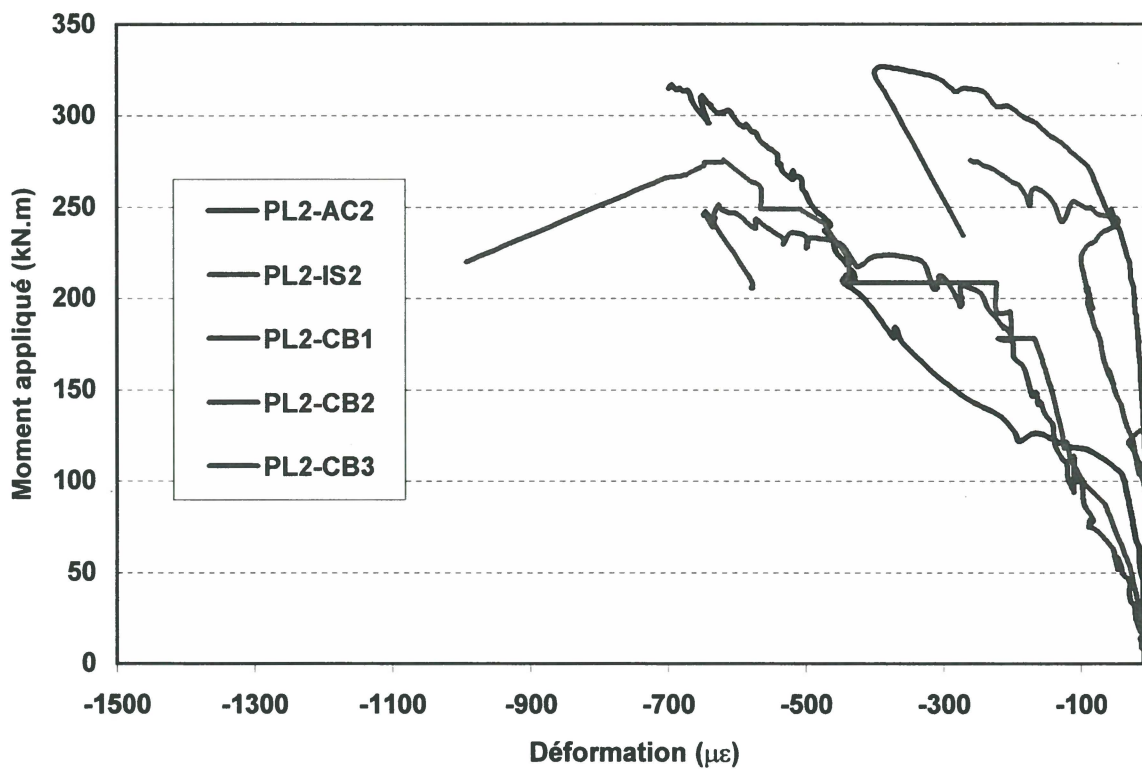


Figure 3.20. Comparaison des déformations du béton sur la face arrière au niveau 60 mm (Glissières de type PL2)

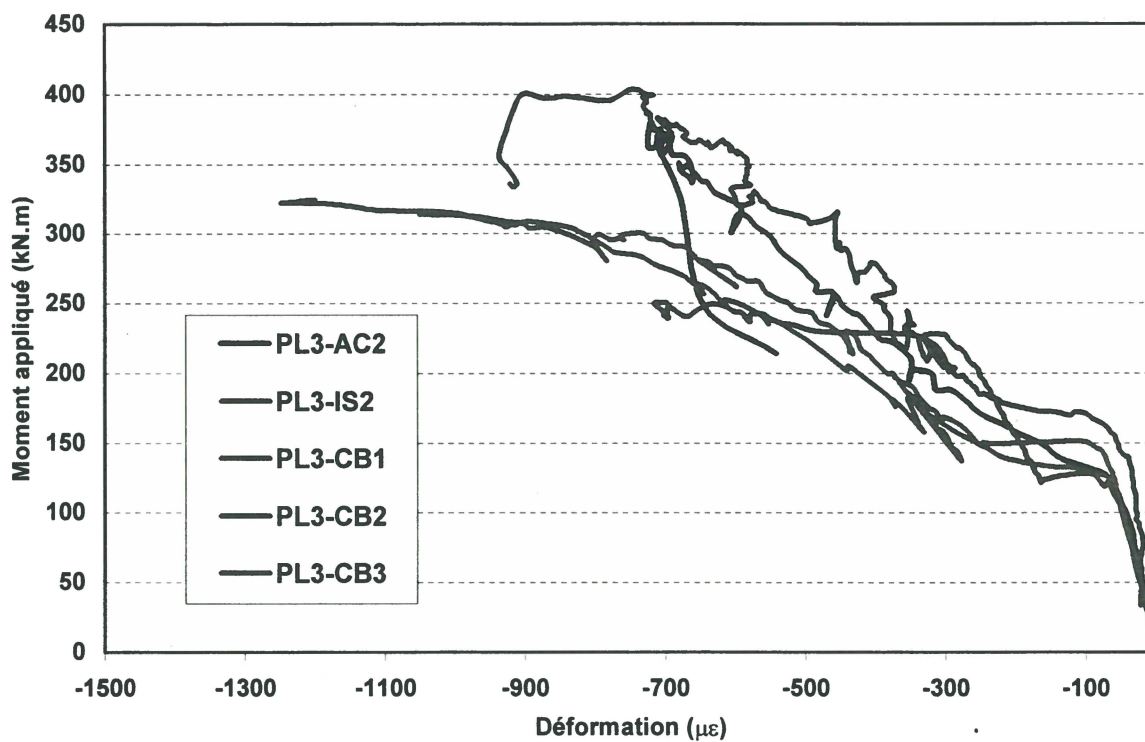


Figure 3.21. Comparaison des déformations du béton sur la face arrière au niveau 330 mm (Glissières de type PL3)

