POLYPUBLIE
Polytechnique Montréal

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL
UNIVERSITÉ D'INGÉNIERIE

Titre: Title:	Étude expérimentale et conception de fusibles ductiles travaillant en traction pour l'amélioration de l'efficacité des contreventements parasismiques en acier
Auteur: Author:	Elie St-Onge
Date:	2012
Type:	Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis
Référence: Citation:	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/

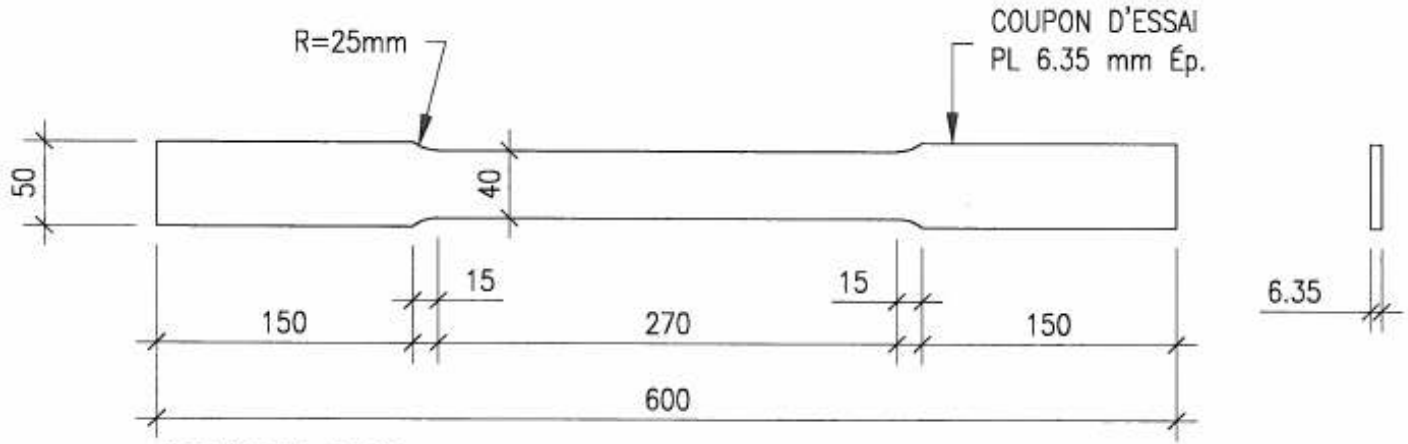
Document en libre accès dans PolyPublie
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: PolyPublie URL:	https://publications.polymtl.ca/960/
Directeurs de recherche: Advisors:	Robert Tremblay
Programme: Program:	Génie civil

Ce fichier a été téléchargé à partir de PolyPublie, le dépôt institutionnel de Polytechnique Montréal
This file has been downloaded from PolyPublie, the institutional repository of Polytechnique Montréal

https://publications.polymtl.ca

ANNEXE 1 – Coupons de caractérisation



COUPON TYP.
ASTM–E8
3 REQUIS
USINER DANS UN L–2"x2"x¼" / 50W (FOURNIS PAR LAINCO)
LES TOLÉRANCES DOIVENT ÊTRE RESPECTÉES

LAINCO

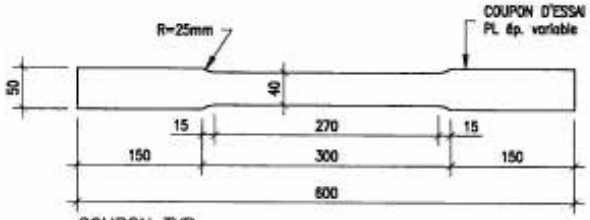
COUPON

PROG. A

CR–01

15/09/2009 16:47:22

C-A-L2



COUPON TYP.
ASTM-E8
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

•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 PLATE-TYPE, 38 mm (1½po) 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

LAINCO

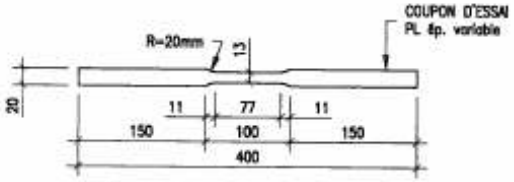
Titre: COUPON A
PROG. B-C-D

No. Projet: 510BLAIN
No. Croquis: CR-01

Vérifié par: Dessiné par: Date:

15/07/2010 09:42:11

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 (½po) 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

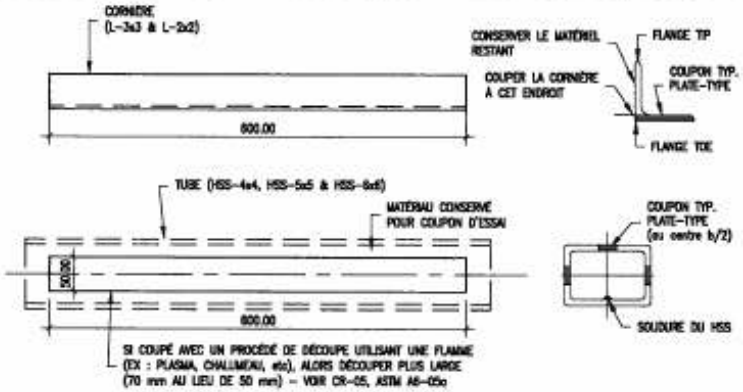
LAINCO

Titre: COUPON B
PROG. B-C-D

No. Projet: 510BLAIN
No. Croquis: CR-02

15/07/2010 09:48:37

Coupons McGill



COUPON (A) PLATE-TYPE 200-MM GAGE

PROFILÉS : 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)

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 2e COUPON
LONGUEUR TL FOURNIS = 1X600 = 600 mm

2-POUR LE L-2x2x0.188, VEUILLEZ CONSERVER L'AUTRE AILE INUTILISÉE, CAR ELLE EST UTILISÉE POUR PRODUIRE LES COUPONS DE 400 mm (SHEET-TYPE)
LONGUEUR TL FOURNIS = 2X600 = 1200 mm

3-POUR LE HSS-4x4x0.313 & HSS-6x6x0.313, LES COUPONS DOIVENT ÊTRE PRIS SUR LES PAROIS À 90deg DE LA SOUDURE ET AUTOUR DU CENTRE (B/2)
3 COUPONS PAR SECTION DE TUBE
LONGUEUR TL FOURNIS = 1X600 = 600 mm

4-POUR LE HSS-5x5x0.313, LES COUPONS DOIVENT ÊTRE PRIS SUR LES PAROIS À 90deg DE LA SOUDURE ET AUTOUR DU CENTRE (B/2)
3 COUPONS PAR SECTION DE TUBE
LONGUEUR TL FOURNIS = 2X600 = 1200 mm

TL COUPON A = 16 COUPONS

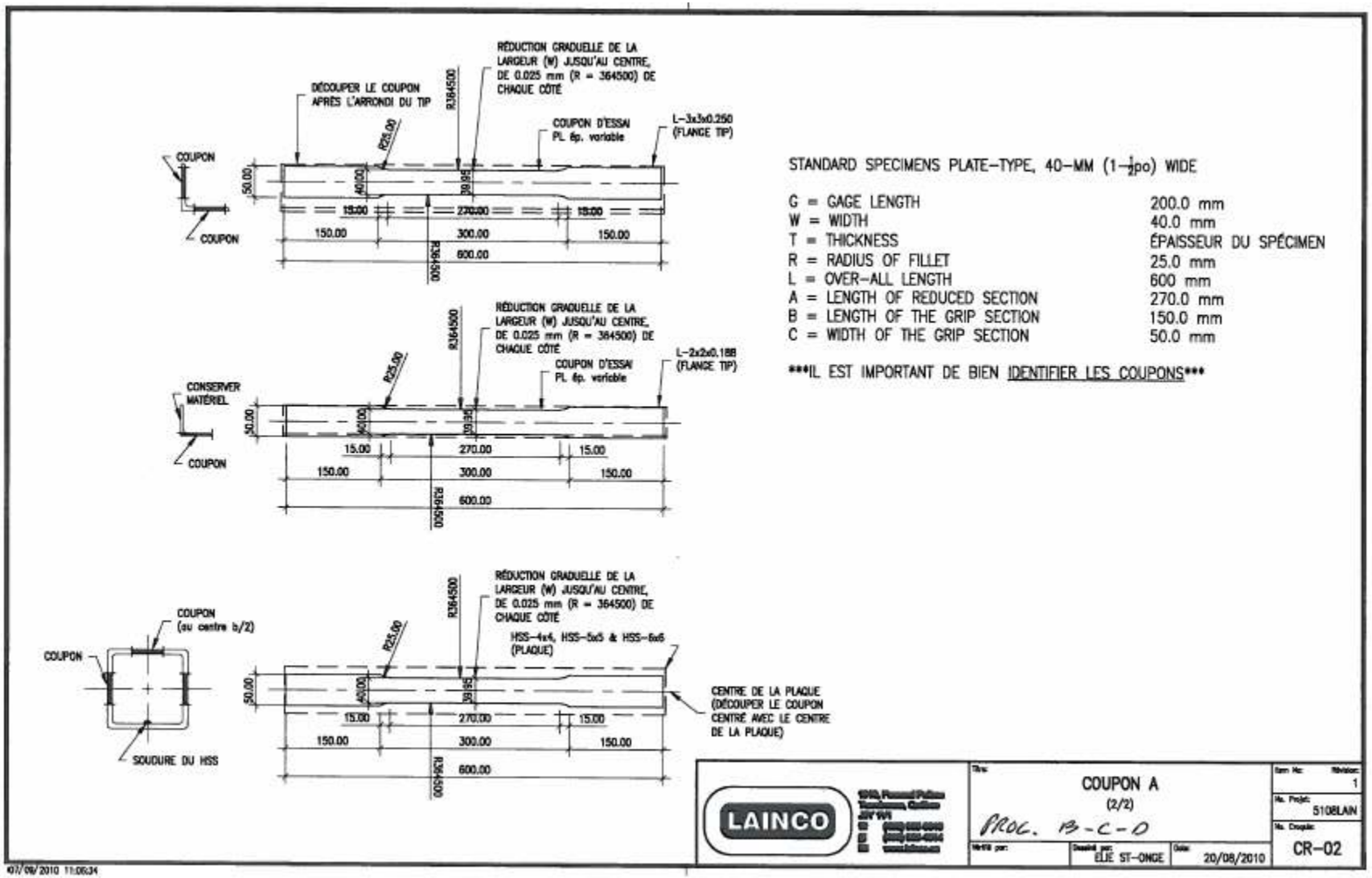
LAINCO

Titre: COUPON A (1/2)
Proc. B-C-D

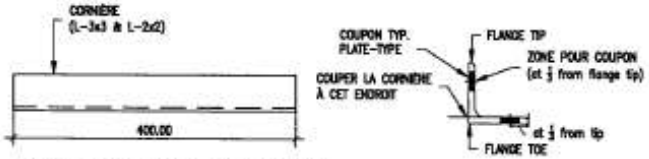
Item No: | Révision: 1
No. Projet: 5108LAIN
No. Dessin: CR-01
Vérifié par:
Dessiné par: ÉLIE ST-ONGE
Date: 20/08/2010

07/09/2010 11:08:04

Coupons Poly.



Coupons Poly



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 2e 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)

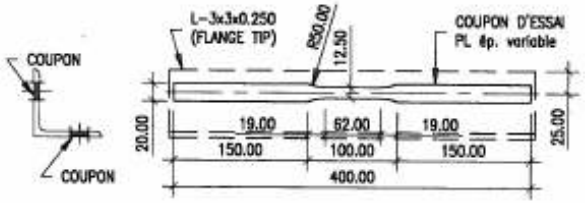
3-LES COUPONS DOIVENT ÊTRE PRÉLEVÉS DANS LES AILES, AU PREMIER TIERS À PARTIR DU BOUT DE L'AILE (TIP)

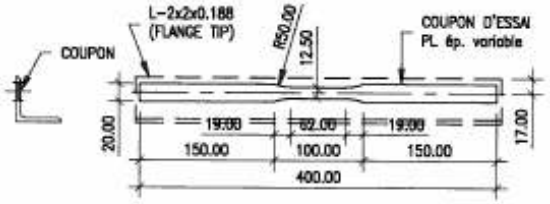
TL COUPON B = 4 COUPONS

LAINCO	Titre: COUPON B (1/2) PROG. B-C-D		Item No: 1
			No. Projet: 510BLAIN
	Vérifié par:	Dessiné par: ELIE ST-ONGE / Date: 20/08/2010	No. Dessin: CR-03

07/09/2010 11:07:04

Coupons Poly.





STANDARD SPECIMENS SHEET-TYPE, 12.5-MM (½po) 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

LAINCO

Titre: COUPON B (2/2)

PROG B-C-D

Item No: | Révision: 1

No. Projet: 510BLAIN

No. Croquis: CR-04

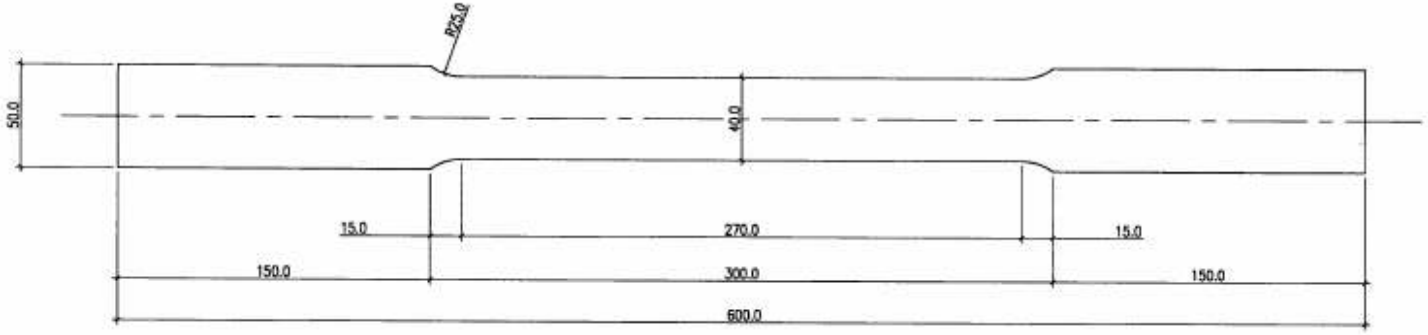
Vérifié par:

Dessiné par: ÉLIE ST-ONGE

Date: 20/08/2010

07/09/2010 11:07:43

Coupons Poly.



STANDARD SPECIMENS PLATE-TYPE, 40-MM (1-½po) 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

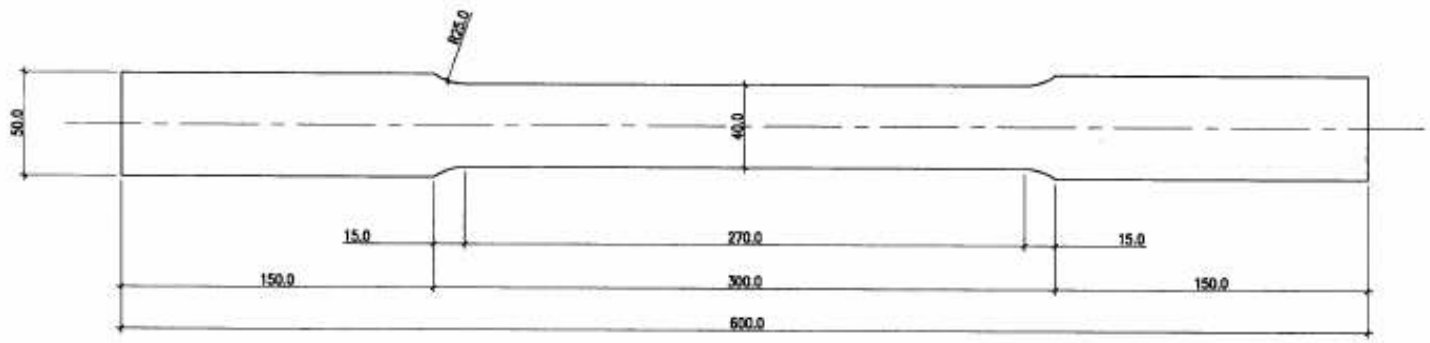
IL EST IMPORTANT DE BIEN IDENTIFIER LES COUPONS

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

LAINCO
1010, Fernand Poitras
Terrebonne, Québec
J6Y 1V1
☎ (450) 965-6010
(450) 965-1514
www.lainco.ca

Titre: COUPON 0.250
PROG. C-D-E
Item No: Révision:
No. Projet: RD-027
No. Croquis:
Vérifié par: E.ST-ONGE
Dessiné par: A.ROCQUE
Date: 2011-05-11

2011-09-11 14:39:20



STANDARD SPECIMENS PLATE-TYPE, 40-MM (1-½po) 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 0.250B (remplace COUPON 0.188 / FB 4.76x127x700 Lg)
FB 6.35x127 x 700 Lg. / 44W (PAR LAINCO)
2 REQUISES
TOLÉRANCE: ± 0.1mm

LAINCO

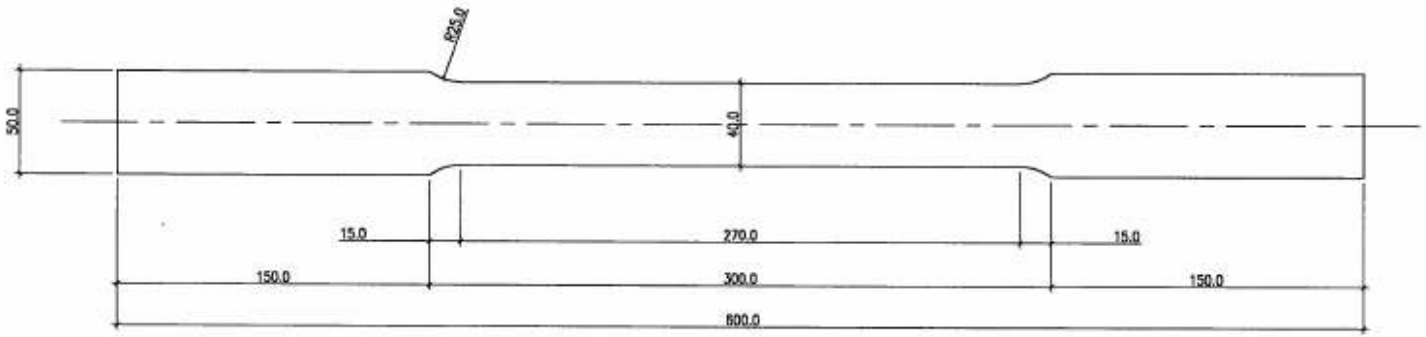
Titre: COUPON 0.250B

PROG. C-D-R

No. Projet: RD-027

Dessiné par: E.ST-ONGE | Vérifié par: A.ROCQUE | Date: 2011-05-25

24/05/2011 09:09:15



STANDARD SPECIMENS PLATE-TYPE, 40-MM (1-½po) 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

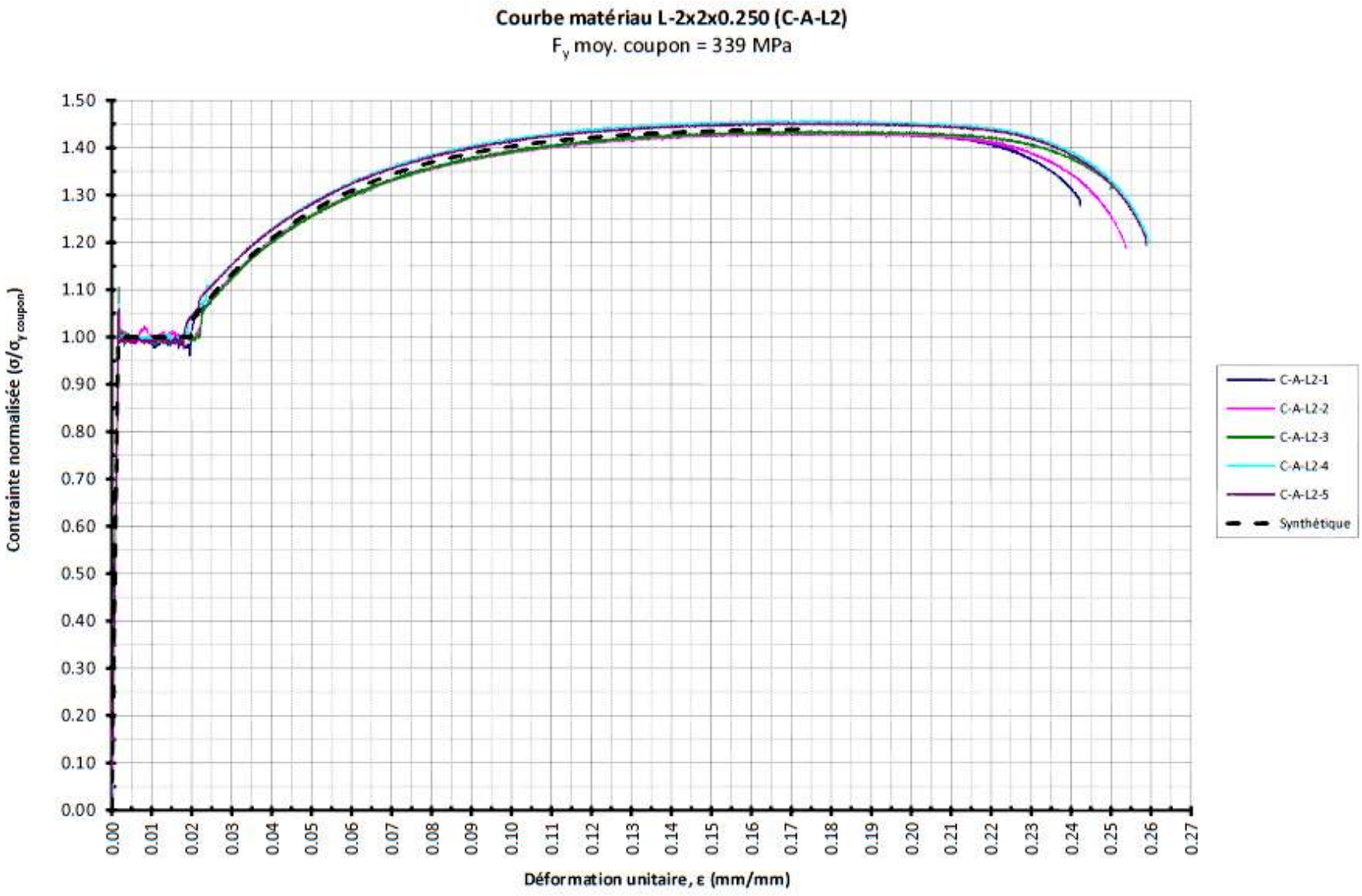
COUPON 0.313
FB 7.94x127 x 700 Lg. / 44W (PAR LAINCO)
2 REQUISES
TOLÉRANCE: ± 0.1mm

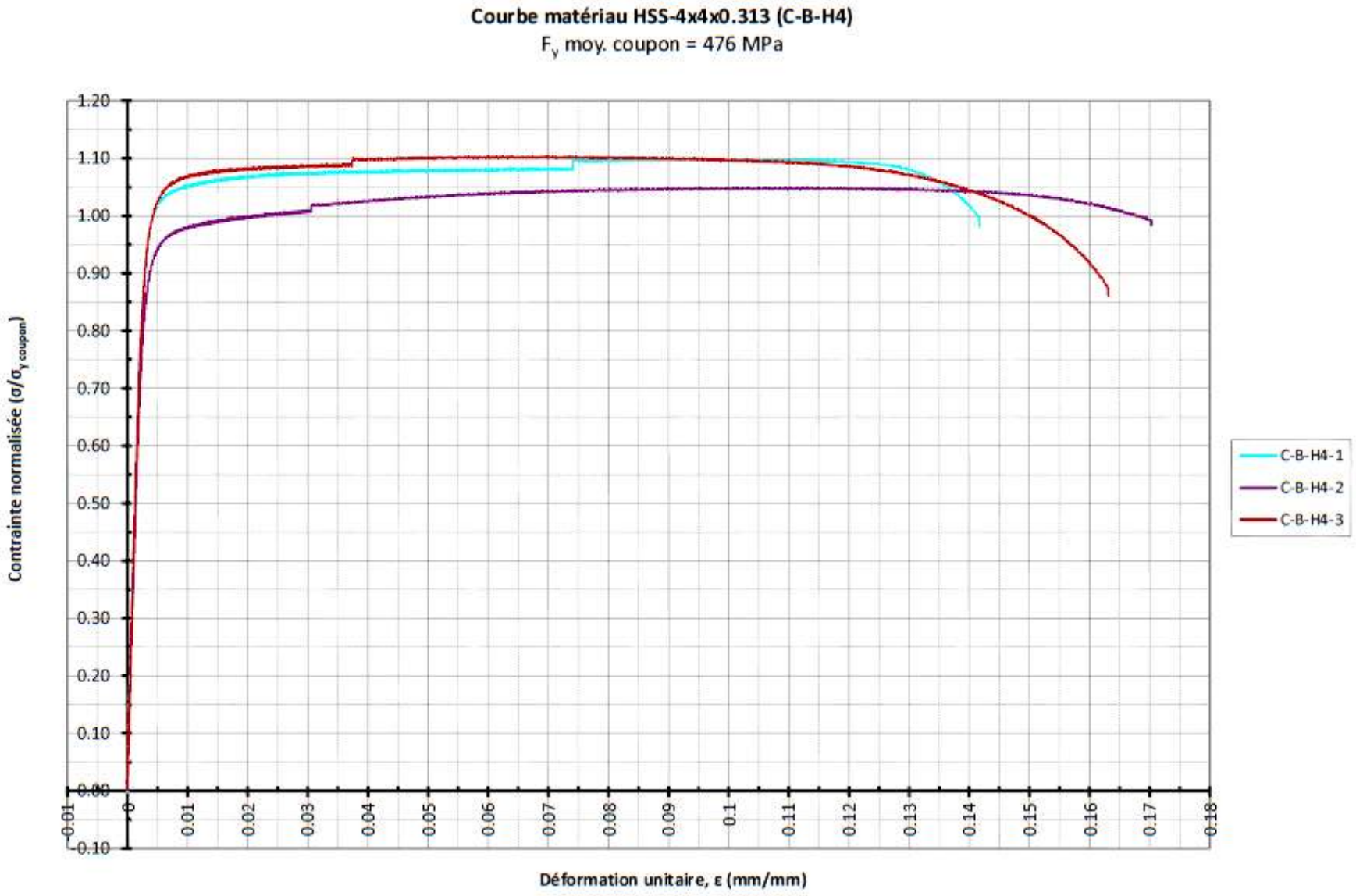
LAINCO
1010, Fernand Poitras
Terrebonne, Québec
J6Y 1V1
☎ (450) 965-6010
(450) 965-1514
www.lainco.ca

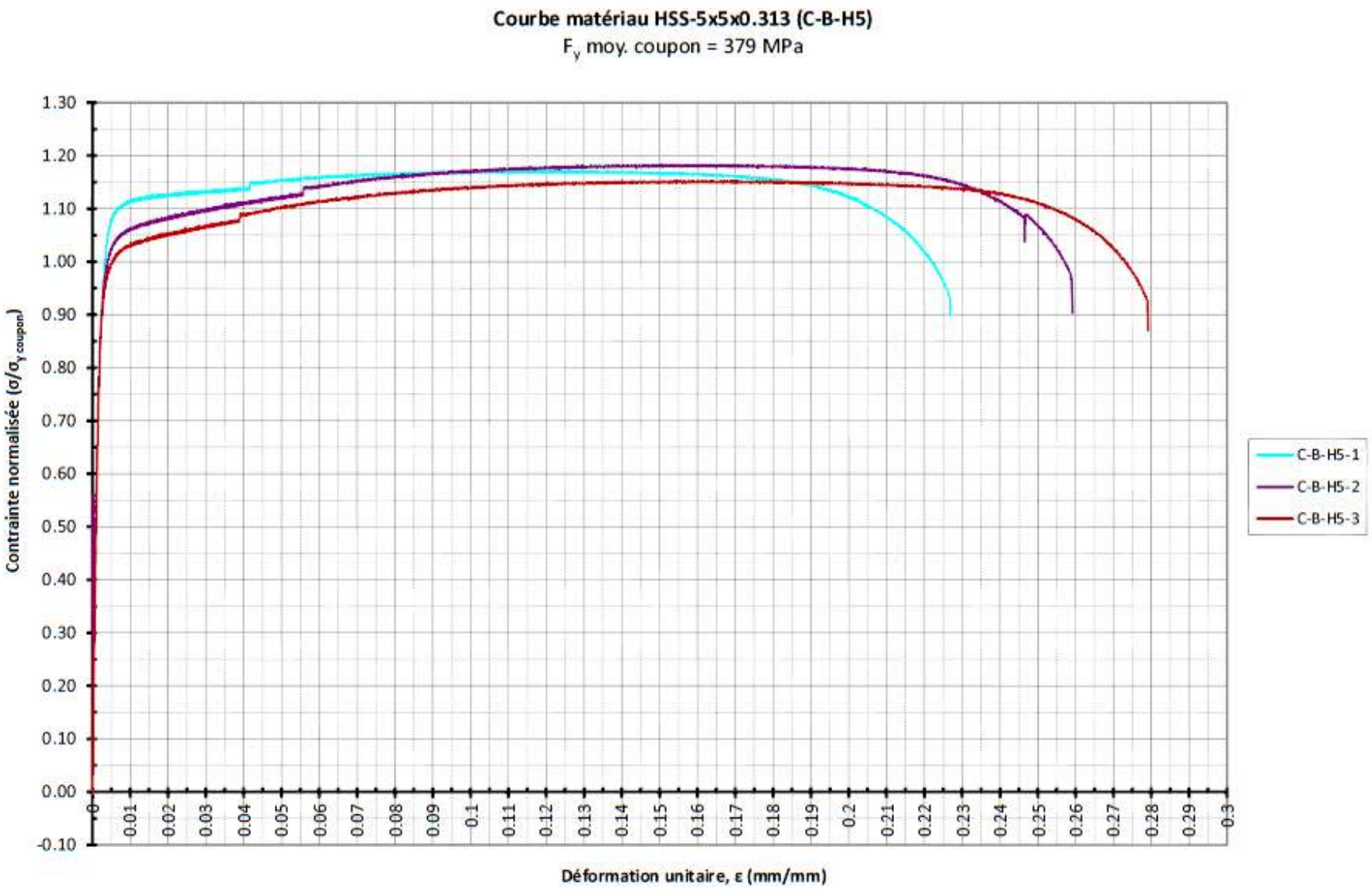
Titre: COUPON 0.313
PROG. C-D-R
Item No: Révision:
No. Projet: RD-027
No. Croquis:
Vérifié par: E.ST-ONGE
Dessiné par: A.ROCQUE
Date: 2011-05-11

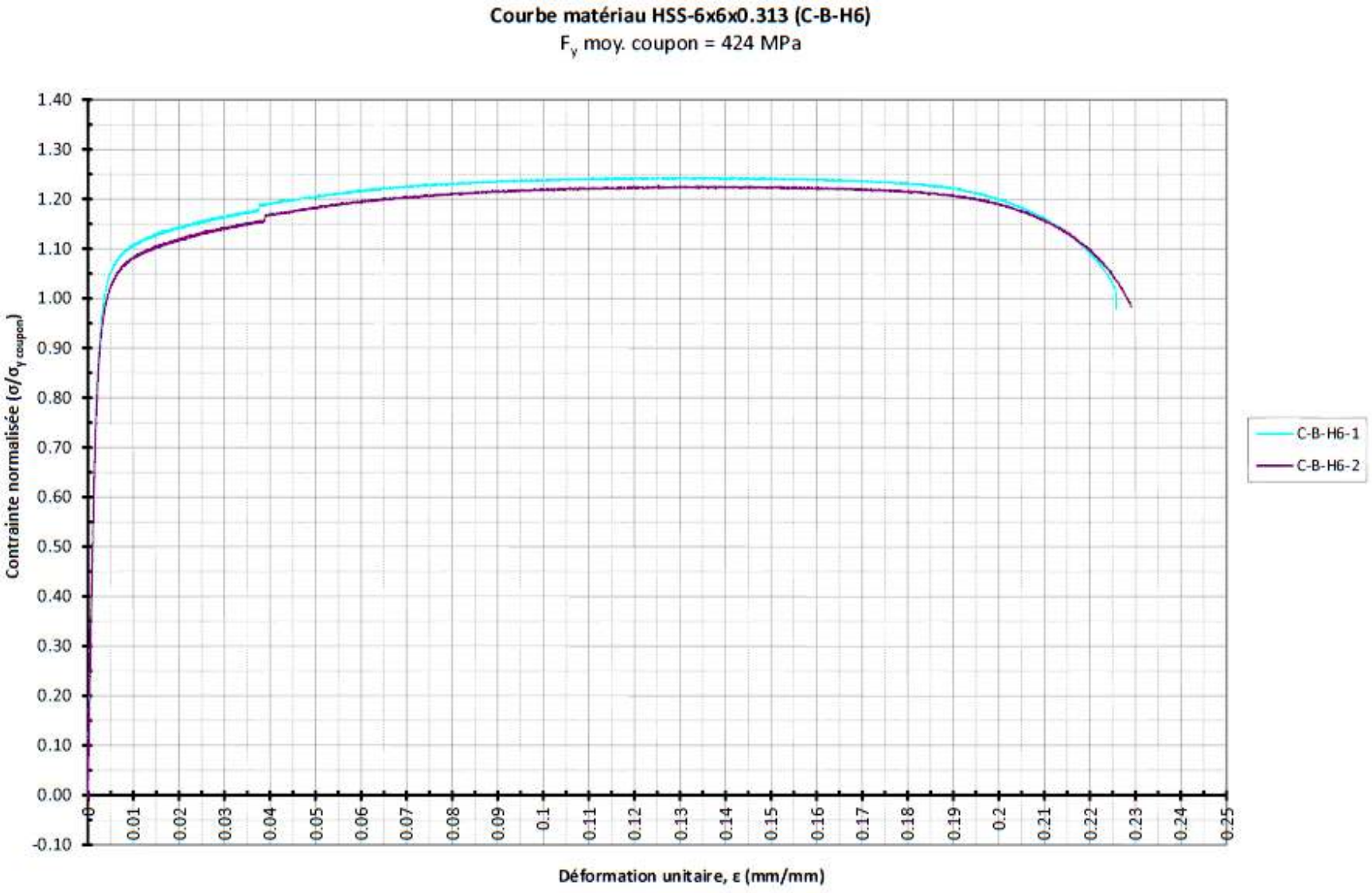
2011-05-11 14:59:45

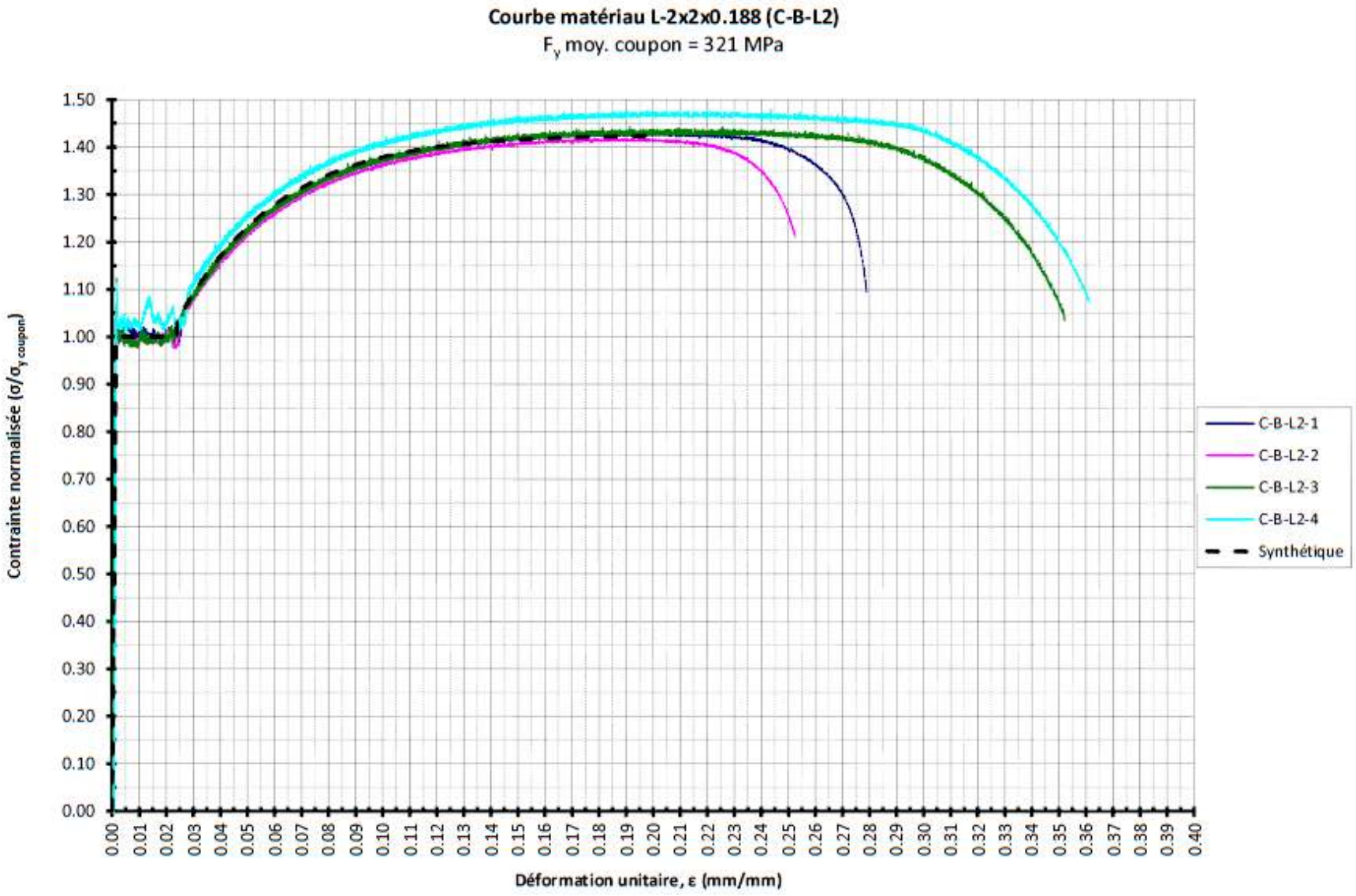
Prog.	Profilé	Id.	Fy	Fu	εy	εsh	εu	ε rupture	Rsh	Mills Fy	Mills Fu	Mills ε rupture	Notes
	_	_	(Mpa)	(Mpa)	(mm/mm)	(mm/mm)	(mm/mm)	(mm/mm)	(Fu/Fy)	(Mpa)	(Mpa)	(mm/mm)	_
A	L-51x51x6.4	C-A-L2-1	336.7	484.8	0.00168	0.020	0.175	0.242	1.44	n.d.	n.d.	n.d.	Aucune info
	gr. 300W	C-A-L2-2	341.7	484.4	0.00167	0.022	0.177	0.254	1.42				disponible
		C-A-L2-3	339.5	485.6	0.00166	0.022	0.178	0.251	1.43				sur la coulée
		C-A-L2-4	338.7	493.4	0.00165	0.019	0.174	0.260	1.46				Coupons 1 et 4 dans l'aile A
		C-A-L2-5	338.4	491.6	0.00166	0.018	0.175	0.259	1.45				Coupons 2,3 et 5 dans l'aile B
	Moyenne		**339.0**	**487.9**	**0.00166**	**0.020**	**0.176**	**0.253**	**1.44**				
B-C-D	HSS-102x102x8.0	C-B-H4-1	474.9	522.6	0.00220	0.005	0.098	0.142	1.10	486	565.8	0.265	* Lot provient de 2
	A500 gr. B&C	C-B-H4-2	440.6	498.9	0.00238	0.005	0.110	0.170	1.13	449.7	548.3	0.28	coulées et coupons
		C-B-H4-3	477.5	524.6	0.00234	0.005	0.066	0.163	1.10				pas même paroi
	Moyenne		**476.2**	**523.6**	**0.00227**	**0.005**	**0.082**	**0.152**	**1.10**				* Moyenne sur 1 et 3
B-C-D	HSS-127x127x8.0	C-B-H5-1	395.0	443.2	0.00195	0.005	0.118	0.227	1.12	436.1	500.6	0.306	* Coupons pas
	A500 gr. B&C	C-B-H5-2	376.3	447.5	0.00186	0.005	0.159	0.259	1.19				même paroi
		C-B-H5-3	365.8	436.1	0.00172	0.005	0.163	0.279	1.19				
	Moyenne		**371.1**	**441.8**	**0.00180**	**0.005**	**0.161**	**0.269**	**1.19**				* Moyenne sur 2 et 3
B-C-D	HSS-152x152x8.0	C-B-H6-1	429.4	526.0	0.00187	0.005	0.132	0.226	1.22	452	534	0.38	* Coupons pas
	A500 gr. B&C	C-B-H6-2	417.9	518.3	0.00192	0.005	0.136	0.229	1.24				même paroi
	Moyenne		**423.6**	**522.1**	**0.00189**	**0.005**	**0.134**	**0.227**	**1.23**				* 2 coupons seul.
B-C-D	L-51x51x4.8	C-B-L2-1	322.1	457.2	0.00150	0.025	0.195	0.279	1.42	321.3	459.2	0.274	* Moyenne sur
	gr. 300W	C-B-L2-2	319.2	453.4	0.00152	0.024	0.189	0.252	1.42	326.8	465.4	0.281	coupons 1,2 et 3
		C-B-L2-3	320.4	458.6	0.00146	0.023	0.211	0.352	1.43				sauf pour $\varepsilon_{rupt.}$
		C-B-L2-4	329.2	470.5	0.00150	0.027	0.208	0.361	1.43				* 1 et 2 : 200 mm
	Moyenne		**320.6**	**456.4**	**0.00149**	**0.024**	**0.198**	**0.266**	**1.42**				* 3 et 4 : 50 mm
B-C-D	L-76x76x6.4	C-B-L3-1	313.7	444.5	0.00157	0.021	0.197	0.282	1.42	339.9	470.19	0.331	* Moyenne sur
	gr. 300W	C-B-L3-2	326.0	464.6	0.00159	0.022	0.185	0.267	1.43	339.87	468.35	0.331	coupons 2,3 et 4
		C-B-L3-3	325.3	458.5	0.00163	0.022	0.191	0.337	1.41				sauf pour $\varepsilon_{rupt.}$
		C-B-L3-4	325.4	463.1	0.00163	0.018	0.190	0.357	1.42				* 1 et 2 : 200 mm
	Moyenne		**325.6**	**462.1**	**0.00160**	**0.021**	**0.191**	**0.275**	**1.42**				* 3 et 4 : 50 mm
C-D-E	PL-127x6.4	C-B-P250-1	331.7	486.4					1.47	355.77	487.94	0.325	* Seul. coupon 3 de
	gr. 300W	C-B-P250-2	332.7	488.9					1.47	363.91	489.46	0.325	disp. pour contrainte
		C-B-P250-3	326.2	481.4	0.00160	0.023	0.202	0.281	1.48				(prob. avec extensomètre)
		C-B-P250-4	324.2	478.4					1.48				* Moyenne Fy et Fu sur
		C-B-P250-5	330.4	505.9					1.53				coupons 3,4 et 6
		C-B-P250-6	322.1	479.3					1.49				* 1 et 2 découpé au plasma;
	Moyenne		**324.2**	**479.7**	**0.00160**	**0.023**	**0.202**	**0.281**	**1.48**				3,4,5 et 6 usiné
C-D-E	PL-127x8.0	C-B-P313-1	417.1	587.7	0.00221	0.017	0.105	0.107	1.41	453.47	611.08	0.25	* Moyenne Fy et Fu sur
	gr. 300W	C-B-P313-2	413.1	588.2	0.00219	0.018	0.126	0.137	1.42	453.19	610.81	0.265	coupons 3 et 4
		C-B-P313-3	410.5	581.7	0.00206	0.017	0.148	0.219	1.42				* 1,2,5 et 6 découpé au
		C-B-P313-4	414.9	587.0	0.00202	0.018	0.148	0.209	1.41				plasma; 3 et 4 usiné
		C-B-P313-5	422.0	596.2					1.41				
		C-B-P313-6	431.4	599.8					1.39				
	Moyenne		**412.7**	**584.4**	**0.00212**	**0.018**	**0.148**	**0.214**	**1.41**				

