CREE DEVELOPMENT CORPORATION

Respect · Collaboration · Strength

Grande Alliance Feasibility Study Phase I

Interim Technical Report

2023/03/31

VEI Document Number: LGA-1-GN-T-TGN-RT-0006_01_6.23

Vision Eeyou Istchee

• Connect • Develop • Protect

LA GRANDE ALLIANCE

Stantec ▮ DESFOR ▮ SYSTRA

Contributors

GENERAL INFORMATION

Version	B	A
Date	2023/03/31	2022/11/30
Prepared by	DZ	DZ
Reviewed by	SB	SB
Approved by	AC	SB
Comments	Final version	

Prepared by:

Daniel Zaccari, ing.
Bridge Engineer #5014563

Reviewed by:

2023-04-03

Sylvain Bédard, ing..
Bridge Engineer #121332

Approved by:

Alessandro Cirella
Project manager

Document IDENTIFICATION

Grande Alliance Feasibility Study Phase I

Interim Technical Report

Document Reference:
LGA-1-GN-T-TGN-RT-0006_01_6.23

Table *of* Contents

1. MANDATE AND INTRODUCTION 1
1.1 Scope of study 1
1.2 Out of scope 1
2. INPUT DATA AND DESCRIPTION OF EXISTING BRIDGES 2
2.1 data 2
2.1.1 Input data 2
2.2 Bridge at km 19 : P-10232 2
2.2.1 Description of existing bridge 2
2.2.2 Summary of damage survey 3
2.3 Bridge km 238 : P-09959 3
2.3.1 Description of existing bridge 3
2.3.2 Summary of damage survey 4
2.4 Bridge km 241 : P-09958 4
2.4.1 Description of existing bridge 4
2.4.2 Summary of damage survey 5
2.5 Bridge km 278 : P-10685 6
2.5.1 Description of existing bridge 6
2.5.2 Summary of damage survey 6
3. PHILOSOPHY OF PROPOSALS 9
3.1 Bridge km 19 : P-10232 9
3.2 Bridge km 238 : P-09959 10
3.3 Bridge km 241 : P-09958 11
3.3.1 Structure deficiencies arise mainly from the bad distribution of stiffness between the beams Reconstruction of the deck: structure with 4 beams 11
3.3.2 Reconstruction of the deck: structure with 5 beams 12
3.3.3 Reconstruction of abutments 13
3.3.4 Synthesis 13
3.4 Bridge km 278 : P-10685 14
4. SYNTHESIS TABLE AND RECOMMANDATIONS 16

APPENDIX 18
APPENDIX A – BRIDGE 9958 18
APPENDIX B – BRIDGE 9959 19
APPENDIX C – BRIDGE 10232 20
APPENDIX D – BRIDGE 10685 21

List *of* Tables

Table 4-1 : Synthesis table and recommandations 16

List *of* Figures

Figure 2-1 : Bridge cross section (km 19) 3
Figure 2-2 : Plan view (km 19) 3
Figure 2-3 : Bridge cross section (km 238) 4
Figure 2-4 : Elevation view (km 238) 4
Figure 2-5 : Bridge cross section (km 241) 5
Figure 2-6 : Elevation view (km 241) 6
Figure 2-7 : Abutment (km 241) 6
Figure 2-8 : Bridge cross section (km 278) 7
Figure 2-9 : Elevation view (km 278) 7
Figure 2-10 : load capacity limit on site (km 278) 8
Figure 2-11 : Elevation view (km 278) 8
Figure 3-1 : Cost of proposals for the bridge km-19 10
Figure 3-2 : Cost of proposals for the bridge km-238 11

Figure 3-3 : Results with 4 girders 12
Figure 3-4 : Results with 5 girders 13
Figure 3-5 : Cost of proposals for the bridge km-241 14
Figure 3-6 : Cost of proposals for the bridge km-278 15

1. MANDATE AND INTRODUCTION

1.1 SCOPE OF STUDY

We will study in this document the following bridges :

- P-10232: structure at km 19,
- P-09959 and P-09958: structures at km 238 and 241,
- P-10685 structure at km 278

The document will be established as follows :

1. Description of existing bridges,
2. Presentation of damage survey,
3. Interventions proposals.

The structure at km 278 belongs to our scope of study, however at this stage of the study we have limited information on the structure. The structure belongs to Hydro-Québec, and the available information are :

- The structural capacity evaluation report from Hydro-Québec. The document includes plans of the Bridge

1.2 OUT OF SCOPE

Structure P-09958 does not belong to our scope of study, however we include it in this report because, from a structural point of view, this structure is similar to structure P-09959 and is located to close proximity to it.

2. INPUT DATA AND DESCRIPTION OF EXISTING BRIDGES

2.1 DATA

References

[1] « Handbook of steel construction » – 12th edition 2021,

[2] CAN / CSA – S6 : 19 Canadian Highway Bridge Design Code,

[3] Manuel de conception des structures, MTQ December 2021

2.1.1 Input data

[4] P-10232

[4a] Field survey of structure P-10232, Stantec 2022-06-14,

[4b] Rapport d'inspection générale, MTQ 2021-08-26

[4c] Form "Inventaire et inspection des structures", Ministère des transports, web site 2022

[4d] Pas Built drawings PO-72-10232-1, October 1971

[5] P-09958

[5a] Field survey of structure P-09958, Stantec 2022-06-16, [5b] Rapport d'inspection générale, MTQ 2020-07-06 [5c] Form "Inventaire et inspection des structures", Ministère des transports, web site 2022

[5d] As Built drawings PO-93-009958, December 1993

[6] P-09959

[6a] Field survey of structure P-09959, Stantec 2022-06-16,

[6b] Rapport d'inspection générale, MTQ 2020-07-06

[6c] Form "Inventaire et inspection des structures", Ministère des transports, web site 2022

[6d] As Built drawings PO-93-009959, December 1993

[7] P-10685

[7a] The structural capacity evaluation report from Hydro-Québec,

2.2 BRIDGE AT KM 19 : P-10232

2.2.1 Description of existing bridge

Structure P-10232 is a composite steel-concrete bridge with a single span of approximately 36 m that crosses the Barlow River. The deck is made up of three steel girder and a reinforced concrete slab (Figure 2-1**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Abutments of the structure are made of reinforced concrete and are supported on piles. Fretted neoprene pads are used as bearings. The road width on the structure is approximately 7.45 m. It was observed on the structure that additional braces and stiffeners have been added after the bridge was completed.

2.2.2 Summary of damage survey

In reviewing the available documentation, it's our understanding that only two years after its commissioning, reinforcement work had to be carried out on the bridge. A tilting of the main beams was observed. Reinforcement work was carried out by adding vertical stiffeners.

A reduction of the road width on the structure to allow only one lane instead of two was temporary put in place to allow the repair (Figure 2-2). The barrier allowing the physical reduction of the road width to one lane is no longuer present on the bridge. However, at the bride approach, there is still a sign warning the user of a lane reduction. The deck joints need to be redo.

The bridge load capacity is limited to 32 t (2 axles) ; 54 t (3 axles); 62 t (5 axles). The bridge can carry loads of a regulatory convoy of the CL-625, however this Bridge cannot carry out overweight convoy.

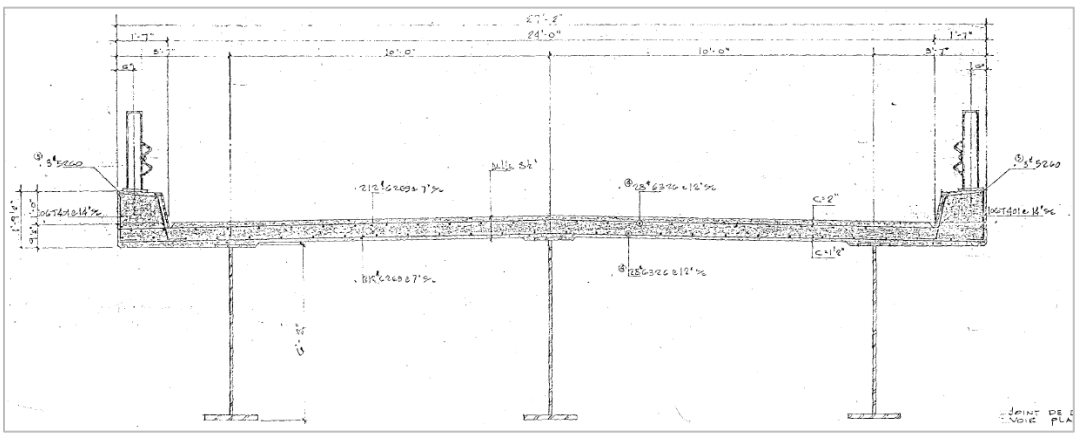


Figure 2-1 : Bridge cross section (km 19)

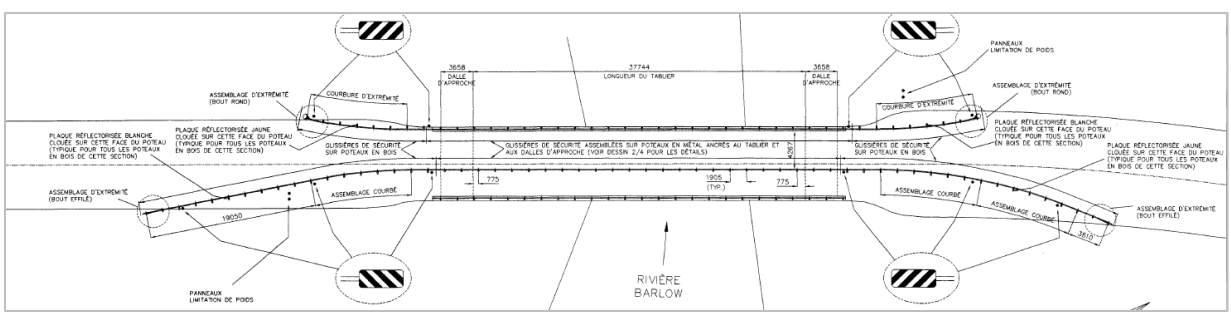


Figure 2-2 : Plan view (km 19)

2.3 BRIDGE KM 238 : P-09959

2.3.1 Description of existing bridge

The structure is a steel-wood bridge with a single span of approximately 60 m that crosses the Rupert River (Figure 2-4The deck was consisting of two main girders, one on each edge, and three secondary girders between them (Figure 2-3). The bridge was later widened by adding two main girders and one secondary girder. The usable width

is approximately 8.75 m. Abutments are made of concrete with a shallow foundation on rock. The bearings are circular confined neoprene type.

2.3.2 Summary of damage survey

The wooden deck is particularly damaged. There is a makeshift reinforcement on site. Load distribution on the bridge cannot be determined using simplified method presented in the current bridge code because the transverse stiffness of the structure is not uniform. Different girders size and close supports creates a significant difference in transverse rigidity. Advances load distributions methods are needed to analyze that bridge. Damages to the P1 girder seat block has been noted causing a loss in bearing capacity. Monitoring of the supports is recommended. Bad load distribution due to non-uniform stiffness of the deck might, in part, have contributed to the deficiency. Minor defects are noted : erosion of abutments and silting of foundations.

The bridge load capacity is limited to 32 t (2 axles) ; 54 t (3 axles); 62 t (5 axles). The bridge can carry the loads of a regulatory convoy of the CL-625, however this Bridge cannot carry out overweight convoy

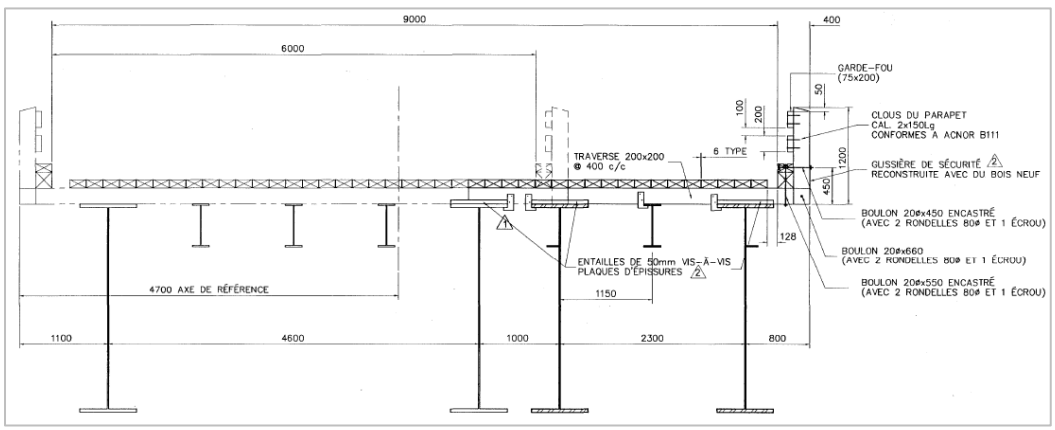


Figure 2-3 : Bridge cross section (km 238)

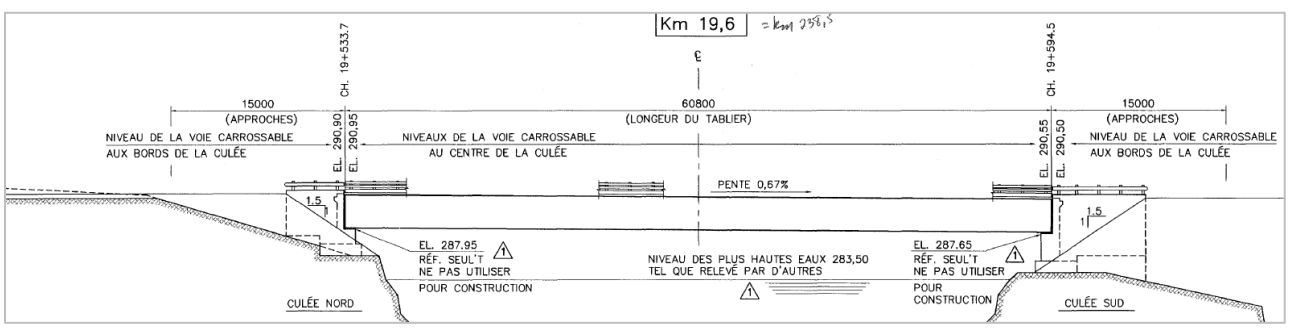


Figure 2-4 : Elevation view (km 238)

2.4 BRIDGE KM 241 : P-09958

2.4.1 Description of existing bridge

The structure is a steel-wood bridge with a single span of approximately 25 m which crosses the Rupert arm. The deck was consisting of two main girders, one on each edge, and three secondary girders between them ; the bridge

was later widened by adding two main girders and one secondary girder. The usable width is approximately 9.06 m. Abutments are metal caissons with a concrete seat to support de girders. The strike guard wall is made of wooden caisson. The abutments are partly based on rock and partly on a leveled concrete pad. The bearings are fretted neoprene pads.

2.4.2 Summary of damage survey

The wooden deck is particularly damaged, there is a makeshift reinforcement on site. Load distribution on the bridge cannot be determined using simplified method presented in the current bridge code because the transverse stiffness of the structure is not uniform. Different girders size and close supports creates a significant difference in transverse rigidity. Advances load distributions methods are needed to analyze that bridge. A significant deflection of beam P1 is observed, and monitoring of this beam is recommended. Bad load distribution du to non-uniform stiffness of the deck might, may overload the edge beam. Minor defects are noted: erosion of the wooden decking (holes) and silting of the bed bases.

The bridge load capacity is limited to 32 t (2 axles) ; 54 t (3 axles); 62 t (5 axles). The bridge can carry the loads of a regulatory convoy of the CL-625, however this Bridge cannot carry out overweight convoy

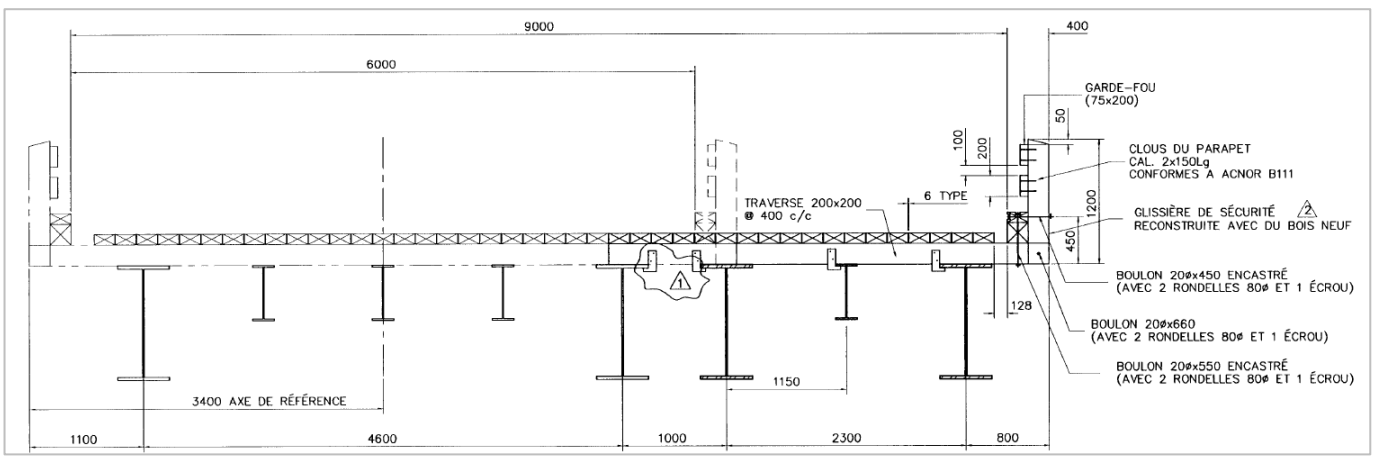


Figure 2-5 : Bridge cross section (km 241)

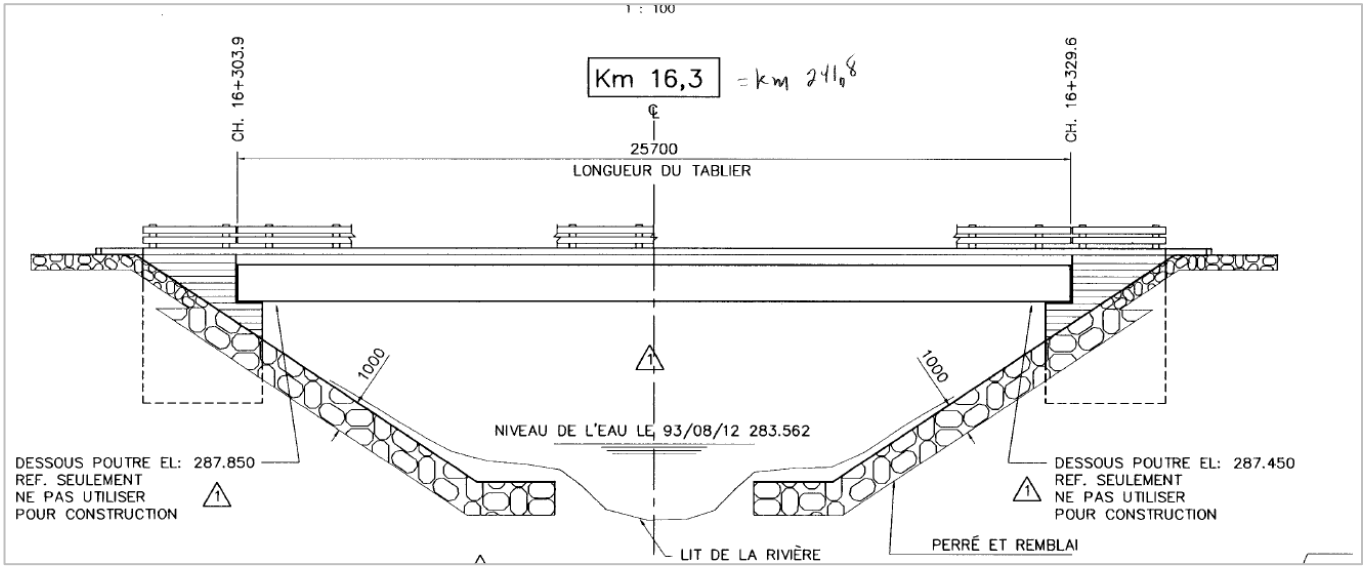


Figure 2-6 : Elevation view (km 241)

Figure 2-7 : Abutment (km 241)

2.5 BRIDGE KM 278 : P-10685

2.5.1 Description of existing bridge

Structure P-10685 is a composite steel-concrete structure with two continuous spans of approximately 28 m over the Nemiscau River. The deck is made up of five steel beams and a reinforced concrete deck. Abutments of the structure are made of reinforced concrete. The usable width is approximately 9.19 m.

2.5.2 Summary of damage survey

In a load capacity study produced in 2013, TetraTech sum up the study without detecting any lack in the load capacity of the Bridge. Tetratech's study recommended to limit the load capacity of a single axel to 18 t. On site, there is a sign limiting the capacity of a single axel to 15 t. Also, the report recommended to limit the total load of

a truck to 200 t, but it is limited to 90 t on site. There is no pavement to the approach of the bridge, that is why the deck seems degraded. No capacity studies have been conducted by Stantec for the current report and no verification of the previous study have been done.

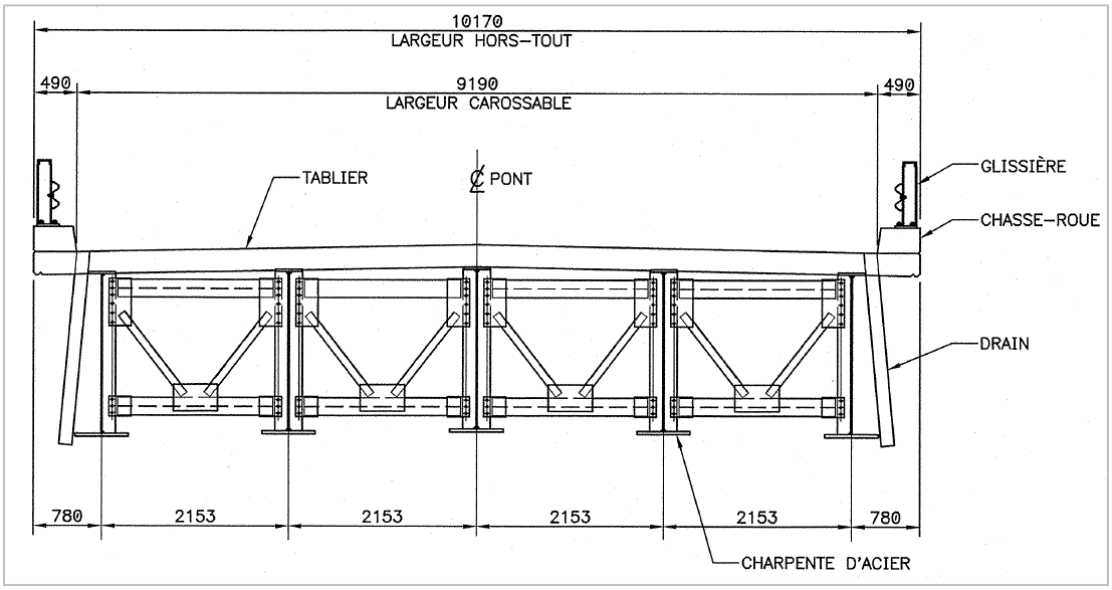


Figure 2-8 : Bridge cross section (km 278)

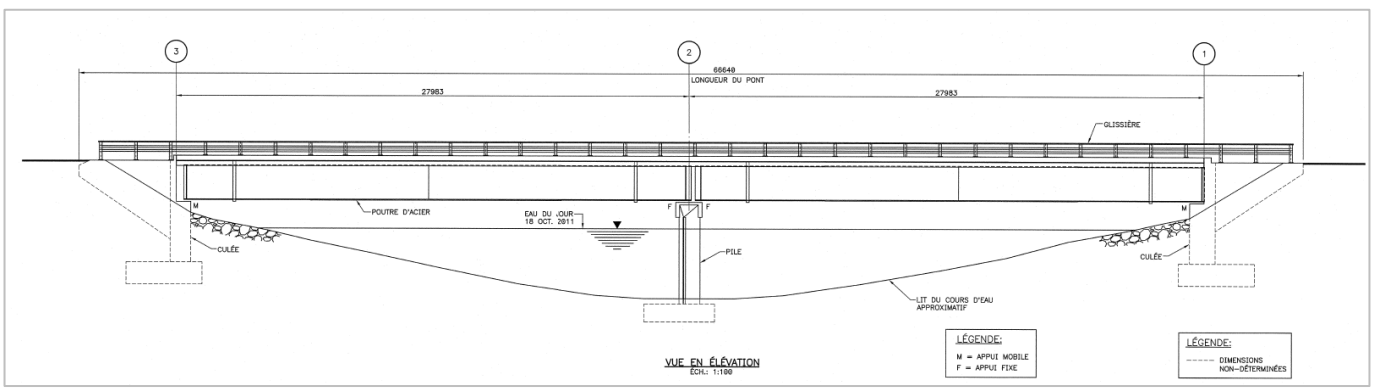


Figure 2-9 : Elevation view (km 278)

Figure 2-10 : load capacity limit on site (km 278)

Figure 2-11 : Elevation view (km 278)

3. PHILOSOPHY OF PROPOSALS

We propose to adopt the following intervention philosophy :

- Securing structures: no reduction of roads on structures – usable width on bridges : 9 m,
- No limitation in the load of bridges,
- Recovery of all failures of bridges,
- Complete cleaning of structures and their approaches: desilting of windchests, removal of the small vegetation, removal of safety devices, new bearings, seat block and joints etc.

3.1 BRIDGE KM 19 : P-10232

The deck of the structure has presented early sign of insufficient strength since its commissioning (substantial addition of stiffeners). We note that the deck, despite its passable width, is limited to one lane and that a girder has out of plane deformations. We propose for this bridge to completely replace the deck to better suit the width of the road, but there is no need to replace concrete abutments. Abutments are in good condition with only minor defects to be corrected : defective expansion joint and bearing seats. Moreover, existing abutments is large enough to provide a road width of 9 m without major modifications

The proposed new deck is a composite concrete slab supported by 4 steel girders of 1.6 m height. The road width on the bridge will be increase from 7,45 m to 9 m to accommodate the new roadway of 2 lanes of 3,5 m with 1 m shoulders on each side. The 4 steel girders will be spaced 2.5 m apart. The overall width of the deck will be 9.9 m including steel barriers of type 210 D. Bearing seats of existing abutments will be replaced.

KM 19 P-10232		Designation	unity	Quantity	PUHT		%
# 1	539 700	General prices					22,30%
	1	Mobilization and site organization	Lump		470 200,00 $	470 200,00 $	
	2	Demolition of existing deck	lump		69 500,00 $	69 500,00 $	
# 3	81 000	Abutment					3,35%
	1	local repairs	lump		50 000,00 $	50 000,00 $	
	2	Seat blocs	unit	8	2 000,00 $	16 000,00 $	
	3	Local demolition and modification of wingwall	lump		15 000,00 $	15 000,00 $	
#4	1 308 400	Deck					54,06%
	1	Concrete slab	m³	82	2 800,00 $	229 600,00 $	
	2	Curb	m³	10	2 000,00 $	20 000,00 $	
	3	Reinforcement of concrete slab	kg	13900	7,00 $	97 300,00 $	
	4	Steel beam : 4 x WWF 1600x496 + bracings	kg	80000	10,00 $	800 000,00 $	
	5	bearings	unit	8	4 000,00 $	32 000,00 $	
	6	Joint (mobile abutment)	m	10	2 500,00 $	25 000,00 $	
	7	Joint (fixed abutment)	m	10	1 200,00 $	12 000,00 $	
	8	Membrane	m²	340	75,00 $	25 500,00 $	
	9	Wearing surface (bridge)	t	50	230,00 $	11 500,00 $	
	10	Railling	m	74	750,00 $	55 500,00 $	
# 5	246 000	Approaches					10,16%
	1	Barriers	m	100	250,00 $	25 000,00 $	
	2	Fill at approaches	m²	400	500,00 $	200 000,00 $	
	3	Wearing surface (approaches 15 m each side)	t	75	280,00 $	21 000,00 $	
# 6	245 300	Miscellaneous					10,13%
	1	Miscellaneous not detailed	lump		245 300,00 $	245 300,00 $	
					Total	2 420 400 $	
			contingency	25%	Total (cont)	3 025 500 $	

Figure 3-1 : Cost of proposals for the bridge km-19

3.2 BRIDGE KM 238 : P-09959

Structure deficiencies arise mainly from the bad distribution of stiffness between the beams. For the purpose of this study, we propose to replace the deck and install a new wooden steel deck consisting of 5 beams with the same stiffness. However, we will keep the existing abutments since they are in good shape and made of concrete. The analysis of the Bridge P-09958 (km 241) is also valid for the present bridge.

We don't have any indications at this point that a steel-wood bridge deck is not suitable for the needs of the community. For economics purposes we considered it in our analysis, but other avenues may be studied in future stage of the project, such as the construction of a structure with concrete slab.

We propose : the removal of the wooden deck and the existing girders ; the construction of a new wooden deck with 5 new steel girders of 1.1 m high and the replacement of bearings with the conservation of the existing abutments. The road width on the new bridge will be 9 m. We also propose the realization of a riprap protection

KM 238 P-09959		Designation	unity	Quantity	PUHT		%
# 1	624 900	General prices					22,35%
	1	Mobilization and site organization	Lump		542 800,00 $	542 800,00 $	
	2	Demolition of existing deck	lump		82 100,00 $	82 100,00 $	
# 3	110 000	Abutment					3,93%
	1	local repairs	lump		40 000,00 $	40 000,00 $	
	2	Seat blocs	unit	10	2 000,00 $	20 000,00 $	
	3	Local demolition and modification of wingwall	lump		50 000,00 $	50 000,00 $	
#4	1 531 800	Deck					54,79%
	1	Wood deck	m³	130	1 800,00 $	234 000,00 $	
	2	Steel beam : 5 x WWF 1100x351 + bracings	kg	125000	10,00 $	1 250 000,00 $	
	3	bearings	unit	10	4 000,00 $	40 000,00 $	
	4	Barriers	m³	120	65,00 $	7 800,00 $	
# 5	246 000	Approaches					8,80%
	1	Barriers	m	100	250,00 $	25 000,00 $	
	2	Fill at approaches	m²	400	500,00 $	200 000,00 $	
	3	Wearing surface (approaches 15 m each side)	t	75	280,00 $	21 000,00 $	
# 6	283 200	Miscellaneous					10,13%
	1	Miscellaneous not detailed	lump		283 200,00 $	283 200,00 $	
					Total	2 795 900 $	
			contingency	25%	Total (cont)	3 494 875 $	

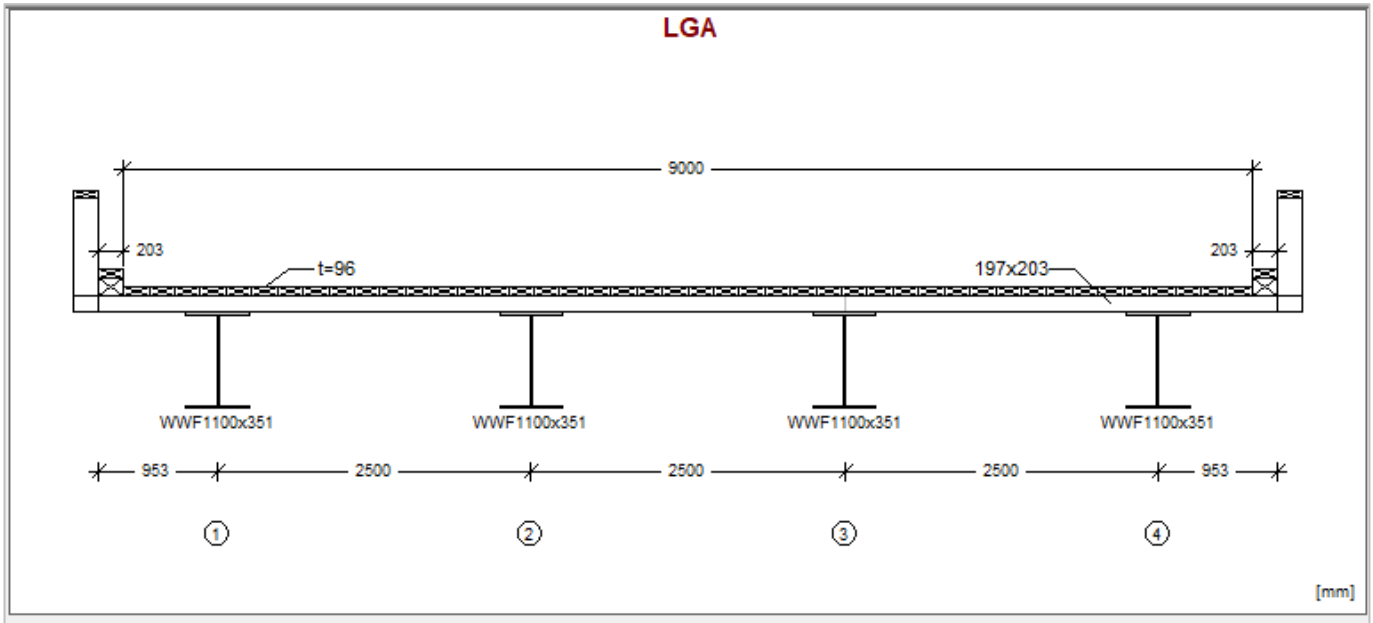
Figure 3-2 : Cost of proposals for the bridge km-238

In case a concrete slab would be preferred for this bridge, we estimated an additional cost of around 500 000$ to be added to the total bridge cost.

3.3 BRIDGE KM 241 : P-09958

3.3.1 Structure deficiencies arise mainly from the bad distribution of stiffness between the beams Reconstruction of the deck: structure with 4 beams

We first check the deck with a new transverse distribution of the existing beams, considering that the metal works at 300 MPa (G40.21M-300W).



Description du projet | Propriétés générales | Caractéristiques des poutres | Caractéristiques du tablier | Résultats

Facteurs de capacité de surcharge (F)

Poutres d'acier

0 4	CL1-625	CL2-625	CL3-625
Flexion	1.44	1.48	1.84
Cisaillement	2.95	3.32	4.27
Flèche	1.41	1.54	2.08
Capacité	91.9 t	71.6 t	56.1 t

Traverses de bois

0 4	CL1-625	CL2-625	CL3-625
Flexion	0.78	0.78	0.78
Cisaillement	1.42	1.42	1.42
Écrasement	2.95	2.95	2.95
Capacité	49.9 t	38.0 t	24.0 t

Affichage recommandé: P-200-P-2 (50 t, 38 t, 24 t)

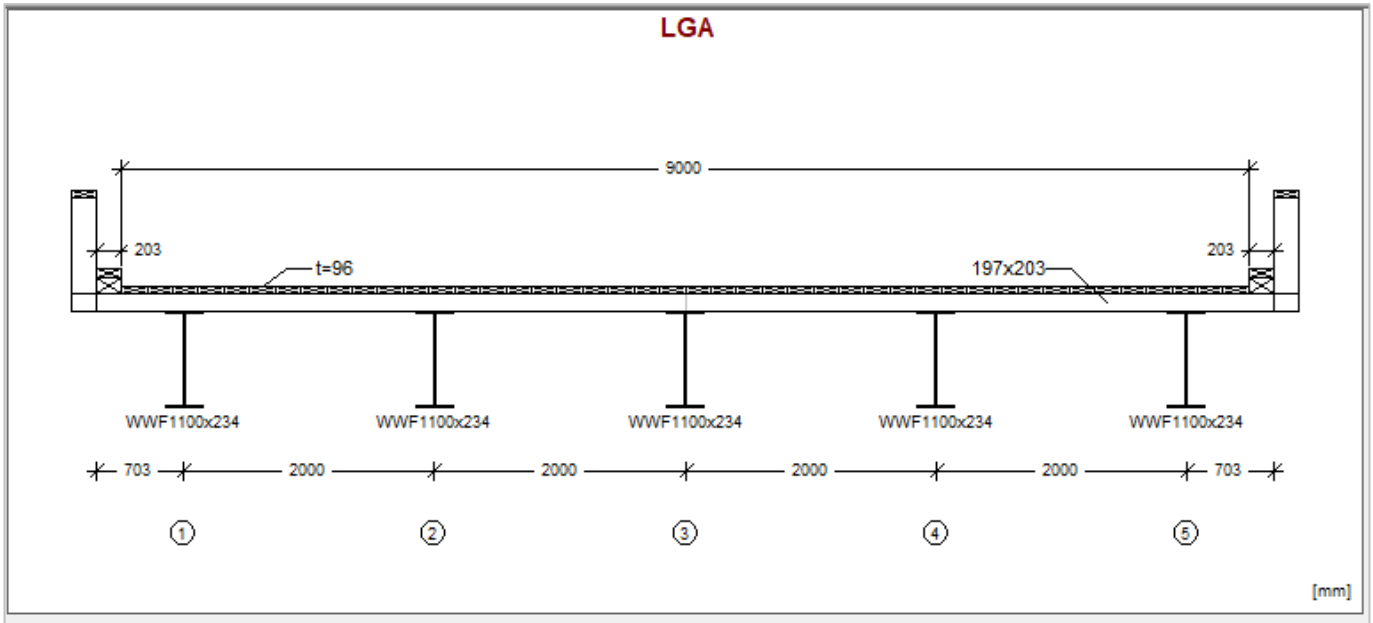
> 1 : OK and < 1 : KO

Figure 3-3 : Results with 4 girders

We note that the main beams are able to take regulatory loads, however the width of the structure leads to eccentricities of the main beams of 2.5 m, but the standard sleepers are not able to cross such a gap. It will then be necessary to install secondary beams of the W610x101 type in order to reduce the span of the wooden sleepers.

3.3.2 Reconstruction of the deck: structure with 5 beams

We check the structure with the addition of a new intermediate beam and scrupulous compliance with MTQ standards for steel-wood bridges.



Description du projet | Propriétés générales | Caractéristiques des poutres | Caractéristiques du tablier | Résultats

Facteurs de capacité de surcharge (F)

Poutres d'acier

0 4	CL1-625	CL2-625	CL3-625
Flexion	1.25	1.28	1.59
Cisaillement	4.04	4.54	5.84
Flèche	1.02	1.11	1.50
Capacité	79.8 t	62.2 t	48.8 t

Traverses de bois

0 4	CL1-625	CL2-625	CL3-625
Flexion	1.16	1.16	1.16
Cisaillement	1.71	1.71	1.71
Écrasement	2.18	2.18	2.18
Capacité	74.0 t	56.2 t	35.5 t

Figure 3-4 : Results with 5 girders

The new deck could be made from the existing deck or create a completely new one.

3.3.3 Reconstruction of abutments

Apart from silting up of the windchests, no significant failure was noted during the various inspections. However, the abutments are about 30 years old and the wooden structures do not have a lifespan of 100 years. It is therefore possible that it will be possible, in the years to come, to have to replace the wooden abutments. We propose to anticipate these works and to build reinforced concrete abutments.

3.3.4 Synthesis

We propose to replace the deck and implement a steel/wood deck. We also propose to take over the wooden abutment and create a more durable one in concrete.

Other proposals may be studied in a later phase.

KM 241 P-09958		Designation	unity	Quantity	PUHT		%
# 1	582 000	General prices					23,19%
	1	Mobilization and site organization	Lump		481 900,00 $	481 900,00 $	
	2	Demolition of existing bridge	lump		100 100,00 $	100 100,00 $	
# 3	767 000	Abutment					30,56%
	1	Excavations and filling	lump	1900	40,00 $	76 000,00 $	
	2	Concrete abutments	m³	200	2 200,00 $	440 000,00 $	
	3	Reinforcement of abutments	kg	30000	7,00 $	210 000,00 $	
	4	Seat blocs	unit	10	2 000,00 $	20 000,00 $	
	5	Riprap	m²	300	70,00 $	21 000,00 $	
#4	663 250	Deck					26,43%
	1	Wood deck	m³	50	1 800,00 $	90 000,00 $	
	2	Steel beam : 5 x WWF 1100x351 + bracings	kg	53000	10,00 $	530 000,00 $	
	3	bearings	unit	10	4 000,00 $	40 000,00 $	
	4	Barriers	m³	50	65,00 $	3 250,00 $	
# 5	246 000	Approaches					9,80%
	1	Barriers	m	100	250,00 $	25 000,00 $	
	2	Fill at approaches	m²	400	500,00 $	200 000,00 $	
	3	Wearing surface (approaches 15 m each side)	t	75	280,00 $	21 000,00 $	
# 6	251 400	Miscellaneous					10,02%
	1	Miscellaneous not detailed	lump		251 400,00 $	251 400,00 $	
					Total	2 509 650 $	
			contingency	25%	Total (cont)	3 137 063 $	

Figure 3-5 : Cost of proposals for the bridge km-241

In case a concrete slab would be preferred for this bridge, we estimated an additional cost of around 300 000$ to be added to the total bridge cost.

3.4 BRIDGE KM 278 : P-10685

We recommend these followings reparation action:

- scarification of the deck coating (usable surface),
- Destruction and construction of seat blocks and bearings,
- Local paintings if necessary,
- Fill at approaches,
- Demolition and reconstruction of three joints,
- Pavement of the bridge so as to protect the structure.

| Encryption | | |

4. SYNTHESIS TABLE AND RECOMMANDATIONS

The following table summarized the proposed intervention on each bridge considered in this study. The estimated costs for the work do not include the temporary road work deviation (if required). Furthermore, it is assumed a concrete plant will be mobilized for the use of the overall project. Cost for the concrete include some overhead price for transportation of materials and distance, but not the installation and certification of the concrete plant.

Preliminary design of the new decks considered the legal moving load CL-625 from "Canadian Highway Bridge Design Code". More heavier moving load can be required to accommodate the need of Hydro-Québec and other forest or mining development in the region.

Table 4-1 : Synthesis table and recommandations

	Km 19 – P-10232	km 238 – P-09959	km 241 – P-09958	Km 278 – P10685
Mains reasons for intervention	Insufficient bridge road width	Insufficient bridge road width and decking to be redone	Decking to be redone, wood abutment prone to premature degradation	decking and superstructure to be repairs
Main proposal	New deck and minor repair of existing abutments	New deck and minor repair of existing abutments	New deck and new abutments	local repairs (joint, seat blocks, etc …)
Existing road width	7,45 m	8,75 m	9,06 m	9,19 m
Proposed road width	9 m	9 m	9 m	9,19 m
Spans	36 m	60 m	25 m	56 m
Deck's surface	370 m²	604 m²	257 m²	560 m²
Projet red line	unchanged	unchanged	unchanged	unchanged
Curb	Concrete 0.45 m	Wood 0.2 x 0.2 m	Wood 0.2 x 0.2 m	Concrete 0.49 m
thickness of slab	Concrete 225 mm	Wood - 96 mm	Wood - 96 mm	Concrete 265 mm
Straight sections of wood sleepers	N/A	197 x 203 mm and length 5.486 m	197 x 203 mm and length 5.486 m	N/A
c/c steel beam	2.50 m	2.0 m	2.0 m	2.153 m
Number of steel beams	4	5	5	5
Slab or sleepers overhang	1.25 m	0.70 m	0.70 m	0.779 m
Abutments	Unchanged with minor repairs	Unchanged with minor repairs	New concrete abutment	Unchanged
Restoration approaches	Yes	Yes	Yes	Yes
architectural consideration	Low impact	Medium impact – the site has a wild	Medium impact – the site has a wild	Low impact

	Km 19 – P-10232	km 238 – P-09959	km 241 – P-09958	Km 278 – P10685
		character and few dwellings	character and few dwellings	
Bearings	Replaced	Replaced	Replaced	Replaced
Cost	3 025 500 $ 8 260 $/m²	3 495 000 $ 6 200 $/m²	3 140 000 $ 13 350 $/m²	1 475 000 $ 2 600 $/m²

APPENDIX

APPENDIX A – BRIDGE 9958

RELEVÉ DE DOMMAGES

Vision Eeyou Istchee

P-09958	KM : 241
NOM:	JF / MD
DATE:	2022/06/15-16-17
PAR:	Stantec
LOCATION	
LAT.	51,549136
LONG.	-75,491052
COURBE	☐
GAUCHE	☐
DROITE	☒
SPIRALE	☐
TANGENTE	☐

Unité no : 2

Largeur totale du pont (Lt) = 9475

Voie carrossable mesurée perpendiculairement = 9060

Voie carrossable mesurée le long du joint de tablier = 9060

Chevauchement des traverses sur poutre (s) = P2 longeron 2 incomplet

Chasse-roue gauche: 200

Chasse-roue droit: 200

Sens du courant

P2 E 9651 O 9650 Longeron 2 E 9649 O 9648

375 9694 @ 9695

Chevauchement sur L4 seulement CTV4 à S.

P1	P2	P3	P4	P	P	P	P
900	4585	985	2285	x	x	x	x	620

Prendre cette mesure à partir de l'âme de la poutre de rive

Prendre les mesures entre les âmes des poutres

Somme des mesures prises au-dessous (St) = 9375

Écart (e) = abs (Lt-St) = 100 **Si e > 250 mm - Reprendre les mesures**

Prendre les mesures du dessous du tablier au même endroit que celles du dessus

Unité no : 1

Largeur totale du pont (Lt) = 9490

Voie carrossable mesurée perpendiculairement = 9110

Voie carrossable mesurée le long du joint de tablier = 9110

Chevauchement des traverses sur poutre (s) = P2 longeron 2 incomplet

Chasse-roue gauche: 200

Chasse-roue droit: 195

Sens du courant

P2 E 9633 O 9634 Longeron 2 9635 9636

92 9692

P1	P2	P3	P4	P	P	P	P
900	4590	983	2300	x	x	x	x	615

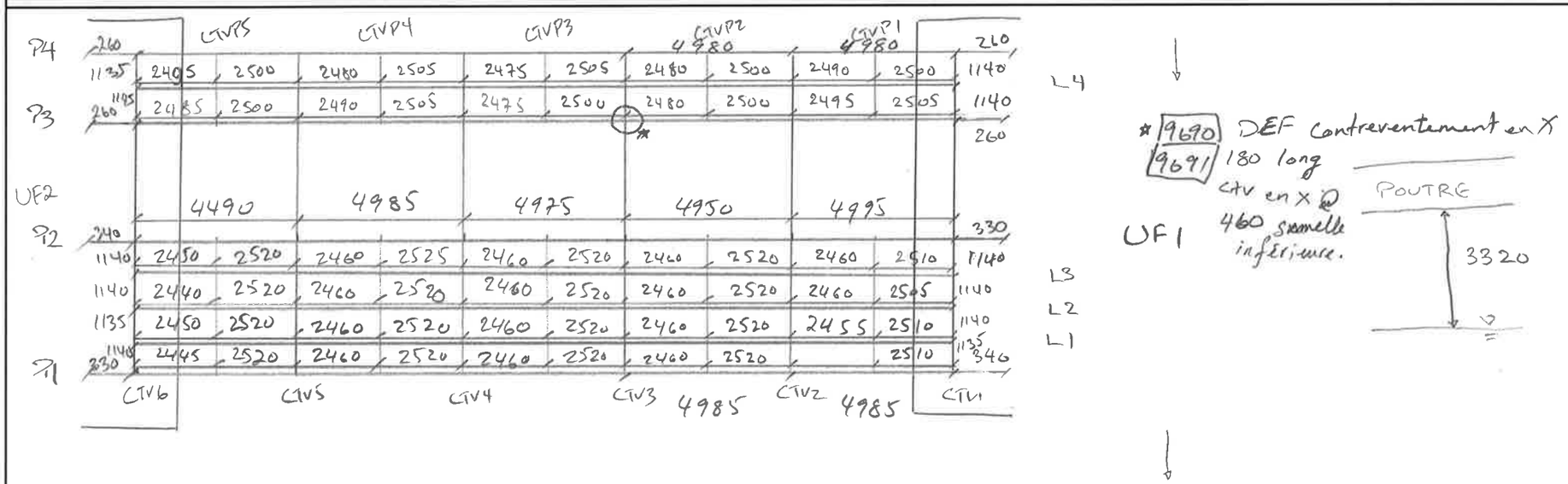
Prendre cette mesure à partir de l'âme de la poutre de rive

Prendre les mesures entre les âmes des poutres

Somme des mesures prises au-dessous (St) = 9388

Écart (e) = abs (Lt-St) = 102 **Si e > 250 mm - Reprendre les mesures**

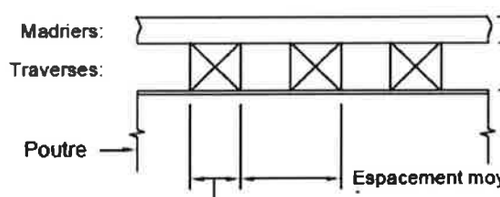
Vue en plan du système structural (orientation générale, biais, sens du courant, etc.)



Présence d'un système de contreventements : ☒ Oui ☐ Non

Efficacité du système : ☒ Oui ☐ Non

Dimension du platelage



Hauteur des madriers : 95

Hauteur des traverses : 200

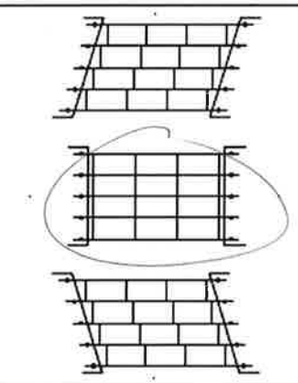
Épaisseur efficace (%) : 100

Espacement moyen: 400

Largeur des traverses : 200

Largeur efficace (%) : 100

Indiquer les épaisseurs de pavage et de remblai si existants : Aucun



RELEVÉ DE DOMMAGES

Vision Eeyou Istchee

P- 09958 KM : 241

NOM: JF / MD

DATE: 2022/06/15-16-17

PAR: Stanke

LOCATION

LAT. 51,5491 36

LONG. -75,4916 52

COURBE ☐ GAUCHE ☐ DROITE ☒

SPIRALE ☐ TANGENTE ☐

RELEVÉ DE DOMMAGES

Vision Eeyou Istchee

P- 99958 KM : 241

NOM: JF / MD

DATE: 2022/06/15-16-17

PAR: Stantec

LOCATION

LAT. 51, 549136

LONG. -75, 491052

COURBE ☐

GAUCHE ☐

DROITE ☒

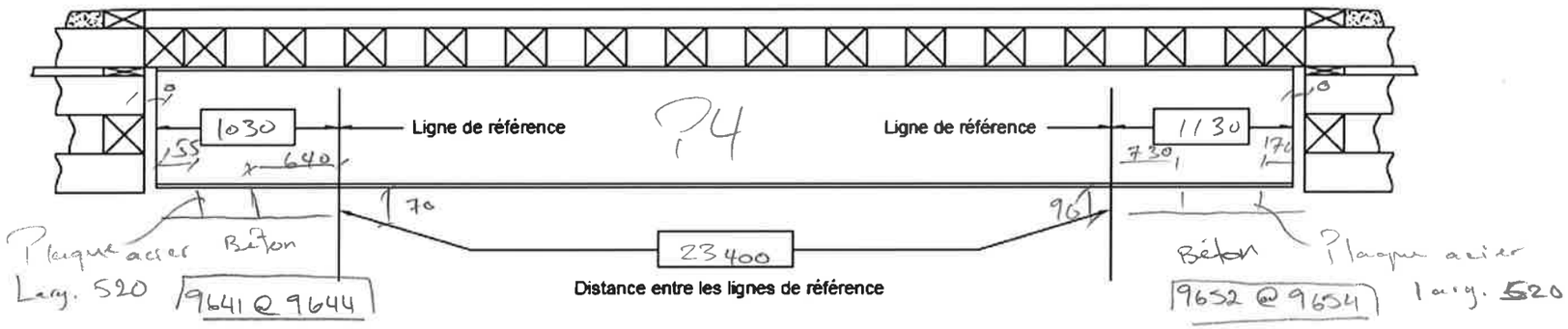
SPIRALE ☐

TANGENTE ☐

Côté amont

Unité no : 1

Unité no : 2

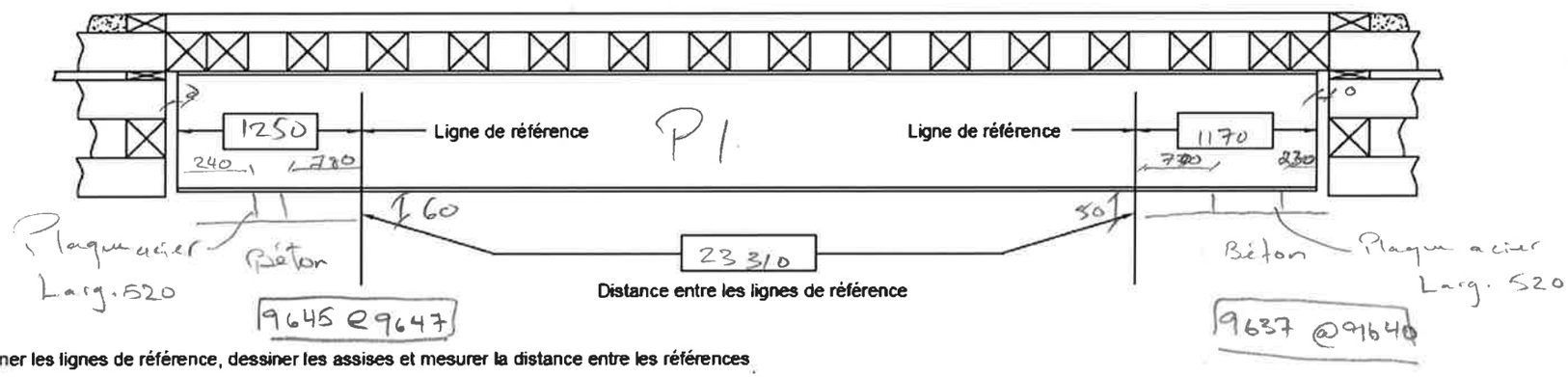


Déterminer les lignes de référence, dessiner les assises et mesurer la distance entre les références

Côté aval

Unité no : 2

Unité no : 1



Déterminer les lignes de référence, dessiner les assises et mesurer la distance entre les références

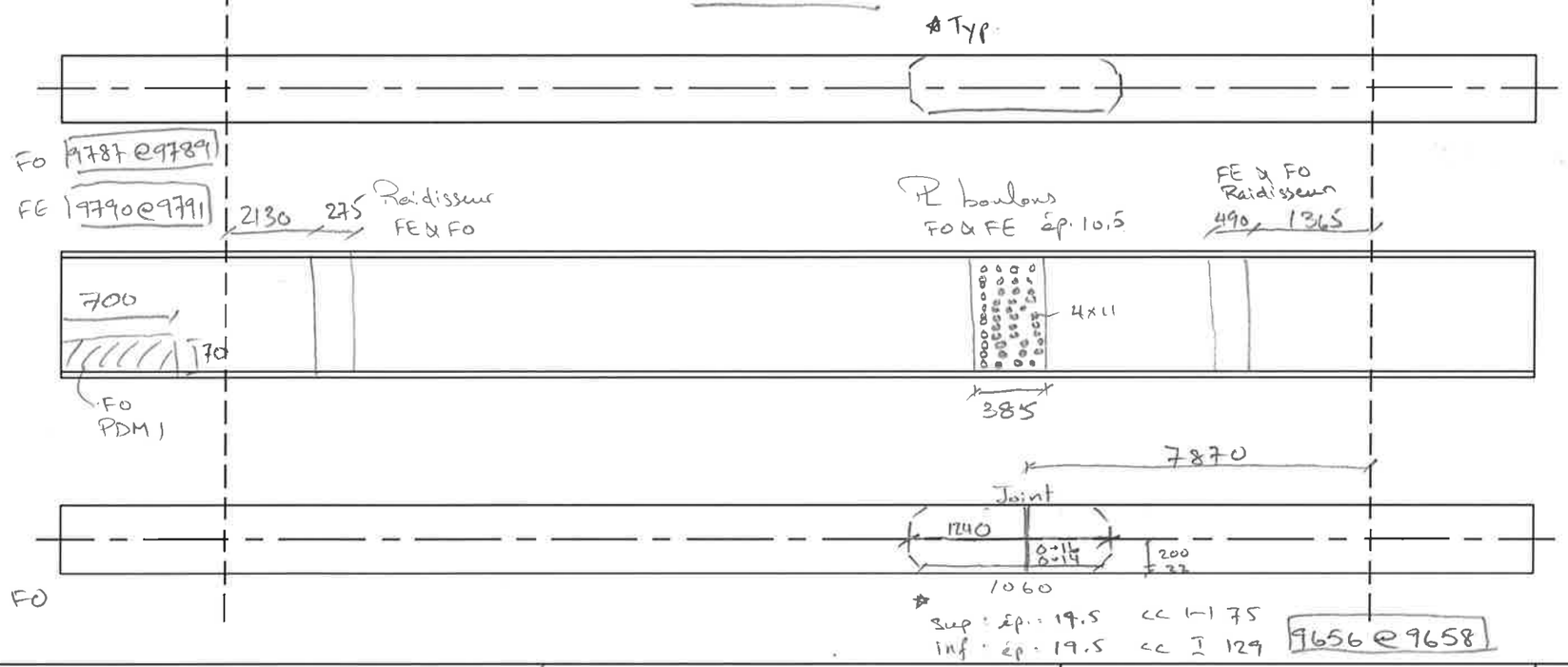
Avis sur l'état et le comportement des unités de fondation

OK

Unité no : 1 — Ligne de référence

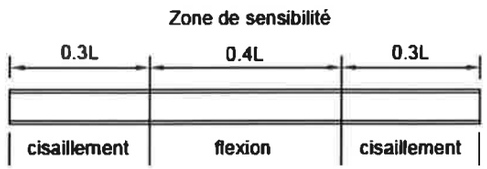
Déflexion des raidisseur à raidisseur gris — Unité no : 2 — Ligne de référence

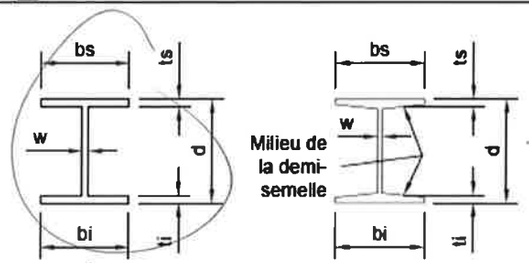
9696 @ 9697



Méthode de fabrication du profilé : ☐ Laminée ☒ Soudée

Définitions





Hauteur maximale du profilé	(d)	1095
Largeur maximale de l'aile supérieure	(bs)	500
Largeur maximale de l'aile inférieure	(bi)	500
Épaisseur maximale de l'aile supérieure	(ts)	29.0
Épaisseur maximale de l'aile inférieure	(ti)	29.0
Épaisseur maximale de l'âme	(w)	16.5
P1		

Vision Eeyou Istchee

Stantec DESKOR SYSTA

RELEVÉ DE DOMMAGES

P- 09958 KM : 241

NOM: JF / MD

DATE: 2022/06/15-16-17

PAR: Stantec

LOCATION

LAT. 51.549136

LONG. -75.491052

COURBE ☐

GAUCHE ☐

DROITE ☒

SPIRALE ☐

TANGENTE ☐

RELEVÉ DE DOMMAGES

Eeyou Istchee

P- 09958 KM : 241

NOM: JF / MD

DATE: 2022/06/15-16-17

PAR: Stantec

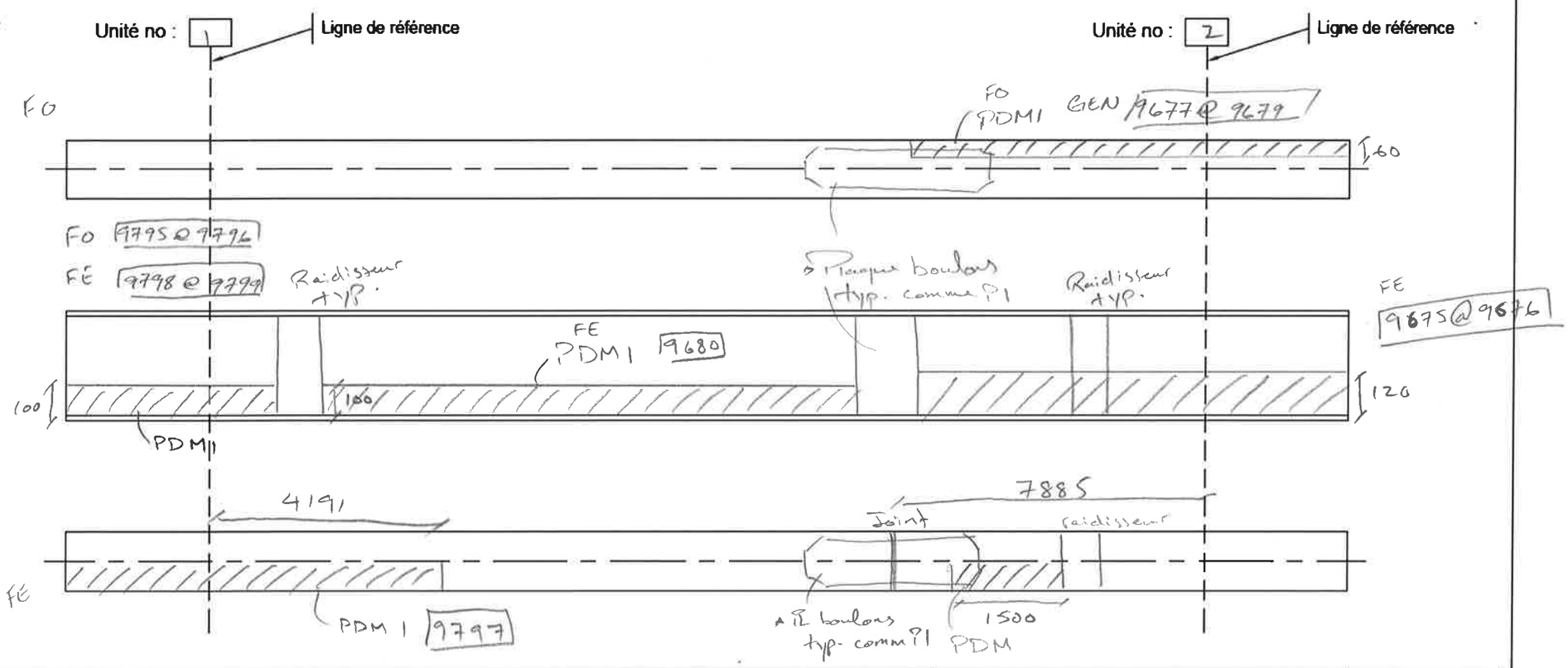
LOCATION

LAT. 51,549136

LONG. -75,499652

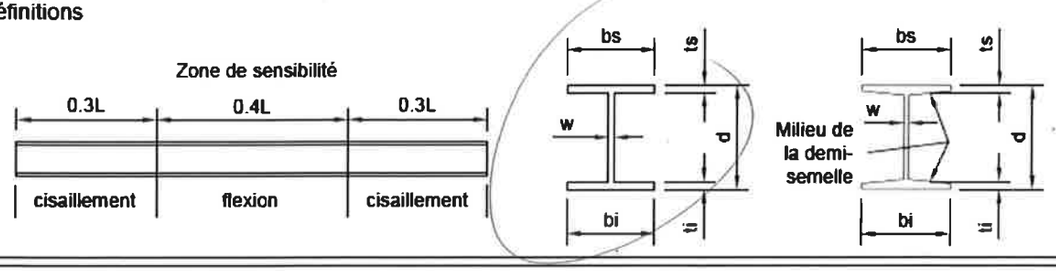
COURBE ☐ GAUCHE ☐ DROITE ☒

SPIRALE ☐ TANGENTE ☐



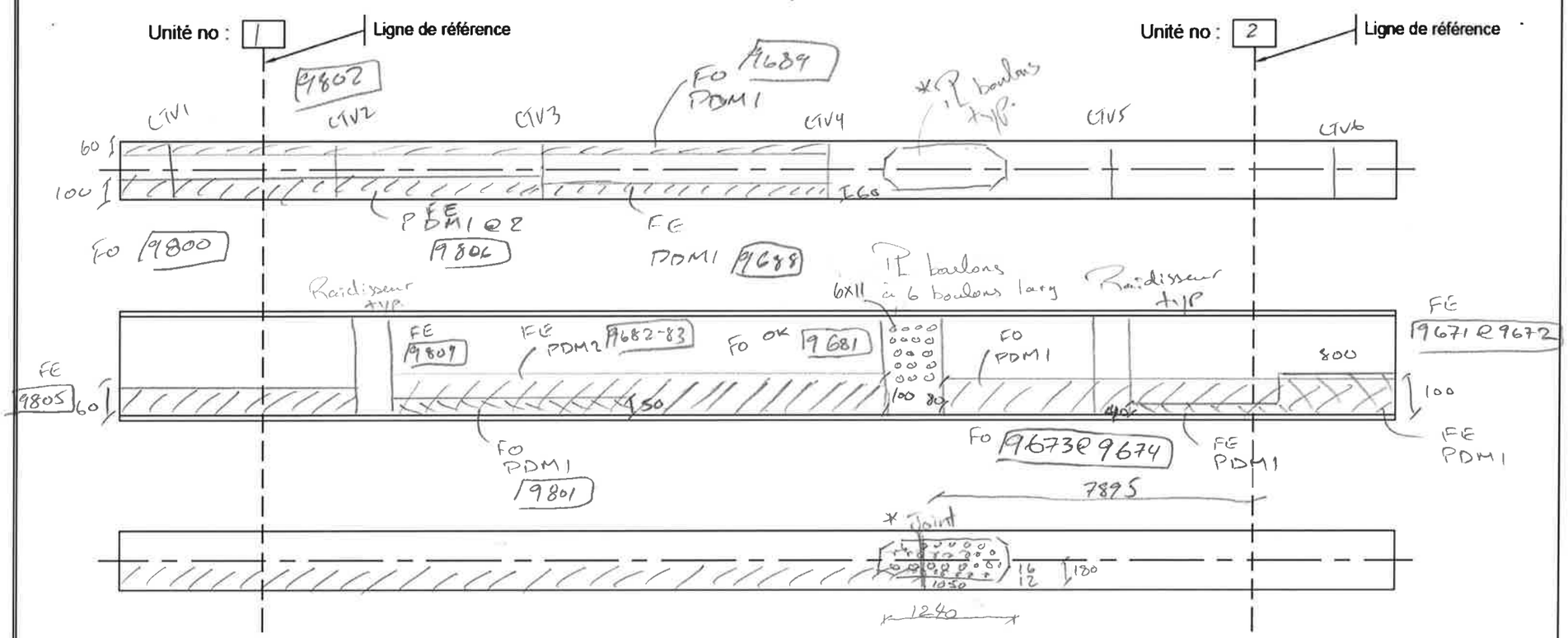
Méthode de fabrication du profilé : ☐ Laminée ☒ Soudée

Définitions



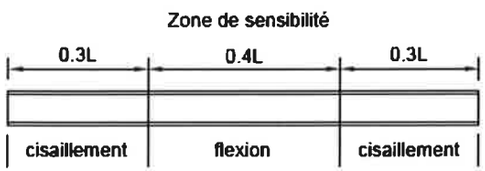
Hauteur maximale du profilé	(d)	1090
Largeur maximale de l'aile supérieure	(bs)	505
Largeur maximale de l'aile inférieure	(bi)	505
Épaisseur maximale de l'aile supérieure	(ts)	29.0
Épaisseur maximale de l'aile inférieure	(ti)	29.0
Épaisseur maximale de l'âme	(w)	16.6
P2		

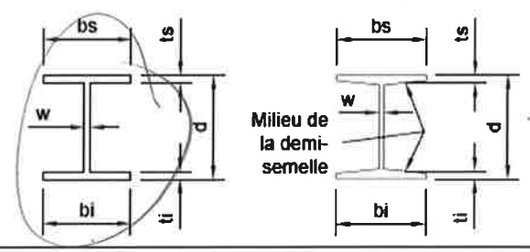
SCRAP 9807 @ 9808



Méthode de fabrication du profilé : ☐ Laminée ☒ Soudée

Définitions





Hauteur maximale du profilé	(d)	1110
Largeur maximale de l'aile supérieure	(bs)	505
Largeur maximale de l'aile inférieure	(bi)	505
Épaisseur maximale de l'aile supérieure	(ts)	29.0
Épaisseur maximale de l'aile inférieure	(ti)	29.0
Épaisseur maximale de l'âme	(w)	17.0
P3		

Vision Eeyou Istchee

Stantec DESROSIERS

RELEVÉ DE DOMMAGES

P- 09958 KM : 2411

NOM: JF/MD

DATE: 2022/06/15-16-17

PAR: Stantec.

LOCATION

LAT. 51.549136

LONG. -75.491052

COURBE ☐

GAUCHE ☐

DROITE ☒

SPIRALE ☐

TANGENTE ☐

RELEVÉ DE DOMMAGES

Vision Eeyou Istchee

Stantec DESEOR SYSTRA

P- 09958 KM : 241

NOM: JF / MD

DATE: 2022/06/15-16-17

PAR: Stantec

LOCATION

LAT. 51.849136

LONG. -75.491052

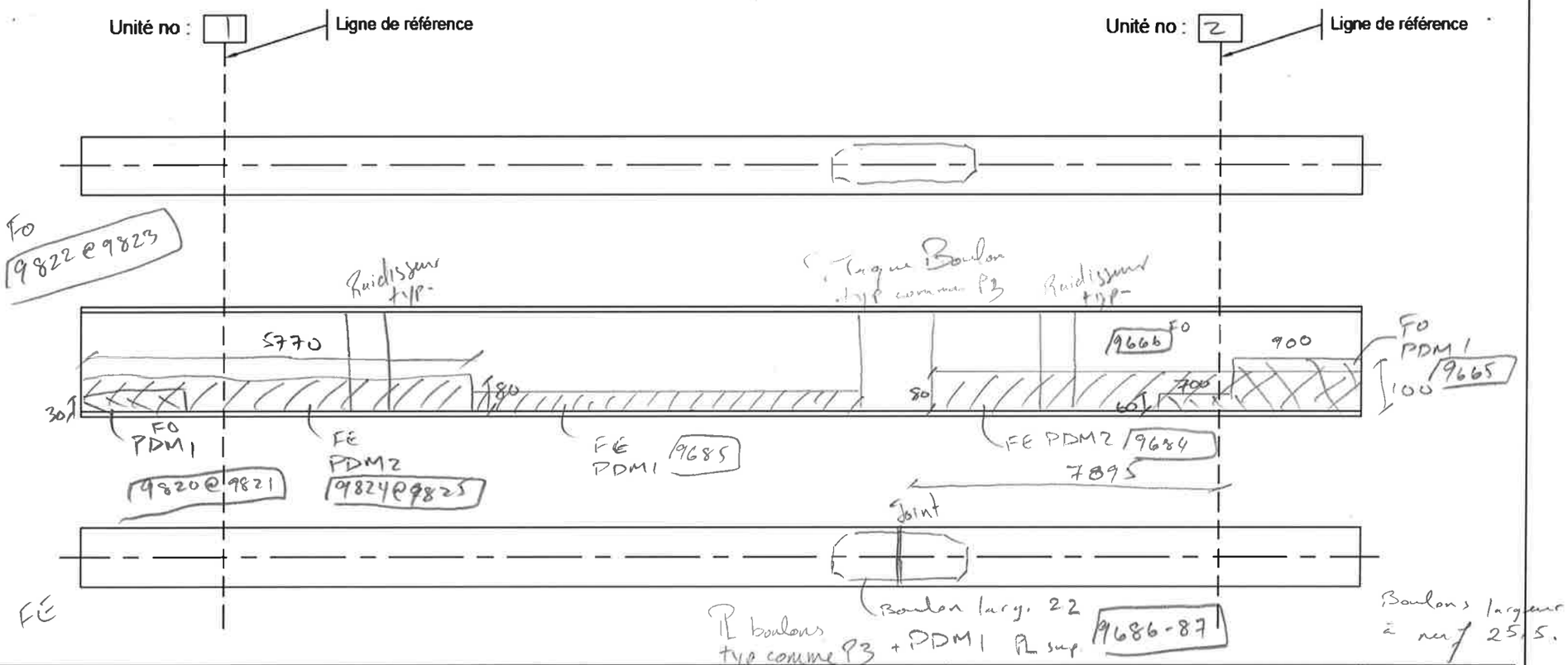
COURBE ☐

GAUCHE ☐

DROITE ☑

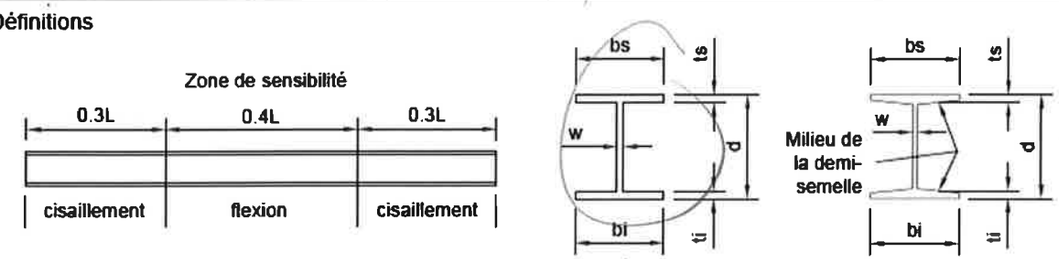
SPIRALE ☐

TANGENTE ☐



Méthode de fabrication du profilé : ☐ Laminée ☒ Soudée

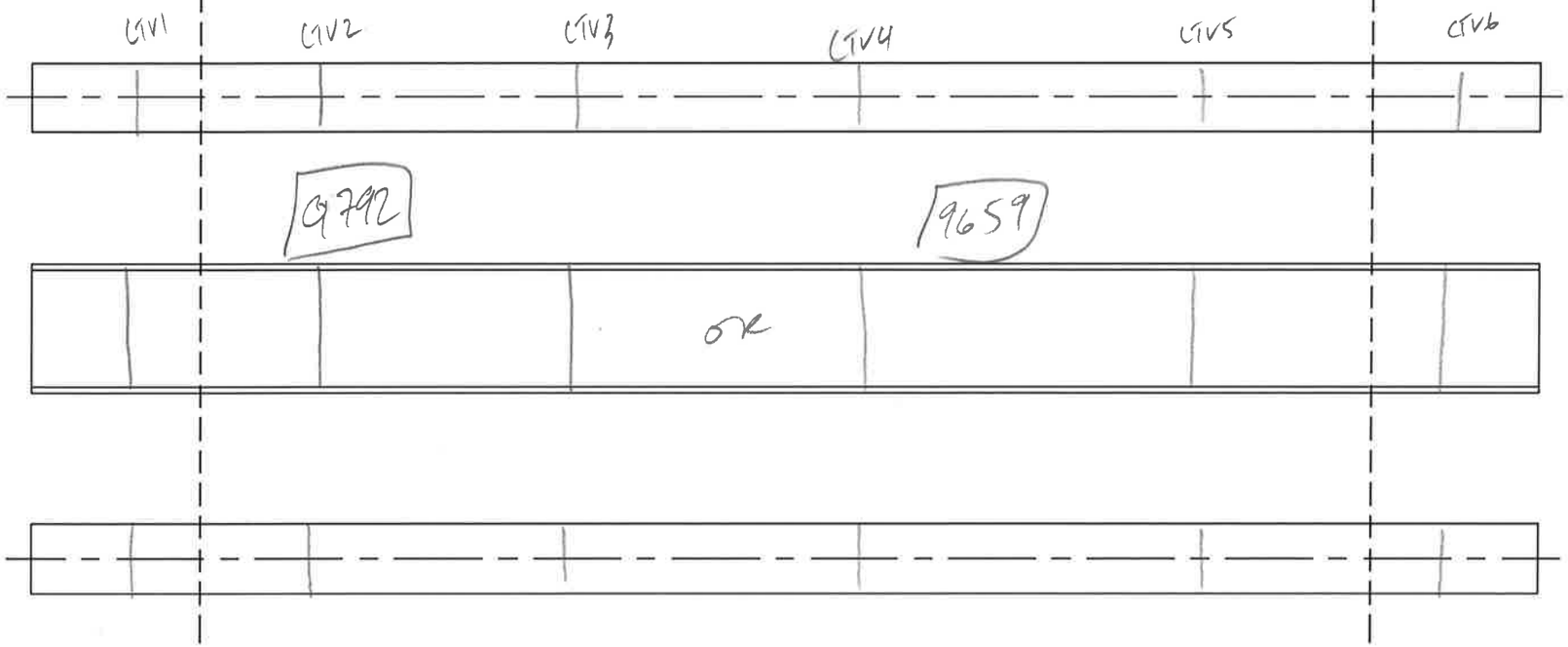
Définitions



Hauteur maximale du profilé	(d)	1100
Largeur maximale de l'aile supérieure	(bs)	505
Largeur maximale de l'aile inférieure	(bi)	505
Épaisseur maximale de l'aile supérieure	(ts)	29.0
Épaisseur maximale de l'aile inférieure	(ti)	29.0
Épaisseur maximale de l'âme	(w)	17.0
P4		

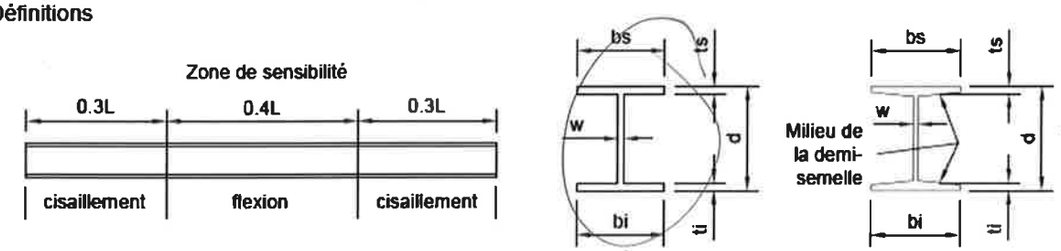
Unité no : 1 — Ligne de référence

Unité no : 2 — Ligne de référence



Méthode de fabrication du profilé : ☒ Laminée ☐ Soudée

Définitions



Hauteur maximale du profilé	(d)	463
Largeur maximale de l'aile supérieure	(bs)	195
Largeur maximale de l'aile inférieure	(bi)	195
Épaisseur maximale de l'aile supérieure	(ts)	16,0
Épaisseur maximale de l'aile inférieure	(ti)	16,0
Épaisseur maximale de l'âme	(w)	12,2
L1		

Vision Eeyou Istchee

Stantec DESIGN SYSTEM

RELEVÉ DE DOMMAGES

P- 09958 KM : 241

NOM: JF/MD

DATE: 2022/06/15-16-17

PAR: Stantec

LOCATION

LAT. 51,549136

LONG. -75,491052

COURBE ☐

GAUCHE ☐

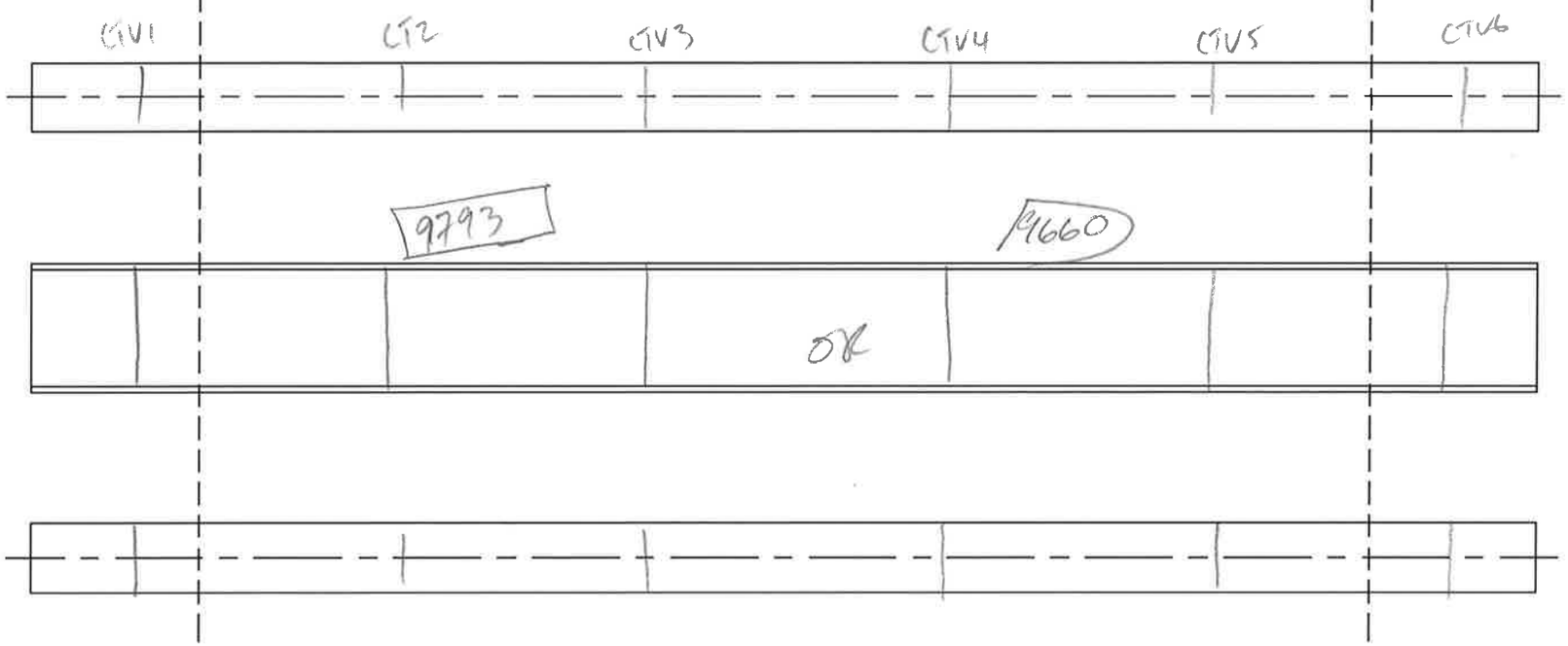
DROITE ☒

SPIRALE ☐

TANGENTE ☐

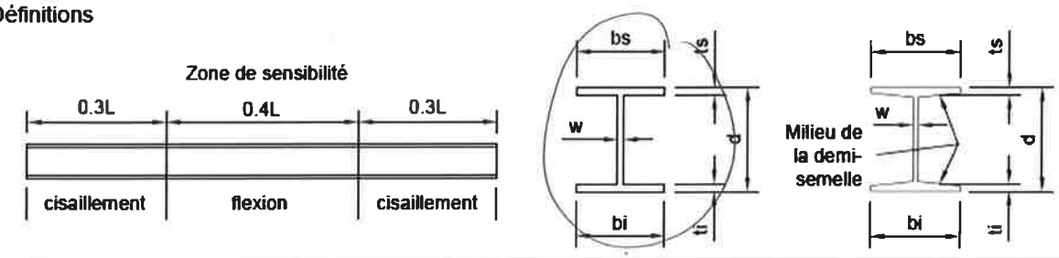
Unité no : 1 — Ligne de référence

Unité no : 2 — Ligne de référence



Méthode de fabrication du profilé : ☒ Laminée ☐ Soudée

Définitions



Hauteur maximale du profilé	(d)	460
Largeur maximale de l'aile supérieure	(bs)	200
Largeur maximale de l'aile inférieure	(bi)	200
Épaisseur maximale de l'aile supérieure	(ts)	17,0
Épaisseur maximale de l'aile inférieure	(ti)	17,0
Épaisseur maximale de l'âme	(w)	12,7
L2		

Vision Eeyou Istchee

Stantec DESFOR SYSTEM

RELEVÉ DE DOMMAGES

P- 09958 KM : 2611

NOM: JF/MD

DATE: 2022/06/15-16-17

PAR: Stantec.

LOCATION

LAT. 51,549136

LONG. -75,491052

COURBE ☐

GAUCHE ☐

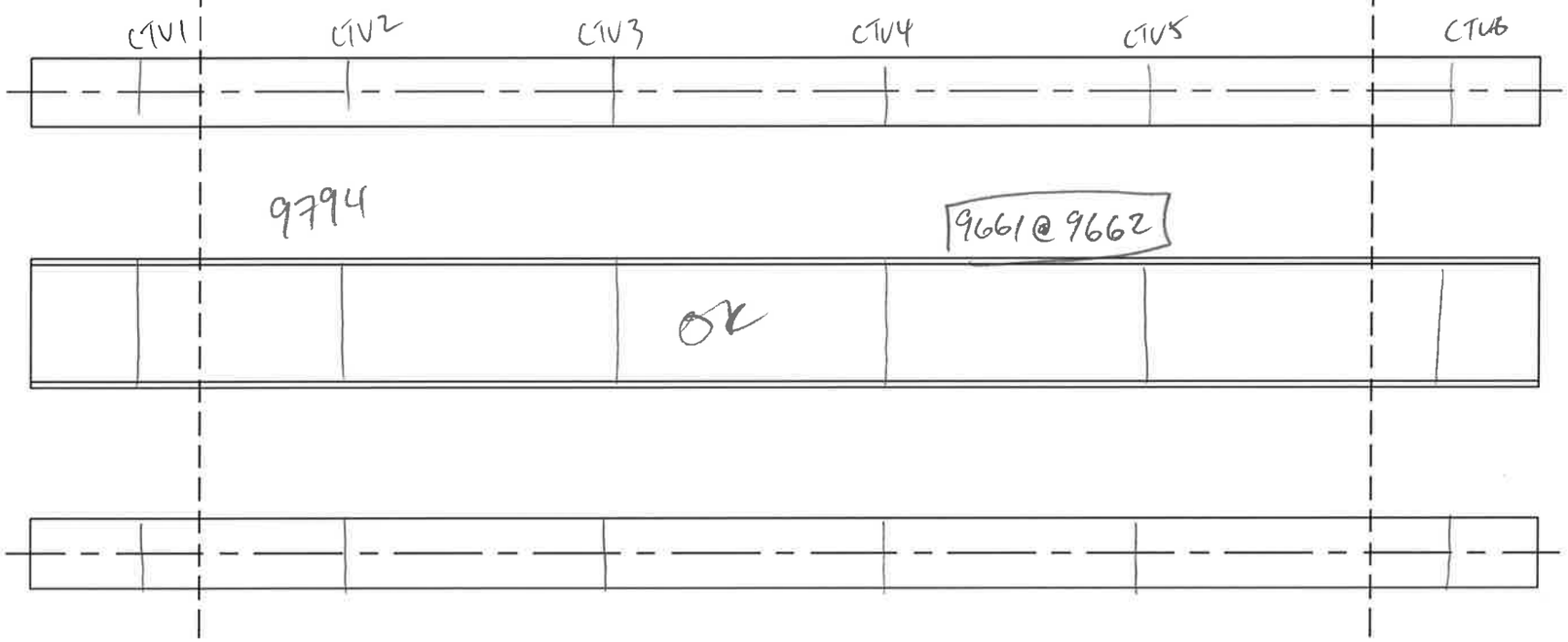
DROITE ☒

SPIRALE ☐

TANGENTE ☐

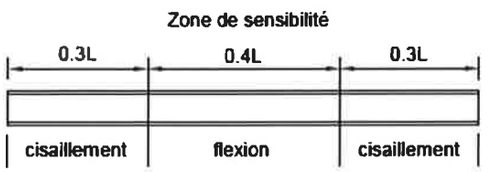
Unité no : 1 — Ligne de référence

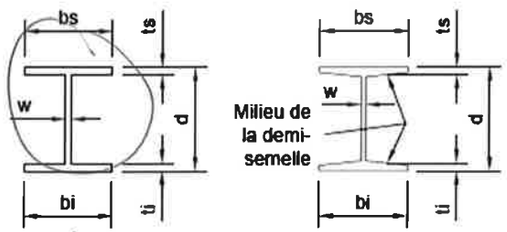
Unité no : 2 — Ligne de référence



Méthode de fabrication du profilé : ☒ Laminée ☐ Soudée

Définitions





Hauteur maximale du profilé	(d)	463
Largeur maximale de l'aile supérieure	(bs)	200
Largeur maximale de l'aile inférieure	(bi)	200
Épaisseur maximale de l'aile supérieure	(ts)	16,0
Épaisseur maximale de l'aile inférieure	(ti)	17,0
Épaisseur maximale de l'âme	(w)	12,5
L3		

RELEVÉ DE DOMMAGES

Vision Eeyou Istchee

Stantec • DESROR • SYSTRA

P- 09958 KM : 241

NOM: JF/MD

DATE: 2022/06/15-16-17

PAR: Stantec

LOCATION

LAT. 51,549136

LONG. -75,491052

COURBE ☐

GAUCHE ☐

DROITE ☒

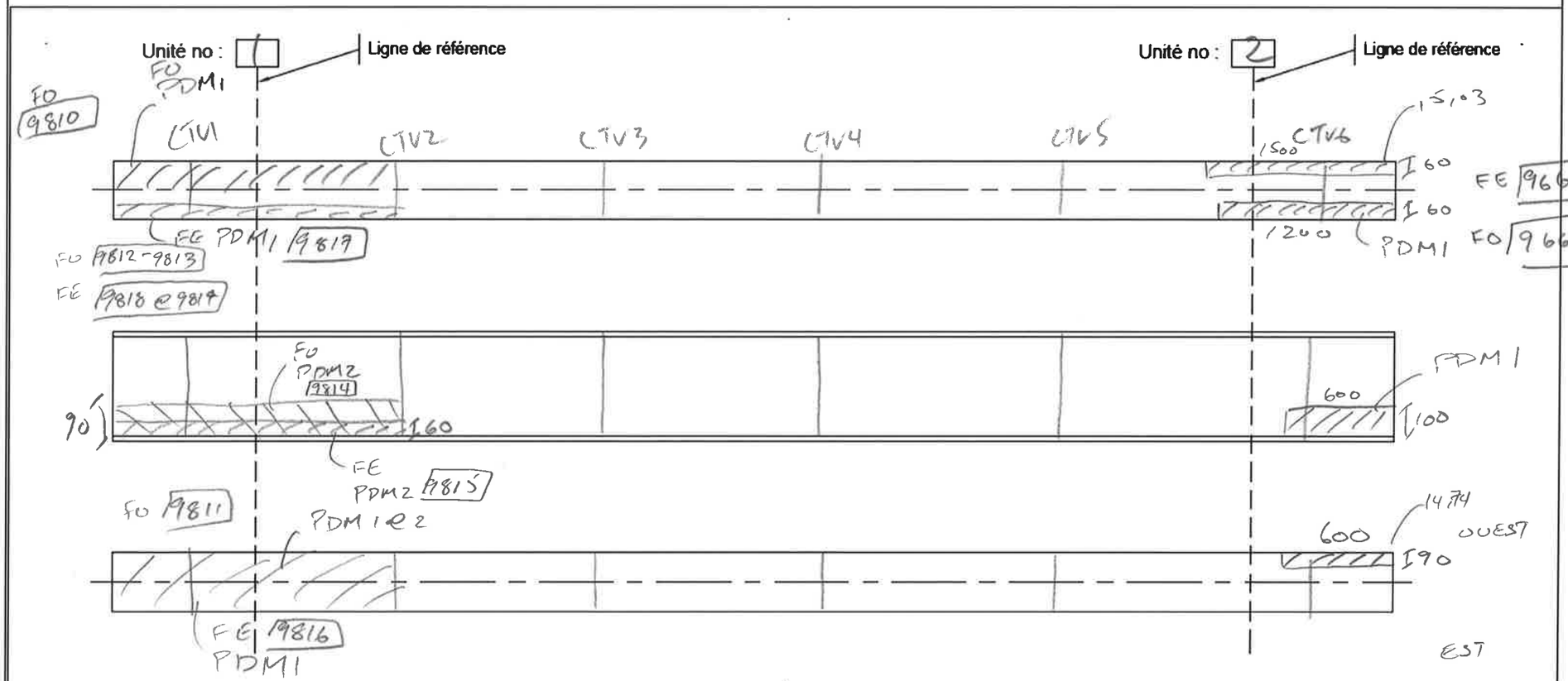
SPIRALE ☐

TANGENTE ☐

RELEVÉ DE DOMMAGES

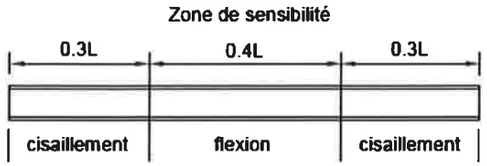
Vision Eeyou Istchee

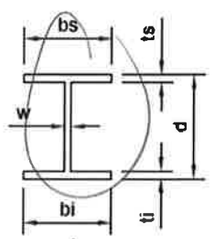
P- 09958	KM : 241		
NOM: JF / MD			
DATE: 2022-06-15/16/17			
PAR: Stantec			
LOCATION	LAT. 51,549136	LONG. -75,491052	
COURBE ☐	GAUCHE ☐	DROITE ☑	
SPIRALE ☐	TANGENTE ☐		

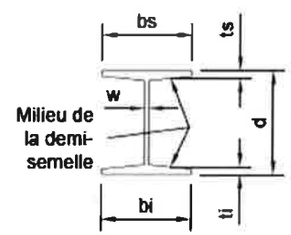


Méthode de fabrication du profilé : ☑ Laminée ☐ Soudée

Définitions







Hauteur maximale du profilé	(d)	609
Largeur maximale de l'aile supérieure	(bs)	230
Largeur maximale de l'aile inférieure	(bi)	230
Épaisseur maximale de l'aile supérieure	(ts)	15,0
Épaisseur maximale de l'aile inférieure	(ti)	15,0
Épaisseur maximale de l'âme	(w)	13,2
2-4		

Stantec

Description des photos

Relevé de dommages de 3 ponts – La Grande Alliance route du Nord

N/D : 158100425

Date d'inspection : 2022-06-15/16/17 (aaaa/mm/jj)

Structure : P-09958

Nom des inspecteurs : Jonathan Fournier

Mathieu Doyer

N° de photo	Localisation	Description
9625	Approche Nord	Générale
9626	Dessus	Générale
9627	Glissière Est	Générale
9628	Surface de roulement	Pourriture jusqu'à très important. Usure par abrasion.
9629	Surface de roulement	Pourriture jusqu'à très important. Usure par abrasion.
9630	Glissière Ouest	Générale
9631	Plaquette d'identification	Générale
9632	Approche Sud	Générale
9633	Platelage, poutre 2	Chevauchement incomplet
9634	Platelage, poutre 2	Chevauchement incomplet
9635	Platelage, poutre 2	Chevauchement incomplet
9636	Platelage, poutre 2	Chevauchement incomplet
9637	Appareil d'appui, poutre 1, unité de fondation 1	Générale
9638	Appareil d'appui, poutre 1, unité de fondation 1	Générale
9639	Appareil d'appui, poutre 1, unité de fondation 1	Corrosion de la plaque d'acier
9640	Appareil d'appui, poutre 1, unité de fondation 1	Générale
9641	Appareil d'appui, poutre 4, unité de fondation 1	Générale
9642	Appareil d'appui, poutre 4, unité de fondation 1	Générale

N° de photo	Localisation	Description
9643	Appareil d'appui, poutre 4, unité de fondation 1	Générale
9644	Appareil d'appui, poutre 4, unité de fondation 1	Générale
9645	Appareil d'appui, poutre 1, unité de fondation 2	Générale
9646	Appareil d'appui, poutre 1, unité de fondation 2	Générale
9647	Appareil d'appui, poutre 1, unité de fondation 2	Générale
9648	Platelage, poutre 2	Chevauchement incomplet
9649	Platelage, poutre 2	Chevauchement incomplet
9650	Platelage, poutre 2	Chevauchement incomplet
9651	Platelage, poutre 2	Chevauchement incomplet
9652	Appareil d'appui, poutre 4, unité de fondation 2	Générale
9653	Appareil d'appui, poutre 4, unité de fondation 2	Générale
9654	Appareil d'appui, poutre 4, unité de fondation 2	Générale
9655	Système d'accès	Générale
9656	Poutre 1, âme	Générale des plaques boulonnées
9657	Poutre 1, semelle supérieure	Générale des plaques boulonnées
9658	Poutre 1, semelle inférieure	Générale des plaques boulonnées
9659	Longeron 1	Générale
9660	Longeron 2	Générale
9661	Longeron 3	Corrosion
9662	Longeron 3	Corrosion
9663	Platelage	Chevauchement incomplet
9664	Platelage	Chevauchement incomplet
9665	Poutre 4, face Ouest, unité de fondation 2	Perte de matériaux
9666	Poutre 4, face Ouest, unité de fondation 2	Générale
9667	Longeron 4, face Est, unité de fondation 2	Perte de matériaux

N° de photo	Localisation	Description
9668	Longeron 4, face Est, unité de fondation 2	Perte de matériaux
9669	Longeron 4, face Ouest, unité de fondation 2	Perte de matériaux
9670	Longeron 4, face Ouest, unité de fondation 2	Perte de matériaux
9671	Poutre 3, face Est, unité de fondation 2	Perte de matériaux
9672	Poutre 3, face Est, unité de fondation 2	Générale
9673	Poutre 3, face Ouest, unité de fondation 2	Perte de matériaux
9674	Poutre 3, face Ouest, unité de fondation 2	Perte de matériaux
9675	Poutre 2, face Est, unité de fondation 2	Perte de matériaux
9676	Poutre 2, face Est, unité de fondation 2	Perte de matériaux
9677	Poutre 2, face Ouest, unité de fondation 2	Générale
9678	Poutre 2, face Ouest, unité de fondation 2	Générale
9679	Poutre 2, face Ouest, unité de fondation 2	Perte de matériaux
9680	Poutre 2, face Est	Perte de matériaux
9681	Poutre 3, face Ouest	Générale
9682	Poutre 3, face Est, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9683	Poutre 3, face Est, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9684	Poutre 4, face Est, unité de fondation 2	Perte de matériaux
9685	Poutre 4, face Est	Perte de matériaux
9686	Poutre 4	Perte de matériaux
9687	Poutre 4	Perte de matériaux
9688	Poutre 3, face Est, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9689	Poutre 3, face Ouest, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9690	Dessous, contreventement en x	Déformation
9691	Dessous, contreventement en x	Déformation
9692	Platelage	Chevauchement incomplet

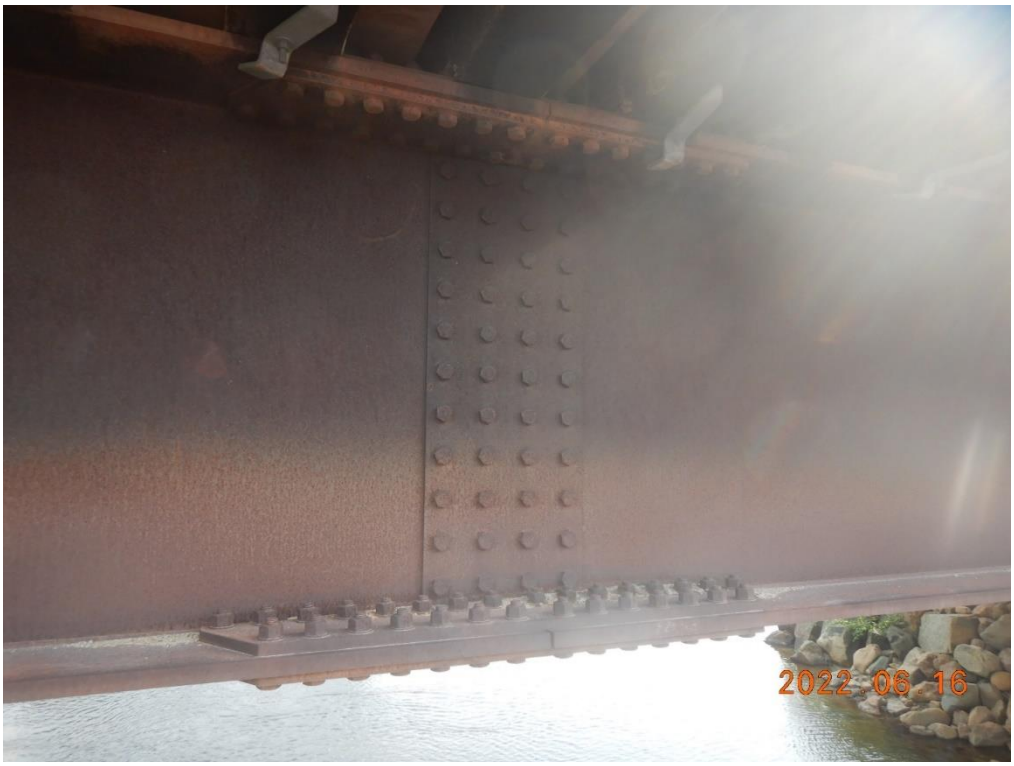
N° de photo	Localisation	Description
9693	Dessous	Générale
9694	Platelage	Chevauchement incomplet
9695	Platelage	Chevauchement incomplet
9696	Poutre 1	Déflexion des raidisseurs
9697	Poutre 1	Déflexion des raidisseurs
9698	Élévation Ouest	Générale
9699	Système d'accès	Générale
9700	Système d'accès	Générale
9701	Véhicule accompagnateur	Générale
9702	Véhicule accompagnateur	Générale
9787	Poutre 1, face Ouest, unité de fondation 1	Générale
9788	Poutre 1, face Ouest, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9789	Poutre 1, face Ouest, unité de fondation 1	Générale
9790	Poutre 1, face Est, unité de fondation 1	Générale
9791	Poutre 1, face Est, unité de fondation 1	Générale
9792	Longeron 1	Générale
9793	Longeron 2	Générale
9794	Longeron 3	Générale
9795	Poutre 2, face Ouest, unité de fondation 1	Générale
9796	Poutre 2, face Ouest, unité de fondation 1	Générale
9797	Poutre 2, face Est, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9798	Poutre 2, face Est, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9799	Poutre 2, face Est, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9800	Poutre 3, face Ouest, unité de fondation 1	Générale
9801	Poutre 3, face Ouest, unité de fondation 1	Perte de matériaux

N° de photo	Localisation	Description
9802	Poutre 3, face Ouest, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9803	Poutre 3, face Est, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9804	Poutre 3, face Est, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9805	Poutre 3, face Est, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9806	Poutre 3, face Est, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9807		
9808		
9809	Poutre 3, face Est, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9810	Longeron 4, face Ouest, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9811	Longeron 4, face Ouest, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9812	Longeron 4, face Ouest, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9813	Longeron 4, face Ouest, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9814	Longeron 4, face Ouest, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9815	Longeron 4, face Est, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9816	Longeron 4, face Est, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9817	Longeron 4, face Est, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9818	Longeron 4, face Est, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9819	Longeron 4, face Est, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9820	Poutre 4, face Ouest, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9821	Poutre 4, face Ouest, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9822	Poutre 4, face Ouest, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9823	Poutre 4, face Ouest, unité de fondation 1	Générale
9824	Poutre 4, face Est, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9825	Poutre 4, face Est, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9826	Dessous	Générale

N° de photo	Localisation	Description
9827	Poutre 1, dessous	Générale
9828	Poutre 2, dessous	Générale
9829	Poutre 3, dessous	Générale
9830	Poutre 4, dessous	Générale
9831	Unité de fondation 2	Générale
9832	Unité de fondation 2	Générale
9833	Panneau de tonnage, côté Sud	Générale, absent au côté Nord
9834	Panneaux, côté Sud	Générale

9625.

9626.



9627.

9628.

9629.

9630.

9631.

9632.

9633.

9634.

9635.

9636.

9637.

9638.

9639.

9640.

9641.

9642.

9643.

9644.

9645.

9646.

9647.

9648.

9649.

9650.

9651.

9652.

9653.

9654.

9655.

9656.

9657.

9658.

9659.

9660.

9661.

9662.

9663.

9664.

9665.

9666.

1

9667.

1

9668.

9669.

9670.

9671.

9672.

9673.

9674.

9675.

9676.

9677.

9678.

9679.

9680.

9681.

9682.

9683.

9684.

9685.

9686.

9687.

9688.

9689.

9690.

9691.

9692.

9693.

9694.

9695.

9696.

9697.

9698.

9699.

9700.

9701.

9702.

9787.

9788.

MAXIMUM
32t
54t
62t
2022.06.17

9789.

MAXIMUM
32t
54t
62t
55
2022.06.17

9790.

9791.

9792.

9793.

9794.

9795.

1

9796.

9797.

9798.

9799.

9800.

9801.

9802.

9803.

9804.

9805.

9806.

9807.

9808.

9809.

9810.

9811.

9812.

9813.

9814.

9815.

9816.

9817.

9818.

9819.

9820.

9821.

9822.

9823.

9824.

9825.

9826.

9827.

9828.

9829.

9830.

9831.

9832.

9833.

9834.

APPENDIX B – BRIDGE 9959

RELEVÉ DE DOMMAGES

Vision Eeyou Istchee

P-09959 KM : 237.6

NOM: JF, MD

DATE: 2022/06/15-16

PAR: Stantec

LOCATION

LAT. 51,531108

LONG. -75,456965

COURBE GAUCHE ☐ DROITE ☑

SPIRALE ☐ TANGENTE ☐

Unité no : 2

Largeur totale du pont (Lt) = 9470

Voie carrossable mesurée perpendiculairement = 8750

Voie carrossable mesurée le long du joint de tablier = 8750

Chevauchement des traverses sur poutre (s) = P2 Incomplet et longeron 2

9623 @ 9624

9712

90

490 Chasse-roue gauche

210 Chasse-roue droit

Sens du courant

890

4590 | 985 | 2285 | x | x | x | x

600

P1 P2 P3 P4 P P P P

Prendre cette mesure à partir de l'âme de la poutre de rive

Prendre les mesures entre les âmes des poutres

Prendre cette mesure à partir de l'âme de la poutre de rive

Somme des mesures prises au-dessous (St) = 9350

Écart (e) = abs (Lt-St) = 120 Si e > 250 mm - Reprendre les mesures

Prendre les mesures du dessous du tablier au même endroit que celles du dessus

Unité no : 1

Largeur totale du pont (Lt) = 9450

Voie carrossable mesurée perpendiculairement = 8734

Voie carrossable mesurée le long du joint de tablier = 8734

Chevauchement des traverses sur poutre (s) = P2 Incomplet et longeron 2

9768

120

9769

520 Chasse-roue gauche

200 Chasse-roue droit

Sens du courant

865

4582 | 985 | 2288 | x | x | x | x

615

P1 P2 P3 P4 P P P P

Prendre cette mesure à partir de l'âme de la poutre de rive

Prendre les mesures entre les âmes des poutres

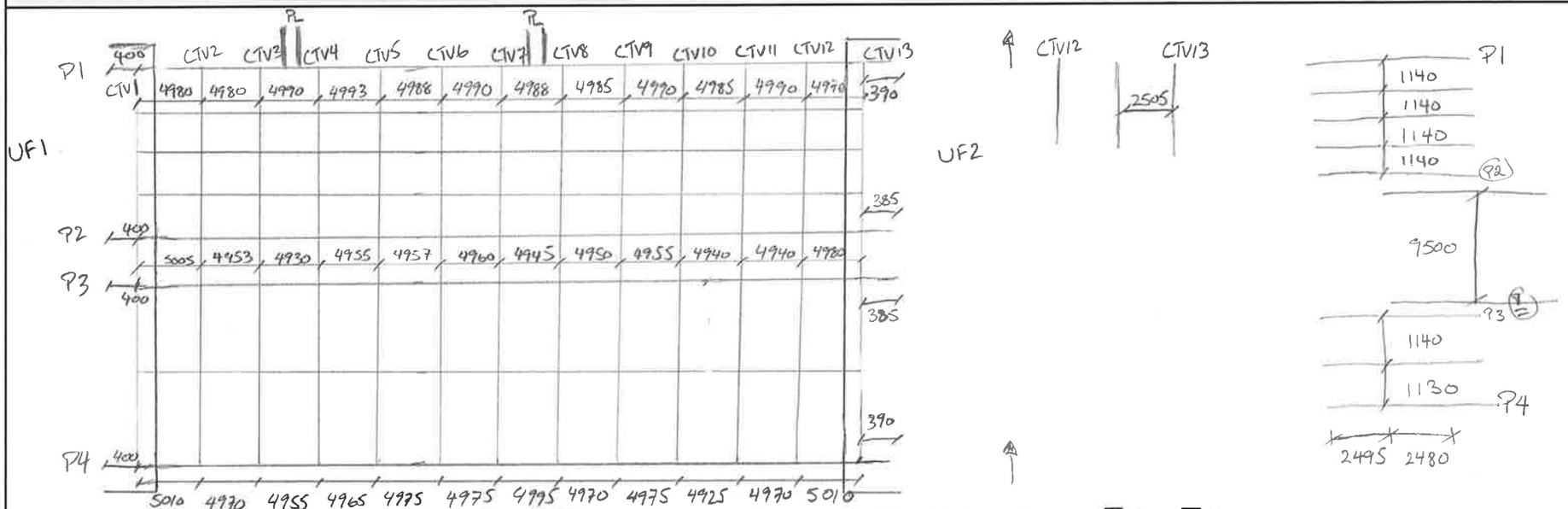
Prendre cette mesure à partir de l'âme de la poutre de rive

Somme des mesures prises au-dessous (St) = 9335

Écart (e) = abs (Lt-St) = 115 Si e > 250 mm - Reprendre les mesures

Plaque 1 et 2 ⊕ 3 et 4 PAREIL

Vue en plan du système structural (orientation générale, biais, sens du courant, etc.)

