

Titre: Étude expérimentale et conception de fusibles ductiles travaillant en traction pour l'amélioration de l'efficacité des contreventements parasismiques en acier
Title:

Auteur: Elie St-Onge
Author:

Date: 2012

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: St-Onge, E. (2012). Étude expérimentale et conception de fusibles ductiles travaillant en traction pour l'amélioration de l'efficacité des contreventements parasismiques en acier [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/960/>
Citation:

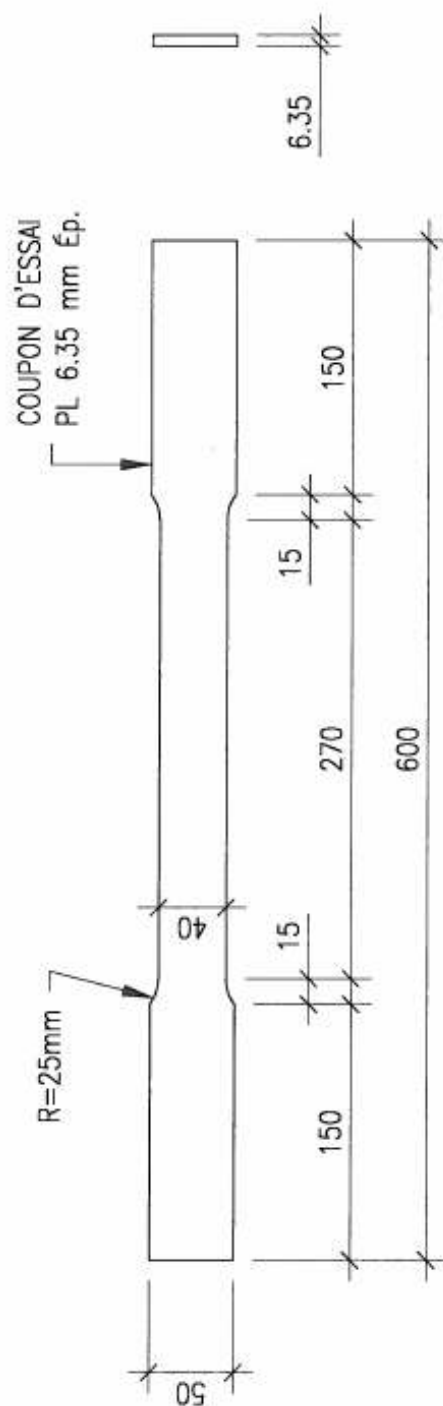
 **Document en libre accès dans PolyPublie**
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/960/>
PolyPublie URL:

Directeurs de recherche: Robert Tremblay
Advisors:

Programme: Génie civil
Program:

ANNEXE 1 – Coupons de caractérisation




COUPON TYP.

ASTM-E8

3 REQUIS

USINER DANS UN L-2"x2"x1/4" / 50W (FOURNIS PAR LAINCO)
LES TOLÉRANCES DOIVENT ÊTRE RESPECTÉES

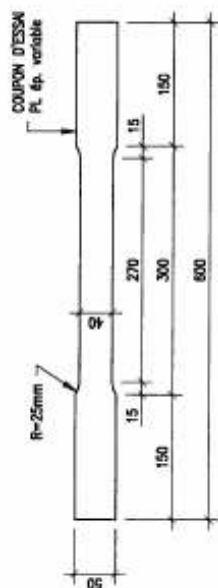
	COUPON PROC. A		Date:
	Vérifié par:	Approuvé par:	Date:
Date Rec. Révisé:			Date:
No. Projet:			No. Dossier:
No. Client:			CR-01

15/06/2009 13:12:22

C-A-L2

STANDARD SPECIMENS PLATE-TYPE, 38 mm (1.500) WIDE

G = GAGE LENGTH	200.0 mm
W = WIDTH	40.0 mm
T = THICKNESS	ÉPAISSEUR DU SPÉCIMEN
R = RADIUS OF FILLET	25.0 mm
L = OVER-ALL LENGTH	600 mm
A = LENGTH OF REDUCED SECTION	270.0 mm
B = LENGTH OF THE GRIP SECTION	150.0 mm
C = WIDTH OF THE GRIP SECTION, APPROXIMATE	50.0 mm



COUPON TYP.

ASTM-E8

2 REQUIS/CORNIÈRE

PROFILES : L 3X3X0.250 (QNTÉ COUPON : X2)

L 2X2X0.188 (QNTÉ COUPON : X2)



MATÉRIAU FOURNIS PAR LAINCO

LES TOLÉRANCES DOIVENT ÊTRE RESPECTÉES

*POUR HSS, LE COUPON DOIT ÊTRE PRIS SUR LA PAROIS À 90deg DE LA

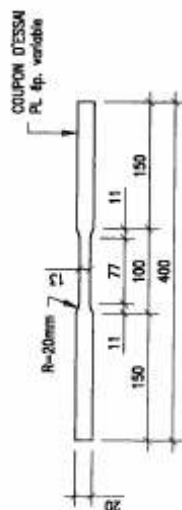
SOUDURE ET AU CENTRE (B/2)

*POUR LES CORNIÈRES, LE COUPON DOIT ÊTRE PRIS DANS L'AILE, AU PREMIER TIER À PARTIR DU BOUT DE L'AILE

			Type COUPON A	Date Rec. 15/07/2010
	No. Project 51081AN		No. Enquête CR-01	Date 15/07/2010
	No. Mat. 100-100-100		No. Enquête 100-100-100	Date 15/07/2010

15/07/2010 08:43:11

Coupons McGill



COUPON TYP.

ASTM-E8

PROFILÉS : HSS 6X6X0.313 (QNTÉ COUPON : X3)
 HSS 5X5X0.313 (QNTÉ COUPON : X6)
 HSS 4X4X0.313 (QNTÉ COUPON : X3)
 L 3X3X0.250 (QNTÉ COUPON : X3)
 L 2X2X0.188 (QNTÉ COUPON : X3)

MATÉRIAU FOURNIS PAR LAINCO


LES TOLÉRANCES DOIVENT ÊTRE RESPECTÉES

*POUR HSS, LE COUPON DOIT ÊTRE PRIS SUR LA PAROIS À 90deg DE LA SOUDURE ET AU CENTRE (B/2)

*POUR LES CORNIÈRES, LE COUPON DOIT ÊTRE PRIS DANS L'AILE, AU PREMIER TIER À PARTIR DU BOUT DE L'AILE

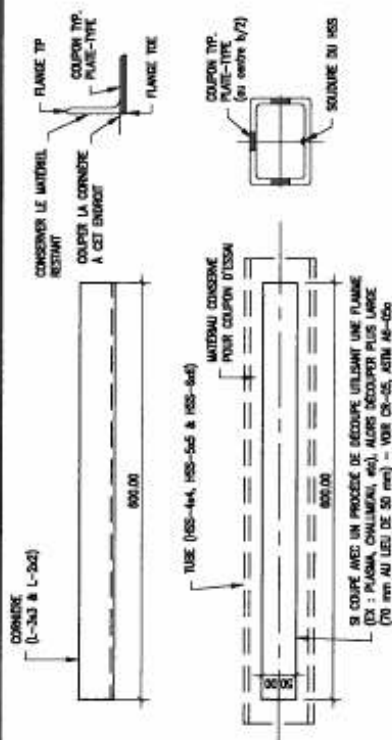
STANDARD SPECIMENS SHEET-TYPE, 13 mm (1/2") WIDE

G = GAGE LENGTH 50.0 mm
 W = WIDTH 13.0 mm
 T = THICKNESS ÉPAISSEUR DU SPÉCIMEN
 R = RADIUS OF FILLET 20.0 mm
 L = OVER-ALL LENGTH 400 mm
 A = LENGTH OF REDUCED SECTION 77.0 mm
 B = LENGTH OF THE GRIP SECTION 150.0 mm
 C = WIDTH OF THE GRIP SECTION, APPROXIMATE 20.0 mm

 <small>Quality Control Inspection Testing Services Inc.</small>		TITRE COUPON B		Item No. 51081AN
		No. Project 51081AN		No. Complete CR-02
Date 19-06-2010		Drawn by B-C-D		Date 19-06-2010

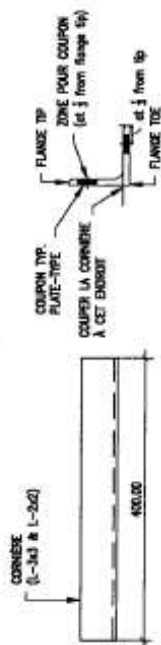
13/07/2010 08:48:37

Coupons McGill



COUPON (A) PLATE-TYPE 200-MM GAGE

PROFILES: L-3x3x0.250 (QNTÉ COUPON: X2)
L-2x2x0.188 (QNTÉ COUPON: X2)
HSS-4x4x0.313 (QNTÉ COUPON: X3)
HSS-5x5x0.313 (QNTÉ COUPON: X6)
HSS-6x6x0.313 (QNTÉ COUPON: X3)



COUPON (B) SHEET-TYPE 50-MM GAGE

2 REQUIS/CORNIÈRE

PROFILÉS : L-3x3x0.250 (QNTÉ COUPON : X2)
 L-2x2x0.188 (QNTÉ COUPON : X2)

MATÉRIAU FOURNIS PAR LAINCO

LES TOLÉRANCES DOIVENT ÊTRE RESPECTÉES (VOIR PLAN CR-05)

NOTES :

1-Pour le L-3x3x0.250, l'autre aile est utilisée pour le 2^e coupon
 LONGUEUR TL FOURNIS = 1X400 mm = 400 mm
 (LONGUEUR TL MATÉRIEL FOURNIS POUR COUPON A & B = 1000 mm)

2-Pour le L-2x2x0.188, utiliser les deux ailes inutilisées pour
 produire les 2 coupons de 400 mm (voir plan CR-01)

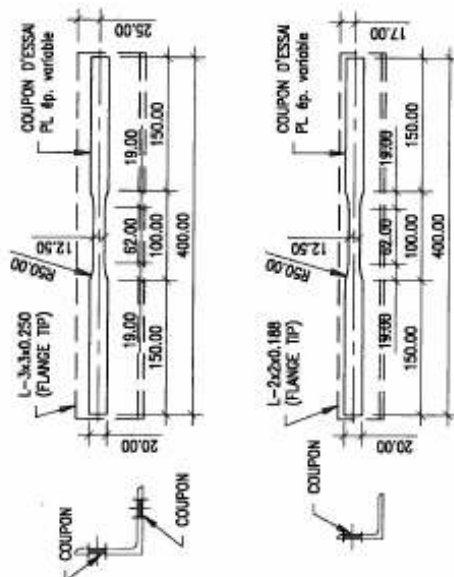
LONGUEUR TL FOURNIS = RESTANT DES COUPONS (A) = 1200 mm
 (LONGUEUR TL MATÉRIEL FOURNIS POUR COUPON A & B = 1200 mm)

3-LES COUPONS DOIVENT ÊTRE PRÉLEVÉS DANS LES AILES, AU PREMIER TIERS
 À PARTIR DU BOUT DE L'AILE (TIP)

TL COUPON B = 4 COUPONS

		COUPON B (1/2)		Rev. No. 1
		PROG. B-C-D		Rev. Proj. 510BLAN
		Date 20/08/2010		Rev. Drawn CR-03


Coupons Poly.



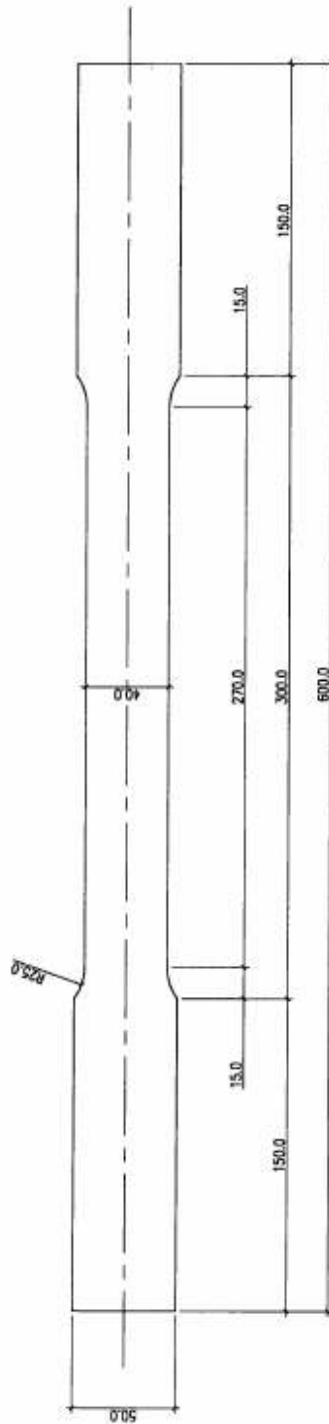
STANDARD SPECIMENS SHEET-TYPE, 12.5-MM (1/2) WIDE

G = GAGE LENGTH	50.0 mm
W = WIDTH	12.5 mm
T = THICKNESS	ÉPAISSEUR DU SPÉCIMEN
R = RADIUS OF FILLET	50.0 mm
L = OVER-ALL LENGTH	400.0 mm
A = LENGTH OF REDUCED SECTION	62.0 mm
B = LENGTH OF THE GRIP SECTION	150.0 mm
C = WIDTH OF THE GRIP SECTION, APPROXIMATE	20.0 mm

IL EST TRÈS IMPORTANT DE BIEN IDENTIFIER LES COUPONS

 <small>SPRINT, Prolongation de la durée de vie des structures en acier et en béton armé</small>	The COUPON B (2/2)	Date Rec. 1
	Proc B-C-D	No. Proj. 5108LAN
Date Rec. 20/05/2010	No. Coups CR-04	Date 20/05/2010

Coupons Poly.



STANDARD SPECIMENS PLATE-TYPE, 40-MM (1-1/2 in) WIDE

G = GAGE LENGTH	200.0 mm
W = WIDTH	40.0 mm
T = THICKNESS	ÉPAISSEUR DU SPÉCIMEN
R = RADIUS OF FILLET	25.0 mm
L = OVER-ALL LENGTH	600 mm
A = LENGTH OF REDUCED SECTION	270.0 mm
B = LENGTH OF THE GRIP SECTION	150.0 mm
C = WIDTH OF THE GRIP SECTION	50.0 mm

COUPON 0.250

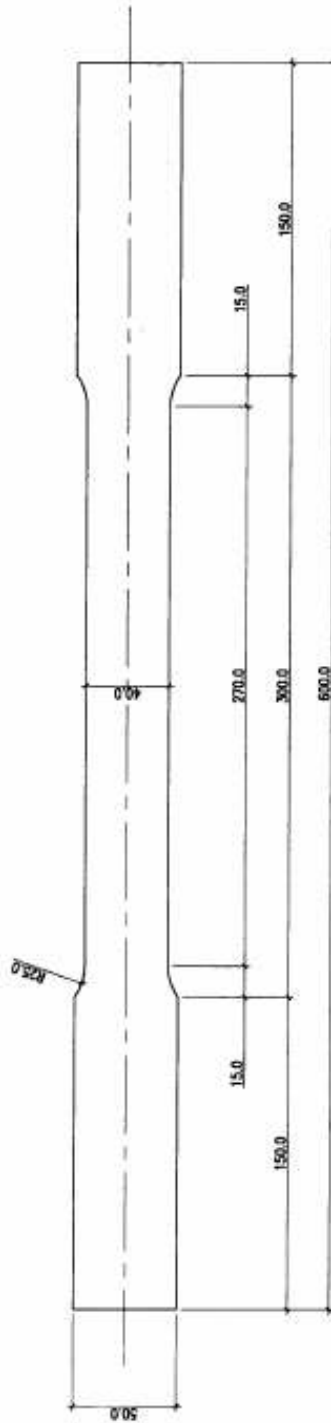
FB 6.35x127 x 700 Lg. / 44W (PAR LAINCO)

2 REQUIS

TOLÉRANCE: $\pm 0.1\text{mm}$

IL EST IMPORTANT DE BIEN IDENTIFIER LES COUPONS

		1010, Farnham Parkway Terrebonne, Québec J6P 1V1 Tel: (450) 962-6019 Fax: (450) 962-1014 Email: info@lainco.ca		Date: 2011-05-11	
		COUPON 0.250		Date: 2011-05-11	
1010, Farnham Parkway Terrebonne, Québec J6P 1V1 Tel: (450) 962-6019 Fax: (450) 962-1014 Email: info@lainco.ca		1010, Farnham Parkway Terrebonne, Québec J6P 1V1 Tel: (450) 962-6019 Fax: (450) 962-1014 Email: info@lainco.ca		1010, Farnham Parkway Terrebonne, Québec J6P 1V1 Tel: (450) 962-6019 Fax: (450) 962-1014 Email: info@lainco.ca	



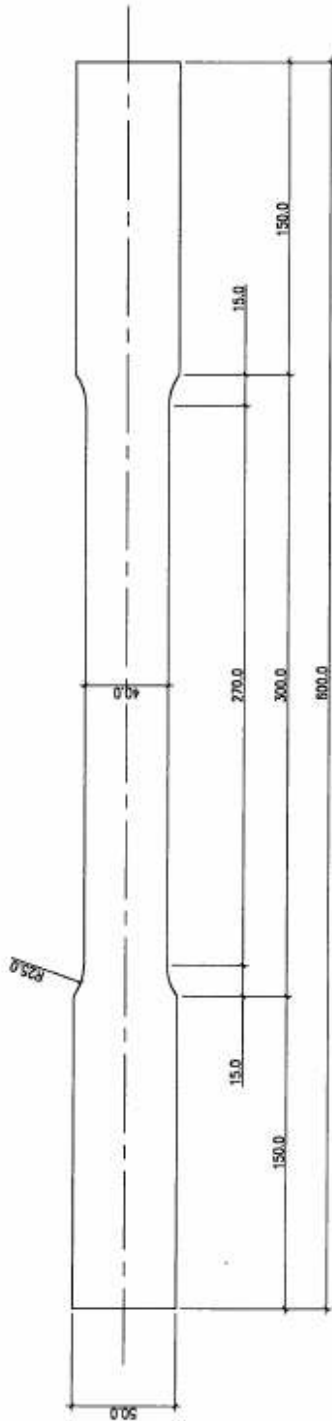
STANDARD SPECIMENS PLATE-TYPE, 40-MM (1-1/2 in) WIDE

G = GAGE LENGTH	200.0 mm
W = WIDTH	40.0 mm
T = THICKNESS	ÉPASSEUR DU SPÉCIMEN
R = RADIUS OF FILLET	25.0 mm
L = OVER-ALL LENGTH	600 mm
A = LENGTH OF REDUCED SECTION	270.0 mm
B = LENGTH OF THE GRIP SECTION	150.0 mm
C = WIDTH OF THE GRIP SECTION	50.0 mm

COUPON 0.250B (remplace COUPON 0.188 / FB 4.76x127x700 Lg)
 FB 6.35x127 x 700 Lg. / 44W (PAR LAINCO)
 2 REQUISES
 TOLÉRANCE: ± 0.1 mm

IL EST IMPORTANT DE BIEN IDENTIFIER LES COUPONS

 <small>LAING & CO. LTD.</small> <small>1000-10100</small> <small>1000-10100</small> <small>1000-10100</small> <small>1000-10100</small>	COUPON 0.250B		Date Rec. 2011-05-25
	PRG. C-D-12		No. Project RD-027
	EST-ONCE		No. Create RD-027



STANDARD SPECIMENS PLATE-TYPE, 40-MM (1-1/2") WIDE

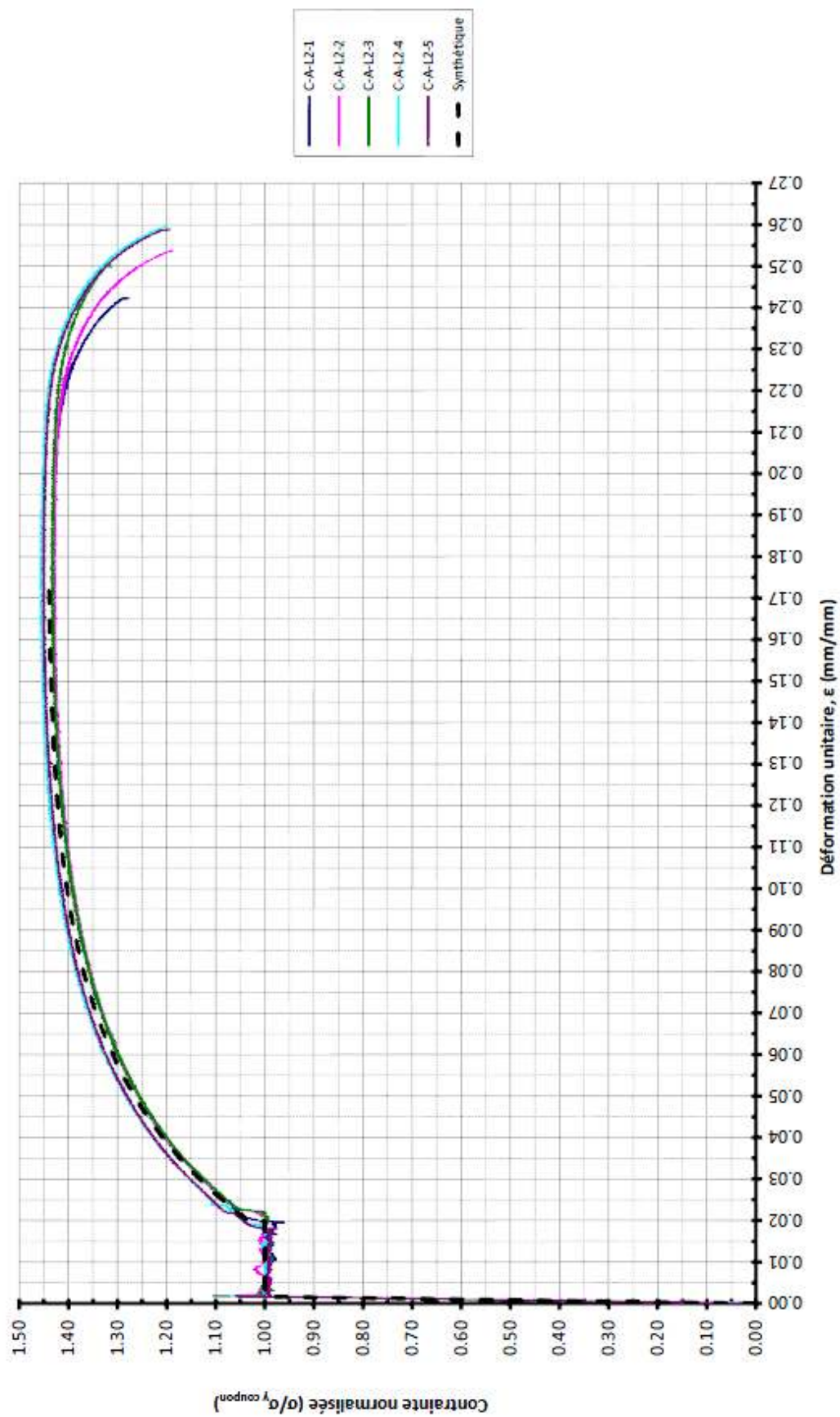
- | | |
|--------------------------------|-----------------------|
| G = GAGE LENGTH | 200.0 mm |
| W = WIDTH | 40.0 mm |
| T = THICKNESS | ÉPAISSEUR DU SPÉCIMEN |
| R = RADIUS OF FILLET | 25.0 mm |
| L = OVER-ALL LENGTH | 600 mm |
| A = LENGTH OF REDUCED SECTION | 270.0 mm |
| B = LENGTH OF THE GRIP SECTION | 150.0 mm |
| C = WIDTH OF THE GRIP SECTION | 50.0 mm |

IL EST IMPORTANT DE BIEN IDENTIFIER LES COUPONS

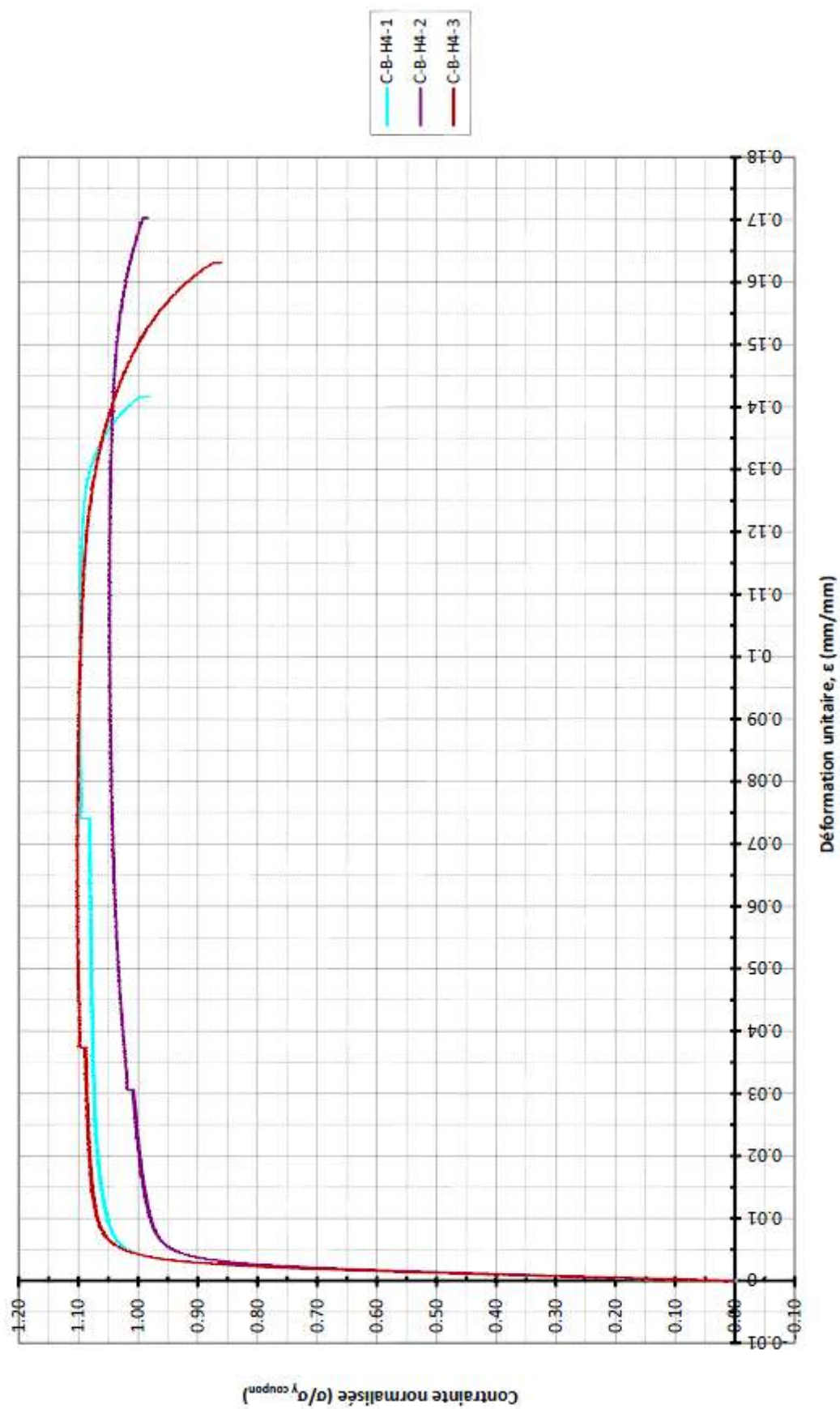
COUPON 0.313
 FB 7.94x127 x 700 Lg. / 44W (PAR LAINCO)
 2 REQUIRES
 TOLÉRANCE: $\pm 0.1\text{mm}$

 <p>1010, Ferme de l'Église Terrebonne, Québec J8Y 1V1 ☎ (450) 945-8070 ☎ (450) 945-1514 ✉ www.lainco.ca</p>	<p>Item No. 030303</p>	
	<p>COUPON 0.313</p>	
	<p>PROG. C-D-18</p>	
<p>Revised per E.S.T.-ONCE</p>		<p>Revised per A.ROQUE</p>
<p>Date 2011-05-11</p>		<p>Date 2011-05-11</p>

Courbe matériau L-2x2x0.250 (C-A-L2)
 F_y moy. coupon = 339 MPa

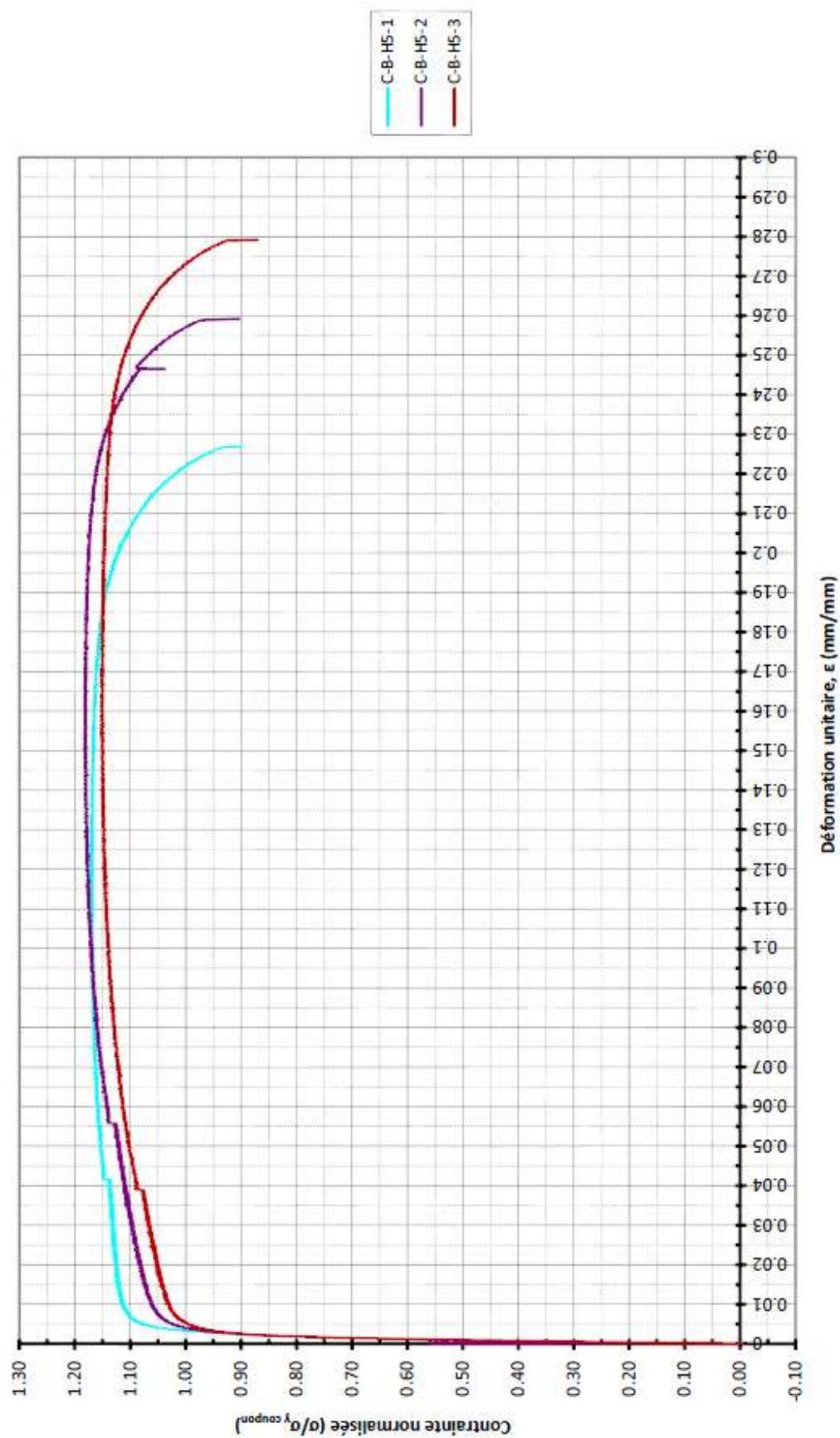


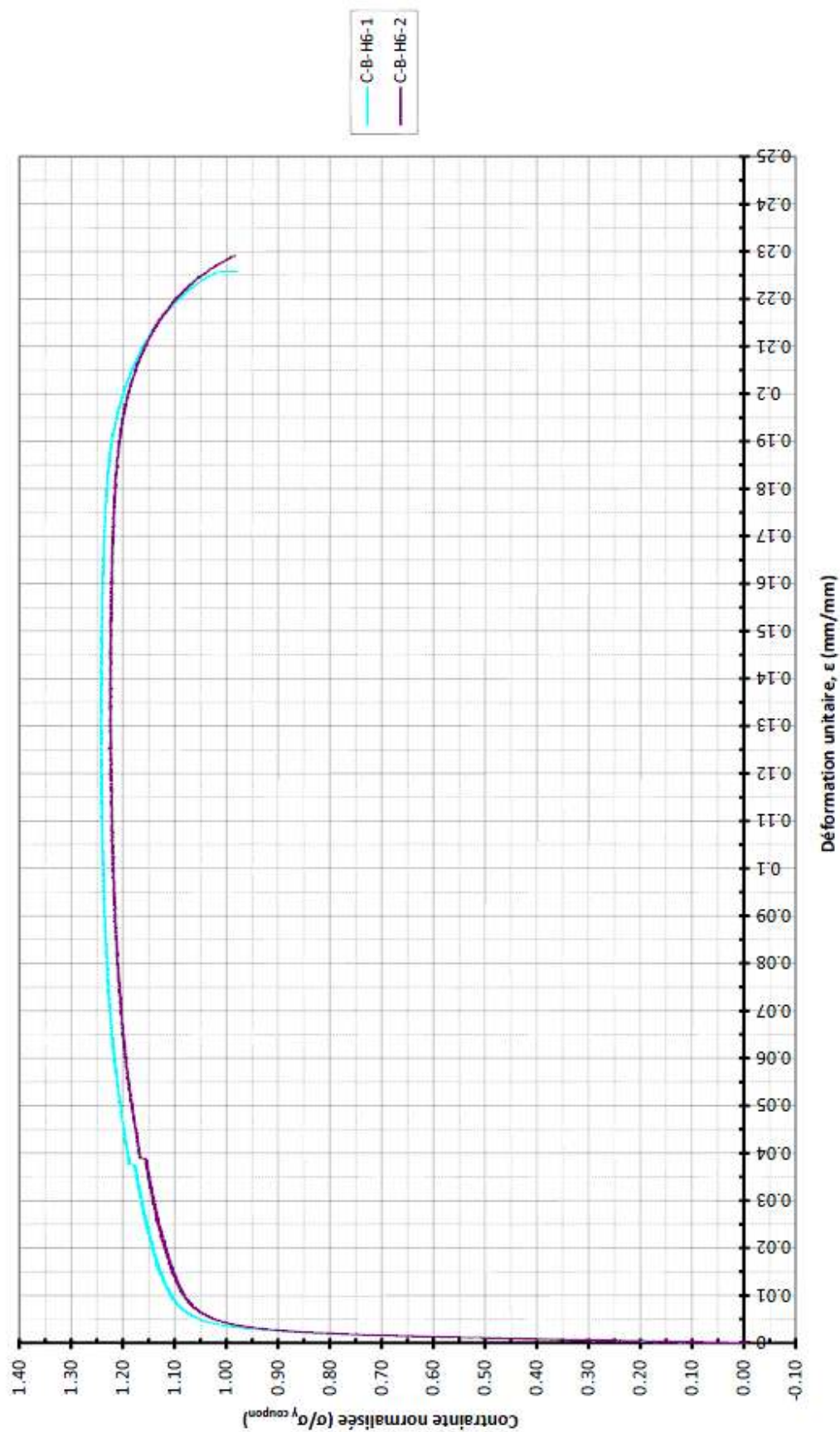
Courbe matériau HSS-4x4x0.313 (C-B-H4)
 F_y moy. coupon = 476 MPa



Courbe matériau HSS-5x5x0.313 (C-B-H5)

