

Essais sur des consoles AT-CISA-30

RAPPORT D'ESSAI



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

**Marie-Rose Backes
Dr. Miguel Fernández Ruiz**

Mandat : Essais ULMACO - 11.23

8 mai 2012

Rapport de synthèse IBETON
Rapport : Essais ULMACO - 11.23
Lausanne, le 8 mai 2012

| | |
|--------------------|------------------------------------|
| Institut | EPFL - ENAC - IIC |
| Laboratoire | IBETON |
| Titre | Essais sur des consoles AT-CISA-30 |
| Directeur | Dr Miguel Fernández Ruiz |
| Collaborateurs | Marie-Rose Backes |
| Auteurs du rapport | Marie-Rose Backes |

Ce rapport comprend 36 pages incluant 4 annexes.

Table des matières

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introduction | 4 |
| 2 | Fabrication des éléments et matériaux | 5 |
| 2.1 | Fabrication et géométrie des éléments | 5 |
| 2.2 | Armatures | 5 |
| 2.3 | Béton | 7 |
| 3 | Dispositifs d'essai | 9 |
| 3.1 | Bâti de charge | 9 |
| 3.2 | Instrumentation des échantillons | 10 |
| 4 | Résultats d'essai sur les échantillons CISA | 11 |
| 4.1 | Essai du joint CISA 150-10-15 sous effort tranchant V (<i>Spécimen 2</i>) | 12 |
| 4.2 | Essai du joint CISA 150-10-15 sous effort tranchant V et moment M (<i>Spécimen 1</i>) | 15 |
| 4.3 | Essai du joint CISA 150-12-15X sous effort tranchant V (<i>Spécimen 4</i>) | 18 |
| 4.4 | Essai du joint CISA 150-12-15X sous effort tranchant V et moment M (<i>Spécimen 3</i>) | 20 |
| 5 | Résultats des essais de traction | 23 |
| 5.1 | Barres façonnées | 23 |
| 5.2 | Barres déroulées manuellement | 24 |
| A | Annexes | 28 |
| A.1 | Géométrie et dimensions | 28 |
| A.2 | Plans d'armatures | 29 |
| A.3 | Instrumentation | 31 |
| A.4 | Schémas de fissuration | 35 |

1 Introduction

Le présent rapport décrit la campagne expérimentale menée au Laboratoire de construction en béton (IBETON) de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). Le mandat donné par la société *ULMACO SA* a porté sur l'enquête de la charge ultime d'éléments consoles comportant des joints de bétonnage. L'objectif de la campagne a été l'identification de la charge de rupture et du mode de rupture des joints. La connexion au droit des joints de bétonnage a été réalisée à l'aide du système de fer en attente *CISA-30* produit par la société *ULMACO SA* à Nyon. Afin d'étudier le comportement de ces joints à la reprise de l'effort tranchant et du cisaillement quatre échantillons ont été testés. Deux échantillons ont été soumis à une charge dans le plan du joint et deux échantillons ont été testés avec la charge excentrée par rapport au plan du joint afin d'étudier le comportement sous l'action simultanée d'un effort tranchant et d'un moment de flexion.

2 Fabrication des éléments et matériaux

2.1 Fabrication et géométrie des éléments

Les quatre éléments de $600 \times 1200 \times 1200$ mm ont été produits par *ULMACO SA* sur leur usine à Nyon (Vaud) et ensuite livrés à l'*EPFL*. Le bétonnage a été effectué en deux étapes. La première étape a consisté dans le bétonnage de la partie “*mur*” lors de laquelle le système CISA avec les fers en attentes, encore pliés, a été mise place, cf. figure 2.1.

(a) Armatures de la partie “*mur*”



(b) Languette CISA 30



Figure 2.1: Avant le bétonnage de la partie “*mur*” : Coffrage, armatures et fers en attente de type CISA-30 avec languette en plastique intégrée.

Le bétonnage de la partie “*dalle*” a été effectué dans une deuxième phase, après avoir retiré la languette en plastique et avoir déplié les armatures en attentes, cf. figure 2.2. La figure 2.2(b) permet de apercevoir le relief produit par le système CISA à l'interface du joint. Cette photo montre également les jauges de déformation qui ont été fixées sur les barres d'armatures dépliées permettant de suivre leur comportement lors des essais de chargement. La figure 2.3 montre l'échantillon final.

Les quatre éléments d'essai ont les mêmes dimensions. Le plan avec leur géométrie se trouve dans A.1.

2.2 Armatures

L'armature utilisée est la même pour les quatre échantillons. Les plans d'armatures se trouvent dans l'annexe A.2. Les seules différences sont les taux d'armature au niveau du joint entre

(a) Fers en attente dépliés



(b) Interface du joint et jauges de déformation



Figure 2.2: Partie “mur” décoffrée avec armatures en attente dépliées et le relief de l’interface du joint.

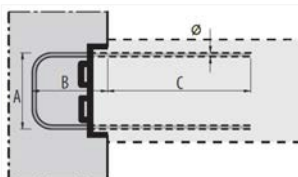


Figure 2.3: Echantillon final.

le mur et la dalle. Le tableau 2.1 montre les différents systèmes CISA-30 utilisés pour les spécimens. Deux éléments, *Spécimen 1* et *Spécimen 2*, sont équipés d’un système CISA-150-10-15 comportant deux fois quatre barres $\phi = 10$ mm. Les deux autres, *Spécimen 3* et *Spécimen 4*, sont renforcés à l’aide d’un système CISA-150-12-15X comportant deux fois quatre barres de diamètre $\phi = 12$ mm.

Tableau 2.1: Caractéristiques des systèmes CISA-30 utilisés

| Élément | Modèle CISA-30 | ϕ [mm] | Ecartement [mm] | Dimensions [mm] | | |
|-------------------|-------------------|----------------|--------------------|-----------------|-----|-----|
| | | | | A | B | C |
| <i>Spécimen 1</i> | 150-10-15 | 10 | 150 | 120 | 150 | 500 |
| <i>Spécimen 2</i> | | | | | | |
| <i>Spécimen 3</i> | 150-12-15X | 12 | 150 | 120 | 150 | 600 |
| <i>Spécimen 4</i> | | | | | | |



2.3 Béton

La classe de résistance prévue pour le béton des quatre spécimens était C25/30. Le béton a été préparé sur place par l'entreprise *ULMACO SA*. Afin de s'assurer de la qualité du béton, un total de 20 cylindres de béton ($\phi = 16$ cm, $L = 32$ cm) ont été préparés, 10 pour chaque phase de bétonnage (partie "mur" et partie "dalle"). Ces cylindres ont été soumis à des essais de compression simple à l'âge de 14 et 28 jours, ainsi qu'aux jours de l'exécution des essais. Les essais de compression ont été effectués par le *Laboratoire des Matériaux de Construction (LMC)*.

Les résistances moyennes du béton à la compression f_{cm} sont représentées dans le tableau 2.2. La figure 2.4 montre l'évolution de la résistance à la compression du béton. Le graphique contient les valeurs mesurées et la courbe moyenne de résistance proposée par le MC-90, voir équation 2.1.

$$f_{cm}(t) = f_{cm,28} \exp \left[\beta \left(1 - \sqrt{\frac{28}{t}} \right) \right] \quad (2.1)$$

Les valeurs de $f_{c,28}$ et de β sont déterminées par minimums carrés et t est exprimé en [j]. Pour les deux phases de bétonnages analysées, "mur" et "dalle", les valeurs valent $f_{c,28} = 37.5$ MPa et $\beta = 0.312$, respectivement $f_{c,28} = 34.8$ MPa et $\beta = 0.270$; l'écart-type résultant vaut 1.78 MPa pour le béton de la partie "mur" et 1.30 MPa pour le béton de la partie "dalle".

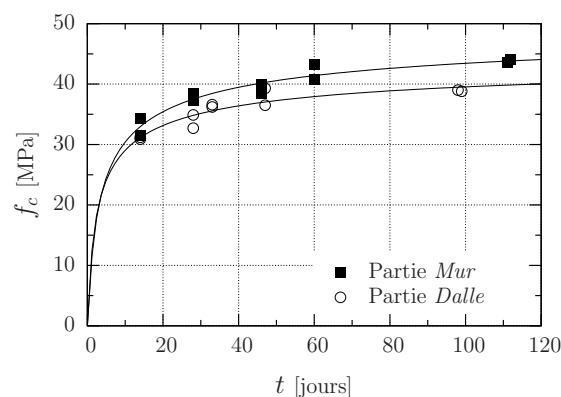


Figure 2.4: Évolution de la résistance du béton dans le temps : courbes moyennes et valeurs mesurées.

Tableau 2.2: Résistance du béton à la compression

| Partie | N° cylindre | Âge à l'essai [jours] | f_{cm} [MPa] | Remarques |
|--|-------------|--------------------------|-------------------|-----------------------------|
| "Mur" Date de fabrication : 14.10.2011 | 1 à 2 | 14 | 32.9 | |
| | 3 à 4 | 28 | 37.9 | |
| | 5 à 6 | 46 | 39.3 | Essai sur <i>Spécimen 4</i> |
| | 7 à 8 | 60 | 42.1 | Essai sur <i>Spécimen 2</i> |
| | 9 | 111 | 43.5 | Essai sur <i>Spécimen 3</i> |
| | 10 | 112 | 44.0 | Essai sur <i>Spécimen 1</i> |
| "Dalle" Date de fabrication : 27.10.2011 | 11 à 12 | 14 | 31.1 | |
| | 13 à 14 | 28 | 33.8 | |
| | 15 à 16 | 33 | 36.4 | Essai sur <i>Spécimen 4</i> |
| | 17 à 18 | 47 | 37.9 | Essai sur <i>Spécimen 2</i> |
| | 19 | 98 | 39.0 | Essai sur <i>Spécimen 3</i> |
| | 20 | 99 | 38.8 | Essai sur <i>Spécimen 1</i> |

3 Dispositifs d'essai

3.1 Bâti de charge

Les quatre échantillons ont été testés à l'aide de la presse *Schenk Trebel* d'une capacité de 10 MN. Les échantillons reposent sur toute leur largeur sur une semelle en caoutchouc de 2 cm d'épais et 10 cm de large. Dans la partie supérieure de l'échantillon la force est introduite à l'aide d'un vérin (élément bleu de la figure 3.1). Afin de répartir cette force concentrée sur toute la largeur de l'échantillon on utilise un profilé rigide qui est intercalé entre le vérin et l'échantillon. Le profilé repose sur une semelle en caoutchouc.

(a) Vue Est-Ouest



(b) Vue Sud-Nord



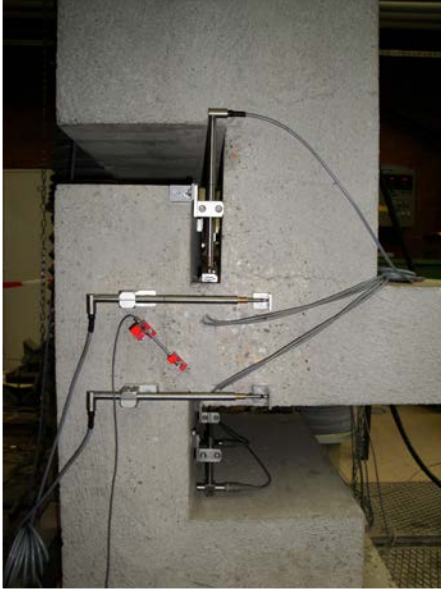
Figure 3.1: Bâti de charge

La mise en charge des essais est réalisée en utilisant le cylindre de pression inférieur de la presse *Schenk Trebel* qui est visible sur la figure 3.1(a) (élément circulaire en dessous de l'échantillon). Les essais ont été pilotés en déplacement, donc une mesure précise du déplacement verticale du cylindre de pression était nécessaire. Ceci a été réalisé à l'aide d'un capteur de déplacement externe à la machine d'essai.