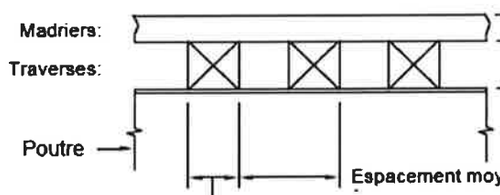


Présence d'un système de contreventements : ☒ Oui ☐ Non

Efficacité du système : ☒ Oui ☐ Non

Dimension du platelage

9707



Hauteur des madriers : 97

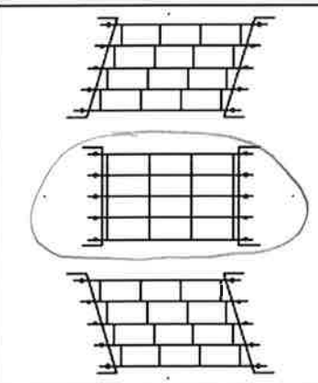
Hauteur des traverses : 200

Épaisseur efficace (%) : 95

Espacement moyen: 430

Largeur des traverses : 200

Largeur efficace (%) : 95



Indiquer les épaisseurs de pavage et de remblai si existants : Aucun

RELEVÉ DE DOMMAGES

Vision Eeyou Istchee

P-69959 KM : 837.6

NOM: JF/MD

DATE: 2022/06/15-16

PAR: Stantec

LOCATION

LAT. 51.53108

LONG. -75.4569765

COURBE ☐ GAUCHE ☐ DROITE ☒

SPIRALE ☐ TANGENTE ☐

RELEVÉ DE DOMMAGES

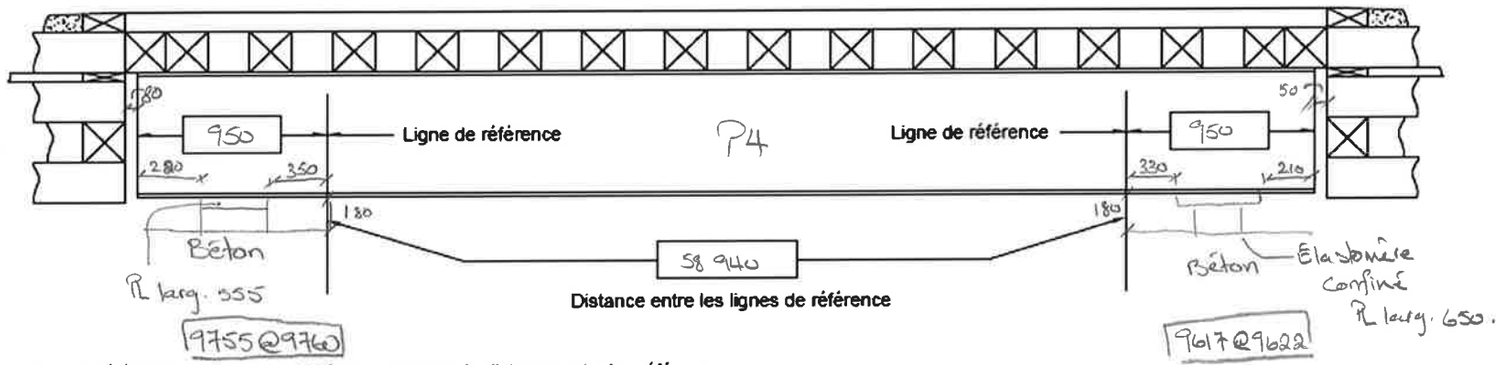
Vision Eeyou Istchee

P-09959	KM : 237,6		
NOM: JF/MD	DATE: 2022/06/15-16	PAR: Stantec	
LOCATION	LAT. 51,5311028	LONG. -75,4569165	
COURBE ☐	GAUCHE ☐	DROITE ☒	
SPIRALE ☐	TANGENTE ☐		

Côté amont

Unité no : 1

Unité no : 2

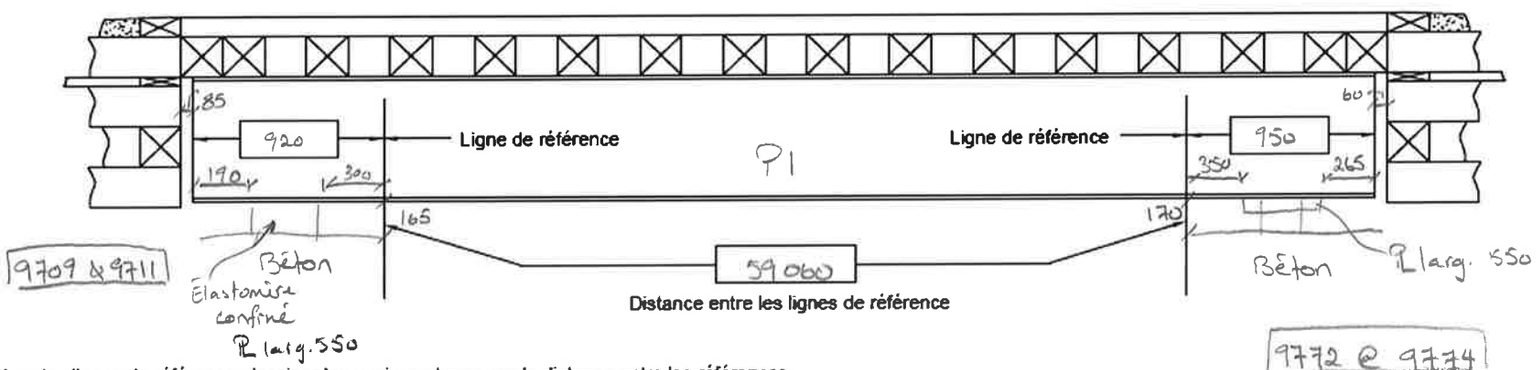


Déterminer les lignes de référence, dessiner les assises et mesurer la distance entre les références

Côté aval

Unité no : 2

Unité no : 1



Déterminer les lignes de référence, dessiner les assises et mesurer la distance entre les références

Avis sur l'état et le comportement des unités de fondation

OK

RELEVÉ DE DOMMAGES

Vision Eeyou Istchee

P-09959	KM : 237.6		
NOM: JF/MD			
DATE: 2022/06/15-16			
PAR: Stantec			

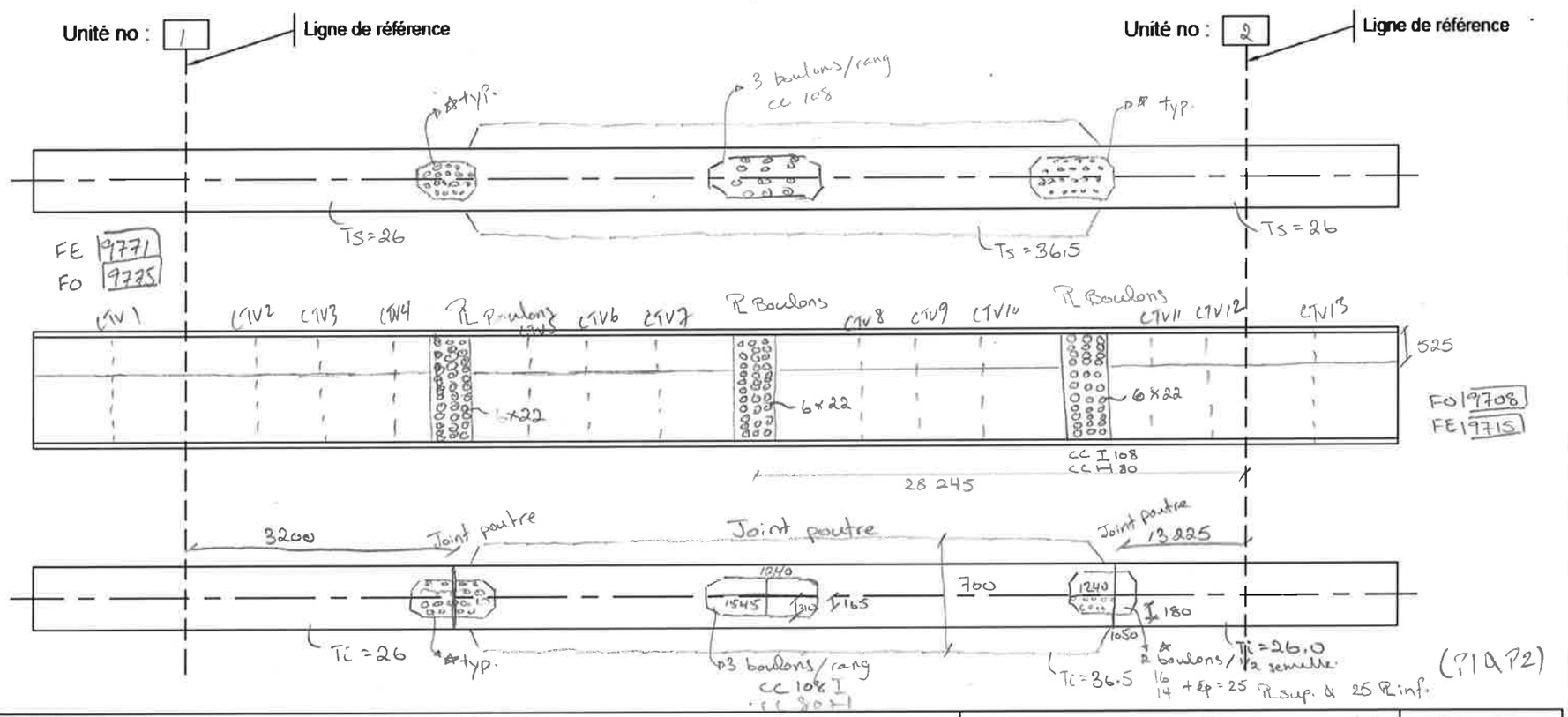
LOCATION

LAT. 51,531108

LONG. -75,456965

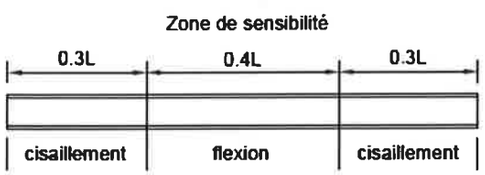
COURBE ☐ GAUCHE ☐ DROITE ☒

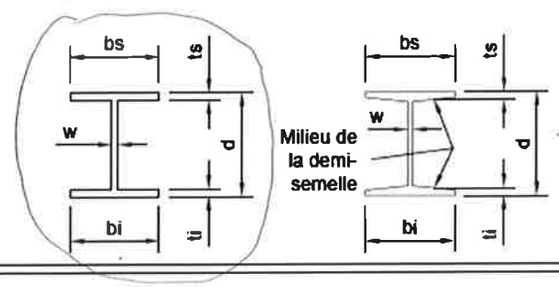
SPIRALE ☐ TANGENTE ☐



Méthode de fabrication du profilé : ☐ Laminée ☒ Soudée

Définitions





Hauteur maximale du profilé	(d)	2605
Largeur maximale de l'aile supérieure	(bs)	505
Largeur maximale de l'aile inférieure	(bi)	505
Épaisseur maximale de l'aile supérieure	(ts)	26.0
Épaisseur maximale de l'aile inférieure	(ti)	26.0
Épaisseur maximale de l'âme	(w)	17.0
91		

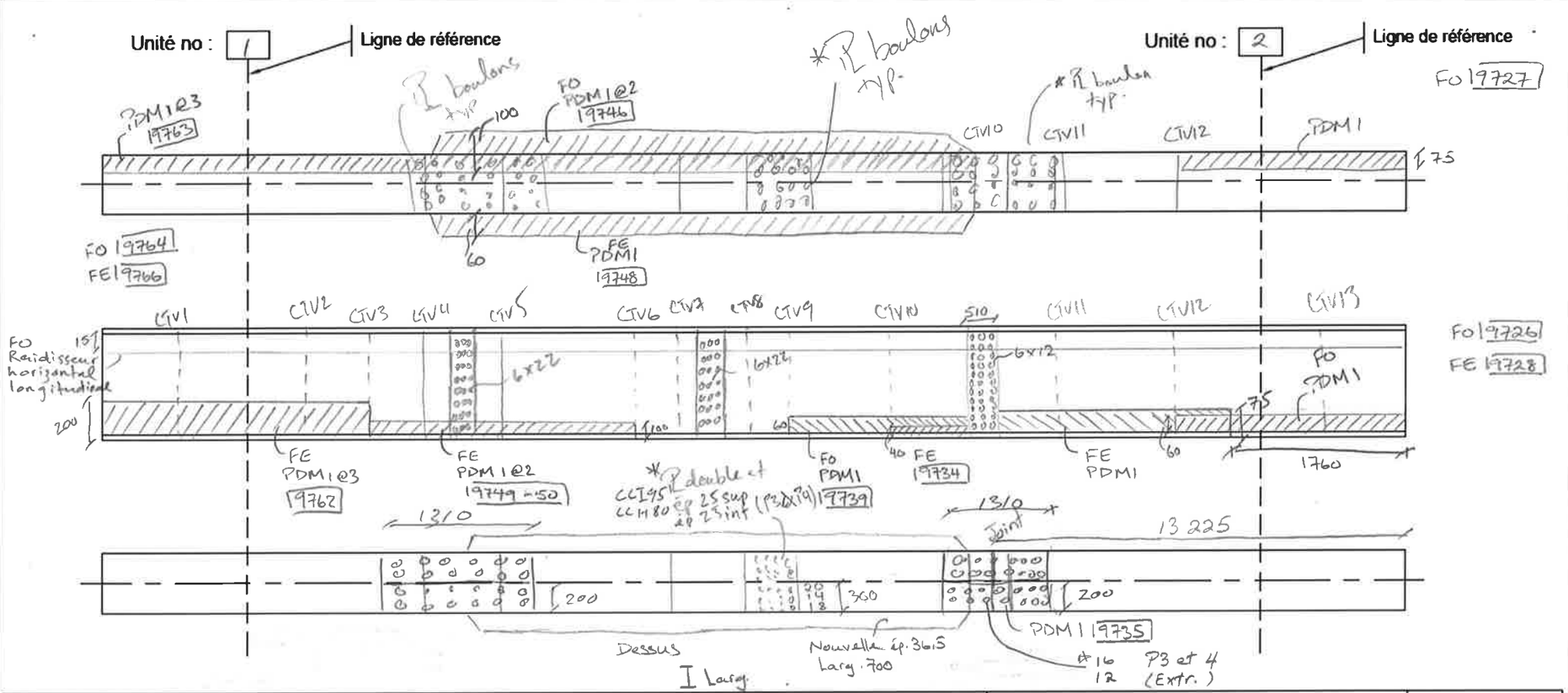
RELEVÉ DE DOMMAGES

Vision Eeyou Istchee

P- 09959	KM : 332.6	NOM: JF / MD	LOCATION
DATE: 2022/06/15-16			LAT. 51.531108
PAR: Stantec			LONG. -75.456965

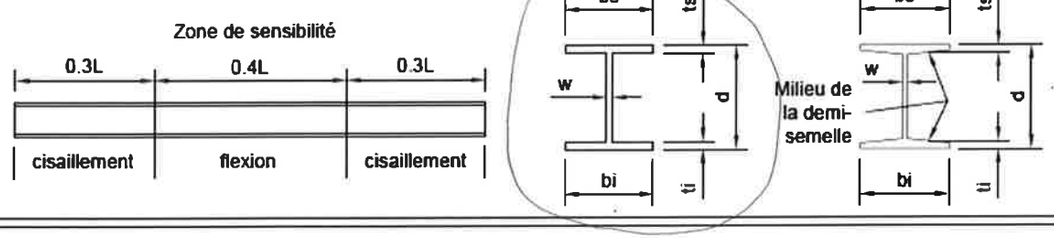
COURBE ☐ GAUCHE ☐ DROITE ☒

SPIRALE ☐ TANGENTE ☐



Méthode de fabrication du profilé : ☐ Laminée ☒ Soudée

Définitions



Hauteur maximale du profilé	(d)	2598
Largeur maximale de l'aile supérieure	(bs)	505
Largeur maximale de l'aile inférieure	(bi)	505
Épaisseur maximale de l'aile supérieure	(ts)	25.5
Épaisseur maximale de l'aile inférieure	(ti)	25.5
Épaisseur maximale de l'âme	(w)	17
P3		

RELEVÉ DE DOMMAGES

Vision Eeyou Istchee

P-09959 KM : 237,6

NOM: JF / MD

DATE: 2022/06/15-16

PAR: Stantec

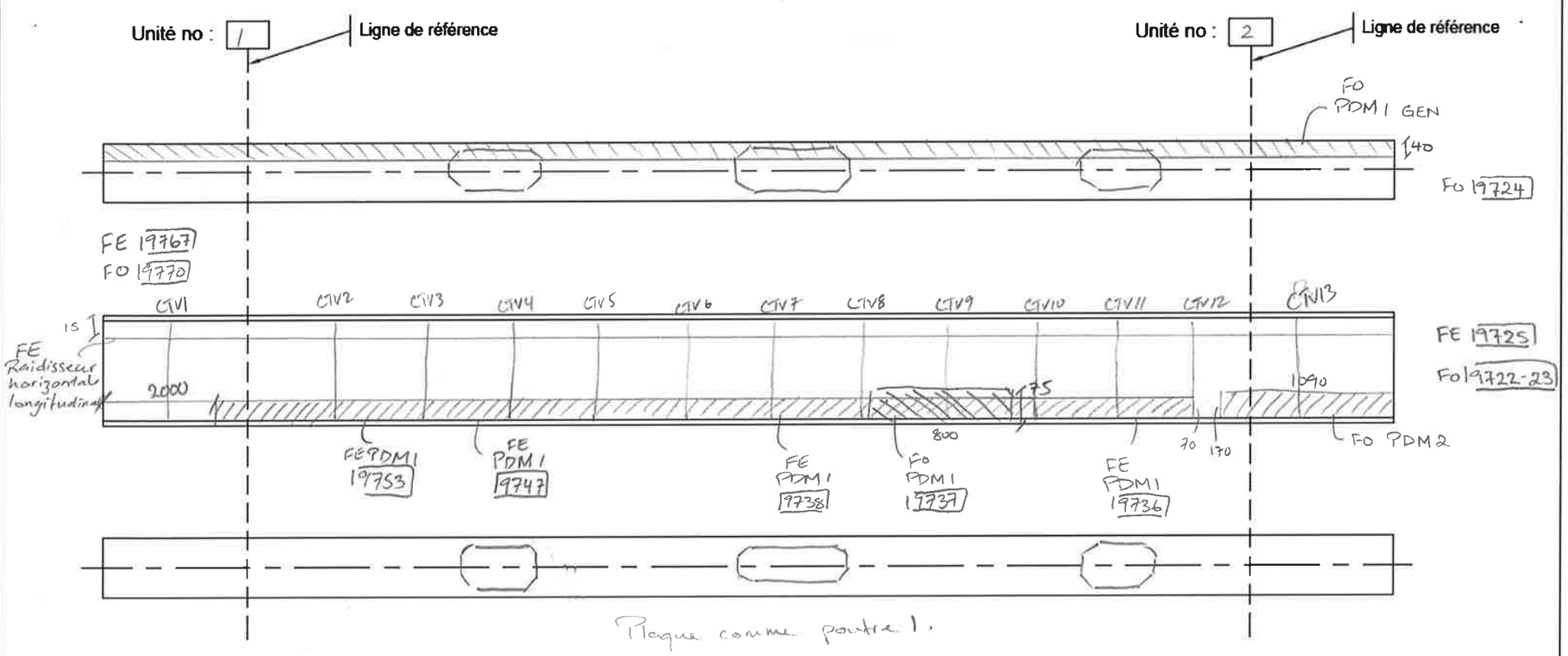
LOCATION

LAT. 51,53108

LONG. -75,45695

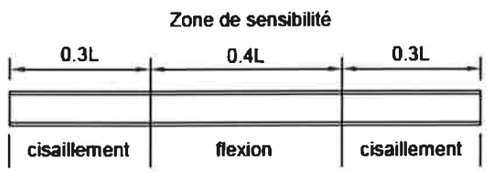
COURBE ☐ GAUCHE ☐ DROITE ☒

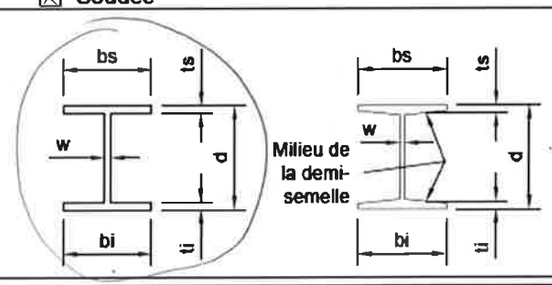
SPIRALE ☐ TANGENTE ☐



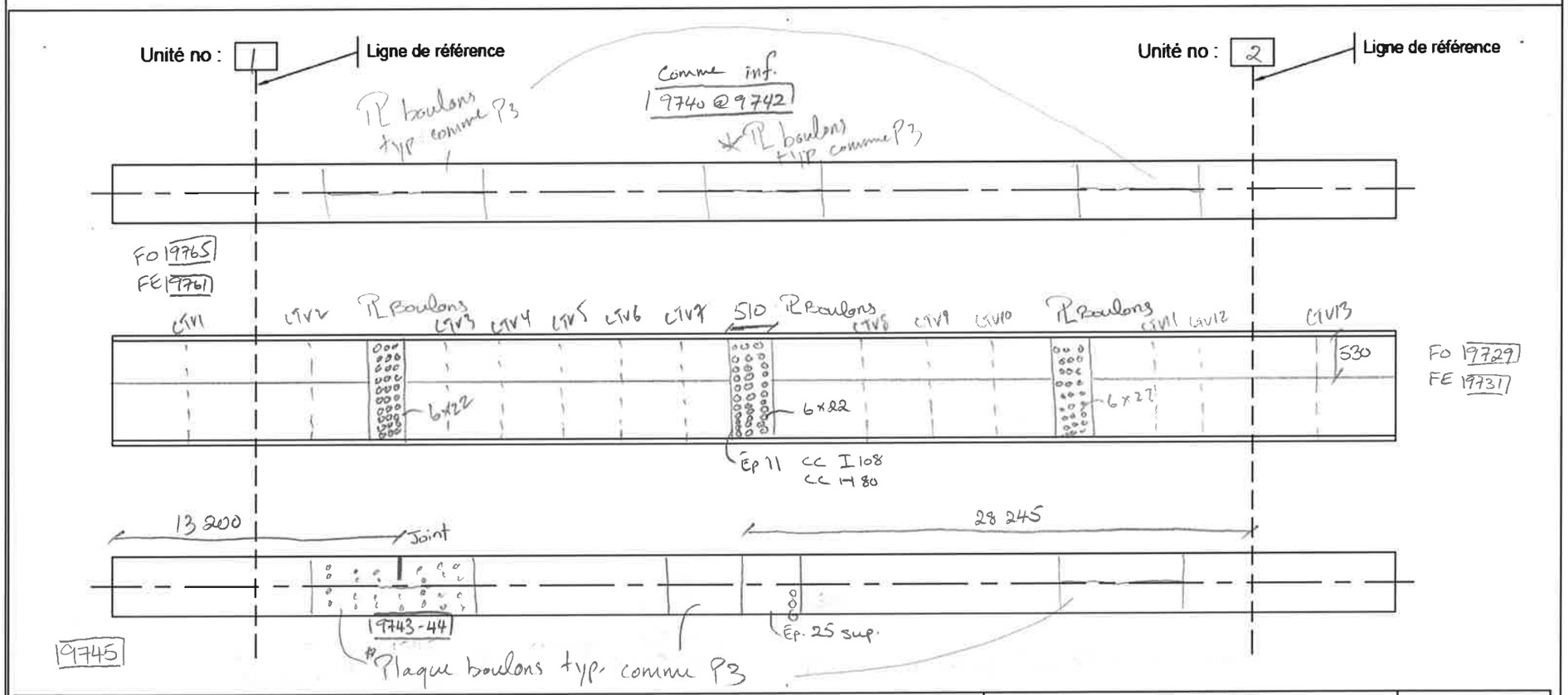
Méthode de fabrication du profilé : ☐ Laminée ☒ Soudée

Définitions



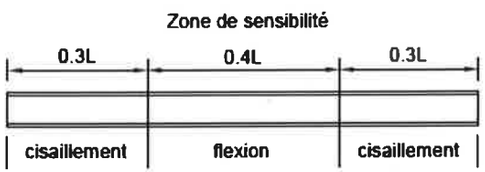


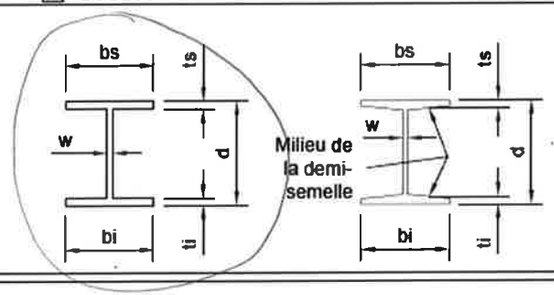
Hauteur maximale du profilé	(d)	2600
Largeur maximale de l'aile supérieure	(bs)	505
Largeur maximale de l'aile inférieure	(bi)	505
Épaisseur maximale de l'aile supérieure	(ts)	26.0
Épaisseur maximale de l'aile inférieure	(ti)	26.0
Épaisseur maximale de l'âme	(w)	17.0
P2		



Méthode de fabrication du profilé : ☐ Laminée ☒ Soudée

Définitions





Hauteur maximale du profilé	(d)	2598
Largeur maximale de l'aile supérieure	(bs)	505
Largeur maximale de l'aile inférieure	(bi)	505
Épaisseur maximale de l'aile supérieure	(ts)	25p
Épaisseur maximale de l'aile inférieure	(ti)	25,5
Épaisseur maximale de l'âme	(w)	17,0
P4		

Vision Eeyou Istchee

Stantec DESIGN SYSTEM

RELEVÉ DE DOMMAGES

P-09959 KM : 237,6

NOM: JF/MD

DATE: 2022/06/15-16

PAR: Stantec

LOCATION

LAT. 51,531108

LONG. -75,456965

COURBE ☐

GAUCHE ☐

DROITE ☒

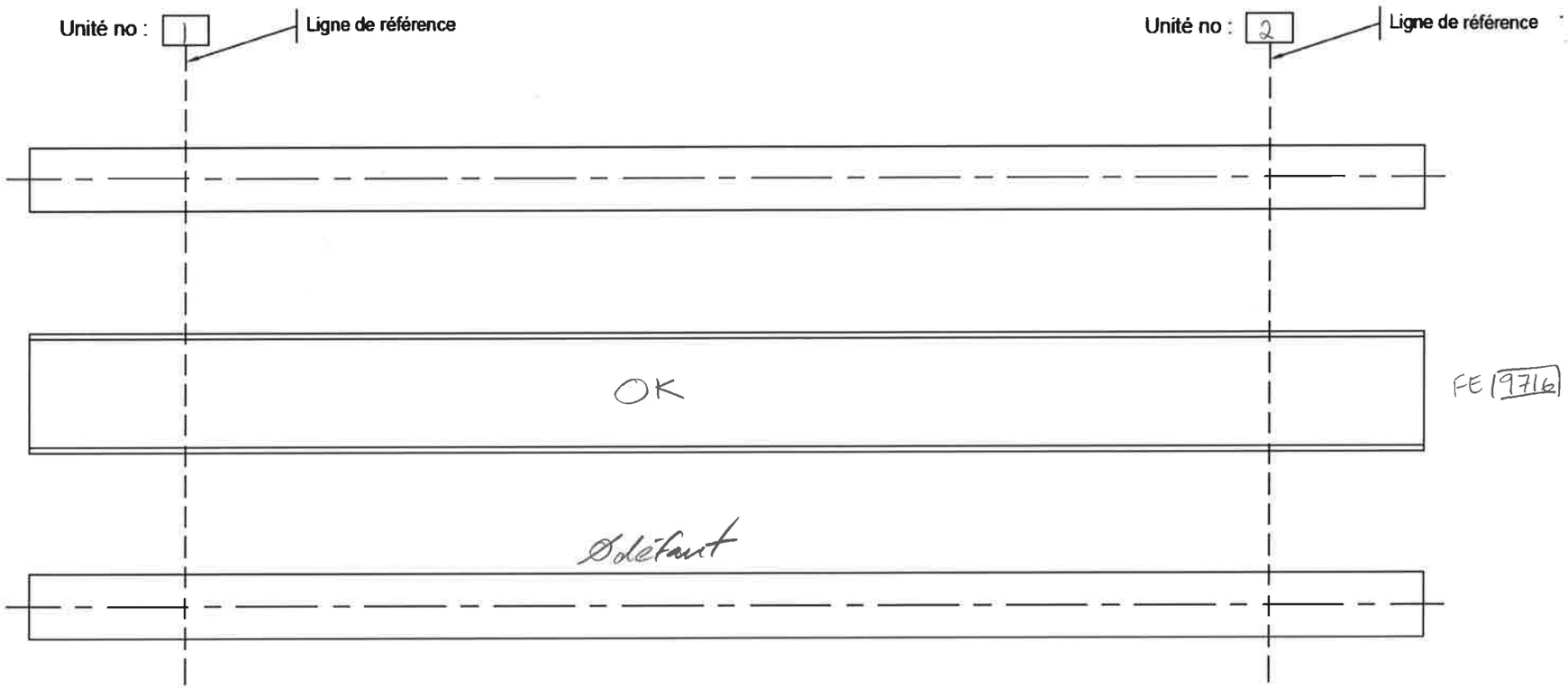
SPIRALE ☐

TANGENTE ☐

RELEVÉ DE DOMMAGES

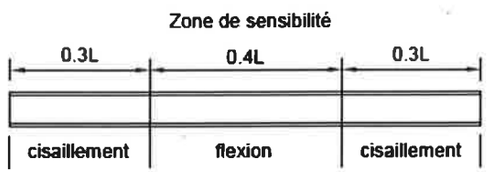
Vision Eeyou Istchee

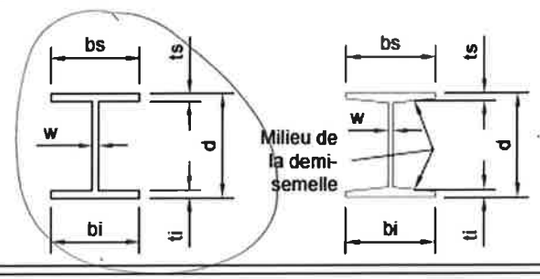
P-09959	KM : 237,6		
NOM: JF / MD			
DATE: 2022/06/15-16			
PAR: Stantec			
LOCATION			
LAT. 51,531168		COURBE ☐	SPIRALE ☐
LONG. -75,456965		GAUCHE ☐	TANGENTE ☐
		DROITE ☒	



Méthode de fabrication du profilé : ☒ Laminée ☐ Soudée

Définitions



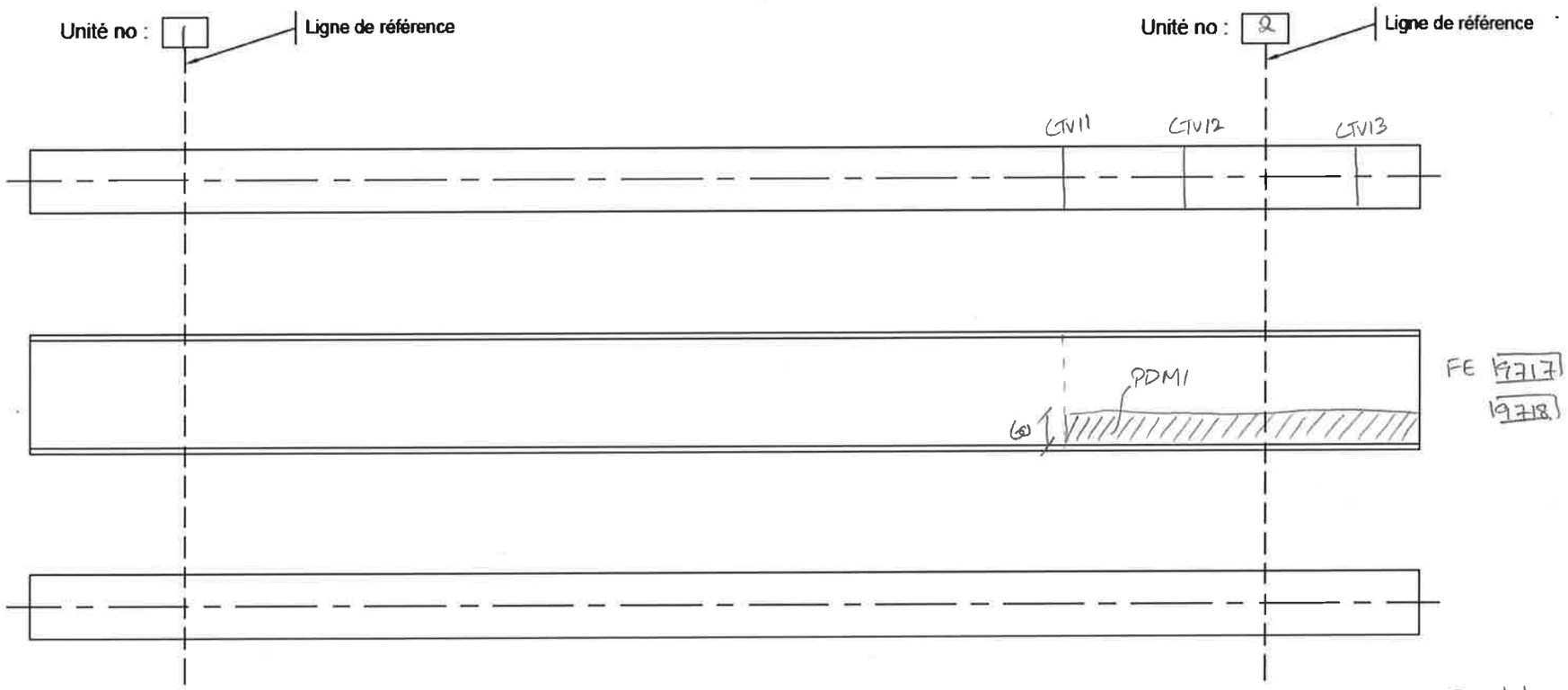


Hauteur maximale du profilé	(d)	460
Largeur maximale de l'aile supérieure	(bs)	17,28
Largeur maximale de l'aile inférieure	(bi)	17,00
Épaisseur maximale de l'aile supérieure	(ts)	19,50
Épaisseur maximale de l'aile inférieure	(ti)	19,50
Épaisseur maximale de l'âme	(w)	13,0
L1		

RELEVÉ DE DOMMAGES

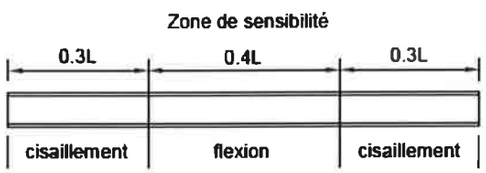
Vision Eeyou Istchee

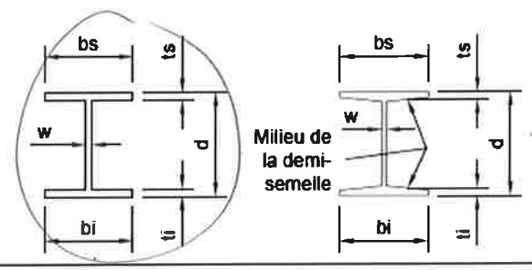
P-09959	KM : 237,6		
NOM: JF/MD			
DATE: 2022/06/15-16			
PAR: Stantec			
LOCATION	LAT. 51,5311108	LONG. -75,4567165	
COURBE ☐	GAUCHE ☐	DROITE ☒	
SPIRALE ☐	TANGENTE ☐		



Méthode de fabrication du profilé : ☒ Laminée ☐ Soudée

Définitions

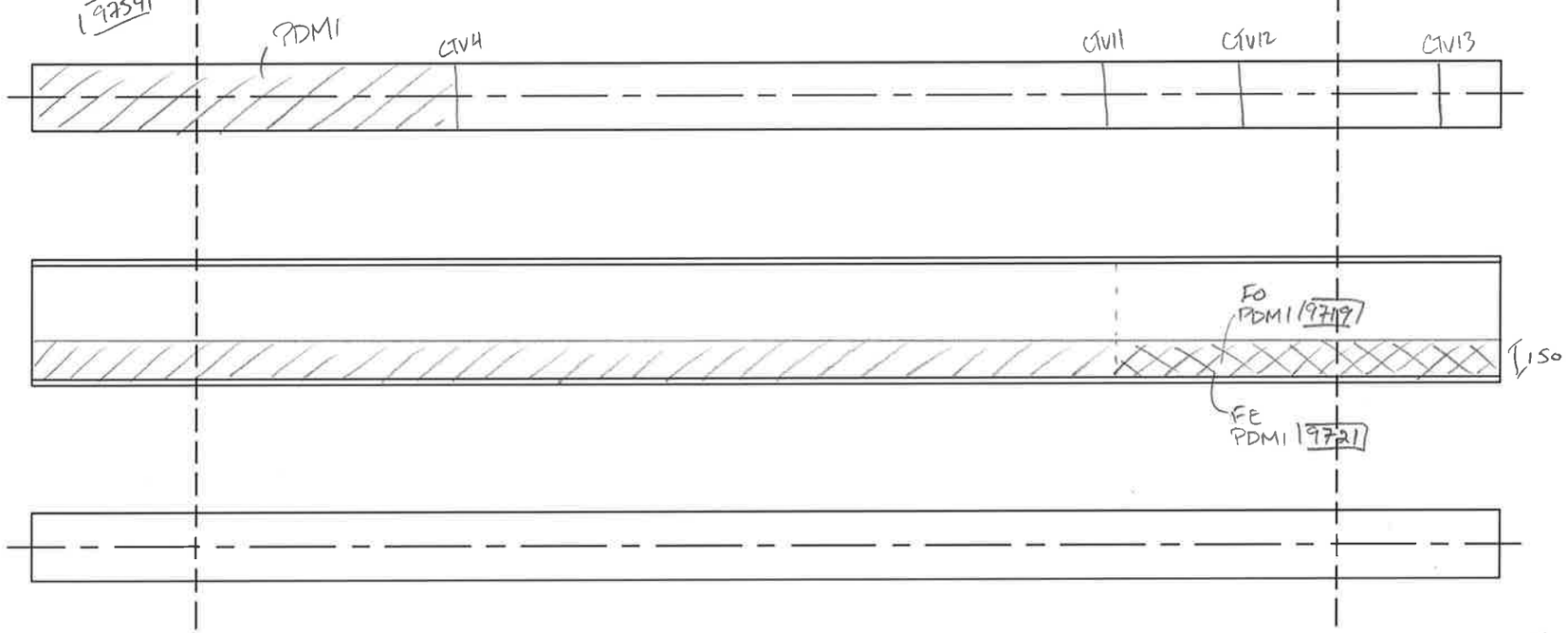




Hauteur maximale du profilé	(d)	460
Largeur maximale de l'aile supérieure	(bs)	17,28
Largeur maximale de l'aile inférieure	(bi)	17,00
Épaisseur maximale de l'aile supérieure	(ts)	19,50
Épaisseur maximale de l'aile inférieure	(ti)	19,50
Épaisseur maximale de l'âme	(w)	13,0
L2		

Unité no : 1 — Ligne de référence

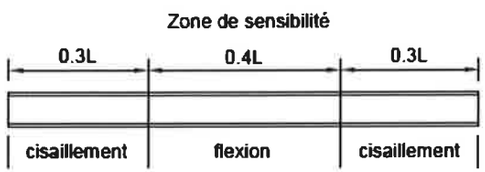
Unité no : 2 — Ligne de référence

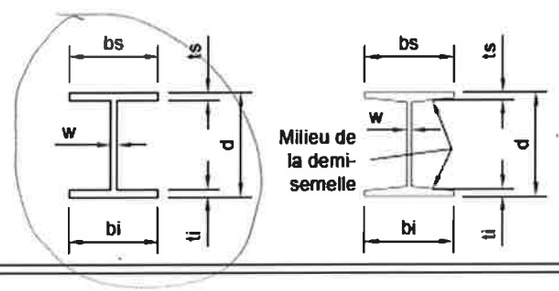


Typ - L1

Méthode de fabrication du profilé : ☒ Laminée ☐ Soudée

Définitions





Hauteur maximale du profilé	(d)	460
Largeur maximale de l'aile supérieure	(bs)	17,28
Largeur maximale de l'aile inférieure	(bi)	17,00
Épaisseur maximale de l'aile supérieure	(ts)	19,50
Épaisseur maximale de l'aile inférieure	(ti)	19,50
Épaisseur maximale de l'âme	(w)	13,0
L3		

Vision Eeyou Istchee

Stantec DESKOR SYSTEM

RELEVÉ DE DOMMAGES

P-09959 KM : 237,6

NOM: JF/MD

DATE: 2022/06/15-16

PAR: Stantec

LOCATION

LAT. 51,531108

LONG. -75,456965

COURBE ☐

GAUCHE ☐

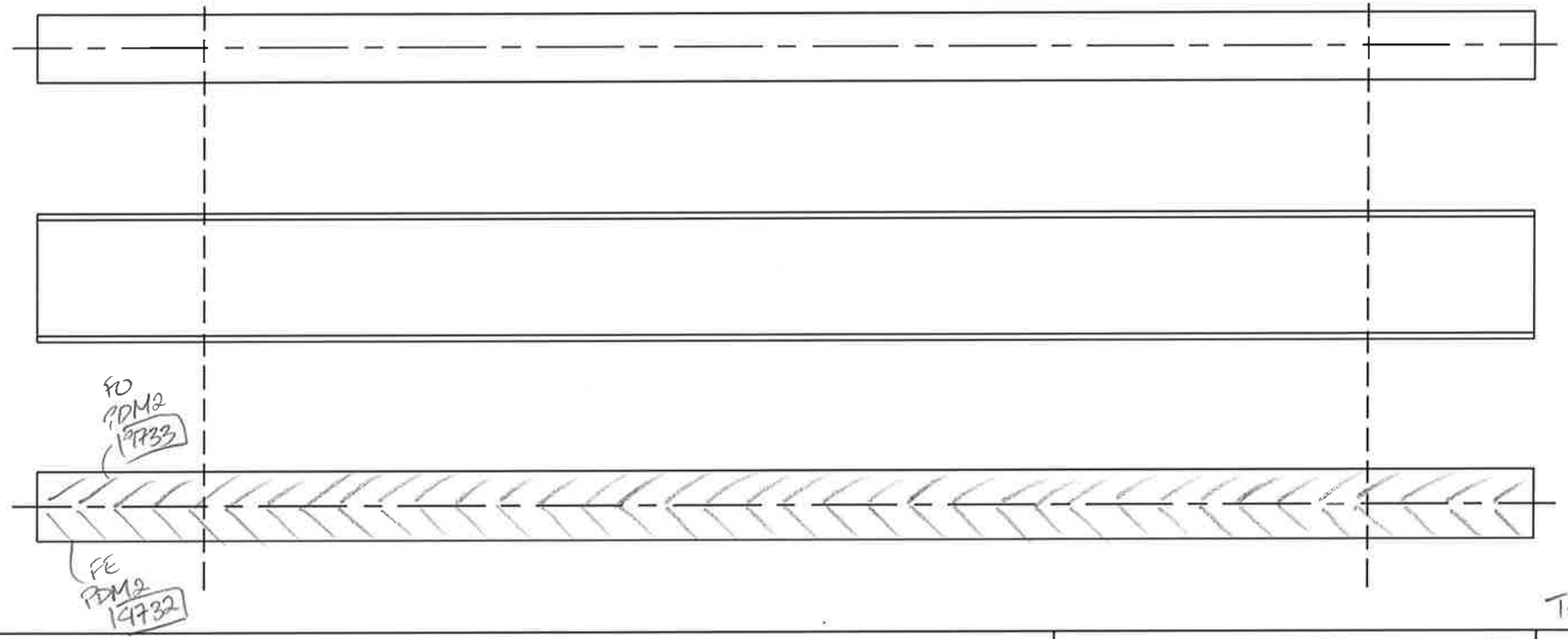
DROITE ☒

SPIRALE ☐

TANGENTE ☐

Unité no : 1 — Ligne de référence

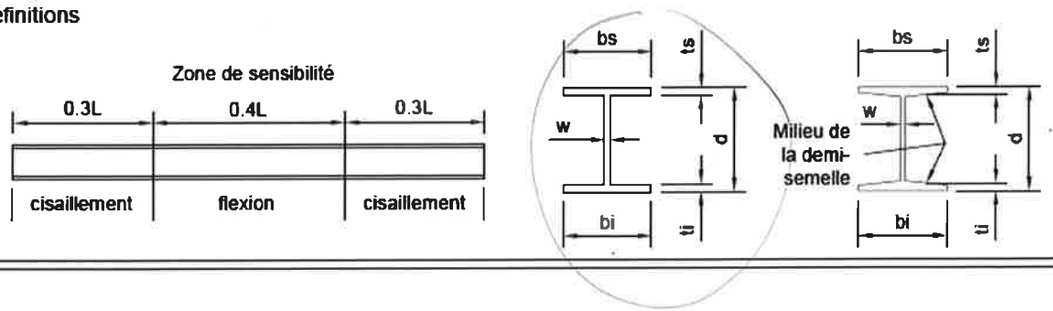
Unité no : 2 — Ligne de référence



Typ. L1

Méthode de fabrication du profilé : ☒ Laminée ☐ Soudée

Définitions



Hauteur maximale du profilé	(d)	460
Largeur maximale de l'aile supérieure	(bs)	17,28
Largeur maximale de l'aile inférieure	(bi)	17,00
Épaisseur maximale de l'aile supérieure	(ts)	19,50
Épaisseur maximale de l'aile inférieure	(ti)	19,50
Épaisseur maximale de l'âme	(w)	13,0
L4		

Vision Eeyou Istchee

Stantec DESIGN SYSTEM

RELEVÉ DE DOMMAGES

P-09959 KM : 237,6

NOM: JF/MD

DATE: 2022/06/15-16

PAR: Stantec

LOCATION

LAT. 51,53,108

LONG. -75,456965

COURBE ☐

GAUCHE ☐

DROITE ☒

SPIRALE ☐

TANGENTE ☐

Stantec

Description des photos

Relevé de dommages de 3 ponts – La Grande Alliance route du Nord

N/D : 158100425

Date d'inspection : 2022-06-15/16 (aaaa/mm/jj)

Structure : P-09959

Nom des inspecteurs : Jonathan Fournier

Mathieu Doyer

N° de photo	Localisation	Description
9602	Approche	Générale
9603	Approche Nord	Générale
9604	Glissière Nord-Ouest	Perte de matériaux
9605	Glissière Nord-Ouest	Perte de matériaux
9606	Surface de roulement Sud	Planche de bois en saillie
9607	Surface de roulement Sud	Planche de bois en saillie
9608	Approche Sud	Générale
9609	Approche Sud	Élargissement
9610	Approche Sud	Élargissement
9611	Surface de roulement	Madrier accidenté et pourriture jusqu'à très important
9612	Joint Nord, poutre 1	Déchiré
9613	Approche Nord	Élargissement
9614	Approche Nord	Élargissement
9615	Dessous	Générale
9616	Élévation Est	Générale
9617	Assise	Générale
9618	Assise	Générale
9619	Appareil d'appui, poutre 4, unité de fondation 2	Générale

N° de photo	Localisation	Description
9620	Appareil d'appui, poutre 4, unité de fondation 2	Générale
9621	Appareil d'appui, poutre 4, unité de fondation 2	Générale
9622	Appareil d'appui, poutre 4, unité de fondation 2	Générale
9623	Platelage	Chevauchement incomplet
9624	Platelage	Chevauchement incomplet
9703	Système d'accès	Générale
9704	Système d'accès	Générale
9705	Élévation Ouest	Générale
9706	Unité de fondation 2	Générale
9707	Platelage	Générale
9708	Poutre 1, face Oust, unité de fondation 2	Générale
9709	Appareil d'appui, poutre 1, unité de fondation 2	Générale
9710	Appareil d'appui, poutre 1, unité de fondation 2	Générale
9711	Appareil d'appui, poutre 1, unité de fondation 2	Générale
9712	Platelage	Chevauchement incomplet
9713	Extrémité Nord	Générale
9714	Extrémité Nord	Générale
9715	Poutre 1, face Est, unité de fondation 2	Générale
9716	Longeron 1, face Est, unité de fondation 2	Générale
9717	Longeron 2, face Est, unité de fondation 2	Générale
9718	Longeron 2, face Est, unité de fondation 2	Perte de matériaux
9719	Longeron 3, face Ouest, unité de fondation 2	Perte de matériaux
9720	Poutre 2, face Ouest, unité de fondation 2	Perte de matériaux
9721	Longeron 3, face Est, unité de fondation 2	Perte de matériaux
9722	Poutre 2, face Ouest, unité de fondation 2	Perte de matériaux

N° de photo	Localisation	Description
9723	Poutre 2, face Ouest, unité de fondation 2	Générale
9724	Poutre 2, face Ouest, unité de fondation 2	Perte de matériaux
9725	Poutre 2, face Est, unité de fondation 2	Perte de matériaux
9726	Poutre 3, face Ouest, unité de fondation 2	Perte de matériaux
9727	Poutre 3, face Ouest, unité de fondation 2	Perte de matériaux
9728	Poutre 3, face Est, unité de fondation 2	Perte de matériaux
9729	Poutre 4, face Ouest, unité de fondation 1	Générale
9730	Élévation Est	Générale
9731	Poutre 4, face Est, unité de fondation 1	Générale
9732	Longeron 4, face Est, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9733	Longeron 4, face Ouest, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9734	Poutre 3, face Est, unité de fondation 2	Perte de matériaux
9735	Poutre 3, unité de fondation 2	Perte de matériaux
9736	Poutre 2, face Est, unité de fondation 2	Perte de matériaux
9737	Poutre 2, face Ouest, unité de fondation 2	Perte de matériaux
9738	Poutre 2, face Est, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9739	Poutre 3, face Ouest, unité de fondation 2	Perte de matériaux
9740	Poutre 4, semelle supérieure	Générale de la plaque boulonnée
9741	Poutre 4, semelle supérieure	Générale de la plaque boulonnée
9742	Poutre 4, semelle supérieure	Générale de la plaque boulonnée
9743	Poutre 4, semelle inférieure	Générale de la plaque boulonnée
9744	Poutre 4, semelle inférieure	Générale de la plaque boulonnée
9745	Poutre 4, semelle inférieure	Générale de la plaque boulonnée
9746	Poutre 3, face Ouest, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9747	Poutre 2, face Est, unité de fondation 1	Perte de matériaux

N° de photo	Localisation	Description
9748	Poutre 3, face Est, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9749	Poutre 3, face Est, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9750	Poutre 3, face Est, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9751	Dessous	Générale
9752	Unité de fondation 1	Générale
9753	Poutre 2, face Est, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9754	Longeron 3, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9755	Appareil d'appui, poutre 4, unité de fondation 1	Générale
9756	Appareil d'appui, poutre 4, unité de fondation 1	Générale
9757	Appareil d'appui, poutre 4, unité de fondation 1	Générale
9758	Assise	Générale
9759	Assise	Générale
9760	Appareil d'appui, poutre 4, unité de fondation 1	Générale
9761	Poutre 4, face Est, unité de fondation 1	Générale
9762	Poutre 3, face Est, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9763	Poutre 3, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9764	Poutre 3, face Ouest, unité de fondation 1	Générale
9765	Poutre 4, face Ouest, unité de fondation 1	Générale
9766	Poutre 3, face Est, unité de fondation 1	Générale
9767	Poutre 2, face Est, unité de fondation 1	Perte de matériaux
9768	Platelage	Chevauchement incomplet
9769	Platelage	Chevauchement incomplet
9770	Poutre 2, face Ouest, unité de fondation 1	Générale
9771	Poutre 1, face Est, unité de fondation 1	Générale
9772	Appareil d'appui, poutre 1, unité de fondation 1	Éclatement du béton

N° de photo	Localisation	Description
9773	Appareil d'appui, poutre 1, unité de fondation 1	Générale
9774	Appareil d'appui, poutre 1, unité de fondation 1	Générale
9775	Poutre 1, face Ouest, unité de fondation 1	Générale
9776	Poutre 1, face Ouest	Générale
9777	Poutre 1, face Ouest	Générale
9779	Élévation	Générale
9780	Système d'accès	Générale
9835	Approche	Panneau de tonnages

9602.

9603.

9604.

9605.

9606.

9607.

9608.

9609.

9610.

9611.

9612.

9613.

9614.

9615.

9616.

9617.

9618.

9619.

9620.

9621.

9622.

9623.

9624.

9703.

9704.

9705.

9706.

9707.

9708.

9709.

9710.

9711.

9712.

9713.

9714.

9715.

9716.

9717.

9718.

9719.

9720.

9721.

9722.

9723.

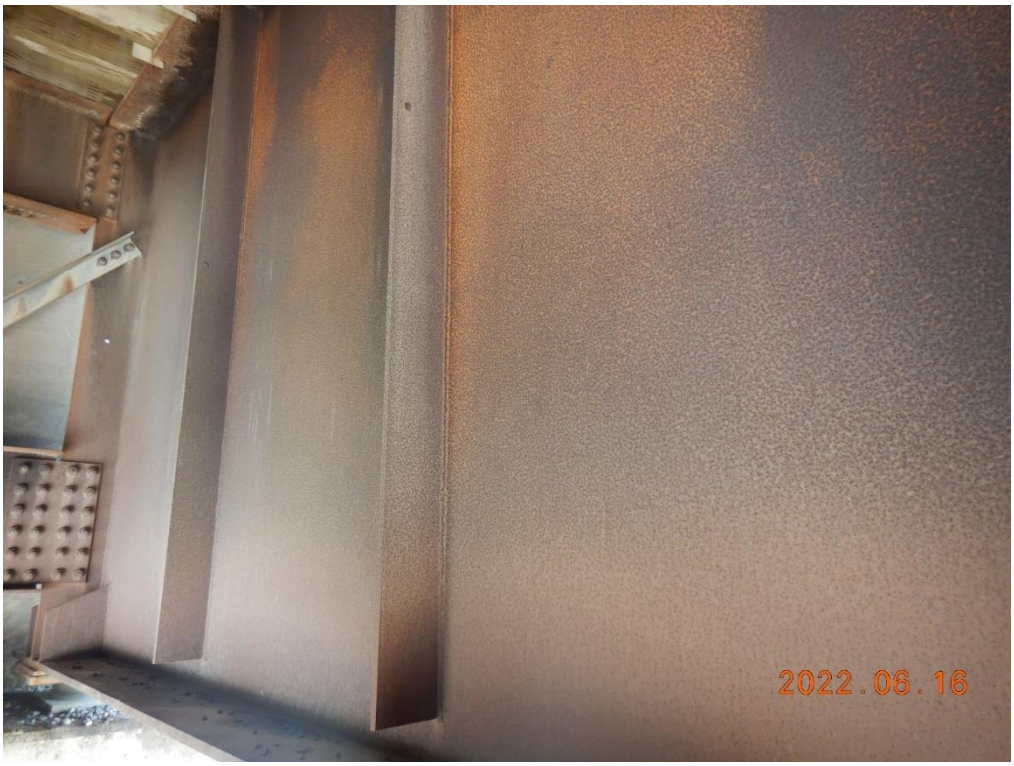
9724.

9725.

9726.

9727.

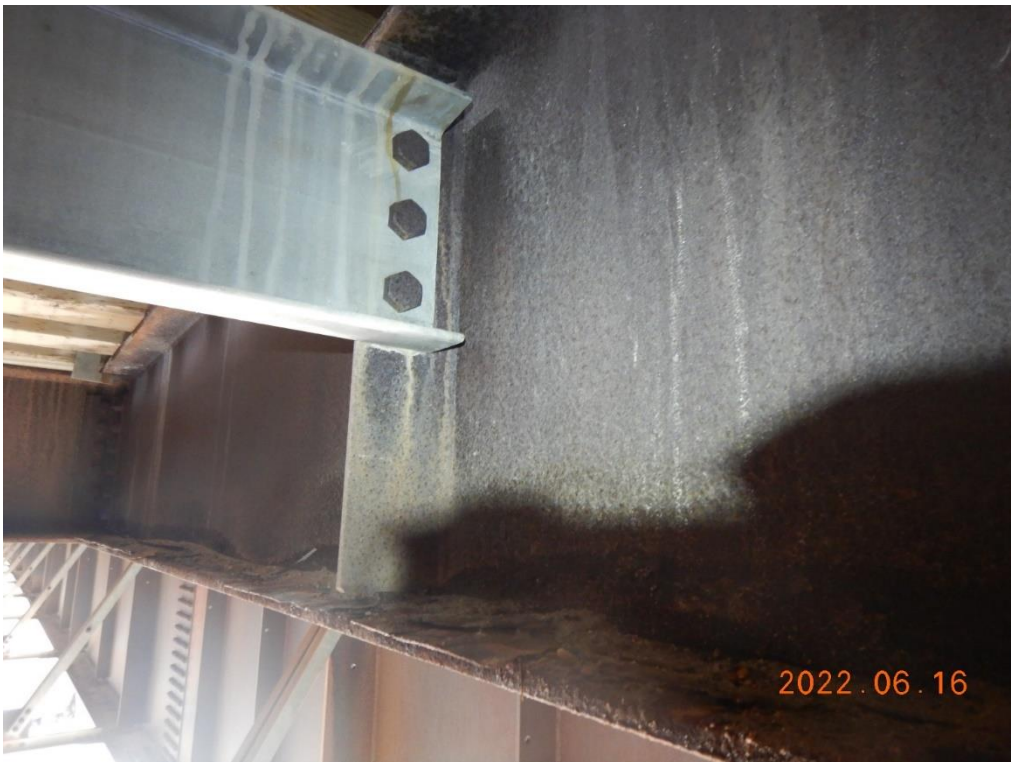
9728.



9729.

9730.

9731.



9732.

9733.

9734.

9735.

9736.

9737.

9738.

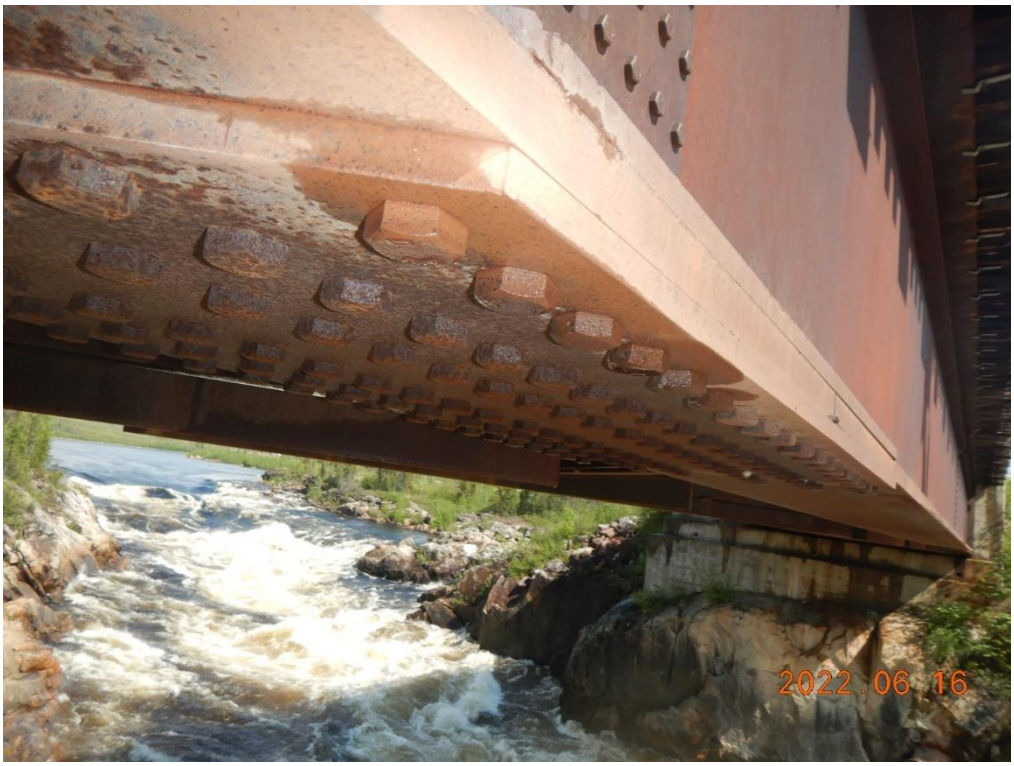
9739.

9740.

9741.

9742.

9743.



9744.

9745.

9746.

9747.

9748.

9749.

9750.

9751.

9752.

9753.

9754.

9755.

9756.

9757.

9758.

9759.

9760.

9761.

9762.

9763.

9764.

9765.

9766.

9767.

9768.

9769.

9770.

9771.

9772.

9773.

9774.

9775.

9776.

9777.

9779.

9780.

9835.

APPENDIX C – BRIDGE 10232

Unité no : 1

Largeur totale du pont (Lt) = 7840

Voie carrossable mesurée perpendiculairement = 7440

Voie carrossable mesurée le long du joint de tablier = 7440

Chevauchement des traverses sur poutre (s) = X

Sens du courant

Chasse-roue gauche: 200

Chasse-roue droit: 200

Chasse-roue complet: 425

Chasse-roue complet: 425

1040 | 3030 | 3030 | X | X | X | X | X | 1150

P1 P2 P3 P P P P P

Prendre cette mesure à partir de l'âme de la poutre de rive

Prendre les mesures entre les âmes des poutres

Prendre cette mesure à partir de l'âme de la poutre de rive

Somme des mesures prises au-dessous (St) = 8250

Écart (e) = abs (Lt-St) = 40 **Si e > 250 mm - Reprendre les mesures**

Prendre les mesures du dessous du tablier au même endroit que celles du dessus

Unité no : 2

Largeur totale du pont (Lt) = 7875

Voie carrossable mesurée perpendiculairement = 7465

Voie carrossable mesurée le long du joint de tablier = 7465

Chevauchement des traverses sur poutre (s) = X

Sens du courant

Chasse-roue gauche: 200

Chasse-roue droit: 200

Chasse-roue complet: 425

Chasse-roue complet: 425

1045 | 3035 | 3040 | X | X | X | X | X | 1035

P1 P2 P3 P P P P P

Prendre cette mesure à partir de l'âme de la poutre de rive

Prendre les mesures entre les âmes des poutres

Prendre cette mesure à partir de l'âme de la poutre de rive

Somme des mesures prises au-dessous (St) = 8155

Écart (e) = abs (Lt-St) = 170 **Si e > 250 mm - Reprendre les mesures**

Vision Eeyou Istchee

Stantec DESIGN SYSTEM

RELEVÉ DE DOMMAGES

P-10232 KM : 19

NOM: JF/MD

DATE: 2022/06/14

PAR: Stantec

LOCATION

LAT. 50,137899

LONG. -74,291856

COURBE ☐

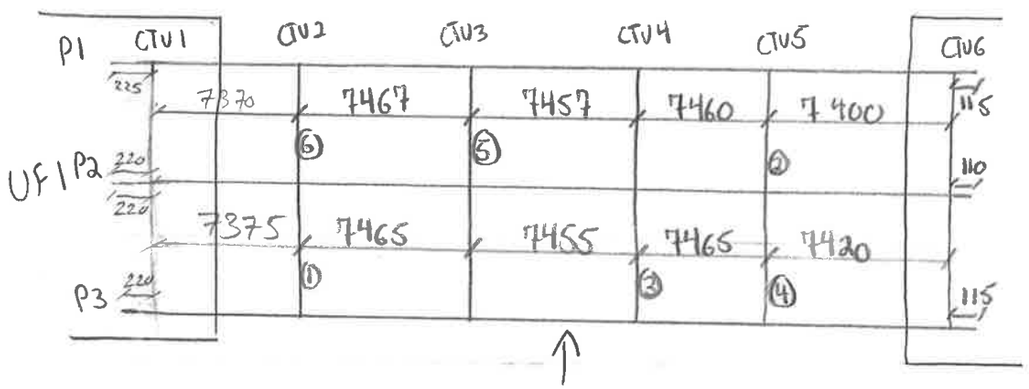
GAUCHE ☐

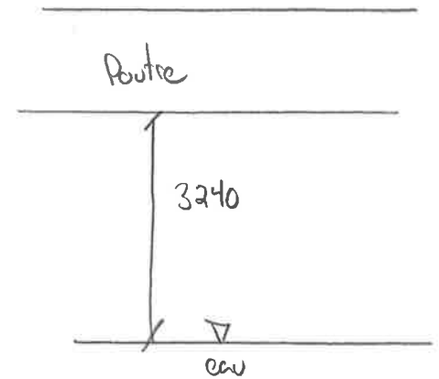
DROITE ☒

SPIRALE ☐

TANGENTE ☐

Vue en plan du système structural (orientation générale, biais, sens du courant, etc.)



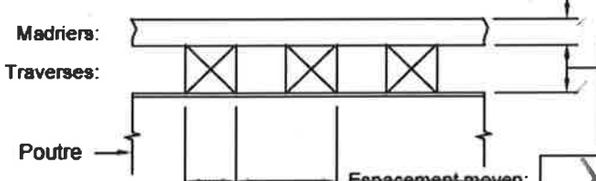


Présence d'un système de contreventements : ☒ Oui ☐ Non

Efficacité du système : ☒ Oui ☐ Non

Dimension du platelage

Hauteur côté extérieur: 555



Hauteur ~~des madriers~~ du chasse-roue : 240

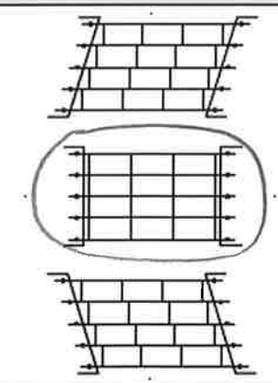
Hauteur ~~des traverses~~ de la dalle : 315

~~Épaisseur efficace (%)~~ : X

~~Espacement moyen~~: X

~~Largeur des traverses~~ : X

~~Largeur efficace (%)~~ : X



Indiquer les épaisseurs de pavage et de remblai si existants : Aucun

①②⑥ Voir dernière page

Vision Eeyou Istchee

Stantec DISFOR SYSTEM

RELEVÉ DE DOMMAGES

P-10232 KM : 19

NOM: JF/MD

DATE: 2022/06/14

PAR: Stantec

LOCATION

LAT. 50.137899

LONG. -74.291856

COURBE ☐

GAUCHE ☐

DROITE ☒

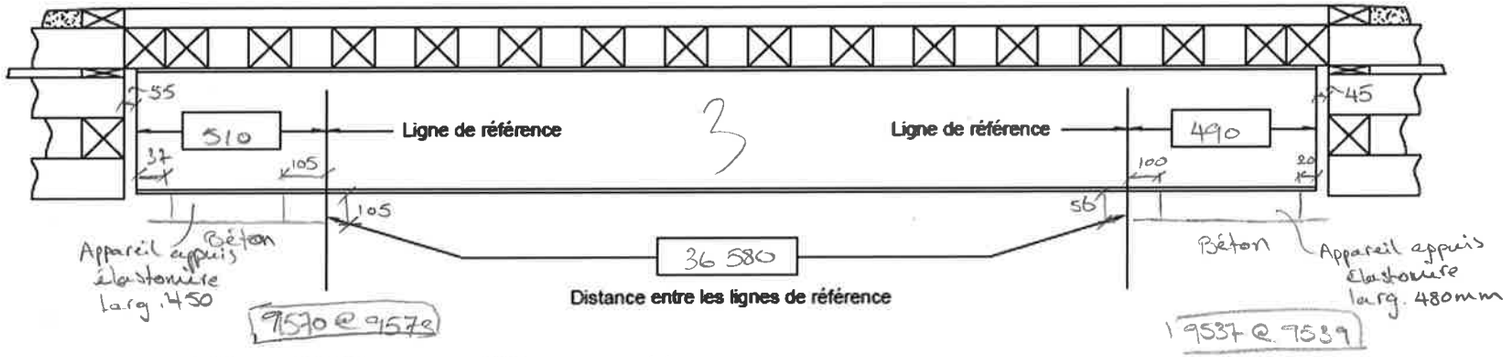
SPIRALE ☐

TANGENTE ☐

Côté amont

Unité no : 1

Unité no : 2

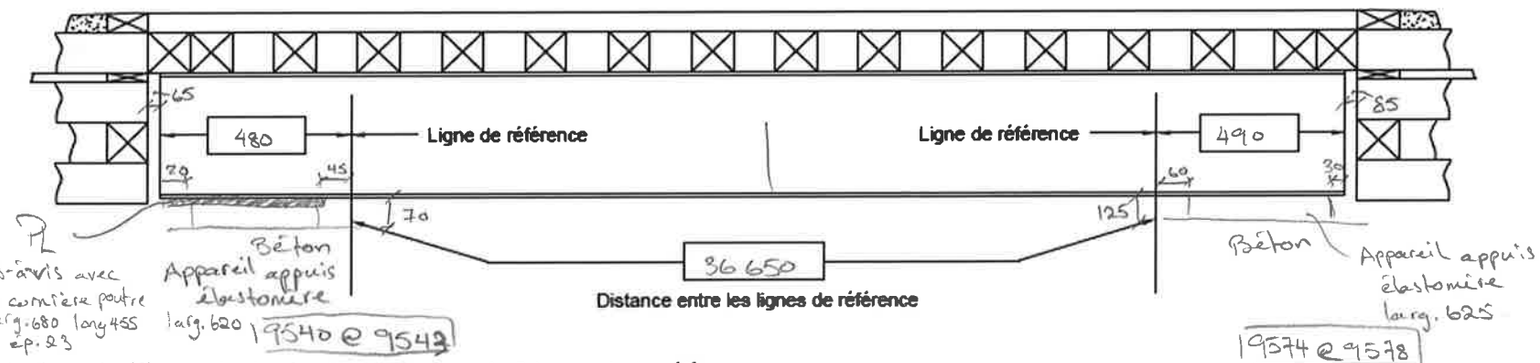


Déterminer les lignes de référence, dessiner les assises et mesurer la distance entre les références

Côté aval

Unité no : 2

Unité no : 1



Déterminer les lignes de référence, dessiner les assises et mesurer la distance entre les références

Avis sur l'état et le comportement des unités de fondation

OK, appareils d'appuis Nord 1 fixe et 2 mobiles (absence d'ancrage)

Vision Eeyou Istchee

Stantec DESSOR SYSTRA

RELEVÉ DE DOMMAGES

P-10232 KM : 19

NOM: JF / MD

DATE: 2022/06/14

PAR: Stantec

LOCATION

LAT. 50.137899

LONG. -74.291856

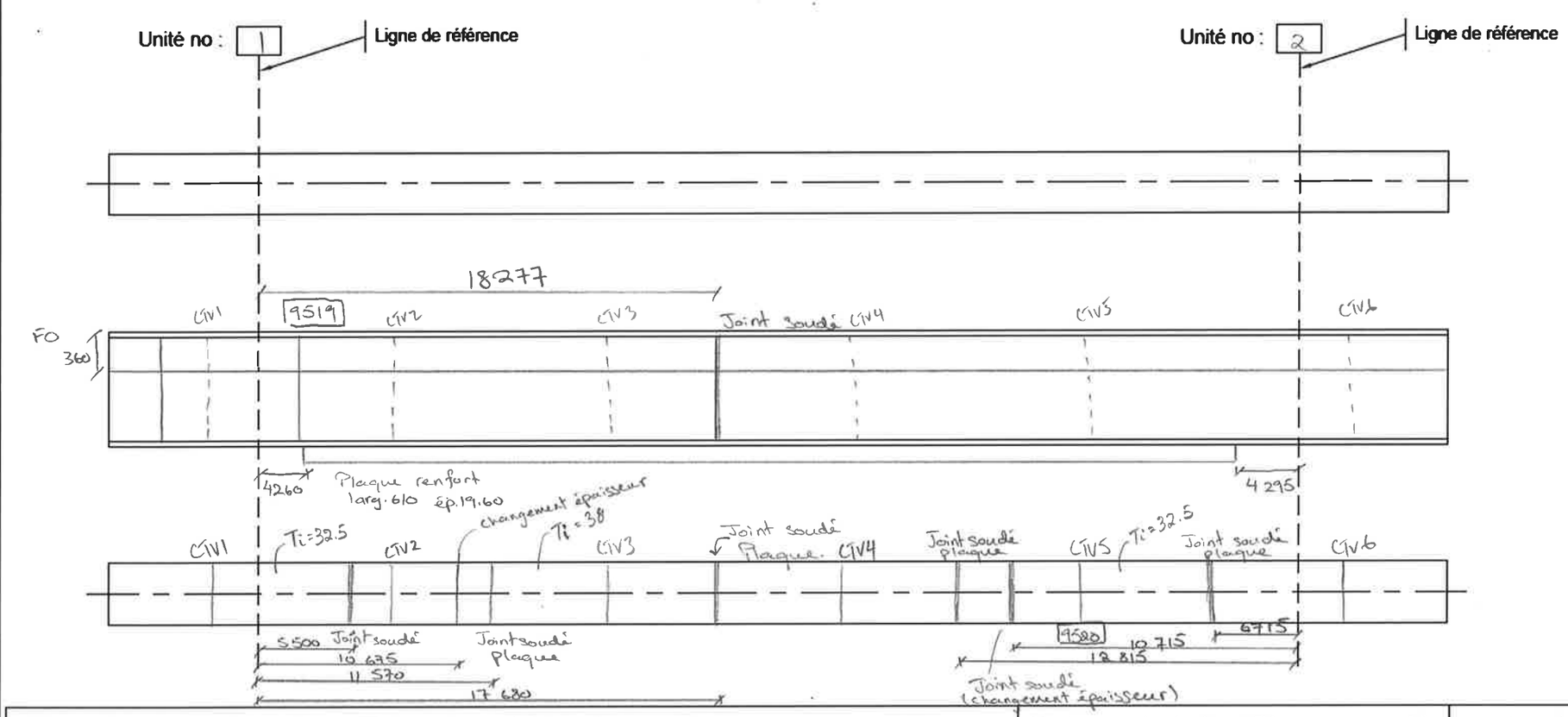
COURBE ☐

GAUCHE ☐

DROITE ☒

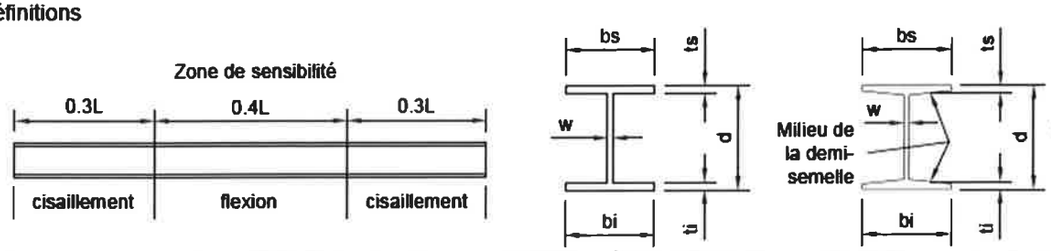
SPIRALE ☐

TANGENTE ☐



Méthode de fabrication du profilé : ☐ Laminée ☒ Soudée

Définitions



Hauteur maximale du profilé	(d)	1876.6
Largeur maximale de l'aile supérieure	(bs)	308.2
Largeur maximale de l'aile inférieure	(bi)	510
Épaisseur maximale de l'aile supérieure	(ts)	16.6
Épaisseur maximale de l'aile inférieure	(ti)	32.5
Épaisseur maximale de l'âme	(w)	8.2
P1		

RELEVÉ DE DOMMAGES

Vision Eeyou Istchee

Stantec

P-10232 KM : 19

NOM: JF / MD

DATE: 2022 / 06 / 14

PAR: Stantec

COURBE ☐

GAUCHE ☐

DROITE ☒

SPIRALE ☐

TANGENTE ☐

LOCATION

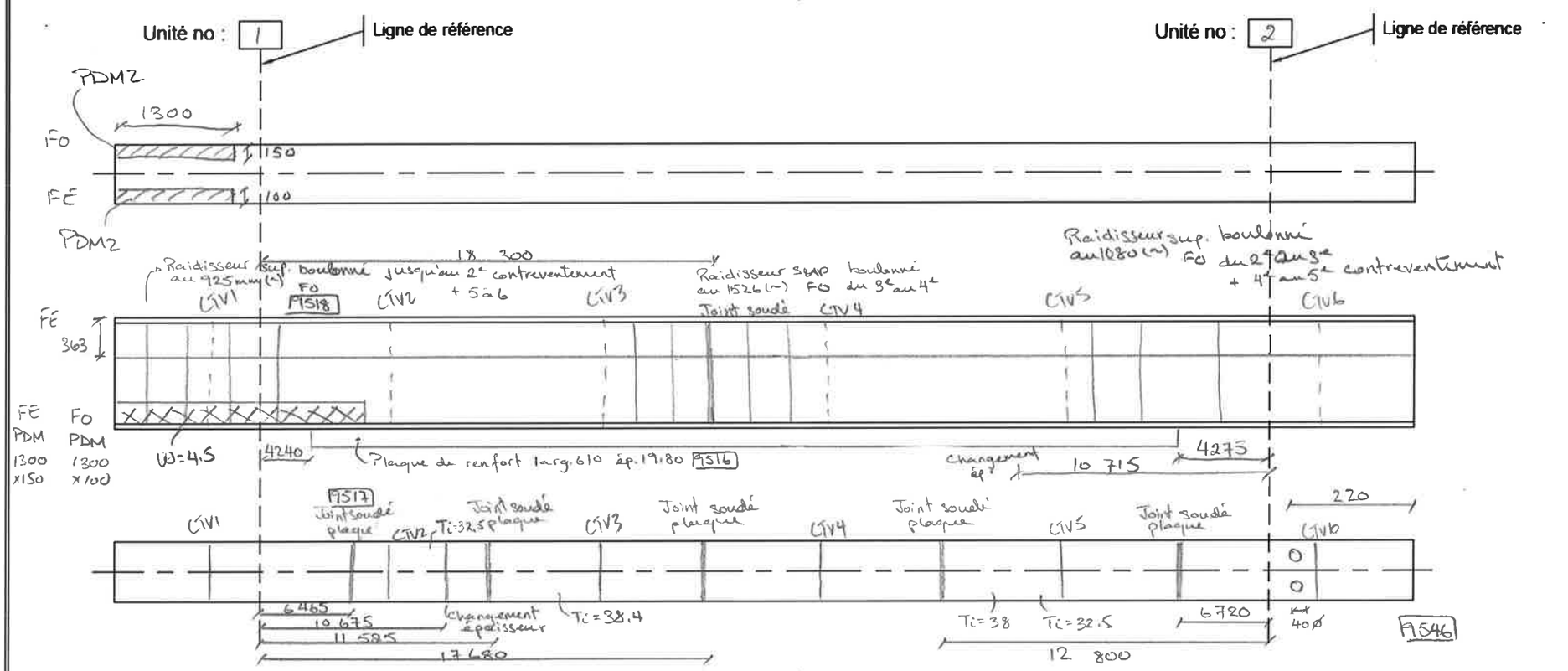
LAT. 50.137899

LONG. -74.291856

RELEVÉ DE DOMMAGES

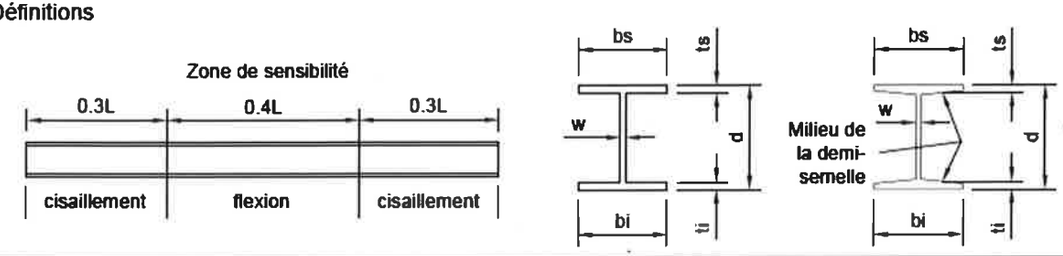
Vision Eeyou Istchee

Stantec ■ DESSOR ■ SYSTRA



Méthode de fabrication du profilé : ☐ Laminée ☒ Soudée

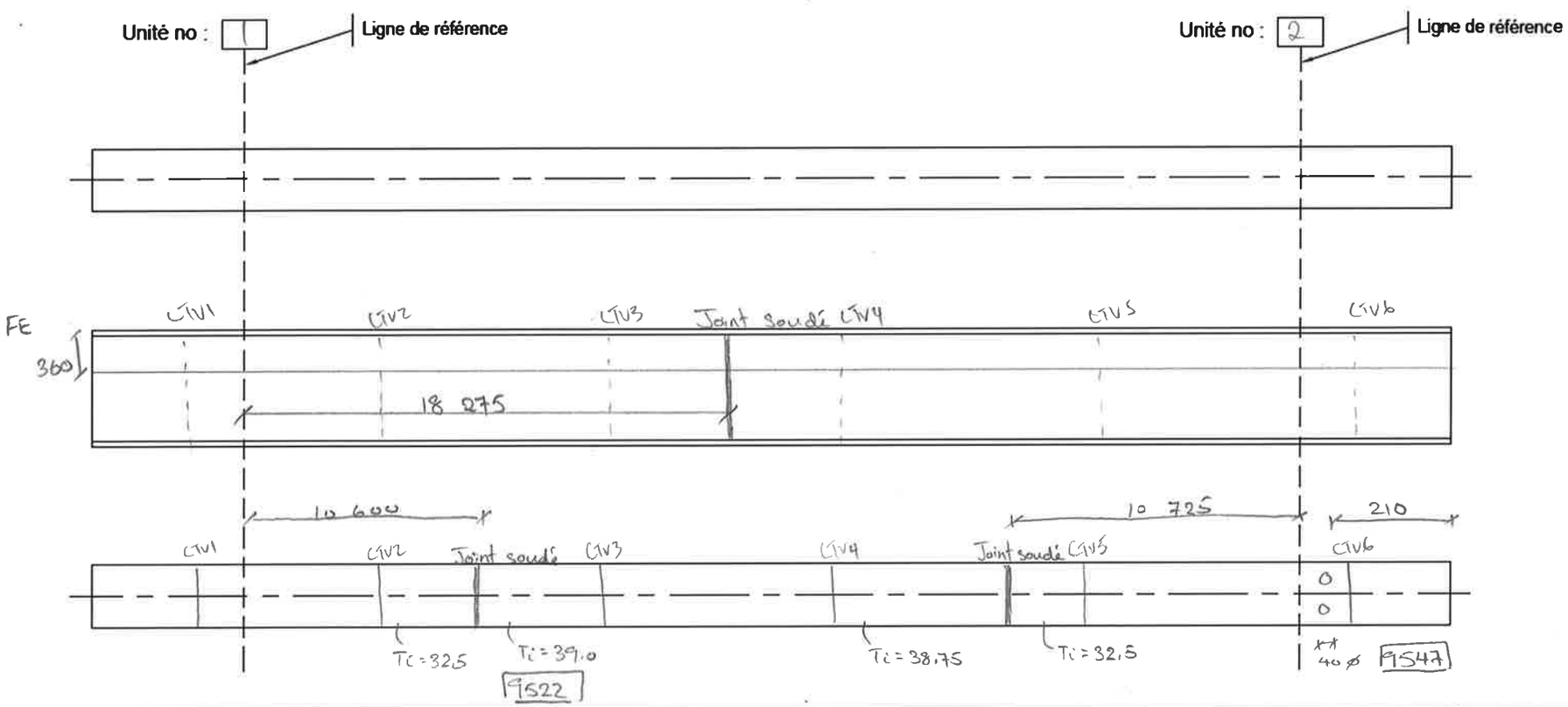
Définitions



Hauteur maximale du profilé	(d)	1876,8
Largeur maximale de l'aile supérieure	(bs)	306,35
Largeur maximale de l'aile inférieure	(bi)	510
★ Épaisseur maximale de l'aile supérieure	(ts)	16,8
Épaisseur maximale de l'aile inférieure	(ti)	32,5
Épaisseur maximale de l'âme	(w)	8,35
P2		

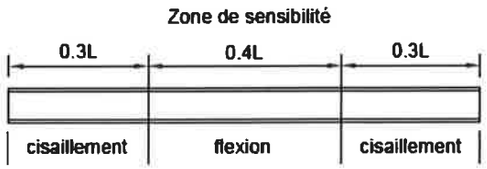
★ Noyée dans le béton P1515

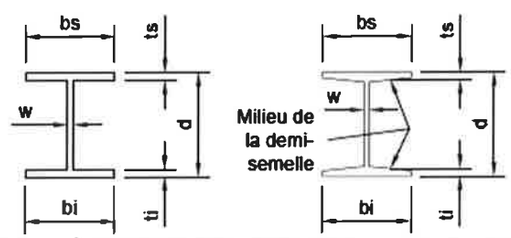
P-10232	KM : 19
NOM :	JF / MD
DATE :	2022 / 06 / 14
PAR :	Stantec
LOCATION	
LAT.	50,137899
LONG.	-74,291856
DROITE ☒	GAUCHE ☐
COURBE ☐	
TANGENTE ☐	SPIRALE ☐



Méthode de fabrication du profilé : ☐ Laminée ☒ Soudée

Définitions





Hauteur maximale du profilé	(d)	1871,8
Largeur maximale de l'aile supérieure	(bs)	308,25
Largeur maximale de l'aile inférieure	(bi)	510
Épaisseur maximale de l'aile supérieure	(ts)	16,8
Épaisseur maximale de l'aile inférieure	(ti)	32,5
Épaisseur maximale de l'âme	(w)	8,25
P3		

Stantec ■ DESFOR ■ SYSTRA

Vision Eeyou Istchee

RELEVÉ DE DOMMAGES

P-10232 KM : 19

NOM: JF / MD

DATE: 2022/06/14

PAR: Stantec

LOCATION

LAT. 50,137899

LONG. -74,291856

COURBE ☐ GAUCHE ☐ DROITE ☒

SPIRALE ☐ TANGENTE ☐

App Sud 9511

Chasse-roue Est 9512

côté extérieure Est 9513

① contreventement intermédiaire déformé 9514

② " " 9521

③ 9523

④ 9524

⑤ 9525

⑥ 9526

DESSOUS 9527

UF1 9528

UF2 9529

ELEC 9530

ELEC 9531

Syst. accès 9532

Dessus 9533

App Nord 9534

ELEC Est 9535

Def. lat P3 9536

Def lat P1 9544

Def lat P2 9545

Ext N gen P1 9548@51

Ext N gen P2 9552@54

Ext N gen P3 9555@57

Joint N 9558@66

Joint S 9567@69

Plat S 9579@83

P2 ext S 9584@90

P3 ext S 9591@9594

Joint S 9595

Description du croquis

Vision Eeyou Istchee

Stantec DESSOR SYSTRA

RELEVÉ DE DOMMAGES

P-10232 KM : 19

NOM:

DATE:

PAR:

LOCATION

LAT. 50,137899

LONG. -74,291856

COURBE ☐

GAUCHE ☐

DROITE ☐

SPIRALE ☐

TANGENTE ☐

Stantec

Description des photos

Relevé de dommages de 3 ponts – La Grande Alliance route du Nord

N/D : 158100425

Date d'inspection : 2022-06-14 (aaaa/mm/jj)

Structure : P-10232

Nom des inspecteurs : Jonathan Fournier

Mathieu Doyer

N° de photo	Localisation	Description
9507	Approche	Signalisation chantier
9508	Approche	Signalisation chantier
9509	Approche	Signalisation chantier
9510	Approche	Signalisation chantier
9511	Approche Sud	Générale
9512	Chasse-roue Est	Générale
9513	Côté extérieur Est	Générale
9514	Contreventement intermédiaire	Déformation
9515	Poutre 2	L'aile supérieure noyée dans le béton
9516	Poutre 2, dessous	Plaque de renfort
9517	Poutre 2, unité de fondation 1, dessous	Joint soudé
9518	Poutre 2, face Ouest, unité de fondation 1	Générale
9519	Poutre 1, face Ouest, unité de fondation 1	Générale
9520	Poutre 1, face Est, unité de fondation 2	Générale
9521	Contreventement intermédiaire	Déformation
9522	Poutre 3, semelle inférieure, unité de fondation 1	Changement d'épaisseur
9523	Contreventement intermédiaire	Déformation
9524	Contreventement intermédiaire	Déformation

N° de photo	Localisation	Description
9525	Contreventement intermédiaire	Déformation
9526	Contreventement intermédiaire	Déformation
9527	Dessous	Générale
9528	Unité de fondation 1	Générale
9529	Unité de fondation 2	Générale
9530	Élévation Est	Générale
9531	Élévation	Générale
9532	Système d'accès	Générale
9533	Dessus	Générale
9534	Approche Nord	Générale
9535	Élévation Est	Générale
9536	Poutre 3	Déformation latérale
9537	Appareil d'appui, unité de fondation 2, Poutre 3	Générale
9538	Appareil d'appui, unité de fondation 2, Poutre 3	Générale
9539	Appareil d'appui, unité de fondation 2, Poutre 3	Générale
9540	Appareil d'appui, unité de fondation 2, Poutre 1	Générale
9541	Appareil d'appui, unité de fondation 2, Poutre 1	Générale
9542	Appareil d'appui, unité de fondation 2, Poutre 1	Éclatement du béton
9543	Appareil d'appui, unité de fondation 2, Poutre 1	Générale
9544	Poutre 1	Déformation latérale
9545	Poutre 2	Déformation latérale
9546	Poutre 2, unité de fondation 2	Corrosion
9547	Poutre 3, unité de fondation 2	Corrosion
9548	Extrémité Nord Poutre 1	Générale
9549	Extrémité Nord Poutre 1	Générale

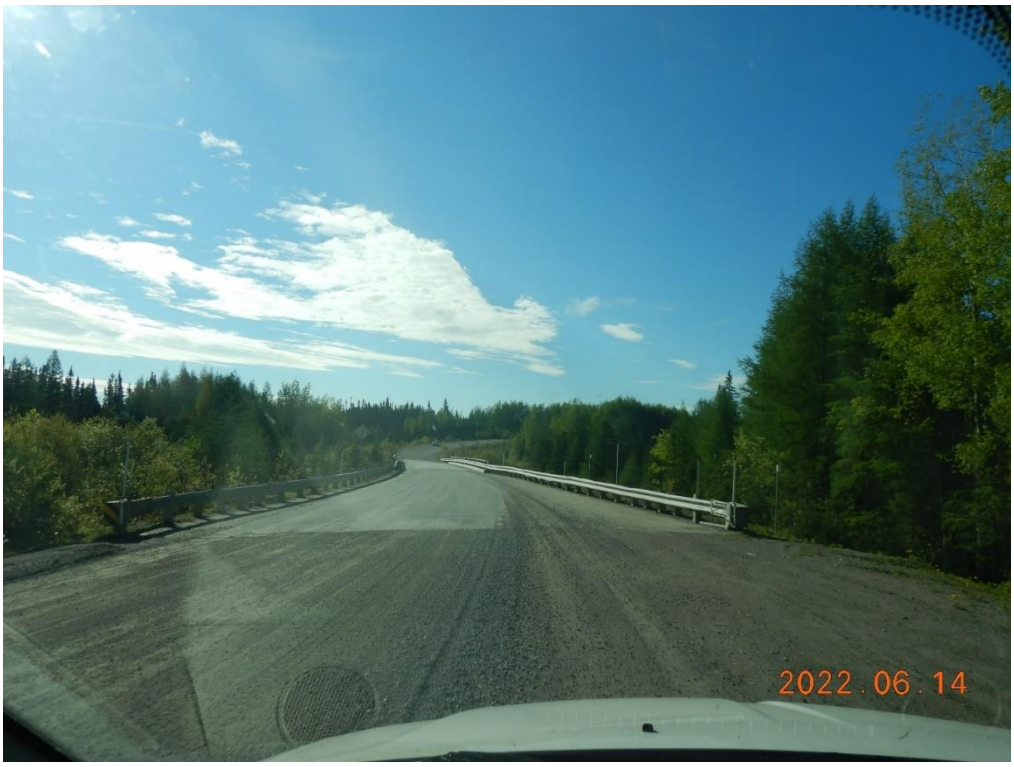
N° de photo	Localisation	Description
9550	Extrémité Nord Poutre 1	Générale
9551	Extrémité Nord Poutre 1	Générale
9552	Extrémité Nord Poutre 2	Générale
9553	Extrémité Nord Poutre 2	Générale
9554	Extrémité Nord Poutre 2	Générale
9555	Extrémité Nord Poutre 3	Générale
9556	Extrémité Nord Poutre 3	Générale
9557	Extrémité Nord Poutre 3	Générale
9558	Joint Nord	Générale
9559	Joint Nord	Générale
9560	Joint Nord	Générale
9561	Joint Nord	Générale
9562	Joint Nord	Générale
9563	Joint Nord	Générale
9564	Joint Nord	Générale
9565	Joint Nord	Générale
9566	Joint Nord	Générale
9567	Joint Sud	Générale
9568	Joint Sud	Générale
9569	Joint Sud	Générale
9570	Appareil d'appui, unité de fondation 1, Poutre 3	Générale
9571	Appareil d'appui, unité de fondation 1, Poutre 3	Appareil d'appui incliné
9572	Appareil d'appui, unité de fondation 1, Poutre 3	Appareil d'appui incliné
9573	Appareil d'appui, unité de fondation 1, Poutre 3	Appareil d'appui incliné
9574	Appareil d'appui, unité de fondation 1, Poutre 1	Générale
9575	Appareil d'appui, unité de fondation 1, Poutre 1	Générale

N° de photo	Localisation	Description
9576	Appareil d'appui, unité de fondation 1, Poutre 1	Générale
9577	Appareil d'appui, unité de fondation 1, Poutre 1	Générale
9578	Appareil d'appui, unité de fondation 1, Poutre 1	Éclatement du béton
9579	Extrémité Sud Poutre 1	Générale
9580	Extrémité Sud Poutre 1	Générale
9581	Extrémité Sud Poutre 1	Générale
9582	Extrémité Sud Poutre 1	Générale
9583	Extrémité Sud Poutre 1	Générale
9584	Extrémité Sud Poutre 2	Perte de matériaux
9585	Extrémité Sud Poutre 2	Perte de matériaux
9586	Extrémité Sud Poutre 2	Générale
9587	Extrémité Sud Poutre 2	Perte de matériaux
9588	Extrémité Sud Poutre 2	Perte de matériaux
9589	Extrémité Sud Poutre 2	Perte de matériaux
9590	Extrémité Sud Poutre 2	Générale
9591	Extrémité Sud Poutre 3	Générale
9592	Extrémité Sud Poutre 3	Générale
9593	Extrémité Sud Poutre 3	Générale
9594	Extrémité Sud Poutre 3	Générale
9595	Joint Sud	Générale
9596	Approche Nord	Générale

9507.

9508.

9509.



9510.

9511.

9512.

9513.

9514.

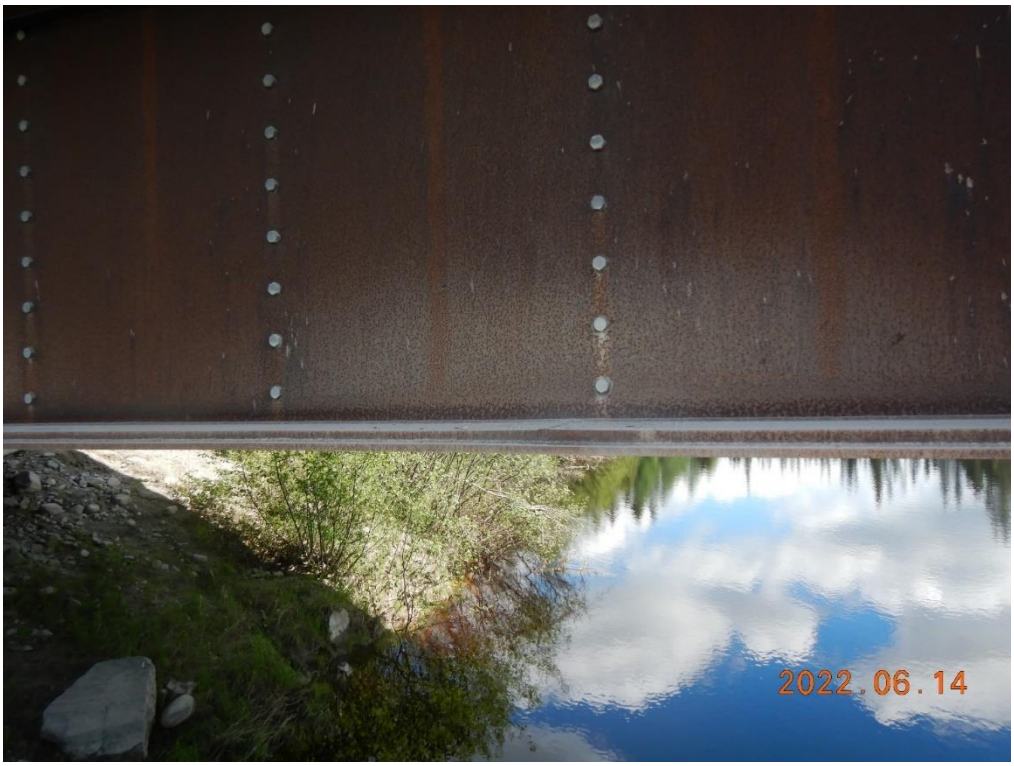
9515.

9516.

9517.

9518.

9519.



9520.

9521.

9522.

9523.

9524.

9525.

9526.

9527.

9528.

9529.

9530.

9531.

9532.

9533.

9534.

9535.

9536.

9537.

9538.

9539.

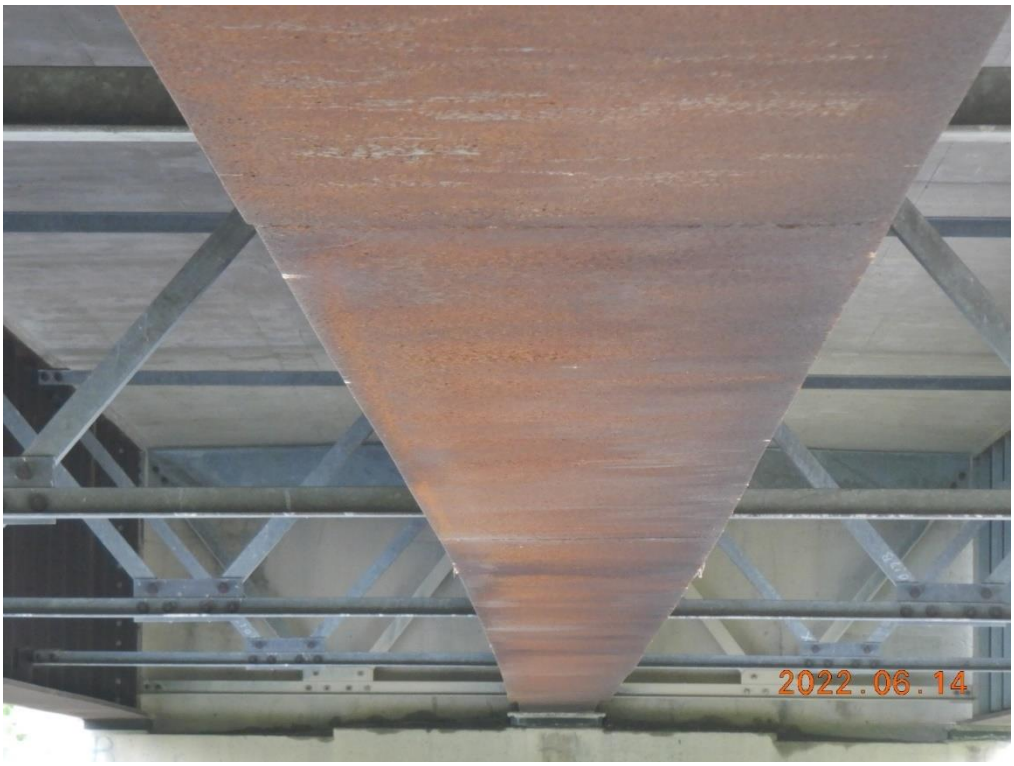
9540.

9541.

9542.

9543.

9544.



9545.

9546.

9547.

9548.

9549.

9550.

1

9551.

9552.

9553.

9554.

9555.

9556.

9557.

9558.

9559.

9560.

9561.

9562.

9563.

9564.

9565.

9566.

9567.

9568.

9569.

9570.

9571.

9572.

9573.

9574.

9575.

9576.

9577.

9578.

9579.

9580.

9581.

9582.

9583.

9584.

9585.

9586.

9587.

9588.

9589.

9590.

9591.

9592.

9593.

9594.

9595.

9596.

APPENDIX D – BRIDGE 10685

BPR

À LA PUISSANCE | TETRA TECH

RAPPORT D'ÉVALUATION DE LA CAPACITÉ DU PONT

■ ■ ■

AU-DESSUS DE LA RIVIÈRE NEMISCAU

■ ■ ■

N° de projet BPR : 11878

N° de projet Hydro-Québec : QUF55E1 – Réf. : 3008-70603-009-01-0-PY-L

■ ■ ■

Hydro Québec

1er mars 2013
Revision 00

À LA PUISSANCE I TETRA TECH

RAPPORT D'ÉVALUATION DE LA CAPACITÉ DU PONT

Hydro-Québec

Rapport d'évaluation de la capacité du pont au-dessus de la rivière Nemiscau

N° de projet BPR : 11878

N° de projet Hydro-Québec : QUF55E1– Réf. : 3008-70603-009-01-0-PY-L

BPR-Énergie inc.
3251, boul. St-François
Jonquière (Québec)
☎ 418-548-2011
418-548-8358

Présenté à :

Monsieur Alain Dauphin, techn.
Hydro-Québec

Préparé par :

Patrick Lapierre, ing. .M. Sc. A.

Le 1er mars 2013
Révision 00

TABLE DES MATIÈRES

1. DESCRIPTION DU MANDAT 1

2. MÉTHODOLOGIE.....1

3. RECHERCHE ET DOCUMENTATION.....2

4. RÉSUMÉ DES CALCULS.....2

5. CONCLUSION 8

ANNEXE 1 Plans tel que construit

ANNEXE 2 Relevés de l'investigation destructive de la dalle

ANNEXE 3 Photos prises lors de l'investigation destructive de la dalle

ANNEXE 4 Document de référence tiré du livre « Le complexe hydroélectrique de la Grande rivière - Réalisation de la première phase».

ANNEXE 5 Évaluation de la quantité portante (Notes de calcul)

ANNEXE 6 Signalisation aux approches

1. DESCRIPTION DU MANDAT

Le mandat consiste à effectuer l'évaluation structurale de la capacité du pont situé au-dessus de la rivière Nemiscau sur la route du Nord. Cette structure est localisée au kilomètre 279 sur la route du Nord entre le poste Nemiscau et le poste Albanel. Cette cette dernière appartient à Hydro-Québec. Dans le but d'effectuer le transport de lourds transformateurs qui sont envoyés par trains jusqu'à Matagami et transportés par camion par la route de la Baie-James jusqu'au poste Albanel, la capacité du pont doit être validée. Aucun plan de la structure existante n'était disponible pour en déterminer la capacité. L'année de construction serait 1979 selon les informations obtenues.

2. MÉTHODOLOGIE

La première étape à effectuer pour l'évaluation de la capacité fut l'inspection générale de la structure. Cette tâche a été effectuée en octobre 2011 et un rapport détaillé a été livré à Hydro-Québec. Cette inspection a été réalisée selon les règles utilisées par le ministère des Transports du Québec. En même temps que cette inspection, un relevé dimensionnel de la structure a été effectué de façon à pouvoir évaluer les charges permanentes agissant sur la structure du pont. De plus, il est requis de déterminer les dimensions des poutres et des contreventements afin de pouvoir évaluer la capacité de la charpente métallique. En même temps, une inspection des soudures bout à bout présentes sur les poutres a été faite par un laboratoire expert. Les relevés pris ont permis la réalisation de plans « tel que construit » du pont, que l'on retrouve en annexe du présent rapport.

Lors de ces relevés, il n'était pas possible de pouvoir valider la présence ou non des goujons de cisaillement situés sur les poutres d'acier, ce qui permet aux poutres d'avoir un comportement composite avec la dalle ainsi que de valider la capacité propre de la dalle en béton armé.

Il existe une méthode non destructive qui permet d'effectuer la validation des aciers d'armature, c'est le géoradar. Toutefois, la précision pour déterminer l'espace des barres n'est pas adéquate, car il y a une tolérance d'environ 5 mm sur le diamètre des barres et tout dépend de la position de celles-ci. De plus, la possibilité de valider la présence et l'espacement des goujons de cisaillement n'est pas garantie. La méthode préconisée pour déterminer la présence de ces goujons et de valider le diamètre et l'espacement des barres d'armature consiste en la réalisation de fenêtres d'exploration dans la dalle. Il a été déterminé avec le client que deux puits seraient effectués.

Les deux relevés ont été faits sur la poutre adjacente à la poutre centrale de façon à pouvoir conserver le trafic en circulation tout le temps de la durée des travaux. Un relevé a été effectué à 25 % de la portée de la poutre et un deuxième près de l'appui afin de valider si l'acier d'armature est disposé différemment près des appuis compte tenu de la présence d'un biais dans la structure du pont.

Les travaux de démolition de la dalle de béton ont été réalisés par Les Entreprises de Sciage de Béton Saguenay inc. et se sont déroulés pendant une journée. Les travaux de réparation des ouvertures de béton réalisés ont été faits le lendemain. Le produit utilisé pour remplacer le béton qui a été enlevé est du béton en sac à prise rapide « Ambex RS-SSC ». À la fin de la journée, lorsque le béton a été démoli, des plaques d'acier ont

été fixées sur le dessus des ouvertures de façon à permettre la circulation dans les deux sens.