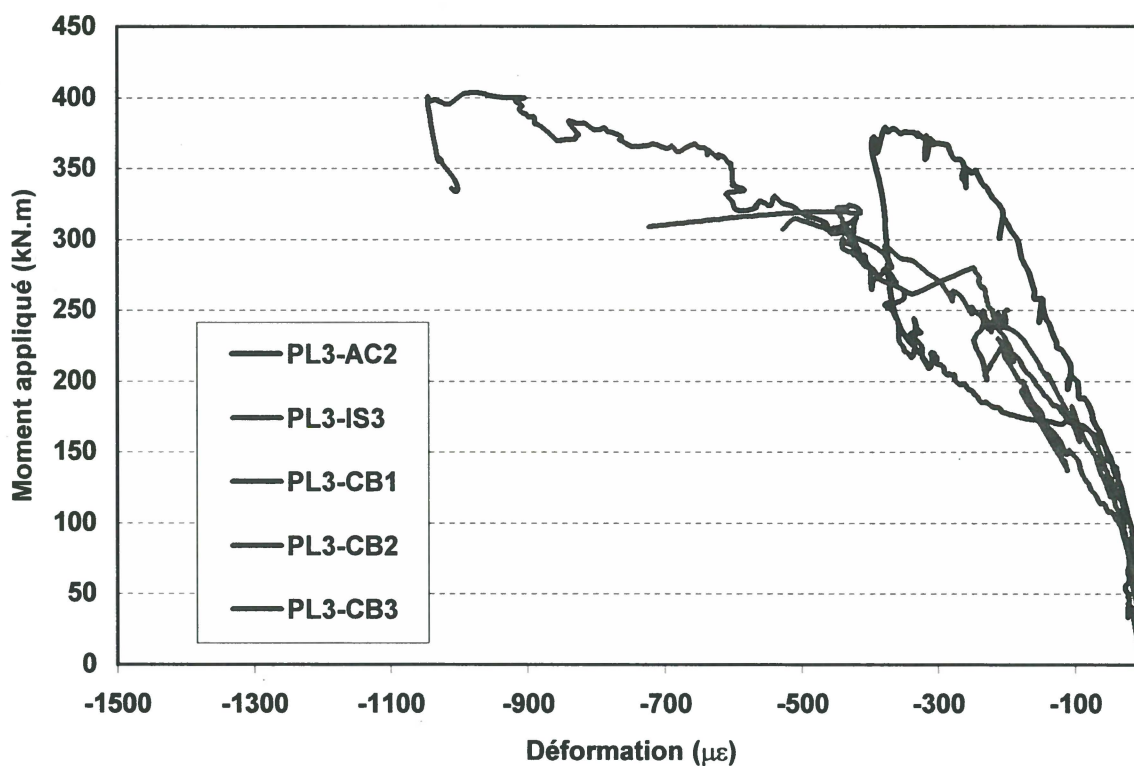


Figure 3.22. Comparaison des déformations du béton sur la face arrière au niveau 60 mm (Glissières de type PL2)

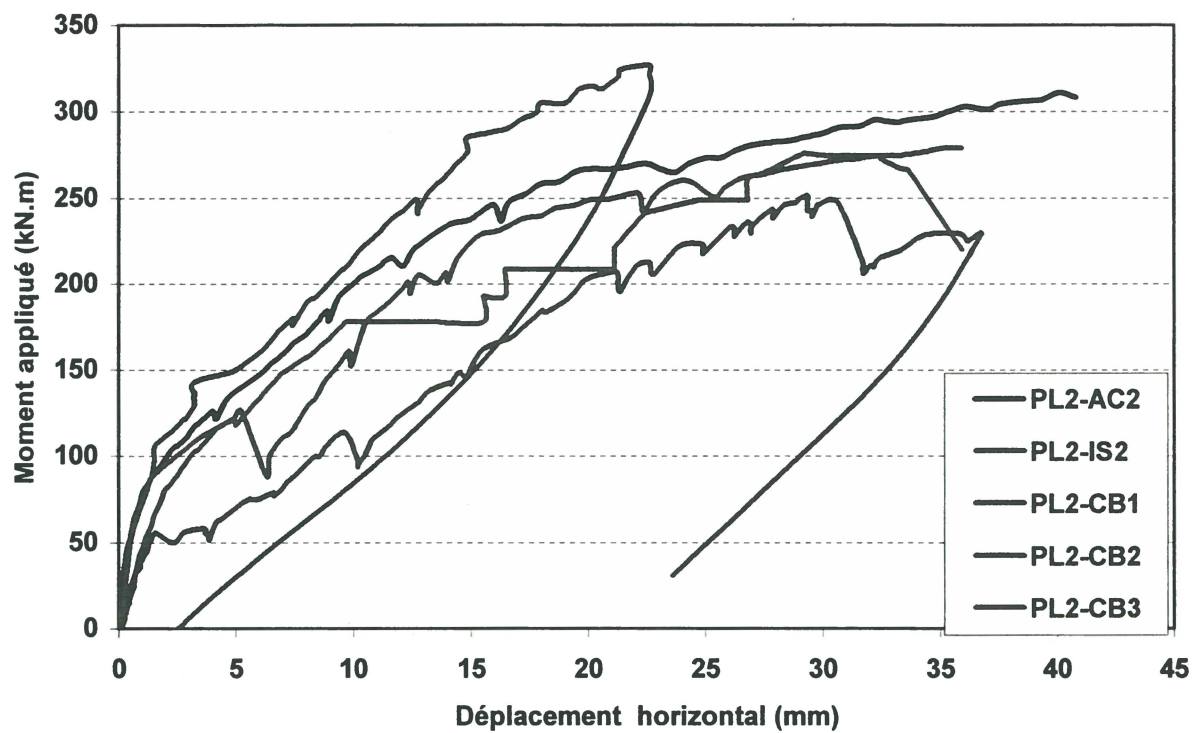


Figure 3.23. Comparaison des déplacements horizontaux
(Glissières de type PL2)