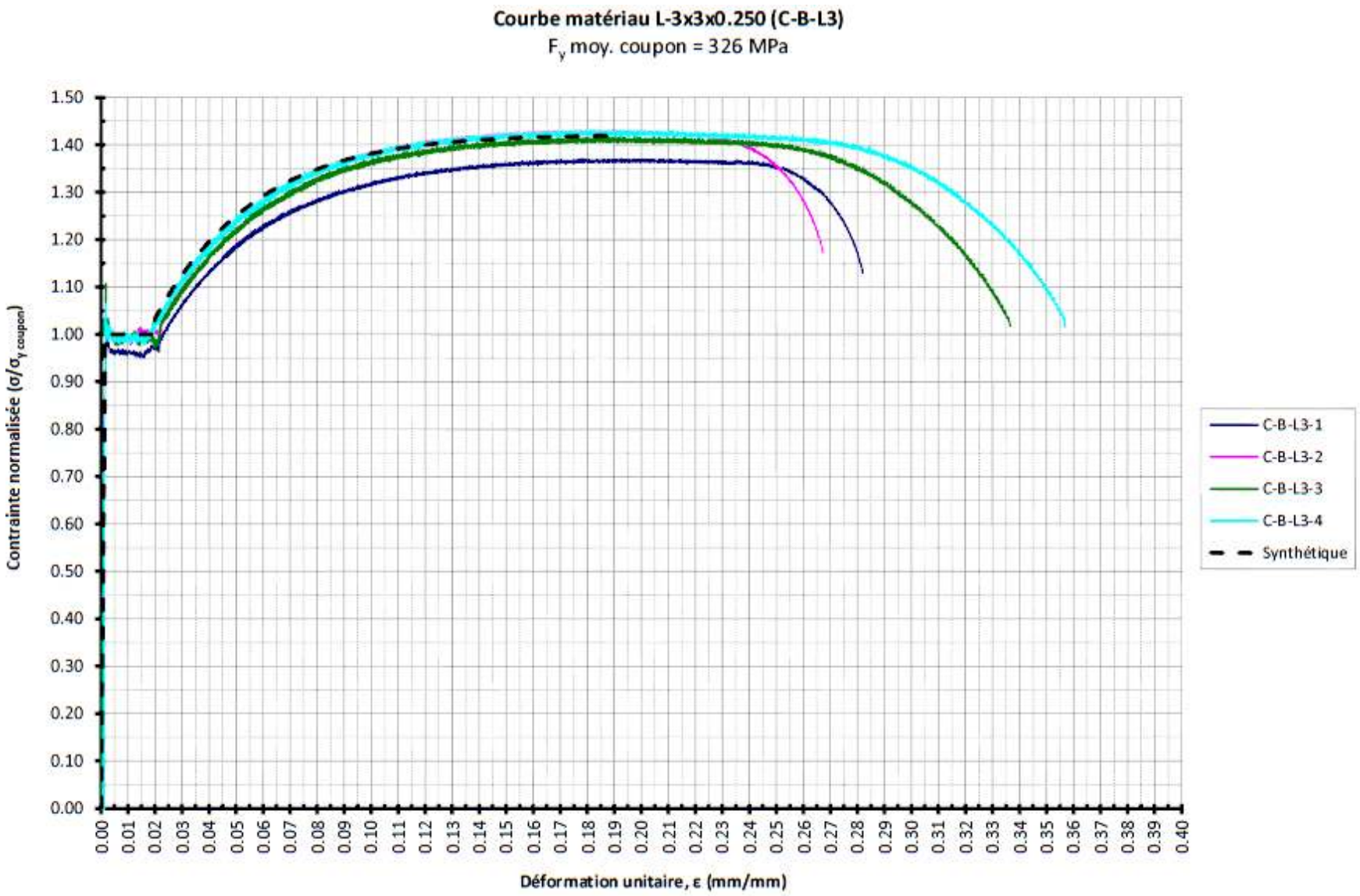

Courbe matériau L-2x2x0.250 (C-A-L2)
F_y moy. coupon = 339 MPa
Contrainte normalisée ($\sigma/\sigma_{Y\ coupon}$)
1.50
1.40
1.30
1.20
1.10
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
0.00 0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.07 0.08 0.09 0.10 0.11 0.12 0.13 0.14 0.15 0.16 0.17 0.18 0.19 0.20 0.21 0.22 0.23 0.24 0.25 0.26 0.27
Déformation unitaire, ε (mm/mm)
C-A-L2-1
C-A-L2-2
C-A-L2-3
C-A-L2-4
C-A-L2-5
Synthétique

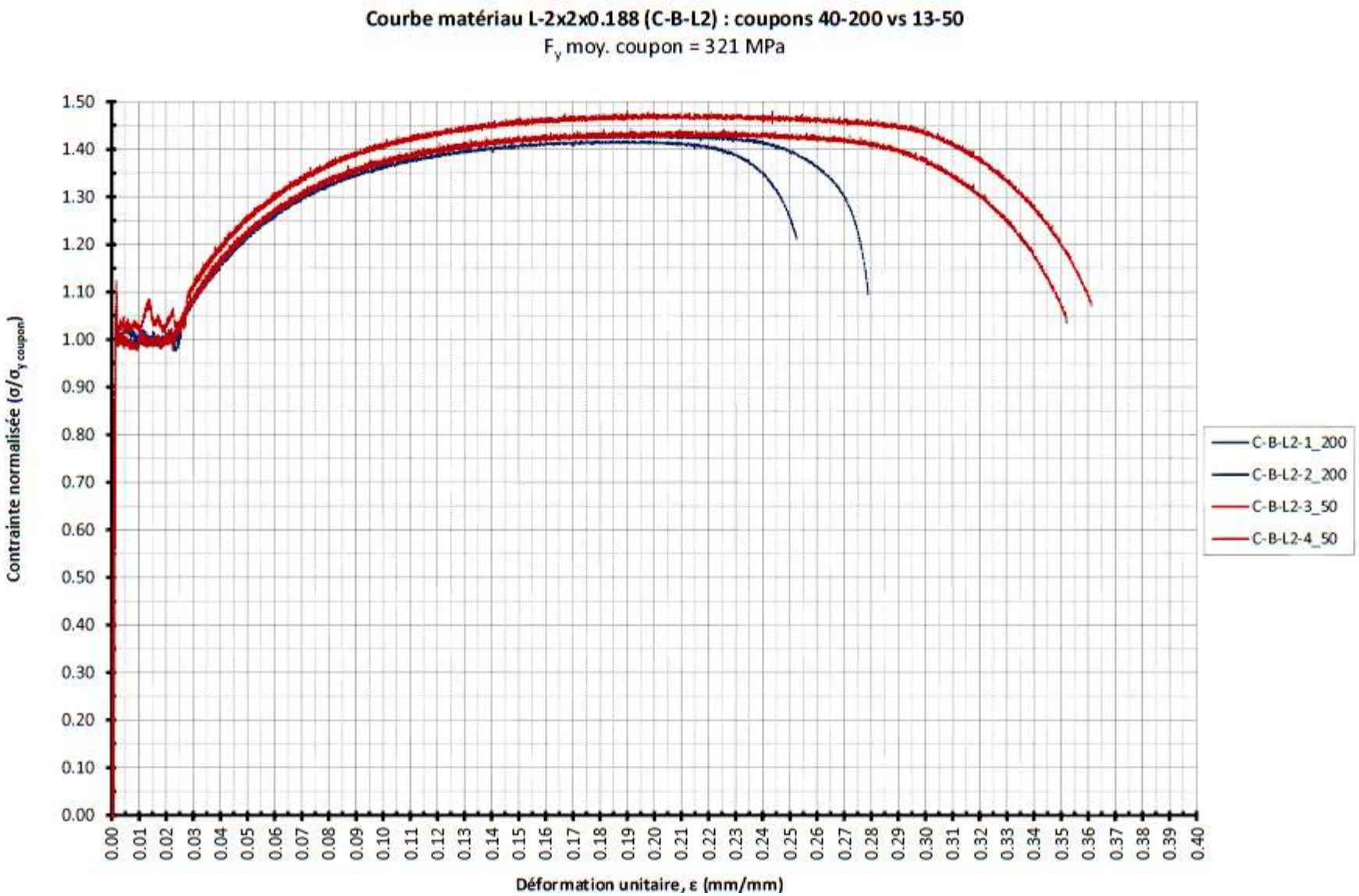

Courbe matériau HSS-4x4x0.313 (C-B-H4)
F_y moy. coupon = 476 MPa
Contrainte normalisée ($\sigma/\sigma_{y\ coupon}$)
1.20
1.10
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
-0.10
-0.01
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
0.06
0.07
0.08
0.09
0.1
0.11
0.12
0.13
0.14
0.15
0.16
0.17
0.18
Déformation unitaire, ε (mm/mm)
C-B-H4-1
C-B-H4-2
C-B-H4-3

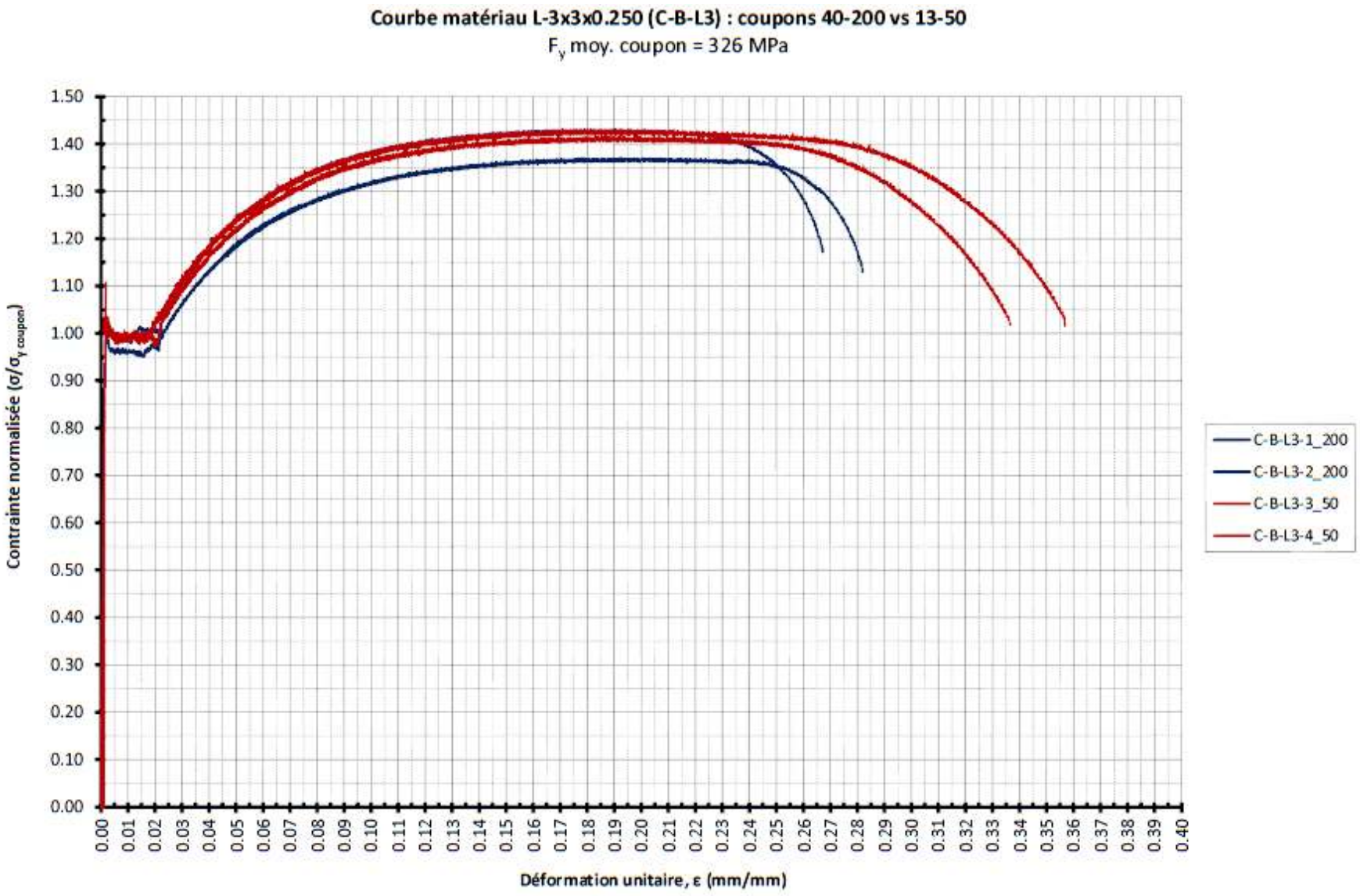

Courbe matériau HSS-5x5x0.313 (C-B-H5)
F_y moy. coupon = 379 MPa
Contrainte normalisée ($\sigma/\sigma_{y\,coupon}$)
1.30
1.20
1.10
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
-0.10
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
0.06
0.07
0.08
0.09
0.1
0.11
0.12
0.13
0.14
0.15
0.16
0.17
0.18
0.19
0.2
0.21
0.22
0.23
0.24
0.25
0.26
0.27
0.28
0.29
0.3
Déformation unitaire, ε (mm/mm)
C-B-H5-1
C-B-H5-2
C-B-H5-3

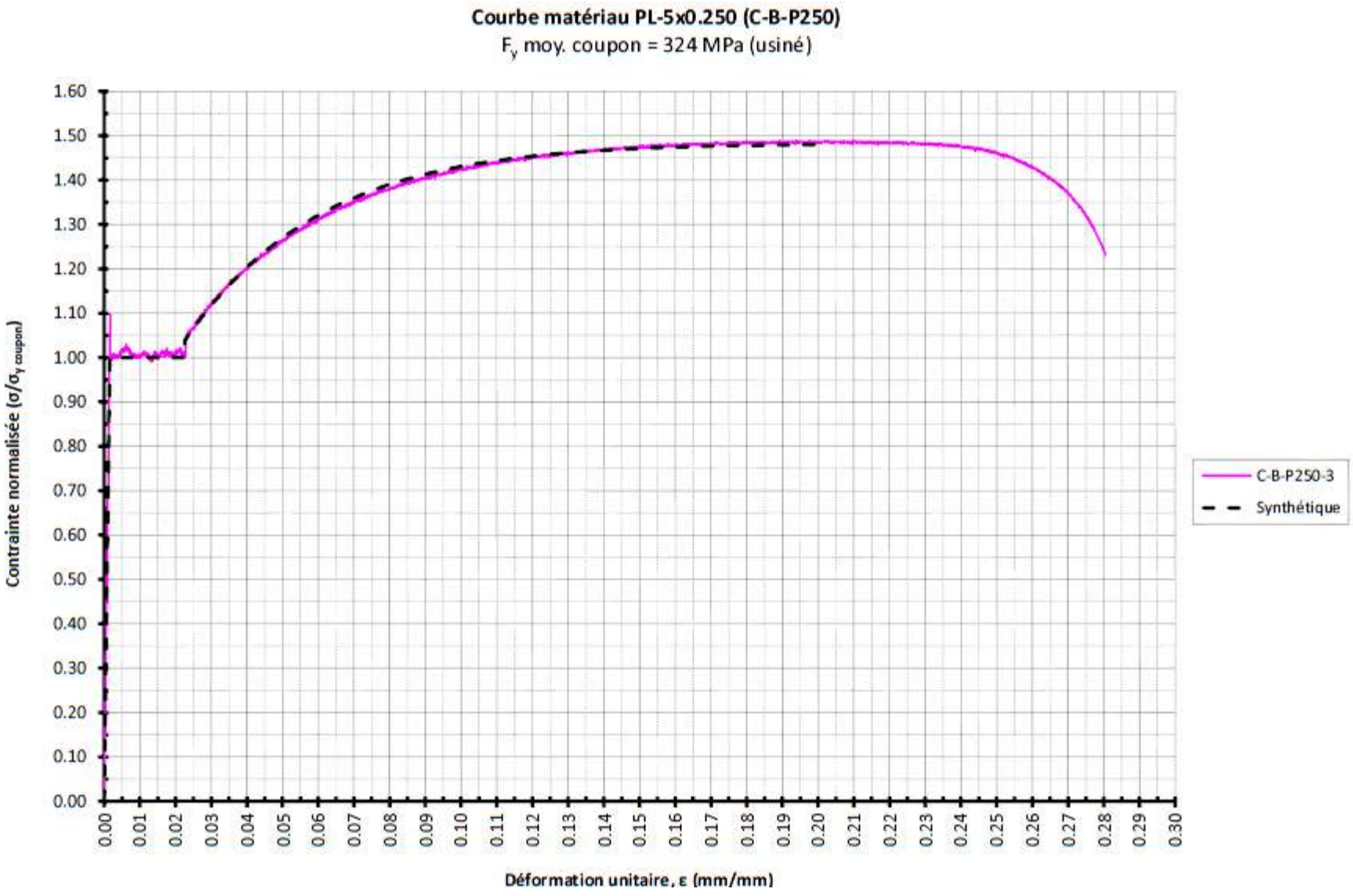

Courbe matériau HSS-6x6x0.313 (C-B-H6)
F_y moy. coupon = 424 MPa
Contrainte normalisée (σ/σ_y coupon)
1.40
1.30
1.20
1.10
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
-0.10
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
0.06
0.07
0.08
0.09
0.1
0.11
0.12
0.13
0.14
0.15
0.16
0.17
0.18
0.19
0.2
0.21
0.22
0.23
0.24
0.25
Déformation unitaire, ε (mm/mm)
C-B-H6-1
C-B-H6-2

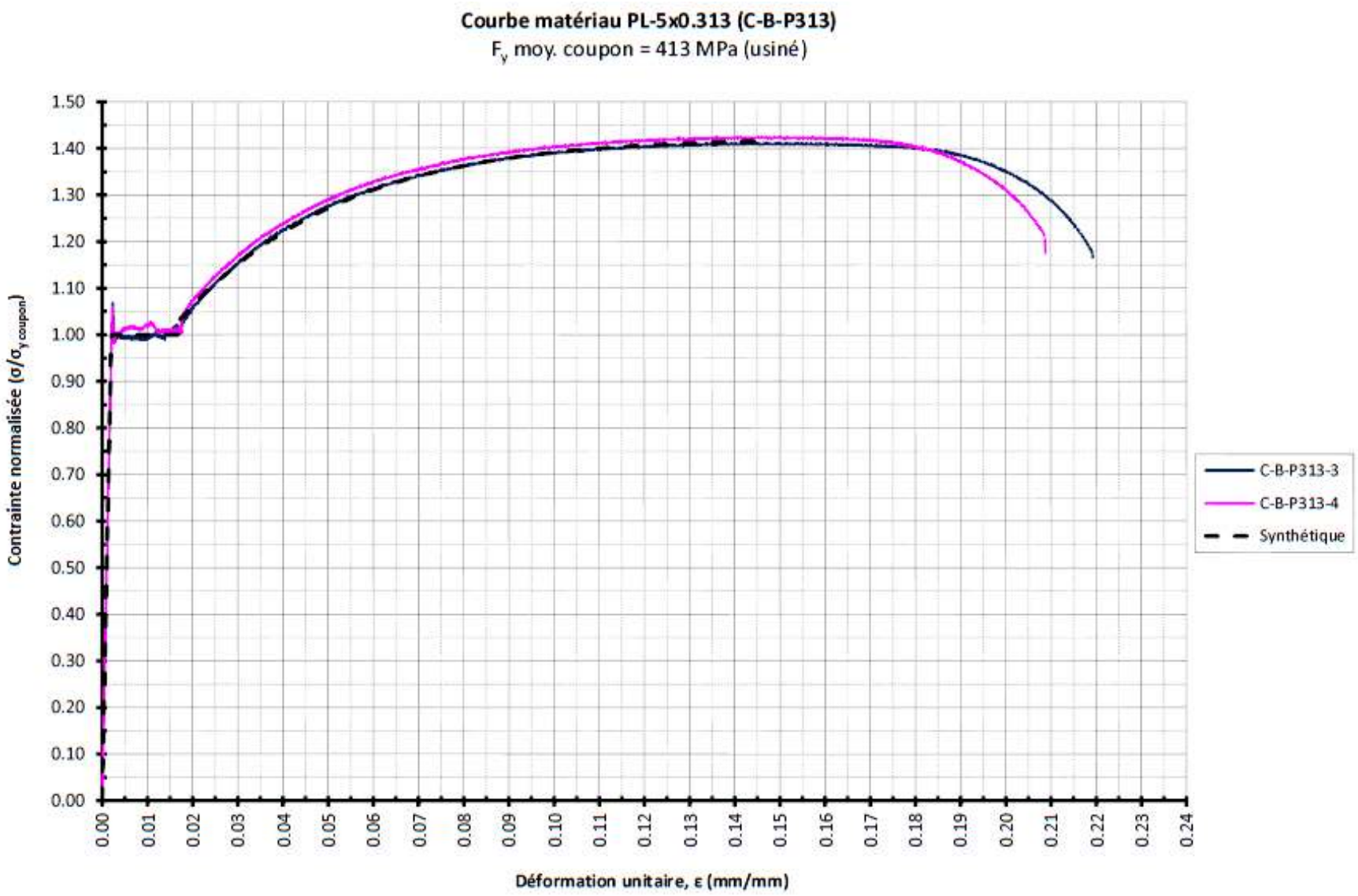

Courbe matériau L-2x2x0.188 (C-B-L2)
F_y moy. coupon = 321 MPa
Contrainte normalisée ($\sigma/\sigma_{y\ coupon}$)
1.50
1.40
1.30
1.20
1.10
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
0.00 0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.07 0.08 0.09 0.10 0.11 0.12 0.13 0.14 0.15 0.16 0.17 0.18 0.19 0.20 0.21 0.22 0.23 0.24 0.25 0.26 0.27 0.28 0.29 0.30 0.31 0.32 0.33 0.34 0.35 0.36 0.37 0.38 0.39 0.40
Déformation unitaire, ε (mm/mm)
C-B-L2-1
C-B-L2-2
C-B-L2-3
C-B-L2-4
Synthétique


Courbe matériau L-3x3x0.250 (C-B-L3)
F_y moy. coupon = 326 MPa
Contrainte normalisée ($\sigma/\sigma_{y\ coupon}$)
1.50
1.40
1.30
1.20
1.10
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
0.00 0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.07 0.08 0.09 0.10 0.11 0.12 0.13 0.14 0.15 0.16 0.17 0.18 0.19 0.20 0.21 0.22 0.23 0.24 0.25 0.26 0.27 0.28 0.29 0.30 0.31 0.32 0.33 0.34 0.35 0.36 0.37 0.38 0.39 0.40
Déformation unitaire, ε (mm/mm)
C-B-L3-1
C-B-L3-2
C-B-L3-3
C-B-L3-4
Synthétique


Courbe matériau L-2x2x0.188 (C-B-L2) : coupons 40-200 vs 13-50
F_y moy. coupon = 321 MPa
Contrainte normalisée ($\sigma/\sigma_{y\ coupon}$)
1.50
1.40
1.30
1.20
1.10
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
0.00 0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.07 0.08 0.09 0.10 0.11 0.12 0.13 0.14 0.15 0.16 0.17 0.18 0.19 0.20 0.21 0.22 0.23 0.24 0.25 0.26 0.27 0.28 0.29 0.30 0.31 0.32 0.33 0.34 0.35 0.36 0.37 0.38 0.39 0.40
Déformation unitaire, ε (mm/mm)
C-B-L2-1_200
C-B-L2-2_200
C-B-L2-3_50
C-B-L2-4_50

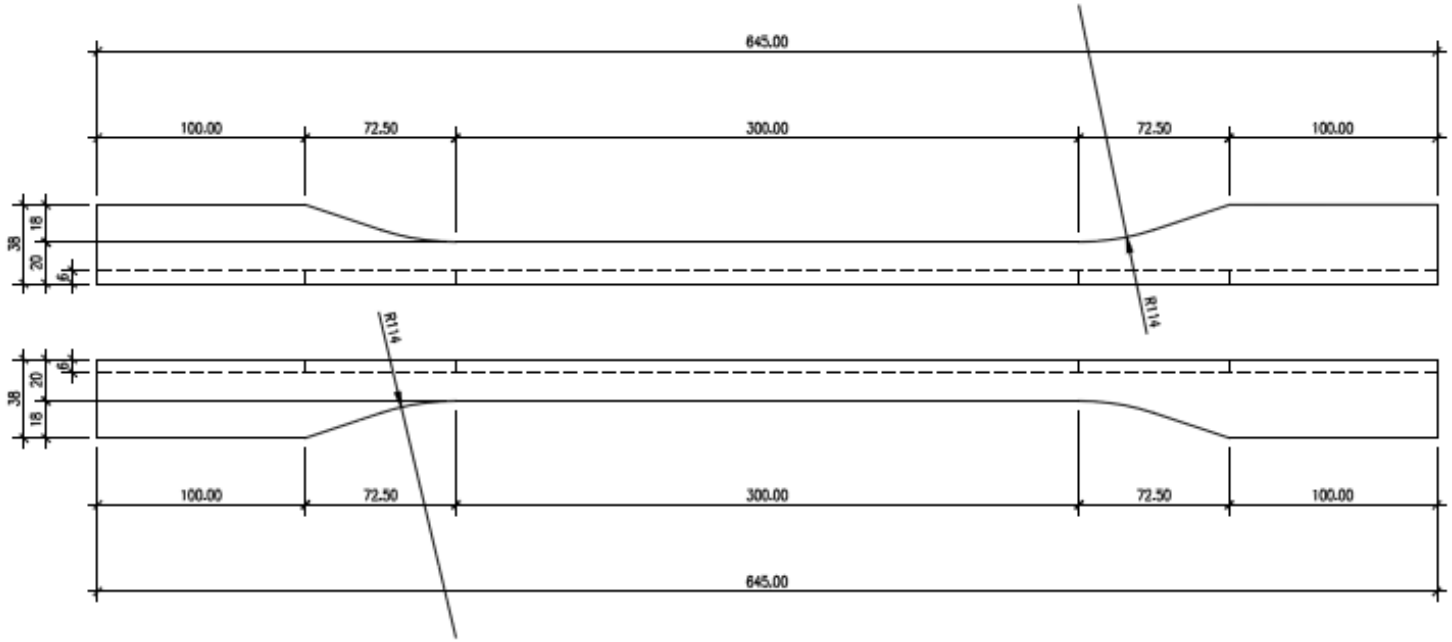

Courbe matériau L-3x3x0.250 (C-B-L3) : coupons 40-200 vs 13-50
F_y moy. coupon = 326 MPa
Contrainte normalisée ($\sigma/\sigma_{Y\ coupon}$)
1.50
1.40
1.30
1.20
1.10
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
0.00 0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.07 0.08 0.09 0.10 0.11 0.12 0.13 0.14 0.15 0.16 0.17 0.18 0.19 0.20 0.21 0.22 0.23 0.24 0.25 0.26 0.27 0.28 0.29 0.30 0.31 0.32 0.33 0.34 0.35 0.36 0.37 0.38 0.39 0.40
Déformation unitaire, ε (mm/mm)
C-B-L3-1_200
C-B-L3-2_200
C-B-L3-3_50
C-B-L3-4_50


Courbe matériau PL-5x0.250 (C-B-P250)
F_y moy. coupon = 324 MPa (usiné)
Contrainte normalisée ($\sigma/\sigma_{y\ coupon}$)
1.60
1.50
1.40
1.30
1.20
1.10
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
0.00 0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.07 0.08 0.09 0.10 0.11 0.12 0.13 0.14 0.15 0.16 0.17 0.18 0.19 0.20 0.21 0.22 0.23 0.24 0.25 0.26 0.27 0.28 0.29 0.30
Déformation unitaire, ε (mm/mm)
C-B-P250-3
Synthétique


Courbe matériau PL-5x0.313 (C-B-P313)
F_y moy. coupon = 413 MPa (usiné)
Contrainte normalisée ($\sigma/\sigma_{y\ coupon}$)
1.50
1.40
1.30
1.20
1.10
1.00
0.90
0.80
0.70
0.60
0.50
0.40
0.30
0.20
0.10
0.00
0.00 0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.07 0.08 0.09 0.10 0.11 0.12 0.13 0.14 0.15 0.16 0.17 0.18 0.19 0.20 0.21 0.22 0.23 0.24
Déformation unitaire, ε (mm/mm)
C-B-P313-3
C-B-P313-4
Synthétique

ANNEXE 2 – Programme expérimental A

Effet des défauts



F-A-38-20-0-0-1/1
L-2"x2"x¼" / 50W (FOURNI PAR LAINCO)
3 REQUIS

LAINCO

Title: FUSIBLE SÉRIE A

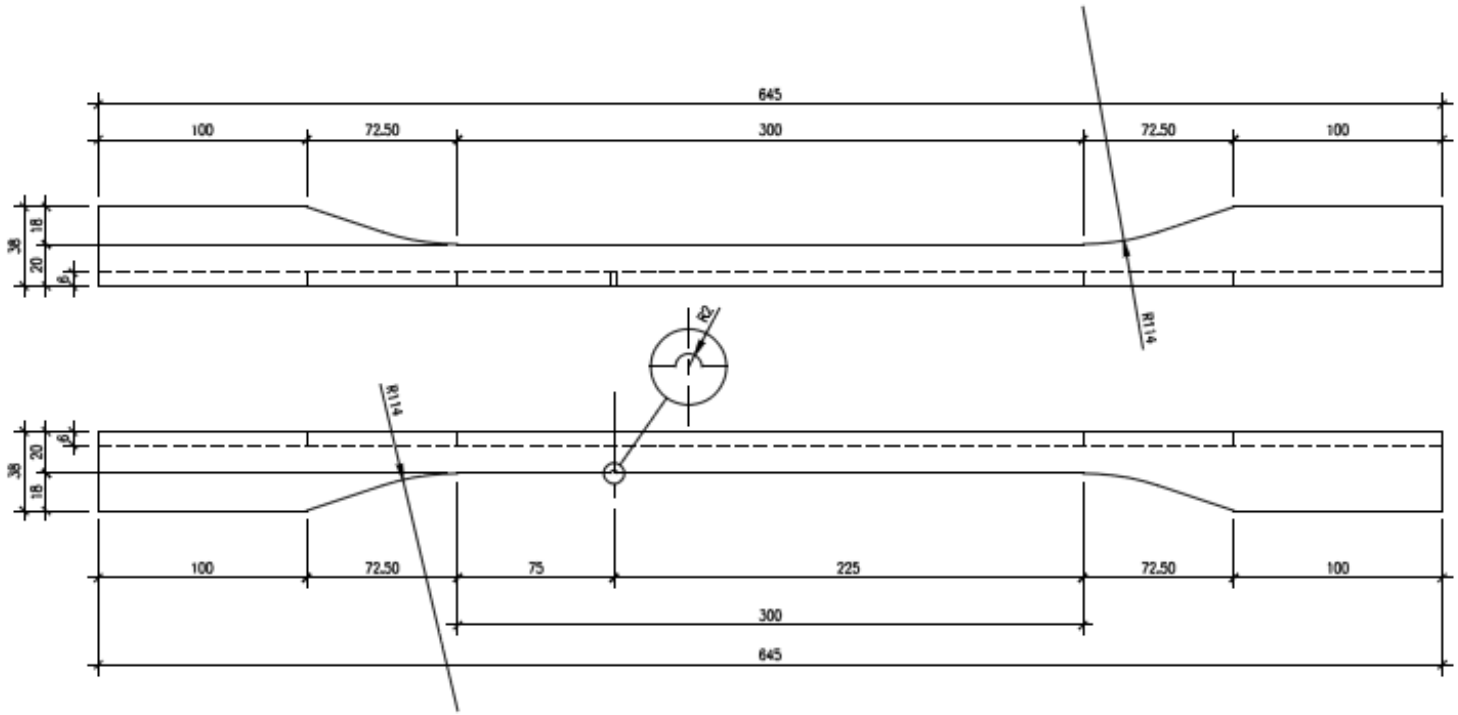
Item No: Revision

No. Projet

No. Croquis CR-02

Verifié par: Dessiné par: Date:

2009-07-06 13:20:30



F-A-38-20-1R-2-1/3
L-2"x2"x¼" / 50W (FOURNI PAR LAINCO)
3 REQUIS

NOTE: DÉFAUT SEULEMENT
SUR UNE DES DEUX AILES.

LAINCO

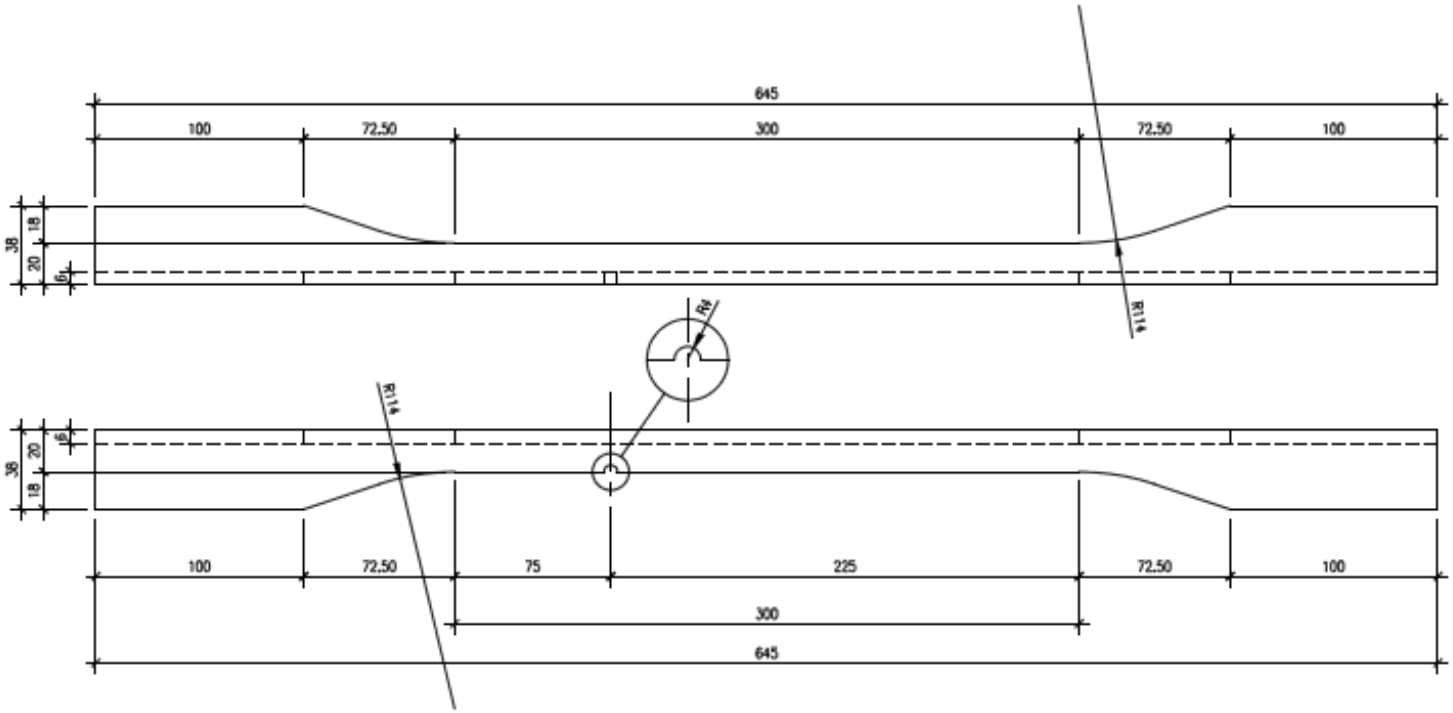
Titre: FUSIBLE SÉRIE A

No. Projet:

No. Dessin: CR-03

Vérifié par: Dessiné par: Date:

2009-07-06 13:21:00



F-A-38-20-1R-4-2/3
L-2"x2"x¼" / 50W (FOURNI PAR LAINCO)
3 REQUIS

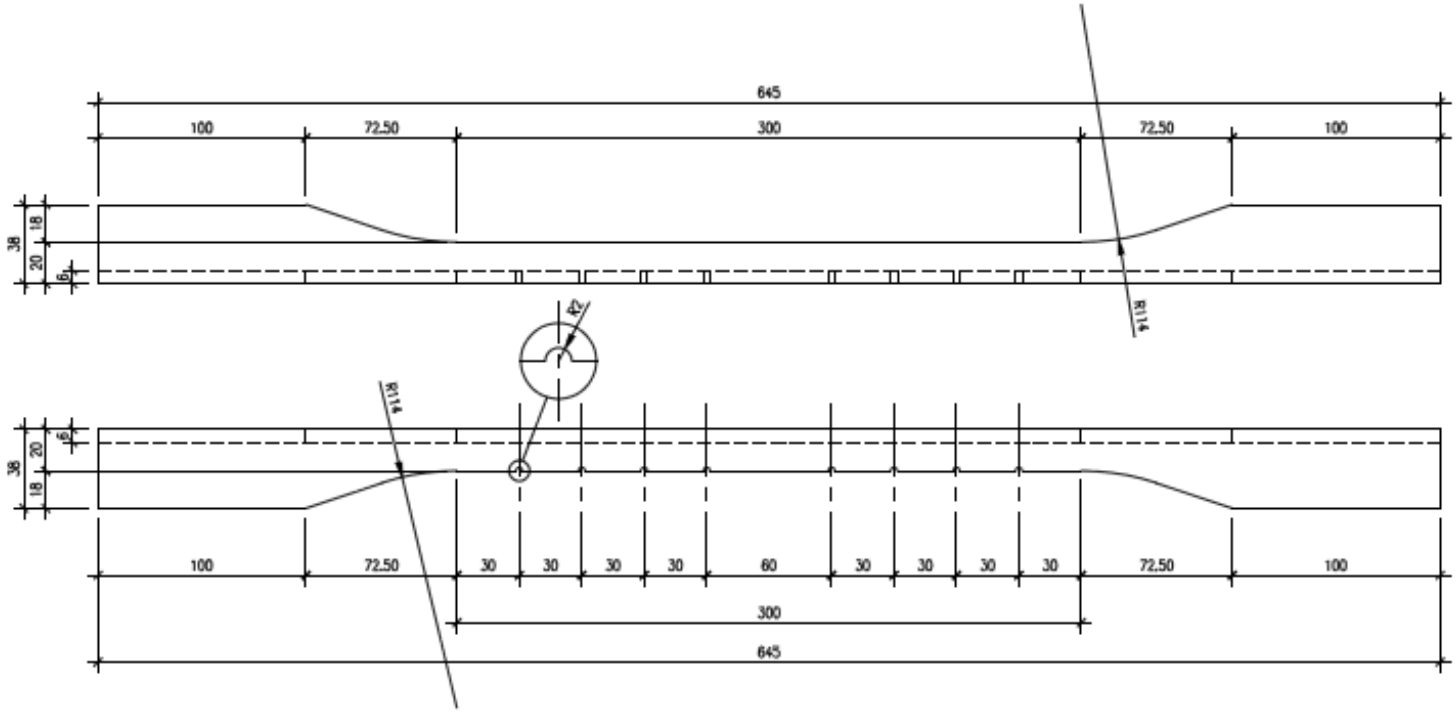
NOTE: DÉFAUT SEULEMENT
SUR UNE DES DEUX AILES.