3.2 Instrumentation des échantillons

Les échantillons ont été équipés chacun de 12 capteurs LDVT, 4 jauges de déformations sur les barres d'armature et 1 inclinomètre. Un plan détaillé avec la position et la nomenclature des capteurs se trouve dans l'annexe A.3.

(a) Capteurs face est



(b) Capteurs sous dalle



(c) Capteur central sur dalle



(d) Capteur de force (blanc)



Figure 3.2: Instrumentation des échantillons

Les 12 déformètres ont été répartis sur les quatre faces de la dalle. Sur les faces est et ouest des spécimens, il y avait chaque fois trois capteurs pour mesurer la déformation horizontale et diagonale du joint, figure 3.2(a). La déformation verticale a été enregistrée à l'aide de trois capteurs situés sous la dalle, figure 3.2(b) et trois capteurs placés au-dessus de la dalle, figure 3.2(c) et figure 3.2(a). La force agissant sur les échantillons a été mesurée à l'aide d'un capteur de force placé entre le vérin et la poutre de répartition, figure 3.2(d).

4 Résultats d'essai sur les échantillons CISA

Les quatre échantillons présentés ci-dessus ont été testés sous différents cas de charge. Deux échantillons ont été testés sous une charge axiale introduisant un effort tranchant V au droit du joint, cf. figure 4.1(a). Les deux autres échantillons ont été testés sous une charge excentrée de 5 cm par rapport au plan du joint, cf. figure 4.1(b). Ces derniers ont donc été soumis à un effort tranchant V et un effort de flexion M .

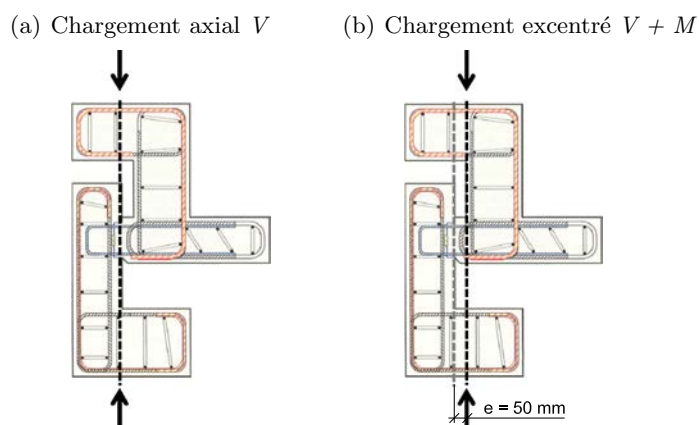


Figure 4.1: Dispositions de chargement

Le tableau 4.1 résume les résultats d'essai. On peut constater une réduction de la charge de rupture due à la présence d'un moment de flexion au droit du joint. Ainsi que, pour trois des quatre échantillons, la rupture s'est produite dans la dalle, seule le *Spécimen 1* avec un taux d'armature plus faible présentait une rupture par écoulement des barres d'armatures au droit du joint. Dans aucun des quatre échantillons testés la rupture ne s'est produite dans le joint.

Tableau 4.1: Résumé des résultats d'essai.

| <i>Spécimen</i> | Modèle CISA-30 | Sollicitation | Charge de rupt. | Moment de rupt. | Zone de rupture |
|-----------------|-------------------|---------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| | | | F_{max} [kN] | M_{max} [kNm] | |
| N° 2 | 150-10-15 | V | 551.14 | - | Dalle |
| N° 1 | 150-10-15 | V + M | 462.00 | 23.10 | Joint |
| N° 4 | 150-12-15X | V | 594.25 | - | Dalle |
| N° 3 | 150-12-15X | V + M | 535.76 | 26.79 | Dalle |

Plus de détails sur les résultats d'essai sont donnés aux paragraphes 4.1 à 4.4.

4.1 Essai du joint CISA 150-10-15 sous effort tranchant V (*Spécimen 2*)

Le *Spécimen 2* dont le joint a été réalisé à l'aide du système CISA 150-10-15 a été soumis à un essai de compression axiale. Le joint a donc été sollicité à l'effort tranchant V seulement. La charge de rupture a été de 551 kN. La figure 4.2 montre le mode de rupture de cet échantillon. Remarquons que la rupture n'a pas eu lieu dans le joint.

Au cours du chargement, la première fissure a pu être observée sous une charge de 365 kN, il s'agit d'une fissure partant du bord inférieur de la surface d'appui de la dalle, figure 4.2(a). En s'approchant de la charge de rupture une fissuration longitudinale de la bielle de compression dans la dalle a pu être observée, figure 4.2(b). Cette dernière a finalement causé la rupture de l'échantillon sous une charge de 551 kN. Le joint est resté intact, même après rupture de l'élément aucune fissuration n'a été observée à l'interface du joint. Un schéma détaillé de la fissuration se trouve dans l'annexe A.4 à la figure A.8.

Les mesures effectuées lors de l'essai sont représentées sur la figure 4.3. La figure 4.3(a) montre les déformations horizontales au niveau du joint, mesurées aux deux faces extérieures de l'échantillon (EST et OUEST). La figure 4.3(b) montre la déformation du joint dans la direction orientée à 45° par rapport au plan du joint. Les figures 4.3(c) et (d) représentent le déplacement vertical de la dalle par rapport au mur, mesuré à la face supérieure respectivement inférieure de la dalle. La figure 4.3(e) montre les allongements d'une paire de barres d'armature au niveau du joints. La figure 4.3(f) montre la rotation de la dalle par rapport au mur.

(a) Fissuration de la zone d'appui, à 365 kN



(b) Fissuration de la bielle de compression, à 500 kN



(c) Après la rupture



Figure 4.2: Mode de rupture du *Spécimen 2*

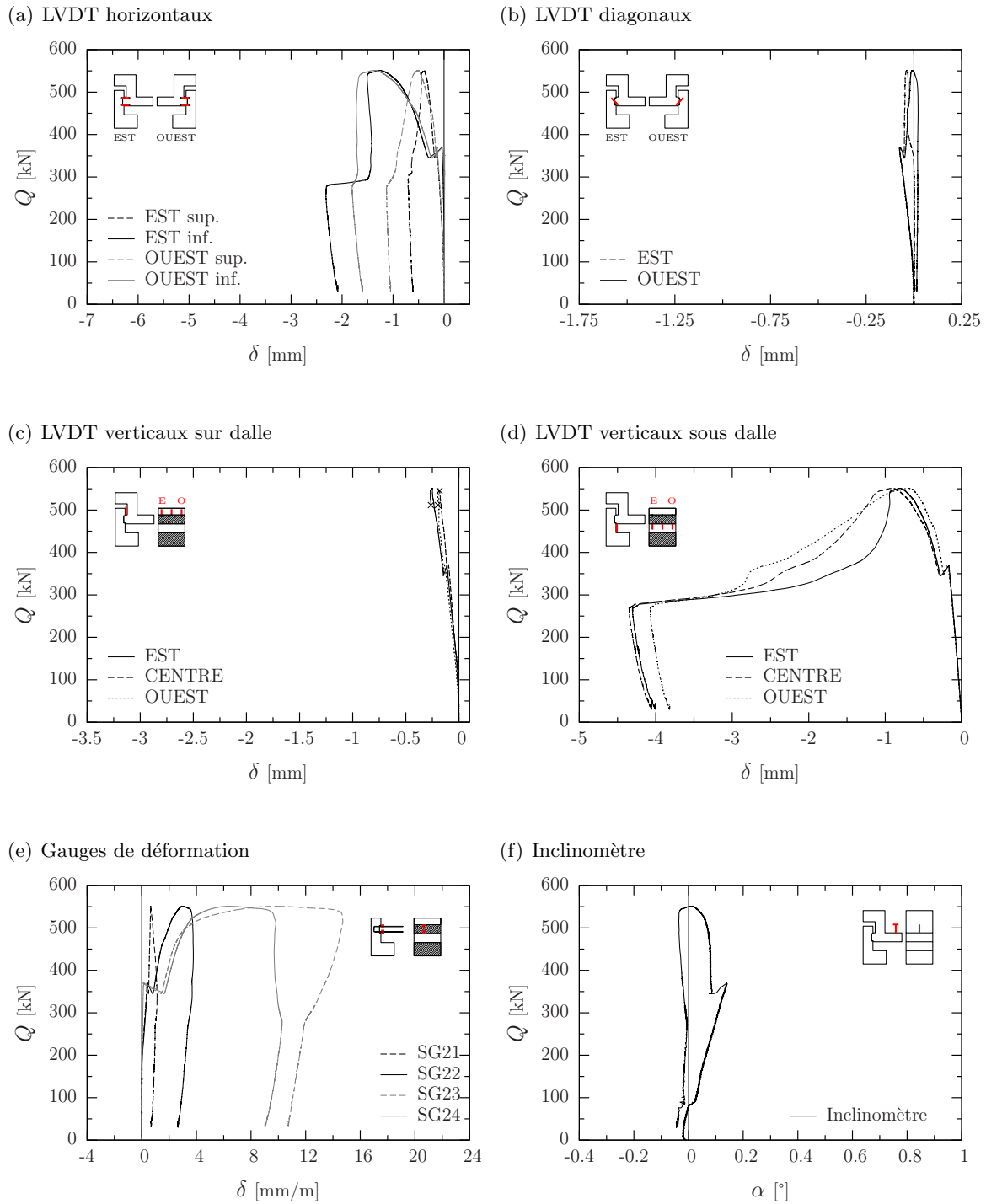


Figure 4.3: Résultats d'essai du *Spécimen 2* avec un joint CISA 150-10-15 sous effort tranchant V .

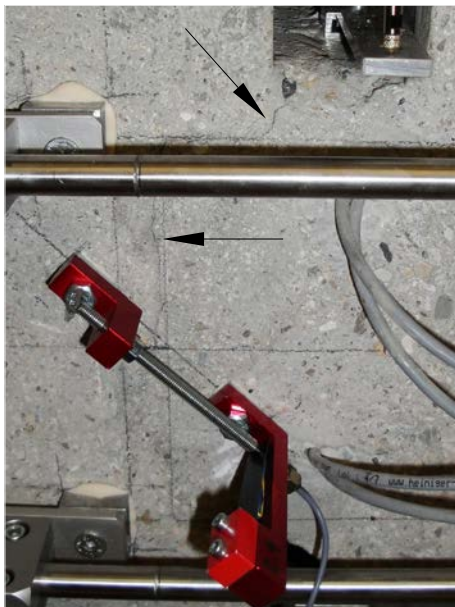
4.2 Essai du joint CISA 150-10-15 sous effort tranchant V et moment M (*Spécimen 1*)

Le *Spécimen 1* dont le joint a été réalisé à l'aide du système CISA 150-10-15 a été soumis à un essai de compression avec une excentricité de 5 cm de la force par rapport à l'axe du joint. Le joint a donc été sollicité à l'effort tranchant V et à la flexion M . La charge de rupture du *Spécimen 1* a été de 462 kN. On peut constater que la charge de rupture sous sollicitation composée V - M est plus faible que sous effort tranchant pur, cf. *Spécimen 2* avec une charge de rupture de 551 kN.