Tout au long des travaux, une équipe de signaleurs était présente afin de contrôler la circulation et les panneaux de signalisation utilisés ont été validés afin de s'assurer qu'ils respectaient les normes du ministère des Transports du Québec. Le résumé des relevés effectués lors de cette opération et les photos correspondantes sont joints en annexe.

3. RECHERCHE ET DOCUMENTATION

Au cours de l'étude, une recherche documentaire a été réalisée afin de vérifier s'il était possible de connaître les efforts de conception pour la structure étant donné qu'aucun plan n'était disponible. Le livre intitulé «Le complexe hydroélectrique de la Grande rivière - Réalisation de la première phase» explique dans un de ses chapitres les travaux de construction de la route de la Baie-James et l'accès aux différents sites des travaux. Selon ce document, il y aurait eu trois conceptions différentes pour les structures, soit celles sur la route principale (Route de la Baie James) et celles sur les routes secondaires de type 1, telles que celles sur la route du Nord et celles de type 2. Dans les deux premiers cas, les structures sont conçues pour faire traverser des transports de transformateur, mais de capacité différente.

D'après l'ouvrage, la charge de conception indiquée est de 450 tonnes pour la route principale, 360 tonnes pour les routes secondaires de type 1 et 100 tonnes pour celles de type 2. Cependant, les trains de charge indiqués sont pour des camions de transport utilisant un col-de-cygne entre la remorque et le tracteur. Ces informations demeurent un point de départ pour la présente étude. De plus, ce document indique le type d'acier utilisé pour la construction des structures sur ces routes était de l'acier atmosphérique de type CSA/G40.21-350 AT. Cela nous permet d'éviter d'utiliser des hypothèses conservatrices pour le grade d'acier (Fy).

Différents transporteurs ont été contactés dont Transport ABB, Transport Chainé et Transport Bellemare. Ceux-ci ont fourni de l'information au niveau des types de véhicules utilisés pour le transport de transformateur de 250 tonnes afin que les charges de calculs représentent les véhicules qui sont utilisés dans l'industrie. Lors du transport de ce type de transformateur, il y a généralement un tracteur « tireur » et un tracteur « pousseur ». Cependant, il est possible d'utiliser qu'un seul tracteur, car la route est horizontale aux approches du pont. Les tracteurs sont dotés de contrepoids sur les essieux de traction, ce qui a pour but d'augmenter la traction des roues afin de pouvoir tirer les charges hors normes.

4. RÉSUMÉ DES CALCULS

L'étude consiste donc à déterminer le type de train de charge qui peut circuler sur la structure afin de transporter un transformateur de 250 tonnes. Les transporteurs contactés utilisent des remorques de type multiligne tels que ceux fabriqués par la compagnie Goldhofer. Les dimensions de ces types de remorques sont jointes dans les notes de calculs en annexe du présent rapport. Les remorques de type multiligne sont constituées d'un groupe d'essieux espacés également et chaque essieu contient 4 groupes de 2 roues. Le système de suspension de ces transports permet de distribuer également les charges sous chacun des essieux. De plus, les remorques multilignes sont formées de différents modules qui permettent de rajouter des essieux au besoin afin de réduire la charge par essieu ou de distribuer la charge sur une plus longue distance pour limiter les efforts sur une structure.

La démarche de calcul suivante a été utilisée :

1. Effectuer les calculs des charges permanentes en fonction du relevé dimensionnel effectué.
2. Déterminer le facteur d'essieu en fonction de la localisation des charges du transport spécial et calculer la charge vive.
3. Déterminer la résistance de la dalle et des poutres en fonction des relevés effectués.

Les coefficients de pondération de la norme CAN/CSA S6-06 (chapitre 14) sont utilisés pour les calculs.

Un coefficient d'amplification dynamique de 10 % a été considéré. Pour ce faire, le transport doit circuler sur la structure à une vitesse inférieure à 10 km/h et être centré sur le pont.

Pour l'analyse de la dalle, la méthode simplifiée de la norme a été utilisée pour la dalle en travée, mais l'absence de poutre de rigidité aux extrémités des portées empêche l'utilisation de cette méthode à ces endroits. Une analyse par éléments finis a été réalisée afin de mieux déterminer la résistance de la dalle et par la suite restreindre la charge maximale par essieux. Étant donné que les propriétés mécaniques des matériaux constituant la dalle ne sont pas connues, la résistance du béton (f`c) considérée est de 25 MPa et celle de l'acier d'armature (fy) est de 300 MPa. Le béton du pont est en excellent état, car aucun sel de déglaçage n'est utilisé, et ce, même s'il n'y a pas de pavage sur le pont. Aucune perte due à la corrosion n'a été prise en considération compte tenu du bon état de la structure.

Ces calculs ont permis de donner un ordre de grandeur des efforts maximums par essieu afin de pouvoir déterminer le nombre d'essieux qui sont requis pour la remorque de type multiligne.

Pour le calcul de la poutre en acier, la disposition des goujons nous donne une dalle composite à 100 %. Pour l'analyse du cisaillement, une attention doit être portée à la discontinuité dans les soudures des raidisseurs en cisaillement. En effet, selon la norme de conception actuelle, cette pratique n'est pas recommandée. Cela a pour effet de réduire la résistance en cisaillement de la poutre, et est pris en considération dans les calculs. Les calculs de la dalle et des poutres sont en annexe.

Une façon de représenter la résistance de la structure aux charges vives est l'utilisation du « facteur de capacité de surcharge », tel que présenté au chapitre 14 de la norme CAN/CSA S6-06. Ce facteur donne la résistance résiduelle de la structure pour la charge vive par rapport à la charge de conception considérée. La formule est la suivante :

$FCS = (\Phi R - a_D D)/(a_L L)$

FCS : Facteur de capacité de surcharge
Φ: Coefficient de pondération de la résistance
R : Résistance
a_D: Coefficient de pondération des charges permanentes
D : Charges permanentes
a_L: Coefficient de pondération des charges vives
L : Charges vives – Camion

Ce facteur est utilisé pour valider les charges pondérées en flexion, cisaillement, l'interaction flexion-cisaillement, et pour les charges en service. L'utilisation de ce facteur pour les charges en service (non pondérées) permet d'éviter la plastification de la section en acier.

Le tableau suivant indique les résultats des facteurs de capacité de surcharge (FCS) pour le chargement proposé pour le transport d'un transformateur de 250 tonnes avec la configuration présentée sur le plan 3008-70603-002-01-0-PY-0.

Vérification	FCS
Cisaillement (ultime)	1.39
Flexion (ultime)	2.16
Interaction cisaillement-flexion (ultime)	1.83
Acier, aile inférieure en tension (service)	2.80
Acier, aile supérieure en compression (service)	6.10
Béton en compression (service)	2.56

Le tableau suivant indique les résultats des facteurs de capacité de surcharge pour le chargement de 360 tonnes illustré dans la documentation jointe à l'annexe 4. Les valeurs plus élevées s'expliquent par un facteur d'essieu plus faible que dans le cas du chargement proposé pour le transport du transformateur de 250 tonnes.

Vérification	FCS
Cisaillement (ultime)	1.53
Flexion (ultime)	2.46
Interaction cisaillement-flexion (ultime)	6.96
Acier, aile inférieure en tension (service)	3.18
Acier, aile supérieure en compression (service)	6.99
Béton en compression (service)	2.91

Les valeurs de FCS supérieures à 1.0 indiquent qu'il est possible de faire passer le chargement utilisé pour l'évaluation.

Les coefficients de pondération utilisés pour les charges sont les suivants :

a_{D1} = 1.06 (Charge permanente - Poids de l'acier)

a_{D2} = 1.12 (Charge permanente - Poids du béton et des autres charges)

a_L = 1.42 (Charge vive - Camion)

Pour une structure existante, la norme permet d'utiliser des coefficients d'évaluation inférieurs à ceux de conception étant donné que le facteur de risque est géré différemment. En comparaison, les facteurs à utiliser pour une conception neuve sont les suivants :

a_{D1} = 1.1 (Charge permanente - Poids de l'acier)

a_{D2} = 1.2 (Charge permanente - Poids du béton et des autres charges)

a_L = 1.7 (Charge vive - Camion)

Afin de pouvoir aviser le ministère des Transports sur les charges pouvant circuler sur la structure, les facteurs de capacité de surcharges ont été évalués pour les trois cas de charges décrites dans la norme CAN/CSA-S6-06. À partir de ces valeurs, le MTQ peut déterminer quel type de véhicules, de classe 5 ou 6, peuvent passer sur la structure. Ce qui permet de délivrer des permis aux transporteurs.

	FCS CL1-625 Niv.1	FCS CL2-625 Niv.2	FCS CL3-625 Niv. 3
Cisaillement (ultime)	4.51	5.11	6.96
Flexion (ultime)	8.95	9.42	12.35
Interaction cisaillement-flexion (ultime)	6.01	6.58	8.61
Acier, aile inférieure en tension (service)	11.10	12.19	15.99
Acier, aile supérieure en compression (service)	25.36	26.57	34.84
Béton en compression (service)	10.58	11.16	14.64

La réserve importante de résistance en flexion provient probablement du fait que les hypothèses de conception étaient plus conservatrices que celles d'évaluation (norme utilisée et facteur d'essieu).

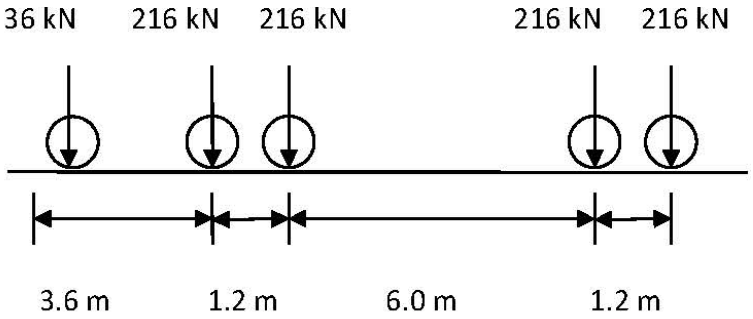
Les calculs des facteurs de capacité de surcharge sont joints en annexe du présent rapport.

Dans le cas présent, les charges par essieu sont limitées par la capacité de la dalle près des appuis compte tenu de l'absence des poutres de rigidité. Sans cette contrainte, la dalle pourrait supporter la charge d'essieu indiquée dans le document de référence joint à l'annexe 4, qui correspond à une charge d'essieu de 360 kN. La méthode de calcul simplifiée de la dalle est demeurée sensiblement la même que celle de la norme en vigueur lors de la conception du pont. En utilisant cette méthode, l'espacement transversal des armatures correspond à une charge d'essieu de conception de 360 kN.

Dans notre cas particulier, la position des roues selon le type d'essieu a un impact sur la résistance résiduelle de la dalle. Les roues des transports multilignes permettent de bien distribuer les efforts comparativement aux essieux des tracteurs et fardiers communs. Dans notre cas, il y a différentes méthodes d'analyser la dalle, surtout compte tenu du fait qu'il y a un biais dans celle-ci et que les détails d'armature près de la rive ne sont pas connus entièrement, malgré l'investigation qui a été menée. Pour ce faire, la méthode de calcul de la charge maximale par essieu se doit d'être sécuritaire. Le résumé des efforts maximums par essieu est le suivant :

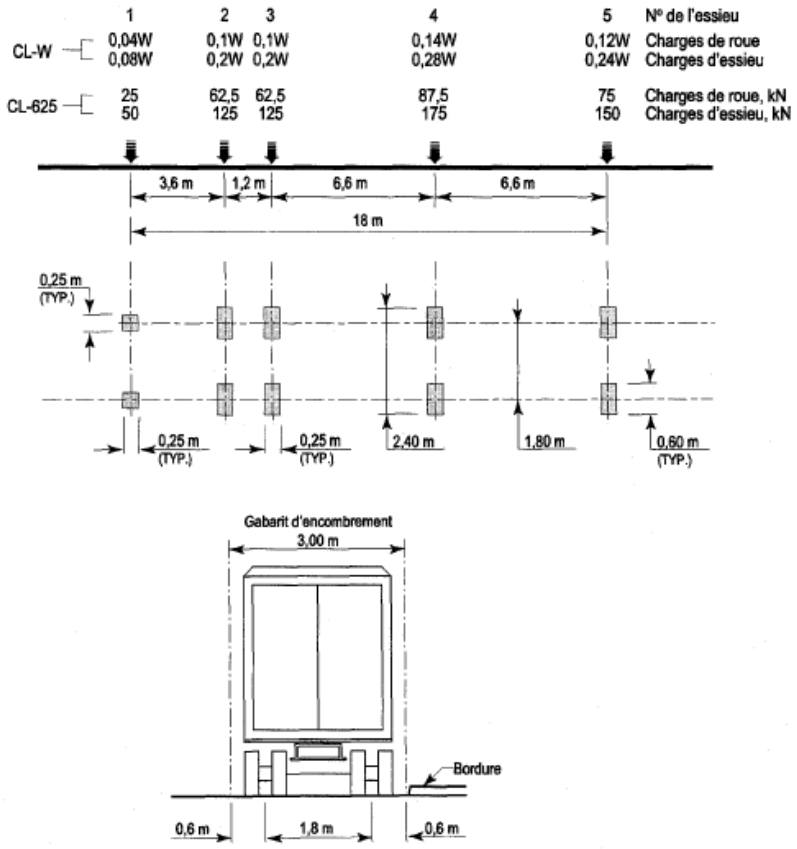
- Essieu d'une remorque multiligne : 194 kN
- Essieu d'un tracteur pour la remorque multiligne : 175 kN
- Essieu pour un camion remorque standard CL- 625 : 169 kN

Un calcul de capacité supplémentaire a été réalisé pour pouvoir ajouter un affichage de capacité aux approches du pont. Pour ce faire, un camion de conception a été créé afin de représenter le type de véhicule lourd qui circule sur la route du Nord, soit un fardier conventionnel. La position des roues est similaire à celle du CL-625 mais sans le dernier essieu (correspond au CL2-625). La distribution des charges est différente du CL2-625. En effet, le dernier essieu du CL2-625 est divisé en deux essieux, ce qui représente de façon plus réaliste les cas de charge possibles. De plus, un pourcentage important de la charge totale est distribué sur les essieux arrière du tracteur et ceux du fardier, soit 24 % de la charge totale pour chacun de ces essieux. Il reste donc un 4 % pour l'essieu de direction du tracteur. La figure suivante illustre le véhicule utilisé pour le calcul. L'espacement latéral entre les roues est le même que le CL-625.



Chargement de calcul 900 kN (90 tonnes)

Par comparaison, la distribution des charges du véhicule CL-625 est illustrée à la figure suivante.



CL1-625 (Niveau 1) : Essieux 1, 2, 3, 4 et 5
CL2-625 (Niveau 2) : Essieux 1, 2, 3 et 4
CL3-625 (Niveau 3) : Essieux 1, 2 et 3

Les valeurs de capacité de surcharge (FCS) ont donc été calculées pour un fardier de 90 tonnes, voir les notes de calculs en annexe pour les détails. Le FCS le plus critique est celui pour le cisaillement. À partir de cette valeur, nous pouvons conclure que la charge maximale de ce type de véhicule qui peut passer sur le pont est de 200 tonnes. Pour ce cas de charge, il n'y a pas de limite de vitesse ni de localisation précise pour la circulation. Tel que décrit précédemment, la charge maximale par essieu à appliquer sur la dalle est limitée à 18 tonnes. Cependant, elle n'est pas très contraignante, car il s'agit d'une charge plus élevée que ce que l'on retrouve généralement pour les véhicules de transport. Un transporteur devrait donc rajouter des essieux sur son véhicule pour s'assurer de ne pas dépasser cette limite. En annexe, on retrouve un panneau typique à utiliser pour l'affichage du pont.

5. CONCLUSION

La structure du pont au-dessus de la rivière Nemiscau possède donc la capacité suffisante pour faire passer un transformateur de 250 tonnes avec une remorque de type multiligne de 16 essieux. Le camion doit passer au centre de la structure et circuler à une vitesse inférieure à 10 km/h de façon à réduire l'amplification dynamique causée par le passage de charges mobiles. Selon les procédures du MTQ, la structure devrait être inspectée après le passage du véhicule hors norme.

Un plan d'inspection régulier de la structure est aussi requis afin de valider s'il n'y a pas d'éléments qui pourraient à court ou long terme, affecter la capacité de la structure telle qu'elle a été évaluée dans les présents calculs.

ANNEXE 1 – PLAN TEL QUE CONSTRUIT

3008 70603 001 010 PY0

PONT SUR LA ROUTE DU NORD
AU-DESSUS DE LA RIVIÈRE NÉMISCAU

Hydro Québec

TABLE DES MATIÈRES

FEUILLE	DESCRIPTION
3008-70603-001.	LOCALISATION ET DESCRIPTION GÉNÉRALE
3008-70603-002.	PLAN D'ENSEMBLE DU PONT
3008-70603-003.	CULÉES ET PILE, DIMENSIONS – DÉTAILS DES APPUIS
3008-70603-004.	CHARPENTE MÉTALLIQUE – DÉTAILS DES POUTRES PRINCIPALES
3008-70603-005.	CHARPENTE MÉTALLIQUE – DETAILS DES CONTREVENTEMENTS
3008-70603-006.	CHARPENTE MÉTALLIQUE – DÉTAILS DES RAIDISSEURS ET DES JOINTS SUR LES POUTRES PRINCIPALES
3008-70603-007.	TABLIER – DIMENSIONS ET ARMATURE – DÉTAILS DES DRAINS DE TABLIER
3008-70603-008.	DÉTAILS DES GLISSIÈRES DE SÉCURITÉ
3008-70603-009.	RAPPORT D'ÉVALUATION DE CAPACITÉ PORTANTE

NO	NOTES

NO	DATE	RÉVISIONS	REPÈRE	ÉMET.	HQ
0	12-11-15	TEL QUE RELEVÉ À L'INSTALLATION	QUF55	BPR	

NO	RÉFÉRENCES	NO

BPR
206, rue Racine Est
Chicoutimi (Québec) G7H 1R9
Téléphone : 418 549-8092
Télécopieur : 418 543-0308
www.bpr.ca
RIGUEUR ET AUDACE
EN INGÉNIERIE

DESSINÉ	G. GILBERT	VÉRIFIÉ DESS.	CARL BOUCHARD
PROJETÉ	SELON RELEVÉS	VÉRIFIÉ	CARL BOUCHARD
APPROUVÉ	P. LAPIERRE	APPROUVÉ	HUGO DE LA SABLONNIÈRE
R. DE T.	QUF55	DATE	2012-11-15

SCEAUX DESSIN ORIGINAL SELON RELEVÉS FAIT À L'INSTALLATION

ÉCHELLE 0 — RAPPORT AUCUNE — DIMENSIONS EN mm

Hydro Québec

POSTE DE LA NEMISCAU

PONT AU-DESSUS DE LA RIVIÈRE NÉMISCAU

LOCALISATION
ET
DESCRIPTION GÉNÉRALE

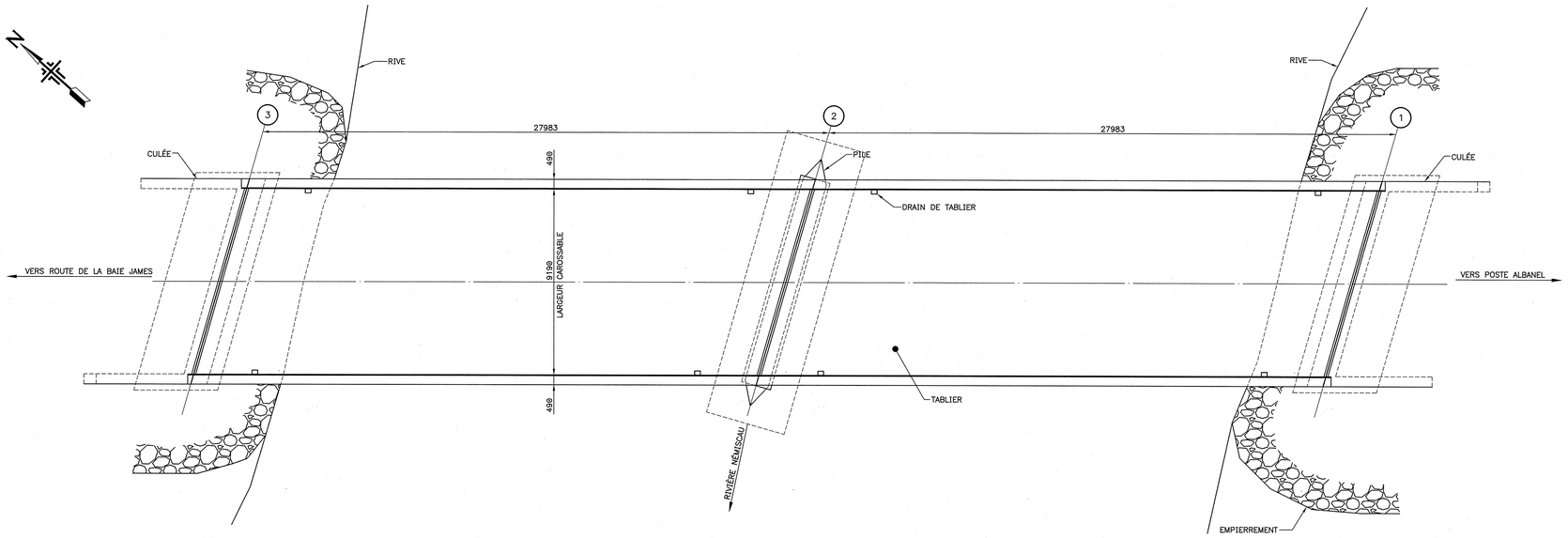
3008 70603 001 010 PY0

C. D. ENREGIST — FEUILLE 1 DE 1

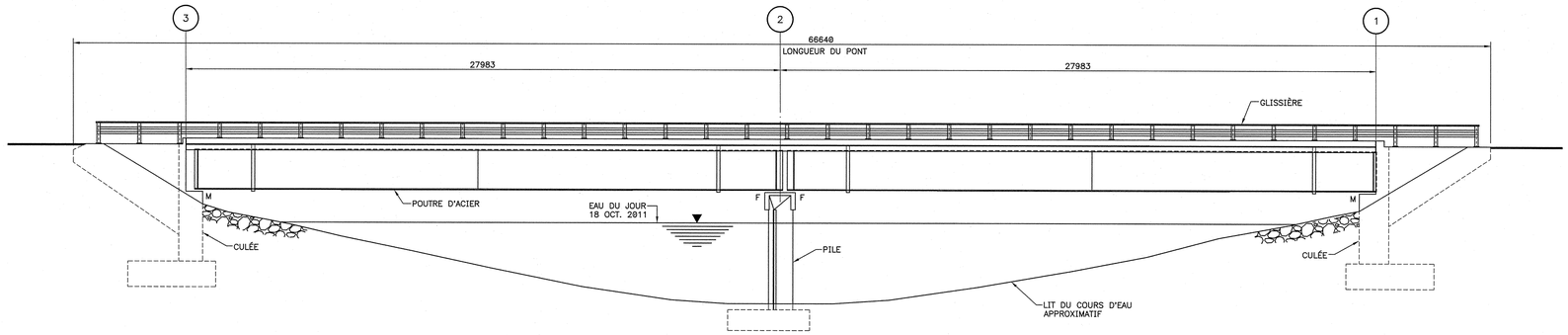
3008 70603 001 010 PY0

(96-03)

3008 70603 002 010 PY0



VUE EN PLAN
ÉCH.: 1:100



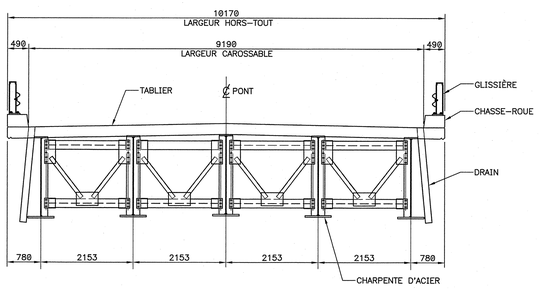
VUE EN ÉLÉVATION
ÉCH.: 1:100

LÉGENDE:

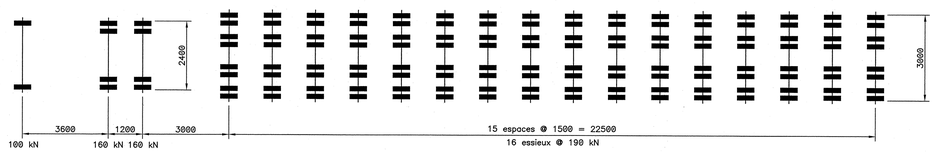
M = APPUI MOBILE
F = APPUI FIXE

LÉGENDE:

------ DIMENSIONS NON-DÉTERMINÉES



COUPE TRANSVERSALE
ÉCH.: 1:50



CONFIGURATION DE TRANSPORT POUR UN TRANSFORMATEUR DE 250 T.M.
(VITESSE < 10Km/h, VÉHICULE CENTRÉ SUR LE TABLIER)
VOIR RAPPORT D'ÉVALUATION DE CAPACITÉ PORTANTE 3008-70603-009-01-0-PY-L

NO	NOTES

NO	DATE	RÉVISIONS	REPÈRE	ÉMET.	HQ
0	12-11-15	TEL QUE RELEVÉ À L'INSTALLATION	QUF55	BPR	

NO	RÉFÉRENCES	NO

BPR
206, rue Racine Est
Chicoutimi (Québec) G7H 1R9
Téléphone : 418 549-8092
Télécopieur : 418 543-0308
www.bpr.ca
RIGUEUR ET AUDACE
EN INGÉNIERIE

DESSINÉ	G. GILBERT	VÉRIFIÉ DESS.	CARL BOUCHARD
PROJETÉ	SELON RELEVÉS	VÉRIFIÉ	CARL BOUCHARD
APPROUVÉ	P. LAPIERRE	APPROUVÉ	HUGO DE LA SABLONNIÈRE
R. DE T.	QUF55	DATE	2012-11-15

SCEAUX DESSIN ORIGINAL SELON RELEVÉS FAIT À L'INSTALLATION

ÉCHELLE 0 — RAPPORT INDIQUÉ — DIMENSIONS EN mm

Hydro Québec

POSTE DE LA NEMISCAU

PONT AU-DESSUS DE LA RIVIÈRE NÉMISCAU

PLAN D'ENSEMBLE DU PONT

3008 70603 002 010 PY0

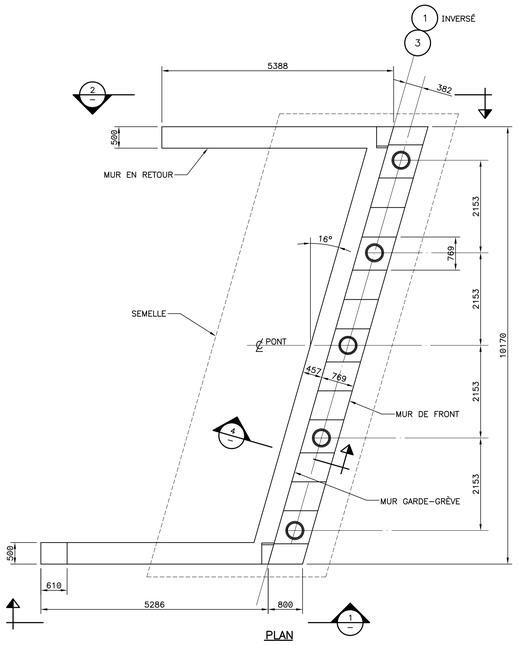
C. D. ENDROIT

FEUILLE 1 DE 1

3008 70603 002 010 PY0

(96-03)

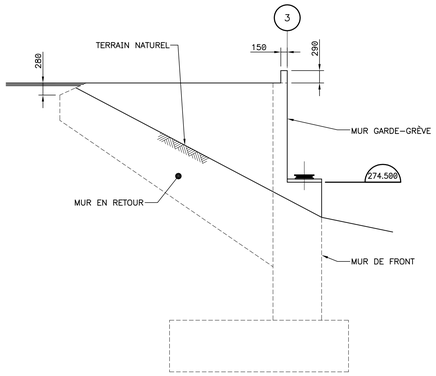
3008 70603 003 010 PY0



PLAN

CULÉES AXES 1 ET 3

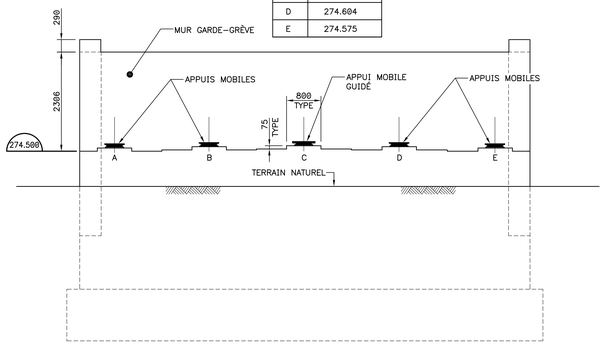
ÉCH.: 1:50



COUPE 1

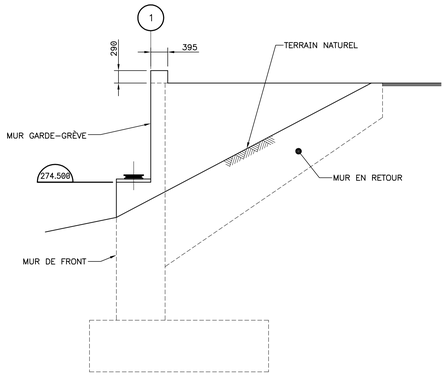
ÉCH.: 1:50

NIVEAU DES ASSISES (APPROX.) DES CULÉES	
A	274.575
B	274.604
C	274.627
D	274.604
E	274.575



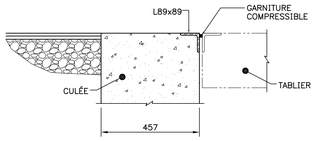
MUR DE FRONT

ÉCH.: 1:50



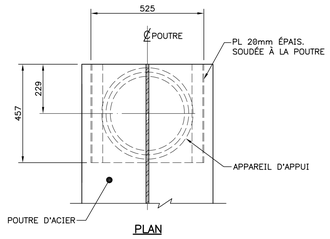
COUPE 2

ÉCH.: 1:50

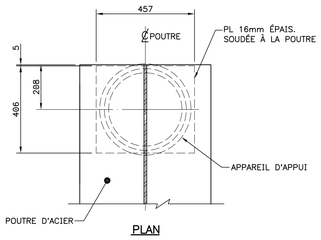


COUPE 4

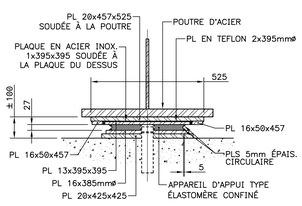
ÉCH.: 1:10



PLAN



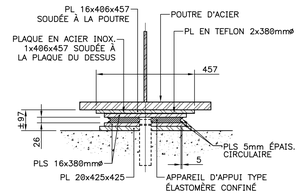
PLAN



ÉLÉVATION

DÉTAIL D'APPUI MOBILE GUIDÉ

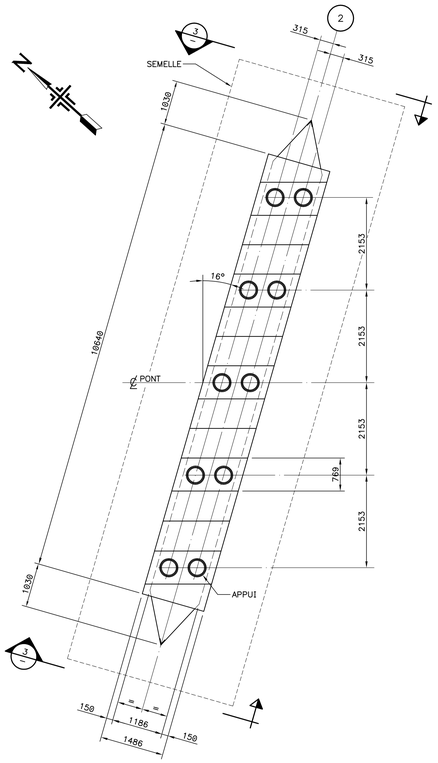
ÉCH.: 1:10



ÉLÉVATION

DÉTAIL TYPE D'APPUI MOBILE

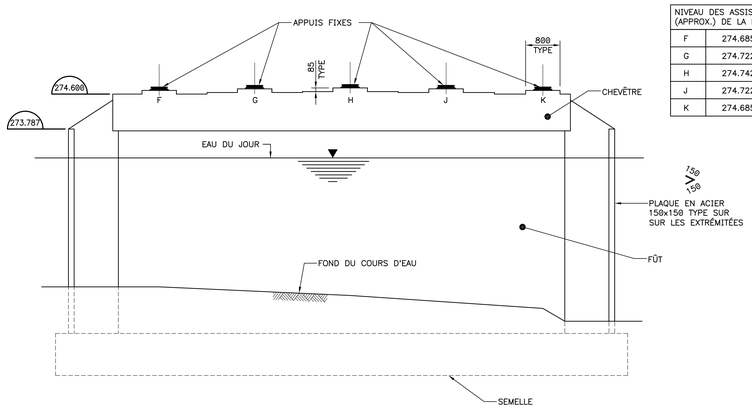
ÉCH.: 1:10



PLAN

PILE AXE 2

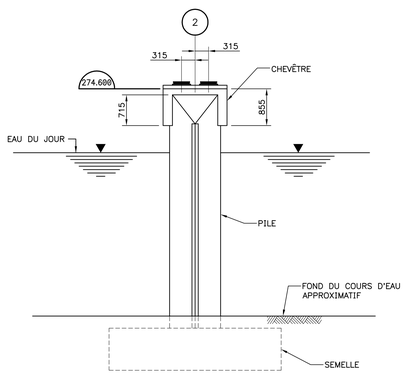
ÉCH.: 1:50



PILE

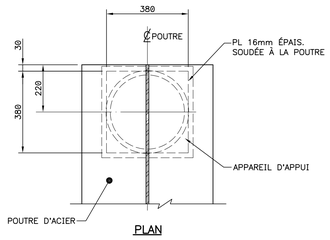
ÉCH.: 1:50

NIVEAU DES ASSISES (APPROX.) DE LA PILE	
F	274.685
G	274.722
H	274.742
J	274.722
K	274.685

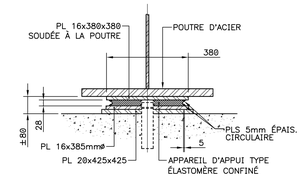


COUPE 3

ÉCH.: 1:50



PLAN



ÉLÉVATION

DÉTAIL TYPE D'APPUI FIXE

ÉCH.: 1:10

LÉGENDE:

- - - - - DIMENSIONS NON-DÉTERMINÉES

NO	NOTES

NO	DATE	RÉVISIONS	REPÈRE	ÉMET.	HQ
0	12-11-15	TEL QUE RELEVÉ À L'INSTALLATION	QUF55	BPR	

NO	RÉFÉRENCES	NO

BPR
RIGUEUR ET AUDACE EN INGÉNIERIE
206, rue Racine Est
Chicoutimi (Québec) G7H 1R9
Téléphone : 418 549-8092
Télécopieur : 418 543-0308
www.bpr.ca

DESSINÉ	G. GILBERT	VÉRIFIÉ DESS.	CARL BOUCHARD
PROJETÉ	SELON RELEVÉS	VÉRIFIÉ	CARL BOUCHARD
APPROUVÉ	P. LAPIERRE	APPROUVÉ	HUGO DE LA SABLONNIÈRE
R. DE T.	QUF55	DATE	2012-11-15

SCEAUX DESSIN ORIGINAL SELON RELEVÉS FAIT À L'INSTALLATION

ÉCHELLE 0 — RAPPORT INDIQUÉ — DIMENSIONS EN mm

Hydro Québec

POSTE DE LA NEMISCAU

PONT AU-DESSUS DE LA RIVIÈRE NÉMISCAU

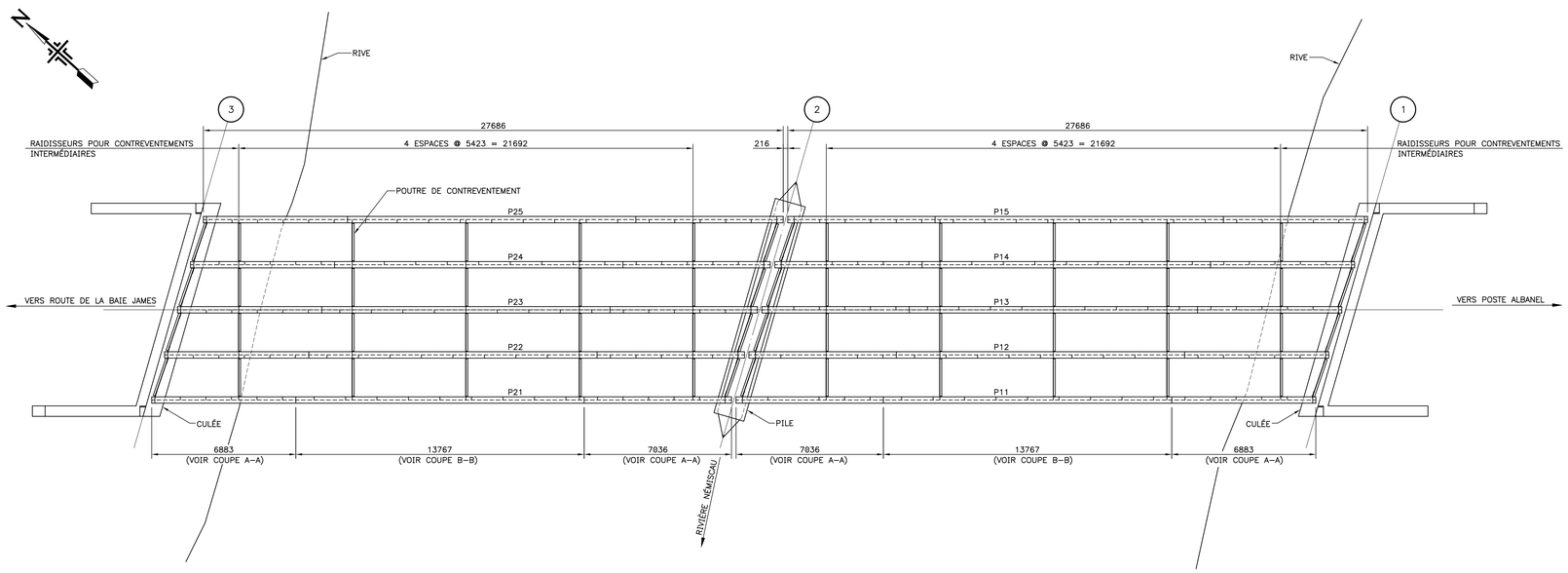
CULÉES ET PILE – DIMENSIONS
DÉTAILS DES APPUIS

3008 70603 003 010 PY0

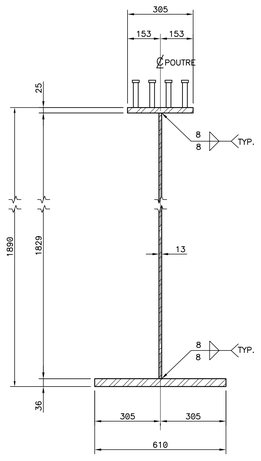
C. D. ENDROIT | FEUILLE 1 DE 1

3008 70603 003 010 PY0

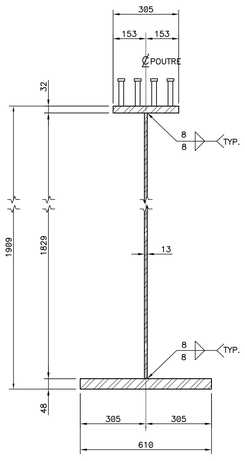
(96-03)



VUE EN PLAN
ÉCH.: 1:100

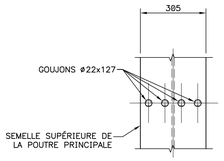


COUPE A-A

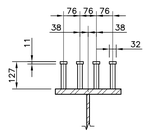


COUPE B-B

DÉTAIL DES POUTRES PRINCIPALES P11 @ P15 ET P21 @ P25
ÉCH.: 1:10



PLAN



COUPE

GOUJONS AUX POUTRES PRINCIPALES
ÉCH.: 1:10

RELEVÉS SUR LA POUTRE P22

ESPACEMENT DES GOUJONS: 100mm C/C À L'APPUI
ESPACEMENT DES GOUJONS: 150mm C/C @ 0,25 L

NO	NOTES

NO	DATE	RÉVISIONS	REPÈRE	ÉMET.	HQ
0	12-11-15	TEL QUE RELEVÉ À L'INSTALLATION	QUF55	BPR	

NO	RÉFÉRENCES	NO

BPR
RIGUEUR ET AUDACE EN INGÉNIERIE
206, rue Racine Est
Chicoutimi (Québec) G7H 1R9
Téléphone : 418 549-8092
Télécopieur : 418 543-0308
www.bpr.ca

DESSINÉ	G. GILBERT	VÉRIFIÉ DESS.	CARL BOUCHARD
PROJETÉ	SELON RELEVÉS	VÉRIFIÉ	CARL BOUCHARD
APPROUVÉ	P. LAPIERRE	APPROUVÉ	HUGO DE LA SABLONNIÈRE
R. DE T.	QUF55	DATE	2012-11-15

SCEAUX DESSIN ORIGINAL SELON RELEVÉS FAIT À L'INSTALLATION

ÉCHELLE 0
RAPPORT INDIQUÉ
DIMENSIONS EN mm

Hydro Québec

POSTE DE LA NEMISCAU

PONT AU-DESSUS DE LA RIVIÈRE NÉMISCAU

CHARPENTE MÉTALLIQUE
DÉTAILS DES POUTRES PRINCIPALES

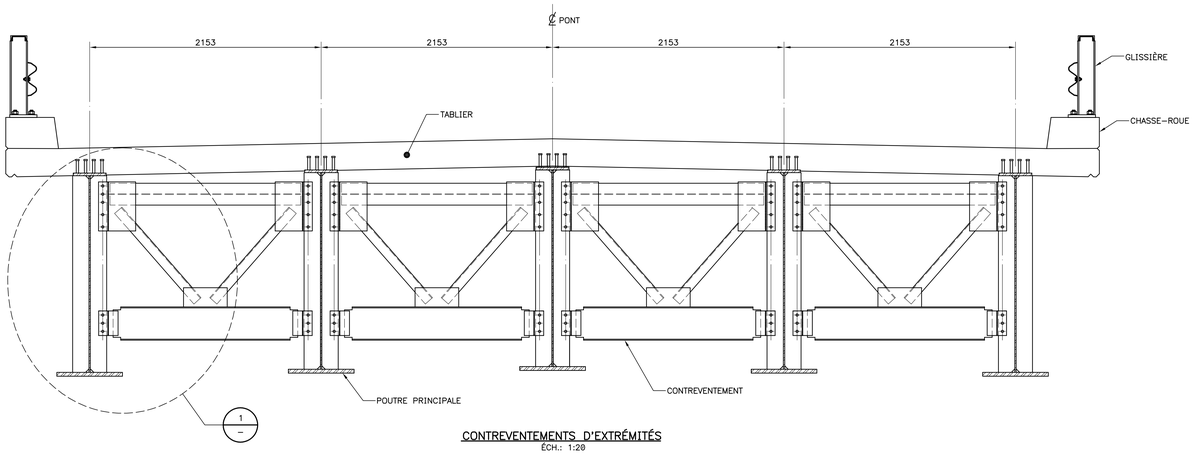
3008 70603 004 010 PY 0

C. D. ENDROIT
FEUILLE 1 DE 1

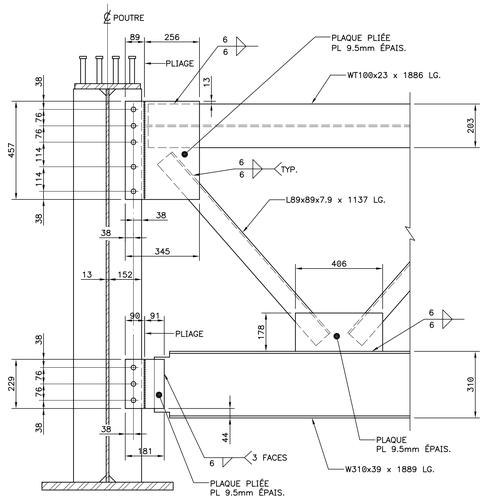
3008 70603 004 010 PY 0

(96-03)

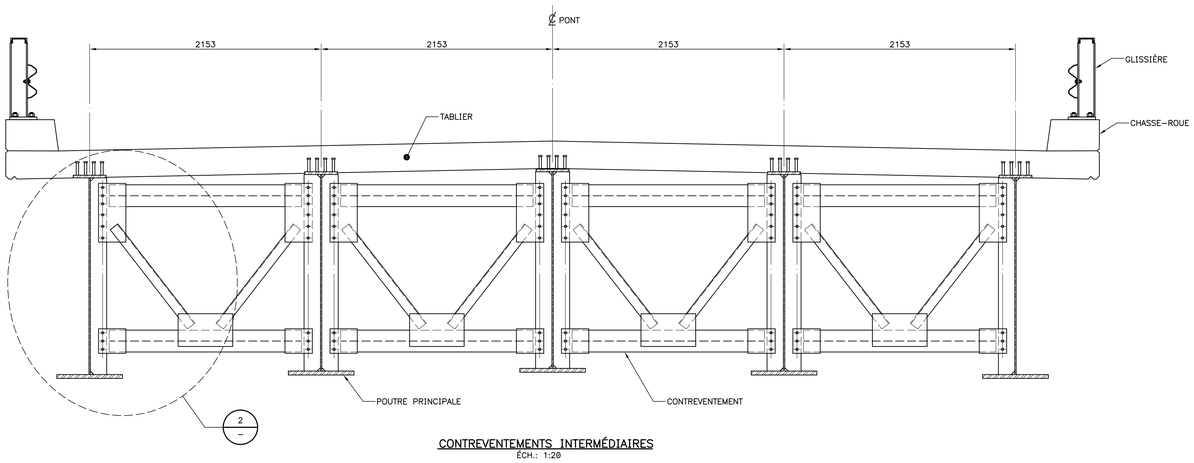
3008 70603 005 010PY0



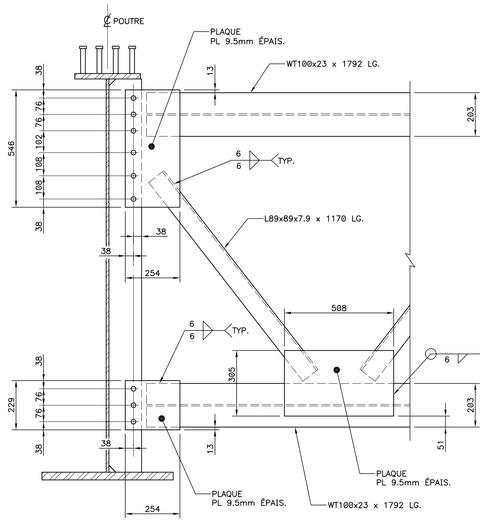
CONTREVENTEMENTS D'EXTRÉMITÉS
ÉCH.: 1:20



DÉTAIL 1
1:10



CONTREVENTEMENTS INTERMÉDIAIRES
ÉCH.: 1:20



DÉTAIL 2
1:10

NOTE:
BOULONS D'ASSEMBLAGE 7/8"ø TYPE

NO	NOTES

NO	DATE	RÉVISIONS	REPÈRE	ÉMET.	HQ
0	12-11-15	TEL QUE RELEVÉ À L'INSTALLATION	QUF55	BPR	

NO	RÉFÉRENCES	NO

BPR
RIGUEUR ET AUDACE
EN INGÉNIERIE
206, rue Racine Est
Chicoutimi (Québec) G7H 1R9
Téléphone : 418 549-8092
Télécopieur : 418 543-0308
www.bpr.ca

DESSINÉ	G. GILBERT	VÉRIFIÉ DESS.	CARL BOUCHARD
PROJETÉ	SELON RELEVÉS	VÉRIFIÉ	CARL BOUCHARD
APPROUVÉ	P. LAPIERRE	APPROUVÉ	HUGO DE LA SABLONNIÈRE
R. DE T.	QUF55	DATE	2012-11-15

SCEAUX DESSIN ORIGINAL SELON RELEVÉS FAIT À L'INSTALLATION

ÉCHELLE 0 — RAPPORT INDIQUÉ
DIMENSIONS EN mm

Hydro Québec

POSTE DE LA NEMISCAU

PONT AU-DESSUS DE LA RIVIÈRE NÉMISCAU

CHARPENTE MÉTALLIQUE
DETAILS DES CONTREVENTEMENTS

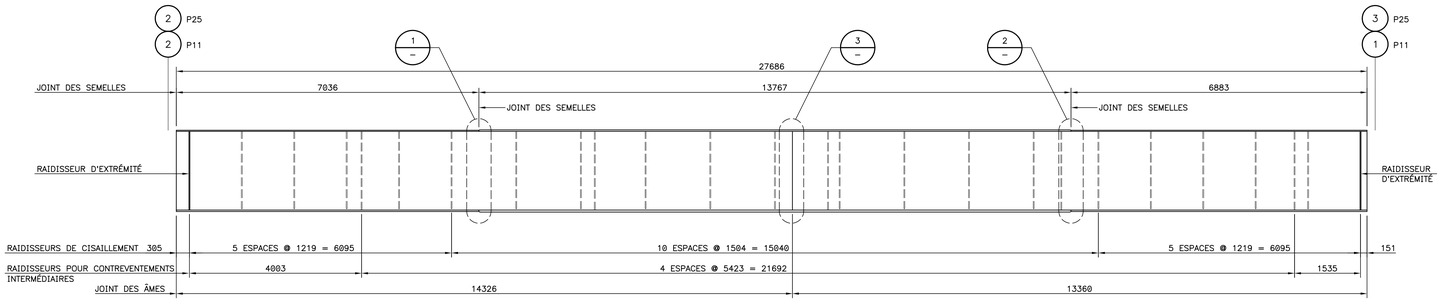
3008 70603 005 010PY0

C. D. ENDROIT — FEUILLE 1 DE 1

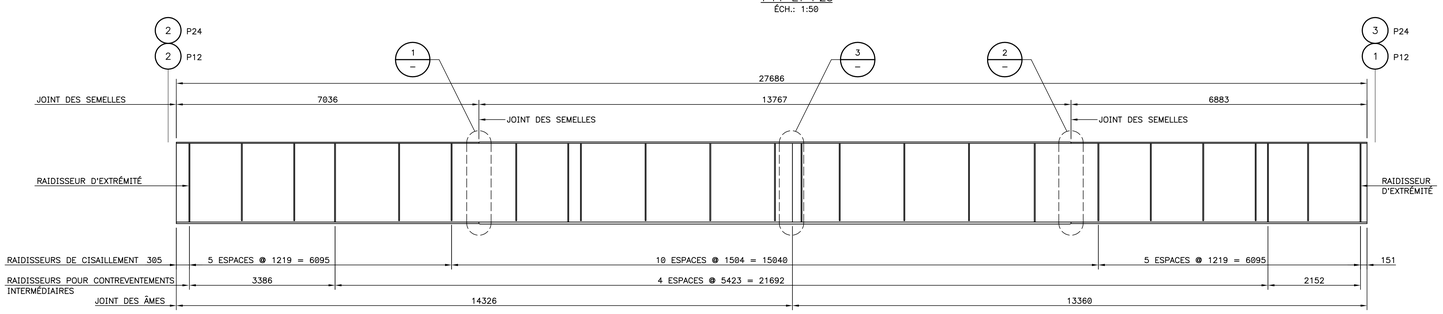
3008 70603 005 010PY0

(96-03)

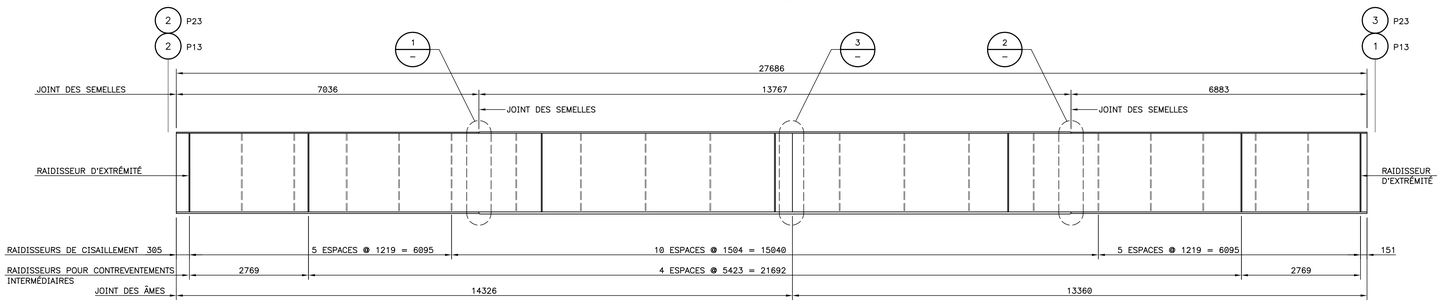
3008 70603006 010PY0



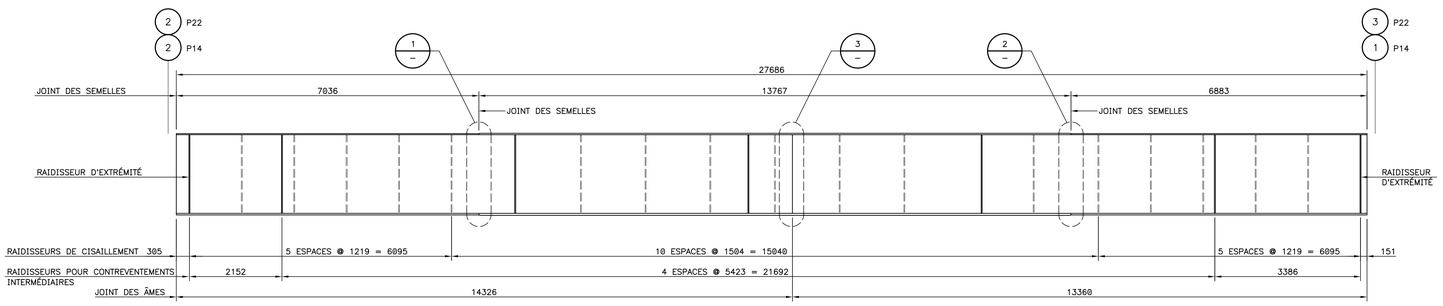
P11 ET P25
ÉCH.: 1:50



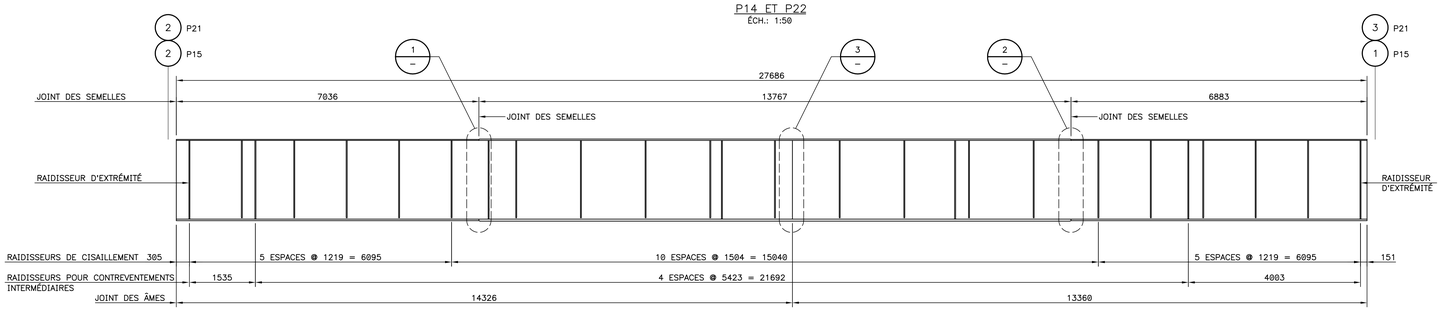
P12 ET P24
ÉCH.: 1:50



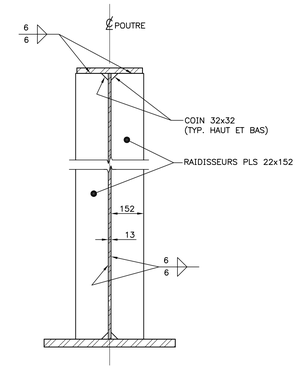
P13 ET P23
ÉCH.: 1:50



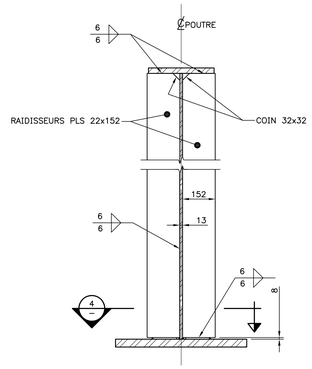
P14 ET P22
ÉCH.: 1:50



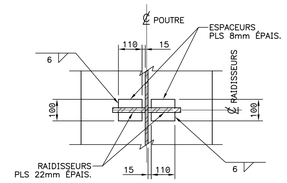
P15 ET P21
ÉCH.: 1:50



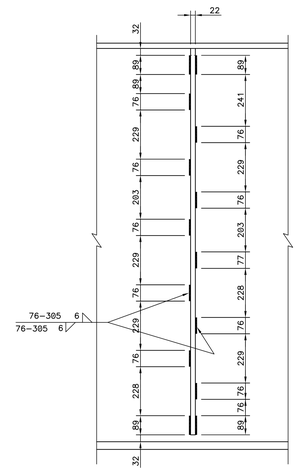
DÉTAIL DES RAIDISSEURS D'EXTRÉMITÉS
ÉCH.: 1:10



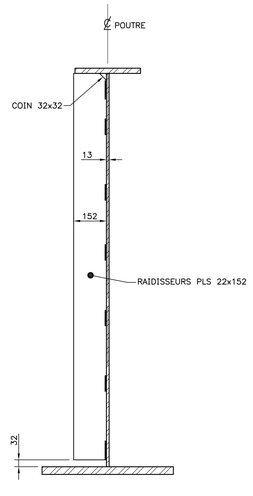
DÉTAIL DES RAIDISSEURS AUX CONTREVENTEMENTS INTERMÉDIAIRES
ÉCH.: 1:10



COUPE 4
ÉCH.: 1:10

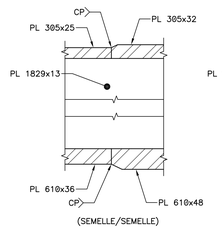


VUE DE FACE



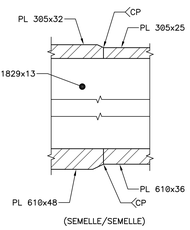
VUE DE PROFIL

DÉTAIL DES RAIDISSEURS DE CISAILLEMENT
ÉCH.: 1:10



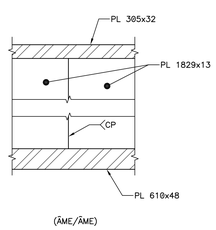
(SEMELLE/SEMELLE)

DÉTAIL 1
ÉCH.: 1:5



(SEMELLE/SEMELLE)

DÉTAIL 2
ÉCH.: 1:5



(ÂME/ÂME)

DÉTAIL 3
ÉCH.: 1:5

NO	NOTES

NO	DATE	RÉVISIONS	REPÈRE	ÉMET.	HQ
0	12-11-15	TEL QUE RELEVÉ À L'INSTALLATION	QUF55	BPR	

NO	RÉFÉRENCES	NO

BPR
206, rue Racine Est
Chicoutimi (Québec) G7H 1R9
Téléphone : 418 549-9092
Télécopieur : 418 543-0308
www.bpr.ca
RIGUEUR ET AUDACE
EN INGÉNIERIE

DESSINÉ	G. GILBERT	VÉRIFIÉ DESS.	CARL BOUCHARD
PROJETÉ	SELON RELEVÉS	VÉRIFIÉ	CARL BOUCHARD
APPROUVÉ	P. LAPIERRE	APPROUVÉ	HUGO DE LA SABLONNIÈRE
R. DE T.	QUF55	DATE	2012-11-15

SCEAUX DESSIN ORIGINAL SELON RELEVÉS FAIT À L'INSTALLATION

ÉCHELLE 0 | RAPPORT INDIQUÉ | DIMENSIONS EN mm

Hydro Québec

POSTE DE LA NEMISCAU

PONT AU-DESSUS DE LA RIVIÈRE NÉMISCAU

CHARPENTE MÉTALLIQUE
DÉTAILS DES RAIDISSEURS ET DES JOINTS
SUR LES POUTRES PRINCIPALES

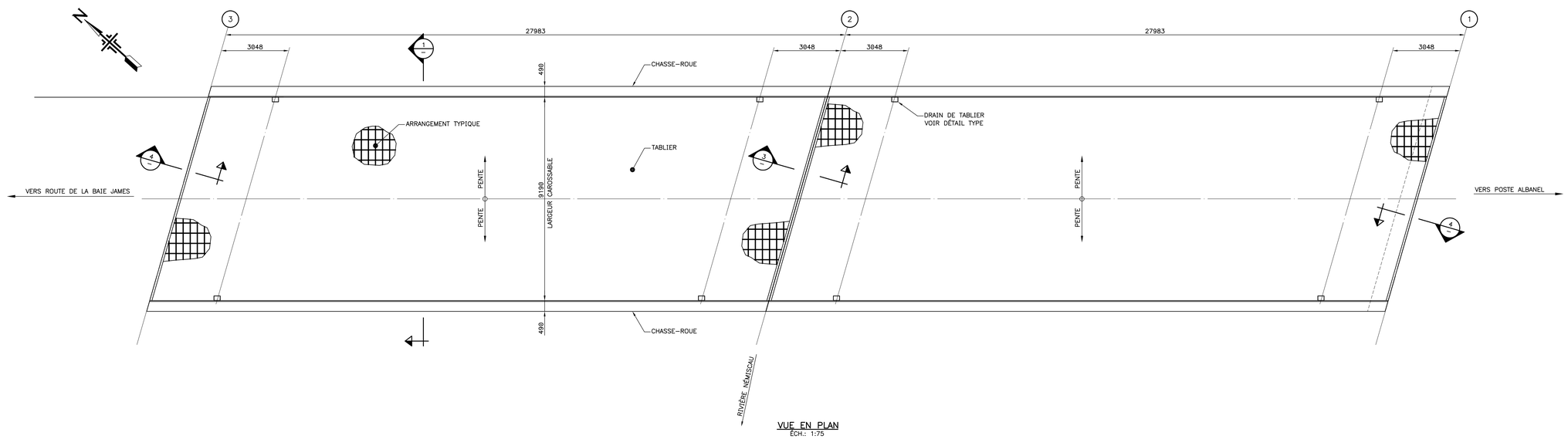
3008 70603006 010PY0

C. D. ENDROIT | FEUILLE 1 DE 1

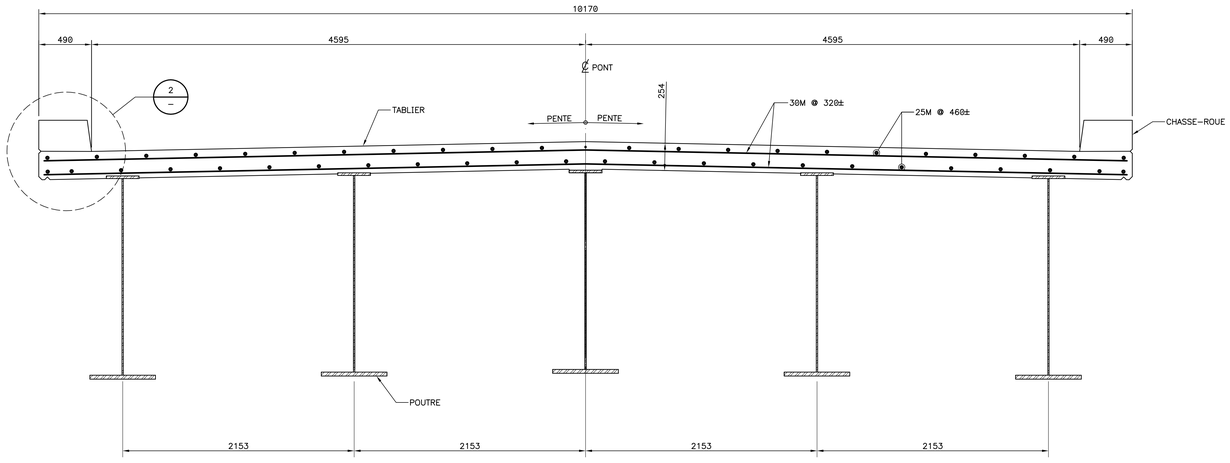
3008 70603006 010PY0

(96-03)

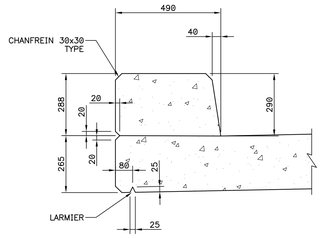
3008 70603007 010PY0



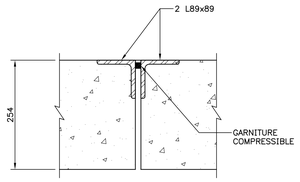
VUE EN PLAN
ÉCH.: 1:75



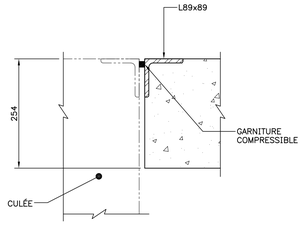
COUPE 1
ÉCH.: 1:20



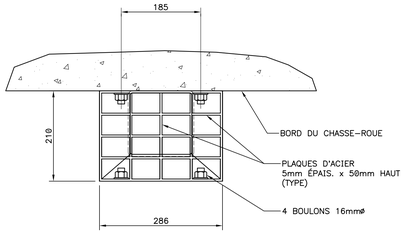
DÉTAIL 2
ÉCH.: 1:10



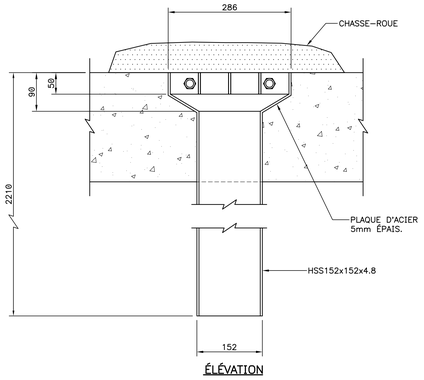
COUPE 3
ÉCH.: 1:5



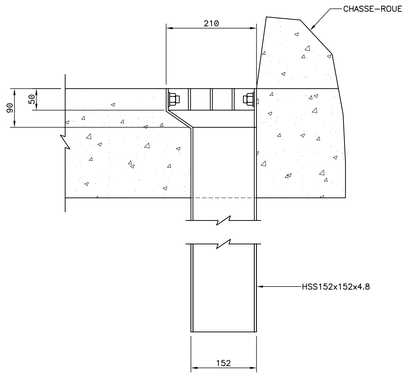
COUPE 4
ÉCH.: 1:5



PLAN



ÉLÉVATION



PROFIL

DÉTAIL TYPE DE DRAIN DE TABLIER (QUANTITÉ: 8)
ÉCH.: 1:5

NO	NOTES

NO	DATE	RÉVISIONS	REPÈRE	ÉMET.	HQ
0	12-11-15	TEL QUE RELEVÉ À L'INSTALLATION	QUF55	BPR	

NO	RÉFÉRENCES	NO

BPR
RIGUEUR ET AUDACE EN INGÉNIERIE
206, rue Racine Est
Chicoutimi (Québec) G7H 1R9
Téléphone : 418 549-8092
Télécopieur : 418 543-0308
www.bpr.ca

DESSINÉ	G. GILBERT	VÉRIFIÉ DESS.	CARL BOUCHARD
PROJETÉ	SELON RELEVÉS	VÉRIFIÉ	CARL BOUCHARD
APPROUVÉ	P. LAPIERRE	APPROUVÉ	HUGO DE LA SABLONNIÈRE
R. DE T.	QUF55	DATE	2012-11-15

SCEAUX DESSIN ORIGINAL SELON RELEVÉS FAIT À L'INSTALLATION

ÉCHELLE 0 — RAPPORT INDIQUÉ
DIMENSIONS EN mm

Hydro Québec

POSTE DE LA NEMISCAU

PONT AU-DESSUS DE LA RIVIÈRE NÉMISCAU
TABLIER
DIMENSIONS ET ARMATURE
DÉTAILS DES DRAINS DE TABLIER

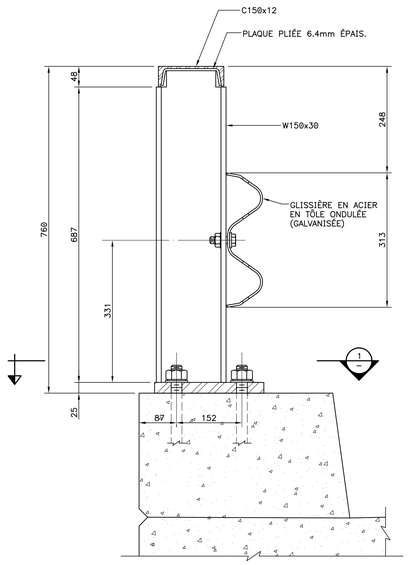
3008 70603007 010PY0

C. D. ENDROIT — FEUILLE 1 DE 1

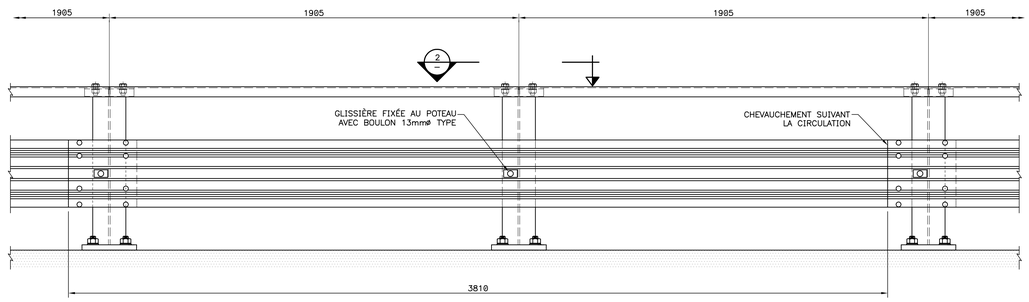
3008 70603007 010PY0

(96-03)

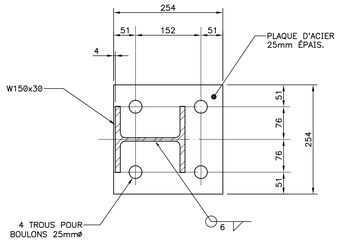
3008 70603008 010PY0



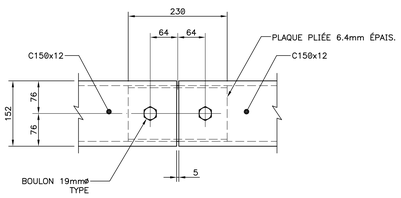
COUPE TYPE POTEAU DE GLISSIÈRE
ÉCH.: 1:5



ÉLÉVATION TYPE DE GLISSIÈRE
ÉCH.: 1:10



COUPE 1
ÉCH.: 1:5



COUPE 2
ÉCH.: 1:5

NO	NOTES

NO	DATE	RÉVISIONS	REPÈRE	ÉMET.	HQ
0	12-11-15	TEL QUE RELEVÉ À L'INSTALLATION	QUF55	BPR	

NO	RÉFÉRENCES	NO

BPR
RIGUEUR ET AUDACE
EN INGÉNIERIE
206, rue Racine Est
Chicoutimi (Québec) G7H 1R9
Téléphone : 418 549-8092
Télécopieur : 418 543-0308
www.bpr.ca

DESSINÉ	G. GILBERT	VÉRIFIÉ DESS.	CARL BOUCHARD
PROJETÉ	SELON RELEVÉS	VÉRIFIÉ	CARL BOUCHARD
APPROUVÉ	P. LAPIERRE	APPROUVÉ	HUGO DE LA SABLONNIÈRE
R. DE T.	QUF55	DATE	2012-11-15

SCEAUX DESSIN ORIGINAL SELON RELEVÉS FAIT À L'INSTALLATION

ÉCHELLE 0
RAPPORT INDIQUÉ
DIMENSIONS EN mm

Hydro Québec

POSTE DE LA NEMISCAU

PONT AU-DESSUS DE LA RIVIÈRE NÉMISCAU

DÉTAILS DES GLISSIÈRES DE SÉCURITÉ

3008 70603008 010PY0

C. D. ENDROIT

FEUILLE 1 DE 1

3008 70603008 010PY0

(96-03)

ANNEXE 2 – RELEVÉS DE L'INVESTIGATION DESTRUCTIVE DE LA DALLE

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

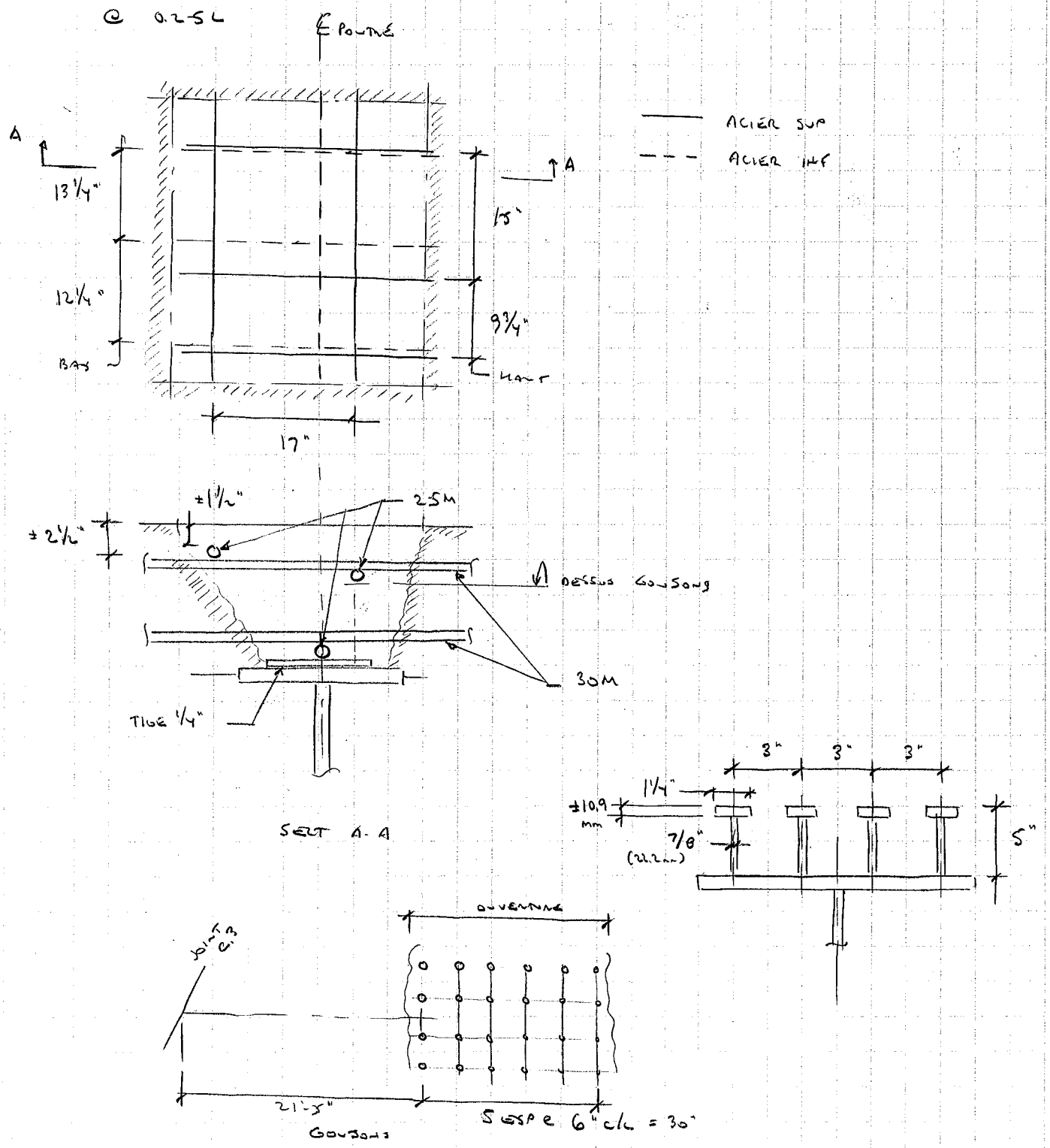
Nom du projet: ____

Par: PL

Date: 28 AOUT '12

Sujet: Relevés Armatures

No du projet: ____



FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

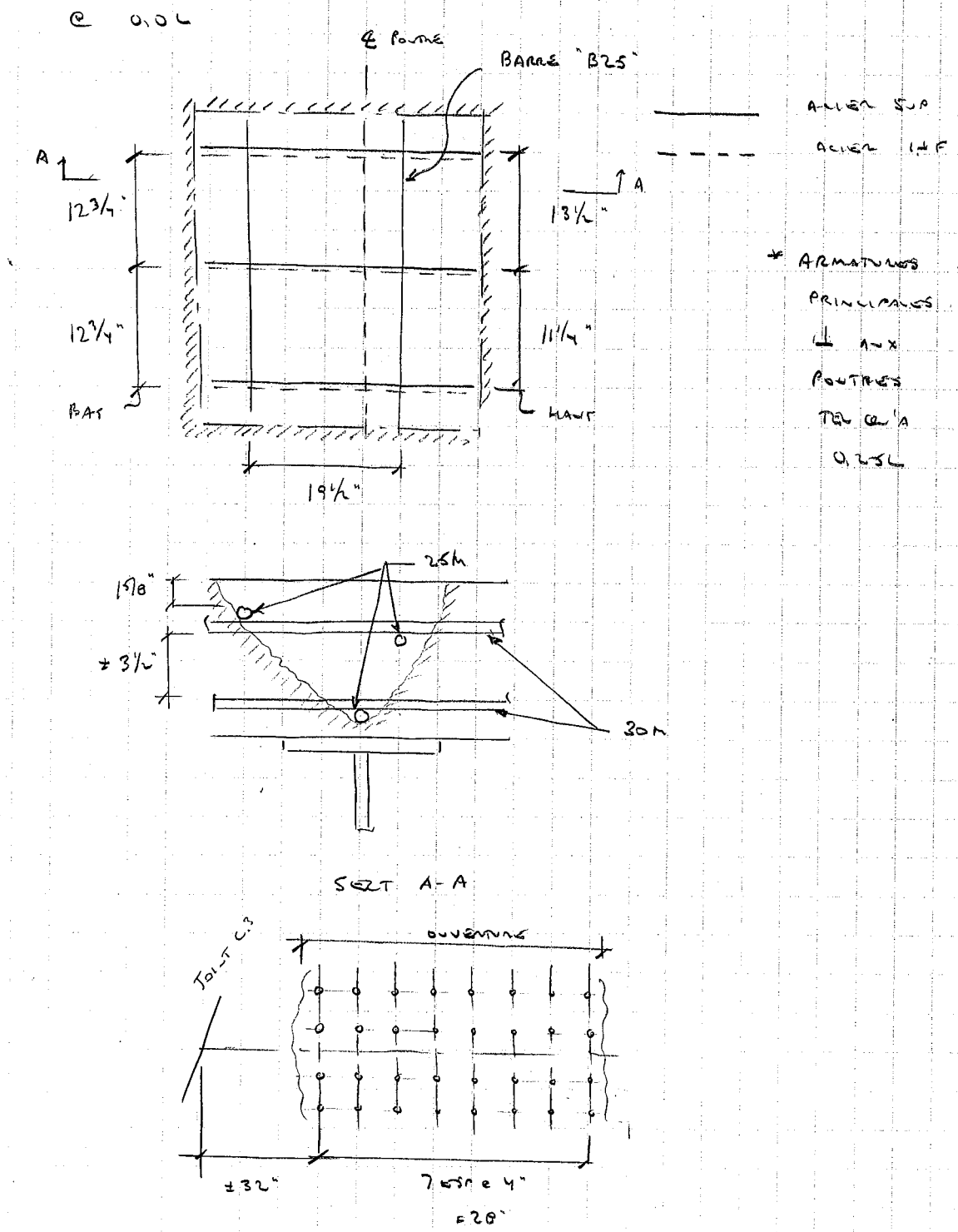
Nom du projet: _____

Par: [illegible]

Date: 28 AOUT '12

Sujet: RELEVES ARMATURES

No du projet: _____



Imprimerie J.B.R. inc.

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

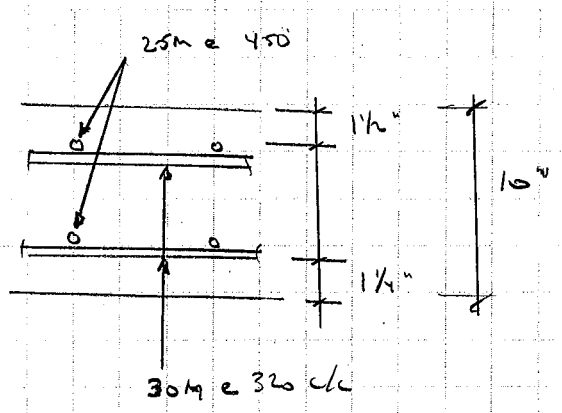
BPR

Nom du projet: ____ Par: P.L.

Date: 28 AOUT '12

Sujet: ____ No du projet: ____

VALEURS A UTILISER POUR LE CALCUL

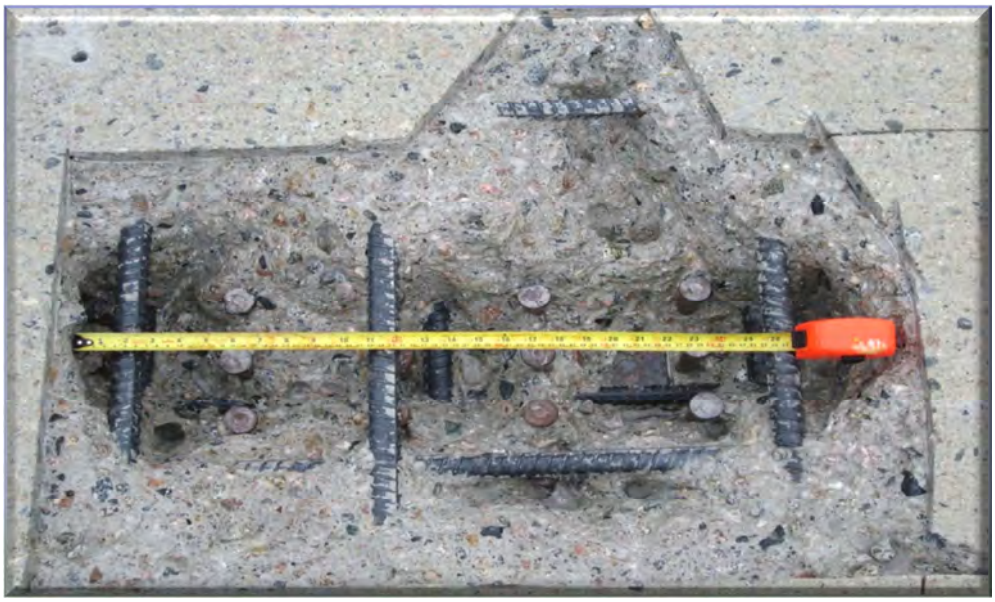


Imprimerie J.B.R. inc.

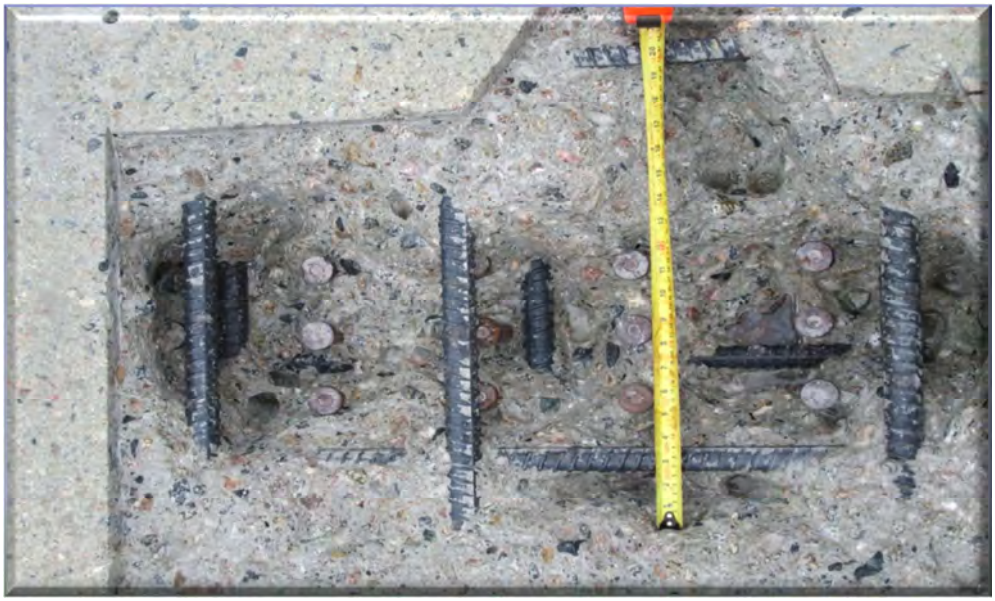
ANNEXE 3 – PHOTOS PRISES LORS DE L'INVESTIGATION DESTRUCTIVE DE LA DALLE

PHOTOS PRISES LORS DE L'INVESTIGATION DESTRUCTIVE DE LA DALLE

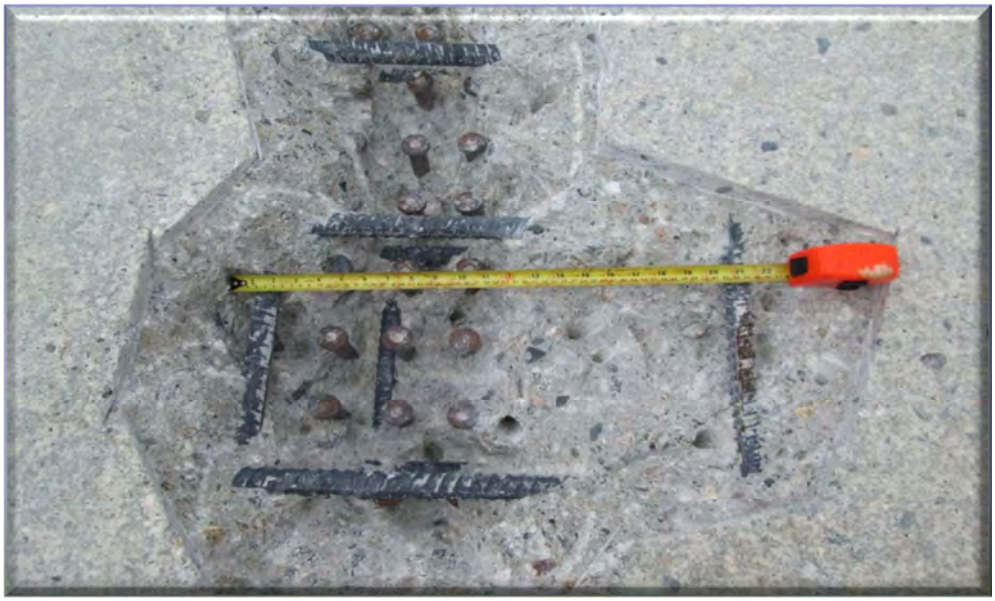
- Installation des équipements pour le découpage de la dalle (vue vers l'est) et signalisation



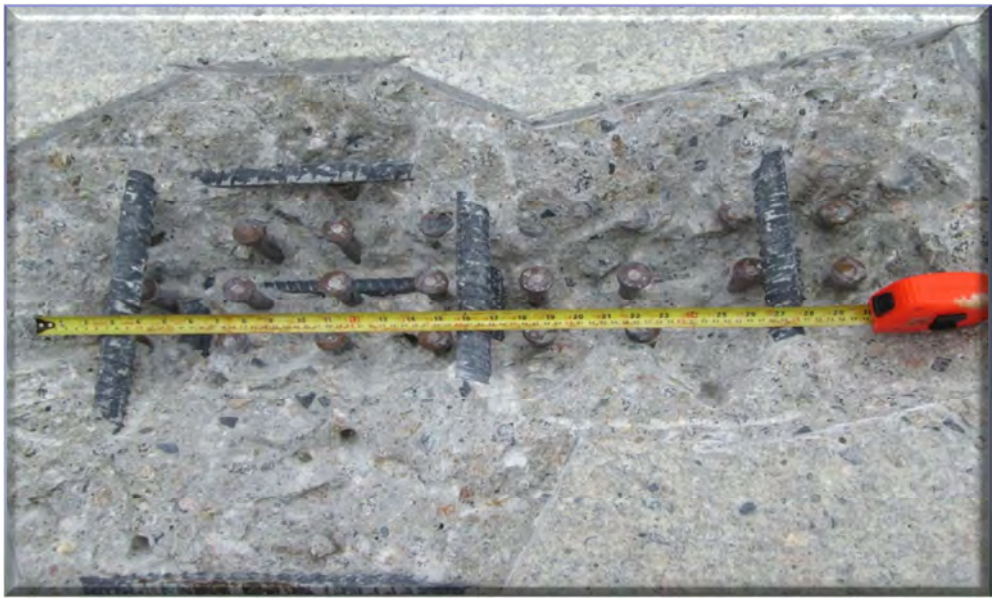
- Démolition de la dalle à 0.25 L



- Démolition de la dalle à 0.25L



- Démolition de la dalle près de l'appui



- Démolition de la dalle près de l'appui

- Vue des goujons

- Détail d'une barre d'armature transversale (B25)

- Travaux de démolition

- Travaux de nettoyage du béton avant le bétonnage

- Préparation du coulis de réparation

- Réparation de la dalle à 0.25L

- Réparation de la dalle près de l'appui

ANNEXE 4 – DOCUMENTS TIRÉS DU LIVRE «LE COMPLEXE HYDROÉLECTRIQUE DE LA GRANDE RIVIÈRE - RÉALISATION DE LA PREMIÈRE PHASE»

Le plus urgent, à l'annonce de la réalisation du projet de la Baie James, est de doter le territoire d'infrastructures de base: réseaux de transport terrestre et aérien, agglomérations pour l'hébergement du personnel de construction, systèmes de télécommunications. Il s'agit, d'une part, de satisfaire aux exigences de l'aménagement le plus rapide du potentiel hydroélectrique et, d'autre part, de prévoir des installations qui permettront le développement ultérieur des autres ressources du territoire.

La tâche est immense. En 1971, la région de La Grande Rivière n'est accessible que par avion de brousse ou par hélicoptère. Aucun village n'existe au voisinage des sites des ouvrages. Le réseau routier public et le chemin de fer s'arrêtent à Matagami, petite ville minière située à 600 km au sud de La Grande 2. Des ressources considérables ont donc été engagées pour la construction, l'exploitation et l'entretien des infrastructures qui représentent environ 16% du coût total de l'aménagement de la première phase du Complexe La Grande (mandat SEBJ).

La figure 4.1 présente les principales infrastructures construites pour la réalisation du Complexe.

Réseau routier

Divers modes de transport des marchandises sont initialement comparés. Il est d'abord envisagé de prolonger le chemin de fer existant depuis Matagami, mais ce mode de transport répond mal à l'éventail des besoins. Le transport maritime est éliminé à cause de sa lenteur, des distances à parcourir et de la très courte saison de navigation. Il sera cependant utilisé au cours de l'été 1972 pour approvisionner les entrepreneurs chargés de la construction de la route Fort George-La Grande 2. Finalement, la route offre la solution la plus avantageuse et la plus flexible puisque, à partir d'un axe principal sud-nord, on peut y greffer à volonté des embranchements secondaires vers les destinations désirées.

À la mi-1971, les études débutent sur le projet de cet axe principal devant relier Matagami au site de La Grande 2, avec un embranchement vers Fort George. C'est la SDBJ qui a géré ces travaux de construction. Fin 1974, la SEBJ entreprend la construction d'un axe est-ouest permettant de relier les autres chantiers. Au total, le réseau routier de la Baie James comprend environ 1500 km de routes permanentes.

Route principale d'accès

Cette route privée, d'accès contrôlé, relie Matagami au site de l'aménagement de La Grande 2 et s'étend sur 620 km. Le premier objectif du mandat confié à la mi-1971 est d'atteindre la rivière de Rupert par une route carrossable avant la fin de 1972 et de desservir La Grande Rivière avant la fin de 1973. Le projet doit donc être réalisé en un temps record. L'ingénieur-conseil ne dispose que de 15 mois pour l'implantation du tracé et l'émission des documents d'appel d'offres, alors que les entrepreneurs ne peuvent compter que sur quelque

La route principale d'accès, entre Matagami et La Grande 2, s'étend sur 620 km

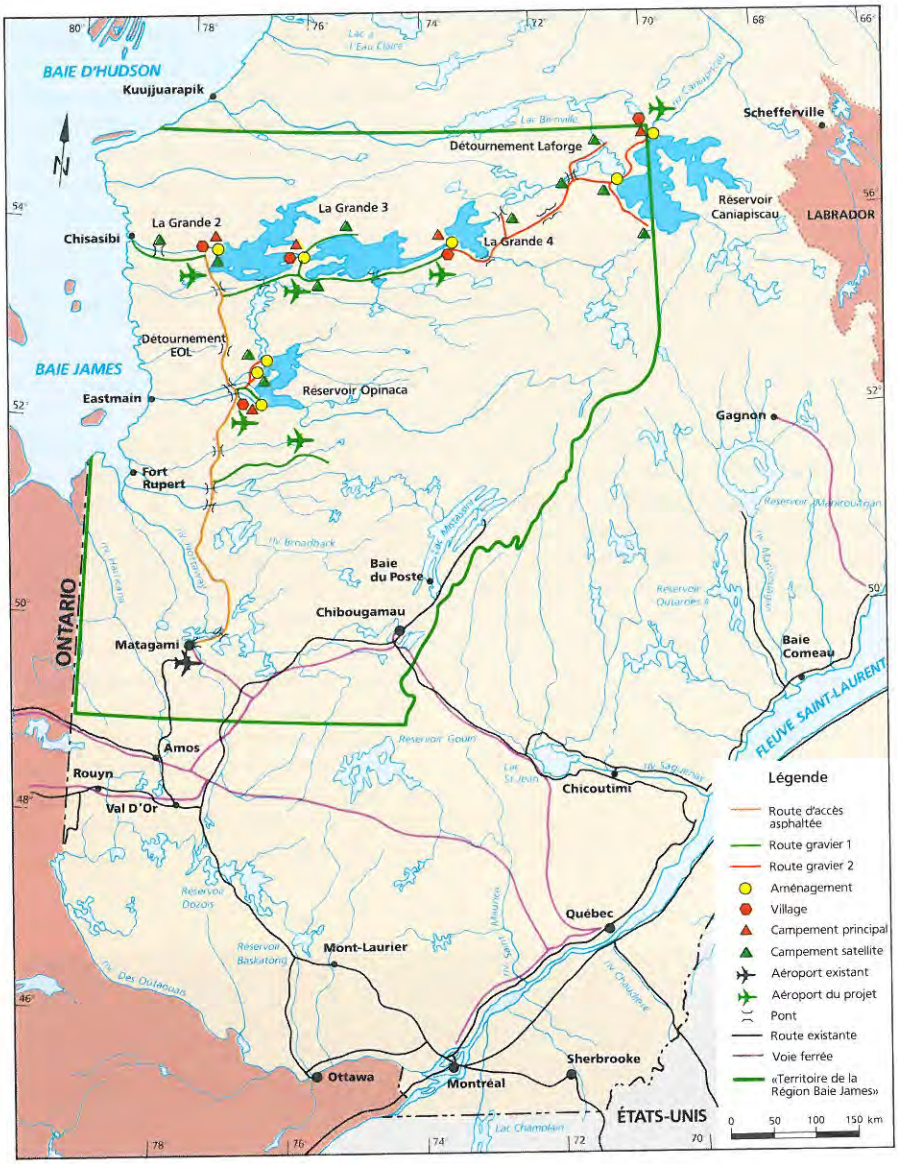


Figure 4.1 – Carte des infrastructures principales

450 jours ouvrables pour la construction.

Conception générale

La réalisation du Complexe exige le transport d'un volume important de marchandises dont certaines, comme les roues de turbines ou les transformateurs, sont particulièrement lourdes. La conception de la route d'accès doit donc autoriser le transport extra-lourd en toutes saisons. Les caractéristiques structurales de la chaussée sont basées sur l'hypothèse d'une affluence quotidienne de 500 passages d'une charge axiale simple équivalant à 8 t pendant une période de 10 ans.

En prévision d'une intégration éventuelle au réseau routier provincial, les normes géométriques d'une route de première classe sont retenues afin de permettre une vitesse de roulement de 90 km/h, d'où des critères sévères d'alignement vertical et horizontal. C'est ainsi que le rayon minimum de courbure est fixé à 390 m et la pente longitudinale maximum à 5%. La chaussée est constituée de deux voies de roulement pavées de 3,6 m de largeur et d'accotements non pavés de 3 m. L'emprise totale est de 45 m.

L'implantation du tracé a été effectuée à partir de l'interprétation de photos aériennes et complétée par une intense campagne de relevés topographiques et géotechniques. Les moraines, les argiles et les tourbières constituent les principaux dépôts de surface. Les moraines sont les dépôts les plus généralement répandus dans le territoire. Leur délavage a laissé à certains endroits des zones importantes de sable et gravier. Les argiles, d'origine lacustre ou marine, sont problématiques pour un projet routier: teneur en eau supérieure à la limite liquide, faible résistance au cisaillement, forte compressibilité et grande sensibilité au remaniement. Les tourbières, élément typique du paysage, constituent environ 10% du terrain dans le corridor de la route permanente.

Ces sols ont conduit à prévoir, de façon générale, un tracé épousant le relief du terrain. Le tracé doit de plus tenir compte du développement futur du Complexe NBR, en évitant l'emprise des réservoirs et détournements prévus.

Les zones argileuses se rencontrent principalement le long des 250 premiers km, jusqu'à la rivière Broadback. Dans ces zones, la couverture de mousse, les racines, les souches et la couche d'argile raide de surface ont été laissées en place pour éviter une détérioration du dépôt sous-jacent constitué d'argile molle et sensible. Les normes conventionnelles auraient exigé de débarrasser l'assiette de la route de tout matériau végétal, mou et compressible. Les déblais de construction ont été contrôlés au maximum dans ces sols afin de conserver l'effet bénéfique de la végétation et de la mince couche d'argile raide de surface.

Les approches de certains ponts et le franchissement de vallées ont cependant nécessité la mise en place de remblais sur fondation argileuse. Dans le cas particulier du premier ouvrage en terre qui devait servir d'approche au pont de la rivière Bell à Matagami, des études en chantier et en laboratoire, appuyées par une instrumentation de contrôle, ont permis de vérifier les hypothèses fondamentales de conception, portant sur la mobilisation de la résistance au cisaillement en tenant compte des caractéristiques de plasticité de l'argile, de l'effet de la cimentation naturelle du dépôt, du temps de dissipation des pressions interstitielles et de l'hypothèse de rupture progressive.

L'observation du comportement des sols en chantier et en laboratoire et l'étude d'autres cas similaires ont permis de conclure que la méthode de

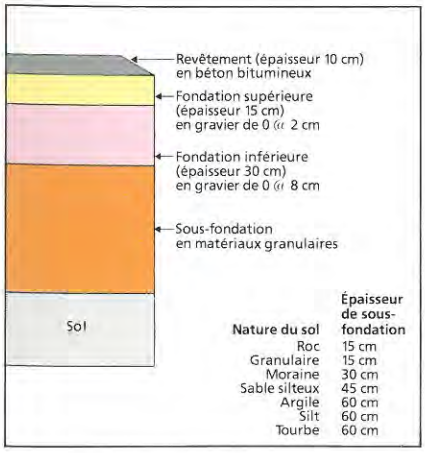
Transport sur fardier d'un transformateur

construction de remblais par étapes n'était pas recommandable pour ces argiles molles, à cause du trop long temps requis pour réaliser une consolidation acceptable.

La stabilité des remblais majeurs a donc été assurée à l'aide de bermes latérales, résistant au moment de renversement, et la construction a été réalisée en une seule étape. Des matériaux ordinaires ont servi pour les remblais et les tassements de la fondation ont été appréciables dans plusieurs cas. Par exemple, huit mois après sa construction, le remblai d'approche au pont de la rivière Bell s'était affaissé d'environ 50 cm.

Les tourbières ont été franchies en utilisant la méthode dite de surcharge. À cette fin, on a utilisé le système de classification de Van Post comme approche générale, en reliant le degré de décomposition de la tourbe exprimé par l'échelle Van Post avec les propriétés géotechniques de résistance et de déformation du sol. Aucune excavation de la croûte végétale et fibreuse n'est permise, de sorte que le remblai de la route flotte à toutes fins utiles sur le dépôt organique. À quelques endroits cependant, des tourbières peu profondes ont été excavées ou déplacées sous le poids du remblai.

Figure 4.2 – Section type de la chaussée



La chaussée

À cause de la rareté de matériaux adéquats et de leur coût prohibitif, il n'était pas économique de protéger totalement la route contre les effets du gel, en suivant la pratique normale d'utiliser un matériau non gélif sur une épaisseur d'au moins 50% de la profondeur de pénétration du gel. C'est pourquoi la conception de la chaussée tient compte de la résistance structurale des sols rencontrés et des variations saisonnières de capacité portante. En conséquence, la conception structurale du pavage s'est appuyée sur les critères de l'Asphalt Institute et de l'AASHO.

La section type de la chaussée (figure 4.2) consiste en 45 cm de gravier ou pierre concassée de différentes catégories pour les fondations supérieure et inférieure. Selon la nature du sol de fondation, l'épaisseur de la couche de sous-fondation varie de 15 à 60 cm.

Pour le choix d'un ciment asphaltique devant servir de liant au revêtement bitumineux spécifié pour le pavage de la route, deux exigences fondamentales doivent être satisfaites:

- réduire et contrôler la fissuration transversale associée à la contraction thermique du revêtement pendant l'hiver;
- fournir une stabilité adéquate au pavage pour le protéger de l'orniérage associé aux charges axiales lourdes circulant pendant l'été.

D'une part, l'usage d'un bitume mou réduit effectivement la fissuration et procure un pavage vraiment flexible et, d'autre part, un bitume dur est stable à haute température. Entre ces exigences opposées, un compromis a dû être effectué, compromis d'autant plus difficile que l'hiver est rigoureux et l'été relativement chaud. Par l'usage d'un ciment asphaltique de pénétration 300/400 à faible susceptibilité aux changements de température, le pavage a été protégé contre les effets d'une température aussi basse que –50°C. Il admet cependant un certain degré de fissuration.

Ponts

La route d'accès doit franchir une douzaine de rivières. Chaque pont a fait l'objet d'une étude particulière, afin de déterminer la solution la plus économique. Les critères de chargement, illustrés à la figure 4.3, sont les suivants:

Figure 4.3 – Critères de chargement des ponts permanents

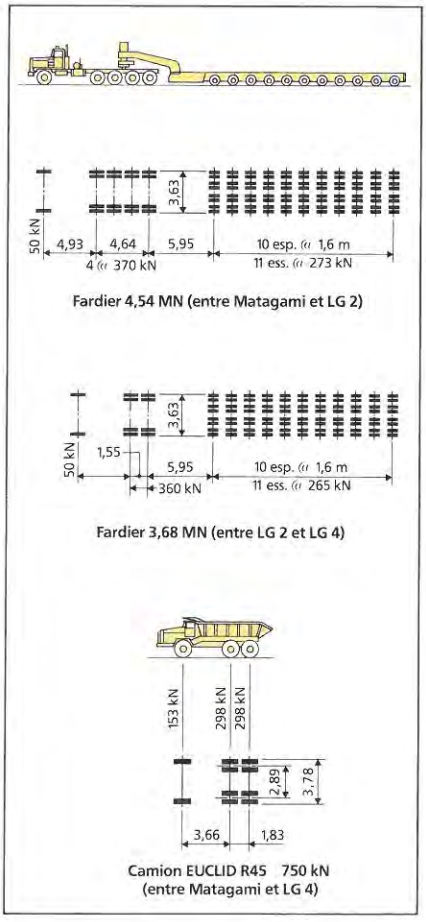


Tableau 4.1
Route d'accès – Caractéristiques des ponts

Pont	Point kilométrique (km)	Type	Fondation	Longueur totale (m)	Portée maximale (m)	Superficie carrossable (m^2)	Acier de superstructure (kg/m^2)
Bell	3,5	Poutres continues	Roc et pieux	411	70	3 760	430
Waswanipi	38	Poutres continues	Roc et moraine	140	66	1 280	383
Broadback	232	Poutres continues	Roc	100	58	915	397
de Rupert	257	Haubanné	Moraine	178	98	1 630	745
Pontax III	294	Poutres simples	Roc	24	24	220	269
Pontax I	307	Poutres continues	Roc	122	61	1 115	400
Pontax II	312,5	Poutres continues	Pieux	85	49	780	300
Jolicœur	326	Poutres simples	Roc	24	24	220	267
Eastmain	394	Arche	Roc	274	119	2 505	564
Opinaca	411	Poutres continues	Roc	91	58	835	430
Castor	552	Poutres simples	Roc	43	43	395	326

- un fardier de 450 t sans impact, circulant au centre du pont à vitesse réduite;
- deux camions Euclid (série R-45 modèle FFD) avec impact, circulant au centre du pont et à 12 m l'un de l'autre;
- deux camions Euclid (un par voie) avec impact, circulant à 0,6 m du chasse-roue;
- charge uniforme de 5,8 kPa sur la surface totale du tablier.

Pareils chargements ne se prêtent pas économiquement à une analyse classique de la répartition des charges sur les poutres maîtresses, mais commandent plutôt un calcul tridimensionnel effectué par ordinateur de la distribution des efforts en tenant compte de la contribution des diaphragmes comme membrures structurales.

Compte tenu des délais très courts impartis pour la construction, la solution adoptée consiste en un tablier de béton coulé en place et supporté par une superstructure métallique. Afin de minimiser les coûts de transport, de montage et d'entretien, les ponts sont conçus en acier intempérique de type G40.21 350 AT, sans peinture et à haute résistance à la corrosion atmosphérique. De plus, pour pouvoir accommoder sans risque de rupture fragile des températures d'exploitation très basses (−50°C), ces aciers doivent offrir des niveaux de résilience d'au moins 27 J à −30°C, selon la méthode des essais Charpy. Les principales caractéristiques des ouvrages de franchissement sont résumées dans le tableau 4.1. Ils comportent deux voies de circulation.

Enfin, un ponceau de 15,5 m de diamètre assure le franchissement de la

Pont Eastmain

Ponceau sur la rivière Vieux-Comptoir

rivière Vieux-Comptoir (au PK 462); il supporte un remblai de 13,5 m de hauteur sur une portée de 15,5 m. Sa stabilité est assurée par la création d'un effet d'arche dans une zone du remblai au-dessus du conduit afin de réduire la pression des terres s'exerçant sur la structure.