LAINCO

FUSIBLE SÉRIE A

CR-04

2009-07-06 13:23:26



F-A-38-20-8R-2-3/3
L-2"x2"x¼" / 50W (FOURNI PAR LAINCO)
3 REQUIS

NOTE: DÉFAUT SEULEMENT
SUR UNE DES DEUX AILES.

LAINCO

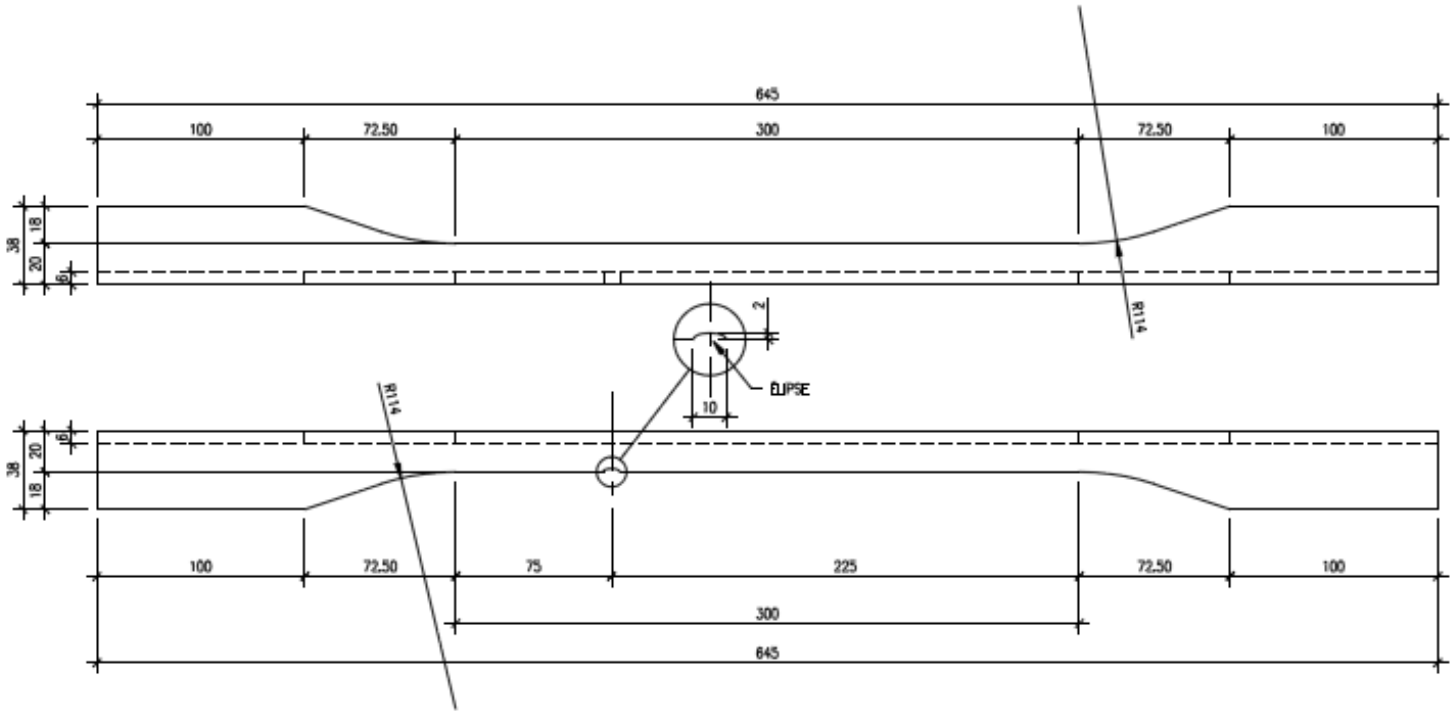
Titre: FUSIBLE SÉRIE A

No. Projet:

No. Croquis: CR-05

Vérifié par: Dessiné par: Date:

2009-07-06 13:23:53



F-A-38-20-1E-2/10-1/1
L-2"x2"x¼" / 50W (FOURNI PAR LAINCO)
3 REQUIS

NOTE: DÉFAUT SEULEMENT
SUR UNE DES DEUX AILES.

LAINCO

Titre: FUSIBLE SÉRIE A

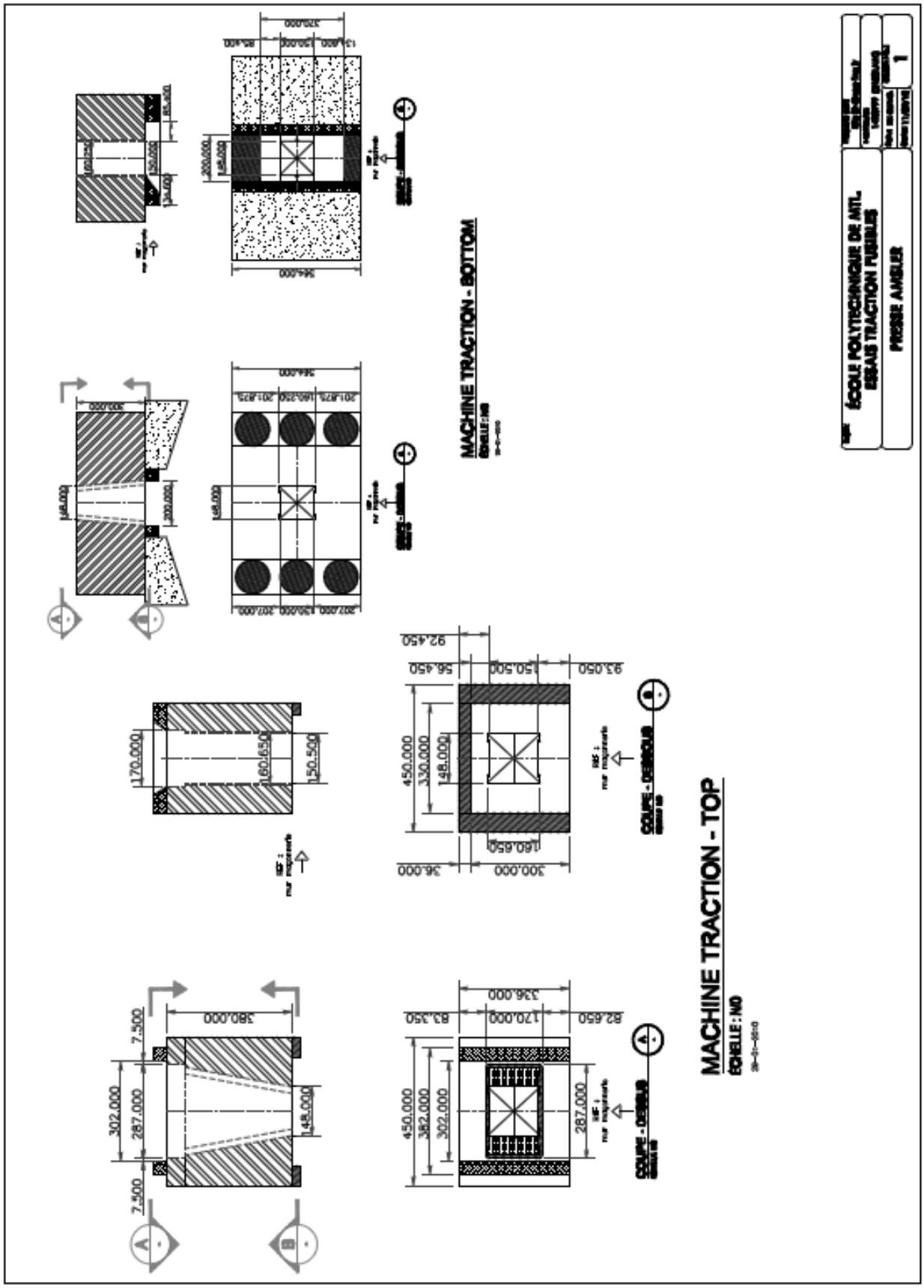
Vérifié par: Dessiné par: Date:

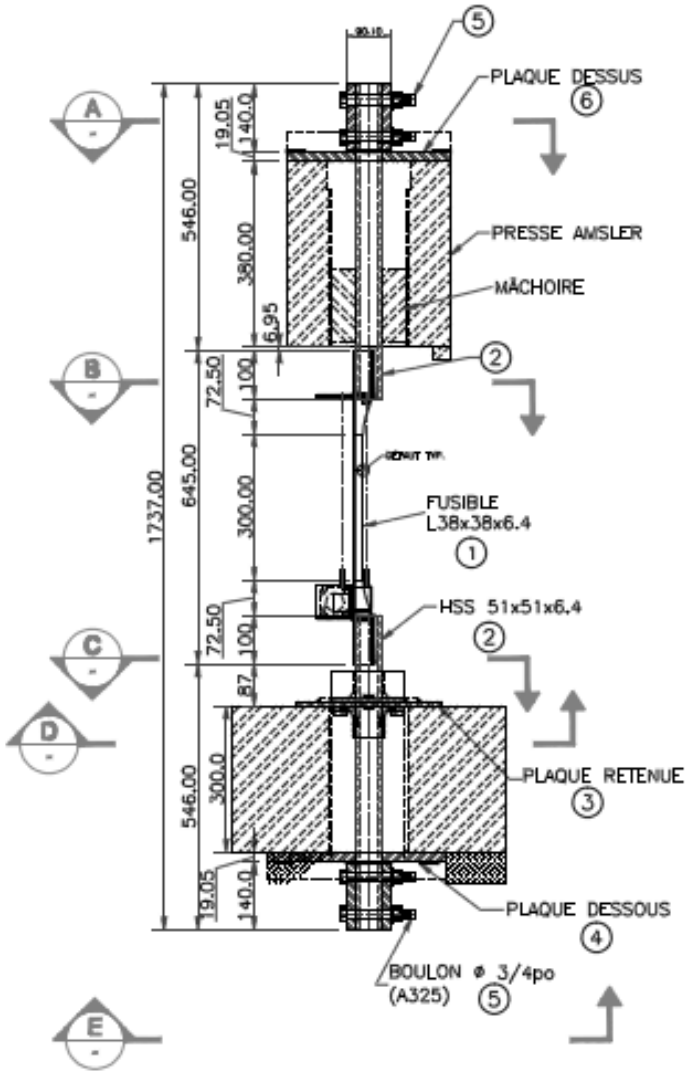
Item No: Révision

No. Projet

No. Dessin CR-06

2009-07-06 13:24:19

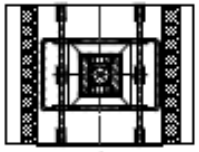

MACHINE TRACTION - BOTTOM
MACHINE TRACTION - TOP
ÉCHELLE : NO
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MTL.
ESSAIS TRACTION FUSIBLES
PRESSE AMSLER



ESSAI SÉRIE A (USINÉ)

ÉCHELLE N/D

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MTL. ESSAIS TRACTION FUSIBLES	
MONTAGE BANC D'ESSAI (FINAL)	2



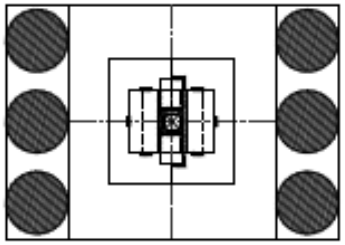
REF :
mur maçonnerie

MACHINE TRACTION - TOP

ÉCHELLE : NO

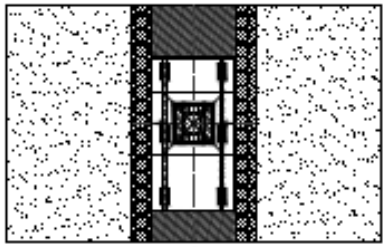
29-01-2010

COUPE A



REF :
mur maçonnerie

COUPE C



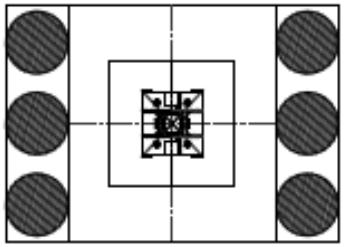
REF :
mur maçonnerie

MACHINE TRACTION - BOTTOM

ÉCHELLE : NO

29-01-2010

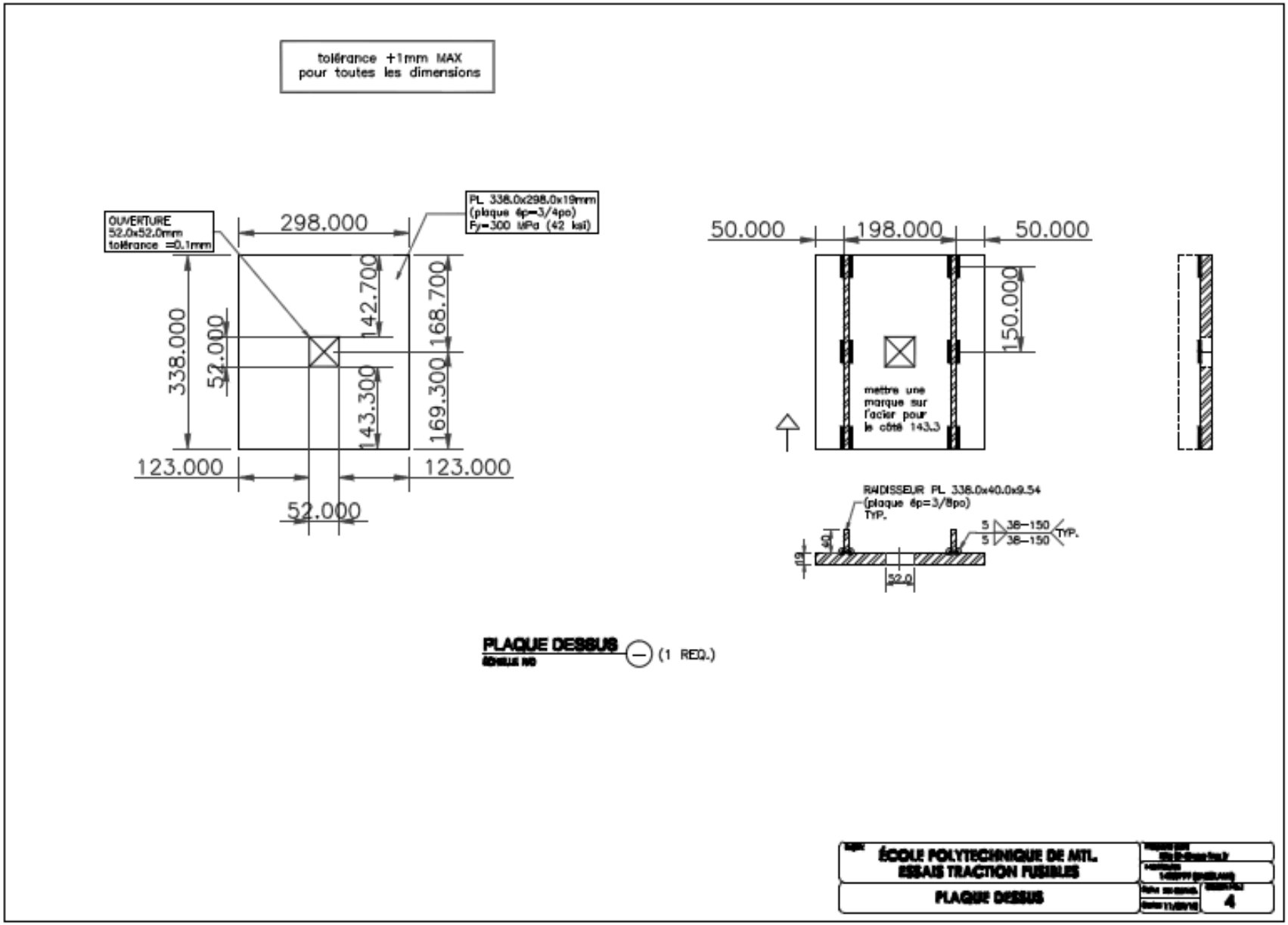
COUPE E

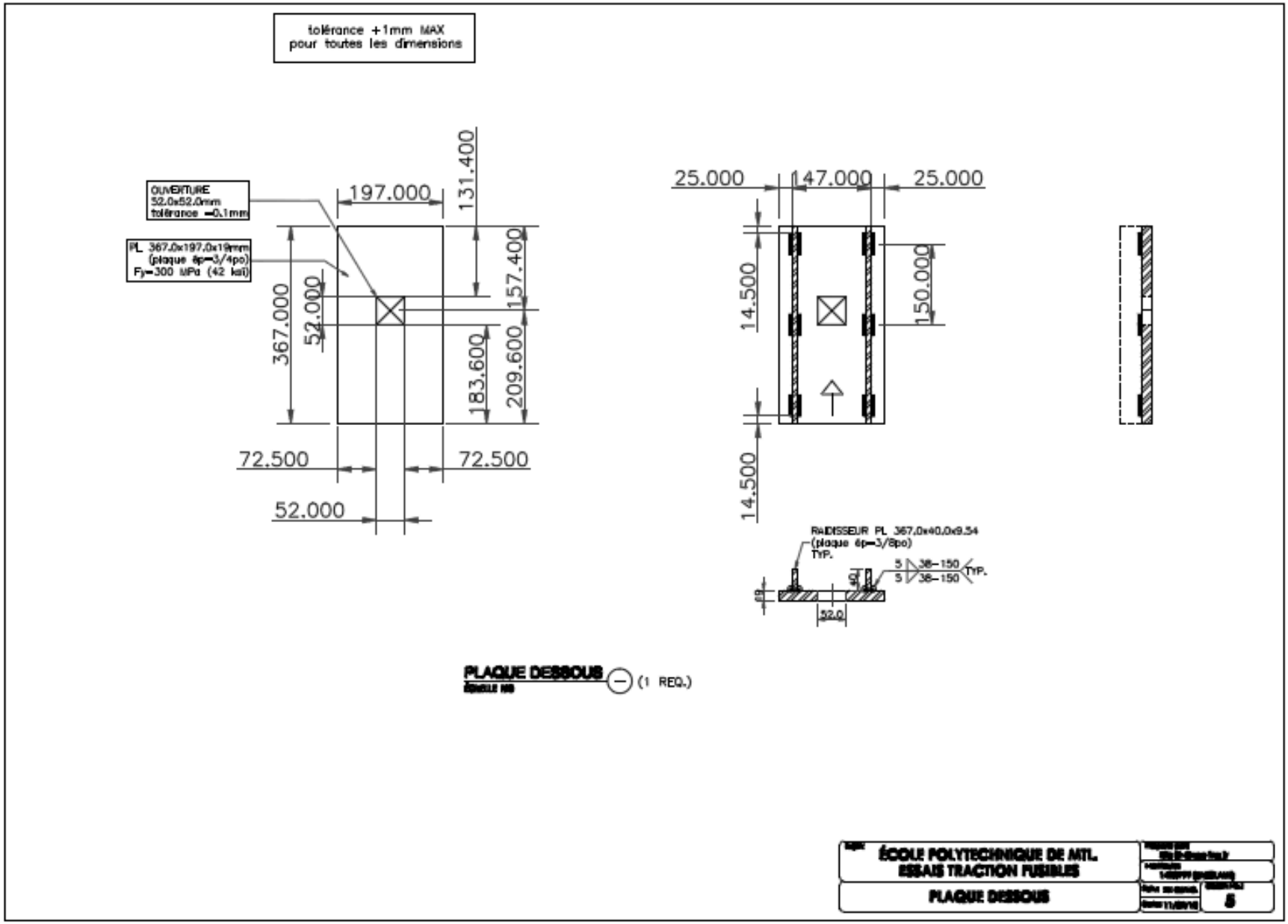


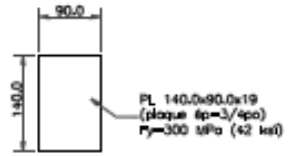
REF :
mur maçonnerie

COUPE D

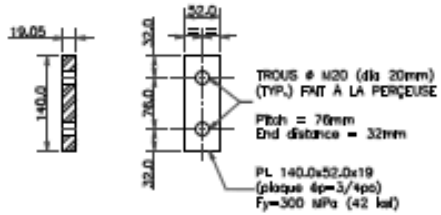
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MTL. ESSAIS TRACTION FUSIBLES	
COUPES - MONTAGE FINAL	3


tolérance +1mm MAX
pour toutes les dimensions
OUVERTURE
52.0x52.0mm
tolérance =0.1mm
PL 338.0x298.0x19mm
(plaque ép=3/4po)
Fy=300 MPa (42 ksi)
298.000
338.000
52.000
142.700
168.700
143.300
169.300
123.000
123.000
52.000
50.000
198.000
50.000
150.000
mettre une
marque sur
l'acier pour
le côté 143.3
RAIDISSEUR PL 338.0x40.0x9.54
(plaque ép=3/8po)
TYP.
5 38-150
5 38-150
TYP.
19
52.0
PLAQUE DESSUS
(1 REQ.)
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MTL.
ESSAIS TRACTION FUSIBLES
PLAQUE DESSUS
4

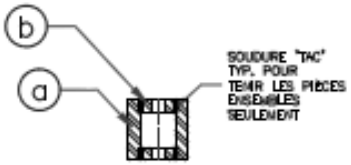

tolérance +1mm MAX
pour toutes les dimensions
OUVERTURE
52.0x52.0mm
tolérance -0.1mm
PL 367.0x197.0x19mm
(plaque ép=3/4po)
Fy=300 MPa (42 ksi)
197.000
131.400
157.400
367.000
52.000
183.600
209.600
72.500
72.500
52.000
25.000
147.000
25.000
14.500
150.000
14.500
RAIDISSEUR PL 367.0x40.0x9.54
(plaque ép=3/8po)
TYP.
5 38-150
5 38-150
TYP.
52.0
PLAQUE DESSOUS
(1 REQ.)
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MTL.
ESSAIS TRACTION FUSIBLES
PLAQUE DESSOUS
5



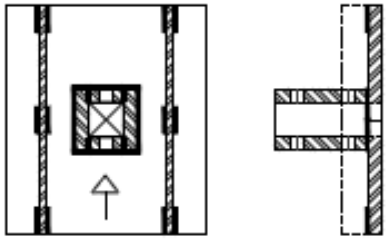
PLAQUETTES (a) (4 REQ.)

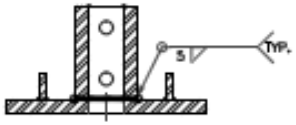


PLAQUETTES (b) (4 REQ.)

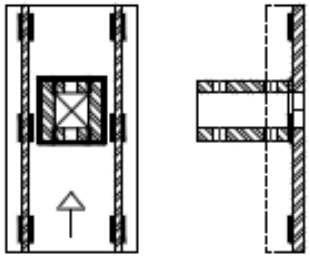


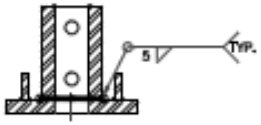
CAISSON TYP (–) (2 REQ.)





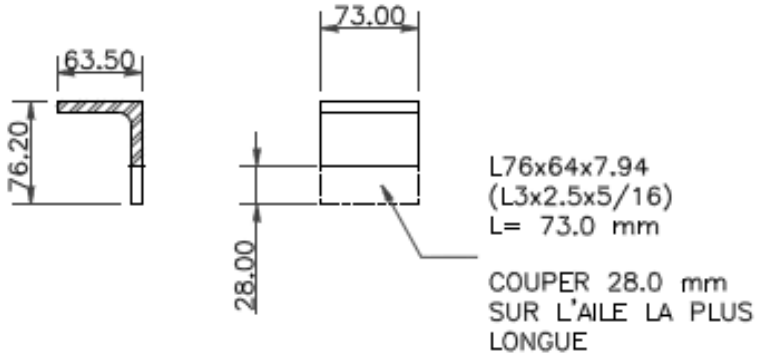
PLAQUE DESSUS (6) (1 REQ.)



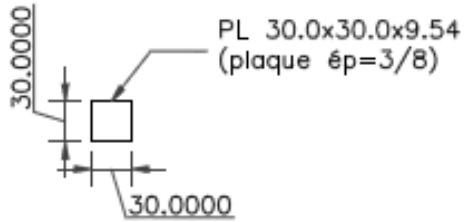


PLAQUE DESSOUS (4) (1 REQ.)

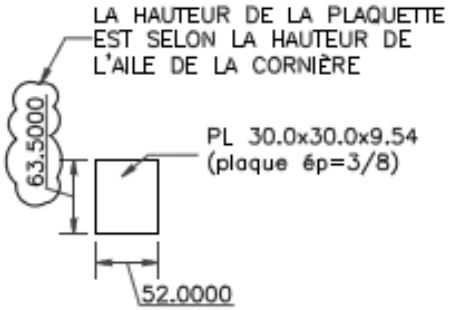
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MTL. ESSAIS TRACTION FUSIBLES	
ASSEMBLAGE PLAQUES	6



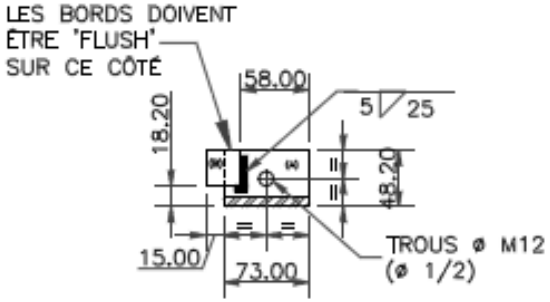
CORNIÈRE (A) (4 REQ.)
ÉCHELLE N/D



PLAQUETTE (B) (2 REQ.)
ÉCHELLE N/D



PLAQUETTE (C) (2 REQ.)
ÉCHELLE N/D

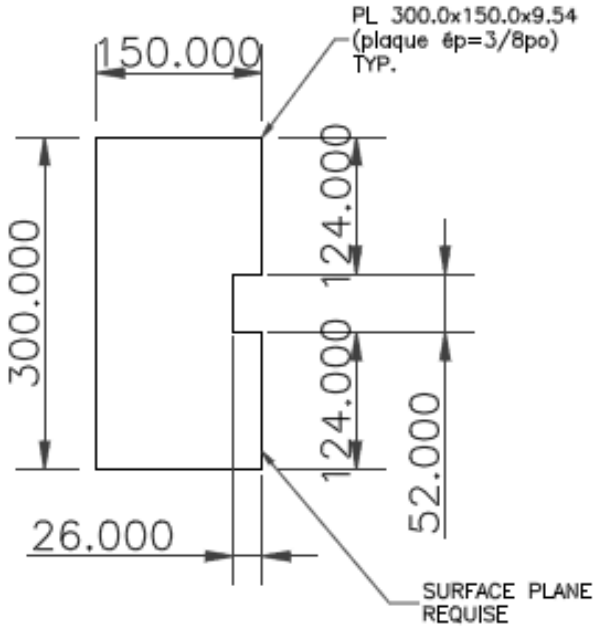


ASSEMBLAGE (—) (2 REQ.)
PIÈCE A & B

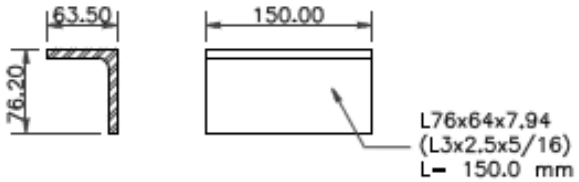
NOTE :

POUR LE 2e ASSEMBLAGE,
LES COTES SONT IDENTIQUES,
MAIS LA PIÈCE B EST INVERSÉE
(PIÈCE B SERA CÔTÉ OPPOSÉE
À CELLE MONTRÉE ICI)

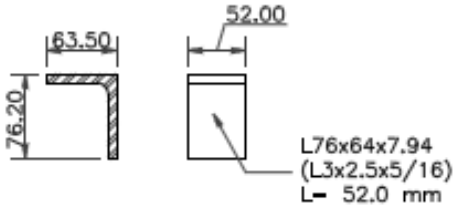
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MTL. ESSAIS TRACTION FUSIBLES	
MATÉRIEL - PLAQUE RETENUE	7



PLAQUE (F) (2 REQ.)
ÉCHELLE N/D

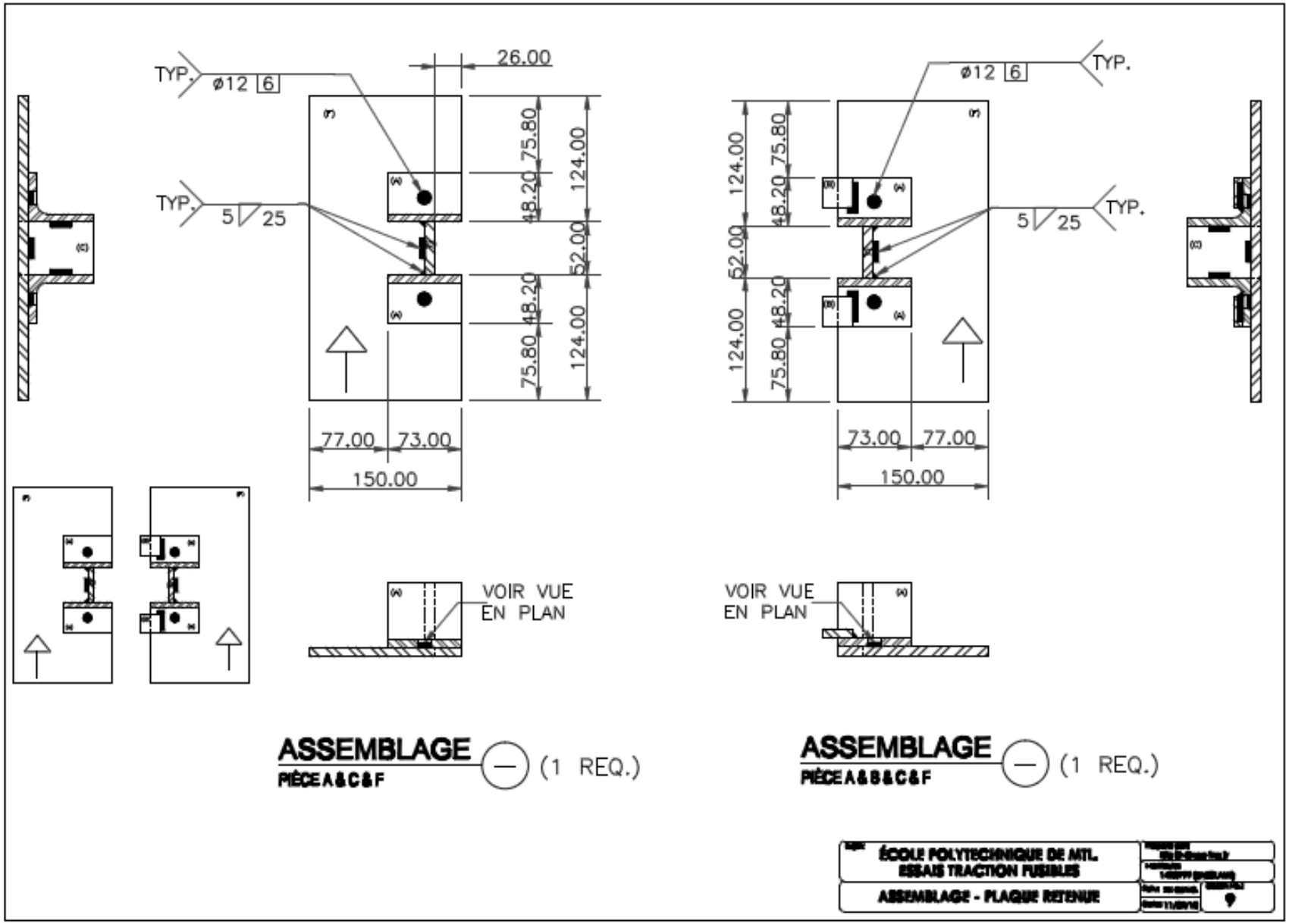


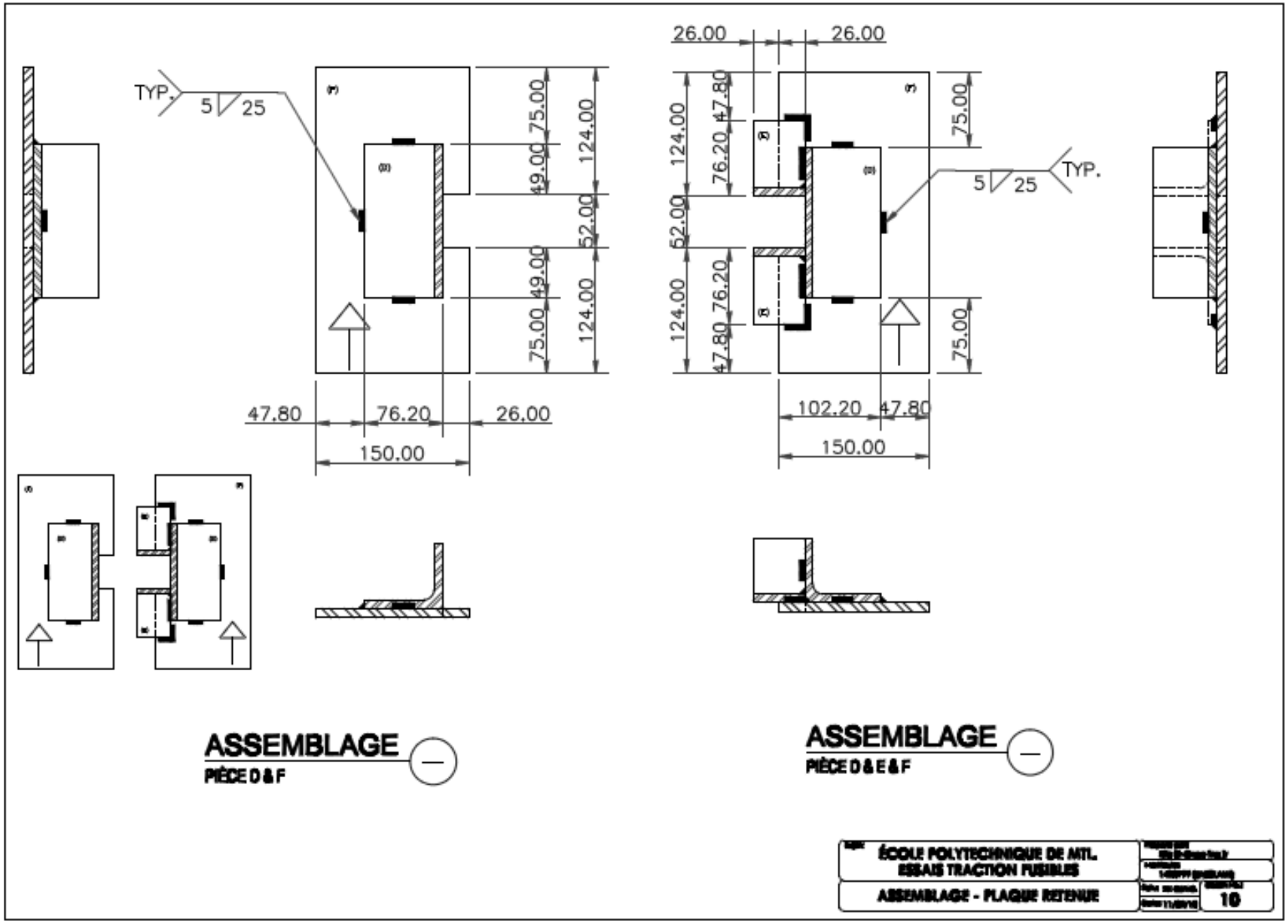
CORNIÈRE (D) (2 REQ.)
ÉCHELLE N/D

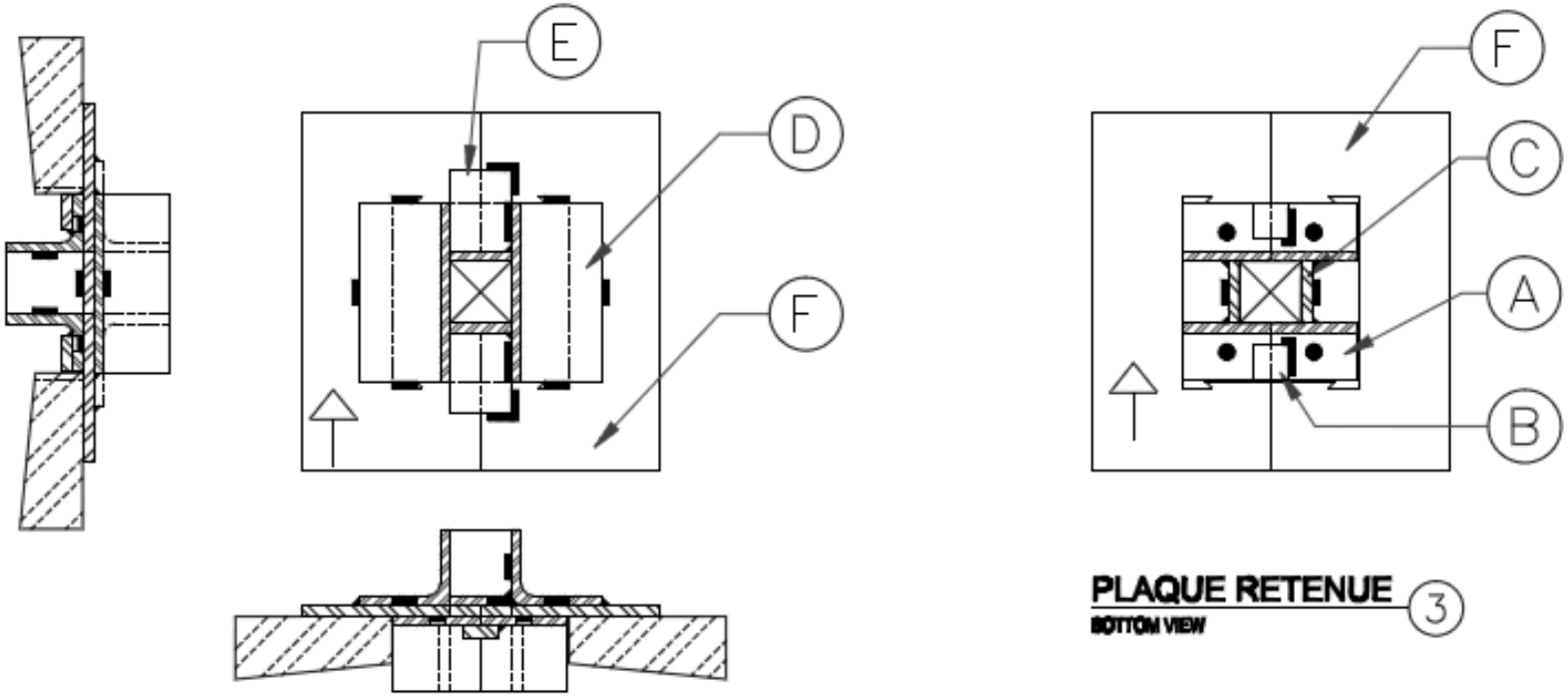


CORNIÈRE (E) (2 REQ.)
ÉCHELLE N/D

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MTL. ESSAIS TRACTION FUSIBLES	
MATÉRIEL - PLAQUE RETENUE	8


TYP.
ø12 6
26.00
TYP.
5 25
75.80
48.20
124.00
52.00
48.20
75.80
124.00
77.00
73.00
150.00
VOIR VUE
EN PLAN
ø12 6
TYP.
124.00
75.80
48.20
52.00
48.20
124.00
75.80
5 25
TYP.
73.00
77.00
150.00
VOIR VUE
EN PLAN
ASSEMBLAGE
PIÈCE A&C&F
(1 REQ.)
ASSEMBLAGE
PIÈCE A&B&C&F
(1 REQ.)
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MTL.
ESSAIS TRACTION FUSIBLES
ASSEMBLAGE - PLAQUE RETENUE