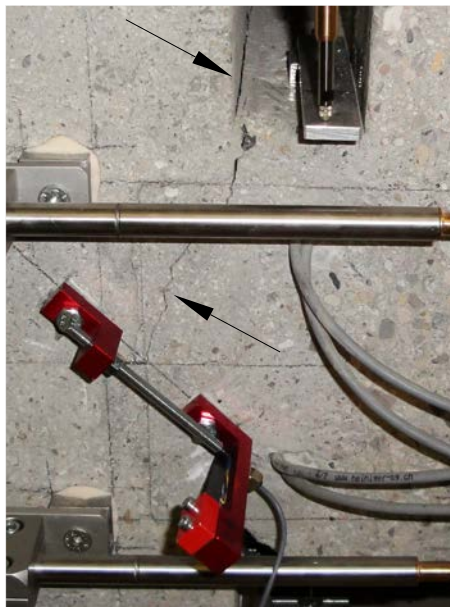
La figure 4.4 montre le mode de rupture de cet échantillon. La rupture a été très différente de celle qui a été observée pour le *Spécimen 2* testé sans excentricité. Sous l'effet de la flexion la première fissure est apparue à une charge de 160 kN, cette dernière a commencé à la face supérieure du joint pour ensuite se propager sur toute la hauteur du joint, cf. figure 4.4(a). A une charge de 300 kN la fissure à la face supérieure du joint était bien visible et une seconde fissure a été observée dans la dalle au droit du joint, cf. figure 4.4(b). Proche de la charge de rupture les deux fissures le long du joint et dans la dalle se sont ouvertes de plus qu'un millimètre. En plus on a pu observer une fissure dans le mur, partant du coin supérieur du joint, cf. figure 4.4(c). Ces trois fissures qui sont des fissures typiques de flexion et leur grande ouverture permettent de conclure qu'on est proche de l'écoulement des barres d'armatures dans cette zone. La rupture s'est produite sous une charge de 462 kN et peut être qualifiée de rupture par flexion avec écoulement des barres d'armatures. Ces observations sont confirmées par les mesures effectuées lors de l'essai, en particulier celles des gauges de déformation 4.5(e). L'ensemble des mesures effectuées lors de l'essai du *Spécimen 1* sont représentées à la figure 4.5 et un schéma détaillé de la fissuration se trouve dans l'annexe A.4 à la figure A.9.

Les mesures effectuées lors de l'essai sont représentées sur la figure 4.5. La figure 4.5(a) montre les déformations horizontales au niveau du joint, mesurées aux deux faces extérieures de l'échantillon (EST et OUEST). La figure 4.5(b) montre la déformation du joint dans la direction orientée à 45° par rapport au plan du joint. Les figures 4.5(c) et (d) représentent le déplacement vertical de la dalle par rapport au mur, mesuré à la face supérieure respectivement inférieure de la dalle. La figure 4.5(e) montre les allongements d'une paire de barres d'armature au niveau du joints. La figure 4.5(f) montre la rotation de la dalle par rapport au mur.

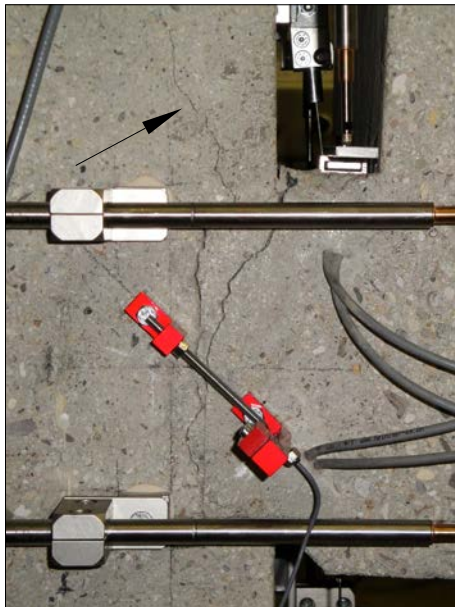
(a) Fissuration le long du joint, à 150 kN



(b) Fissuration du coins supérieur de la dalle, à 370 kN



(c) Fissuration du mur, à 450 kN



(d) Après la rupture, grande capacité de rotation



Figure 4.4: Mode de rupture du *Spécimen 1*

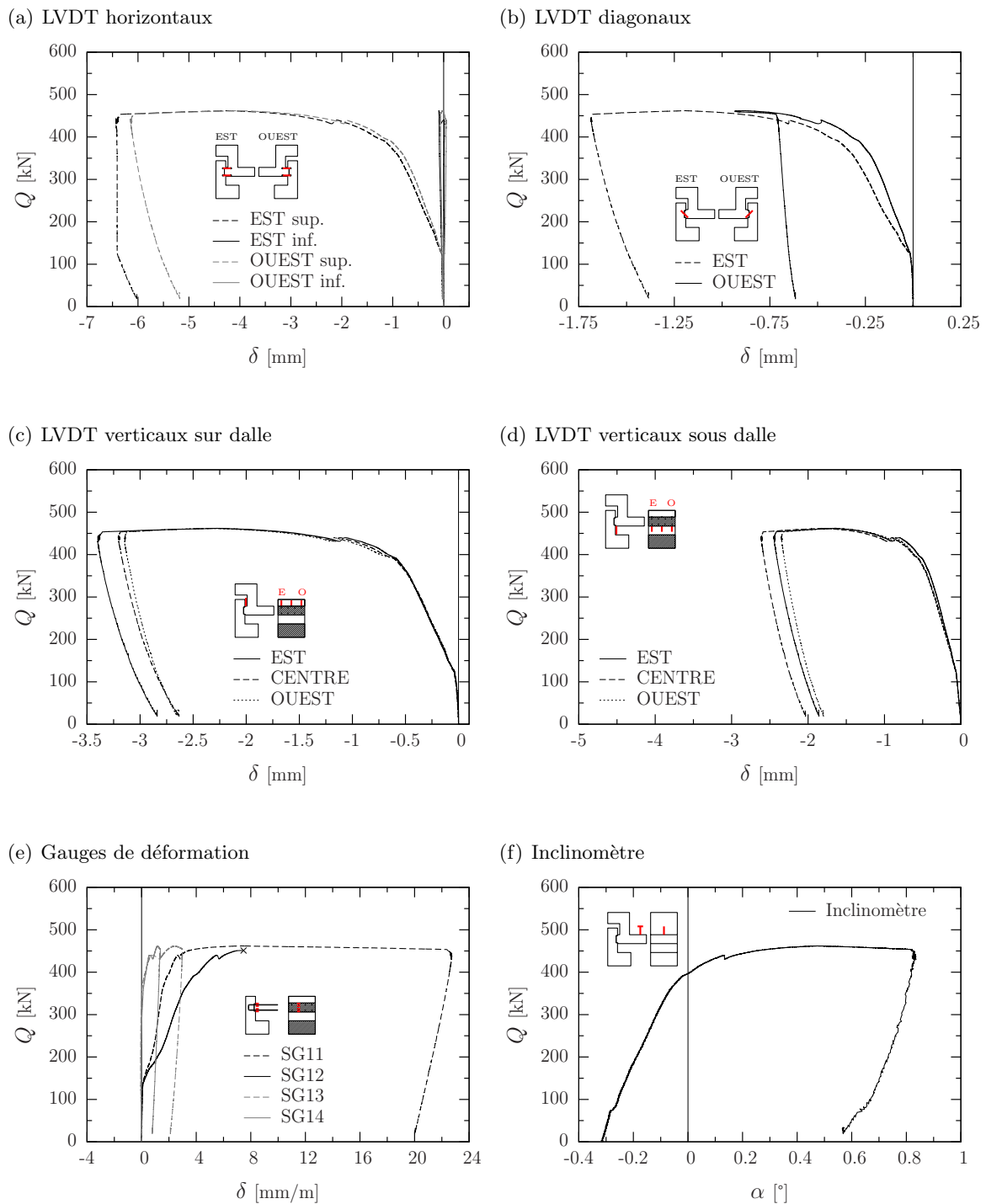


Figure 4.5: Résultats d'essai du *Spécimen 1* avec un joint CISA 150-10-15 sous effort tranchant V et moment M .

4.3 Essai du joint CISA 150-12-15X sous effort tranchant V (*Spécimen 4*)

Le *Spécimen 4* dont le joint a été réalisé à l'aide du système CISA 150-12-15X était soumis à un essai de compression axiale. Le joint a donc été sollicité à l'effort tranchant V seulement. La charge de rupture a été de 594 kN. Au moment de la rupture on a pu observer la fissuration longitudinale de la bielle de compression dans la dalle. Le joint était resté intacte. La figure 4.6 montre l'état de l'échantillon juste avant et après la rupture. Un schéma détaillé de la fissuration se trouve dans l'annexe A.4 à la figure A.10.

Les mesures effectuées lors de l'essai sont représentées sur la figure 4.7. La figure 4.7(a) montre les déformations horizontales au niveau du joint, mesurées aux deux faces extérieures de l'échantillon (EST et OUEST). La figure 4.7(b) montre la déformation du joint dans la direction orientée à 45° par rapport au plan du joint. Les figures 4.7(c) et (d) représentent le déplacement vertical de la dalle par rapport au mur, mesuré à la face supérieure respectivement inférieure de la dalle. La figure 4.7(e) montre les allongements d'une paire de barres d'armature au niveau du joints. La figure 4.7(f) montre la rotation de la dalle par rapport au mur.