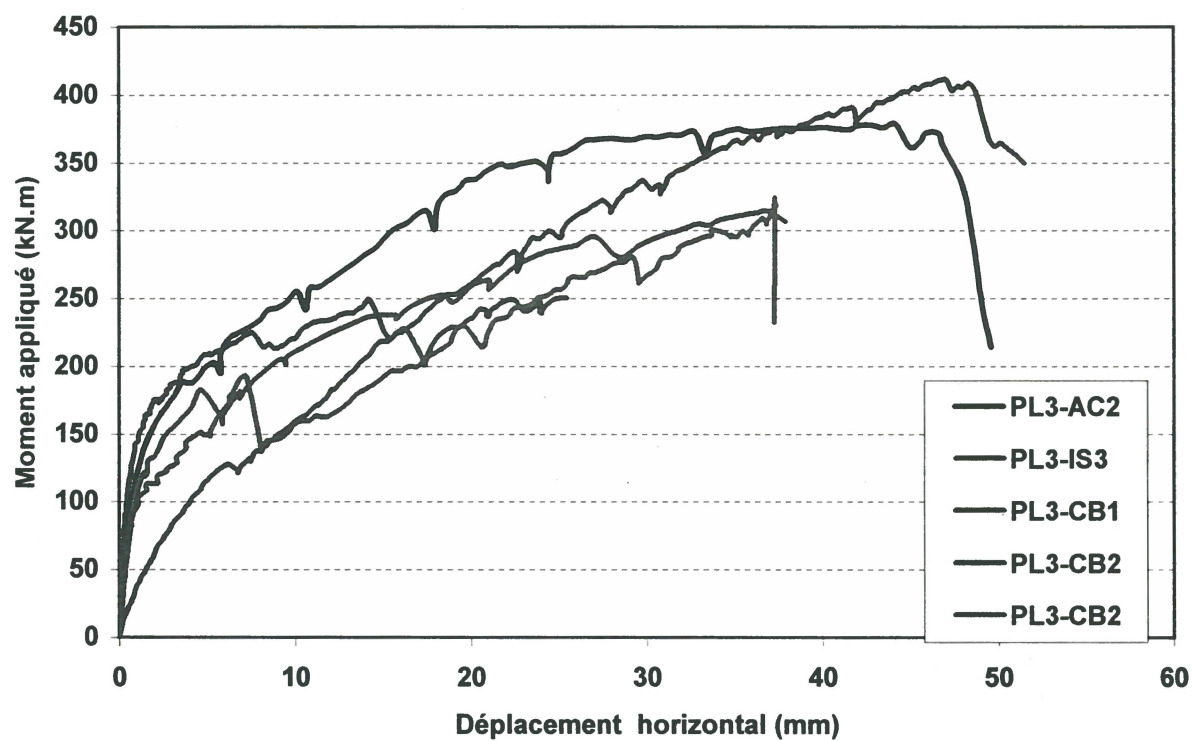


Figure 3.24. Comparaison des déplacements horizontaux
(Glissières de type PL3)

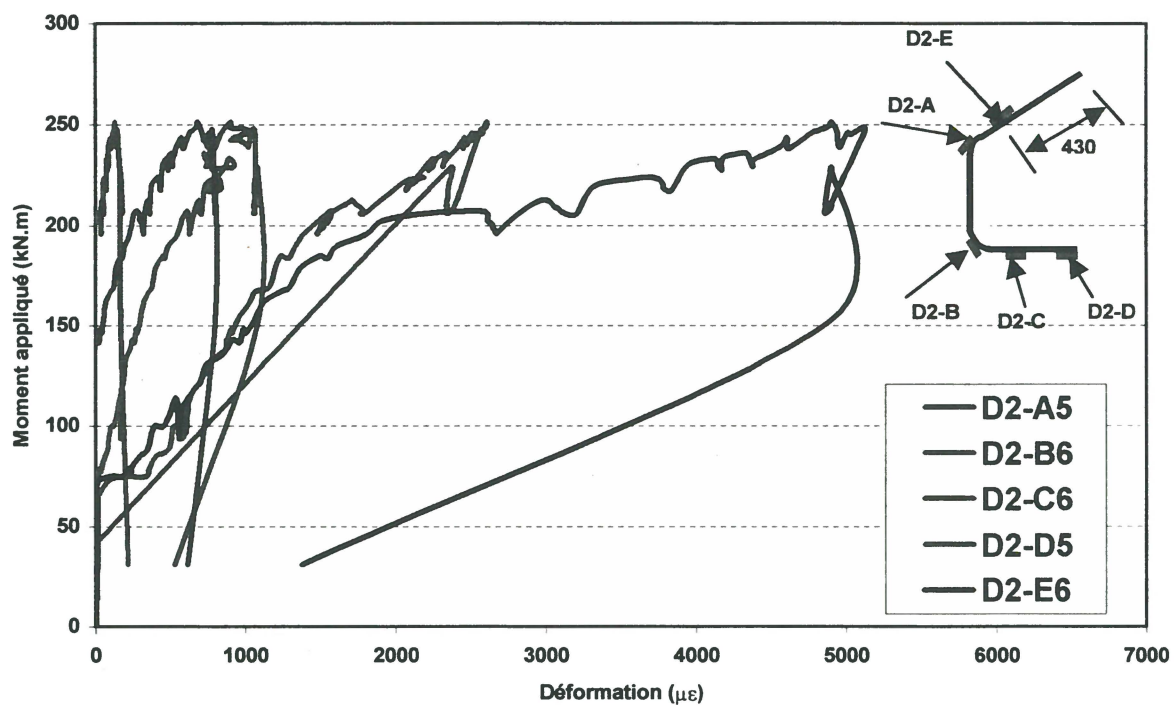


Figure 3.25. Distribution des déformations le long de l'armature en matériaux composites de type D2 (glissière PL2-CB2)