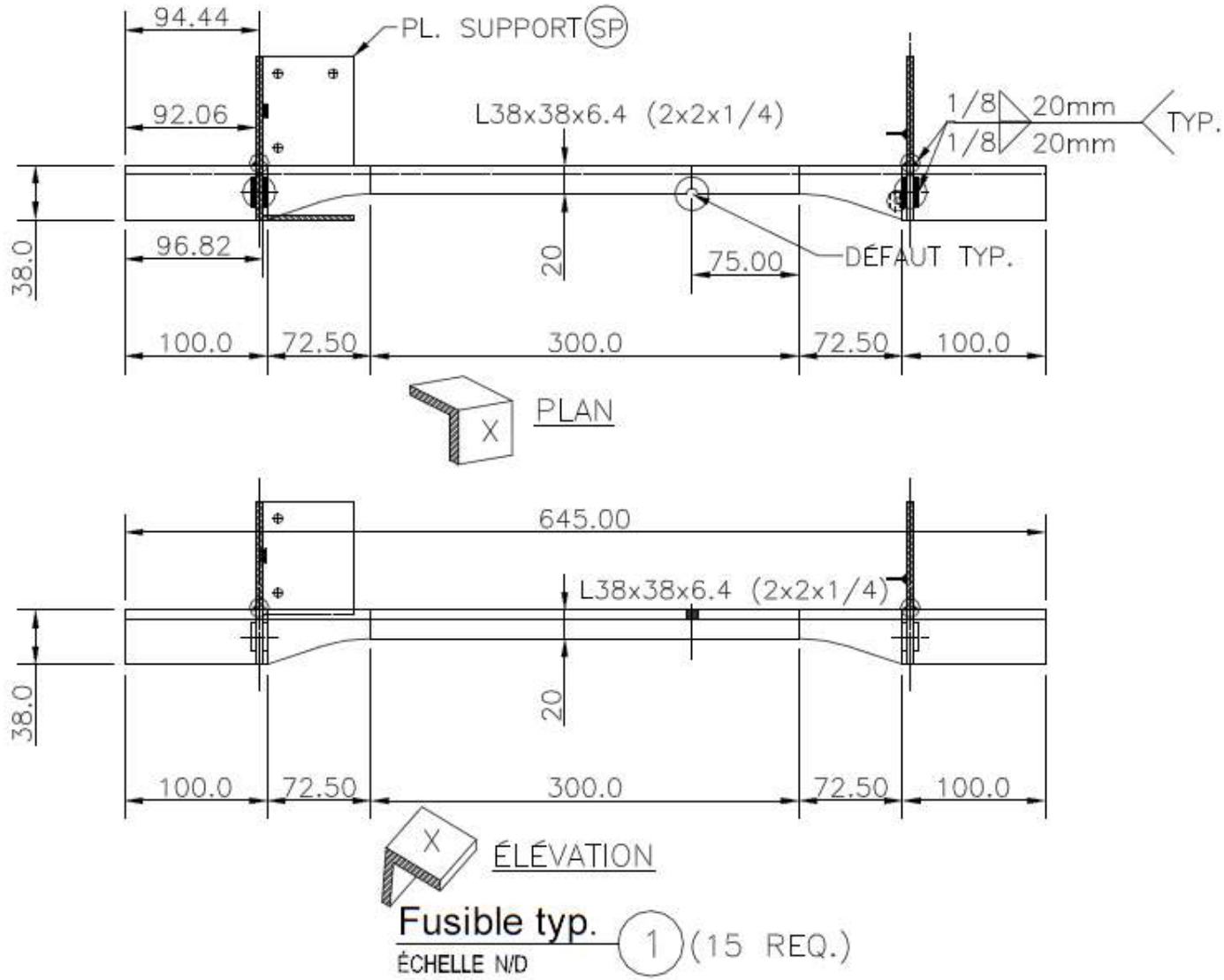

TYP.
5
25
75.00
124.00
49.00
52.00
49.00
124.00
75.00
47.80
76.20
26.00
150.00
26.00
26.00
124.00
47.80
76.20
52.00
76.20
124.00
47.80
75.00
75.00
102.20
47.80
150.00
ASSEMBLAGE
PIÈCE D & F
ASSEMBLAGE
PIÈCE D & E & F
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MTL.
ESSAIS TRACTION FUSIBLES
ASSEMBLAGE - PLAQUE RETENUE
10



PLAQUE RETENUE 3
BOTTOM VIEW

PLAQUE RETENUE 3 (1 REQ.)
TOP VIEW

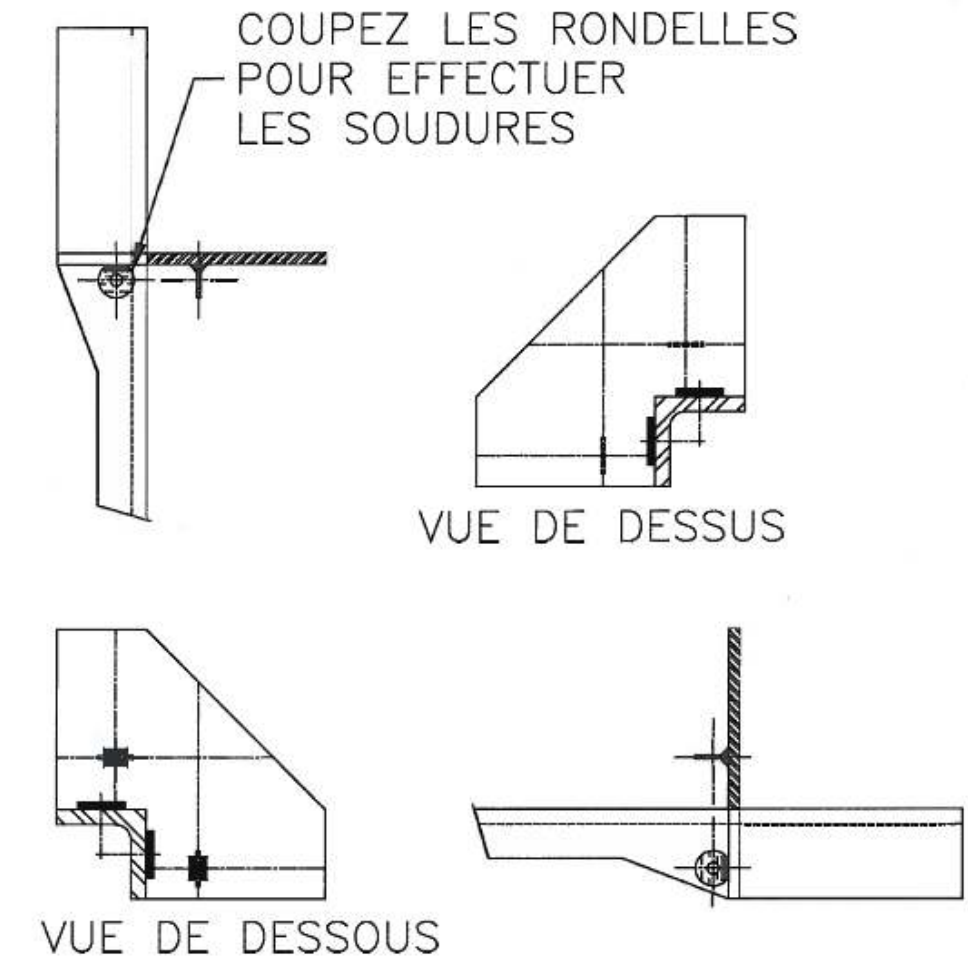
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MTL. ESSAIS TRACTION FUSIBLES	
MONTAGE - PLAQUE RETENUE	11



Fusible typ. 1 (15 REQ.)

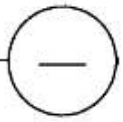
ÉCHELLE N/D

DÉJÀ USINÉ ET FABRIQUÉ

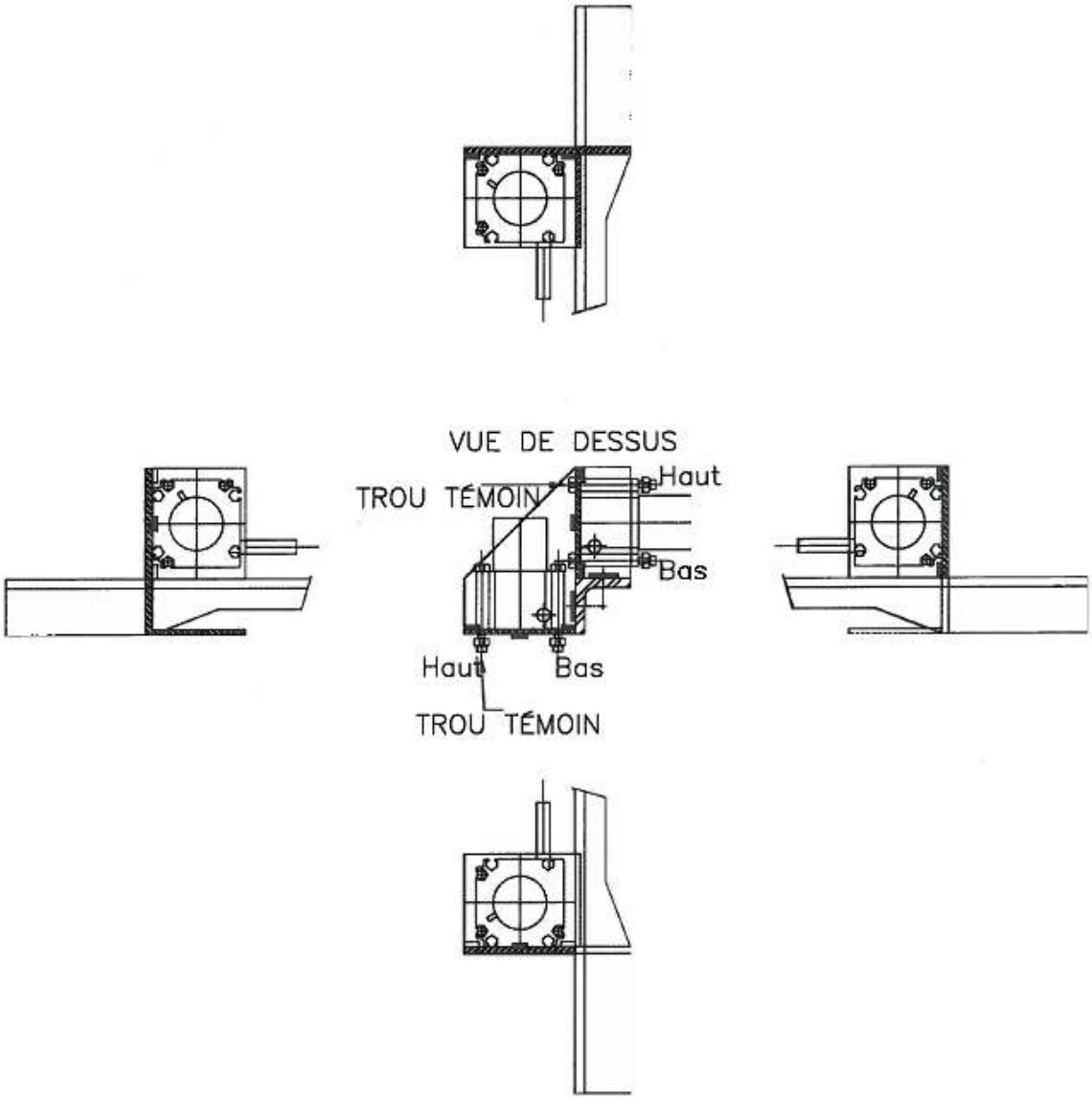


MONTAGE SUP

ÉCHELLE N/D

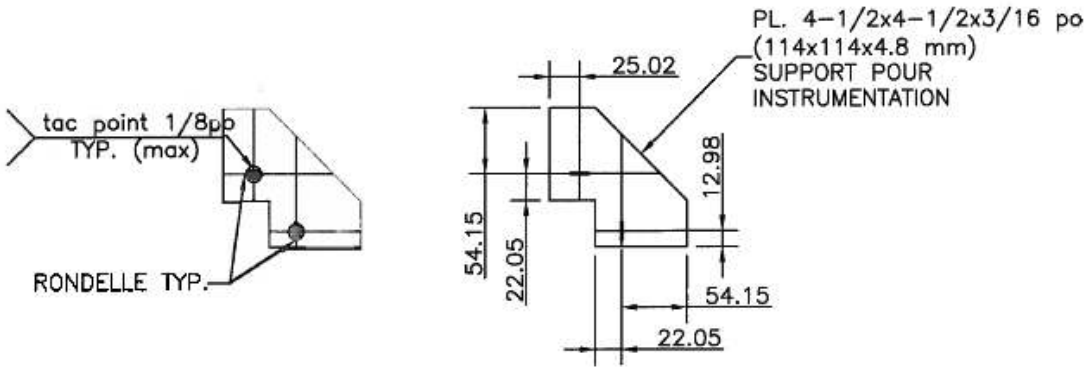


(N/A)

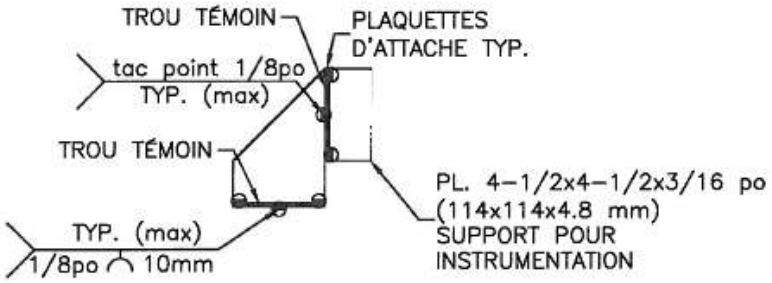


MONTAGE INF — (N/A)

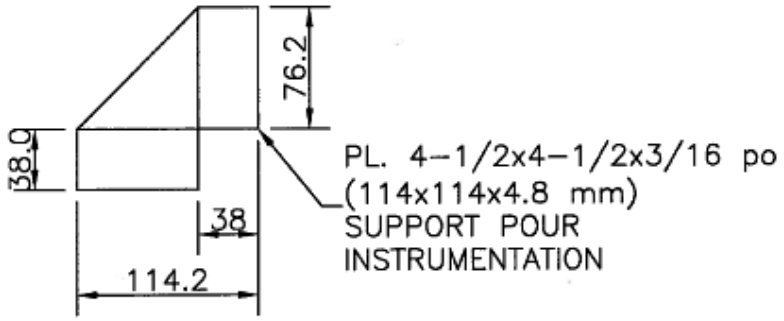
ÉCHELLE N/D



PL SUPÉRIEURE SP (15)
ÉCHELLE N/D

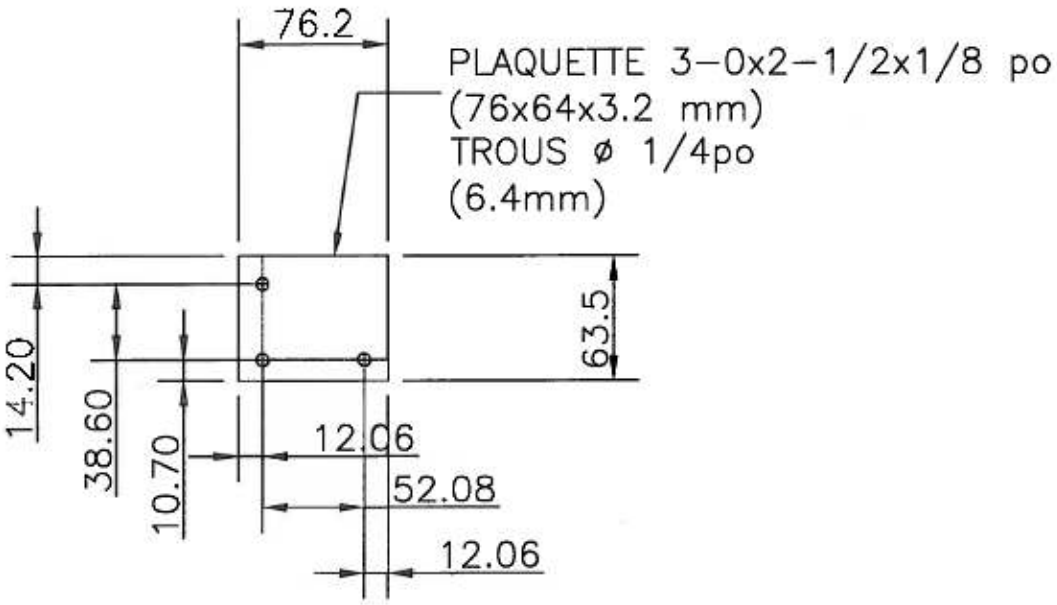


PL INFÉRIEURE SP (15)
ÉCHELLE N/D

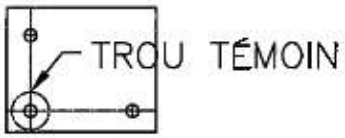


SUPPORT (TYP.) SP (30 REQ.)

ÉCHELLE N/D



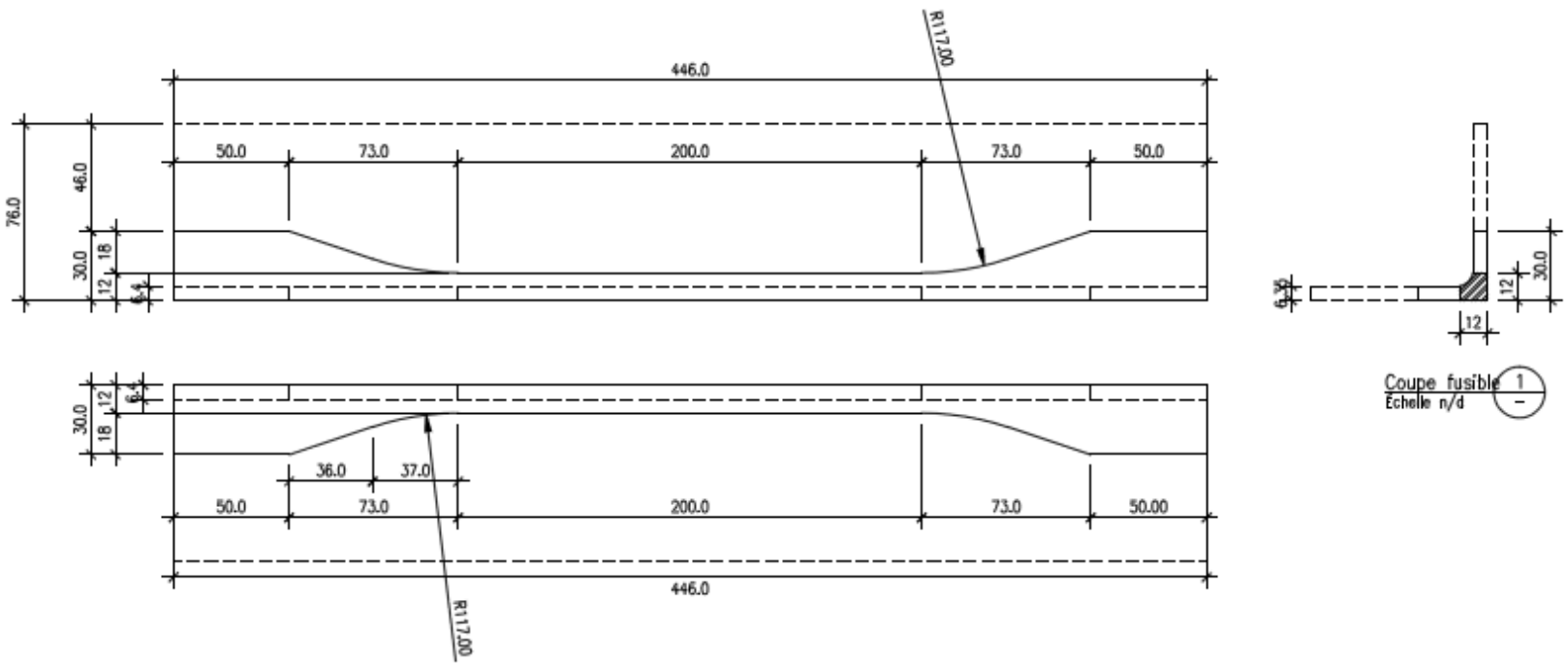
PLAQUETTE (TYP.) 1 (30 REQ.)
ÉCHELLE N/D



PLAQUETTE (TYP.) 1 (30)
ÉCHELLE N/D

ANNEXE 3 – Programme expérimental B

Étude de la méthode de découpe



F–B–30–12–0–0
L–3"x3"x¼" / 50W (FOURNI PAR LAINCO)
2 REQUIS

TOLÉRANCE : +/– 0.5 mm

A fusible = 118.123 mm^2
A aile = 4.35 mm^2 ---ratio 3.68%

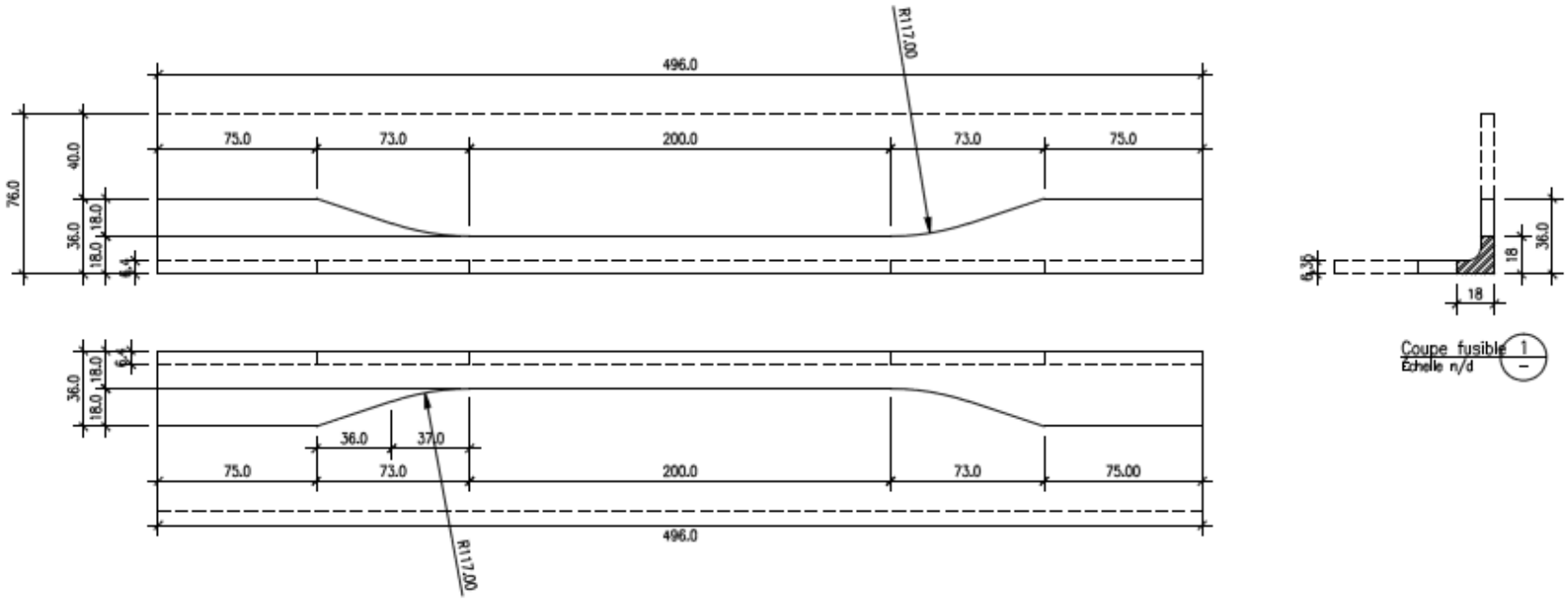
LAINCO

Titre: FUSIBLE SÉRIE B
F–B–30–12–0–0

Dessiné par: ELIE ST–ONGE
Date: 6 OCT 2010

No. Projet: RD027
No. Dessin: CR–01

07/10/2010 16:52:09



F-B-36-18-0-0
L-3"x3"x¼" / 50W (FOURNI PAR LAINCO)
2 REQUIS

TOLÉRANCE : +/- 0.5 mm

A fusible = 194.323 mm^2
A aile = 80.55 mm^2 ---ratio 41.45%

LAINCO

Titre: FUSIBLE SÉRIE B
F-B-36-18-0-0

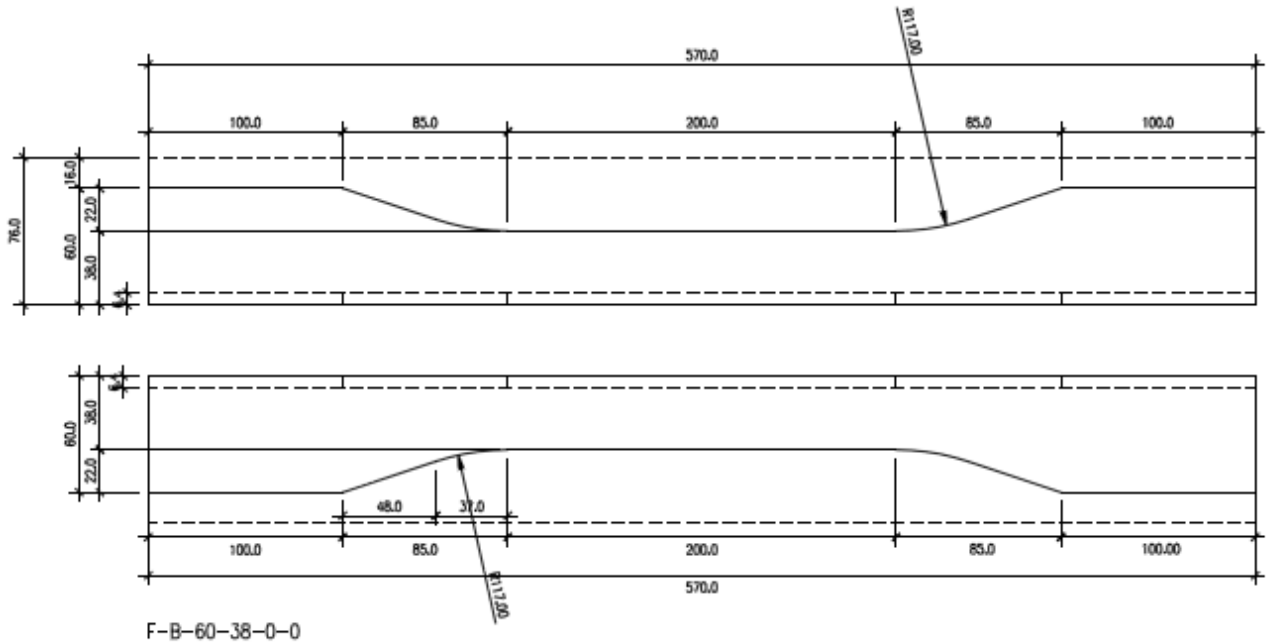
No. Projet: RD027

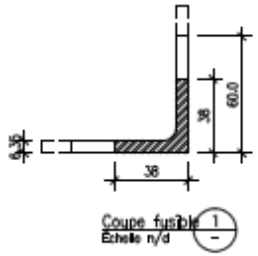
No. Dessin: CR-02

Dessiné par: ELIE ST-ONGE

Date: 7 OCT 2010

07/10/2010 16:53:05





F-B-60-38-0-0
L-3"x3"x¼" / 50W (FOURNI PAR LAINCO)
2 REQUIS

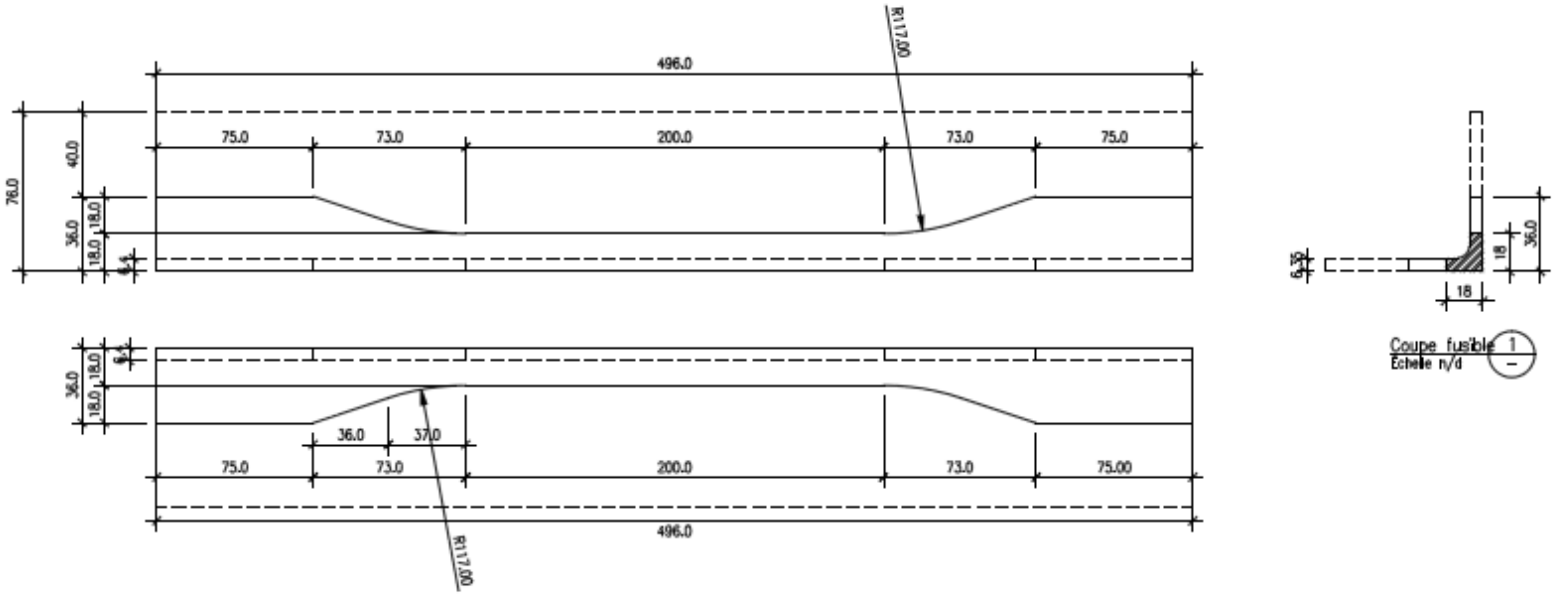
TOLÉRANCE : 0.5 mm

A fusible = 448.323 mm^2
A aile = 334.55 mm^2 ---ratio 74.62%

LAINCO

Titre: FUSIBLE SÉRIE B F-B-60-38-0-0			Item No: Révision
			No. Projet: RD027
Vérifié par:	Dessiné par: EJE ST-ONGE	Date: 7 OCT 2010	No. Dessin: CR-03

07/10/2010 16:55:43

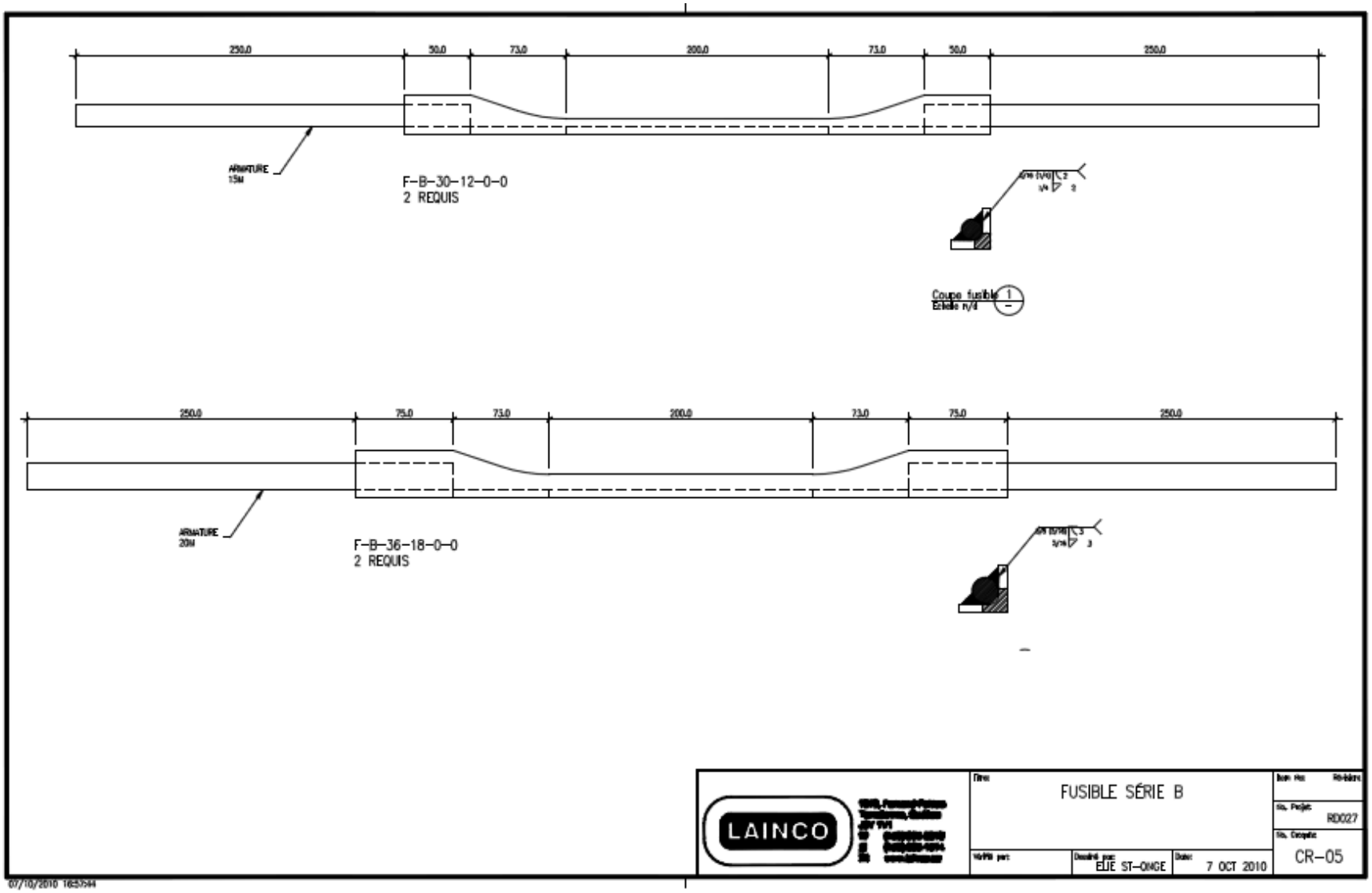


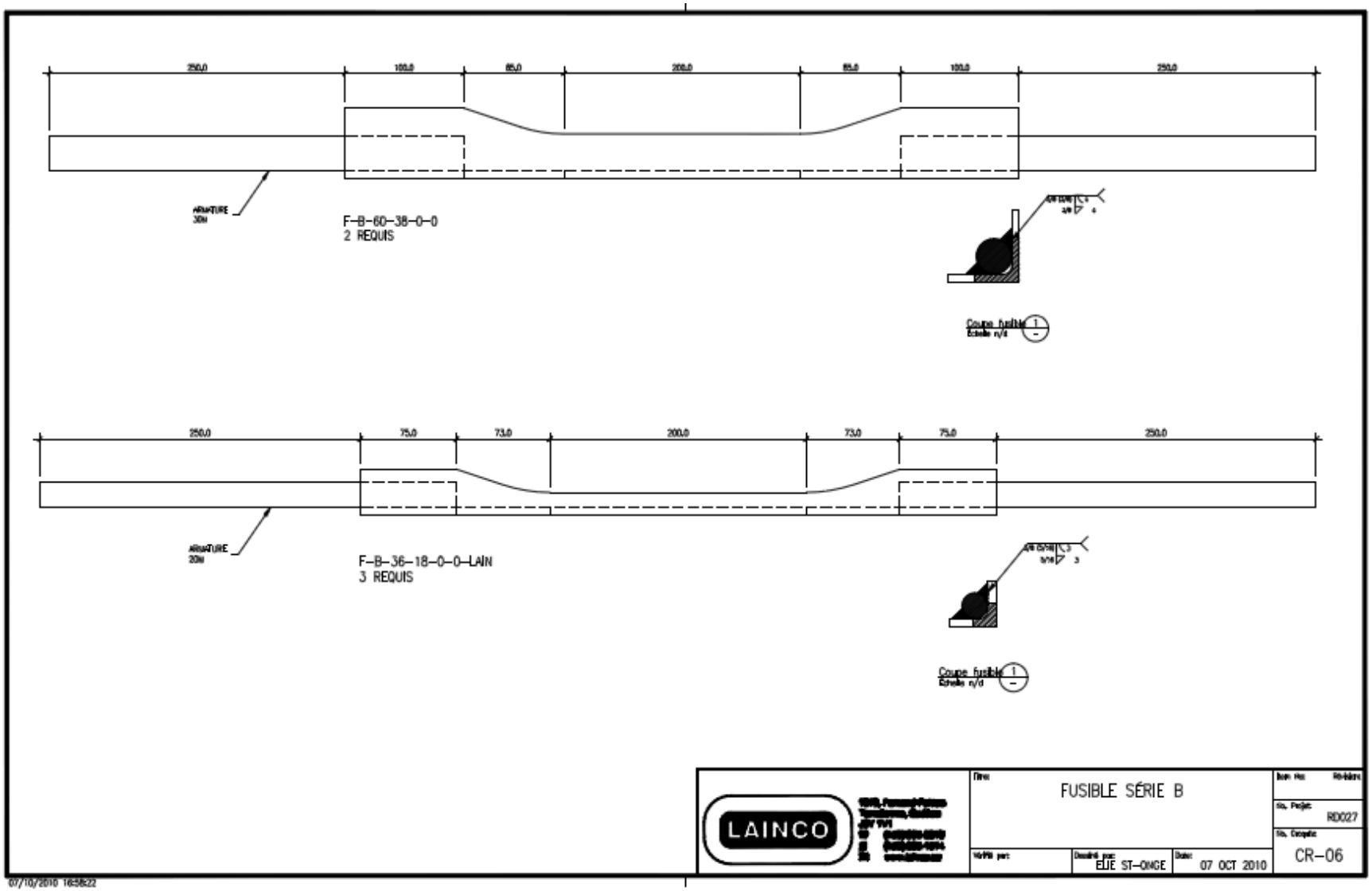
F-B-36-18-0-0-LAIN
PRENDRE L-3"x3"x¼" DANS LOT D'ELIE
(FABRICATION À L'INTERNE)
3 REQUIS