Environ 1000 km de routes permanentes en gravier permettent de relier les différents chantiers à la route principale

Embranchements

Plusieurs embranchements se sont progressivement greffés à la route d'accès, au fur et à mesure du déroulement des travaux du Complexe La Grande. Le plus important correspond à un axe est-ouest qui permet de relier les sites de La Grande 3, La Grande 4 et Caniapiscau. À l'origine, il avait été prévu que cette route s'arrêterait à La Grande 4, l'approvisionnement du chantier de Caniapiscau étant alors prévu par pont aérien et route d'hiver. Cependant, en 1977, compte tenu du développement prévisible du potentiel hydroélectrique le long du détournement Laforge, la SEBJ décidait de relier La Grande 4 au chantier de Caniapiscau par une route permanente de pénétration. La route rejoignait La Grande 3 à la fin de 1975, La Grande 4 deux ans plus tard et Caniapiscau à l'automne de 1979. Les distances, mesurées depuis l'intersection avec la route principale d'accès, sont les suivantes:

- **La Grande 3** : 126 km
- **La Grande 4** : 314 km
- **Brisay** : 577 km
- **Duplanter** : 664 km

Les autres embranchements principaux à la route Matagami - La Grande 2 sont (figure 4.1):

- une route, de 150 km de longueur, construite par Hydro-Québec pour desservir les postes de Némiscau et Albanel;
- une route permanente d'accès, de 40 km de longueur, vers les ouvrages du détournement EOL;
- le tronçon Duncan, de 11 km de longueur, pour la construction des digues du même nom;
- le tronçon La Grande 2 - Fort George (90 km), réalisé par la SDBJ dès 1974, qui permet de relier également le village de Chisasibi et le chantier de La Grande 1.

Tous ces embranchements sont constitués de routes en gravier, qui sont de deux types:

- la route en gravier de type 1 correspond à une route d'accès permanent, dont la largeur varie selon les tronçons entre 9,8 et 11,6 m. Elle est conçue pour une vitesse de croisière de 90 km/h et pour résister aux passages de fardiers de 360 t. Une coupe type de ce genre de route est montrée à la figure 4.4;
- la route en gravier de type 2 correspond à une route de pénétration dont la largeur type est de 7,3 m.

Figure 4.4 – Coupe type d'une route en gravier

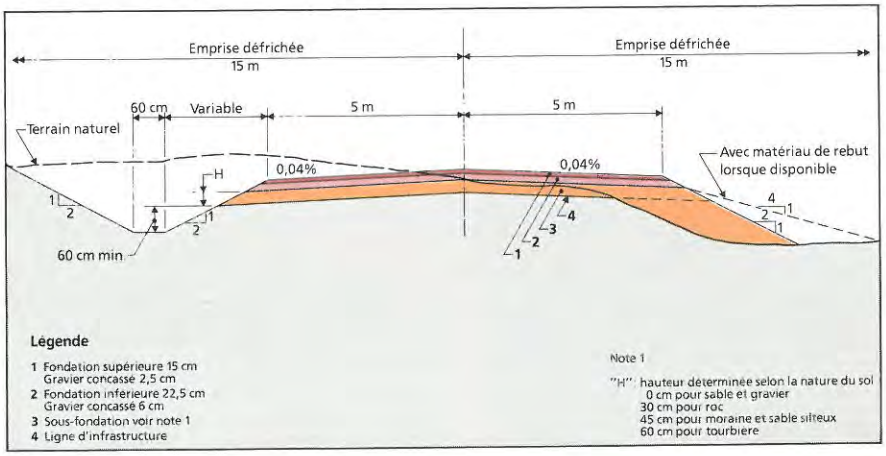


Tableau 4.2
Route La Grande 2 – Caniapiscau
Caractéristiques des ponts

Pont	Point kilométrique (km)	Type	Fondation	Longueur totale (m)	Portée maximale (m)	Superficie carrossable (m^2)	Acier de superstructure (kg/m^2)
Sakami	60	Poutres continues	Roc	162	61	1 480	312
Corvette	201	Haubanné	Roc	132	91,5	1 205	610
Polaris	357	Poutres continues	Roc	288	61	1 625	410
B14	455	Bailey	Cages de bois	49	49	275	423
B15	456	Bailey	Cages de bois	30,5	30,5	170	270
C10	515	Bailey	Cages de bois	49	49	275	423
C11	520	Bailey	Cages de bois	46	46	260	423

Elle est conçue pour une vitesse de référence de 50 km/h et des charges maximales de 100 t.

En plus de critères technico-économiques, l'alignement des routes doit respecter les directives de protection de l'environnement, qui consistent essentiellement à:

- maintenir la route à environ 75 m de tous les lacs et cours d'eau, sauf sur de courtes distances, pour améliorer l'esthétique du parcours;
- limiter les franchissements de cours d'eau;
- ne pas entraver le drainage;
- minimiser les travaux de déboisement;
- protéger les sites d'intérêt économique, esthétique, historique ou archéologique.

Mentionnons cependant que la construction des routes du Complexe La Grande a débuté avant que ne soient établies ces directives. Certains travaux de réaménagement ont donc dû être effectués sur les premiers tronçons construits.

Lorsque la route doit traverser une tourbière, l'excavation n'est en général pas requise. Les arbres provenant du déboisement peuvent servir de matelas. Le franchissement s'effectue par surcharge de la tourbière à l'aide de matériaux granulaires. En cas de pénurie de ces matériaux ou d'une trop faible capacité portante du sol, des membranes géotextiles sont utilisées.

La réalisation de l'axe est-ouest a nécessité la construction de sept ponts dont les caractéristiques principales sont données au tableau 4.2. À partir du pont Polaris, c'est-à-dire sur le tronçon La Grande 4 - Caniapiscau où le trafic est moins intense, les ponts ne comprennent qu'une seule voie de circulation.

La réalisation du Complexe La Grande a également nécessité la construction de ponts temporaires, parmi lesquels les ouvrages les plus importants sont les ponts Caniapiscau pour accéder à l'île Duplanter, Laforge 1 sur la rivière Laforge pour accéder au site des digues provisoires, Fontanges au-dessus du canal de fuite de l'ouvrage de sor-

Figure 4.5 – Pont temporaire

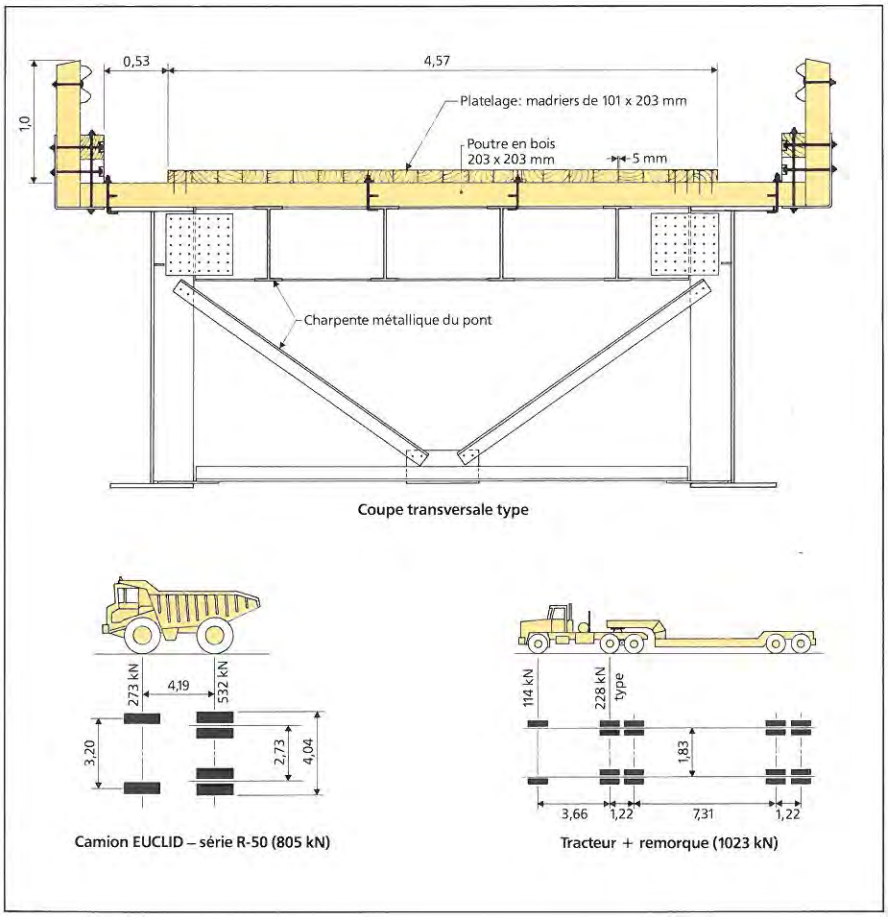


Tableau 4.3
Caractéristiques principales des ponts temporaires

Pont	Type	Fondation	Longueur totale (m)	Portée maximale (m)	Superficie carrossable (m^2)	Acier de superstructure (kg/m^2)
Caniapiscau	Poutres continues	Roc	305	61	1 720	410
Laforge 1	Poutres continues	Roc	122	70	690	410
Fontanges	Poutres simples	Roc	45	45	255	410
La Grande 1	Poutres simples	Roc	54	54	285	487

tie et La Grande 1 au-dessus du canal de dérivation. Leurs caractéristiques sont regroupées au tableau 4.3. Il s'agit de ponts modulaires, dont le platelage est constitué de madriers en bois. Ils n'offrent qu'une seule voie de circulation et leur capacité est limitée à 100 t (figure 4.5).

Le pont Caniapiscau a été construit durant l'hiver 1976-1977, sous des températures atteignant −50°C. Il a été démantelé durant l'automne 1981, une fois terminé le barrage KA-5. Toute la charpente métallique a été réutilisée sur d'autres sites, comme Fontanges, Laforge 1 et en dehors du territoire.

Routes d'hiver et ponts de glace

Dans un climat rigoureux comme celui du territoire, les routes d'hiver sont un moyen privilégié de pénétration. Elles permettent de desservir les chantiers qui ne sont pas encore reliés par une route permanente ou de mobiliser l'équipement et le matériel nécessaires à la construction d'une route permanente.

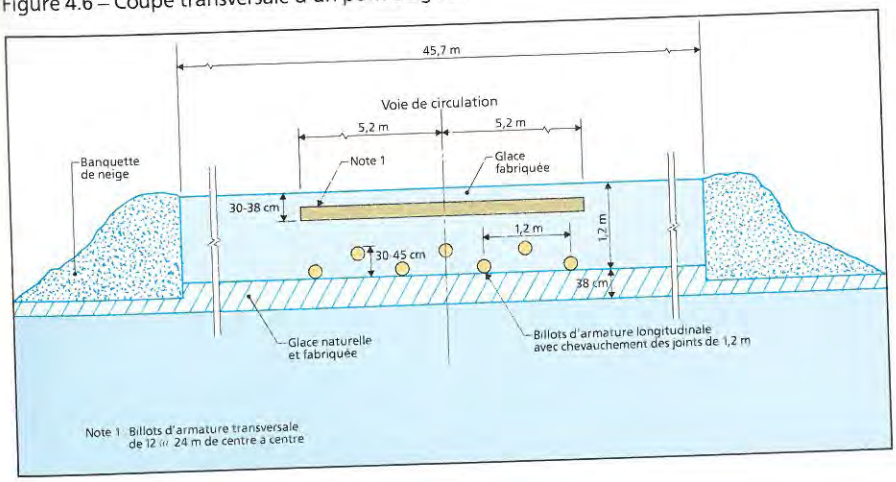
Le principe de construction est assez simple: il suffit de défricher un tracé, de l'essoucher et de le niveler sommairement. Sous l'effet du gel et du compactage, la surface de roulement durcit et devient carrossable. Le compactage de la neige constitue une opération primordiale. Cette opération réduit la propriété isolante de la neige intacte, permettant au gel de pénétrer dans les sols plus profondément et plus rapidement. La surface blanche ainsi créée réfléchit les radiations solaires et réduit les effets de la chaleur, permettant une période d'utilisation plus longue du chemin d'hiver.

Les tourbières doivent être contournées, car elles gèlent difficilement même par froids intenses. Lorsqu'il faut absolument les traverser, il faut employer d'épaisses couches de matériaux d'emprunt et fournir un entretien soutenu en tout temps. Si des températures douces persistent au début de l'hiver et menacent le programme de transport, il est préférable d'enlever la couche de neige pour faciliter le gel du sol. Dans un tel cas, la surface devient très inégale, ce qui ralentit considérablement la circulation.

Les routes d'hiver sont en général conçues pour une circulation dense et des charges allant jusqu'à 65 t. L'emprise type est de 9 m, avec des élargissements à des intervalles d'environ 1,5 km, pour faciliter le croisement et le stationnement des véhicules lourds. En moyenne, les travaux peuvent commencer vers le début novembre et, selon la nature des équipements utilisés, le taux de progression sur un seul front varie entre 5 et 10 km/jour. En général, une route d'hiver reste praticable jusqu'à la fin mars. Les redoux sont particulièrement à craindre; dans un tel cas, la durée de vie de la route peut être prolongée par un entretien intensif et des travaux de terrassement, ainsi que par un contrôle de la circulation basé sur les variations journalières de la température. La circulation est interdite si la température est supérieure à −7°C le jour ou à −12°C la nuit.

La traversée des rivières le long d'une route d'hiver s'effectue à l'aide de ponts de glace. Une attention spéciale a été apportée à leur conception car la

Figure 4.6 – Coupe transversale d'un pont de glace



Pont de glace

rupture d'un pont de glace entraîne un arrêt complet de la circulation et compromet tout le programme de transport d'hiver.

La construction d'un tel pont consiste essentiellement à fabriquer de la glace par un arrosage en couches successives, en pompant l'eau directement de la rivière. Des armatures en billots de bois sont incorporées dans la structure (figure 4.6). L'augmentation du facteur de sécurité qui en résulte est obtenue à un coût minimum, puisque les arbres utilisés proviennent des berges de la rivière.

Le procédé de construction, en apparence très simple, doit cependant se conformer à plusieurs exigences de qualité. C'est ainsi qu'avant de reprendre l'arrosage, il faut s'assurer que la couche d'eau précédente soit complètement gelée. De même, les couches doivent être parfaitement soudées l'une à l'autre, sans fausse glace. En règle générale, la neige doit être déblayée sur toute la largeur du pont lorsque l'accumulation dépasse 10 cm. Dans le cas d'une précipitation de neige comprise entre 5 et 10 cm, celle-ci peut être arrosée après un compactage soigné. Le contact entre les billots d'armature et la glace doit également être soigneusement contrôlé. Enfin, des poteaux indicateurs sont installés à chaque site pour donner l'alignement du pont et estimer rapidement l'épaisseur de glace.

Au total, 28 ponts de glace ont été construits. Ils étaient conçus pour des charges de 65 t, ce qui conduit à une épaisseur de glace minimale de 1,5 m.

Tableau 4.4
Statistiques des ponts de glace
Hiver 1972-1973

Rivières	de Rupert	Pontax I	Eastmain	Opinaca
Longueur du pont	555 m	107 m	415 m	196 m
Début de la construction	13 décembre	4 décembre	12 décembre	5 décembre
Fin de la construction	10 février	10 janvier	19 janvier	16 janvier
Temps de la construction	51 jours	32 jours	33 jours	36 jours
Épaisseur totale du pont de glace	1,75 m	1,60 m	1,60 m	1,60 m
Pourcentage de glace fabriquée	42%	76%	63%	75%
Progression de la glace fabriquée	1,5 cm/jour	3,8 cm/jour	3,0 cm/jour	3,3 cm/jour

Aucun accident n'a été déploré et, dans tous les cas, les ponts de glace étaient encore intacts lorsque la circulation a dû être interrompue sur les routes d'hiver. Le tableau 4.4 donne, à titre d'information, les caractéristiques des principaux ponts de glace construits au cours de l'hiver 1972-1973. La construction du pont sur la rivière de Rupert a été plus difficile à cause de sa situation à 3 km en aval du pied d'un rapide dans une zone de déposition de frasil.

Aéroports

Le transport aérien, sous toutes ses formes, s'est avéré un outil indispensable à la réalisation du Complexe La Grande, en assurant entre autres le transport du personnel de construction et des équipes d'exploration ainsi que l'approvisionnement des sites isolés ou non reliés au réseau routier. En plus des pistes temporaires, bases d'hydravions et héliports, cinq aéroports ont été construits dont les principales caractéristiques sont regroupées dans le tableau 4.5. De plus, Hydro-Québec a construit l'aéroport de Némiscau pour desservir les postes de Némiscau et Albanel.

Ces aéroports permettent d'accueillir, avec néanmoins certaines restrictions, plusieurs types d'appareils allant jusqu'à des avions de la catégorie des Boeing 737. Les installations aéroportuaires comprennent une aérogare modulaire, un entrepôt, un garage ainsi que les services publics.

Tableau 4.5
Aménagements aéroportuaires

Chantier	Aéroport	Altitude (m)	Dimensions de la piste (m × m)	Type de revêtement	Distance à vol d'oiseau de Montréal (km)	Remarque
La Grande 2	La Grande	194,5	1980 × 45,7	Asphalte	950	
La Grande 3	David	235,9	1520 × 45,7	Gravier	915	
La Grande 4	LG 4	306,6	1520 × 45,7	Gravier	920	
Caniapiscau	Duplanter	509,0	1680 × 45,7	Gravier	1075	Désaffecté en 1984
EOL	Opinaca	207,2	1520 × 45,7	Gravier	780	Désaffecté en 1981
–	Némiscau	243,8	1520 × 45,7	Gravier	710	

ANNEXE 5 – NOTES DE CALCUL

Page titre – Notes de calculs

BPR RIGUEUR ET AUDACE EN INGÉNIERIE

N° de projet (client) : *Évaluation de la capacité du pont au-dessus de la rivière Némiscau*

N° de projet : *11878*

Client : *Hydro-Québec*

Projet :

Titre du cahier : *Notes de calculs de l'évaluation de la capacité*

N° du cahier :

Objet : ***Évaluation des poutres et de la dalle du pont***

Concepteur : *Patrick Lapierre, ing., M.Sc.A.*

INGÉNIEUR Patrick Lapierre 117245 13/02/11

	RÉVISIONS FAITES PAR			RÉVISIONS VÉRIFIÉES PAR		
	Nom	Signature	Date	Nom	Signature	Date
0	Patrick Lapierre	Patrick Lapierre	11 fev 2013			
1						
2						
3						
4						
5						

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____

Par: P.L.

Date: _____

Sujet: _____

No du projet: _____

Résumé :

Les présentes notes de calcul permettent d'évaluer la capacité du pont au dessus de la rivière Nemiscau pour faire passer un transformateur de 250 tm. Le pont est aussi évalué pour les charges légales actuellement en cours et utilisées pour la conception de ponts routiers neufs. Les poutres ont été évaluées ainsi que la dalle en béton armé.

Un transformateur de 250 tm doit être transporté par une remorque de type multiligne qui permet de réduire les efforts par essieu et distribuer la charge dans le sens longitudinal sur une plus grande distance. Les calculs permettent donc de déterminer le type de remorque multiligne il faut utiliser.

Imprimerie J.B.R. Inc

DETAILS DES CHARGES

DE GRAVITÉ

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

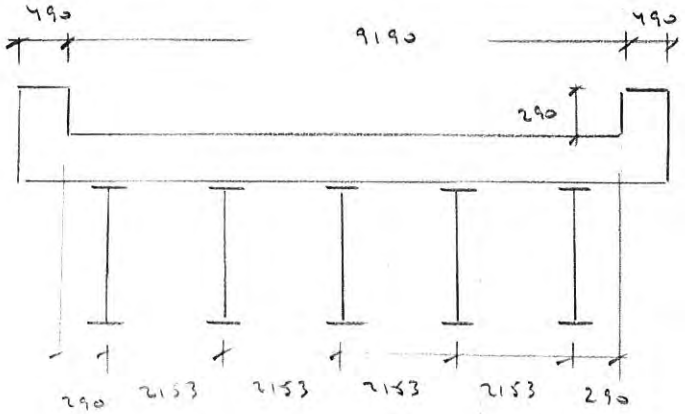
BPR

Nom du projet: _____ Par: P.L.

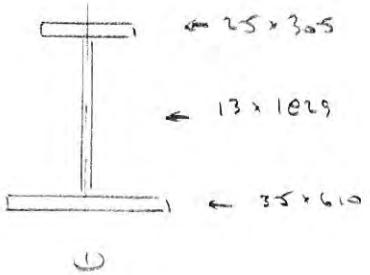
_____ Date: _____

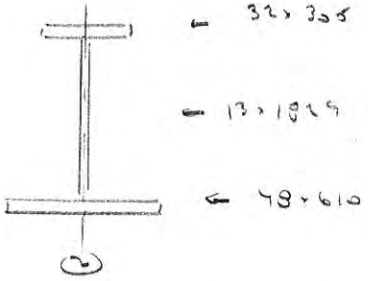
Sujet: _____ No du projet: _____

ÉVALUATION DE LA CAPACITÉ / PONT DE NEMISCAU



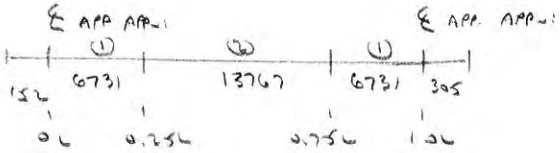
Calcul du poids propre





w_D = 414 kg/m
= 4.06 kN/m

w_D = 493 kg/m
= 4.84 kN/m



Imprimerie J.B.R. inc

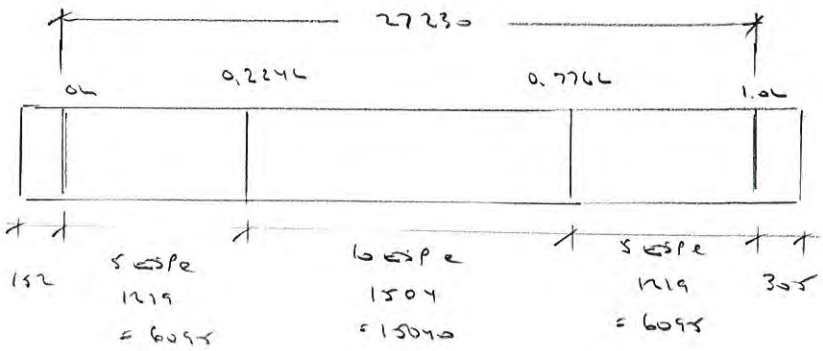
FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____ Par: P.L.

_____ Date: _____

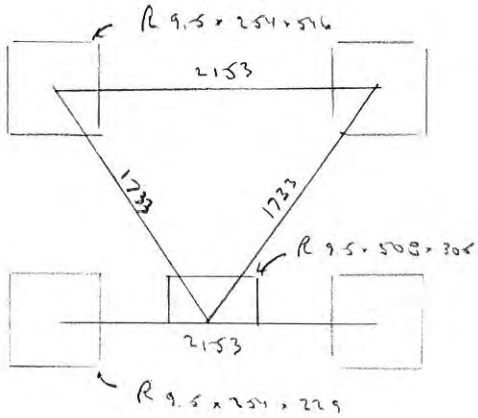
Sujet: _____ No du projet: _____



Raidisseurs sur un côté seulement

Raidisseurs 22 × 152 × 1797 → 47 kg @ 1.219 = 0.38 kN/m
→ 47 kg @ 1.504 = 0.31 kN/m

Coté intermédiaire



WT 100 × 23 23 kg/m
L 3½ × 3½ × 5/16 10.6 kg/m

23 × 2.153 × 6
+ 10.6 × 1.733 × 2 = 136 kg

9.5 × (254 × 229 + 254 × 546) × 2
+ 9.5 (508 × 305) × 7850 kg/m³
= 41 kg

(136 + 41) = 177 kg @ 5423 = 0.32 kN/m

Imprimerie J.B.R. inc

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____ BPR

Nom du projet: _____ Par: P.L.

Date: _____

Sujet: _____ No du projet: _____

Charge morte Acier

① 4.06 + 0.38 + 0.32 = 4.76 kN/m

② 4.84 + 0.31 + 0.32 = 5.47 kN/m

Beton

Dalle 24 · 0.254 · 2.153 = 13.18 kN/m Dalle de 10" d'épaisseur

Pour les poutres de rive, la charge de beton est inférieure

24 0.254 (2.153/2 + 0.290 + 0.490) = 11.32 kN/m

1.857 1.857/2.153 = 0.86

Porte-à-faux = 0.325

Chasse-roue 24 0.49 · 0.29 = 3.4 kN/m

Glissière W150x30 c 1905 30 · 0.688 /1.905 = 10.8 kg/m

C150x12 12 kg/m

Lisse + 15 kg/m

R 1" c 1905 7850 · 25 · 254 · 254 /1.905 = 6.75 kg/m

Total = 44.55 kg/m

= 0.44 kN/m

Utilisé 0.50 kN/m

Répartir le poids des glissières et chasse-roue sur les 5 poutres

2 × (3.4 + 0.5) /5 = 1.6 kN/m

Imprimerie J.B.R. inc

PROPRIÉTÉS DU CAMION

16 ESSIEUX (MULTILLONE)

TRANSPORT ABB

ET GOLDHOFER

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____

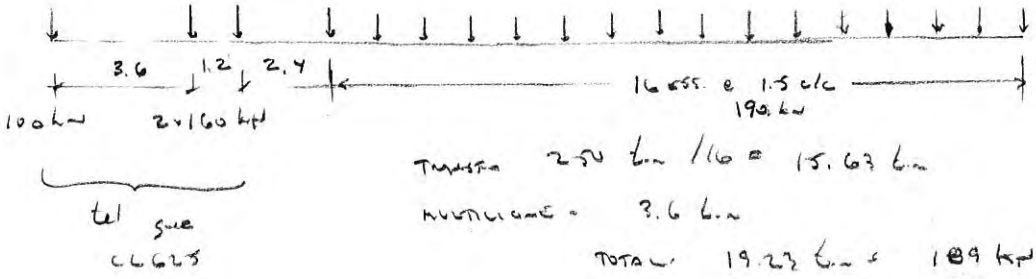
Par: P.L.

Date: 11 Janv 13

Sujet: _____

No du projet: _____

Modélisation avec 16 essieux



Transfo 250 ton / 16 = 15.63 ton

Inventaire = 3.6 ton

Total 19.23 ton = 189 kN

↳ utilise 190 kN

Ebeli capacité = 360 t = 14 x nécessaire

Pensar de Goldhofer

Master data

Index number :	7893
Type :	THP/SL (45)
Parallel combination :	-
Designation :	thp-sl(45t)16
Vehicle number :	
Truck registration number :	vp_sde_16/02/2012

Basic data of the trailer / semitrailer

Deadweight :	57.581 kg	
Centre of gravity :	15.691 mm	
Deadweight distribution	(based on the initial setting and the support circuit setting)	
	Front support circuit	**Rear support circuit**
	(5 Axle lines)	(11 Axle lines)
	5x 3.608 kg = 18.039 kg	11x 3.595 kg = 39.542 kg
Minimum length :	31.400 mm	
Extendable maximum by :	0 mm	
Maximum length :	31.400 mm	

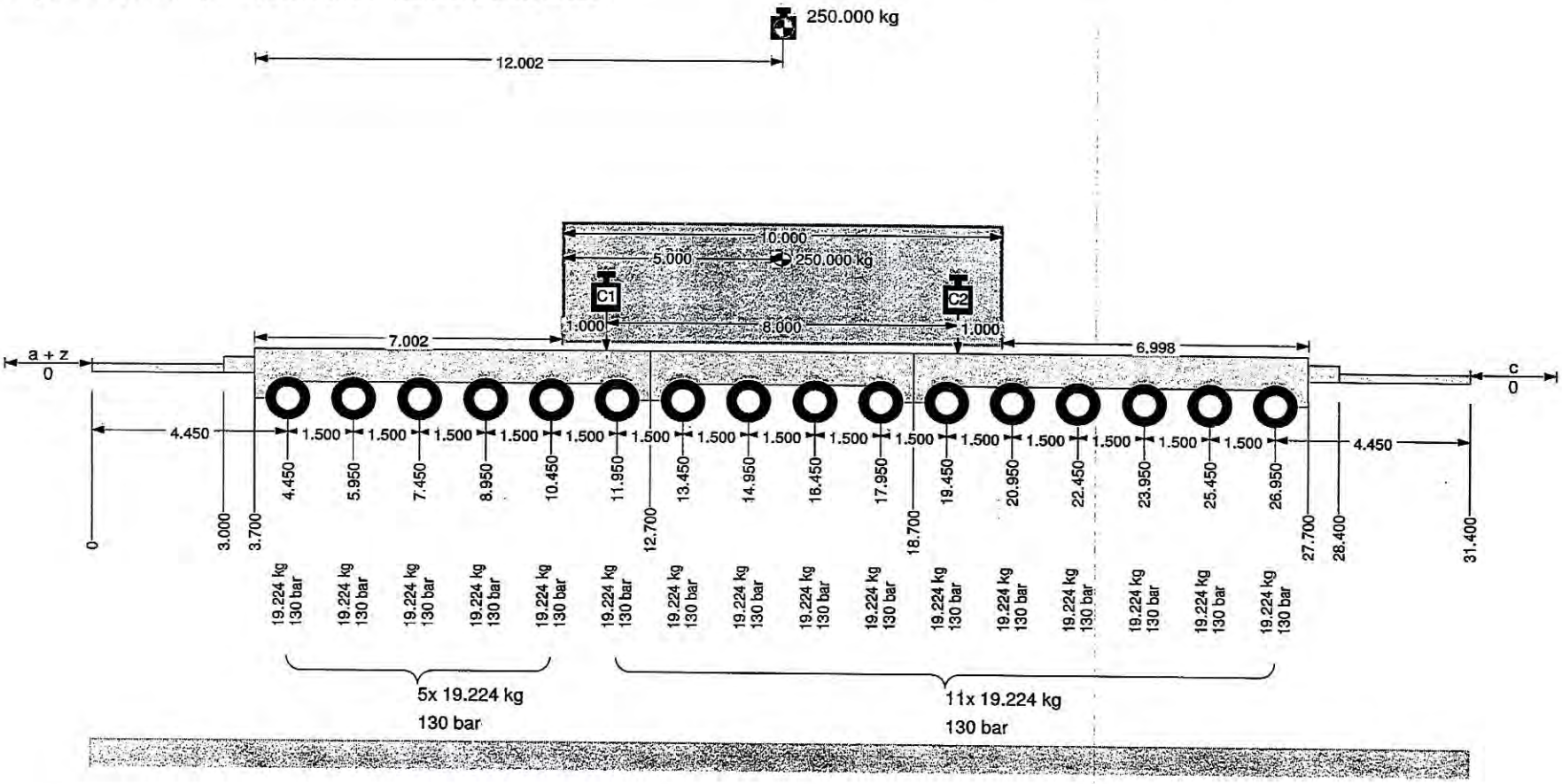
Initial setting

Extension step :	0 / 0
Extended by :	0 mm
Overall length, trailer / semitrailer :	31.400 mm
Coupling length a :	0 mm
Coupling length b :	31.400 mm
Coupling length c (rear overhang) :	0 mm
Gross combination length a + b + c :	31.400 mm

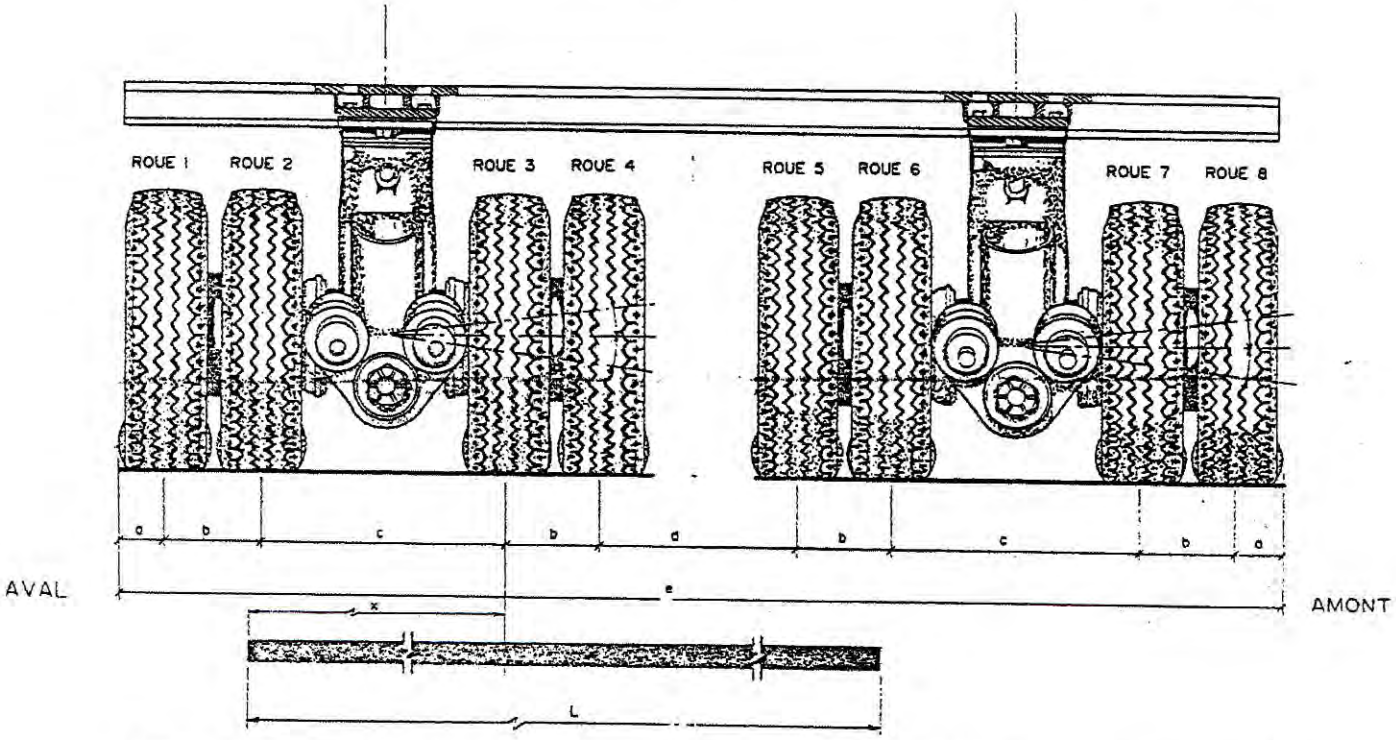
Donnei
de Goldhofer

Drawing of trailer / semitrailer

Graphics and positions (in mm) based on the initial setting of the vehicle



POSITIONNEMENT CRITIQUE DES ROUES DU FARDIER



FARDIER TYPE	a	b	c	d	D	e
SCHEURLE	106 mm (4.13 po.)	248 mm (9.75 po.)	540 mm (21.38 po.)	717 mm (28.23 po.)	1400 mm (55.1 po.)	3000 (9 pi. 10 po.)

D: DISTANCE C. à C. ENTRE 2 LIGNES ADJACANTES
L: LONGUEUR DE LA PARTIE EN FLEXION DANS LE SENS AVAL-AMONT
X: POSITIONNEMENT DE LA ROUE 3 CREANT LA SITUATION LA PLUS DEFAVORABLE SUR LA PARTIE EN FLEXION.

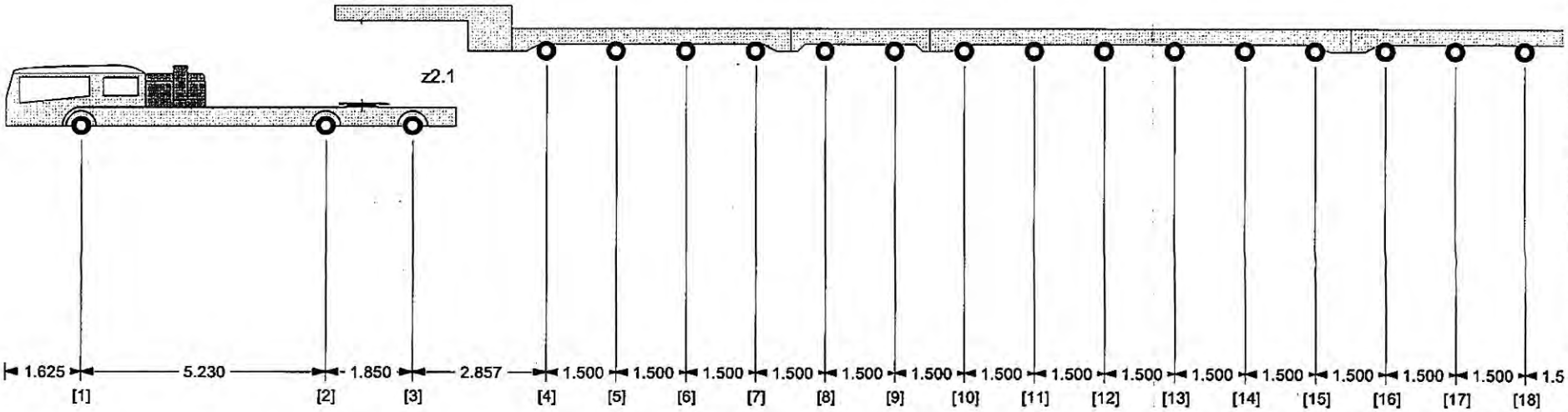
o INFORMATIONS
DE ABB

Désignation FAR dieR MULTILigne Vide

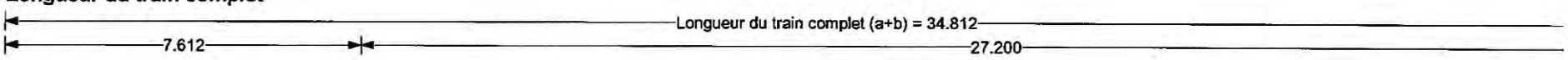
Schéma du train complet

Appui simple :

Appui de conteneur :



Longueur du train complet



Goldhofer Aktiengesellschaft ··· Donaustraße 95 ··· D-87700 Memmingen
Phone +49 (0) 8331 / 15-0 ··· Fax +49 (0) 8331 / 15-239
Sitz- und Registergericht: Memmingen, HRB 10871 ··· Vorstand: Stefan Fuchs (Vorsitzender), Franz Bilmayer, Bernhard Katzenschwanz ··· Aufsichtsratsvorsitzender: Dieter Frieß

Désignation

Charges d'attelage et par essieu du train complet

	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18
Position (mm)	1.625	6.855	8.705	11.562	13.062	14.562	16.062	17.562	19.062	20.562	22.062	23.562	25.062	26.562	28.062	29.562	31.062	32.
SL / AL en kg Poids	7.954	7.692	7.692	3.971	3.971	3.971	3.539	3.539	3.539	3.539	3.539	3.539	3.539	3.539	3.539	3.539	3.539	3.5
SL / AL en bar PAR ESSIEU	0	0	0	20	20	20	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17

	[19]
Position (mm)	34.062
SL / AL en kg	3.539
SL / AL en bar	17

VUe d'ensemble des différents véhicules

N° d'index(Train complet)	N° d'index(Tracteur)	Constructeur	Désignation	Sigle véhicule
z2.1	4	Kenworth	K-10	

N° d'index(Train complet)	N° d'index(Véhicule)	Type	Désignation	Sigle véhicule
f1.1	18	THP/HL	16 lignes	

Configuration de chargement

Poids propre du train complet à vide	81.262 kg
Charge utile, totale	0 kg
Poids du train complet	81.262 kg
Centre de gravité du train complet	17.737 mm

Remarque

Goldhofer Aktiengesellschaft ··· Donaustraße 95 ··· D-87700 Memmingen
Phone +49 (0) 8331 / 15-0 ··· Fax +49 (0) 8331 / 15-239
Sitz- und Registergericht: Memmingen, HRB 10871 ··· Vorstand: Stefan Fuchs (Vorsitzender), Franz Bilmayer, Bernhard Katzenschwanz ··· Aufsichtsratsvorsitzender: Dieter Frieß

easyLOAD

Goldhof

16 Lignes

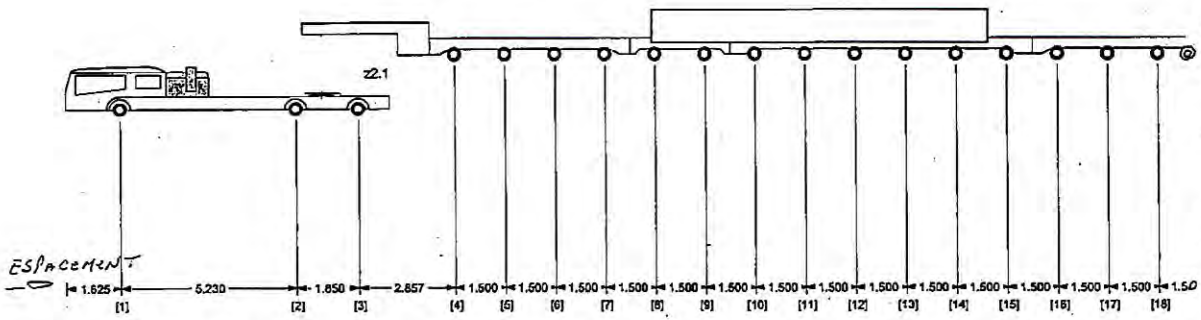
Désignation

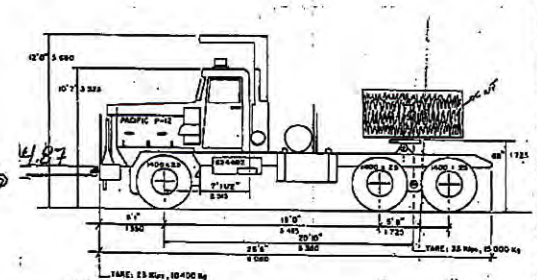
8 Pneus par Lignes TOTAL 128 Pneus
Largeur des Pneus 245CM.
Espacement (entraxe) 1.60M
Pression dans les Pneus 110 LBS
Largeur du Fardier 3.20M.
Longueur incluant camion pousseur 49.41M
Poids 81.262 (Tracteur + Fardier) camion pousseur 42220 Kg
A vide

Schéma du train complet

Appui simple :

Appui de conteneur :





Nde Pneus	2	4	4
Poids	9900 Kg	16160 Kg	16160 Kg.
TIRES	385	385	385
Capacité	13850	21800	21800
GAWR	13800		

487 — 5.50 — 1.75

Longueur du train complet

Longueur du train complet (a+b) = 34.812

7.612 — 27.200

Goldhofer Aktiengesellschaft — Donaustraße 95 — D-87700 Memmingen
Phone +49 (0) 8331 / 15-0 — Fax +49 (0) 8331 / 15-23[illegible]
Sitz- und Registergericht: Memmingen, HRB 10[illegible] — Vorstand: Stefan Fuchs (Vorsitzender), Franz Bilmayer, Bern[illegible] — Aufsichtsratsvorsitzender: Dieter Frieß

Désignation

Charges d'attelage et par essieu du train complet

	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18
Position (mm)	1.625	6.855	8.705	11.562	13.062	14.562	16.062	17.562	19.062	20.562	22.062	23.562	25.062	26.562	28.062	29.562	31.062	32.
SL / AL en kg Poids AXIALES EN CHARGE	8.316	14.133	14.133	18.921	18.921	18.921	18.921	18.921	18.921	18.921	18.921	18.921	18.921	18.921	18.921	18.921	18.921	18.
SL / AL en bar	0	0	0	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126	12(

	[19]
Position (mm)	34.062
SL / AL en kg	18.921
SL / AL en bar	126

VUe d'ensemble des différents véhicules

N° d'index(Train complet)	N° d'index(Tracteur)	Constructeur	Désignation	Sigle véhicule
z2.1	4	Kenworth	K-10	

N° d'index(Train complet)	N° d'index(Véhicule)	Type	Désignation	Sigle véhicule
f1.1	18	THP/HL	16 lignes	

Configuration de chargement

Poids propre du train complet à vide	81.262 kg
Charge utile, totale	258.058 kg
Poids du train complet	339.320 kg + 42220 kg CAMION POUSSEUR
Centre de gravité du train complet	21.041 mm

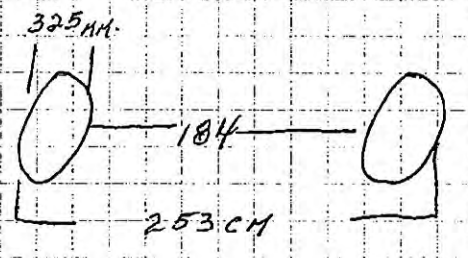
Remarque

Poids TOTAL 381,540 Kg

Goldhofer Aktiengesellschaft ··· Donaustraße 95 ··· D-87700 Memmingen
Phone +49 (0) 8331 / 15-0 ··· Fax +49 (0) 8331 / 15-239
Sitz- und Registergericht: Memmingen, HRB 10871 ··· Vorstand: Stefan Fuchs (Vorsitzender), Franz Bilmayer, Bernhard Katzenschwanz ··· Aufsichtsratsvorsitzender: Dieter Frieß

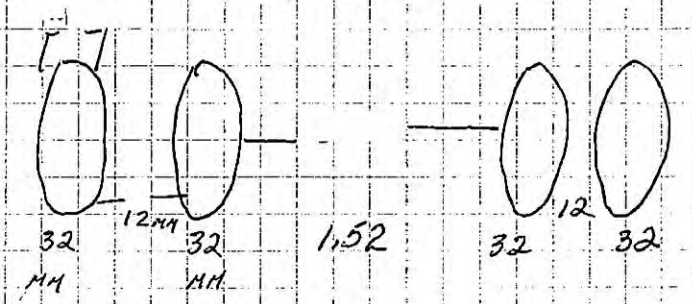
CAMION TIREUR.

AVANT



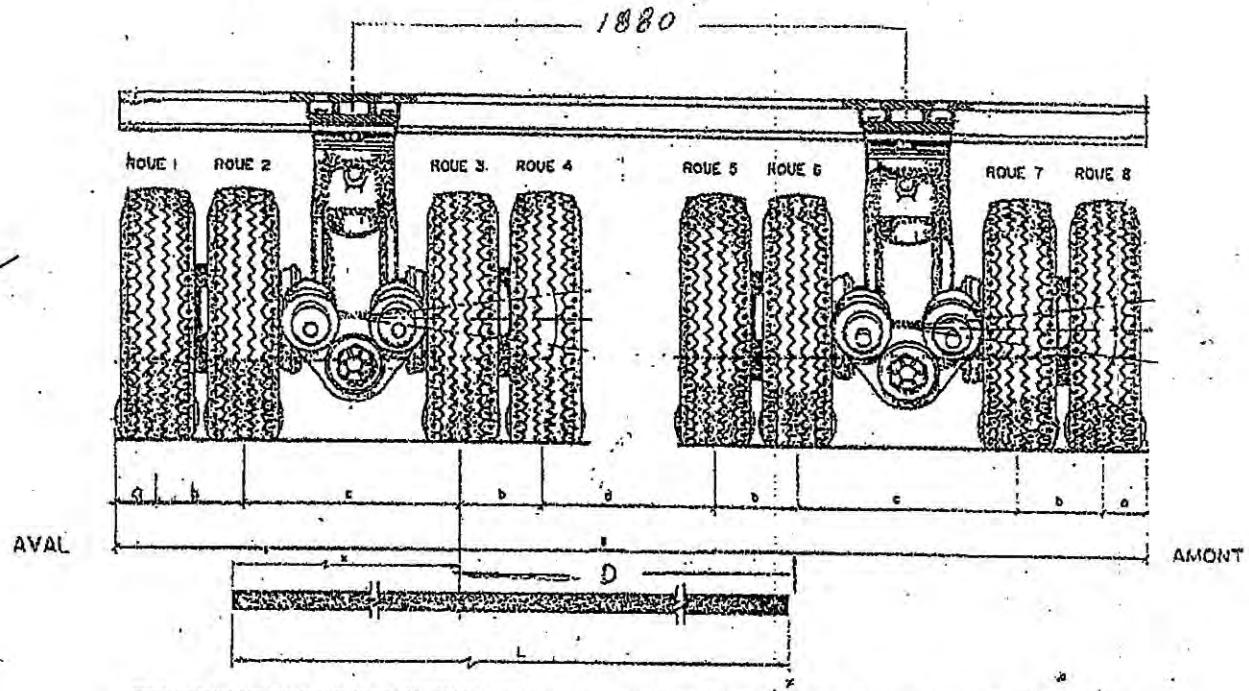
PNEUS 1400X25

ARRIERE



POSITIONNEMENT CRITIQUE DES ROUES DU FARDIER

FARDIER



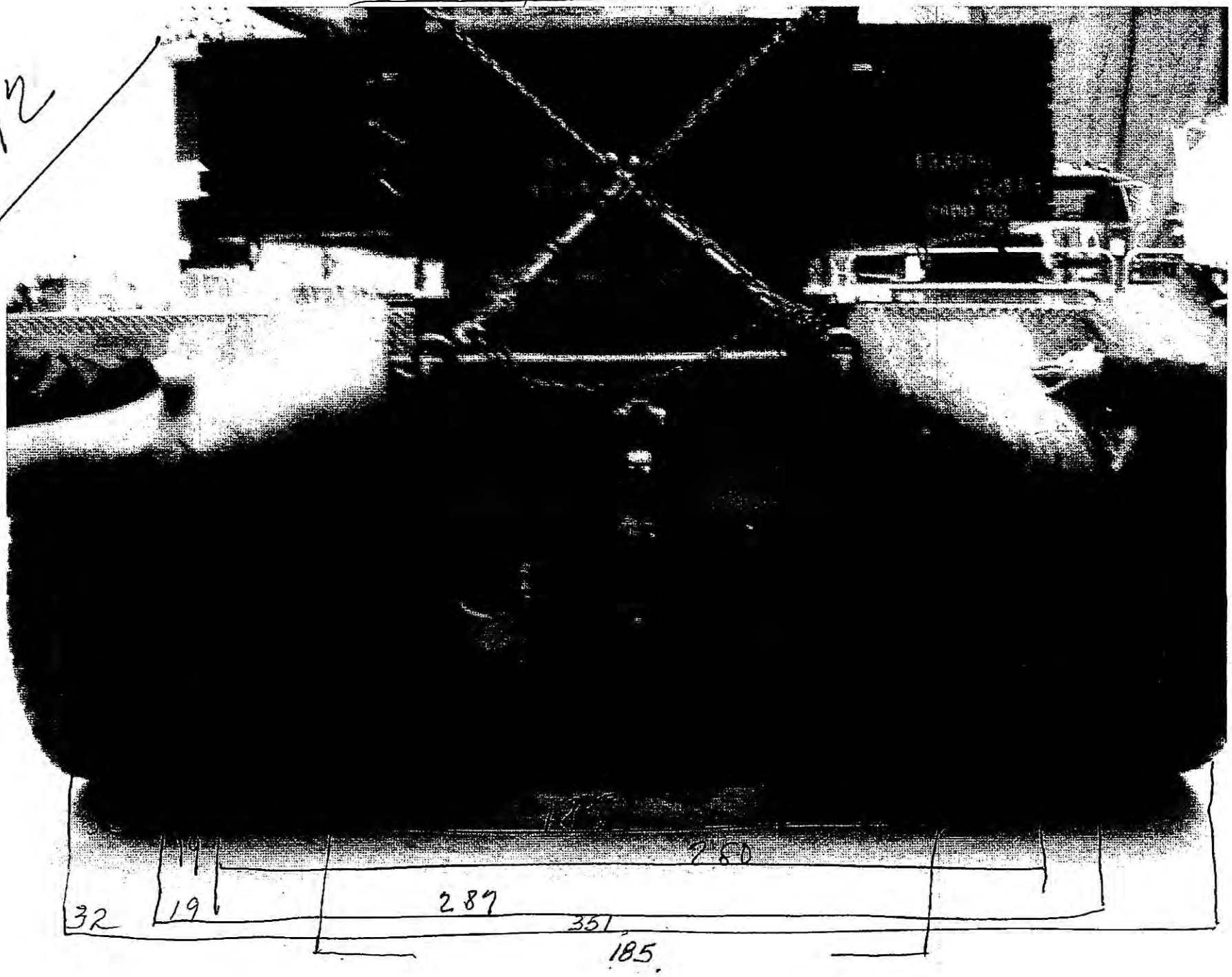
FARDIER TYPE	a	b	c	d	D	e
GOLD HOFER	122.5	285 mm	510 mm	800 mm	1370 mm	3205
	122.5	285	510	800	1370	3205

D: DISTANCE C. à C. ENTRE 2 LIGNES ADJACANTES
L: LONGUEUR DE LA PARTIE EN FLEXION DANS LE SENS AVAL-AMONT
X: POSITIONNEMENT DE LA ROUE 3 CREANT LA SITUATION LA PLUS DEFAVORABLE SUR LA PARTIE EN FLEXION.

TRANSPORT ABB

CAMION pousseur. PNEUS 1400X25

P12



En centimètre

CALCUL DU FACTEUR D'ESSAIS

REMORQUAGE MULTI-LIGNE

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____ Par: P.L.

_____ Date: _____

Sujet: _____ No du projet: _____

L'ANALYSE D'UN TRANSPORT MULTILIGNE NE PEUT PAS UTILISER LES COEFFICIENTS DE FACTEUR D'ESSIEUX DE LA NORME S6.06 CAR LA POSITION DES ROUES N'EST PAS LA MÊME DANS CE CAS-CI. L'ETUDE EST FAITE EN CONSIDERANT LA DALLE SUR APPUI SIMPLE ENTRE LES POUTRES. CETTE HYPOTHESE EST COMPARÉE À UN MODÈLE 3D ET S'AVÈRE CONSERVATRICE. CETTE DERNIÈRE EST UTILISÉE POUR LE CALCUL FINAL.

Imprimerie J.B.R. inc

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

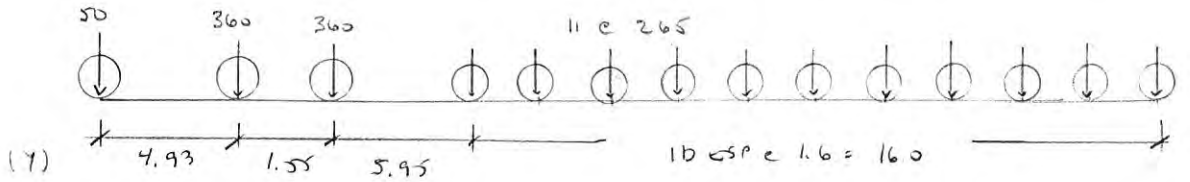
Nom du projet: _____ Par: PL

Date: 31 oct '12

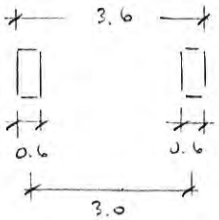
Sujet: _____ No du projet: _____

ANALYSE 3D DU PONT AU-DESSUS DE LA RIV. NÉMISKAU

1) Analyse avec le camion de conception

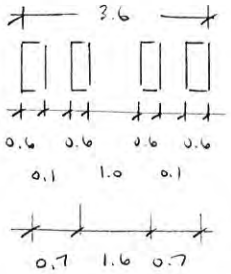


W = 365 kN



(X)

← ESTIMATION -1.5, +1.5



(X)

← ESTIMATION -1.5, -0.8; +0.8; +1.5

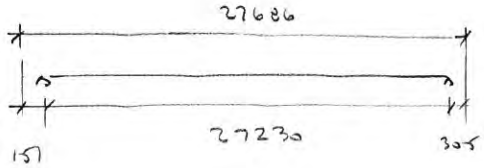
FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____ Par: _____

_____ Date: _____

Sujet: _____ No du projet: _____



Portée

Effet du biais : $\varepsilon = s \tan \psi / L$

(16°) $= 2.153 \tan 16 / 27.23 = 0.023 < 1/18 = 0.0556$

↳ Effet mineur de biais

L'ouvrage est analysé sans biais

Imprimerie J.B.R. inc.

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____

Par: P.L.

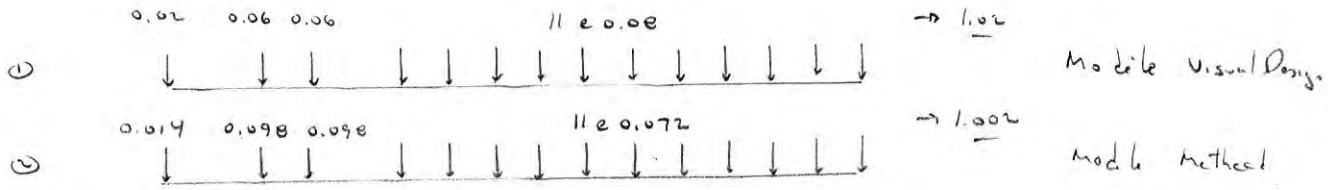
Date: 31 oct '12

Sujet: _____

No du projet: _____

Calcul 2D : ① M = 16498 kN·m

V = 2598 kN



② M = 13451 × 1.1 = 14840 vs 16498 90%

V = 2156 × 1.1 = 2371 vs 2598 93%

0.072 / 0.08 → 0.90

- Comparer les facteurs d'inertie 2D vs 3D

Inertie $I_{c,1}$ ① 0.06 @ 0.252 0.752 @ 1.00 7.78×10^{10} mm⁴

② 0.252 @ 0.752 9.40×10^{10} mm⁴

① WWF 2000 × 607 $I_x = 77.4 \times 10^{10}$ mm⁴

② WWF 2000 × 772 $I_x = 93.2 \times 10^{10}$ mm⁴

Section de béton : 1/4 × 27230 × 1/10 = 681 mm

Imprimerie J.B.R. inc

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____

Par: [illegible]

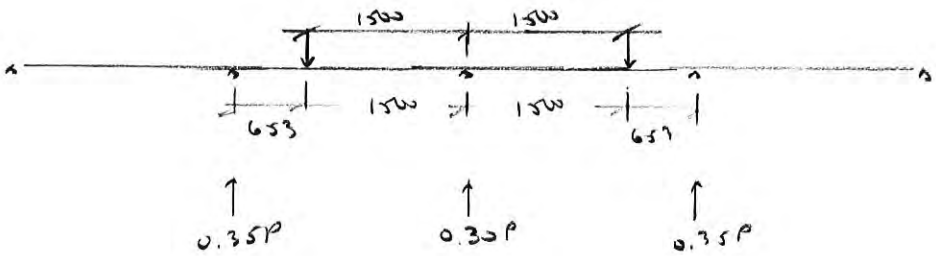
Date: 26 nov '12

Sujet: _____

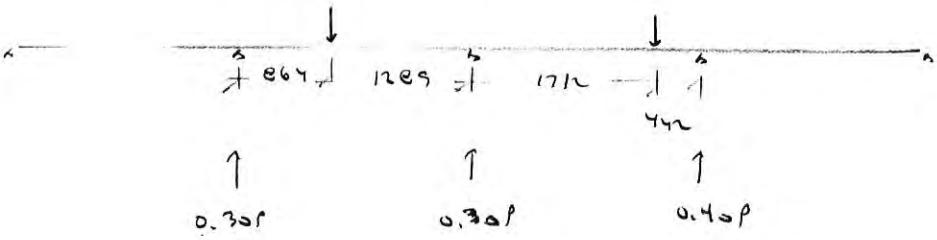
No du projet: _____

Calcul du facteur dessiné (traiteur) (original)

1)

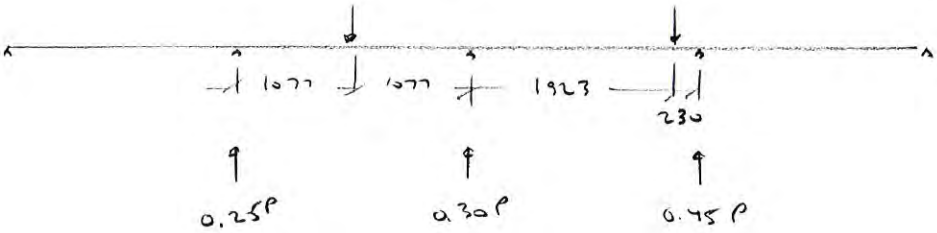


2)



Entre ① et ③

3)



Roue centrée entre 2 poutres

Analyse dalle avec appuis simple

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

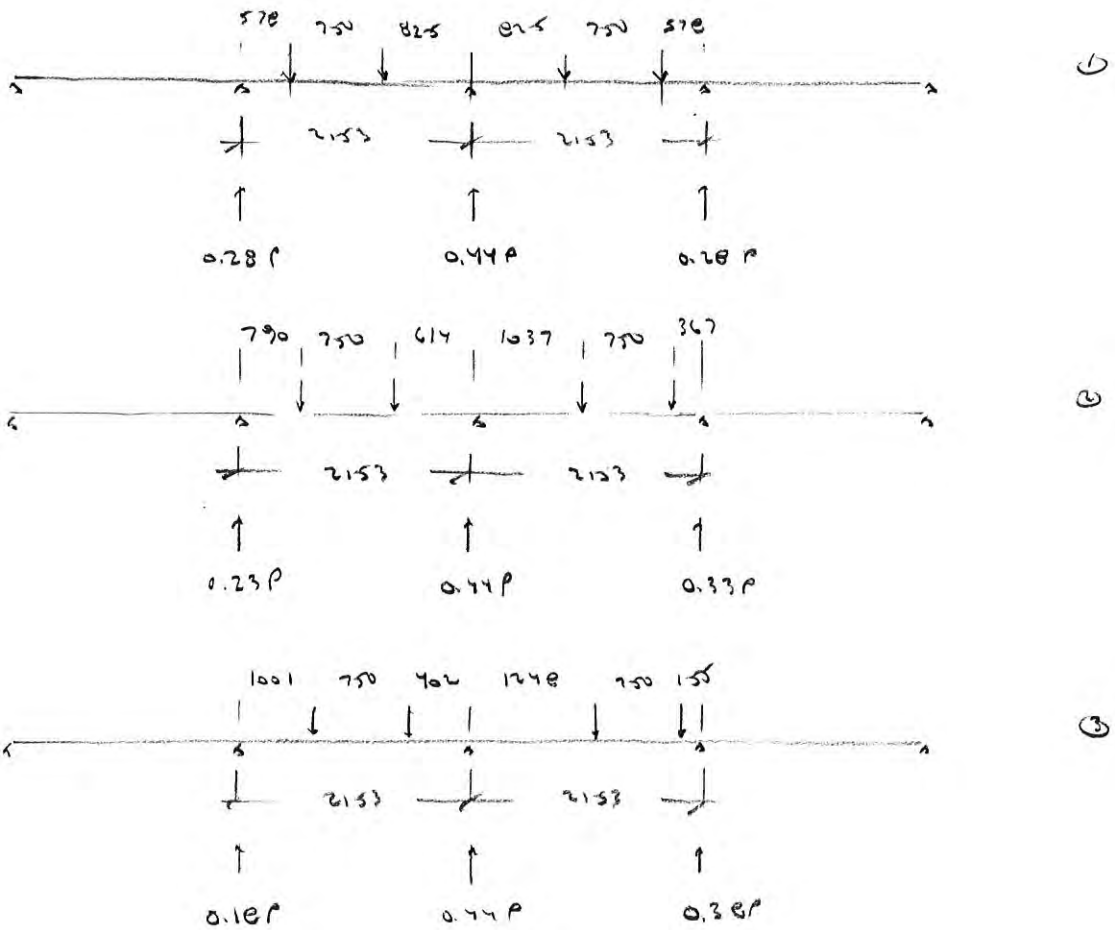
BPR

Nom du projet: _____ Par: P.L.

Date: 29 nov 12

Sujet: _____ No du projet: _____

Calcul du facteur d'onde (multiligne) (original)



Analyse de la couche appuis simple

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: ____ Par: P.L.

Date: 4 oct '16

Sujet: ____ No du projet: ____

Analyse 3D de la charge de conception

- Comparaison 3D vs dist. sur appuis simple

  → La distribution en considérant un appui simple est plus sécuritaire

- Poutre de centre
  - charge centrée : 0.44 Appui simple
    0.29 M } Modèle 3D
    0.35 V
  - → multiligne

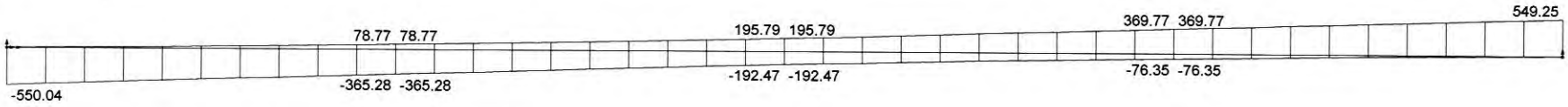
- Poutre de centre
  - charge centrée
  - CL 625 : 0.65 Appui simple
    0.49 M } modèle 3D
    0.58 V

  56.06 → 0.56 Poutre int M
  0.64 Poutre V

Résumé: Pour l'étude du véhicule hors norme, l'hypothèse d'utiliser une dalle sur appui simple pour le calcul des facteurs d'essieu est raisonnable et sécuritaire

Imprimerie J.B.R. inc

Membrures
Vy (kN)

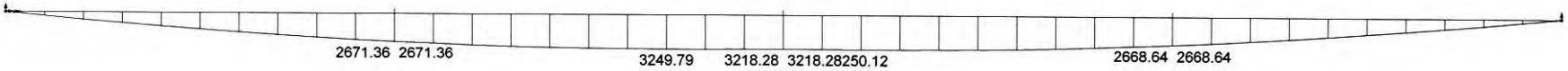


1 camion CL625

- Enveloppe : Lm01

Pont - 20.340 t.m.d.

Membrures
Mx (kN.m)



1 camion cl625

- Enveloppe : Lm01

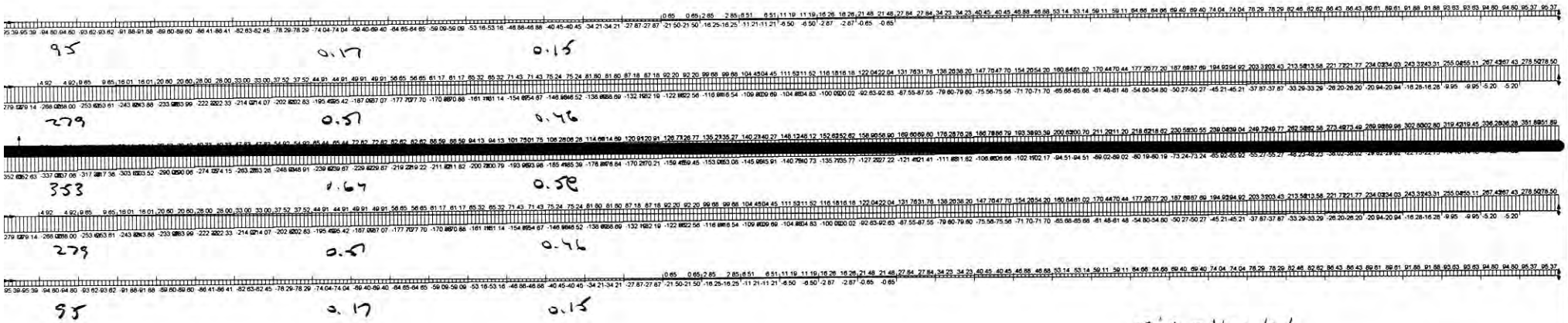
Pont. 20.360 t.wd.

Membrures
Vy (kN)

Simultanée

$R_L = 1.0$ $R_L = 0.9$

f.e. f.e.



$\Sigma V = 1101$ kN

x5 2x550 = 1100 kN

2 camions CL625 e 3.0 m c/c centre sur le pont

- Enveloppe : Lm01

pont_30_360t.vd1

Membrures
Mx (kN.m)

simultanée

$R_L = 1.0$ $R_L = 0.9$

f.e. f.e.

$\Sigma M = \underline{6522}$ kN.m

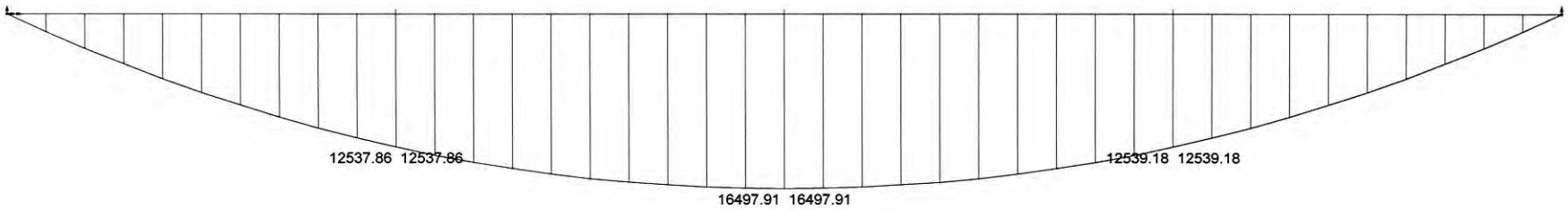
vs $2 \times 3216 = 6436$ kN.m

2 camions CL625 e 3.0 m c/c centre sur le pont

- Enveloppe : Lm01

Pont - 30 - 360 t. ind 1

Membrures
Mx (kN.m)



Multiliane 360 t 2D

W = 3685 kN

0.02W 2×0.06W 11×0.08W

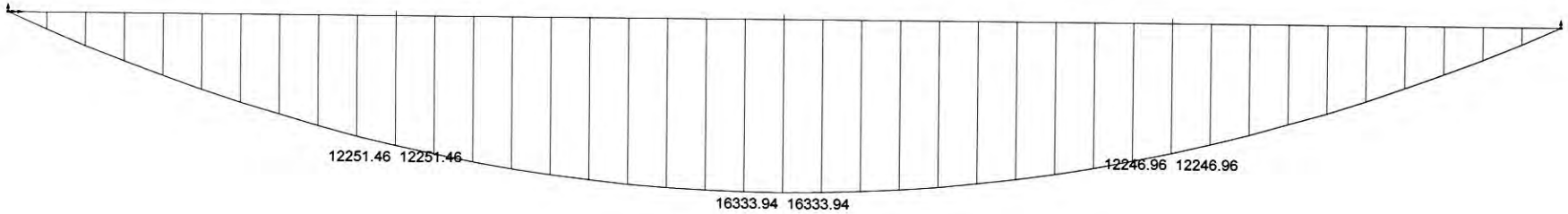
73.7 kN 2×221.1 kN 11×294.8 kN

TOTAL = 3758.7 vs 3685 + 22

- Enveloppe : Lm10

- Pont-2D_360t.udi

Membrures
Mx (kN.m)



Δ = 12 vs Lm10

16334 / 16498 = 0,99

Multiligne 300 t 20

11 x 0,09 m

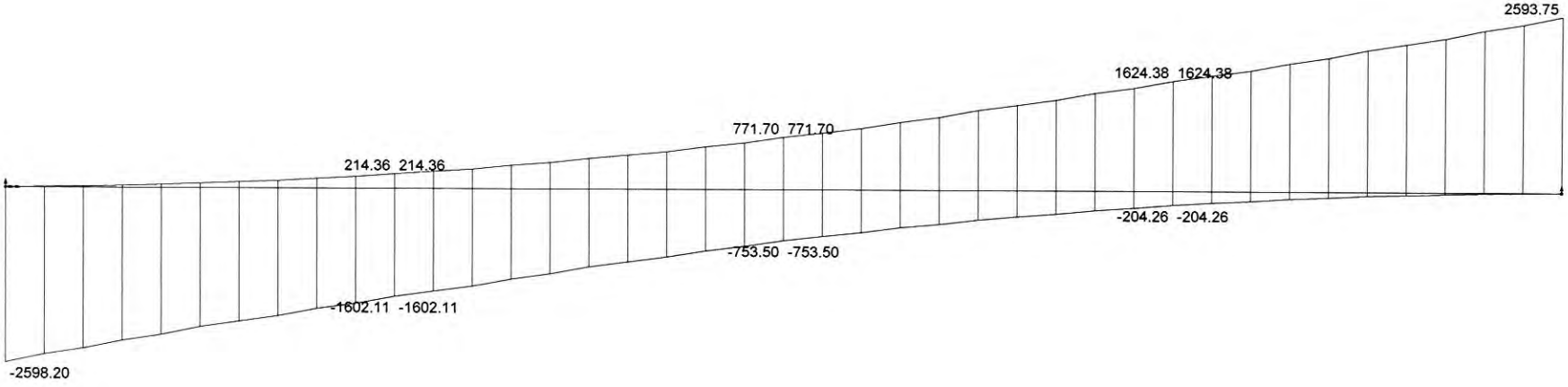
= 11 x 291,9 kN

W = 3243 kN

- Enveloppe : Lm09

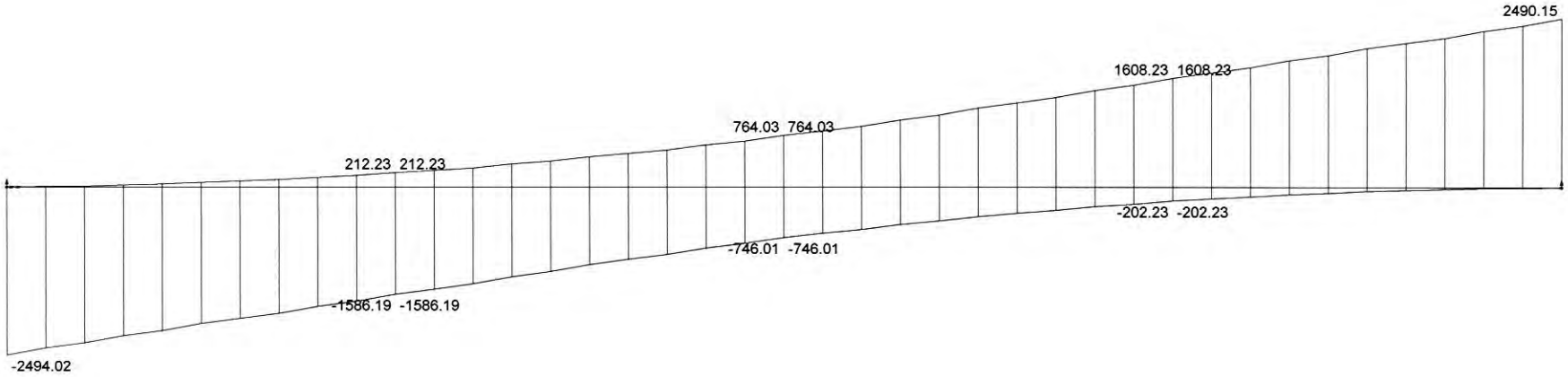
- pont_20,360t.vd1

Membrures
Vy (kN)



- Enveloppe : Lm10

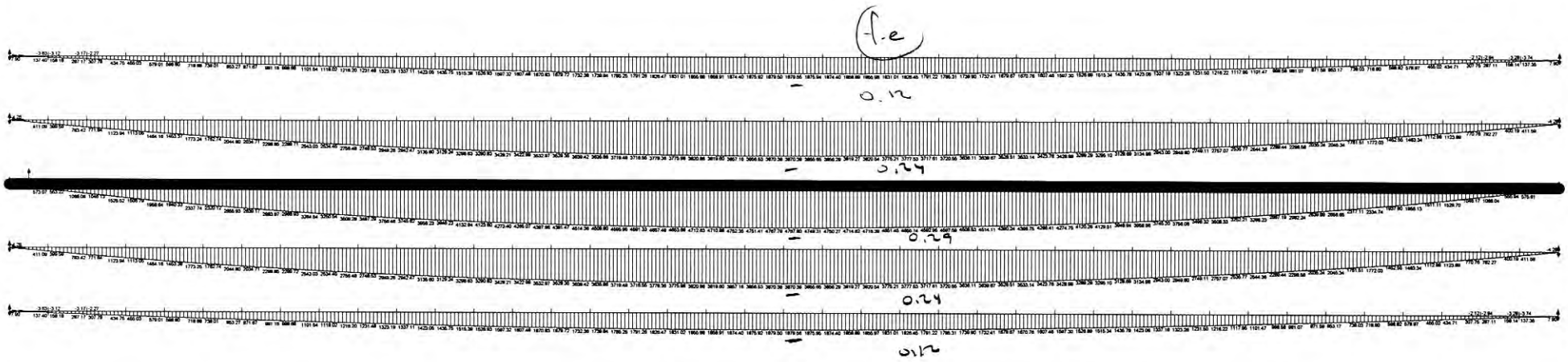
Membrures
Vy (kN)



$\frac{2494}{2576} = 0.96$

- Enveloppe : Lm09

Membrures
Mx (kN.m)



TOTAL M = 1660 + 3670 + 4760 + 3670 + 1660 = 16260 kNm

≈ 16333 kNm

0.996

2 × groupe d'essieux (11)

à 1.2 m de centre

- Enveloppe : Lm10

Pont-30-360t-d1

→ facteur d'essieu estimé

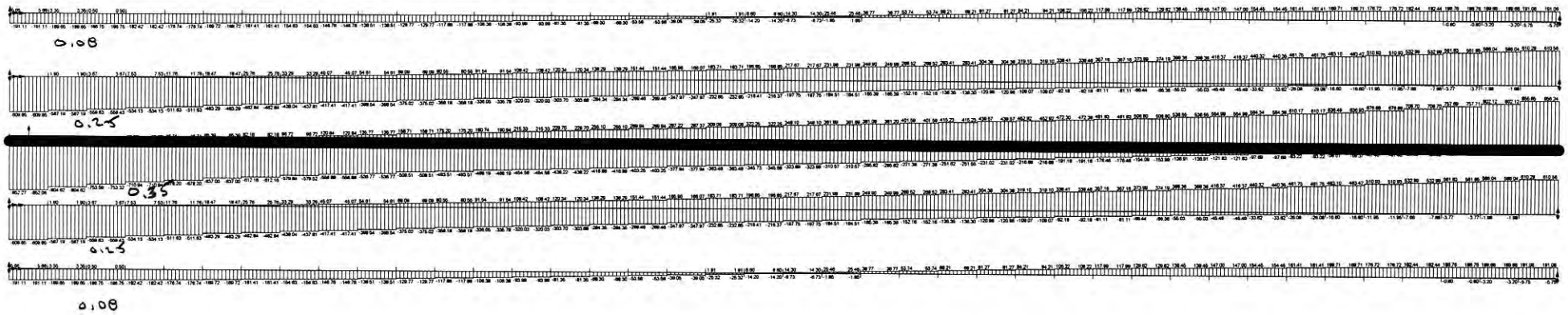
→ $\frac{0.75}{2} + \frac{1.6}{2} = 1.2$

Camion centré

sur le pont

Membrures
Vy (kN)

F.e



TOTAL V = 191 + 610 + 852 + 610 + 191 = 2454 kN

vs 2494 kN

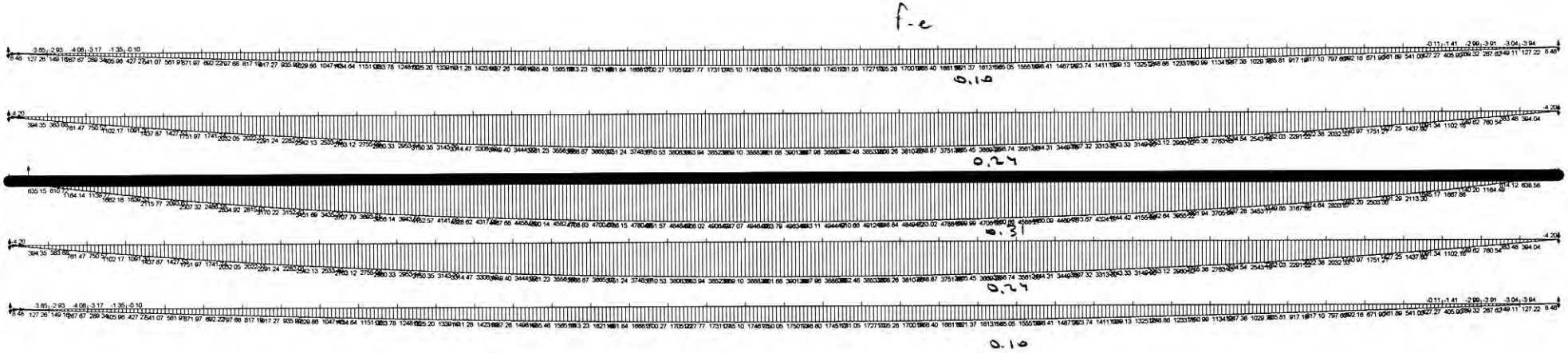
0.983 ok

- Enveloppe : Lm10

Pont_30.360 t.vdi

Camion centre
sur le pont

Membrures
Mx (kN.m)



TOTAL Mx 1750 + 3901 + 4963 + 3901 + 1750
= 16264 kNm
→ 16333 kNm

2 groupes d'essieux (11)
e 0.9 m du centre

→ version Lm10
mais avec les
essieux plus près
du centre

- Enveloppe : Lm07

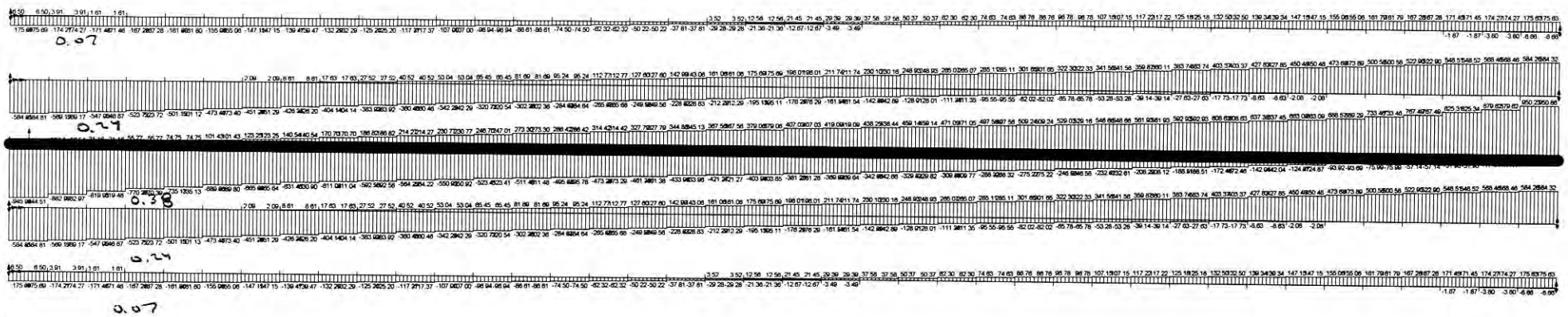
MULTI-LIGNE GOLDHOFER

Pont - 30 - 360 t. - 21

Camion centré sur le pont

Membrures
Vy (kN)

f.e



TOTAL V: 176 + 584 + 946 + 584 + 176
= 2466
vs 2494

- Enveloppe : Lm07

MULTILIGNE GOLDHOFER

PONT. 30-360 t vdl

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: ____ Par: P.L.

Date: 17 juin 2013

Sujet: ____ No du projet: ____

- Étude du facteur donner en modifiant le module de rigidité des poutres en béton dans le modèle 3D

→ utiliser 0.5E

En utilisant une rigidité de la dalle de 0.5E, la distribution se fait moins bien entre les poutres mais est plus réaliste pour considérer la dalle qui est fissurée

Membrures

Vy (kN)

Reduction de En @ 0.5 En

fe = 0.05

8.6161, 5.8282, 3.8414, 1.7474, 0.4848, 0.2020, 1.9656, 5.5757, 111997, 177883, 223177, 227100, 334882, 442584, 560700, 599000, 655592, 711888, 788551, 883386, 888333, 991440, 986660, 102.18, 106.90, 110.72, 113.61, 115.53, 116.36,

-116551, -115553, -113559, -110770, -106888, -102165, -96.57, -91.58, -88.12, -83.29, -78.67, -71.70, -65.72, -58.83, -50.61, -42.60, -34.65, -27.36, -23.06, -17.72, -12.09, -5.5252, -1.5533, -0.0188, -0.0185, -1.6182, -3.2188, -5.5444, -8.8860

= 0.26

2.2222, 3.7272, 7.7111, 100662, 166445, 222699, 299299, 399986, 488766, 662880, 783766, 884666, 101.51, 113.81, 132.31, 146.32, 162.90, 181.04, 195.67, 218.35, 234.55, 254.69, 275.56, 292.72, 316.24, 333.26, 355.84, 376.71, 395.92, 422.68, 442.75, 468.57, 491.35, 513.98, 541.94, 563.97, 592.08, 615.34, 638.28,

-663799, -661643, -658951, -656510, -654263, -651387, -649245, -646602, -644382, -642288, -639899, -637777, -635381, -633424, -631568, -629399, -627654, -625262, -623546, -621708, -619869, -618185, -616134, -614705, -612032, -611444, -610214, -85.26, -74.31, -59.97, -49.16, -40.35, -29.60, -22.98, -14.72, -10.80, -7.2020, -3.2182, -2.2222

= 0.38

6.7171, 11.4724, 288386, 460588, 557728, 774001, 888489, 111.66, 127.32, 149.48, 167.22, 183.70, 209.62, 225.99, 253.01, 270.45, 290.86, 315.16, 331.83, 361.17, 379.06, 402.58, 427.53, 445.90, 474.75, 492.87, 516.92, 540.85, 561.86, 597.50, 620.35, 653.89, 683.55, 713.87, 756.54, 790.72, 840.78, 885.53, 937.99

-993433, -988779, -988363, -984779, -982899, -978784, -971388, -965553, -964914, -962224, -959777, -955653, -952582, -948260, -951282, -948449, -947344, -944752, -942915, -939949, -938066, -935884, -933342, -931665, -929919, -927118, -926294, -924542, -921715, -921210, -918541, -918341, -916884, -914178, -912883, -89.34, -74.92, -52.80, -41.21, -29.13, -15.08, -7.0188

2.2222, 3.7272, 7.7111, 100662, 166445, 222699, 299299, 399986, 488766, 662880, 783766, 884666, 101.51, 113.81, 132.31, 146.32, 162.90, 181.04, 195.67, 218.35, 234.55, 254.69, 275.56, 292.72, 316.24, 333.26, 355.84, 376.71, 395.92, 422.68, 442.75, 468.57, 491.35, 513.98, 541.94, 563.97, 592.08, 615.34, 638.28,

-663799, -661643, -658951, -656510, -654263, -651387, -649245, -646602, -644382, -642288, -639899, -637777, -635381, -633424, -631568, -629399, -627654, -625262, -623546, -621708, -619869, -618185, -616134, -614705, -612032, -611444, -610214, -85.26, -74.31, -59.97, -49.16, -40.35, -29.60, -22.98, -14.72, -10.80, -7.2020, -3.2182, -2.2222

0.26

8.6161, 5.8282, 3.8414, 1.7474, 0.4848, 0.2020, 1.9656, 5.5757, 111997, 177883, 223177, 227100, 334882, 442584, 560700, 599000, 655592, 711888, 788551, 883386, 888333, 991440, 986660, 102.18, 106.90, 110.72, 113.61, 115.53, 116.37,

-116551, -115553, -113559, -110770, -106888, -102165, -96.57, -91.58, -88.12, -83.29, -78.67, -71.71, -65.72, -58.83, -50.61, -42.60, -34.65, -27.36, -23.06, -17.72, -12.09, -5.5252, -1.5533, -0.0188, -0.0185, -1.6182, -3.2188, -5.5444, -8.8860

0.05

V = 117 + 638 + 934 + 638 + 117

= 2444

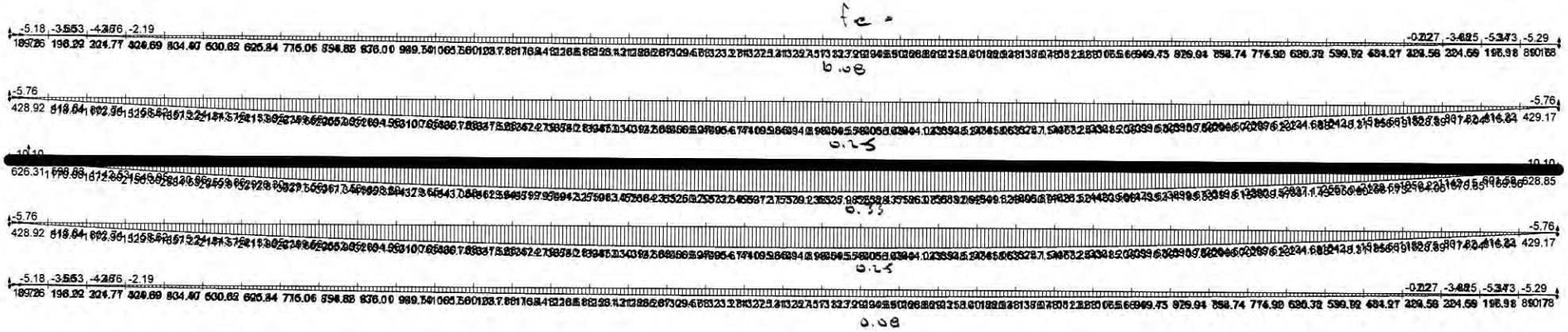
- Enveloppe : Lm10

Pont - 30 - 360 t. Emd - d1

Membrures

Mx (kN.m)

Reduction de Ec = 0,5 Ec



M = 1327 + 4111 + 5391 + 4111 + 1327 = 16267

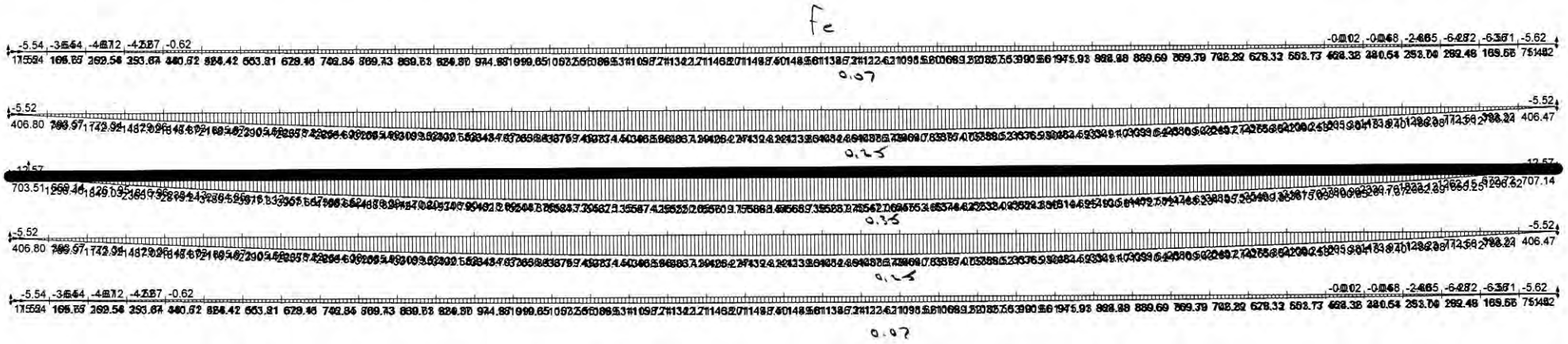
- Enveloppe : Lm10

Pont - 30 - 360 t. Ensd vdi

Membrures

Mx (kN.m)

Reduction de Ec a 0.5Ec



M = 1150 + 4139 + 5689 + 4139 + 1150

= 16267

- Enveloppe : Lm07

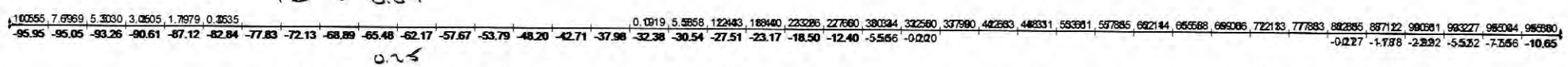
Pont - 30 - 360 t - Emod. vdi

Membrures

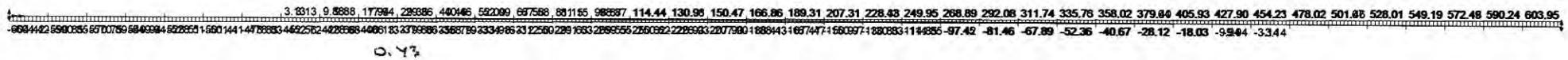
Vy (kN)

Reduction de Ec e 0.5 Ec

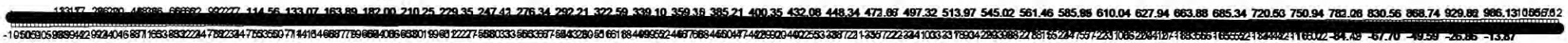
fe = 0.04



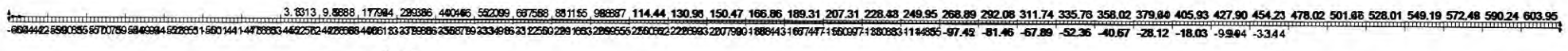
0.25



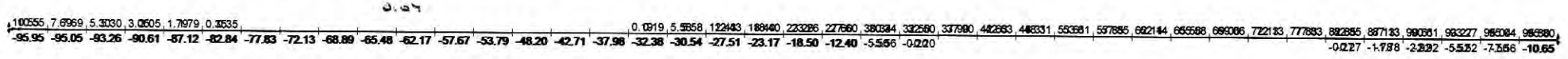
0.43



0.25



0.04



V = 95 + 604 + 1052 + 604 + 95

= 2450

- Enveloppe : Lm07

Pont -30 - 360t - Enveloppe

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____

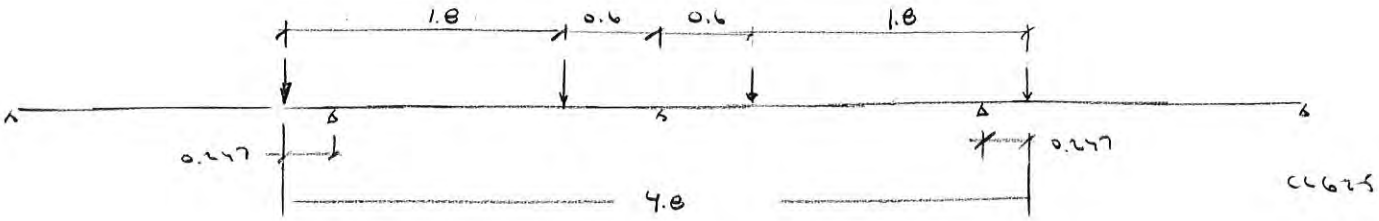
Par: P.L.

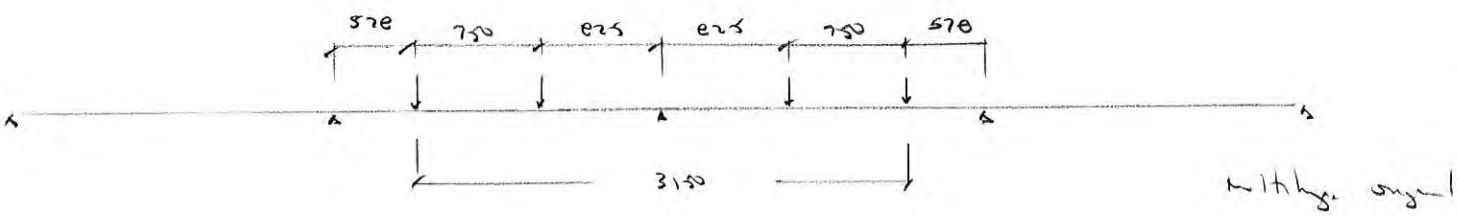
Date: 15 Jan '13

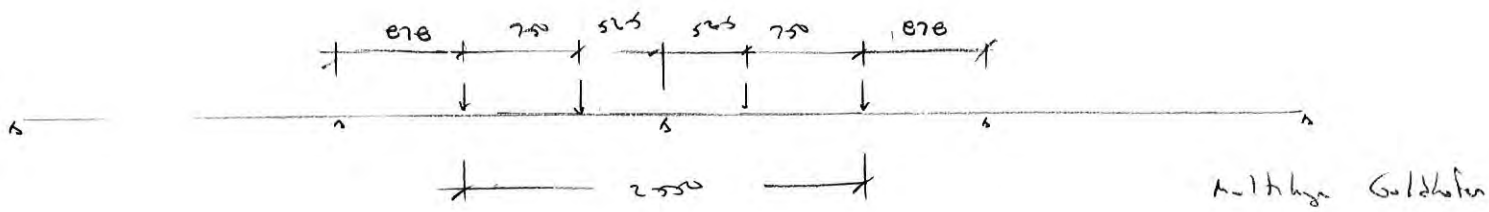
Sujet: _____

No du projet: _____

• Position des charges du CL625 vs les charges du multilinge Goldhofer







Pour le CL625 → f_e = 0.65 Appuis simple 2 camions x 0.9

SG-06	f_e =	0.56 M	862
		0.64 V	982
30	f_e =	0.49 M	752
	=	0.58 V	892

Imprimerie J.B.R. inc

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____ Par: P.L.

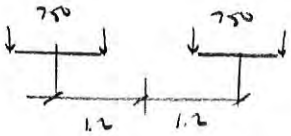
_____ Date: 15 janv '13

Sujet: _____ No du projet: _____

Étude des facteurs d'essieux pour le multilignes

→ En faisant l'étude de distribution 30 pour 11 essieux à 1.5 m sans tenir compte du chariot, les valeurs sont les suivantes

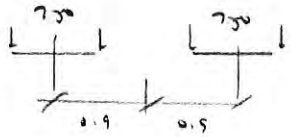
1) 2 groupes d'essieux



(30) f_e = 0.29 m 662
= 0.35 v 802

App. simple f_e = 0.44

2) 2 groupes d'essieux



(30) f_e = 0.31 532
= 0.38 662

App. simple f_e = 0.58

Imprimerie J.B.R. inc.

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____

Par: P.L.

Date: 28 JANV. '13

Sujet: _____

No du projet: _____

Calcul de facteur d'essai selon un modèle 3D

→ 16 essieux : Utiliser $E = 0.5 E_c$ pour les portions

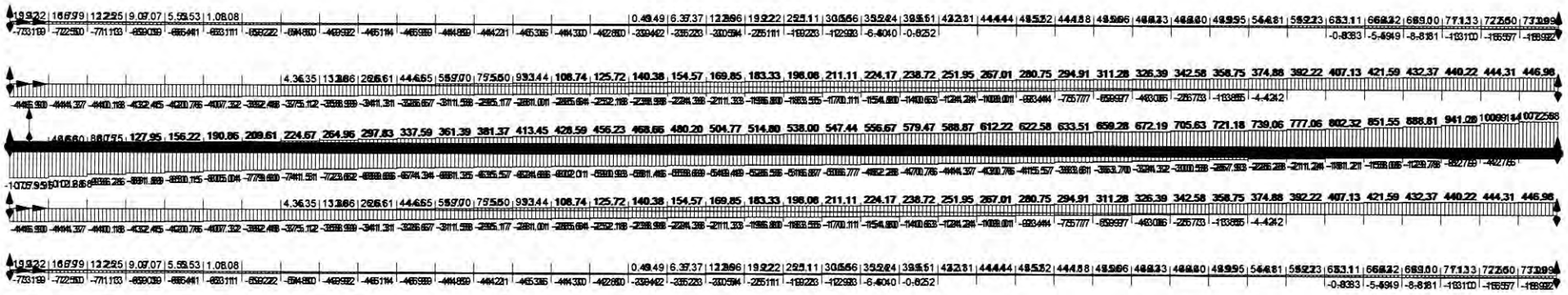
$f_e = 0.51$ V (3D)

0.37 m

$= 0.58$ (2D)

Imprimerie J.B.R. Inc.

Membrures
Vy (kN)



fe . 0,03 ; 0,21 ; 0,51 ; 0,21 ; 0,03

V = 73 + 447 + 1075 + 447 + 73 = 2115 kN

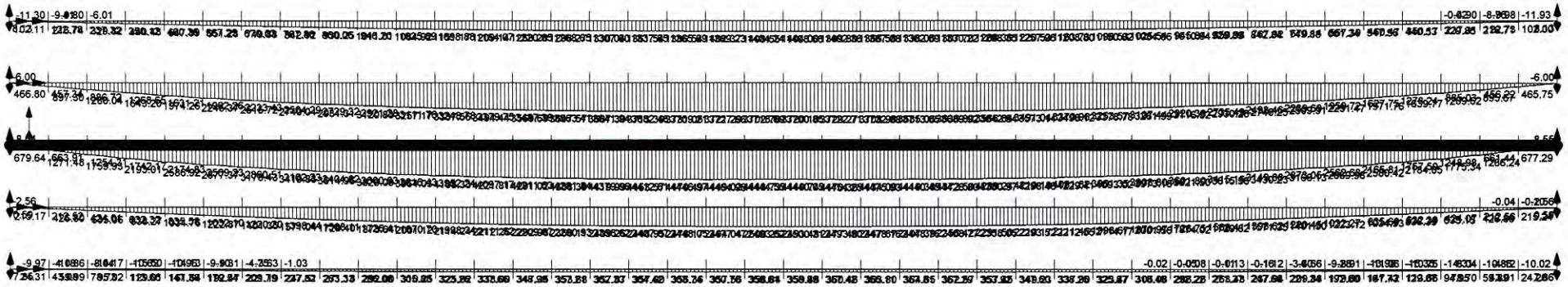
Multiplier 16 essieux

CHARGE CENTRÉE

- Enveloppe : Lm02

Pont-30-360 t - Ensd 1-d1

Membrures
Mx (kN.m)



Fe = 0.11 ; 0.30 ; 0.36 ; 0.20 ; 0.03

M = 1408 + 3703 + 4444 + 2500 + 360 = 12415

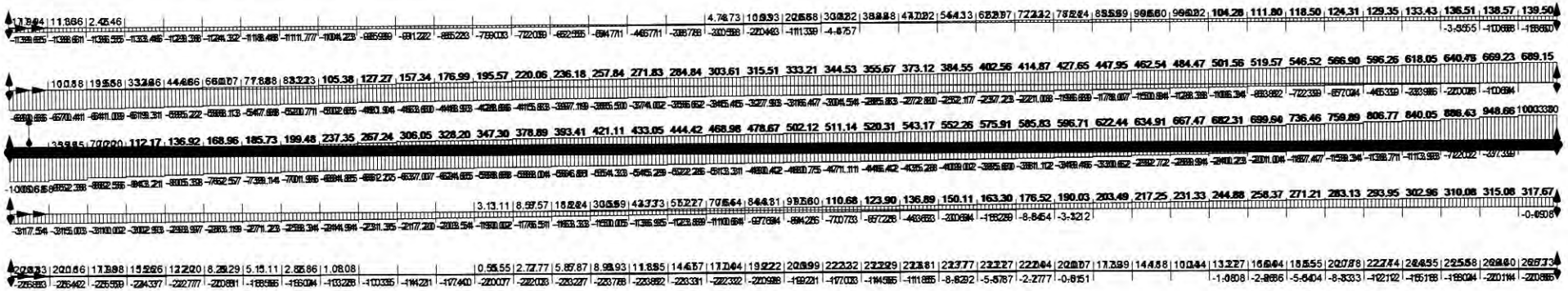
Multilayer 16 essieux

CHARGE DELENTREE 600 mm

- Enveloppe : Lm01

Pont - 3D - 360t - Emad 1 vdi

Membrures
Vy (kN)



f_e = 0.06 ; 0.32 ; 0.46 ; 0.15 ; 0.01

V = 140 + 691 + 1006 + 318 + 27 = 2182

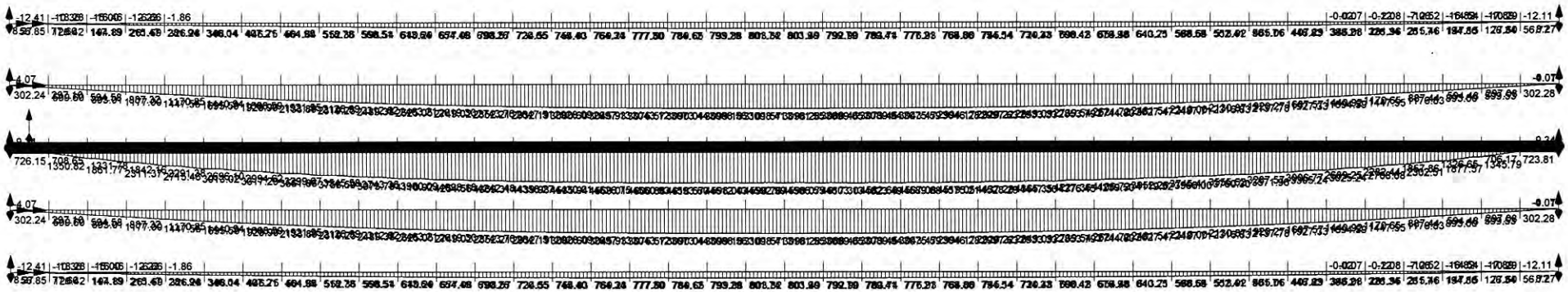
Multiligne 16 essieux

CHARGE DECENTREE 600 m

- Enveloppe : Lm01

Pont-30-360 t - Enveloppe

Membrures
Mx (kN.m)



f_e = 0.06 ; 0.25 ; 0.37 ; 0.25 ; 0.06

M = 804 + 3101 + 4591 + 3101 + 804 = 12401

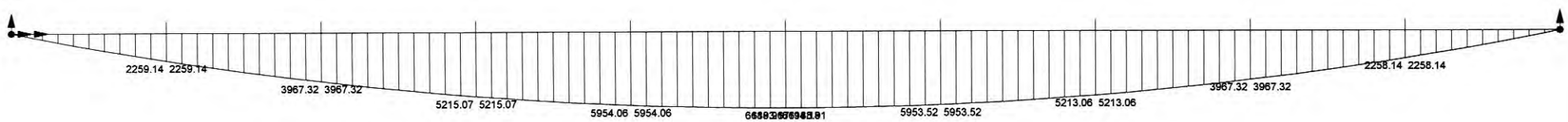
MULTILIGNE (Bessons

CHARGE CENTRÉE

- Enveloppe : Lm02

Pont - 30 - 360t - Ensd1 vdi

Membrures
Mx (kN.m)



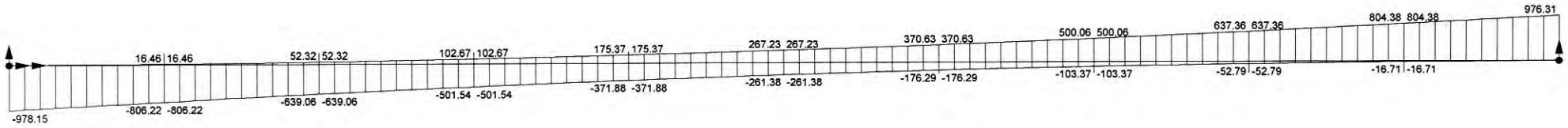
6 ies

x2 = 12378 kN.m

- Enveloppe : Lm01

Pont 1 bandi

Membrures
Vy (kN)



97e×2 = 1956 kN

- Enveloppe : Lm01

Pont Ibadi

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____

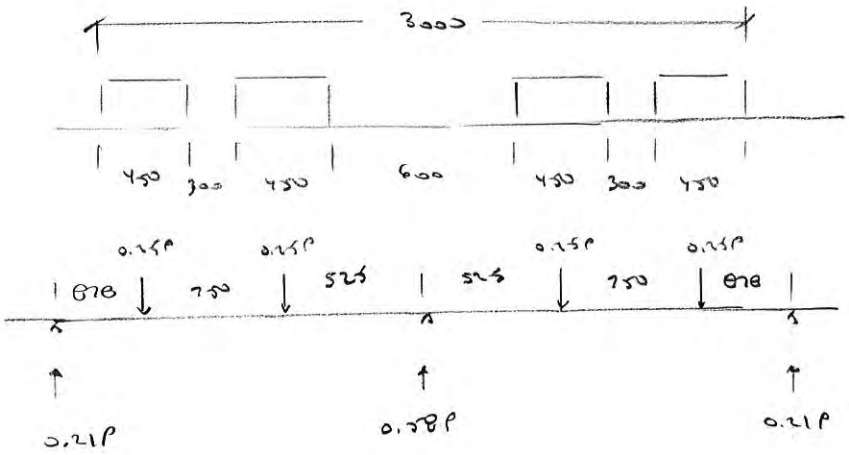
Par: P.L.