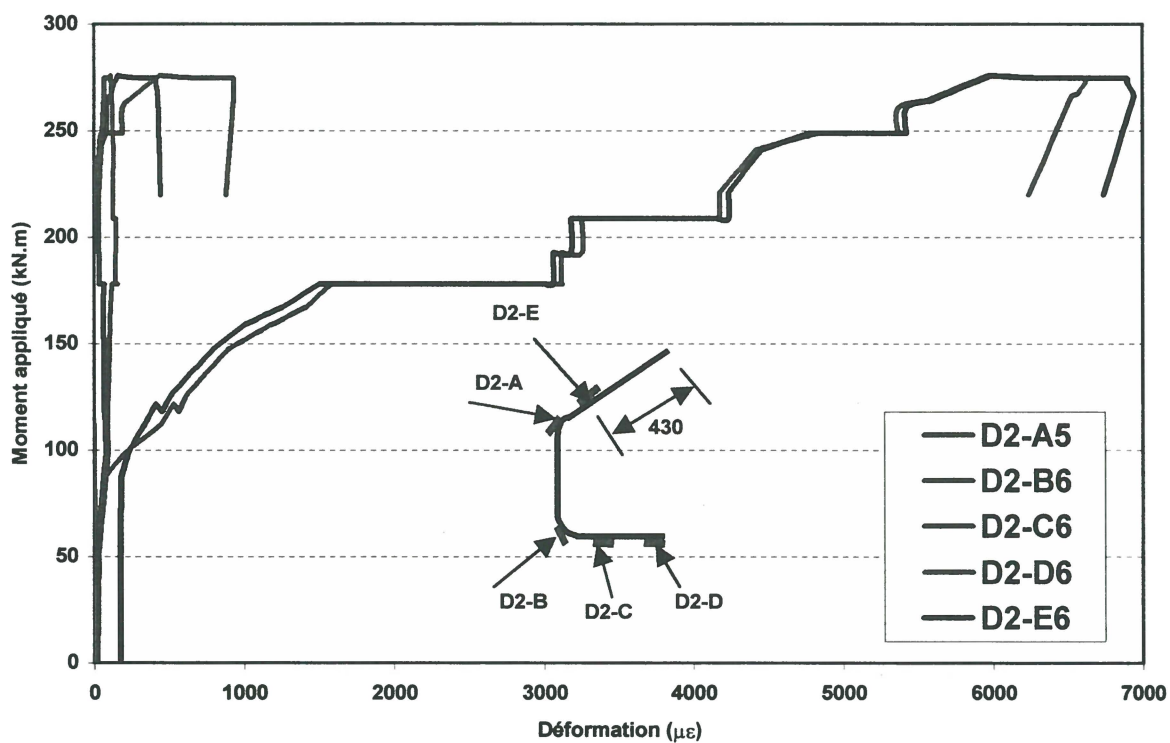


Figure 3.26. Distribution des déformations le long de l'armature en matériaux composites de type D2 (glissière PL2-CB3)

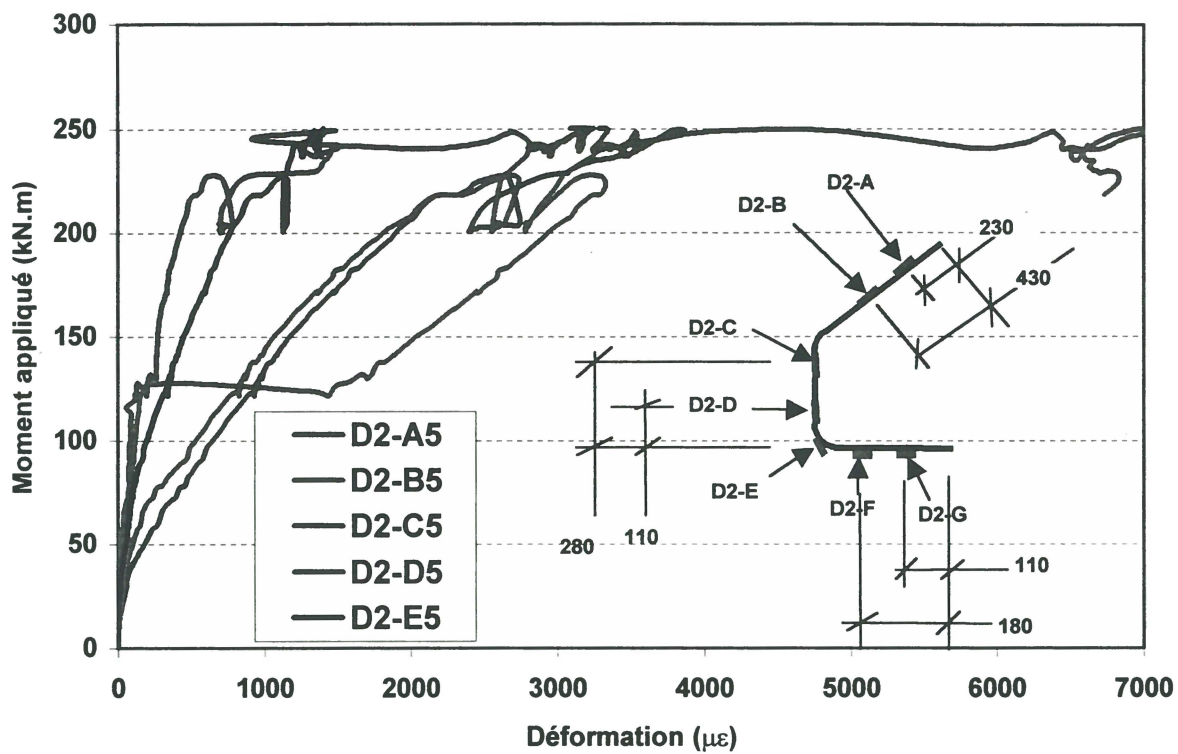


Figure 3.27 . Distribution des déformations le long de l'armature en matériaux composites de type D2 (glissière PL3-CB2)