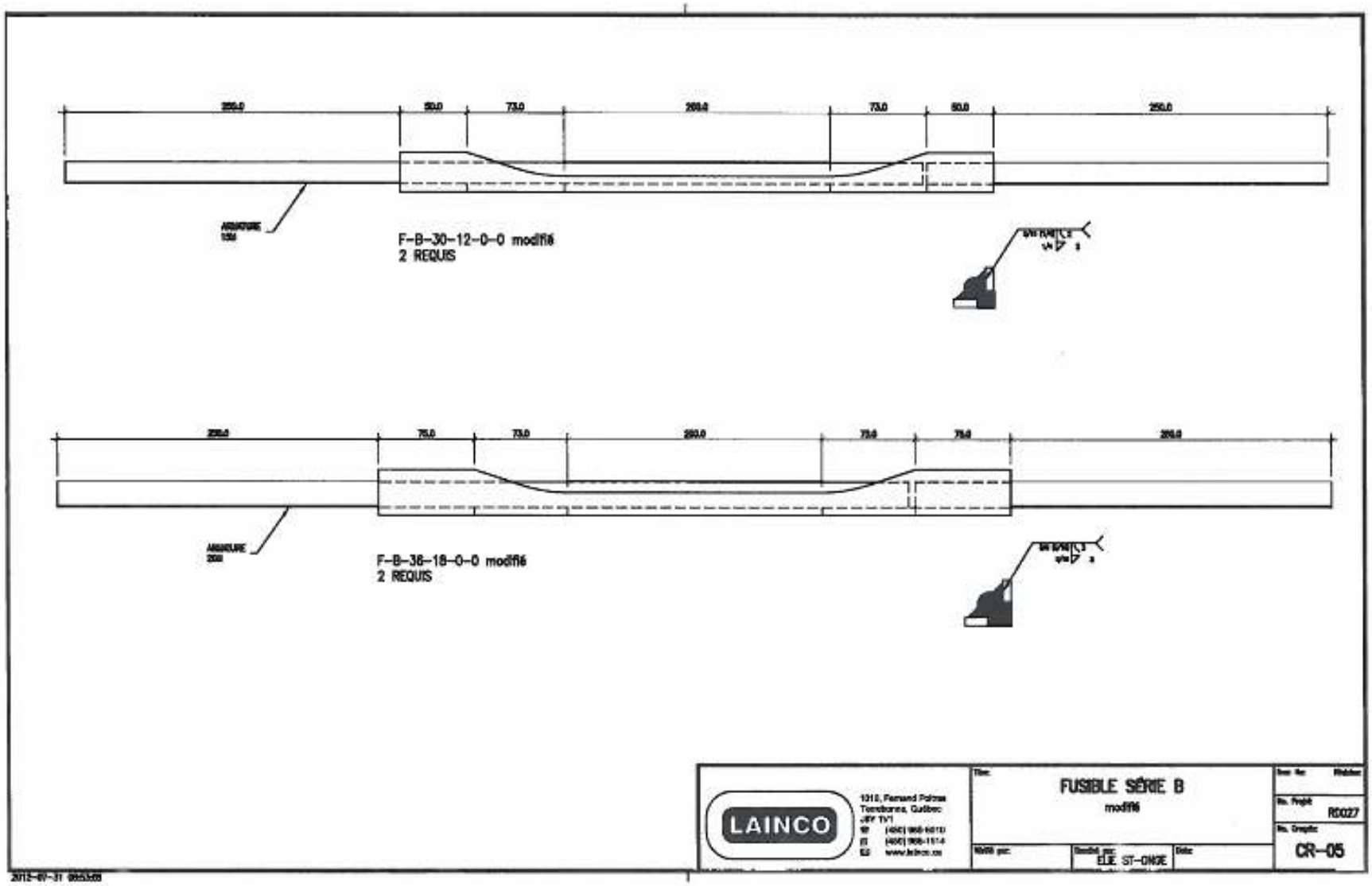
TOLÉRANCE : +/- 1 mm

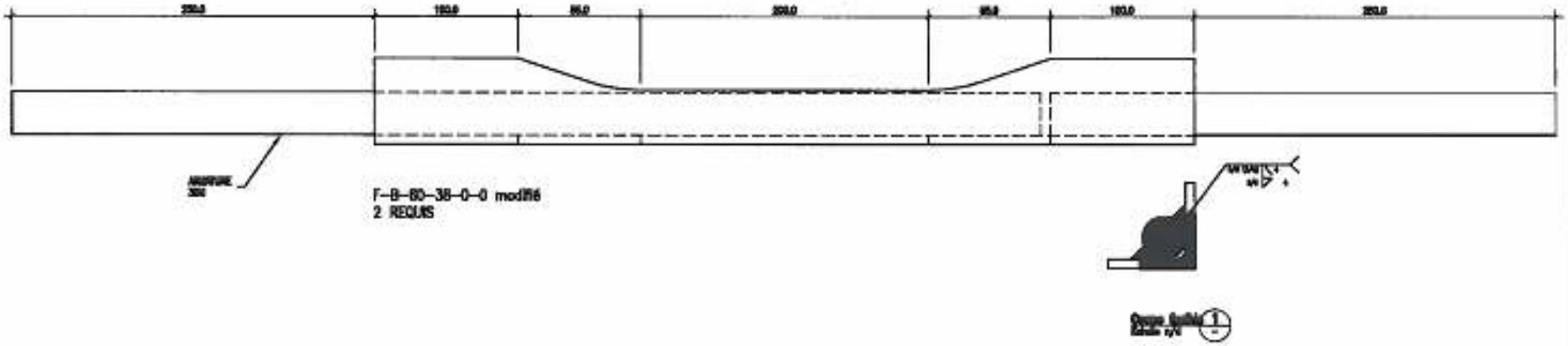
LAINCO	Titre: FUSIBLE SÉRIE B F-B-36-18-0-0-LAIN		No. Projet: RD027
	Vérifié par:	Dessiné par: ELIE ST-ONGE / Date: 7 OCT 2010	No. Dessin: CR-04

07/10/2010 16:56:23


250.0
50.0
73.0
200.0
73.0
50.0
250.0
ARMATURE
15M
F-B-30-12-0-0
2 REQUIS
Coupe fusible 1
Echelle n/d
250.0
75.0
73.0
200.0
73.0
75.0
250.0
ARMATURE
20M
F-B-36-18-0-0
2 REQUIS
LAINCO
FUSIBLE SÉRIE B
RD027
CR-05
ELIE ST-ONGE
7 OCT 2010
07/10/2010 16:57:44


250.0
100.0
85.0
200.0
85.0
100.0
250.0
ARMATURE
20M
F-B-60-38-0-0
2 REQUIS
Coupe fusible
Échelle n/d
250.0
75.0
73.0
200.0
73.0
75.0
250.0
ARMATURE
20M
F-B-36-18-0-0-LAIN
3 REQUIS
Coupe fusible
Échelle n/d
LAINCO
Titre:
FUSIBLE SÉRIE B
No. Projet:
RD027
No. Dessin:
CR-06
Vérifié par:
Dessiné par:
ÉLIE ST-ONGE
Date:
07 OCT 2010
07/10/2010 16:58:22


F-B-30-12-0-0 modifié
2 REQUIS
F-B-36-18-0-0 modifié
2 REQUIS
LAINCO
FUSIBLE SÉRIE B
modifié
ELIE ST-ONGE
R0027
CR-05



LAINCO

1510, Fernand Poitras
Terrebonne, Québec
J6Y 1V1
☎ (450) 965-0510
(450) 965-1514
www.lainco.ca

FUSIBLE SÉRIE B
modifié

Dessiné par: ELIE ST-ONGE

Date

R0027

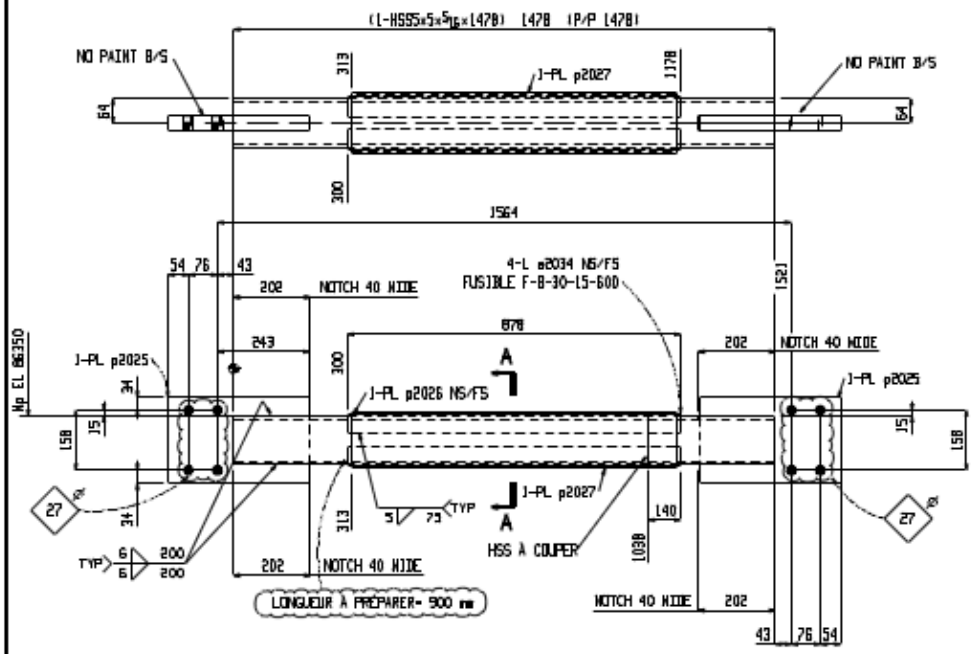
CR-06

2012-07-31 08:52:58

ANNEXE 4 – Programme expérimental C

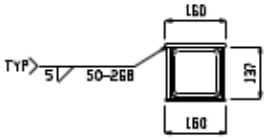
Essais cycliques sur diagonales courtes

PRENDRE MATÉRIEL LOT ÉLIE



2 POUTRES B4-1

MONTAGE 4-1



Section A-A

B4-1

NOTE:LES FUSIBLES SONT FABRIQUÉES À L'EXTERNE ET POSÉES APRÈS CHEZ LAINCO

FUSIBLE :F-C-L-30-15-600

BILL OF MATERIAL

S	QT	MARQ	DESCRIPTION	GRADE	LONGUEUR	REMARQ
L	2		POUTRE			
	2	B4-L	HSS5x5x5/16	A500C	1478	
	8	a2034	L2x2x3/16	44W	878	FUSIBLE
	4	p2025	PL38x226	44W	373	
	4	p2027	PL6x180	44W	853	
	4	p2026	PL6x137	44W	853	
			FIELD BOLTS			
	16		25 Dia A325N		90	

REV	DATE	DESCRIPTION	DES	VER
1	Jul 5 2012	POUR FABRICATION	JD	ES

REFERENCE :

PEINT : CISC (-73% (GR35) U/M

TROUS : 21mm S.C.C

ELECTRODE : E70XX

LAINCO

Tel: (450) 965-6010
Web: www.lainco.ca

DESSINÉ PAR: JD
VERIFIÉ PAR: ES
DATE: 18-11-2010

CLIENT : ÉLIE ST-ONGE

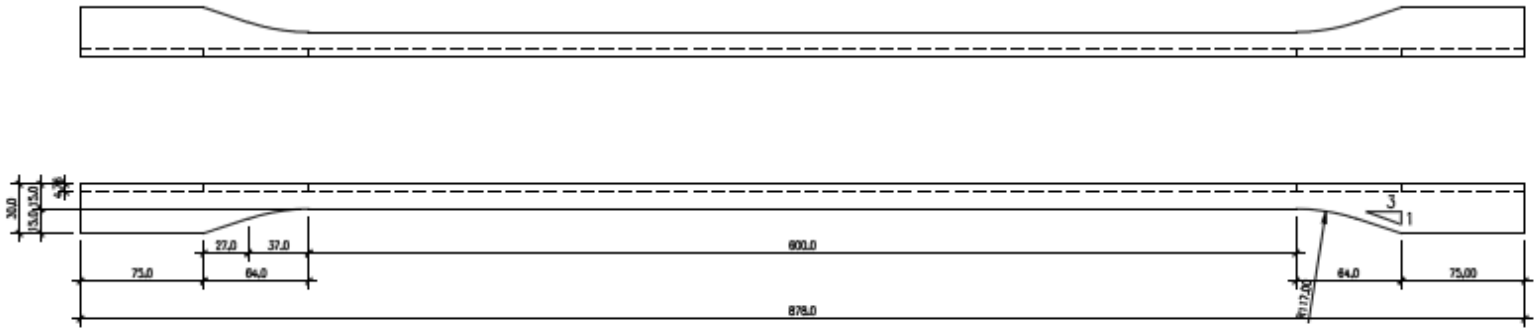
PROJET : RD027

STRUCTURE : RECHERCHE SUR LES FUSIBLES

DESSIN No : 4-1 (1)

japaquette

PLOT DATE: Jul 05 2012



F-B-30-15-600
L-2"x2"x3/16" / 44W (FOURNI PAR LAINCO)
8 REQUIS

TOLÉRANCE : +/- 0.1 mm

FUSIBLE :F-C-L-30-15-600

LAINCO

Titre: FUSIBLE SÉRIE B
F-B-30-15-600

Vérifié par:

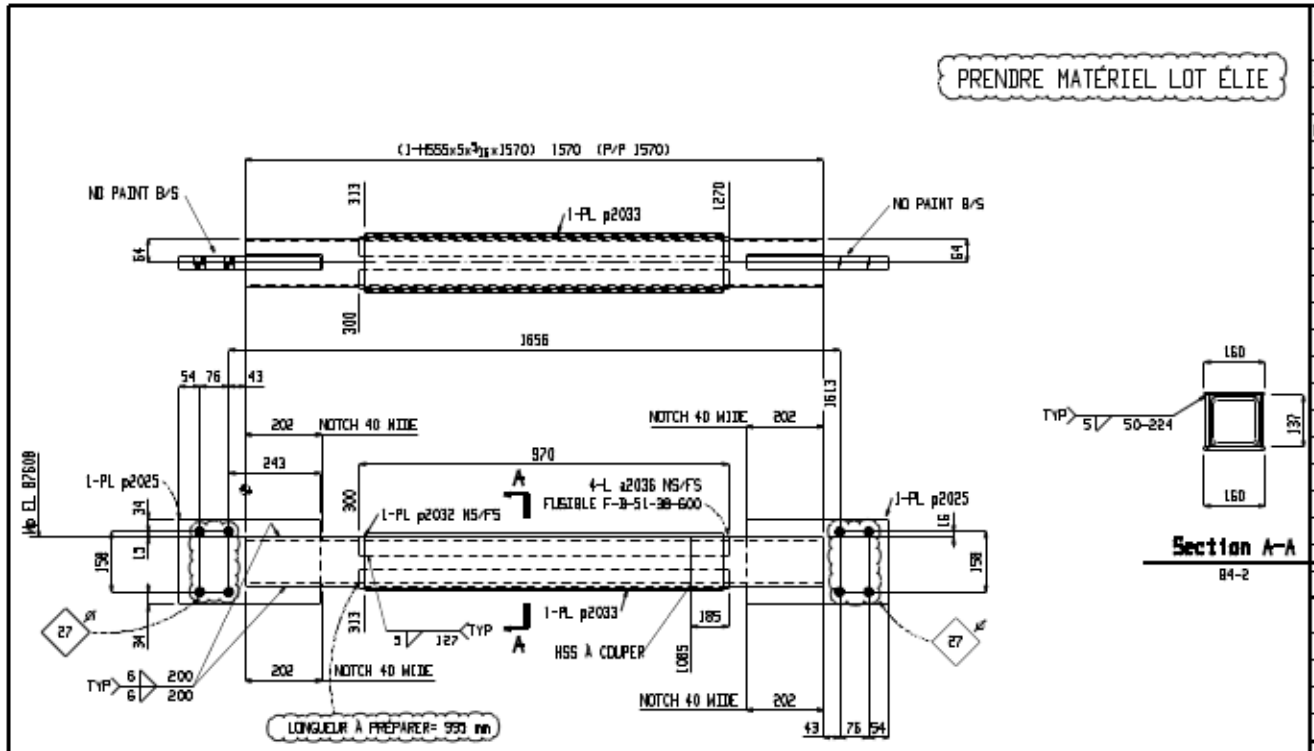
Dessiné par: Elie St-Onge

Date: 17-nov-2010

No. Projet: RD027

No. Dessin: CR-02

17/11/2010 13:20:23



2 POUTRES B4-2

MONTAGE 4-2

Section A-A

B4-2

PRENDRE MATÉRIEL LOT ÉLIE

NOTE:LES FUSIBLES SONT FABRIQUÉES À L'EXTERNE ET POSÉES APRÈS CHEZ LAINCO

FUSIBLE : F-C-L-51-38-600

BILL OF MATERIAL

S	QT	MARQ	DESCRIPTION	GRADE	LONGUEUR	REMARQ
L	2		POUTRE			
	2	B4-2	HSSSx5x3/16	A500C	1570	
	8	a2036	L2x2x3/16	44W	970	FUSIBLE
	4	p2025	PL38x226	44W	373	
	4	p2033	PL6x160	44W	945	
	4	p2032	PL6x137	44W	945	
			FIELD BOLTS			
	16		25 Dia A325N		90	

REV	DATE	DESCRIPTION	DES	VER
1	Nov 18 2010	POUR FABRICATION	JI	ES

REFERENCE :

PEINT : CISC L-73a (GP15) W/M

TROUS : 21mm S.I.C

ELECTRODE : E70XX

LAINCO

Tel: (450) 965-6010
Web: www.lainco.ca

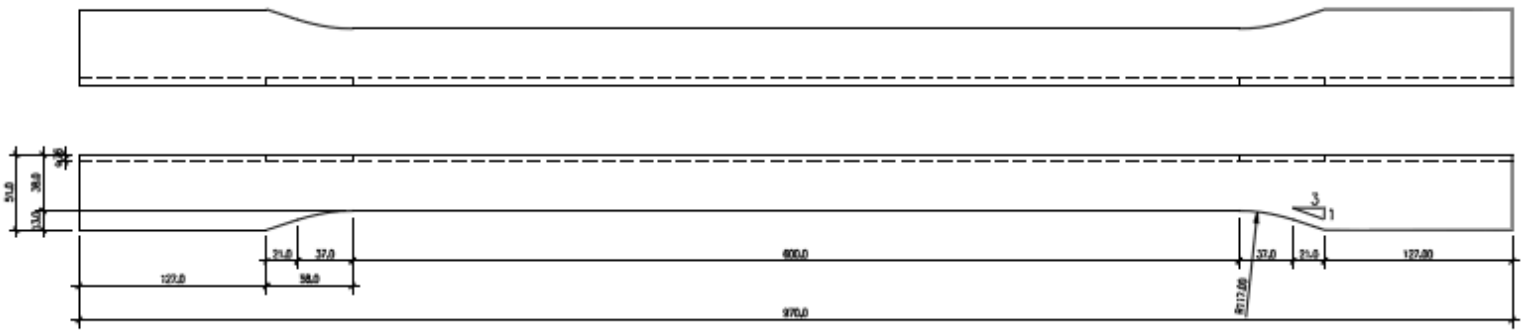
DESSINÉ PAR: JI
VERIFIÉ PAR: ES
DATE: 18-11-2010

CLIENT : ÉLIE ST-ONGE

PROJET : RD027

STRUCTURE : RECHERCHE SUR LES FUSIBLES

DESSIN No : 4-2 1



F-B-51-38-600
L-2"x2"x3/16" / 44W (FOURNI PAR LAINCO)
16 REQUIS

TOLÉRANCE : +/- 0.1 mm

FUSIBLE : F-C-L-51-38-600

LAINCO

Titre: FUSIBLE SÉRIE B
F-B-51-38-600

No. Projet: RD027

No. Dessin: CR-03

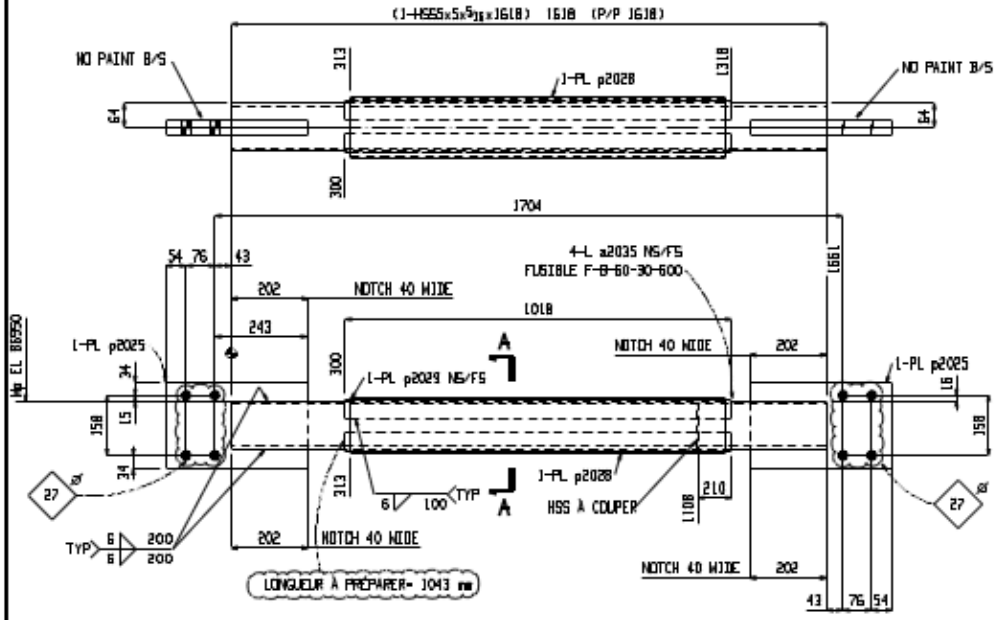
Vérifié par:

Dessiné par: Elie St-Onge

Date: 17-nov-2010

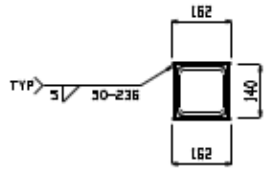
17/11/2010 15:37:51

PRENDRE MATÉRIEL LOT ÉLIE



2 POUTRES B4-3

MONTAGE 4-3



Section A-A

B4-3

NOTE: LES FUSIBLES SONT FABRIQUÉES À L'EXTERNE ET POSÉES APRÈS CHEZ LAINCO

FUSIBLE : F-C-L-60-30-600

BILL OF MATERIAL

S	QT	MARQ	DESCRIPTION	GRADE	LONGUEUR	REMARQ
L	2		POUTRE			
	2	B4-3	HSS5x5x5/16	A500C	1618	
	8	a2035	L3x3x1/4	44W	1018	FUSIBLE
	4	p2025	PL38x226	44W	373	
	4	p2028	PL6x162	44W	550	
	4	p2029	PL6x140	44W	550	
			FIELD BOLTS			
	16		25 Dia A325N		90	

REV	DATE	DESCRIPTION	DES	VER
1	Nov 18 2010	POUR FABRICATION	JD	ES

REFERENCE :

PEINT : CISC (-73% (QP15) U/M

TROUS : 21mm S.C.C

ELECTRODE : E70XX

LAINCO

Tel: (450) 955-6010
Web: www.lainco.ca

DESSINÉ PAR: JD
VERIFIÉ PAR: ES
DATE: 18-11-2010

CLIENT : ÉLIE ST-ONGE

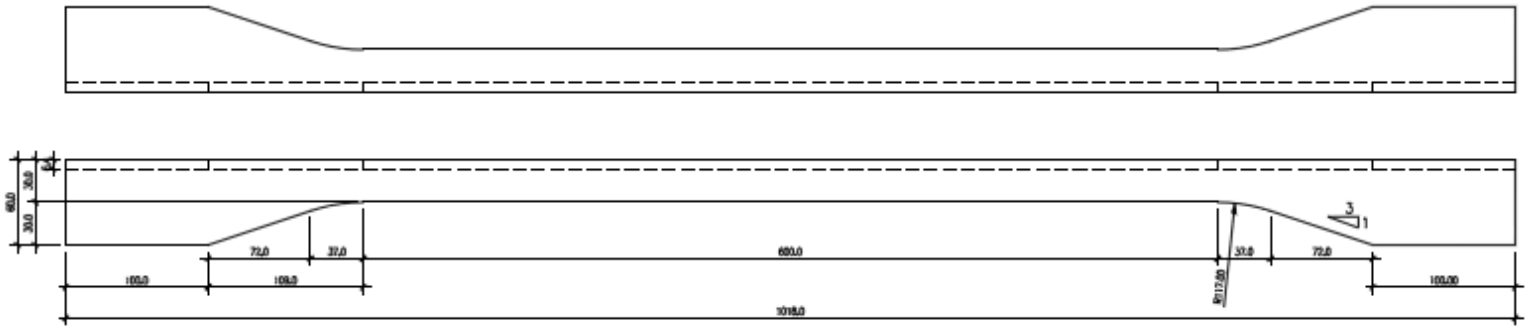
PROJET : RD027

STRUCTURE : RECHERCHE SUR LES FUSIBLES

DESSIN No : 4-3 1

japaquette

PLOT DATE: Jul 05 2012



F-B-60-30-600
L-3"x3"x¼" / 44W (FOURNI PAR LAINCO)
8 REQUIS

TOLÉRANCE : +/- 0.1 mm

FUSIBLE : F-C-L-60-30-600

LAINCO

[redacted]

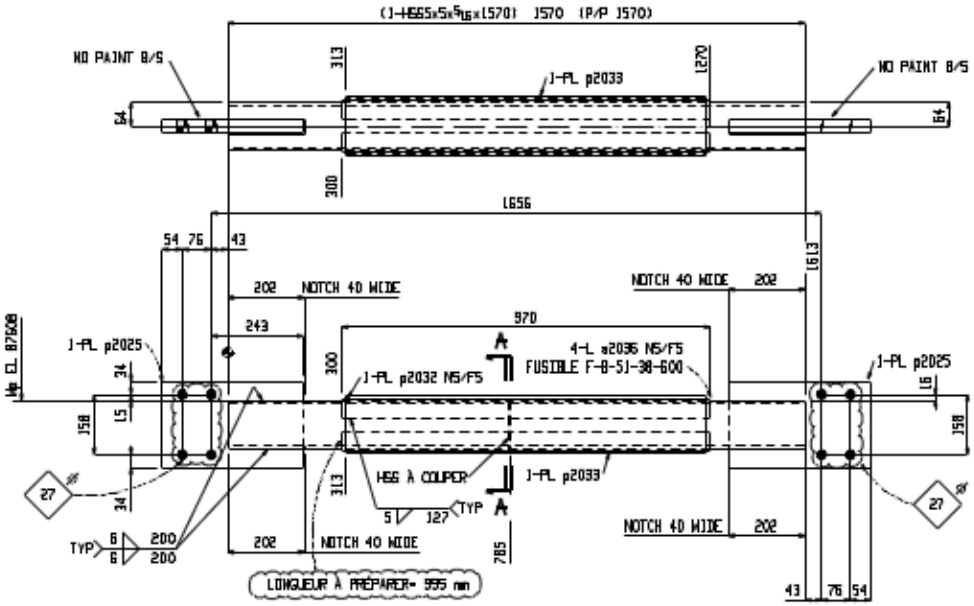
Titre: FUSIBLE SÉRIE B
F-B-60-30-600

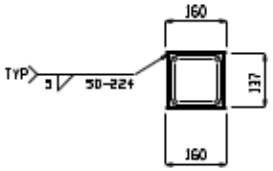
Dessiné par: Elie St-Onge
Date: 16-nov-2010

No. Projet: RD027
No. Dessin: CR-01

17/11/2010 12:43:25

PRENDRE MATÉRIEL LOT ÉLIE





Section A-A

B4-4

2 POUTRES B4-4

MONTAGE 4-4

SPÉCIMEN 38M

FUSIBLE : F-C-L-51-38M-600

FUSIBLE IDEM À F-C-L-51-38-600

NOTE: LES FUSIBLES SONT FABRIQUÉES À L'EXTERNE ET POSÉES APRSÈ CHEZ LAINCO

BILL OF MATERIAL

S	QT	MARQ	DESCRIPTION	GRADE	LONGUEUR	REMARQ
L	2		POUTRE			
	2	B4-4	HSS5x5x5/16	A500C	1570	
	8	a2036	L2x2x3/16	44W	970	FUSIBLE
	4	p2025	PL38x226	44W	373	
	4	p2033	PL6x160	44W	945	
	4	p2032	PL6x137	44W	945	
			FIELD BOLTS			
	16		25 Dia A325N		90	

REV	DATE	DESCRIPTION	DES	VER
1	Nov 18 2010	POUR FABRICATION	JD	ES

REFERENCE :

PEINT : CISC L-73a (GP35) U/N

TROUS : 21mm S.C.C

ELECTRODE : E70XX

LAINCO — Tel: (450) 965-9010 — Web: www.lainco.ca

DESSINÉ PAR: JD
VERIFIÉ PAR: ES
DATE: 18-11-2010

CLIENT : ÉLIE ST-ONGE

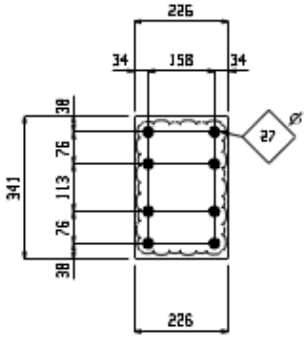
PROJET : RD027

STRUCTURE : RECHERCHE SUR LES FUSIBLES

DESSIN No : 4-4 (1)

jsaquette

PLOT DATE: Jul 05 2012



4 MISCS M4

NO PAINT

PLAQUE DE LIAISON

BILL OF MATERIAL

S	QT	MARQ	DESCRIPTION	GRADE	LONGUEUR	REMARQ
L	4		MISC			
	4	M4	PL10x226	44W	341	
			FIELD BOLTS			
	8		25 Dia A325N		90	

REV	DATE	DESCRIPTION	DES	VER
1	Nov 18 2010	POUR FABRICATION	JD	ES

REFERENCE :

PEINT : CISC L-73a (GP15) U/M

TROUS : 21mm S.I.C

ELECTRODE : E70XX

LAINCO

Tel: (450) 965-8010
Web: www.lainco.ca

DESSINÉ PAR: JD
VERIFIÉ PAR: ES
DATE: 18-11-2010

CLIENT : ÉLIE ST-ONGE

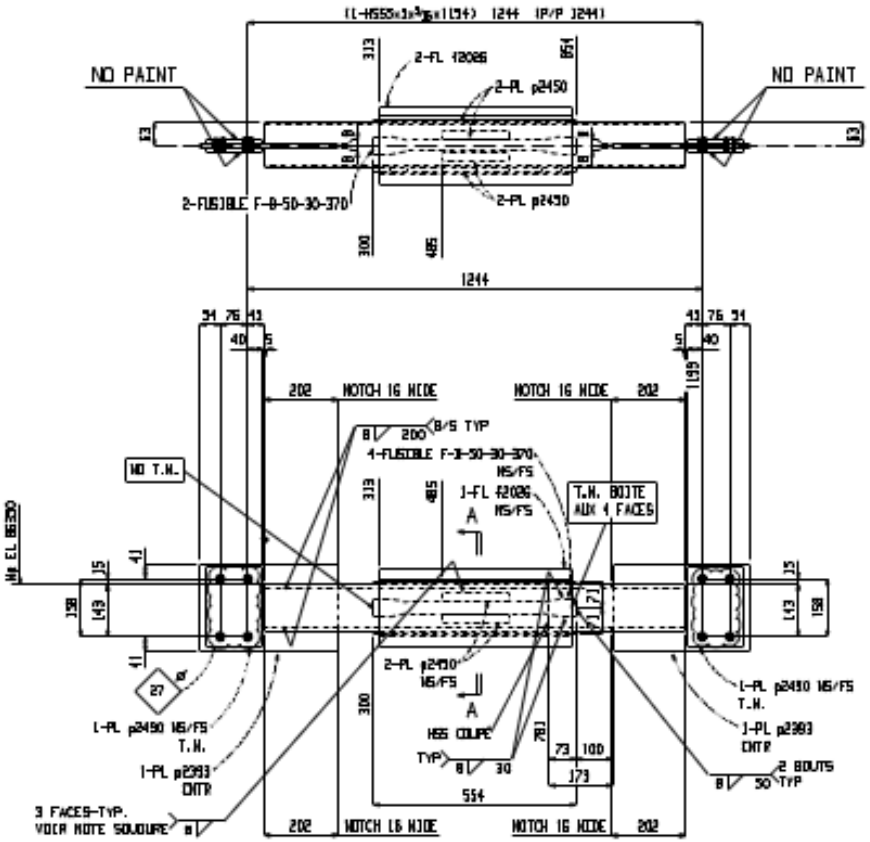
PARTIE : RD027

STRUCTURE : RECHERCHE SUR LES FUSIBLES

DESIGN No : M4 (1)

jdu-fresne

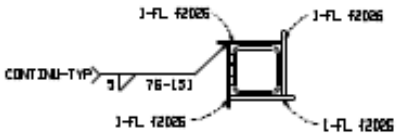
PLOT DATE: Nov 18 2010



NOTE SOUDURE:
AUCUNE SOUDURE SUR LES FUSIBLES
ET MAXIMUM 1/16 D'ÉCARTEMENT

ONE POUTRE B17

PRÉVOIRE LOT
D'ACCER DE ÉLIE
POUR LES MS



Section A-A
B17

BILL OF MATERIAL

S	QT	MARK	DESCRIPTION	GRADE	LENGTH	REMARK
1	ONE		POUTRE			
	1	B17	[illegible]	[illegible]	[illegible]	
	2	[illegible]	PL13x240	A36	372	
	4	[illegible]	PL13x200	A36	200	
	4	[illegible]	PL8x170	A36	528	
	4	F-B-50-30-370	FUSIBLE			
	4	[illegible]	PL8x25	A36	185	
			POUR BOLTS			
	8		25 Ø x 425		[illegible]	[illegible]

1	AU 12 2011	MISE EN FABRICATION	S.G.	C.G.
REV	DATE	DESCRIPTION	VÉR.	REV

REFERENCE : –
POUR : [illegible]
TRAVAIL : [illegible]
CLIENTÈLE : [illegible]

LAMCO

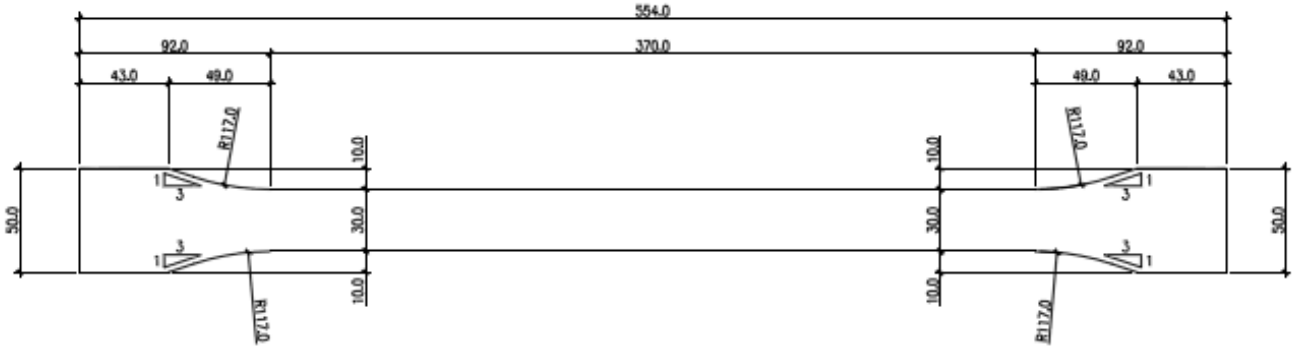
DESSINÉ PAR: S.G.
VÉRIFIÉ PAR: C.G.
DATE: [illegible]

R0027

L7

AU 12 2011

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



F-D-50-30-370 (remplace F-D-55-35-370)
FB 7.9x127 x 579 Lg. / 44W (PAR LAINCO)
4 REQUISES
TOLÉRANCE: ± 0.1mm

MILL TEST:
Fy = 453 Mpa
Fu = 611 Mpa

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

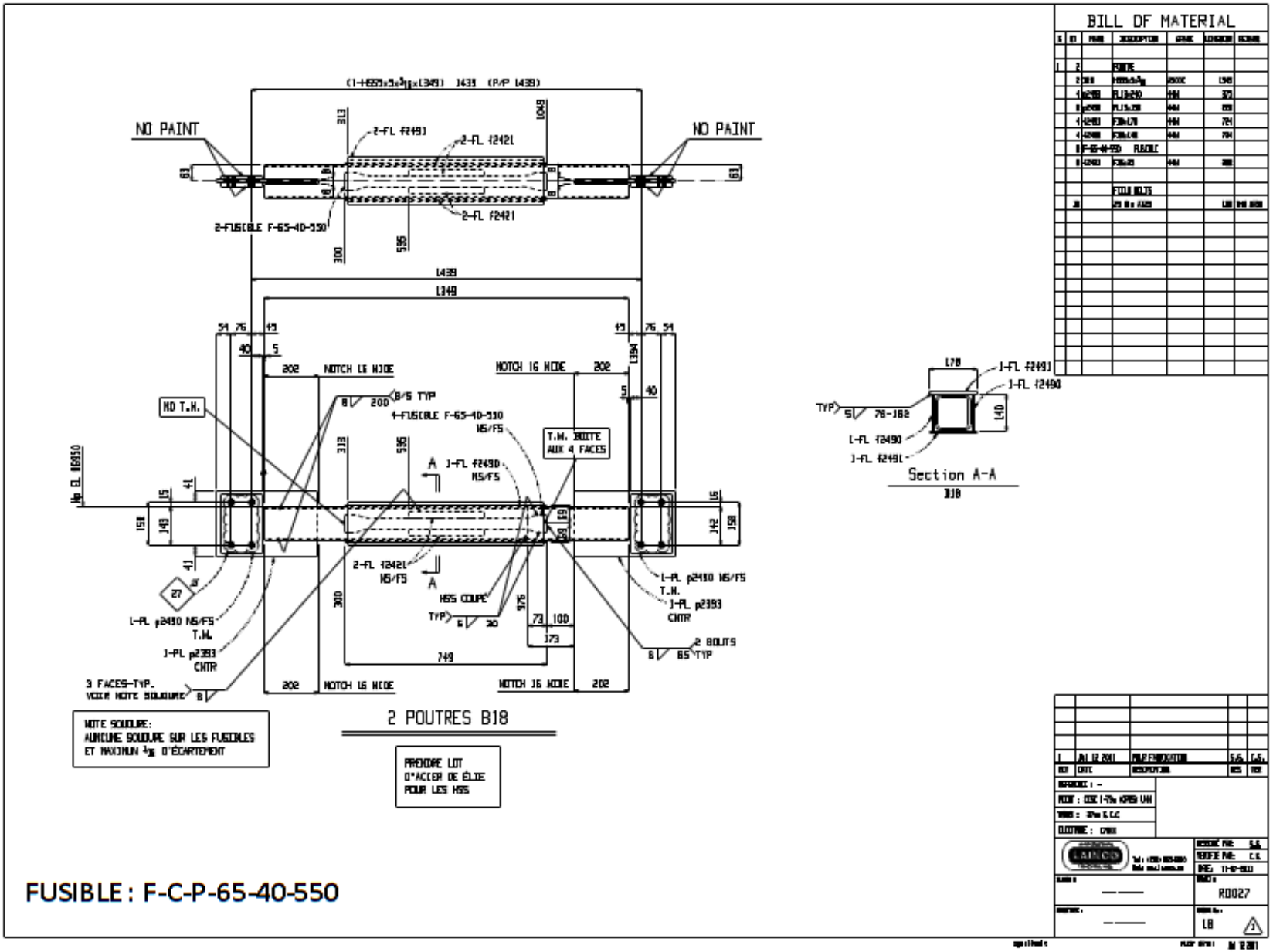
LAINCO

Titre: Fusible Serie D
F-D-50-30-370

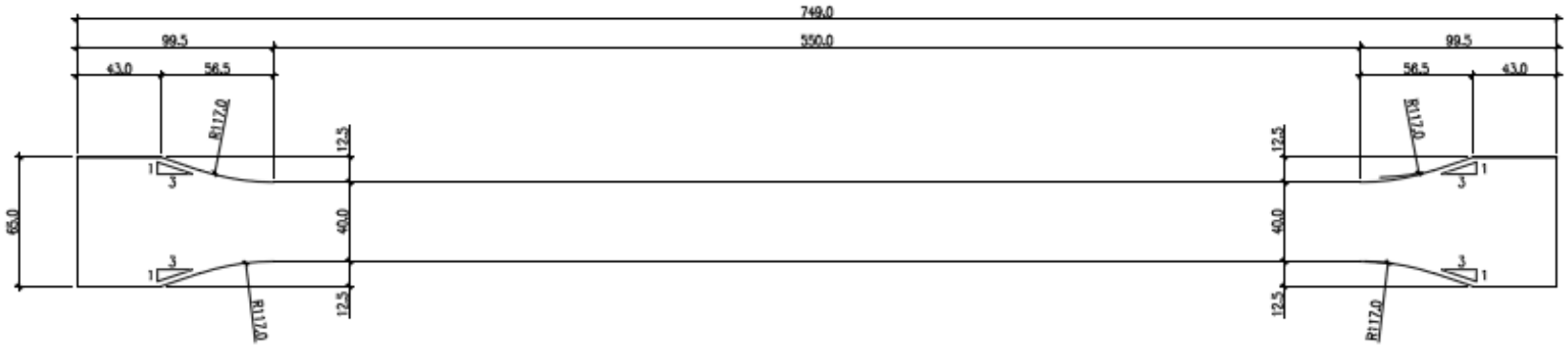
Vérifié par: E.ST-ONGE | Dessiné par: A.ROCQUE | Date: 2011-05-25