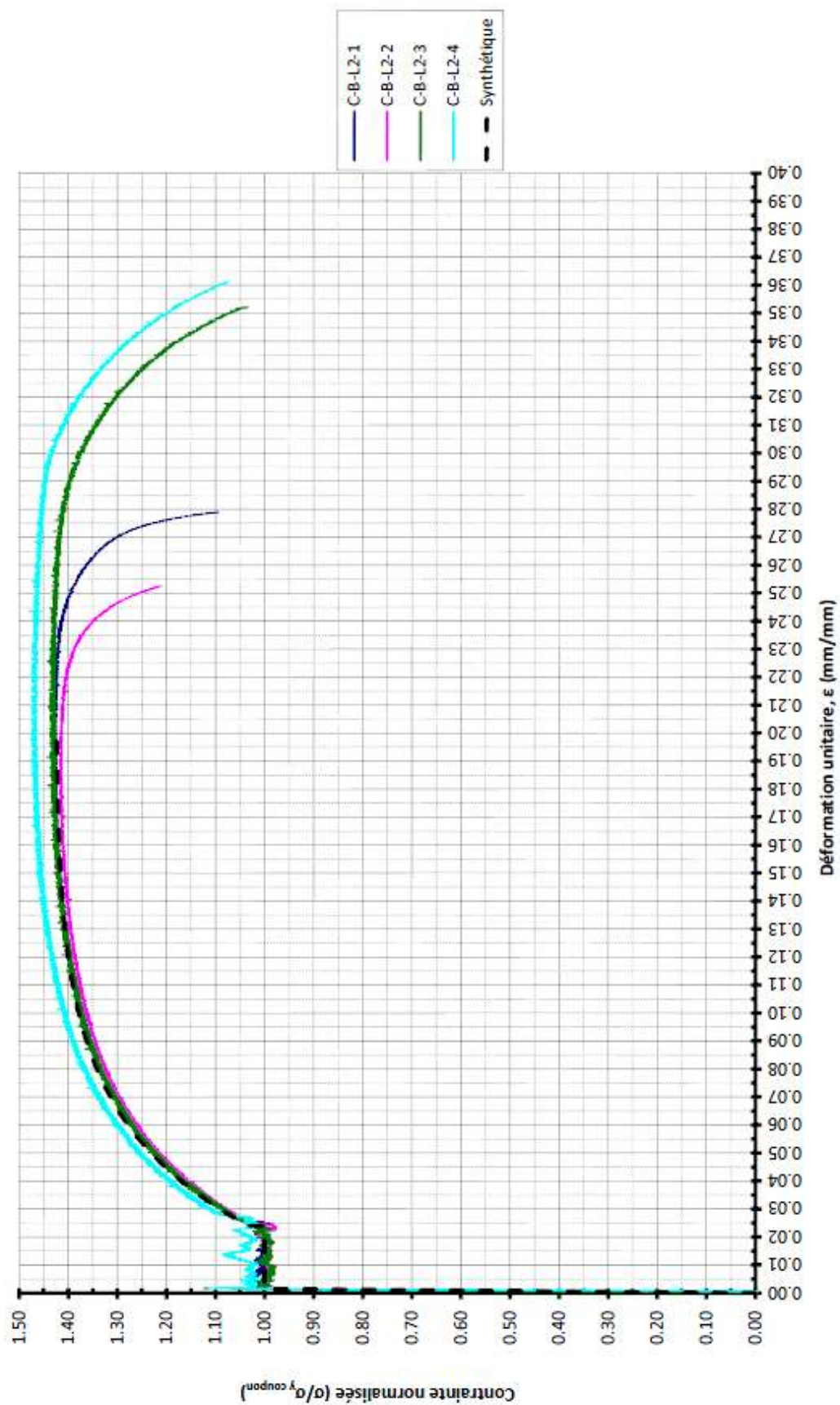
F_y moy. coupon = 379 MPa



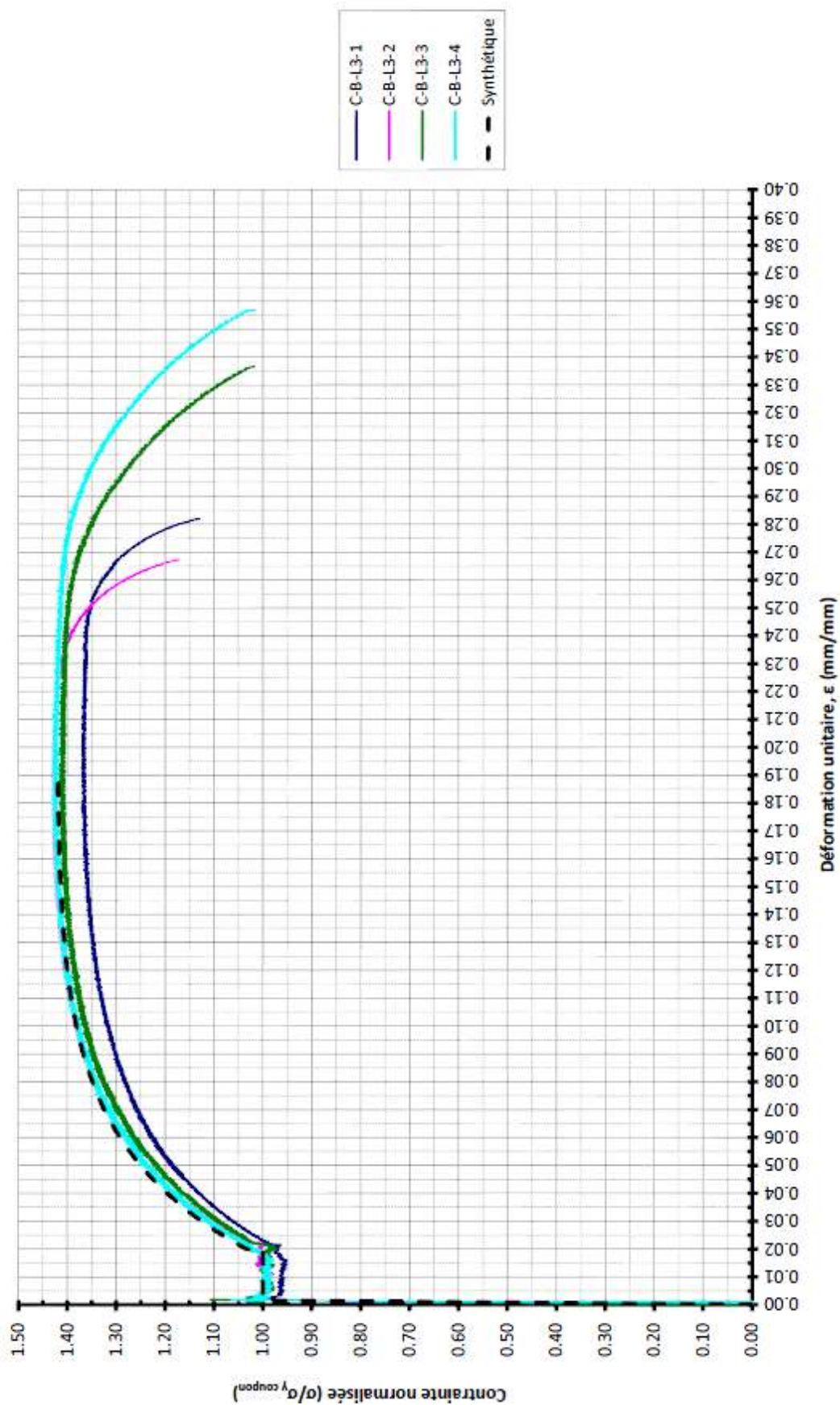
Courbe matériau HSS-6x6x0.313 (C-B-H6) F_y moy. coupon = 424 MPa

Courbe matériau L-2x2x0.188 (C-B-L2)

F_y moy. coupon = 321 MPa

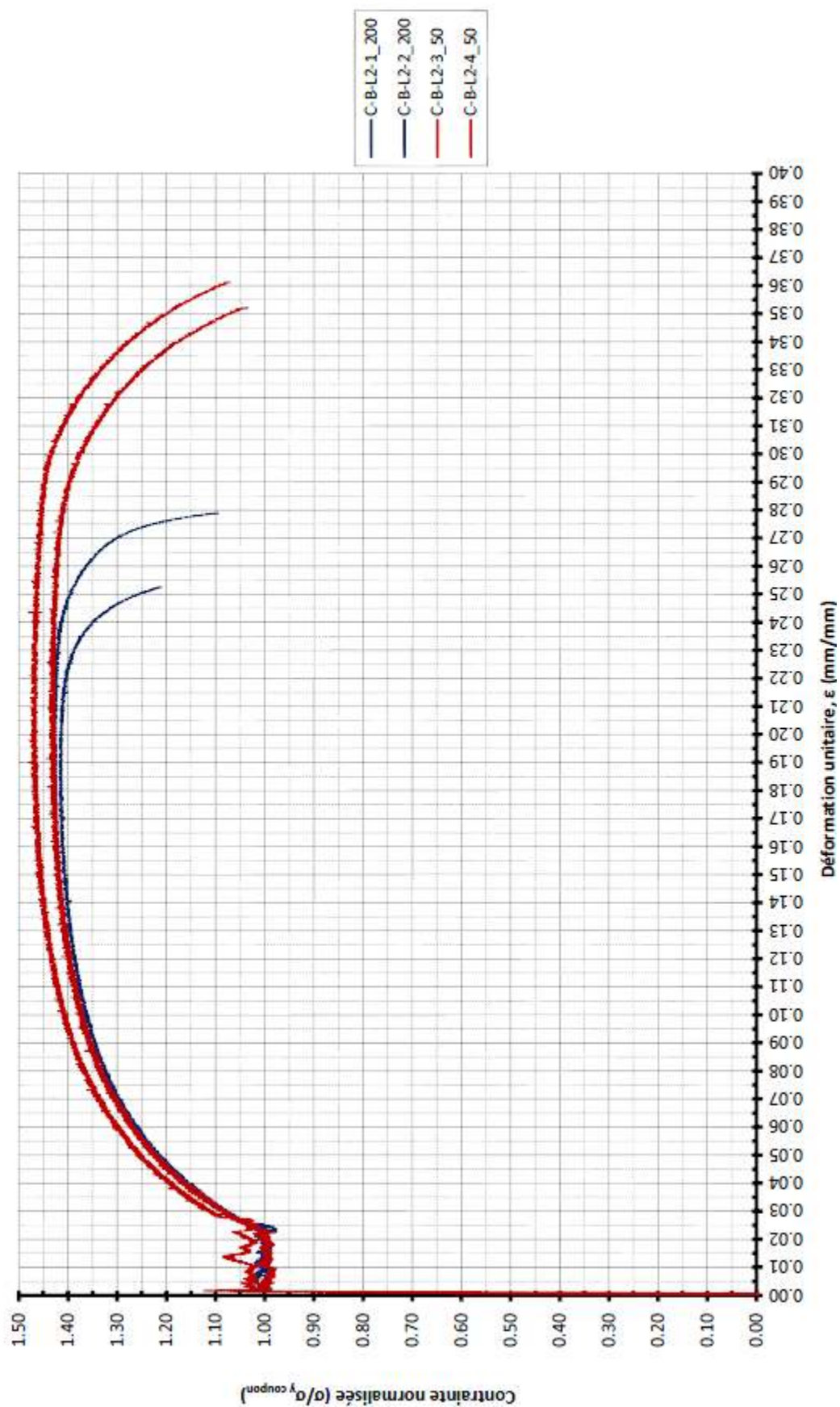


Courbe matériau L-3x3x0.250 (C-B-L3)
 F_y moy. coupon = 326 MPa

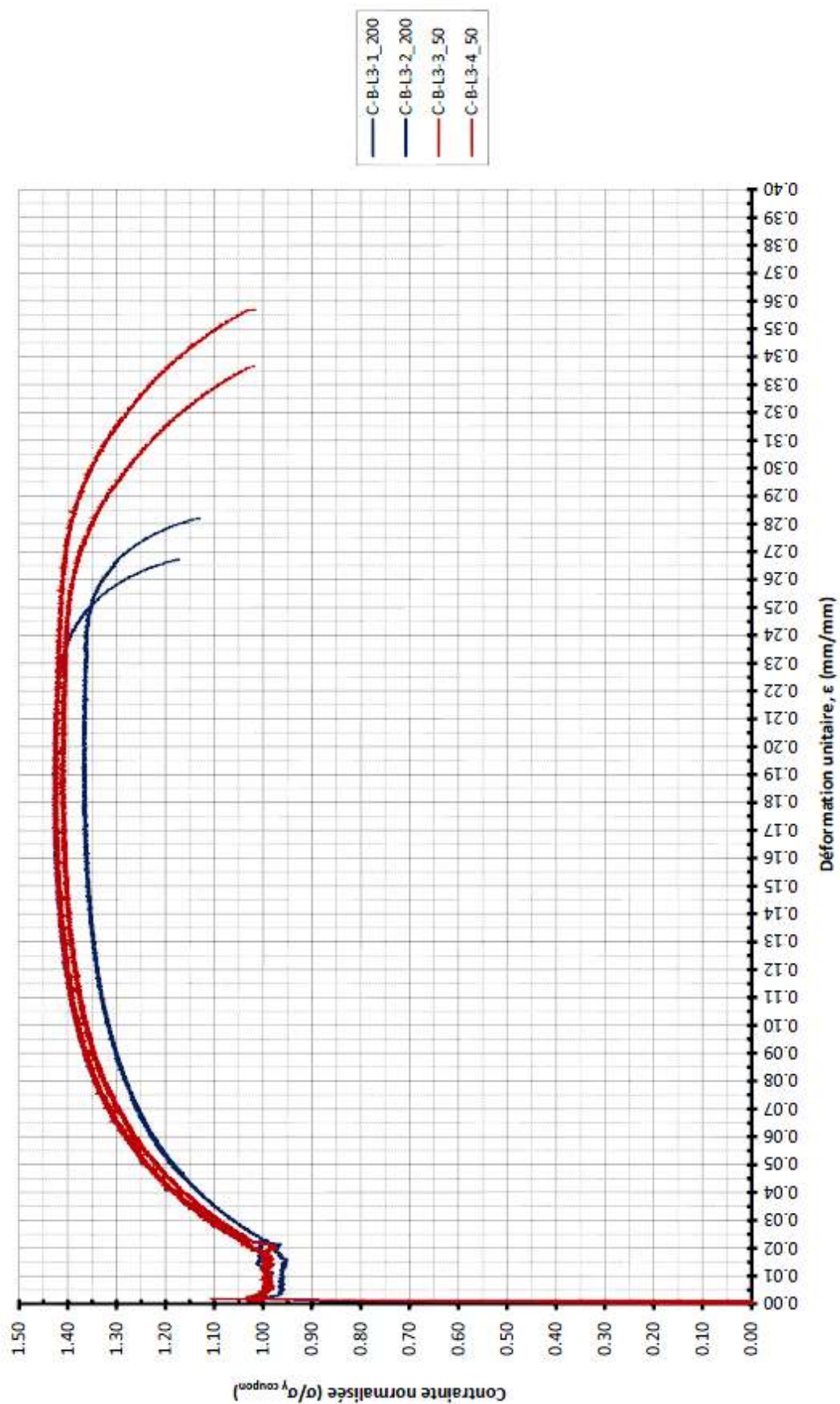


Courbe matériau L-2x2x0.188 (C-B-L2) : coupons 40-200 vs 13-50

F_y moy. coupon = 321 MPa



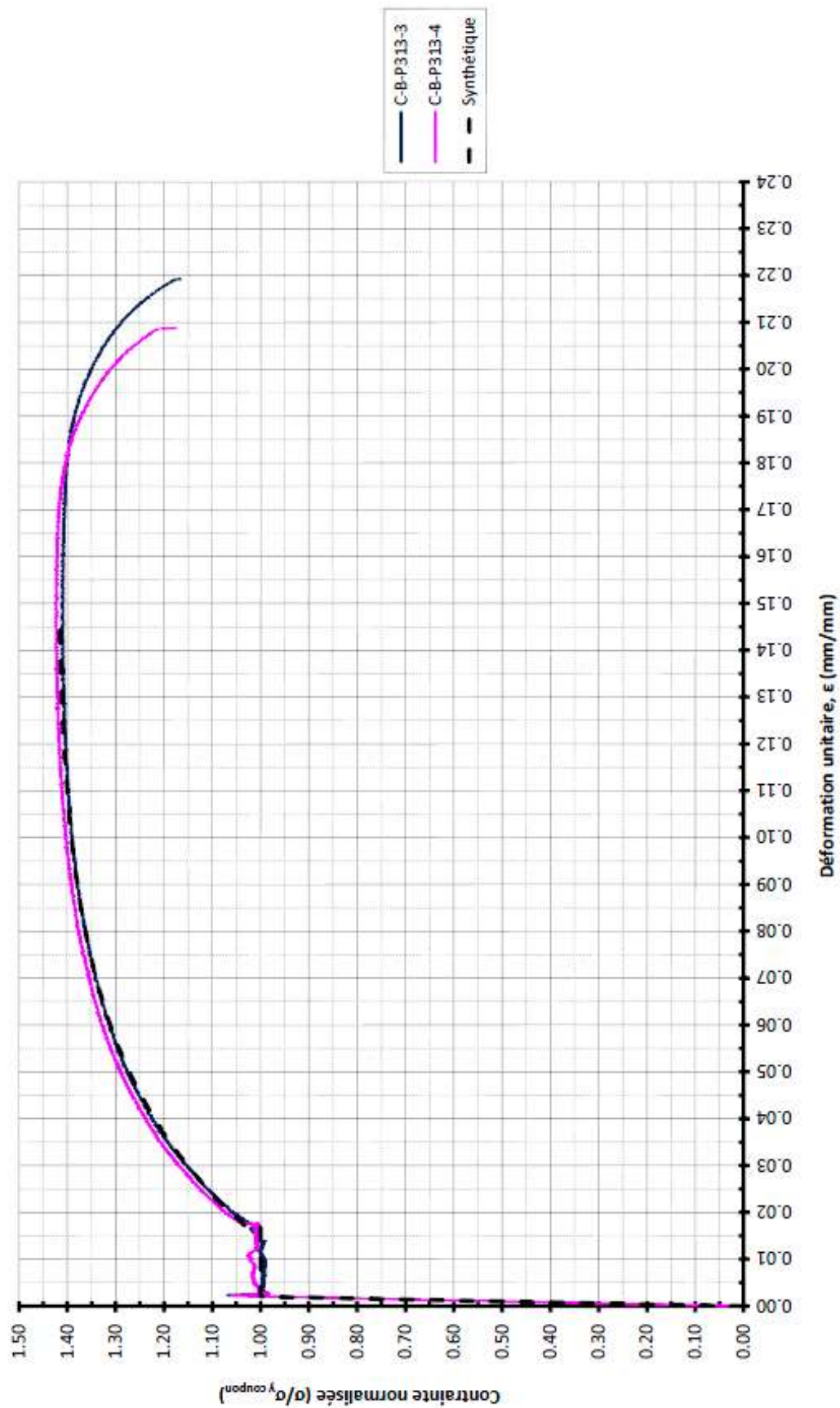
Courbe matériau L-3x3x0.250 (C-B-L3) : coupons 40-200 vs 13-50

 F_y moy. coupon = 326 MPa

Courbe matériau PL-5x0.250 (C-B-P250)
 F_y moy. coupon = 324 MPa (usiné)

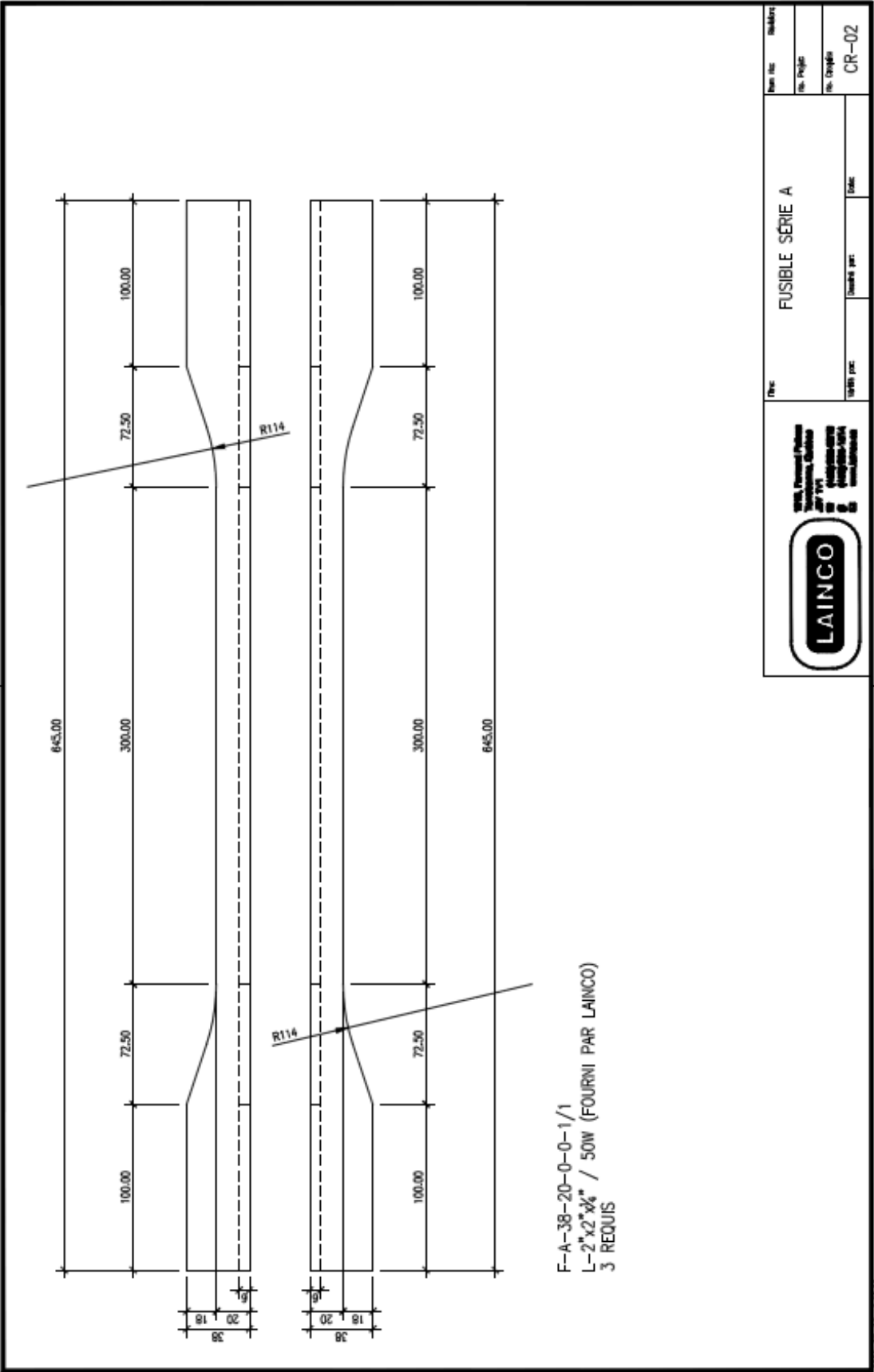


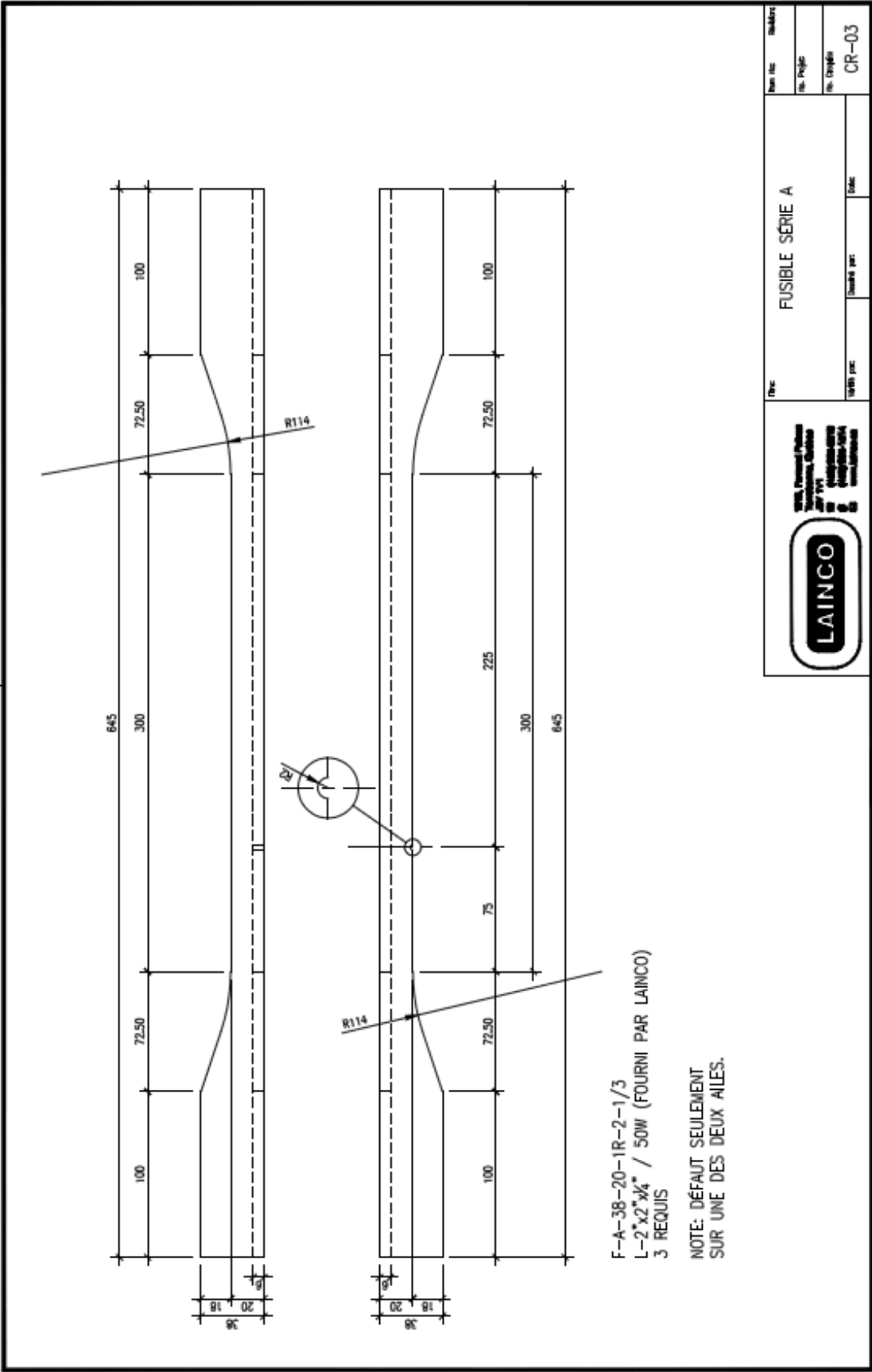
Courbe matériau PL-5x0.313 (C-B-P313)
 F_y moy. coupon = 413 MPa (usiné)