(a) Avant la rupture, à 500 kN



(b) Après la rupture

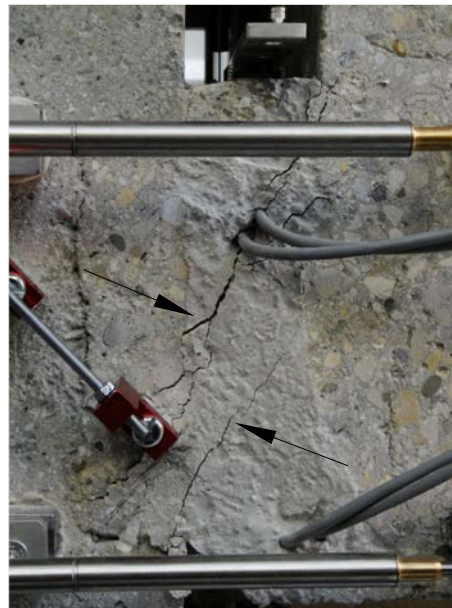


Figure 4.6: Mode de rupture du *Spécimen 4*

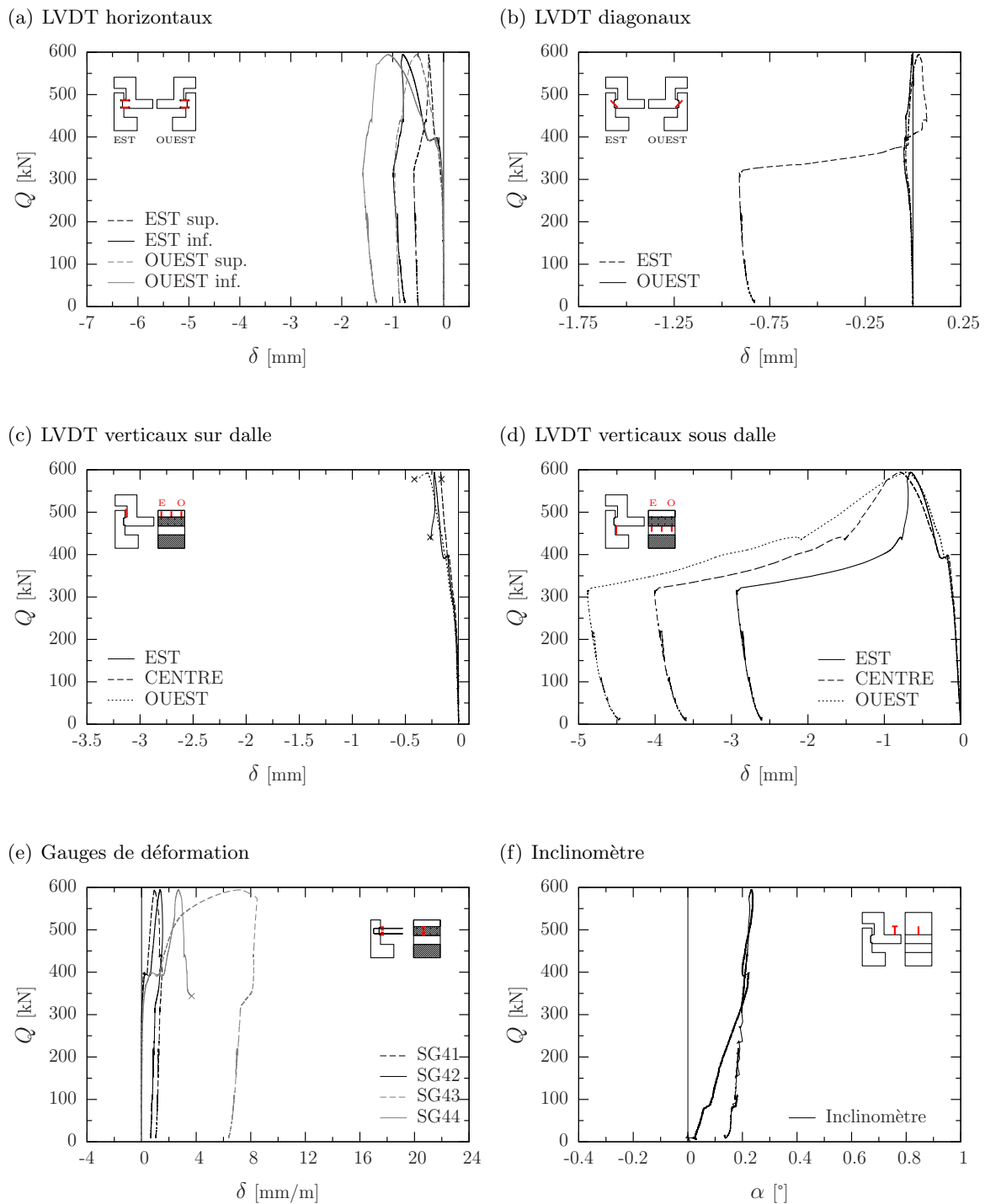


Figure 4.7: Résultats d'essai du *Spécimen 4* avec un joint CISA 150-12-15X sous effort tranchant V .

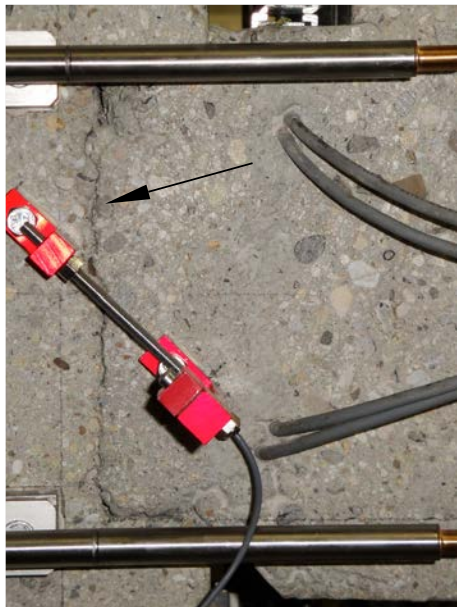
4.4 Essai du joint CISA 150-12-15X sous effort tranchant V et moment M (*Spécimen 3*)

Le *Spécimen 3* dont le joint a été réalisé à l'aide du système CISA 150-12-15X a été soumis à un essai de compression avec une excentricité de 5 cm de la force par rapport à l'axe du joint. Le joint a donc été sollicité à l'effort tranchant V et à la flexion M . La charge de rupture du *Spécimen 3* a été de 535 kN. Pour les éléments équipés du système CISA 150-12-15X on peut constater la même chose que pour les éléments avec un système CISA 150-10-15, c'est-à-dire une réduction de la charge de rupture sous l'effet de la sollicitation composée $V-M$ et pas de rupture du joint.

Au cours du chargement de l'échantillon plusieurs types d'endommagement ont pu être observés. Sous une charge d'environ 380 kN une fissure le long du joint a été observée, figure 4.8(a). Ensuite cette fissure a progressé jusqu'à atteindre la face supérieure du joint, figure 4.8(b). Sous une charge proche de la charge de rupture, 520 kN, une fissure partant du coin supérieur du joint a été observée, figure 4.8(c). La rupture a été enregistrée à une charge de 535 kN et a été causée par la formation d'une fissure de compression dans la dalle, figure 4.8(d). Un schéma détaillé de la fissuration se trouve dans l'annexe A.4 à la figure A.11. On peut donc remarquer que contrairement au *Spécimen 1* (CISA 150-10-15), le *Spécimen 3* ne rompt pas par écoulement des armatures.

Les mesures effectuées lors de l'essai sont représentées sur la figure 4.9. La figure 4.9(a) montre les déformations horizontales au niveau du joint, mesurées aux deux faces extérieures de l'échantillon (EST et OUEST). La figure 4.9(b) montre la déformation du joint dans la direction orientée à 45° par rapport au plan du joint. Les figures 4.9(c) et (d) représentent le déplacement vertical de la dalle par rapport au mur, mesuré à la face supérieure respectivement inférieure de la dalle. La figure 4.9(e) montre les allongements d'une paire de barres d'armature au niveau du joints. La figure 4.9(f) montre la rotation de la dalle par rapport au mur.

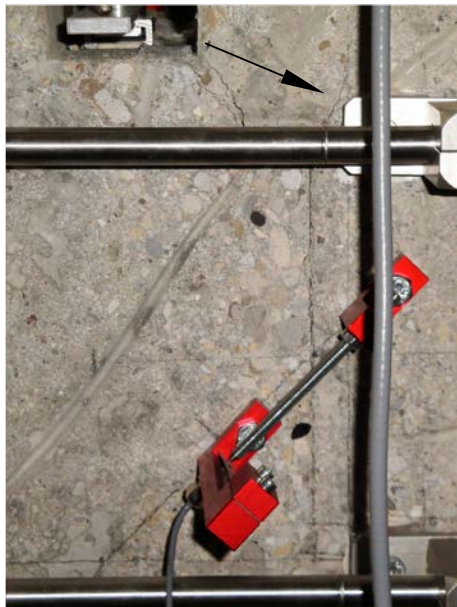
(a) Fissure le long du joint, à 380 kN



(b) Propagation de la fissure, à 450 kN



(c) Fissure dans la partie mur, à 520 kN



(d) Rupture, fissure de compression, à 535 kN

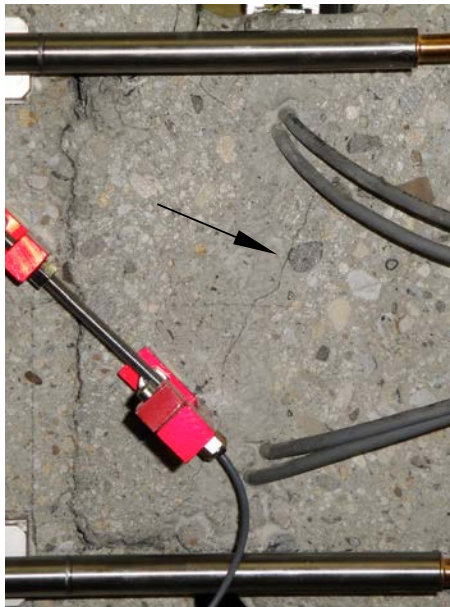


Figure 4.8: Mode de rupture du *Spécimen 3*

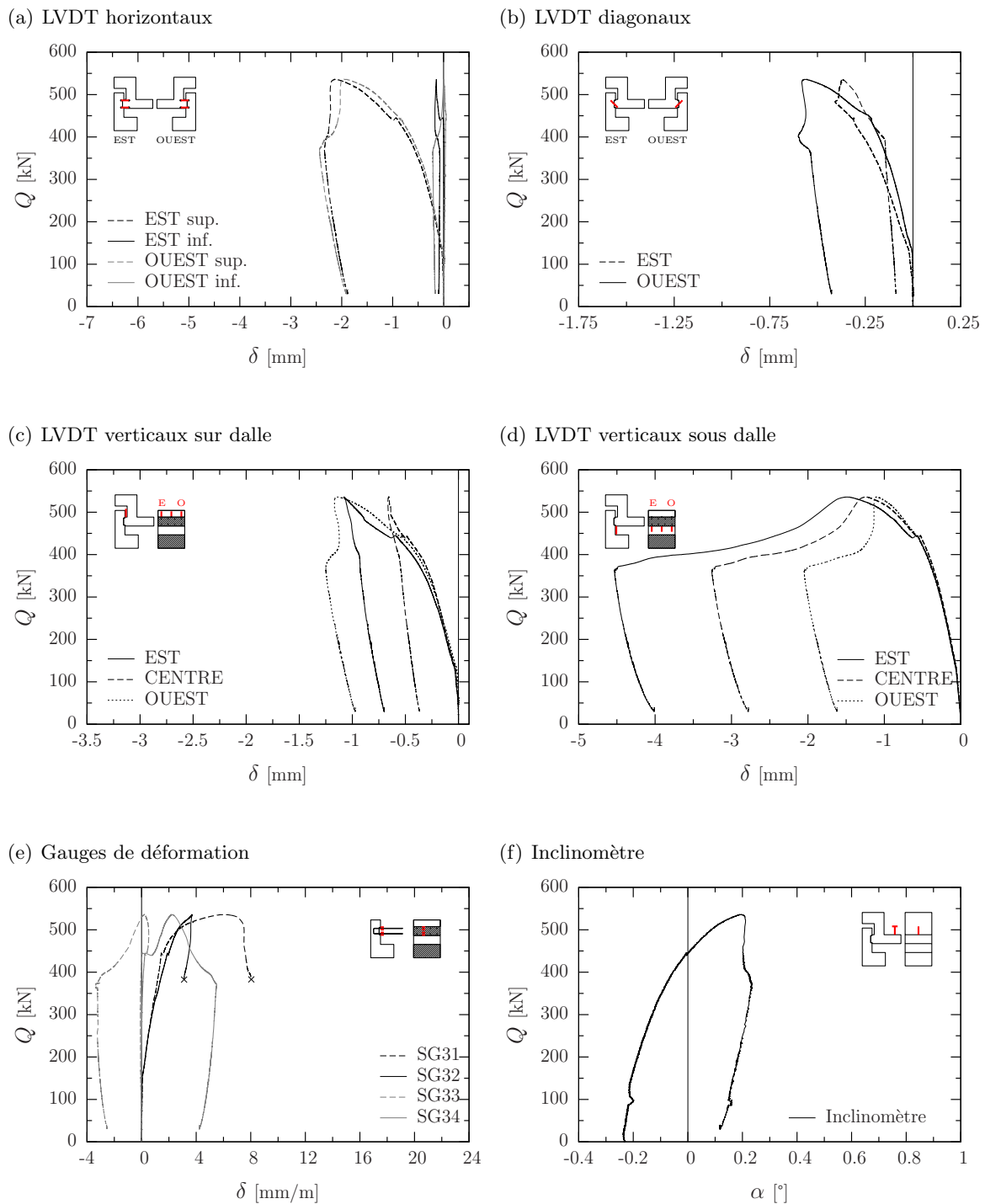


Figure 4.9: Résultats d'essai du *Spécimen 3* avec un joint CISA 150-12-15X sous effort tranchant V et moment M .