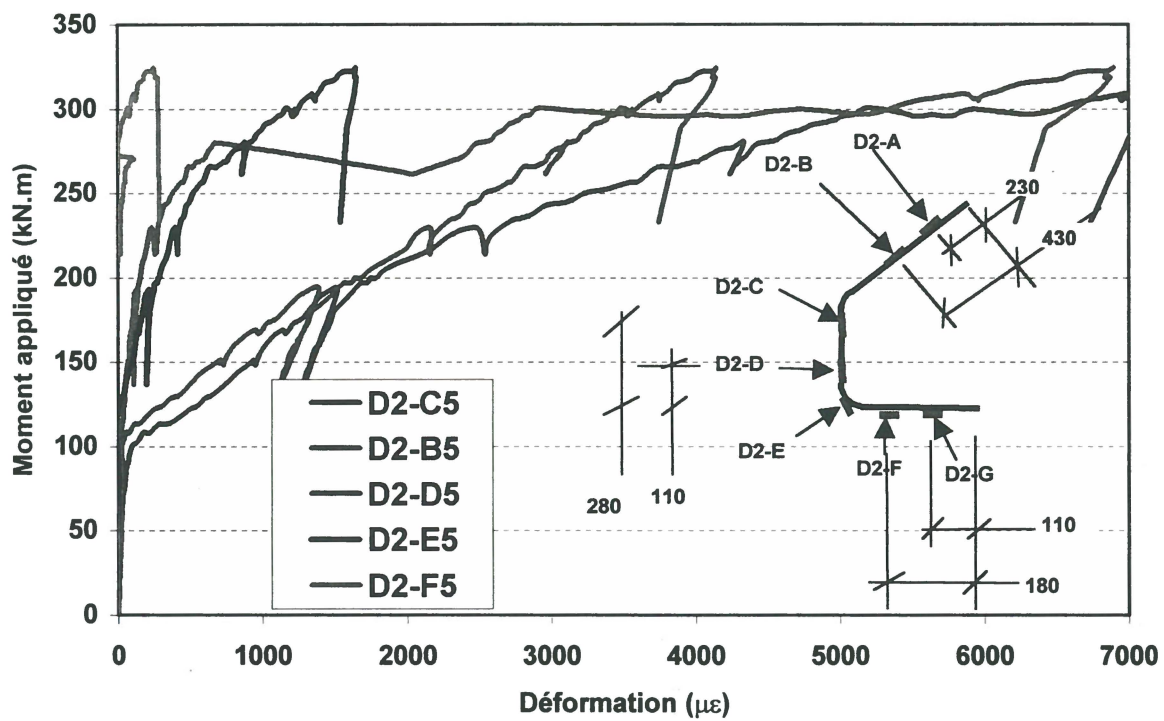


Figure 3.28. Distribution des déformations le long de l'armature en matériaux composites de type D2 (glissière PL3-CB3)

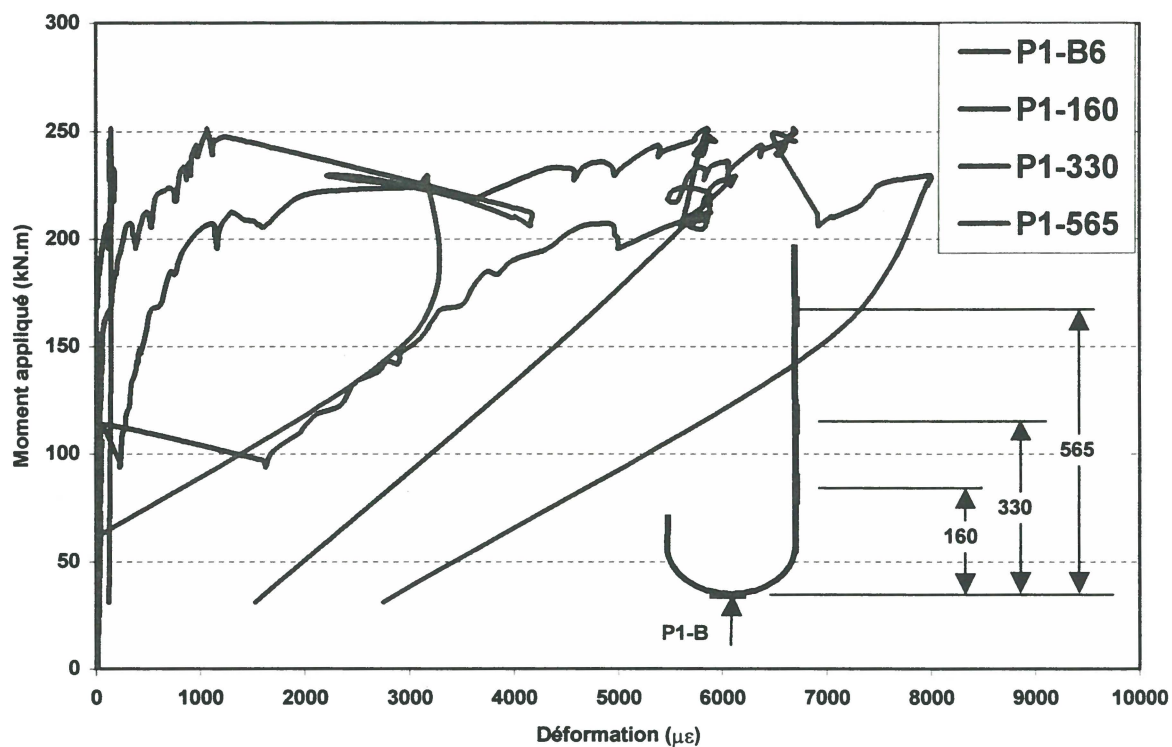


Figure 3.29 . Distribution des déformations le long de l'armature en matériaux composites de type P1 (glissière PL2-CB2)