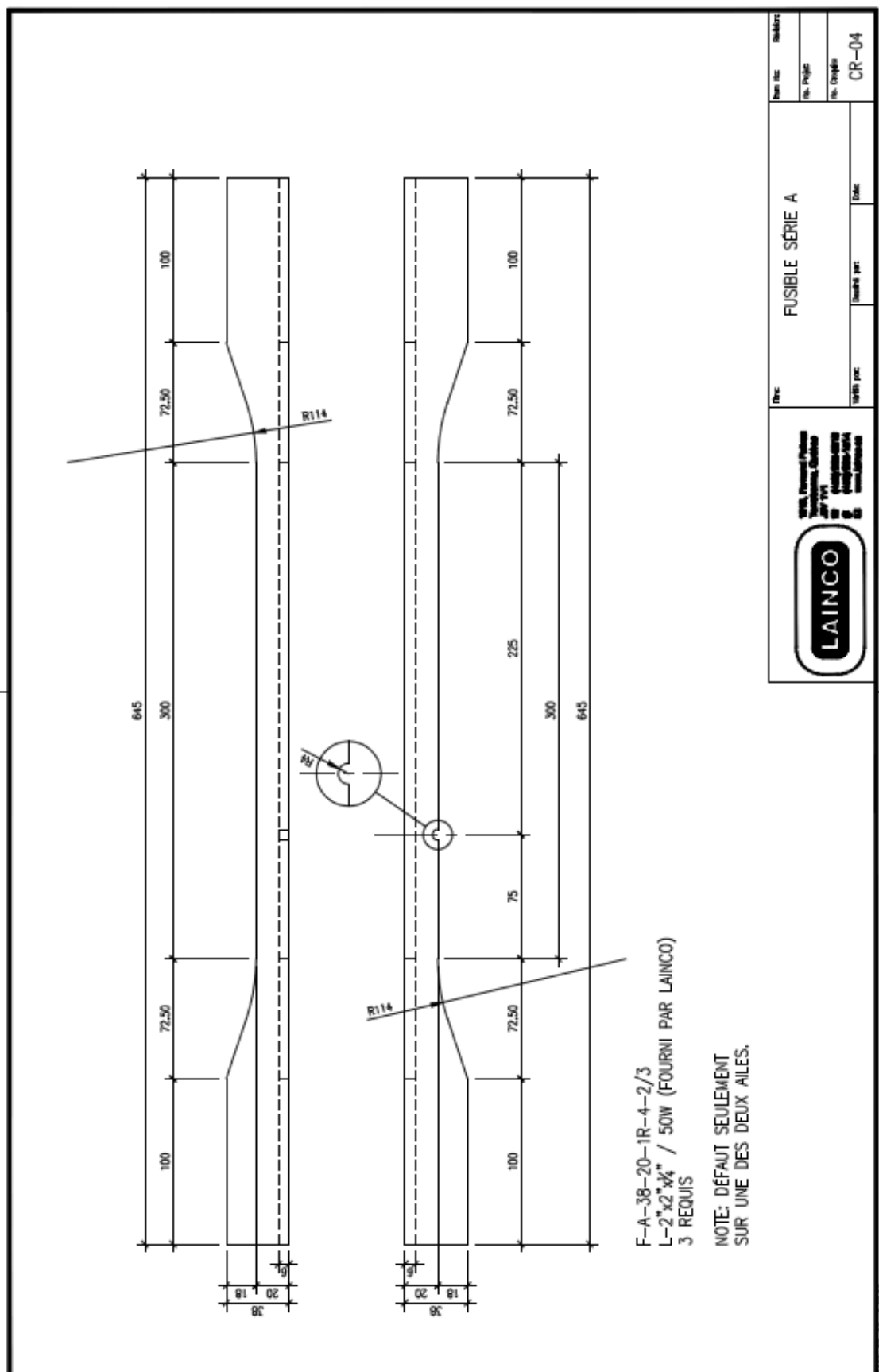
ANNEXE 2 – Programme expérimental A

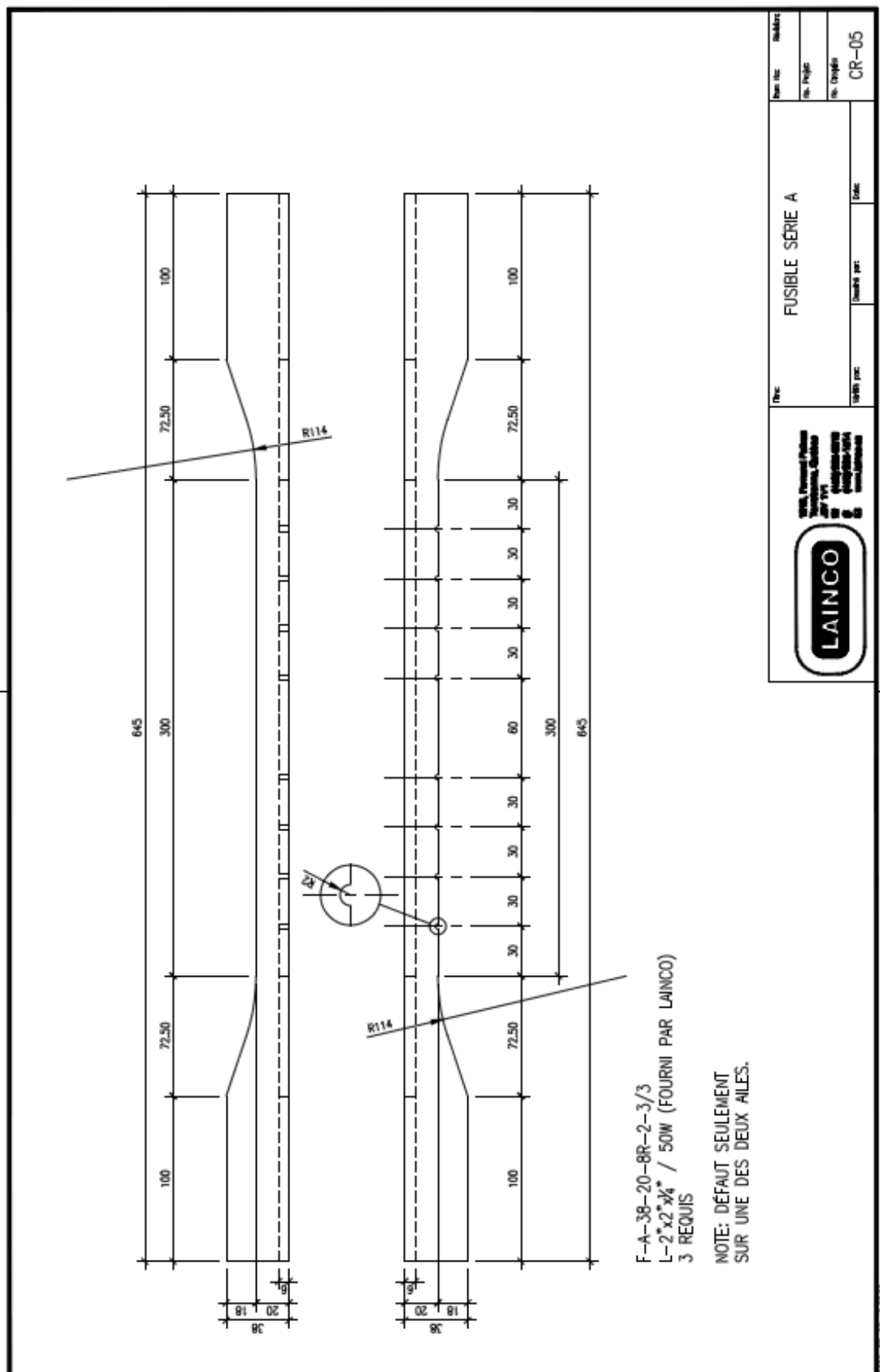
Effet des défauts

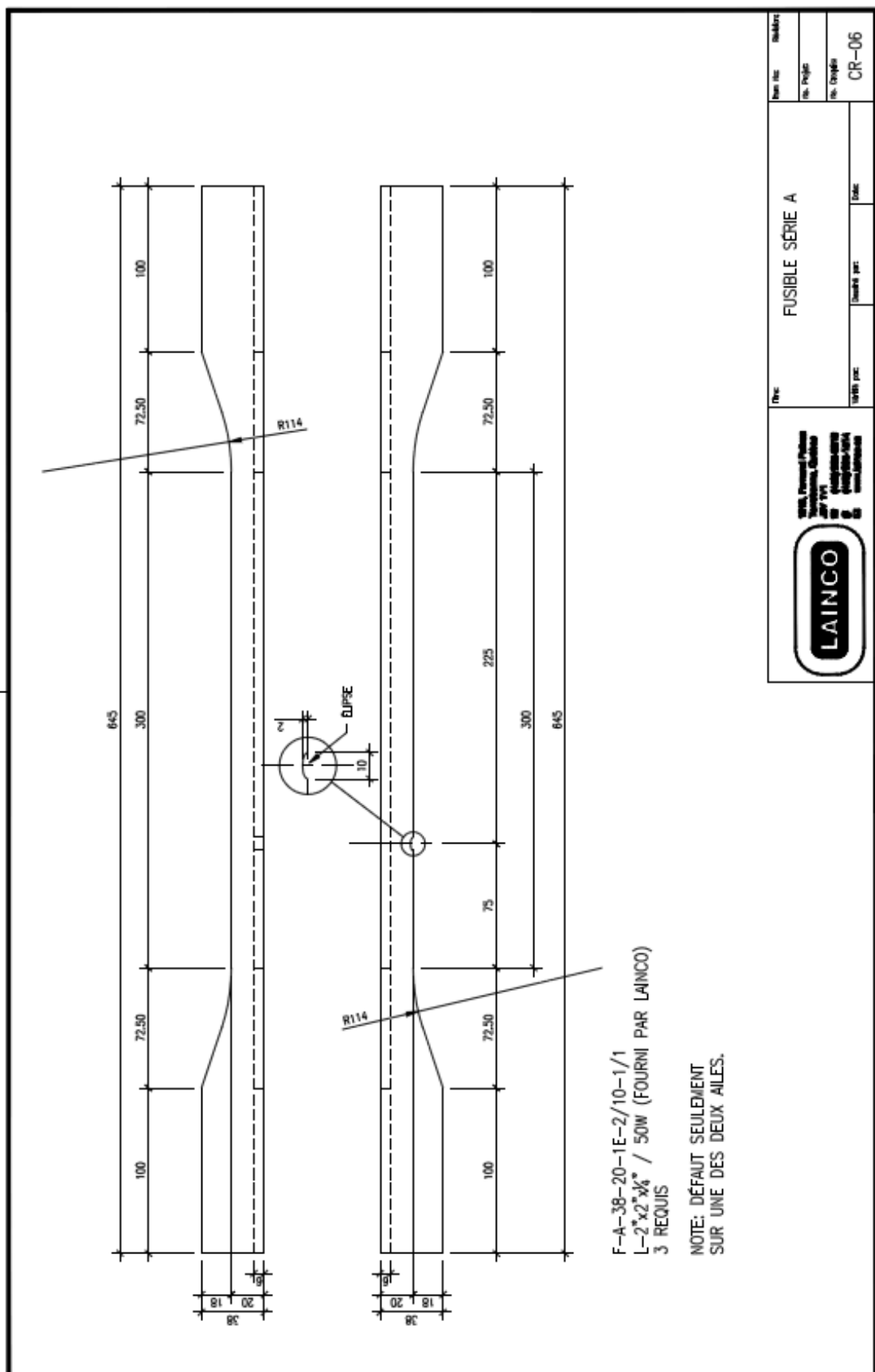


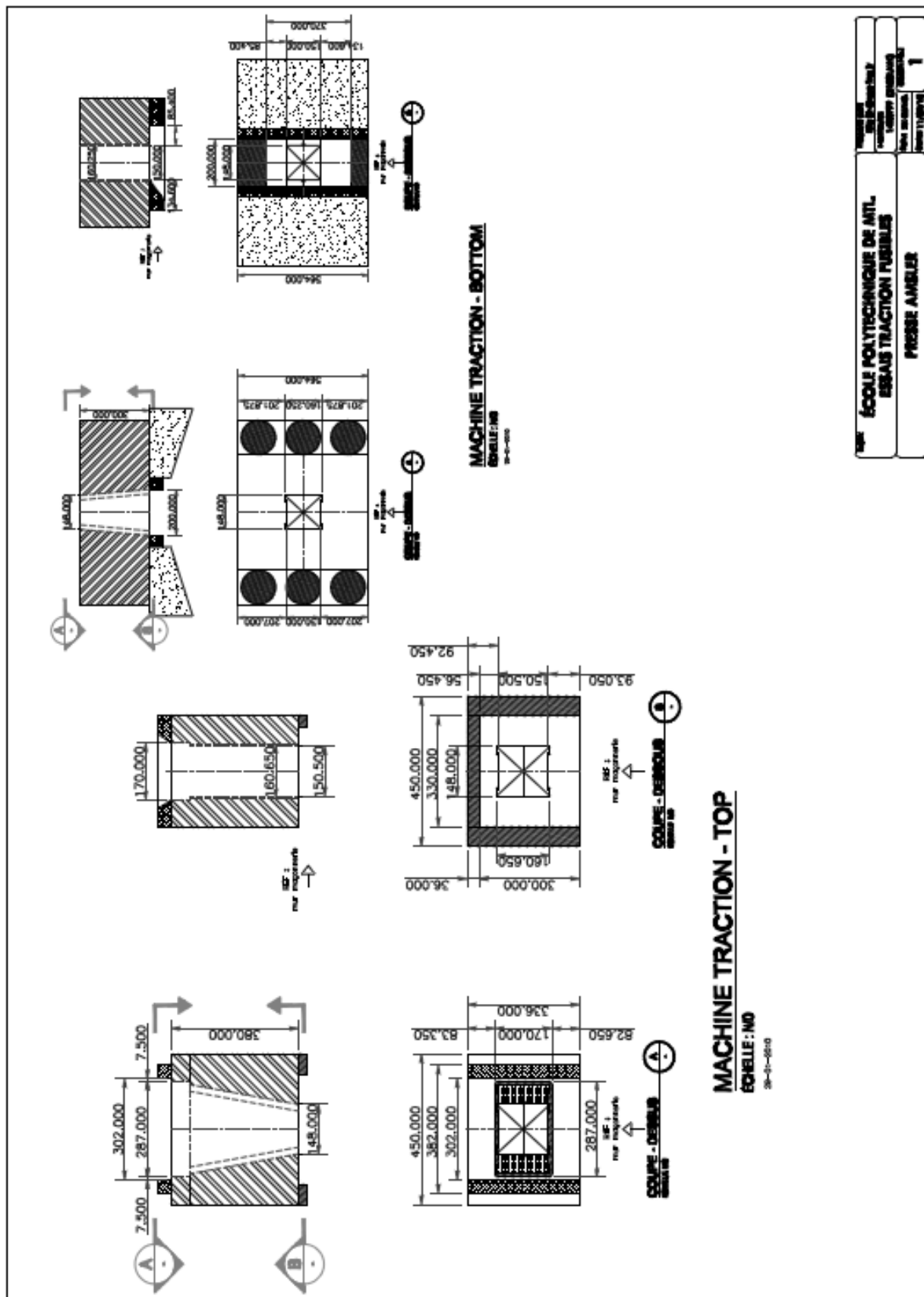


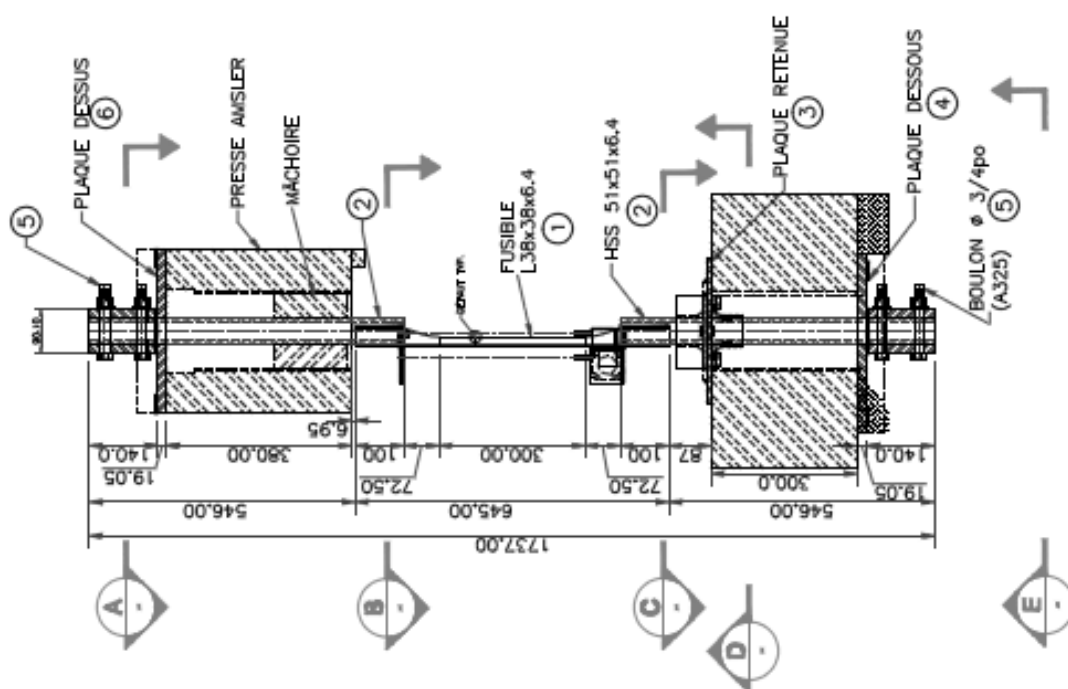
2003-07-08 13:27:56











ESSAI SÉRIE A (USINÉ)
ÉCHELLE N°10

[illegible]



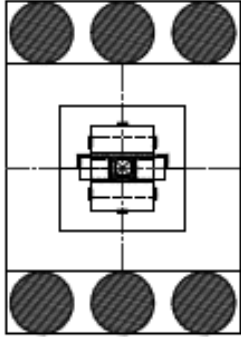
1/2" :
par millimètre

MACHINE TRACTION - TOP

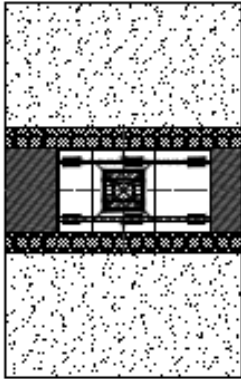
ÉCHELLE : 1/2"
TS-01-2010



1/2" :
par millimètre



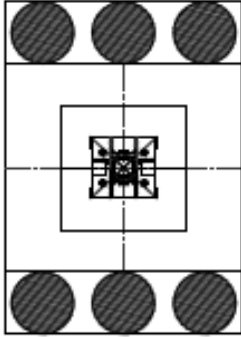
1/2" :
par millimètre



1/2" :
par millimètre

MACHINE TRACTION - BOTTOM

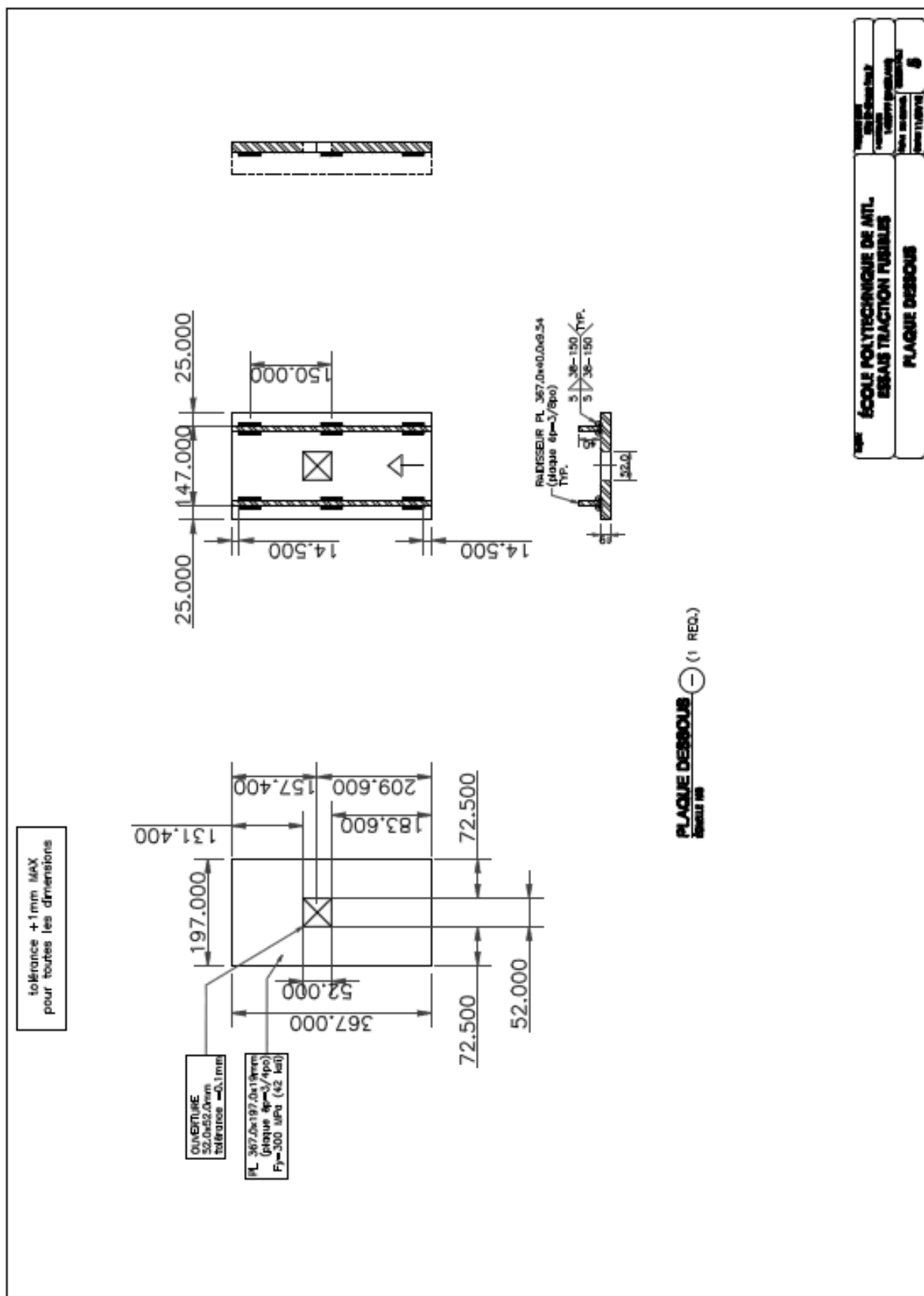
ÉCHELLE : 1/2"
TS-01-2010

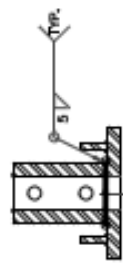
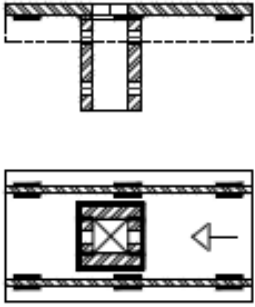
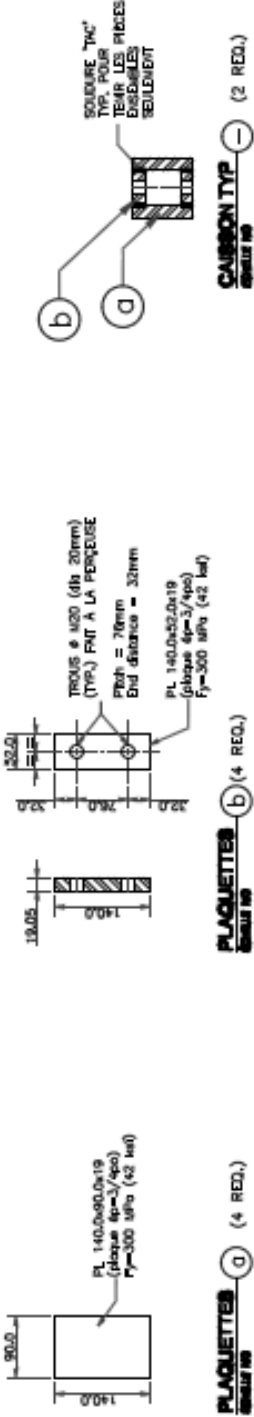


1/2" :
par millimètre

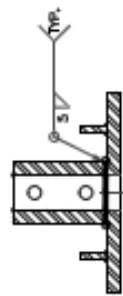
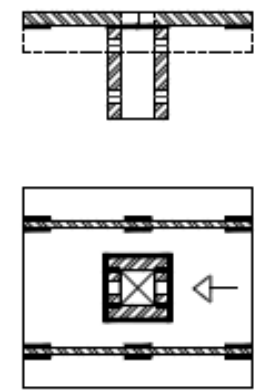


ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MTL. ESSAIS TRACTION FIBRILES	PROJET TS-01-2010
COUPES - MONTAGE FINAL	3



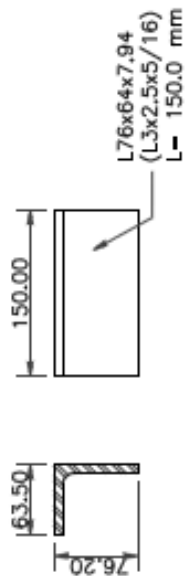


PLAQUE D'ESSAI (1 REQ.)

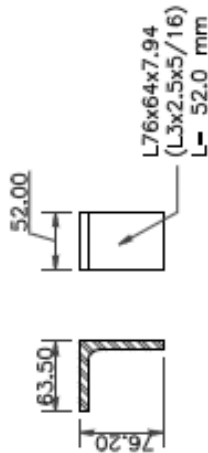


PLAQUE D'ESSAI (1 REQ.)

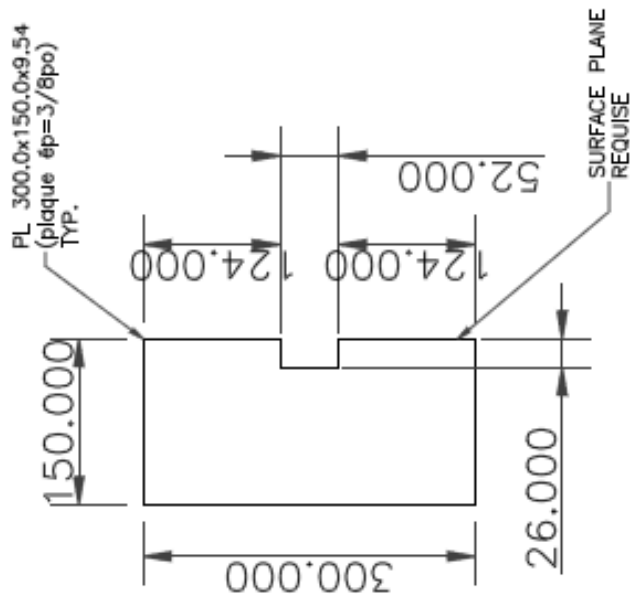
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MTL. ESSAIS TRACTION FIBRILES	140.0x90.0x19 4p=3/4po F _T =300 MPa ×2 test	140.0x90.0x19 4p=3/4po F _T =300 MPa ×2 test
ASSEMBLAGE PLACAGE	140.0x90.0x19 4p=3/4po F _T =300 MPa ×2 test	140.0x90.0x19 4p=3/4po F _T =300 MPa ×2 test



CORNIERE (D) (2 REQ.)
ÉCHELLE NO

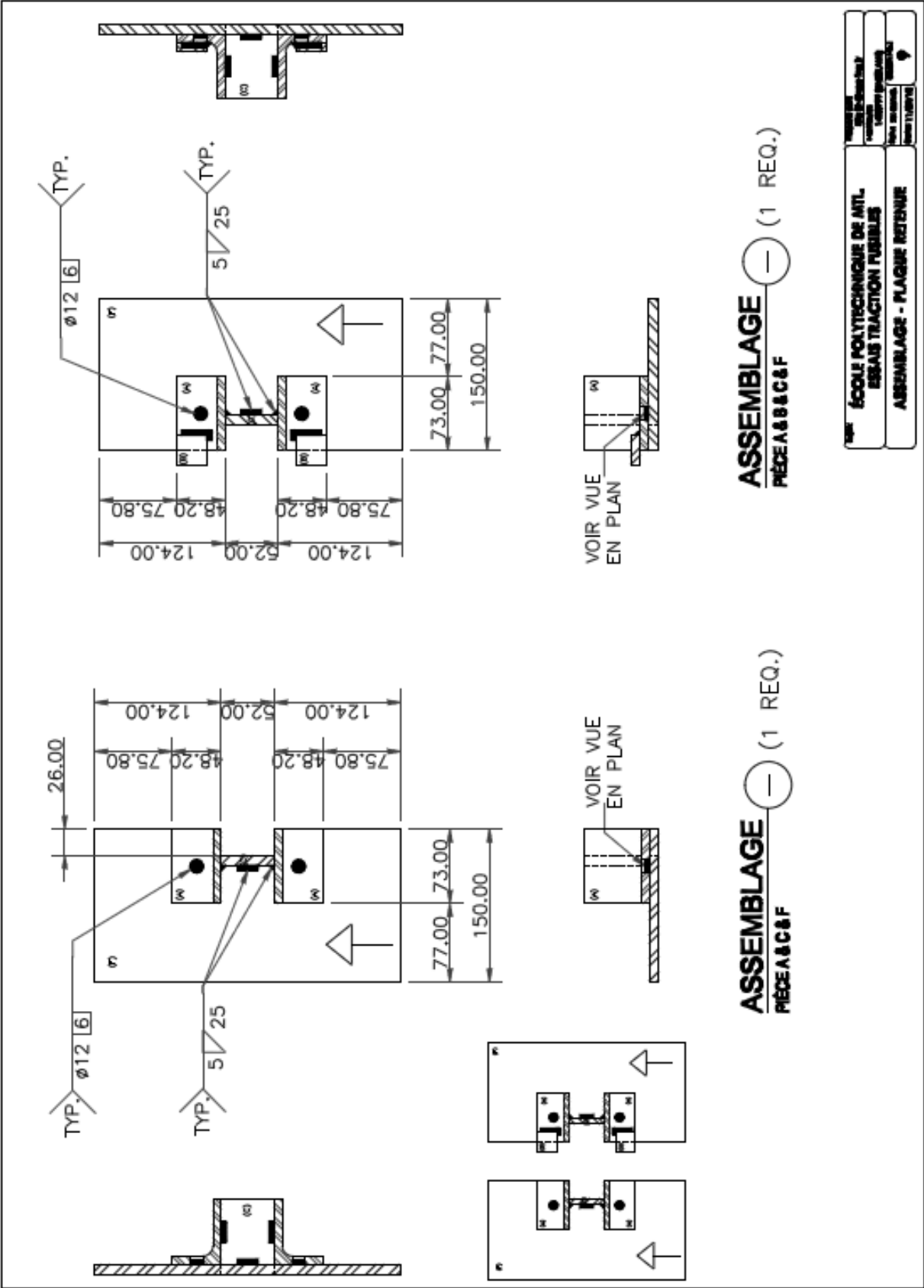


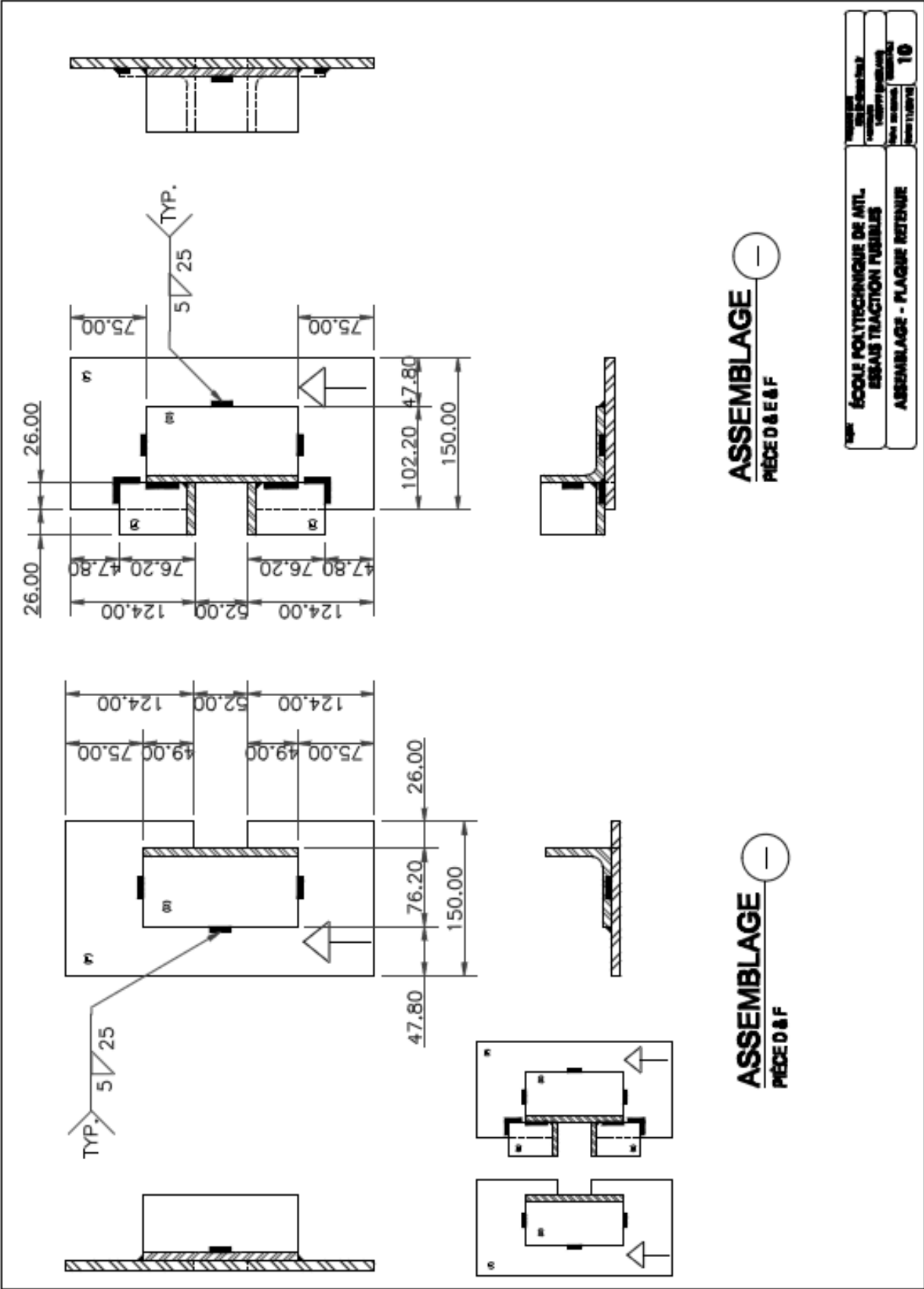
CORNIERE (E) (2 REQ.)
ÉCHELLE NO

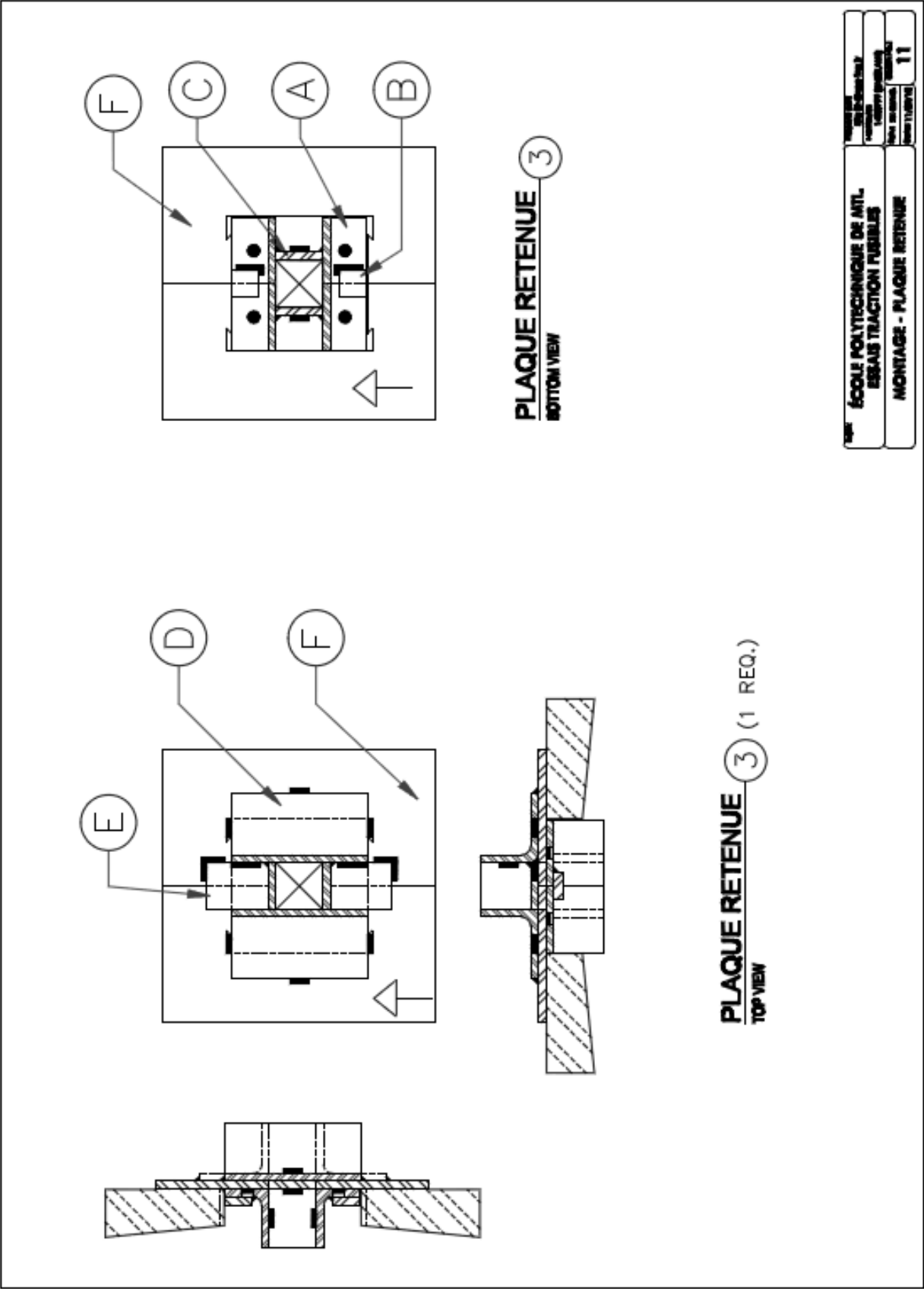


PLAQUE (F) (2 REQ.)
ÉCHELLE NO

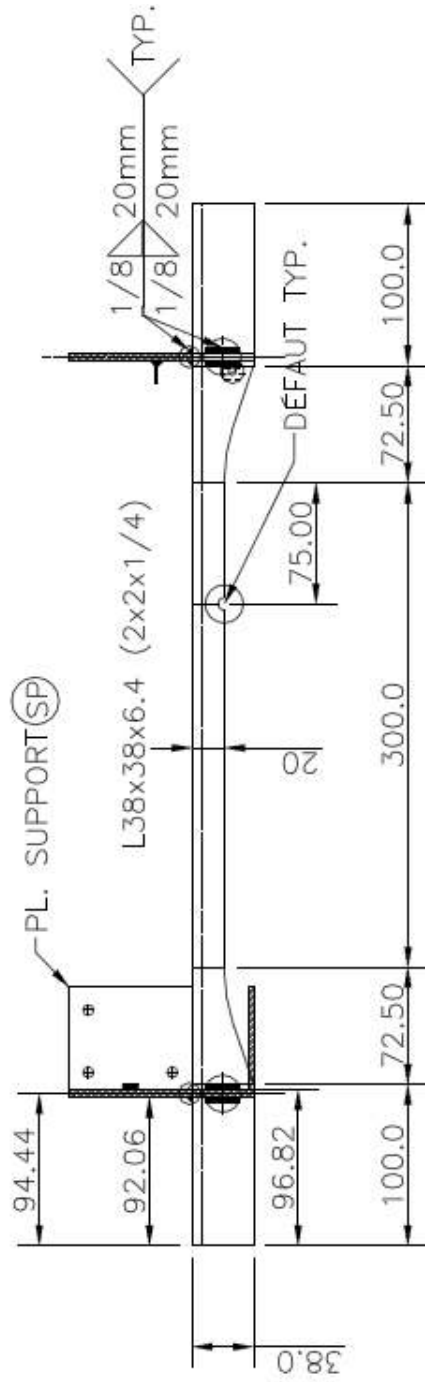
NO	ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MTL. ESSAIS TRACTION FUSILES	NO DE PROJET	NO DE TRAVAIL
	MATÉRIEL - PLAQUE RETENUE		



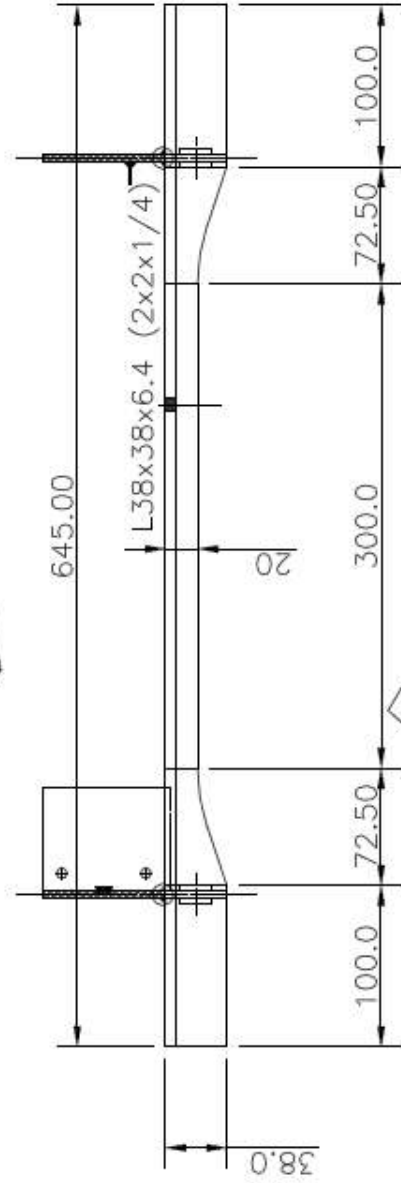




UNIVERSITÉ	UNIVERSITÉ
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL	ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL
PROFESSEUR	PROFESSEUR
DATE	DATE
11	11



PLAN

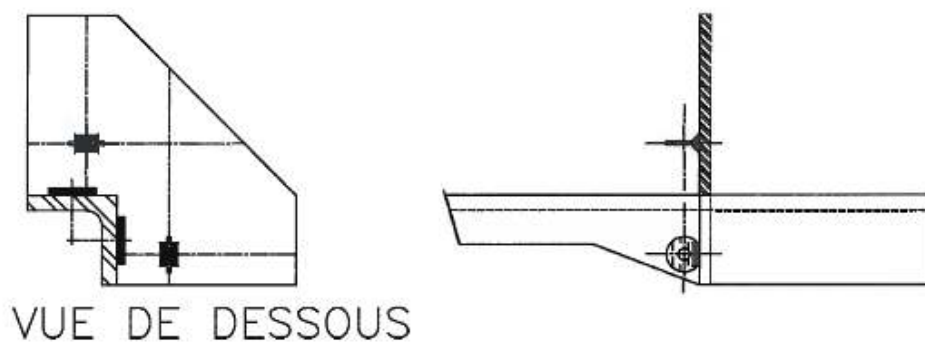
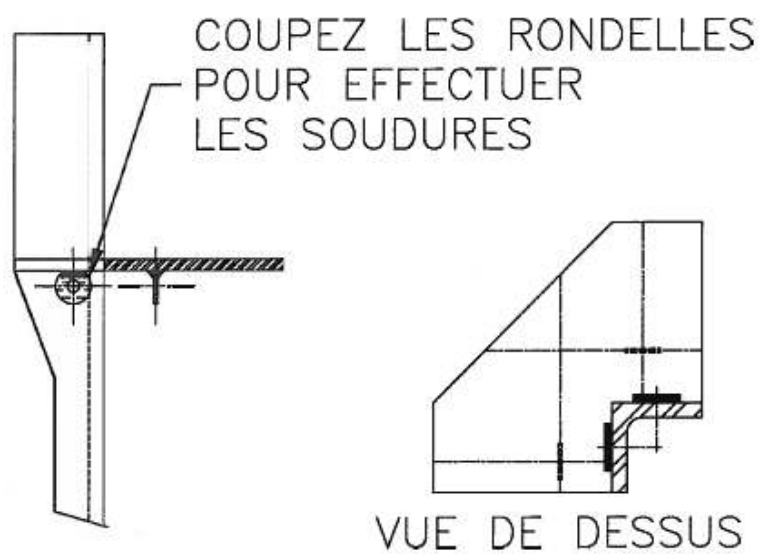


ÉLEVATION



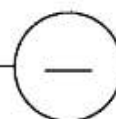
Fusible typ. 1 (15 REQ.)
ÉCHELLE N/D

DÉJÀ USINÉ ET FABRIQUÉ

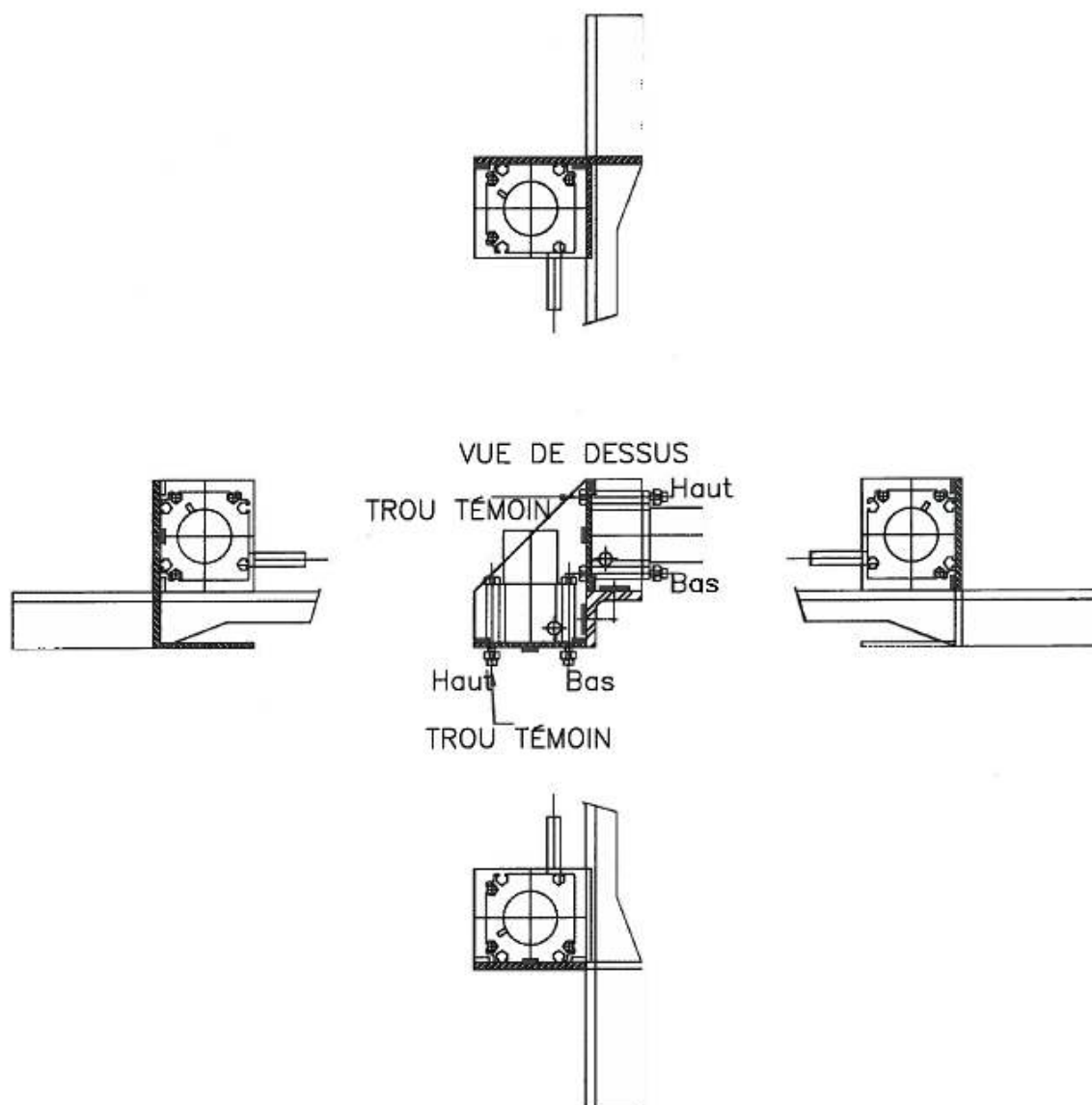


MONTAGE SUP

ÉCHELLE N/D



(N/A)

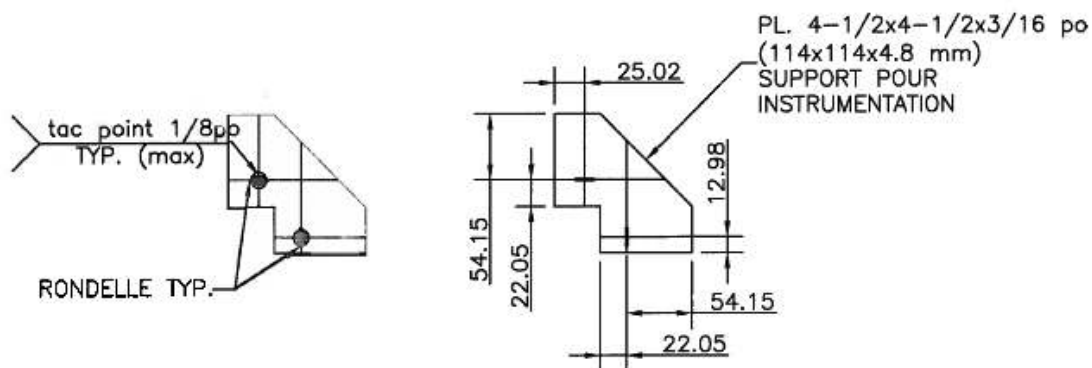


MONTAGE INF

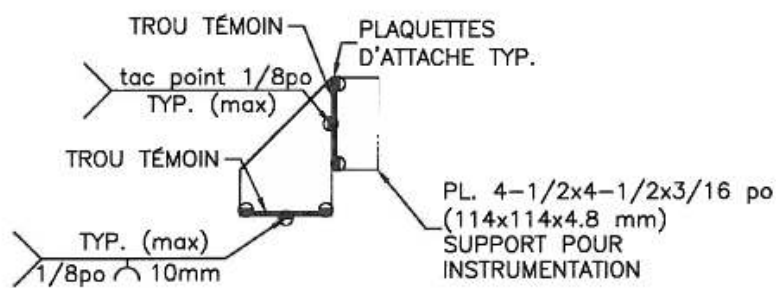
ÉCHELLE N/D



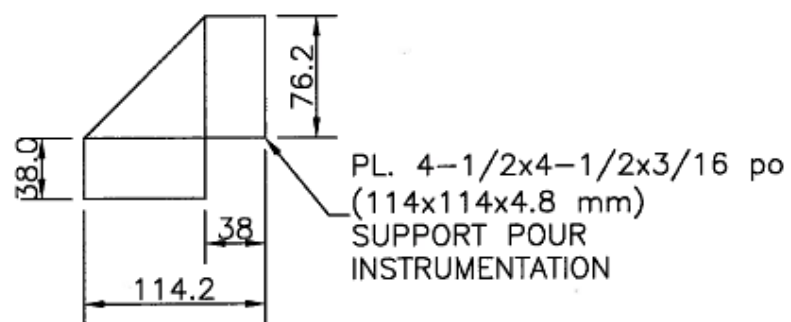
(N/A)



PL SUPÉRIEURE (SP) (15)
ÉCHELLE N/D

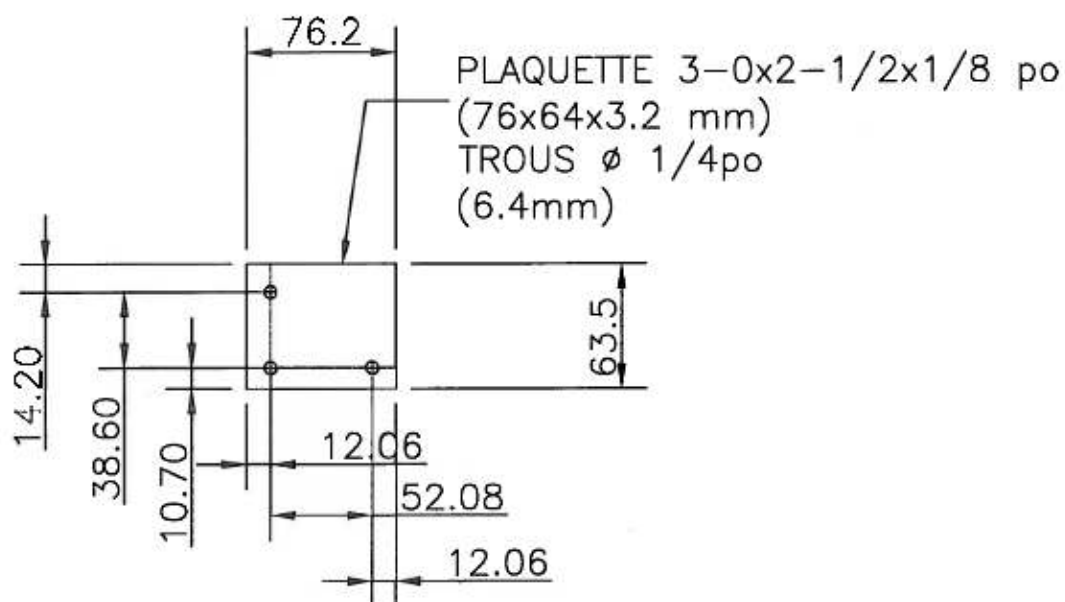


PL INFÉRIEURE (SP) (15)
ÉCHELLE N/D



SUPPORT (TYP.) (30 REQ.)