No. Projet: RD-027

25/05/2011 21:21:21



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



F-D-65-40-550B (aucune modification)
FB 6.35x127 x 774 Lg. / 44W (PAR LAINCO)
20 REQUISES
TOLÉRANCE: ± 0.1mm

MILL TEST:
Fy = 364 Mpa
Fu = 489 Mpa

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

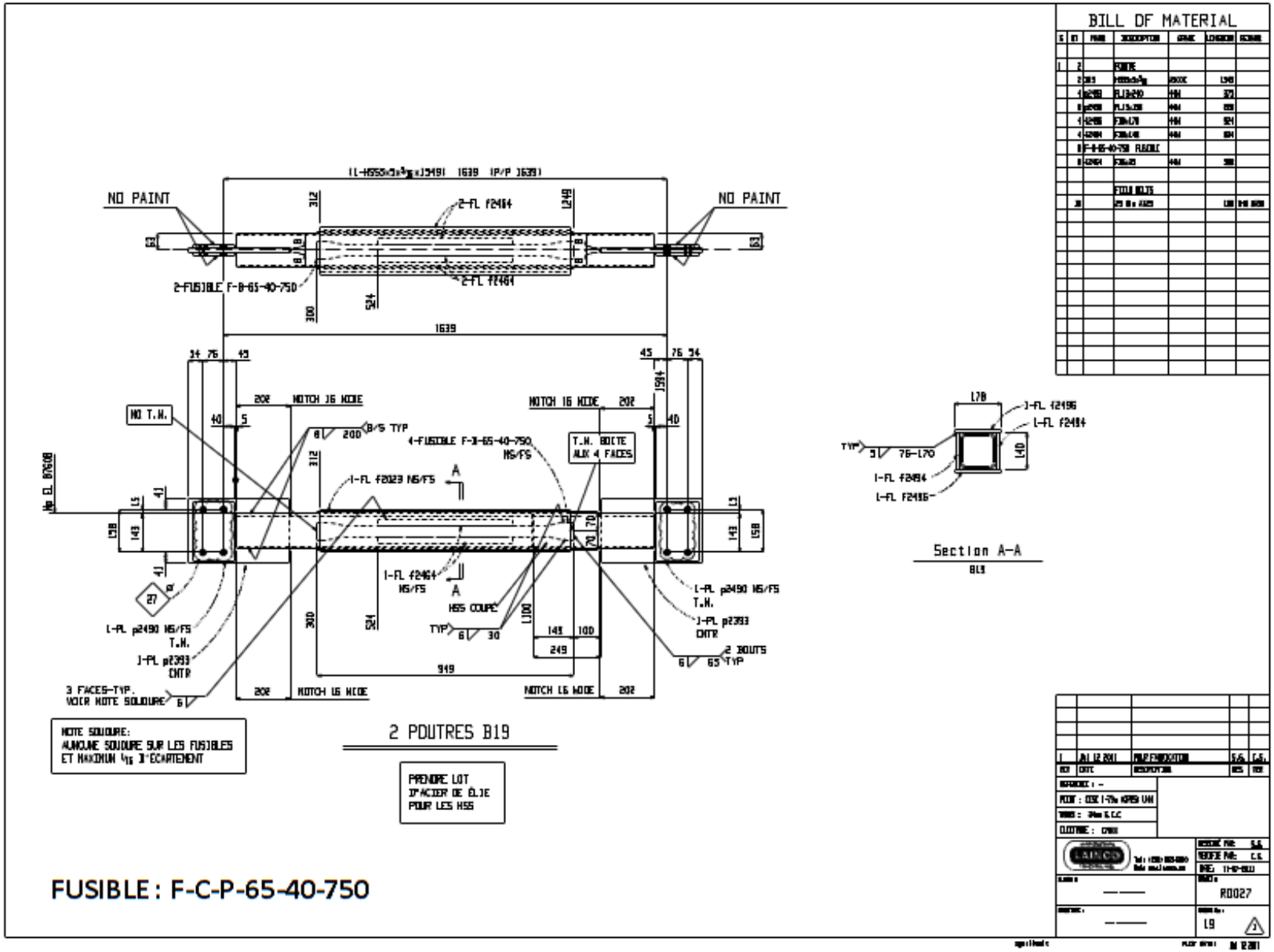
LAINCO

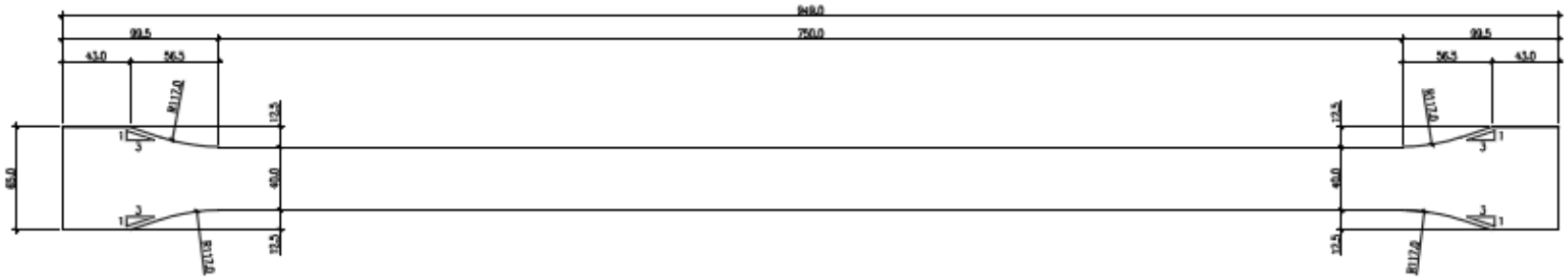
Titre: Fusible Serie D
F-D-65-40-550B

Vérifié par: E.ST-ONGE | Dessiné par: A.ROCQUE | Date: 2011-05-25

No. Projet: RD-027

25/05/2011 21:30:06


BILL OF MATERIAL
NO PAINT
NO PAINT
2-FL f2464
2-FL f2464
2-FUSIBLE F-B-65-40-750
1639
NOTCH 16 WIDE
NOTCH 16 WIDE
NO T.H.
B/S TYP
4-FUSIBLE F-B-65-40-750 NS/FS
T.H. BOITE AUX 4 FACES
1-FL f2023 NS/FS
1-FL f2464 NS/FS
HSS COUPE
L-PL p2490 NS/FS T.H.
J-PL p2393 CNTR
2 BOUTS
3 FACES-TYP. VOIR NOTE SOUDURE
NOTCH 16 WIDE
NOTCH 16 WIDE
949
Section A-A
NOTE SOUDURE:
AUCUNE SOUDURE SUR LES FUSIBLES
ET MAXIMUM 1/16 D'ECARTEMENT
2 POUTRES B19
PRENDRE LOT D'ACIER DE ÉLJE POUR LES HSS
FUSIBLE : F-C-P-65-40-750
R0027
L9



F-D-65-40-750A (remplace F-D-65-40-550A / FB 4.76x127x774)
FB 6.35x127 x 975 Lg. / 44W (PAR LAINCO)
8 REQUISES
TOLÉRANCE: ± 0.1mm

MILL TEST:
Fy = 364 Mpa
Fu = 489 Mpa

FUSIBLE : F-C-P-65-40-750

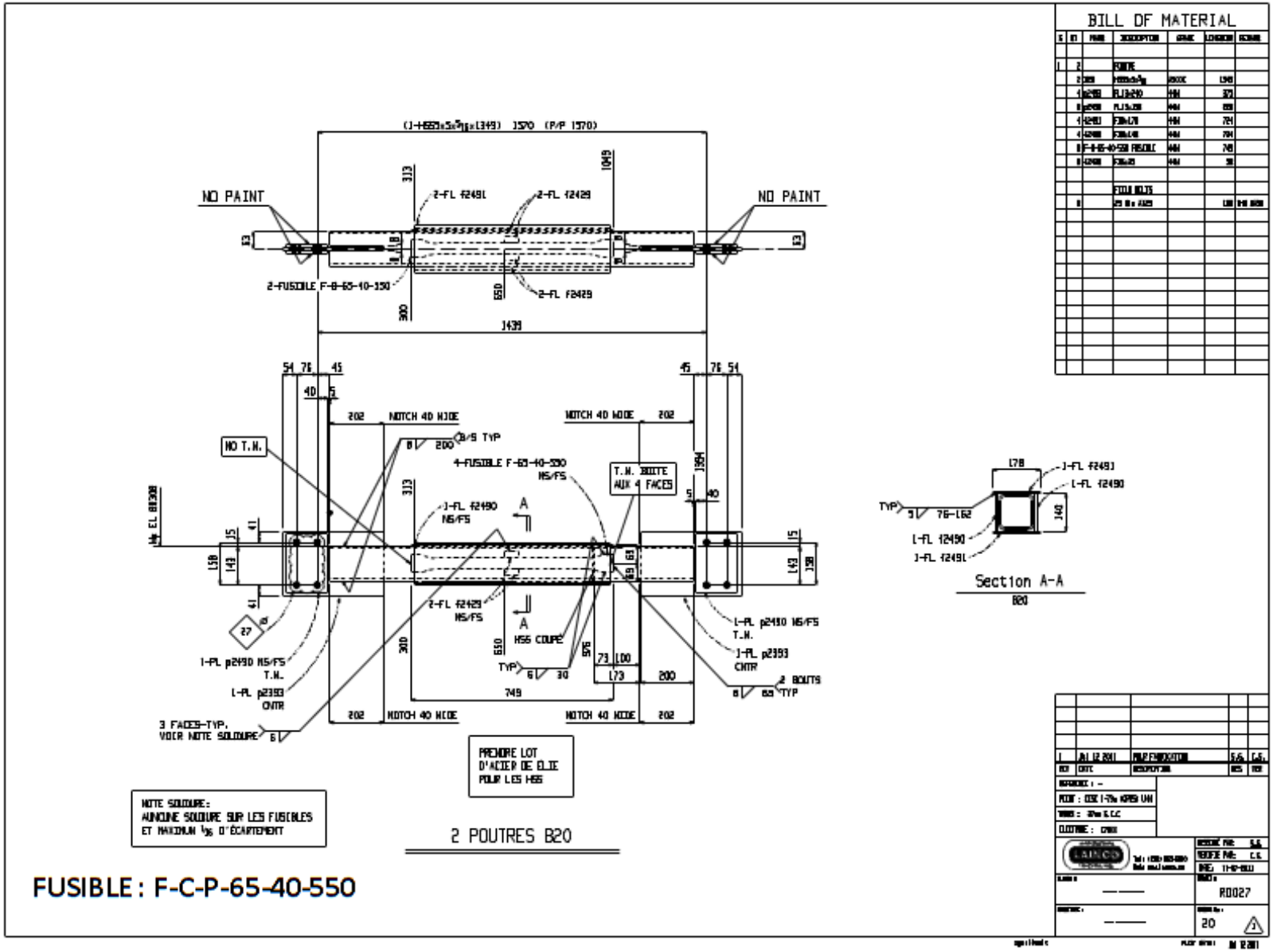
LAINCO

Titre: Fusible Serie D
F-D-65-40-750A

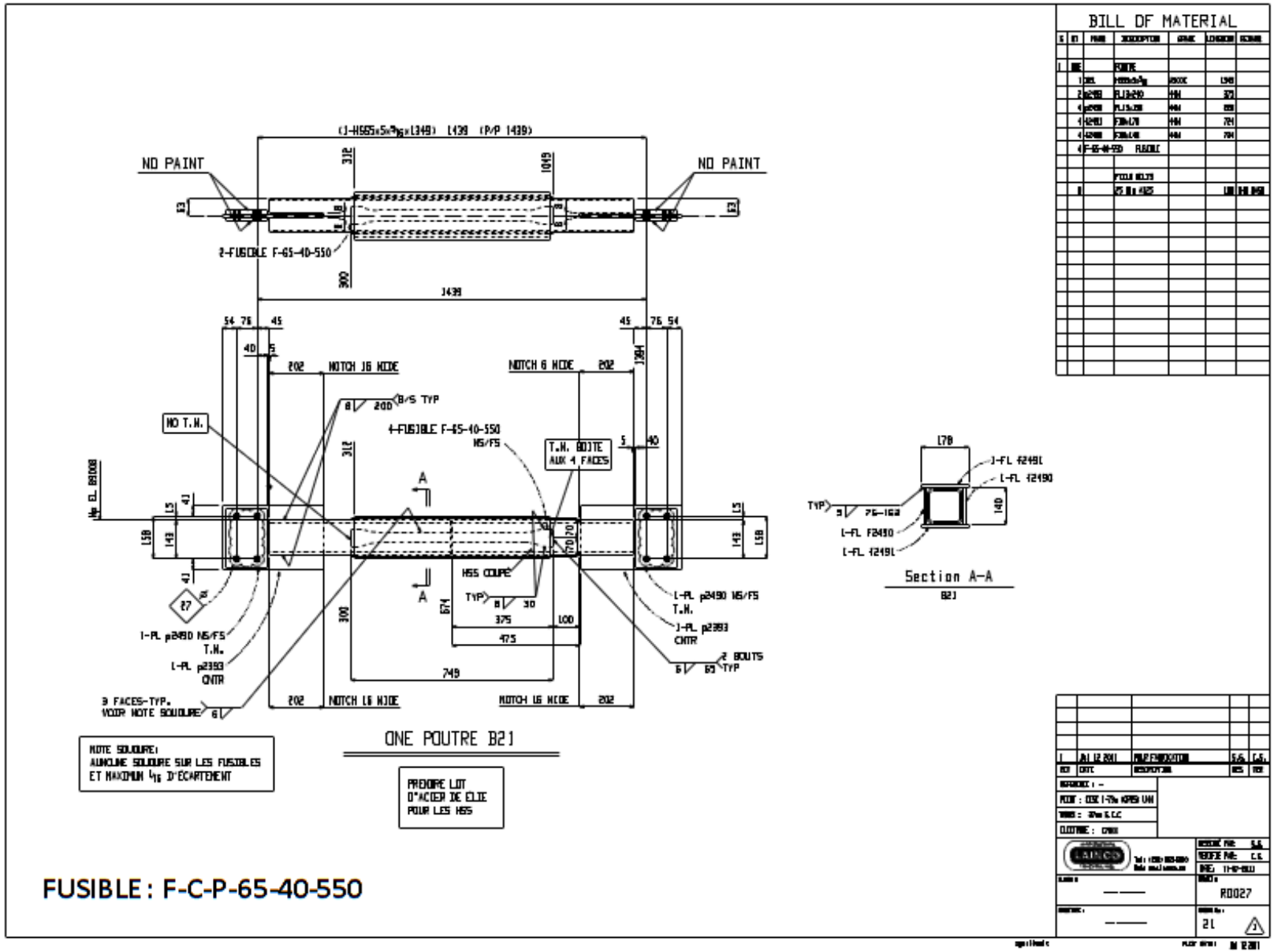
Vérifié par: E.ST-ONGE
Dessiné par: A.ROCQUE
Date: 2011-05-25

No. Projet: RD-027

25/05/2011 21:58:54



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

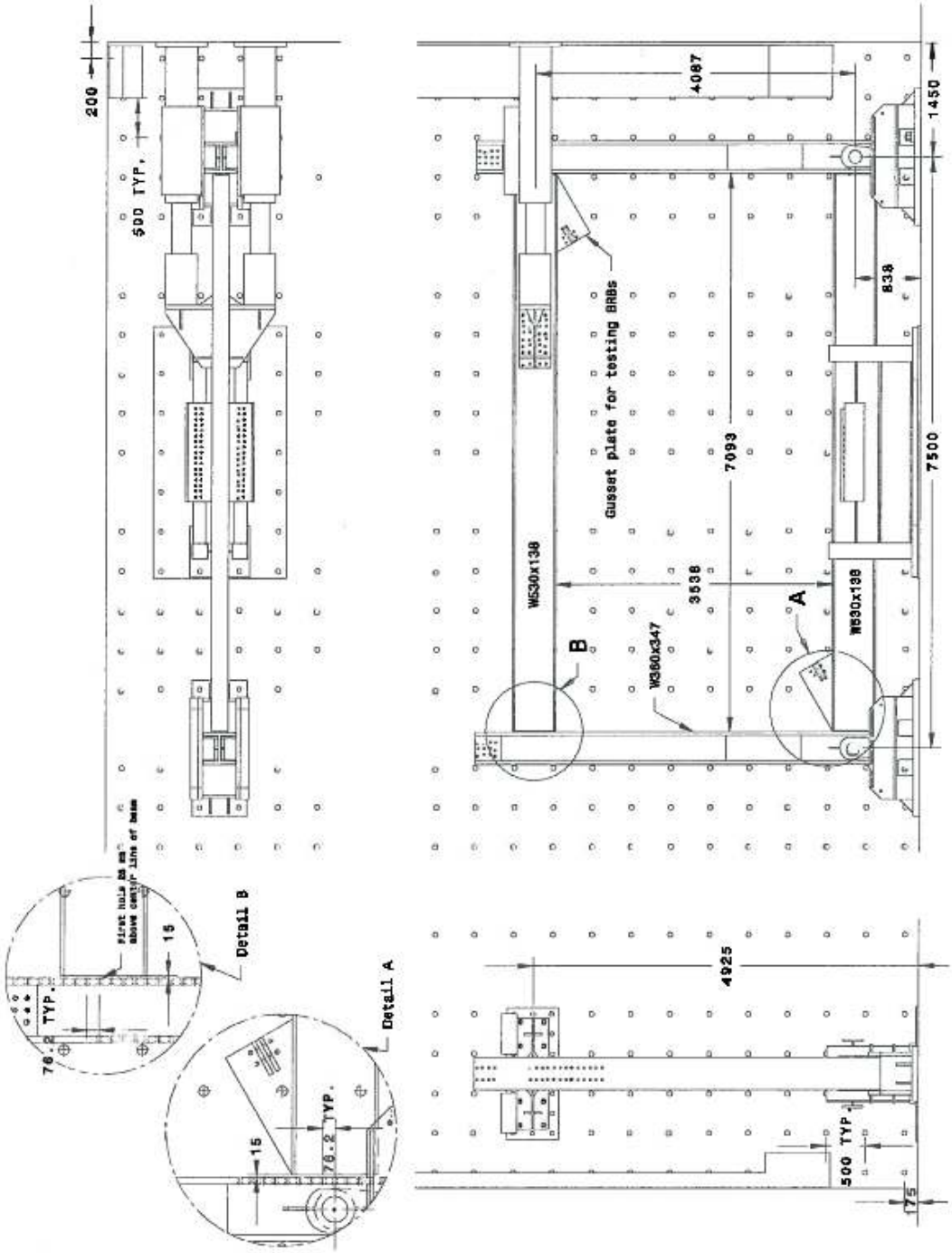


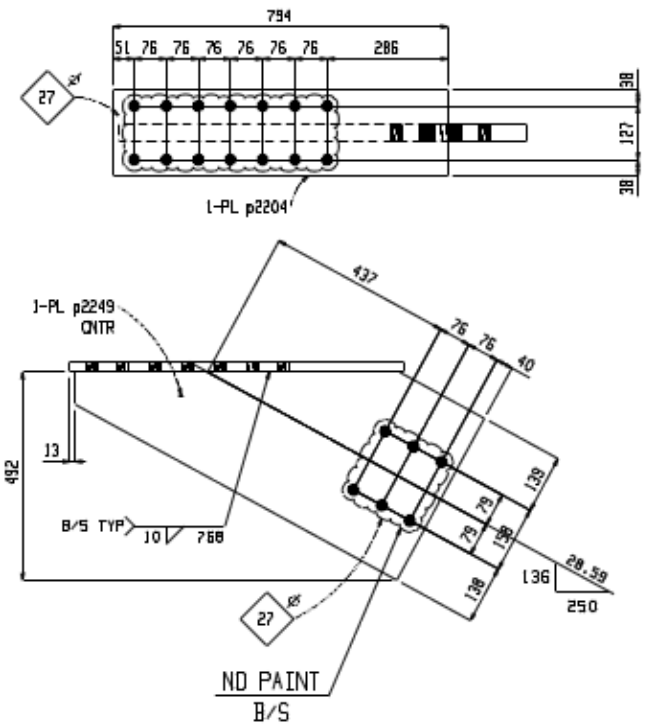
FUSIBLE : F-C-P-65-40-550

ANNEXE 5 – Programme expérimental D

Essais cycliques sur diagonales longues

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





2 POUTRES M1

BILL OF MATERIAL

S	QT	MARQ	DESCRIPTION	GRADE	LONGUEUR	REMARQ
L	2		POUTRE			
	2	p2249	PL38x492	44W	970	
	2	p2204	PL25x203	44W	794	
			FIELD BOLTS			
	28		25 Dia A325X		89	1HD WASH

REV	DATE	DESCRIPTION	DES	VER
0	Jan 19 2011	POUR FABRICATION	S.G.	E.S.

REFERENCE : -

PEINT : CISC (-73x (GP15) U/M

TROUS : 21mm S.C.C

ELECTRODE : E70XX

LAINCO

Tel: (450) 965-9010
Web: www.lainco.ca

DESSINE PAR: SC
VERIFIE PAR: E.S.
DATE: 18-01-2011

CLIENT : ————————

PROJET : RD027

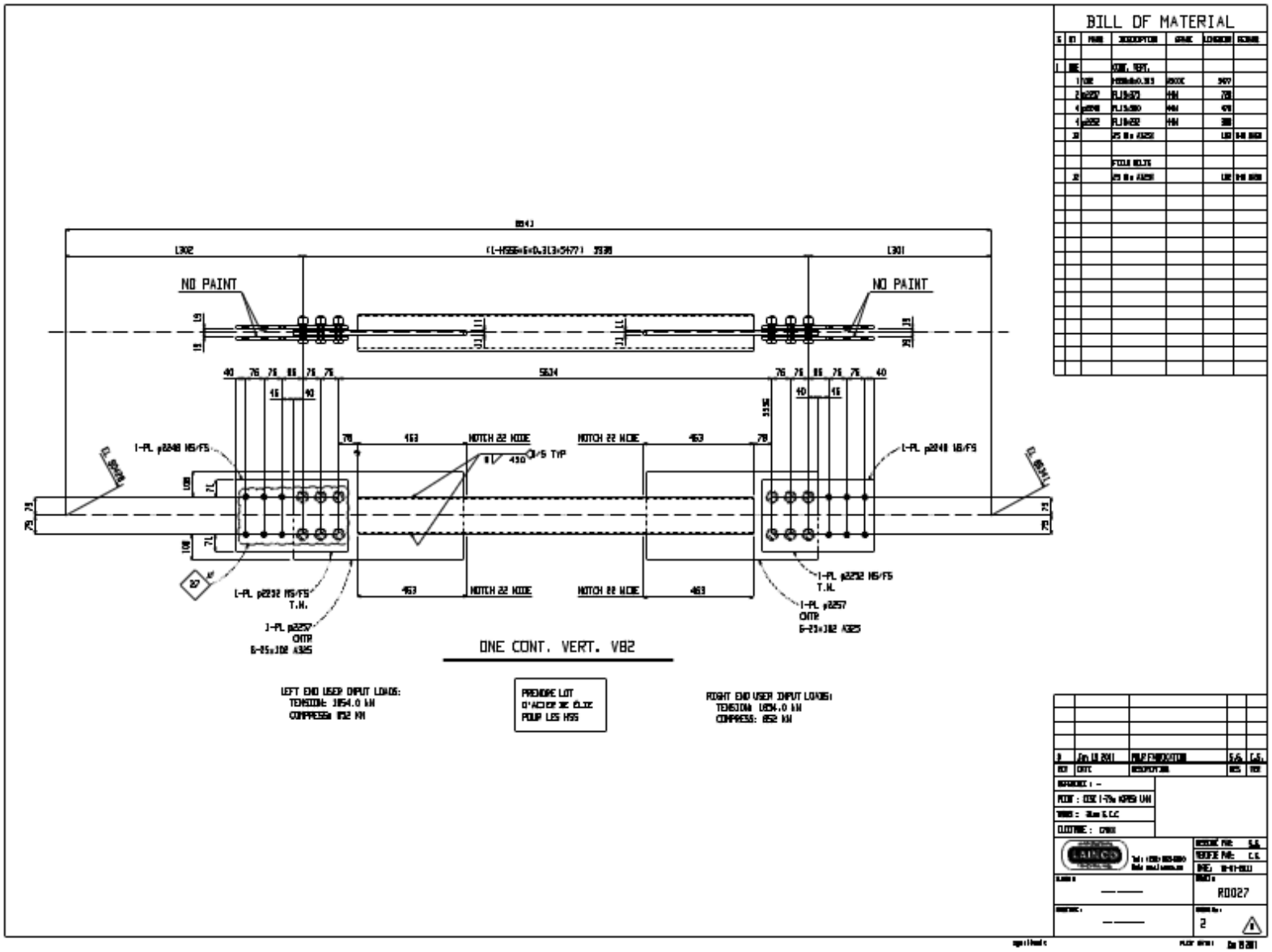
FABRICATEUR : ————————

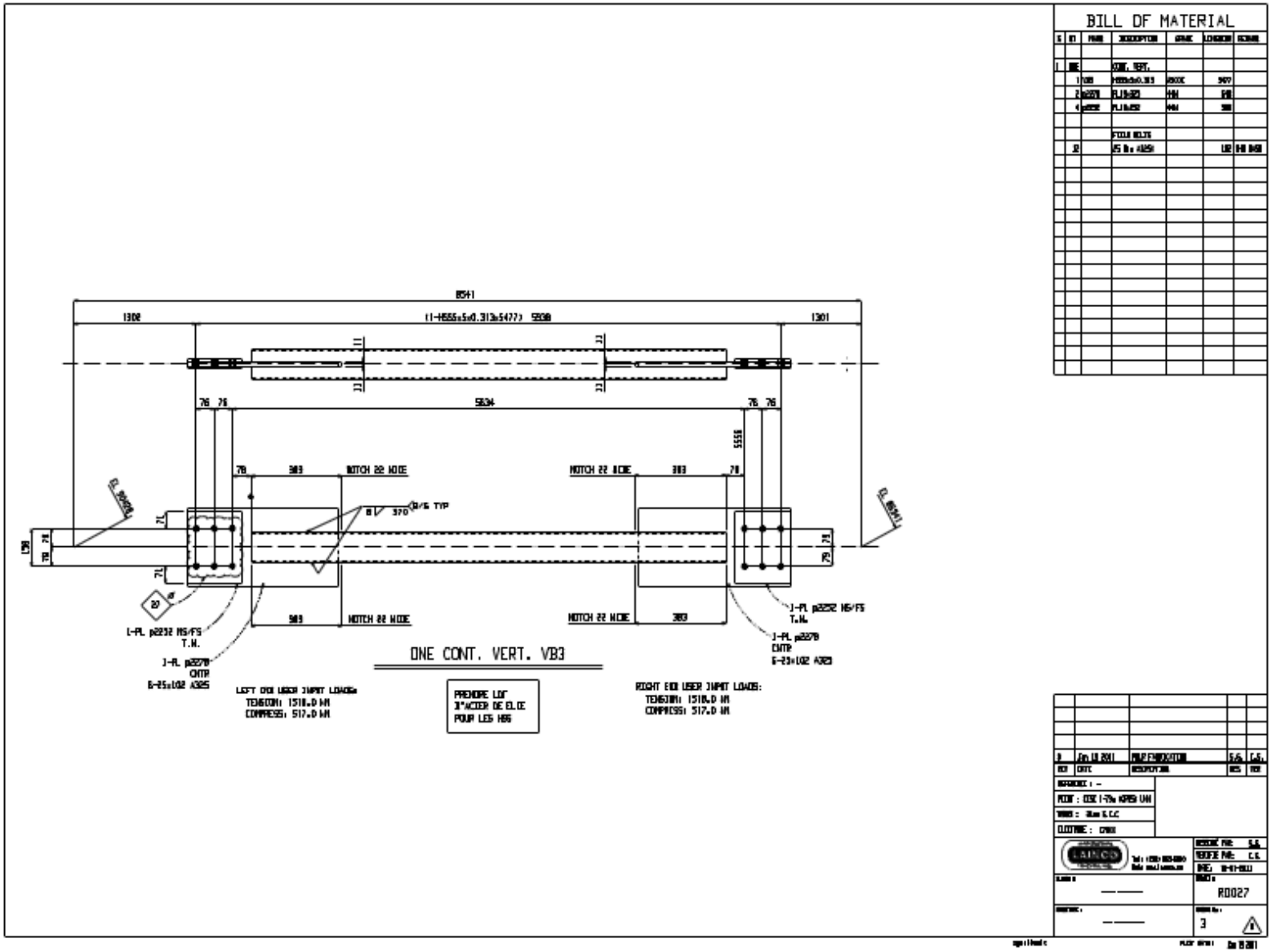
DESSIN No : 1

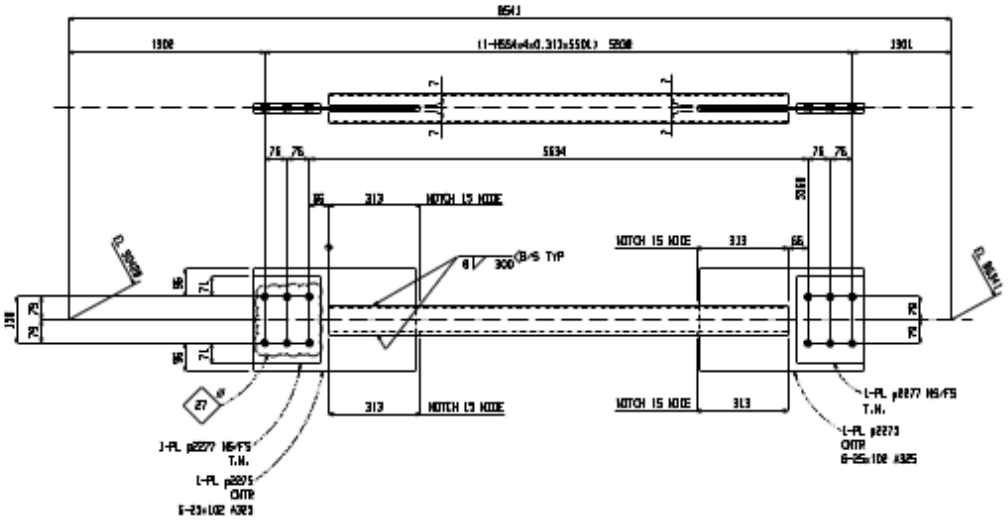
0

sguilbault

PLOT DATE: Jan 19 2011


BILL OF MATERIAL
NO PAINT
NO PAINT
L302
L301
5634
NOTCH 22 WIDE
NOTCH 22 WIDE
NOTCH 22 WIDE
NOTCH 22 WIDE
1-PL p2248 NS/FS
1-PL p2248 NS/FS
1-PL p2232 NS/FS T.N.
1-PL p2257 CNTP
1-PL p2232 NS/FS T.N.
1-PL p2257 CNTP
ONE CONT. VERT. V82
LEFT END USER INPUT LOADS:
TENSION: 1054.0 kN
COMPRESS: 852 kN
PRENDRE LOT D'ACIER DE CLASSE POUR LES HSS
RIGHT END USER INPUT LOADS:
TENSION: 1054.0 kN
COMPRESS: 852 kN
R0027
2


BILL OF MATERIAL
ONE CONT. VERT. VB3
NOTCH 22 WIDE
1-PL p2252 HS/FS T.N.
1-PL p2270 CNTP G-25x102 A325
LEFT END USER INPUT LOADS:
TENSION: 1518.0 kN
COMPRESS: 517.0 kN
RIGHT END USER INPUT LOADS:
TENSION: 1518.0 kN
COMPRESS: 517.0 kN
PRENDRE LOT 3"ACIER DE ELOE POUR LES HSS
R0027



ONE CONT. VERT. V84

LEFT END USER INPUT LOADS:
TENSION: 1182.0 kN
COMPRESS: 266.0 kN

PREMORE LOT
D'ACIER DE ELIE
POUR LES HSS

RIGHT END USER INPUT LOADS:
TENSION: 1182.0 kN
COMPRESS: 266.0 kN

BILL OF MATERIAL

S	QT	MARK	DESCRIPTION	GRADE	LENGTH	REMARK
1	ONE		CONT. VERT.			
	1	TCM	HSS4x4x0.313	A500C	5541	
	2	p2277	PL13x300	A36	300	
	4	p2277	PL13x250	A36	300	
			FIELD BOLTS			
	32		25 Dia A325		102	HS BHB

0	Jan 18 2011	FOR FABRICATION	S.G.	C.G.
REV	DATE	DESCRIPTION	DES	REV

REFERENCE : --
FOOT : CISC 1-7Dia KOPES LAH
TRUSS : 30m S.C.C
CLOTHING : CMBB

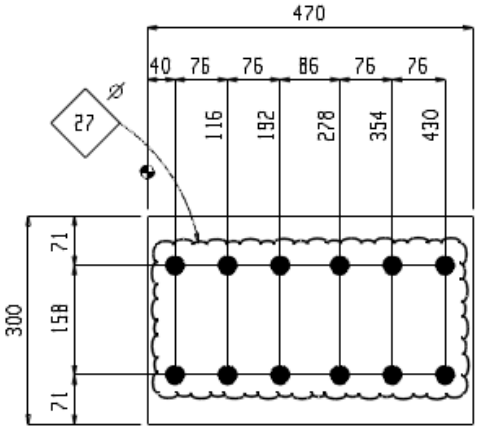
LAINCO

DESIGNED BY: S.G.
REVIEWED BY: C.G.
DATE: 18-01-2011

RD027

4

PLOT DATE: Jan 18 2011



PL13x300x470 p2248

GRADE: 44W

QT	COUPE	TRACE

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

REV	DESCRIPTION	DES	VER	DATE

TROUS : 21 mm DIA UN

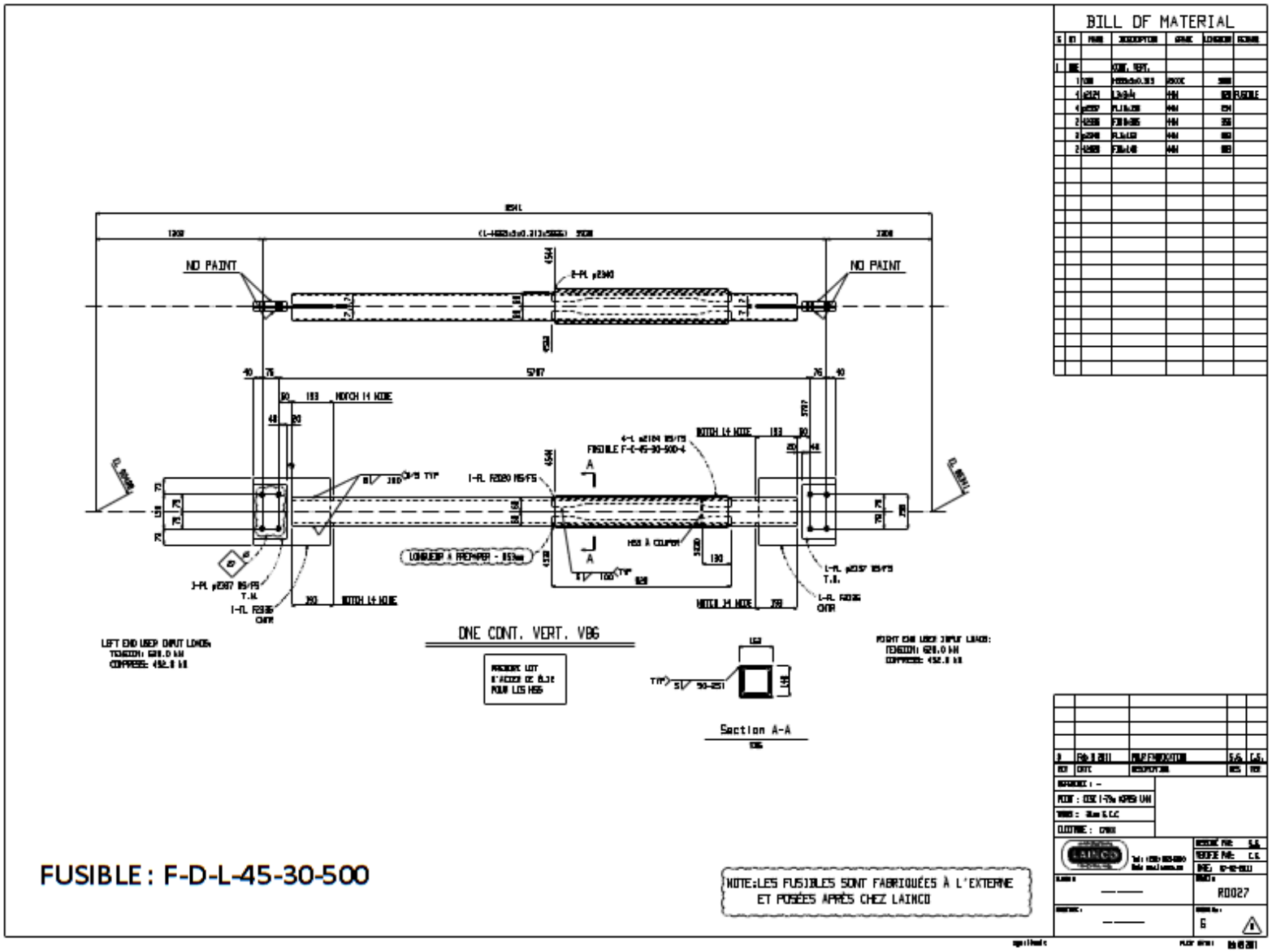
ACIER STRUCTURAL LAINCO STRUCTURAL STEEL