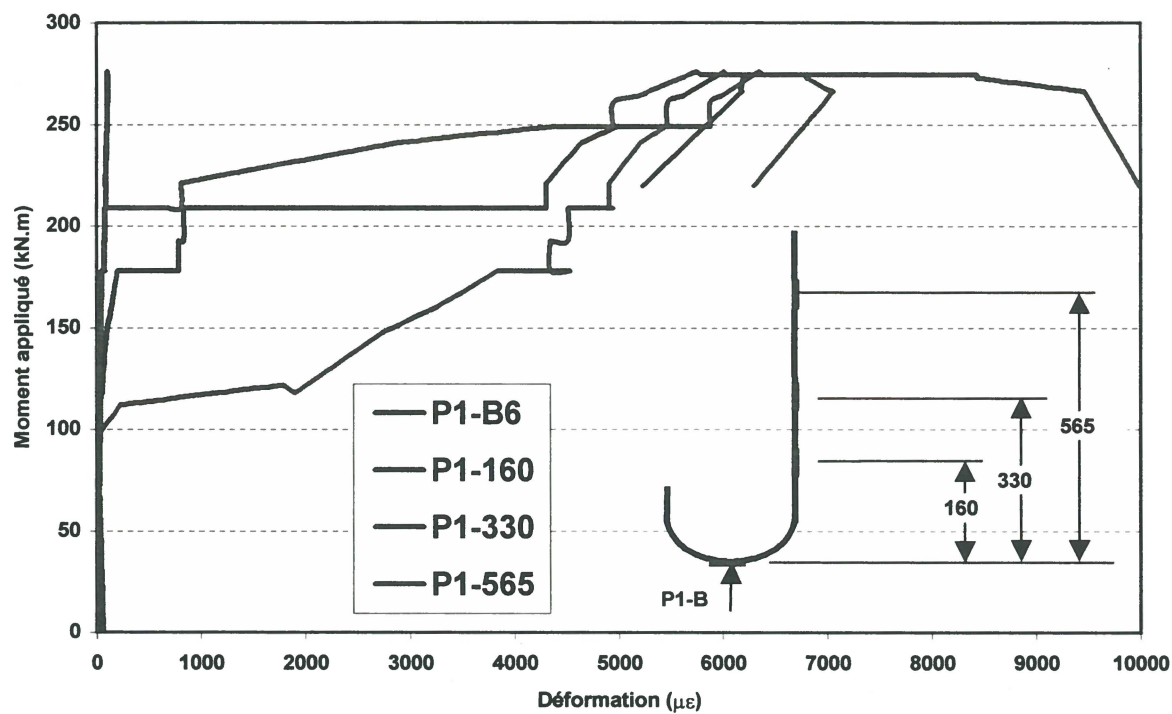


Figure 3.30. Distribution des déformations le long de l'armature en matériaux composites de type P1 (glissière PL2-CB3)

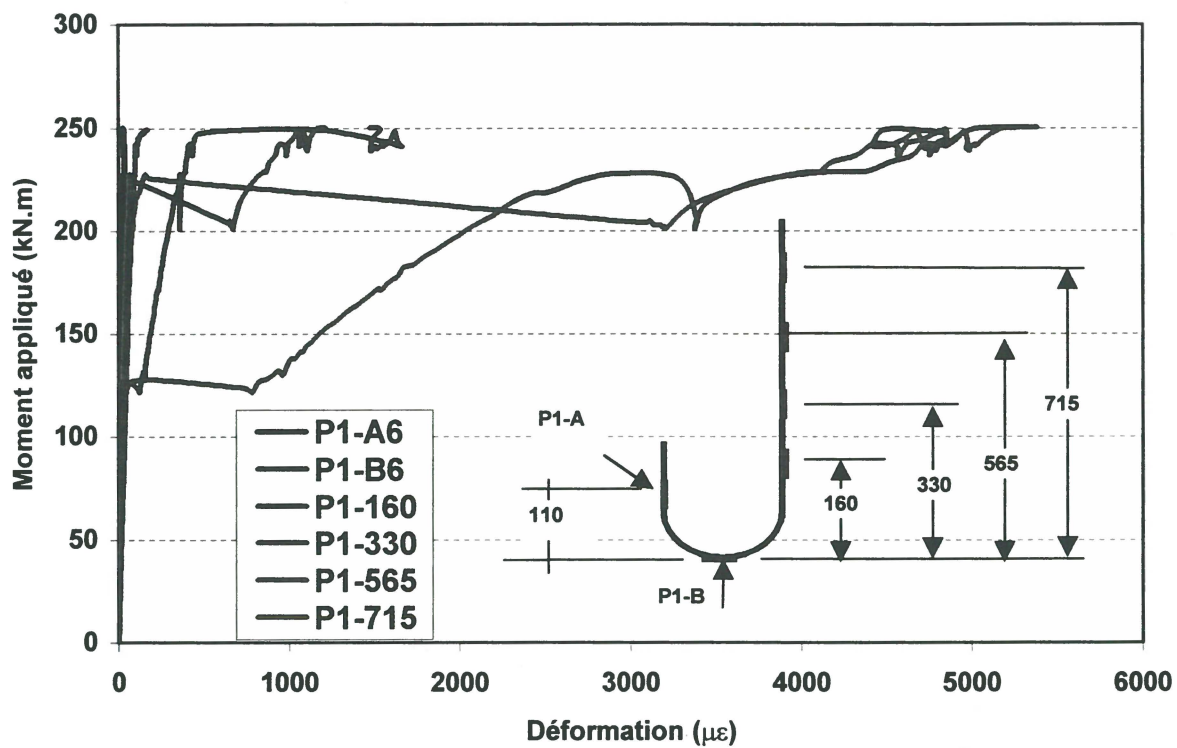


Figure 3.31. Distribution des déformations le long de l'armature en matériaux composites de type P1 (glissière PL3-CB2)

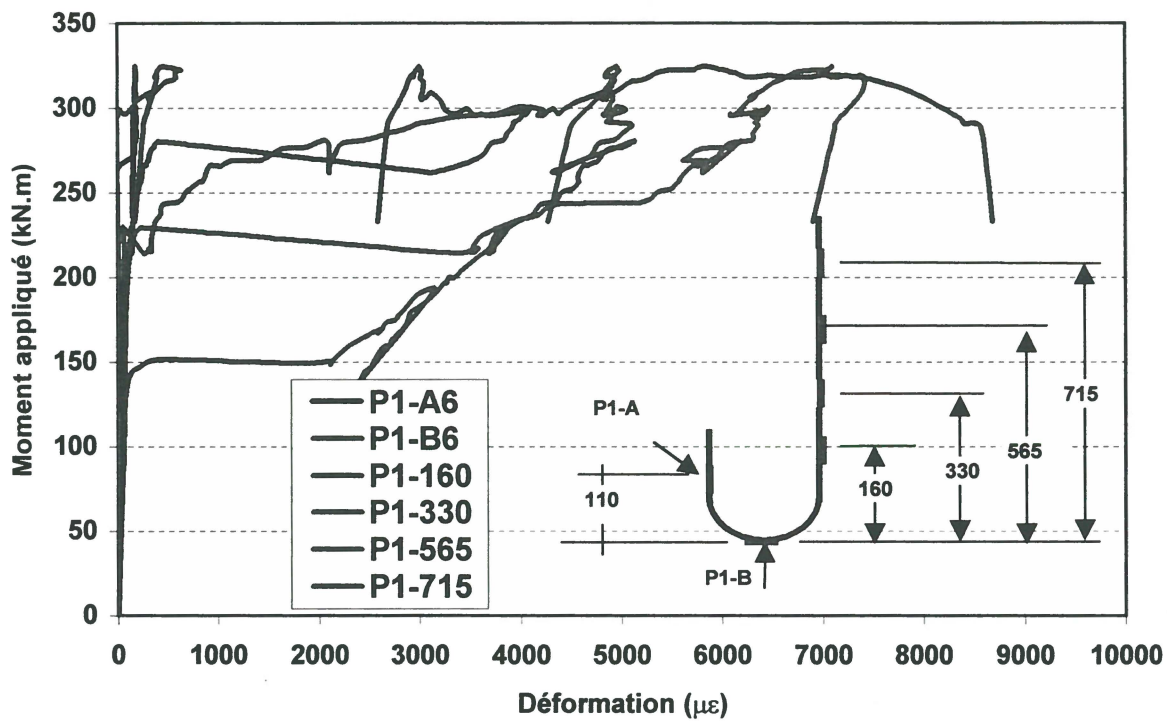


Figure 3.32 . Distribution des déformations le long de l'armature en matériaux composites de type P1 (glissière PL3-CB3)