ÉCHELLE N/D



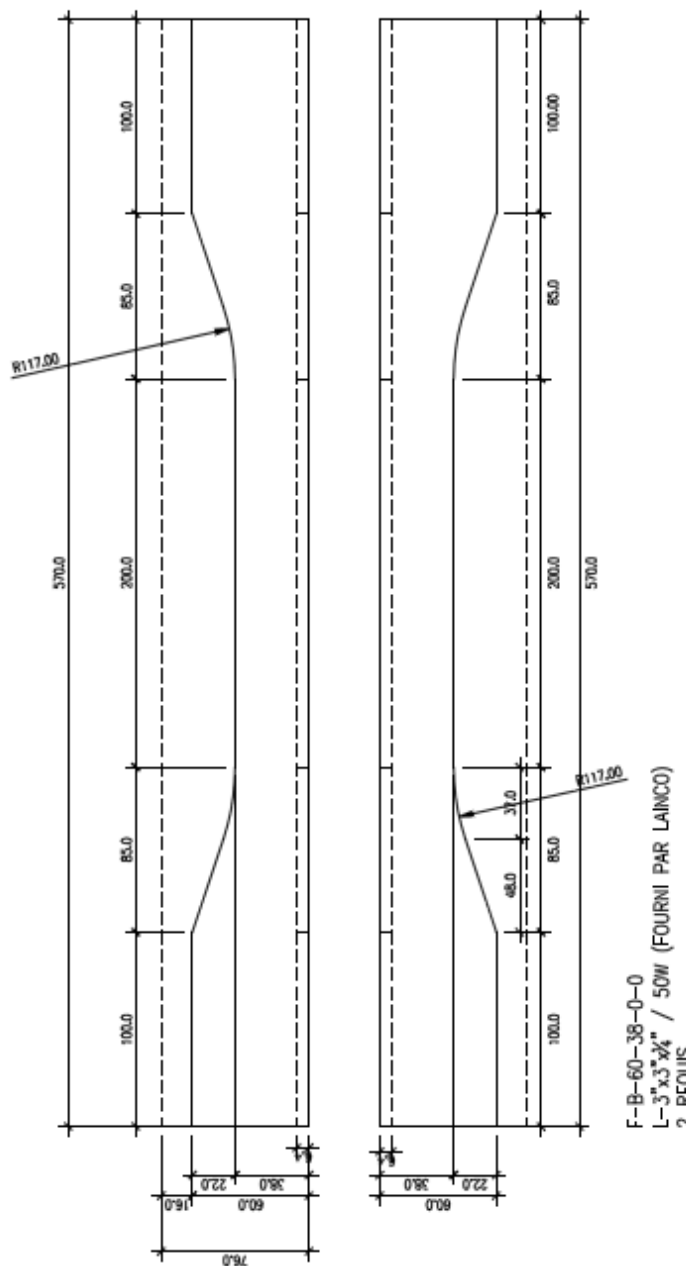
PLAQUETTE (TYP.) (30 REQ.)
ÉCHELLE N/D



PLAQUETTE (TYP.) (30)
ÉCHELLE N/D

ANNEXE 3 – Programme expérimental B

Étude de la méthode de découpe

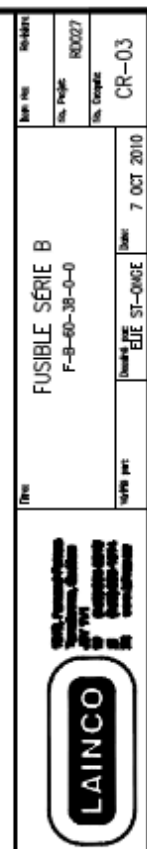


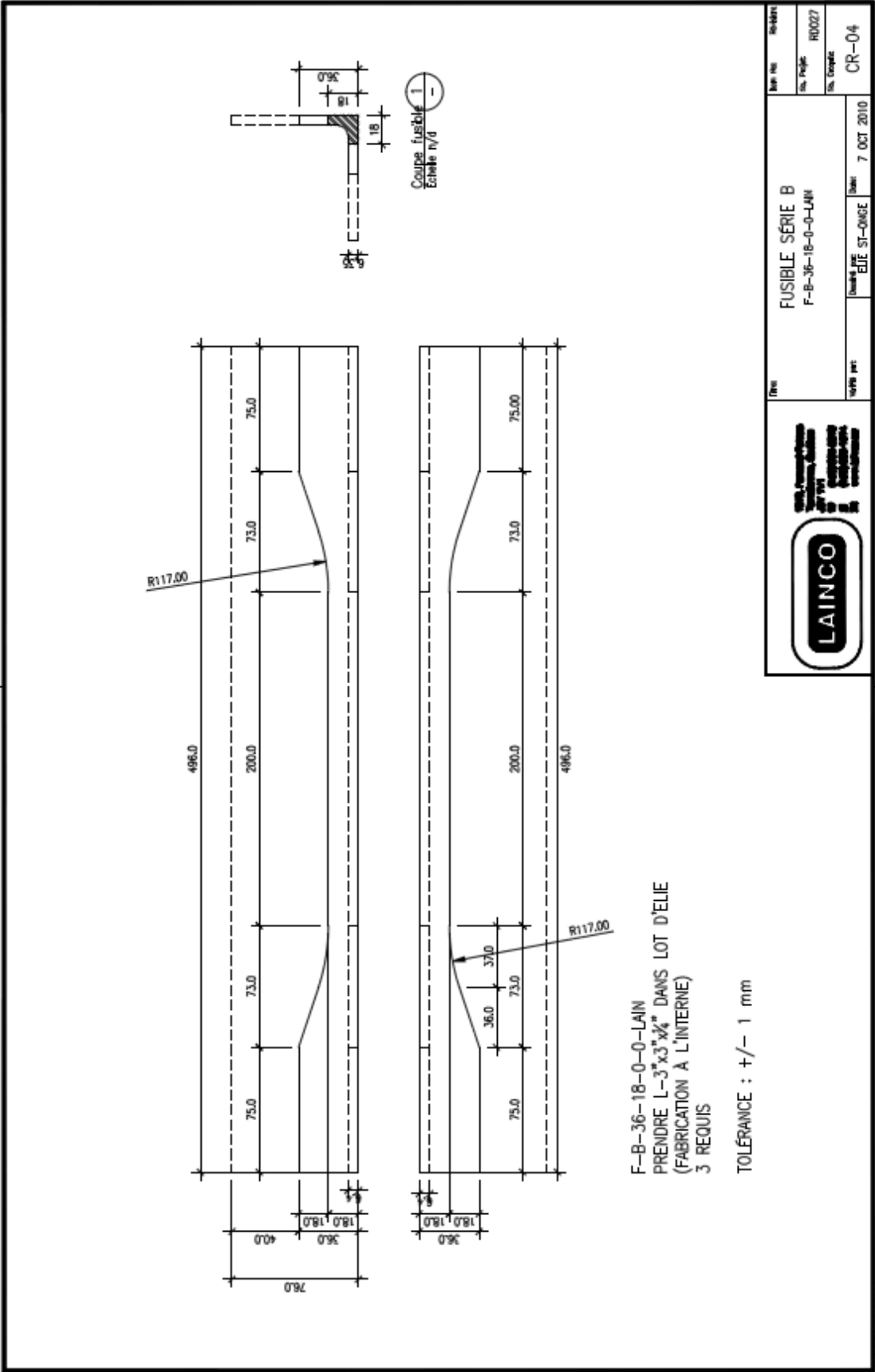
F-B-60-38-0-0
L-3"x3"x $\frac{1}{4}$ " / 50W (FOURNI PAR LAINCO)
2 REQUIS