5 Résultats des essais de traction

5.1 Barres façonnées

Afin d'étudier l'effet du façonnage des armatures des systèmes CISA-150-10-15 et CISA-150-12-15X sur leur résistance à la traction des essais ont été effectués. Un échantillon de douze barres d'armature issues de la fabrication des systèmes CISA a été soumis à un essai de traction. Cet échantillon se composait de deux fois six barres de diamètre 10 mm et 12 mm. Pour chaque type de barre l'échantillon comprenait deux barres non façonnées et quatre barres façonnées et ensuite redressées. La longueur des barres était d'environ un mètre.

Les résultats sont présentés dans les tableaux 5.1 et 5.2 ainsi que sur les graphiques de la figure 5.1. On constate que le façonnage des barres n'a guère une influence appréciable sur la résistance à la traction et la ductilité.

Tableau 5.1: Résistance moyenne à la traction et écarts type s ($s = \sqrt{\sum (f_t - \bar{f}_t)^2 / (n - 1)}$).

| Désignation | ϕ_s [mm] | $f_{t,moy}$ [Mpa] | s_{ft} [Mpa] | $F_{t,moy}$ [kN] | s_{Ft} [kN] |
|--------------|------------------|----------------------|-------------------|---------------------|------------------|
| B°101-102(*) | 10 | 626.75 | 5.67 | 49.23 | 0.45 |
| B°103-106 | 10 | 621.50 | 2.87 | 48.81 | 0.23 |
| B°121-122(*) | 12 | 624.68 | 3.38 | 70.65 | 0.38 |
| B°123-126 | 12 | 623.45 | 14.44 | 70.51 | 1.63 |

(*) : Barres non pliées

Tableau 5.2: Résistance à la traction et déformation correspondante.

| Désignation | ϕ_s [mm] | f_t [Mpa] | F_t [kN] | ΔL_u [mm] |
|-------------|------------------|----------------|---------------|----------------------|
| B°101(*) | 10 | 622.74 | 48.91 | 37.27 |
| B°102(*) | 10 | 630.76 | 49.54 | 47.25 |
| B°103 | 10 | 623.63 | 48.98 | 52.45 |
| B°104 | 10 | 620.96 | 48.77 | 36.56 |
| B°105 | 10 | 617.65 | 48.51 | 53.52 |
| B°106 | 10 | 623.76 | 48.99 | 46.35 |
| B°121(*) | 12 | 622.30 | 70.38 | 63.51 |
| B°122(*) | 12 | 627.07 | 70.92 | 63.12 |
| B°123 | 12 | 620.35 | 70.16 | 61.58 |
| B°124 | 12 | 613.98 | 69.44 | 48.47 |
| B°125 | 12 | 614.78 | 69.53 | 47.75 |
| B°126 | 12 | 644.68 | 72.91 | 47.47 |

(*) : Barres non pliées

Les figures 5.2 et 5.3 montrent les barres d'armature après l'essai de traction. On peut constater que le point de rupture se manifeste de manière aléatoire sur toute la longueur des barres. Il ne se localise pas de manière préférentielle dans la zone de façonnage.

5.2 Barres déroulées manuellement

Un échantillon de huit barres de diamètre 10 mm a également été testé, dont quatre barres étaient déroulées manuellement et quatre barres étaient déroulées à l'aide d'une machine. Cet essai de traction avait été effectué afin d'exclure toute influence de la méthode de déroulement sur la résistance à la traction des barres d'armatures utilisées dans les systèmes CISA. La longueur de ces barres était également d'environ un mètre.

Les résultats sont présentés dans les tableaux 5.3 et 5.4 ainsi que sur les graphiques de la figure 5.4. On constate que les barres déroulées manuellement (barres B°1 à B°4) ont une résistance moyenne à la traction $f_{t,moy}$ légèrement plus faible que les barres déroulées à l'aide de la machine (barres B°1R à B°4R), la dispersion des résultats est également plus grande. L'allongement à la rupture des barres déroulées manuellement est, par contre légèrement plus important, ce qui permet de mettre en évidence une perte de ductilité de barres déroulées à la machine par rapport aux autres.

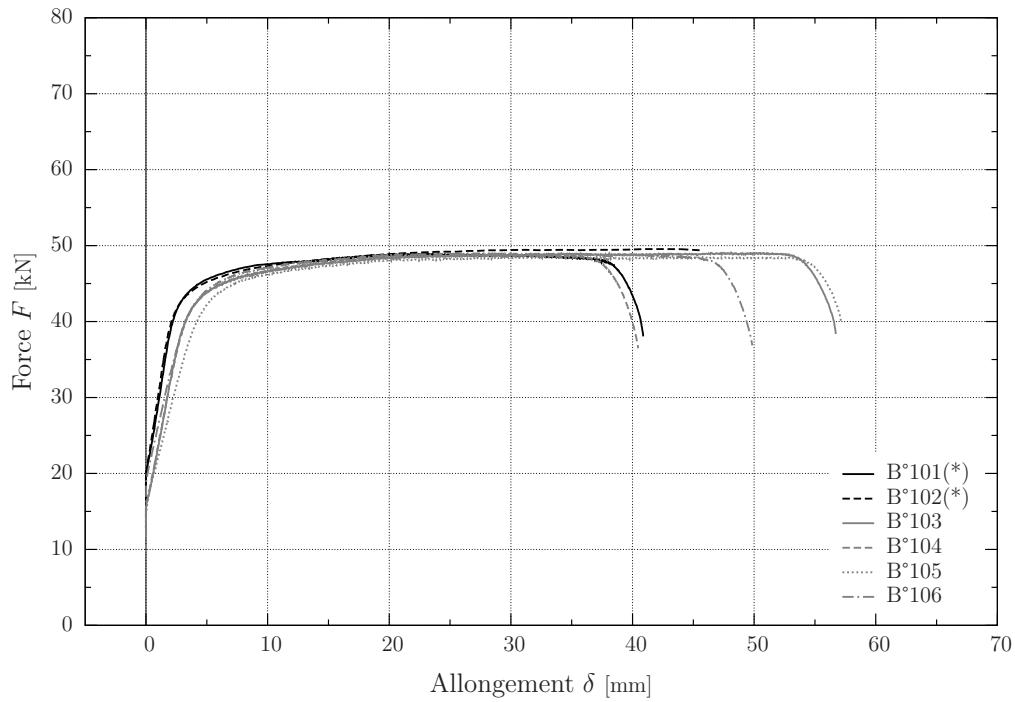
Tableau 5.3: Résistance moyenne à la traction et écarts type s ($s = \sqrt{\sum (f_t - \bar{f}_t)^2 / (n - 1)}$).

| Désignation | ϕ_s [mm] | $f_{t,moy}$ [Mpa] | s_{ft} [Mpa] | $F_{t,moy}$ [kN] | s_{Ft} [kN] |
|-------------|------------------|----------------------|-------------------|---------------------|------------------|
| B°1-4 | 10 | 638.75 | 12.67 | 50.17 | 1.00 |
| B°1R-4R | 10 | 642.83 | 8.98 | 50.49 | 0.70 |

Tableau 5.4: Résistance à la traction et déformation correspondante.

| Désignation | ϕ_s [mm] | f_t [Mpa] | F_t [kN] | ΔL_u [mm] |
|-------------|------------------|----------------|---------------|----------------------|
| B°1 | 10 | 656.61 | 51.57 | 43.91 |
| B°2 | 10 | 636.24 | 49.97 | 45.60 |
| B°3 | 10 | 626.69 | 49.22 | 53.09 |
| B°4 | 10 | 635.47 | 49.91 | 37.43 |
| B°1R | 10 | 651.26 | 51.15 | 38.63 |
| B°2R | 10 | 648.08 | 50.90 | 40.69 |
| B°3R | 10 | 631.02 | 49.56 | 37.52 |
| B°4R | 10 | 640.95 | 50.34 | 39.72 |