Date: 11 JAN '13

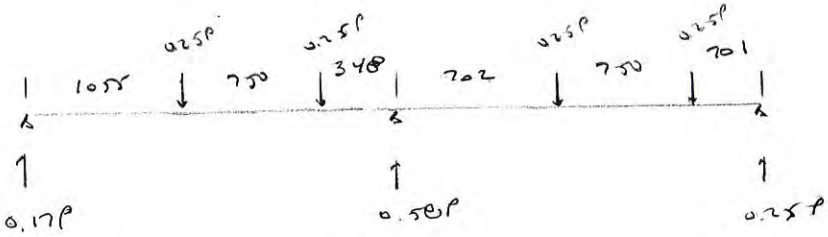
Sujet: _____

No du projet: _____

EVALUATION DE LA DALLE POUR UN MULTILIGNE DE TYPE GOLDHOFER



(1)



(3)

voir position du tracteur

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

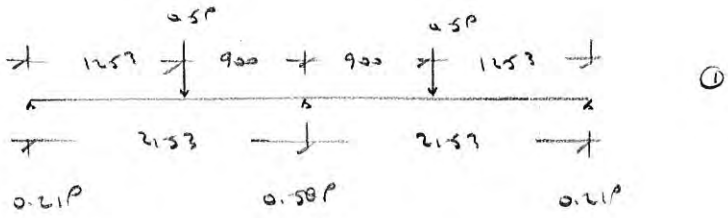
Nom du projet: _____ Par: P.L.

Date: 11 Janv '13

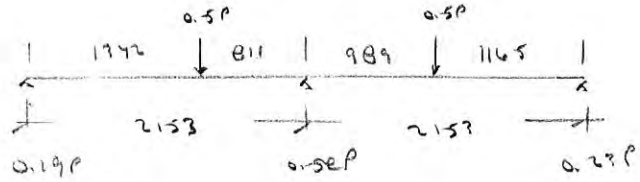
Sujet: _____ No du projet: _____

Facteur d'essieu du tracteur

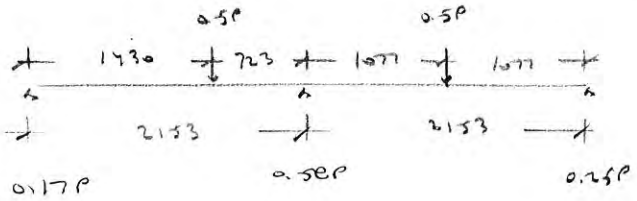
TRACK WIDTH DU CC6725



①



②

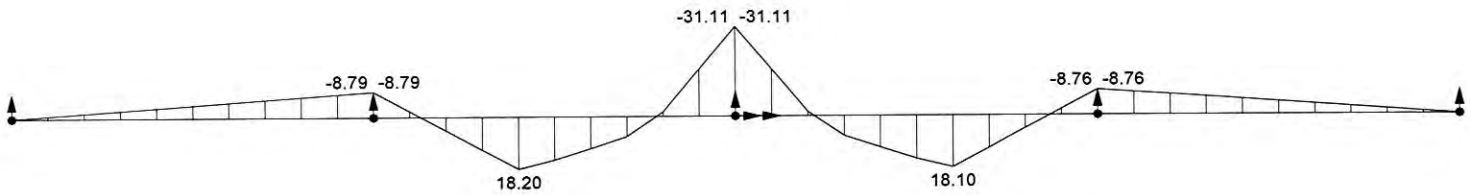


③

Charge centrée entre 2 portées

Imprimerie J.B.R. inc

Membrures
My (kN.m)



4.1 | 35.4 | 137.5 | 35.4 | -4.1

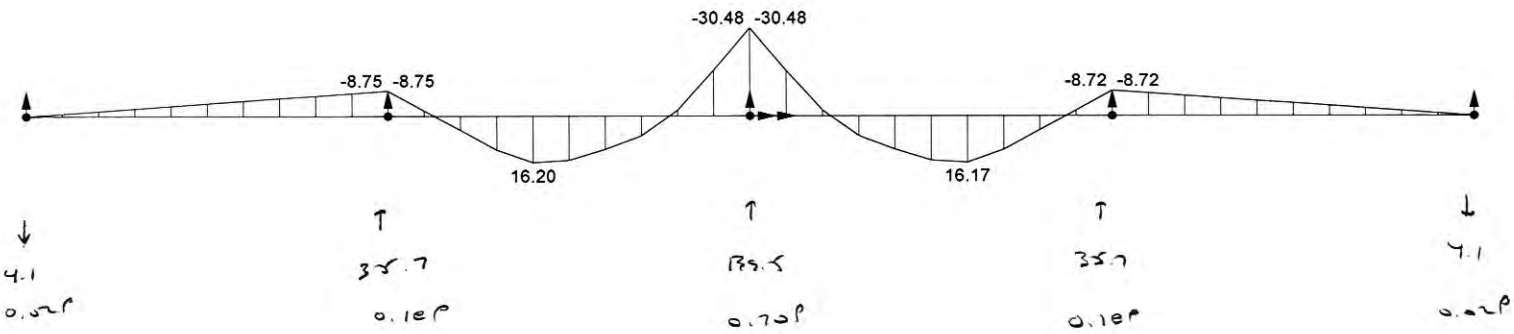
-0.02P | 0.18P | 0.69P | 0.18P | -0.02P

Analyse plus en tirage
mais non retenue

- Combinaison : P 200 kN p1

multilayer Goldhofer

Membrures
My (kN.m)



Analyse plus contraire
mais non retenue

- Combinaison : P 200 kN p1 D

Multiligne Goldbeter

CALCUL DU FACTEUR

D'ESSIEU POUR LE

CAMION CL. 625

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____

Par: PL.

Date: _____

Sujet: _____

No du projet: _____

LES CALCULS QUI SUIVENT DÉMONTRENT LES VALEURS DES FACTEURS D'ESSIEUX À UTILISER POUR LE CAMION DE CONCEPTION CL-625 QUI EST PRESCRIT PAR LA NORME S6-06.

Résumé : Norme f.e. m = 0.56
v = 0.64

Analyse 3D f.e. m = 0.49 < 0.56
v = 0.58 < 0.64

Analyse appuis simple f.e = 0.65 > 0.56
> 0.64

La méthode d'analyse sur appuis simple demeure sécuritaire pour le calcul des facteurs d'essieux

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: ____ Par: P.L.

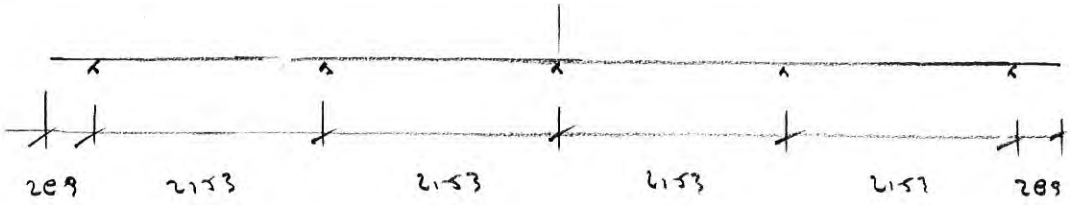
Date: 26 nov '12

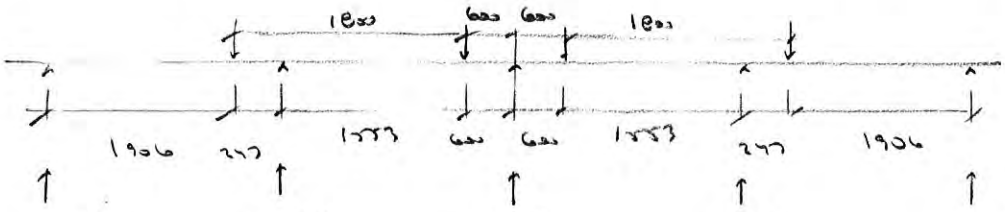
Sujet: ____ No du projet: ____

Calcul des facteurs d'essieu

CL 625

Appuis simple





Appuis simple ×0.9 0.05P 0.52P 0.65P 0.52P 0.05P

Appuis Gauche 0.02P 0.53P 0.70P 0.53P 0.02P

Imprimerie J.B.R. inc.

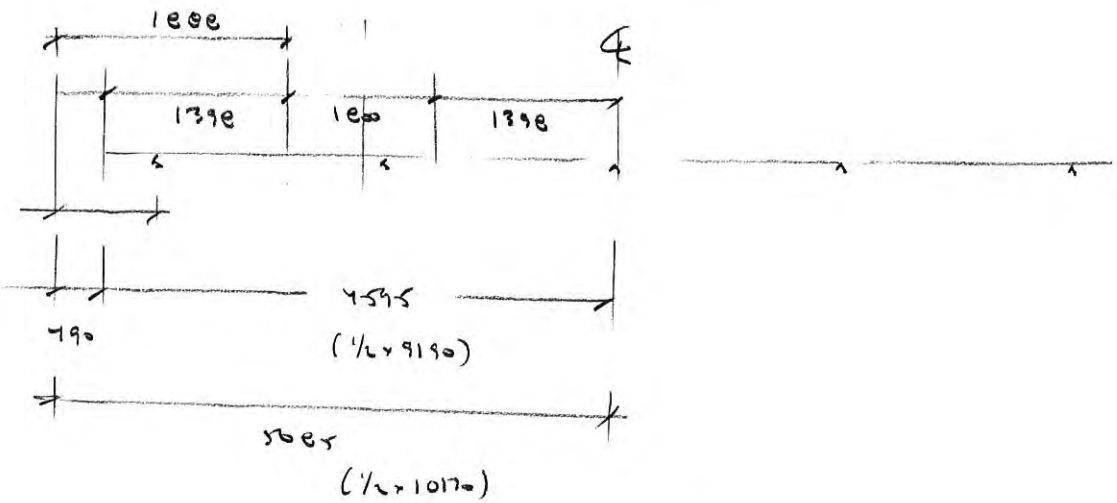
FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____ Par: P.L.

Date: 26 nov '12

Sujet: _____ No du projet: _____



Sol.. S6-06

		INT	EXT
ELWL	M	0.56	0.56
ELWL	V	0.64	0.64
ELWT	M	0.42	0.43
ELWT	V	0.60	0.60

← tel que appuis simple

Imprimerie J.B.R. inc

Calcul du facteur d'essieu selon la norme CSA/S6-2000

Calcul pour pont avec dalle sur poutres (type C) en acier ou béton avec classe de route A ou B

$W_c := 9190mm$ W .c = largeur carrossable du pont

$$n := \begin{cases} 1 & \text{if } W_c < 6.0m \\ 2 & \text{if } W_c \geq 6.0m \wedge W_c < 10.0m \\ 3 & \text{if } W_c \geq 10.0m \wedge W_c < 13.5m \\ 4 & \text{if } W_c \geq 13.5m \wedge W_c < 17.0m \\ 5 & \text{if } W_c \geq 17.0m \wedge W_c < 20.5m \\ 6 & \text{if } W_c \geq 20.5m \wedge W_c < 24.0m \\ 7 & \text{if } W_c \geq 24.0m \wedge W_c < 27.5m \\ 8 & \text{if } W_c \geq 27.5m \end{cases}$$

$n = 2$

$$R_L := \begin{cases} 1.00 & \text{if } n = 1 \\ 0.90 & \text{if } n = 2 \\ 0.80 & \text{if } n = 3 \\ 0.70 & \text{if } n = 4 \\ 0.60 & \text{if } n = 5 \\ 0.55 & \text{if } n > 5 \end{cases}$$

$M_T := 1.0$ M.T = Moment maximal par voie de calcul (à l'ultime)

$V_T := 1.0$ V. T = Cisaillement maximal par voie de calcul (à l'ultime)

$N := 5$ N = Nombre de poutre

$S := 2.153m$ S = espacement des poutres

$S_p := 0.78m$ Sp = longueur du porte-à-faux

$\text{if}(S_p \leq 0.6S, \text{"OK"}, \text{"Trop grand porte-à-faux"}) = \text{"OK"}$

Calcul des efforts dans la travée #1

$L := 27.23m$ L est la distance entre les moments nuls (points d'inflexion)

$$M_{g.avg} := \frac{n \cdot M_T \cdot R_L}{N} \qquad M_{g.avg} = 0.36$$

$L := \max(3.0m, L)$ $L = 27.23\,m$

Valeur minimale de L = 3.0 m

$$W_e := \frac{W_c}{n} \qquad W_e = 4.595\,m$$

$$\mu := \min\left(\frac{W_e - 3.3m}{0.6m}, 1.0\right) \qquad \mu = 1$$

1.0 Calcul de la flexion États limites ultimes et d'utilisation

$$C_f := \begin{cases} 5 - \frac{12m}{L} & \text{if } n = 1 \\ 5 - \frac{15m}{L} & \text{if } n = 2 \\ 10 - \frac{25m}{L} & \text{if } n = 3 \\ 10 - \frac{25m}{L} & \text{if } n = 4 \\ 10 - \frac{25m}{L} & \text{if } n > 4 \end{cases} \qquad C_f = 4.449$$

$$F_{ext.flex} := \begin{cases} 3.30 & \text{if } (L \ge 3m \wedge L \le 10m) \wedge n = 1 \\ 3.50 - \frac{2m}{L} & \text{if } L > 10m \wedge n = 1 \\ 6.50 & \text{if } (L \ge 3m \wedge L \le 10m) \wedge n = 2 \\ 6.80 - \frac{3m}{L} & \text{if } L > 10m \wedge n = 2 \\ 8.30 & \text{if } (L \ge 3m \wedge L \le 10m) \wedge n = 3 \\ 8.70 - \frac{4m}{L} & \text{if } L > 10m \wedge n = 3 \\ 9.50 & \text{if } (L \ge 3m \wedge L \le 10m) \wedge n = 4 \\ 10.0 - \frac{5m}{L} & \text{if } L > 10m \wedge n = 4 \\ 9.50 \cdot \frac{n \cdot R_L}{2.80} & \text{if } (L \ge 3m \wedge L \le 10m) \wedge n > 4 \\ \left(10.0 - \frac{5m}{L}\right) \cdot \frac{n \cdot R_L}{2.80} & \text{if } L > 10m \wedge n > 4 \end{cases} \qquad F_{ext.flex} = 6.69$$

$$f_{corr} := \text{if}\left(S_p > 0.5S \wedge S_p \le 0.6 \cdot S, 0.952, 1.0\right)$$

$$f_{corr} = 1$$

$$F_{ext.flex} := f_{corr} \cdot F_{ext.flex}$$

$$F_{ext.flex} = 6.69$$

$$F_{m.ext} := \frac{\frac{S}{m} \cdot N}{F_{ext.flex} \cdot \left(1 + \frac{\mu \cdot C_f}{100}\right)} \qquad F_{m.ext} = 1.541$$

$$M_{g.ext} := F_{m.ext} \cdot M_{g.avg} \qquad M_{g.ext} = 0.555$$

Poutre extérieure

$$F_{int.flex} := \begin{cases} 3.30 + \frac{0.05L}{m} & \text{if } (L \geq 3m \wedge L \leq 10m) \wedge n = 1 \\ 4.40 - \frac{6m}{L} & \text{if } L > 10m \wedge n = 1 \\ 4.80 + 0.10\frac{L}{m} & \text{if } (L \geq 3m \wedge L \leq 10m) \wedge n = 2 \\ 7.20 - \frac{14m}{L} & \text{if } L > 10m \wedge n = 2 \\ 6.70 + 0.08\frac{L}{m} & \text{if } (L \geq 3m \wedge L \leq 10m) \wedge n = 3 \\ 9.60 - \frac{21m}{L} & \text{if } L > 10m \wedge n = 3 \\ 7.60 + 0.14\frac{L}{m} & \text{if } (L \geq 3m \wedge L \leq 10m) \wedge n = 4 \\ 11.20 - \frac{22m}{L} & \text{if } L > 10m \wedge n = 4 \\ \left(7.60 + 0.14\frac{L}{m}\right)\cdot\frac{n\cdot R_L}{2.80} & \text{if } (L \geq 3m \wedge L \leq 10m) \wedge n > 4 \\ \left(11.20 - \frac{22m}{L}\right)\cdot\frac{n\cdot R_L}{2.80} & \text{if } L > 10m \wedge n > 4 \end{cases} \qquad F_{int.flex} = 6.686$$

$$F_{m.int} := \frac{\frac{S}{m}\cdot N}{F_{int.flex}\cdot\left(1 + \frac{\mu\cdot C_f}{100}\right)} \qquad F_{m.int} = 1.542$$

$$M_{g.int} := F_{m.int}\cdot M_{g.avg} \qquad M_{g.int} = 0.555$$

Poutre intérieure

2.0 Calcul du cisaillement aux états limites ultimes et d'utilisation

$$V_{g.avg} := \frac{n\cdot V_T\cdot R_L}{N} \qquad V_{g.avg} = 0.36$$

$$F_{cisail.} := \begin{cases} 3.50 & \text{if } n = 1 \\ 6.10 & \text{if } n = 2 \\ 8.20 & \text{if } n = 3 \\ 9.50 & \text{if } n = 4 \\ 9.50 \cdot \dfrac{n \cdot R_L}{2.80} & \text{if } n > 4 \end{cases}$$

$F_{cisail.} = 6.1$

$$F_{cisail.} := \text{if}\left[S \le 2.0m, F_{cisail.} \cdot \left(\frac{S}{2.0m}\right)^{0.25}, F_{cisail.}\right]$$

$F_{cisail.} = 6.1$

$$F_v := \frac{\frac{S}{m} \cdot N}{F_{cisail.}}$$

$F_v = 1.765$

Pour la poutre extérieure, calculer la réaction en considérant la dalle comme appui simple et l'effort doit être au moins égal à celui d'une poutre intérieure.

$V_g := F_v \cdot V_{g.avg}$ $\quad V_g = 0.635$ **Poutre intérieure**

3.0 Calcul de la flexion aux états limites de fatigue

$$C_{f.fatigue} := \begin{cases} 5 - \dfrac{12m}{L} & \text{if } n = 1 \\ 5 - \dfrac{15m}{L} & \text{if } n = 2 \\ 0 & \text{if } n = 3 \\ 0 & \text{if } n = 4 \\ 0 & \text{if } n > 4 \end{cases}$$

$C_{f.fatigue} = 4.449$

$$F_{ext.flex.f} := \begin{cases} 3.30 & \text{if } (L \ge 3m \wedge L \le 10m) \wedge n = 1 \\ 3.50 - \dfrac{2m}{L} & \text{if } L > 10m \wedge n = 1 \\ 3.60 & \text{if } (L \ge 3m \wedge L \le 10m) \wedge n = 2 \\ 3.80 - \dfrac{2m}{L} & \text{if } L > 10m \wedge n = 2 \\ 3.60 + 0.01 \cdot \dfrac{L}{m} & \text{if } (L \ge 3m \wedge L \le 10m) \wedge n = 3 \\ 3.70 + \dfrac{L - 10m}{140m} & \text{if } L > 10m \wedge n = 3 \\ 3.80 & \text{if } (L \ge 3m \wedge L \le 10m) \wedge n \ge 4 \\ 3.80 + \dfrac{L - 10m}{140m} & \text{if } L > 10m \wedge n \ge 4 \end{cases}$$

$F_{ext.flex.f} = 3.727$

$f_{corr} := \text{if}\left(S_p > 0.5S \wedge S_p \le 0.6 \cdot S, 0.952, 1.0\right)$

$f_{corr} = 1$

$F_{ext.flex.f} := f_{corr} \cdot F_{ext.flex.f}$

$F_{ext.flex.f} = 3.727$

$F_{ext.flex.fatigue} := F_{ext.flex.f}$

$F_{ext.flex.fatigue} = 3.727$

$$F_{int.flex.f} := \begin{cases} 3.30 + \frac{0.05L}{m} & \text{if } (L \geq 3m \wedge L \leq 10m) \wedge n = 1 \\ 4.40 - \frac{6m}{L} & \text{if } L > 10m \wedge n = 1 \\ 2.80 + 0.12\frac{L}{m} & \text{if } (L \geq 3m \wedge L \leq 10m) \wedge n = 2 \\ 4.60 - \frac{6m}{L} & \text{if } L > 10m \wedge n = 2 \\ 2.80 + 0.12\frac{L}{m} & \text{if } (L \geq 3m \wedge L \leq 10m) \wedge n = 3 \\ 4.80 - \frac{8m}{L} & \text{if } L > 10m \wedge n = 3 \\ 2.80 + 0.12\frac{L}{m} & \text{if } (L \geq 3m \wedge L \leq 10m) \wedge n \geq 4 \\ 5.00 - \frac{10m}{L} & \text{if } L > 10m \wedge n \geq 4 \end{cases}$$

$F_{int.flex.f} = 4.38$

$$F_{int.flex.fatigue} := \begin{cases} \left[1.00 + \left(0.29 \cdot \frac{S}{m} - 0.35\right) \cdot \frac{L - 10m}{40m}\right] \cdot F_{int.flex.f} & \text{if } (L \geq 10m \wedge L \leq 50m) \wedge n \geq 2 \\ \left(0.29 \cdot \frac{S}{m} + 0.65\right) \cdot F_{int.flex.f} & \text{if } L > 50m \wedge n \geq 2 \\ F_{int.flex.f} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$F_{int.flex.fatigue} = 4.897$

$D_{VE} := \min(3.0m, 1.89m)$

D. VE = Distance entre l'extrémité du porte-à-faux et la roue du camion en considérant le camion au centre de la voie

$$C_{e.ext} := \begin{cases} 0.0 \text{ if } (L \geq 3\cdot m \wedge L \leq 20\cdot m) \wedge n = 1 \\ 0.0 \text{ if } L \geq 20\cdot m \wedge n = 1 \\ 30\cdot\left(\frac{D_{VE}}{m} - 1\right)\cdot\left[1 + 0.4\cdot\left(\frac{D_{VE}}{m} - 1\right)^2\right] \text{ if } (L \geq 3\cdot m \wedge L \leq 20\cdot m) \wedge n = 2 \\ 30\cdot\left(\frac{D_{VE}}{m} - 1\right)\cdot\left[1 + \frac{160m^2}{L^2}\cdot\left(\frac{D_{VE}}{m} - 1\right)^2\right] \text{ if } L > 20m \wedge n = 2 \\ 26\cdot\left(\frac{D_{VE}}{m} - 1\right)\cdot\left[1 + 0.4\cdot\left(\frac{D_{VE}}{m} - 1\right)^2\right] \text{ if } (L \geq 3\cdot m \wedge L \leq 20\cdot m) \wedge n \geq 3 \\ 26\cdot\left(\frac{D_{VE}}{m} - 1\right)\cdot\left[1 + \frac{160m^2}{L^2}\cdot\left(\frac{D_{VE}}{m} - 1\right)^2\right] \text{ if } L > 20m \wedge n \geq 3 \end{cases}$$

$C_{e.ext} = 31.264$

$C_{e.int} := 0$

$$F_{m.f.int} := \max\left[1.05, \frac{\frac{S}{m}\cdot N}{F_{int.flex.fatigue}\cdot\left(1 + \frac{\mu\cdot C_{f.fatigue}}{100} + \frac{C_{e.int}}{100}\right)}\right] \qquad F_{m.f.int} = 2.105$$

$$F_{m.f.ext} := \max\left[1.05, \frac{\frac{S}{m}\cdot N}{F_{ext.flex.fatigue}\cdot\left(1 + \frac{\mu\cdot C_{f.fatigue}}{100} + \frac{C_{e.ext}}{100}\right)}\right] \qquad F_{m.f.ext} = 2.129$$

$$M_{g.avg} := \frac{1.0M_T\cdot 1.0}{N} \qquad M_{g.avg} = 0.2$$

$M_{g.f.int} := F_{m.f.int}\cdot M_{g.avg}$ $\qquad$ $M_{g.f.int} = 0.421$ $\qquad$ **Poutre intérieure**

$M_{g.f.ext} := F_{m.f.ext}\cdot M_{g.avg}$ $\qquad$ $M_{g.f.ext} = 0.426$ $\qquad$ **Poutre extérieure**

4.0 Calcul du cisaillement aux états limites de fatigue

$$V_{g.avg} := \frac{1.0\cdot V_T\cdot 1.0}{N} \qquad V_{g.avg} = 0.2$$

$$F_{cisail.fatigue} := \begin{cases} 3.50 & \text{if } n = 1 \\ 3.60 & \text{if } n = 2 \\ 3.60 & \text{if } n = 3 \\ 3.70 & \text{if } n = 4 \\ 3.70 \cdot \dfrac{n \cdot R_L}{2.80} & \text{if } n > 4 \end{cases} \qquad F_{cisail.} = 6.1$$

$$F_{v.fatigue} := \frac{\frac{S}{m} \cdot N}{F_{cisail.fatigue}} \qquad F_{v.fatigue} = 2.99$$

Pour la poutre extérieure, calculer la réaction en considérant la dalle comme appui simple et l'effort doit être au moins égal à celui d'une poutre intérieure.

$$V_{g.f} := F_{v.fatigue} \cdot V_{g.avg} \qquad \boxed{V_{g.f} = 0.598}$$

Poutre intérieure

CALCUL DES FACTEURS DE PONDÉRATION

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____

Par: P.L.

Date: _____

Sujet: _____

No du projet: _____

LA PONDERATION DES CHARGES EST BASÉE

SUR LE CHAPITRE IV DE LA NORME S6-06

Imprimerie J.B.R. inc

BPR

Feuille de projet

Nom du projet : _____

Sujet : _____

Par : _____ Date : _____ Nº de projet : _____

Facteurs de pondération des charges

Poutres en acier : S2, E3, INSP3 } $\beta = 2.75$

$\alpha_{D1} = 1.06$

$\alpha_{D2} = 1.12$

$\alpha_{D3} = 1.30$

α_L =	1.42		CL1, CL2, CL3	Normal traffic
=	1.42		Normal traffic	"Alternate loading"
=	1.34	①	PA Traffic	Mixed with other traffic without supervision
	1.34	②		Axle load > non permit legislated load
	1.13	①	PB Traffic	Mixed with other traffic
	1.13	②		Axle load < Non permit legislated load
	1.14	①	PC Traffic	under supervision and
	1.13	②		specialized travel conditions
	1.36	①	PS traffic	Single trip mixed with other traffic
	1.30	②		without supervision

① Sophisticated Analysis

② Simplified sect. 5

BPR

Feuille de projet

Nom du projet : _____

Sujet : _____

Par : _____ Date : _____ Nº de projet : _____

Dalle en béton : S3
E3
INSP2

$\beta = 2{,}75$

Mieux faire α_L que pour la poutre en acier

Page ☐ de ☐

CALCULS DES RAIDISSEURS

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____ Par: PL

Date: _____

Sujet: _____ No du projet: _____

La poutre possède des raidisseurs de cisaillement et des raidisseurs porteurs aux appuis. Ceux de cisaillement doivent être suffisamment rigide et bien fixés à l'âme des poutres. Les raidisseurs porteurs aux appuis doivent assez fort pour envoyer la réaction d'appui à l'appareil d'appui.

Ici, les raidisseurs ne sont suffisamment forts ni l'âme pour développer la pleine résistance de cisaillement. Il y a donc un coefficient réducteur à appliquer à la résistance en cisaillement.

Ici, le raidisseur porteur a autant de résistance que la poutre en cisaillement. $V_r = 2534$ kN

$B_r = 2505$ kN (9892 V_r)

Imprimerie J.B.R. inc

Calculer les dimensions d'un raidisseurs

$kN := 10^3 N$

$MPa := 10^6 Pa$

$a := 1503mm$ $w := 12.7mm$ $h := 1829mm$ $F_y := 350MPa$ $F_{ys} := 350MPa$

Acier de l'âme Acier du raidisseur

$$k_v := if\left[\frac{a}{h} < 1,4 + \frac{5.34}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}, 5.34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}\right] \qquad k_v = 11.908 \qquad \frac{a}{h} = 0.822$$

Type de raidisseurs

1) D = 1.0 pour deux raidisseurs soudés Ast = 2bt
2) D = 2.4 pour un raidisseur soudé Ast = bt
3) D = 1.8 pour un raidisseur avec une cornière (fixé au dos) Ast = Ac
4) D = 3.0 pour un raidisseur avec une cornière (fixé à l'aile) Ast = Ac

$Typ_R := 2$

Aire du raidisseur :

$$D := if\left(Typ_R = 1, 1.0, if\left(Typ_R = 2, 2.4, if\left(Typ_R = 3, 1.8, 3.0\right)\right)\right) \qquad D = 2.4$$

$$C := \max\left[1 - \frac{310000MPa \cdot k_v}{F_y \cdot \left(\frac{h}{w}\right)^2}, 0.1\right] \qquad C = 0.491 \qquad C := \max(0.1, C) \qquad C = 0.491$$

$$Y := \frac{F_y}{F_{ys}} \qquad Y = 1$$

$$A_{st.min} := \left[\frac{a \cdot w}{2} \cdot \left[1 - \frac{\frac{a}{h}}{\sqrt{1 + \left(\frac{a}{h}\right)^2}}\right] \cdot C \cdot D\right] \cdot Y \qquad A_{st.min} = 4.11 \times 10^3 \cdot mm^2$$

Équation S16.1-01

Si le raidisseur est une cornière, l'aire de la cornière est A.st.min

$b := 305mm$ $b_{r.max} := \frac{b - w}{2}$ $b_{r.max} = 146.15 \cdot mm$ $b_r := 152mm$ $t_r := 22mm$

$$t_{min1} := if\left(Typ_R = 1, \frac{A_{st.min}}{2 \cdot b_r}, if\left(Typ_R = 2, \frac{A_{st.min}}{b_r}, "N.A."\right)\right) \qquad t_{min1} = 27.042 \cdot mm$$

$$t_{min2} := if\left(Typ_R \le 2, \frac{b_r \cdot \sqrt{F_y \cdot MPa}}{200MPa}, "N.A."\right) \qquad t_{min2} = 14.218 \cdot mm$$

$$\text{if}\left(t_r > \max\left(t_{min1}, t_{min2}\right), \text{"OK"}, \text{"NOT OK"}\right) = \text{"NOT OK"}$$

$$r := \frac{t_r}{\max\left(t_{min1}, t_{min2}\right)}$$

$r = 0.814$ Réduire Vr

Inertie du raidisseur :

$y := 0mm$ $I_x := 0mm^4$ $A_c := 0mm^2$ Valeurs pour le calcul d'inertie avec une cornière comme raidisseur

$$I_{st.1} := \text{if}\left[Typ_R = 1, t_r \cdot \frac{\left(2 \cdot b_r + w\right)^3}{12}, \text{if}\left[Typ_R = 2, t_r \cdot \frac{\left(b_r + 0.5 \cdot w\right)^3}{3}, \text{"N.A."}\right]\right]$$

$$I_{st.1} = 2.912 \times 10^7 \cdot mm^4$$

$$I_{st.2} := \text{if}\left[Typ_R = 1, t_r \cdot \frac{\left(2 \cdot b_r + w\right)^3}{12}, \text{if}\left(Typ_R = 2, \frac{t_r \cdot b_r^3}{3}, I_x + A_c \cdot y^2\right)\right]$$

$$I_{st.2} = 2.575 \times 10^7 \cdot mm^4$$

$$I_{st.min1} := \frac{0.172 \cdot h^4}{\left(\frac{a}{h} \cdot \frac{h}{w}\right)^3} \qquad I_{st.min1} = 1.161 \times 10^6 \cdot mm^4$$

$$I_{st.min1} := \max\left[I_{st.min1}, \left(\frac{h}{50}\right)^4\right]$$

$$I_{st.min1} = 1.791 \times 10^6 \cdot mm^4$$

$$j := \max\left[\frac{2.5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} - 2.0, 0.5\right] \qquad j = 1.702$$

$$\left(\frac{h}{50}\right)^4 = 1.791 \times 10^6 \cdot mm^4$$

$$I_{st.min2} := a \cdot w^3 \cdot j \qquad I_{st.min2} = 5.24 \times 10^6 \cdot mm^4$$

$$\text{if}\left(I_{st.1} > I_{st.min1}, \text{"OK"}, \text{"NOT OK"}\right) = \text{"OK"}$$

$$\text{if}\left(I_{st.2} > I_{st.min2}, \text{"OK"}, \text{"NOT OK"}\right) = \text{"OK"}$$

$$a_{max} := \text{if}\left[\frac{h}{w} \le 150, 3 \cdot h, \frac{67500 \cdot h}{\left(\frac{h}{w}\right)^2}\right] \qquad a_{max} = 5.487 \times 10^3 \cdot mm$$

$$\text{if}\left(a \le a_{max}, \text{"OK"}, \text{"NOT OK"}\right) = \text{"OK"}$$

Selon les règles de bonne pratique

$$\text{if}\left(b_r \geq \frac{b}{4}, \text{"OK"}, \text{"NOT OK"}\right) = \text{"OK"}$$

$$\text{if}\left(b_r \geq 50\text{mm} + \frac{h}{30}, \text{"OK"}, \text{"NOT OK"}\right) = \text{"OK"}$$

$$\text{if}\left(b_r \leq 30 \cdot t_r, \text{"OK"}, \text{"NOT OK"}\right) = \text{"OK"}$$

Flux de cisaillement :

$$q_f := 0.0001 \cdot h \cdot \left(\frac{F_y}{\text{MPa}}\right)^{1.5} \cdot \text{MPa} \qquad q_f = 1.198 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

Soudures 1/4" - 3" @ 12"

$$q_r := 0.967 \frac{\text{kN}}{\text{mm}} \cdot \frac{3}{12} \cdot 2 \qquad q_r = 0.484 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

$$\boxed{\frac{q_r}{q_f} = 0.404}$$

Les raidisseurs ne sont pas efficaces à 100%

réduire Vf/Vr en conséquence

Calcul du flux de cisaillement selon le guide d'évaluation de la capacité portante des structures du MTQ

$$q_f := \frac{1.5 \cdot a \cdot w}{h} \cdot \left[1 - \frac{\frac{a}{h}}{\sqrt{1 + \left(\frac{a}{h}\right)^2}}\right] \cdot C \cdot F_y \qquad q_f = 0.983 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{mm}} \qquad \boxed{\frac{q_r}{q_f} = 0.492}$$

Les raidisseurs ne sont pas efficaces à 100%

réduire Vf/Vr en conséquence

$$r_s := \frac{q_r}{q_f} \qquad r_s = 0.492$$

Calcul de la norme S6-66

$$\text{kips} := 1000\text{lbf} \qquad \text{ksi} = 6.895 \cdot \text{MPa}$$

$$q_s := 0.001 \cdot \left(\frac{h}{\text{in}}\right) \cdot \sqrt{\left(\frac{F_y}{\text{ksi}} \cdot \frac{1}{3.4}\right)^3} \cdot \frac{\text{kips}}{\text{in}} \qquad q_s = 4.154 \cdot \frac{\text{kips}}{\text{in}} \qquad q_s = 0.7275 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

Équation S6-06

$$A_{st.min} := \left[\frac{a \cdot w}{2} \cdot \left[1 - \frac{\frac{a}{h}}{\sqrt{1 + \left(\frac{a}{h}\right)^2}} \right] \cdot C \cdot D - 18 \cdot w^2 \right] \cdot Y \qquad A_{st.min} = 1.207 \times 10^3 \cdot mm^2$$

Calculer les dimensions d'un raidisseurs

$kN := 10^3 N$

$MPa := 10^6 Pa$

$a := 1219mm$ $w := 12.7mm$ $h := 1829mm$ $F_y := 350MPa$ $F_{ys} := 350MPa$

Acier de l'âme Acier du raidisseur

$$k_v := if\left[\frac{a}{h} < 1, 4 + \frac{5.34}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}, 5.34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}\right] \quad k_v = 16.022 \quad \frac{a}{h} = 0.666$$

Type de raidisseurs

1) D = 1.0 pour deux raidisseurs soudés Ast = 2bt
2) D = 2.4 pour un raidisseur soudé Ast = bt
3) D = 1.8 pour un raidisseur avec une cornière (fixé au dos) Ast = Ac
4) D = 3.0 pour un raidisseur avec une cornière (fixé à l'aile) Ast = Ac

$Typ_R := 2$

Aire du raidisseur :

$$D := if\left(Typ_R = 1, 1.0, if\left(Typ_R = 2, 2.4, if\left(Typ_R = 3, 1.8, 3.0\right)\right)\right) \quad D = 2.4$$

$$C := \max\left[1 - \frac{310000MPa \cdot k_v}{F_y \cdot \left(\frac{h}{w}\right)^2}, 0.1\right] \quad C = 0.316 \quad C := \max(0.1, C) \quad C = 0.316$$

$$Y := \frac{F_y}{F_{ys}} \quad Y = 1$$

$$A_{st.min} := \left[\frac{a \cdot w}{2} \cdot \left[1 - \frac{\frac{a}{h}}{\sqrt{1 + \left(\frac{a}{h}\right)^2}}\right] \cdot C \cdot D\right] \cdot Y \quad A_{st.min} = 2.613 \times 10^3 \cdot mm^2$$

Équation S16.1-01

Si le raidisseur est une cornière, l'aire de la cornière est A.st.min

$b := 305mm$ $b_{r.max} := \frac{b - w}{2}$ $b_{r.max} = 146.15 \cdot mm$ $b_r := 152mm$ $t_r := 22mm$

$$t_{min1} := if\left(Typ_R = 1, \frac{A_{st.min}}{2 \cdot b_r}, if\left(Typ_R = 2, \frac{A_{st.min}}{b_r}, "N.A."\right)\right) \quad t_{min1} = 17.192 \cdot mm$$

$$t_{min2} := if\left(Typ_R \le 2, \frac{b_r \cdot \sqrt{F_y \cdot MPa}}{200MPa}, "N.A."\right) \quad t_{min2} = 14.218 \cdot mm$$

$$\text{if}\left(t_r > \max\left(t_{min1}, t_{min2}\right), \text{"OK"}, \text{"NOT OK"}\right) = \text{"OK"}$$

Inertie du raidisseur :

$y := 0mm$ $\quad I_x := 0mm^4$ $\quad A_c := 0mm^2$ Valeurs pour le calcul d'inertie avec une cornière comme raidisseur

$$I_{st.1} := \text{if}\left[Typ_R = 1, t_r \cdot \frac{\left(2 \cdot b_r + w\right)^3}{12}, \text{if}\left[Typ_R = 2, t_r \cdot \frac{\left(b_r + 0.5 \cdot w\right)^3}{3}, \text{"N.A."}\right]\right]$$

$$I_{st.1} = 2.912 \times 10^7 \cdot mm^4$$

$$I_{st.2} := \text{if}\left[Typ_R = 1, t_r \cdot \frac{\left(2 \cdot b_r + w\right)^3}{12}, \text{if}\left(Typ_R = 2, \frac{t_r \cdot b_r^3}{3}, I_x + A_c \cdot y^2\right)\right]$$

$$I_{st.2} = 2.575 \times 10^7 \cdot mm^4$$

$$I_{st.min1} := \frac{0.172 \cdot h^4}{\left(\frac{a}{h} \cdot \frac{h}{w}\right)^3} \qquad I_{st.min1} = 2.177 \times 10^6 \cdot mm^4$$

$$I_{st.min1} := \max\left[I_{st.min1}, \left(\frac{h}{50}\right)^4\right]$$

$$I_{st.min1} = 2.177 \times 10^6 \cdot mm^4$$

$$j := \max\left[\frac{2.5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} - 2.0, 0.5\right] \qquad j = 3.628$$

$$\left(\frac{h}{50}\right)^4 = 1.791 \times 10^6 \cdot mm^4$$

$$I_{st.min2} := a \cdot w^3 \cdot j \qquad I_{st.min2} = 9.059 \times 10^6 \cdot mm^4$$

$$\text{if}\left(I_{st.1} > I_{st.min1}, \text{"OK"}, \text{"NOT OK"}\right) = \text{"OK"}$$

$$\text{if}\left(I_{st.2} > I_{st.min2}, \text{"OK"}, \text{"NOT OK"}\right) = \text{"OK"}$$

$$a_{max} := \text{if}\left[\frac{h}{w} \le 150, 3 \cdot h, \frac{67500 \cdot h}{\left(\frac{h}{w}\right)^2}\right] \qquad a_{max} = 5.487 \times 10^3 \cdot mm$$

$$\text{if}\left(a \le a_{max}, \text{"OK"}, \text{"NOT OK"}\right) = \text{"OK"}$$

Selon les règles de bonne pratique

$$\text{if}\left(b_r \geq \frac{b}{4}, \text{"OK"}, \text{"NOT OK"}\right) = \text{"OK"}$$

$$\text{if}\left(b_r \geq 50\text{mm} + \frac{h}{30}, \text{"OK"}, \text{"NOT OK"}\right) = \text{"OK"}$$

$$\text{if}\left(b_r \leq 30 \cdot t_r, \text{"OK"}, \text{"NOT OK"}\right) = \text{"OK"}$$

Flux de cisaillement :

$$q_f := 0.0001 \cdot h \cdot \left(\frac{F_y}{\text{MPa}}\right)^{1.5} \cdot \text{MPa} \qquad q_f = 1.198 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

Soudures 1/4" - 3" @ 12"

$$q_r := 0.967 \frac{\text{kN}}{\text{mm}} \cdot \frac{3}{12} \cdot 2 \qquad q_r = 0.484 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

$$\frac{q_r}{q_f} = 0.404$$

Les raidisseurs ne sont pas efficaces à 100%

réduire Vf/Vr en conséquence

Calcul du flux de cisaillement selon le guide d'évaluation de la capacité portante des structures du MTQ

$$q_f := \frac{1.5 \cdot a \cdot w}{h} \cdot \left[1 - \frac{\frac{a}{h}}{\sqrt{1 + \left(\frac{a}{h}\right)^2}}\right] \cdot C \cdot F_y \qquad q_f = 0.625 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{mm}} \qquad \frac{q_r}{q_f} = 0.774$$

Les raidisseurs ne sont pas efficaces à 100%

réduire Vf/Vr en conséquence

Calcul de la norme S6-66

$$\text{kips} := 1000\text{lbf} \qquad \text{ksi} = 6.895 \cdot \text{MPa}$$

$$q_s := 0.001 \cdot \left(\frac{h}{\text{in}}\right) \cdot \sqrt{\left(\frac{F_y}{\text{ksi}} \cdot \frac{1}{3.4}\right)^3} \cdot \frac{\text{kips}}{\text{in}} \qquad q_s = 4.154 \cdot \frac{\text{kips}}{\text{in}} \qquad q_s = 0.7275 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

Équation S6-06

$$A_{st.min} := \left[\frac{a \cdot w}{2} \cdot \left[1 - \frac{\frac{a}{h}}{\sqrt{1 + \left(\frac{a}{h}\right)^2}} \right] \cdot C \cdot D - 18 \cdot w^2 \right] \cdot Y \qquad A_{st.min} = -290.066 \cdot mm^2$$

$MPa := 10^6 Pa$

$kN := 10^3 N$

Calcul de raidisseurs porteurs d'extrémité

$F_y := 350MPa$ $\phi := 0.95$ $E := 200000MPa$ $G := 77000MPa$

$w := 12.7mm$ $h := 1829mm$ $d := 1889mm$ $t := 35mm$ $k := t$ $b := 305mm$

$N := 406mm$ (dimension de l'appuis) chanfrein du raidisseur : $c := 32mm$

Selon S16.1-94 cl. 15.9

Plastification de l'âme

$B_r := 1.10 \cdot \phi \cdot w \cdot (N + 2.5 \cdot k) \cdot F_y$ $B_r = 2.292 \times 10^3 \cdot kN$

Flambement de l'âme

$$B_r := 150 \cdot \phi \cdot w^2 \cdot \left[1 + 3 \cdot \left(\frac{N}{d}\right) \cdot \left(\frac{w}{t}\right)^{1.5}\right] \cdot \sqrt{\frac{F_y \cdot MPa}{\frac{w}{t}}} \qquad B_r = 814.422 \cdot kN$$

Selon S6-00 cl. 10.10.8 $\phi_{be} := 0.75$

$$B_r := \min\left[\phi_{be} \cdot w \cdot (N + 4 \cdot t) \cdot F_y, 0.60 \cdot \phi_{be} \cdot w^2 \cdot \sqrt{F_y \cdot E}\right] \qquad B_r = 607.252 \cdot kN$$

Besoin d'utiliser des raidisseurs porteurs :

$$\text{if}\left(\frac{h}{w} > \frac{1100 \cdot MPa^{0.5}}{\sqrt{F_y}}, \text{"Raidisseurs requis"}, \text{"raidisseurs non requis"}\right) = \text{"Raidisseurs requis"}$$

$b_r := \frac{b - w - 2 \cdot c}{2}$ $b_r = 114.15 \cdot mm$ Largeur du raidisseur sous l'appui $t := 22mm$

$B_r := 2 \cdot 1.50 \cdot \phi \cdot b_r \cdot t \cdot F_y$ $B_r = 2.505 \times 10^3 \cdot kN$

$b_{rc} := 152mm$ Largeur du raidisseur au centre

$$t_{r.min} := b_{rc} \cdot \frac{\sqrt{F_y}}{200MPa^{0.5}} \qquad t_{r.min} = 14.218 \cdot mm$$

$t_r := 22mm$

Calcul du raidisseur comme une colonne

$L := 0.75 \cdot h$

Distance entre le centre du raidisseur et l'extrémité de la poutre

$d_r := 152mm$

$b_c := \min(24 \cdot w + t_r, d_r + t_r + 12 \cdot w)$ $\quad b_c = 326.4 \cdot mm$

$A_r := b_c \cdot w + 2 \cdot b_{rc} \cdot t_r$ $\quad A_r = 1.083 \times 10^4 \cdot mm^2$

$I_x := \frac{1}{12} \cdot b_c \cdot w^3 + 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot t_r \cdot b_{rc}^3 + 2 \cdot t_r \cdot b_{rc} \cdot \left(\frac{w}{2} + \frac{b_{rc}}{2}\right)^2$ $\quad I_x = 5.829 \times 10^7 \cdot mm^4$

$I_y := \frac{1}{12} \cdot 2 \cdot b_{rc} \cdot t_r^3 + \frac{1}{12} \cdot w \cdot b_c^3$ $\quad I_y = 3.707 \times 10^7 \cdot mm^4$

$J := \frac{b_c \cdot w^3}{3} + \frac{2 \cdot b_{rc} \cdot t_r^3}{3}$ $\quad J = 1.302 \times 10^6 \cdot mm^4$ $\quad C_w := 0mm^6$

$F_e := \left(\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{L^2} + G \cdot J\right) \cdot \frac{1}{I_x + I_y}$ $\quad F_e = 1.051 \times 10^3 \cdot MPa$

$\lambda_e := \sqrt{\frac{F_y}{F_e}}$ $\quad n := 2.24$ $\quad \phi := 0.90$

$C_{re} := \phi \cdot A_r \cdot F_y \cdot \left(1 + \lambda_e^{2 \cdot n}\right)^{\frac{-1}{n}}$ $\quad C_{re} = 3.29 \times 10^3 \cdot kN$

$r_x := \sqrt{\frac{I_x}{A_r}}$ $\quad r_x = 73.351 \cdot mm$ $\quad r_y := \sqrt{\frac{I_y}{A_r}}$ $\quad r_y = 58.498 \cdot mm$

$\lambda_x := \frac{L}{r_x} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{\pi^2 \cdot E}}$ $\quad \lambda_y := \frac{L}{r_y} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{\pi^2 \cdot E}}$

$C_{rx} := \phi \cdot A_r \cdot F_y \cdot \left(1 + \lambda_x^{2 \cdot n}\right)^{\frac{-1}{n}}$ $\quad C_{ry} := \phi \cdot A_r \cdot F_y \cdot \left(1 + \lambda_y^{2 \cdot n}\right)^{\frac{-1}{n}}$

$C_{rx} = 3.409 \times 10^3 \cdot kN$ $\quad C_{ry} = 3.404 \times 10^3 \cdot kN$

$C_r := \min(C_{re}, C_{rx}, C_{ry})$ $\quad C_r = 3.29 \times 10^3 \cdot kN$

DETAIL DES APPAREILS

D'APPUIS

(MODÈLES EQUIVALENTS

A CEUX EXISTANTS)

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____

Par: P.L.

Date: _____

Sujet: _____

No du projet: _____

LES MODELES D'APPAREILS D'APPUIS DU PONT NE SONT PAS CONNUS MAIS SONT SEMBLABLES AUX MODÈLES B1-450, B2-450 ET B3-450 EN DIMENSION.

Capacité en service : 450 kips = 2002 kN

(non-pondéré)

Considérant que R_x = 2505 kN pour des charges pondérées, la capacité des appareils d'appuis devant donc être suffisante pour la capacité demandée

Multiligne 12 essieux original (voir calculs qui suivent)

V_L = 0.58 × 1608 × 1.1 = 1026 kN

V_D = 74 + 179 + 22 = 275 kN

→ 1301 kN < 2002 kN

292 kips < 450 kips

Multiligne 16 essieux

V_L = 0.58 × 1775 × 1.1 = 1132 kN

V_D = 275 kN

→ 1407 kN < 2002 kN

316 kips < 450 kips

Imprimerie J.B.R. inc.

WABO - FYFE

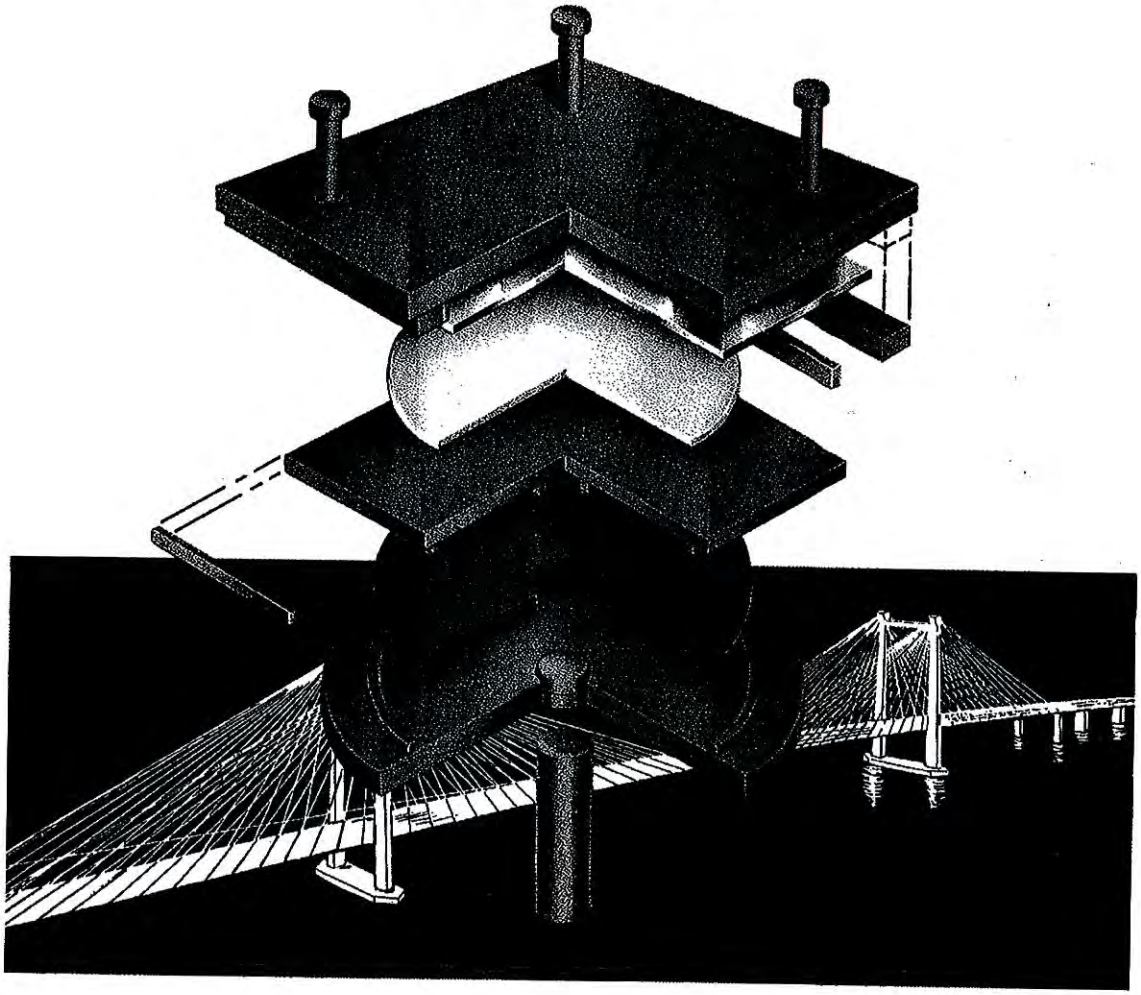
WORLD WIDE LEADER

watson bowman associates inc.

1280 NIAGARA ST., BUFFALO, N.Y. 14213 · Tel. 716-883-7780

HIGH LOAD STRUCTURAL BEARING

MODEL II

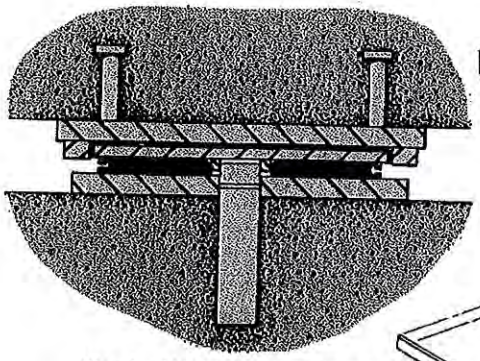


INTRODUCTION

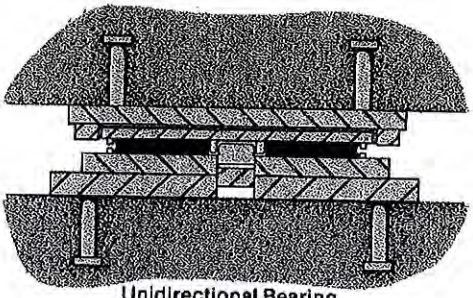
The Wabo Fyfe Bearing Model II uses the Bonafy™ Structural Element and results in a simple bearing ideally suited for today's structural bearing application.

The principle of the Wabo Fyfe Model II Bearing is to use Bonafy™ Structural Elements restricted from shear (by the shear mechanism) to accommodate the load and rotation of the structure.

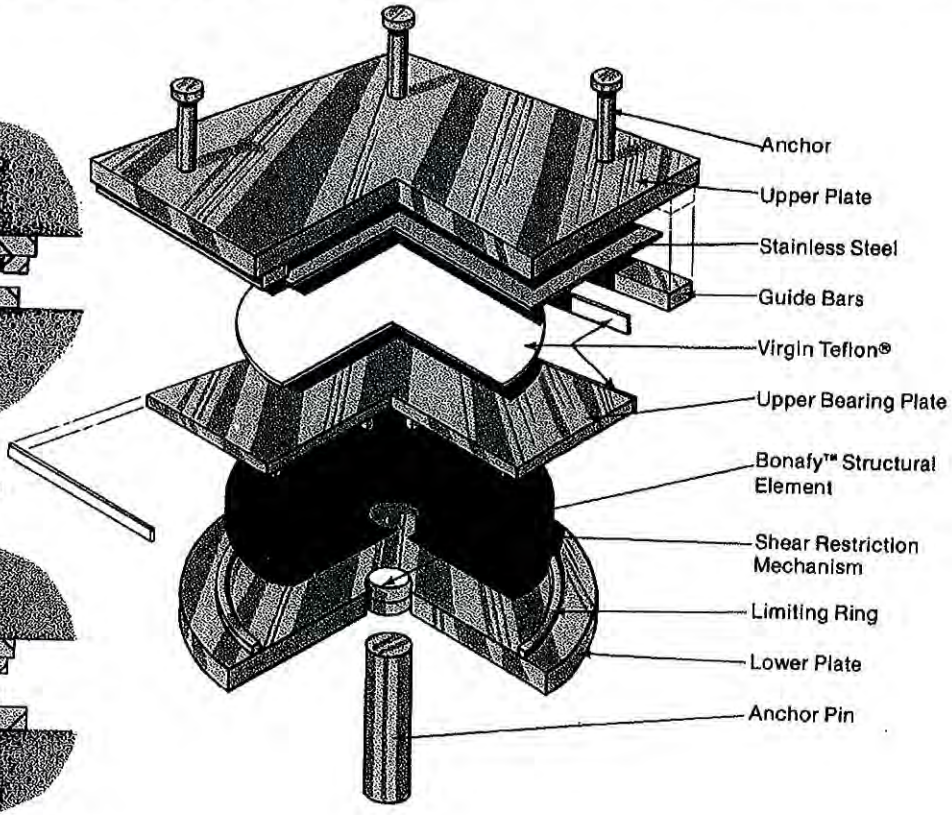
The horizontal structural movements are taken by the sliding of Virgin Teflon® against special polished stainless steel.



Standard Unidirectional Bearing



Unidirectional Bearing
Including Add-On Distribution Plate



THE BONAFY™ STRUCTURAL ELEMENT

(The Heart of the Wabo-Fyfe Bearing)

The BONAFY™ Structural Element is molded from engineering material specifically formulated to be incorporated in the Wabo-Fyfe Bearing design.

The BONAFY™ Structural Elements are engineered combining the disc shape and high material compression strength resulting in the exact load deflection characteristics for the Wabo-Fyfe design. The BONAFY™ material also has low temperature and long term resistance to the environmental contaminates.

The BONAFY™ Structural Elements are designed based on the material's unique properties. Comparisons or extrapolations of conventional elastomeric data are not valid.

Many years of laboratory, field and environmental testing have proven the excellent application of BONAFY™ Structural Elements to the Wabo-Fyfe Bearing.

Material specifications and other technical information are available upon request.

WABO FYFE BEARING MODEL II FEATURES

Using Bonafy™ Structural Elements

1. UNIQUE DESIGN PRINCIPLE: A) The shear restriction mechanism eliminates shear, on the BONAFY™ element due to horizontal forces and allows high loading on the elastomer. The result is a compact bearing. B) BONAFY™ Structural Elements have been tested to 4760 kg/cm² (68,000 psi) with no material failure. The Wabo-Fyfe Bearing Model II is conservatively designed at approximately 245 kg/cm² (3,500 psi).

2. BEARING IS UNCOMPLICATED: There are no machined curved surfaces that produce high concentrations of pressure. There are no critical tolerances required on inter-facing components in this design.

3. EXCELLENT LOW TEMPERATURE PROPERTIES: Tests have proven the bearing concept using Bonafy™ to —73°C (—100°F) with no change in material performance. The temperature range for design is —73°C to 121°C (—100°F to 250°F). For higher temperatures consult the manufacturer.

4. LOW SHIFT IN CENTER OF GRAVITY: Bonafy™ A is used for the bearing to 2% rotation and Bonafy™ B is used for the bearing to 4% rotation to control the shift in the center of gravity. The excellent low temperature properties maintain this low shift in the center of gravity in cold temperatures.

5. BONAFY™ MATERIAL HAS EXCELLENT LONG TERM & AGING PROPERTIES: Excellent resistance to oils and solvents, oxidation, ozone, moisture and other ambient conditions.

6. LOW OVER-ALL HEIGHT: The low profile of the Model II bearing is beneficial for aesthetics and mechanics of modern structures.

7. FLEXIBLE IN DESIGN: Add-on distribution plates give flexibility in the design for varying bearing pressures on the concrete.

8. BEARINGS ARE OF STEEL: In the field of structural bearings, steel has proven its long term durability.

9. ROTATION: The Model II bearing design allows for up to 4% rotation i.e. a slope of 4/100 about the center of the Bonafy™ Structural Element.

10. HIGH HORIZONTAL FORCE LOADING DESIGNS: High horizontal force designs are easily accommodated by minor design changes.

11. UP-LIFT DESIGNS: Up-lift bearing designs are available. See page 14 for typical section.

12. LOW SLIDING COEFFICIENT OF FRICTION: Excellent low coefficient of friction from sliding of Virgin Teflon® against polished stainless steel. The stainless steel is continuously welded to the steel plates using refined welding procedures.

13. EASE OF INSTALLATION: Simple to install. See page 15.

14. EASE OF REPLACEMENT: Simple to replace by jacking structure. Contact the manufacturer for analysis of jacking height for actual bearing situation.

15. EASE OF INSPECTION: Simple and easy to visually inspect bearing performance.

16. EARTHQUAKE DESIGNS AVAILABLE: Earthquake horizontal force guide systems are available upon request as well as earthquake structural design systems.

SERVICE AVAILABLE:

We will, at no obligation to the Engineer, provide assistance and prepare proposal drawings for special structural bearing situations.

DESIGN BASIS

1. The working compressive stress design pressure on the Bonafy™ structural element is 245 kg/cm² (3,500 psi).
2. Long Term Deflection of the Bonafy™ structural elastomer is less than 7% of element thickness.
3. Design coefficient of friction between mirror polished stainless steel and Teflon® at design load is less than 3%.
4. The pressure on the Virgin Teflon® horizontal surface in contact with the stainless steel is 175.8 kg/cm² (2,500 psi). The force on the mechanically fastened Teflon® guides is designed for 450 kg/cm² (6,429 psi).
5. The shear restriction mechanism, guide bars, all restraints, and anchorage systems are designed for a horizontal force up to 10% of the total vertical load. Designs can be worked out for higher horizontal forces.
6. A minimum distance from the edge of the Bonafy™ disc to the edge of the lower steel plate is twice the thickness of the plate.
7. The standard bearing lower plate is designed for 175.8 kg/cm² (2,500 psi) pressure on the concrete or grout. Add-on distribution plate sizes are given for pressures of:
   - 49.2 kg/cm² (700 psi)
   - 70.3 kg/cm² (1000 psi)
   - 91.4 kg/cm² (1300 psi)
   - 112.5 kg/cm² (1600 psi)

   See pages 10, 11, 12, and 13 for details.
8. The lower plate is made square for the 140.6 kg/cm² (2000 psi) bearing. The table on page 10 gives the plate dimensions for this design.

TESTING

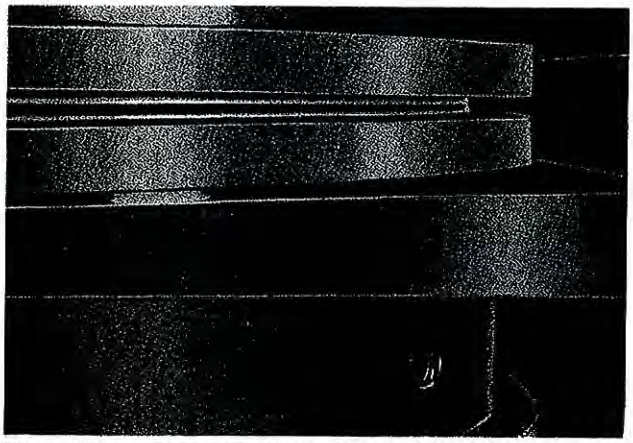
The Wabo Fyfe Model II Bearing using the Bonafy™ Structural Element concept has evolved from years of research development and field observations.

Testing has been carried out on Bonafy™ to twenty times design load with full material recovery.

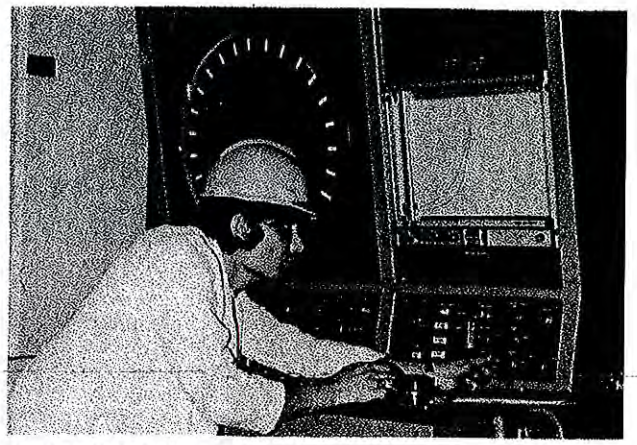
A technical report on the testing of the Model II bearing is available upon request.

Where lot testing is required, it is recommended that a 150 kip size Bonafy™ disc be manufactured from the production batch and the prototype bearing be evaluated. This testing would be carried out on the Wabo-Fyfe test machine which has the following features:

- load capacity 400 kips (178.6 Mp) vertical load.
- rotational hydraulic jack 50 kips (22.3 Mp).
- horizontal hydraulic jack with load cell and digital recorder for coefficient of friction testing.



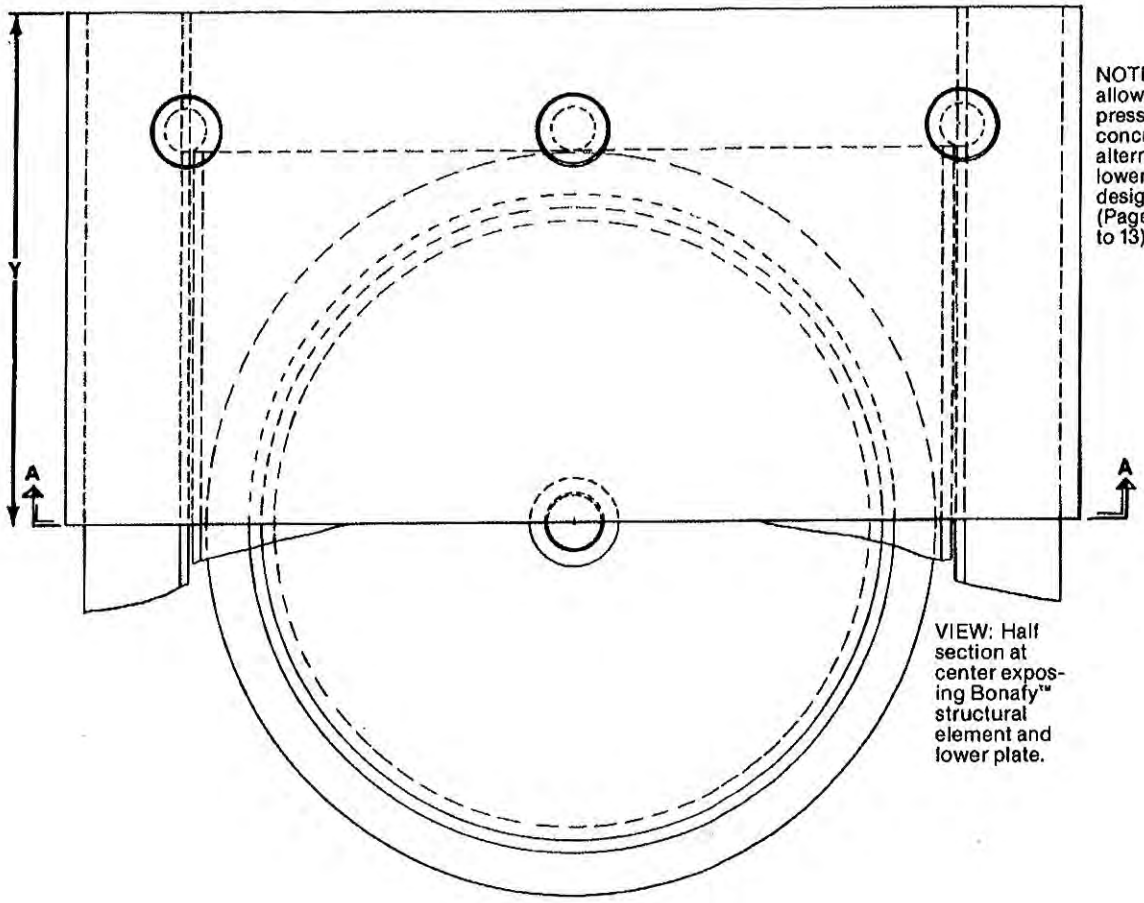
4% rotation condition under test on Baldwin 535.7 MP test machine at the University of Toronto.



System reloader for deflection curves on the Baldwin test machine.

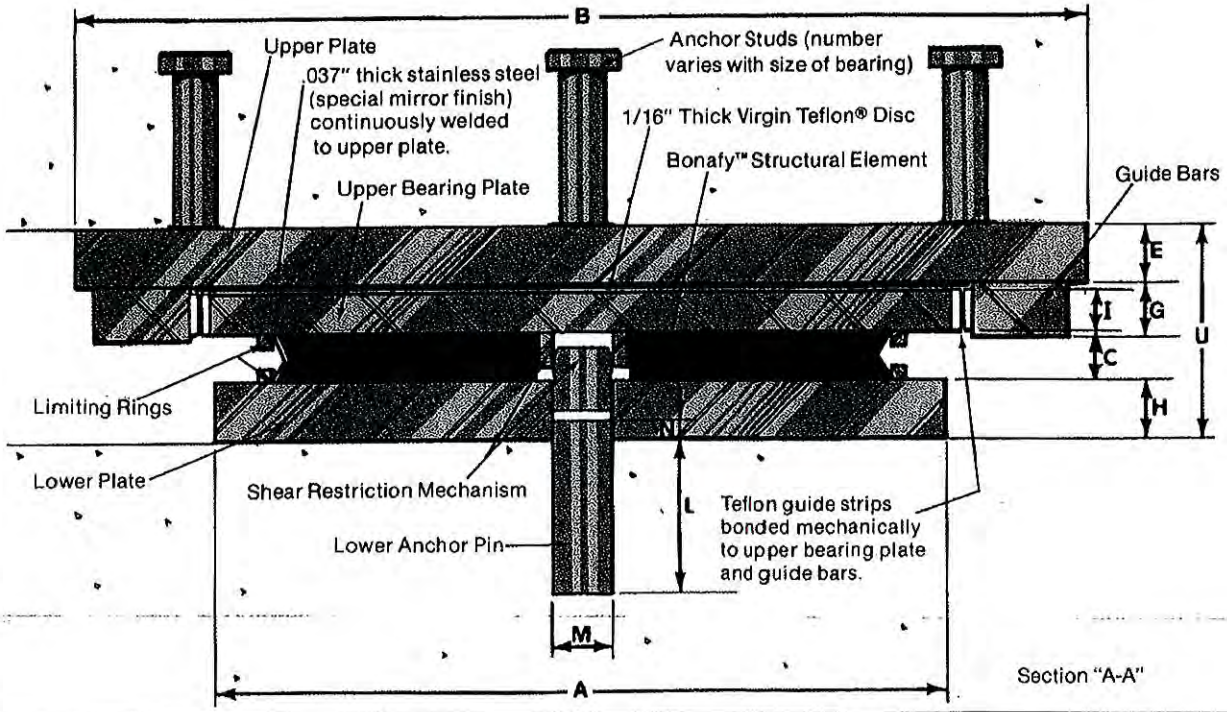
CODE B1 UNIDIRECTIONAL

DESIGNED FOR 175.8 KG/CM² (2500 P.S.I)
ALLOWABLE PRESSURE ON CONCRETE SUPPORT



NOTE: For allowable pressures on concrete see alternate lower plate designs (Pages 10 to 13).

VIEW: Half section at center exposing Bonafy™ structural element and lower plate.



Section "A-A"

MODEL NO.		B1-100	B1-150	B1-225	B1-300	B1-450	B1-600
LOAD	Mp	45.4	68.0	102.1	136.1	204.1	272.2
	KIPS	100	150	225	300	450	600
A		18.10 7.125	22.20 8.740	27.20 10.709	31.40 12.362	38.50 15.158	44.50 17.520
H		0.95 0.375	1.27 .500	1.27 .500	1.27 .500	1.59 0.625	1.91 0.750
I		1.27 0.500	1.27 0.500	1.27 0.500	1.27 0.500	1.27 0.500	1.27 0.500
E		1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750
L		7.20 2.830	10.80 4.252	13.30 5.237	15.00 5.906	18.20 7.165	21.60 8.504
M		3.18 1.250	3.18 1.250	3.81 1.500	4.45 1.750	5.40 2.125	6.35 2.500
N		0.18 0.071	0.27 0.106	0.33 0.130	0.37 0.146	0.46 0.181	0.54 0.213
Y		18.80 7.402	23.30 9.173	28.60 11.260	32.70 12.874	40.00 15.748	46.20 18.189
G		1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750
B		27.90 10.974	32.50 12.798	40.40 15.905	44.50 17.520	51.70 20.354	58.00 22.835
U		5.70 2.243	6.02 2.368	6.32 2.488	6.63 2.609	7.30 2.875	8.05 3.168
C		1.316 .518	1.316 .518	1.621 .638	1.928 .759	2.286 .900	2.713 1.068

MODEL NO.		B1-750	B1-900	B1-1050	B1-1200	B1-1350	B1-1500
LOAD	Mp	340.2	408.2	476.3	544.3	612.4	680.4
	KIPS	750	900	1050	1200	1350	1500
A		49.70 19.567	54.40 21.417	58.80 23.150	62.80 24.724	66.60 26.220	70.20 27.638
H		1.91 0.750	2.54 1.000	2.54 1.000	2.54 1.000	2.54 1.000	3.18 1.250
I		1.27 0.500	1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750	2.54 1.000
E		1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750
L		23.10 9.094	25.30 9.961	27.20 10.709	28.80 11.339	31.20 12.283	33.50 13.189
M		7.31 2.875	7.94 3.125	8.58 3.375	9.21 3.625	9.53 3.750	10.16 4.000
N		0.58 0.228	0.63 0.248	0.68 0.268	0.72 0.283	0.78 0.307	0.84 0.331
Y		51.70 20.354	56.60 22.283	61.10 24.055	65.40 25.748	69.30 27.280	73.10 28.780
G		1.91 0.750	2.54 1.000	2.54 1.000	2.54 1.000	2.54 1.000	3.18 1.250
B		63.50 25.000	68.40 26.928	72.90 28.700	79.70 31.378	83.60 32.913	87.40 34.409
U		8.33 3.281	9.89 3.893	10.10 3.978	10.39 4.090	10.60 4.175	12.09 4.760
C		3.000 1.181	3.284 1.293	3.500 1.378	3.785 1.490	4.001 1.575	4.216 1.660

MODEL NO.		B1-1650	B1-1800	B1-1950	B1-2100	B1-2250	B1-2400
LOAD	Mp	748.4	816.5	884.5	952.6	1020.6	1088.6
	KIPS	1650	1800	1950	2100	2250	2400
A		73.60 28.976	76.90 30.276	80.10 31.540	83.10 32.716	86.00 33.858	88.80 34.961
H		3.18 1.250	3.18 1.250	3.18 1.250	3.81 1.500	3.81 1.500	3.81 1.500
I		2.54 1.000	2.54 1.000	2.54 1.000	2.54 1.000	2.54 1.000	2.54 1.000
E		1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750
L		35.60 14.016	38.60 15.197	38.30 15.079	40.00 15.748	41.60 16.378	43.20 17.008
M		10.16 4.000	10.80 4.250	11.43 4.500	11.43 4.500	12.065 4.750	12.70 5.000
N		0.89 0.350	0.94 0.370	0.96 0.380	1.00 0.393	1.04 4.09	1.08 0.425
Y		76.60 30.157	80.00 31.500	83.30 32.795	86.40 34.016	89.50 35.236	92.40 36.378
G		3.18 1.250	3.18 1.250	3.18 1.250	3.18 1.250	3.18 1.250	3.18 1.250
B		90.90 35.787	94.30 37.125	97.60 38.425	100.70 39.646	103.80 40.866	106.70 42.008
U		12.30 4.843	12.45 4.900	12.66 4.985	13.44 5.290	13.65 5.375	13.80 5.431
C		4.427 1.743	4.572 1.800	4.788 1.885	4.928 1.940	5.144 2.025	5.286 2.081

MODEL NO.		B1-2550	B1-2700	B1-2850	B1-3000	B1-3300	B1-3600
LOAD	Mp	1156.7	1224.7	1292.8	1360.8	1496.9	1633.0
	KIPS	2550	2700	2850	3000	3300	3600
A		**91.60** 36.063	**94.20** 37.087	**96.80** 38.110	**99.30** 39.094	**104.20** 41.024	**108.80** 42.835
H		**3.81** 1.500	**3.81** 1.500	**4.45** 1.750	**4.45** 1.750	**4.45** 1.750	**5.08** 2.000
I		**2.54** 1.000	**3.18** 1.250	**3.18** 1.250	**3.18** 1.250	**3.18** 1.250	**3.81** 1.500
E		**1.91** 0.750	**1.91** 0.750	**1.91** 0.750	**1.91** 0.750	**1.91** 0.750	**1.91** 0.750
L		**44.60** 17.559	**46.00** 18.110	**47.30** 18.622	**48.60** 19.134	**50.90** 20.039	**53.00** 20.866
M		**12.70** 5.000	**13.34** 5.250	**13.34** 5.250	**14.61** 5.750	**15.24** 6.000	**15.88** 6.250
N		**1.12** 0.441	**1.15** 0.453	**1.18** 0.465	**1.22** 0.480	**1.27** 0.500	**1.33** 0.524
Y		**95.20** 37.480	**98.00** 38.583	**100.70** 39.646	**103.30** 40.669	**108.90** 42.874	**113.20** 44.567
G		**3.18** 1.250	**3.18** 1.250	**3.81** 1.500	**3.81** 1.500	**3.81** 1.500	**4.45** 1.750
B		**109.50** 43.110	**112.30** 44.213	**115.00** 45.276	**117.60** 46.300	**123.20** 48.504	**127.50** 50.197
U		**14.00** 5.515	**14.79** 5.822	**15.57** 6.128	**15.71** 6.185	**15.99** 6.297	**17.55** 6.910
C		**5.499** 2.165	**5.644** 2.222	**5.786** 2.278	**5.931** 2.335	**6.215** 2.447	**6.502** 2.560

MODEL NO.		B1-3900	B1-4200	B1-4500	B1-4800	B1-5100	B1-5400
LOAD	Mp	1769.0	1905.1	2041.2	2177.3	2313.4	2449.4
	KIPS	3900	4200	4500	4800	5100	5400
A		**113.20** 44.567	**117.50** 46.260	**121.60** 47.874	**125.60** 49.449	**129.50** 50.984	**133.20** 52.441
H		**5.08** 2.000	**5.08** 2.000	**5.08** 2.000	**5.72** 2.250	**5.72** 2.250	**6.35** 2.500
I		**3.81** 1.500	**3.81** 1.500	**3.81** 1.500	**3.81** 1.500	**3.81** 1.500	**4.45** 1.750
E		**1.91** 0.750	**1.91** 0.750	**1.91** 0.750	**1.91** 0.750	**1.91** 0.750	**2.54** 1.000
L		**54.90** 21.614	**56.60** 22.283	**58.30** 22.953	**60.90** 23.976	**62.30** 24.528	**64.70** 25.472
M		**16.51** 6.500	**17.78** 7.000	**18.42** 7.250	**19.05** 7.500	**19.69** 7.750	**19.69** 7.750
N		**1.37** 0.539	**1.42** 0.559	**1.46** 0.575	**1.52** 0.598	**1.56** 0.614	**1.62** 0.638
Y		**117.80** 46.378	**122.20** 48.110	**126.50** 49.803	**130.70** 51.457	**134.70** 53.031	**138.60** 54.567
G		**4.45** 1.750	**4.45** 1.750	**4.45** 1.750	**4.45** 1.750	**4.45** 1.750	**5.08** 2.00
B		**132.10** 52.008	**136.50** 53.740	**140.80** 55.433	**145.00** 57.087	**149.00** 58.661	**152.90** 60.197
U		**17.84** 7.022	**18.05** 7.106	**18.33** 7.218	**19.18** 7.553	**19.41** 7.642	**21.52** 8.472
C		**6.787** 2.672	**7.000** 2.756	**7.285** 2.868	**7.501** 2.953	**7.727** 3.042	**7.930** 3.122

MODEL NO.		B1-6000	B1-7000	B1-8000
LOAD	Mp	2721.6	3175.2	3628.8
	KIPS	6000	7000	8000
A		**140.46** 55.30	**151.70** 59.724	**162.60** 64.016
H		**6.35** 2.500	**8.89** 3.500	**8.89** 3.500
I		**4.45** 1.750	**5.08** 2.000	**5.08** 2.000
E		**2.54** 1.00	**3.18** 1.250	**3.18** 1.250
L		**69.40** 27.320	**70.80** 27.875	**76.20** 30.00
M		**20.32** 8.00	**22.86** 9.000	**24.13** 9.500
N		**1.73** 0.681	**1.75** 0.689	**1.91** 0.750
Y		**146.10** 57.520	**157.80** 62.125	**169.10** 66.575
G		**5.08** 2.00	**5.72** 2.250	**5.72** 2.250
B		**160.40** 63.150	**173.00** 68.115	**185.00** 72.836
U		**21.95** 8.640	**26.95** 10.612	**27.50** 10.828
C		**8.357** 3.290	**9.555** 3.762	**10.104** 3.978

NOTE: — "U" IS OVERALL HEIGHT UNDER DESIGN LOAD

— MODEL NUMBER BASED ON TOTAL LOAD (KIPS) (DEAD LOAD & LIVE LOAD)

— Mp DENOTES METRIC TON = 2204.6 1B.

— "Y" = MINIMUM DIMENSION ADD TOTAL MOVEMENT TO DESIGN UPPER PLATE SIZE

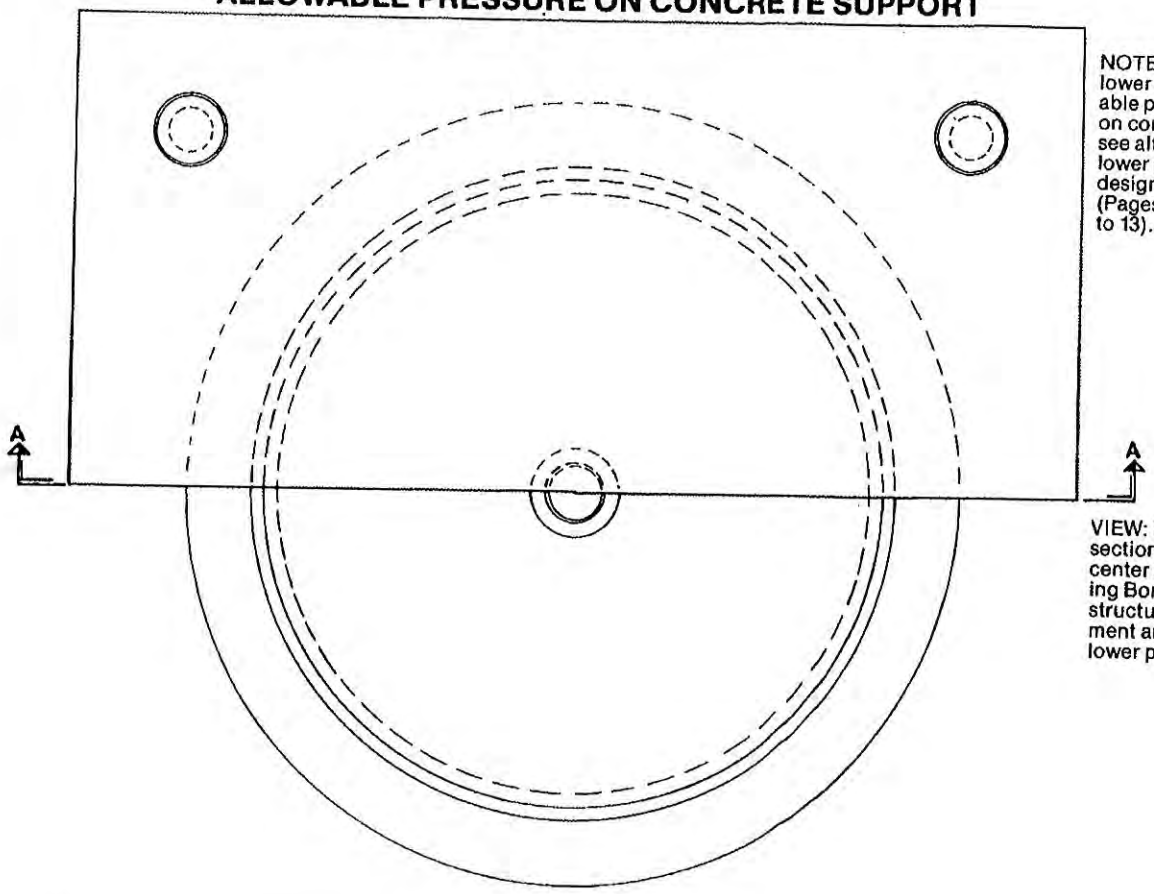
— STANDARD DESIGN IS FOR 1/16" CLEARANCE (TOTAL) BETWEEN TEFLON GUIDES.

— TO CONVERT FROM KIPS TO KILONEWTON MULTIPLY BY 4.4482.

Bold numerals in chart indicate centimeters.
Regular numerals in chart indicate inches.

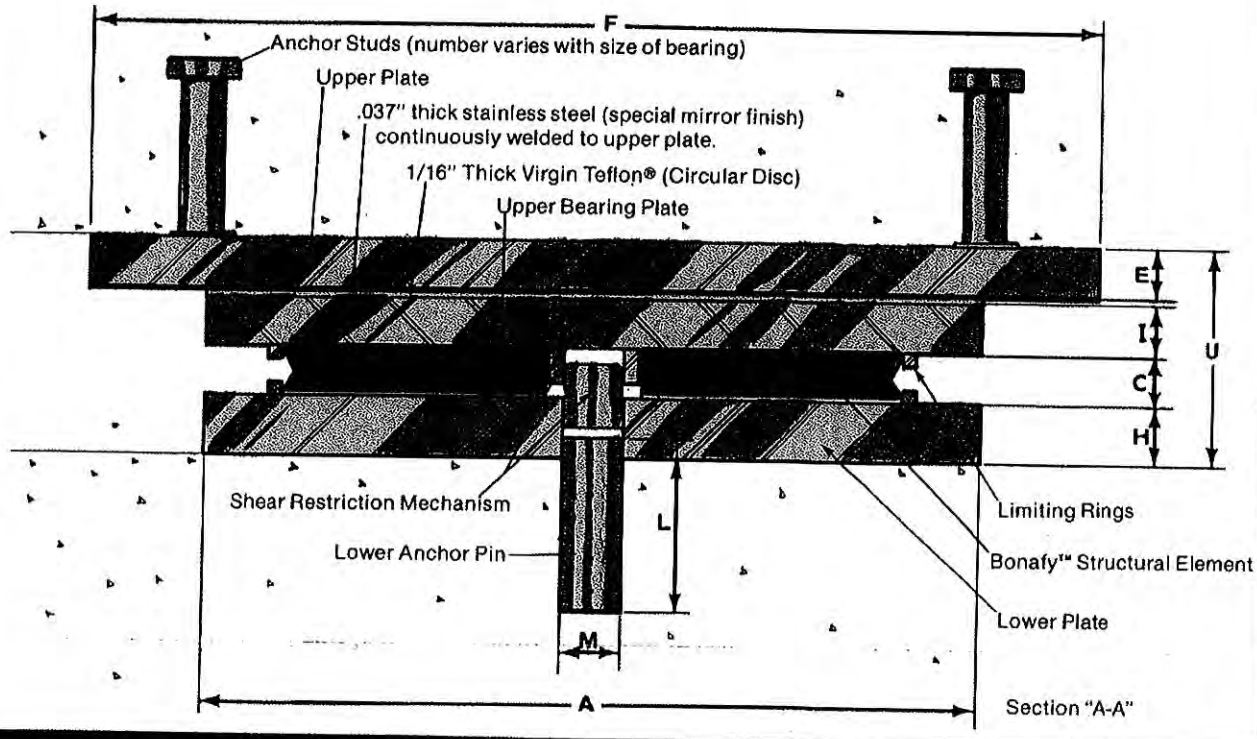
CODE B2 MULTIDIRECTIONAL

DESIGNED FOR 175.8 KG/CM² (2500 P.S.I.)
ALLOWABLE PRESSURE ON CONCRETE SUPPORT



NOTE: For lower allowable pressures on concrete see alternate lower plate designs (Pages 10 to 13).

VIEW: Half section at center exposing Bonafy™ structural element and lower plate.



MODEL NO.		B2-100	B2-150	B2-225	B2-300	B2-450	B2-600
LOAD	Mp	45.4	68.0	102.1	136.1	204.1	272.2
	KIPS	100	150	225	300	450	600
A		18.10 7.125	22.20 8.740	27.20 10.709	31.40 12.362	38.50 15.158	44.50 17.520
H		0.95 0.375	1.27 .500	1.27 .500	1.27 .500	1.59 0.625	1.91 0.750
I		0.95 0.375	0.95 0.375	0.95 0.375	0.95 0.375	1.59 0.625	1.91 0.750
E		0.95 0.375	0.95 0.375	0.95 0.375	0.95 0.375	1.59 0.625	1.91 0.750
F		19.00 7.481	23.30 9.173	28.60 11.260	33.00 12.992	40.40 15.906	46.70 18.386
L		7.20 2.83	10.80 4.252	13.30 5.237	15.00 5.906	18.20 7.165	21.60 8.504
M		2.86 1.125	3.18 1.250	3.81 1.50	4.45 1.750	5.40 2.125	6.35 2.500
N		0.18 0.071	0.27 0.106	0.33 0.130	0.37 0.146	0.46 0.181	0.54 0.213
U		4.43 1.743	4.745 1.868	5.05 1.988	5.357 2.109	7.30 2.875	8.68 3.418
C		1.316 .518	1.316 .518	1.621 .638	1.928 .759	2.286 .900	2.713 1.068

MODEL NO.		B2-750	B2-900	B2-1050	B2-1200	B2-1350	B2-1500
LOAD	Mp	340.2	408.2	476.3	544.3	612.4	680.4
	KIPS	750	900	1050	1200	1350	1500
A		49.70 19.567	54.40 21.417	58.80 23.150	62.80 24.724	66.60 26.220	70.20 27.638
H		1.91 0.750	2.54 1.000	2.54 1.000	2.54 1.000	2.54 1.000	3.18 1.250
I		1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750
E		1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750
F		52.20 20.551	57.10 22.480	61.70 24.291	66.00 25.984	70.00 27.559	73.80 29.055
L		23.10 9.094	25.30 9.961	27.20 10.709	28.80 11.339	31.20 12.283	33.50 13.189
M		7.31 2.875	7.94 3.125	8.58 3.375	9.21 3.625	9.53 3.750	10.16 4.000
N		0.58 0.228	0.63 0.248	0.68 0.268	0.72 0.283	0.78 0.307	0.84 0.331
U		8.97 3.531	9.89 3.893	10.10 3.978	10.39 4.090	10.61 4.175	11.46 4.510
C		3.000 1.181	3.284 1.293	3.500 1.378	3.785 1.490	4.001 1.575	4.216 1.660

MODEL NO.		B2-1650	B2-1800	B2-1950	B2-2100	B2-2250	B2-2400
LOAD	Mp	748.4	816.5	884.5	952.6	1020.6	1088.6
	KIPS	1650	1800	1950	2100	2250	2400
A		73.60 28.976	76.90 30.276	80.10 31.540	83.10 32.716	86.00 33.858	88.80 34.961
H		3.18 1.250	3.18 1.25	3.18 1.25	3.81 1.500	3.81 1.500	3.81 1.500
I		1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750
E		1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750	1.91 0.750
F		77.40 30.472	80.80 31.811	84.10 33.110	87.30 34.370	90.30 35.551	93.30 36.732
L		35.60 14.016	37.60 14.803	38.30 15.079	40.00 15.748	41.60 16.378	43.20 17.008
M		10.16 4.000	10.80 4.250	11.43 4.500	11.43 4.500	12.065 4.75	12.70 5.00
N		0.89 0.350	0.94 0.370	0.96 0.380	1.00 0.393	1.04 0.409	1.08 0.425
U		11.67 4.593	11.81 4.650	12.03 4.735	12.80 5.040	13.018 5.125	13.160 5.181
C		4.427 1.743	4.572 1.800	4.788 1.885	4.928 1.940	5.144 2.025	5.286 2.081

MODEL NO.	B2-2550	B2-2700	B2-2850	B2-3000	B2-3300	B2-3600
LOAD Mp	1156.7	1224.7	1292.8	1360.8	1496.9	1633.0
LOAD KIPS	2550	2700	2850	3000	3300	3600
A	**91.60** 36.063	**94.20** 37.087	**96.80** 38.110	**99.30** 39.094	**104.20** 41.024	**108.80** 42.835
H	**3.81** 1.500	**3.81** 1.500	**4.45** 1.750	**4.45** 1.750	**4.45** 1.750	**5.08** 2.000
I	**1.91** 0.750	**1.91** 0.750	**1.91** 0.750	**1.91** 0.750	**1.91** 0.750	**1.91** 0.750
E	**1.91** 0.750	**1.91** 0.750	**1.91** 0.750	**1.91** 0.750	**1.91** 0.750	**1.91** 0.750
F	**96.20** 37.874	**98.90** 38.937	**101.70** 40.039	**104.30** 41.063	**109.40** 43.071	**114.30** 45.00
L	**44.60** 17.559	**46.00** 18.110	**47.30** 18.622	**48.60** 19.134	**50.90** 20.039	**53.00** 20.866
M	**12.70** 5.00	**13.34** 5.25	**13.34** 5.25	**14.61** 5.75	**15.24** 6.00	**15.88** 6.250
N	**1.12** 0.441	**1.15** 0.453	**1.18** 0.465	**1.22** 0.480	**1.27** 0.500	**1.40** 0.551
U	**13.373** 5.265	**13.518** 5.322	**14.295** 5.628	**14.440** 5.685	**14.724** 5.797	**15.65** 6.160
C	**5.499** 2.165	**5.644** 2.222	**5.786** 2.278	**5.931** 2.335	**6.215** 2.447	**6.502** 2.560

MODEL NO.	B2-3900	B2-4200	B2-4500	B2-4800	B2-5100	B2-5400
LOAD Mp	1769.0	1905.1	2041.2	2177.3	2313.4	2449.4
LOAD KIPS	3900	4200	4500	4800	5100	5400
A	**113.20** 44.567	**117.50** 46.260	**121.60** 47.874	**125.60** 49.449	**129.50** 50.984	**133.20** 52.441
H	**5.08** 2.000	**5.08** 2.000	**5.08** 2.000	**5.08** 2.000	**5.08** 2.000	**5.72** 2.250
I	**1.91** 0.750	**1.91** 0.750	**1.91** 0.750	**1.91** 0.750	**1.91** 0.750	**2.54** 1.00
E	**1.91** 0.750	**1.91** 0.750	**1.91** 0.750	**1.91** 0.750	**1.91** 0.750	**2.54** 1.00
F	**118.90** 46.810	**123.40** 48.583	**127.70** 50.276	**131.90** 51.929	**136.00** 53.543	**140.00** 55.118
L	**54.90** 21.614	**56.60** 22.283	**58.30** 22.953	**60.90** 23.976	**62.30** 24.528	**64.70** 25.472
M	**15.88** 6.250	**16.51** 6.500	**17.78** 7.000	**18.42** 7.250	**19.05** 7.500	**19.69** 7.750
N	**1.37** 0.539	**1.42** 0.559	**1.46** 0.575	**1.52** 0.598	**1.56** 0.614	**1.62** 0.638
U	**15.93** 6.272	**16.14** 6.356	**16.43** 6.468	**16.64** 6.553	**16.87** 6.642	**18.98** 7.472
C	**6.787** 2.672	**7.000** 2.756	**7.285** 2.868	**7.501** 2.953	**7.727** 3.042	**7.930** 3.122

MODEL NO.	B2-6000	B2-7000	B2-8000
LOAD Mp	2721.6	3175.2	3628.8
LOAD KIPS	6000	7000	8000
A	**140.46** 55.30	**151.70** 59.724	**162.60** 64.016
H	**5.72** 2.250	**8.89** 3.500	**8.89** 3.50
I	**2.54** 1.00	**3.18** 1.25	**3.18** 1.25
E	**2.54** 1.00	**3.18** 1.25	**3.18** 1.25
F	**147.50** 58.071	**159.29** 62.713	**170.80** 67.244
L	**69.40** 27.320	**70.80** 27.875	**76.20** 30.000
M	**20.32** 8.000	**22.86** 9.000	**24.13** 9.500
N	**1.73** 0.681	**1.75** 0.689	**1.91** 0.750
U	**19.43** 7.650	**25.05** 9.862	**25.60** 10.078
C	**8.357** 3.290	**9.555** 3.762	**10.104** 3.978

NOTE: — "U" IS OVERALL HEIGHT UNDER DESIGN LOAD (DEAD)

— MODEL NUMBER BASED ON TOTAL LOAD (KIPS) (DEAD & LIVE)

— Mp DENOTES METRIC TON = 2204.6 LB.

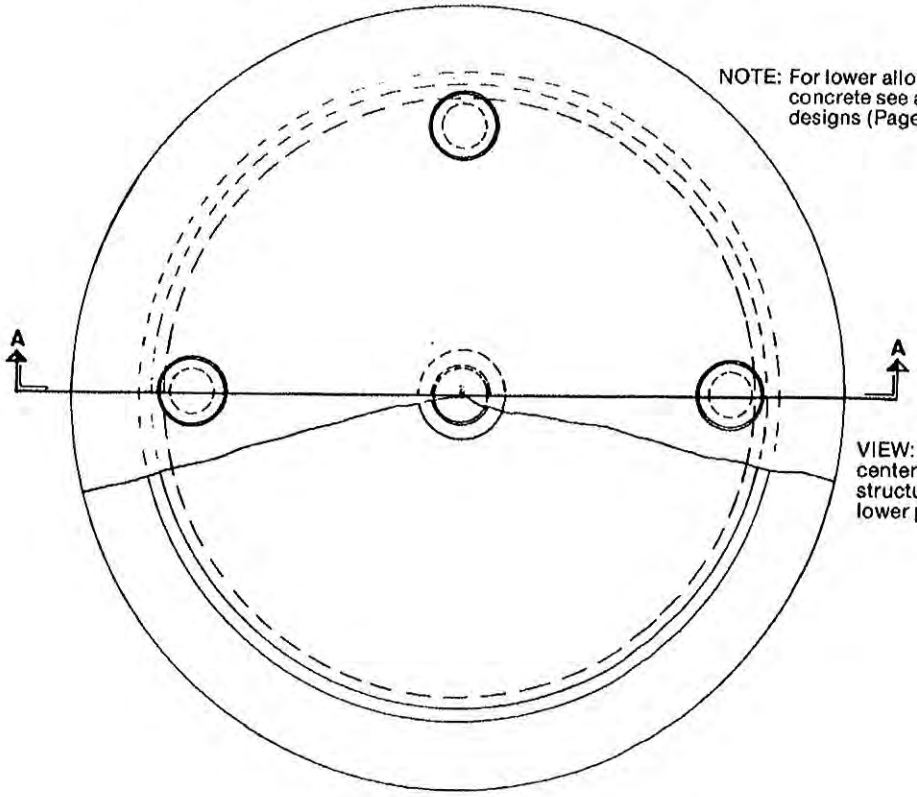
— "X" = MINIMUM DIMENSION

ADD MOVEMENT IN BOTH DIRECTIONS TO DESIGN UPPER PLATE SIZE.

Bold numerals in chart indicate centimeters.
Regular numerals in chart indicate inches.

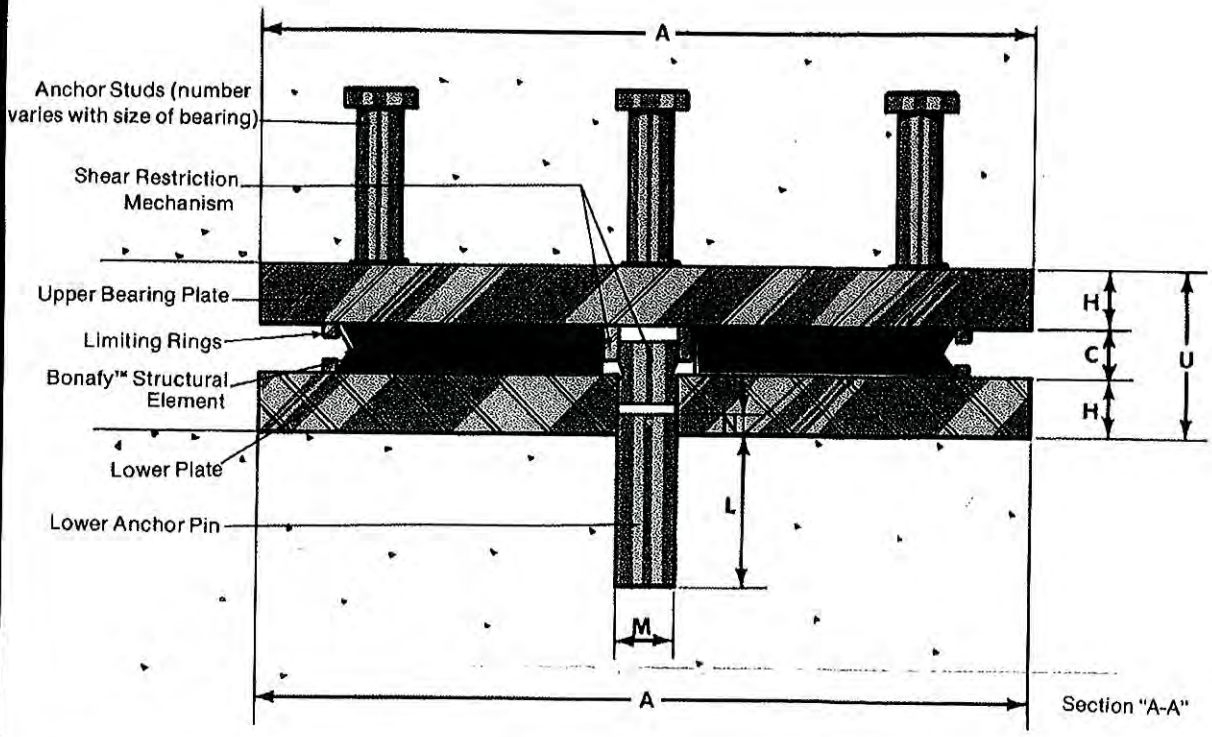
CODE B3 FIXED

DESIGNED FOR 175.8 KG/CM² (2500 P.S.I) ALLOWABLE PRESSURE ON CONCRETE SUPPORT



NOTE: For lower allowable pressures on concrete see alternate lower plate designs (Pages 10 to 13).

VIEW: Half section at center exposing Bonafy™ structural element and lower plate.



Section "A-A"

MODEL NO.		B3-100	B3-150	B3-225	B3-300	B3-450	B3-600
LOAD	Mp	45.4	68	102.1	136.1	204.1	272.2
	KIPS	100	150	225	300	450	600
A		18.10 7.125	22.20 8.740	27.20 10.709	31.40 12.362	38.50 15.158	44.50 17.520
H		0.95 0.375	1.27 0.500	1.27 0.500	1.27 0.500	1.59 0.625	1.91 0.750
L		7.20 2.830	10.80 4.252	13.30 5.237	15.00 5.906	18.20 7.165	21.60 8.504
M		3.18 1.25	3.18 1.25	3.81 1.50	4.45 1.750	5.40 2.125	6.35 2.500
N		0.18 0.071	0.27 0.106	0.33 0.130	0.37 0.146	0.46 0.181	0.54 0.213
U		3.22 1.268	3.856 1.518	4.161 1.638	4.468 1.759	5.46 2.150	6.52 2.568
C		1.316 .518	1.316 .518	1.621 .638	1.928 .759	2.286 .900	2.713 1.068

MODEL NO.		B3-750	B3-900	B3-1050	B3-1200	B3-1350	B3-1500
LOAD	Mp	340.2	408.2	476.3	544.3	612.4	680.4
	KIPS	750	900	1050	1200	1350	1500
A		49.70 19.567	54.40 21.417	58.80 23.150	62.80 24.724	66.60 26.220	70.20 27.638
H		1.91 0.750	2.54 1.00	2.54 1.00	2.54 1.00	2.54 1.00	3.18 1.25
L		23.10 9.094	25.30 9.961	27.20 10.709	28.80 11.339	31.20 12.283	33.50 13.189
M		7.31 2.875	7.94 3.125	8.58 3.375	9.21 3.625	9.53 3.750	10.16 4.000
N		0.58 0.228	0.63 0.248	0.68 0.268	0.72 0.283	0.78 0.307	0.84 0.331
U		6.81 2.681	8.36 3.298	8.58 3.378	8.87 3.490	9.08 3.575	10.57 4.160
C		3.000 1.181	3.284 1.293	3.500 1.378	3.785 1.490	4.001 1.575	4.216 1.660

MODEL NO.		B3-1650	B3-1800	B3-1950	B3-2100	B3-2250	B3-2400
LOAD	Mp	748.4	816.5	884.5	952.6	1020.6	1088.6
	KIPS	1650	1800	1950	2100	2250	2400
A		73.60 28.976	76.90 30.276	80.10 31.540	83.10 32.716	86.00 33.858	88.80 34.961
H		3.18 1.25	3.18 1.25	3.18 1.25	3.81 1.500	3.81 1.500	3.81 1.500
L		35.60 14.016	37.60 14.803	38.30 15.079	40.00 15.748	41.60 16.378	43.20 17.008
M		10.16 4.00	10.80 4.250	11.43 4.500	11.43 4.500	12.065 4.750	12.70 5.000
N		0.89 0.350	0.94 0.370	0.96 0.380	1.00 0.393	1.04 0.409	1.08 0.425
U		10.78 4.243	10.92 4.300	11.14 4.385	12.55 4.940	12.76 5.025	12.91 5.081
C		4.427 1.743	4.572 1.800	4.788 1.885	4.928 1.940	5.144 2.025	5.286 2.081

MODEL NO.		B3-2550	B3-2700	B3-2850	B3-3000	B3-3300	B3-3600
LOAD	Mp	1156.7	1224.7	1292.8	1360.8	1496.9	1633.0
	KIPS	2550	2700	2850	3000	3300	3600
A		**91.60** 36.063	**94.20** 37.087	**96.80** 38.110	**99.30** 39.094	**104.20** 41.024	**108.80** 42.835
H		**3.81** 1.500	**3.81** 1.500	**4.45** 1.750	**4.45** 1.750	**4.45** 1.750	**5.08** 2.00
L		**44.60** 17.559	**46.00** 18.110	**47.30** 18.622	**48.60** 19.134	**50.90** 20.039	**53.00** 20.866
M		**12.70** 5.000	**13.34** 5.250	**13.34** 5.250	**14.61** 5.750	**15.24** 6.000	**15.88** 6.250
N		**1.12** 0.441	**1.15** 0.453	**1.18** 0.465	**1.22** 0.480	**1.27** 0.500	**1.33** 0.524
U		**13.12** 5.165	**13.26** 5.222	**14.68** 5.778	**14.82** 5.835	**15.11** 5.947	**16.66** 6.560
C		**5.499** 2.165	**5.644** 2.222	**5.786** 2.278	**5.931** 2.335	**6.215** 2.447	**6.502** 2.560

MODEL NO.		B3-3900	B3-4200	B3-4500	B3-4800	B3-5100	B3-5400
LOAD	Mp	1769.0	1905.1	2041.2	2177.3	2313.4	2449.4
	KIPS	3900	4200	4500	4800	5100	5400
A		**113.20** 44.567	**117.50** 46.260	**121.60** 47.874	**125.60** 49.449	**129.50** 50.984	**133.20** 52.441
H		**5.08** 2.000	**5.08** 2.000	**5.08** 2.000	**5.72** 2.250	**5.72** 2.250	**6.35** 2.500
L		**54.90** 21.614	**56.60** 22.283	**58.30** 22.953	**60.90** 23.976	**62.30** 24.528	**64.70** 25.472
M		**16.51** 6.500	**17.78** 7.000	**18.42** 7.250	**19.05** 7.500	**19.69** 7.750	**19.69** 7.750
N		**1.37** 0.539	**1.42** 0.559	**1.46** 0.575	**1.52** 0.598	**1.56** 0.614	**1.62** 0.638
U		**16.95** 6.672	**17.16** 6.756	**17.45** 6.868	**18.93** 7.453	**19.16** 7.542	**20.63** 8.122
C		**6.787** 2.672	**7.000** 2.756	**7.285** 2.868	**7.501** 2.953	**7.727** 3.042	**7.930** 3.122

MODEL NO.		B3-6000	B3-7000	B3-8000
LOAD	Mp	2721.6	3175.2	3628.8
	KIPS	6000	7000	8000
A		**140.46** 55.30	**151.70** 59.724	**162.60** 64.016
H		**6.35** 2.500	**8.89** 3.500	**8.89** 3.500
L		**69.40** 27.320	**70.80** 27.875	**76.20** 30.00
M		**20.32** 8.000	**22.86** 9.000	**24.13** 9.500
N		**1.73** 0.681	**1.75** 0.689	**1.91** 0.750
U		**21.06** 8.290	**27.34** 10.762	**27.88** 10.978
C		**8.357** 3.290	**9.555** 3.762	**10.104** 3.978

NOTE:

— "U" IS OVERALL HEIGHT UNDER DESIGN LOAD (DEAD)

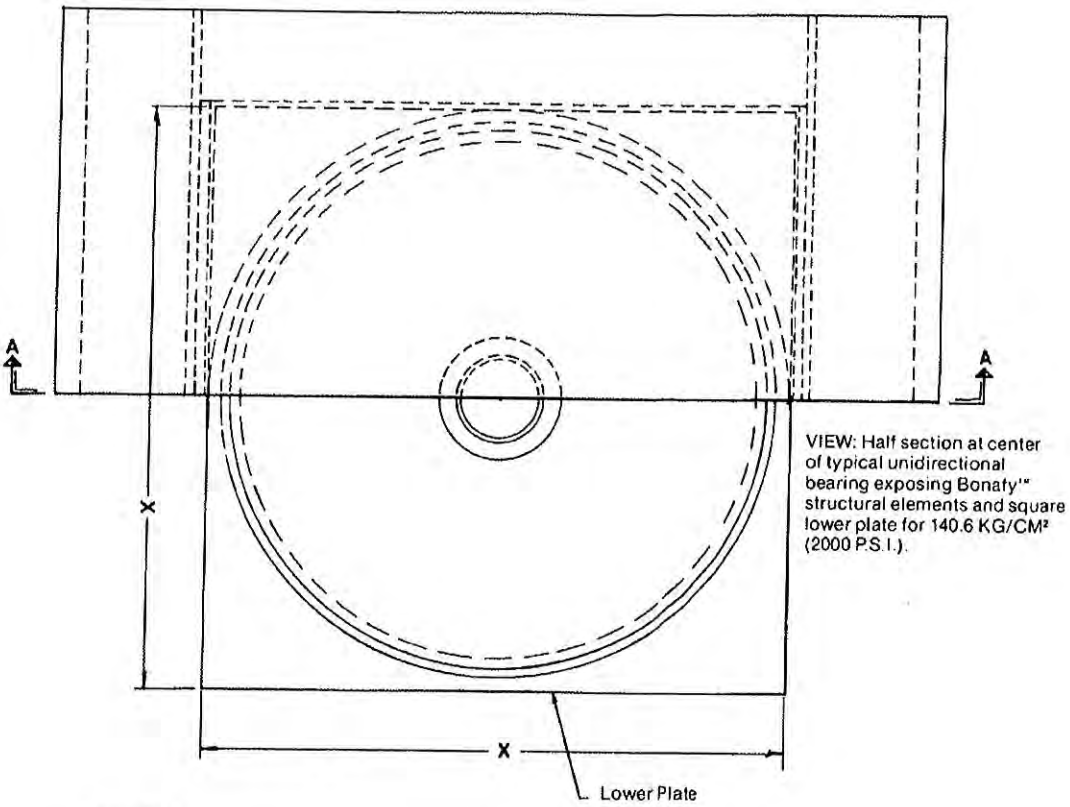
— MODEL NUMBER BASED ON TOTAL LOAD (KIPS) (DEAD & LIVE)

— Mp DENOTES METRIC TON = 2204.6 LB.