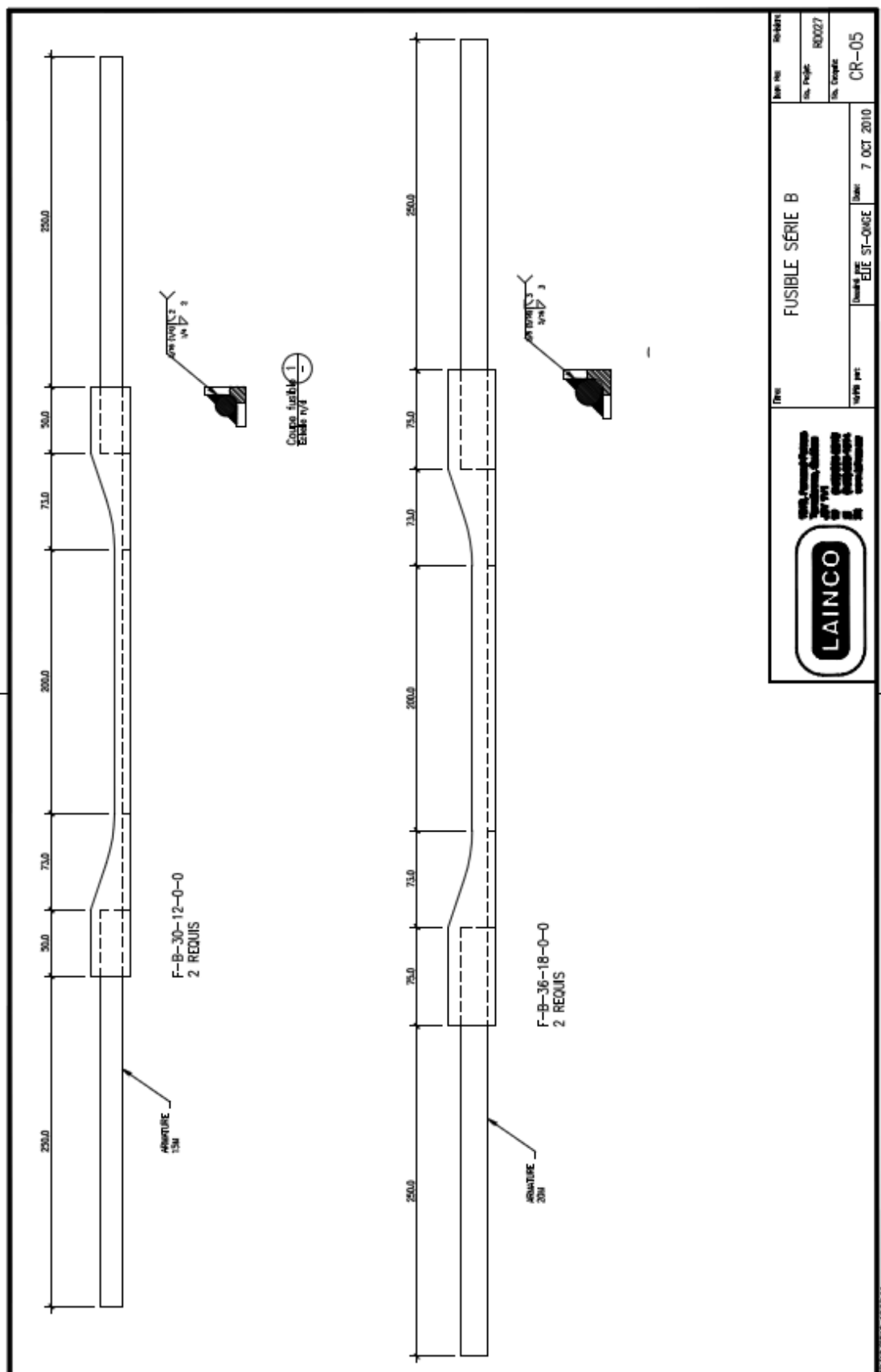
TOLÉRANCE : 0.5 mm

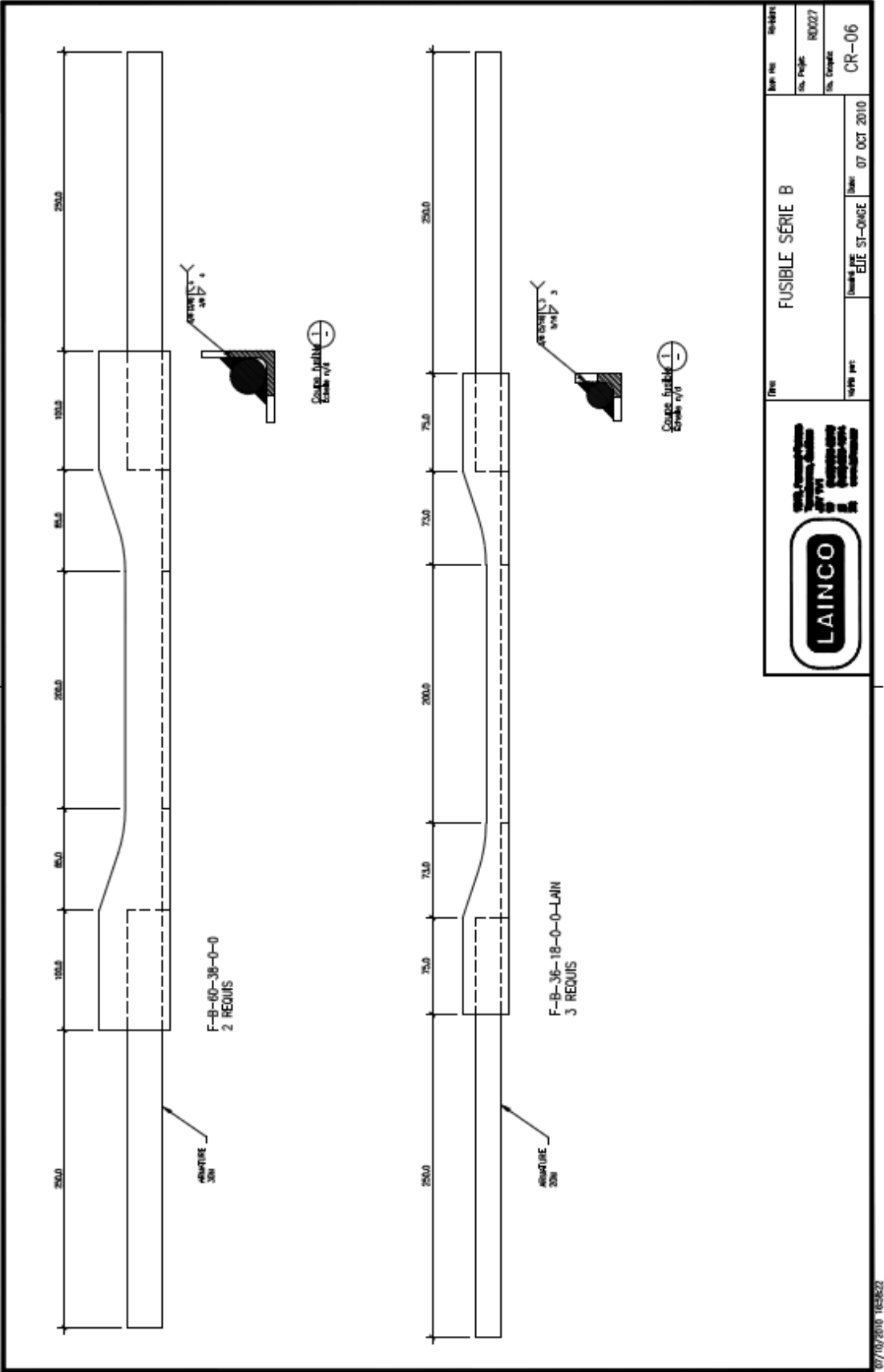
A fusible = 448.323 mm^2

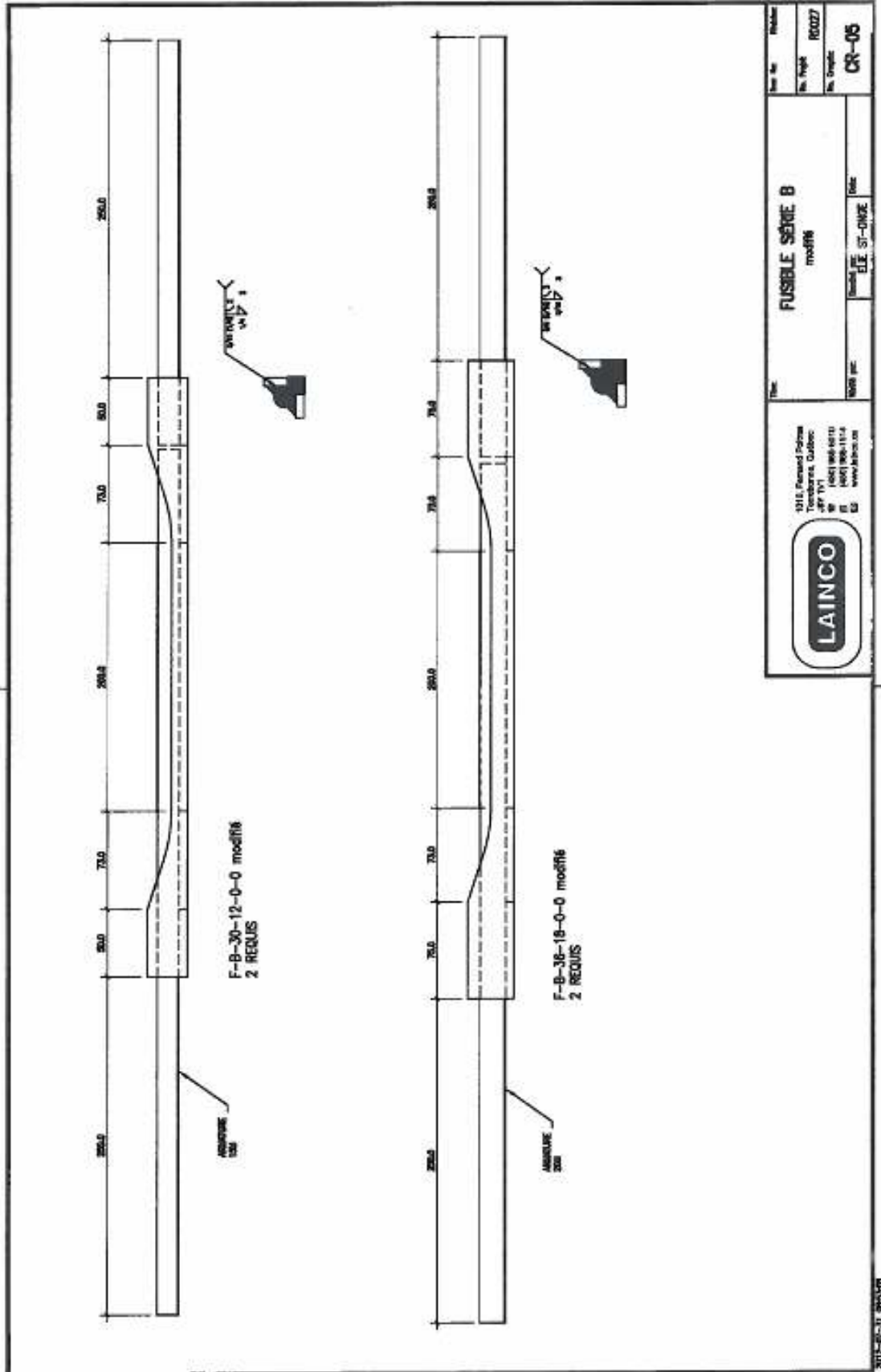
A ile = 334.55 mm^2 ---ratio 74.62%

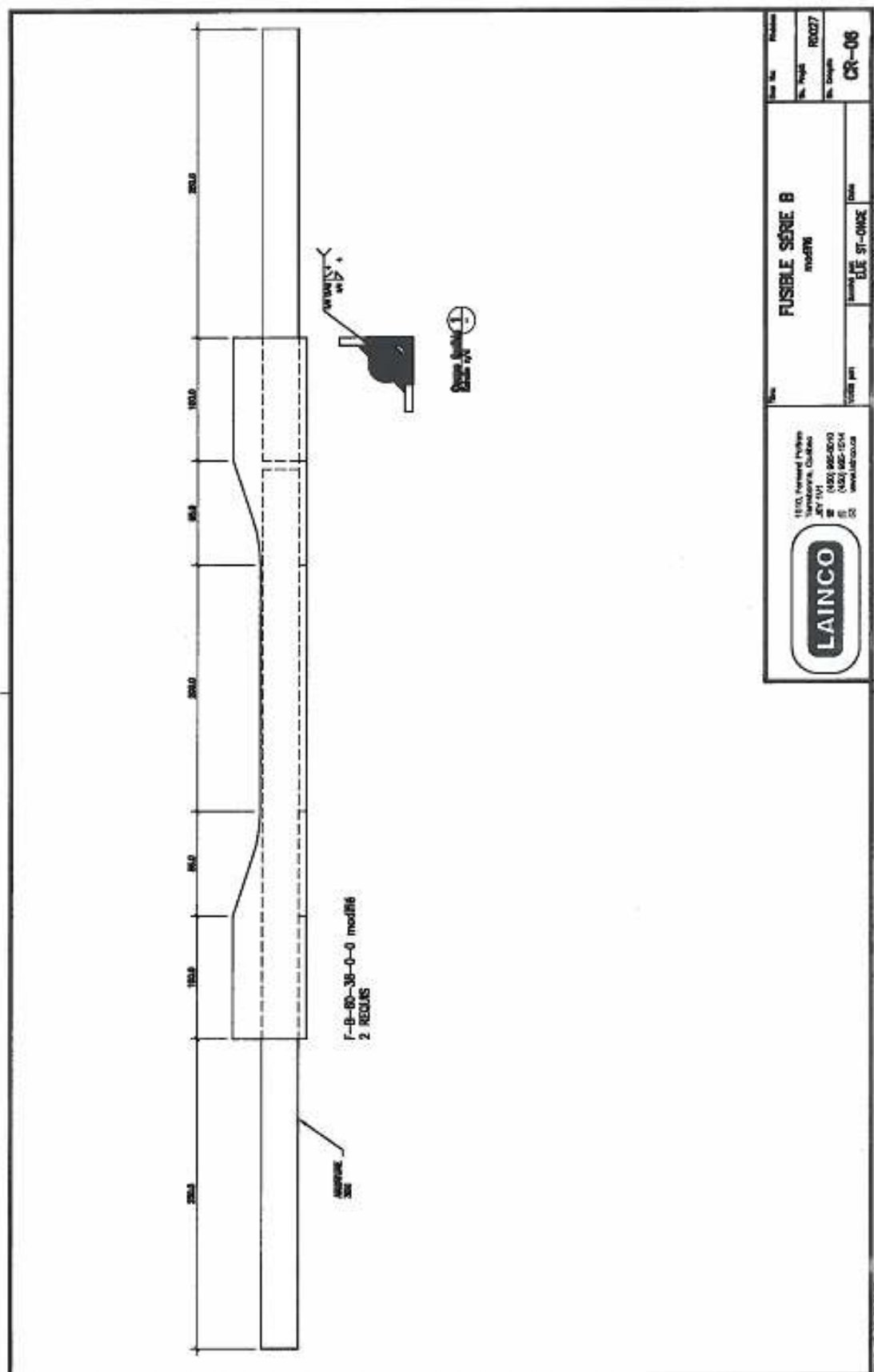






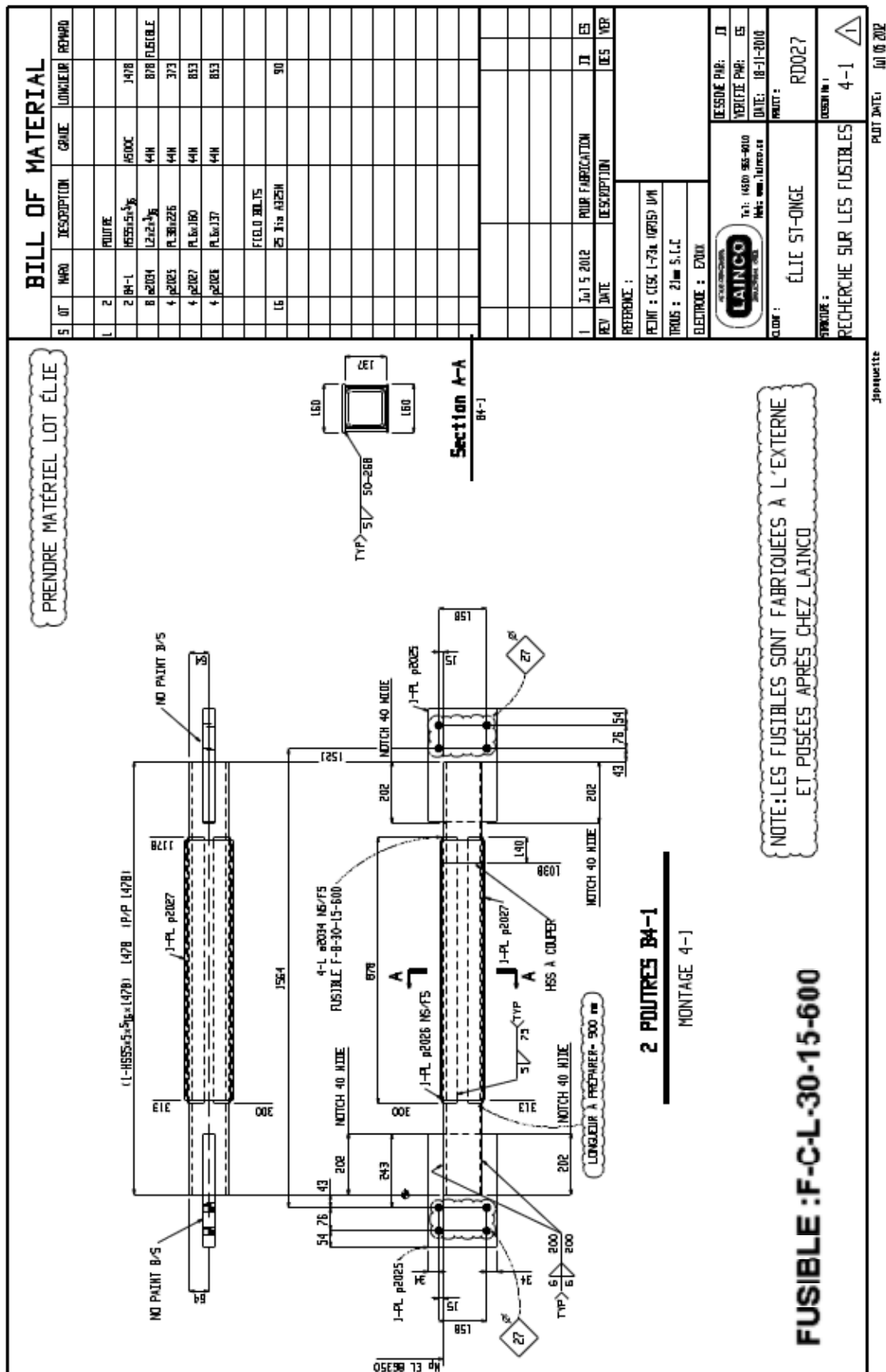


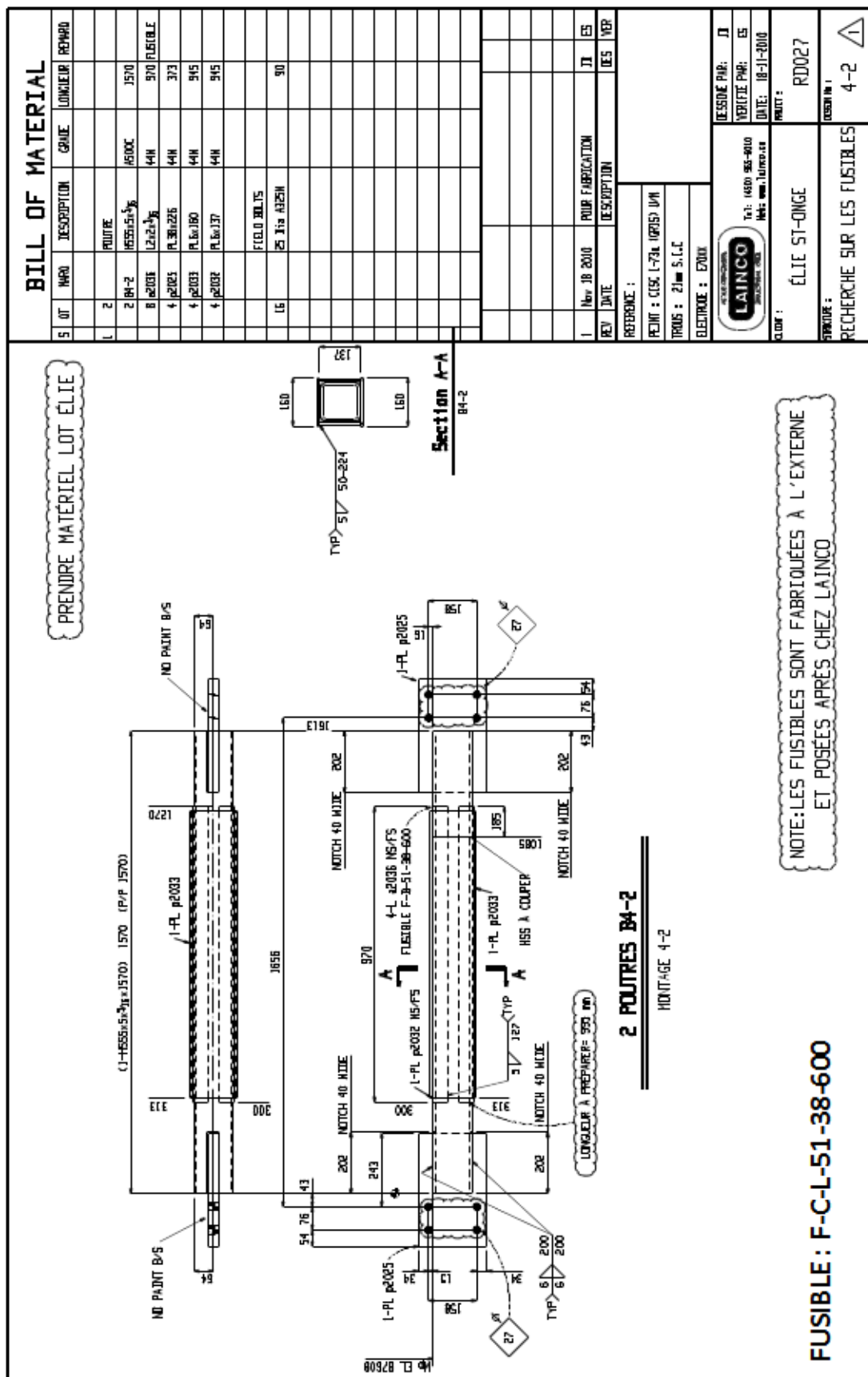


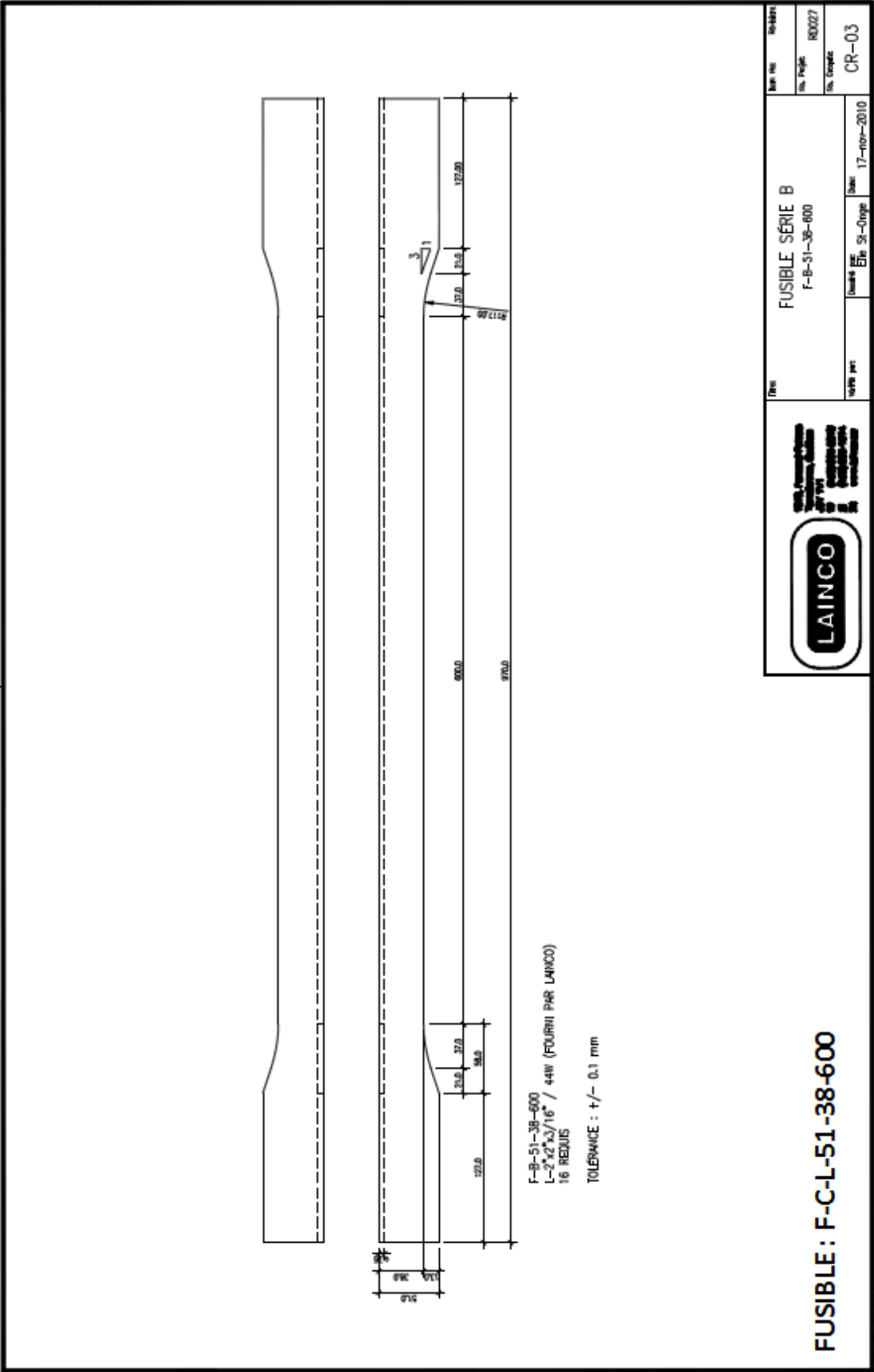


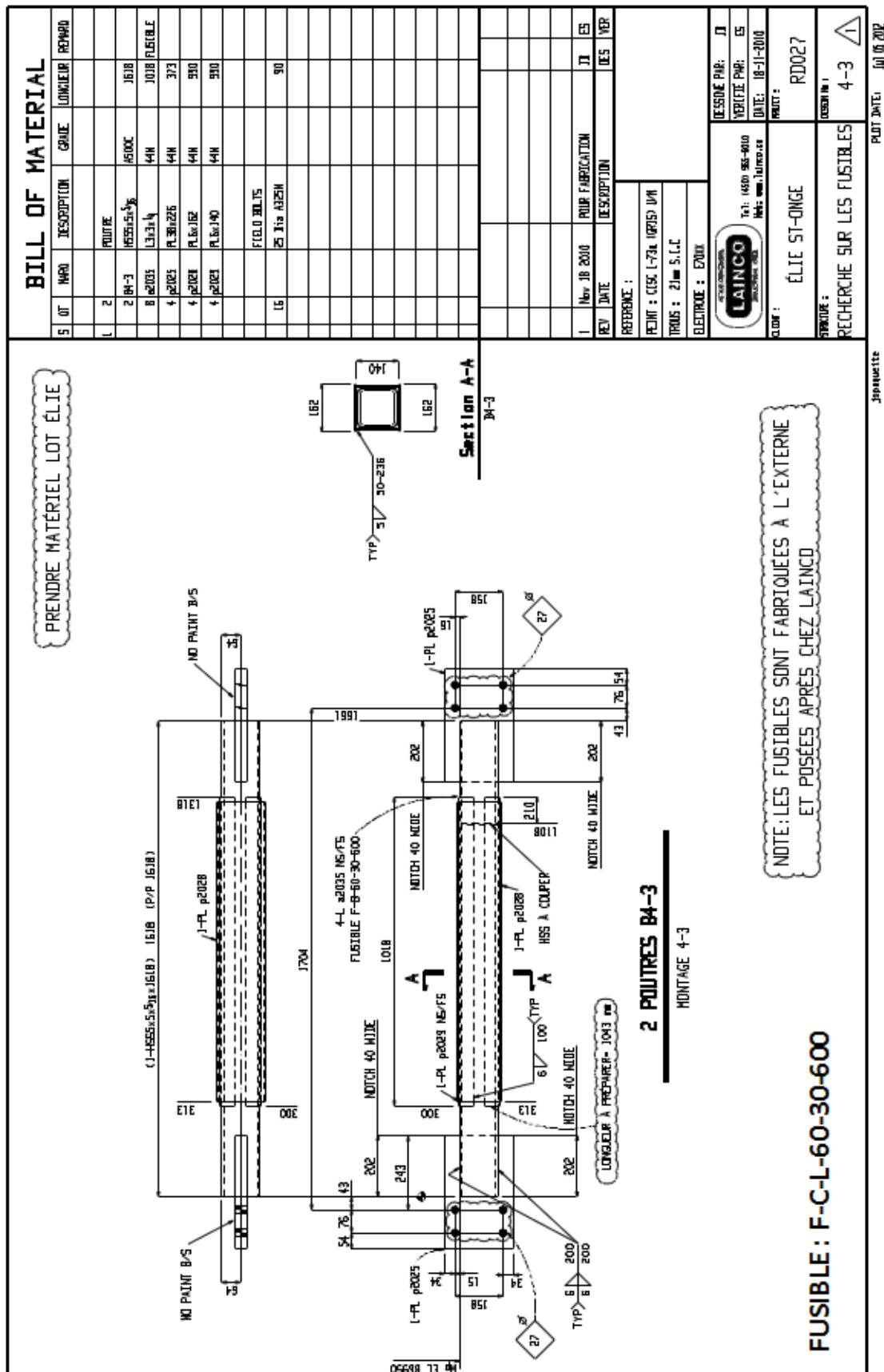
ANNEXE 4 – Programme expérimental C

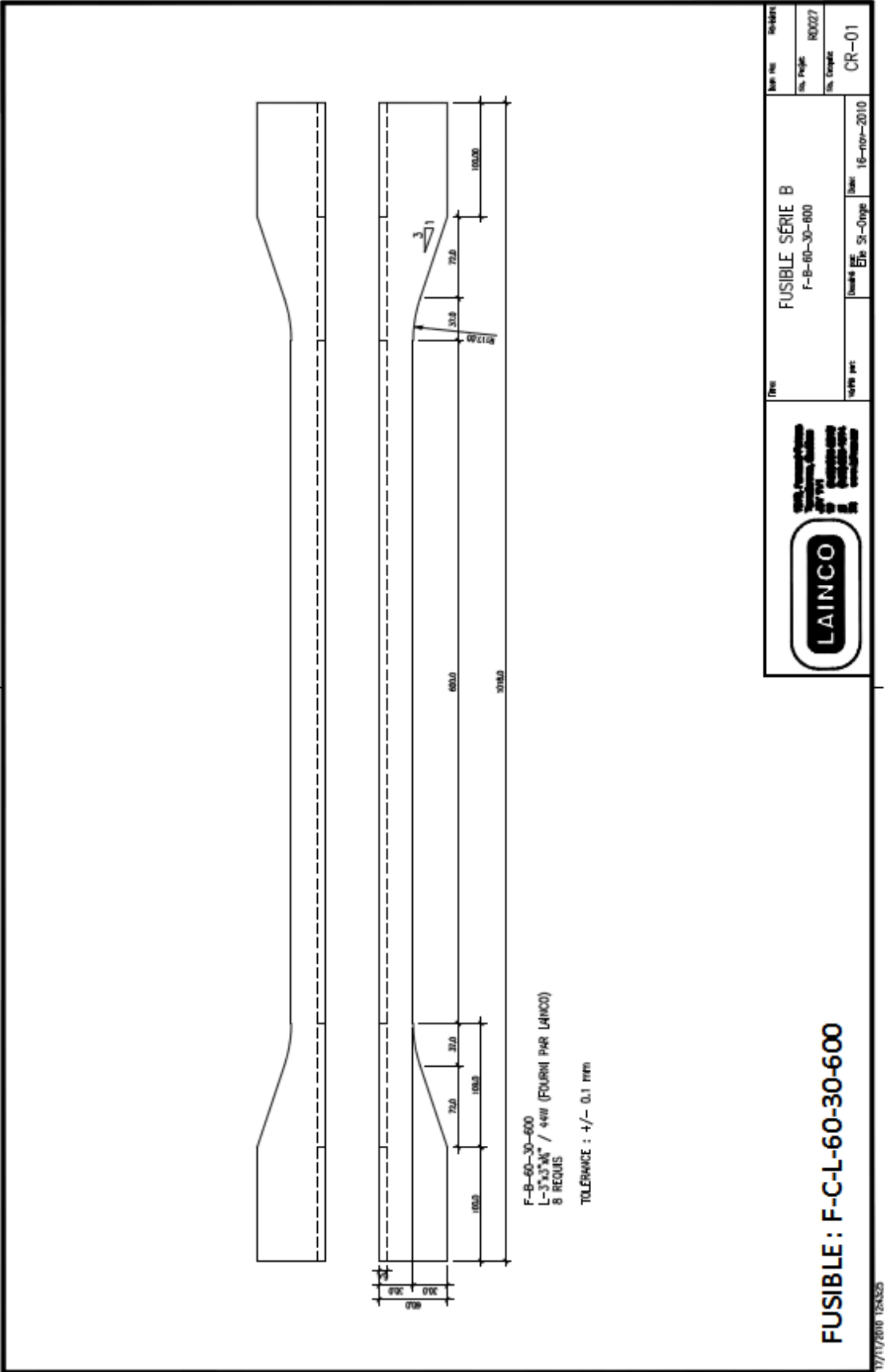
Essais cycliques sur diagonales courtes



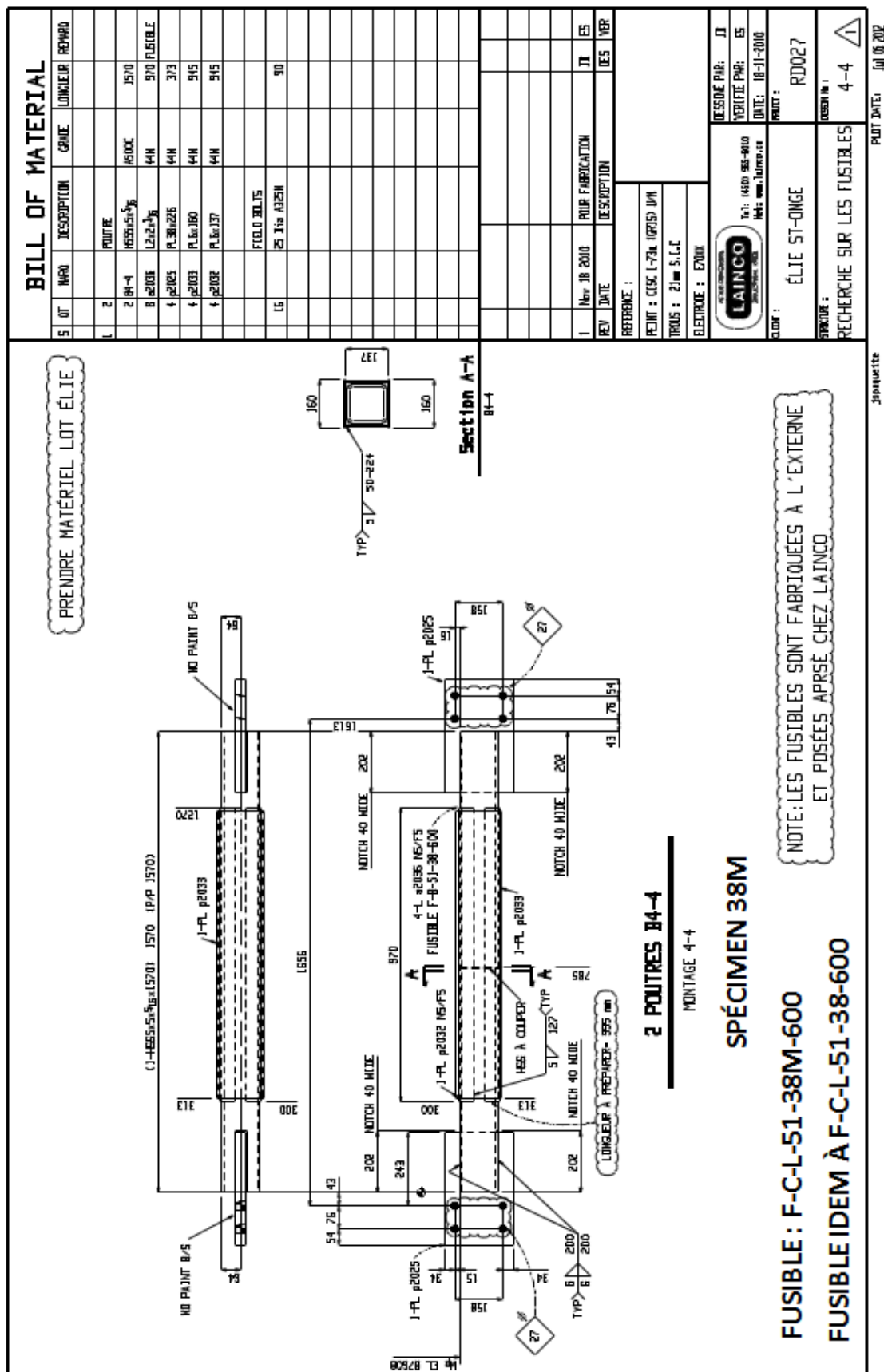




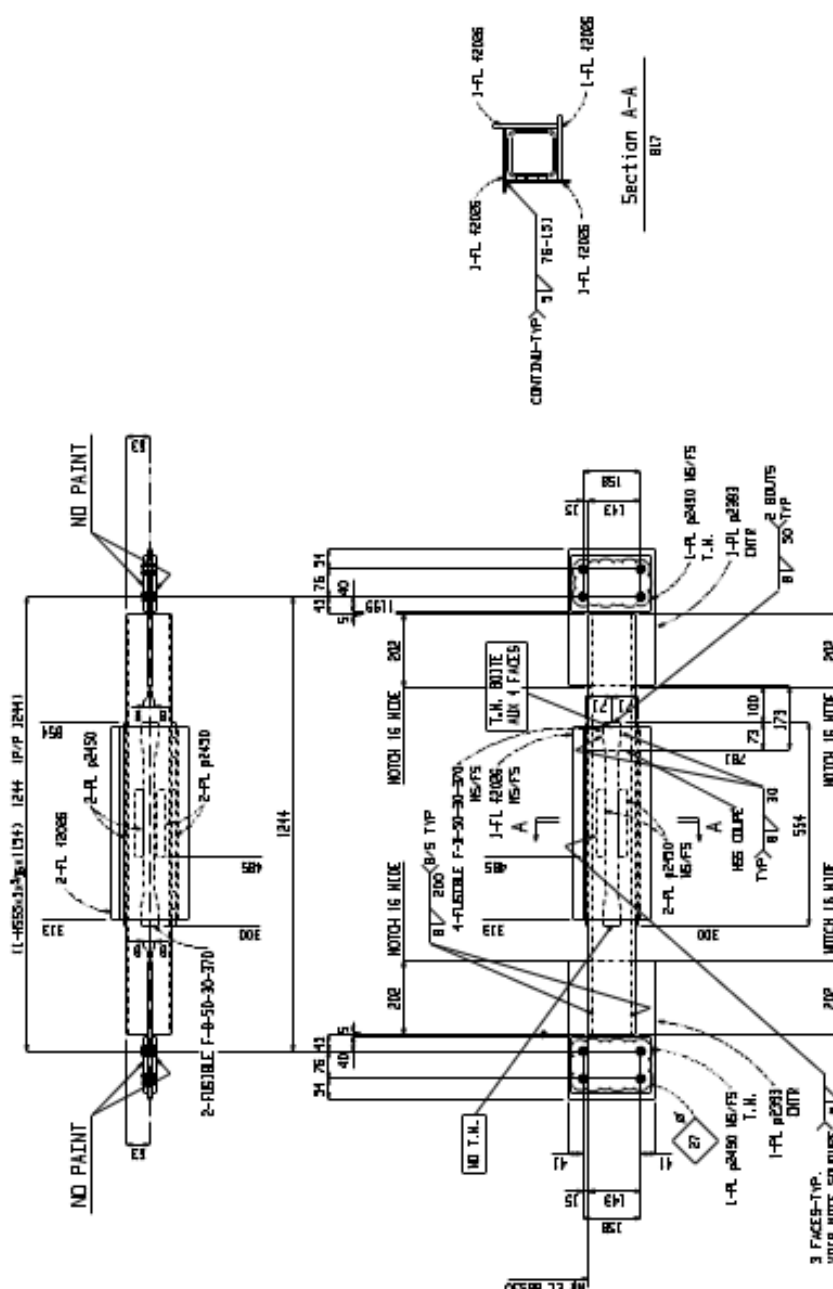




17/12/2010 12:52:25



BILL OF MATERIAL				
Q	REF	DESCRIPTION	Q	REF
1	1	POURTE	1	1
1	2	POURTE	1	2
1	3	POURTE	1	3
1	4	POURTE	1	4
1	5	POURTE	1	5
1	6	POURTE	1	6
1	7	POURTE	1	7
1	8	POURTE	1	8
1	9	POURTE	1	9
1	10	POURTE	1	10
1	11	POURTE	1	11
1	12	POURTE	1	12
1	13	POURTE	1	13
1	14	POURTE	1	14
1	15	POURTE	1	15
1	16	POURTE	1	16
1	17	POURTE	1	17
1	18	POURTE	1	18
1	19	POURTE	1	19
1	20	POURTE	1	20
1	21	POURTE	1	21
1	22	POURTE	1	22
1	23	POURTE	1	23
1	24	POURTE	1	24
1	25	POURTE	1	25
1	26	POURTE	1	26
1	27	POURTE	1	27
1	28	POURTE	1	28
1	29	POURTE	1	29
1	30	POURTE	1	30
1	31	POURTE	1	31
1	32	POURTE	1	32
1	33	POURTE	1	33
1	34	POURTE	1	34
1	35	POURTE	1	35
1	36	POURTE	1	36
1	37	POURTE	1	37
1	38	POURTE	1	38
1	39	POURTE	1	39
1	40	POURTE	1	40
1	41	POURTE	1	41
1	42	POURTE	1	42
1	43	POURTE	1	43
1	44	POURTE	1	44
1	45	POURTE	1	45
1	46	POURTE	1	46
1	47	POURTE	1	47
1	48	POURTE	1	48
1	49	POURTE	1	49
1	50	POURTE	1	50
1	51	POURTE	1	51
1	52	POURTE	1	52
1	53	POURTE	1	53
1	54	POURTE	1	54
1	55	POURTE	1	55
1	56	POURTE	1	56
1	57	POURTE	1	57
1	58	POURTE	1	58
1	59	POURTE	1	59
1	60	POURTE	1	60
1	61	POURTE	1	61
1	62	POURTE	1	62
1	63	POURTE	1	63
1	64	POURTE	1	64
1	65	POURTE	1	65
1	66	POURTE	1	66
1	67	POURTE	1	67
1	68	POURTE	1	68
1	69	POURTE	1	69
1	70	POURTE	1	70
1	71	POURTE	1	71
1	72	POURTE	1	72
1	73	POURTE	1	73
1	74	POURTE	1	74
1	75	POURTE	1	75
1	76	POURTE	1	76
1	77	POURTE	1	77
1	78	POURTE	1	78
1	79	POURTE	1	79
1	80	POURTE	1	80
1	81	POURTE	1	81
1	82	POURTE	1	82
1	83	POURTE	1	83
1	84	POURTE	1	84
1	85	POURTE	1	85
1	86	POURTE	1	86
1	87	POURTE	1	87
1	88	POURTE	1	88
1	89	POURTE	1	89
1	90	POURTE	1	90
1	91	POURTE	1	91
1	92	POURTE	1	92
1	93	POURTE	1	93
1	94	POURTE	1	94
1	95	POURTE	1	95
1	96	POURTE	1	96
1	97	POURTE	1	97
1	98	POURTE	1	98
1	99	POURTE	1	99
1	100	POURTE	1	100

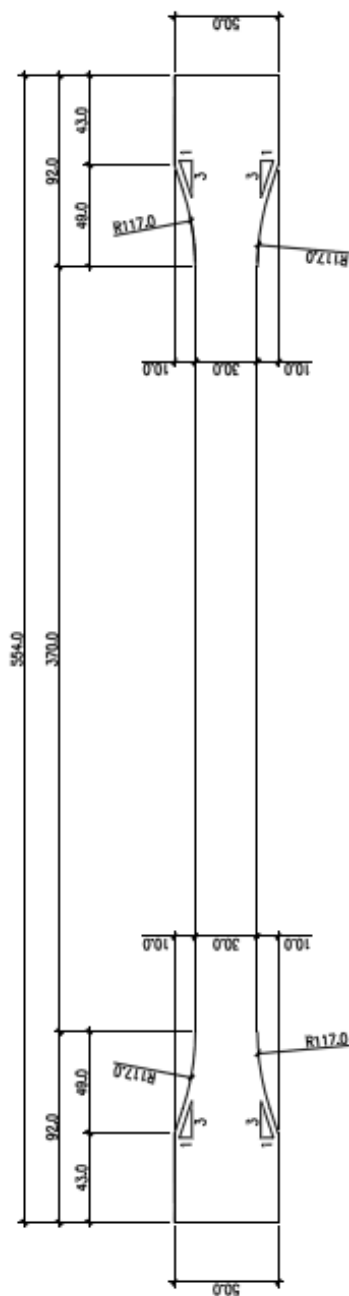


NOTE SOUS-RE:
AUCUNE SOUDURE SUR LES FUSIBLES
ET INSURER 1/16" D'ECARTEMENT

PRENDRE LUT
D'ACIER DE ELITE
POUR LES HRS

FUSIBLE : F-C-P-50-30-370

1	1	POURTE	1	1
1	2	POURTE	1	2
1	3	POURTE	1	3
1	4	POURTE	1	4
1	5	POURTE	1	5
1	6	POURTE	1	6
1	7	POURTE	1	7
1	8	POURTE	1	8
1	9	POURTE	1	9
1	10	POURTE	1	10
1	11	POURTE	1	11
1	12	POURTE	1	12
1	13	POURTE	1	13
1	14	POURTE	1	14
1	15	POURTE	1	15
1	16	POURTE	1	16
1	17	POURTE	1	17
1	18	POURTE	1	18
1	19	POURTE	1	19
1	20	POURTE	1	20
1	21	POURTE	1	21
1	22	POURTE	1	22
1	23	POURTE	1	23
1	24	POURTE	1	24
1	25	POURTE	1	25
1	26	POURTE	1	26
1	27	POURTE	1	27
1	28	POURTE	1	28
1	29	POURTE	1	29
1	30	POURTE	1	30
1	31	POURTE	1	31
1	32	POURTE	1	32
1	33	POURTE	1	33
1	34	POURTE	1	34
1	35	POURTE	1	35
1	36	POURTE	1	36
1	37	POURTE	1	37
1	38	POURTE	1	38
1	39	POURTE	1	39
1	40	POURTE	1	40
1	41	POURTE	1	41
1	42	POURTE	1	42
1	43	POURTE	1	43
1	44	POURTE	1	44
1	45	POURTE	1	45
1	46	POURTE	1	46
1	47	POURTE	1	47
1	48	POURTE	1	48
1	49	POURTE	1	49
1	50	POURTE	1	50
1	51	POURTE	1	51
1	52	POURTE	1	52
1	53	POURTE	1	53
1	54	POURTE	1	54
1	55	POURTE	1	55
1	56	POURTE	1	56
1	57	POURTE	1	57
1	58	POURTE	1	58
1	59	POURTE	1	59
1	60	POURTE	1	60
1	61	POURTE	1	61
1	62	POURTE	1	62
1	63	POURTE	1	63
1	64	POURTE	1	64
1	65	POURTE	1	65
1	66	POURTE	1	66
1	67	POURTE	1	67
1	68	POURTE	1	68
1	69	POURTE	1	69
1	70	POURTE	1	70
1	71	POURTE	1	71
1	72	POURTE	1	72
1	73	POURTE	1	73
1	74	POURTE	1	74
1	75	POURTE	1	75
1	76	POURTE	1	76
1	77	POURTE	1	77
1	78	POURTE	1	78
1	79	POURTE	1	79
1	80	POURTE	1	80
1	81	POURTE	1	81
1	82	POURTE	1	82
1	83	POURTE	1	83
1	84	POURTE	1	84
1	85	POURTE	1	85
1	86	POURTE	1	86
1	87	POURTE	1	87
1	88	POURTE	1	88
1	89	POURTE	1	89
1	90	POURTE	1	90
1	91	POURTE	1	91
1	92	POURTE	1	92
1	93	POURTE	1	93
1	94	POURTE	1	94
1	95	POURTE	1	95
1	96	POURTE	1	96
1	97	POURTE	1	97
1	98	POURTE	1	98
1	99	POURTE	1	99
1	100	POURTE	1	100



F-D-50-30-370 (replace F-D-55-35-370)


FB 7.9x127 x 579 Lg. / 44W (PAR LAINCO)

4 REQUIRES

TOLÉRANCE: $\pm 0,1\text{ mm}$ MILL TEST:
$$\underline{F_y = 453 \text{ Mpa}}$$
 $F_u = 611 \text{ MPa}$

FUSIBLE: F-C-P-50-30-370

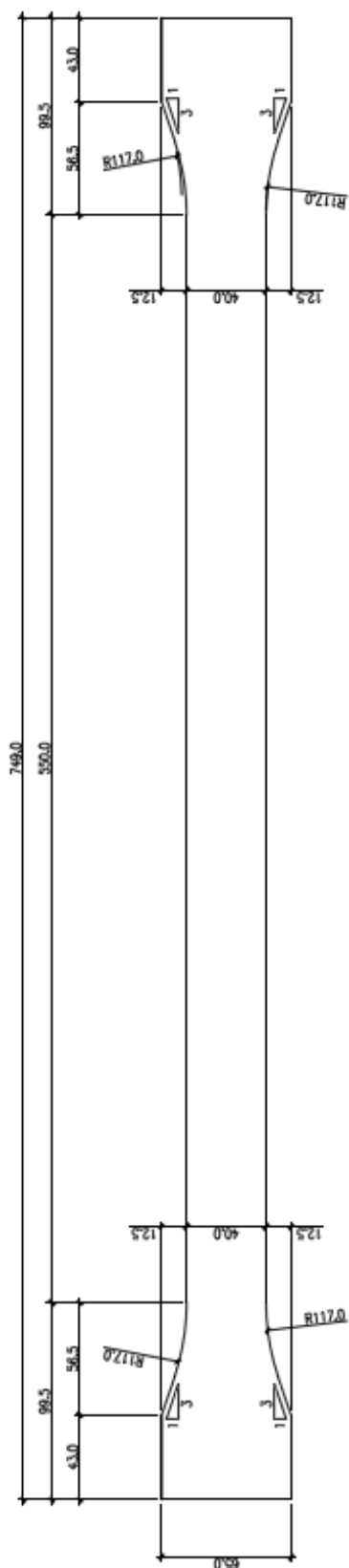




LAINCO

100% POLYESTER FUSIBLE
100% POLYESTER FUSIBLE
100% POLYESTER FUSIBLE
100% POLYESTER FUSIBLE
100% POLYESTER FUSIBLE

Part No.	Fusible Serie D	Item No.	Quantity
Part No.	F-0-50-30-370	Item No.	RD-027
Part No.		Item No.	Qty. Required
Part No.		Item No.	2011-06-25



F-D-65-40-550B (aucune modification)
FB 6.35x127 x 774 Lg. / 44W (PAR LAINCO)

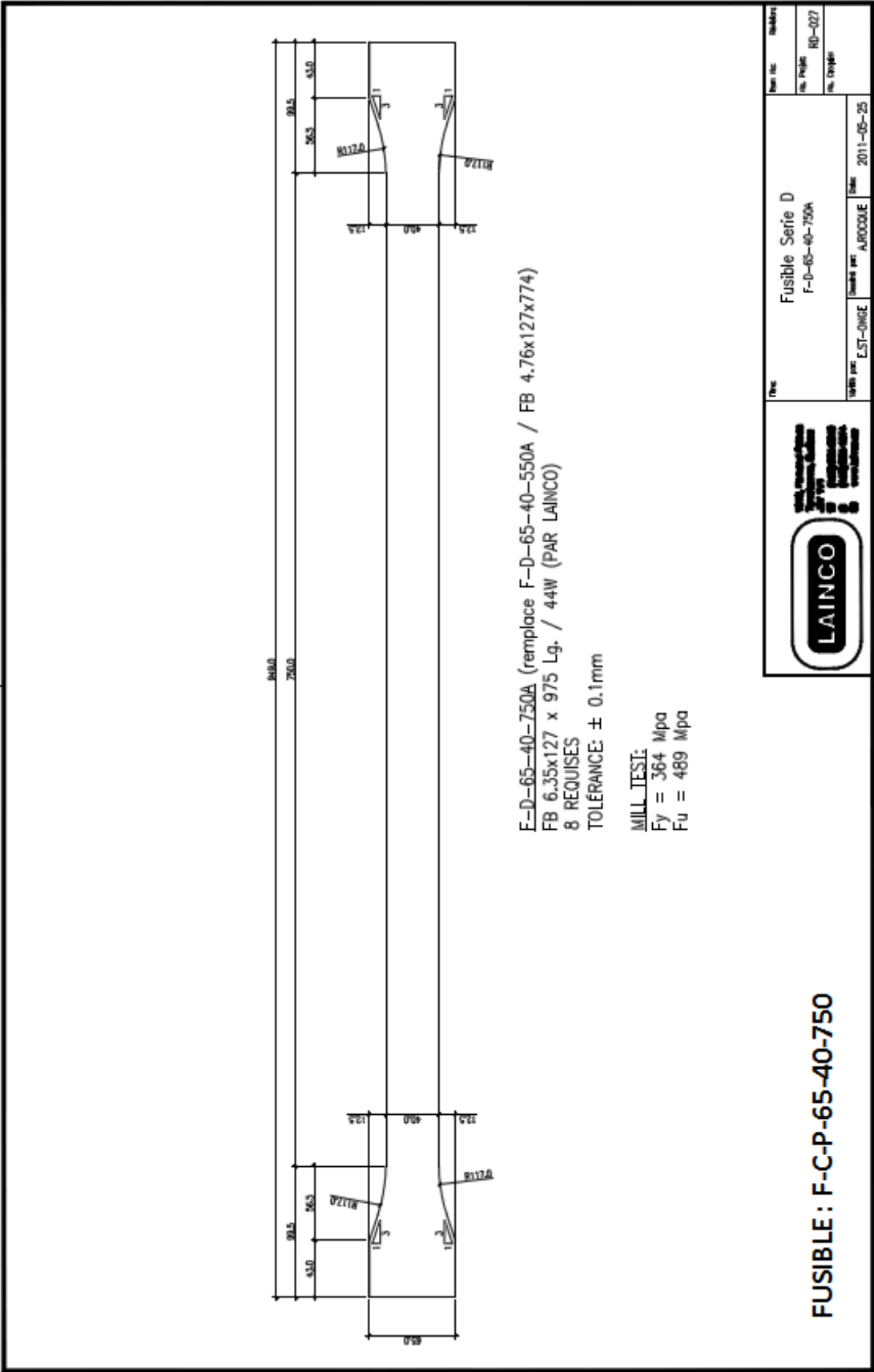
TOLÉRANCE: $\pm 0.1\text{ mm}$

MILL TEST:
$$\overline{F_y} = 364 \text{ Mpa}$$
 $F_u = 489 \text{ MPa}$

FUSIBLE: F-C-P-65-40-550



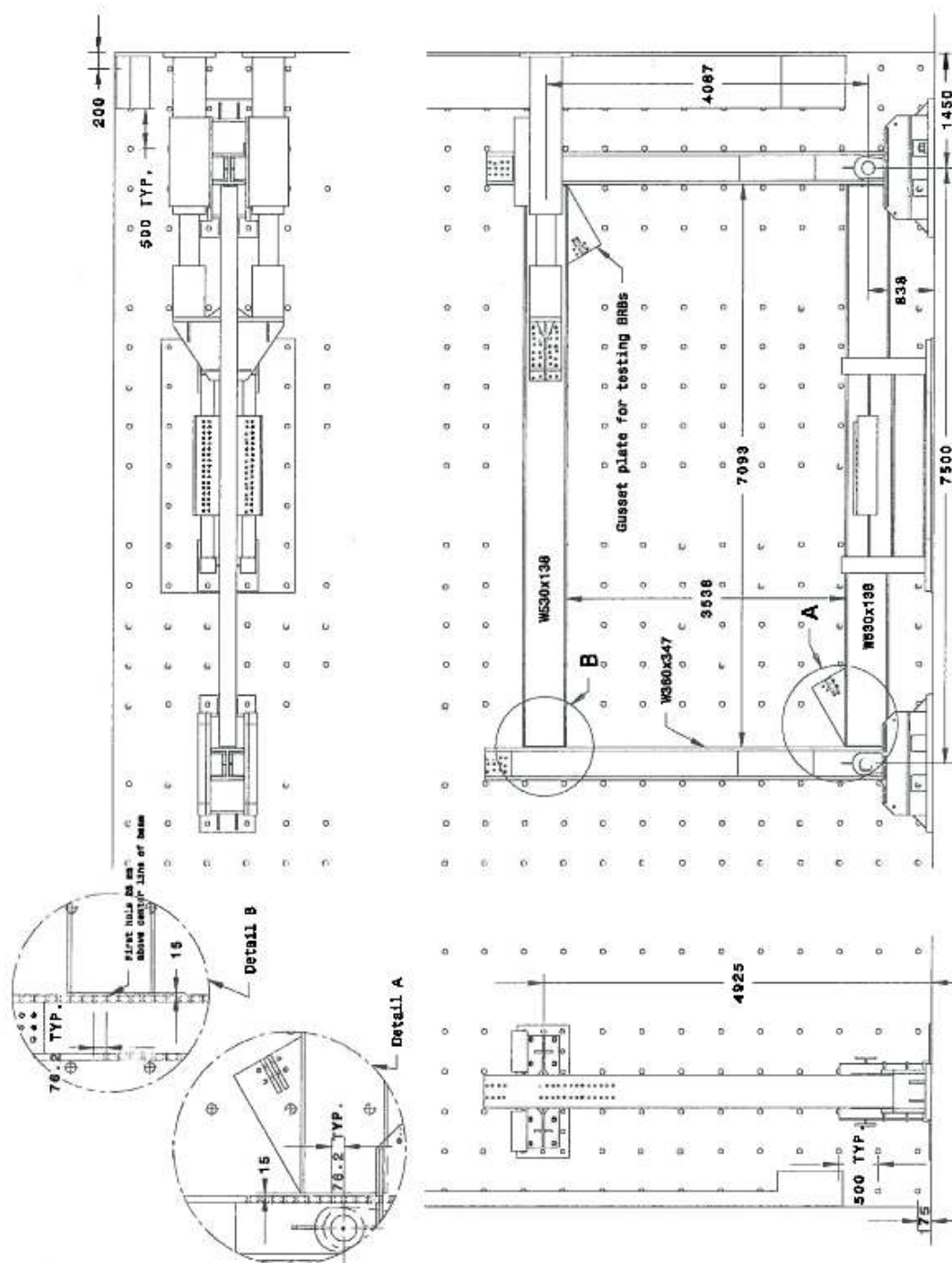
Part No.	Fusible Series D F-D-60-40-5508	Material			
Order Part	E5T-OMGE	Order Part	A90CULE	Date	2011-05-25
		Rev. Packlet	RD-027		
		Rev. Diagram			