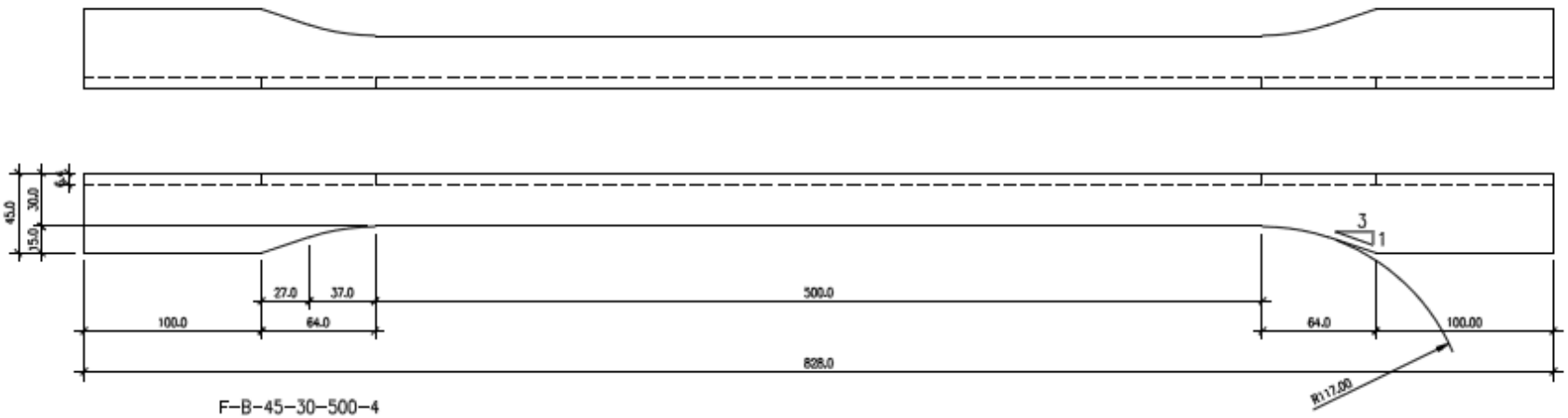
DESSINÉ PAR: SG DATE: 05-01-2011
VERIFIÉ PAR: ES DATE:
PROJET No: RD027
DESSIN No : p2248

PROJET : RECHERCHE SUR LES FUSIBLES

sguilbault

PLOT DATE: Jan 19 2011


BILL OF MATERIAL
NO PAINT
NO PAINT
NOTCH 14 MORE
NOTCH 14 MORE
NOTCH 14 MORE
NOTCH 14 MORE
FUSIBLE F-C-45-30-500-4
LONGUEUR À PREPARER - 853mm
HSS À COUPER
LEFT END USER INPUT LOADS:
TENSION: 620.0 kN
COMPRESS: 452.8 kN
RIGHT END USER INPUT LOADS:
TENSION: 620.0 kN
COMPRESS: 452.8 kN
DNE CONT. VERT. VBG
Section A-A
FUSIBLE : F-D-L-45-30-500
NOTE:LES FUSIBLES SONT FABRIQUÉES À L'EXTERNE
ET POSÉES APRÈS CHEZ LAINCO
R0027
G



F-B-45-30-500-4
L-3"x3"x1/4" / 44W (FOURNI PAR LAINCO)
4 REQUIS

TOLÉRANCE : +/- 0.1 mm

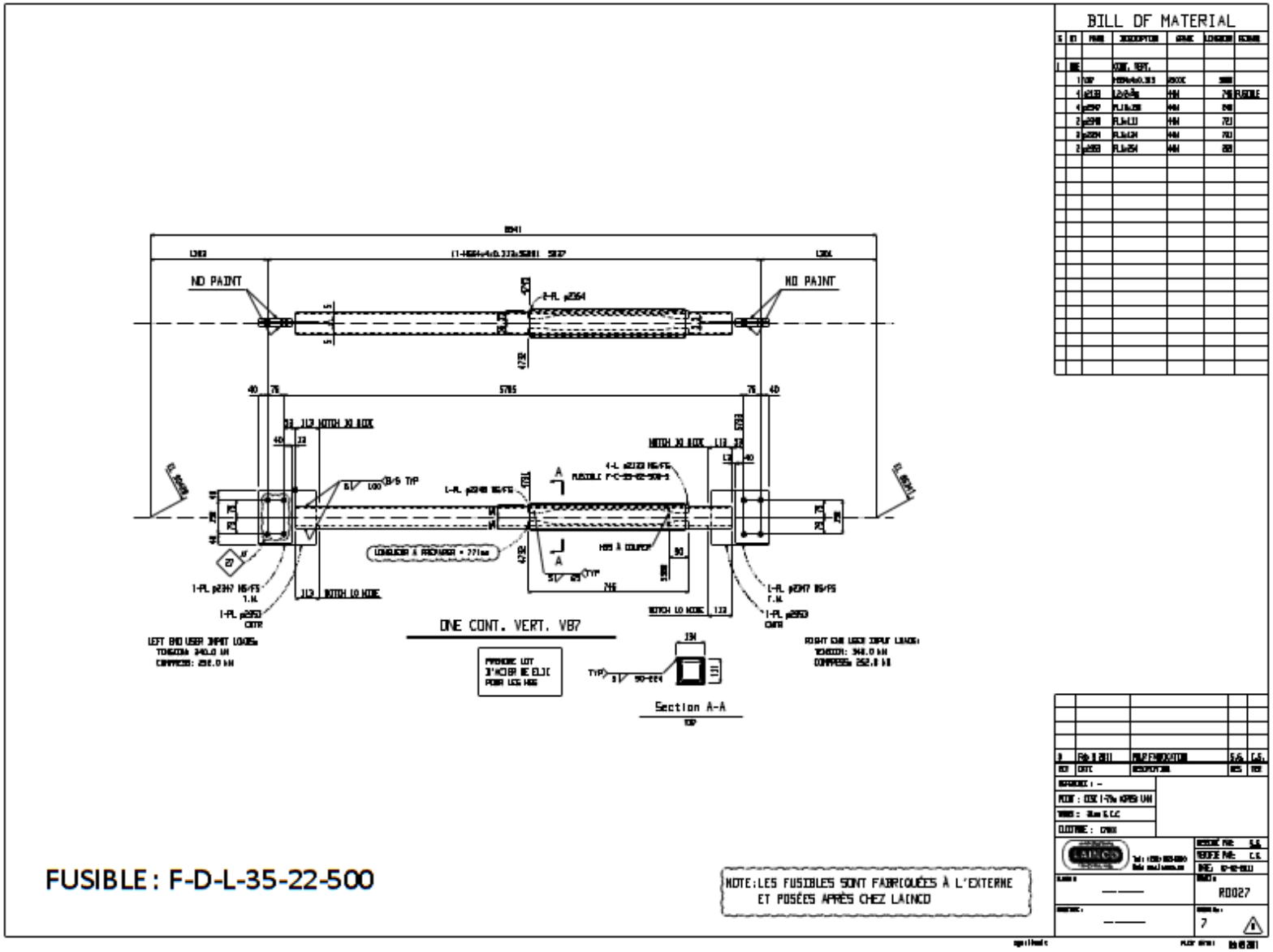
e_final = 0.11 mm/mm

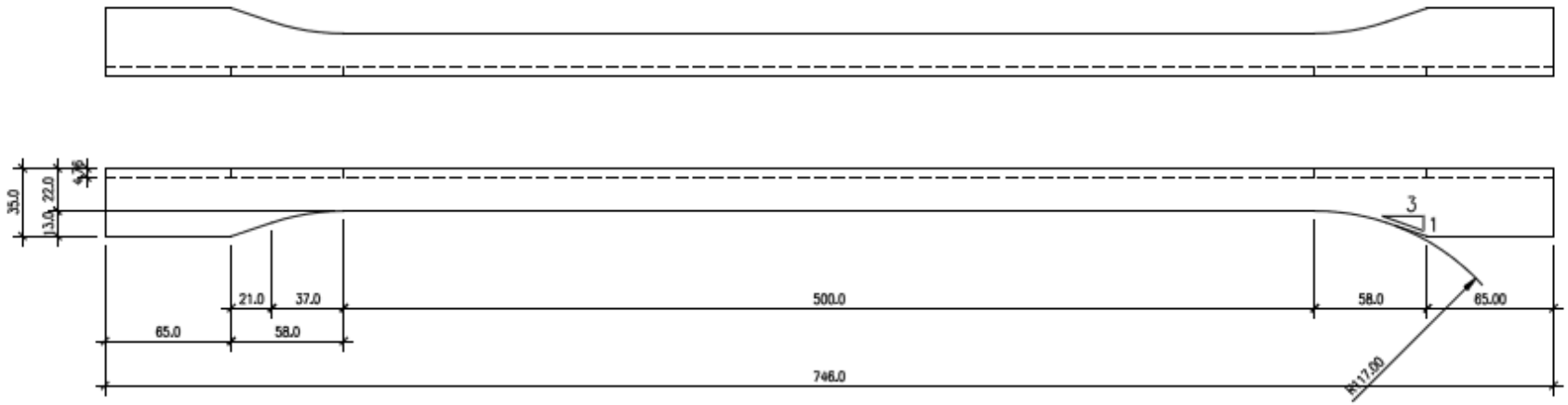
FUSIBLE : F-D-L-45-30-500

LAINCO

Titre: FUSIBLE SÉRIE C F-C-45-30-500-4			Item No: Ré-bâtre
			No. Projet: RD027
Vérifié par:	Dessiné par: Éric St-Onge	Date: 03-FÉV-2011	No. Dessin: CR-02

08/02/2011 15:51:55


BILL OF MATERIAL
NO PAINT
NO PAINT
DNE CONT. VERT. VB7
Section A-A
FUSIBLE : F-D-L-35-22-500
NOTE:LES FUSIBLES SONT FABRIQUÉES À L'EXTERNE
ET POSÉES APRÈS CHEZ LAINCO
R0027



F-C-35-22-500-5
L-2"x2"x3/16" / 44W (FOURNI PAR LAINCO)
4 REQUIS

TOLÉRANCE : +/- 0.1 mm

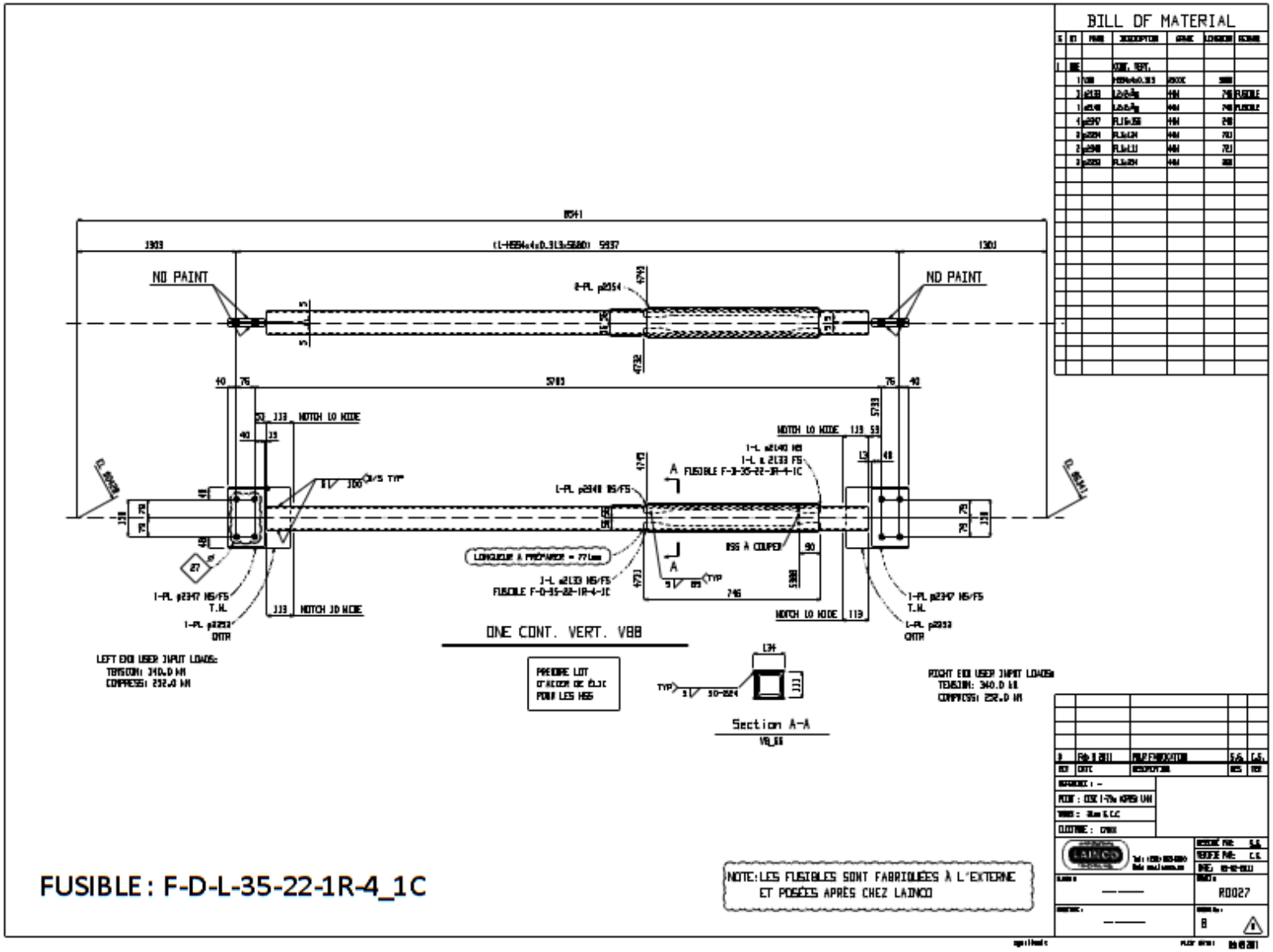
e_final = 0.098 mm/mm

FUSIBLE : F-D-L-35-22-500

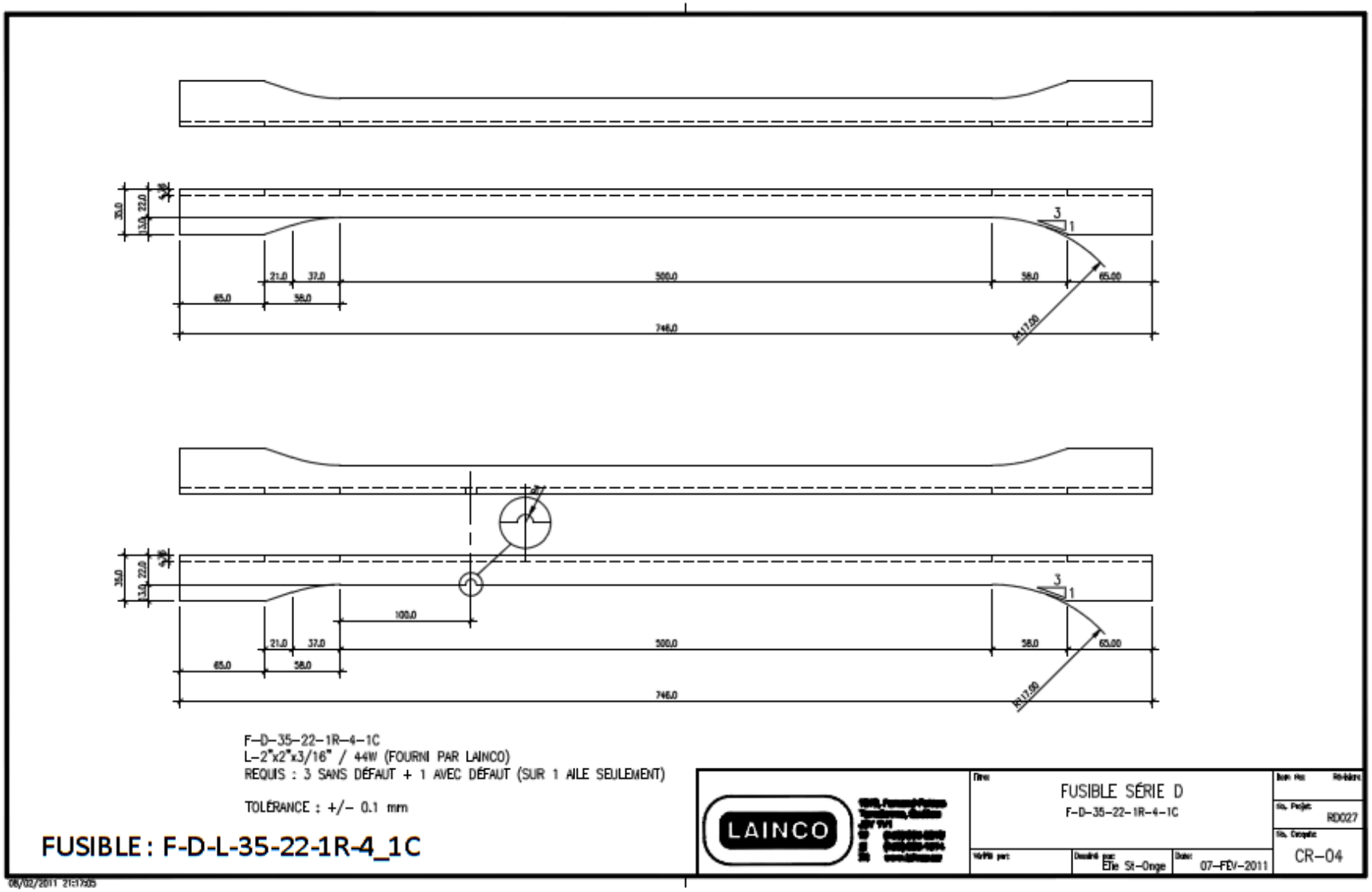
LAINCO

Titre: FUSIBLE SÉRIE C F-C-35-22-500-5			Dess. No: Révision
			No. Projet: RD027
			No. Dessin: CR-03
Vérifié par:	Dessiné par: Elie St-Onge	Date: 04-FEV-2011	

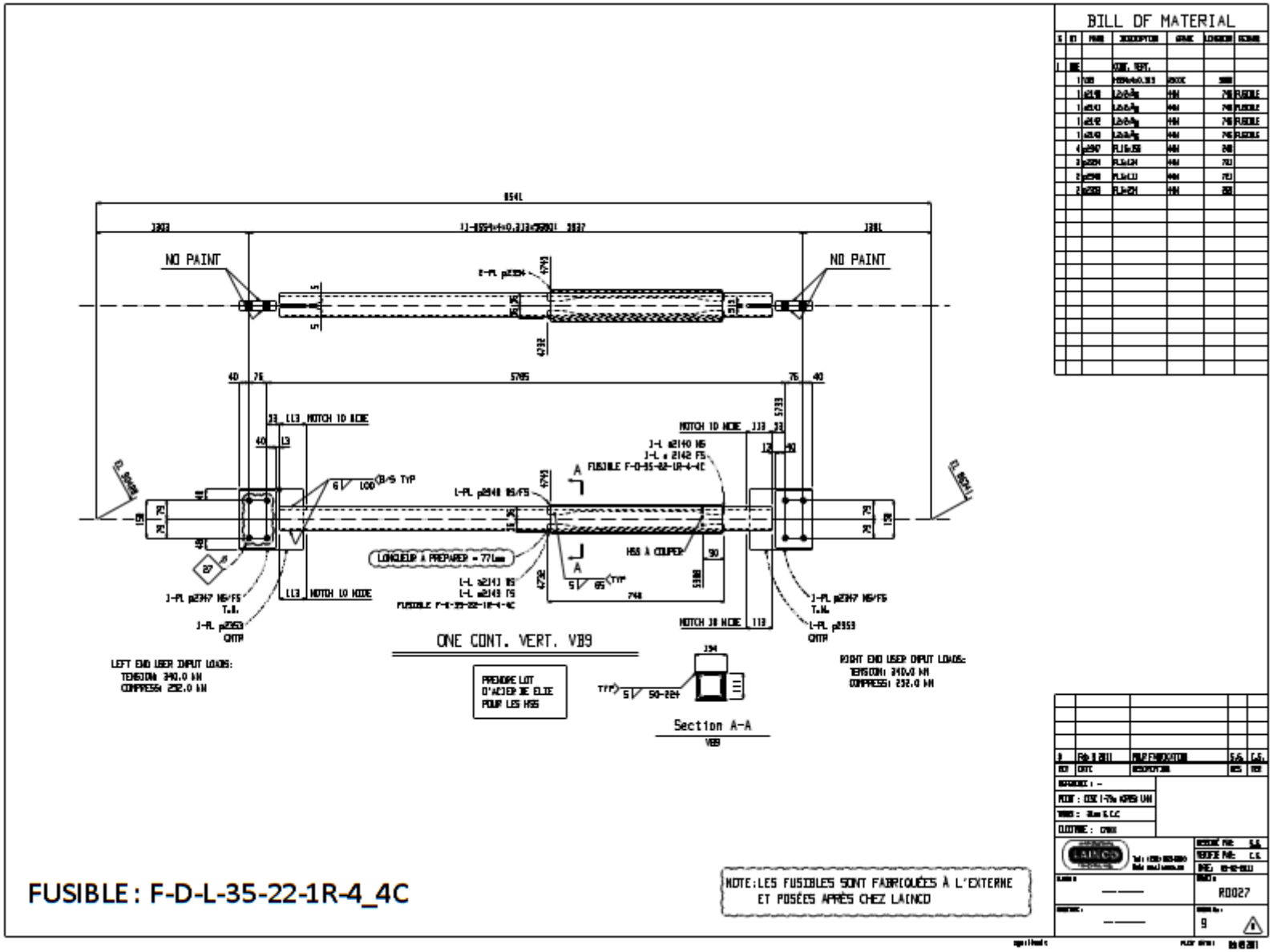
08/02/2011 21:01:01



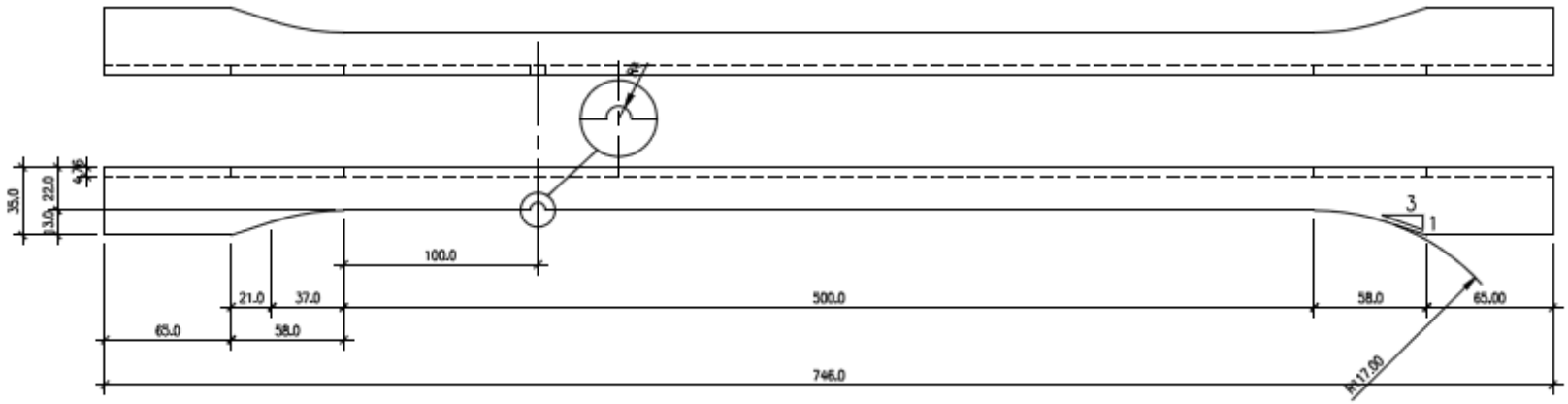
FUSIBLE : F-D-L-35-22-1R-4_1C



FUSIBLE : F-D-L-35-22-1R-4_1C



FUSIBLE : F-D-L-35-22-1R-4_4C



F-D-35-22-1R-4-4C
L-2"x2"x3/16" / 44W (FOURNI PAR LAINCO)
REQUIS : 4 AVEC DÉFAUT (SUR 1 AILE SEULEMENT)

TOLÉRANCE : +/- 0.1 mm

e_final = 0.091 mm/mm

FUSIBLE : F-D-L-35-22-1R-4_4C

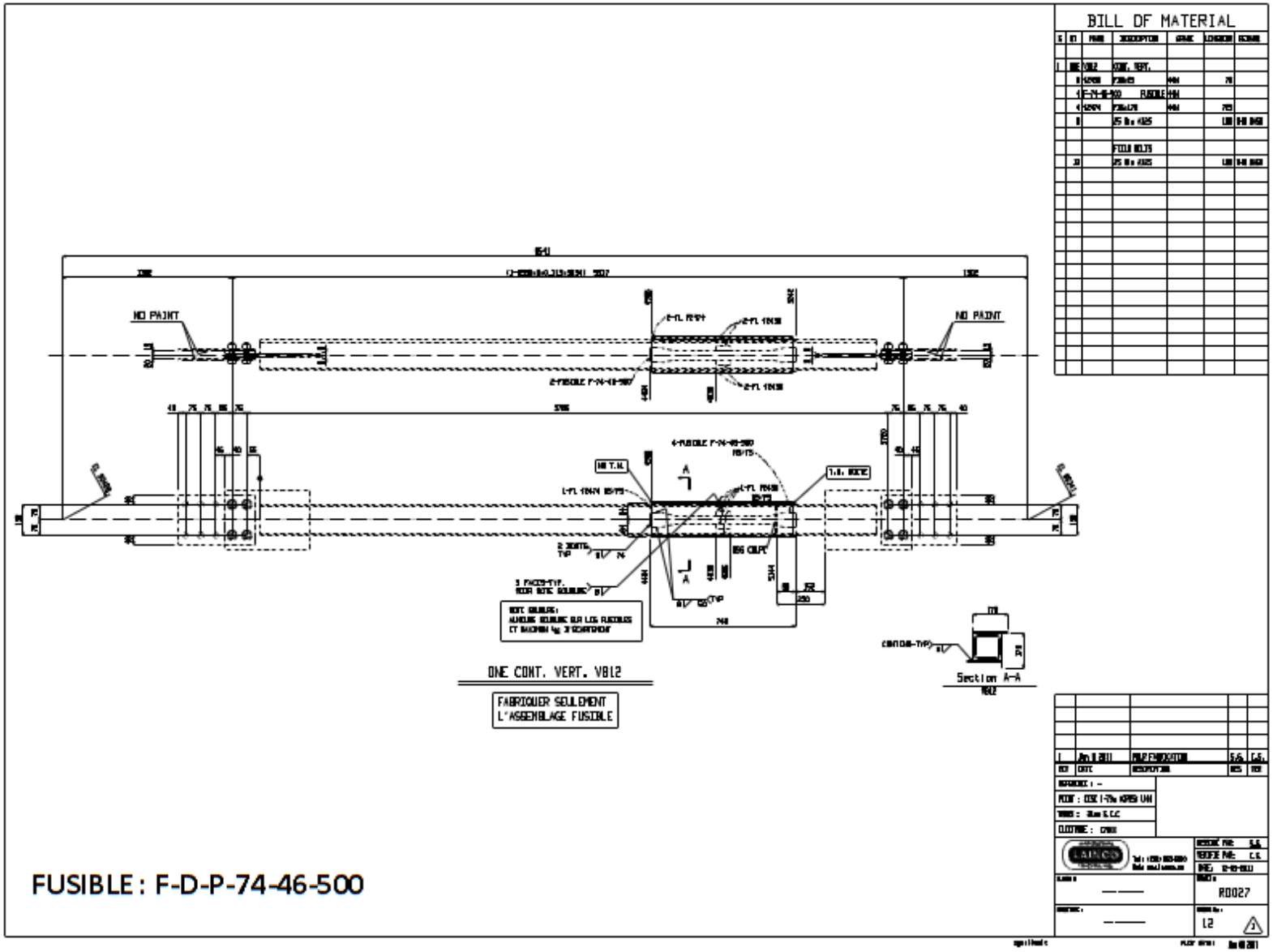
LAINCO

Titre: FUSIBLE SÉRIE D
F-D-35-22-1R-4-4C

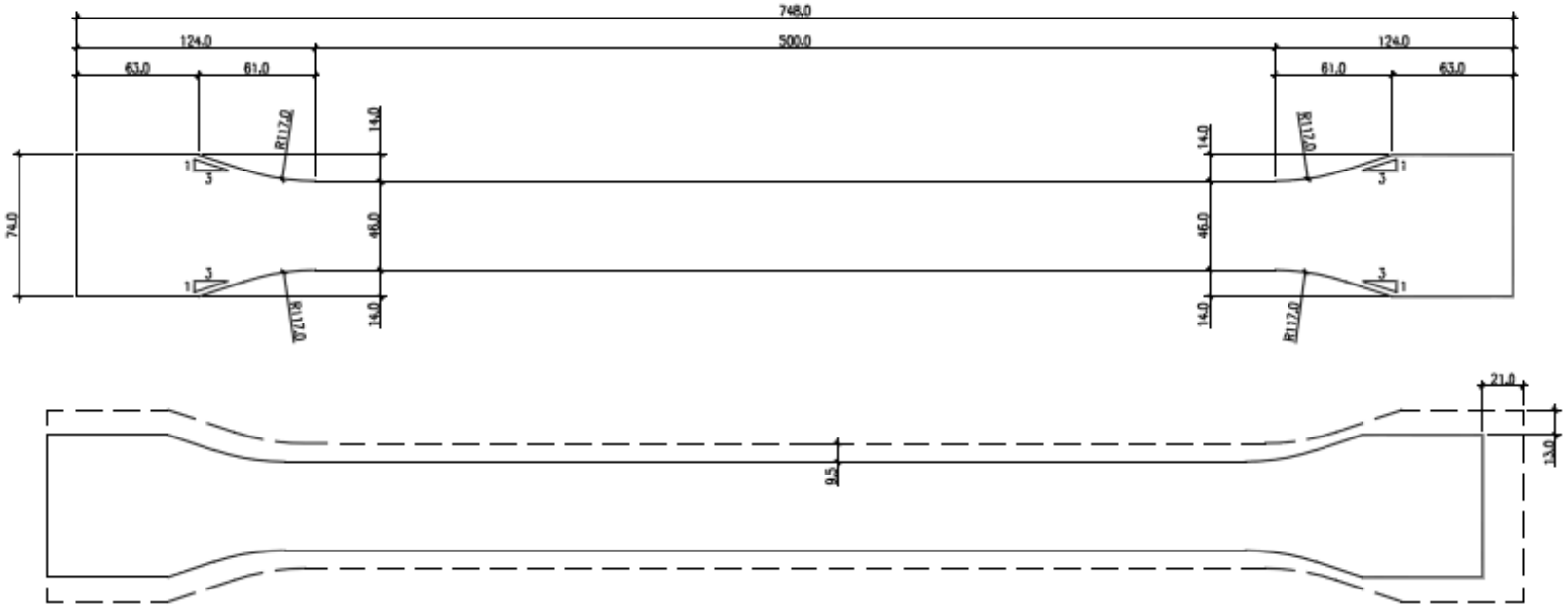
Vérifié par:
Dessiné par: Elie St-Onge
Date: 07-FEV-2011

Item No: Révision
No. Projet: RD027
No. Croquis: CR-05

08/02/2011 21:19:03



FUSIBLE : F-D-P-74-46-500



F-D-74-46-500 (remplace F-D-100-65-500)
FB 7.9x127 x 773 Lg. / 44W (PAR LAINCO)
4 REQUISES
TOLÉRANCE: ± 0.1mm

MILL TEST:
Fy = 453 Mpa
Fu = 611 Mpa

FUSIBLE : F-D-P-74-46-500

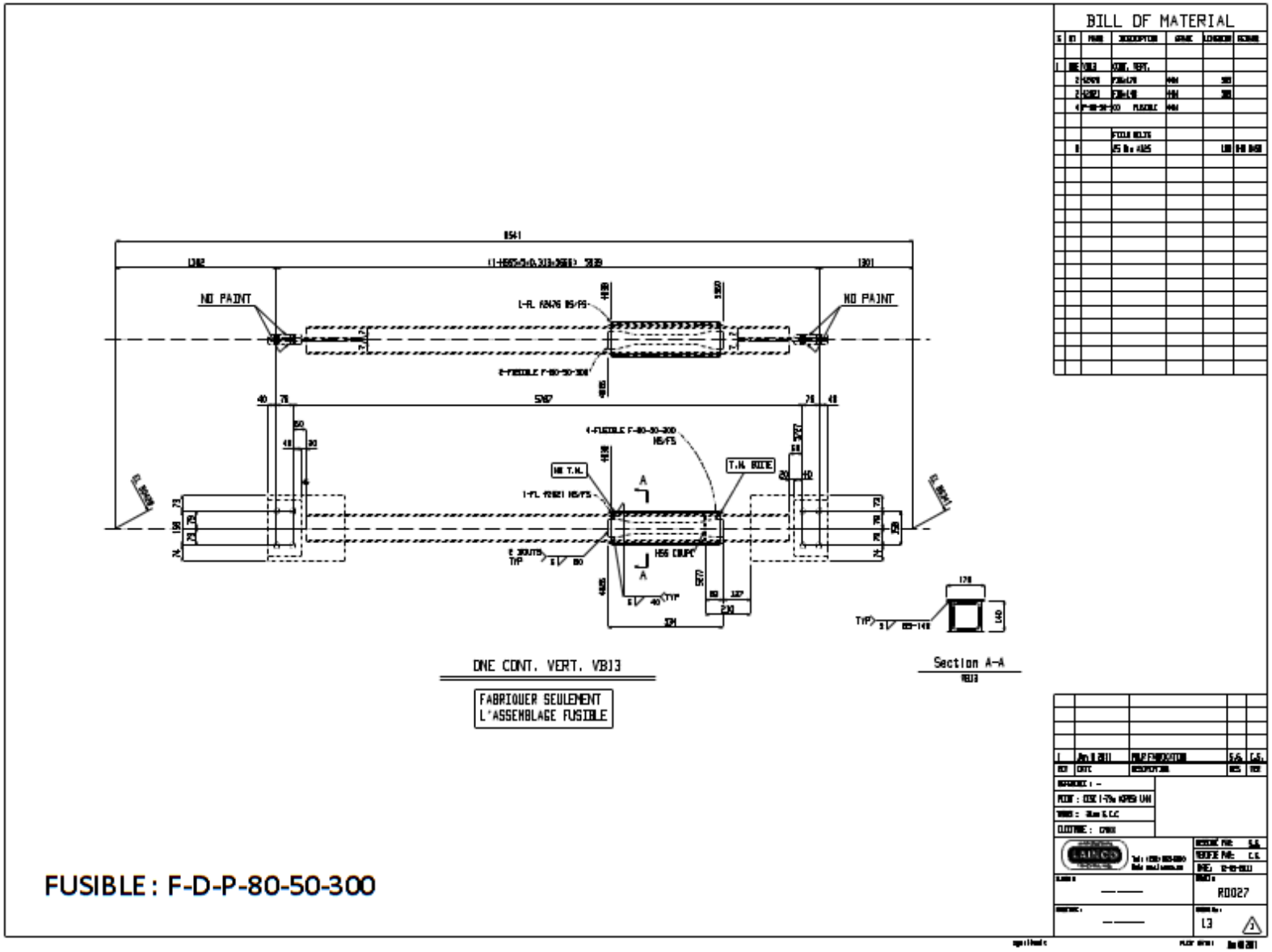
LAINCO

Fusible Serie D
F-D-74-46-500

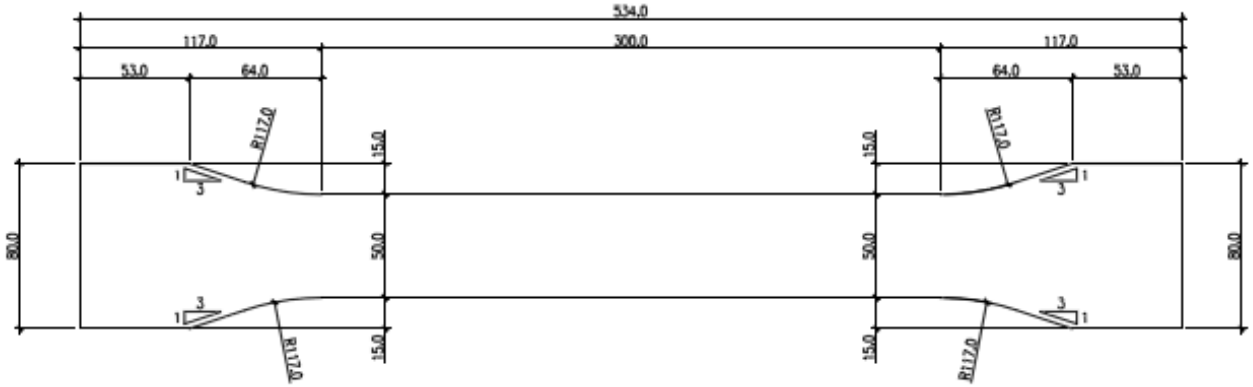
Projet: RD-027

Vérifié par: E.ST-ONGE | Dessiné par: A.ROCQUE | Date: 2011-05-25

26/05/2011 08:09:33



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



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

MILL TEST:
Fy = 364 Mpa
Fu = 489 Mpa

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

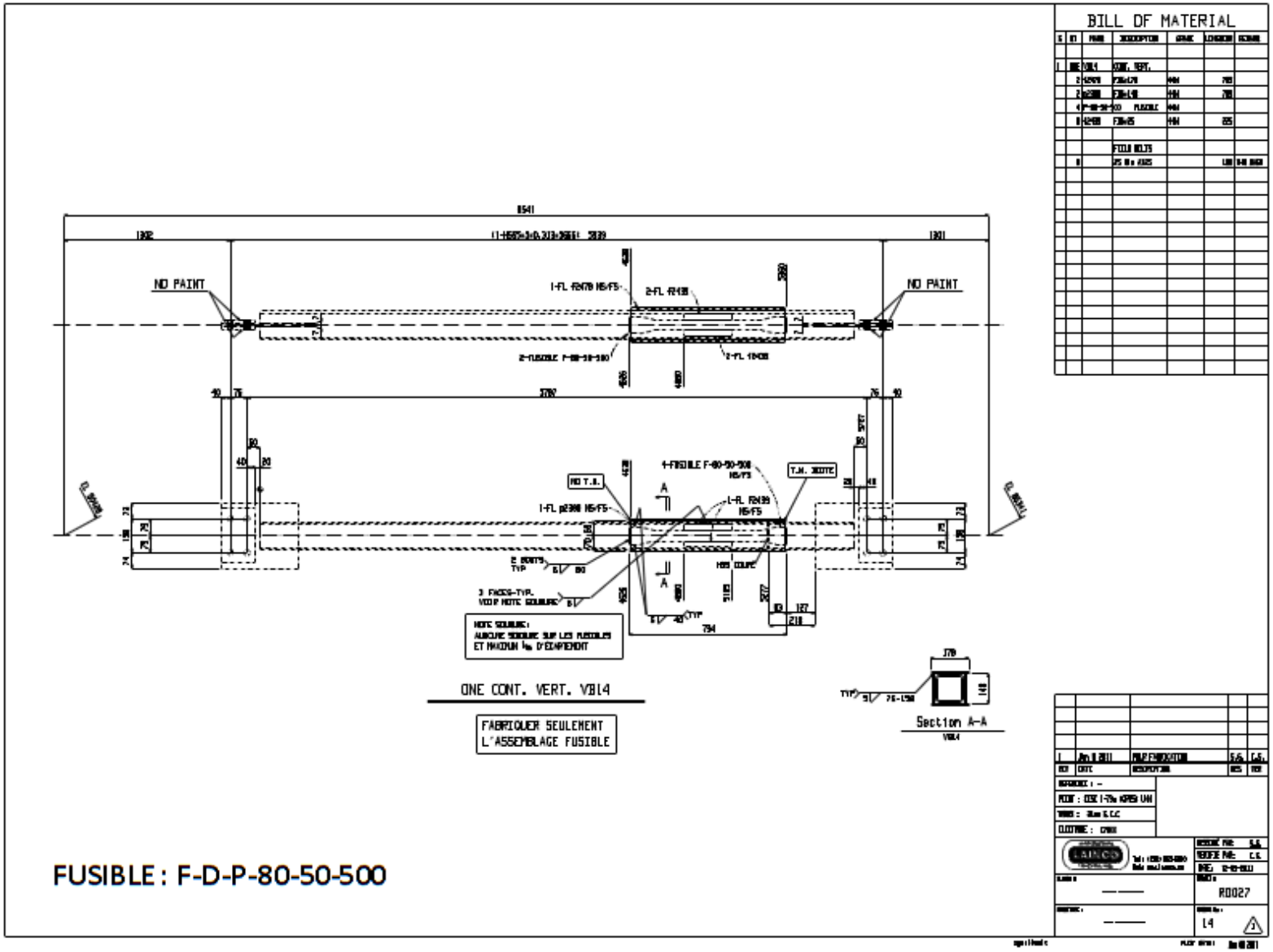
LAINCO

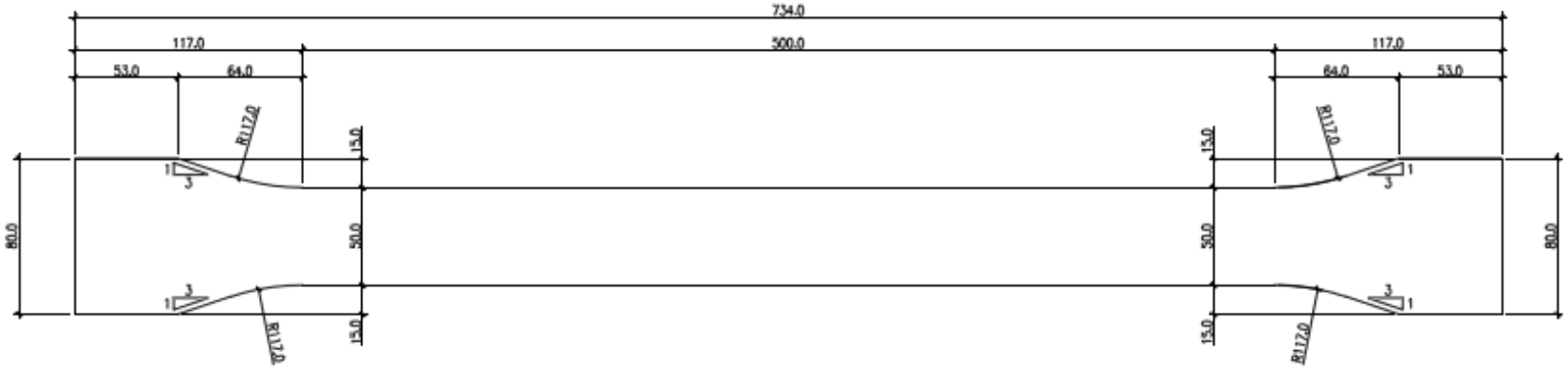
Fusible Serie D
F-D-80-50-300

No. Projet: RD-027

Vérifié par: E.ST-ONGE | Dessiné par: A.ROCQUE | Date: 2011-05-09

25/05/2011 22:21:55


BILL OF MATERIAL
NO PAINT
NO PAINT
ONE CONT. VERT. V814
FABRIQUER SEULEMENT
L'ASSEMBLAGE FUSIBLE
Section A-A
FUSIBLE : F-D-P-80-50-500
R0027
L4