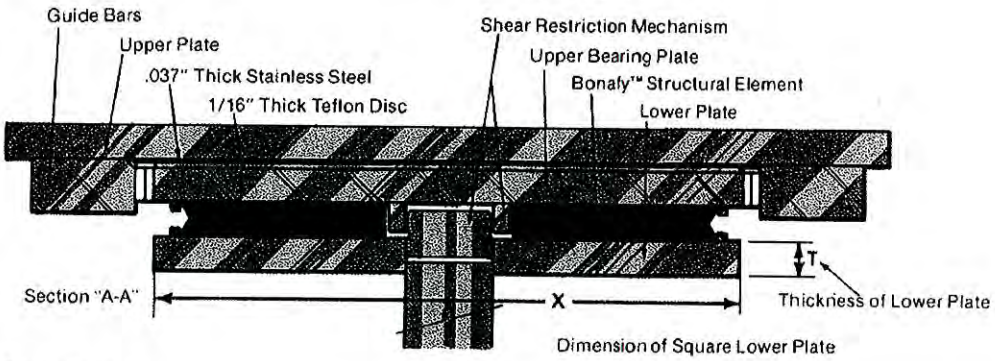
Bold numerals in chart indicate centimeters.
Regular numerals in chart indicate inches.

BEARING DESIGN

FOR 140.6 KG/CM² (2000 P.S.I.) ALLOWABLE PRESSURE ON CONCRETE SUPPORT



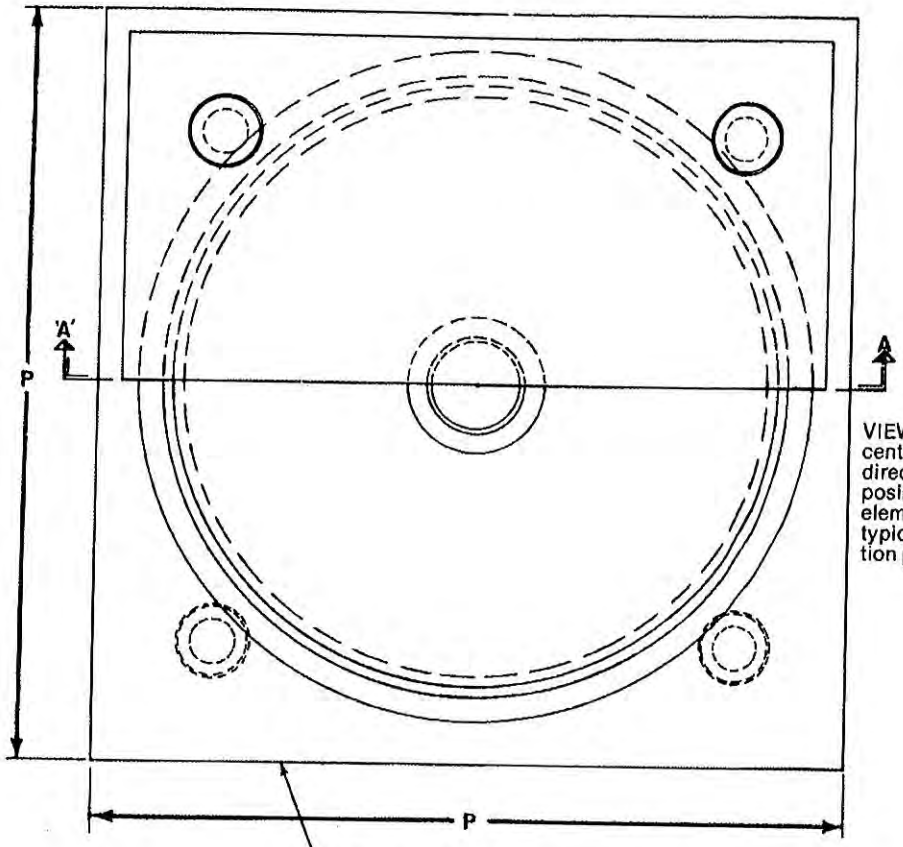
VIEW: Half section at center of typical unidirectional bearing exposing Bonafy™ structural elements and square lower plate for 140.6 KG/CM² (2000 P.S.I.).



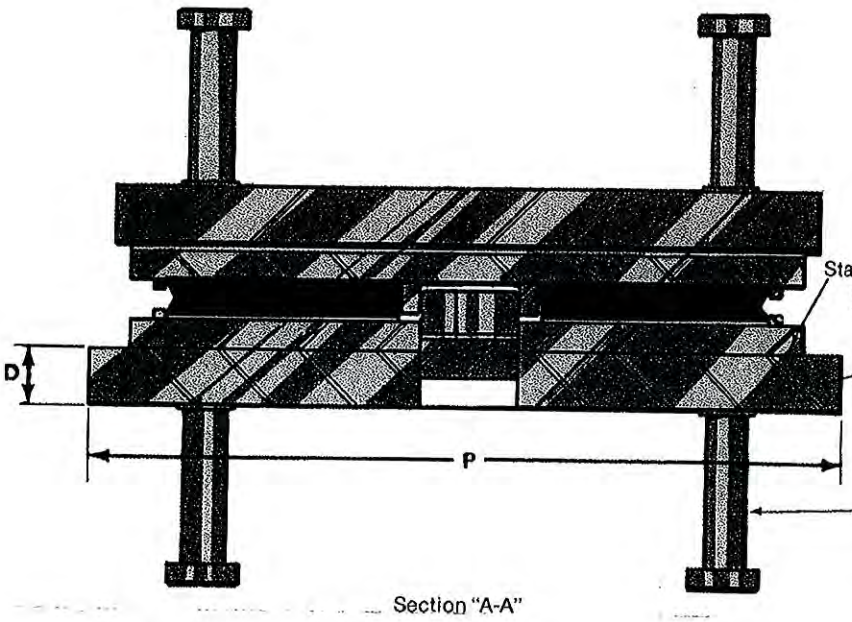
Mp Denotes Metric Ton 2204 6 LB

LOAD	Mp	45.4	68.0	102.1	136.1	204.1	272.2	340.2	408.2	476.3	544.3	612.4
	KIPS	100	150	225	300	450	600	750	900	1050	1200	1350
Dim. 'X' (IN.)		18.00 7.10	22.00 8.66	27.00 10.61	31.10 12.25	38.10 15.00	44.00 17.32	49.20 19.36	53.90 21.21	58.20 22.91	62.20 24.49	66.00 25.98
Dim. 'T' (IN.)		.95 .375	1.27 .50	1.59 .625	1.59 .625	1.91 .75	2.54 1.00	2.54 1.00	3.18 1.25	3.18 1.25	3.81 1.50	3.81 1.50
LOAD	Mp	680.4	748.4	816.5	884.5	952.6	1020.6	1088.6	1156.7	1224.7	1292.8	1360.8
	KIPS	1500	1650	1800	1950	2100	2250	2400	2550	2700	2850	3000
Dim. 'X' (IN.)		69.60 27.39	73.00 28.72	76.20 30.00	79.30 31.22	82.30 32.40	85.20 33.54	88.00 34.64	90.70 35.71	93.30 36.74	95.90 37.75	98.40 38.73
Dim. 'T' (IN.)		3.81 1.50	3.81 1.50	4.45 1.75	4.45 1.75	4.45 1.75	5.08 2.00	5.08 2.00	5.08 2.00	5.08 2.00	5.72 2.25	5.72 2.25
LOAD	Mp	1496.9	1633.0	1769.1	1905.1	2041.2	2177.3	2313.4	2449.4	2721.6	3175.2	3628.8
	KIPS	3300	3600	3900	4200	4500	4800	5100	5400	6000	7000	8000
Dim. 'X' (IN.)		103.20 40.62	107.80 42.43	112.20 44.16	116.40 45.83	120.50 47.43	124.40 48.99	128.30 50.50	132.00 51.96	139.10 54.77	150.10 59.10	161.30 63.50
Dim. 'T' (IN.)		5.72 2.25	6.35 2.50	6.35 2.50	6.35 2.50	6.99 2.75	6.99 2.75	6.99 2.75	7.62 3.00	8.26 3.25	10.16 4.00	10.80 4.25

Typical ADD-ON DISTRIBUTION PLATE



VIEW: Half section at center of typical multi-directional bearing exposing Bonafy™ structural element, lower plate and typical add-on distribution plate.



Standard lower plate as shown for allowable pressure of 175.8 KG/CM² (2500 P.S.I.).

Add-on distribution plate (see pages 12 and 13 for dimension of selected allowable pressure).

Concrete Anchor Studs (number varies to size of bearing).

Section "A-A"

WABO-FYFE MODEL II HIGH LOAD BEARING

FOR 112.5 KG/CM² (1600 P.S.I.), 91.4 KG/CM² (1300 P.S.I.), 70.3 KG/CM² (1000 P.S.I.), 49.2 KG/CM² (700 P.S.I.)

LOAD	Mp	45.4		68.0		102.1		136.1		204.1		272.2	
	KIPS	100		150		225		300		450		600	
Allowable Pressure On Concrete		Dim. 'P'	Dim. 'D'	Dim. 'P'	Dim. 'D'	Dim. 'P'	Dim. 'D'	Dim. 'P'	Dim. 'D'	Dim. 'P'	Dim. 'D'	Dim. 'P'	Dim. 'D'
P.S.I.	KG/CM²	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.
1,600	112.5	20.10 7.90	.63 0.25	24.60 9.68	1.27 0.50	30.10 11.86	1.27 0.50	34.80 13.69	1.59 0.625	42.60 16.77	1.91 0.75	49.20 19.36	2.54 1.00
1,300	91.4	22.20 8.75	.63 0.25	27.30 10.74	1.59 0.625	33.40 13.16	1.91 0.75	38.60 15.19	1.91 0.75	47.30 18.61	2.54 1.00	54.60 21.48	3.18 1.25
1,000	70.3	25.40 10.00	1.59 0.625	31.10 12.25	1.91 0.75	38.10 15.00	2.54 1.00	44.00 17.32	2.54 1.00	53.90 21.20	3.18 1.25	62.20 24.49	3.81 1.50
700	49.2	36.20 14.25	2.54 1.00	37.20 14.64	2.54 1.00	45.50 17.93	3.18 1.25	52.60 20.70	3.81 1.50	64.40 25.35	4.45 1.75	74.40 29.28	5.08 2.00

LOAD	Mp	340.2		408.2		476.3		544.3		612.4		680.4	
	KIPS	750		900		1050		1200		1350		1500	
Allowable Pressure On Concrete		Dim. 'P'	Dim. 'D'	Dim. 'P'	Dim. 'D'	Dim. 'P'	Dim. 'D'	Dim. 'P'	Dim. 'D'	Dim. 'P'	Dim. 'D'	Dim. 'P'	Dim. 'D'
P.S.I.	KG/CM²	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.
1,600	112.5	55.00 21.65	2.54 1.00	60.20 23.72	2.54 1.00	65.10 25.62	2.54 1.00	69.60 27.39	3.18 1.25	73.80 29.05	3.81 1.25	77.80 30.62	3.18 1.25
1,300	91.4	61.00 24.02	3.18 1.25	66.80 26.31	3.81 1.50	72.20 28.42	3.81 1.50	77.20 30.38	4.45 1.75	81.90 32.23	4.45 1.75	86.30 33.97	4.45 1.75
1,000	70.3	69.60 27.39	4.45 1.75	76.20 30.00	4.45 1.75	82.30 32.40	5.08 2.00	88.00 34.64	5.72 2.25	93.30 36.74	5.72 2.25	98.40 38.73	5.72 2.25
700	49.2	83.10 32.73	5.72 2.25	91.10 35.86	5.72 2.25	98.40 38.73	6.35 2.50	105.20 41.40	6.99 2.75	111.60 43.92	6.99 2.75	117.60 46.29	7.62 3.00

LOAD	Mp	748.4		816.5		884.5		952.6		1020.6		1088.6	
	KIPS	1650		1800		1950		2100		2250		2400	
Allowable Pressure On Concrete		Dim. 'P'	Dim. 'D'	Dim. 'P'	Dim. 'D'	Dim. 'P'	Dim. 'D'	Dim. 'P'	Dim. 'D'	Dim. 'P'	Dim. 'D'	Dim. 'P'	Dim. 'D'
P.S.I.	KG/CM²	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.
1,600	112.5	81.60 32.11	3.81 1.50	85.20 33.54	3.81 1.50	88.70 34.91	3.81 1.50	92.00 36.23	3.81 1.50	95.30 37.50	4.45 1.75	98.40 38.73	4.45 1.75
1,300	91.4	90.50 35.63	5.08 2.00	94.50 37.21	5.08 2.00	98.40 38.73	5.08 2.00	102.10 40.19	5.72 2.25	105.70 41.60	5.72 2.25	109.10 42.97	5.72 2.25
1,000	70.3	103.20 40.62	6.35 2.50	107.80 42.43	6.35 2.50	112.20 44.16	6.99 2.75	116.40 45.83	6.99 2.75	120.50 47.43	7.62 3.00	124.40 48.99	7.62 3.00
700	49.2	123.30 48.55	7.62 3.00	128.80 50.71	8.26 3.25	134.10 52.78	8.89 3.50	139.10 54.77	8.89 3.50	144.00 56.69	8.89 3.50	148.70 58.55	9.53 3.75

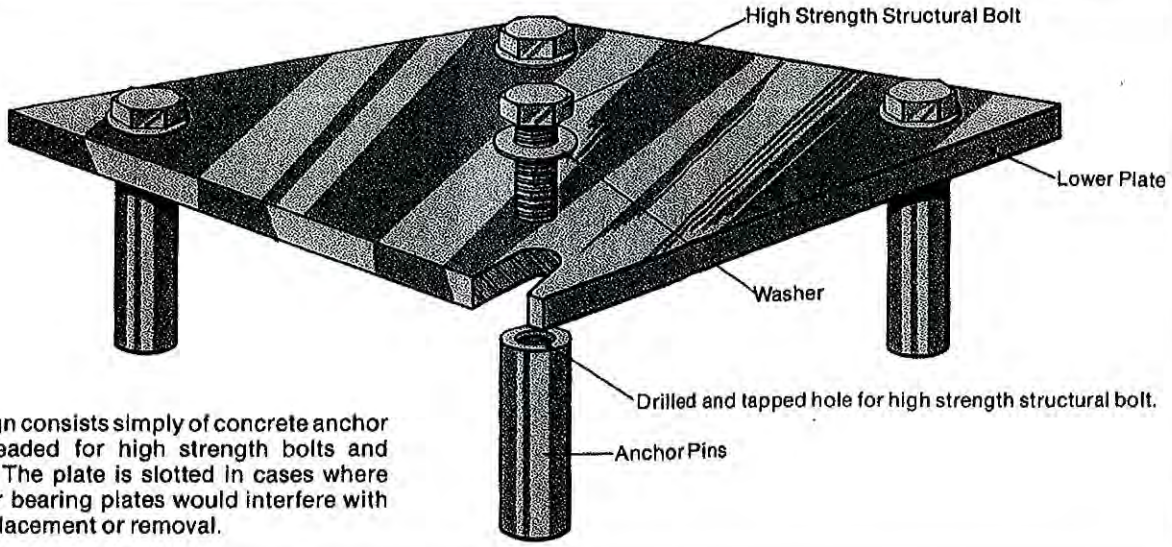
ADD-ON DISTRIBUTION PLATE DIMENSIONS

LOAD	Mp	1156.7		1224.7		1292.8		1360.8		1496.9		1633.0	
	KIPS	2550		2700		2850		3000		3300		3600	
Allowable Pressure On Concrete		Dim. 'P'	Dim. 'D'	Dim. 'P'	Dim. 'D'	Dim. 'P'	Dim. 'D'	Dim. 'P'	Dim. 'D'	Dim. 'P'	Dim. 'D'	Dim. 'P'	Dim. 'D'
P.S.I.	KG/CM²	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.
1,600	112.5	**101.40** 39.92	**4.45** 1.75	**104.30** 41.08	**4.45** 1.75	**107.20** 42.20	**4.45** 1.75	**110.00** 43.30	**4.45** 1.75	**115.40** 45.41	**5.08** 2.00	**120.50** 47.43	**5.08** 2.00
1,300	91.4	**112.50** 44.29	**5.72** 2.25	**115.80** 45.57	**6.35** 2.50	**118.90** 46.82	**6.35** 2.50	**122.00** 48.04	**6.35** 2.50	**128.00** 50.38	**6.99** 2.75	**133.70** 52.62	**6.99** 2.75
1,000	70.3	**128.30** 50.50	**7.62** 3.00	**132.00** 51.96	**8.26** 3.25	**135.60** 53.39	**8.26** 3.25	**139.10** 54.77	**8.26** 3.25	**145.90** 57.45	**8.89** 3.50	**152.40** 60.00	**8.89** 3.50
700	49.2	**153.30** 60.36	**10.16** 4.00	**157.80** 62.11	**10.16** 4.00	**162.10** 63.81	**10.80** 4.25	**166.30** 65.47	**10.80** 4.25	**174.40** 68.66	**11.43** 4.50	**182.20** 71.71	**11.43** 4.50

LOAD	Mp	1769.1		1905.1		2041.2		2177.3		5313.4		2449.4	
	KIPS	3900		4200		4500		4800		5100		5400	
Allowable Pressure On Concrete		Dim. 'P'	Dim. 'D'	Dim. 'P'	Dim. 'D'	Dim. 'P'	Dim. 'D'	Dim. 'P'	Dim. 'D'	Dim. 'P'	Dim. 'D'	Dim. 'P'	Dim. 'D'
P.S.I.	KG/CM²	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.
1,600	112.5	**125.40** 49.37	**5.08** 2.00	**130.10** 51.23	**5.72** 2.25	**134.70** 53.03	**5.72** 2.25	**139.10** 54.77	**5.72** 2.25	**143.40** 56.46	**5.72** 2.25	**147.60** 58.09	**6.35** 2.50
1,300	91.4	**139.10** 54.77	**7.62** 3.00	**144.40** 56.84	**7.62** 3.00	**149.40** 58.83	**7.62** 3.00	**154.30** 60.76	**8.26** 3.25	**159.10** 62.63	**8.26** 3.25	**163.70** 64.45	**8.26** 3.25
1,000	70.3	**158.60** 62.45	**9.53** 3.75	**164.60** 64.81	**10.16** 4.00	**170.40** 67.08	**10.16** 4.00	**176.00** 69.28	**10.80** 4.25	**181.40** 71.41	**10.80** 4.25	**186.70** 73.48	**11.43** 4.50
700	49.2	**189.60** 74.64	**12.07** 4.75	**196.80** 77.46	**12.70** 5.00	**203.70** 80.18	**12.70** 5.00	**210.30** 82.81	**13.34** 5.25	**216.80** 85.36	**13.97** 5.50	**223.10** 87.83	**13.97** 5.50

LOAD	Mp	2721.6		3175.2		3628.8	
	KIPS	6000		7000		8000	
Allowable Pressure On Concrete		Dim. 'P'	Dim. 'D'	Dim. 'P'	Dim. 'D'	Dim. 'P'	Dim. 'D'
P.S.I.	KG/CM²	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.	Cm. In.
1,600	112.5	**155.50** 61.24	**6.35** 2.50	**167.60** 66.00	**6.99** 2.75	**180.30** 71.00	**7.62** 3.00
1,300	91.4	**172.60** 67.94	**8.89** 3.50	**185.40** 73.00	**9.53** 3.75	**199.40** 78.50	**10.16** 4.00
1,000	70.3	**196.80** 77.46	**12.07** 4.75	**213.40** 84.00	**12.70** 5.00	**227.30** 89.50	**13.34** 5.25
700	49.2	**235.20** 92.58	**15.24** 6.00	**254.00** 100.00	**16.51** 6.50	**271.80** 107.00	**17.78** 7.00

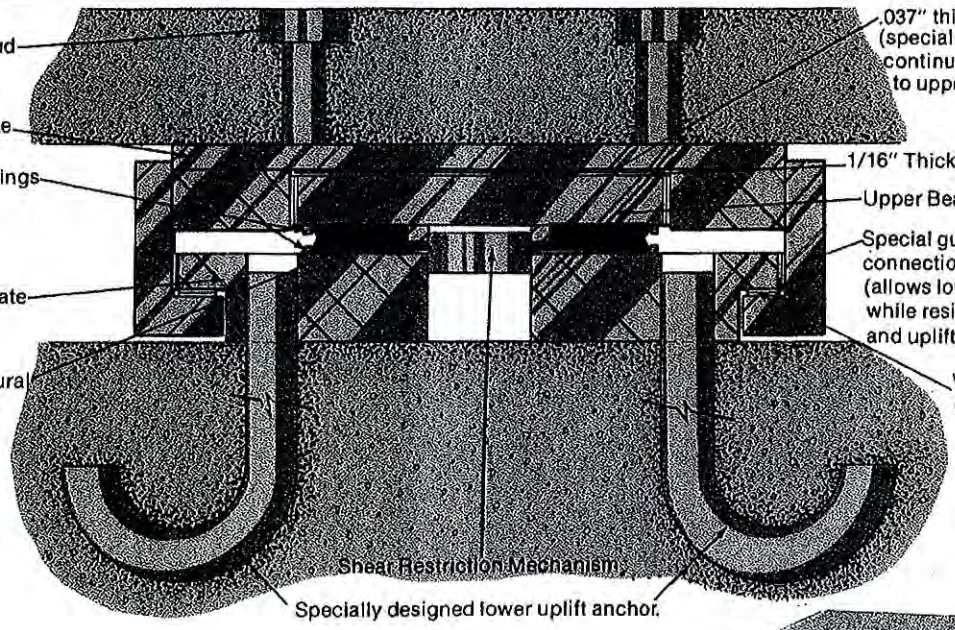
ALTERNATE BOTTOM PLATE ANCHORAGE SYSTEM

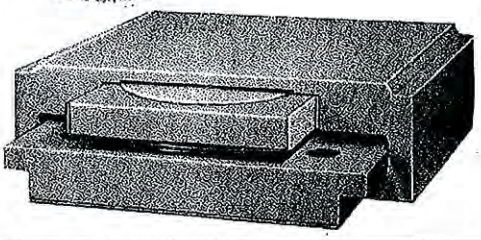


The design consists simply of concrete anchor pins, threaded for high strength bolts and washers. The plate is slotted in cases where the upper bearing plates would interfere with the bolt placement or removal.

UNIDIRECTIONAL BEARING

TYPICAL UP-LIFT DETAILS





Special design bearing for high horizontal and up-lift forces.

MATERIAL SPECIFICATION

1. STEEL COMPONENTS

All standard steel components ASTM A36 or G40.21. Special steels are available upon request.

2. STAINLESS STEEL

The stainless steel sheet shall conform to ASTM A-167 type 304. The face of the stainless steel in contact with the Virgin Teflon® shall have a bright annealed mirror finish.

3. POLYTETRAFLUOROETHYLENE (PTFE)

The polytetrafluoroethylene (PTFE) shall be 100% virgin (unfilled) polymer and etched on bonding side.

The properties of the PTFE shall conform to the following:

Requirement	Test Method	Value
Hardness at 78° F	ASTM D-1706-59T	50-65 Durometer
Tensile Strength (psi)	ASTM D-638	2,500 minimum
Elongation %	ASTM D-638	200 minimum
Specific Gravity	ASTM D-792	2.1 to 2.3

4. BONDING OF TEFLON® TO STEEL

Special etched one side Virgin Teflon® is bonded with Elastometal 100 adhesive to grit blasted steel using special bonding procedures.

The Virgin Teflon® guides are bonded and mechanically fixed in place.

5. BONAFY™ STRUCTURAL ELEMENT

Detailed material specification for Bonafy™ A or high rotation Bonafy™ B are available. A sample 150 kip bearing can be manufactured from the batch used for production bearings and tested as part of bearing order.

6. EXPOSED STEEL SURFACES

All steel surfaces exposed to the environment are zinc metallized seven mils thick to CSA G-189 or painted with structural primer to design authorities'specifications.

CALCUL DE LA POUTRE

- CL 625 HN 1, 2 ET 3

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____ Par: P.L.

_____ Date: _____

Sujet: _____ No du projet: _____

LES PRÉSENTS CALCULS SONT POUR

LES CAS DE CHARGEMENT D'ÉVALUATION

DE LA NORME S6-06 (CHAPITRE 14)

Imprimerie J.B.R. inc.

Calcul des charges et évaluation / Pont Rivière Némiscau

Calcul avec Vr
avec raidisseur

Charge vive :

$ORIGIN := 0$

Longueur : $L := 27230mm$ L < 50m

Calcul selon la norme S6-06 mais avec des chargements hors-norme

Multiligne à 16 roues hors-tout de 3000mm

$x_c := (0\ \ 0.1\ \ 0.2\ \ 0.25\ \ 0.3\ \ 0.4\ \ 0.5\ \ 0.6\ \ 0.7\ \ 0.75\ \ 0.8\ \ 0.9\ \ 1.0)^T \cdot L \quad i := 0..rows(x_c) - 1 \quad rows(x_c) = 13$

$div := rows(x_c) - 1$

Charges d'essieux :

NIV1 $P_1 := (50\ \ 125\ \ 125\ \ 175\ \ 150)^T\ kN$

NIV2 $P_2 := (50\ \ 125\ \ 125\ \ 175)^T\ kN$

NIV3 $P_3 := (50\ \ 125\ \ 125)^T\ kN$

Position des roues

$x_{p1} := (0\ \ 3600\ \ 4800\ \ 11400\ \ 18000)^T\ mm$

$x_{p2} := (0\ \ 3600\ \ 4800\ \ 11400)^T\ mm$

$x_{p3} := (0\ \ 3600\ \ 4800)^T\ mm$

Pas pour le calcul

$step := \frac{L}{100}$

$x_{p1n} := -x_{p1}$

$x_{p2n} := -x_{p2}$

$x_{p3n} := -x_{p3}$

Cas de charge 3 :

$j := 0..\,\mathrm{rows}(x_{p3}) - 1 \qquad k := 0..\,\mathrm{ceil}\left(\frac{|\min(x_{p3})| + L}{\mathrm{step}}\right) \qquad \frac{|\min(x_{p3})| + L}{\mathrm{step}} = 117.628$

Calcul des efforts aux appuis :

$$R_{1_k} := \sum_j \mathrm{if}\left[\left(k\cdot\mathrm{step} + x_{p3_j}\right) < L \wedge \left(k\cdot\mathrm{step} + x_{p3_j}\right) \geq 0\mathrm{mm}, \frac{P_{3_j}\cdot\left[L - \left(k\cdot\mathrm{step} + x_{p3_j}\right)\right]}{L}, 0\cdot\mathrm{kN}\right]$$

$$R_{2_k} := \sum_j \mathrm{if}\left[\left(k\cdot\mathrm{step} + x_{p3_j}\right) < L \wedge \left(k\cdot\mathrm{step} + x_{p3_j}\right) \geq 0\mathrm{mm}, \frac{P_{3_j}\cdot\left(k\cdot\mathrm{step} + x_{p3_j}\right)}{L}, 0\cdot\mathrm{kN}\right]$$

$\max(R_1) = 284.56\cdot\mathrm{kN} \quad \max(R_2) = 261.44\cdot\mathrm{kN}$

<u>Calcul du cisaillement :</u>

$$V_{i,k} := \sum_j \left[\begin{cases} \left[P_{3_j}\cdot\left[\frac{L - \left(k\cdot\mathrm{step} + x_{p3_j}\right)}{L}\right]\right] & \text{if } k\cdot\mathrm{step} + x_{p3_j} \geq 0\mathrm{mm} \wedge k\cdot\mathrm{step} + x_{p3_j} \leq L \wedge k\cdot\mathrm{step} + x_{p3_j} \geq x_{c_i} \\ \left[-P_{3_j}\cdot\left[\frac{\left(k\cdot\mathrm{step} + x_{p3_j}\right)}{L}\right]\right] & \text{if } k\cdot\mathrm{step} + x_{p3_j} \geq 0\mathrm{mm} \wedge k\cdot\mathrm{step} + x_{p3_j} \leq L \wedge k\cdot\mathrm{step} + x_{p3_j} < x_{c_i} \\ (0\mathrm{kN}) & \text{otherwise} \end{cases}\right]$$

$V_{max_i} := \max\left[\left(V^T\right)^{\langle i \rangle}\right] \qquad V_{c3.max} := V_{max}$

$V_{min_i} := \min\left[\left(V^T\right)^{\langle i \rangle}\right] \qquad V_{c3.min} := V_{min} \qquad V_{c3_i} := \max\left(V_{max_i}, \left|V_{min_i}\right|\right)$

$V_{max}^T = (284.6\ \ 254.6\ \ 224.6\ \ 209.6\ \ 194.6\ \ 164.6\ \ 134.6\ \ 104.6\ \ 74.6\ \ 59.6\ \ 44.6\ \ 18.6\ \ 0)\cdot\mathrm{kN}$

$-V_{min}^T = (0\ \ 5\ \ 21.4\ \ 36.4\ \ 48.4\ \ 81.4\ \ 111.4\ \ 138.4\ \ 168.4\ \ 183.4\ \ 201.4\ \ 231.4\ \ 261.4)\cdot\mathrm{kN}$

$V_{i,k} := \left|V_{i,k}\right|$

$V_{max.abs_i} := \max\left[\left(V^T\right)^{\langle i \rangle}\right]$

$V_{max.total} := \max(V_{max.abs}) \quad V_{max.total} = 284.56\cdot\mathrm{kN}$

Calcul de la flexion :

$$M_{i,k} := \sum_j \left[\begin{array}{l} \left[P_{3_j} \cdot \left[\frac{L - \left(k \cdot step + x_{p3_j}\right)}{L}\right] \cdot x_{c_i}\right] \text{ if } k \cdot step + x_{p3_j} \geq 0mm \wedge k \cdot step + x_{p3_j} \leq L \wedge k \cdot step + x_{p3_j} \geq x_{c_i} \\ \left[P_{3_j} \cdot \left[\frac{\left(k \cdot step + x_{p3_j}\right)}{L}\right] \cdot \left(L - x_{c_i}\right)\right] \text{ if } k \cdot step + x_{p3_j} \geq 0mm \wedge k \cdot step + x_{p3_j} \leq L \wedge k \cdot step + x_{p3_j} < x_{c_i} \\ (0kN \cdot m) \text{ otherwise} \end{array} \right]$$

$$M_{max_i} := \max\left[\left(M^T\right)^{\langle i \rangle}\right] \qquad M_{c3} := M_{max}$$

$$M_{max}^T = (0 \;\; 693 \;\; 1223 \;\; 1427 \;\; 1593 \;\; 1804 \;\; 1872 \;\; 1788 \;\; 1542 \;\; 1358 \;\; 1132 \;\; 630 \;\; 0) \cdot kN \cdot m$$

$$M_{max.total} := \max(M_{max}) \quad M_{max.total} = 1871.945 \cdot kN \cdot m$$

Cas de charge 2 :

$$j := 0..\,rows(x_{p2}) - 1 \qquad k := 0..\,ceil\left(\frac{\left|\min(x_{p2})\right| + L}{step}\right) \qquad \frac{\left|\min(x_{p2})\right| + L}{step} = 141.866$$

Calcul des efforts aux appuis :

$$R_{1_k} := \sum_j \text{if}\left[\left(k \cdot step + x_{p2_j}\right) < L \wedge \left(k \cdot step + x_{p2_j}\right) \geq 0mm, \frac{P_{2_j} \cdot \left[L - \left(k \cdot step + x_{p2_j}\right)\right]}{L}, 0 \cdot kN\right]$$

$$R_{2_k} := \sum_j \text{if}\left[\left(k \cdot step + x_{p2_j}\right) < L \wedge \left(k \cdot step + x_{p2_j}\right) \geq 0mm, \frac{P_{2_j} \cdot \left(k \cdot step + x_{p2_j}\right)}{L}, 0 \cdot kN\right]$$

$$\max(R_1) = 387.325 \cdot kN \quad \max(R_2) = 368.425 \cdot kN$$

Calcul du cisaillement :

$$V_{i,k} := \sum_j \left[\begin{array}{l} \left[P_{2_j} \cdot \left[\frac{L - \left(k \cdot step + x_{p2_j}\right)}{L}\right]\right] \text{ if } k \cdot step + x_{p2_j} \geq 0mm \wedge k \cdot step + x_{p2_j} \leq L \wedge k \cdot step + x_{p2_j} \geq x_{c_i} \\ \left[-P_{2_j} \cdot \left[\frac{\left(k \cdot step + x_{p2_j}\right)}{L}\right]\right] \text{ if } k \cdot step + x_{p2_j} \geq 0mm \wedge k \cdot step + x_{p2_j} \leq L \wedge k \cdot step + x_{p2_j} < x_{c_i} \\ (0kN) \text{ otherwise} \end{array} \right]$$

$V_{max_i} := \max\left[\left(V^T\right)^{\langle i \rangle}\right]$ $\qquad V_{c2.max} := V_{max}$

$V_{min_i} := \min\left[\left(V^T\right)^{\langle i \rangle}\right]$ $\qquad V_{c2.min} := V_{min}$ $\qquad V_{c2_i} := \max\left(V_{max_i}, \left|V_{min_i}\right|\right)$

$V_{max}{}^T = (387.3\ \ 339.8\ \ 292.3\ \ 268.6\ \ 244.8\ \ 197.3\ \ 149.8\ \ 103.3\ \ 60.8\ \ 44.3\ \ 34.8\ \ 17.3\ \ 0)\cdot kN$

$-V_{min}{}^T = (0\ \ 5\ \ 21.4\ \ 36.4\ \ 48.4\ \ 89.9\ \ 137.4\ \ 184.9\ \ 232.4\ \ 256.2\ \ 279.9\ \ 325.9\ \ 368.4)\cdot kN$

$V_{i,k} := \left|V_{i,k}\right|$

$V_{max.abs_i} := \max\left[\left(V^T\right)^{\langle i \rangle}\right]$

$V_{max.total} := \max\left(V_{max.abs}\right)$ $\quad V_{max.total} = 387.325\cdot kN$

Calcul de la flexion :

$$M_{i,k} := \sum_j \left[\begin{array}{l} \left[P_{2_j}\cdot\left[\dfrac{L-\left(k\cdot step + x_{p2_j}\right)}{L}\right]\cdot x_{c_i}\right] \text{ if } k\cdot step + x_{p2_j} \ge 0mm \wedge k\cdot step + x_{p2_j} \le L \wedge k\cdot step + x_{p2_j} \ge x_{c_i} \\ \left[P_{2_j}\cdot\left[\dfrac{\left(k\cdot step + x_{p2_j}\right)}{L}\right]\cdot\left(L - x_{c_i}\right)\right] \text{ if } k\cdot step + x_{p2_j} \ge 0mm \wedge k\cdot step + x_{p2_j} \le L \wedge k\cdot step + x_{p2_j} < x_{c_i} \\ (0kN\cdot m) \text{ otherwise} \end{array}\right]$$

$M_{max_i} := \max\left[\left(M^T\right)^{\langle i \rangle}\right]$ $\qquad M_{c2} := M_{max}$

$M_{max}{}^T = (0\ \ 925\ \ 1592\ \ 1828\ \ 2000\ \ 2254\ \ 2455\ \ 2406\ \ 2130\ \ 1907\ \ 1620\ \ 887\ \ 0)\cdot kN\cdot m$

$M_{max.total} := \max\left(M_{max}\right)$ $\quad M_{max.total} = 2454.725\cdot kN\cdot m$

Cas de charge 1 :

$j := 0..\mathrm{rows}(x_{p1}) - 1 \qquad k := 0..\mathrm{ceil}\left(\frac{|\min(x_{p1})| + L}{step}\right) \qquad \frac{|\min(x_{p1})| + L}{step} = 166.104$

Calcul des efforts aux appuis :

$$R_{1_k} := \sum_j \mathrm{if}\left[\left(k\cdot step + x_{p1_j}\right) < L \wedge \left(k\cdot step + x_{p1_j}\right) \geq 0mm, \frac{P_{1_j}\cdot\left[L - \left(k\cdot step + x_{p1_j}\right)\right]}{L}, 0\cdot kN\right]$$

$$R_{2_k} := \sum_j \mathrm{if}\left[\left(k\cdot step + x_{p1_j}\right) < L \wedge \left(k\cdot step + x_{p1_j}\right) \geq 0mm, \frac{P_{1_j}\cdot\left(k\cdot step + x_{p1_j}\right)}{L}, 0\cdot kN\right]$$

$\max(R_1) = 417.231\cdot kN \quad \max(R_2) = 438.769\cdot kN$

<u>Calcul du cisaillement :</u>

$$V_{i,k} := \sum_j \left[\begin{array}{l} \left[P_{1_j}\cdot\left[\frac{L - \left(k\cdot step + x_{p1_j}\right)}{L}\right]\right] \text{ if } k\cdot step + x_{p1_j} \geq 0mm \wedge k\cdot step + x_{p1_j} \leq L \wedge k\cdot step + x_{p1_j} \geq x_{c_i} \\ \left[-P_{1_j}\cdot\left[\frac{\left(k\cdot step + x_{p1_j}\right)}{L}\right]\right] \text{ if } k\cdot step + x_{p1_j} \geq 0mm \wedge k\cdot step + x_{p1_j} \leq L \wedge k\cdot step + x_{p1_j} < x_{c_i} \\ (0kN) \text{ otherwise} \end{array}\right]$$

$V_{max_i} := \max\left[\left(V^T\right)^{\langle i \rangle}\right] \qquad V_{c1.max} := V_{max}$

$V_{min_i} := \min\left[\left(V^T\right)^{\langle i \rangle}\right] \qquad V_{c1.min} := V_{min} \qquad V_{c1_i} := \max\left(V_{max_i}, \left|V_{min_i}\right|\right)$

$V_{max}^T = (417.2 \;\; 354.7 \;\; 292.3 \;\; 267.2 \;\; 236 \;\; 173.5 \;\; 118 \;\; 84.7 \;\; 52.2 \;\; 36.2 \;\; 28.7 \;\; 13.7 \;\; 0)\cdot kN$

$-V_{min}^T = (0 \;\; 5 \;\; 21.4 \;\; 36.4 \;\; 48.4 \;\; 89.9 \;\; 137.4 \;\; 195.3 \;\; 257.8 \;\; 289 \;\; 320.3 \;\; 381.3 \;\; 438.8)\cdot kN$

$V_{i,k} := \left|V_{i,k}\right|$

$V_{max.abs_i} := \max\left[\left(V^T\right)^{\langle i \rangle}\right]$

$V_{max.total} := \max(V_{max.abs}) \qquad V_{max.total} = 438.769\cdot kN$

Calcul de la flexion :

$$M_{i,k} := \sum_j \left[\begin{array}{l} \left[P_{1_j} \cdot \left[\frac{L - \left(k \cdot step + x_{p1_j}\right)}{L} \right] \cdot x_{c_i} \right] \text{ if } k \cdot step + x_{p1_j} \geq 0mm \wedge k \cdot step + x_{p1_j} \leq L \wedge k \cdot step + x_{p1_j} \geq x_{c_i} \\ \left[P_{1_j} \cdot \left[\frac{\left(k \cdot step + x_{p1_j}\right)}{L} \right] \cdot \left(L - x_{c_i}\right) \right] \text{ if } k \cdot step + x_{p1_j} \geq 0mm \wedge k \cdot step + x_{p1_j} \leq L \wedge k \cdot step + x_{p1_j} < x_{c_i} \\ (0kN \cdot m) \text{ otherwise} \end{array} \right]$$

$M_{max_i} := \max\left[\left(M^T\right)^{\langle i \rangle}\right]$ $\qquad$ $M_{c1} := M_{max}$

$M_{max}{}^T = (0 \;\; 979 \;\; 1621 \;\; 1856 \;\; 2169 \;\; 2539 \;\; 2572 \;\; 2591 \;\; 2358 \;\; 2133 \;\; 1839 \;\; 1038 \;\; 0) \cdot kN \cdot m$

$M_{max.total} := \max(M_{max})$ $\quad M_{max.total} = 2591.43 \cdot kN \cdot m$

Résumé des efforts :

$V_{c1}{}^T = (417 \;\; 355 \;\; 292 \;\; 267 \;\; 236 \;\; 173 \;\; 137 \;\; 195 \;\; 258 \;\; 289 \;\; 320 \;\; 381 \;\; 439) \cdot kN$

$V_{c2}{}^T = (387 \;\; 340 \;\; 292 \;\; 269 \;\; 245 \;\; 197 \;\; 150 \;\; 185 \;\; 232 \;\; 256 \;\; 280 \;\; 326 \;\; 368) \cdot kN$

$V_{c3}{}^T = (285 \;\; 255 \;\; 225 \;\; 210 \;\; 195 \;\; 165 \;\; 135 \;\; 138 \;\; 168 \;\; 183 \;\; 201 \;\; 231 \;\; 261) \cdot kN$

$M_{c1}{}^T = (0 \;\; 979 \;\; 1621 \;\; 1856 \;\; 2169 \;\; 2539 \;\; 2572 \;\; 2591 \;\; 2358 \;\; 2133 \;\; 1839 \;\; 1038 \;\; 0) \cdot kN \cdot m$

$M_{c2}{}^T = (0 \;\; 925 \;\; 1592 \;\; 1828 \;\; 2000 \;\; 2254 \;\; 2455 \;\; 2406 \;\; 2130 \;\; 1907 \;\; 1620 \;\; 887 \;\; 0) \cdot kN \cdot m$

$M_{c3}{}^T = (0 \;\; 693 \;\; 1223 \;\; 1427 \;\; 1593 \;\; 1804 \;\; 1872 \;\; 1788 \;\; 1542 \;\; 1358 \;\; 1132 \;\; 630 \;\; 0) \cdot kN \cdot m$

Facteur d'impact :

$I_V := \text{if}\left(\max(V_{c3}) = \max(V_{c2}), 0.30, 0.25\right)$ $\quad I_V = 0.25$

$I_M := \text{if}\left(\max(M_{c3}) = \max(M_{c2}), 0.30, 0.25\right)$ $\quad I_M = 0.25$

Si les 3 premiers essieux sont utilisés, I = 0.30
Si les 4 ou 5 essieux sont utilisés, I = 0.25

$M_{c1_i} := \max\left(M_{c1_i}, M_{c1_{div-i}}\right)$ $\qquad$ $V_{c1_i} := \max\left(\left|V_{c1_i}\right|, \left|V_{c1_{div-i}}\right|\right)$

$M_{c2_i} := \max\left(M_{c2_i}, M_{c2_{div-i}}\right)$ $\qquad$ $V_{c2_i} := \max\left(\left|V_{c2_i}\right|, \left|V_{c2_{div-i}}\right|\right)$

$M_{c3_i} := \max\left(M_{c3_i}, M_{c3_{div-i}}\right)$ $\qquad$ $V_{c3_i} := \max\left(\left|V_{c3_i}\right|, \left|V_{c3_{div-i}}\right|\right)$

$V_{c1_i} := V_{c1_i} \cdot (1 + I_V)$ $\qquad M_{c1_i} := M_{c1_i} \cdot (1 + I_M)$

$V_{c1}^T = (548\ \ 477\ \ 400\ \ 361\ \ 322\ \ 244\ \ 172\ \ 244\ \ 322\ \ 361\ \ 400\ \ 477\ \ 548) \cdot kN$

$M_{c1}^T = (0\ \ 1298\ \ 2299\ \ 2667\ \ 2948\ \ 3239\ \ 3215\ \ 3239\ \ 2948\ \ 2667\ \ 2299\ \ 1298\ \ 0) \cdot kN \cdot m$

$V_{c2_i} := V_{c2_i} \cdot (1 + I_V)$ $\qquad M_{c2_i} := M_{c2_i} \cdot (1 + I_M)$

$V_{c2}^T = (484\ \ 425\ \ 365\ \ 336\ \ 306\ \ 247\ \ 187\ \ 247\ \ 306\ \ 336\ \ 365\ \ 425\ \ 484) \cdot kN$

$M_{c2}^T = (0\ \ 1157\ \ 2025\ \ 2384\ \ 2663\ \ 3007\ \ 3068\ \ 3007\ \ 2663\ \ 2384\ \ 2025\ \ 1157\ \ 0) \cdot kN \cdot m$

$V_{c3_i} := V_{c3_i} \cdot (1 + I_V)$ $\qquad M_{c3_i} := M_{c3_i} \cdot (1 + I_M)$

$V_{c3}^T = (356\ \ 318\ \ 281\ \ 262\ \ 243\ \ 206\ \ 168\ \ 206\ \ 243\ \ 262\ \ 281\ \ 318\ \ 356) \cdot kN$

$M_{c3}^T = (0\ \ 866\ \ 1529\ \ 1783\ \ 1991\ \ 2255\ \ 2340\ \ 2255\ \ 1991\ \ 1783\ \ 1529\ \ 866\ \ 0) \cdot kN \cdot m$

Calcul de la déflexion avec un facteur d'essieu = 1 et une inertie arbitraire et sans impact

$E_s := 200000MPa$ $\qquad I_{xx} := 1000 \cdot 10^6 mm^4$ $\qquad I_{xc} := I_{xx}$

Calcul avec le cas de charge #1

$$\Delta_{i,k} := \sum_j \begin{cases} \left[\left[P_{1_j} \cdot \left[\frac{L - (k \cdot step + x_{p1_j})}{6 \cdot E_s \cdot I_{xc} \cdot L}\right] \cdot x_{c_i} \cdot \left[\left[L^2 - \left[L - (k \cdot step + x_{p1_j})\right]^2 - (x_{c_i})^2\right]\right]\right]\right. & \text{if } (k \cdot step + x_{p1_j}) \geq 0mm \wedge (k \cdot step \\ \left[\left[P_{1_j} \cdot \left[\frac{(k \cdot step + x_{p1_j})}{6 \cdot E_s \cdot I_{xc} \cdot L}\right] \cdot (L - x_{c_i}) \cdot \left[L^2 - (k \cdot step + x_{p1_j})^2 - (L - x_{c_i})^2\right]\right]\right] & \text{if } (k \cdot step + x_{p1_j}) \geq 0mm \wedge (k \cdot step + \\ (0mm) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\Delta_{max.v_i} := \max\left[\left(\Delta^T\right)^{\langle i \rangle}\right]$

$\Delta_{max.v}^T = (0\ \ 309.3\ \ 585.7\ \ 703.2\ \ 803.8\ \ 945.2\ \ 995.9\ \ 952.4\ \ 816.7\ \ 716.1\ \ 596.8\ \ 314.8\ \ 0) \cdot mm$

$\Delta_{max.v.total} := \max(\Delta_{max.v})$ $\quad \Delta_{max.v.total} = 995.871 \cdot mm$

Calcul de la charge morte :

$j := 0..\text{rows}(x_c) - 1 \qquad x := x_c$

Charges à considérer :

Poids de la poutre : $w_{Ds} := 5.47\frac{kN}{m}$ Poids de la dalle : $w_{Db} := 13.12\frac{kN}{m}$ Effet non-composite

Poids des bordures et glissières : $w_{Dc} := 1.6\frac{kN}{m}$ Effet composite

$V_{Ds_j} := \frac{w_{Ds}\cdot L}{2} - w_{Ds}\cdot x_j \qquad V_{Ds_i} := \left|V_{Ds_i}\right|$

$V_{Ds}^T = (74\ \ 60\ \ 45\ \ 37\ \ 30\ \ 15\ \ 0\ \ 15\ \ 30\ \ 37\ \ 45\ \ 60\ \ 74)\cdot kN \qquad V_{Ds.c} := \max(V_{Ds})$

$V_{Ds.c} = 74.474\cdot kN$

$V_{Db_j} := \frac{w_{Db}\cdot L}{2} - w_{Db}\cdot x_j \qquad V_{Db_i} := \left|V_{Db_i}\right|$

$V_{Db}^T = (179\ \ 143\ \ 107\ \ 89\ \ 71\ \ 36\ \ 0\ \ 36\ \ 71\ \ 89\ \ 107\ \ 143\ \ 179)\cdot kN \qquad V_{Db.c} := \max(V_{Db})$

$V_{Db.c} = 178.629\cdot kN$

$V_{Dc_j} := \frac{w_{Dc}\cdot L}{2} - w_{Dc}\cdot x_j \qquad V_{Dc_i} := \left|V_{Dc_i}\right|$

$V_{Dc}^T = (22\ \ 17\ \ 13\ \ 11\ \ 9\ \ 4\ \ 0\ \ 4\ \ 9\ \ 11\ \ 13\ \ 17\ \ 22)\cdot kN \qquad V_{Dc.c} := \max(V_{Dc})$

$V_{Dc.c} = 21.784\cdot kN$

$M_{Ds_j} := w_{Ds}\cdot x_j\cdot\frac{L - x_j}{2}$

$M_{Ds}^T = (0\ \ 183\ \ 324\ \ 380\ \ 426\ \ 487\ \ 507\ \ 487\ \ 426\ \ 380\ \ 324\ \ 183\ \ 0)\cdot kN\cdot m \qquad M_{Ds.c} := \max(M_{Ds})$

$M_{Ds.c} = 506.982\cdot kN\cdot m$

$M_{Db_j} := w_{Db}\cdot x_j\cdot\frac{L - x_j}{2}$

$M_{Db}^T = (0\ \ 438\ \ 778\ \ 912\ \ 1021\ \ 1167\ \ 1216\ \ 1167\ \ 1021\ \ 912\ \ 778\ \ 438\ \ 0)\cdot kN\cdot m \qquad M_{Db.c} := \max(M_{Db})$

$M_{Db.c} = 1216.016\cdot kN\cdot m$

$M_{Dc_j} := w_{Dc}\cdot x_j\cdot\frac{L - x_j}{2}$

$M_{Dc}^T = (0\ \ 53\ \ 95\ \ 111\ \ 125\ \ 142\ \ 148\ \ 142\ \ 125\ \ 111\ \ 95\ \ 53\ \ 0)\cdot kN\cdot m \qquad M_{Dc.c} := \max(M_{Dc})$

$M_{Dc.c} = 148.295\cdot kN\cdot m$

$V_{cc} := \max(\max(V_{c1}), \max(V_{c2}), \max(V_{c3}))$

$M_{cc} := \max(\max(M_{c1}), \max(M_{c2}), \max(M_{c3}))$

Calcul des efforts totaux :

Espaces à 1.8m

Facteur d'essieu en flexion (ÉLUL + ÉLUT) : $f_{e.M} := 0.555$

Facteur d'essieu en cisaillement (ÉLUL + ÉLUT) : $f_{e.V} := 0.635$

Facteur d'essieu en flexion (Fatigue + Flèche) : $f_{e.M.f} := 0.426$

Facteur d'essieu en cisaillement (Fatigue + Flèche) : $f_{e.V.f} := 0.598$

Effort en service :

$M_s := M_{Ds.c} + M_{Db.c} + M_{Dc.c} + f_{e.M} \cdot M_{cc}$ $\qquad M_s = 3.669 \times 10^3 \cdot kN \cdot m$

Effort ultime avec les coefficients d'évaluation :

$\alpha_{Ds} := 1.1$ $\quad \alpha_{Dc} := 1.2$ $\quad \alpha_L := 1.7$ $\qquad$ Efforts de conception

$\alpha_{Ds} := 1.06$ $\quad \alpha_{Dc} := 1.12$ $\quad \alpha_L := 1.42$ $\qquad$ Efforts d'évaluation

$V_f := \alpha_{Ds} \cdot V_{Ds.c} + \alpha_{Dc} \cdot (V_{Db.c} + V_{Dc.c}) + \alpha_L \cdot f_{e.V} \cdot V_{cc}$ $\qquad V_f = 797.953 \cdot kN$

$M_f := \alpha_{Ds} \cdot M_{Ds.c} + \alpha_{Dc} \cdot (M_{Db.c} + M_{Dc.c}) + \alpha_L \cdot f_{e.M} \cdot M_{cc}$ $\qquad M_f = 4.618 \times 10^3 \cdot kN \cdot m$

$V_{f1} := \alpha_{Ds} \cdot V_{Ds} + \alpha_{Dc} \cdot (V_{Db} + V_{Dc}) + \alpha_L \cdot f_{e.V} \cdot V_{c1}$

$V_{f2} := \alpha_{Ds} \cdot V_{Ds} + \alpha_{Dc} \cdot (V_{Db} + V_{Dc}) + \alpha_L \cdot f_{e.V} \cdot V_{c2}$

$V_{f3} := \alpha_{Ds} \cdot V_{Ds} + \alpha_{Dc} \cdot (V_{Db} + V_{Dc}) + \alpha_L \cdot f_{e.V} \cdot V_{c3}$

$M_{f1} := \alpha_{Ds} \cdot M_{Ds} + \alpha_{Dc} \cdot (M_{Db} + M_{Dc}) + \alpha_L \cdot f_{e.M} \cdot M_{c1}$

$M_{f2} := \alpha_{Ds} \cdot M_{Ds} + \alpha_{Dc} \cdot (M_{Db} + M_{Dc}) + \alpha_L \cdot f_{e.M} \cdot M_{c2}$

$M_{f3} := \alpha_{Ds} \cdot M_{Ds} + \alpha_{Dc} \cdot (M_{Db} + M_{Dc}) + \alpha_L \cdot f_{e.M} \cdot M_{c3}$

$V_{f.D} := \alpha_{Ds} \cdot V_{Ds} + \alpha_{Dc} \cdot (V_{Db} + V_{Dc})$

$M_{f.D} := \alpha_{Ds} \cdot M_{Ds} + \alpha_{Dc} \cdot (M_{Db} + M_{Dc})$

$V_{f.L1} := \alpha_L \cdot f_{e.V} \cdot V_{c1}$ $\quad M_{f.L1} := \alpha_L \cdot f_{e.M} \cdot M_{c1}$

$V_{f.L2} := \alpha_L \cdot f_{e.V} \cdot V_{c2}$ $\quad M_{f.L2} := \alpha_L \cdot f_{e.M} \cdot M_{c2}$

$V_{f.L3} := \alpha_L \cdot f_{e.V} \cdot V_{c3}$ $\quad M_{f.L3} := \alpha_L \cdot f_{e.M} \cdot M_{c3}$

$M_{L1} := f_{e.M} \cdot M_{c1}$

$M_{L2} := f_{e.M} \cdot M_{c2}$

$M_{L3} := f_{e.M} \cdot M_{c3}$

Calcul des propriétés d'une section en composite - Section #1 (0L@0.25L et 0.75L@1L)

$ORIGIN := 1$

Longueur de la travée : $L := 27230mm$

Espacement des poutres : $S := 2153mm$

Épaisseur de la dalle : $t_c := 254mm$

Résistance du béton : $f_c := 25MPa$ $\quad E_c := \left(3000\cdot\sqrt{f_c\cdot MPa} + 6900MPa\right)\cdot\left(\frac{2350}{2300}\right)^{1.5}$

Épaisseur d'asphalte : $t_p := 0mm$

$E_c = 2.262\times 10^4\cdot MPa$

Propriétés de la poutre :

Épaisseur de l'aile supérieure : $t_1 := 25mm$

Largeur de l'aile supérieure : $b_1 := 305mm$

Épaisseur de l'aile inférieure : $t_2 := 35mm$

Largeur de l'aile inférieure : $b_2 := 610mm$

Hauteur de l'âme : $h := 1829mm$ $\quad d := h + t_1 + t_2 \quad d = 1889\cdot mm$

Épaisseur de l'âme : $w := 13mm$

Résistance de l'acier : $F_y := 350MPa$ $\quad E_a := 200000MPa \quad G := 77000MPa$

G40.21 - 350AT

$A_1 := b_1\cdot t_1 \qquad A_2 := b_2\cdot t_2 \qquad A_3 := h\cdot w$

$A_1 = 7.625\times 10^3\cdot mm^2 \quad A_2 = 2.135\times 10^4\cdot mm^2 \quad A_3 = 2.378\times 10^4\cdot mm^2$

$A_s := A_1 + A_2 + A_3$

$A_s = 5.275\times 10^4\cdot mm^2$

$77\frac{kN}{m^3}\cdot A_s = 4.062\cdot\frac{kN}{m}$

$$y_1 := \frac{A_1\cdot\left(d - \frac{t_1}{2}\right) + A_3\cdot\left(t_2 + \frac{h}{2}\right) + A_2\cdot\frac{t_2}{2}}{A_s} \qquad y_1 = 706.29\cdot mm$$

$y_2 := d - y_1 \qquad y_2 = 1.183\times 10^3\cdot mm$

$J := \frac{1}{3}\cdot\left(A_1\cdot t_1^{\,2} + A_3\cdot w^2 + A_2\cdot t_2^{\,2}\right) \qquad J = 1.165\times 10^7\cdot mm^4$

$$C_w := \frac{\left(d - \frac{t_1 + t_2}{2}\right)^2 \cdot b_1^{\,3} \cdot t_1}{12 \cdot \left[1 + \left(\frac{b_1}{b_2}\right)^3 \cdot \left(\frac{t_1}{t_2}\right)\right]} \qquad C_w = 1.875 \times 10^{14} \cdot mm^6$$

$$I_{xx} := \frac{1}{12} \cdot \left(A_1 \cdot t_1^{\,2} + A_2 \cdot t_2^{\,2} + A_3 \cdot h^2\right) + A_1 \cdot \left(y_2 - \frac{t_1}{2}\right)^2 + A_2 \cdot \left(y_1 - \frac{t_2}{2}\right)^2 + A_3 \cdot \left(y_1 - t_2 - \frac{h}{2}\right)^2$$

$$I_{xx} = 2.861 \times 10^{10} \cdot mm^4 \qquad \boxed{I_{xx.1} := I_{xx}}$$

$$I_{yy} := \frac{1}{12} \cdot \left(A_1 \cdot b_1^{\,2} + A_2 \cdot b_2^{\,2} + A_3 \cdot w^2\right)$$

$$I_{yy} = 7.215 \times 10^8 \cdot mm^4$$

$$S_{x1} := \frac{I_{xx}}{y_1} \qquad S_{x1} = 4.05 \times 10^7 \cdot mm^3 \qquad S_{x2} := \frac{I_{xx}}{y_2} \qquad S_{x2} = 2.419 \times 10^7 \cdot mm^3 \qquad \boxed{S_{x.min} := \min(S_{x1}, S_{x2})}$$

$$S_{yy} := \frac{I_{yy}}{0.5 b_1} \qquad S_{yy} = 4.731 \times 10^6 \cdot mm^3 \qquad \boxed{S_{x1.1} := S_{x1}} \qquad \boxed{S_{x2.1} := S_{x2}}$$

Déterminer la classe de la poutre :

Pour ce cas-ci, utiliser des épaisseurs suffisante pour avoir une section compacte pour l'âme et vérifier si l'aile est une section non-compacte, elle ne doit pas être en compression.

$$classe1 := if\left[\left(\max\left(\frac{b_1 - w}{2 \cdot t_1}, \frac{b_2 - w}{2 \cdot t_2}\right) \le \frac{170 \cdot MPa^{0.5}}{\sqrt{F_y}}\right), \text{"compacte"}, \text{"non-compacte"}\right]$$

classe1 = "compacte"

$$classe2 := if\left[\left(\frac{h}{w} \le \frac{1700MPa^{0.5}}{\sqrt{F_y}}\right), \text{"compacte"}, \text{"non-compacte"}\right]$$

classe2 = "non-compacte"

Les calculs qui suivent sont effectués pour une section compacte (aile et âme), il faut valider si la hauteur de la section comprimée de l'âme se situe à l'intérieur de d_c.

$$d_{c.max} := \frac{850 \cdot w}{\sqrt{F_y} \cdot MPa^{-0.5}} \qquad d_{c.max} = 590.647 \cdot mm$$

Calcul de résistance ultime (CSA/S6-06) :

$\phi_r := 0.90$ acier d'armature

$\phi_c := 0.75$ béton

$\phi_b := 0.80$ boulons

$\phi_{sc} := 0.85$ goujons

$\phi := 0.95$ acier de charpente

Largeur effective de la dalle :

$be_1 := 0.25 \cdot L \qquad be_1 = 6.808 \times 10^3 \cdot mm$

$be_2 := S \qquad be_2 = 2.153 \times 10^3 \cdot mm$

$be_3 := b_1 + 12 \cdot t_c \qquad be_3 = 3.353 \times 10^3 \cdot mm$

$b_e := \min(be_1, be_2, be_3) \qquad b_e = 2.153 \times 10^3 \cdot mm$

$b_e = 2.153\,m$

Calcul selon la norme S6-06

Goujons :

$d_{sc} := 22mm \qquad A_{sc} := \frac{\pi}{4} \cdot d_{sc}^2 \qquad A_{sc} = 380.133 \cdot mm^2$

$F_u := 415MPa$

$Q_r := \text{if}\left(0.5 \cdot \phi_{sc} \cdot A_{sc} \cdot \sqrt{f_c \cdot E_c} \le \phi_{sc} \cdot F_u \cdot A_{sc}, 0.4 \cdot d_{sc}^2 \cdot \sqrt{f_c \cdot E_c}, \phi_{sc} \cdot F_u \cdot A_{sc}\right) \qquad H_{sc.min} := 4 \cdot d_{sc}$

$Q_r = 145.58 \cdot kN \qquad H_{sc.min} = 88 \cdot mm$

$H_{util} := 125mm$

Acier d'armature :

$A_{sp} := 0mm^2 \qquad f_{yp} := 300MPa \qquad d_{sp} := \frac{t_c}{2}$ distance entre la fibre la plus comprimée et l'acier d'armature

$P_1 := \phi \cdot A_s \cdot F_y \qquad P_1 = 1.754 \times 10^4 \cdot kN$

$P_2 := 0.85 \cdot \phi_c \cdot f_c \cdot b_e \cdot t_c + A_{sp} \cdot \phi_r \cdot f_{yp} \qquad P_2 = 8.716 \times 10^3 \cdot kN$

$P := \min(P_1, P_2) \qquad P = 8.716 \times 10^3 \cdot kN$

$N_{req} := \frac{P}{Q_r} \qquad N_{req} = 59.868$ Nombre de goujons entre la position de moment maximal et la position de moment nul

$N_{util} := 100 \qquad \alpha := \text{if}\left(N_{util} > N_{req}, 1, \frac{N_{util}}{N_{req}}\right) \qquad \alpha = 1$ degré de connexion

Zone de moment positif :

$C_c := 0.85 \cdot \phi_c \cdot f_c \cdot b_e \cdot t_c$ $\quad C_c = 8.716 \times 10^3 \cdot kN$

$C_s := \phi_r \cdot A_{sp} \cdot f_{yp}$ $\quad C_s = 0 \cdot kN$

$C_{EQR} := N_{util} \cdot Q_r$ $\quad C_{EQR} = 1.456 \times 10^4 \cdot kN$

$C_1 := C_c + C_s$ $\quad C_1 = 8.716 \times 10^3 \cdot kN$

$C_2 := \phi \cdot A_s \cdot F_y$ $\quad C_2 = 1.754 \times 10^4 \cdot kN$

$C_3 := C_{EQR}$ $\quad C_3 = 1.456 \times 10^4 \cdot kN$

$C_r := \min(C_1, C_2, C_3)$ $\quad C_r = 8.716 \times 10^3 \cdot kN$

$C_1 := \min(C_1, C_3)$ $\quad C_1 = 8.716 \times 10^3 \cdot kN$

$CAS := \text{if}(C_1 > C_2, 1, 2)$

if(CAS = 1, "axe neutre dans la dalle", "axe neutre dans la poutre") = "axe neutre dans la poutre"

CAS # 1

$a := \text{if}\left(CAS = 1, \frac{C_2 - \phi_r \cdot A_{sp} \cdot f_{yp}}{0.85 \cdot \phi_c \cdot b_e \cdot f_c}, 0mm\right)$ $\quad a = 0 \cdot mm$

$C_c := \text{if}(CAS = 1, 0.85 \cdot \phi_c \cdot f_c \cdot b_e \cdot a, 0kN)$ $\quad C_c = 0 \cdot kN$

$e_c := \text{if}(CAS = 1, y_2 + t_c - 0.5 \cdot a, 0mm)$ $\quad e_c = 0 \cdot mm$

$e_s := \text{if}(CAS = 1, y_2 + t_c - d_{sp}, 0mm)$ $\quad e_s = 0 \cdot mm$

$M_{r1} := C_c \cdot e_c + C_s \cdot e_s$ $\quad M_{r1} = 0 \cdot kN \cdot m$

CAS # 2

$C_c := \text{if}(CAS = 2, 0.85 \cdot \phi_c \cdot f_c \cdot b_e \cdot t_c, 0kN)$ $\quad C_c = 8.716 \times 10^3 \cdot kN$

$C_p := \text{if}[CAS = 2, 0.5 \cdot (\phi \cdot A_s \cdot F_y - C_1), 0kN]$ $\quad C_p = 4.412 \times 10^3 \cdot kN$

$A_{tf} := b_1 \cdot t_1$ $\quad A_{tf} = 7.625 \times 10^3 \cdot mm^2$ $\quad t_{tf} := t_1$

$A_w := d \cdot w$ $\quad A_w = 2.456 \times 10^4 \cdot mm^2$

Cas 21 : Axe neutre dans l'aile de la poutre

Cas 22 : Axe neutre dans l'âme de la poutre

$$CAS2 := \text{if}\left[\left(C_p < \phi \cdot A_{tf} \cdot F_y\right) \wedge CAS = 2, 21, \text{if}\left(C_p \geq \phi \cdot A_{tf} \cdot F_y \wedge CAS = 2, 22, 0\right)\right]$$

$$CAS2 = 22$$

$$y_{tc} := \text{if}\left(CAS2 = 21, \frac{C_p}{\phi \cdot A_{tf} \cdot F_y} \cdot t_{tf}, \text{if}\left(CAS2 = 22, t_{tf} + \frac{C_p - \phi \cdot A_{tf} \cdot F_y}{\phi \cdot A_w \cdot F_y} \cdot d, 0mm\right)\right)$$

$$y_{tc} = 459.217 \cdot mm$$

Pour le cas # 21

$$t_{cp} := \text{if}\left(CAS2 = 21, t_1 - y_{tc}, 0mm\right) \qquad t_{cp} = 0 \cdot mm$$

$$d_p := \text{if}\left(CAS2 = 21, d - t_1 + t_{cp}, 0mm\right. \quad d_p = 0 \cdot mm$$

$$A_{st} := b_1 \cdot t_{cp} + h \cdot w + b_2 \cdot t_2 \qquad A_{st} = 4.513 \times 10^4 \cdot mm^2$$

$$y_{cg} := \frac{b_1 \cdot t_{cp} \cdot \left(d_p - \frac{t_{cp}}{2}\right) + h \cdot w \cdot \left(t_2 + \frac{h}{2}\right) + b_2 \cdot t_2 \cdot \left(\frac{t_2}{2}\right)}{A_{st}} \qquad y_{cg} = 508.562 \cdot mm$$

$$y_{bp} := \text{if}\left(CAS2 = 21, y_{cg}, 0mm\right) \qquad y_{bp} = 0 \cdot mm$$

$$y_{tp} := \text{if}\left(CAS2 = 21, d - y_{tc} - y_{cg}, 0mm\right) \qquad y_{tp} = 0 \cdot mm$$

$$d_b := d \qquad d_b = 1.889 \times 10^3 \cdot mm$$

$$e_c := \text{if}\left(CAS2 = 21, d_b + 0.5t_c - y_{bp}, 0mm\right) \qquad e_c = 0 \cdot mm$$

$$e_s := \text{if}\left(CAS2 = 21, d_b + t_c - d_{sp} - y_{bp}, 0mm\right) \qquad e_s = 0 \cdot mm$$

$$e_p := \text{if}\left(CAS2 = 21, d - y_{bp} - \frac{y_{tc}}{2}, 0mm\right) \qquad e_p = 0 \cdot mm$$

$$M_{r2} := C_c \cdot e_c + C_s \cdot e_s + C_p \cdot e_p \qquad M_{r2} = 0 \cdot kN \cdot m$$

Pour le cas # 22

$d_p := d - y_{tc}$ $\qquad d_p = 1.43 \times 10^3 \cdot mm$

$h_p := d_p - t_2$ $\qquad h_p = 1.395 \times 10^3 \cdot mm$

$A_{st} := b_2 \cdot t_2 + h_p \cdot w$

$$y_{cg} := \frac{h_p \cdot w \cdot \left(\frac{h_p}{2} + t_2\right) + b_2 \cdot t_2 \cdot \frac{t_2}{2}}{A_{st}} \qquad y_{cg} = 345.814 \cdot mm$$

$y_{bp} := y_{cg}$ $\qquad y_{bp} = 345.814 \cdot mm$

$$y_{tp} := \frac{A_1 \cdot \left(\frac{t_1}{2}\right) + \left(y_{tc} - t_1\right) \cdot w \cdot \frac{y_{tc} + t_1}{2}}{A_1 + \left(y_{tc} - t_1\right) \cdot w} \qquad y_{tp} = 110.173 \cdot mm$$

$e_c := if\left(CAS2 = 22, d_b + 0.5t_c - y_{bp}, 0mm\right)$ $\qquad e_c = 1.67 \times 10^3 \cdot mm$

$e_s := if\left(CAS2 = 22, d_b + t_c - d_{sp} - y_{bp}, 0mm\right)$ $\qquad e_s = 1.67 \times 10^3 \cdot mm$

$e_p := if\left(CAS2 = 22, d_b - y_{bp} - y_{tp}, 0mm\right)$ $\qquad e_p = 1.433 \times 10^3 \cdot mm$

$M_{r3} := C_c \cdot e_c + C_s \cdot e_s + C_p \cdot e_p$ $\qquad M_{r3} = 20879 \cdot kN \cdot m$

Résistance ultime:

$M_r := \max\left(M_{r1}, M_{r2}, M_{r3}\right)$ $\qquad M_r = 20879 \cdot kN \cdot m$ $\qquad \boxed{M_{r.c_1} := M_r}$

Calcul des contraintes en service :

Propriétés de la section composite :

$$n := \frac{E_s}{E_c} \qquad n = 8.843$$

<u>Vérifier la position de l'axe neutre (pour be/n) :</u>

$$y_s := y_2 + t_c$$

$$CAS3 := if\left[\frac{n \cdot A_s}{b_e} \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{2 \cdot b_e \cdot y_s}{n \cdot A_s}} - 1\right) \le t_c, 31, 32\right] \qquad CAS3 = 32$$

Cas # 31 : axe neutre dans la dalle de béton
Cas # 32 : axe neutre dans la poutre en acier

$$y_t := if\left[CAS3 = 31, \frac{n \cdot A_s}{b_e} \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{2 \cdot b_e \cdot y_s}{n \cdot A_s}} - 1\right), 0mm\right] \qquad y_t = 0 \cdot mm \qquad y_{t.n_1} := y_t$$

$$y_b := if(CAS3 = 31, d + t_c - y_t, 0mm) \qquad y_b = 0 \cdot mm \qquad y_{b.n_1} := y_b$$

$$I_{c.n_1} := if\left[CAS3 = 31, \frac{b_e}{n} \cdot \frac{y_t^3}{3} + I_{xx} + A_s \cdot (y_s - y_t)^2, 0mm^4\right] \qquad I_{c.n_1} = 0 \cdot mm^4$$

$$S_{b.n_1} := if\left(CAS3 = 31, \frac{I_{c.n_1}}{d + t_c - y_t}, 0mm^3\right) \qquad S_{b.n_1} = 0 \cdot mm^3$$

$$S_{t.n_1} := if\left(CAS3 = 31, \frac{I_{c.n_1}}{y_t}, 0mm^3\right) \qquad S_{t.n_1} = 0 \cdot mm^3$$

$$S_{tb.n_1} := if\left(CAS3 = 31, \frac{I_{c.n_1}}{y_t - t_c}, 0mm^3\right) \qquad S_{tb.n_1} = 0 \cdot mm^3$$

$$y_t := if\left[CAS3 = 32, \frac{\left(\frac{b_e}{n} \cdot t_c\right) \cdot 0.5 \cdot t_c + A_s \cdot y_s}{\frac{b_e}{n} \cdot t_c + A_s}, 0mm\right] \qquad y_t = 729.896 \cdot mm \qquad y_{t.n_2} := y_t$$

$y_b := \text{if}(CAS3 = 32, d + t_c - y_t, 0mm)$ $\qquad y_b = 1.413 \times 10^3 \cdot mm \qquad y_{b.n_2} := y_b$

$$I_{c.n_2} := \text{if}\left[CAS3 = 32, \frac{1}{12} \cdot \frac{b_e}{n} \cdot t_c^{\,3} + I_{xx} + \left(\frac{b_e}{n} \cdot t_c\right) \cdot (y_t - 0.5 \cdot t_c)^2 + A_s \cdot (y_s - y_t)^2, 0mm^4\right]$$

$$I_{c.n_2} = 7.777 \times 10^{10} \cdot mm^4$$

$$S_{b.n_2} := \text{if}\left(CAS3 = 32, \frac{I_{c.n_2}}{d + t_c - y_t}, 0mm^3\right) \qquad S_{b.n_2} = 5.504 \times 10^7 \cdot mm^3$$

$$S_{t.n_2} := \text{if}\left(CAS3 = 32, \frac{I_{c.n_2}}{y_t}, 0mm^3\right) \qquad S_{t.n_2} = 1.066 \times 10^8 \cdot mm^3$$

$$S_{tb.n_2} := \text{if}\left(CAS3 = 32, \frac{I_{c.n_2}}{y_t - t_c}, 0mm^3\right) \qquad S_{tb.n_2} = 1.634 \times 10^8 \cdot mm^3$$

<u>Vérifier la position de l'axe neutre (pour $b_e/3n$) :</u>

$y_s := y_2 + t_c$

$$CAS3 := \text{if}\left[\frac{3n \cdot A_s}{b_e} \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{2 \cdot b_e \cdot y_s}{3n \cdot A_s}} - 1\right) \le t_c, 31, 32\right] \qquad CAS3 = 32$$

Cas # 31 : axe neutre dans la dalle de béton
Cas # 32 : axe neutre dans la poutre en acier

$$y_t := \text{if}\left[CAS3 = 31, \frac{3n \cdot A_s}{b_e} \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{2 \cdot b_e \cdot y_s}{3n \cdot A_s}} - 1\right), 0mm\right] \qquad y_t = 0 \cdot mm \qquad y_{t.3n_1} := y_t$$

$y_b := \text{if}(CAS3 = 31, d + t_c - y_t, 0mm)$ $\qquad y_b = 0 \cdot mm \qquad y_{b.3n_1} := y_b$

$$I_{c.3n_1} := \text{if}\left[CAS3 = 31, \frac{b_e}{3n} \cdot \frac{y_t^{\,3}}{3} + I_{xx} + A_s \cdot (y_s - y_t)^2, 0mm^4\right] \qquad I_{c.3n_1} = 0 \cdot mm^4$$

$$S_{b.3n_1} := \text{if}\left(CAS3 = 31, \frac{I_{c.3n_1}}{d + t_c - y_t}, 0mm^3\right) \qquad S_{b.3n_1} = 0 \cdot mm^3$$

$$S_{t.3n_1} := \text{if}\left(CAS3 = 31, \frac{I_{c.3n_1}}{y_t}, 0mm^3\right) \qquad S_{t.3n_1} = 0 \cdot mm^3$$

$$S_{tb.3n_1} := \text{if}\left(CAS3 = 31, \frac{I_{c.3n_1}}{y_t - t_c}, 0mm^3\right) \qquad S_{tb.3n_1} = 0 \cdot mm^3$$

$$y_t := \text{if}\left[CAS3 = 32, \frac{\left(\frac{b_e}{3n}\cdot t_c\right)\cdot 0.5\cdot t_c + A_s\cdot y_s}{\frac{b_e}{3n}\cdot t_c + A_s}, 0mm\right] \qquad y_t = 1.069\times 10^3\cdot mm \qquad y_{t.3n_2} := y_t$$

$$y_b := \text{if}\left(CAS3 = 32, d + t_c - y_t, 0mm\right) \qquad y_b = 1.074\times 10^3\cdot mm \qquad y_{b.3n_2} := y_b$$

$$I_{c.3n_2} := \text{if}\left[CAS3 = 32, \frac{1}{12}\cdot\frac{b_e}{3n}\cdot t_c^{\,3} + I_{xx} + \left(\frac{b_e}{3n}\cdot t_c\right)\cdot\left(y_t - 0.5\cdot t_c\right)^2 + A_s\cdot\left(y_s - y_t\right)^2, 0mm^4\right]$$

$$I_{c.3n_2} = 5.414\times 10^{10}\cdot mm^4$$

$$S_{b.3n_2} := \text{if}\left(CAS3 = 32, \frac{I_{c.3n_2}}{d + t_c - y_t}, 0mm^3\right) \qquad S_{b.3n_2} = 5.04\times 10^7\cdot mm^3$$

$$S_{t.3n_2} := \text{if}\left(CAS3 = 32, \frac{I_{c.3n_2}}{y_t}, 0mm^3\right) \qquad S_{t.3n_2} = 5.066\times 10^7\cdot mm^3$$

$$S_{tb.3n_2} := \text{if}\left(CAS3 = 32, \frac{I_{c.3n_2}}{y_t - t_c}, 0mm^3\right) \qquad S_{tb.3n_2} = 6.646\times 10^7\cdot mm^3$$

$S_{b.n.1} := \max(S_{b.n})$ $\boxed{S_{b.n.1} = 5.504\times 10^7\cdot mm^3}$ $S_{b.3n.1} := \max(S_{b.3n})$ $\boxed{S_{b.3n.1} = 5.04\times 10^7\cdot mm^3}$

$S_{t.n.1} := \max(S_{t.n})$ $\boxed{S_{t.n.1} = 1.066\times 10^8\cdot mm^3}$ $S_{t.3n.1} := \max(S_{t.3n})$ $\boxed{S_{t.3n.1} = 5.066\times 10^7\cdot mm^3}$

$S_{tb.n.1} := \max(S_{tb.n})$ $\boxed{S_{tb.n.1} = 1.634\times 10^8\cdot mm^3}$ $S_{tb.3n.1} := \max(S_{tb.3n})$ $\boxed{S_{tb.3n.1} = 6.646\times 10^7\cdot mm^3}$

$I_{c.n.1} := \max(I_{c.n})$ $\boxed{I_{c.n.1} = 7.777\times 10^{10}\cdot mm^4}$

$I_{c.3n.1} := \max(I_{c.3n})$ $\boxed{I_{c.3n.1} = 5.414\times 10^{10}\cdot mm^4}$

Vérifier la résistance de la section non-composite

$L_s := 5423mm$ $\qquad$ $L_w := 1mm$

$yy_1 := y_2 - \frac{t_1}{2}$ $\qquad$ $yy_1 = 1.17 \times 10^3 \cdot mm$ $\qquad$ $b_1 := b_1$ $\qquad$ $b_2 := b_2$ $\qquad$ $t_1 := t_1$ $\qquad$ $t_2 := t_2$

$yy_2 := y_1 - \frac{t_2}{2}$ $\qquad$ $yy_2 = 688.79 \cdot mm$ $\qquad$ $A_1 := A_1$ $\qquad$ $A_2 := A_2$ $\qquad$ $S_{x_1} := S_{x1}$ $\qquad$ $S_{x_2} := S_{x2}$

$I_1 := \frac{b_1^{\,3} \cdot t_1}{12}$ $\qquad$ $I_1 = 5.911 \times 10^7 \cdot mm^4$ $\qquad$ $y_1 := y_1$ $\qquad$ $y_2 := y_2$

$I_2 := \frac{b_2^{\,3} \cdot t_2}{12}$ $\qquad$ $I_2 = 6.62 \times 10^8 \cdot mm^4$

$y_0 := \left| \frac{yy_1 \cdot I_1 - yy_2 \cdot I_2}{I_1 + I_2} \right|$ $\qquad$ $y_0 = 536.413 \cdot mm$

$M_c := 0.1kN \cdot m$

L'effort à considérer est Mc qui est moment qui agit sur la section non-composite,

$Ac := \text{if}\left(M_c < 0kN \cdot m, \text{"aile inf comprimée"}, \text{"aile sup comprimée"}\right)$ $\qquad$ $Ac = \text{"aile sup comprimée"}$

Si la semelle la plus large est comprimée, y0 est négatif ce qui donne γ positif
Si la semelle la plus large est tendue, y0 est positif ce qui donne γ négatif

$s_{y0} := \text{if}\left[\left(Ac = \text{"aile inf comprimée"} \wedge b_2 > b_1\right) \vee \left(Ac = \text{"aile sup comprimée"} \wedge b_1 > b_2\right), -1, 1\right]$

$s_{y0} = 1$

$y_0 := s_{y0} \cdot y_0$ $\qquad$ $y_0 = 536.413 \cdot mm$

l'indice b concerne l'aile tendu et a l'aile comprimée

Si on veut calculer Mu pour le moment positif: l'aile comprimé aa = 1 et l'aile tendu bb = 2
Si on veut calculer Mu pour le moment négatif: l'aile comprimé aa = 2 et l'aile tendu bb = 1

$aa := \text{if}(Ac = \text{"aile sup comprimée"}, 1, 2)$

$bb := \text{if}(Ac = \text{"aile sup comprimée"}, 2, 1)$

$aa = 1$ $\qquad$ $bb = 2$

$$\gamma := \frac{1}{2 \cdot I_{xx}} \cdot \left[yy_{bb} \cdot \left[I_{bb} + b_{bb} \cdot t_{bb} \cdot \left(yy_{bb}\right)^2 + w \cdot \frac{\left(yy_{bb}\right)^3}{4} \right] - yy_{aa} \cdot \left[I_{aa} + b_{aa} \cdot t_{aa} \cdot \left(yy_{aa}\right)^2 + \frac{w \cdot \left(yy_{aa}\right)^3}{4} \right] \right] - y_0$$

$\gamma = -715.003 \cdot mm$

$\omega_2 := 1.0$ Sécuritaire

$$M_u := \frac{\omega_2 \cdot \pi}{L_s} \cdot \left[\sqrt{E_s \cdot I_{yy} \cdot G \cdot J + \left(\frac{\pi \cdot E_s}{L_s}\right)^2 \cdot I_{yy} \cdot C_w + \left(\frac{\gamma \cdot \pi \cdot E_s \cdot I_{yy}}{L_s}\right)^2} + \frac{\gamma \cdot \pi \cdot E_s \cdot I_{yy}}{L_s} \right] \qquad M_u = 2.324 \times 10^{11} \cdot kN \cdot m$$

$M_y := S_{x.min} \cdot F_y \qquad M_y = 8.466 \times 10^3 \cdot kN \cdot m$

$$M_{rS} := if\left[M_u > 0.67 \cdot M_y, \min\left[1.15 \cdot \phi \cdot M_y \cdot \left(1 - \frac{0.28 \cdot M_y}{M_u}\right), \phi \cdot M_y \right], \phi \cdot M_u \right]$$

$M_{rS} = 8.043 \times 10^3 \cdot kN \cdot m$

$$c_{réd} := if\left[\frac{2 \cdot y_{bb}}{w} > \frac{1900MPa}{\sqrt{F_y \cdot MPa}}, 1.0 - \frac{1}{300 + \frac{1200 \cdot A_{aa}}{A_3}} \cdot \left(\frac{2 \cdot y_{bb}}{w} - \frac{1900MPa}{\sqrt{\frac{M_{rS} \cdot MPa}{\phi \cdot S_{x.min}}}} \right), 1.0 \right] \qquad c_{réd} = 0.883$$

$c_{réd} := \min\left(c_{réd}, 1.0\right) \qquad c_{réd} = 0.883$

$M_r := M_{rS} \cdot c_{réd} \qquad M_r = 7.099 \times 10^3 \cdot kN \cdot m$

$$\boxed{M_{r.nc_1} := M_r}$$

Calcul de la résistance en cisaillement :

espacement des raidisseurs : $a := 1219mm$

résistance de l'acier : $F_{yw} := 350MPa$ $\phi := 0.95$

$$k_v := \text{if}\left[\frac{a}{h} < 1,4 + \frac{5.34}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}, 5.34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}\right] \qquad k_v = 16.022 \qquad \frac{h}{w} = 140.692$$

Utiliser des raidisseurs si h/w > 150

$$F_{cri} := \frac{290\cdot\sqrt{F_y\cdot k_v}\cdot MPa^{0.5}}{\frac{h}{w}} \qquad F_{cri} = 154.353\cdot MPa$$

$$F_{t.cri} := \left(0.50\cdot F_y - 0.866\cdot F_{cri}\right)\cdot\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{a}{h}\right)^2}} \qquad F_{t.cri} = 34.392\cdot MPa$$

$F_{t.cri} := 0MPa$

à l'appui (poutre sur appui simple)

$$F_{s.cri} := F_{cri} + F_{t.cri} \qquad F_{s.cri} = 154.353\cdot MPa$$

$$F_{cre} := \frac{180000\cdot MPa\cdot k_v}{\left(\frac{h}{w}\right)^2} \qquad F_{cre} = 145.692\cdot MPa$$

$$F_{t.cre} := \left(0.50\cdot F_y - 0.866\cdot F_{cre}\right)\cdot\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{a}{h}\right)^2}} \qquad F_{t.cre} = 40.633\cdot MPa$$

$F_{t.cre} := 0MPa$

à l'appui (poutre sur appui simple)

$$F_{s.cre} := F_{cre} + F_{t.cre} \qquad F_{s.cre} = 145.692\cdot MPa$$

$$F_s := \begin{cases} \left(0.577\cdot F_{yw}\right) & \text{if } \frac{h}{w} \le 502\cdot\sqrt{\frac{k_v\cdot MPa}{F_y}} \\ F_{s.cri} & \text{if } \frac{h}{w} > 502\cdot\sqrt{\frac{k_v\cdot MPa}{F_y}} \wedge \frac{h}{w} \le 621\cdot\sqrt{\frac{k_v\cdot MPa}{F_y}} \\ F_{s.cre} & \text{if } \frac{h}{w} > 621\cdot\sqrt{\frac{k_v\cdot MPa}{F_y}} \end{cases} \qquad F_s = 145.692\cdot MPa$$

$$502\cdot\sqrt{\frac{k_v\cdot MPa}{F_y}} = 107.404 \qquad 621\cdot\sqrt{\frac{k_v\cdot MPa}{F_y}} = 132.865$$

$V_r := \phi\cdot h\cdot w\cdot \max(F_s)$ $V_r = 3.291\times 10^3\cdot kN$ $r_{f.V} := 0.77$ $V_r := r_{f.V}\cdot V_r$ $V_r = 2.534\times 10^3\cdot kN$ $\boxed{V_{r.c_1} := V_r}$

Calcul des propriétés d'une section en composite - Section #2 (0.25L @ 0.75L)

Longueur de la travée : $L := 27230mm$ $\quad ORIGIN := 1$

Espacement des poutres : $S := 2153mm$

Épaisseur de la dalle : $t_c := 254mm$

Résistance du béton : $f_c := 25MPa$ $\quad E_c := \left(3000 \cdot \sqrt{f_c \cdot MPa} + 6900MPa\right) \cdot \left(\frac{2350}{2300}\right)^{1.5}$

Épaisseur d'asphalte : $t_a := 0mm$

$E_c = 2.262 \times 10^4 \cdot MPa$

Propriétés de la poutre :

Épaisseur de l'aile supérieure : $t_1 := 32mm$

Largeur de l'aile supérieure : $b_1 := 305mm$

Épaisseur de l'aile inférieure : $t_2 := 48mm$

Largeur de l'aile inférieure : $b_2 := 610mm$

Hauteur de l'âme : $h := 1829mm$ $\quad d := h + t_1 + t_2$ $\quad d = 1909 \cdot mm$

Épaisseur de l'âme : $w := 13mm$

Résistance de l'acier : $F_y := 350MPa$ $\quad E_s := 200000MPa$ $\quad G := 77000MPa$

G40.21 - 350AT

$A_1 := b_1 \cdot t_1$ $\quad A_2 := b_2 \cdot t_2$ $\quad A_3 := h \cdot w$

$A_1 = 9.76 \times 10^3 \cdot mm^2$ $\quad A_2 = 2.928 \times 10^4 \cdot mm^2$ $\quad A_3 = 2.378 \times 10^4 \cdot mm^2$

$A_s := A_1 + A_2 + A_3$

$A_s = 6.282 \times 10^4 \cdot mm^2$

$77 \frac{kN}{m^3} \cdot A_s = 4.837 \cdot \frac{kN}{m}$

$$y_1 := \frac{A_1 \cdot \left(d - \frac{t_1}{2}\right) + A_3 \cdot \left(t_2 + \frac{h}{2}\right) + A_2 \cdot \frac{t_2}{2}}{A_s}$$

$y_1 = 669.624 \cdot mm$

$y_2 := d - y_1$

$y_2 = 1.239 \times 10^3 \cdot mm$

$J := \frac{1}{3} \cdot \left(A_1 \cdot t_1^2 + A_3 \cdot w^2 + A_2 \cdot t_2^2\right)$

$J = 2.716 \times 10^7 \cdot mm^4$

$$C_w := \frac{\left(d - \frac{t_1 + t_2}{2}\right)^2 \cdot b_1^{\,3} \cdot t_1}{12 \cdot \left[1 + \left(\frac{b_1}{b_2}\right)^3 \cdot \left(\frac{t_1}{t_2}\right)\right]} \qquad C_w = 2.44 \times 10^{14} \cdot mm^6$$

$$I_{xx} := \frac{1}{12} \cdot \left(A_1 \cdot t_1^{\,2} + A_2 \cdot t_2^{\,2} + A_3 \cdot h^2\right) + A_1 \cdot \left(y_2 - \frac{t_1}{2}\right)^2 + A_2 \cdot \left(y_1 - \frac{t_2}{2}\right)^2 + A_3 \cdot \left(y_1 - t_2 - \frac{h}{2}\right)^2$$

$$I_{xx} = 3.549 \times 10^{10} \cdot mm^4 \qquad \boxed{I_{xx.2} := I_{xx}}$$

$$I_{yy} := \frac{1}{12} \cdot \left(A_1 \cdot b_1^{\,2} + A_2 \cdot b_2^{\,2} + A_3 \cdot w^2\right)$$

$$I_{yy} = 9.839 \times 10^8 \cdot mm^4$$

$$S_{x1} := \frac{I_{xx}}{y_1} \qquad S_{x1} = 5.299 \times 10^7 \cdot mm^3 \qquad S_{x2} := \frac{I_{xx}}{y_2} \qquad S_{x2} = 2.863 \times 10^7 \cdot mm^3 \qquad \boxed{S_{x.min} := \min(S_{x1}, S_{x2})}$$

$$S_{yy} := \frac{I_{yy}}{0.5 b_1} \qquad S_{yy} = 6.452 \times 10^6 \cdot mm^3 \qquad \boxed{S_{x1.2} := S_{x1}} \qquad \boxed{S_{x2.2} := S_{x2}}$$

Déterminer la classe de la poutre :

Pour ce cas-ci, utiliser des épaisseurs suffisante pour avoir une section compacte pour l'âme et vérifier si l'aile est une section non-compacte, elle ne doit pas être en compression.

$$classe1 := \text{if}\left[\left(\max\left(\frac{b_1 - w}{2 \cdot t_1}, \frac{b_2 - w}{2 \cdot t_2}\right) \le \frac{170 \cdot MPa^{0.5}}{\sqrt{F_y}}\right), \text{"compacte"}, \text{"non-compacte"}\right]$$

classe1 = "compacte"

$$classe2 := \text{if}\left[\left(\frac{h}{w} \le \frac{1700 MPa^{0.5}}{\sqrt{F_y}}\right), \text{"compacte"}, \text{"non-compacte"}\right]$$

classe2 = "non-compacte"

Les calculs qui suivent sont effectués pour une section compacte (aile et âme), il faut valider si la hauteur de la section comprimée de l'âme se situe à l'intérieur de d_c.

$$d_{c.max} := \frac{850 \cdot w}{\sqrt{F_y} \cdot MPa^{-0.5}} \qquad d_{c.max} = 590.647 \cdot mm$$

Calcul de résistance ultime (CSA/S6-06) :

$\phi_r := 0.90$ acier d'armature

$\phi_c := 0.75$ béton

$\phi_b := 0.80$ boulons

$\phi_{sc} := 0.85$ goujons

$\phi := 0.95$ acier de charpente

Largeur effective de la dalle :

$be_1 := 0.25 \cdot L \qquad be_1 = 6.808 \times 10^3 \cdot mm$

$be_2 := S \qquad be_2 = 2.153 \times 10^3 \cdot mm$

$be_3 := b_1 + 12 \cdot t_c \qquad be_3 = 3.353 \times 10^3 \cdot mm$

$b_e := \min(be_1, be_2, be_3) \qquad b_e = 2.153 \times 10^3 \cdot mm$

$b_e = 2.153\,m$

Calcul selon la norme S6-06

Goujons :

$d_{sc} := 22mm \qquad A_{sc} := \frac{\pi}{4} \cdot d_{sc}^2 \qquad A_{sc} = 380.133 \cdot mm^2$

$F_u := 415MPa$

$Q_r := \text{if}\left(0.5 \cdot \phi_{sc} \cdot A_{sc} \cdot \sqrt{f_c \cdot E_c} \le \phi_{sc} \cdot F_u \cdot A_{sc}, 0.4 \cdot d_{sc}^2 \cdot \sqrt{f_c \cdot E_c}, \phi_{sc} \cdot F_u \cdot A_{sc}\right) \qquad H_{sc.min} := 4 \cdot d_{sc}$

$Q_r = 145.58 \cdot kN \qquad H_{sc.min} = 88 \cdot mm$

$H_{util} := 125mm$

Acier d'armature :

$A_{sp} := 0mm^2 \qquad f_{yp} := 300MPa \qquad d_{sp} := \frac{t_c}{2}$ distance entre la fibre la plus comprimée et l'acier d'armature

$P_1 := \phi \cdot A_s \cdot F_y \qquad P_1 = 2.089 \times 10^4 \cdot kN$

$P_2 := 0.85 \cdot \phi_c \cdot f_c \cdot b_e \cdot t_c + A_{sp} \cdot \phi_r \cdot f_{yp} \qquad P_2 = 8.716 \times 10^3 \cdot kN$

$P := \min(P_1, P_2) \qquad P = 8.716 \times 10^3 \cdot kN$

$N_{req} := \frac{P}{Q_r} \qquad N_{req} = 59.868$ Nombre de goujons entre la position de moment maximal et la position de moment nul

$N_{util} := 100 \qquad \alpha := \text{if}\left(N_{util} > N_{req}, 1, \frac{N_{util}}{N_{req}}\right) \qquad \alpha = 1$ degré de connexion

Zone de moment positif :

$C_c := 0.85 \cdot \phi_c \cdot f_c \cdot b_e \cdot t_c$ $\quad C_c = 8.716 \times 10^3 \cdot kN$

$C_s := \phi_r \cdot A_{sp} \cdot f_{yp}$ $\quad C_s = 0 \cdot kN$

$C_{EQR} := N_{util} \cdot Q_r$ $\quad C_{EQR} = 1.456 \times 10^4 \cdot kN$

$C_1 := C_c + C_s$ $\quad C_1 = 8.716 \times 10^3 \cdot kN$

$C_2 := \phi \cdot A_s \cdot F_y$ $\quad C_2 = 2.089 \times 10^4 \cdot kN$

$C_3 := C_{EQR}$ $\quad C_3 = 1.456 \times 10^4 \cdot kN$

$C_r := \min(C_1, C_2, C_3)$ $\quad C_r = 8.716 \times 10^3 \cdot kN$

$C_1 := \min(C_1, C_3)$ $\quad C_1 = 8.716 \times 10^3 \cdot kN$

$CAS := \text{if}(C_1 > C_2, 1, 2)$

if(CAS = 1, "axe neutre dans la dalle", "axe neutre dans la poutre") = "axe neutre dans la poutre"

CAS # 1

$a := \text{if}\left(CAS = 1, \frac{C_2 - \phi_r \cdot A_{sp} \cdot f_{yp}}{0.85 \cdot \phi_c \cdot b_e \cdot f_c}, 0mm\right)$ $\quad a = 0 \cdot mm$

$C_c := \text{if}(CAS = 1, 0.85 \cdot \phi_c \cdot f_c \cdot b_e \cdot a, 0kN)$ $\quad C_c = 0 \cdot kN$

$e_c := \text{if}(CAS = 1, y_2 + t_c - 0.5 \cdot a, 0mm)$ $\quad e_c = 0 \cdot mm$

$e_s := \text{if}(CAS = 1, y_2 + t_c - d_{sp}, 0mm)$ $\quad e_s = 0 \cdot mm$

$M_{r1} := C_c \cdot e_c + C_s \cdot e_s$ $\quad M_{r1} = 0 \cdot kN \cdot m$

CAS # 2

$C_c := \text{if}(CAS = 2, 0.85 \cdot \phi_c \cdot f_c \cdot b_e \cdot t_c, 0kN)$ $\quad C_c = 8.716 \times 10^3 \cdot kN$

$C_p := \text{if}[CAS = 2, 0.5 \cdot (\phi \cdot A_s \cdot F_y - C_1), 0kN]$ $\quad C_p = 6.086 \times 10^3 \cdot kN$

$A_{tf} := b_1 \cdot t_1$ $\quad A_{tf} = 9.76 \times 10^3 \cdot mm^2$ $\quad t_{tf} := t_1$

$A_w := d \cdot w$ $\quad A_w = 2.482 \times 10^4 \cdot mm^2$

Cas 21 : Axe neutre dans l'aile de la poutre

Cas 22 : Axe neutre dans l'âme de la poutre

$CAS2 := \text{if}\left[\left(C_p < \phi \cdot A_{tf} \cdot F_y\right) \wedge CAS = 2, 21, \text{if}\left(C_p \geq \phi \cdot A_{tf} \cdot F_y \wedge CAS = 2, 22, 0\right)\right]$

$CAS2 = 22$

$$y_{tc} := \text{if}\left(CAS2 = 21, \frac{C_p}{\phi \cdot A_{tf} \cdot F_y} \cdot t_{tf}, \text{if}\left(CAS2 = 22, t_{tf} + \frac{C_p - \phi \cdot A_{tf} \cdot F_y}{\phi \cdot A_w \cdot F_y} \cdot d, 0mm\right)\right)$$

$y_{tc} = 689.101 \cdot mm$

Pour le cas # 21

$t_{cp} := \text{if}\left(CAS2 = 21, t_1 - y_{tc}, 0mm\right) \quad t_{cp} = 0 \cdot mm$

$d_p := \text{if}\left(CAS2 = 21, d - t_1 + t_{cp}, 0mm\right. \quad d_p = 0 \cdot mm$

$A_{st} := b_1 \cdot t_{cp} + h \cdot w + b_2 \cdot t_2 \qquad A_{st} = 5.306 \times 10^4 \cdot mm^2$

$$y_{cg} := \frac{b_1 \cdot t_{cp} \cdot \left(d_p - \frac{t_{cp}}{2}\right) + h \cdot w \cdot \left(t_2 + \frac{h}{2}\right) + b_2 \cdot t_2 \cdot \left(\frac{t_2}{2}\right)}{A_{st}} \qquad y_{cg} = 444.58 \cdot mm$$

$y_{bp} := \text{if}\left(CAS2 = 21, y_{cg}, 0mm\right) \qquad y_{bp} = 0 \cdot mm$

$y_{tp} := \text{if}\left(CAS2 = 21, d - y_{tc} - y_{cg}, 0mm\right) \qquad y_{tp} = 0 \cdot mm$

$d_b := d \qquad d_b = 1.909 \times 10^3 \cdot mm$

$e_c := \text{if}\left(CAS2 = 21, d_b + 0.5t_c - y_{bp}, 0mm\right) \qquad e_c = 0 \cdot mm$

$e_s := \text{if}\left(CAS2 = 21, d_b + t_c - d_{sp} - y_{bp}, 0mm\right) \qquad e_s = 0 \cdot mm$

$e_p := \text{if}\left(CAS2 = 21, d - y_{bp} - \frac{y_{tc}}{2}, 0mm\right) \qquad e_p = 0 \cdot mm$

$M_{r2} := C_c \cdot e_c + C_s \cdot e_s + C_p \cdot e_p \qquad M_{r2} = 0 \cdot kN \cdot m$

Pour le cas # 22

$d_p := d - y_{tc}$ $\qquad d_p = 1.22 \times 10^3 \cdot mm$

$h_p := d_p - t_2$ $\qquad h_p = 1.172 \times 10^3 \cdot mm$

$A_{st} := b_2 \cdot t_2 + h_p \cdot w$

$$y_{cg} := \frac{h_p \cdot w \cdot \left(\frac{h_p}{2} + t_2\right) + b_2 \cdot t_2 \cdot \frac{t_2}{2}}{A_{st}} \qquad y_{cg} = 232.749 \cdot mm$$

$y_{bp} := y_{cg}$ $\qquad y_{bp} = 232.749 \cdot mm$

$$y_{tp} := \frac{A_1 \cdot \left(\frac{t_1}{2}\right) + \left(y_{tc} - t_1\right) \cdot w \cdot \frac{y_{tc} + t_1}{2}}{A_1 + \left(y_{tc} - t_1\right) \cdot w} \qquad y_{tp} = 176.814 \cdot mm$$

$e_c := \text{if}\left(CAS2 = 22, d_b + 0.5t_c - y_{bp}, 0mm\right)$ $\qquad e_c = 1.803 \times 10^3 \cdot mm$

$e_s := \text{if}\left(CAS2 = 22, d_b + t_c - d_{sp} - y_{bp}, 0mm\right)$ $\qquad e_s = 1.803 \times 10^3 \cdot mm$

$e_p := \text{if}\left(CAS2 = 22, d_b - y_{bp} - y_{tp}, 0mm\right)$ $\qquad e_p = 1.499 \times 10^3 \cdot mm$

$M_{r3} := C_c \cdot e_c + C_s \cdot e_s + C_p \cdot e_p$ $\qquad M_{r3} = 24841 \cdot kN \cdot m$

Résistance ultime:

$M_r := \max\left(M_{r1}, M_{r2}, M_{r3}\right)$ $\qquad M_r = 24841 \cdot kN \cdot m$ $\qquad \boxed{M_{r.c_2} := M_r}$

Calcul des contraintes en service :

Propriétés de la section composite :

$n := \frac{E_s}{E_c}$ $\quad n = 8.843$

<u>Vérifier la position de l'axe neutre (pour b_e/n) :</u>

$y_s := y_2 + t_c$

$CAS3 := if\left[\frac{n \cdot A_s}{b_e} \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{2 \cdot b_e \cdot y_s}{n \cdot A_s}} - 1\right) \le t_c, 31, 32\right]$ $\quad CAS3 = 32$

Cas # 31 : axe neutre dans la dalle de béton
Cas # 32 : axe neutre dans la poutre en acier

$y_t := if\left[CAS3 = 31, \frac{n \cdot A_s}{b_e} \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{2 \cdot b_e \cdot y_s}{n \cdot A_s}} - 1\right), 0mm\right]$ $\quad y_t = 0 \cdot mm \quad y_{t.n_1} := y_t$

$y_b := if(CAS3 = 31, d + t_c - y_t, 0mm)$ $\quad y_b = 0 \cdot mm \quad y_{b.n_1} := y_b$

$I_{c.n_1} := if\left[CAS3 = 31, \frac{b_e}{n} \cdot \frac{y_t^3}{3} + I_{xx} + A_s \cdot (y_s - y_t)^2, 0mm^4\right]$ $\quad I_{c.n_1} = 0 \cdot mm^4$

$S_{b.n_1} := if\left(CAS3 = 31, \frac{I_{c.n_1}}{d + t_c - y_t}, 0mm^3\right)$ $\quad S_{b.n_1} = 0 \cdot mm^3$