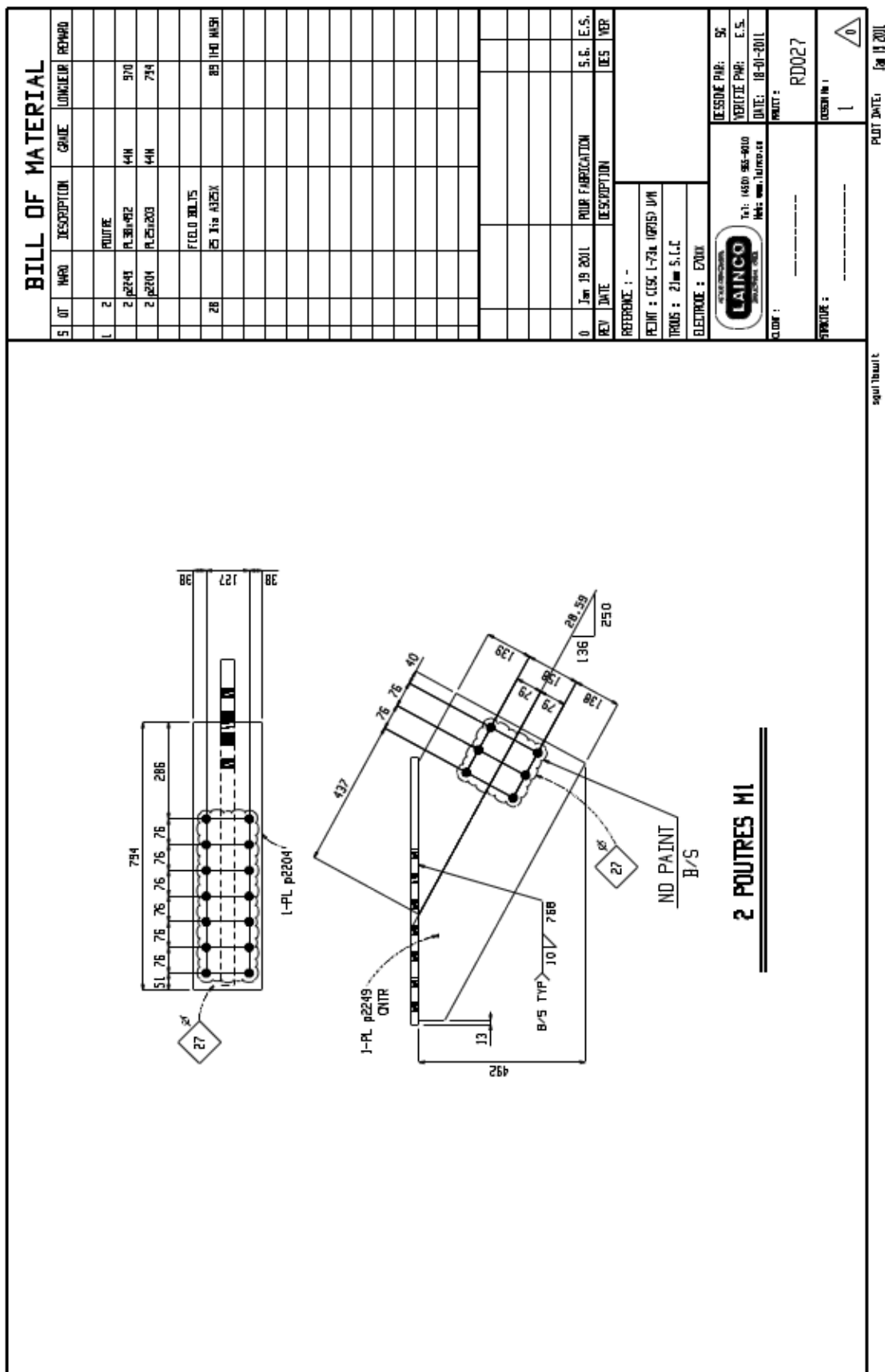


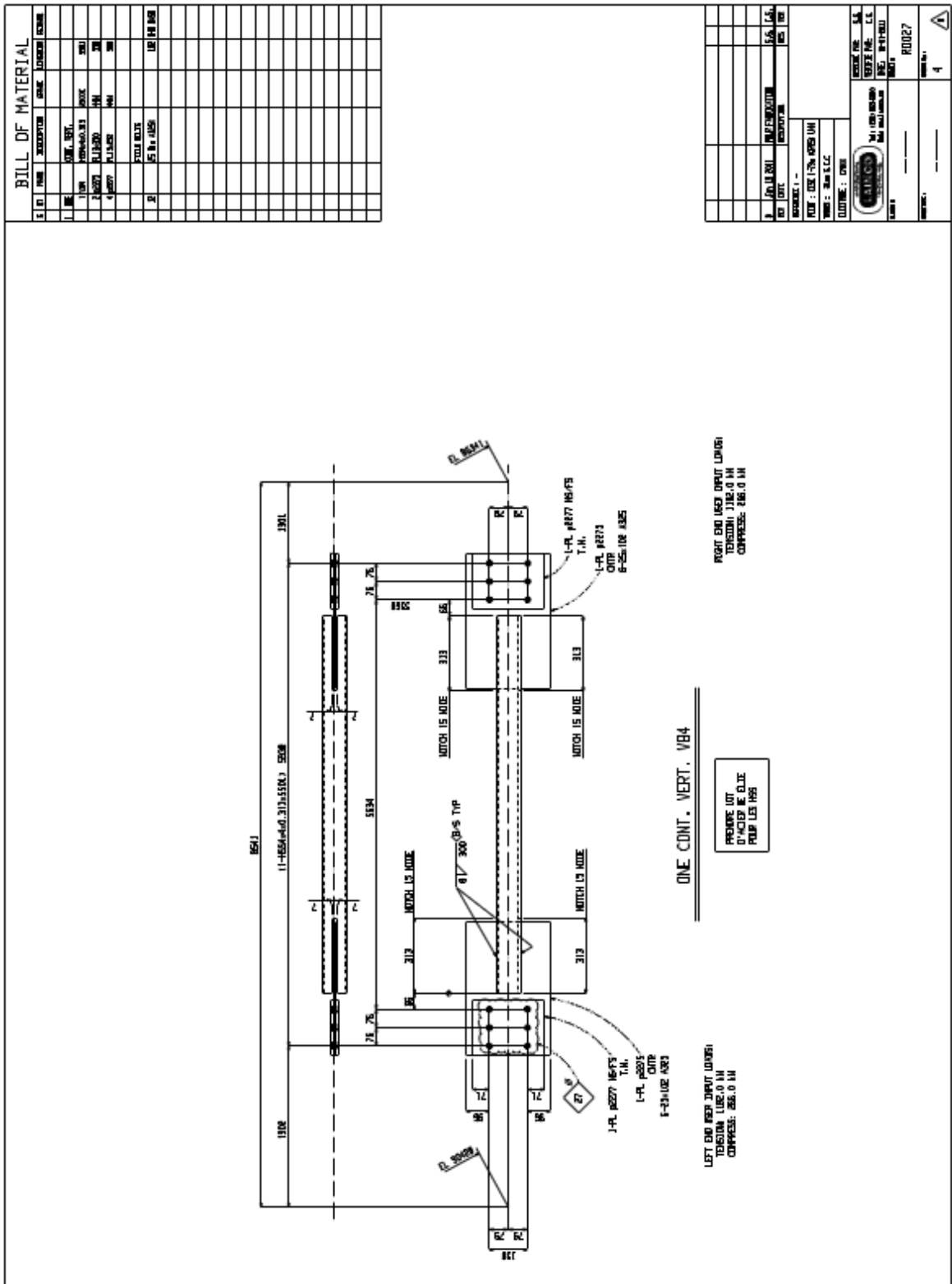
ANNEXE 5 – Programme expérimental D

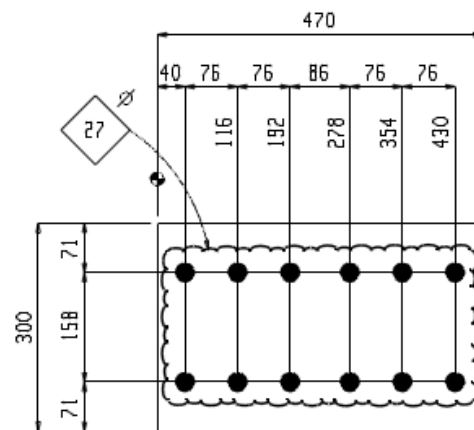
Essais cycliques sur diagonales longues

Annexe : Plans préliminaires de la configuration du cadre d'essais









PL13x300x470 p2248

GRADE: 44W

QT	COUPE	TRACE

Couper cette pièce aux dimensions indiquées.
L'ajustement requis pour l'assemblage est déjà calculé.

					TROUS : 21 mm DIA UN		DESSINÉ PAR: SG VERIFIÉ PAR: ES PROJET No: RD027	DATE: 05-01-2011 DATE:	
REV	DESCRIPTION	DES	VER	DATE	PROJET : RECHERCHE SUR LES FUSIBLES		DESSIN No : p2248		

TROUS :

21 mm DIA UN



DESSINÉ PAR: SG

DATE: 05-01-2011

VERIFIÉ PAR: ES

DATE:

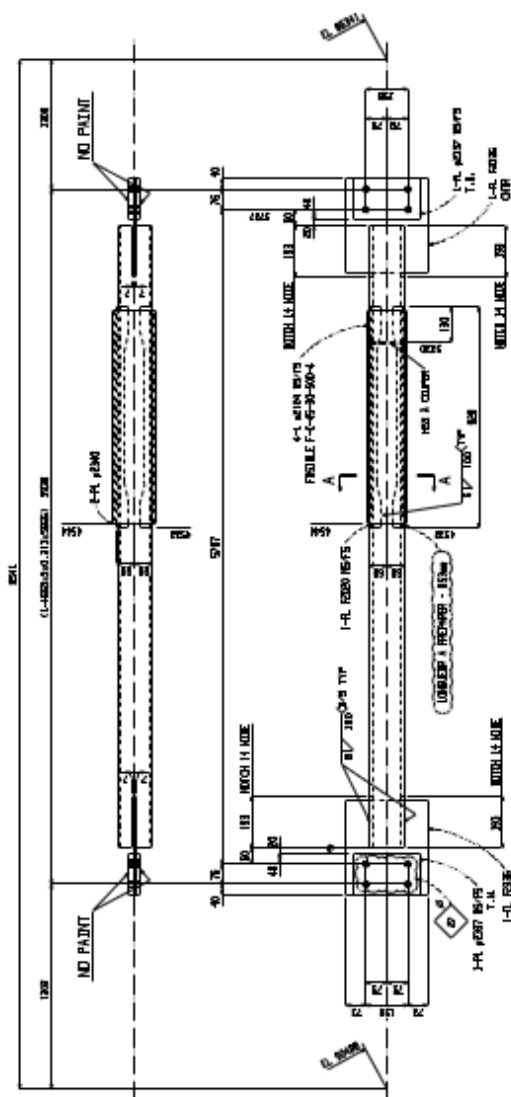
PROJECT No:	RD027
-------------	-------

DESSIN No : **p2248**



sguilibault

PLOT DATE: Jan 19 2011

[illegible][illegible]

ONE CONT. VERT. VBS

LEFT END USER INPUT LOGS:
TSSION: 000.0 km
ADDRESS: 400.0 km

150-06 51 90-251

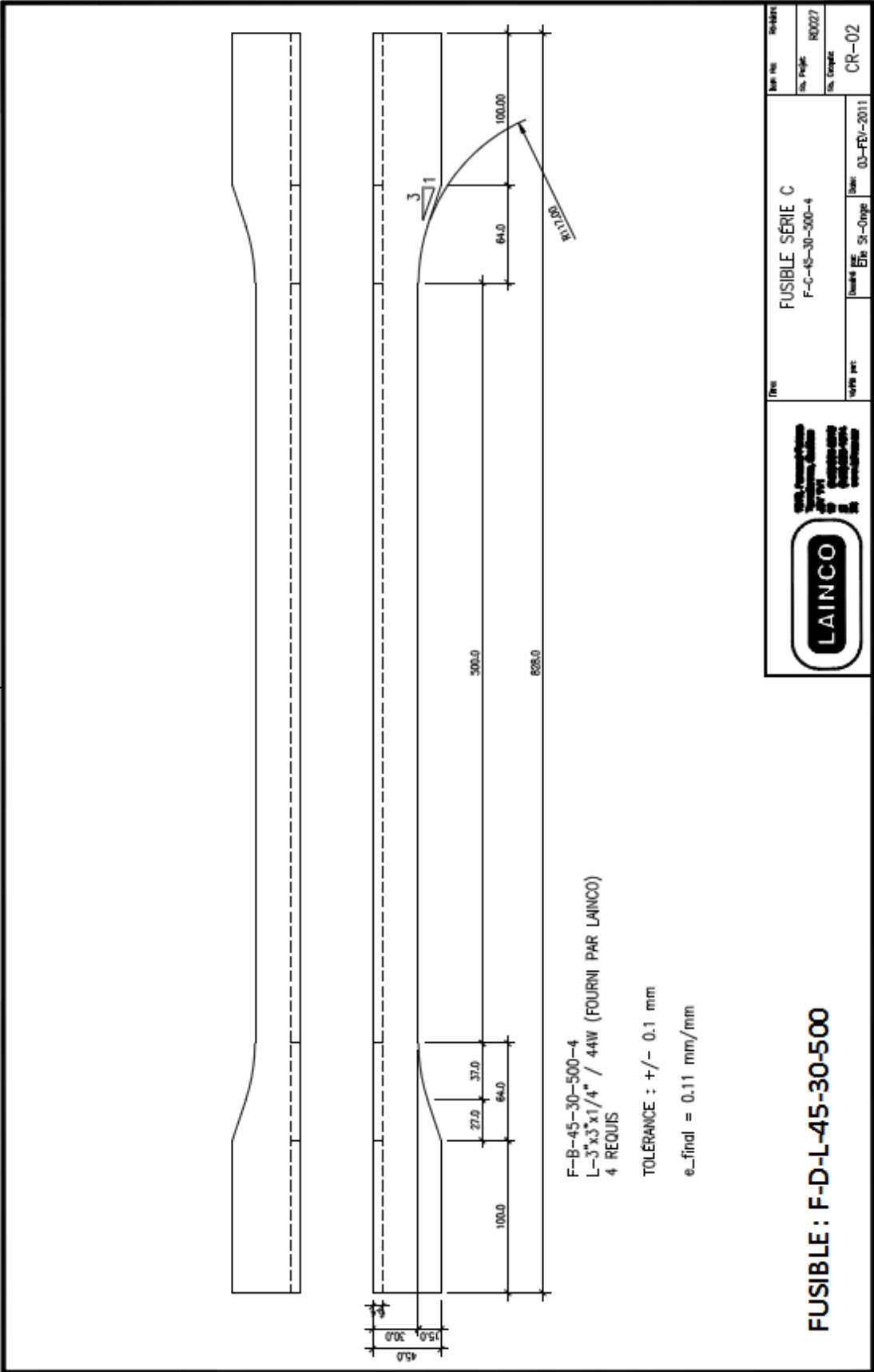
100% SATISFACTION
 GUARANTEE
 100% MONEY
 BACK

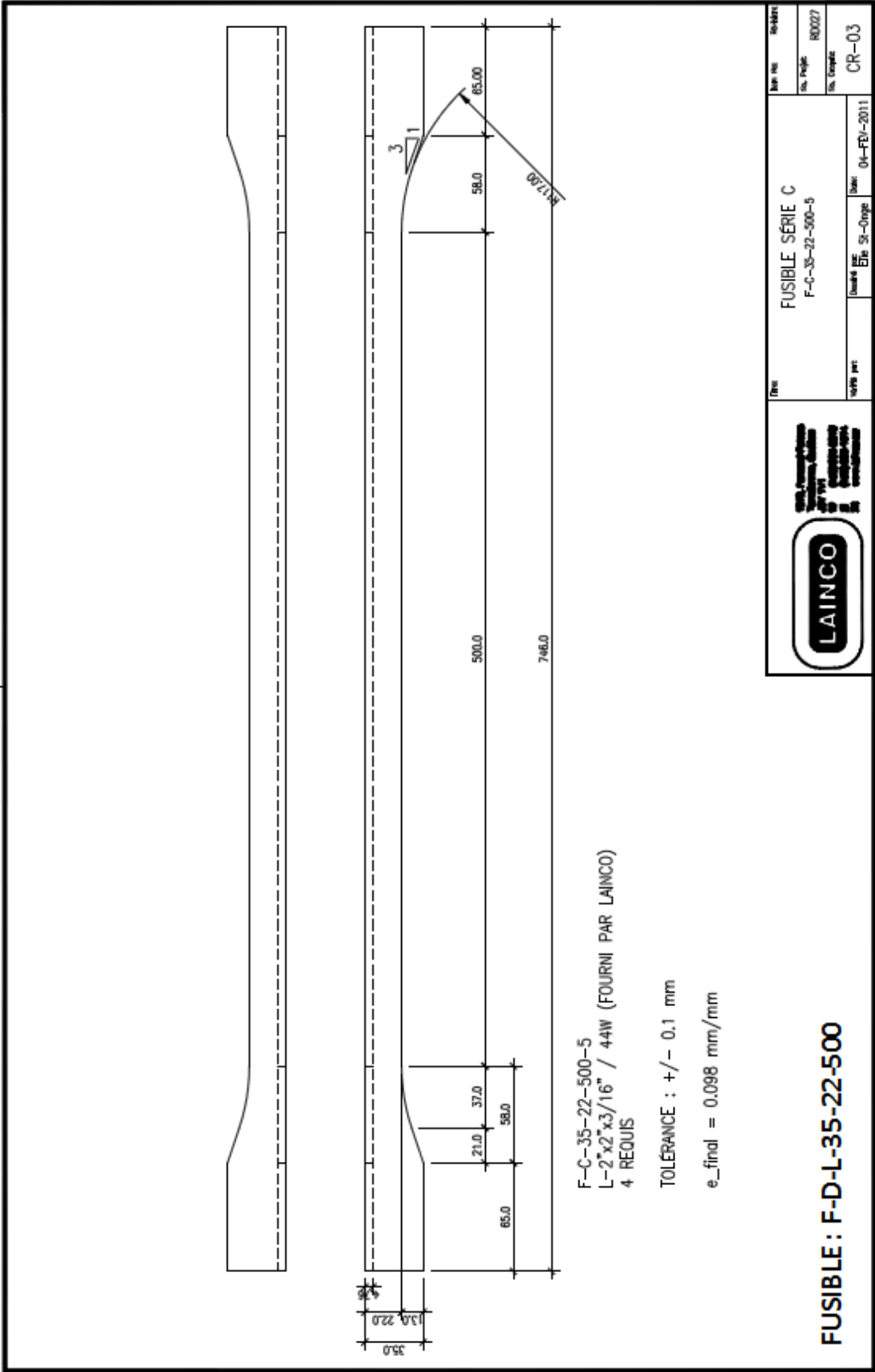
Section A-A

FUSIBLE: F-D-L-45-30-500

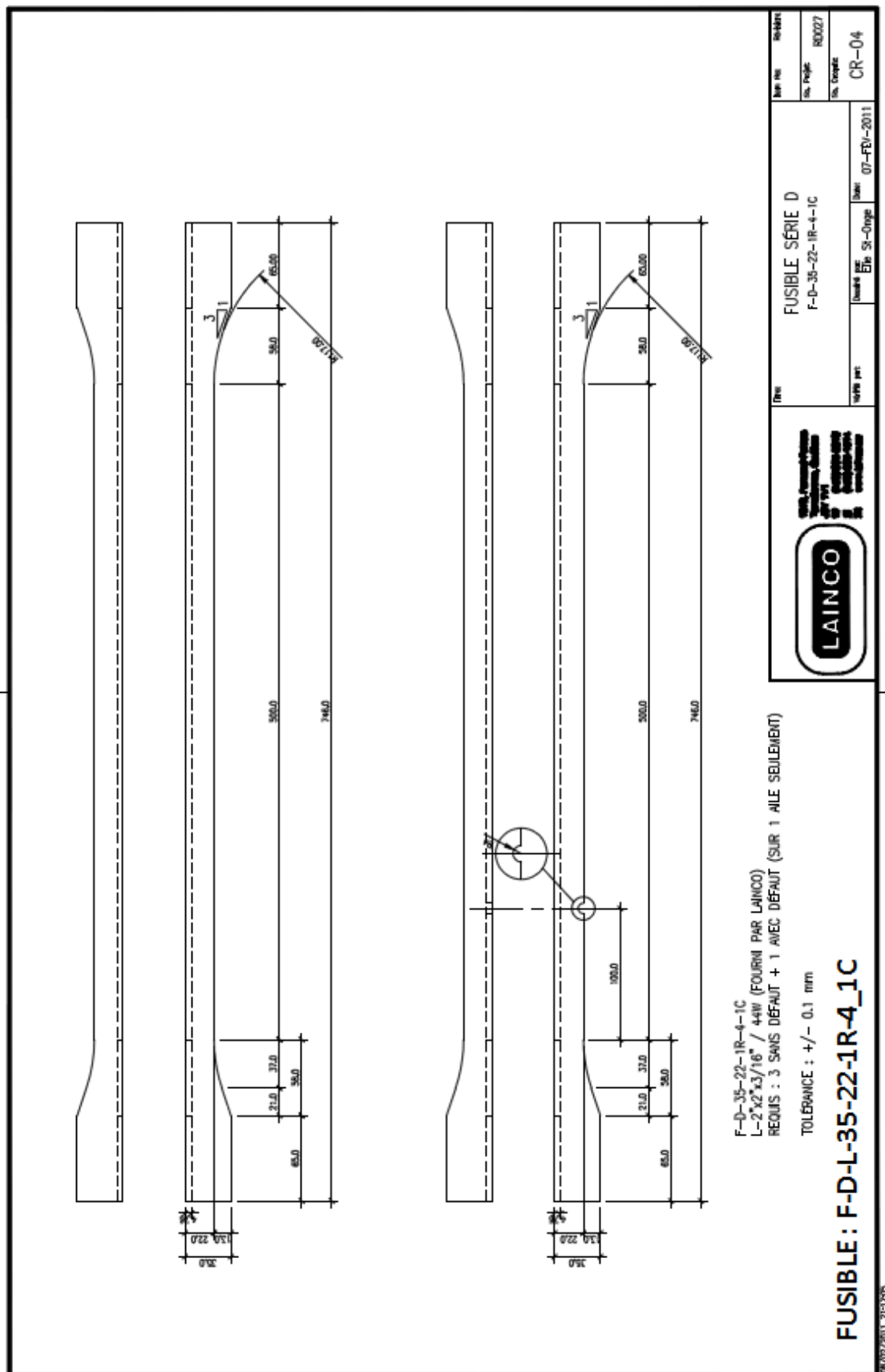
NOTE: LES FUSIBLES SONT FABRIQUÉS À L'ÉTRANGER
ET POSÉS APRÈS CHEZ LANCO

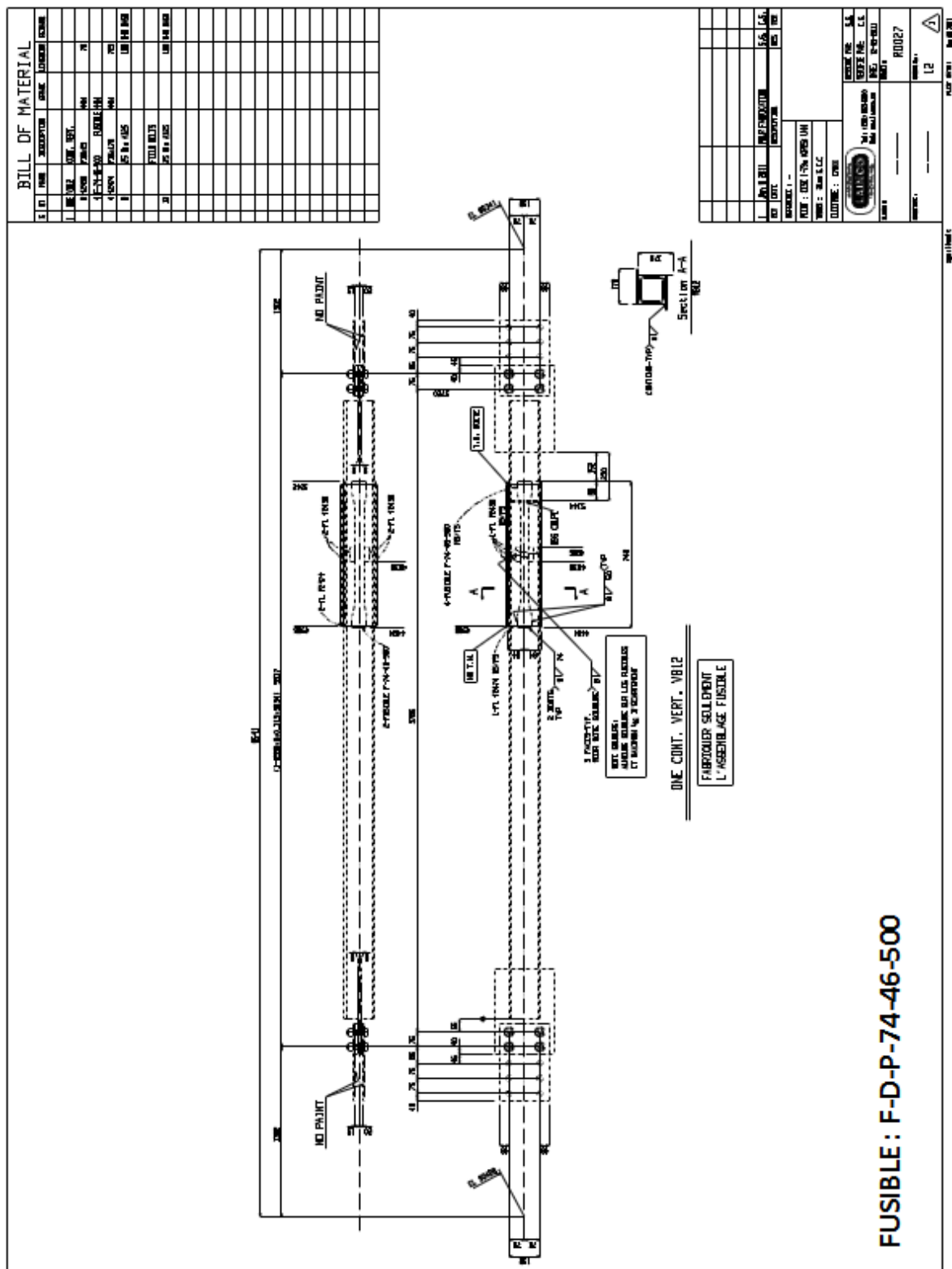
[illegible]

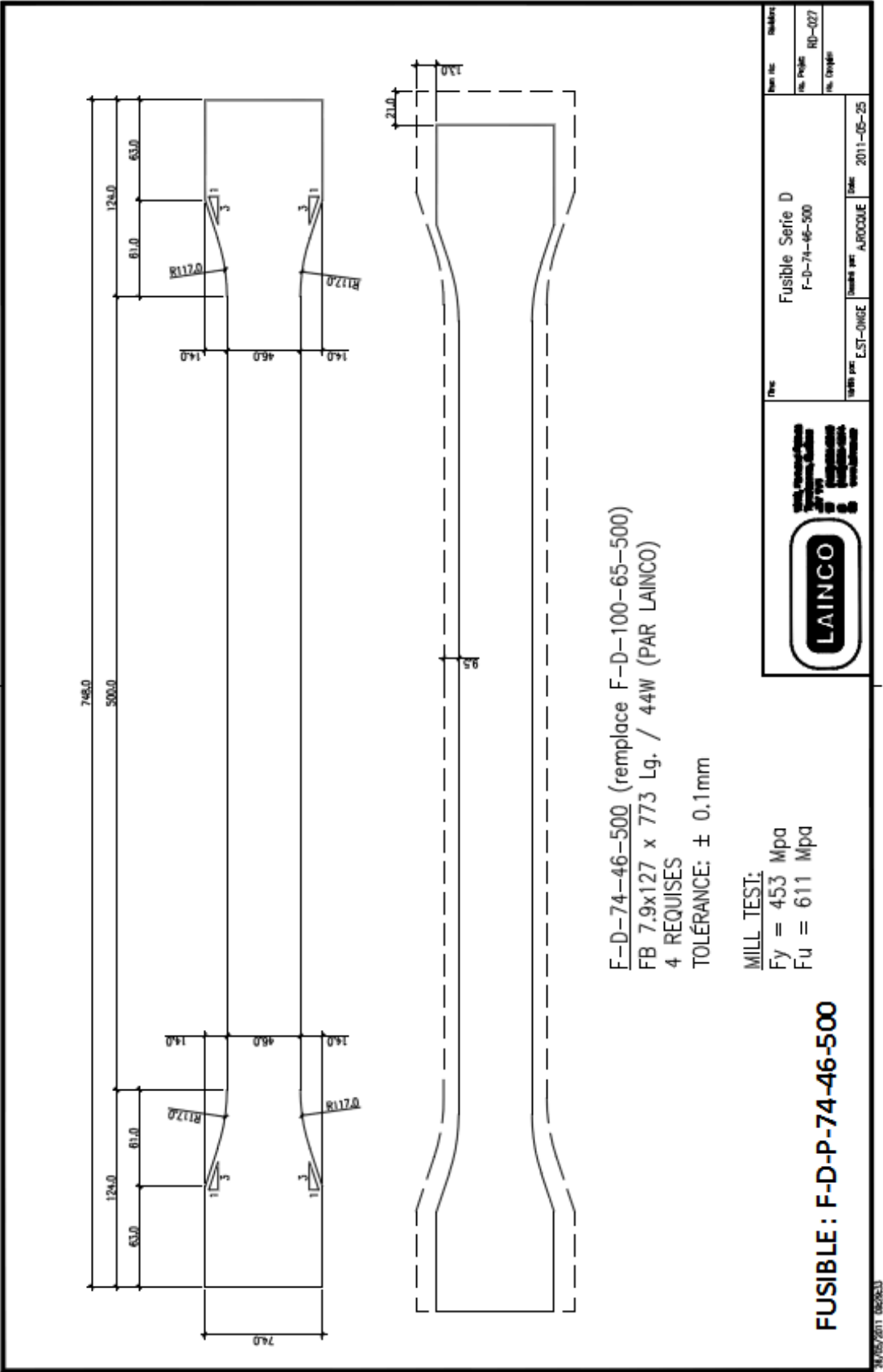


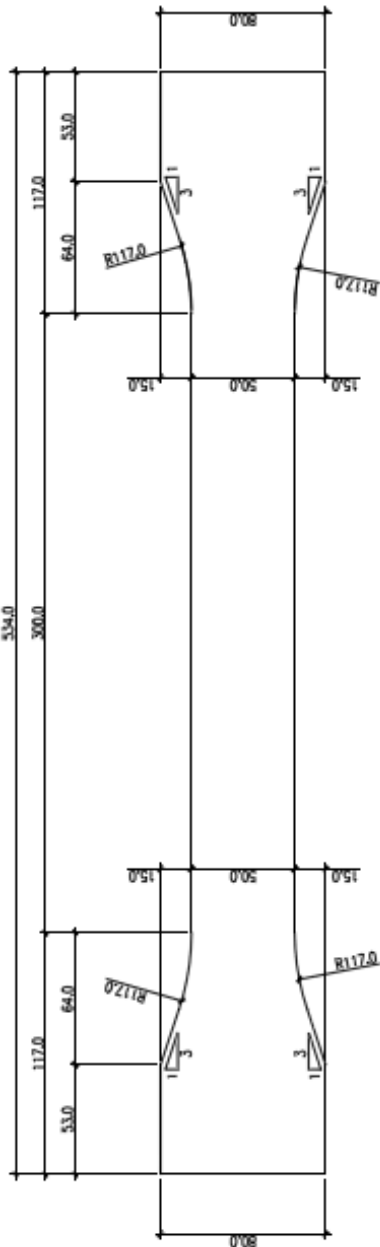


08/02/2011 21:55:51









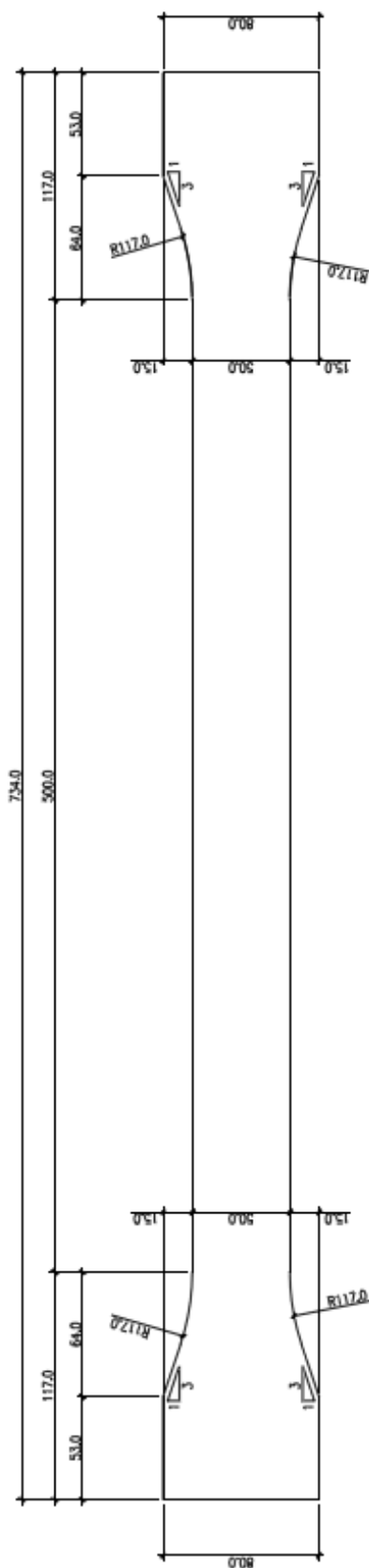


F-D-80-50-300 (remplace F-D-85-55-300)
FB 6.35x127 x 559 Lg. / 44W (PAR LAINCO)
4 REQUISES
TOLÉRANCE: $\pm 0.1\text{mm}$

MILL TEST:
Fy = 364 Mpa
Fu = 489 Mpa

 	Fusible Serie D F-D-80-50-300		Rev. No. RD-027
	EST-ONGE		Rev. Origine
	2011-05-09		

FUSIBLE : F-D-P-80-50-300




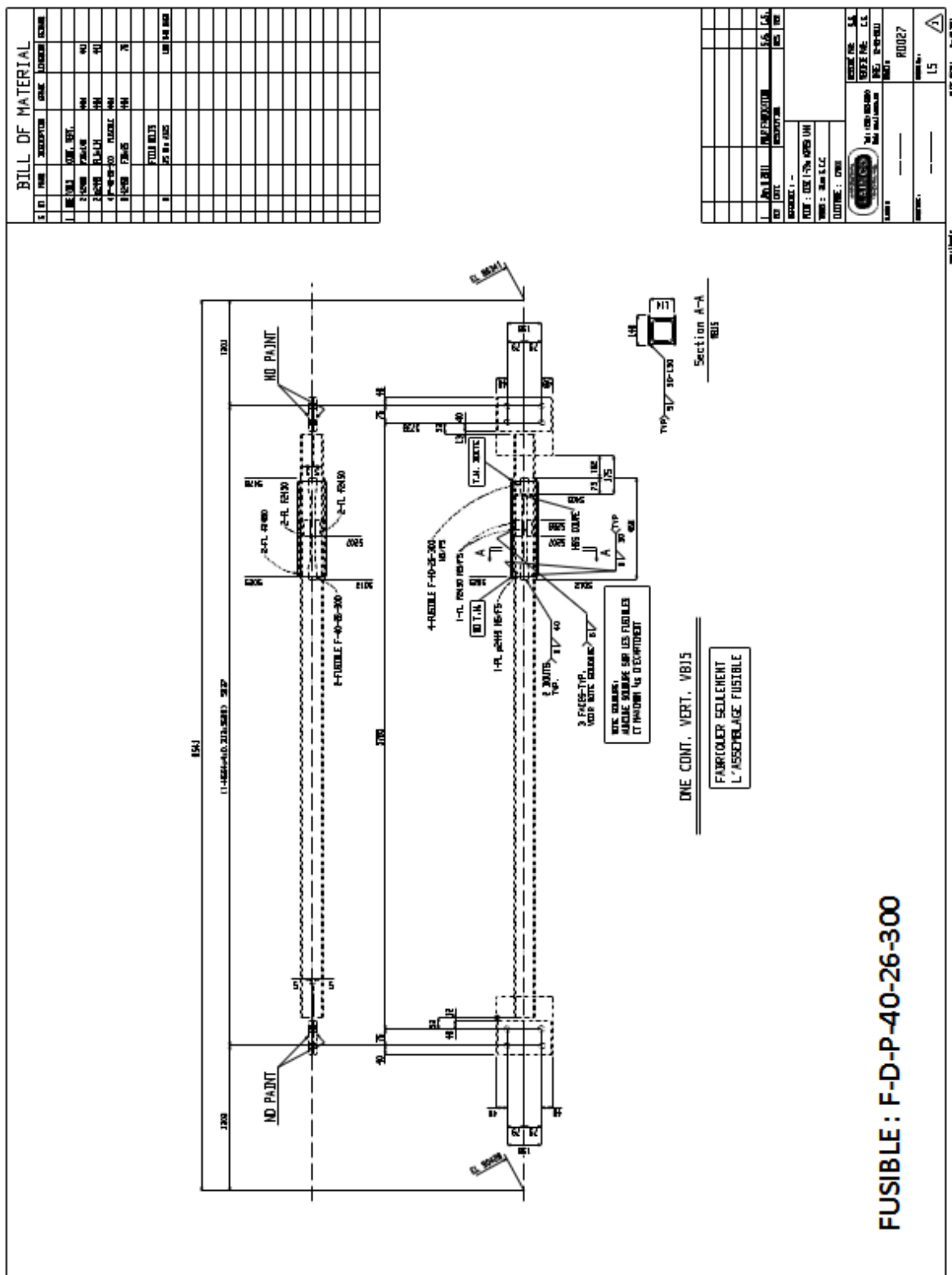
F-D-80-50-500 (remplace F-D-85-55-500)
 FB 6.35x127 x 759 Lg. / 44W (PAR LAINCO)
 4 REQUIRES
 TOLÉRANCE: ± 0.1mm