(a) Barres de diamètre $\phi 10$



(b) Barres de diamètre $\phi 12$

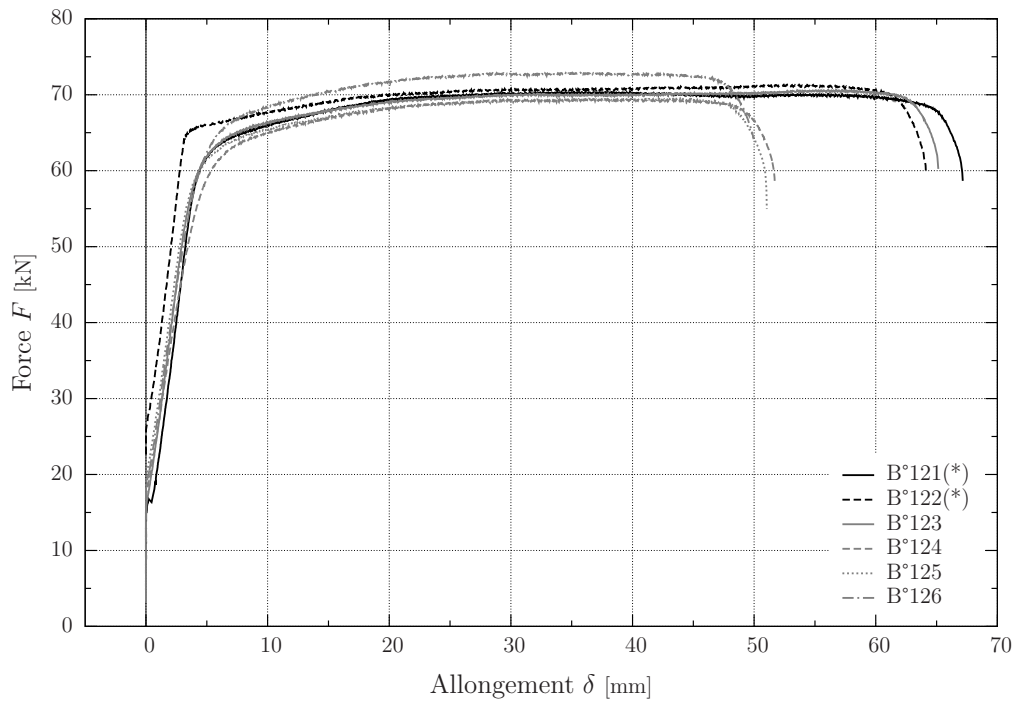


Figure 5.1: Essais de traction sur des barres d'armatures $\phi 10$ et $\phi 12$

(a) Barres $\phi 10$ avant l'essai



(b) Barres $\phi 10$ après rupture

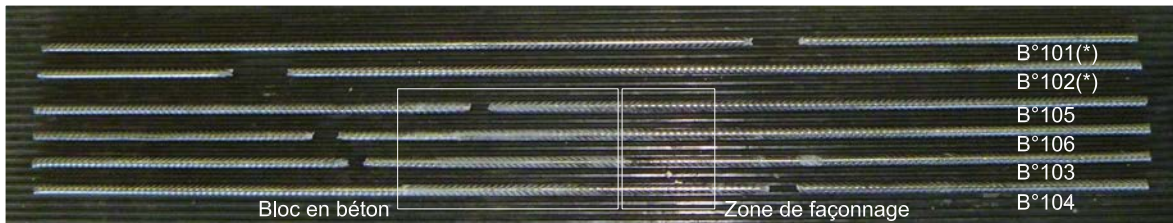


Figure 5.2: Barres de diamètre $\phi 10$ avant et après l'essai de traction

(a) Barres $\phi 12$ avant l'essai



(b) Barres $\phi 12$ après rupture

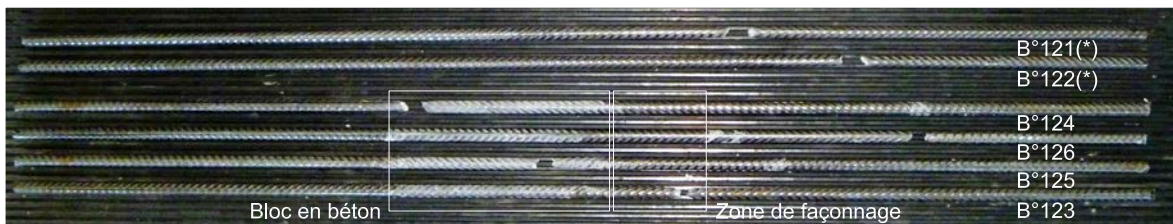
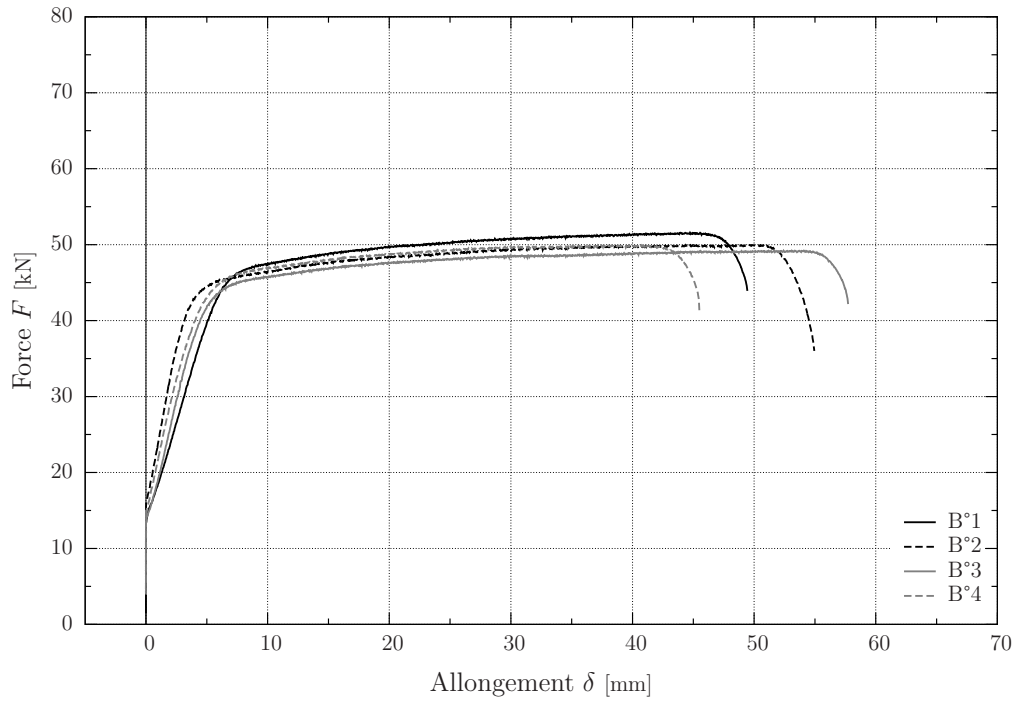


Figure 5.3: Barres de diamètre $\phi 12$ avant et après l'essai de traction

(a) Barres de diamètre $\phi 10$ déroulées manuellement



(b) Barres de diamètre $\phi 10$ déroulées à la machine

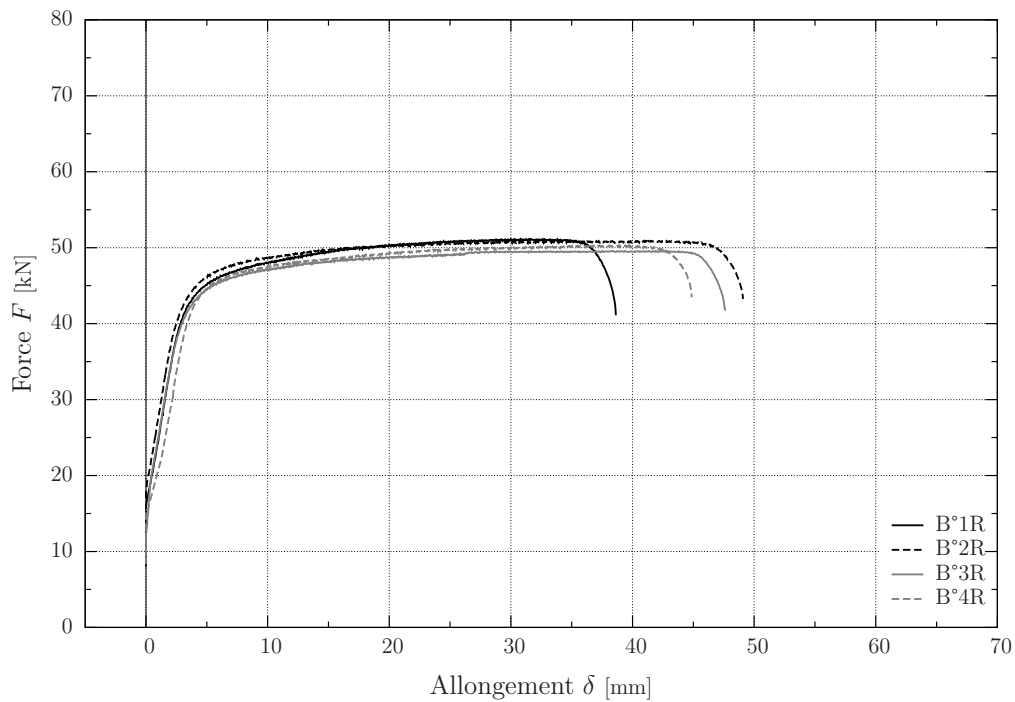
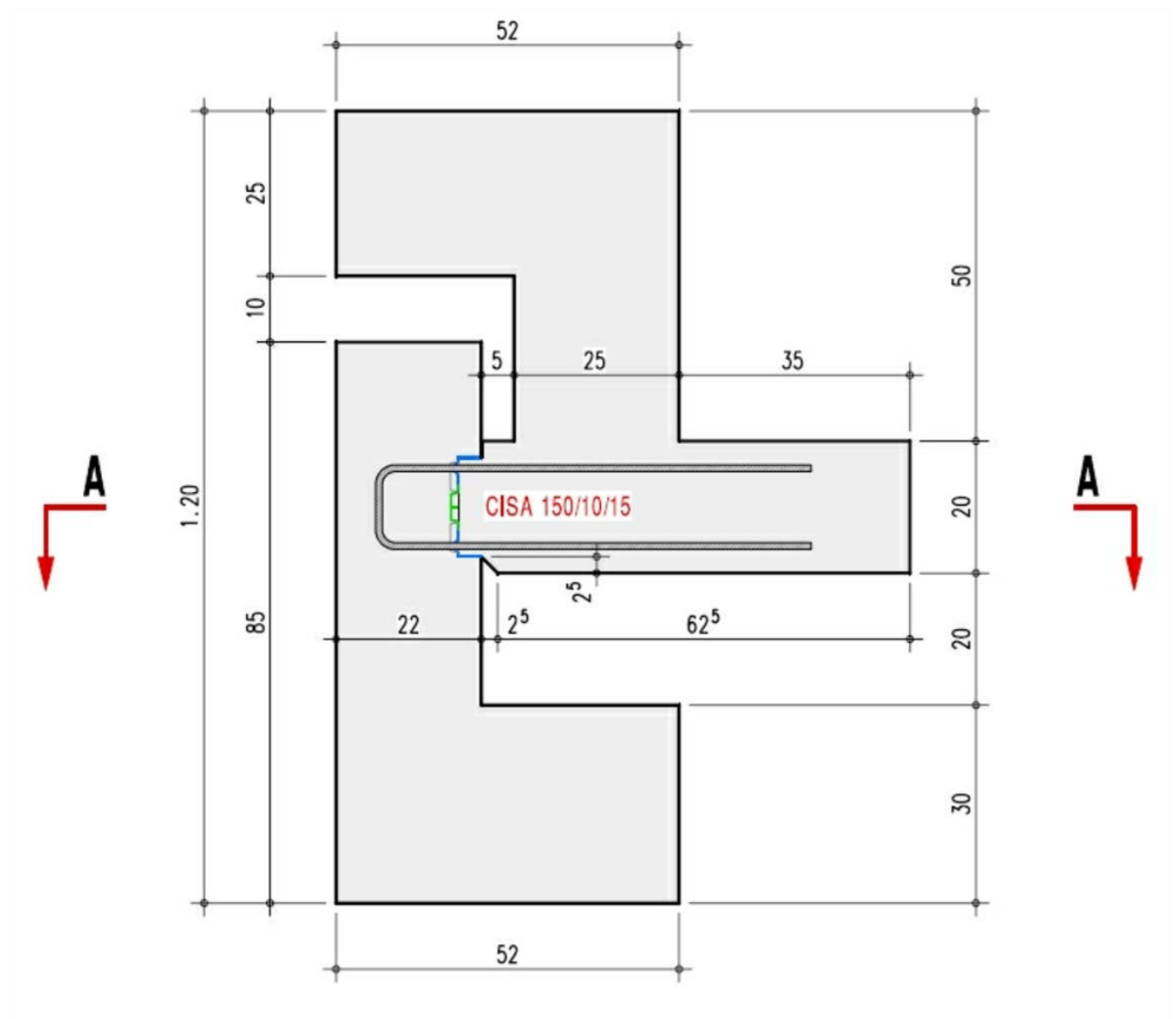


Figure 5.4: Essais de traction sur des barres d'armatures $\phi 10$ déroulées manuellement et à la machine.

A Annexes

A.1 Géométrie et dimensions

Figure A.1: Dimensions d'un spécimen type - Coupe transversal - Echelle 1/10.