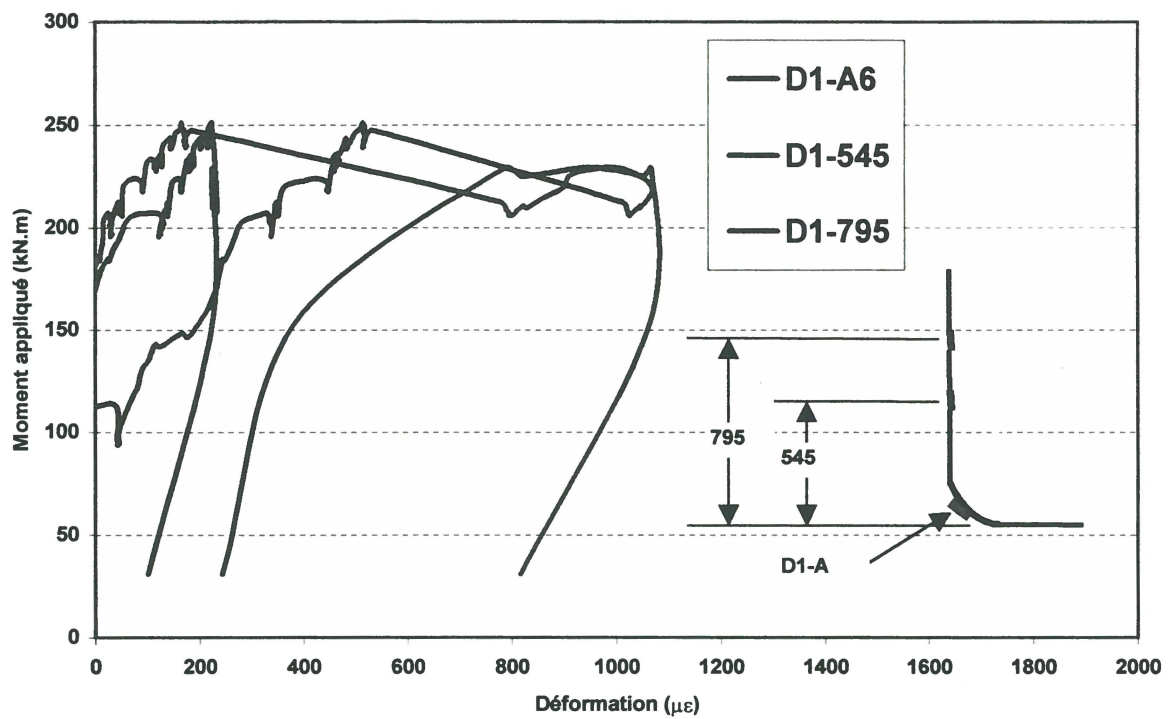


Figure 3.33 . Distribution des déformations le long de l'armature en matériaux composites de type D1 (glissière PL2-CB2)

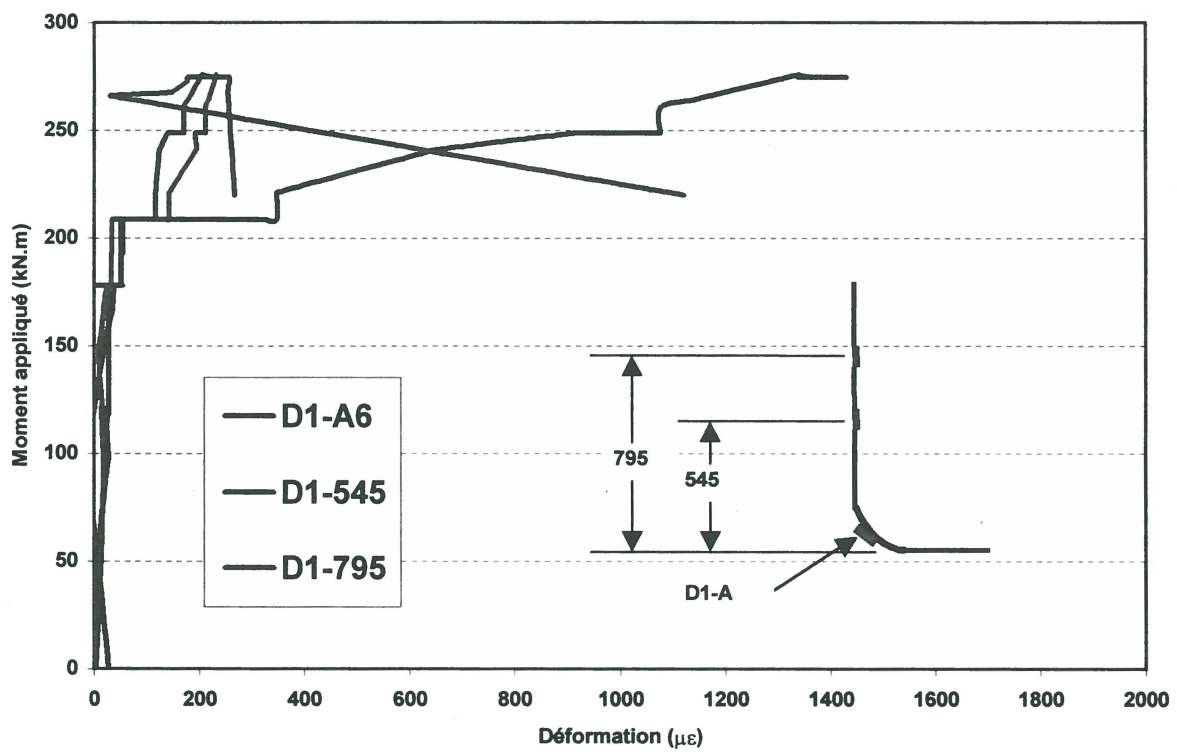


Figure 3.34. Distribution des déformations le long de l'armature en matériaux composites de type D1 (glissière PL2-CB3)