$S_{t.n_1} := if\left(CAS3 = 31, \frac{I_{c.n_1}}{y_t}, 0mm^3\right)$ $\quad S_{t.n_1} = 0 \cdot mm^3$

$S_{tb.n_1} := if\left(CAS3 = 31, \frac{I_{c.n_1}}{y_t - t_c}, 0mm^3\right)$ $\quad S_{tb.n_1} = 0 \cdot mm^3$

$y_t := if\left[CAS3 = 32, \frac{\left(\frac{b_e}{n} \cdot t_c\right) \cdot 0.5 \cdot t_c + A_s \cdot y_s}{\frac{b_e}{n} \cdot t_c + A_s}, 0mm\right]$ $\quad y_t = 815.517 \cdot mm \quad y_{t.n_2} := y_t$

$y_b := if(CAS3 = 32, d + t_c - y_t, 0mm)$ $\quad y_b = 1.347 \times 10^3 \cdot mm \quad y_{b.n_2} := y_b$

$$I_{c.n_2} := \text{if}\left[CAS3 = 32, \frac{1}{12}\cdot\frac{b_e}{n}\cdot t_c^{\,3} + I_{xx} + \left(\frac{b_e}{n}\cdot t_c\right)\cdot\left(y_t - 0.5\cdot t_c\right)^2 + A_s\cdot\left(y_s - y_t\right)^2, 0mm^4\right]$$

$$I_{c.n_2} = 9.4\times 10^{10}\cdot mm^4$$

$$S_{b.n_2} := \text{if}\left(CAS3 = 32, \frac{I_{c.n_2}}{d + t_c - y_t}, 0mm^3\right) \qquad S_{b.n_2} = 6.976\times 10^{7}\cdot mm^3$$

$$S_{t.n_2} := \text{if}\left(CAS3 = 32, \frac{I_{c.n_2}}{y_t}, 0mm^3\right) \qquad S_{t.n_2} = 1.153\times 10^{8}\cdot mm^3$$

$$S_{tb.n_2} := \text{if}\left(CAS3 = 32, \frac{I_{c.n_2}}{y_t - t_c}, 0mm^3\right) \qquad S_{tb.n_2} = 1.674\times 10^{8}\cdot mm^3$$

<u>Vérifier la position de l'axe neutre (pour be/3n) :</u>

$$y_s := y_2 + t_c$$

$$CAS3 := \text{if}\left[\frac{3n\cdot A_s}{b_e}\cdot\left(\sqrt{1 + \frac{2\cdot b_e\cdot y_s}{3n\cdot A_s}} - 1\right) \le t_c, 31, 32\right] \qquad CAS3 = 32$$

Cas # 31 : axe neutre dans la dalle de béton
Cas # 32 : axe neutre dans la poutre en acier

$$y_t := \text{if}\left[CAS3 = 31, \frac{3n\cdot A_s}{b_e}\cdot\left(\sqrt{1 + \frac{2\cdot b_e\cdot y_s}{3n\cdot A_s}} - 1\right), 0mm\right] \qquad y_t = 0\cdot mm \qquad y_{t.3n_1} := y_t$$

$$y_b := \text{if}\left(CAS3 = 31, d + t_c - y_t, 0mm\right) \qquad y_b = 0\cdot mm \qquad y_{b.3n_1} := y_b$$

$$I_{c.3n_1} := \text{if}\left[CAS3 = 31, \frac{b_e}{3n}\cdot\frac{y_t^{\,3}}{3} + I_{xx} + A_s\cdot\left(y_s - y_t\right)^2, 0mm^4\right] \qquad I_{c.3n_1} = 0\cdot mm^4$$

$$S_{b.3n_1} := \text{if}\left(CAS3 = 31, \frac{I_{c.3n_1}}{d + t_c - y_t}, 0mm^3\right) \qquad S_{b.3n_1} = 0\cdot mm^3$$

$$S_{t.3n_1} := \text{if}\left(CAS3 = 31, \frac{I_{c.3n_1}}{y_t}, 0mm^3\right) \qquad S_{t.3n_1} = 0\cdot mm^3$$

$$S_{tb.3n_1} := \text{if}\left(CAS3 = 31, \frac{I_{c.3n_1}}{y_t - t_c}, 0mm^3\right) \qquad S_{tb.3n_1} = 0\cdot mm^3$$

$$y_t := \text{if}\left[CAS3 = 32, \frac{\left(\frac{b_e}{3n}\cdot t_c\right)\cdot 0.5\cdot t_c + A_s\cdot y_s}{\frac{b_e}{3n}\cdot t_c + A_s}, 0mm\right] \qquad y_t = 1.156\times 10^3\cdot mm \qquad y_{t.3n_2} := y_t$$

$$y_b := \text{if}\left(CAS3 = 32, d + t_c - y_t, 0mm\right) \qquad y_b = 1.007\times 10^3\cdot mm \qquad y_{b.3n_2} := y_b$$

$$I_{c.3n_2} := \text{if}\left[CAS3 = 32, \frac{1}{12}\cdot\frac{b_e}{3n}\cdot t_c^{\,3} + I_{xx} + \left(\frac{b_e}{3n}\cdot t_c\right)\cdot\left(y_t - 0.5\cdot t_c\right)^2 + A_s\cdot\left(y_s - y_t\right)^2, 0mm^4\right]$$

$$I_{c.3n_2} = 6.458\times 10^{10}\cdot mm^4$$

$$S_{b.3n_2} := \text{if}\left(CAS3 = 32, \frac{I_{c.3n_2}}{d + t_c - y_t}, 0mm^3\right) \qquad S_{b.3n_2} = 6.411\times 10^7\cdot mm^3$$

$$S_{t.3n_2} := \text{if}\left(CAS3 = 32, \frac{I_{c.3n_2}}{y_t}, 0mm^3\right) \qquad S_{t.3n_2} = 5.587\times 10^7\cdot mm^3$$

$$S_{tb.3n_2} := \text{if}\left(CAS3 = 32, \frac{I_{c.3n_2}}{y_t - t_c}, 0mm^3\right) \qquad S_{tb.3n_2} = 7.161\times 10^7\cdot mm^3$$

$S_{b.n.2} := \max(S_{b.n})$ $\boxed{S_{b.n.2} = 6.976\times 10^7\cdot mm^3}$ $S_{b.3n.2} := \max(S_{b.3n})$ $\boxed{S_{b.3n.2} = 6.411\times 10^7\cdot mm^3}$

$S_{t.n.2} := \max(S_{t.n})$ $\boxed{S_{t.n.2} = 1.153\times 10^8\cdot mm^3}$ $S_{t.3n.2} := \max(S_{t.3n})$ $\boxed{S_{t.3n.2} = 5.587\times 10^7\cdot mm^3}$

$S_{tb.n.2} := \max(S_{tb.n})$ $\boxed{S_{tb.n.2} = 1.674\times 10^8\cdot mm^3}$ $S_{tb.3n.2} := \max(S_{tb.3n})$ $\boxed{S_{tb.3n.2} = 7.161\times 10^7\cdot mm^3}$

$I_{c.n.2} := \max(I_{c.n})$ $\boxed{I_{c.n.2} = 9.4\times 10^{10}\cdot mm^4}$

$I_{c.3n.2} := \max(I_{c.3n})$ $\boxed{I_{c.3n.2} = 6.458\times 10^{10}\cdot mm^4}$

Vérifier la résistance de la section non-composite

$L_s := 5423mm$ $\qquad$ $L_c := 1mm$

$yy_1 := y_2 - \frac{t_1}{2}$ $\qquad$ $yy_1 = 1.223 \times 10^3 \cdot mm$ $\qquad$ $b_1 := b_1$ $\qquad$ $b_2 := b_2$ $\qquad$ $t_1 := t_1$ $\qquad$ $t_2 := t_2$

$yy_2 := y_1 - \frac{t_2}{2}$ $\qquad$ $yy_2 = 645.624 \cdot mm$ $\qquad$ $A_1 := A_1$ $\qquad$ $A_2 := A_2$ $\qquad$ $S_{x_1} := S_{x1}$ $\qquad$ $S_{x_2} := S_{x2}$

$I_1 := \frac{b_1^{\,3} \cdot t_1}{12}$ $\qquad$ $I_1 = 7.566 \times 10^7 \cdot mm^4$ $\qquad$ $y_1 := y_1$ $\qquad$ $y_2 := y_2$

$I_2 := \frac{b_2^{\,3} \cdot t_2}{12}$ $\qquad$ $I_2 = 9.079 \times 10^8 \cdot mm^4$

$y_0 := \left| \frac{yy_1 \cdot I_1 - yy_2 \cdot I_2}{I_1 + I_2} \right|$ $\qquad$ $y_0 = 501.855 \cdot mm$

$M_c := 0.1kN \cdot m$

L'effort à considérer est Mc qui est moment qui agit sur la section non-composite,

$Ac := \text{if}\left(M_c < 0kN \cdot m, \text{"aile inf comprimée"}, \text{"aile sup comprimée"}\right)$ $\qquad$ $Ac = \text{"aile sup comprimée"}$

Si la semelle la plus large est comprimée, y0 est négatif ce qui donne γ positif
Si la semelle la plus large est tendue, y0 est positif ce qui donne γ négatif

$s_{y0} := \text{if}\left[\left(Ac = \text{"aile inf comprimée"} \wedge b_2 > b_1\right) \vee \left(Ac = \text{"aile sup comprimée"} \wedge b_1 > b_2\right), -1, 1\right]$

$s_{y0} = 1$

$y_0 := s_{y0} \cdot y_0$ $\qquad$ $y_0 = 501.855 \cdot mm$

l'indice b concerne l'aile tendu et a l'aile comprimée

Si on veut calculer Mu pour le moment positif: l'aile comprimé aa = 1 et l'aile tendu bb = 2
Si on veut calculer Mu pour le moment négatif: l'aile comprimé aa = 2 et l'aile tendu bb = 1

$aa := \text{if}(Ac = \text{"aile sup comprimée"}, 1, 2)$

$bb := \text{if}(Ac = \text{"aile sup comprimée"}, 2, 1)$

$aa = 1$ $\qquad$ $bb = 2$

$$\gamma := \frac{1}{2 \cdot I_{xx}} \cdot \left[yy_{bb} \cdot \left[I_{bb} + b_{bb} \cdot t_{bb} \cdot \left(yy_{bb}\right)^2 + w \cdot \frac{\left(yy_{bb}\right)^3}{4} \right] - yy_{aa} \cdot \left[I_{aa} + b_{aa} \cdot t_{aa} \cdot \left(yy_{aa}\right)^2 + \frac{w \cdot \left(yy_{aa}\right)^3}{4} \right] \right] - y_0$$

$\gamma = -730.282 \cdot mm$

$\omega_2 := 1.0$ Sécuritaire

$$M_u := \frac{\omega_2 \cdot \pi}{L_s} \cdot \left[\sqrt{E_s \cdot I_{yy} \cdot G \cdot J + \left(\frac{\pi \cdot E_s}{L_s}\right)^2 \cdot I_{yy} \cdot C_w + \left(\frac{\gamma \cdot \pi \cdot E_s \cdot I_{yy}}{L_s}\right)^2} + \frac{\gamma \cdot \pi \cdot E_s \cdot I_{yy}}{L_s} \right] \qquad M_u = 2.983 \times 10^{11} \cdot kN \cdot m$$

$M_y := S_{x.min} \cdot F_y \qquad M_y = 1.002 \times 10^4 \cdot kN \cdot m$

$$M_{rS} := if\left[M_u > 0.67 \cdot M_y, \min\left[1.15 \cdot \phi \cdot M_y \cdot \left(1 - \frac{0.28 \cdot M_y}{M_u}\right), \phi \cdot M_y \right], \phi \cdot M_u \right]$$

$M_{rS} = 9.52 \times 10^3 \cdot kN \cdot m$

$$c_{réd} := if\left[\frac{2 \cdot y_{bb}}{w} > \frac{1900MPa}{\sqrt{F_y \cdot MPa}}, 1.0 - \frac{1}{300 + \frac{1200 \cdot A_{aa}}{A_3}} \cdot \left(\frac{2 \cdot y_{bb}}{w} - \frac{1900MPa}{\sqrt{\frac{M_{rS} \cdot MPa}{\phi \cdot S_{x.min}}}} \right), 1.0 \right] \qquad c_{réd} = 0.888$$

$c_{réd} := \min\left(c_{réd}, 1.0\right) \qquad c_{réd} = 0.888$

$M_r := M_{rS} \cdot c_{réd} \qquad M_r = 8.45 \times 10^3 \cdot kN \cdot m$

$$\boxed{M_{r.nc_2} := M_r}$$

Calcul de la résistance en cisaillement :

espacement des raidisseurs : $a := 1503mm$

résistance de l'acier : $F_{yw} := 350MPa$ $\phi := 0.95$

$$k_v := \text{if}\left[\frac{a}{h} < 1,4 + \frac{5.34}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}, 5.34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}\right] \qquad k_v = 11.908 \qquad \frac{h}{w} = 140.692$$

Utiliser des raidisseurs si h/w > 150

$$F_{cri} := \frac{290\cdot\sqrt{F_y\cdot k_v}\cdot MPa^{0.5}}{\frac{h}{w}} \qquad F_{cri} = 133.069\cdot MPa$$

$$F_{t.cri} := \left(0.50\cdot F_y - 0.866\cdot F_{cri}\right)\cdot\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{a}{h}\right)^2}} \qquad F_{t.cri} = 46.173\cdot MPa$$

$F_{t.cri} := 0MPa$

à l'appui (poutre sur appui simple) ce qui n'est pas le cas ici car pas à l'appui.

$$F_{s.cri} := F_{cri} + F_{t.cri} \qquad F_{s.cri} = 179.241\cdot MPa$$

$$F_{cre} := \frac{180000\cdot MPa\cdot k_v}{\left(\frac{h}{w}\right)^2} \qquad F_{cre} = 108.283\cdot MPa$$

$$F_{t.cre} := \left(0.50\cdot F_y - 0.866\cdot F_{cre}\right)\cdot\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{a}{h}\right)^2}} \qquad F_{t.cre} = 62.756\cdot MPa$$

$F_{t.cre} := 0MPa$

à l'appui (poutre sur appui simple) ce qui n'est pas le cas ici car pas à l'appui

$$F_{s.cre} := F_{cre} + F_{t.cre} \qquad F_{s.cre} = 171.039\cdot MPa$$

$$F_s := \begin{cases} \left(0.577\cdot F_{yw}\right) & \text{if } \frac{h}{w} \le 502\cdot\sqrt{\frac{k_v\cdot MPa}{F_y}} \\ F_{s.cri} & \text{if } \frac{h}{w} > 502\cdot\sqrt{\frac{k_v\cdot MPa}{F_y}} \wedge \frac{h}{w} \le 621\cdot\sqrt{\frac{k_v\cdot MPa}{F_y}} \\ F_{s.cre} & \text{if } \frac{h}{w} > 621\cdot\sqrt{\frac{k_v\cdot MPa}{F_y}} \end{cases} \qquad F_s = 171.039\cdot MPa$$

$$502\cdot\sqrt{\frac{k_v\cdot MPa}{F_y}} = 92.594 \qquad 621\cdot\sqrt{\frac{k_v\cdot MPa}{F_y}} = 114.544$$

$V_r := \phi\cdot h\cdot w\cdot \max(F_s)$ $V_r = 3.863\times 10^3\cdot kN$ $r_{f.V} := 0.49$ $V_r := r_{f.V}\cdot V_r$ $V_r = 1.893\times 10^3\cdot kN$ $V_{r.c_2} := V_r$

Déterminer les résistances : [redacted] $U_V := 1.0$ $U_M := 1.0$

$j := 1 .. \mathrm{rows}(x_c)$

$$V_{rr_j} := \begin{cases} U_V V_{r.c_1} & \text{if } j \le 3 \vee j \ge 11 \\ U_V V_{r.c_2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$M_{rr.c_j} := \begin{cases} U_M M_{r.c_1} & \text{if } j \le 4 \vee j \ge 10 \\ U_M M_{r.c_2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$M_{rr.nc_j} := \begin{cases} U_M M_{r.nc_1} & \text{if } j \le 4 \vee j \ge 10 \\ U_M M_{r.nc_2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

j = 1 => 0.0L
j = 2 => 0.1L
j = 3 => 0.2L
j = 4 => 0.25L
j = 5 => 0.3L
j = 6 => 0.4L
j = 7 => 0.5L
j = 8 => 0.6L
j = 9 => 0.7L
j = 10 => 0.75L
j = 11 => 0.8L
j = 12 => 0.9L
j = 13 => 1.0L

$V_{rr}^T = (2534\ \ 2534\ \ 2534\ \ 1893\ \ 1893\ \ 1893\ \ 1893\ \ 1893\ \ 1893\ \ 1893\ \ 2534\ \ 2534\ \ 2534)\cdot kN$

$M_{rr.c}^T = (20879\ \ 20879\ \ 20879\ \ 20879\ \ 24841\ \ 24841\ \ 24841\ \ 24841\ \ 24841\ \ 20879\ \ 20879\ \ 20879\ \ 20879)\cdot kN\cdot m$

$M_{rr.nc}^T = (7099\ \ 7099\ \ 7099\ \ 7099\ \ 8450\ \ 8450\ \ 8450\ \ 8450\ \ 8450\ \ 7099\ \ 7099\ \ 7099\ \ 7099)\cdot kN\cdot m$

$$S_{x1_j} := \begin{cases} S_{x1.1} & \text{if } j \le 4 \vee j \ge 10 \\ S_{x1.2} & \text{otherwise} \end{cases} \qquad S_{x2_j} := \begin{cases} S_{x2.1} & \text{if } j \le 4 \vee j \ge 10 \\ S_{x2.2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$S_{b.n_j} := \begin{cases} S_{b.n.1} & \text{if } j \le 4 \vee j \ge 10 \\ S_{b.n.2} & \text{otherwise} \end{cases} \quad S_{t.n_j} := \begin{cases} S_{t.n.1} & \text{if } j \le 4 \vee j \ge 10 \\ S_{t.n.2} & \text{otherwise} \end{cases} \quad S_{tb.n_j} := \begin{cases} S_{tb.n.1} & \text{if } j \le 4 \vee j \ge 10 \\ S_{tb.n.2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$S_{b.3n_j} := \begin{cases} S_{b.3n.1} & \text{if } j \le 4 \vee j \ge 10 \\ S_{b.3n.2} & \text{otherwise} \end{cases} \quad S_{t.3n_j} := \begin{cases} S_{t.3n.1} & \text{if } j \le 4 \vee j \ge 10 \\ S_{t.3n.2} & \text{otherwise} \end{cases} \quad S_{tb.3n_j} := \begin{cases} S_{tb.3n.1} & \text{if } j \le 4 \vee j \ge 10 \\ S_{tb.3n.2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Calcul des FCS pour le niveau 1 :

Cisaillement : $FCS_{V.niv1_j} := \dfrac{V_{rr_j} - V_{f.D_j}}{V_{f.L1_j}}$

$$\boxed{FCS_{V.niv1}{}^T = (4.51 \;\; 5.33 \;\; 6.52 \;\; 5.35 \;\; 6.1 \;\; 8.33 \;\; 12.22 \;\; 8.33 \;\; 6.1 \;\; 5.35 \;\; 6.52 \;\; 5.33 \;\; 4.51)}$$

Flexion (non-composite) : $FCS_{M.nc.niv1_j} := \dfrac{M_{rr.nc_j} - M_{f.D_j}}{\max\left(1kN\cdot m, M_{f.L1_j}\right)}$

$$\boxed{FCS_{M.nc.niv1}{}^T = (7098.51 \;\; 6.21 \;\; 3.19 \;\; 2.64 \;\; 2.89 \;\; 2.53 \;\; 2.52 \;\; 2.53 \;\; 2.89 \;\; 2.64 \;\; 3.19 \;\; 6.21 \;\; 7098.51)}$$

Flexion (composite) : $FCS_{M.c.niv1_j} := \dfrac{M_{rr.c_j} - M_{f.D_j}}{\max\left(1kN\cdot m, M_{f.L1_j}\right)}$

$$\boxed{FCS_{M.c.niv1}{}^T = (20879.46 \;\; 19.69 \;\; 10.79 \;\; 9.2 \;\; 9.95 \;\; 8.95 \;\; 8.99 \;\; 8.95 \;\; 9.95 \;\; 9.2 \;\; 10.79 \;\; 19.69 \;\; 20879.46)}$$

<u>Calcul de l'interaction Flexion-Cisaillement (non-mixte) :</u>

Section non-composite :

$$v_{D.nc_j} := \frac{0.727\cdot M_{f.D_j}}{M_{rr.nc_j}} + \frac{0.455\cdot V_{f.D_j}}{V_{rr_j}}$$

$$v_{D.nc}{}^T = (0.054 \;\; 0.12 \;\; 0.168 \;\; 0.195 \;\; 0.178 \;\; 0.185 \;\; 0.178 \;\; 0.185 \;\; 0.178 \;\; 0.195 \;\; 0.168 \;\; 0.12 \;\; 0.054)$$

$$v_{L1.nc_j} := \frac{0.727\cdot M_{f.L1_j}}{M_{rr.nc_j}} + \frac{0.455\cdot V_{f.L1_j}}{V_{rr_j}}$$

$$v_{L1.nc}{}^T = (0.089 \;\; 0.182 \;\; 0.25 \;\; 0.294 \;\; 0.27 \;\; 0.273 \;\; 0.255 \;\; 0.273 \;\; 0.27 \;\; 0.294 \;\; 0.25 \;\; 0.182 \;\; 0.089)$$

$$FCS_{MV.nc.niv1_j} := \frac{1 - v_{D.nc_j}}{v_{L1.nc_j}}$$

$$\boxed{FCS_{MV.nc.niv1}{}^T = (10.648 \;\; 4.839 \;\; 3.322 \;\; 2.742 \;\; 3.046 \;\; 2.99 \;\; 3.222 \;\; 2.99 \;\; 3.046 \;\; 2.742 \;\; 3.322 \;\; 4.839 \;\; 10.648)}$$

Section composite :

$$v_{D.c_j} := \frac{0.727 \cdot M_{f.D_j}}{M_{rr.c_j}} + \frac{0.455 \cdot V_{f.D_j}}{V_{rr_j}}$$

$$v_{D.c}^{T} = (0.054 \;\; 0.069 \;\; 0.079 \;\; 0.09 \;\; 0.08 \;\; 0.073 \;\; 0.06 \;\; 0.073 \;\; 0.08 \;\; 0.09 \;\; 0.079 \;\; 0.069 \;\; 0.054)$$

$$v_{L1.c_j} := \frac{0.727 \cdot M_{f.L1_j}}{M_{rr.c_j}} + \frac{0.455 \cdot V_{f.L1_j}}{V_{rr_j}}$$

$$v_{L1.c}^{T} = (0.089 \;\; 0.113 \;\; 0.128 \;\; 0.151 \;\; 0.138 \;\; 0.128 \;\; 0.111 \;\; 0.128 \;\; 0.138 \;\; 0.151 \;\; 0.128 \;\; 0.113 \;\; 0.089)$$

$$FCS_{MV.c.niv1_j} := \frac{1 - v_{D.c_j}}{v_{L1.c_j}}$$

$$\boxed{FCS_{MV.c.niv1}^{T} = (10.648 \;\; 8.251 \;\; 7.202 \;\; 6.005 \;\; 6.676 \;\; 7.267 \;\; 8.436 \;\; 7.267 \;\; 6.676 \;\; 6.005 \;\; 7.202 \;\; 8.251 \;\; 10.648)}$$

<u>Calcul en service :</u>

<u>Aile inférieure</u>

Section non-composite

$$\sigma_{b.D.nc_j} := \frac{M_{Ds_j} + M_{Db_j} + M_{Dc_j}}{S_{x1_j}}$$

$$\sigma_{b.D.nc}^{T} = (0 \;\; 16.632 \;\; 29.568 \;\; 34.65 \;\; 29.661 \;\; 33.899 \;\; 35.311 \;\; 33.899 \;\; 29.661 \;\; 34.65 \;\; 29.568 \;\; 16.632 \;\; 0) \cdot MPa$$

$$\sigma_{b.L1.nc_j} := \frac{M_{L1_j}}{S_{x1_j}}$$

$$\sigma_{b.L1.nc}^{T} = (0 \;\; 17.782 \;\; 31.506 \;\; 36.538 \;\; 30.872 \;\; 33.924 \;\; 33.667 \;\; 33.924 \;\; 30.872 \;\; 36.538 \;\; 31.506 \;\; 17.782 \;\; 0) \cdot MPa$$

$$FCS_{b.nc.niv1_j} := \frac{\phi \cdot F_y - \sigma_{b.D.nc_j}}{\max\left(0.1MPa, \sigma_{b.L1.nc_j}\right)}$$

$$\boxed{FCS_{b.nc.niv1}^{T} = \left(3.325 \times 10^{3} \;\; 17.764 \;\; 9.615 \;\; 8.152 \;\; 9.809 \;\; 8.802 \;\; 8.827 \;\; 8.802 \;\; 9.809 \;\; 8.152 \;\; 9.615 \;\; 17.764 \;\; 3.325 \times 10^{3}\right)}$$

Section composite

$$\sigma_{b.D.c_j} := \frac{M_{Ds_j} + M_{Db_j}}{S_{x1_j}} + \frac{M_{Dc_j}}{S_{b.3n_j}}$$

$$\sigma_{b.D.c}{}^{T} = (0 \;\; 16.373 \;\; 29.108 \;\; 34.11 \;\; 29.254 \;\; 33.433 \;\; 34.826 \;\; 33.433 \;\; 29.254 \;\; 34.11 \;\; 29.108 \;\; 16.373 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$\sigma_{b.L1.c_j} := \frac{M_{L1_j}}{S_{b.n_j}}$$

$$\sigma_{b.L1.c}{}^{T} = (0 \;\; 13.086 \;\; 23.187 \;\; 26.89 \;\; 23.453 \;\; 25.771 \;\; 25.575 \;\; 25.771 \;\; 23.453 \;\; 26.89 \;\; 23.187 \;\; 13.086 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$FCS_{b.c.niv1_j} := \frac{\phi\cdot F_y - \sigma_{b.D.c_j}}{\max\left(1MPa, \sigma_{b.L1.c_j}\right)}$$

$$\boxed{FCS_{b.c.niv1}{}^{T} = (332.5 \;\; 24.157 \;\; 13.085 \;\; 11.097 \;\; 12.93 \;\; 11.605 \;\; 11.639 \;\; 11.605 \;\; 12.93 \;\; 11.097 \;\; 13.085 \;\; 24.157 \;\; 332.5)}$$

<u>Aile supérieure</u>

Section non-composite

$$\sigma_{tb.D.nc_j} := \frac{M_{Ds_j} + M_{Db_j} + M_{Dc_j}}{S_{x2_j}}$$

$$\sigma_{tb.D.nc}{}^{T} = (0 \;\; 27.851 \;\; 49.512 \;\; 58.022 \;\; 54.899 \;\; 62.741 \;\; 65.356 \;\; 62.741 \;\; 54.899 \;\; 58.022 \;\; 49.512 \;\; 27.851 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$\sigma_{tb.L1.nc_j} := \frac{M_{L1_j}}{S_{x2_j}}$$

$$\sigma_{tb.L1.nc}{}^{T} = (0 \;\; 29.776 \;\; 52.758 \;\; 61.185 \;\; 57.14 \;\; 62.789 \;\; 62.312 \;\; 62.789 \;\; 57.14 \;\; 61.185 \;\; 52.758 \;\; 29.776 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$FCS_{tb.nc.niv1_j} := \frac{\phi\cdot F_y - \sigma_{tb.D.nc_j}}{\max\left(1MPa, \sigma_{tb.L1.nc_j}\right)}$$

$$\boxed{FCS_{tb.nc.niv1}{}^{T} = (332.5 \;\; 10.231 \;\; 5.364 \;\; 4.486 \;\; 4.858 \;\; 4.296 \;\; 4.287 \;\; 4.296 \;\; 4.858 \;\; 4.486 \;\; 5.364 \;\; 10.231 \;\; 332.5)}$$

Section composite

$$\sigma_{tb.D.c_j} := \frac{M_{Ds_j} + M_{Db_j}}{S_{x2_j}} + \frac{M_{Dc_j}}{S_{tb.3n_j}}$$

$$\sigma_{tb.D.c}{}^T = (0 \;\; 26.447 \;\; 47.017 \;\; 55.097 \;\; 52.288 \;\; 59.757 \;\; 62.247 \;\; 59.757 \;\; 52.288 \;\; 55.097 \;\; 47.017 \;\; 26.447 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$\sigma_{tb.L1.c_j} := \frac{M_{L1_j}}{S_{tb.n_j}}$$

$$\sigma_{tb.L1.c}{}^T = (0 \;\; 4.407 \;\; 7.809 \;\; 9.056 \;\; 9.773 \;\; 10.739 \;\; 10.658 \;\; 10.739 \;\; 9.773 \;\; 9.056 \;\; 7.809 \;\; 4.407 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$FCS_{tb.c.niv1_j} := \frac{\phi\cdot F_y - \sigma_{tb.D.c_j}}{\max\left(1MPa, \sigma_{tb.L1.c_j}\right)}$$

$$\boxed{FCS_{tb.c.niv1}{}^T = (332.5 \;\; 69.445 \;\; 36.56 \;\; 30.632 \;\; 28.672 \;\; 25.397 \;\; 25.358 \;\; 25.397 \;\; 28.672 \;\; 30.632 \;\; 36.56 \;\; 69.445 \;\; 332.5)}$$

<u>Béton :</u>

Section composite

$$\sigma_{t.D.c_j} := \frac{M_{Dc_j}}{S_{t.3n_j}}\cdot\frac{1}{3\cdot n}$$

$$\sigma_{t.D.c}{}^T = (0 \;\; 0.04 \;\; 0.071 \;\; 0.083 \;\; 0.084 \;\; 0.096 \;\; 0.1 \;\; 0.096 \;\; 0.084 \;\; 0.083 \;\; 0.071 \;\; 0.04 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$\sigma_{t.L1.c_j} := \frac{M_{L1_j}}{S_{t.n_j}}\cdot\frac{1}{n}$$

$$\sigma_{t.L1.c}{}^T = (0 \;\; 0.764 \;\; 1.354 \;\; 1.571 \;\; 1.605 \;\; 1.764 \;\; 1.75 \;\; 1.764 \;\; 1.605 \;\; 1.571 \;\; 1.354 \;\; 0.764 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$FCS_{t.c.niv1_j} := \frac{\phi_c\cdot f_c - \sigma_{t.D.c_j}}{\max\left(0.1MPa, \sigma_{t.L1.c_j}\right)}$$

$$\boxed{FCS_{t.c.niv1}{}^T = (187.5 \;\; 24.476 \;\; 13.792 \;\; 11.884 \;\; 11.628 \;\; 10.576 \;\; 10.654 \;\; 10.576 \;\; 11.628 \;\; 11.884 \;\; 13.792 \;\; 24.476 \;\; 187.5)}$$

Calcul des FCS pour le niveau 2 :

Cisaillement : $FCS_{V.niv2_j} := \dfrac{V_{rr_j} - V_{f.D_j}}{V_{f.L2_j}}$

$$\boxed{FCS_{V.niv2}{}^T = (5.11\ \ 5.98\ \ 7.14\ \ 5.75\ \ 6.42\ \ 8.24\ \ 11.21\ \ 8.24\ \ 6.42\ \ 5.75\ \ 7.14\ \ 5.98\ \ 5.11)}$$

Flexion (non-composite) : $FCS_{M.nc.niv2_j} := \dfrac{M_{rr.nc_j} - M_{f.D_j}}{\max\left(1kN\cdot m, M_{f.L2_j}\right)}$

$$\boxed{FCS_{M.nc.niv2}{}^T = (7098.51\ \ 6.97\ \ 3.62\ \ 2.95\ \ 3.2\ \ 2.73\ \ 2.64\ \ 2.73\ \ 3.2\ \ 2.95\ \ 3.62\ \ 6.97\ \ 7098.51)}$$

Flexion (composite) : $FCS_{M.c.niv2_j} := \dfrac{M_{rr.c_j} - M_{f.D_j}}{\max\left(1kN\cdot m, M_{f.L2_j}\right)}$

$$\boxed{FCS_{M.c.niv2}{}^T = (20879.46\ \ 22.09\ \ 12.26\ \ 10.29\ \ 11.01\ \ 9.65\ \ 9.42\ \ 9.65\ \ 11.01\ \ 10.29\ \ 12.26\ \ 22.09\ \ 20879.46)}$$

<u>Calcul de l'interaction Flexion-Cisaillement (non-mixte) :</u>

Section non-composite :

$$v_{D.nc_j} := \frac{0.727\cdot M_{f.D_j}}{M_{rr.nc_j}} + \frac{0.455\cdot V_{f.D_j}}{V_{rr_j}}$$

$$v_{D.nc}{}^T = (0.054\ \ 0.12\ \ 0.168\ \ 0.195\ \ 0.178\ \ 0.185\ \ 0.178\ \ 0.185\ \ 0.178\ \ 0.195\ \ 0.168\ \ 0.12\ \ 0.054)$$

$$v_{L2.nc_j} := \frac{0.727\cdot M_{f.L2_j}}{M_{rr.nc_j}} + \frac{0.455\cdot V_{f.L2_j}}{V_{rr_j}}$$

$$v_{L2.nc}{}^T = (0.078\ \ 0.162\ \ 0.223\ \ 0.265\ \ 0.247\ \ 0.257\ \ 0.249\ \ 0.257\ \ 0.247\ \ 0.265\ \ 0.223\ \ 0.162\ \ 0.078)$$

$$FCS_{MV.nc.niv2_j} := \frac{1 - v_{D.nc_j}}{v_{L2.nc_j}}$$

$$\boxed{FCS_{MV.nc.niv2}{}^T = (12.062\ \ 5.429\ \ 3.738\ \ 3.035\ \ 3.328\ \ 3.166\ \ 3.307\ \ 3.166\ \ 3.328\ \ 3.035\ \ 3.738\ \ 5.429\ \ 12.062)}$$

Section composite :

$$v_{D.c_j} := \frac{0.727 \cdot M_{f.D_j}}{M_{rr.c_j}} + \frac{0.455 \cdot V_{f.D_j}}{V_{rr_j}}$$

$$v_{D.c}^{T} = (0.054 \;\; 0.069 \;\; 0.079 \;\; 0.09 \;\; 0.08 \;\; 0.073 \;\; 0.06 \;\; 0.073 \;\; 0.08 \;\; 0.09 \;\; 0.079 \;\; 0.069 \;\; 0.054)$$

$$v_{L2.c_j} := \frac{0.727 \cdot M_{f.L2_j}}{M_{rr.c_j}} + \frac{0.455 \cdot V_{f.L2_j}}{V_{rr_j}}$$

$$v_{L2.c}^{T} = (0.078 \;\; 0.101 \;\; 0.115 \;\; 0.138 \;\; 0.128 \;\; 0.123 \;\; 0.111 \;\; 0.123 \;\; 0.128 \;\; 0.138 \;\; 0.115 \;\; 0.101 \;\; 0.078)$$

$$FCS_{MV.c.niv2_j} := \frac{1 - v_{D.c_j}}{v_{L2.c_j}}$$

$$\boxed{FCS_{MV.c.niv2}^{T} = (12.062 \;\; 9.258 \;\; 8.031 \;\; 6.583 \;\; 7.203 \;\; 7.551 \;\; 8.437 \;\; 7.551 \;\; 7.203 \;\; 6.583 \;\; 8.031 \;\; 9.258 \;\; 12.062)}$$

<u>Calcul en service :</u>

<u>Aile inférieure</u>

Section non-composite

$$\sigma_{b.D.nc_j} := \frac{M_{Ds_j} + M_{Db_j} + M_{Dc_j}}{S_{x1_j}}$$

$$\sigma_{b.D.nc}^{T} = (0 \;\; 16.632 \;\; 29.568 \;\; 34.65 \;\; 29.661 \;\; 33.899 \;\; 35.311 \;\; 33.899 \;\; 29.661 \;\; 34.65 \;\; 29.568 \;\; 16.632 \;\; 0) \cdot MPa$$

$$\sigma_{b.L2.nc_j} := \frac{M_{L2_j}}{S_{x1_j}}$$

$$\sigma_{b.L2.nc}^{T} = (0 \;\; 15.849 \;\; 27.743 \;\; 32.667 \;\; 27.886 \;\; 31.492 \;\; 32.135 \;\; 31.492 \;\; 27.886 \;\; 32.667 \;\; 27.743 \;\; 15.849 \;\; 0) \cdot MPa$$

$$FCS_{b.nc.niv2_j} := \frac{\phi \cdot F_y - \sigma_{b.D.nc_j}}{\max\left(0.1MPa, \sigma_{b.L2.nc_j}\right)}$$

$$\boxed{FCS_{b.nc.niv2}^{T} = (3325 \;\; 19.93 \;\; 10.919 \;\; 9.118 \;\; 10.86 \;\; 9.482 \;\; 9.248 \;\; 9.482 \;\; 10.86 \;\; 9.118 \;\; 10.919 \;\; 19.93 \;\; 3325)}$$

Section composite

$$\sigma_{b.D.c_j} := \frac{M_{Ds_j} + M_{Db_j}}{S_{x1_j}} + \frac{M_{Dc_j}}{S_{b.3n_j}}$$

$$\sigma_{b.D.c}{}^{T} = (0 \;\; 16.373 \;\; 29.108 \;\; 34.11 \;\; 29.254 \;\; 33.433 \;\; 34.826 \;\; 33.433 \;\; 29.254 \;\; 34.11 \;\; 29.108 \;\; 16.373 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$\sigma_{b.L2.c_j} := \frac{M_{L2_j}}{S_{b.n_j}}$$

$$\sigma_{b.L2.c}{}^{T} = (0 \;\; 11.664 \;\; 20.417 \;\; 24.041 \;\; 21.184 \;\; 23.924 \;\; 24.412 \;\; 23.924 \;\; 21.184 \;\; 24.041 \;\; 20.417 \;\; 11.664 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$FCS_{b.c.niv2_j} := \frac{\phi\cdot F_y - \sigma_{b.D.c_j}}{\max\left(1MPa, \sigma_{b.L2.c_j}\right)}$$

$$\boxed{FCS_{b.c.niv2}{}^{T} = (332.5 \;\; 27.103 \;\; 14.86 \;\; 12.412 \;\; 14.315 \;\; 12.501 \;\; 12.194 \;\; 12.501 \;\; 14.315 \;\; 12.412 \;\; 14.86 \;\; 27.103 \;\; 332.5)}$$

<u>Aile supérieure</u>

Section non-composite

$$\sigma_{tb.D.nc_j} := \frac{M_{Ds_j} + M_{Db_j} + M_{Dc_j}}{S_{x2_j}}$$

$$\sigma_{tb.D.nc}{}^{T} = (0 \;\; 27.851 \;\; 49.512 \;\; 58.022 \;\; 54.899 \;\; 62.741 \;\; 65.356 \;\; 62.741 \;\; 54.899 \;\; 58.022 \;\; 49.512 \;\; 27.851 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$\sigma_{tb.L2.nc_j} := \frac{M_{L2_j}}{S_{x2_j}}$$

$$\sigma_{tb.L2.nc}{}^{T} = (0 \;\; 26.54 \;\; 46.457 \;\; 54.703 \;\; 51.612 \;\; 58.288 \;\; 59.477 \;\; 58.288 \;\; 51.612 \;\; 54.703 \;\; 46.457 \;\; 26.54 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$FCS_{tb.nc.niv2_j} := \frac{\phi\cdot F_y - \sigma_{tb.D.nc_j}}{\max\left(1MPa, \sigma_{tb.L2.nc_j}\right)}$$

$$\boxed{FCS_{tb.nc.niv2}{}^{T} = (332.5 \;\; 11.479 \;\; 6.091 \;\; 5.018 \;\; 5.379 \;\; 4.628 \;\; 4.492 \;\; 4.628 \;\; 5.379 \;\; 5.018 \;\; 6.091 \;\; 11.479 \;\; 332.5)}$$

Section composite

$$\sigma_{tb.D.c_j} := \frac{M_{Ds_j} + M_{Db_j}}{S_{x2_j}} + \frac{M_{Dc_j}}{S_{tb.3n_j}}$$

$$\sigma_{tb.D.c}{}^T = (0 \;\; 26.447 \;\; 47.017 \;\; 55.097 \;\; 52.288 \;\; 59.757 \;\; 62.247 \;\; 59.757 \;\; 52.288 \;\; 55.097 \;\; 47.017 \;\; 26.447 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$\sigma_{tb.L2.c_j} := \frac{M_{L2_j}}{S_{tb.n_j}}$$

$$\sigma_{tb.L2.c}{}^T = (0 \;\; 3.928 \;\; 6.876 \;\; 8.096 \;\; 8.828 \;\; 9.969 \;\; 10.173 \;\; 9.969 \;\; 8.828 \;\; 8.096 \;\; 6.876 \;\; 3.928 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$FCS_{tb.c.niv2_j} := \frac{\phi\cdot F_y - \sigma_{tb.D.c_j}}{\max\left(1MPa, \sigma_{tb.L2.c_j}\right)}$$

$$\boxed{FCS_{tb.c.niv2}{}^T = (332.5 \;\; 77.914 \;\; 41.519 \;\; 34.262 \;\; 31.743 \;\; 27.358 \;\; 26.566 \;\; 27.358 \;\; 31.743 \;\; 34.262 \;\; 41.519 \;\; 77.914 \;\; 332.5)}$$

<u>Béton :</u>

Section composite

$$\sigma_{t.D.c_j} := \frac{M_{Dc_j}}{S_{t.3n_j}}\cdot\frac{1}{3\cdot n}$$

$$\sigma_{t.D.c}{}^T = (0 \;\; 0.04 \;\; 0.071 \;\; 0.083 \;\; 0.084 \;\; 0.096 \;\; 0.1 \;\; 0.096 \;\; 0.084 \;\; 0.083 \;\; 0.071 \;\; 0.04 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$\sigma_{t.L2.c_j} := \frac{M_{L2_j}}{S_{t.n_j}}\cdot\frac{1}{n}$$

$$\sigma_{t.L2.c}{}^T = (0 \;\; 0.681 \;\; 1.193 \;\; 1.404 \;\; 1.45 \;\; 1.637 \;\; 1.671 \;\; 1.637 \;\; 1.45 \;\; 1.404 \;\; 1.193 \;\; 0.681 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$FCS_{t.c.niv2_j} := \frac{\phi_c\cdot f_c - \sigma_{t.D.c_j}}{\max\left(0.1MPa, \sigma_{t.L2.c_j}\right)}$$

$$\boxed{FCS_{t.c.niv2}{}^T = (187.5 \;\; 27.462 \;\; 15.662 \;\; 13.293 \;\; 12.874 \;\; 11.392 \;\; 11.162 \;\; 11.392 \;\; 12.874 \;\; 13.293 \;\; 15.662 \;\; 27.462 \;\; 187.5)}$$

Calcul des FCS pour le niveau 3 :

Cisaillement : $FCS_{V.niv3_j} := \dfrac{V_{rr_j} - V_{f.D_j}}{V_{f.L3_j}}$

$$\boxed{FCS_{V.niv3}{}^T = (6.95 \;\; 7.99 \;\; 9.29 \;\; 7.37 \;\; 8.08 \;\; 9.88 \;\; 12.48 \;\; 9.88 \;\; 8.08 \;\; 7.37 \;\; 9.29 \;\; 7.99 \;\; 6.95)}$$

Flexion (non-composite) : $FCS_{M.nc.niv3_j} := \dfrac{M_{rr.nc_j} - M_{f.D_j}}{\max\left(1kN\cdot m, M_{f.L3_j}\right)}$

$$\boxed{FCS_{M.nc.niv3}{}^T = (7098.51 \;\; 9.31 \;\; 4.79 \;\; 3.95 \;\; 4.28 \;\; 3.64 \;\; 3.46 \;\; 3.64 \;\; 4.28 \;\; 3.95 \;\; 4.79 \;\; 9.31 \;\; 7098.51)}$$

Flexion (composite) : $FCS_{M.c.niv3_j} := \dfrac{M_{rr.c_j} - M_{f.D_j}}{\max\left(1kN\cdot m, M_{f.L3_j}\right)}$

$$\boxed{FCS_{M.c.niv3}{}^T = (20879.46 \;\; 29.49 \;\; 16.23 \;\; 13.75 \;\; 14.73 \;\; 12.86 \;\; 12.35 \;\; 12.86 \;\; 14.73 \;\; 13.75 \;\; 16.23 \;\; 29.49 \;\; 20879.46)}$$

<u>Calcul de l'interaction Flexion-Cisaillement (non-mixte) :</u>

Section non-composite :

$$v_{D.nc_j} := \frac{0.727\cdot M_{f.D_j}}{M_{rr.nc_j}} + \frac{0.455\cdot V_{f.D_j}}{V_{rr_j}}$$

$$v_{D.nc}{}^T = (0.054 \;\; 0.12 \;\; 0.168 \;\; 0.195 \;\; 0.178 \;\; 0.185 \;\; 0.178 \;\; 0.185 \;\; 0.178 \;\; 0.195 \;\; 0.168 \;\; 0.12 \;\; 0.054)$$

$$v_{L3.nc_j} := \frac{0.727\cdot M_{f.L3_j}}{M_{rr.nc_j}} + \frac{0.455\cdot V_{f.L3_j}}{V_{rr_j}}$$

$$v_{L3.nc}{}^T = (0.058 \;\; 0.121 \;\; 0.169 \;\; 0.201 \;\; 0.188 \;\; 0.197 \;\; 0.195 \;\; 0.197 \;\; 0.188 \;\; 0.201 \;\; 0.169 \;\; 0.121 \;\; 0.058)$$

$$FCS_{MV.nc.niv3_j} := \frac{1 - v_{D.nc_j}}{v_{L3.nc_j}}$$

$$\boxed{FCS_{MV.nc.niv3}{}^T = (16.418 \;\; 7.248 \;\; 4.928 \;\; 4.01 \;\; 4.377 \;\; 4.127 \;\; 4.214 \;\; 4.127 \;\; 4.377 \;\; 4.01 \;\; 4.928 \;\; 7.248 \;\; 16.418)}$$

Section composite :

$$v_{D.c_j} := \frac{0.727 \cdot M_{f.D_j}}{M_{rr.c_j}} + \frac{0.455 \cdot V_{f.D_j}}{V_{rr_j}}$$

$$v_{D.c}^{T} = (0.054 \;\; 0.069 \;\; 0.079 \;\; 0.09 \;\; 0.08 \;\; 0.073 \;\; 0.06 \;\; 0.073 \;\; 0.08 \;\; 0.09 \;\; 0.079 \;\; 0.069 \;\; 0.054)$$

$$v_{L3.c_j} := \frac{0.727 \cdot M_{f.L3_j}}{M_{rr.c_j}} + \frac{0.455 \cdot V_{f.L3_j}}{V_{rr_j}}$$

$$v_{L3.c}^{T} = (0.058 \;\; 0.075 \;\; 0.087 \;\; 0.106 \;\; 0.099 \;\; 0.097 \;\; 0.09 \;\; 0.097 \;\; 0.099 \;\; 0.106 \;\; 0.087 \;\; 0.075 \;\; 0.058)$$

$$FCS_{MV.c.niv3_j} := \frac{1 - v_{D.c_j}}{v_{L3.c_j}}$$

$$\boxed{FCS_{MV.c.niv3}^{T} = (16.418 \;\; 12.358 \;\; 10.542 \;\; 8.605 \;\; 9.329 \;\; 9.602 \;\; 10.391 \;\; 9.602 \;\; 9.329 \;\; 8.605 \;\; 10.542 \;\; 12.358 \;\; 16.418)}$$

<u>Calcul en service :</u>

<u>Aile inférieure</u>

Section non-composite

$$\sigma_{b.D.nc_j} := \frac{M_{Ds_j} + M_{Db_j} + M_{Dc_j}}{S_{x1_j}}$$

$$\sigma_{b.D.nc}^{T} = (0 \;\; 16.632 \;\; 29.568 \;\; 34.65 \;\; 29.661 \;\; 33.899 \;\; 35.311 \;\; 33.899 \;\; 29.661 \;\; 34.65 \;\; 29.568 \;\; 16.632 \;\; 0) \cdot MPa$$

$$\sigma_{b.L3.nc_j} := \frac{M_{L3_j}}{S_{x1_j}}$$

$$\sigma_{b.L3.nc}^{T} = (0 \;\; 11.872 \;\; 20.946 \;\; 24.434 \;\; 20.848 \;\; 23.612 \;\; 24.506 \;\; 23.612 \;\; 20.848 \;\; 24.434 \;\; 20.946 \;\; 11.872 \;\; 0) \cdot MPa$$

$$FCS_{b.nc.niv3_j} := \frac{\phi \cdot F_y - \sigma_{b.D.nc_j}}{\max\left(1MPa, \sigma_{b.L3.nc_j}\right)}$$

$$\boxed{FCS_{b.nc.niv3}^{T} = (332.5 \;\; 26.605 \;\; 14.462 \;\; 12.19 \;\; 14.526 \;\; 12.646 \;\; 12.127 \;\; 12.646 \;\; 14.526 \;\; 12.19 \;\; 14.462 \;\; 26.605 \;\; 332.5)}$$

Section composite

$$\sigma_{b.D.c_j} := \frac{M_{Ds_j} + M_{Db_j}}{S_{x1_j}} + \frac{M_{Dc_j}}{S_{b.3n_j}}$$

$$\sigma_{b.D.c}{}^{T} = (0 \;\; 16.373 \;\; 29.108 \;\; 34.11 \;\; 29.254 \;\; 33.433 \;\; 34.826 \;\; 33.433 \;\; 29.254 \;\; 34.11 \;\; 29.108 \;\; 16.373 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$\sigma_{b.L3.c_j} := \frac{M_{L3_j}}{S_{b.n_j}}$$

$$\sigma_{b.L3.c}{}^{T} = (0 \;\; 8.737 \;\; 15.415 \;\; 17.982 \;\; 15.837 \;\; 17.937 \;\; 18.616 \;\; 17.937 \;\; 15.837 \;\; 17.982 \;\; 15.415 \;\; 8.737 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$FCS_{b.c.niv3_j} := \frac{\phi\cdot F_y - \sigma_{b.D.c_j}}{\max\left(1MPa, \sigma_{b.L3.c_j}\right)}$$

$$\boxed{FCS_{b.c.niv3}{}^{T} = (332.5 \;\; 36.181 \;\; 19.681 \;\; 16.594 \;\; 19.148 \;\; 16.673 \;\; 15.99 \;\; 16.673 \;\; 19.148 \;\; 16.594 \;\; 19.681 \;\; 36.181 \;\; 332.5)}$$

<u>Aile supérieure</u>

Section non-composite

$$\sigma_{tb.D.nc_j} := \frac{M_{Ds_j} + M_{Db_j} + M_{Dc_j}}{S_{x2_j}}$$

$$\sigma_{tb.D.nc}{}^{T} = (0 \;\; 27.851 \;\; 49.512 \;\; 58.022 \;\; 54.899 \;\; 62.741 \;\; 65.356 \;\; 62.741 \;\; 54.899 \;\; 58.022 \;\; 49.512 \;\; 27.851 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$\sigma_{tb.L3.nc_j} := \frac{M_{L3_j}}{S_{x2_j}}$$

$$\sigma_{tb.L3.nc}{}^{T} = (0 \;\; 19.881 \;\; 35.075 \;\; 40.916 \;\; 38.586 \;\; 43.703 \;\; 45.356 \;\; 43.703 \;\; 38.586 \;\; 40.916 \;\; 35.075 \;\; 19.881 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$FCS_{tb.nc.niv3_j} := \frac{\phi\cdot F_y - \sigma_{tb.D.nc_j}}{\max\left(1MPa, \sigma_{tb.L3.nc_j}\right)}$$

$$\boxed{FCS_{tb.nc.niv3}{}^{T} = (332.5 \;\; 15.324 \;\; 8.068 \;\; 6.708 \;\; 7.194 \;\; 6.173 \;\; 5.89 \;\; 6.173 \;\; 7.194 \;\; 6.708 \;\; 8.068 \;\; 15.324 \;\; 332.5)}$$

Section composite

$$\sigma_{tb.D.c_j} := \frac{M_{Ds_j} + M_{Db_j}}{S_{x2_j}} + \frac{M_{Dc_j}}{S_{tb.3n_j}}$$

$$\sigma_{tb.D.c}{}^{T} = (0 \;\; 26.447 \;\; 47.017 \;\; 55.097 \;\; 52.288 \;\; 59.757 \;\; 62.247 \;\; 59.757 \;\; 52.288 \;\; 55.097 \;\; 47.017 \;\; 26.447 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$\sigma_{tb.L3.c_j} := \frac{M_{L3_j}}{S_{tb.n_j}}$$

$$\sigma_{tb.L3.c}{}^{T} = (0 \;\; 2.943 \;\; 5.191 \;\; 6.056 \;\; 6.6 \;\; 7.475 \;\; 7.758 \;\; 7.475 \;\; 6.6 \;\; 6.056 \;\; 5.191 \;\; 2.943 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$FCS_{tb.c.niv3_j} := \frac{\phi\cdot F_y - \sigma_{tb.D.c_j}}{\max\left(1MPa, \sigma_{tb.L3.c_j}\right)}$$

$$\boxed{FCS_{tb.c.niv3}{}^{T} = (332.5 \;\; 104.011 \;\; 54.991 \;\; 45.807 \;\; 42.459 \;\; 36.488 \;\; 34.837 \;\; 36.488 \;\; 42.459 \;\; 45.807 \;\; 54.991 \;\; 104.011 \;\; 332}$$

<u>Béton :</u>

Section composite

$$\sigma_{t.D.c_j} := \frac{M_{Dc_j}}{S_{t.3n_j}}\cdot\frac{1}{3\cdot n}$$

$$\sigma_{t.D.c}{}^{T} = (0 \;\; 0.04 \;\; 0.071 \;\; 0.083 \;\; 0.084 \;\; 0.096 \;\; 0.1 \;\; 0.096 \;\; 0.084 \;\; 0.083 \;\; 0.071 \;\; 0.04 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$\sigma_{t.L3.c_j} := \frac{M_{L3_j}}{S_{t.n_j}}\cdot\frac{1}{n}$$

$$\sigma_{t.L3.c}{}^{T} = (0 \;\; 0.51 \;\; 0.9 \;\; 1.05 \;\; 1.084 \;\; 1.228 \;\; 1.274 \;\; 1.228 \;\; 1.084 \;\; 1.05 \;\; 0.9 \;\; 0.51 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$FCS_{t.c.niv3_j} := \frac{\phi_c\cdot f_c - \sigma_{t.D.c_j}}{\max\left(0.1MPa, \sigma_{t.L3.c_j}\right)}$$

$$\boxed{FCS_{t.c.niv3}{}^{T} = (187.5 \;\; 36.66 \;\; 20.744 \;\; 17.772 \;\; 17.22 \;\; 15.194 \;\; 14.637 \;\; 15.194 \;\; 17.22 \;\; 17.772 \;\; 20.744 \;\; 36.66 \;\; 187.5)}$$

Calcul de la flèche :

$\Delta_{max.v.total} = 995.871 \cdot mm$ Calculé avec Ixc $I_{xc} = 1 \times 10^9 \cdot mm^4$

Calculé avec la section non-composite (utiliser l'inertie de la section 1 ce qui est conservateur)

$\Delta_{max.nc} := \Delta_{max.v.total} \cdot \frac{I_{xc}}{I_{xx.1}}$ $\Delta_{max.nc} = 34.811 \cdot mm$ $\frac{I_{xx.1}}{I_{xx.2}} = 0.806$ $\frac{L}{\Delta_{max.nc}} = 782.227$

Calculé avec la section non-composite (utiliser l'inertie de la section 1 ce qui est conservateur)

$\Delta_{max.c} := \Delta_{max.v.total} \cdot \frac{I_{xc}}{I_{c.n.1}}$ $\Delta_{max.c} = 12.805 \cdot mm$ $\frac{I_{c.n.1}}{I_{c.n.2}} = 0.827$ $\frac{L}{\Delta_{max.c}} = 2.127 \times 10^3$

Résumé des résultats :

Niveau 1 :

$FCS_{nc.niv1} := \min(\min(FCS_{V.niv1}), \min(FCS_{M.nc.niv1}), \min(FCS_{MV.nc.niv1}), \min(FCS_{b.nc.niv1}), \min(FCS_{tb.nc.niv1}))$

$\boxed{FCS_{nc.niv1} = 2.52}$

$FCS_{c.niv1} := \min(\min(FCS_{V.niv1}), \min(FCS_{M.c.niv1}), \min(FCS_{MV.c.niv1}), \min(FCS_{b.c.niv1}), \min(FCS_{tb.c.niv1}), \min(FCS_{t.c.niv1})$

$\boxed{FCS_{c.niv1} = 4.51}$

$\min(FCS_{V.niv1}) = 4.51$	Ultime / Cisaillement	
$\min(FCS_{M.nc.niv1}) = 2.52$	$\min(FCS_{M.c.niv1}) = 8.954$	Ultime / Flexion
$\min(FCS_{MV.nc.niv1}) = 2.742$	$\min(FCS_{MV.c.niv1}) = 6.005$	Ultime / Interaction Flexion/cisaillement
$\min(FCS_{b.nc.niv1}) = 8.152$	$\min(FCS_{b.c.niv1}) = 11.097$	Service / Tension aile inférieure
$\min(FCS_{tb.nc.niv1}) = 4.287$	$\min(FCS_{tb.c.niv1}) = 25.358$	Service / Compression aile supérieure
	$\min(FCS_{t.c.niv1}) = 10.576$	Service / Compression béton

Niveau 2 :

$FCS_{nc.niv2} := \min(\min(FCS_{V.niv2}), \min(FCS_{M.nc.niv2}), \min(FCS_{MV.nc.niv2}), \min(FCS_{b.nc.niv2}), \min(FCS_{tb.nc.niv2}))$

$\boxed{FCS_{nc.niv2} = 2.64}$

$FCS_{c.niv2} := \min(\min(FCS_{V.niv2}), \min(FCS_{M.c.niv2}), \min(FCS_{MV.c.niv2}), \min(FCS_{b.c.niv2}), \min(FCS_{tb.c.niv2}), \min(FCS_{t.c.niv2}$

$\boxed{FCS_{c.niv2} = 5.109}$

$\min(FCS_{V.niv2}) = 5.109$	Ultime / Cisaillement	
$\min(FCS_{M.nc.niv2}) = 2.64$	$\min(FCS_{M.c.niv2}) = 9.418$	Ultime / Flexion
$\min(FCS_{MV.nc.niv2}) = 3.035$	$\min(FCS_{MV.c.niv2}) = 6.583$	Ultime / Interaction Flexion/cisaillement
$\min(FCS_{b.nc.niv2}) = 9.118$	$\min(FCS_{b.c.niv2}) = 12.194$	Service / Tension aile inférieure
$\min(FCS_{tb.nc.niv2}) = 4.492$	$\min(FCS_{tb.c.niv2}) = 26.566$	Service / Compression aile supérieure
	$\min(FCS_{t.c.niv2}) = 11.162$	Service / Compression béton

Niveau 3 :

$$FCS_{nc.niv3} := \min\left(\min\left(FCS_{V.niv3}\right), \min\left(FCS_{M.nc.niv3}\right), \min\left(FCS_{MV.nc.niv3}\right), \min\left(FCS_{b.nc.niv3}\right), \min\left(FCS_{tb.nc.niv3}\right)\right)$$

$$\boxed{FCS_{nc.niv3} = 3.462}$$

$$FCS_{c.niv3} := \min\left(\min\left(FCS_{V.niv3}\right), \min\left(FCS_{M.c.niv3}\right), \min\left(FCS_{MV.c.niv3}\right), \min\left(FCS_{b.c.niv3}\right), \min\left(FCS_{tb.c.niv3}\right), \min\left(FCS_{t.c.niv}\right.\right.$$

$$\boxed{FCS_{c.niv3} = 6.955}$$

$\min\left(FCS_{V.niv3}\right) = 6.955$	Ultime / Cisaillement	
$\min\left(FCS_{M.nc.niv3}\right) = 3.462$	$\min\left(FCS_{M.c.niv3}\right) = 12.351$	Ultime / Flexion
$\min\left(FCS_{MV.nc.niv3}\right) = 4.01$	$\min\left(FCS_{MV.c.niv3}\right) = 8.605$	Ultime / Interaction Flexion/cisaillement
$\min\left(FCS_{b.nc.niv3}\right) = 12.127$	$\min\left(FCS_{b.c.niv3}\right) = 15.99$	Service / Tension aile inférieure
$\min\left(FCS_{tb.nc.niv3}\right) = 5.89$	$\min\left(FCS_{tb.c.niv3}\right) = 34.837$	Service / Compression aile supérieure
	$\min\left(FCS_{t.c.niv3}\right) = 14.637$	Service / Compression béton

CALCUL DE LA POUTRE

- MULTILIGNE ORIGINAL
- NOUVEAU MULTILIGNE
- FARDIER

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____ Par: P.L.

Date: _____

Sujet: _____ No du projet: _____

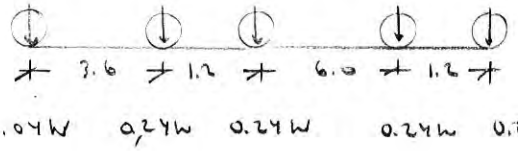
Trois calculs sont montrés, soit

1 Le multicellulaire proposé

2. Le multicellulaire illustré dans la référence de la SERJ

3 Un fardier commun de 90 t.m.

Le fardier est détaillé comme suit



Imprimerie J.B.R. inc

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

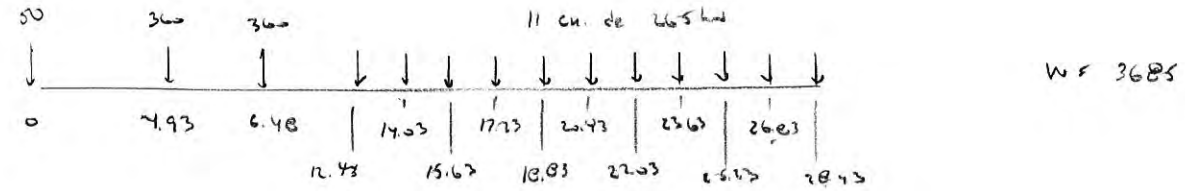
BPR

Nom du projet: _____ Par: P.L

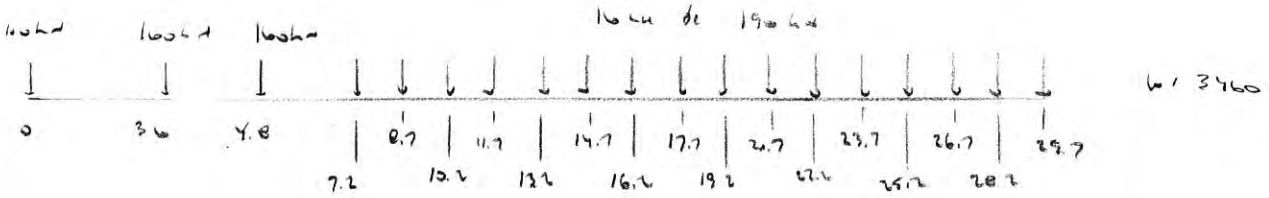
_____ Date: _____

Sujet: _____ No du projet: _____

Calcul des efforts avec Visual Design vs Method



0.02W 0.10W 0.10W 11 × 0.07W

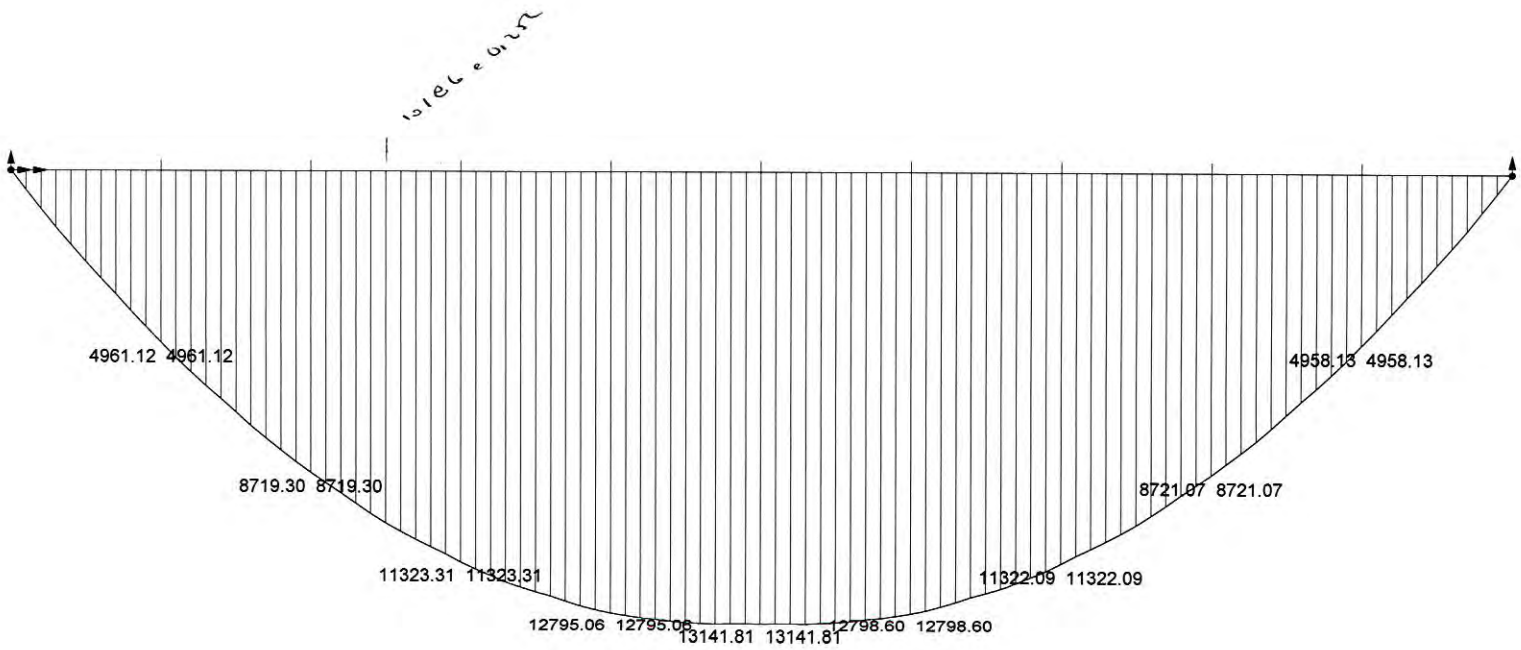


0.03 0.05W 0.05W 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06

0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05

Imprimerie J.B.R. inc

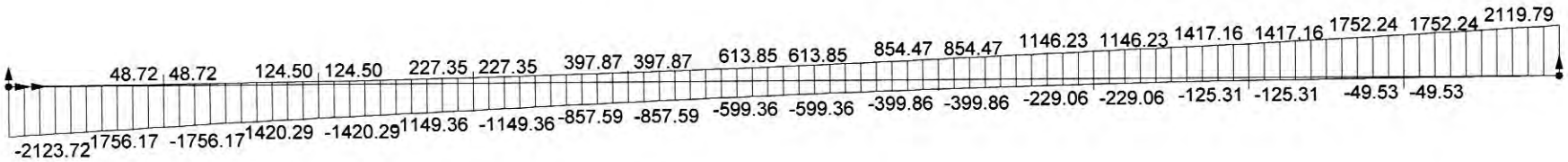
Membrures
Mx (kN.m)



AULTI 11 ESSIEUX

- Enveloppe : Lm01

Membrures
Vy (kN)

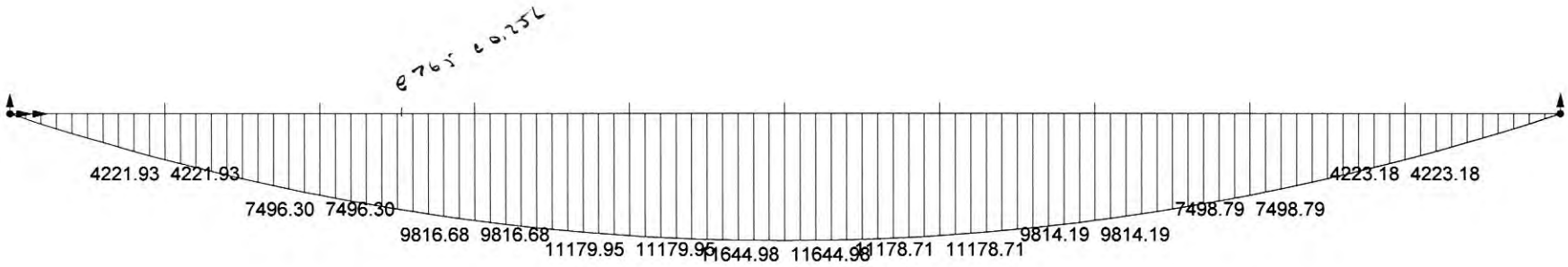


1274
[illegible]

MULTI 11 [illegible]

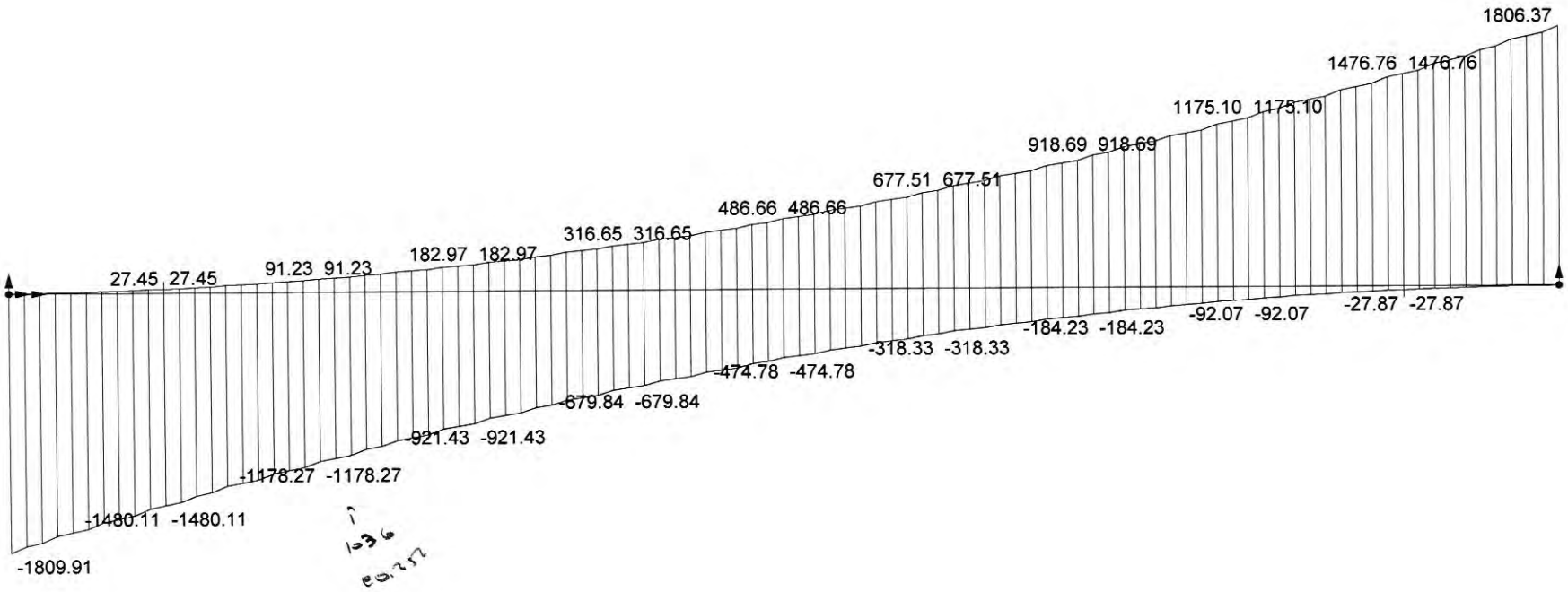
- Enveloppe : Lm01

Membrures
Mx (kN.m)



- Enveloppe : Lm01

Membrures
Vy (kN)



- Enveloppe : Lm01

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: ____ Par: P.L.

Date: ____

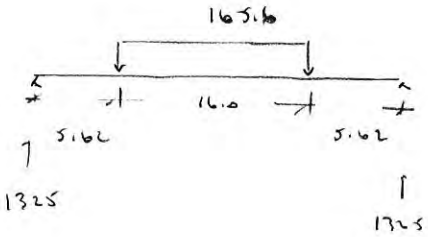
Sujet: ____ No du projet: ____

Valider les efforts

Multiligne 11 essieux

265 kN e 1.6 m

w = 265/1.6 = 165.6 kN/m

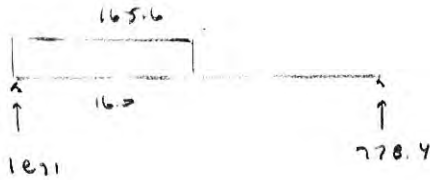


M = 1325 · 27.23/2 − 165.6 · 8 · 8/2

= 12741 kN·m

vs 11675 kN·m (VO)

+ 91.4 %



V = 1871 kN

vs 1810 kN (VO)

+ 96.7 %

Imprimerie J.B.R. inc

Calcul des charges et évaluation / Pont Rivière Némiscau

Calcul avec Vr
avec raidisseur

Charge vive :

$ORIGIN := 0$

Longueur : $L := 27230mm$ L < 50m

Calcul selon la norme S6-06 mais avec des chargements hors-norme

Multiligne à 16 roues hors-tout de 3000mm

$x_c := (0\ \ 0.1\ \ 0.2\ \ 0.25\ \ 0.3\ \ 0.4\ \ 0.5\ \ 0.6\ \ 0.7\ \ 0.75\ \ 0.8\ \ 0.9\ \ 1.0)^T \cdot L$ $i := 0..rows(x_c) - 1$ $rows(x_c) = 13$

$div := rows(x_c) - 1$

Charges d'essieux :

NIV1 $P_1 := (100\ \ 160\ \ 160\ \ 190\ \ 190\ \ 190\ \ 190\ \ 190\ \ 190\ \ 190\ \ 190\ \ 190\ \ 190\ \ 190\ \ 190\ \ 190\ \ 190\ \ 190\ \ 190)^T kN$

NIV2 $P_2 := \frac{0.44}{0.58}\left(50 \cdot \frac{0.30}{0.44}\ \ 360 \cdot \frac{0.30}{0.44}\ \ 360 \cdot \frac{0.30}{0.44}\ \ 265\ \ 265\ \ 265\ \ 265\ \ 265\ \ 265\ \ 265\ \ 265\ \ 265\ \ 265\ \ 265\right)^T kN$

NIV3 $P_3 := \frac{0.64}{0.58}(36\ \ 216\ \ 216\ \ 216\ \ 216)^T kN$

NIV 1 = Nouvelle charge proposée
NIV 2 = Charge orginale
NIV 3 = Camion + fardier

Position des roues

$x_{p1} := (0\ \ 3.6\ \ 4.8\ \ 7.2\ \ 8.7\ \ 10.2\ \ 11.7\ \ 13.2\ \ 14.7\ \ 16.2\ \ 17.7\ \ 19.2\ \ 20.7\ \ 22.2\ \ 23.7\ \ 25.2\ \ 26.7\ \ 28.2\ \ 29.7)^T m$

$x_{p2} := (0\ \ 4.930\ \ 6.480\ \ 12.430\ \ 14.030\ \ 15.630\ \ 17.230\ \ 18.830\ \ 20.430\ \ 22.030\ \ 23.630\ \ 25.230\ \ 26.830\ \ 28.430)^T m$

$x_{p3} := (0\ \ 3.600\ \ 4.800\ \ 10.8\ \ 12.0)^T m$

$x_{p1} := -x_{p1}$

$x_{p2} := -x_{p2}$

$x_{p3} := -x_{p3}$

Pas pour le calcul

$step := \frac{L}{100}$

Cas de charge 3 :

$j := 0..\,\mathrm{rows}(x_{p3}) - 1 \qquad k := 0..\,\mathrm{ceil}\left(\frac{\left|\min(x_{p3})\right| + L}{\mathrm{step}}\right) \qquad \frac{\left|\min(x_{p3})\right| + L}{\mathrm{step}} = 144.069$

Calcul des efforts aux appuis :

$$R_{1_k} := \sum_j \mathrm{if}\left[\left(k\cdot\mathrm{step} + x_{p3_j}\right) < L \wedge \left(k\cdot\mathrm{step} + x_{p3_j}\right) \geq 0\mathrm{mm}, \frac{P_{3_j}\cdot\left[L - \left(k\cdot\mathrm{step} + x_{p3_j}\right)\right]}{L}, 0\cdot\mathrm{kN}\right]$$

$$R_{2_k} := \sum_j \mathrm{if}\left[\left(k\cdot\mathrm{step} + x_{p3_j}\right) < L \wedge \left(k\cdot\mathrm{step} + x_{p3_j}\right) \geq 0\mathrm{mm}, \frac{P_{3_j}\cdot\left(k\cdot\mathrm{step} + x_{p3_j}\right)}{L}, 0\cdot\mathrm{kN}\right]$$

$\max(R_1) = 819.301\cdot\mathrm{kN} \quad \max(R_2) = 804.224\cdot\mathrm{kN}$

<u>Calcul du cisaillement :</u>

$$V_{i,k} := \sum_j \left[\begin{array}{l} \left[P_{3_j}\cdot\left[\frac{L - \left(k\cdot\mathrm{step} + x_{p3_j}\right)}{L}\right]\right] \text{ if } k\cdot\mathrm{step} + x_{p3_j} \geq 0\mathrm{mm} \wedge k\cdot\mathrm{step} + x_{p3_j} \leq L \wedge k\cdot\mathrm{step} + x_{p3_j} \geq x_{c_i} \\ \left[-P_{3_j}\cdot\left[\frac{\left(k\cdot\mathrm{step} + x_{p3_j}\right)}{L}\right]\right] \text{ if } k\cdot\mathrm{step} + x_{p3_j} \geq 0\mathrm{mm} \wedge k\cdot\mathrm{step} + x_{p3_j} \leq L \wedge k\cdot\mathrm{step} + x_{p3_j} < x_{c_i} \\ (0\mathrm{kN}) \text{ otherwise} \end{array}\right]$$

$V_{max_i} := \max\left[\left(V^T\right)^{\langle i \rangle}\right] \qquad V_{c3.max} := V_{max}$

$V_{min_i} := \min\left[\left(V^T\right)^{\langle i \rangle}\right] \qquad V_{c3.min} := V_{min} \qquad V_{c3_i} := \max\left(V_{max_i}, \left|V_{min_i}\right|\right)$

$V_{max}^T = (819.3 \;\; 720 \;\; 620.7 \;\; 571 \;\; 521.4 \;\; 422.1 \;\; 322.7 \;\; 225.4 \;\; 134.3 \;\; 104.2 \;\; 80.4 \;\; 32.7 \;\; 0)\cdot\mathrm{kN}$

$-V_{min}^T = (0 \;\; 5.5 \;\; 57.2 \;\; 83 \;\; 116.8 \;\; 213.5 \;\; 312.8 \;\; 412.1 \;\; 511.5 \;\; 561.1 \;\; 610.8 \;\; 708.9 \;\; 804.2)\cdot\mathrm{kN}$

$V_{i,k} := \left|V_{i,k}\right|$

$V_{max.abs_i} := \max\left[\left(V^T\right)^{\langle i \rangle}\right]$

$V_{max.total} := \max(V_{max.abs}) \qquad V_{max.total} = 819.301\cdot\mathrm{kN}$

Calcul de la flexion :

$$M_{i,k} := \sum_j \left[\begin{array}{l} \left[P_{3_j} \cdot \left[\frac{L - \left(k \cdot step + x_{p3_j}\right)}{L}\right] \cdot x_{c_i}\right] \text{ if } k \cdot step + x_{p3_j} \geq 0mm \wedge k \cdot step + x_{p3_j} \leq L \wedge k \cdot step + x_{p3_j} \geq x_{c_i} \\ \left[P_{3_j} \cdot \left[\frac{\left(k \cdot step + x_{p3_j}\right)}{L}\right] \cdot \left(L - x_{c_i}\right)\right] \text{ if } k \cdot step + x_{p3_j} \geq 0mm \wedge k \cdot step + x_{p3_j} \leq L \wedge k \cdot step + x_{p3_j} < x_{c_i} \\ (0kN \cdot m) \text{ otherwise} \end{array} \right]$$

$$M_{max_i} := \max\left[\left(M^T\right)^{\langle i \rangle}\right] \qquad M_{c3} := M_{max}$$

$$M_{max}{}^T = (0 \;\; 1983 \;\; 3430 \;\; 3961 \;\; 4401 \;\; 4874 \;\; 4947 \;\; 4934 \;\; 4398 \;\; 3956 \;\; 3402 \;\; 1930 \;\; 0) \cdot kN \cdot m$$

$$M_{max.total} := \max\left(M_{max}\right) \quad M_{max.total} = 4947.117 \cdot kN \cdot m$$

Cas de charge 2 :

$$j := 0 .. rows\left(x_{p2}\right) - 1 \qquad k := 0 .. ceil\left(\frac{\left|\min\left(x_{p2}\right)\right| + L}{step}\right) \qquad \frac{\left|\min\left(x_{p2}\right)\right| + L}{step} = 204.407$$

Calcul des efforts aux appuis :

$$R_{1_k} := \sum_j if\left[\left(k \cdot step + x_{p2_j}\right) < L \wedge \left(k \cdot step + x_{p2_j}\right) \geq 0mm, \frac{P_{2_j} \cdot \left[L - \left(k \cdot step + x_{p2_j}\right)\right]}{L}, 0 \cdot kN\right]$$

$$R_{2_k} := \sum_j if\left[\left(k \cdot step + x_{p2_j}\right) < L \wedge \left(k \cdot step + x_{p2_j}\right) \geq 0mm, \frac{P_{2_j} \cdot \left(k \cdot step + x_{p2_j}\right)}{L}, 0 \cdot kN\right]$$

$$\max\left(R_1\right) = 1.608 \times 10^3 \quad \max\left(R_2\right) = 1.547 \times 10^3 \cdot kN$$

Calcul du cisaillement :

$$V_{i,k} := \sum_j \left[\begin{array}{l} \left[P_{2_j} \cdot \left[\frac{L - \left(k \cdot step + x_{p2_j}\right)}{L}\right]\right] \text{ if } k \cdot step + x_{p2_j} \geq 0mm \wedge k \cdot step + x_{p2_j} \leq L \wedge k \cdot step + x_{p2_j} \geq x_{c_i} \\ \left[-P_{2_j} \cdot \left[\frac{\left(k \cdot step + x_{p2_j}\right)}{L}\right]\right] \text{ if } k \cdot step + x_{p2_j} \geq 0mm \wedge k \cdot step + x_{p2_j} \leq L \wedge k \cdot step + x_{p2_j} < x_{c_i} \\ (0kN) \text{ otherwise} \end{array} \right]$$

$V_{max_i} := \max\left[\left(V^T\right)^{\langle i \rangle}\right]$ $\qquad V_{c2.max} := V_{max}$

$V_{min_i} := \min\left[\left(V^T\right)^{\langle i \rangle}\right]$ $\qquad V_{c2.min} := V_{min}$ $\qquad V_{c2_i} := \max\left(V_{max_i}, \left|V_{min_i}\right|\right)$

$V_{max}{}^T = (1608 \;\; 1349.6 \;\; 1106.3 \;\; 995.7 \;\; 885.2 \;\; 664 \;\; 468.7 \;\; 306.5 \;\; 177.5 \;\; 127.2 \;\; 85.2 \;\; 26 \;\; 0)\cdot kN$

$-V_{min}{}^T = \left(0 \;\; 7.6 \;\; 47.5 \;\; 67.4 \;\; 92 \;\; 167.9 \;\; 369.7 \;\; 603.4 \;\; 861.8 \;\; 987.4 \;\; 1.1\times 10^3 \;\; 1.3\times 10^3 \;\; 1.5\times 10^3\right)\cdot kN$

$V_{i,k} := \left|V_{i,k}\right|$

$V_{max.abs_i} := \max\left[\left(V^T\right)^{\langle i \rangle}\right]$

$V_{max.total} := \max\left(V_{max.abs}\right)$ $\quad V_{max.total} = 1.608\times 10^3\cdot kN$

Calcul de la flexion :

$$M_{i,k} := \sum_j \left[\begin{cases} \left[P_{2_j}\cdot\left[\dfrac{L-\left(k\cdot step + x_{p2_j}\right)}{L}\right]\cdot x_{c_i}\right] & \text{if } k\cdot step + x_{p2_j} \ge 0mm \wedge k\cdot step + x_{p2_j} \le L \wedge k\cdot step + x_{p2_j} \ge x_{c_i} \\ \left[P_{2_j}\cdot\left[\dfrac{\left(k\cdot step + x_{p2_j}\right)}{L}\right]\cdot\left(L - x_{c_i}\right)\right] & \text{if } k\cdot step + x_{p2_j} \ge 0mm \wedge k\cdot step + x_{p2_j} \le L \wedge k\cdot step + x_{p2_j} < x_{c_i} \\ (0kN\cdot m) & \text{otherwise} \end{cases}\right]$$

$M_{max_i} := \max\left[\left(M^T\right)^{\langle i \rangle}\right]$ $\qquad M_{c2} := M_{max}$

$M_{max}{}^T = (0 \;\; 3801 \;\; 6704 \;\; 7821 \;\; 8713 \;\; 9875 \;\; 10228 \;\; 9817 \;\; 8588 \;\; 7664 \;\; 6542 \;\; 3680 \;\; 0)\cdot kN\cdot m$

$M_{max.total} := \max\left(M_{max}\right)$ $\quad M_{max.total} = 10228.383\cdot kN\cdot m$

Cas de charge 1 :

$j := 0..\,\mathrm{rows}(x_{p1}) - 1 \qquad k := 0..\,\mathrm{ceil}\left(\frac{|\min(x_{p1})| + L}{step}\right) \qquad \frac{|\min(x_{p1})| + L}{step} = 209.071$

Calcul des efforts aux appuis :

$$R1_k := \sum_j \mathrm{if}\left[\left(k\cdot step + x_{p1_j}\right) < L \wedge \left(k\cdot step + x_{p1_j}\right) \geq 0mm, \frac{P1_j\cdot\left[L - \left(k\cdot step + x_{p1_j}\right)\right]}{L}, 0\cdot kN\right]$$

$$R2_k := \sum_j \mathrm{if}\left[\left(k\cdot step + x_{p1_j}\right) < L \wedge \left(k\cdot step + x_{p1_j}\right) \geq 0mm, \frac{P1_j\cdot\left(k\cdot step + x_{p1_j}\right)}{L}, 0\cdot kN\right]$$

$\max(R_1) = 1.775\times 10^3 \quad \max(R_2) = 1.771\times 10^3\cdot kN$

<u>Calcul du cisaillement :</u>

$$V_{i,k} := \sum_j \left[\begin{array}{l} \left[P1_j\cdot\left[\frac{L - \left(k\cdot step + x_{p1_j}\right)}{L}\right]\right] \text{ if } k\cdot step + x_{p1_j} \geq 0mm \wedge k\cdot step + x_{p1_j} \leq L \wedge k\cdot step + x_{p1_j} \geq x_{c_i} \\ \left[-P1_j\cdot\left[\frac{\left(k\cdot step + x_{p1_j}\right)}{L}\right]\right] \text{ if } k\cdot step + x_{p1_j} \geq 0mm \wedge k\cdot step + x_{p1_j} \leq L \wedge k\cdot step + x_{p1_j} < x_{c_i} \\ (0kN) \text{ otherwise} \end{array}\right]$$

$V_{max_i} := \max\left[\left(V^T\right)^{\langle i\rangle}\right] \qquad V_{c1.max} := V_{max}$

$V_{min_i} := \min\left[\left(V^T\right)^{\langle i\rangle}\right] \qquad V_{c1.min} := V_{min} \qquad V_{c1_i} := \max\left(V_{max_i}, \left|V_{min_i}\right|\right)$

$V_{max}^T = (1775.1\ \ 1451.8\ \ 1154.5\ \ 1017.8\ \ 889.7\ \ 658.9\ \ 462.3\ \ 300.8\ \ 174.4\ \ 124\ \ 82.1\ \ 24\ \ 0)\cdot kN$

$-V_{min}^T = \left(0\ \ 10\ \ 34.6\ \ 55.6\ \ 94.3\ \ 220.9\ \ 381.7\ \ 576.6\ \ 835.6\ \ 984.7\ \ 1.1\times 10^3\ \ 1.5\times 10^3\ \ 1.8\times 10^3\right)\cdot kN$

$V_{i,k} := \left|V_{i,k}\right|$

$V_{max.abs_i} := \max\left[\left(V^T\right)^{\langle i\rangle}\right]$

$V_{max.total} := \max(V_{max.abs}) \qquad V_{max.total} = 1.775\times 10^3\cdot kN$

Calcul de la flexion :

$$M_{i,k} := \sum_j \left[\begin{cases} \left[P_{l_j} \cdot \left[\frac{L - \left(k \cdot step + x_{pl_j}\right)}{L}\right]\right] \cdot x_{c_i} & \text{if } k \cdot step + x_{pl_j} \geq 0mm \wedge k \cdot step + x_{pl_j} \leq L \wedge k \cdot step + x_{pl_j} \geq x_{c_i} \\ \left[P_{l_j} \cdot \left[\frac{\left(k \cdot step + x_{pl_j}\right)}{L}\right]\right] \cdot \left(L - x_{c_i}\right) & \text{if } k \cdot step + x_{pl_j} \geq 0mm \wedge k \cdot step + x_{pl_j} \leq L \wedge k \cdot step + x_{pl_j} < x_{c_i} \\ (0kN \cdot m) & \text{otherwise} \end{cases} \right]$$

$M_{max_i} := \max\left[\left(M^T\right)^{\langle i \rangle}\right]$ $\qquad M_{c1} := M_{max}$

$M_{max}{}^T = (0 \;\; 4211 \;\; 7468 \;\; 8754 \;\; 9783 \;\; 11174 \;\; 11632 \;\; 11136 \;\; 9740 \;\; 8681 \;\; 7429 \;\; 4200 \;\; 0) \cdot kN \cdot m$

$M_{max.total} := \max(M_{max})$ $\quad M_{max.total} = 11631.945 \cdot kN \cdot m$

Résumé des efforts :

$V_{c1}{}^T = (1775 \;\; 1452 \;\; 1155 \;\; 1018 \;\; 890 \;\; 659 \;\; 462 \;\; 577 \;\; 836 \;\; 985 \;\; 1138 \;\; 1464 \;\; 1771) \cdot kN$

$V_{c2}{}^T = (1608 \;\; 1350 \;\; 1106 \;\; 996 \;\; 885 \;\; 664 \;\; 469 \;\; 603 \;\; 862 \;\; 987 \;\; 1105 \;\; 1326 \;\; 1547) \cdot kN$

$V_{c3}{}^T = (819 \;\; 720 \;\; 621 \;\; 571 \;\; 521 \;\; 422 \;\; 323 \;\; 412 \;\; 511 \;\; 561 \;\; 611 \;\; 709 \;\; 804) \cdot kN$

$M_{c1}{}^T = (0 \;\; 4211 \;\; 7468 \;\; 8754 \;\; 9783 \;\; 11174 \;\; 11632 \;\; 11136 \;\; 9740 \;\; 8681 \;\; 7429 \;\; 4200 \;\; 0) \cdot kN \cdot m$

$M_{c2}{}^T = (0 \;\; 3801 \;\; 6704 \;\; 7821 \;\; 8713 \;\; 9875 \;\; 10228 \;\; 9817 \;\; 8588 \;\; 7664 \;\; 6542 \;\; 3680 \;\; 0) \cdot kN \cdot m$

$M_{c3}{}^T = (0 \;\; 1983 \;\; 3430 \;\; 3961 \;\; 4401 \;\; 4874 \;\; 4947 \;\; 4934 \;\; 4398 \;\; 3956 \;\; 3402 \;\; 1930 \;\; 0) \cdot kN \cdot m$

Facteur d'impact :

$I_V := \text{if}\left(\max(V_{c3}) = \max(V_{c2}), 0.30, 0.25\right)$ $\quad I_V = 0.25$

Si les 3 premiers essieux sont utilisés, I = 0.30
Si les 4 ou 5 essieux sont utilisés, I = 0.25

$I_M := \text{if}\left(\max(M_{c3}) = \max(M_{c2}), 0.30, 0.25\right)$ $\quad I_M = 0.25$

$M_{c1_i} := \max\left(M_{c1_i}, M_{c1_{div-i}}\right)$ $\qquad V_{c1_i} := \max\left(\left|V_{c1_i}\right|, \left|V_{c1_{div-i}}\right|\right)$

$M_{c2_i} := \max\left(M_{c2_i}, M_{c2_{div-i}}\right)$ $\qquad V_{c2_i} := \max\left(\left|V_{c2_i}\right|, \left|V_{c2_{div-i}}\right|\right)$

$M_{c3_i} := \max\left(M_{c3_i}, M_{c3_{div-i}}\right)$ $\qquad V_{c3_i} := \max\left(\left|V_{c3_i}\right|, \left|V_{c3_{div-i}}\right|\right)$

$I_V := 0.1$

$I_M := 0.1$

Camion au ralenti sur la structure

$V_{c1_i} := V_{c1_i} \cdot (1 + I_V)$ $\qquad$ $M_{c1_i} := M_{c1_i} \cdot (1 + I_M)$

$V_{c1}^T = (1953\ \ 1610\ \ 1270\ \ 1120\ \ 979\ \ 725\ \ 509\ \ 725\ \ 979\ \ 1120\ \ 1270\ \ 1610\ \ 1953) \cdot kN$

$M_{c1}^T = (0\ \ 4632\ \ 8215\ \ 9629\ \ 10761\ \ 12291\ \ 12795\ \ 12291\ \ 10761\ \ 9629\ \ 8215\ \ 4632\ \ 0) \cdot kN \cdot m$

$V_{c2_i} := V_{c2_i} \cdot (1 + I_V)$ $\qquad$ $M_{c2_i} := M_{c2_i} \cdot (1 + I_M)$

$V_{c2}^T = (1769\ \ 1485\ \ 1217\ \ 1095\ \ 974\ \ 730\ \ 516\ \ 730\ \ 974\ \ 1095\ \ 1217\ \ 1485\ \ 1769) \cdot kN$

$M_{c2}^T = (0\ \ 4181\ \ 7375\ \ 8604\ \ 9585\ \ 10862\ \ 11251\ \ 10862\ \ 9585\ \ 8604\ \ 7375\ \ 4181\ \ 0) \cdot kN \cdot m$

$V_{c3_i} := V_{c3_i} \cdot (1 + I_V)$ $\qquad$ $M_{c3_i} := M_{c3_i} \cdot (1 + I_M)$

$V_{c3}^T = (901\ \ 792\ \ 683\ \ 628\ \ 574\ \ 464\ \ 355\ \ 464\ \ 574\ \ 628\ \ 683\ \ 792\ \ 901) \cdot kN$

$M_{c3}^T = (0\ \ 2181\ \ 3773\ \ 4357\ \ 4841\ \ 5427\ \ 5442\ \ 5427\ \ 4841\ \ 4357\ \ 3773\ \ 2181\ \ 0) \cdot kN \cdot m$

Calcul de la déflexion avec un facteur d'essieu = 1 et une inertie arbitraire et sans impact

$E_s := 200000MPa$ $\qquad$ $I_{xx} := 1000 \cdot 10^6 mm^4$ $\qquad$ $I_{xc} := I_{xx}$

Calcul avec le cas de charge #1

$$\Delta_{i,k} := \sum_j \begin{cases} \left[\left[P_{1_j} \cdot \left[\frac{L - (k \cdot step + x_{p1_j})}{6 \cdot E_s \cdot I_{xc} \cdot L}\right] \cdot x_{c_i} \cdot \left[\left[L^2 - \left[L - (k \cdot step + x_{p1_j})\right]^2 - (x_{c_i})^2\right]\right]\right]\right] & \text{if } (k \cdot step + x_{p1_j}) \geq 0mm \wedge (k \cdot step \\ \left[\left[P_{1_j} \cdot \left[\frac{(k \cdot step + x_{p1_j})}{6 \cdot E_s \cdot I_{xc} \cdot L}\right] \cdot (L - x_{c_i}) \cdot \left[L^2 - (k \cdot step + x_{p1_j})^2 - (L - x_{c_i})^2\right]\right]\right] & \text{if } (k \cdot step + x_{p1_j}) \geq 0mm \wedge (k \cdot step + \\ (0mm) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\Delta_{max.v_i} := \max\left[\left(\Delta^T\right)^{\langle i \rangle}\right]$

$\Delta_{max.v}^T = (0\ \ 1405.7\ \ 2659.5\ \ 3190.3\ \ 3640.4\ \ 4262.1\ \ 4473\ \ 4257.1\ \ 3632\ \ 3181\ \ 2650.1\ \ 1399.6\ \ 0) \cdot mm$

$\Delta_{max.v.total} := \max(\Delta_{max.v})$ $\quad$ $\Delta_{max.v.total} = 4.473 \times 10^3 \cdot mm$

Calcul de la charge morte :

$j := 0..\mathrm{rows}(x_c) - 1 \qquad x := x_c$

Charges à considérer :

Poids de la poutre : $w_{Ds} := 5.47\frac{kN}{m}$ Poids de la dalle : $w_{Db} := 13.12\frac{kN}{m}$ Effet non-composite

Poids des bordures et glissières : $w_{Dc} := 1.6\frac{kN}{m}$ Effet composite

$V_{Ds_j} := \frac{w_{Ds}\cdot L}{2} - w_{Ds}\cdot x_j \qquad V_{Ds_i} := \left|V_{Ds_i}\right|$

$V_{Ds}^T = (74\ \ 60\ \ 45\ \ 37\ \ 30\ \ 15\ \ 0\ \ 15\ \ 30\ \ 37\ \ 45\ \ 60\ \ 74)\cdot kN \qquad V_{Ds.c} := \max(V_{Ds})$

$V_{Ds.c} = 74.474\cdot kN$

$V_{Db_j} := \frac{w_{Db}\cdot L}{2} - w_{Db}\cdot x_j \qquad V_{Db_i} := \left|V_{Db_i}\right|$

$V_{Db}^T = (179\ \ 143\ \ 107\ \ 89\ \ 71\ \ 36\ \ 0\ \ 36\ \ 71\ \ 89\ \ 107\ \ 143\ \ 179)\cdot kN \qquad V_{Db.c} := \max(V_{Db})$

$V_{Db.c} = 178.629\cdot kN$

$V_{Dc_j} := \frac{w_{Dc}\cdot L}{2} - w_{Dc}\cdot x_j \qquad V_{Dc_i} := \left|V_{Dc_i}\right|$

$V_{Dc}^T = (22\ \ 17\ \ 13\ \ 11\ \ 9\ \ 4\ \ 0\ \ 4\ \ 9\ \ 11\ \ 13\ \ 17\ \ 22)\cdot kN \qquad V_{Dc.c} := \max(V_{Dc})$

$V_{Dc.c} = 21.784\cdot kN$

$M_{Ds_j} := w_{Ds}\cdot x_j\cdot\frac{L - x_j}{2}$

$M_{Ds}^T = (0\ \ 183\ \ 324\ \ 380\ \ 426\ \ 487\ \ 507\ \ 487\ \ 426\ \ 380\ \ 324\ \ 183\ \ 0)\cdot kN\cdot m \qquad M_{Ds.c} := \max(M_{Ds})$

$M_{Ds.c} = 506.982\cdot kN\cdot m$

$M_{Db_j} := w_{Db}\cdot x_j\cdot\frac{L - x_j}{2}$

$M_{Db}^T = (0\ \ 438\ \ 778\ \ 912\ \ 1021\ \ 1167\ \ 1216\ \ 1167\ \ 1021\ \ 912\ \ 778\ \ 438\ \ 0)\cdot kN\cdot m \qquad M_{Db.c} := \max(M_{Db})$

$M_{Db.c} = 1216.016\cdot kN\cdot m$

$M_{Dc_j} := w_{Dc}\cdot x_j\cdot\frac{L - x_j}{2}$

$M_{Dc}^T = (0\ \ 53\ \ 95\ \ 111\ \ 125\ \ 142\ \ 148\ \ 142\ \ 125\ \ 111\ \ 95\ \ 53\ \ 0)\cdot kN\cdot m \qquad M_{Dc.c} := \max(M_{Dc})$

$M_{Dc.c} = 148.295\cdot kN\cdot m$

$V_{cc} := \max(\max(V_{c1}), \max(V_{c2}), \max(V_{c3}))$

$M_{cc} := \max(\max(M_{c1}), \max(M_{c2}), \max(M_{c3}))$

Calcul des efforts totaux :

	Espaces à 1.8m	hors-norme 1
Facteur d'essieu en flexion (ÉLUL + ÉLUT) :	$f_{e.M} := 0.555$	$f_{e.M} := 0.58$
Facteur d'essieu en cisaillement (ÉLUL + ÉLUT) :	$f_{e.V} := 0.635$	$f_{e.V} := 0.58$
Facteur d'essieu en flexion (Fatigue + Flèche) :	$f_{e.M.f} := 0.426$	$f_{e.M.f} := 0.58$
Facteur d'essieu en cisaillement (Fatigue + Flèche) :	$f_{e.V.f} := 0.598$	$f_{e.V.f} := 0.58$

Effort en service :

$M_s := M_{Ds.c} + M_{Db.c} + M_{Dc.c} + f_{e.M} \cdot M_{cc}$ $\qquad M_s = 9.292 \times 10^3 \cdot kN \cdot m$

Effort ultime avec les coefficients d'évaluation :

$\alpha_{Ds} := 1.1$ $\quad \alpha_{Dc} := 1.2$ $\quad \alpha_L := 1.7$

$\alpha_{Ds} := 1.06$ $\quad \alpha_{Dc} := 1.12$ $\quad \alpha_L := 1.42$

Efforts de conception

Efforts d'évaluation niveau 1

$V_f := \alpha_{Ds} \cdot V_{Ds.c} + \alpha_{Dc} \cdot (V_{Db.c} + V_{Dc.c}) + \alpha_L \cdot f_{e.V} \cdot V_{cc}$ $\qquad V_f = 1.912 \times 10^3 \cdot kN$

$M_f := \alpha_{Ds} \cdot M_{Ds.c} + \alpha_{Dc} \cdot (M_{Db.c} + M_{Dc.c}) + \alpha_L \cdot f_{e.M} \cdot M_{cc}$ $\qquad M_f = 1.26 \times 10^4 \cdot kN \cdot m$

$V_{f1} := \alpha_{Ds} \cdot V_{Ds} + \alpha_{Dc} \cdot (V_{Db} + V_{Dc}) + \alpha_L \cdot f_{e.V} \cdot V_{c1}$

$V_{f2} := \alpha_{Ds} \cdot V_{Ds} + \alpha_{Dc} \cdot (V_{Db} + V_{Dc}) + \alpha_L \cdot f_{e.V} \cdot V_{c2}$

$V_{f3} := \alpha_{Ds} \cdot V_{Ds} + \alpha_{Dc} \cdot (V_{Db} + V_{Dc}) + \alpha_L \cdot f_{e.V} \cdot V_{c3}$

$M_{f1} := \alpha_{Ds} \cdot M_{Ds} + \alpha_{Dc} \cdot (M_{Db} + M_{Dc}) + \alpha_L \cdot f_{e.M} \cdot M_{c1}$

$M_{f2} := \alpha_{Ds} \cdot M_{Ds} + \alpha_{Dc} \cdot (M_{Db} + M_{Dc}) + \alpha_L \cdot f_{e.M} \cdot M_{c2}$

$M_{f3} := \alpha_{Ds} \cdot M_{Ds} + \alpha_{Dc} \cdot (M_{Db} + M_{Dc}) + \alpha_L \cdot f_{e.M} \cdot M_{c3}$

$V_{f.D} := \alpha_{Ds} \cdot V_{Ds} + \alpha_{Dc} \cdot (V_{Db} + V_{Dc})$

$M_{f.D} := \alpha_{Ds} \cdot M_{Ds} + \alpha_{Dc} \cdot (M_{Db} + M_{Dc})$

$V_{f.L1} := \alpha_L \cdot f_{e.V} \cdot V_{c1}$ $\qquad M_{f.L1} := \alpha_L \cdot f_{e.M} \cdot M_{c1}$

$V_{f.L2} := \alpha_L \cdot f_{e.V} \cdot V_{c2}$ $\qquad M_{f.L2} := \alpha_L \cdot f_{e.M} \cdot M_{c2}$

$V_{f.L3} := \alpha_L \cdot f_{e.V} \cdot V_{c3}$ $\qquad M_{f.L3} := \alpha_L \cdot f_{e.M} \cdot M_{c3}$

$M_{L1} := f_{e.M} \cdot M_{c1}$

$M_{L2} := f_{e.M} \cdot M_{c2}$

$M_{L3} := f_{e.M} \cdot M_{c3}$

Calcul des propriétés d'une section en composite - Section #1 (0L@0.25L et 0.75L@1L)

Longueur de la travée : $L := 27230mm$ $\qquad ORIGIN := 1$

Espacement des poutres : $S := 2153mm$

Épaisseur de la dalle : $t_c := 254mm$

Résistance du béton : $f_c := 25MPa$ $\qquad E_c := \left(3000\cdot\sqrt{f_c\cdot MPa} + 6900MPa\right)\cdot\left(\frac{2350}{2300}\right)^{1.5}$

Épaisseur d'asphalte : $t_p := 0mm$

$E_c = 2.262\times 10^4\cdot MPa$

Propriétés de la poutre :

Épaisseur de l'aile supérieure : $t_1 := 25mm$

Largeur de l'aile supérieure : $b_1 := 305mm$

Épaisseur de l'aile inférieure : $t_2 := 35mm$

Largeur de l'aile inférieure : $b_2 := 610mm$

Hauteur de l'âme : $h := 1829mm$ $\qquad d := h + t_1 + t_2$ $\qquad d = 1889\cdot mm$

Épaisseur de l'âme : $w := 13mm$

Résistance de l'acier : $F_y := 350MPa$ $\qquad E_a := 200000MPa$ $\qquad G := 77000MPa$

G40.21 - 350AT

$A_1 := b_1\cdot t_1$ $\qquad A_2 := b_2\cdot t_2$ $\qquad A_3 := h\cdot w$

$A_1 = 7.625\times 10^3\cdot mm^2$ $\quad A_2 = 2.135\times 10^4\cdot mm^2$ $\quad A_3 = 2.378\times 10^4\cdot mm^2$

$A_s := A_1 + A_2 + A_3$

$A_s = 5.275\times 10^4\cdot mm^2$

$77\frac{kN}{m^3}\cdot A_s = 4.062\cdot\frac{kN}{m}$

$$y_1 := \frac{A_1\cdot\left(d - \frac{t_1}{2}\right) + A_3\cdot\left(t_2 + \frac{h}{2}\right) + A_2\cdot\frac{t_2}{2}}{A_s}$$