A.2 Plans d'armatures

Figure A.2: Plan d'armature d'un spécimen type - Coupe transversal - Echelle 1/10.

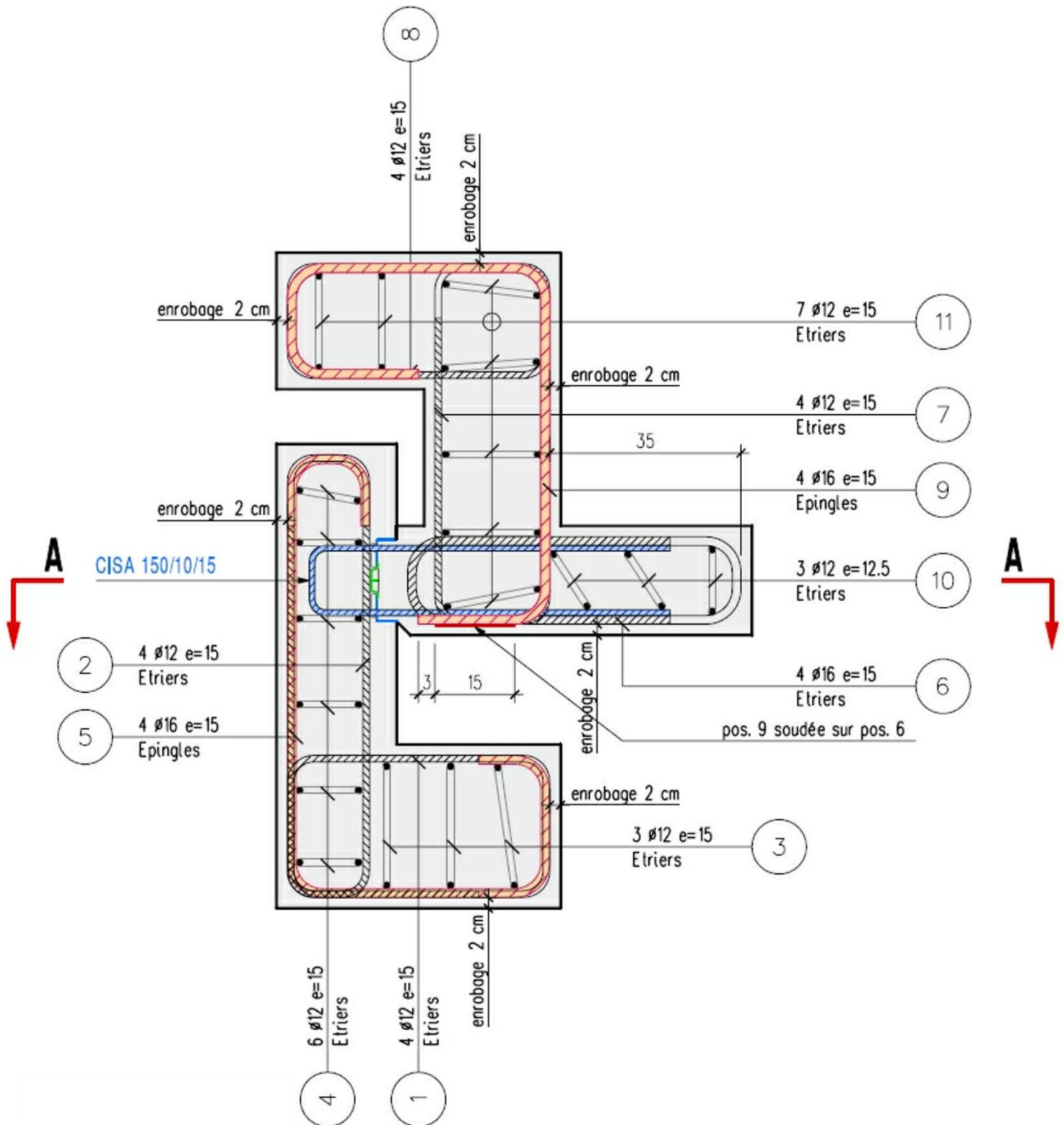
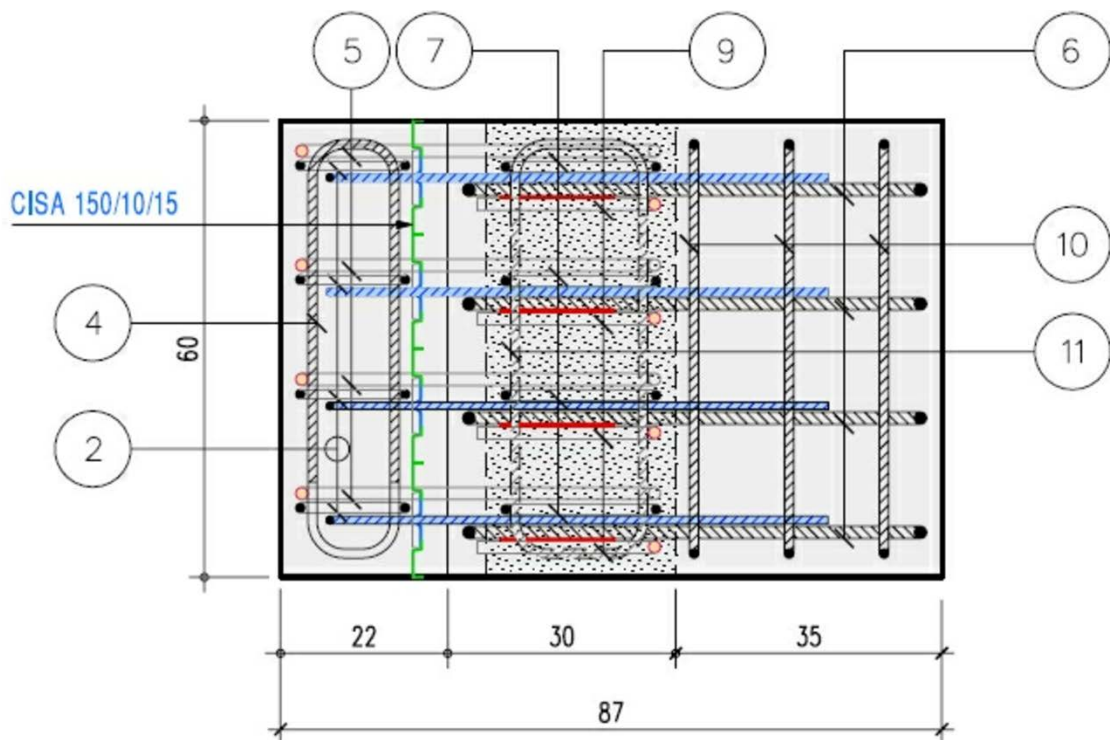


Figure A.3: Plan d'armature d'un spécimen type - Coupe A-A - Echelle 1/10.



A.3 Instrumentation

Tableau A.1: Nomenclature des capteurs de mesure

| N° capteur | Type | Direction | Plan | Position | Sens de mesure positif |
|------------|------|-------------|------------|----------|------------------------|
| 1.1 | LVDT | horizontale | face EST | inf. | (-) |
| 1.2 | LVDT | horizontale | face EST | sup. | (-) |
| 1.3 | LVDT | verticale | sur dalle | EST | (-) |
| 1.4 | LVDT | verticale | sur dalle | OUEST | (-) |
| 2.1 | LVDT | horizontale | face OUEST | inf. | (-) |
| 2.2 | LVDT | horizontale | face OUEST | sup. | (-) |
| 2.3 | LVDT | verticale | sur dalle | CENTRE | (-) |
| 2.4 | LVDT | diagonale | face EST | - | (-) |
| 3.1 | LVDT | diagonale | face OUEST | - | (-) |
| 3.2 | LVDT | verticale | sous dalle | EST | (+) |
| 3.3 | LVDT | verticale | sous dalle | CENTRE | (+) |
| 3.4 | LVDT | verticale | sous dalle | OUEST | (+) |

(+) : dans le sens de la flèche

(-) : dans le sens contraire à la flèche

Tableau A.2: Nomenclature des jauges de déformations appliquées sur les barres.

| N° jauge | Type | Spécimen | Barre | Position | Distance depuis la face du joint |
|----------|---------------|-------------------|-------|------------|----------------------------------|
| SG11 | Jauge de déf. | <i>Spécimen 1</i> | sup. | en dessus | 2.8 cm |
| SG12 | Jauge de déf. | <i>Spécimen 1</i> | sup. | en dessous | 2.8 cm |
| SG13 | Jauge de déf. | <i>Spécimen 1</i> | inf. | en dessus | 2.8 cm |
| SG14 | Jauge de déf. | <i>Spécimen 1</i> | inf. | en dessous | 2.8 cm |
| SG21 | Jauge de déf. | <i>Spécimen 2</i> | sup. | en dessus | 3.8 cm |
| SG22 | Jauge de déf. | <i>Spécimen 2</i> | sup. | en dessous | 3.8 cm |
| SG23 | Jauge de déf. | <i>Spécimen 2</i> | inf. | en dessus | 4.4 cm |
| SG24 | Jauge de déf. | <i>Spécimen 2</i> | inf. | en dessous | 4.4 cm |
| SG31 | Jauge de déf. | <i>Spécimen 3</i> | sup. | en dessus | 2.9 cm |
| SG32 | Jauge de déf. | <i>Spécimen 3</i> | sup. | en dessous | 2.9 cm |
| SG33 | Jauge de déf. | <i>Spécimen 3</i> | inf. | en dessus | 2.6 cm |
| SG34 | Jauge de déf. | <i>Spécimen 3</i> | inf. | en dessous | 2.6 cm |
| SG41 | Jauge de déf. | <i>Spécimen 4</i> | sup. | en dessus | 2.8 cm |
| SG42 | Jauge de déf. | <i>Spécimen 4</i> | sup. | en dessous | 2.8 cm |
| SG43 | Jauge de déf. | <i>Spécimen 4</i> | inf. | en dessus | 2.8 cm |
| SG44 | Jauge de déf. | <i>Spécimen 4</i> | inf. | en dessous | 2.8 cm |

Figure A.4: Plan d'instrumentation - Face EST - Echelle 1/10.

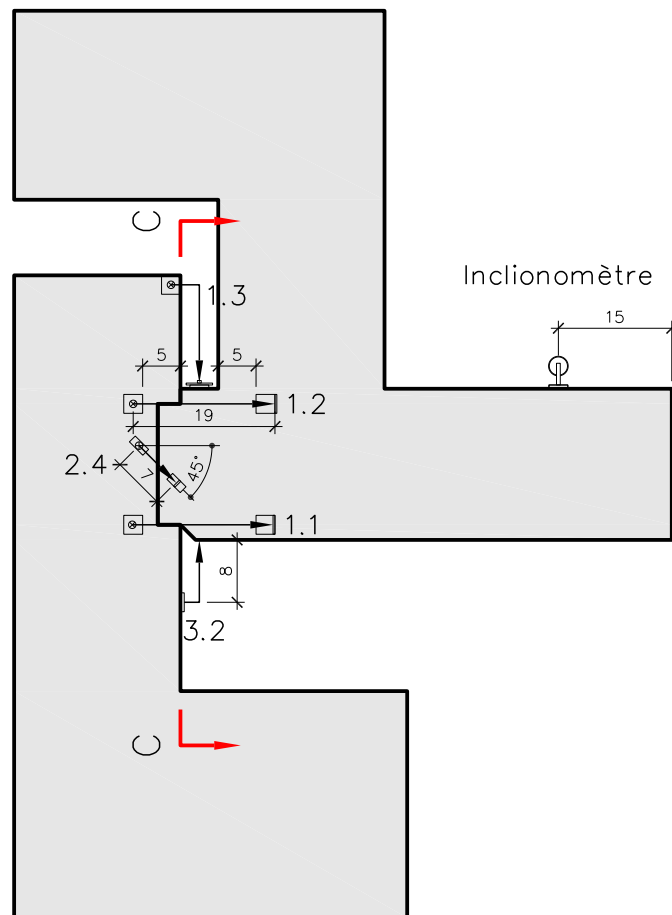


Figure A.5: Plan d'instrumentation - Face OUEST - Echelle 1/10.