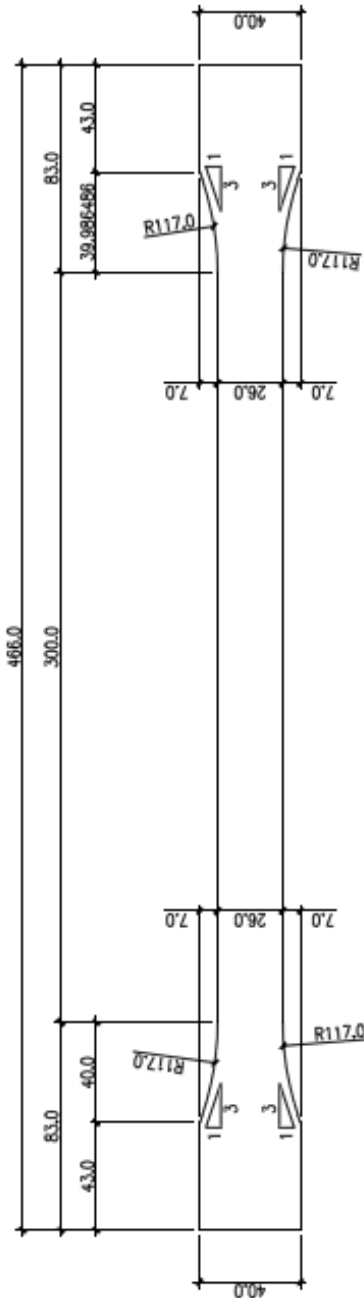
MILL TEST:
Fy = 364 Mpa
Fu = 489 Mpa

FUSIBLE: F-D-P-80-50-500



 <p>100% Recycled Paper 100% Recycled Ink 100% Recycled Fiber 100% Recycled Color 100% Recycled Carbon 100% Recycled Glue</p>		<p>Price</p>	
<p>Fusible Serie D F-0-80-50-500</p>		<p>Year inc. 2011-05-25</p>	
<p>Est. Project RD-027</p>		<p>Est. Project RD-027</p>	
<p>Est. Project RD-027</p>		<p>Est. Project RD-027</p>	



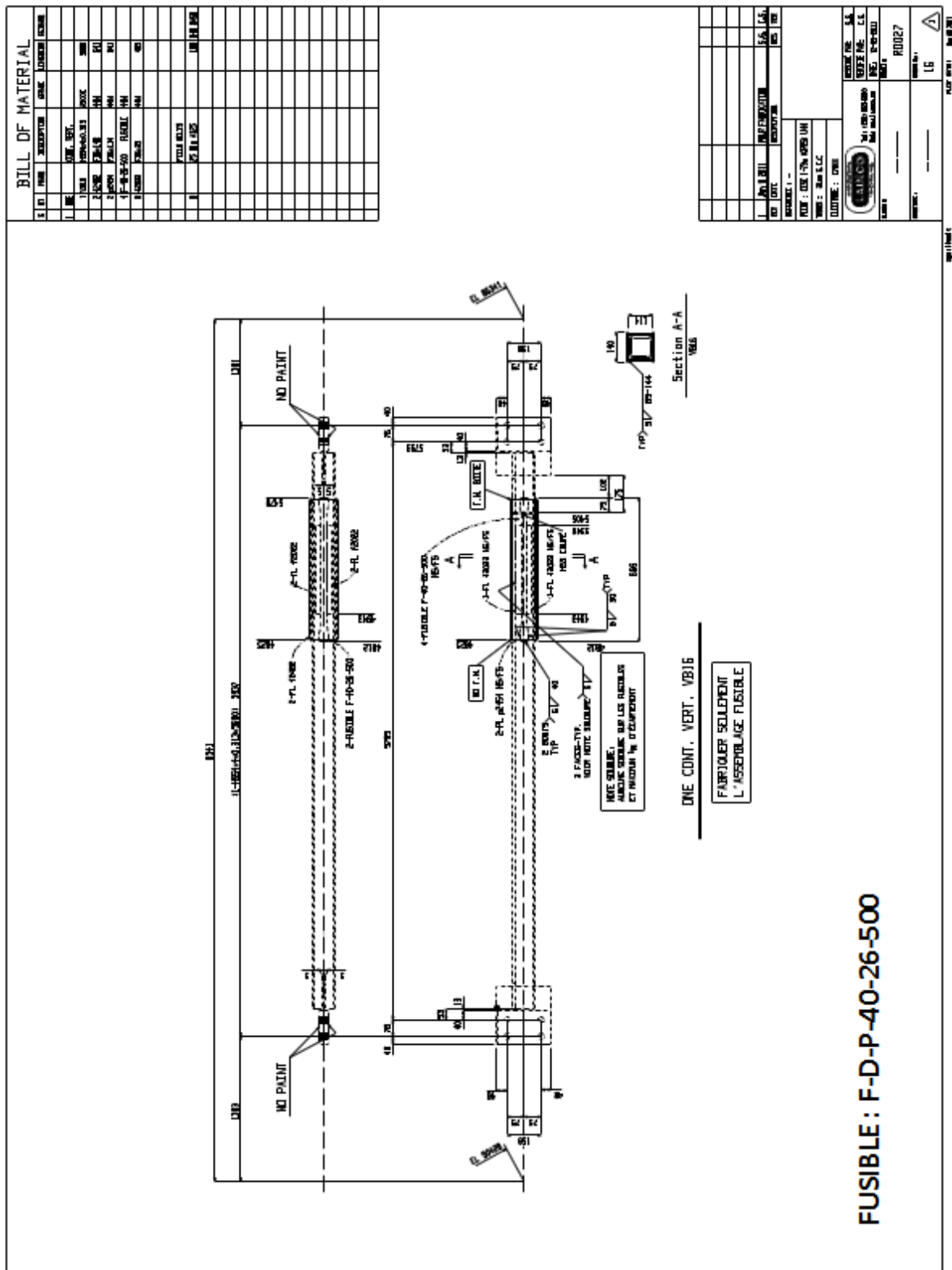


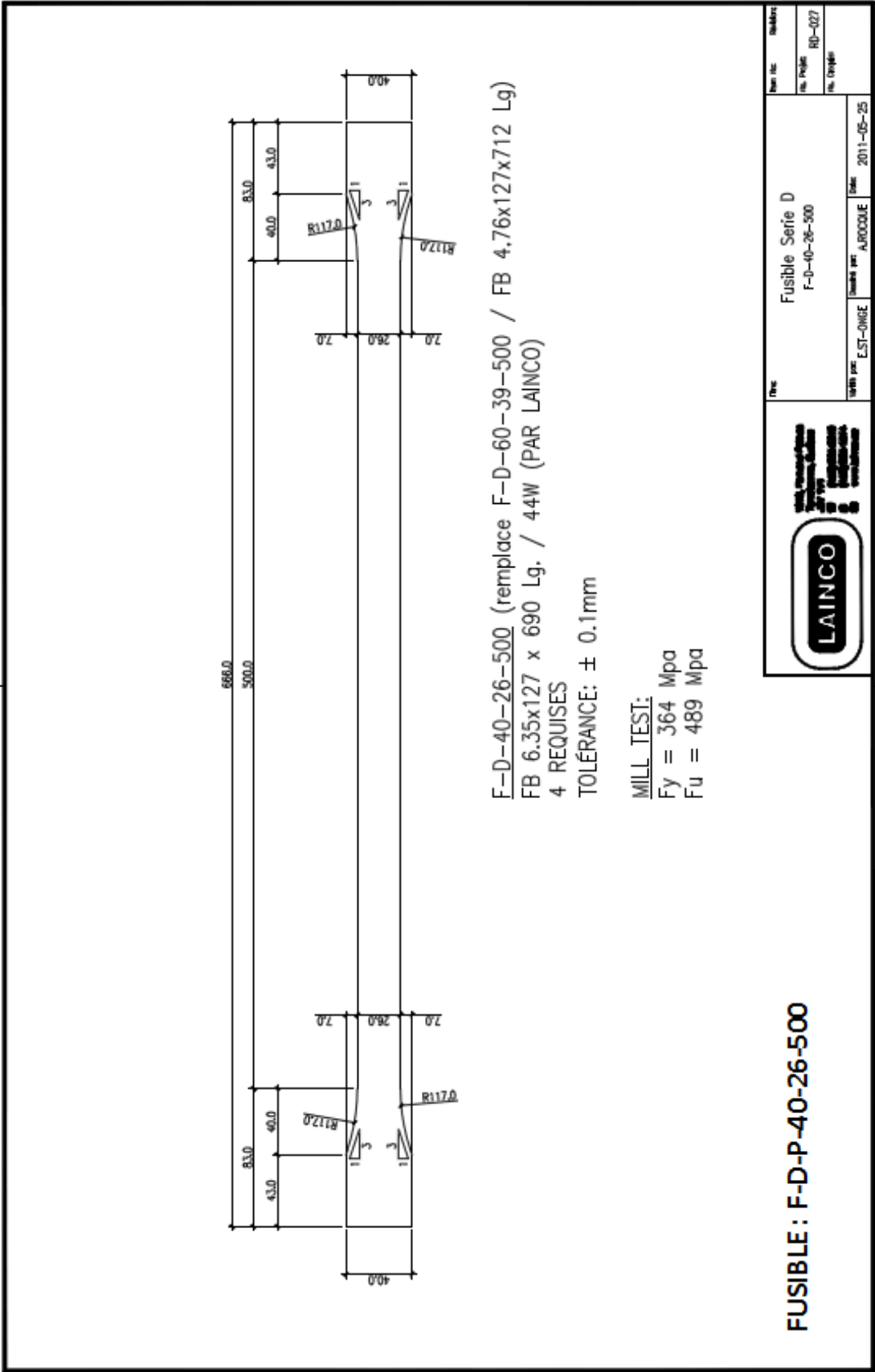
F-D-40-26-300 (remplace F-D-60-39-600 / FB 4.76x127x512 Lg)
FB 6.35x127 x 490 Lg. / 44W (PAR LAINCO)
4 REQUIRES
TOLÉRANCE: $\pm 0.1\text{mm}$

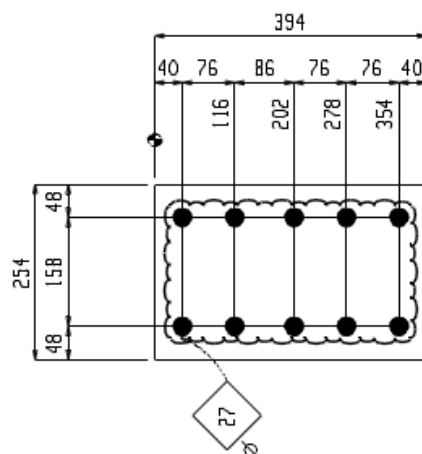
MILL TEST:
Fy = 364 Mpa
Fu = 489 Mpa

FUSIBLE : F-D-P-40-26-300

LAINCO		Fusible Serie D		Rev. Rev.	Modifications
		F-D-40-26-300		Rev. Rev.	RD-027
				Rev. Rev.	Rev. Origine
100%	EST-CHGE	100%	APPROQUE	Date 2011-05-25	







FB10x254x394 f2302

GRADE: 44W

PLAQUE DE LIAISON

Couper cette pièce aux dimensions indiquées.
L'ajustement requis pour l'assemblage est déjà calculé.

QT	COUPE	TRACE

					TRIGUS :	ACIER STRUCTURAL LAINCO STRUCTURAL STEEL	DESSINÉ PAR: SG	DATE: 09-02-2011
					21 mm DIA UN		VERIFIÉ PAR: ES	DATE:
					PROJET :		PROJET No: RD027	
REV	DESCRIPTION	DES	VER	DATE	RECHERCHE SUR LES FUSIBLES		DESSIN No: f2302	

sguilbault

PLOT DATE: Feb 09 2011

ANNEXE 6 – Exemples numériques de dimensionnement

Trois exemples de conception de FDA sont présentés, suivant les étapes de dimensionnement présentées à la section 5.8. Le premier exemple décrit la conception d'un FDA fait de quatre cornières à section réduite, en supposant que les propriétés mécaniques de l'acier des fusibles sont connues; le second exemple reprend le premier exemple, mais en supposant que les propriétés mécaniques sont inconnues; et, enfin, le dernier exemple reprend le premier exemple, mais en remplaçant les cornières par quatre fusibles découpés dans une plaque d'acier.

Contexte

Le bâtiment à concevoir, montré à la Figure A.1, est situé à Laval, Québec, et repose sur un sol de catégorie C, selon le CNBC. La hauteur de la structure est de 9 mètres, et l'aire totale est de 5040 m².

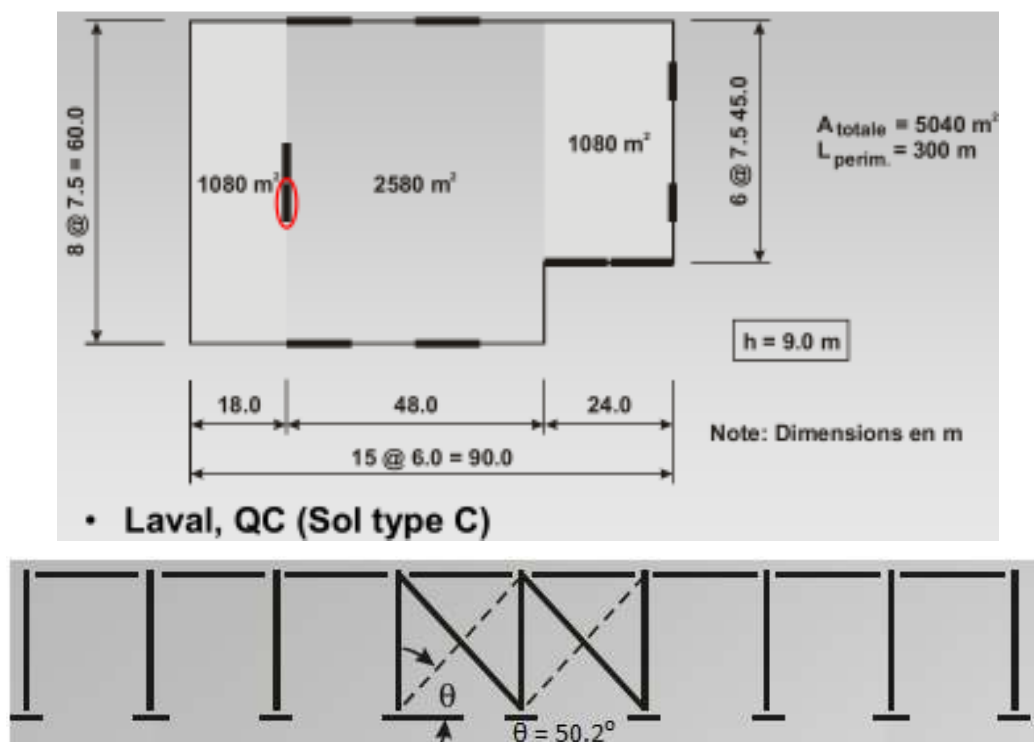


Figure A.1: Bâtiment à concevoir

Le SRFS utilisé est composé de contreventements concentriques travaillant en traction-compression, à ductilité modérée (type MD). Ainsi, $R_d = 3.0$, $R_o = 1.3$, et $I_E = 1.0$. Afin de limiter

la conception par capacité, on désire introduire des FDA. À noter que tous les exemples sont faits que pour le contreventement identifié. Les charges sont définies à la Figure A.2.

- **Permanente:**
 - Toit: $w_D = 1.1 \text{ kPa}$ (gravier/membrane, structure, méc.)
 - Murs: $w_D = 0.25 \text{ kPa}$ (revêtement métallique)
- **Neige :** $S = I_s [S_s (C_b C_w C_s C_a) + S_r]$
 - $S_s = 2.6 \text{ kPa}$ & $S_r = 0.4 \text{ kPa}$
 - $I_s = C_w = C_s = C_a = 1.0$
 - $C_b = 0.85$
 - $w = 60 \text{ m}$
 - $l = 5040 \text{ m}^2 / 60 \text{ m} = 84 \text{ m}$
 - $l_c = 2 (60) - 60^2 / 84 = 77 \text{ m}$
 - $C_b = 1.0 - (30/77)^2 = 0.85$
 - $S_s = 1.0 [2.6 (0.85)(1.0)(1.0)(1.0) + 0.4] = 2.6 \text{ kPa}$

2) The basic roof snow load factor, C_b , shall be 0.8, except that for large roofs it shall be

a) $1.0 - (30/l_c)^2$, for roofs with $C_w = 1.0$ and l_c greater than or equal to 70 m, or

b) $1.3 - (140/l_c)^2$, for roofs with $C_w = 0.75$ or 0.5 and l_c greater than or equal to 200 m,

where

l_c = characteristic length of the upper or lower roof, defined as $2w - w^2/l$, in metres,

w = smaller plan dimension of the roof, in metres,

l = larger plan dimension of the roof, in metres.

- **Séismes:** $V = S(T) I_E W / (R_o R_d)$
 - $S_a(0.2) = 0.68$, $S_a(0.5) = 0.34$, $S_a(1.0) = 0.14$, $S_a(2.0) = 0.048$
 - Site type C: $F_a = F_v = 1.0$ et $S(T) = S_a(T)$
 - $T_a = 2 \times 0.025 \times 9.0 \text{ m} = 0.45 \text{ s}$ (à démontrer par analyse dyn.)
 - $S(0.45 \text{ s}) = 0.40$
 - $W = 5040 [1.1 \text{ kPa} + (0.25)(2.6 \text{ kPa})] + (300)(9.0/2)(0.25 \text{ kPa}) = 9158 \text{ kN}$

Figure A.2: Charges de conception de la structure

Pour $R_o = 1.3$ et $R_d = 3.0$, le cisaillement de conception donné par le CNB 2005, est :

$$V = (0.4 \times 1.0 \times 9158) / (1.3 \times 3.0) = \underline{\underline{940 \text{ kN}}}$$

A) Exemple 1 : conception d'un FDA fait de quatre cornières, propriétés mécaniques connues

1) Effort de conception

On fait l'analyse de la structure, sans FDA, à l'aide de la MFSÉ. En supposant un diaphragme de toit totalement flexible ($G' \approx 0$ N/mm) et en incluant la torsion accidentelle de $\pm 0.10 \cdot D_{nx}$, la charge horizontale reprise par le cadre est de **368 kN**, telle que montrée à la Figure A.3.

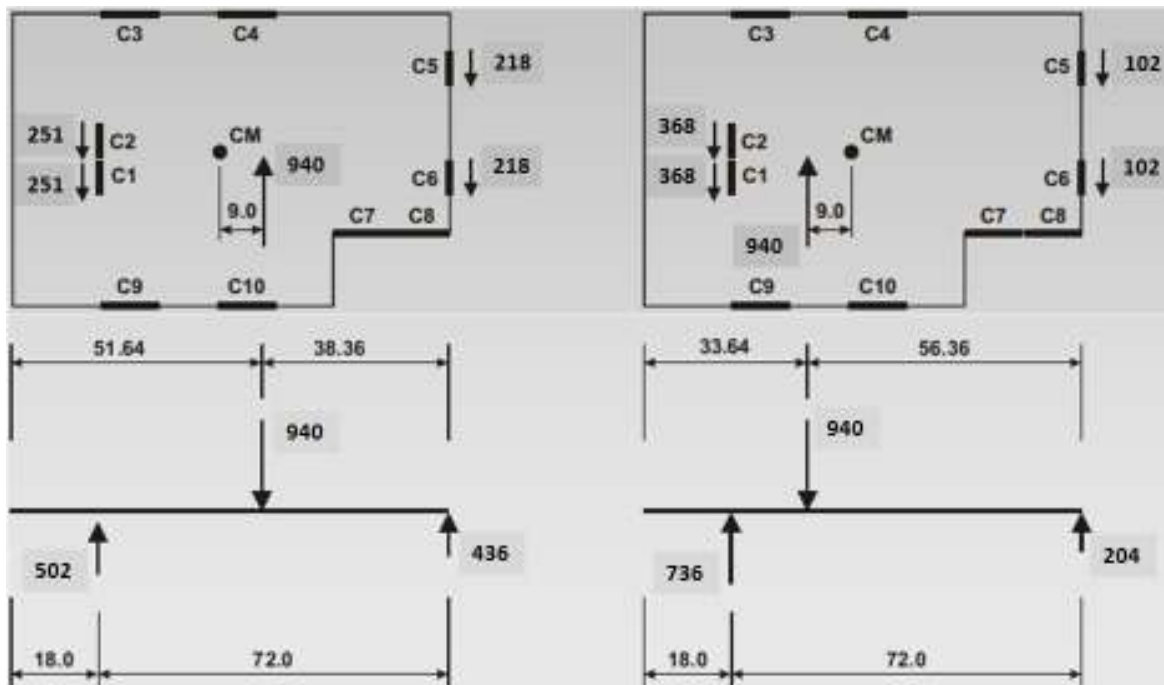


Figure A.3: Résultats d'analyse du bâtiment, obtenus avec la MFSÉ

La charge pondérée de conception de la diagonale, T_f , pour la combinaison $1D + 0.25S + 1E$, est :

$$T_f = 368 / (2 \times \cos \theta) = \underline{\underline{288 \text{ kN}}}$$

La Figure A.4 montre les efforts de conception que doivent reprendre les diagonales du cadre.

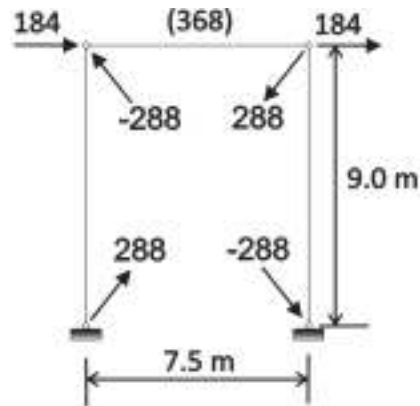


Figure A.4: Efforts de conception dans le cadre analysé

2) Choix de la diagonale

On doit choisir la diagonale du contreventement qui satisfait les critères de sélection de la norme CSA S16-09 :

X en T/C : $T_f = C_f = 288 \text{ kN}$ et $L_d \text{ (c/c)} = 11715 \text{ mm}$

HSS ASTM A500 gr. C (non recuit) $\rightarrow F_y = 345 \text{ MPa}$ et $R_y F_y = 460 \text{ MPa}$

Choix : **HSS 102x102x13** $\rightarrow A = 3790 \text{ mm}^2$; $r = 35.9 \text{ mm}$; $t_{des} = 0.9 \times 12.7 = 11.43 \text{ mm}$

$$KL/r = (0.9 \times 11715) / (2 \times 35.9) \approx 147 < 200 \quad (\text{OK})$$

$$C_r = 0.9 \times 3790 \times 345 (1 + 1.94^{(2 \times 1.34)})^{(-1/1.34)} = 278 \approx T_f \quad (\text{OK})$$

$$b/t = (102 - 4 \times 11.4) / 11.4 = 4.9$$

- $b/t \leq 330 / (F_y)^{0.5}$ si $KL/r \leq 100$
- $b/t \leq 420 / (F_y)^{0.5}$ si $KL/r = 200$
- Interpolation linéaire si $100 < KL/r < 200$

$$\text{Par interpolation : } b/t \text{ limite} = 19.9 \gg b/t = 4.9 \quad (\text{OK})$$

Diagonale choisie : **HSS 102x102x13**

3) Résistances probables de la diagonale

À l'aide des Équations 44 à 47, on détermine les différentes résistances probables de la diagonale :

$$T_u = 3790 \times 460 = \mathbf{1743 \text{ kN}}$$

$$C_u^I = 1.2 \times 3790 \times 460 (1 + 2.24^{(2 \times 1.34)})^{(-1/1.34)} = \mathbf{384 \text{ kN}} \quad (< AR_y F_y)$$

$$C_u^{II} = 0.8 \times 3790 \times 460 (1.4 + 2.24^{(1.4 \times 1.34)})^{(-1/1.34)} = \mathbf{369 \text{ kN}} \quad (< C_u^I)$$

$$C_u^{III} = 3790 \times 460 (1 + 2.24^{(2 \times 1.34)})^{(-1/1.34)} = \mathbf{320 \text{ kN}} \quad (< 0.2 AR_y F_y)$$

4) Résistances pondérées du FDA

En supposant que les propriétés mécaniques de la cornière correspondent à celles des coupons de caractérisation C-A-L2, pour une cornière L-51x51x6.4 de nuance 300W :

$$F_{yc} (\text{aile}) = 339 \text{ MPa} ; F_{uc} (\text{aile}) = 488 \text{ MPa} ; \epsilon_{sh} = 0.02 \text{ mm/mm} ; \text{ et } \epsilon_u = 0.18 \text{ mm/mm}$$

Comme il a été recommandé au chapitre 4, les propriétés mécaniques à utiliser devraient être celles mesurées sur l'une des quatre cornières du fusible, plutôt que celles d'une éprouvette de caractérisation prélevée dans l'aile. Par contre, la problématique est qu'initialement, le concepteur n'a aucune idée de la grosseur requise des cornières. Posons l'hypothèse que l'aire requise sera proche de celle des cornières utilisées dans le programme expérimental A, où la largeur des ailes réduites étaient de 20 mm. Les propriétés mécaniques mesurées des cornières étaient : $F_{yF} = 356 \text{ MPa}$ et $F_{uF} = 503 \text{ MPa}$.

$$\text{Pour la traction : } T_{rF} = 0.7 \times 0.95 \times A_F \times 300 \times (356/300) \times (503/356) \geq 288 \text{ kN}$$

$$A_{F \text{ req.}} = \mathbf{861 \text{ mm}^2}$$

$$\text{Pour la compression : } C_{rF} = 0.95 \times A_F \times 356 \geq 369 \text{ kN}$$

$$A_{F \text{ req.}} = \mathbf{1091 \text{ mm}^2}$$

Ainsi, l'aire requise pour la compression gouverne. Essayons une largeur d'aile de $b_F/2 = 25 \text{ mm}$, soit une largeur réduite totale de : **$b_F = 50 \text{ mm}$** .

5) Aire et géométrie du fusible

On détermine l'aire du fusible ainsi que la géométrie de la zone de transition. De plus, on doit tenir compte de l'aire du rayon de congé, A_r . De la Figure 5.15, le rayon de congé vaut : $r = 6 \text{ mm}$. De l'Équation 60, l'aire totale du fusible est, en supposant une usure de 50% des rouleaux de laminage :

$$A_F = 4 \times [(50 - 6.35) \times 6.35 + 0.2146 \times (0.5 \times 6)^2] = \underline{\underline{1116.4 \text{ mm}^2}} \approx A_F \text{ req.} \quad (\text{OK})$$

Comme $A_F \approx A_F \text{ requis}$, on retiendra cette largeur de fusible. On vérifie, pour une cornière, les valeurs de F_{yF} et de F_{uF} utilisées dans les équations, en supposant que les propriétés mécaniques pour A_r seront 1.16 fois plus, pour F_y , et 1.08 fois plus, pour F_u , élevées que les valeurs mesurées dans les ailes :

$$A_{F,\text{ailes}} = 4 \times [2 \times 6.35 \times (25 - 6.35 - 3)] = 795 \text{ mm}^2 \quad (\text{Équation 24, Chapitre 4})$$

$$A_F = 1116 \text{ mm}^2$$

$$F_{y,\text{centrale}} \approx 1.16 \times 339 \text{ MPa} = 394 \text{ MPa}$$

$$F_{u,\text{centrale}} \approx 1.08 \times 488 \text{ MPa} = 527 \text{ MPa}$$

Avec l'Équation 22 du chapitre 4, on détermine les valeurs de F_{yF} et de F_{uF} :

$$F_{yF} = \{(394/339) + [1 - (394/339)] \times (795 / 1116)\} \times 339 = \underline{\underline{355 \text{ MPa}}}$$

$$F_{uF} = \{(527/488) + [1 - (527/488)] \times (795 / 1116)\} \times 488 = \underline{\underline{500 \text{ MPa}}}$$

Ainsi, on retrouve des valeurs similaires de F_{yF} et de F_{uF} que celles mesurées sur les cornières sans défaut du programme expérimental A, pour une largeur réduite de $b_F = 2 \times 20 = 40$ mm; l'hypothèse de départ est donc validée. À noter que, tel qu'il a été mentionné au chapitre 4, cette variation des propriétés mécaniques n'est pas toujours présente. En supposant une transition avec une pente **3:1**, $R \approx 80.11$ mm (pour avoir des dimensions arrondies) et une largeur $b = 90$ mm, on détermine les propriétés géométriques avec les Équations 50 à 57 :

$$\omega = \tan^{-1}(1/3) = 18.44^\circ$$

$$L_R = 80.11 \sin(\omega) = 25.33 \text{ mm}$$

$$a = 80.11 \tan(\omega/2) = 13 \text{ mm}$$

$$c = (90 - 50)/2 = 20 \text{ mm}$$

$$L_T = (3 \times 20) + 13 = 73 \text{ mm}$$

$$L_\ell = 73 - 25.33 = 47.67 \text{ mm}$$

$$\alpha = 90 / 50 = 1.8 \quad (\text{OK}, \alpha > 1.6 - \text{voir chapitre 4})$$

$$b_{\min} = 50 + 2 \times 80.11 \times (1 - \cos(\omega)) = 58 \text{ mm} \ll b = 90 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Les longueurs L_{TF} et $L_{\text{total},F}$ seront déterminées plus tard, car elles dépendent de la longueur L_F . Avec les Équations 62 à 68, on détermine le rayon de giration d'une des cornières :

$$b = 50/2 = 25 \text{ mm et } c = 50/2 - 6.35 = 18.65 \text{ mm}$$

$$K = (18.65^2 \times 25^2 \times 6.35) / (4 \times (25 + 18.65)) = 7906.2 \text{ mm}^4$$

$$A = (25 + 18.65) \times 6.35 = 277.2 \text{ mm}^2$$

$$x = (25^2 + 18.65 \times 6.35) / (2 \times (25 + 18.65)) = 8.52 \text{ mm}$$

$$I_x = (1/3) \times [6.35 \times (25 - 8.5)^3 + 25 \times 8.5^3 - 18.65 \times (8.5 - 6.35)^3] = 14\,564.2 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 14\,564.2 - 7906.2 = 6658 \text{ mm}^4$$

$$r_z = (6658 / 277.2)^{0.5} = 4.9 \approx \underline{\underline{5.0}} \text{ mm}$$

En supposant des cordons latéraux de $D = 6$ mm, on vérifie la largeur maximale de b , à l'aide de l'Équation 71, et pour $e_T = 14$ mm, selon la Figure 5.17 :

$$b_{\max} = 2 \times (102/2 - 14 + 6.35) = 86.7 \text{ mm} \approx b = 90 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

6) Résistance probable anticipée en traction du FDA

Il faut maintenant choisir la déformation $\varepsilon_{F,\max}$ voulue du FDA. Supposons une déformation maximale $\varepsilon_{F,\max} = \mathbf{0.10 \text{ mm/mm}}$, sur la longueur L_F . Dans le cas où les propriétés mécaniques du FDA sont connues, on peut utiliser les valeurs mesurées pour déterminer la résistance probable anticipée $T_{F,\max}$, associée à $\varepsilon_{F,\max}$. Deux possibilités s'offrent au concepteur : 1) soit qu'il utilise la courbe σ - ε mesurée, obtenue en laboratoire; ou 2) soit qu'il utilise une courbe synthétique, à partir des valeurs mesurées. La dernière option est applicable seulement dans le cas où aucune courbe σ - ε n'a été acquise durant l'essai de caractérisation. En supposant que nous ayons que les valeurs mesurées de F_{yF} et F_{uF} , alors on détermine la contrainte maximale anticipée $F(\varepsilon_{F,\max})$ à l'aide de l'Équation 34 :

$$F(\varepsilon_{F,\max}) = 356 + (503 - 356) \times [1 - 0.92 \times (1 - 0.5) \times e^{-21 \times (0.10 - 0.02)}] = \mathbf{490.4 \text{ MPa}}$$

$$r = (0.10 - 0.02) / (0.18 - 0.02) = 0.5$$

De la vraie courbe σ - ε de la cornière F-A-38-20-0-0 (sans défaut) du programme expérimental A, la contrainte associée est : $F_{(0.10)} = 489$ MPa, ce qui est similaire à la valeur obtenue de l'équation empirique. Ainsi :

$$T_{F,\max} = 1116 \times 490 = \mathbf{547 \text{ kN}} \quad < T_{u,\text{HSS}} = 1743 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

On voit qu'en ajoutant un FDA à la diagonale, la charge devant être considérée pour la conception des assemblages est réduite de **69%**, soit une réduction de plus 2/3 de la charge

normalement considérée pour la conception du même SRFS, sans FDA. Ainsi, les assemblages (plaques de transfert, gousset, boulons, soudures, etc.) devront être conçus pour une charge de conception de 547 kN, plutôt que 1743 kN. Horizontalement, la capacité du cadre est :

$$V_u = (T_{F,\max} + C_u^I) \cos \theta = (547 + 384) \cos (50.2) = \underline{\underline{596 \text{ kN}}}$$

La Figure A.5 permet de bien visualiser tous les avantages obtenus d'un cadre avec FDA, en comparaison avec le même SRFS, sans FDA. De l'exemple, on voit que les assemblages de la diagonale sont conçus pour une charge de conception de 69% moins élevée; l'ancrage est conçu pour un effort de cisaillement de 69% moins élevé, combiné à un effort de traction de 56% moins élevé; la fondation est conçue pour un effort de soulèvement de 56% moins élevé; la colonne est conçue pour une charge de compression de 69% moins élevée; l'effort aux poutres de rive est de 56% moins élevé; et au toit, l'effort de conception du diaphragme, au droit du contreventement, est de 56% moins élevé.

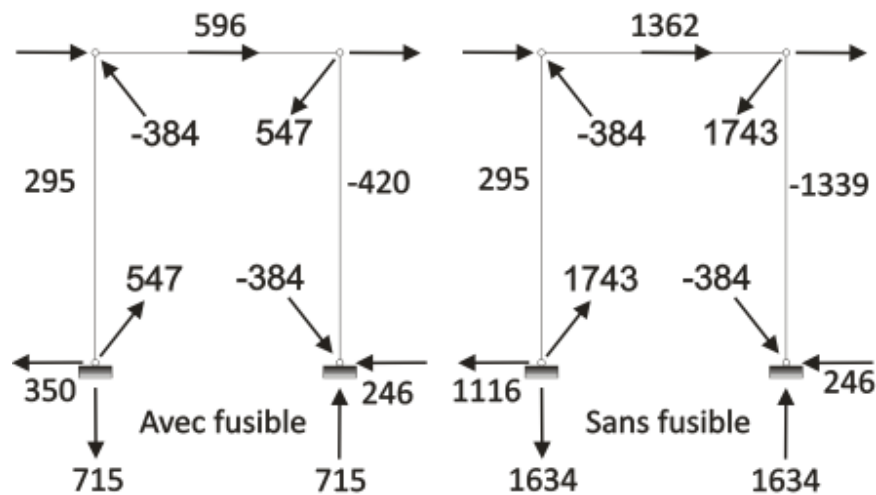


Figure A.5: Efforts pour la conception par capacité du reste du SRFS, avec et sans FDA (Type MD, $R_d = 3.0$)

À titre comparatif, les résultats du même cadre, sans FDA, et conçu de manière conventionnelle (type CC, $R_d = 1.5$) sont présentés à la Figure A.6.

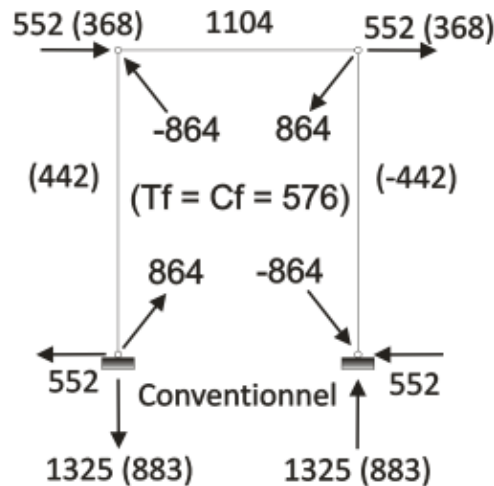


Figure A.6: Résultats du même cadre, conçu de manière conventionnelle (type CC, $R_d = 1.5$)

On remarque, une fois de plus, que la conception du SRFS avec FDA est de loin plus avantageuse que la construction conventionnelle (type CC). Dans la Figure A.6, les nombres entre parenthèses ne sont pas pondérés par R_d , tel que prescrit dans la norme CSA S16-09, pour le type CC. Rappelons que seuls les assemblages et les connecteurs doivent être conçus pour l'effort de conception, T_f , pondéré de R_d ($= 1.5$), alors que les membrures (poutres, colonnes, fondations, etc.) sont conçues que pour T_f . Ainsi, pour le système avec FDA, on voit que les assemblages de la diagonale sont conçus pour une charge de conception de 37% moins élevée; l'ancrage est conçu pour un effort de cisaillement de 37% moins élevé, combiné à un effort de traction de 46% moins élevé; la fondation est conçue pour un effort de soulèvement de 19% moins élevé; la colonne est conçue pour une charge de compression de 5% moins élevée; l'effort aux poutres de rive est de 19% moins élevé; et au toit, l'effort de conception du diaphragme, au droit du contreventement, est de 46% moins élevé. Par contre, si des connecteurs ductiles sont utilisés, par exemple les systèmes d'attache de HILTI (vis et clous), alors l'effort de conception du diaphragme est de 19% moins élevé. En effet, dans ce cas, l'effort de conception du diaphragme pour le type CC n'a pas besoin d'être pondéré par R_d .

Enfin, il est important de souligner que dans cet exemple, les résultats démontrent que la construction conventionnelle (type CC, $R_d = 1.5$) est plus économique qu'une conception à ductilité modérée (type MD, $R_d = 3.0$), sans FDA.