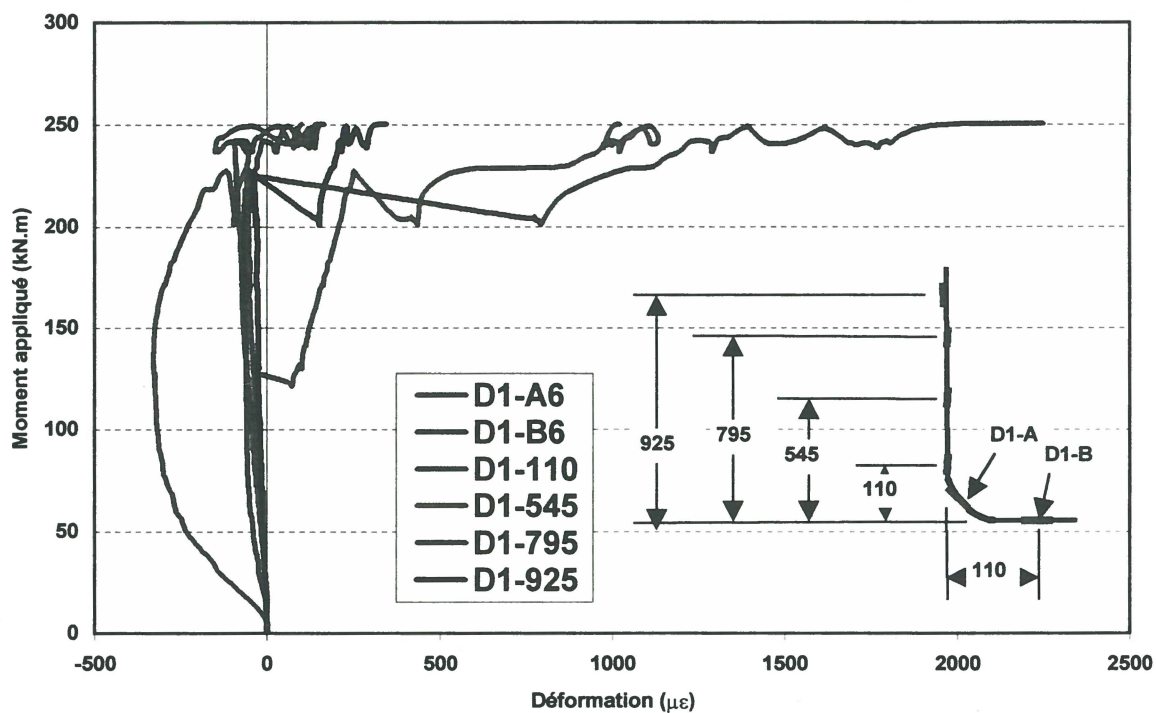


Figure 3.35. Distribution des déformations le long de l'armature en matériaux composites de type D1 (glissière PL3-CB2)

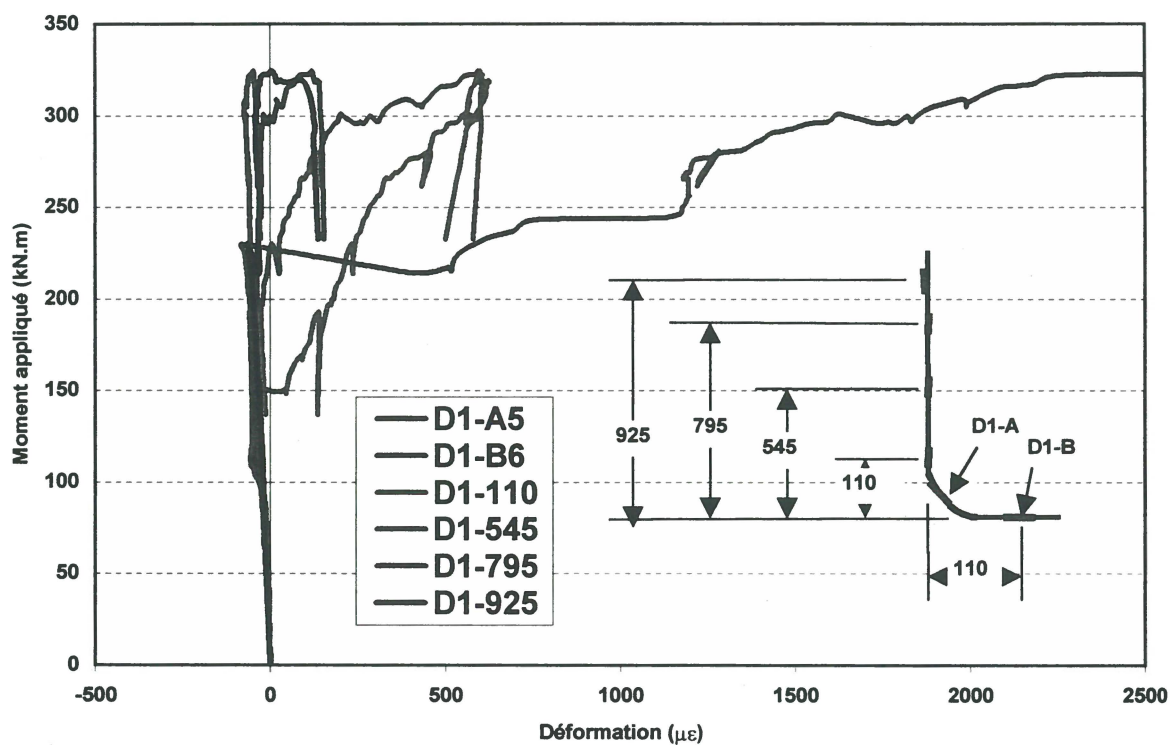


Figure 3.36. Distribution des déformations le long de l'armature en matériaux composites de type D1 (glissière PL3-CB3)