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

MILL TEST:
Fy = 364 Mpa
Fu = 489 Mpa

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

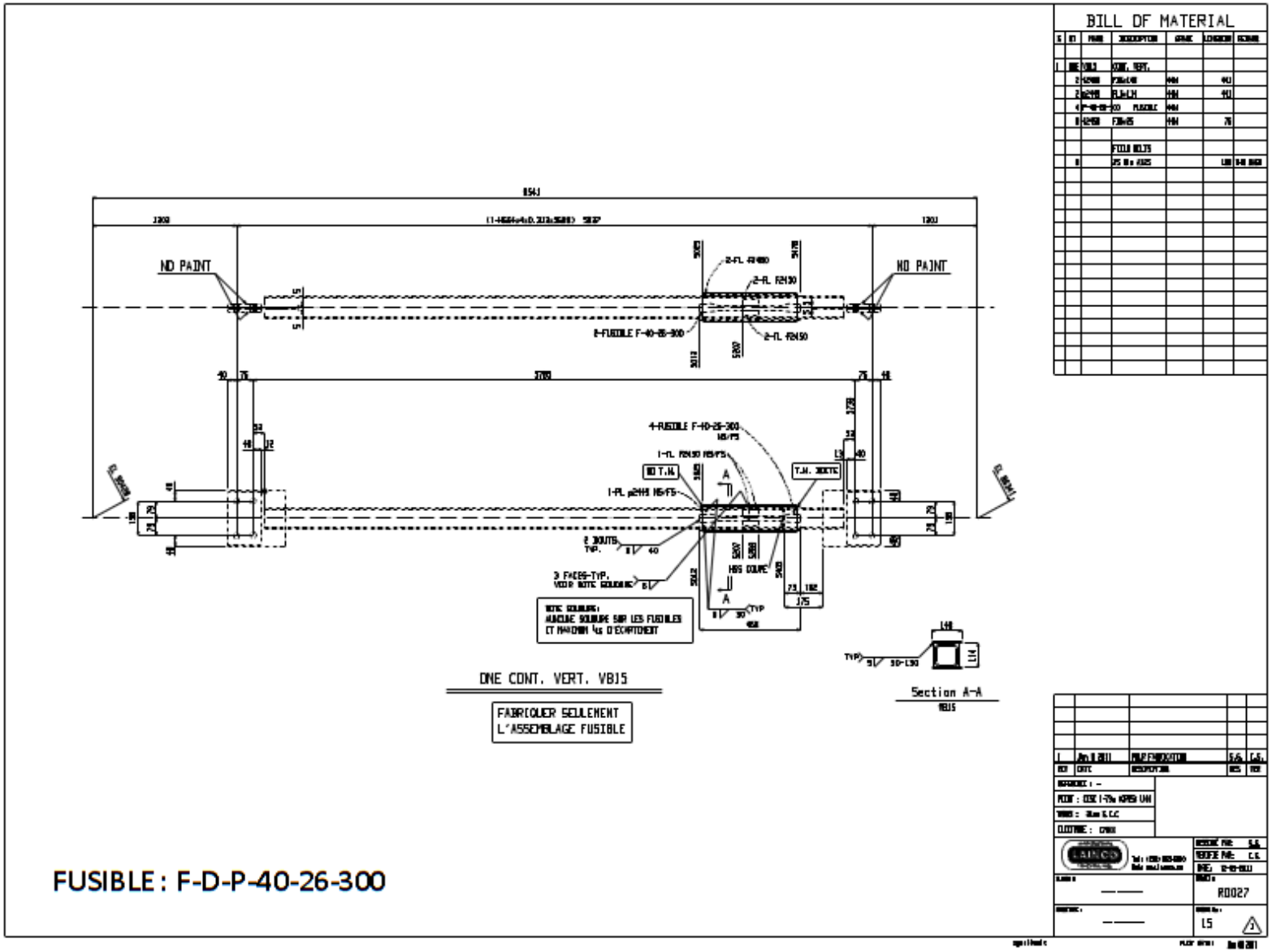
LAINCO

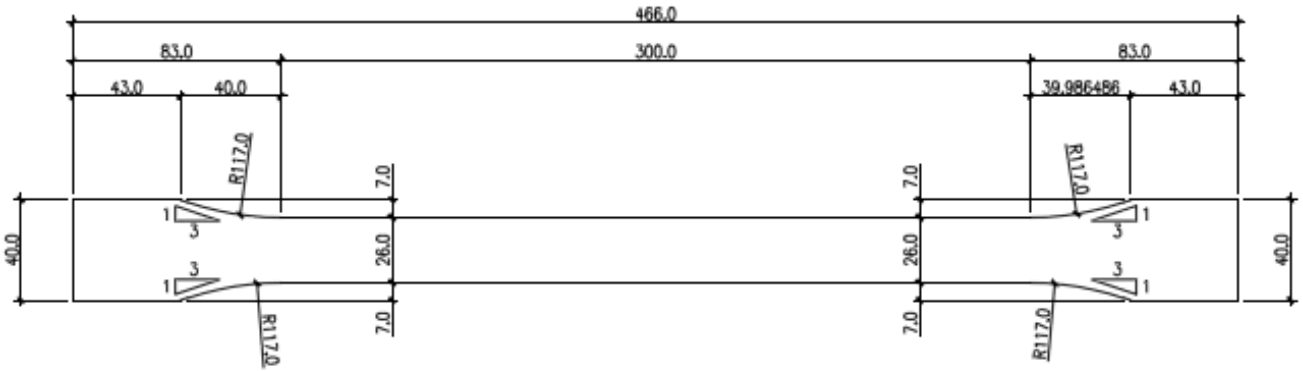
Titre: Fusible Serie D
F-D-80-50-500

No. Projet: RD-027

Vérifié par: E.ST-ONGE | Dessiné par: A.ROCQUE | Date: 2011-05-25

25/05/2011 22:28:12


BILL OF MATERIAL
NO PAINT
NO PAINT
DNE CONT. VERT. VB15
FABRIQUER SEULEMENT
L'ASSEMBLAGE FUSIBLE
Section A-A
FUSIBLE : F-D-P-40-26-300
R0027



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 REQUISES
TOLÉRANCE: ± 0.1mm

MILL TEST:
Fy = 364 Mpa
Fu = 489 Mpa

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

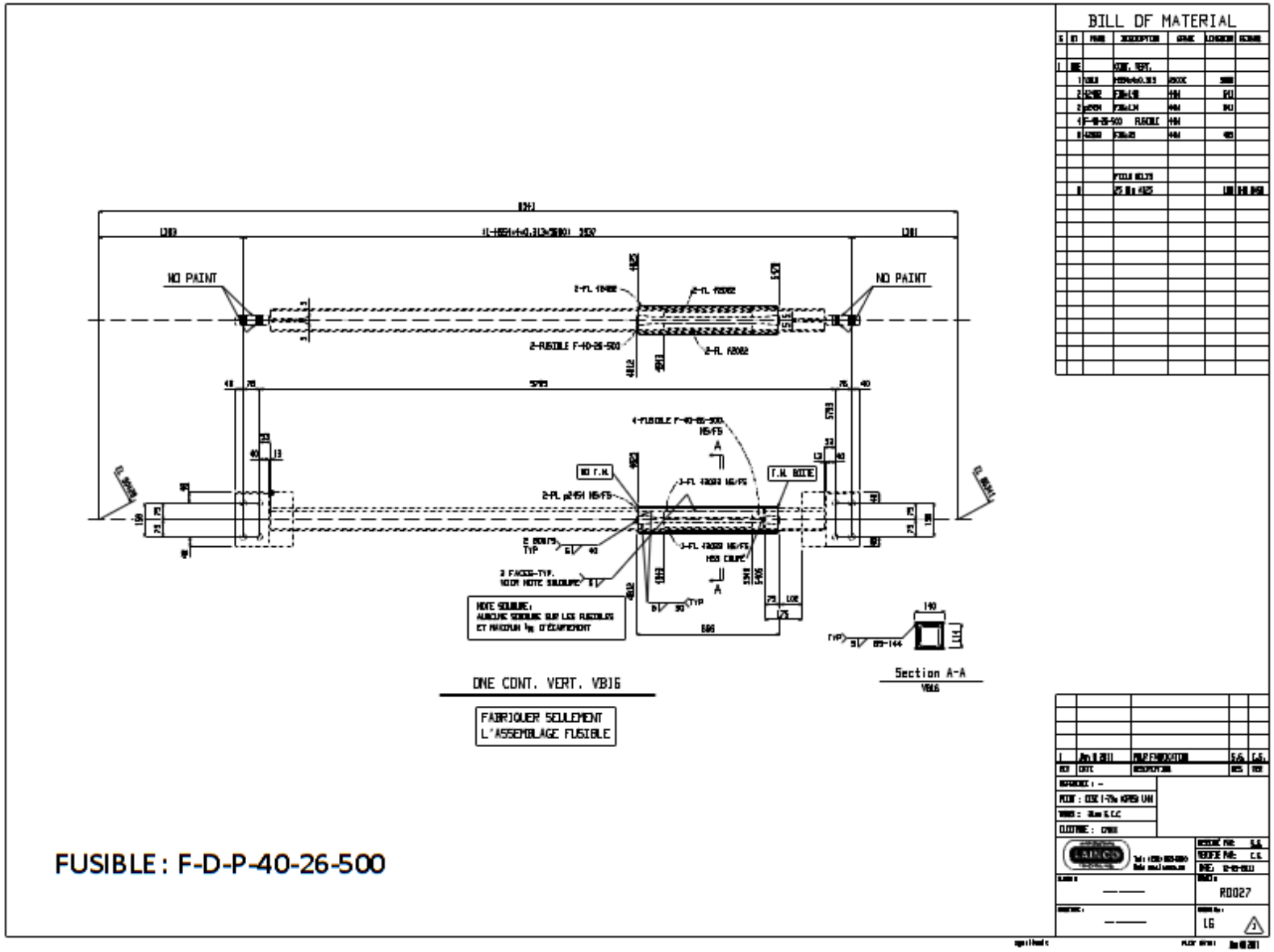
LAINCO

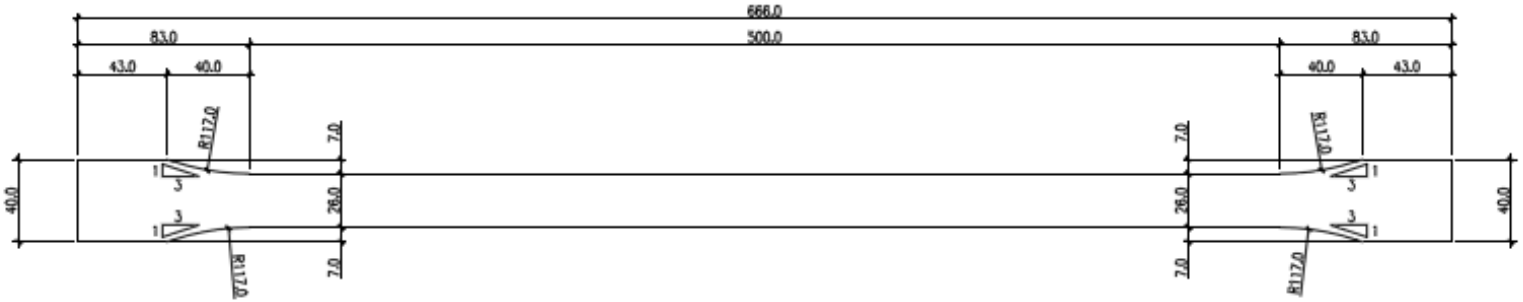
Fusible Serie D
F-D-40-26-300

Vérifié par: E.ST-ONGE | Dessiné par: A.ROCQUE | Date: 2011-05-25

No. Projet: RD-027

25/05/2011 225923


BILL OF MATERIAL
NO PAINT
NO PAINT
2-FUSIBLE F-40-26-500
NO F.N.
F.N. NOTE
NOTE SOUDURE:
AUCUNE SOUDURE SUR LES FUSIBLES
ET MAXIMUM 1/8 D'ÉCARTEMENT
Section A-A
DNE CONT. VERT. VB16
FABRIQUER SEULEMENT
L'ASSEMBLAGE FUSIBLE
FUSIBLE : F-D-P-40-26-500



F-D-40-26-500 (remplace F-D-60-39-500 / FB 4.76x127x712 Lg)
FB 6.35x127 x 690 Lg. / 44W (PAR LAINCO)
4 REQUISES
TOLÉRANCE: ± 0.1mm

MILL TEST:
Fy = 364 Mpa
Fu = 489 Mpa

FUSIBLE : F-D-P-40-26-500

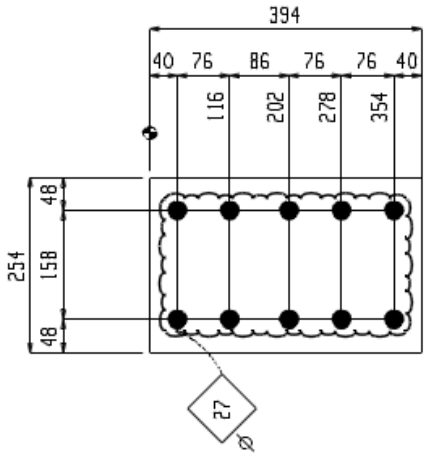
LAINCO

Fusible Serie D
F-D-40-26-500

Vérifié par: E.ST-ONGE | Dessiné par: A.ROCQUE | Date: 2011-05-25

No. Projet: RD-027

25/05/2011 23:08:46



FB10x254x394 f2302

GRADE: 44W

PLAQUE DE LIAISON

QT	COUPE	TRACE

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

REV	DESCRIPTION	DES	VER	DATE

TROUS : 21 mm DIA UN

ACIER STRUCTURAL LAINCO STRUCTURAL STEEL

DESSINÉ PAR: SG DATE: 09-02-2011
VERIFIÉ PAR: ES DATE:
PROJET No: RD027
DESSIN No : f2302

PROJET : RECHERCHE SUR LES FUSIBLES

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 m^2.

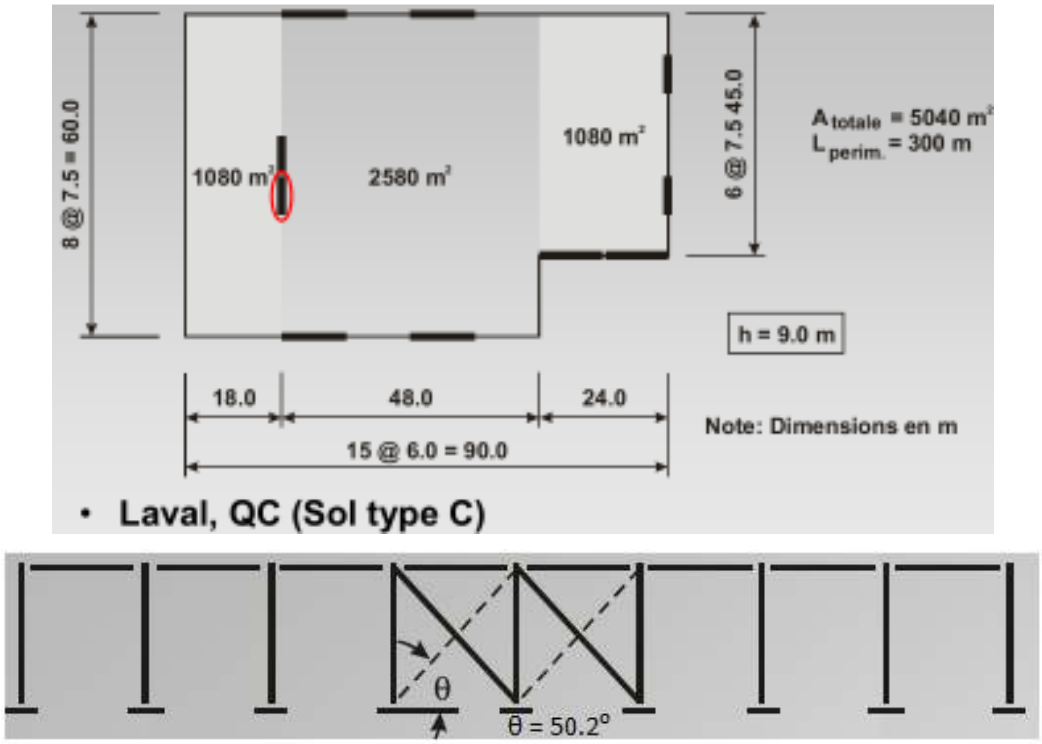


Figure A.1: Bâtiment à concevoir

Le SRFS utilisé est composé de contreventements concentriques travaillants 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 kPa (gravier/membrane, structure, méc.)**
  - **Murs: w_D = 0.25 kPa (revêtement métallique)**

- **Neige : $S = I_S [S_S (C_b C_W C_s C_a) + S_r]$**
  - **S_S = 2.6 kPa & S_r = 0.4 kPa**
  - **$I_s = C_w = C_s = C_a = 1.0$**
  - **C_b = 0.85**
    - ***w* = 60 m**
    - **l = 5040 m² / 60 m = 84 m**
    - **$l_c = 2 (60) – 60^2 / 84 = 77$ m**
    - **$C_b = 1.0 – (30/77)^2 = 0.85$**
  - **$S_s = 1.0 [2.6 (0.85)(1.0)(1.0)(1.0) + 0.4] = 2.6$ 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 x 0.025 x 9.0 m = 0.45 s (à démontrer par analyse dyn.)**
  - **S(0.45 s) = 0.40**
  - **W = 5040 [1.1 kPa + (0.25)(2.6 kPa)] + (300)(9.0/2)(0.25 kPa) = 9158 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 x 1.0 x 9158) / (1.3 x 3.0) = **940 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' ≈ 0 N/mm) et en incluant la torsion accidentelle de ± 0.10*D_{nx}, la charge horizontale reprise par le cadre est de **368 kN**, telle que montrée à la Figure A.3.

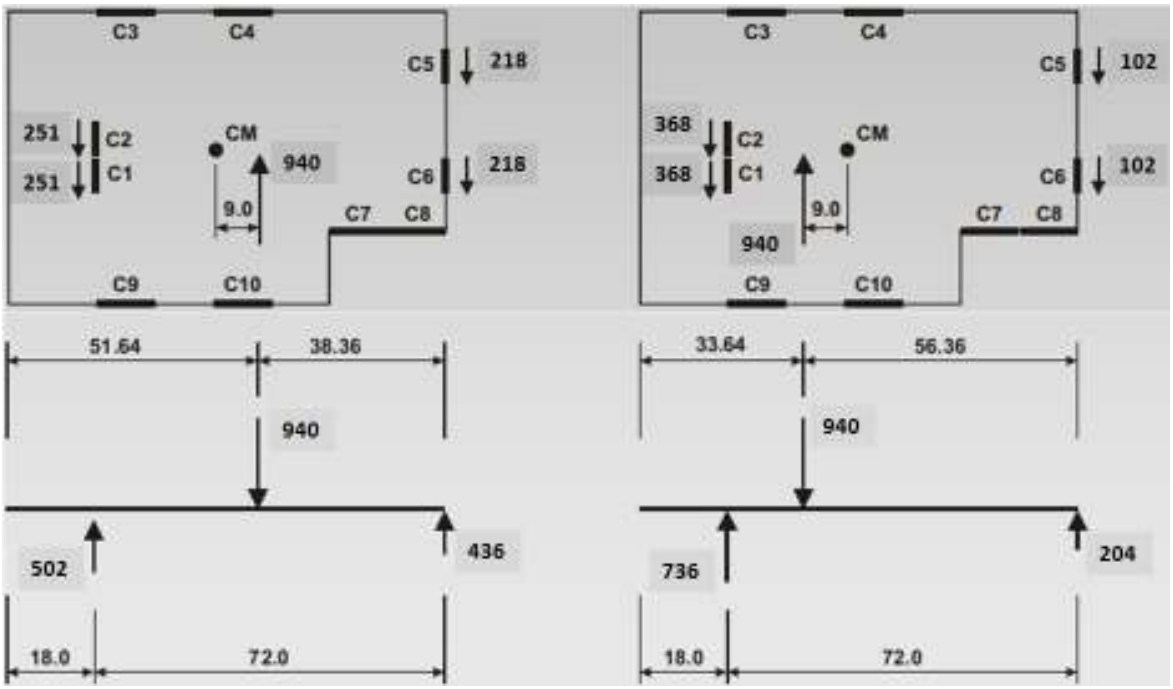


Figure A.3: Résultats d'analyse du bâtiment, obtenus avec la MFSÉ

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

T_f = 368 / (2 x cos θ) = **288 kN**

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

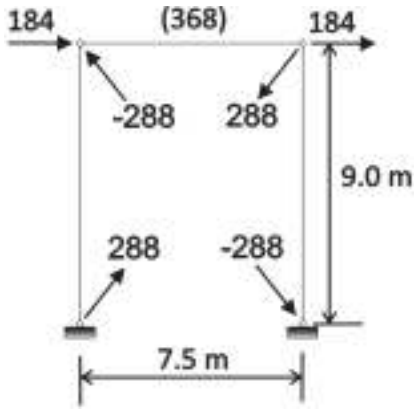


Figure A.4: Efforts de conception dans le cadre analysé

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 : $T_f = C_f = 288$ kN et L_d (c/c) = 11715 mm

HSS ASTM A500 gr. C (non recuit) → $F_y = 345$ MPa et $R_yF_y = 460$ MPa

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

KL/r = (0.9 x 11715) / (2 x 35.9) ≈ 147 < 200 (OK)

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

b/t = (102 – 4 x 11.4) / 11.4 = 4.9

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

Par interpolation : b/t limite = 19.9 >>> b/t = 4.9 (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 x 460 = **1743 kN**

$C_u^I = 1.2 \times 3790 \times 460\ (1 + 2.24^{(2 \times 1.34)})^{(-1/1.34)}$ = **384 kN** (< AR_yF_y)

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

$C_u^{III} = 3790 \times 460\ (1 + 2.24^{(2 \times 1.34)})^{(-1/1.34)}$ = **320 kN** (< 0.2 AR_yF_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} (aile) = 339 MPa ; F_{uc} (aile) = 488 MPa ; ε_{sh} = 0.02 mm/mm ; et ε_u = 0.18 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 MPa et F_{uF} = 503 MPa.

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

A_F req. = **861 mm^2**

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

A_F req. = **<u>1091 mm^2</u>**

Ainsi, l'aire requise pour la compression gouverne. Essayons une largeur d'aile de $b_F/2$ = 25 mm, soit une largeur réduite totale de : $\mathbf{b_F = 50}$ **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 mm. De l'Équation 60, l'aire totale du fusible est, en supposant une usure de 50% des rouleaux de laminage :

$A_F = 4 \times [(50 - 6.35) \times 6.35 + 0.2146 \times (0.5 \times 6)^2] =$ **1116.4 mm²** $\approx A_F$ req. (OK)

Comme $A_F \approx A_F$ 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 :

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

$A_F = 1116\ mm^2$

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

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

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

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

$F_{uF} = \{(527/488) + [1 - (527/488)] \times (795 / 1116)\} \times 488 =$ **500 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 x 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 ≈ **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 :

$\omega = \tan^{-1}(1/3) = 18.44°$

$L_R = 80.11 \sin(\omega) = 25.33$ mm

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

$c = (90 – 50)/2 = 20$ mm

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

$L_\ell = 73 – 25.33 = 47.67$ mm

$\alpha = 90 / 50 = 1.8$ (OK, $\alpha > 1.6$ – voir chapitre 4)

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

Les longueurs L_{TF} et $L_{total,F}$ 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 mm et c = 50/2 – 6.35 = 18.65 mm

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

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

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

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

$I_z = 14\,564.2 – 7906.2 = 6658$ mm^4

$r_z = (6658 / 277.2)^{0.5} =$ **4.9 ≈ <u>5.0</u> 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 x (102/2 – 14 + 6.35) = 86.7 mm ≈ b = 90 mm (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 $\varepsilon_{F,max}$ **= 0.10 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 :

$F(\varepsilon_{F,max}) = 356 + (503 - 356) \times [1 - 0.92 \times (1 - 0.5) \times e^{-21 \times (0.10 - 0.02)}]$ = **490.4 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 x 490 = **547 kN** < $T_{u,HSS}$ = 1743 kN (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 :

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

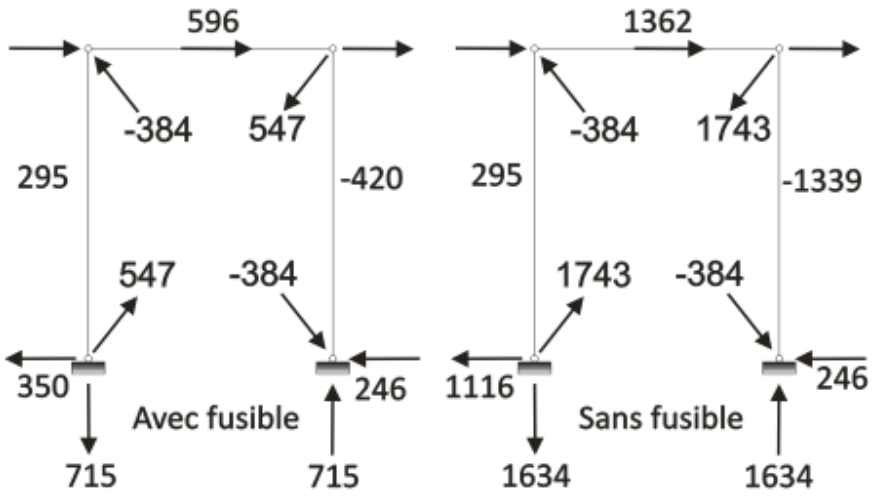


Figure A.5: Efforts pour la conception par capacité du reste du SRFS, avec et sans FDA (Type MD, $R_d = 3.0$)

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.

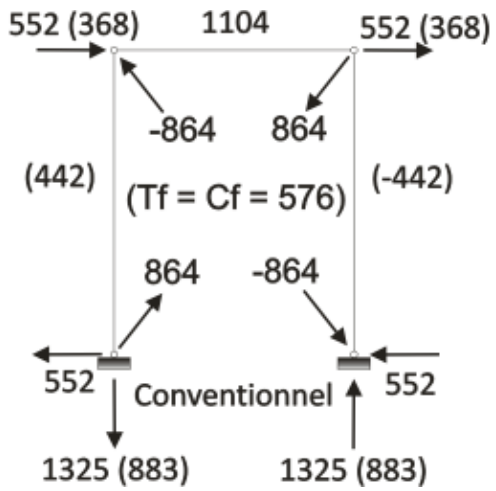


Figure A.6: Résultats du même cadre, conçu de manière conventionnelle (type CC, R_d = 1.5)

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 :

$\varepsilon_{F,max} < \varphi_\varepsilon \varepsilon_u$ = 0.95 x 0.18 = 0.171 mm/mm (OK)

Si on néglige δ_T (Équation 41) :

L_F = (1/0.10) x [{(1.5 x 1.3 x 3)/1} x 288 - 547] x 11715 / (3790 x 200) = **176 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 :

ε_T = [((0.0215 - 0.0355) / (2 - 1.5)) x (1.8 - 1.5)] + 0.0355 = 0.027 mm/mm

$\delta_T \approx$ 0.027 x 73 = 1.97 mm ≈ 2.0 mm

L_F = ([{(1.5 x 1.3 x 3)/1} x 288 - 547] x 11715 / (3790 x 200) – 2 x 2.0) x (1/0.10) = **136 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 mm**. L'allongement maximal total anticipé du FDA ($\delta_{TF,max}$), pour L_F =136 mm, est (Équation 74) :

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

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

$L_{TF} = L_F + 2L_T$ = 136 +2*73 = **282 mm**

L'allongement maximal inélastique anticipé de la diagonale sans FDA est de : 1.5 x 1.3 x 3 x 288 x 11715 / (3790 x 200) = 26.04 mm. À partir du chiffrier Excel et en considérant la longueur L_F = 136 mm, on incrémente la charge jusqu'à l'obtention de l'allongement maximal anticipée de 26 mm. Ainsi, la déformation maximale réelle du FDA ($\varepsilon_{F,max}$) 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 ($\varepsilon_{TF,max} = \delta_{TF}/L_F$). 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 avions utilisé un graphique comme celui de la Figure 5.12 (ε_{TF} en fonction de ε_F), nous aurions supposé un ε_{TF} = 0.11 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 $\varepsilon_{F,max} = \varepsilon_{TF,max}$ = 0.11), ce qui serait une erreur ! En effet, la Figure 5.12 a été produite pour des valeurs de F_y = 350 MPa, F_u = 450 MPa, et L_F = 300 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 ($\varepsilon_{F,max}$) 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 ($\varepsilon_{TF,max}$). 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 ($\varepsilon_{F,max}$) 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 :

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

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) <u>Déformation des assemblages (goussets + plaques)</u>

En supposant $L_{ass} \approx 0.85L_{c/c} \approx 1760$ mm, soit 880 mm par extrémité, et A_{ass} = 350*10 = 3500 mm^2 :

- δ_{ass} = 547 x 1760 / (3500 x 200) = 1.375 mm

2) <u>Déformation de la diagonale + FDA (attache)</u>

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

- δ_w = 547 x (2 x 100) / (5922 x 200) = 0.092 mm

3) <u>Déformation diagonale</u>

L_{HSS} = (11715 – 1760 – 2 x 100 – 282) = 9473 mm et A_{HSS} = 3790 mm^2 :

- δ_{HSS} = 547 x 9473 / (3790 x 200) = 6.84 mm

$\therefore \delta_{TF,max} = \left[1.5 \cdot 1.3 \cdot 3 \cdot \frac{288 \cdot 11715}{3790 \cdot 200}\right] - 1.375 - 0.092 - 6.84 =$ **17.73 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 x 1.0 x 9158) / (1.3 x 3.0) = **<u>658 kN</u>**

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*658/940 = 202 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) x [{(1.5 x 1.3 x 3)/1} x 202 - 547] x 11715 / (3790 x 200) = **98 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)	Augementation L_F	Réduction $\varepsilon_{F,max}$	Réduction $T_{F,max}$
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 :

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

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

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

Pour l'élancement global hors-plan du fusible :

$K(L_F*\varepsilon_{F,max})/r = 0.65 \text{ x } (136 \text{ x } 0.10) / 5.0 = 1.8 < 20$ (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 :

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

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

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

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

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

$L_{total,F} = 282 + 2 \times 90 =$ **<u>462 mm</u>**

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

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

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

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

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

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

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

$AR_yF_y = 759 \text{ kN} < A_{ne}R_tF_u = 826 \text{ kN}$ (OK)

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

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

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

<u>10) Conception de la boîte de confinement</u>

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 :

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

$b_1 = 102 + 2 \times 6.35 = 114.7\ mm$

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

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

$t_{boîte} = 8\ mm > t_F = 6.35\ mm$ (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 :

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

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

Des tables du HSC, pour un HSS 102x102x13 : $Z_{x,HSS} = 124000\ mm^3$

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

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

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

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

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

$L_d = 2 \times 102 = 204$ mm

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

La longueur de la boîte de confinement sera de :

$L_{boîte} = 462 + 17.6 = 480$ 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 : qf = 0.6 x 12.7 x 345 = 2629 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 : $T_{rF} = 0.7 \times 0.9 \times A_F \times 300 \times 1.1 \times 1.3 \geq 288$ kN

A_F req. = **1066 mm^2**

Soit 24% de plus qu'à l'exemple 1.

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

A_F req. = **1367 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 : $\mathbf{b_F = 50}$ **mm**.

5) Aire et géométrie du fusible

Le rayon de congé est : r = 6 mm

$A_F = 4 \times [(50 - 7.94) \times 7.94 + 0.2146 \times (0.5 \times 6)^2] =$ **1344 mm²** $\approx A_F$ req. (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 =**80.11** mm, et b = **90** mm.

$\omega = \tan^{-1}(1/3) = 18.44°$

$L_R = 80.11 \sin(\omega) = 25.33$ mm

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

$c = (90 - 50)/2 = 20$ mm

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

$L_\ell = 73 - 25.33 = 47.67$ mm

$\alpha = 90 / 50 = 1.8$

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

On détermine le rayon de giration des fusibles :

b = 50/2 = 25 mm et c = 50/2 – 7.94 = 17.06 mm

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

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

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

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

$I_z = 16908.4 - 8584.8 = 8323.7\ mm^4$

$r_z = (8323.7 / 334)^{0.5} =$ **<u>5.0</u> mm**

En supposant des cordons latéraux de D = 6 mm, on vérifie la largeur maximale de b :

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

<u>6) Résistance probable anticipée en traction du FDA</u>

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

$T_{F,max} = T_{uF} = 1344 \times 540 =$ **<u>726 kN</u>** $< T_u = 1743$ kN (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 :

$V_u = (726 + 384) \cos (50.2) =$ **711 kN**

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

<u>7) Longueur minimale requise du FDA</u>

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 x 0.18 = 0.153 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 :

ε_T = [((0.0265 - 0.044) / (2 - 1.5)) x (1.8 - 1.5)] + 0.044 = 0.034 mm/mm

$\delta_T \approx$ 0.034 x 73 = 2.48 mm ≈ 2.5 mm

L_F = ([{(1.5 x 1.3 x 3)/1} x 288 - 726] x 11715 / (3790 x 200) – 2 x 2.5) x (1/0.15) = **<u>66 mm</u>**

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 = **70 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*73 = **<u>216 mm</u>**

En considérant la longueur L_F = 70 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 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 MPa ; F_{uc} = 488 MPa ; ε_{sh} = 0.02 mm/mm ; et ε_u = 0.18 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 $F_{uF} = F_{uc}$.

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

A_F req. = **887.5 mm^2**

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

A_F req. = **1146 mm^2**

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

$A_F = 4 \times [23 \times 12.7] =$ **<u>1168 mm²</u>** $> A_F$ req. (OK)

En prenant la même géométrie de transition : pente **3:1**, R =**80.11** mm, et b = **43** mm.

$\omega = \tan^{-1}(1/3) = 18.44°$

$L_R = 80.11 \sin(\omega) = 25.33$ mm

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

$c = (43 – 23)/2 = 10$ mm

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

$L_\ell = 43 – 25.33 = 17.67$ mm

$\alpha = 43 / 23 = 1.87$

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

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

$r_{min} = 0.29 \times 12.7 =$ **<u>3.7</u> mm**

$r_{max} = 0.29 \times 23 =$ **<u>6.6</u> mm**

En supposant des cordons latéraux de D = 8 mm, on vérifie la largeur maximale de b :

$b_{max} = 102 – 4 \times (0.9 \times 12.7) – 2 \times 8 = 40$ mm ≈ b = 43 mm (OK)

<u>6) Résistance probable anticipée en traction du FDA</u>

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

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

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

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

$T_{F,max} = 1168 \times 475 =$ **<u>555 kN</u>** $< T_u = 1743$ kN (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 :

$V_u = (555 + 384) \cos (50.2) =$ **601 kN**

<u>7) Longueur minimale requise du FDA</u>

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, $\varepsilon_{F,max}$.

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

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

Si on considère δ_T (Équation 42) :

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

$\delta_T \approx 0.027 \times 43 = 1.16$ mm ≈ 1.2 mm

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

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 mm**.

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

$L_{TF} = L_F + 2L_T = 150 + 2*43 =$ **<u>236 mm</u>**

En considérant la longueur L_F = 150 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.

<u>8) Critères d'élancement local et global</u>

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 :

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

Pour le flambement en-plan :

$K* L_F*(1 + \varepsilon_{F,max})/r_{max} = 0.65 \times 150 \times (1 + 0.10) / 6.6 = 16.2 < 20$ (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_{cale} = 250 x (1 + 0.1) – 2 x (20 x 6.6 / 0.65) = **-134 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 élancement de :

0.65 x 0.5 x [250 x (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 :

V_r = 4 x (1.5 x 0.67^2 x 0.707 x 43 x 8 x 490 + 2 x 0.85 x 0.67^2 x 0.707 x 40 x 8 x 490)

= 4 x (80.2 + 2 x 42.3) = **659 kN** > $T_{F,max}$ = 555 kN (OK)

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, $L_{total,F}$, donnée par l'Équation 59 :

$L_{total,F}$ = 236 + 2 x 40 = **316 mm**

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

<u>Cordon frontal :</u>

$w = L_w = b = 43$ 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 :

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

$T_r = 2184 \times 339 = 741\ kN > T_{F,max}$ (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 :

$A_n = 43 \times 12.7 = 546\ mm^2$

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

$T_r + V_r = 0.75 \times [1.0 \times 546 \times 488 + 2 \times (0.6 \times 508 \times (339 + 488) \times 0.5)] \times 1/0.9$

$= 4 \times (432) = 1728\ kN > T_{F,max}$ (OK)

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