7) Longueur minimale requise du FDA

Nous devons déterminer la longueur L_F de la partie de section réduite des quatre fusibles du FDA, requise pour accommoder la déformation inélastique anticipée de la structure (Δ_{NL}) et selon la déformation maximale voulue du FDA ($\varepsilon_{F,max}$). Dans la détermination de L_F , on peut considérer, ou non, l'allongement additionnel des longueurs de transition (δ_T). Ainsi, on détermine L_F requis avec l'Équation 41 ou 42, selon si on considère ou non les déformations des zones de transition.

Pour $\varepsilon_{F,max} = 0.10$ mm/mm :

$$\varepsilon_{F,max} < \varphi \varepsilon_u = 0.95 \times 0.18 = 0.171 \text{ mm/mm} \quad (\text{OK})$$

Si on néglige δ_T (Équation 41) :

$$L_F = (1/0.10) \times [\{(1.5 \times 1.3 \times 3)/1\} \times 288 - 547] \times 11715 / (3790 \times 200) = \underline{\underline{176 \text{ mm}}}$$

Si, au contraire, on considère δ_T (Équation 42) :

De la Figure 5.10 et par interpolation, pour $b/b_F = 1.8$, $R = 80$, pente = 3:1, et $\varepsilon_{F,max} = 0.10$:

$$\varepsilon_T = [((0.0215 - 0.0355) / (2 - 1.5)) \times (1.8 - 1.5)] + 0.0355 = 0.027 \text{ mm/mm}$$

$$\delta_T \approx 0.027 \times 73 = 1.97 \text{ mm} \approx 2.0 \text{ mm}$$

$$L_F = ([\{(1.5 \times 1.3 \times 3)/1\} \times 288 - 547] \times 11715 / (3790 \times 200) - 2 \times 2.0) \times (1/0.10) = \underline{\underline{136 \text{ mm}}}$$

En considérant les zones de transition, on réduit la longueur L_F de 40 mm, soit une diminution de 23%. En vérifiant avec le chiffrier Excel présenté au chapitre 4, le δ_T réel est de 2.11 mm, soit 7% plus que prévu (1.97 mm). Il est normal d'avoir un peu plus d'allongement δ_T , car celui-ci dépend des valeurs de F_y et F_u considérées, de même que la géométrie du fusible; dans l'exemple, les valeurs mesurées de F_y et F_u sont plus élevées que celles utilisées pour tracer le graphique de la Figure 5.10. À titre comparatif, la longueur L_F réelle requise en tenant compte de l'allongement δ_T réel de 2.11 mm, est de **133.5 mm**, soit à peine 2.5 mm (1.8%) de moins que celle obtenue avec un δ_T interpolé de 1.97 mm.

Ainsi, on choisit une longueur de fusible $L_F = 136 \text{ mm}$. L'allongement maximal total anticipé du FDA ($\delta_{TF,max}$), pour $L_F = 136 \text{ mm}$, est (Équation 74) :

$$\delta_{TF,max} = [\{(1.5 \times 1.3 \times 3)/1\} \times 288 - 547] \times 11715 / (3790 \times 200) = \mathbf{17.58 \text{ mm}}$$

On peut également déterminer la longueur totale du fusible, L_{TF} , avec l'Équation 58 :

$$L_{TF} = L_F + 2L_T = 136 + 2 \times 73 = \mathbf{282 \text{ mm}}$$

L'allongement maximal inélastique anticipé de la diagonale sans FDA est de : $1.5 \times 1.3 \times 3 \times 288 \times 11715 / (3790 \times 200) = 26.04 \text{ mm}$. À partir du chiffrier Excel et en considérant la longueur $L_F = 136 \text{ mm}$, on incrémente la charge jusqu'à l'obtention de l'allongement maximal anticipée de 26 mm. Ainsi, la déformation maximale réelle du FDA ($\epsilon_{F,max}$) sera de **0.0985 mm/mm**, soit à peine 1.5% moins que celle voulue initialement (0.10 mm/mm). L'allongement maximal total du FDA ($\delta_{TF,max}$), donné par l'Équation 74, sera de 17.59 mm, soit 0.13 mm/mm en termes de déformation totale approximative ($\epsilon_{TF,max} = \delta_{TF}/L_F$). La charge développée par le FDA sera de 547 kN et l'allongement de la zone de transition sera de 2.09 mm. Si au départ, nous avons utilisé un graphique comme celui de la Figure 5.12 (ϵ_{TF} en fonction de ϵ_F), nous aurions supposé un $\epsilon_{TF} = 0.11 \text{ mm/mm}$, soit 15% de moins que le réel, ce qui aurait conduit à un L_F de 160 mm avec l'Équation 41 (en posant $\epsilon_{F,max} = \epsilon_{TF,max} = 0.11$), ce qui serait une erreur ! En effet, la Figure 5.12 a été produite pour des valeurs de $F_y = 350 \text{ MPa}$, $F_u = 450 \text{ MPa}$, et $L_F = 300 \text{ mm}$. Et tel que mentionné à la section 5.6, pour une même déformation moyenne des transitions, la différence entre ϵ_{TF} et ϵ_F augmentera avec la réduction de L_F , car un allongement des transitions de 3 mm pour un L_F de 300 mm est moins significatif que pour un L_F de 136 mm. Ainsi, on se rend vite compte qu'à moins de déjà connaître la longueur de L_F , on ne peut utiliser directement la Figure 5.12 de manière générale, pour tous les FDA.

Maintenant, si on considère la longueur L_F obtenue en négligeant les transitions, soit 176 mm, et qu'on incrémente la charge jusqu'à l'obtention de l'allongement maximal anticipée de 26 mm, la

déformation maximale réelle du FDA ($\epsilon_{F,\max}$) sera de **0.080** mm/mm, soit 20% moins que celle voulue initialement (0.10 mm/mm). L'allongement maximal total du FDA ($\delta_{TF,\max}$) sera de 17.77 mm, soit 0.10 mm/mm en termes de déformation totale approximative ($\epsilon_{TF,\max}$). La charge développée par le FDA sera de 535 kN et l'allongement de la zone de transition sera de 1.79 mm. Ainsi, l'important est de retenir que dans cet exemple, négliger la déformation des transitions au départ se traduit par une erreur de 20% sur la déformation maximale ($\epsilon_{F,\max}$) du FDA. De plus, tel que démontré, l'équation proposée qui inclut la déformation des transitions (Équation 42), permet d'approximer de manière relativement précise la longueur requise de fusible, alors que l'équation proposée qui exclut les transitions (Équation 41), est de loin plus conservatrice.

Initialement, dans les Équations 41 et 42, on suppose que la rigidité de la diagonale avec FDA est approximativement $EA_{HSS}/L_{c/c}$. Si on contraire, on supposait que la rigidité est en fait $EA_{HSS} / (L_{c/c} - L_{TF})$, alors on obtiendrait un allongement maximal total anticipé du FDA ($\delta_{TF,\max}$), pour $L_F = 136$ mm :

$$\delta_{TF,\max} = \left[1.5 \cdot 1.3 \cdot 3 \cdot \frac{288 \cdot 11715}{3790 \cdot 200} \right] - \left[\frac{547 \cdot (11715 - 282)}{3790 \cdot 200} \right] = \mathbf{17.78 \text{ mm}}$$

soit à peine 1.1% de différence avec l'approximatif (17.58 mm). Maintenant, si on tenait compte des déformations des assemblages (goussets et plaques de transfert) de même la déformation sur la longueur d'attache des fusibles (L_w), alors on obtiendrait un $\delta_{TF,\max}$, pour $L_F = 136$ mm, et en supposant des ressorts en série :

1) Déformation des assemblages (goussets + plaques)

En supposant $L_{ass} \approx 0.85L_{c/c} \approx 1760$ mm, soit 880 mm par extrémité, et $A_{ass} = 350 \cdot 10 = 3500$ mm² :

$$\text{➤ } \delta_{ass} = 547 \times 1760 / (3500 \times 200) = 1.375 \text{ mm}$$

2) Déformation de la diagonale + FDA (attache)

En supposant $L_w = 100$ mm et $A_w = A_{HSS} + A_{F,extrémité} = 3790 + 2132 = 5922 \text{ mm}^2$:

$$\text{➤ } \delta_w = 547 \times (2 \times 100) / (5922 \times 200) = 0.092 \text{ mm}$$

3) Déformation diagonale

$L_{HSS} = (11715 - 1760 - 2 \times 100 - 282) = 9473$ mm et $A_{HSS} = 3790 \text{ mm}^2$:

$$\text{➤ } \delta_{HSS} = 547 \times 9473 / (3790 \times 200) = 6.84 \text{ mm}$$

$$\therefore \delta_{TF,max} = \left[1.5 \cdot 1.3 \cdot 3 \cdot \frac{288 \cdot 11715}{3790 \cdot 200} \right] - 1.375 - 0.092 - 6.84 = \mathbf{17.73 \text{ mm}}$$

soit à peine 1.0% de différence avec l'approximatif (17.58 mm). Ainsi, comme le démontre l'exemple, la méthode simplifiée proposée où on suppose que la rigidité de la diagonale avec FDA est approximativement $EA_{HSS}/L_{c/c}$, donne un résultat suffisamment précis pour la conception. Le seul raffinement qui influence le résultat de manière significative est la considération ou non des déformations des zones de transition. Prendre en compte celles-ci n'est pas obligatoire. Par contre, cela donne une longueur de fusible, L_F , plus sécuritaire.

Également, il a été mentionné qu'il pourrait être possible de déterminer L_F requis en utilisant le cisaillement à la base V associée à la vraie période de la structure (T_a), sans limitation. À titre complémentaire, supposons que la vraie période de la structure est : $T_a = 0.65$ seconde. L'accélération spectrale est alors de : $S(0.65) = 0.28$. Ainsi, le cisaillement à considérer pour le calcul de flèche est :

$$V = (0.28 \times 1.0 \times 9158) / (1.3 \times 3.0) = \mathbf{658 \text{ kN}}$$

soit une réduction de 30% de l'effort V utilisé pour la sélection du FDA. La charge dans le contreventement est maintenant : $T_f = 288 \times 658 / 940 = 202 \text{ kN}$.

En supposant que l'on veuille toujours une déformation maximale anticipée $\varepsilon_{F,max} = 0.10$ mm/mm, la résistance maximale développée par le FDA ($T_{F,max}$) demeure inchangée, soit 547 kN. Ainsi, la longueur L_F requise, selon l'Équation 41 (en excluant les déformations des transitions) est :

$$L_{F,min} = (1/0.10) \times [\{(1.5 \times 1.3 \times 3)/1\} \times 202 - 547] \times 11715 / (3790 \times 200) = \underline{\underline{98 \text{ mm}}}$$

soit 44% (78 mm) de moins que lorsque la période était limitée ($L_F = 176$ mm). Si, on contraire, on voulait conserver la longueur de fusible $L_F = 176$ mm, alors la déformation maximale sera de $\varepsilon_{F,max} = 0.059$ mm/mm, et la résistance probable anticipée de $T_{F,max} = 511$ kN, ce qui représente une réduction de 41% de la déformation du FDA et de 6.6% sur la charge de conception pour le reste du SRFS, respectivement.

Enfin, mentionnons que c'est le concepteur qui choisit la performance voulue du FDA au départ : un fusible plus long augmente le coût de matériel du fusible, mais par contre, réduit la déformation maximale $\varepsilon_{F,max}$, et conséquemment, la résistance maximale $T_{F,max}$ développée par le FDA. À l'inverse, un fusible plus court réduit le coût de matériel du fusible, mais augmente la déformation maximale $\varepsilon_{F,max}$, et conséquemment, $T_{F,max}$. Cependant, il faut savoir que la réduction est plus grande sur la déformation, que sur la résistance. À titre d'exemple, les longueurs L_F requises ainsi que les résistances probables anticipées $T_{F,max}$ ont été compilées pour différentes déformations $\varepsilon_{F,max}$ voulues. Les résultats sont présentés au Tableau T.1.

Tableau T.1: Effets de la réduction de la déformation maximale voulue du FDA

$\varepsilon_{F,max}$ (mm/mm)	L_F (mm)	$T_{F,max}$ (kN)	Augmentation	Réduction	Réduction
			L_F	$\varepsilon_{F,max}$	$T_{F,max}$
0.1	134	548	1.0	0%	0.0%
0.07	211	525	1.6	30%	4.2%
0.05	323	496	2.4	50%	9.5%
0.03	598	447	4.5	70%	18.4%

Ainsi, on voit que si on voulait plutôt une déformation maximale du FDA de 0.05 mm/mm, soit une réduction de plus 50% de celle voulue initialement (0.10 mm/mm), le fusible requis serait 2.4 fois plus long, alors que la réduction sur la résistance anticipée ne serait que de 9.5%.

8) Critères d'élancement local et global

Il faut maintenant vérifier les critères d'élancement des fusibles, afin d'éviter l'instabilité de l'un des quatre fusibles du FDA. Pour l'élancement des ailes de la partie à section réduite du fusible :

$$b_e/t_F = (50/2) / 6.35 = 3.9 < 7.2 \quad (134/F_y^{0.5}) \quad (\text{OK})$$

Pour l'élancement des ailes aux extrémités de la cornière :

$$b_e/t_F = (90/2) / 6.35 = 7.1 < 9.1 \quad (170/F_y^{0.5}) \quad (\text{OK})$$

Pour l'élancement global hors-plan du fusible :

$$K(L_F * \epsilon_{F,\max})/r = 0.65 \times (136 \times 0.10) / 5.0 = 1.8 < 20 \quad (\text{OK})$$

9) Autres vérifications et dimensionnement des soudures du FDA

Maintenant il faut dimensionner le reste des fusibles du FDA, et surtout vérifier l'assemblage complet, afin de s'assurer que toute la plastification se produise principalement dans la partie réduite des fusibles, sans plastification en dehors de la longueur L_{TF} . En supposant une plaque de transfert de 165 mm de largeur, par 13 mm d'épaisseur et de nuance 300W aux deux extrémités de la diagonale, on vérifie la plastification ainsi que la rupture de la diagonale :

$$T_r = 0.9 \times 3790 \times 345 = 1177 \text{ kN} > T_{F,\max} \quad (\text{OK})$$

$$T_r = 0.75 \times (3790 - 2 \times [(12.7 + 2 \times 1.6) \times 11.43]) \times 427 = 1097 \text{ kN} > T_{F,\max} \quad (\text{OK})$$

Normalement, pour les systèmes avec FDA, ces deux vérifications sont toujours rencontrées. De la Figure 5.23, la grosseur maximale des soudures d'angle des cornières ne doit pas dépasser 6 mm; on utilisera donc des cordons de 6 mm. La longueur requise des cordons latéraux pour attacher les fusibles à la diagonale est :

$$L_w \geq (0.25 \times 547) / (2 \times 0.67 \times 0.67 \times 0.707 \times 6 \times 0.490) = 73 \text{ mm}$$

$$L_w > 40 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Par contre, pour minimiser les effets de décalage en cisaillement aux extrémités, on utilisera des soudures d'angle : $D = \mathbf{6 \text{ mm}}$ et $L_w = \mathbf{90 \text{ mm}}$. On peut maintenant calculer la longueur totale du FDA, $L_{\text{total},F}$, donnée par l'Équation 59 :

$$L_{\text{total},F} = 282 + 2 \times 90 = \mathbf{462 \text{ mm}}$$

On vérifie également la résistance en traction, aux extrémités des cornières :

$$w = 90 - 6.35 = 83.65 \text{ mm} \quad \rightarrow 2w > L_w \geq w$$

$$A_{n2} = (0.5 \times 83.65 \times 6.35 + 0.25 \times 90 \times 6.35) + 0.2146 \times 3^2 = 410 \text{ mm}^2$$

$$A_{ne} = 4 \times 410 = 1641 \text{ mm}^2$$

$$A = 4 \times [(90 - 6.35) \times 6.35 + 0.2146 \times 3^2] = 2132 \text{ mm}^2$$

$$T_r = 2132 \times 356 = 759 \text{ kN} > T_{F,\max} \quad (\text{OK})$$

$$T_r = 0.75 \times 1641 \times 503 \times 1/0.9 = 688 \text{ kN} > T_{F,\max} \quad (\text{OK})$$

$$AR_y F_y = 759 \text{ kN} < A_{ne} R_t F_u = 826 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

Enfin, la dernière vérification sur les cornières du fusible consiste à vérifier la déchirure dans les ailes :

$$A_{gv} = 90 \times 6.35 = 572 \text{ mm}^2$$

$$T_r + V_r = 2 \times (0.75 \times 0.6 \times 572 \times (356 + 503) / 2 \times 1/0.9) = 245 \text{ kN} > T_{F,max}/4 \quad (\text{OK})$$

10) Conception de la boîte de confinement

Enfin, il faut confiner le fusible dans une boîte, afin de prévenir le flambement hors-plan d'une des cornières. En supposant une boîte assemblée, faite de quatre plaques de **8 mm** d'épaisseur :

$$b_{\text{boîte}} = 102 + 2 \times 6.35 + 2 \times 8 = 130.7 \text{ mm}$$

$$b_l = 102 + 2 \times 6.35 = 114.7 \text{ mm}$$

$$A_{\text{boîte}} = 130.7^2 - 114.7^2 = 3926 \text{ mm}^2 > A_{\text{HSS}} = 3790 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

$$I_{\text{boîte}} = (130.7^4 - 114.7^4) / 12 = 9.89 \times 10^6 \text{ mm}^4 > I_{\text{HSS}} = 4.88 \times 10^6 \text{ mm}^4 \quad (\text{OK})$$

$$t_{\text{boîte}} = 8 \text{ mm} > t_F = 6.35 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

On vérifie également que le confinement offre un moment de résistance en flexion élastique égal ou supérieur au moment de résistance en flexion plastique de la diagonale :

$$S_{\text{boîte}} = (130.7^4 - 114.7^4) / (6 \times 130.7) = 151401 \text{ mm}^3$$

$$S_{\text{boîte}} * F_{y,\text{boîte}} = 151401 \times 300 = 45 \text{ kN-m}$$

$$\text{Des tables du HSC, pour un HSS } 102 \times 102 \times 13 : Z_{x,\text{HSS}} = 124000 \text{ mm}^3$$

$$Z_{x,\text{HSS}} * F_{y,\text{HSS}} = 124000 \times 345 = 43 \text{ kN-m}$$

$$S_{\text{boîte}} * F_{y,\text{boîte}} > Z_{x,\text{HSS}} * F_{y,\text{HSS}} \quad (\text{OK})$$

On doit également vérifier l'élancement des parois de la boîte :

$$b_e/t = 114.7 / 8 = 14.33 < 35.8 \quad (670/F_y^{0.5}) \quad (\text{OK})$$

La longueur de chevauchement, L_d , doit être suffisante pour permettre de développer $M_{p,\text{HSS}}$, sans rupture en cisaillement de la boîte de confinement. La longueur minimale requise de chevauchement est :

$$L_d = 2 \times 102 = 204 \text{ mm}$$

Ainsi, on coupera la diagonale à 200 mm, soit à environ 1/4 de L_F ($200 - L_w - L_T = 200 - 90 - 73 = 37 \text{ mm} / 136 = 27\%$ de L_F).

La longueur de la boîte de confinement sera de :

$$L_{\text{boîte}} = 462 + 17.6 = 480 \text{ mm}$$

On attachera la boîte sur les quatre fusibles à l'une des extrémités de la boîte, à l'aide de cordons de soudure de 6 mm. Ainsi, il faudra prévoir un écartement de $2D$, soit 12 mm, entre l'extrémité des fusibles et l'extrémité de la boîte. En revanche, on peut tenir compte, ou non, de cet écartement dans le calcul de la longueur de la boîte de confinement. Enfin, la boîte de confinement doit être assemblée avec des cordons de soudure continus. Les soudures doivent

développer : $q_f = 0.6 \times 12.7 \times 345 = 2629 \text{ N/mm}$. Ce flux de cisaillement est largement rencontré avec des cordons de soudure continus de 6 mm, le long de la boîte de confinement.

En somme, l'exemple présenté a permis de concevoir un contreventement avec FDA, fait de quatre cornières à section réduite et dont les propriétés mécaniques sont connues, tout en soulignant les avantages à porter par l'ajout de FDA dans les diagonales.

B) Exemple 2 : conception d'un FDA fait de quatre cornières, propriétés mécaniques inconnues

L'exemple 1 est repris, mais en supposant que les caractéristiques de l'acier du fusible ne sont pas connues. De plus, on supposera qu'aucune déformation du fusible n'est choisie; l'exemple est repris à partir du calcul de l'aire requise du fusible.

4) Résistances pondérées du FDA

Comme le matériau est inconnu, il faut alors utiliser les valeurs nominales prescrites par la norme CSA S16-09 :

Pour la traction : $T_{rF} = 0.7 \times 0.9 \times A_F \times 300 \times 1.1 \times 1.3 \geq 288 \text{ kN}$

$$A_F \text{ req.} = \mathbf{1066 \text{ mm}^2}$$

Soit 24% de plus qu'à l'exemple 1.

Pour la compression : $C_{rF} = 0.9 \times A_F \times 300 \geq 369 \text{ kN}$

$$A_F \text{ req.} = \mathbf{\underline{1367 \text{ mm}^2}}$$

Soit 25% de plus qu'à l'exemple 1.

Afin de respecter le b_{\max} , une cornière plus épaisse sera utilisée, soit un **L-51x51 x 8.0**, de nuance 300W. Essayons une largeur d'aile de 25 mm, soit une largeur réduite totale de : **$b_F = 50$ mm**.

5) Aire et géométrie du fusible

Le rayon de congé est : $r = 6$ mm

$$A_F = 4 \times [(50 - 7.94) \times 7.94 + 0.2146 \times (0.5 \times 6)^2] = \underline{\underline{1344 \text{ mm}^2}} \approx A_F \text{ req.} \quad (\text{OK})$$

Ici, on n'applique pas d'ajustement sur F_y pour tenir compte de l'aire centrale (A_r).

En prenant la même géométrie de transition : pente **3:1**, $R = \mathbf{80.11}$ mm, et $b = \mathbf{90}$ mm.

$$\omega = \tan^{-1}(1/3) = 18.44^\circ$$

$$L_R = 80.11 \sin(\omega) = 25.33 \text{ mm}$$

$$a = 80.11 \tan(\omega/2) = 13 \text{ mm}$$

$$c = (90 - 50)/2 = 20 \text{ mm}$$

$$L_T = (3 \times 20) + 13 = 73 \text{ mm}$$

$$L_\ell = 73 - 25.33 = 47.67 \text{ mm}$$

$$\alpha = 90 / 50 = 1.8$$

$$b_{\min} = 50 + 2 \times 80.11 \times (1 - \cos(\omega)) = 58 \text{ mm} \ll b = 90 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

On détermine le rayon de giration des fusibles :

$$b = 50/2 = 25 \text{ mm et } c = 50/2 - 7.94 = 17.06 \text{ mm}$$

$$K = (17.06^2 \times 25^2 \times 7.94) / (4 \times (25 + 17.06)) = 8584.8 \text{ mm}^4$$

$$A = (25 + 17.06) \times 7.94 = 334 \text{ mm}^2$$

$$x = (25^2 + 17.06 \times 7.94) / (2 \times (25 + 17.06)) = 9.04 \text{ mm}$$

$$I_x = (1/3) \times (7.94 \times (25 - 9)^3 + 25 \times 9^3 - 17.06 \times (9 - 7.94)^3) = 16908.4 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 16908.4 - 8584.8 = 8323.7 \text{ mm}^4$$

$$r_z = (8323.7 / 334)^{0.5} = \underline{\underline{5.0 \text{ mm}}}$$

En supposant des cordons latéraux de $D = 6 \text{ mm}$, on vérifie la largeur maximale de b :

$$b_{\max} = 2 \times (102/2 - 14 + 7.94) = 90 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

6) Résistance probable anticipée en traction du FDA

Comme le matériau est inconnu et qu'aucune déformation est choisie au départ, la résistance probable anticipée du FDA doit être déterminée pour $R_t F_u = 540 \text{ MPa}$:

$$T_{F,\max} = T_{uF} = 1344 \times 540 = \underline{\underline{726 \text{ kN}}} < T_u = 1743 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

Ce qui est le cas le plus défavorable. On voit qu'en utilisant un FDA, la charge de conception des assemblages est maintenant réduite de **58%** (vs 1743 kN); en comparaison avec l'exemple 1, la charge de conception devant être considérée est de 1.3 fois plus élevée, soit 33% de plus. Horizontalement, la capacité du cadre est :

$$V_u = (726 + 384) \cos (50.2) = \underline{\underline{711 \text{ kN}}}$$

soit 115 kN (20%) de plus que dans l'exemple 1.

7) Longueur minimale requise du FDA

On doit maintenant déterminer la longueur L_F de la partie de section réduite des quatre fusibles du FDA. Comme les propriétés mécaniques du matériau sont inconnues et qu'aucune

déformation $\varepsilon_{F,\max}$ est choisie au départ, la longueur des fusibles doit être déterminée pour : $\varphi_\varepsilon \varepsilon_u = 0.85 \times 0.18 = 0.153 \text{ mm/mm}$.

Si on considère δ_T (Équation 42) :

De la Figure 5.10 et par interpolation, pour $b/b_F = 1.8$, $R = 80$, pente = 3:1, et $\varepsilon_{F,\max} = 0.10$:

$$\varepsilon_T = [((0.0265 - 0.044) / (2 - 1.5)) \times (1.8 - 1.5)] + 0.044 = 0.034 \text{ mm/mm}$$

$$\delta_T \approx 0.034 \times 73 = 2.48 \text{ mm} \approx 2.5 \text{ mm}$$

$$L_F = ([\{(1.5 \times 1.3 \times 3)/1\} \times 288 - 726] \times 11715 / (3790 \times 200) - 2 \times 2.5) \times (1/0.15) = \underline{\underline{66 \text{ mm}}}$$

En vérifiant avec le chiffrier Excel présenté au chapitre 4, le δ_T réel est de 2.7 mm, soit 8% de plus que prévu (2.5 mm). Ainsi, on choisit une longueur de fusible $L_F = \mathbf{70 \text{ mm}}$. À noter qu'il est suggéré d'utiliser une longueur $L_F \geq L_T$. À titre comparatif, la longueur L_F requise réelle = **63 mm**.

On peut déterminer la longueur totale du fusible, L_{TF} , avec l'Équation 58 :

$$L_{TF} = L_F + 2L_T = 70 + 2 \times 73 = \underline{\underline{216 \text{ mm}}}$$

En considérant la longueur $L_F = 70 \text{ mm}$, la déformation maximale anticipée de la partie réduite des fusibles sera de 0.141 mm/mm, soit 7.8% de moins que celle exigée au départ, soit $\varphi_\varepsilon \varepsilon_u = 0.15 \text{ mm/mm}$.

Le reste dimensionnement et de vérifications sont similaires à l'exemple 1.

C) Exemple 3 : conception d'un FDA fait de quatre fusibles découpés dans une plaque, propriétés mécaniques connues

L'exemple 1 est repris, mais en remplaçant les cornières par des fusibles découpés dans une plaque d'acier. De plus, on supposera que les caractéristiques de l'acier sont les mêmes que celles des cornières; l'exemple est repris à partir du calcul de l'aire requise du FDA. Rappelons que les propriétés mesurées de l'acier sont :

$$F_{yc} = 339 \text{ MPa} ; F_{uc} = 488 \text{ MPa} ; \varepsilon_{sh} = 0.02 \text{ mm/mm} ; \text{ et } \varepsilon_u = 0.18 \text{ mm/mm}$$

4) Résistances pondérées du FDA

Au contraire des cornières, les plaques n'affichent pas de variation des propriétés mécaniques. Ainsi, aucun ajustement sur la valeur de F_y n'est requis et : $F_{yF} = F_{yc}$ et $F_{uF} = F_{uc}$.

$$\text{Pour la traction : } T_{rF} = 0.7 \times 0.95 \times A_F \times 300 \times (339/300) \times (488/339) \geq 288 \text{ kN}$$

$$A_{F \text{ req.}} = 887.5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Pour la compression : } C_{rF} = 0.95 \times A_F \times 339 \geq 369 \text{ kN}$$

$$A_{F \text{ req.}} = \underline{1146 \text{ mm}^2}$$

Ainsi, l'aire requise pour la compression gouverne. Essayons une plaque de **13 mm** d'épaisseur, avec une largeur réduite de : **$b_F = 23 \text{ mm}$** .

5) Aire et géométrie du fusible

On détermine l'aire du fusible ainsi que la géométrie de la zone de transition.

De l'Équation 61, l'aire totale du FDA est :

$$A_F = 4 \times [23 \times 12.7] = \underline{\underline{1168 \text{ mm}^2}} > A_F \text{ req.} \quad (\text{OK})$$

En prenant la même géométrie de transition : pente **3:1**, $R = \mathbf{80.11 \text{ mm}}$, et $b = \mathbf{43 \text{ mm}}$.

$$\omega = \tan^{-1}(1/3) = 18.44^\circ$$

$$L_R = 80.11 \sin(\omega) = 25.33 \text{ mm}$$

$$a = 80.11 \tan(\omega / 2) = 13 \text{ mm}$$

$$c = (43 - 23)/2 = 10 \text{ mm}$$

$$L_T = (3 \times 10) + 13 = 43 \text{ mm}$$

$$L_\ell = 43 - 25.33 = 17.67 \text{ mm}$$

$$\alpha = 43 / 23 = 1.87$$

$$b_{\min} = 23 + 2 \times 80.11 \times (1 - \cos(\omega)) = 31.22 \text{ mm} \ll b = 43 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

On détermine les rayons de giration du fusible (individuel) :

$$r_{\min} = 0.29 \times 12.7 = \underline{\underline{3.7 \text{ mm}}}$$

$$r_{\max} = 0.29 \times 23 = \underline{\underline{6.6 \text{ mm}}}$$

En supposant des cordons latéraux de $D = 8 \text{ mm}$, on vérifie la largeur maximale de b :

$$b_{\max} = 102 - 4 \times (0.9 \times 12.7) - 2 \times 8 = 40 \text{ mm} \approx b = 43 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

6) Résistance probable anticipée en traction du FDA

Reprenons la même déformation maximale voulue qu'à l'exemple 1, soit : $\varepsilon_{F,\max} = 0.10 \text{ mm/mm}$.

En supposant que nous ayons que les valeurs mesurées de F_{yF} et F_{uF} , alors on détermine la contrainte maximale anticipée $F(\epsilon_{F,max})$ à l'aide de l'Équation 34 :

$$F(\epsilon_{F,max}) = 339 + (488 - 339) \times [1 - 0.92 \times (1 - 0.5) \times e^{-21 \times (0.10 - 0.02)}] = \mathbf{475 \text{ MPa}}$$

$$r = (0.10 - 0.02) / (0.18 - 0.02) = 0.5$$

$$T_{F,max} = 1168 \times 475 = \mathbf{555 \text{ kN}} < T_u = 1743 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

On voit que l'ajout d'un FDA permet de réduire de 68% la charge devant être considérée pour la conception des assemblages. Horizontalement, la capacité du cadre est :

$$V_u = (555 + 384) \cos (50.2) = \mathbf{601 \text{ kN}}$$

7) Longueur minimale requise du FDA

Nous devons déterminer la longueur L_F de la partie réduite des quatre fusibles du FDA, pour accommoder la déformation prévue de la structure, selon la déformation maximale voulue des fusibles, $\epsilon_{F,max}$.

Pour $\epsilon_{F,max} = 0.10 \text{ mm/mm}$:

$$\epsilon_{F,max} < \phi_\epsilon \epsilon_u = 0.95 \times 0.18 = 0.171 \text{ mm/mm} \quad (\text{OK})$$

Si on considère δ_T (Équation 42) :

De l'exemple 1, la déformation moyenne des transitions était : $\epsilon_T = 0.027 \text{ mm/mm}$. Ainsi :

$$\delta_T \approx 0.027 \times 43 = 1.16 \text{ mm} \approx 1.2 \text{ mm}$$

$$L_F = ([\{(1.5 \times 1.3 \times 3)/1\} \times 288 - 555] \times 11715 / (3790 \times 200) - 2 \times 1.2) \times (1/0.10) = \mathbf{151 \text{ mm}}$$

En vérifiant avec le chiffrier Excel, le δ_T réel est de 1.5 mm, soit 25% plus que prévu. De plus, en tenant compte de la déformation réelle des transitions, la longueur L_F requise est de **144 mm**, soit à peine 4.6% de moins que celle déterminée en utilisant une valeur de δ_T interpolée. Ainsi, on choisit une longueur de fusible $L_F = 150 \text{ mm}$.

On peut déterminer la longueur totale du fusible, L_{TF} , avec l'Équation 58 :

$$L_{TF} = L_F + 2L_T = 150 + 2 \times 43 = \underline{\underline{236 \text{ mm}}}$$

En considérant la longueur $L_F = 150 \text{ mm}$, la déformation maximale anticipée de la partie réduite des fusibles sera de **0.970 mm/mm**, soit seulement 3.0% de moins que celle voulue au départ (0.10 mm/mm). L'allongement maximal total du FDA ($\delta_{TF,max}$), donné par l'Équation 74, sera alors de 17.5 mm, soit 0.117 mm/mm en termes de déformation totale approximative ($\varepsilon_{TF,max} = \delta_{TF}/L_F$). La charge développée par le FDA sera de 554 kN et l'allongement de la zone de transition sera de 1.5 mm.

8) Critères d'élancement local et global

Il faut maintenant vérifier les critères d'élancement des fusibles individuels. Dans le cas des FDA faits de quatre fusibles découpés dans une plaque, il n'y a aucun critère sur le voilement local. Pour le flambement hors-plan :

$$K(L_F \cdot \varepsilon_{F,max})/r_{min} = 0.65 \times (150 \times 0.10) / 3.7 = 2.7 < 20 \quad (\text{OK})$$

Pour le flambement en-plan :

$$K \cdot L_F \cdot (1 + \varepsilon_{F,max})/r_{max} = 0.65 \times 150 \times (1 + 0.10) / 6.6 = 16.2 < 20 \quad (\text{OK})$$

Aucune cale de stabilité n'est requise dans ce cas. Par contre, advenant que des cales aient été requises, la longueur requise des cales est donnée par l'Équation 80. Par exemple, si $L_F = 250$ mm, alors :

$$L_{\text{cale}} = 250 \times (1 + 0.1) - 2 \times (20 \times 6.6 / 0.65) = \mathbf{-134 \text{ mm}}$$

La longueur négative obtenue indique qu'il suffirait de couper la longueur L_F en deux, par un point de retenue à mi-longueur. Par contre, pour accommoder le soudage des cales, la longueur minimale exigée est de 40 mm. Ainsi, on obtiendrait un élanement de :

$$0.65 \times 0.5 \times [250 \times (1 + 0.1) - 40] / 6.6 = 11.5$$

9) Autres vérifications et dimensionnement des soudures du FDA

Maintenant il faut dimensionner le reste des fusibles du FDA. La diagonale a déjà été vérifiée à l'exemple 1. De la Figure 5.23, la grosseur maximale des soudures d'angle des fusibles ne doit pas dépasser 10 mm; on utilisera donc des cordons de 8 mm. Comme la longueur du cordon frontal correspond à la largeur b ($L_w = b$), il ne reste qu'à dimensionner les cordons latéraux. En supposant d'abord des cordons latéraux de 40 mm, ce qui correspond à la longueur minimale exigée pour les soudures d'angle :

$$\begin{aligned} V_r &= 4 \times (1.5 \times 0.67^2 \times 0.707 \times 43 \times 8 \times 490 + 2 \times 0.85 \times 0.67^2 \times 0.707 \times 40 \times 8 \times 490) \\ &= 4 \times (80.2 + 2 \times 42.3) = \mathbf{659 \text{ kN}} > T_{F,\text{max}} = 555 \text{ kN} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Ainsi, on utilisera des cordons de **8 mm**, un frontal de **43 mm** et deux latéraux de **40 mm**. On peut maintenant calculer la longueur totale du FDA, $L_{\text{total,F}}$, donnée par l'Équation 59 :

$$L_{\text{total,F}} = 236 + 2 \times 40 = \mathbf{316 \text{ mm}}$$

On vérifie également la résistance en traction, aux extrémités des fusibles :

Cordon frontal :

$$w = L_w = b = 43 \text{ mm}$$

Lorsque la longueur du cordon frontal correspond à la largeur b du fusible, alors il n'y a pas de décalage en cisaillement et l'Équation 90 n'a pas besoin d'être vérifiée. Ainsi :

$$A = 4 \times (43 \times 12.7) = 2184 \text{ mm}^2$$

$$T_r = 2184 \times 339 = 741 \text{ kN} > T_{F,\max} \quad (\text{OK})$$

Donc, il n'y aura pas de plastification aux extrémités. Enfin, la dernière vérification sur les fusibles du FDA consiste à vérifier la déchirure aux extrémités :

$$A_n = 43 \times 12.7 = 546 \text{ mm}^2$$

$$A_{gv} = 40 \times 12.7 = 508 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} T_r + V_r &= 0.75 \times [1.0 \times 546 \times 488 + 2 \times (0.6 \times 508 \times (339 + 488) \times 0.5)] \times 1/0.9 \\ &= 4 \times (432) = 1728 \text{ kN} > T_{F,\max} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Enfin, la conception de la boîte de confinement est similaire à l'exemple 1.