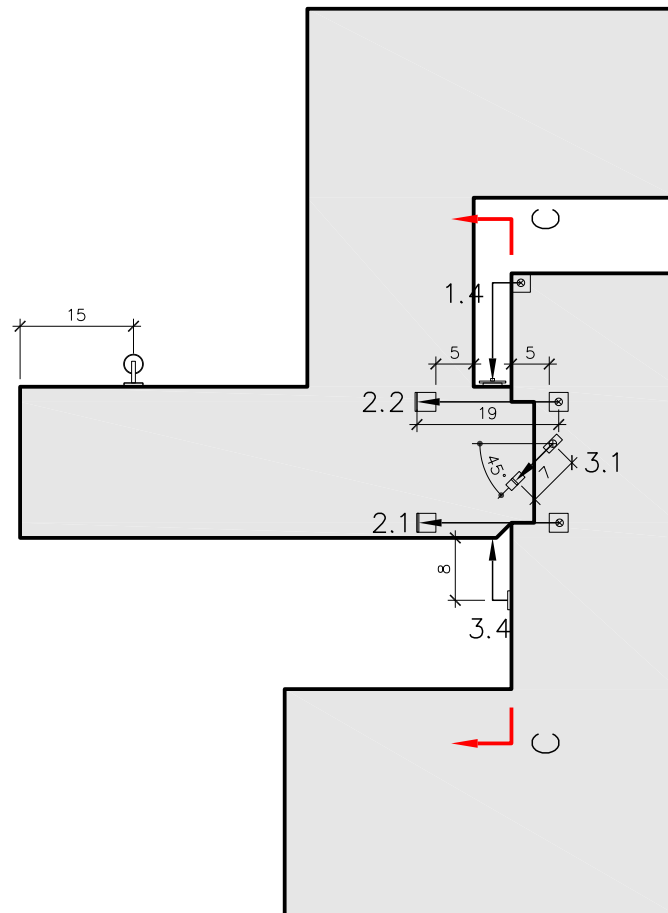


Figure A.6: Plan d'instrumentation - Coupe C-C - Echelle 1/10.

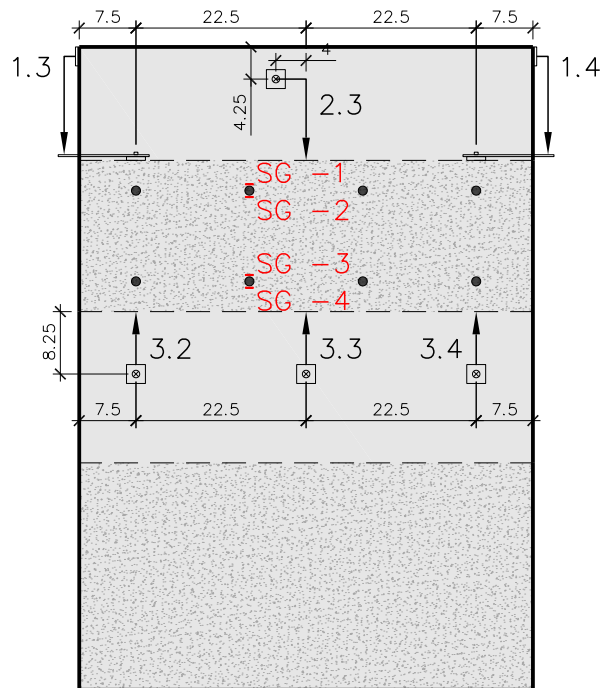
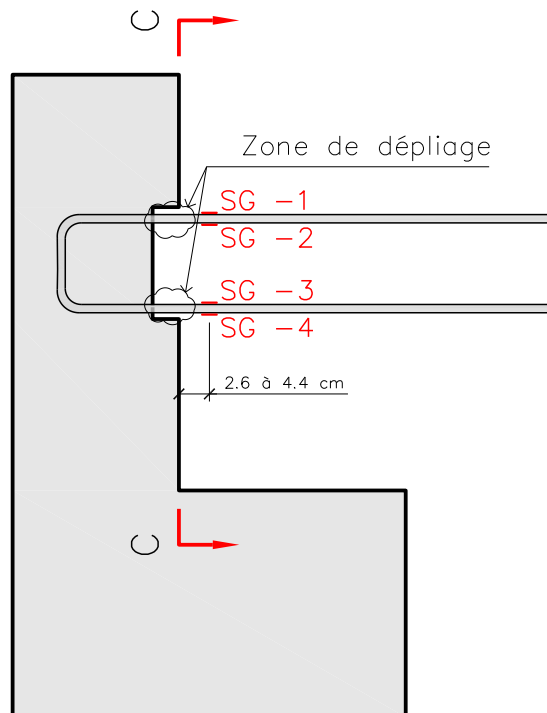


Figure A.7: Position des jauges de déformation - Coupe transversale - Echelle 1/10.



A.4 Schémas de fissuration

Figure A.8: Schéma de fissuration du *Spécimen 2* - Face EST - Echelle 1/5

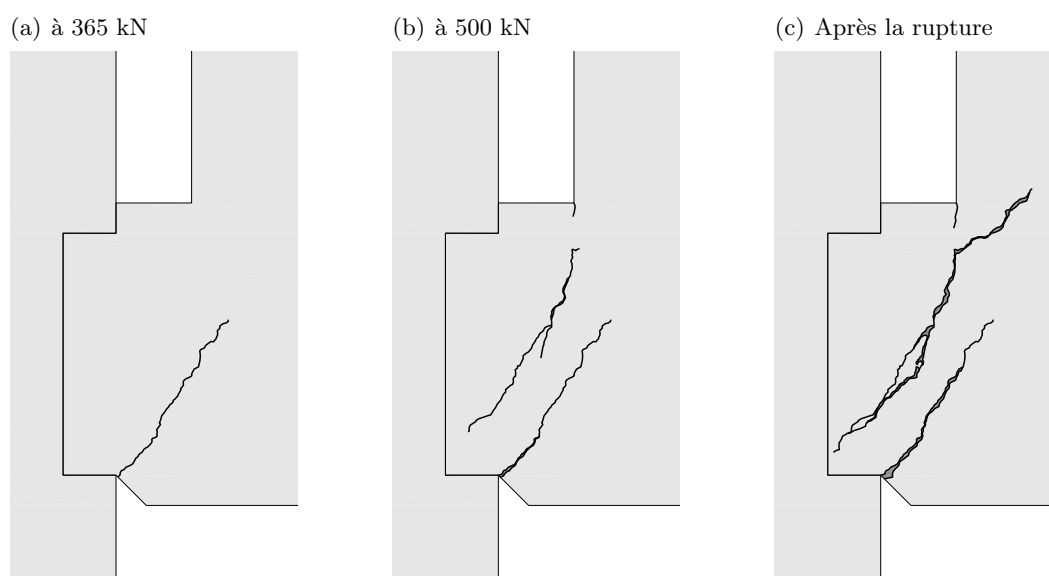


Figure A.9: Schéma de fissuration du *Spécimen 1* - Face EST - Echelle 1/5

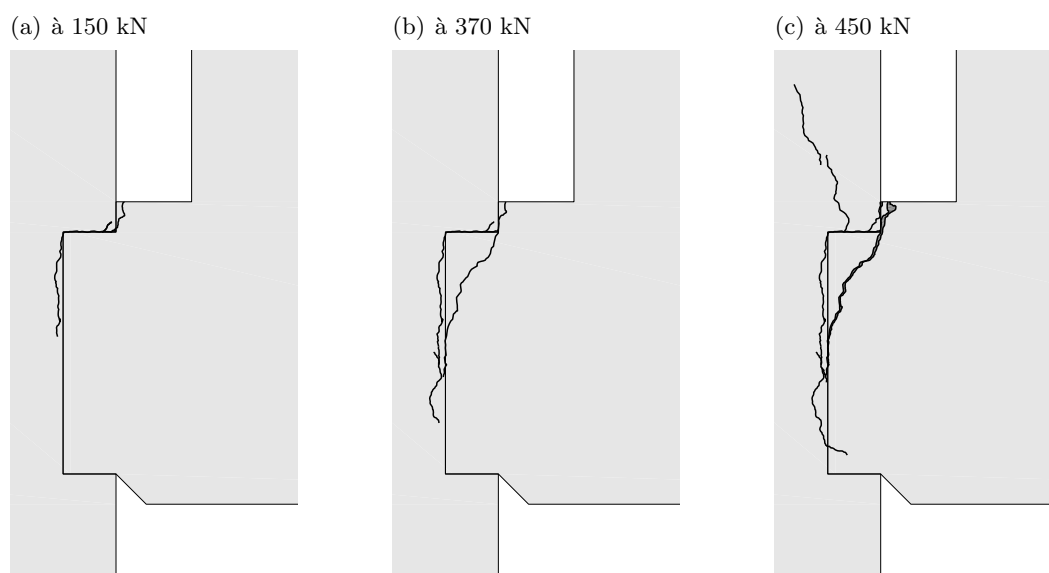
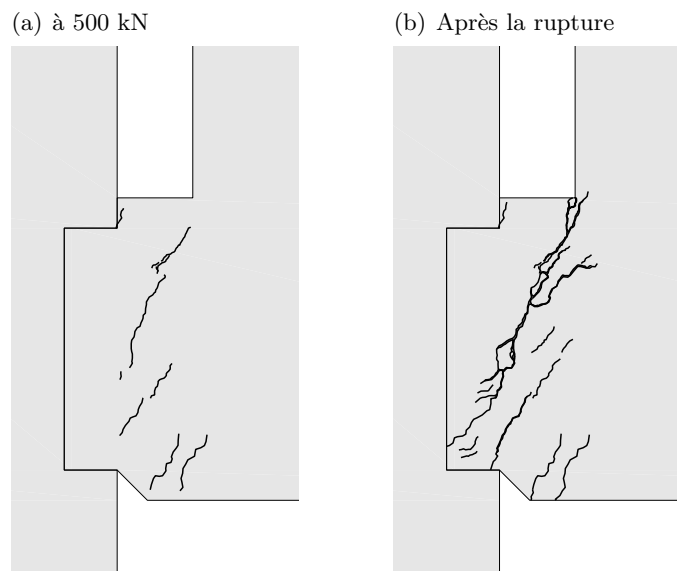


Figure A.10: Schéma de fissuration du *Spécimen 4* - Face EST - Echelle 1/5Figure A.11: Schéma de fissuration du *Spécimen 3* - Face EST - Echelle 1/5