$y_1 = 706.29\cdot mm$

$y_2 := d - y_1$ $\qquad y_2 = 1.183\times 10^3\cdot mm$

$J := \frac{1}{3}\cdot\left(A_1\cdot t_1^{\,2} + A_3\cdot w^2 + A_2\cdot t_2^{\,2}\right)$ $\qquad J = 1.165\times 10^7\cdot mm^4$

$$C_w := \frac{\left(d - \frac{t_1 + t_2}{2}\right)^2 \cdot b_1^{\,3} \cdot t_1}{12 \cdot \left[1 + \left(\frac{b_1}{b_2}\right)^3 \cdot \left(\frac{t_1}{t_2}\right)\right]} \qquad C_w = 1.875 \times 10^{14} \cdot mm^6$$

$$I_{xx} := \frac{1}{12} \cdot \left(A_1 \cdot t_1^{\,2} + A_2 \cdot t_2^{\,2} + A_3 \cdot h^2\right) + A_1 \cdot \left(y_2 - \frac{t_1}{2}\right)^2 + A_2 \cdot \left(y_1 - \frac{t_2}{2}\right)^2 + A_3 \cdot \left(y_1 - t_2 - \frac{h}{2}\right)^2$$

$$I_{xx} = 2.861 \times 10^{10} \cdot mm^4 \qquad \boxed{I_{xx.1} := I_{xx}}$$

$$I_{yy} := \frac{1}{12} \cdot \left(A_1 \cdot b_1^{\,2} + A_2 \cdot b_2^{\,2} + A_3 \cdot w^2\right)$$

$$I_{yy} = 7.215 \times 10^8 \cdot mm^4$$

$$S_{x1} := \frac{I_{xx}}{y_1} \qquad S_{x1} = 4.05 \times 10^7 \cdot mm^3 \qquad S_{x2} := \frac{I_{xx}}{y_2} \qquad S_{x2} = 2.419 \times 10^7 \cdot mm^3 \qquad \boxed{S_{x.min} := \min(S_{x1}, S_{x2})}$$

$$S_{yy} := \frac{I_{yy}}{0.5 b_1} \qquad S_{yy} = 4.731 \times 10^6 \cdot mm^3$$

$$\boxed{S_{x1.1} := S_{x1}} \qquad \boxed{S_{x2.1} := S_{x2}}$$

Déterminer la classe de la poutre :

Pour ce cas-ci, utiliser des épaisseurs suffisante pour avoir une section compacte pour l'âme et vérifier si l'aile est une section non-compacte, elle ne doit pas être en compression.

$$classe1 := if\left[\left(\max\left(\frac{b_1 - w}{2 \cdot t_1}, \frac{b_2 - w}{2 \cdot t_2}\right) \le \frac{170 \cdot MPa^{0.5}}{\sqrt{F_y}}\right), \text{"compacte"}, \text{"non-compacte"}\right]$$

$$classe1 = \text{"compacte"}$$

$$classe2 := if\left[\left(\frac{h}{w} \le \frac{1700 MPa^{0.5}}{\sqrt{F_y}}\right), \text{"compacte"}, \text{"non-compacte"}\right]$$

$$classe2 = \text{"non-compacte"}$$

Les calculs qui suivent sont effectués pour une section compacte (aile et âme), il faut valider si la hauteur de la section comprimée de l'âme se situe à l'intérieur de d_c.

$$d_{c.max} := \frac{850 \cdot w}{\sqrt{F_y} \cdot MPa^{-0.5}} \qquad d_{c.max} = 590.647 \cdot mm$$

Calcul de résistance ultime (CSA/S6-06) :

$\phi_r := 0.90$ acier d'armature

$\phi_c := 0.75$ béton

$\phi_b := 0.80$ boulons

$\phi_{sc} := 0.85$ goujons

$\phi := 0.95$ acier de charpente

Largeur effective de la dalle :

$be_1 := 0.25 \cdot L \qquad be_1 = 6.808 \times 10^3 \cdot mm$

$be_2 := S \qquad be_2 = 2.153 \times 10^3 \cdot mm$

$be_3 := b_1 + 12 \cdot t_c \qquad be_3 = 3.353 \times 10^3 \cdot mm$

$b_e := \min(be_1, be_2, be_3) \qquad b_e = 2.153 \times 10^3 \cdot mm$

$b_e = 2.153\,m$ **Calcul selon la norme S6-06**

Goujons :

$d_{sc} := 22mm \qquad A_{sc} := \frac{\pi}{4} \cdot d_{sc}^2 \qquad A_{sc} = 380.133 \cdot mm^2$

$F_u := 415MPa$

$Q_r := \text{if}\left(0.5 \cdot \phi_{sc} \cdot A_{sc} \cdot \sqrt{f_c \cdot E_c} \le \phi_{sc} \cdot F_u \cdot A_{sc}, 0.4 \cdot d_{sc}^2 \cdot \sqrt{f_c \cdot E_c}, \phi_{sc} \cdot F_u \cdot A_{sc}\right) \qquad H_{sc.min} := 4 \cdot d_{sc}$

$Q_r = 145.58 \cdot kN \qquad H_{sc.min} = 88 \cdot mm$

$H_{util} := 125mm$

Acier d'armature :

$A_{sp} := 0mm^2 \qquad f_{yp} := 300MPa \qquad d_{sp} := \frac{t_c}{2}$ distance entre la fibre la plus comprimée et l'acier d'armature

$P_1 := \phi \cdot A_s \cdot F_y \qquad P_1 = 1.754 \times 10^4 \cdot kN$

$P_2 := 0.85 \cdot \phi_c \cdot f_c \cdot b_e \cdot t_c + A_{sp} \cdot \phi_r \cdot f_{yp} \qquad P_2 = 8.716 \times 10^3 \cdot kN$

$P := \min(P_1, P_2) \qquad P = 8.716 \times 10^3 \cdot kN$

$N_{req} := \frac{P}{Q_r} \qquad N_{req} = 59.868$ Nombre de goujons entre la position de moment maximal et la position de moment nul

$N_{util} := 100 \qquad \alpha := \text{if}\left(N_{util} > N_{req}, 1, \frac{N_{util}}{N_{req}}\right) \qquad \alpha = 1$ degré de connexion

Zone de moment positif :

$C_c := 0.85 \cdot \phi_c \cdot f_c \cdot b_e \cdot t_c$ $\quad C_c = 8.716 \times 10^3 \cdot kN$

$C_s := \phi_r \cdot A_{sp} \cdot f_{yp}$ $\quad C_s = 0 \cdot kN$

$C_{EQR} := N_{util} \cdot Q_r$ $\quad C_{EQR} = 1.456 \times 10^4 \cdot kN$

$C_1 := C_c + C_s$ $\quad C_1 = 8.716 \times 10^3 \cdot kN$

$C_2 := \phi \cdot A_s \cdot F_y$ $\quad C_2 = 1.754 \times 10^4 \cdot kN$

$C_3 := C_{EQR}$ $\quad C_3 = 1.456 \times 10^4 \cdot kN$

$C_r := \min(C_1, C_2, C_3)$ $\quad C_r = 8.716 \times 10^3 \cdot kN$

$C_1 := \min(C_1, C_3)$ $\quad C_1 = 8.716 \times 10^3 \cdot kN$

$CAS := \text{if}(C_1 > C_2, 1, 2)$

if(CAS = 1,"axe neutre dans la dalle","axe neutre dans la poutre") = "axe neutre dans la poutre"

CAS # 1

$a := \text{if}\left(CAS = 1, \frac{C_2 - \phi_r \cdot A_{sp} \cdot f_{yp}}{0.85 \cdot \phi_c \cdot b_e \cdot f_c}, 0mm\right)$ $\quad a = 0 \cdot mm$

$C_c := \text{if}(CAS = 1, 0.85 \cdot \phi_c \cdot f_c \cdot b_e \cdot a, 0kN)$ $\quad C_c = 0 \cdot kN$

$e_c := \text{if}(CAS = 1, y_2 + t_c - 0.5 \cdot a, 0mm)$ $\quad e_c = 0 \cdot mm$

$e_s := \text{if}(CAS = 1, y_2 + t_c - d_{sp}, 0mm)$ $\quad e_s = 0 \cdot mm$

$M_{r1} := C_c \cdot e_c + C_s \cdot e_s$ $\quad M_{r1} = 0 \cdot kN \cdot m$

CAS # 2

$C_c := \text{if}(CAS = 2, 0.85 \cdot \phi_c \cdot f_c \cdot b_e \cdot t_c, 0kN)$ $\quad C_c = 8.716 \times 10^3 \cdot kN$

$C_p := \text{if}[CAS = 2, 0.5 \cdot (\phi \cdot A_s \cdot F_y - C_1), 0kN]$ $\quad C_p = 4.412 \times 10^3 \cdot kN$

$A_{tf} := b_1 \cdot t_1$ $\quad A_{tf} = 7.625 \times 10^3 \cdot mm^2$ $\quad t_{tf} := t_1$

$A_w := d \cdot w$ $\quad A_w = 2.456 \times 10^4 \cdot mm^2$

Cas 21 : Axe neutre dans l'aile de la poutre

Cas 22 : Axe neutre dans l'âme de la poutre

$$CAS2 := \text{if}\left[\left(C_p < \phi \cdot A_{tf} \cdot F_y\right) \wedge CAS = 2, 21, \text{if}\left(C_p \geq \phi \cdot A_{tf} \cdot F_y \wedge CAS = 2, 22, 0\right)\right]$$

$$CAS2 = 22$$

$$y_{tc} := \text{if}\left(CAS2 = 21, \frac{C_p}{\phi \cdot A_{tf} \cdot F_y} \cdot t_{tf}, \text{if}\left(CAS2 = 22, t_{tf} + \frac{C_p - \phi \cdot A_{tf} \cdot F_y}{\phi \cdot A_w \cdot F_y} \cdot d, 0mm\right)\right)$$

$$y_{tc} = 459.217 \cdot mm$$

Pour le cas # 21

$$t_{cp} := \text{if}\left(CAS2 = 21, t_1 - y_{tc}, 0mm\right) \quad t_{cp} = 0 \cdot mm$$

$$d_p := \text{if}\left(CAS2 = 21, d - t_1 + t_{cp}, 0mm\right. \quad d_p = 0 \cdot mm$$

$$A_{st} := b_1 \cdot t_{cp} + h \cdot w + b_2 \cdot t_2 \qquad A_{st} = 4.513 \times 10^4 \cdot mm^2$$

$$y_{cg} := \frac{b_1 \cdot t_{cp} \cdot \left(d_p - \frac{t_{cp}}{2}\right) + h \cdot w \cdot \left(t_2 + \frac{h}{2}\right) + b_2 \cdot t_2 \cdot \left(\frac{t_2}{2}\right)}{A_{st}} \qquad y_{cg} = 508.562 \cdot mm$$

$$y_{bp} := \text{if}\left(CAS2 = 21, y_{cg}, 0mm\right) \qquad y_{bp} = 0 \cdot mm$$

$$y_{tp} := \text{if}\left(CAS2 = 21, d - y_{tc} - y_{cg}, 0mm\right) \qquad y_{tp} = 0 \cdot mm$$

$$d_b := d \qquad d_b = 1.889 \times 10^3 \cdot mm$$

$$e_c := \text{if}\left(CAS2 = 21, d_b + 0.5t_c - y_{bp}, 0mm\right) \qquad e_c = 0 \cdot mm$$

$$e_s := \text{if}\left(CAS2 = 21, d_b + t_c - d_{sp} - y_{bp}, 0mm\right) \qquad e_s = 0 \cdot mm$$

$$e_p := \text{if}\left(CAS2 = 21, d - y_{bp} - \frac{y_{tc}}{2}, 0mm\right) \qquad e_p = 0 \cdot mm$$

$$M_{r2} := C_c \cdot e_c + C_s \cdot e_s + C_p \cdot e_p \qquad M_{r2} = 0 \cdot kN \cdot m$$

Pour le cas # 22

$d_p := d - y_{tc}$ $\qquad d_p = 1.43 \times 10^3 \cdot mm$

$h_p := d_p - t_2$ $\qquad h_p = 1.395 \times 10^3 \cdot mm$

$A_{st} := b_2 \cdot t_2 + h_p \cdot w$

$$y_{cg} := \frac{h_p \cdot w \cdot \left(\frac{h_p}{2} + t_2\right) + b_2 \cdot t_2 \cdot \frac{t_2}{2}}{A_{st}} \qquad y_{cg} = 345.814 \cdot mm$$

$y_{bp} := y_{cg}$ $\qquad y_{bp} = 345.814 \cdot mm$

$$y_{tp} := \frac{A_1 \cdot \left(\frac{t_1}{2}\right) + \left(y_{tc} - t_1\right) \cdot w \cdot \frac{y_{tc} + t_1}{2}}{A_1 + \left(y_{tc} - t_1\right) \cdot w} \qquad y_{tp} = 110.173 \cdot mm$$

$e_c := if\left(CAS2 = 22, d_b + 0.5t_c - y_{bp}, 0mm\right)$ $\qquad e_c = 1.67 \times 10^3 \cdot mm$

$e_s := if\left(CAS2 = 22, d_b + t_c - d_{sp} - y_{bp}, 0mm\right)$ $\qquad e_s = 1.67 \times 10^3 \cdot mm$

$e_p := if\left(CAS2 = 22, d_b - y_{bp} - y_{tp}, 0mm\right)$ $\qquad e_p = 1.433 \times 10^3 \cdot mm$

$M_{r3} := C_c \cdot e_c + C_s \cdot e_s + C_p \cdot e_p$ $\qquad M_{r3} = 20879 \cdot kN \cdot m$

Résistance ultime:

$M_r := \max\left(M_{r1}, M_{r2}, M_{r3}\right)$ $\qquad M_r = 20879 \cdot kN \cdot m$ $\qquad \boxed{M_{r.c_1} := M_r}$

Calcul des contraintes en service :

Propriétés de la section composite :

$$n := \frac{E_s}{E_c} \qquad n = 8.843$$

<u>Vérifier la position de l'axe neutre (pour be/n) :</u>

$$y_s := y_2 + t_c$$

$$CAS3 := if\left[\frac{n \cdot A_s}{b_e} \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{2 \cdot b_e \cdot y_s}{n \cdot A_s}} - 1\right) \le t_c, 31, 32\right] \qquad CAS3 = 32$$

Cas # 31 : axe neutre dans la dalle de béton
Cas # 32 : axe neutre dans la poutre en acier

$$y_t := if\left[CAS3 = 31, \frac{n \cdot A_s}{b_e} \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{2 \cdot b_e \cdot y_s}{n \cdot A_s}} - 1\right), 0mm\right] \qquad y_t = 0 \cdot mm \qquad y_{t.n_1} := y_t$$

$$y_b := if(CAS3 = 31, d + t_c - y_t, 0mm) \qquad y_b = 0 \cdot mm \qquad y_{b.n_1} := y_b$$

$$I_{c.n_1} := if\left[CAS3 = 31, \frac{b_e}{n} \cdot \frac{y_t^3}{3} + I_{xx} + A_s \cdot (y_s - y_t)^2, 0mm^4\right] \qquad I_{c.n_1} = 0 \cdot mm^4$$

$$S_{b.n_1} := if\left(CAS3 = 31, \frac{I_{c.n_1}}{d + t_c - y_t}, 0mm^3\right) \qquad S_{b.n_1} = 0 \cdot mm^3$$

$$S_{t.n_1} := if\left(CAS3 = 31, \frac{I_{c.n_1}}{y_t}, 0mm^3\right) \qquad S_{t.n_1} = 0 \cdot mm^3$$

$$S_{tb.n_1} := if\left(CAS3 = 31, \frac{I_{c.n_1}}{y_t - t_c}, 0mm^3\right) \qquad S_{tb.n_1} = 0 \cdot mm^3$$

$$y_t := if\left[CAS3 = 32, \frac{\left(\frac{b_e}{n} \cdot t_c\right) \cdot 0.5 \cdot t_c + A_s \cdot y_s}{\frac{b_e}{n} \cdot t_c + A_s}, 0mm\right] \qquad y_t = 729.896 \cdot mm \qquad y_{t.n_2} := y_t$$

$y_b := \text{if}(CAS3 = 32, d + t_c - y_t, 0mm)$ $\qquad y_b = 1.413 \times 10^3 \cdot mm \qquad y_{b.n_2} := y_b$

$$I_{c.n_2} := \text{if}\left[CAS3 = 32, \frac{1}{12} \cdot \frac{b_e}{n} \cdot t_c^{\,3} + I_{xx} + \left(\frac{b_e}{n} \cdot t_c\right) \cdot (y_t - 0.5 \cdot t_c)^2 + A_s \cdot (y_s - y_t)^2, 0mm^4\right]$$

$I_{c.n_2} = 7.777 \times 10^{10} \cdot mm^4$

$$S_{b.n_2} := \text{if}\left(CAS3 = 32, \frac{I_{c.n_2}}{d + t_c - y_t}, 0mm^3\right) \qquad S_{b.n_2} = 5.504 \times 10^7 \cdot mm^3$$

$$S_{t.n_2} := \text{if}\left(CAS3 = 32, \frac{I_{c.n_2}}{y_t}, 0mm^3\right) \qquad S_{t.n_2} = 1.066 \times 10^8 \cdot mm^3$$

$$S_{tb.n_2} := \text{if}\left(CAS3 = 32, \frac{I_{c.n_2}}{y_t - t_c}, 0mm^3\right) \qquad S_{tb.n_2} = 1.634 \times 10^8 \cdot mm^3$$

<u>Vérifier la position de l'axe neutre (pour be/3n) :</u>

$y_s := y_2 + t_c$

$$CAS3 := \text{if}\left[\frac{3n \cdot A_s}{b_e} \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{2 \cdot b_e \cdot y_s}{3n \cdot A_s}} - 1\right) \le t_c, 31, 32\right] \qquad CAS3 = 32$$

Cas # 31 : axe neutre dans la dalle de béton
Cas # 32 : axe neutre dans la poutre en acier

$$y_t := \text{if}\left[CAS3 = 31, \frac{3n \cdot A_s}{b_e} \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{2 \cdot b_e \cdot y_s}{3n \cdot A_s}} - 1\right), 0mm\right] \qquad y_t = 0 \cdot mm \qquad y_{t.3n_1} := y_t$$

$y_b := \text{if}(CAS3 = 31, d + t_c - y_t, 0mm)$ $\qquad y_b = 0 \cdot mm \qquad y_{b.3n_1} := y_b$

$$I_{c.3n_1} := \text{if}\left[CAS3 = 31, \frac{b_e}{3n} \cdot \frac{y_t^{\,3}}{3} + I_{xx} + A_s \cdot (y_s - y_t)^2, 0mm^4\right] \qquad I_{c.3n_1} = 0 \cdot mm^4$$

$$S_{b.3n_1} := \text{if}\left(CAS3 = 31, \frac{I_{c.3n_1}}{d + t_c - y_t}, 0mm^3\right) \qquad S_{b.3n_1} = 0 \cdot mm^3$$

$$S_{t.3n_1} := \text{if}\left(CAS3 = 31, \frac{I_{c.3n_1}}{y_t}, 0mm^3\right) \qquad S_{t.3n_1} = 0 \cdot mm^3$$

$$S_{tb.3n_1} := \text{if}\left(CAS3 = 31, \frac{I_{c.3n_1}}{y_t - t_c}, 0mm^3\right) \qquad S_{tb.3n_1} = 0 \cdot mm^3$$

$$y_t := \text{if}\left[CAS3 = 32, \frac{\left(\frac{b_e}{3n}\cdot t_c\right)\cdot 0.5\cdot t_c + A_s\cdot y_s}{\frac{b_e}{3n}\cdot t_c + A_s}, 0mm\right]$$

$y_t = 1.069\times 10^3\cdot mm$ $\quad y_{t.3n_2} := y_t$

$$y_b := \text{if}\left(CAS3 = 32, d + t_c - y_t, 0mm\right)$$

$y_b = 1.074\times 10^3\cdot mm$ $\quad y_{b.3n_2} := y_b$

$$I_{c.3n_2} := \text{if}\left[CAS3 = 32, \frac{1}{12}\cdot\frac{b_e}{3n}\cdot t_c^{\,3} + I_{xx} + \left(\frac{b_e}{3n}\cdot t_c\right)\cdot\left(y_t - 0.5\cdot t_c\right)^2 + A_s\cdot\left(y_s - y_t\right)^2, 0mm^4\right]$$

$I_{c.3n_2} = 5.414\times 10^{10}\cdot mm^4$

$$S_{b.3n_2} := \text{if}\left(CAS3 = 32, \frac{I_{c.3n_2}}{d + t_c - y_t}, 0mm^3\right)$$

$S_{b.3n_2} = 5.04\times 10^7\cdot mm^3$

$$S_{t.3n_2} := \text{if}\left(CAS3 = 32, \frac{I_{c.3n_2}}{y_t}, 0mm^3\right)$$

$S_{t.3n_2} = 5.066\times 10^7\cdot mm^3$

$$S_{tb.3n_2} := \text{if}\left(CAS3 = 32, \frac{I_{c.3n_2}}{y_t - t_c}, 0mm^3\right)$$

$S_{tb.3n_2} = 6.646\times 10^7\cdot mm^3$

$S_{b.n.1} := \max(S_{b.n})$ $\quad \boxed{S_{b.n.1} = 5.504\times 10^7\cdot mm^3}$

$S_{b.3n.1} := \max(S_{b.3n})$ $\quad \boxed{S_{b.3n.1} = 5.04\times 10^7\cdot mm^3}$

$S_{t.n.1} := \max(S_{t.n})$ $\quad \boxed{S_{t.n.1} = 1.066\times 10^8\cdot mm^3}$

$S_{t.3n.1} := \max(S_{t.3n})$ $\quad \boxed{S_{t.3n.1} = 5.066\times 10^7\cdot mm^3}$

$S_{tb.n.1} := \max(S_{tb.n})$ $\quad \boxed{S_{tb.n.1} = 1.634\times 10^8\cdot mm^3}$

$S_{tb.3n.1} := \max(S_{tb.3n})$ $\quad \boxed{S_{tb.3n.1} = 6.646\times 10^7\cdot mm^3}$

$I_{c.n.1} := \max(I_{c.n})$ $\quad \boxed{I_{c.n.1} = 7.777\times 10^{10}\cdot mm^4}$

$I_{c.3n.1} := \max(I_{c.3n})$ $\quad \boxed{I_{c.3n.1} = 5.414\times 10^{10}\cdot mm^4}$

Vérifier la résistance de la section non-composite

$L_s := 5423mm$ $\qquad$ $L_{ss} := 1mm$

$yy_1 := y_2 - \frac{t_1}{2}$ $\qquad$ $yy_1 = 1.17 \times 10^3 \cdot mm$ $\qquad$ $b_1 := b_1$ $\quad$ $b_2 := b_2$ $\quad$ $t_1 := t_1$ $\quad$ $t_2 := t_2$

$yy_2 := y_1 - \frac{t_2}{2}$ $\qquad$ $yy_2 = 688.79 \cdot mm$ $\qquad$ $A_1 := A_1$ $\quad$ $A_2 := A_2$ $\quad$ $S_{x_1} := S_{x1}$ $\quad$ $S_{x_2} := S_{x2}$

$I_1 := \frac{b_1^{\,3} \cdot t_1}{12}$ $\qquad$ $I_1 = 5.911 \times 10^7 \cdot mm^4$ $\qquad$ $y_1 := y_1$ $\quad$ $y_2 := y_2$

$I_2 := \frac{b_2^{\,3} \cdot t_2}{12}$ $\qquad$ $I_2 = 6.62 \times 10^8 \cdot mm^4$

$y_0 := \left| \frac{yy_1 \cdot I_1 - yy_2 \cdot I_2}{I_1 + I_2} \right|$ $\qquad$ $y_0 = 536.413 \cdot mm$

$M_c := 0.1kN \cdot m$

L'effort à considérer est Mc qui est moment qui agit sur la section non-composite,

$Ac := if(M_c < 0kN \cdot m, \text{"aile inf comprimée"}, \text{"aile sup comprimée"})$ $\qquad$ $Ac = \text{"aile sup comprimée"}$

Si la semelle la plus large est comprimée, y0 est négatif ce qui donne γ positif
Si la semelle la plus large est tendue, y0 est positif ce qui donne γ négatif

$s_{y0} := if[(Ac = \text{"aile inf comprimée"} \wedge b_2 > b_1) \vee (Ac = \text{"aile sup comprimée"} \wedge b_1 > b_2), -1, 1]$

$s_{y0} = 1$

$y_0 := s_{y0} \cdot y_0$ $\qquad$ $y_0 = 536.413 \cdot mm$

l'indice b concerne l'aile tendu et a l'aile comprimée

Si on veut calculer Mu pour le moment positif: l'aile comprimé aa = 1 et l'aile tendu bb = 2
Si on veut calculer Mu pour le moment négatif: l'aile comprimé aa = 2 et l'aile tendu bb = 1

$aa := if(Ac = \text{"aile sup comprimée"}, 1, 2)$

$bb := if(Ac = \text{"aile sup comprimée"}, 2, 1)$

$aa = 1$ $\qquad$ $bb = 2$

$$\gamma := \frac{1}{2 \cdot I_{xx}} \cdot \left[yy_{bb} \cdot \left[I_{bb} + b_{bb} \cdot t_{bb} \cdot \left(yy_{bb}\right)^2 + w \cdot \frac{\left(yy_{bb}\right)^3}{4} \right] - yy_{aa} \cdot \left[I_{aa} + b_{aa} \cdot t_{aa} \cdot \left(yy_{aa}\right)^2 + \frac{w \cdot \left(yy_{aa}\right)^3}{4} \right] \right] - y_0$$

$\gamma = -715.003 \cdot mm$

$\omega_2 := 1.0$ Sécuritaire

$$M_u := \frac{\omega_2 \cdot \pi}{L_s} \cdot \left[\sqrt{E_s \cdot I_{yy} \cdot G \cdot J + \left(\frac{\pi \cdot E_s}{L_s}\right)^2 \cdot I_{yy} \cdot C_w + \left(\frac{\gamma \cdot \pi \cdot E_s \cdot I_{yy}}{L_s}\right)^2} + \frac{\gamma \cdot \pi \cdot E_s \cdot I_{yy}}{L_s} \right] \qquad M_u = 2.324 \times 10^{11} \cdot kN \cdot m$$

$M_y := S_{x.min} \cdot F_y \qquad M_y = 8.466 \times 10^3 \cdot kN \cdot m$

$$M_{rS} := if\left[M_u > 0.67 \cdot M_y, \min\left[1.15 \cdot \phi \cdot M_y \cdot \left(1 - \frac{0.28 \cdot M_y}{M_u}\right), \phi \cdot M_y \right], \phi \cdot M_u \right]$$

$M_{rS} = 8.043 \times 10^3 \cdot kN \cdot m$

$$c_{réd} := if\left[\frac{2 \cdot y_{bb}}{w} > \frac{1900MPa}{\sqrt{F_y \cdot MPa}}, 1.0 - \frac{1}{300 + \frac{1200 \cdot A_{aa}}{A_3}} \cdot \left(\frac{2 \cdot y_{bb}}{w} - \frac{1900MPa}{\sqrt{\frac{M_{rS} \cdot MPa}{\phi \cdot S_{x.min}}}} \right), 1.0 \right] \qquad c_{réd} = 0.883$$

$c_{réd} := \min\left(c_{réd}, 1.0\right) \qquad c_{réd} = 0.883$

$M_r := M_{rS} \cdot c_{réd} \qquad M_r = 7.099 \times 10^3 \cdot kN \cdot m$

$$\boxed{M_{r.nc_1} := M_r}$$

Calcul de la résistance en cisaillement :

espacement des raidisseurs : $a := 1219mm$

résistance de l'acier : $F_{yw} := 350MPa$ $\phi := 0.95$

$$k_v := if\left[\frac{a}{h} < 1,4 + \frac{5.34}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}, 5.34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}\right] \qquad k_v = 16.022 \qquad \frac{h}{w} = 140.692$$

Utiliser des raidisseurs si h/w > 150

$$F_{cri} := \frac{290\cdot\sqrt{F_y\cdot k_v}\cdot MPa^{0.5}}{\frac{h}{w}} \qquad F_{cri} = 154.353\cdot MPa$$

$$F_{t.cri} := \left(0.50\cdot F_y - 0.866\cdot F_{cri}\right)\cdot\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{a}{h}\right)^2}} \qquad F_{t.cri} = 34.392\cdot MPa$$

$F_{t.cri} := 0MPa$

à l'appui (poutre sur appui simple)

$$F_{s.cri} := F_{cri} + F_{t.cri} \qquad F_{s.cri} = 154.353\cdot MPa$$

$$F_{cre} := \frac{180000\cdot MPa\cdot k_v}{\left(\frac{h}{w}\right)^2} \qquad F_{cre} = 145.692\cdot MPa$$

$$F_{t.cre} := \left(0.50\cdot F_y - 0.866\cdot F_{cre}\right)\cdot\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{a}{h}\right)^2}} \qquad F_{t.cre} = 40.633\cdot MPa$$

$F_{t.cre} := 0MPa$

à l'appui (poutre sur appui simple)

$$F_{s.cre} := F_{cre} + F_{t.cre} \qquad F_{s.cre} = 145.692\cdot MPa$$

$$F_s := \begin{cases} \left(0.577\cdot F_{yw}\right) & \text{if } \frac{h}{w} \le 502\cdot\sqrt{\frac{k_v\cdot MPa}{F_y}} \\ F_{s.cri} & \text{if } \frac{h}{w} > 502\cdot\sqrt{\frac{k_v\cdot MPa}{F_y}} \wedge \frac{h}{w} \le 621\cdot\sqrt{\frac{k_v\cdot MPa}{F_y}} \\ F_{s.cre} & \text{if } \frac{h}{w} > 621\cdot\sqrt{\frac{k_v\cdot MPa}{F_y}} \end{cases} \qquad F_s = 145.692\cdot MPa$$

$$502\cdot\sqrt{\frac{k_v\cdot MPa}{F_y}} = 107.404 \qquad 621\cdot\sqrt{\frac{k_v\cdot MPa}{F_y}} = 132.865$$

$V_r := \phi\cdot h\cdot w\cdot \max(F_s)$ $V_r = 3.291\times 10^3\cdot kN$ $r_{f.V} := 0.77$ $V_r := r_{f.V}\cdot V_r$ $V_r = 2.534\times 10^3\cdot kN$ $V_{r.c_1} := V_r$

Calcul des propriétés d'une section en composite - Section #2 (0.25L @ 0.75L)

Longueur de la travée : $L := 27230mm$ $\quad ORIGIN := 1$

Espacement des poutres : $S := 2153mm$

Épaisseur de la dalle : $t_c := 254mm$

Résistance du béton : $f_c := 25MPa$ $\quad E_c := \left(3000\cdot\sqrt{f_c\cdot MPa} + 6900MPa\right)\cdot\left(\frac{2350}{2300}\right)^{1.5}$

Épaisseur d'asphalte : $t_{pa} := 0mm$

$E_c = 2.262\times 10^4\cdot MPa$

Propriétés de la poutre :

Épaisseur de l'aile supérieure : $t_1 := 32mm$

Largeur de l'aile supérieure : $b_1 := 305mm$

Épaisseur de l'aile inférieure : $t_2 := 48mm$

Largeur de l'aile inférieure : $b_2 := 610mm$

Hauteur de l'âme : $h := 1829mm$ $\quad d := h + t_1 + t_2$ $\quad d = 1909\cdot mm$

Épaisseur de l'âme : $w := 13mm$

Résistance de l'acier : $F_y := 350MPa$ $\quad E_s := 200000MPa$ $\quad G := 77000MPa$

G40.21 - 350AT

$A_1 := b_1\cdot t_1$ $\quad A_2 := b_2\cdot t_2$ $\quad A_3 := h\cdot w$

$A_1 = 9.76\times 10^3\cdot mm^2$ $\quad A_2 = 2.928\times 10^4\cdot mm^2$ $\quad A_3 = 2.378\times 10^4\cdot mm^2$

$A_s := A_1 + A_2 + A_3$

$A_s = 6.282\times 10^4\cdot mm^2$

$77\frac{kN}{m^3}\cdot A_s = 4.837\cdot\frac{kN}{m}$

$$y_1 := \frac{A_1\cdot\left(d - \frac{t_1}{2}\right) + A_3\cdot\left(t_2 + \frac{h}{2}\right) + A_2\cdot\frac{t_2}{2}}{A_s}$$

$y_1 = 669.624\cdot mm$

$y_2 := d - y_1$

$y_2 = 1.239\times 10^3\cdot mm$

$J := \frac{1}{3}\cdot\left(A_1\cdot t_1^2 + A_3\cdot w^2 + A_2\cdot t_2^2\right)$

$J = 2.716\times 10^7\cdot mm^4$

$$C_w := \frac{\left(d - \frac{t_1 + t_2}{2}\right)^2 \cdot b_1^{\,3} \cdot t_1}{12 \cdot \left[1 + \left(\frac{b_1}{b_2}\right)^3 \cdot \left(\frac{t_1}{t_2}\right)\right]} \qquad C_w = 2.44 \times 10^{14} \cdot mm^6$$

$$I_{xx} := \frac{1}{12} \cdot \left(A_1 \cdot t_1^{\,2} + A_2 \cdot t_2^{\,2} + A_3 \cdot h^2\right) + A_1 \cdot \left(y_2 - \frac{t_1}{2}\right)^2 + A_2 \cdot \left(y_1 - \frac{t_2}{2}\right)^2 + A_3 \cdot \left(y_1 - t_2 - \frac{h}{2}\right)^2$$

$$I_{xx} = 3.549 \times 10^{10} \cdot mm^4 \qquad \boxed{I_{xx.2} := I_{xx}}$$

$$I_{yy} := \frac{1}{12} \cdot \left(A_1 \cdot b_1^{\,2} + A_2 \cdot b_2^{\,2} + A_3 \cdot w^2\right)$$

$$I_{yy} = 9.839 \times 10^8 \cdot mm^4$$

$$S_{x1} := \frac{I_{xx}}{y_1} \qquad S_{x1} = 5.299 \times 10^7 \cdot mm^3 \qquad S_{x2} := \frac{I_{xx}}{y_2} \qquad S_{x2} = 2.863 \times 10^7 \cdot mm^3 \qquad \boxed{S_{x.min} := \min(S_{x1}, S_{x2})}$$

$$S_{yy} := \frac{I_{yy}}{0.5 b_1} \qquad S_{yy} = 6.452 \times 10^6 \cdot mm^3 \qquad \boxed{S_{x1.2} := S_{x1}} \qquad \boxed{S_{x2.2} := S_{x2}}$$

Déterminer la classe de la poutre :

Pour ce cas-ci, utiliser des épaisseurs suffisante pour avoir une section compacte pour l'âme et vérifier si l'aile est une section non-compacte, elle ne doit pas être en compression.

$$classe1 := \text{if}\left[\left(\max\left(\frac{b_1 - w}{2 \cdot t_1}, \frac{b_2 - w}{2 \cdot t_2}\right) \le \frac{170 \cdot MPa^{0.5}}{\sqrt{F_y}}\right), \text{"compacte"}, \text{"non-compacte"}\right]$$

classe1 = "compacte"

$$classe2 := \text{if}\left[\left(\frac{h}{w} \le \frac{1700MPa^{0.5}}{\sqrt{F_y}}\right), \text{"compacte"}, \text{"non-compacte"}\right]$$

classe2 = "non-compacte"

Les calculs qui suivent sont effectués pour une section compacte (aile et âme), il faut valider si la hauteur de la section comprimée de l'âme se situe à l'intérieur de d_c.

$$d_{c.max} := \frac{850 \cdot w}{\sqrt{F_y} \cdot MPa^{-0.5}} \qquad d_{c.max} = 590.647 \cdot mm$$

Calcul de résistance ultime (CSA/S6-06) :

$\phi_{ar} := 0.90$ acier d'armature

$\phi_{co} := 0.75$ béton

$\phi_{bo} := 0.80$ boulons

$\phi_{sc} := 0.85$ goujons

$\phi_{ac} := 0.95$ acier de charpente

Largeur effective de la dalle :

$be_1 := 0.25 \cdot L$ $\quad be_1 = 6.808 \times 10^3 \cdot mm$

$be_2 := S$ $\quad be_2 = 2.153 \times 10^3 \cdot mm$

$be_3 := b_1 + 12 \cdot t_c$ $\quad be_3 = 3.353 \times 10^3 \cdot mm$

$b_e := \min(be_1, be_2, be_3)$ $\quad b_e = 2.153 \times 10^3 \cdot mm$

$b_e = 2.153\,m$

Calcul selon la norme S6-06

Goujons :

$d_{sc} := 22mm$ $\quad A_{sc} := \frac{\pi}{4} \cdot d_{sc}^2$ $\quad A_{sc} = 380.133 \cdot mm^2$

$F_u := 415MPa$

$Q_r := \text{if}\left(0.5 \cdot \phi_{sc} \cdot A_{sc} \cdot \sqrt{f_c \cdot E_c} \le \phi_{sc} \cdot F_u \cdot A_{sc}, 0.4 \cdot d_{sc}^2 \cdot \sqrt{f_c \cdot E_c}, \phi_{sc} \cdot F_u \cdot A_{sc}\right)$ $\quad H_{sc.min} := 4 \cdot d_{sc}$

$Q_r = 145.58 \cdot kN$ $\quad H_{sc.min} = 88 \cdot mm$

$H_{util} := 125mm$

Acier d'armature :

$A_{sp} := 0mm^2$ $\quad f_{yp} := 300MPa$ $\quad d_{sp} := \frac{t_c}{2}$ distance entre la fibre la plus comprimée et l'acier d'armature

$P_1 := \phi \cdot A_s \cdot F_y$ $\quad P_1 = 2.089 \times 10^4 \cdot kN$

$P_2 := 0.85 \cdot \phi_c \cdot f_c \cdot b_e \cdot t_c + A_{sp} \cdot \phi_r \cdot f_{yp}$ $\quad P_2 = 8.716 \times 10^3 \cdot kN$

$P := \min(P_1, P_2)$ $\quad P = 8.716 \times 10^3 \cdot kN$

$N_{req} := \frac{P}{Q_r}$ $\quad N_{req} = 59.868$ Nombre de goujons entre la position de moment maximal et la position de moment nul

$N_{util} := 100$ $\quad \alpha := \text{if}\left(N_{util} > N_{req}, 1, \frac{N_{util}}{N_{req}}\right)$ $\quad \alpha = 1$ degré de connexion

Zone de moment positif :

$C_c := 0.85 \cdot \phi_c \cdot f_c \cdot b_e \cdot t_c$ $\quad C_c = 8.716 \times 10^3 \cdot kN$

$C_s := \phi_r \cdot A_{sp} \cdot f_{yp}$ $\quad C_s = 0 \cdot kN$

$C_{EQR} := N_{util} \cdot Q_r$ $\quad C_{EQR} = 1.456 \times 10^4 \cdot kN$

$C_1 := C_c + C_s$ $\quad C_1 = 8.716 \times 10^3 \cdot kN$

$C_2 := \phi \cdot A_s \cdot F_y$ $\quad C_2 = 2.089 \times 10^4 \cdot kN$

$C_3 := C_{EQR}$ $\quad C_3 = 1.456 \times 10^4 \cdot kN$

$C_r := \min(C_1, C_2, C_3)$ $\quad C_r = 8.716 \times 10^3 \cdot kN$

$C_1 := \min(C_1, C_3)$ $\quad C_1 = 8.716 \times 10^3 \cdot kN$

$CAS := \text{if}(C_1 > C_2, 1, 2)$

if(CAS = 1, "axe neutre dans la dalle", "axe neutre dans la poutre") = "axe neutre dans la poutre"

CAS # 1

$a := \text{if}\left(CAS = 1, \frac{C_2 - \phi_r \cdot A_{sp} \cdot f_{yp}}{0.85 \cdot \phi_c \cdot b_e \cdot f_c}, 0mm\right)$ $\quad a = 0 \cdot mm$

$C_c := \text{if}(CAS = 1, 0.85 \cdot \phi_c \cdot f_c \cdot b_e \cdot a, 0kN)$ $\quad C_c = 0 \cdot kN$

$e_c := \text{if}(CAS = 1, y_2 + t_c - 0.5 \cdot a, 0mm)$ $\quad e_c = 0 \cdot mm$

$e_s := \text{if}(CAS = 1, y_2 + t_c - d_{sp}, 0mm)$ $\quad e_s = 0 \cdot mm$

$M_{r1} := C_c \cdot e_c + C_s \cdot e_s$ $\quad M_{r1} = 0 \cdot kN \cdot m$

CAS # 2

$C_c := \text{if}(CAS = 2, 0.85 \cdot \phi_c \cdot f_c \cdot b_e \cdot t_c, 0kN)$ $\quad C_c = 8.716 \times 10^3 \cdot kN$

$C_p := \text{if}[CAS = 2, 0.5 \cdot (\phi \cdot A_s \cdot F_y - C_1), 0kN]$ $\quad C_p = 6.086 \times 10^3 \cdot kN$

$A_{tf} := b_1 \cdot t_1$ $\quad A_{tf} = 9.76 \times 10^3 \cdot mm^2$ $\quad t_{tf} := t_1$

$A_w := d \cdot w$ $\quad A_w = 2.482 \times 10^4 \cdot mm^2$

Cas 21 : Axe neutre dans l'aile de la poutre

Cas 22 : Axe neutre dans l'âme de la poutre

$CAS2 := \text{if}\left[\left(C_p < \phi \cdot A_{tf} \cdot F_y\right) \wedge CAS = 2, 21, \text{if}\left(C_p \geq \phi \cdot A_{tf} \cdot F_y \wedge CAS = 2, 22, 0\right)\right]$

$CAS2 = 22$

$$y_{tc} := \text{if}\left(CAS2 = 21, \frac{C_p}{\phi \cdot A_{tf} \cdot F_y} \cdot t_{tf}, \text{if}\left(CAS2 = 22, t_{tf} + \frac{C_p - \phi \cdot A_{tf} \cdot F_y}{\phi \cdot A_w \cdot F_y} \cdot d, 0mm\right)\right)$$

$y_{tc} = 689.101 \cdot mm$

Pour le cas # 21

$t_{cp} := \text{if}\left(CAS2 = 21, t_1 - y_{tc}, 0mm\right) \quad t_{cp} = 0 \cdot mm$

$d_p := \text{if}\left(CAS2 = 21, d - t_1 + t_{cp}, 0mm\right. \quad d_p = 0 \cdot mm$

$A_{st} := b_1 \cdot t_{cp} + h \cdot w + b_2 \cdot t_2 \qquad A_{st} = 5.306 \times 10^4 \cdot mm^2$

$$y_{cg} := \frac{b_1 \cdot t_{cp} \cdot \left(d_p - \frac{t_{cp}}{2}\right) + h \cdot w \cdot \left(t_2 + \frac{h}{2}\right) + b_2 \cdot t_2 \cdot \left(\frac{t_2}{2}\right)}{A_{st}} \qquad y_{cg} = 444.58 \cdot mm$$

$y_{bp} := \text{if}\left(CAS2 = 21, y_{cg}, 0mm\right) \qquad y_{bp} = 0 \cdot mm$

$y_{tp} := \text{if}\left(CAS2 = 21, d - y_{tc} - y_{cg}, 0mm\right) \qquad y_{tp} = 0 \cdot mm$

$d_b := d \qquad d_b = 1.909 \times 10^3 \cdot mm$

$e_c := \text{if}\left(CAS2 = 21, d_b + 0.5t_c - y_{bp}, 0mm\right) \qquad e_c = 0 \cdot mm$

$e_s := \text{if}\left(CAS2 = 21, d_b + t_c - d_{sp} - y_{bp}, 0mm\right) \qquad e_s = 0 \cdot mm$

$e_p := \text{if}\left(CAS2 = 21, d - y_{bp} - \frac{y_{tc}}{2}, 0mm\right) \qquad e_p = 0 \cdot mm$

$M_{r2} := C_c \cdot e_c + C_s \cdot e_s + C_p \cdot e_p \qquad M_{r2} = 0 \cdot kN \cdot m$

Pour le cas # 22

$d_p := d - y_{tc}$ $\qquad d_p = 1.22 \times 10^3 \cdot mm$

$h_p := d_p - t_2$ $\qquad h_p = 1.172 \times 10^3 \cdot mm$

$A_{st} := b_2 \cdot t_2 + h_p \cdot w$

$$y_{cg} := \frac{h_p \cdot w \cdot \left(\frac{h_p}{2} + t_2\right) + b_2 \cdot t_2 \cdot \frac{t_2}{2}}{A_{st}} \qquad y_{cg} = 232.749 \cdot mm$$

$y_{bp} := y_{cg}$ $\qquad y_{bp} = 232.749 \cdot mm$

$$y_{tp} := \frac{A_1 \cdot \left(\frac{t_1}{2}\right) + \left(y_{tc} - t_1\right) \cdot w \cdot \frac{y_{tc} + t_1}{2}}{A_1 + \left(y_{tc} - t_1\right) \cdot w} \qquad y_{tp} = 176.814 \cdot mm$$

$e_c := \text{if}\left(CAS2 = 22, d_b + 0.5t_c - y_{bp}, 0mm\right)$ $\qquad e_c = 1.803 \times 10^3 \cdot mm$

$e_s := \text{if}\left(CAS2 = 22, d_b + t_c - d_{sp} - y_{bp}, 0mm\right)$ $\qquad e_s = 1.803 \times 10^3 \cdot mm$

$e_p := \text{if}\left(CAS2 = 22, d_b - y_{bp} - y_{tp}, 0mm\right)$ $\qquad e_p = 1.499 \times 10^3 \cdot mm$

$M_{r3} := C_c \cdot e_c + C_s \cdot e_s + C_p \cdot e_p$ $\qquad M_{r3} = 24841 \cdot kN \cdot m$

Résistance ultime:

$M_r := \max\left(M_{r1}, M_{r2}, M_{r3}\right)$ $\qquad M_r = 24841 \cdot kN \cdot m$ $\qquad \boxed{M_{r.c_2} := M_r}$

Calcul des contraintes en service :

Propriétés de la section composite :

$n := \frac{E_s}{E_c}$ $\quad n = 8.843$

<u>Vérifier la position de l'axe neutre (pour be/n) :</u>

$y_s := y_2 + t_c$

$CAS3 := if\left[\frac{n \cdot A_s}{b_e} \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{2 \cdot b_e \cdot y_s}{n \cdot A_s}} - 1\right) \le t_c, 31, 32\right]$ $\quad CAS3 = 32$

Cas # 31 : axe neutre dans la dalle de béton
Cas # 32 : axe neutre dans la poutre en acier

$y_t := if\left[CAS3 = 31, \frac{n \cdot A_s}{b_e} \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{2 \cdot b_e \cdot y_s}{n \cdot A_s}} - 1\right), 0mm\right]$ $\quad y_t = 0 \cdot mm \quad y_{t.n_1} := y_t$

$y_b := if(CAS3 = 31, d + t_c - y_t, 0mm)$ $\quad y_b = 0 \cdot mm \quad y_{b.n_1} := y_b$

$I_{c.n_1} := if\left[CAS3 = 31, \frac{b_e}{n} \cdot \frac{y_t^3}{3} + I_{xx} + A_s \cdot (y_s - y_t)^2, 0mm^4\right]$ $\quad I_{c.n_1} = 0 \cdot mm^4$

$S_{b.n_1} := if\left(CAS3 = 31, \frac{I_{c.n_1}}{d + t_c - y_t}, 0mm^3\right)$ $\quad S_{b.n_1} = 0 \cdot mm^3$

$S_{t.n_1} := if\left(CAS3 = 31, \frac{I_{c.n_1}}{y_t}, 0mm^3\right)$ $\quad S_{t.n_1} = 0 \cdot mm^3$

$S_{tb.n_1} := if\left(CAS3 = 31, \frac{I_{c.n_1}}{y_t - t_c}, 0mm^3\right)$ $\quad S_{tb.n_1} = 0 \cdot mm^3$

$y_t := if\left[CAS3 = 32, \frac{\left(\frac{b_e}{n} \cdot t_c\right) \cdot 0.5 \cdot t_c + A_s \cdot y_s}{\frac{b_e}{n} \cdot t_c + A_s}, 0mm\right]$ $\quad y_t = 815.517 \cdot mm \quad y_{t.n_2} := y_t$

$y_b := if(CAS3 = 32, d + t_c - y_t, 0mm)$ $\quad y_b = 1.347 \times 10^3 \cdot mm \quad y_{b.n_2} := y_b$

$$I_{c.n_2} := \text{if}\left[CAS3 = 32, \frac{1}{12}\cdot\frac{b_e}{n}\cdot t_c^{\,3} + I_{xx} + \left(\frac{b_e}{n}\cdot t_c\right)\cdot\left(y_t - 0.5\cdot t_c\right)^2 + A_s\cdot\left(y_s - y_t\right)^2, 0mm^4\right]$$

$$I_{c.n_2} = 9.4\times 10^{10}\cdot mm^4$$

$$S_{b.n_2} := \text{if}\left(CAS3 = 32, \frac{I_{c.n_2}}{d + t_c - y_t}, 0mm^3\right) \qquad S_{b.n_2} = 6.976\times 10^{7}\cdot mm^3$$

$$S_{t.n_2} := \text{if}\left(CAS3 = 32, \frac{I_{c.n_2}}{y_t}, 0mm^3\right) \qquad S_{t.n_2} = 1.153\times 10^{8}\cdot mm^3$$

$$S_{tb.n_2} := \text{if}\left(CAS3 = 32, \frac{I_{c.n_2}}{y_t - t_c}, 0mm^3\right) \qquad S_{tb.n_2} = 1.674\times 10^{8}\cdot mm^3$$

<u>Vérifier la position de l'axe neutre (pour $b_e/3n$) :</u>

$$y_s := y_2 + t_c$$

$$CAS3 := \text{if}\left[\frac{3n\cdot A_s}{b_e}\cdot\left(\sqrt{1 + \frac{2\cdot b_e\cdot y_s}{3n\cdot A_s}} - 1\right) \le t_c, 31, 32\right] \qquad CAS3 = 32$$

Cas # 31 : axe neutre dans la dalle de béton
Cas # 32 : axe neutre dans la poutre en acier

$$y_t := \text{if}\left[CAS3 = 31, \frac{3n\cdot A_s}{b_e}\cdot\left(\sqrt{1 + \frac{2\cdot b_e\cdot y_s}{3n\cdot A_s}} - 1\right), 0mm\right] \qquad y_t = 0\cdot mm \qquad y_{t.3n_1} := y_t$$

$$y_b := \text{if}\left(CAS3 = 31, d + t_c - y_t, 0mm\right) \qquad y_b = 0\cdot mm \qquad y_{b.3n_1} := y_b$$

$$I_{c.3n_1} := \text{if}\left[CAS3 = 31, \frac{b_e}{3n}\cdot\frac{y_t^{\,3}}{3} + I_{xx} + A_s\cdot\left(y_s - y_t\right)^2, 0mm^4\right] \qquad I_{c.3n_1} = 0\cdot mm^4$$

$$S_{b.3n_1} := \text{if}\left(CAS3 = 31, \frac{I_{c.3n_1}}{d + t_c - y_t}, 0mm^3\right) \qquad S_{b.3n_1} = 0\cdot mm^3$$

$$S_{t.3n_1} := \text{if}\left(CAS3 = 31, \frac{I_{c.3n_1}}{y_t}, 0mm^3\right) \qquad S_{t.3n_1} = 0\cdot mm^3$$

$$S_{tb.3n_1} := \text{if}\left(CAS3 = 31, \frac{I_{c.3n_1}}{y_t - t_c}, 0mm^3\right) \qquad S_{tb.3n_1} = 0\cdot mm^3$$

$$y_t := \text{if}\left[CAS3 = 32, \frac{\left(\frac{b_e}{3n}\cdot t_c\right)\cdot 0.5\cdot t_c + A_s\cdot y_s}{\frac{b_e}{3n}\cdot t_c + A_s}, 0mm\right] \qquad y_t = 1.156\times 10^3\cdot mm \qquad y_{t.3n_2} := y_t$$

$$y_b := \text{if}\left(CAS3 = 32, d + t_c - y_t, 0mm\right) \qquad y_b = 1.007\times 10^3\cdot mm \qquad y_{b.3n_2} := y_b$$

$$I_{c.3n_2} := \text{if}\left[CAS3 = 32, \frac{1}{12}\cdot\frac{b_e}{3n}\cdot t_c^{\,3} + I_{xx} + \left(\frac{b_e}{3n}\cdot t_c\right)\cdot\left(y_t - 0.5\cdot t_c\right)^2 + A_s\cdot\left(y_s - y_t\right)^2, 0mm^4\right]$$

$$I_{c.3n_2} = 6.458\times 10^{10}\cdot mm^4$$

$$S_{b.3n_2} := \text{if}\left(CAS3 = 32, \frac{I_{c.3n_2}}{d + t_c - y_t}, 0mm^3\right) \qquad S_{b.3n_2} = 6.411\times 10^7\cdot mm^3$$

$$S_{t.3n_2} := \text{if}\left(CAS3 = 32, \frac{I_{c.3n_2}}{y_t}, 0mm^3\right) \qquad S_{t.3n_2} = 5.587\times 10^7\cdot mm^3$$

$$S_{tb.3n_2} := \text{if}\left(CAS3 = 32, \frac{I_{c.3n_2}}{y_t - t_c}, 0mm^3\right) \qquad S_{tb.3n_2} = 7.161\times 10^7\cdot mm^3$$

$S_{b.n.2} := \max(S_{b.n})$ $\boxed{S_{b.n.2} = 6.976\times 10^7\cdot mm^3}$ $S_{b.3n.2} := \max(S_{b.3n})$ $\boxed{S_{b.3n.2} = 6.411\times 10^7\cdot mm^3}$

$S_{t.n.2} := \max(S_{t.n})$ $\boxed{S_{t.n.2} = 1.153\times 10^8\cdot mm^3}$ $S_{t.3n.2} := \max(S_{t.3n})$ $\boxed{S_{t.3n.2} = 5.587\times 10^7\cdot mm^3}$

$S_{tb.n.2} := \max(S_{tb.n})$ $\boxed{S_{tb.n.2} = 1.674\times 10^8\cdot mm^3}$ $S_{tb.3n.2} := \max(S_{tb.3n})$ $\boxed{S_{tb.3n.2} = 7.161\times 10^7\cdot mm^3}$

$I_{c.n.2} := \max(I_{c.n})$ $\boxed{I_{c.n.2} = 9.4\times 10^{10}\cdot mm^4}$

$I_{c.3n.2} := \max(I_{c.3n})$ $\boxed{I_{c.3n.2} = 6.458\times 10^{10}\cdot mm^4}$

Vérifier la résistance de la section non-composite

$L_s := 5423mm$ $\qquad$ $L_{sv} := 1mm$

$yy_1 := y_2 - \frac{t_1}{2}$ $\qquad$ $yy_1 = 1.223 \times 10^3 \cdot mm$ $\qquad$ $b_1 := b_1$ $\qquad$ $b_2 := b_2$ $\qquad$ $t_1 := t_1$ $\qquad$ $t_2 := t_2$

$yy_2 := y_1 - \frac{t_2}{2}$ $\qquad$ $yy_2 = 645.624 \cdot mm$ $\qquad$ $A_1 := A_1$ $\qquad$ $A_2 := A_2$ $\qquad$ $S_{x_1} := S_{x1}$ $\qquad$ $S_{x_2} := S_{x2}$

$I_1 := \frac{b_1^3 \cdot t_1}{12}$ $\qquad$ $I_1 = 7.566 \times 10^7 \cdot mm^4$ $\qquad$ $y_1 := y_1$ $\qquad$ $y_2 := y_2$

$I_2 := \frac{b_2^3 \cdot t_2}{12}$ $\qquad$ $I_2 = 9.079 \times 10^8 \cdot mm^4$

$y_0 := \left| \frac{yy_1 \cdot I_1 - yy_2 \cdot I_2}{I_1 + I_2} \right|$ $\qquad$ $y_0 = 501.855 \cdot mm$

$M_c := 0.1kN \cdot m$

L'effort à considérer est Mc qui est moment qui agit sur la section non-composite,

$Ac := if(M_c < 0kN \cdot m, \text{"aile inf comprimée"}, \text{"aile sup comprimée"})$ $\qquad$ $Ac = \text{"aile sup comprimée"}$

Si la semelle la plus large est comprimée, y0 est négatif ce qui donne γ positif
Si la semelle la plus large est tendue, y0 est positif ce qui donne γ négatif

$s_{y0} := if[(Ac = \text{"aile inf comprimée"} \wedge b_2 > b_1) \vee (Ac = \text{"aile sup comprimée"} \wedge b_1 > b_2), -1, 1]$

$s_{y0} = 1$

$y_0 := s_{y0} \cdot y_0$ $\qquad$ $y_0 = 501.855 \cdot mm$

l'indice b concerne l'aile tendu et a l'aile comprimée

Si on veut calculer Mu pour le moment positif: l'aile comprimé aa = 1 et l'aile tendu bb = 2
Si on veut calculer Mu pour le moment négatif: l'aile comprimé aa = 2 et l'aile tendu bb = 1

$aa := if(Ac = \text{"aile sup comprimée"}, 1, 2)$

$bb := if(Ac = \text{"aile sup comprimée"}, 2, 1)$

$aa = 1$ $\qquad$ $bb = 2$

$$\gamma := \frac{1}{2 \cdot I_{xx}} \cdot \left[yy_{bb} \cdot \left[I_{bb} + b_{bb} \cdot t_{bb} \cdot \left(yy_{bb}\right)^2 + w \cdot \frac{\left(yy_{bb}\right)^3}{4} \right] - yy_{aa} \cdot \left[I_{aa} + b_{aa} \cdot t_{aa} \cdot \left(yy_{aa}\right)^2 + \frac{w \cdot \left(yy_{aa}\right)^3}{4} \right] \right] - y_0$$

$\gamma = -730.282 \cdot mm$

$\omega_2 := 1.0$ Sécuritaire

$$M_u := \frac{\omega_2 \cdot \pi}{L_s} \cdot \left[\sqrt{E_s \cdot I_{yy} \cdot G \cdot J + \left(\frac{\pi \cdot E_s}{L_s}\right)^2 \cdot I_{yy} \cdot C_w + \left(\frac{\gamma \cdot \pi \cdot E_s \cdot I_{yy}}{L_s}\right)^2} + \frac{\gamma \cdot \pi \cdot E_s \cdot I_{yy}}{L_s} \right] \qquad M_u = 2.983 \times 10^{11} \cdot kN \cdot m$$

$M_y := S_{x.min} \cdot F_y \qquad M_y = 1.002 \times 10^4 \cdot kN \cdot m$

$$M_{rS} := if\left[M_u > 0.67 \cdot M_y, \min\left[1.15 \cdot \phi \cdot M_y \cdot \left(1 - \frac{0.28 \cdot M_y}{M_u}\right), \phi \cdot M_y \right], \phi \cdot M_u \right]$$

$M_{rS} = 9.52 \times 10^3 \cdot kN \cdot m$

$$c_{réd} := if\left[\frac{2 \cdot y_{bb}}{w} > \frac{1900MPa}{\sqrt{F_y \cdot MPa}}, 1.0 - \frac{1}{300 + \frac{1200 \cdot A_{aa}}{A_3}} \cdot \left(\frac{2 \cdot y_{bb}}{w} - \frac{1900MPa}{\sqrt{\frac{M_{rS} \cdot MPa}{\phi \cdot S_{x.min}}}} \right), 1.0 \right] \qquad c_{réd} = 0.888$$

$c_{réd} := \min\left(c_{réd}, 1.0\right) \qquad c_{réd} = 0.888$

$M_r := M_{rS} \cdot c_{réd} \qquad M_r = 8.45 \times 10^3 \cdot kN \cdot m$

$$\boxed{M_{r.nc_2} := M_r}$$

Calcul de la résistance en cisaillement :

espacement des raidisseurs : $a := 1503mm$

résistance de l'acier : $F_{yw} := 350MPa$ $\phi := 0.95$

$$k_v := \text{if}\left[\frac{a}{h} < 1,4 + \frac{5.34}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}, 5.34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}\right] \qquad k_v = 11.908 \qquad \frac{h}{w} = 140.692$$

Utiliser des raidisseurs si h/w > 150

$$F_{cri} := \frac{290\cdot\sqrt{F_y\cdot k_v}\cdot MPa^{0.5}}{\frac{h}{w}} \qquad F_{cri} = 133.069\cdot MPa$$

$$F_{t.cri} := \left(0.50\cdot F_y - 0.866\cdot F_{cri}\right)\cdot\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{a}{h}\right)^2}} \qquad F_{t.cri} = 46.173\cdot MPa$$

$F_{t.cri} := 0MPa$

à l'appui (poutre sur appui simple) ce qui n'est pas le cas ici car pas à l'appui.

$$F_{s.cri} := F_{cri} + F_{t.cri} \qquad F_{s.cri} = 179.241\cdot MPa$$

$$F_{cre} := \frac{180000\cdot MPa\cdot k_v}{\left(\frac{h}{w}\right)^2} \qquad F_{cre} = 108.283\cdot MPa$$

$$F_{t.cre} := \left(0.50\cdot F_y - 0.866\cdot F_{cre}\right)\cdot\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{a}{h}\right)^2}} \qquad F_{t.cre} = 62.756\cdot MPa$$

$F_{t.cre} := 0MPa$

à l'appui (poutre sur appui simple) ce qui n'est pas le cas ici car pas à l'appui

$$F_{s.cre} := F_{cre} + F_{t.cre} \qquad F_{s.cre} = 171.039\cdot MPa$$

$$F_s := \begin{cases} \left(0.577\cdot F_{yw}\right) & \text{if } \frac{h}{w} \le 502\cdot\sqrt{\frac{k_v\cdot MPa}{F_y}} \\ F_{s.cri} & \text{if } \frac{h}{w} > 502\cdot\sqrt{\frac{k_v\cdot MPa}{F_y}} \wedge \frac{h}{w} \le 621\cdot\sqrt{\frac{k_v\cdot MPa}{F_y}} \\ F_{s.cre} & \text{if } \frac{h}{w} > 621\cdot\sqrt{\frac{k_v\cdot MPa}{F_y}} \end{cases} \qquad F_s = 171.039\cdot MPa$$

$$502\cdot\sqrt{\frac{k_v\cdot MPa}{F_y}} = 92.594 \qquad 621\cdot\sqrt{\frac{k_v\cdot MPa}{F_y}} = 114.544$$

$V_r := \phi\cdot h\cdot w\cdot \max(F_s)$ $V_r = 3.863\times 10^3\cdot kN$ $r_{f.V} := 0.49$ $V_r := r_{f.V}\cdot V_r$ $V_r = 1.893\times 10^3\cdot kN$ $V_{r.c_2} := V_r$

Déterminer les résistances : [redacted] $U_V := 1.0$ $U_M := 1.0$

$j := 1 .. \mathrm{rows}(x_c)$

$$V_{rr_j} := \begin{cases} U_V V_{r.c_1} & \text{if } j \le 3 \vee j \ge 11 \\ U_V V_{r.c_2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$M_{rr.c_j} := \begin{cases} U_M M_{r.c_1} & \text{if } j \le 4 \vee j \ge 10 \\ U_M M_{r.c_2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$M_{rr.nc_j} := \begin{cases} U_M M_{r.nc_1} & \text{if } j \le 4 \vee j \ge 10 \\ U_M M_{r.nc_2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

j = 1 => 0.0L
j = 2 => 0.1L
j = 3 => 0.2L
j = 4 => 0.25L
j = 5 => 0.3L
j = 6 => 0.4L
j = 7 => 0.5L
j = 8 => 0.6L
j = 9 => 0.7L
j = 10 => 0.75L
j = 11 => 0.8L
j = 12 => 0.9L
j = 13 => 1.0L

$V_{rr}^T = (2534\ \ 2534\ \ 2534\ \ 1893\ \ 1893\ \ 1893\ \ 1893\ \ 1893\ \ 1893\ \ 1893\ \ 2534\ \ 2534\ \ 2534) \cdot kN$

$M_{rr.c}^T = (20879\ \ 20879\ \ 20879\ \ 20879\ \ 24841\ \ 24841\ \ 24841\ \ 24841\ \ 24841\ \ 20879\ \ 20879\ \ 20879\ \ 20879) \cdot kN \cdot m$

$M_{rr.nc}^T = (7099\ \ 7099\ \ 7099\ \ 7099\ \ 8450\ \ 8450\ \ 8450\ \ 8450\ \ 8450\ \ 7099\ \ 7099\ \ 7099\ \ 7099) \cdot kN \cdot m$

$$S_{x1_j} := \begin{cases} S_{x1.1} & \text{if } j \le 4 \vee j \ge 10 \\ S_{x1.2} & \text{otherwise} \end{cases} \qquad S_{x2_j} := \begin{cases} S_{x2.1} & \text{if } j \le 4 \vee j \ge 10 \\ S_{x2.2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$S_{b.n_j} := \begin{cases} S_{b.n.1} & \text{if } j \le 4 \vee j \ge 10 \\ S_{b.n.2} & \text{otherwise} \end{cases} \quad S_{t.n_j} := \begin{cases} S_{t.n.1} & \text{if } j \le 4 \vee j \ge 10 \\ S_{t.n.2} & \text{otherwise} \end{cases} \quad S_{tb.n_j} := \begin{cases} S_{tb.n.1} & \text{if } j \le 4 \vee j \ge 10 \\ S_{tb.n.2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$S_{b.3n_j} := \begin{cases} S_{b.3n.1} & \text{if } j \le 4 \vee j \ge 10 \\ S_{b.3n.2} & \text{otherwise} \end{cases} \quad S_{t.3n_j} := \begin{cases} S_{t.3n.1} & \text{if } j \le 4 \vee j \ge 10 \\ S_{t.3n.2} & \text{otherwise} \end{cases} \quad S_{tb.3n_j} := \begin{cases} S_{tb.3n.1} & \text{if } j \le 4 \vee j \ge 10 \\ S_{tb.3n.2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Calcul des FCS pour le niveau 1 :

Cisaillement : $FCS_{V.niv1_j} := \dfrac{V_{rr_j} - V_{f.D_j}}{V_{f.L1_j}}$

$$\boxed{FCS_{V.niv1}{}^T = (1.39\ \ 1.73\ \ 2.25\ \ 1.89\ \ 2.2\ \ 3.07\ \ 4.52\ \ 3.07\ \ 2.2\ \ 1.89\ \ 2.25\ \ 1.73\ \ 1.39)}$$

Flexion (non-composite) : $FCS_{M.nc.niv1_j} := \dfrac{M_{rr.nc_j} - M_{f.D_j}}{\max\left(1kN\cdot m, M_{f.L1_j}\right)}$

$$\boxed{FCS_{M.nc.niv1}{}^T = (7098.51\ \ 1.67\ \ 0.85\ \ 0.7\ \ 0.76\ \ 0.64\ \ 0.61\ \ 0.64\ \ 0.76\ \ 0.7\ \ 0.85\ \ 1.67\ \ 7098.51)}$$

Flexion (composite) : $FCS_{M.c.niv1_j} := \dfrac{M_{rr.c_j} - M_{f.D_j}}{\max\left(1kN\cdot m, M_{f.L1_j}\right)}$

$$\boxed{FCS_{M.c.niv1}{}^T = (20879.46\ \ 5.28\ \ 2.89\ \ 2.44\ \ 2.61\ \ 2.26\ \ 2.16\ \ 2.26\ \ 2.61\ \ 2.44\ \ 2.89\ \ 5.28\ \ 20879.46)}$$

<u>Calcul de l'interaction Flexion-Cisaillement (non-mixte) :</u>

Section non-composite :

$$v_{D.nc_j} := \frac{0.727\cdot M_{f.D_j}}{M_{rr.nc_j}} + \frac{0.455\cdot V_{f.D_j}}{V_{rr_j}}$$

$$v_{D.nc}{}^T = (0.054\ \ 0.12\ \ 0.168\ \ 0.195\ \ 0.178\ \ 0.185\ \ 0.178\ \ 0.185\ \ 0.178\ \ 0.195\ \ 0.168\ \ 0.12\ \ 0.054)$$

$$v_{L1.nc_j} := \frac{0.727\cdot M_{f.L1_j}}{M_{rr.nc_j}} + \frac{0.455\cdot V_{f.L1_j}}{V_{rr_j}}$$

$$v_{L1.nc}{}^T = (0.289\ \ 0.629\ \ 0.881\ \ 1.034\ \ 0.956\ \ 1.014\ \ 1.007\ \ 1.014\ \ 0.956\ \ 1.034\ \ 0.881\ \ 0.629\ \ 0.289)$$

$$FCS_{MV.nc.niv1_j} := \frac{1 - v_{D.nc_j}}{v_{L1.nc_j}}$$

$$\boxed{FCS_{MV.nc.niv1}{}^T = (3.274\ \ 1.4\ \ 0.945\ \ 0.779\ \ 0.859\ \ 0.803\ \ 0.816\ \ 0.803\ \ 0.859\ \ 0.779\ \ 0.945\ \ 1.4\ \ 3.274)}$$

Section composite :

$$v_{D.c_j} := \frac{0.727 \cdot M_{f.D_j}}{M_{rr.c_j}} + \frac{0.455 \cdot V_{f.D_j}}{V_{rr_j}}$$

$$v_{D.c}^{T} = (0.054 \;\; 0.069 \;\; 0.079 \;\; 0.09 \;\; 0.08 \;\; 0.073 \;\; 0.06 \;\; 0.073 \;\; 0.08 \;\; 0.09 \;\; 0.079 \;\; 0.069 \;\; 0.054)$$

$$v_{L1.c_j} := \frac{0.727 \cdot M_{f.L1_j}}{M_{rr.c_j}} + \frac{0.455 \cdot V_{f.L1_j}}{V_{rr_j}}$$

$$v_{L1.c}^{T} = (0.289 \;\; 0.371 \;\; 0.423 \;\; 0.498 \;\; 0.453 \;\; 0.44 \;\; 0.409 \;\; 0.44 \;\; 0.453 \;\; 0.498 \;\; 0.423 \;\; 0.371 \;\; 0.289)$$

$$FCS_{MV.c.niv1_j} := \frac{1 - v_{D.c_j}}{v_{L1.c_j}}$$

$$\boxed{FCS_{MV.c.niv1}^{T} = (3.274 \;\; 2.508 \;\; 2.176 \;\; 1.827 \;\; 2.031 \;\; 2.109 \;\; 2.297 \;\; 2.109 \;\; 2.031 \;\; 1.827 \;\; 2.176 \;\; 2.508 \;\; 3.274)}$$

<u>Calcul en service :</u>

<u>Aile inférieure</u>

Section non-composite

$$\sigma_{b.D.nc_j} := \frac{M_{Ds_j} + M_{Db_j} + M_{Dc_j}}{S_{x1_j}}$$

$$\sigma_{b.D.nc}^{T} = (0 \;\; 16.632 \;\; 29.568 \;\; 34.65 \;\; 29.661 \;\; 33.899 \;\; 35.311 \;\; 33.899 \;\; 29.661 \;\; 34.65 \;\; 29.568 \;\; 16.632 \;\; 0) \cdot MPa$$

$$\sigma_{b.L1.nc_j} := \frac{M_{L1_j}}{S_{x1_j}}$$

$$\sigma_{b.L1.nc}^{T} = (0 \;\; 66.322 \;\; 117.634 \;\; 137.884 \;\; 117.778 \;\; 134.521 \;\; 140.037 \;\; 134.521 \;\; 117.778 \;\; 137.884 \;\; 117.634 \;\; 66.322 \;\; 0) \cdot MP$$

$$FCS_{b.nc.niv1_j} := \frac{\phi \cdot F_y - \sigma_{b.D.nc_j}}{\max\left(0.1MPa, \sigma_{b.L1.nc_j}\right)}$$

$$\boxed{FCS_{b.nc.niv1}^{T} = \left(3.325 \times 10^{3} \;\; 4.763 \;\; 2.575 \;\; 2.16 \;\; 2.571 \;\; 2.22 \;\; 2.122 \;\; 2.22 \;\; 2.571 \;\; 2.16 \;\; 2.575 \;\; 4.763 \;\; 3.325 \times 10^{3}\right)}$$

Section composite

$$\sigma_{b.D.c_j} := \frac{M_{Ds_j} + M_{Db_j}}{S_{x1_j}} + \frac{M_{Dc_j}}{S_{b.3n_j}}$$

$$\sigma_{b.D.c}{}^{T} = (0 \;\; 16.373 \;\; 29.108 \;\; 34.11 \;\; 29.254 \;\; 33.433 \;\; 34.826 \;\; 33.433 \;\; 29.254 \;\; 34.11 \;\; 29.108 \;\; 16.373 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$\sigma_{b.L1.c_j} := \frac{M_{L1_j}}{S_{b.n_j}}$$

$$\sigma_{b.L1.c}{}^{T} = (0 \;\; 48.81 \;\; 86.572 \;\; 101.474 \;\; 89.472 \;\; 102.191 \;\; 106.381 \;\; 102.191 \;\; 89.472 \;\; 101.474 \;\; 86.572 \;\; 48.81 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$FCS_{b.c.niv1_j} := \frac{\phi\cdot F_y - \sigma_{b.D.c_j}}{\max\left(1MPa, \sigma_{b.L1.c_j}\right)}$$

$$\boxed{FCS_{b.c.niv1}{}^{T} = (332.5 \;\; 6.477 \;\; 3.505 \;\; 2.941 \;\; 3.389 \;\; 2.927 \;\; 2.798 \;\; 2.927 \;\; 3.389 \;\; 2.941 \;\; 3.505 \;\; 6.477 \;\; 332.5)}$$

<u>Aile supérieure</u>

Section non-composite

$$\sigma_{tb.D.nc_j} := \frac{M_{Ds_j} + M_{Db_j} + M_{Dc_j}}{S_{x2_j}}$$

$$\sigma_{tb.D.nc}{}^{T} = (0 \;\; 27.851 \;\; 49.512 \;\; 58.022 \;\; 54.899 \;\; 62.741 \;\; 65.356 \;\; 62.741 \;\; 54.899 \;\; 58.022 \;\; 49.512 \;\; 27.851 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$\sigma_{tb.L1.nc_j} := \frac{M_{L1_j}}{S_{x2_j}}$$

$$\sigma_{tb.L1.nc}{}^{T} = (0 \;\; 111.06 \;\; 196.982 \;\; 230.891 \;\; 217.99 \;\; 248.979 \;\; 259.188 \;\; 248.979 \;\; 217.99 \;\; 230.891 \;\; 196.982 \;\; 111.06 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$FCS_{tb.nc.niv1_j} := \frac{\phi\cdot F_y - \sigma_{tb.D.nc_j}}{\max\left(1MPa, \sigma_{tb.L1.nc_j}\right)}$$

$$\boxed{FCS_{tb.nc.niv1}{}^{T} = (332.5 \;\; 2.743 \;\; 1.437 \;\; 1.189 \;\; 1.273 \;\; 1.083 \;\; 1.031 \;\; 1.083 \;\; 1.273 \;\; 1.189 \;\; 1.437 \;\; 2.743 \;\; 332.5)}$$

Section composite

$$\sigma_{tb.D.c_j} := \frac{M_{Ds_j} + M_{Db_j}}{S_{x2_j}} + \frac{M_{Dc_j}}{S_{tb.3n_j}}$$

$$\sigma_{tb.D.c}{}^T = (0 \;\; 26.447 \;\; 47.017 \;\; 55.097 \;\; 52.288 \;\; 59.757 \;\; 62.247 \;\; 59.757 \;\; 52.288 \;\; 55.097 \;\; 47.017 \;\; 26.447 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$\sigma_{tb.L1.c_j} := \frac{M_{L1_j}}{S_{tb.n_j}}$$

$$\sigma_{tb.L1.c}{}^T = (0 \;\; 16.438 \;\; 29.155 \;\; 34.174 \;\; 37.284 \;\; 42.585 \;\; 44.331 \;\; 42.585 \;\; 37.284 \;\; 34.174 \;\; 29.155 \;\; 16.438 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$FCS_{tb.c.niv1_j} := \frac{\phi\cdot F_y - \sigma_{tb.D.c_j}}{\max\left(1MPa, \sigma_{tb.L1.c_j}\right)}$$

$$\boxed{FCS_{tb.c.niv1}{}^T = (332.5 \;\; 18.619 \;\; 9.792 \;\; 8.117 \;\; 7.516 \;\; 6.405 \;\; 6.096 \;\; 6.405 \;\; 7.516 \;\; 8.117 \;\; 9.792 \;\; 18.619 \;\; 332.5)}$$

<u>Béton :</u>

Section composite

$$\sigma_{t.D.c_j} := \frac{M_{Dc_j}}{S_{t.3n_j}}\cdot\frac{1}{3\cdot n}$$

$$\sigma_{t.D.c}{}^T = (0 \;\; 0.04 \;\; 0.071 \;\; 0.083 \;\; 0.084 \;\; 0.096 \;\; 0.1 \;\; 0.096 \;\; 0.084 \;\; 0.083 \;\; 0.071 \;\; 0.04 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$\sigma_{t.L1.c_j} := \frac{M_{L1_j}}{S_{t.n_j}}\cdot\frac{1}{n}$$

$$\sigma_{t.L1.c}{}^T = (0 \;\; 2.851 \;\; 5.057 \;\; 5.927 \;\; 6.124 \;\; 6.994 \;\; 7.281 \;\; 6.994 \;\; 6.124 \;\; 5.927 \;\; 5.057 \;\; 2.851 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$FCS_{t.c.niv1_j} := \frac{\phi_c\cdot f_c - \sigma_{t.D.c_j}}{\max\left(0.1MPa, \sigma_{t.L1.c_j}\right)}$$

$$\boxed{FCS_{t.c.niv1}{}^T = (187.5 \;\; 6.562 \;\; 3.694 \;\; 3.149 \;\; 3.048 \;\; 2.667 \;\; 2.561 \;\; 2.667 \;\; 3.048 \;\; 3.149 \;\; 3.694 \;\; 6.562 \;\; 187.5)}$$

Calcul des FCS pour le niveau 2 :

Cisaillement : $FCS_{V.niv2_j} := \dfrac{V_{rr_j} - V_{f.D_j}}{V_{f.L2_j}}$

$$\boxed{FCS_{V.niv2}{}^T = (1.53\ \ 1.87\ \ 2.35\ \ 1.93\ \ 2.21\ \ 3.05\ \ 4.46\ \ 3.05\ \ 2.21\ \ 1.93\ \ 2.35\ \ 1.87\ \ 1.53)}$$

Flexion (non-composite) : $FCS_{M.nc.niv2_j} := \dfrac{M_{rr.nc_j} - M_{f.D_j}}{\max\left(1kN\cdot m, M_{f.L2_j}\right)}$

$$\boxed{FCS_{M.nc.niv2}{}^T = (7098.51\ \ 1.85\ \ 0.95\ \ 0.78\ \ 0.85\ \ 0.72\ \ 0.69\ \ 0.72\ \ 0.85\ \ 0.78\ \ 0.95\ \ 1.85\ \ 7098.51)}$$

Flexion (composite) : $FCS_{M.c.niv2_j} := \dfrac{M_{rr.c_j} - M_{f.D_j}}{\max\left(1kN\cdot m, M_{f.L2_j}\right)}$

$$\boxed{FCS_{M.c.niv2}{}^T = (20879.46\ \ 5.85\ \ 3.22\ \ 2.73\ \ 2.93\ \ 2.56\ \ 2.46\ \ 2.56\ \ 2.93\ \ 2.73\ \ 3.22\ \ 5.85\ \ 20879.46)}$$

<u>Calcul de l'interaction Flexion-Cisaillement (non-mixte) :</u>

Section non-composite :

$$v_{D.nc_j} := \frac{0.727\cdot M_{f.D_j}}{M_{rr.nc_j}} + \frac{0.455\cdot V_{f.D_j}}{V_{rr_j}}$$

$$v_{D.nc}{}^T = (0.054\ \ 0.12\ \ 0.168\ \ 0.195\ \ 0.178\ \ 0.185\ \ 0.178\ \ 0.185\ \ 0.178\ \ 0.195\ \ 0.168\ \ 0.12\ \ 0.054)$$

$$v_{L2.nc_j} := \frac{0.727\cdot M_{f.L2_j}}{M_{rr.nc_j}} + \frac{0.455\cdot V_{f.L2_j}}{V_{rr_j}}$$

$$v_{L2.nc}{}^T = (0.262\ \ 0.572\ \ 0.802\ \ 0.943\ \ 0.872\ \ 0.914\ \ 0.899\ \ 0.914\ \ 0.872\ \ 0.943\ \ 0.802\ \ 0.572\ \ 0.262)$$

$$FCS_{MV.nc.niv2_j} := \frac{1 - v_{D.nc_j}}{v_{L2.nc_j}}$$

$$\boxed{FCS_{MV.nc.niv2}{}^T = (3.615\ \ 1.538\ \ 1.037\ \ 0.854\ \ 0.942\ \ 0.891\ \ 0.914\ \ 0.891\ \ 0.942\ \ 0.854\ \ 1.037\ \ 1.538\ \ 3.615)}$$

Section composite :

$$v_{D.c_j} := \frac{0.727 \cdot M_{f.D_j}}{M_{rr.c_j}} + \frac{0.455 \cdot V_{f.D_j}}{V_{rr_j}}$$

$$v_{D.c}^{T} = (0.054 \;\; 0.069 \;\; 0.079 \;\; 0.09 \;\; 0.08 \;\; 0.073 \;\; 0.06 \;\; 0.073 \;\; 0.08 \;\; 0.09 \;\; 0.079 \;\; 0.069 \;\; 0.054)$$

$$v_{L2.c_j} := \frac{0.727 \cdot M_{f.L2_j}}{M_{rr.c_j}} + \frac{0.455 \cdot V_{f.L2_j}}{V_{rr_j}}$$

$$v_{L2.c}^{T} = (0.262 \;\; 0.339 \;\; 0.391 \;\; 0.464 \;\; 0.424 \;\; 0.406 \;\; 0.373 \;\; 0.406 \;\; 0.424 \;\; 0.464 \;\; 0.391 \;\; 0.339 \;\; 0.262)$$

$$FCS_{MV.c.niv2_j} := \frac{1 - v_{D.c_j}}{v_{L2.c_j}}$$

$$\boxed{FCS_{MV.c.niv2}^{T} = (3.615 \;\; 2.741 \;\; 2.354 \;\; 1.962 \;\; 2.171 \;\; 2.282 \;\; 2.517 \;\; 2.282 \;\; 2.171 \;\; 1.962 \;\; 2.354 \;\; 2.741 \;\; 3.615)}$$

<u>Calcul en service :</u>

<u>Aile inférieure</u>

Section non-composite

$$\sigma_{b.D.nc_j} := \frac{M_{Ds_j} + M_{Db_j} + M_{Dc_j}}{S_{x1_j}}$$

$$\sigma_{b.D.nc}^{T} = (0 \;\; 16.632 \;\; 29.568 \;\; 34.65 \;\; 29.661 \;\; 33.899 \;\; 35.311 \;\; 33.899 \;\; 29.661 \;\; 34.65 \;\; 29.568 \;\; 16.632 \;\; 0) \cdot MPa$$

$$\sigma_{b.L2.nc_j} := \frac{M_{L2_j}}{S_{x1_j}}$$

$$\sigma_{b.L2.nc}^{T} = (0 \;\; 59.872 \;\; 105.599 \;\; 123.197 \;\; 104.899 \;\; 118.88 \;\; 123.139 \;\; 118.88 \;\; 104.899 \;\; 123.197 \;\; 105.599 \;\; 59.872 \;\; 0) \cdot MPa$$

$$FCS_{b.nc.niv2_j} := \frac{\phi \cdot F_y - \sigma_{b.D.nc_j}}{\max\left(0.1MPa, \sigma_{b.L2.nc_j}\right)}$$

$$\boxed{FCS_{b.nc.niv2}^{T} = (3325 \;\; 5.276 \;\; 2.869 \;\; 2.418 \;\; 2.887 \;\; 2.512 \;\; 2.413 \;\; 2.512 \;\; 2.887 \;\; 2.418 \;\; 2.869 \;\; 5.276 \;\; 3325)}$$

Section composite

$$\sigma_{b.D.c_j} := \frac{M_{Ds_j} + M_{Db_j}}{S_{x1_j}} + \frac{M_{Dc_j}}{S_{b.3n_j}}$$

$$\sigma_{b.D.c}{}^{T} = (0 \;\; 16.373 \;\; 29.108 \;\; 34.11 \;\; 29.254 \;\; 33.433 \;\; 34.826 \;\; 33.433 \;\; 29.254 \;\; 34.11 \;\; 29.108 \;\; 16.373 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$\sigma_{b.L2.c_j} := \frac{M_{L2_j}}{S_{b.n_j}}$$

$$\sigma_{b.L2.c}{}^{T} = (0 \;\; 44.063 \;\; 77.714 \;\; 90.666 \;\; 79.688 \;\; 90.309 \;\; 93.545 \;\; 90.309 \;\; 79.688 \;\; 90.666 \;\; 77.714 \;\; 44.063 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$FCS_{b.c.niv2_j} := \frac{\phi\cdot F_y - \sigma_{b.D.c_j}}{\max\left(1MPa, \sigma_{b.L2.c_j}\right)}$$

$$\boxed{FCS_{b.c.niv2}{}^{T} = (332.5 \;\; 7.174 \;\; 3.904 \;\; 3.291 \;\; 3.805 \;\; 3.312 \;\; 3.182 \;\; 3.312 \;\; 3.805 \;\; 3.291 \;\; 3.904 \;\; 7.174 \;\; 332.5)}$$

<u>Aile supérieure</u>

Section non-composite

$$\sigma_{tb.D.nc_j} := \frac{M_{Ds_j} + M_{Db_j} + M_{Dc_j}}{S_{x2_j}}$$

$$\sigma_{tb.D.nc}{}^{T} = (0 \;\; 27.851 \;\; 49.512 \;\; 58.022 \;\; 54.899 \;\; 62.741 \;\; 65.356 \;\; 62.741 \;\; 54.899 \;\; 58.022 \;\; 49.512 \;\; 27.851 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$\sigma_{tb.L2.nc_j} := \frac{M_{L2_j}}{S_{x2_j}}$$

$$\sigma_{tb.L2.nc}{}^{T} = (0 \;\; 100.259 \;\; 176.829 \;\; 206.298 \;\; 194.152 \;\; 220.03 \;\; 227.913 \;\; 220.03 \;\; 194.152 \;\; 206.298 \;\; 176.829 \;\; 100.259 \;\; 0)\cdot M$$

$$FCS_{tb.nc.niv2_j} := \frac{\phi\cdot F_y - \sigma_{tb.D.nc_j}}{\max\left(1MPa, \sigma_{tb.L2.nc_j}\right)}$$

$$\boxed{FCS_{tb.nc.niv2}{}^{T} = (332.5 \;\; 3.039 \;\; 1.6 \;\; 1.33 \;\; 1.43 \;\; 1.226 \;\; 1.172 \;\; 1.226 \;\; 1.43 \;\; 1.33 \;\; 1.6 \;\; 3.039 \;\; 332.5)}$$

Section composite

$$\sigma_{tb.D.c_j} := \frac{M_{Ds_j} + M_{Db_j}}{S_{x2_j}} + \frac{M_{Dc_j}}{S_{tb.3n_j}}$$

$$\sigma_{tb.D.c}{}^T = (0 \;\; 26.447 \;\; 47.017 \;\; 55.097 \;\; 52.288 \;\; 59.757 \;\; 62.247 \;\; 59.757 \;\; 52.288 \;\; 55.097 \;\; 47.017 \;\; 26.447 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$\sigma_{tb.L2.c_j} := \frac{M_{L2_j}}{S_{tb.n_j}}$$

$$\sigma_{tb.L2.c}{}^T = (0 \;\; 14.839 \;\; 26.172 \;\; 30.534 \;\; 33.207 \;\; 37.633 \;\; 38.982 \;\; 37.633 \;\; 33.207 \;\; 30.534 \;\; 26.172 \;\; 14.839 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$FCS_{tb.c.niv2_j} := \frac{\phi\cdot F_y - \sigma_{tb.D.c_j}}{\max\left(1MPa, \sigma_{tb.L2.c_j}\right)}$$

$$\boxed{FCS_{tb.c.niv2}{}^T = (332.5 \;\; 20.625 \;\; 10.908 \;\; 9.085 \;\; 8.438 \;\; 7.247 \;\; 6.933 \;\; 7.247 \;\; 8.438 \;\; 9.085 \;\; 10.908 \;\; 20.625 \;\; 332.5)}$$

<u>Béton :</u>

Section composite

$$\sigma_{t.D.c_j} := \frac{M_{Dc_j}}{S_{t.3n_j}}\cdot\frac{1}{3\cdot n}$$

$$\sigma_{t.D.c}{}^T = (0 \;\; 0.04 \;\; 0.071 \;\; 0.083 \;\; 0.084 \;\; 0.096 \;\; 0.1 \;\; 0.096 \;\; 0.084 \;\; 0.083 \;\; 0.071 \;\; 0.04 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$\sigma_{t.L2.c_j} := \frac{M_{L2_j}}{S_{t.n_j}}\cdot\frac{1}{n}$$

$$\sigma_{t.L2.c}{}^T = (0 \;\; 2.574 \;\; 4.54 \;\; 5.296 \;\; 5.454 \;\; 6.181 \;\; 6.403 \;\; 6.181 \;\; 5.454 \;\; 5.296 \;\; 4.54 \;\; 2.574 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$FCS_{t.c.niv2_j} := \frac{\phi_c\cdot f_c - \sigma_{t.D.c_j}}{\max\left(0.1MPa, \sigma_{t.L2.c_j}\right)}$$

$$\boxed{FCS_{t.c.niv2}{}^T = (187.5 \;\; 7.269 \;\; 4.115 \;\; 3.525 \;\; 3.422 \;\; 3.018 \;\; 2.913 \;\; 3.018 \;\; 3.422 \;\; 3.525 \;\; 4.115 \;\; 7.269 \;\; 187.5)}$$

Calcul des FCS pour le niveau 3 :

Cisaillement : $FCS_{V.niv3_j} := \dfrac{V_{rr_j} - V_{f.D_j}}{V_{f.L3_j}}$

$$\boxed{FCS_{V.niv3}{}^T = (3.01\ \ 3.51\ \ 4.18\ \ 3.37\ \ 3.75\ \ 4.79\ \ 6.47\ \ 4.79\ \ 3.75\ \ 3.37\ \ 4.18\ \ 3.51\ \ 3.01)}$$

Flexion (non-composite) : $FCS_{M.nc.niv3_j} := \dfrac{M_{rr.nc_j} - M_{f.D_j}}{\max\left(1kN\cdot m, M_{f.L3_j}\right)}$

$$\boxed{FCS_{M.nc.niv3}{}^T = (7098.51\ \ 3.54\ \ 1.86\ \ 1.55\ \ 1.68\ \ 1.45\ \ 1.42\ \ 1.45\ \ 1.68\ \ 1.55\ \ 1.86\ \ 3.54\ \ 7098.51)}$$

Flexion (composite) : $FCS_{M.c.niv3_j} := \dfrac{M_{rr.c_j} - M_{f.D_j}}{\max\left(1kN\cdot m, M_{f.L3_j}\right)}$

$$\boxed{FCS_{M.c.niv3}{}^T = (20879.46\ \ 11.21\ \ 6.29\ \ 5.39\ \ 5.8\ \ 5.11\ \ 5.08\ \ 5.11\ \ 5.8\ \ 5.39\ \ 6.29\ \ 11.21\ \ 20879.46)}$$

<u>Calcul de l'interaction Flexion-Cisaillement (non-mixte) :</u>

Section non-composite :

$$v_{D.nc_j} := \frac{0.727\cdot M_{f.D_j}}{M_{rr.nc_j}} + \frac{0.455\cdot V_{f.D_j}}{V_{rr_j}}$$

$$v_{D.nc}{}^T = (0.054\ \ 0.12\ \ 0.168\ \ 0.195\ \ 0.178\ \ 0.185\ \ 0.178\ \ 0.185\ \ 0.178\ \ 0.195\ \ 0.168\ \ 0.12\ \ 0.054)$$

$$v_{L3.nc_j} := \frac{0.727\cdot M_{f.L3_j}}{M_{rr.nc_j}} + \frac{0.455\cdot V_{f.L3_j}}{V_{rr_j}}$$

$$v_{L3.nc}{}^T = (0.133\ \ 0.301\ \ 0.419\ \ 0.492\ \ 0.457\ \ 0.476\ \ 0.456\ \ 0.476\ \ 0.457\ \ 0.492\ \ 0.419\ \ 0.301\ \ 0.133)$$

$$FCS_{MV.nc.niv3_j} := \frac{1 - v_{D.nc_j}}{v_{L3.nc_j}}$$

$$\boxed{FCS_{MV.nc.niv3}{}^T = (7.094\ \ 2.923\ \ 1.985\ \ 1.636\ \ 1.8\ \ 1.71\ \ 1.804\ \ 1.71\ \ 1.8\ \ 1.636\ \ 1.985\ \ 2.923\ \ 7.094)}$$

Section composite :

$$v_{D.c_j} := \frac{0.727 \cdot M_{f.D_j}}{M_{rr.c_j}} + \frac{0.455 \cdot V_{f.D_j}}{V_{rr_j}}$$

$$v_{D.c}^{T} = (0.054 \;\; 0.069 \;\; 0.079 \;\; 0.09 \;\; 0.08 \;\; 0.073 \;\; 0.06 \;\; 0.073 \;\; 0.08 \;\; 0.09 \;\; 0.079 \;\; 0.069 \;\; 0.054)$$

$$v_{L3.c_j} := \frac{0.727 \cdot M_{f.L3_j}}{M_{rr.c_j}} + \frac{0.455 \cdot V_{f.L3_j}}{V_{rr_j}}$$

$$v_{L3.c}^{T} = (0.133 \;\; 0.18 \;\; 0.209 \;\; 0.249 \;\; 0.23 \;\; 0.223 \;\; 0.201 \;\; 0.223 \;\; 0.23 \;\; 0.249 \;\; 0.209 \;\; 0.18 \;\; 0.133)$$

$$FCS_{MV.c.niv3_j} := \frac{1 - v_{D.c_j}}{v_{L3.c_j}}$$

$$\boxed{FCS_{MV.c.niv3}^{T} = (7.094 \;\; 5.179 \;\; 4.405 \;\; 3.649 \;\; 3.997 \;\; 4.164 \;\; 4.664 \;\; 4.164 \;\; 3.997 \;\; 3.649 \;\; 4.405 \;\; 5.179 \;\; 7.094)}$$

<u>Calcul en service :</u>

<u>Aile inférieure</u>

Section non-composite

$$\sigma_{b.D.nc_j} := \frac{M_{Ds_j} + M_{Db_j} + M_{Dc_j}}{S_{x1_j}}$$

$$\sigma_{b.D.nc}^{T} = (0 \;\; 16.632 \;\; 29.568 \;\; 34.65 \;\; 29.661 \;\; 33.899 \;\; 35.311 \;\; 33.899 \;\; 29.661 \;\; 34.65 \;\; 29.568 \;\; 16.632 \;\; 0) \cdot MPa$$

$$\sigma_{b.L3.nc_j} := \frac{M_{L3_j}}{S_{x1_j}}$$

$$\sigma_{b.L3.nc}^{T} = (0 \;\; 31.236 \;\; 54.024 \;\; 62.394 \;\; 52.979 \;\; 59.395 \;\; 59.558 \;\; 59.395 \;\; 52.979 \;\; 62.394 \;\; 54.024 \;\; 31.236 \;\; 0) \cdot MPa$$

$$FCS_{b.nc.niv3_j} := \frac{\phi \cdot F_y - \sigma_{b.D.nc_j}}{\max\left(1MPa, \sigma_{b.L3.nc_j}\right)}$$

$$\boxed{FCS_{b.nc.niv3}^{T} = (332.5 \;\; 10.112 \;\; 5.607 \;\; 4.774 \;\; 5.716 \;\; 5.027 \;\; 4.99 \;\; 5.027 \;\; 5.716 \;\; 4.774 \;\; 5.607 \;\; 10.112 \;\; 332.5)}$$

Section composite

$$\sigma_{b.D.c_j} := \frac{M_{Ds_j} + M_{Db_j}}{S_{x1_j}} + \frac{M_{Dc_j}}{S_{b.3n_j}}$$

$$\sigma_{b.D.c}{}^{T} = (0 \quad 16.373 \quad 29.108 \quad 34.11 \quad 29.254 \quad 33.433 \quad 34.826 \quad 33.433 \quad 29.254 \quad 34.11 \quad 29.108 \quad 16.373 \quad 0)\cdot MPa$$

$$\sigma_{b.L3.c_j} := \frac{M_{L3_j}}{S_{b.n_j}}$$

$$\sigma_{b.L3.c}{}^{T} = (0 \quad 22.988 \quad 39.759 \quad 45.918 \quad 40.246 \quad 45.121 \quad 45.244 \quad 45.121 \quad 40.246 \quad 45.918 \quad 39.759 \quad 22.988 \quad 0)\cdot MPa$$

$$FCS_{b.c.niv3_j} := \frac{\phi\cdot F_y - \sigma_{b.D.c_j}}{\max\left(1MPa, \sigma_{b.L3.c_j}\right)}$$

$$\boxed{FCS_{b.c.niv3}{}^{T} = (332.5 \quad 13.752 \quad 7.631 \quad 6.498 \quad 7.535 \quad 6.628 \quad 6.579 \quad 6.628 \quad 7.535 \quad 6.498 \quad 7.631 \quad 13.752 \quad 332.5)}$$

<u>Aile supérieure</u>

Section non-composite

$$\sigma_{tb.D.nc_j} := \frac{M_{Ds_j} + M_{Db_j} + M_{Dc_j}}{S_{x2_j}}$$

$$\sigma_{tb.D.nc}{}^{T} = (0 \quad 27.851 \quad 49.512 \quad 58.022 \quad 54.899 \quad 62.741 \quad 65.356 \quad 62.741 \quad 54.899 \quad 58.022 \quad 49.512 \quad 27.851 \quad 0)\cdot MPa$$

$$\sigma_{tb.L3.nc_j} := \frac{M_{L3_j}}{S_{x2_j}}$$

$$\sigma_{tb.L3.nc}{}^{T} = (0 \quad 52.306 \quad 90.466 \quad 104.481 \quad 98.056 \quad 109.932 \quad 110.234 \quad 109.932 \quad 98.056 \quad 104.481 \quad 90.466 \quad 52.306 \quad 0)\cdot MPa$$

$$FCS_{tb.nc.niv3_j} := \frac{\phi\cdot F_y - \sigma_{tb.D.nc_j}}{\max\left(1MPa, \sigma_{tb.L3.nc_j}\right)}$$

$$\boxed{FCS_{tb.nc.niv3}{}^{T} = (332.5 \quad 5.824 \quad 3.128 \quad 2.627 \quad 2.831 \quad 2.454 \quad 2.423 \quad 2.454 \quad 2.831 \quad 2.627 \quad 3.128 \quad 5.824 \quad 332.5)}$$

Section composite

$$\sigma_{tb.D.c_j} := \frac{M_{Ds_j} + M_{Db_j}}{S_{x2_j}} + \frac{M_{Dc_j}}{S_{tb.3n_j}}$$

$$\sigma_{tb.D.c}{}^{T} = (0 \;\; 26.447 \;\; 47.017 \;\; 55.097 \;\; 52.288 \;\; 59.757 \;\; 62.247 \;\; 59.757 \;\; 52.288 \;\; 55.097 \;\; 47.017 \;\; 26.447 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$\sigma_{tb.L3.c_j} := \frac{M_{L3_j}}{S_{tb.n_j}}$$

$$\sigma_{tb.L3.c}{}^{T} = (0 \;\; 7.742 \;\; 13.39 \;\; 15.464 \;\; 16.771 \;\; 18.802 \;\; 18.854 \;\; 18.802 \;\; 16.771 \;\; 15.464 \;\; 13.39 \;\; 7.742 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$FCS_{tb.c.niv3_j} := \frac{\phi\cdot F_y - \sigma_{tb.D.c_j}}{\max\left(1MPa, \sigma_{tb.L3.c_j}\right)}$$

$$\boxed{FCS_{tb.c.niv3}{}^{T} = (332.5 \;\; 39.533 \;\; 21.321 \;\; 17.939 \;\; 16.708 \;\; 14.506 \;\; 14.334 \;\; 14.506 \;\; 16.708 \;\; 17.939 \;\; 21.321 \;\; 39.533 \;\; 332.5)}$$

<u>Béton :</u>

Section composite

$$\sigma_{t.D.c_j} := \frac{M_{Dc_j}}{S_{t.3n_j}}\cdot\frac{1}{3\cdot n}$$

$$\sigma_{t.D.c}{}^{T} = (0 \;\; 0.04 \;\; 0.071 \;\; 0.083 \;\; 0.084 \;\; 0.096 \;\; 0.1 \;\; 0.096 \;\; 0.084 \;\; 0.083 \;\; 0.071 \;\; 0.04 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$\sigma_{t.L3.c_j} := \frac{M_{L3_j}}{S_{t.n_j}}\cdot\frac{1}{n}$$

$$\sigma_{t.L3.c}{}^{T} = (0 \;\; 1.343 \;\; 2.322 \;\; 2.682 \;\; 2.755 \;\; 3.088 \;\; 3.097 \;\; 3.088 \;\; 2.755 \;\; 2.682 \;\; 2.322 \;\; 1.343 \;\; 0)\cdot MPa$$

$$FCS_{t.c.niv3_j} := \frac{\phi_c\cdot f_c - \sigma_{t.D.c_j}}{\max\left(0.1MPa, \sigma_{t.L3.c_j}\right)}$$

$$\boxed{FCS_{t.c.niv3}{}^{T} = (187.5 \;\; 13.934 \;\; 8.043 \;\; 6.96 \;\; 6.776 \;\; 6.04 \;\; 6.023 \;\; 6.04 \;\; 6.776 \;\; 6.96 \;\; 8.043 \;\; 13.934 \;\; 187.5)}$$

Calcul de la flèche :

$\Delta_{max.v.total} = 4.473 \times 10^{3} \cdot mm$ Calculé avec Ixc $\quad I_{xc} = 1 \times 10^{9} \cdot mm^{4}$

Calculé avec la section non-composite (utiliser l'inertie de la section 1 ce qui est conservateur)

$\Delta_{max.nc} := \Delta_{max.v.total} \cdot \frac{I_{xc}}{I_{xx.1}} \qquad \Delta_{max.nc} = 156.356 \cdot mm \qquad \frac{I_{xx.1}}{I_{xx.2}} = 0.806 \qquad \frac{L}{\Delta_{max.nc}} = 174.154$

Calculé avec la section non-composite (utiliser l'inertie de la section 1 ce qui est conservateur)

$\Delta_{max.c} := \Delta_{max.v.total} \cdot \frac{I_{xc}}{I_{c.n.1}} \qquad \Delta_{max.c} = 57.513 \cdot mm \qquad \frac{I_{c.n.1}}{I_{c.n.2}} = 0.827 \qquad \frac{L}{\Delta_{max.c}} = 473.456$

Résumé des résultats : nc = non-composite / c = composite

Niveau 1 :

$$FCS_{nc.niv1} := \min(\min(FCS_{V.niv1}), \min(FCS_{M.nc.niv1}), \min(FCS_{MV.nc.niv1}), \min(FCS_{b.nc.niv1}), \min(FCS_{tb.nc.niv1}))$$

$$\boxed{FCS_{nc.niv1} = 0.606}$$

$$FCS_{c.niv1} := \min(\min(FCS_{V.niv1}), \min(FCS_{M.c.niv1}), \min(FCS_{MV.c.niv1}), \min(FCS_{b.c.niv1}), \min(FCS_{tb.c.niv1}), \min(FCS_{t.c.niv1})$$

$$\boxed{FCS_{c.niv1} = 1.387}$$

$\min(FCS_{V.niv1}) = 1.387$	Ultime / Cisaillement	
$\min(FCS_{M.nc.niv1}) = 0.606$	$\min(FCS_{M.c.niv1}) = 2.161$	Ultime / Flexion
$\min(FCS_{MV.nc.niv1}) = 0.779$	$\min(FCS_{MV.c.niv1}) = 1.827$	Ultime / Interaction Flexion/cisaillement
$\min(FCS_{b.nc.niv1}) = 2.122$	$\min(FCS_{b.c.niv1}) = 2.798$	Service / Tension aile inférieure
$\min(FCS_{tb.nc.niv1}) = 1.031$	$\min(FCS_{tb.c.niv1}) = 6.096$	Service / Compression aile supérieure
	$\min(FCS_{t.c.niv1}) = 2.561$	Service / Compression béton

Niveau 2 :

$$FCS_{nc.niv2} := \min(\min(FCS_{V.niv2}), \min(FCS_{M.nc.niv2}), \min(FCS_{MV.nc.niv2}), \min(FCS_{b.nc.niv2}), \min(FCS_{tb.nc.niv2}))$$

$$\boxed{FCS_{nc.niv2} = 0.689}$$

$$FCS_{c.niv2} := \min(\min(FCS_{V.niv2}), \min(FCS_{M.c.niv2}), \min(FCS_{MV.c.niv2}), \min(FCS_{b.c.niv2}), \min(FCS_{tb.c.niv2}), \min(FCS_{t.c.niv}$$

$$\boxed{FCS_{c.niv2} = 1.531}$$

$\min(FCS_{V.niv2}) = 1.531$	Ultime / Cisaillement	
$\min(FCS_{M.nc.niv2}) = 0.689$	$\min(FCS_{M.c.niv2}) = 2.458$	Ultime / Flexion
$\min(FCS_{MV.nc.niv2}) = 0.854$	$\min(FCS_{MV.c.niv2}) = 1.962$	Ultime / Interaction Flexion/cisaillement
$\min(FCS_{b.nc.niv2}) = 2.413$	$\min(FCS_{b.c.niv2}) = 3.182$	Service / Tension aile inférieure
$\min(FCS_{tb.nc.niv2}) = 1.172$	$\min(FCS_{tb.c.niv2}) = 6.933$	Service / Compression aile supérieure
	$\min(FCS_{t.c.niv2}) = 2.913$	Service / Compression béton

Niveau 3 :

$FCS_{nc.niv3} := \min(\min(FCS_{V.niv3}), \min(FCS_{M.nc.niv3}), \min(FCS_{MV.nc.niv3}), \min(FCS_{b.nc.niv3}), \min(FCS_{tb.nc.niv3}))$

$\boxed{FCS_{nc.niv3} = 1.424}$

$FCS_{c.niv3} := \min(\min(FCS_{V.niv3}), \min(FCS_{M.c.niv3}), \min(FCS_{MV.c.niv3}), \min(FCS_{b.c.niv3}), \min(FCS_{tb.c.niv3}), \min(FCS_{t.c.niv}$

$\boxed{FCS_{c.niv3} = 3.005}$

$\min(FCS_{V.niv3}) = 3.005$	Ultime / Cisaillement	
$\min(FCS_{M.nc.niv3}) = 1.424$	$\min(FCS_{M.c.niv3}) = 5.082$	Ultime / Flexion
$\min(FCS_{MV.nc.niv3}) = 1.636$	$\min(FCS_{MV.c.niv3}) = 3.649$	Ultime / Interaction Flexion/cisaillement
$\min(FCS_{b.nc.niv3}) = 4.774$	$\min(FCS_{b.c.niv3}) = 6.498$	Service / Tension aile inférieure
$\min(FCS_{tb.nc.niv3}) = 2.423$	$\min(FCS_{tb.c.niv3}) = 14.334$	Service / Compression aile supérieure
	$\min(FCS_{t.c.niv3}) = 6.023$	Service / Compression béton

ÉTUDE DE LA CONCEPTION

ORIGINALE SELON LA

NORME DE L'ÉPOQUE

Calcul de la résistance originale (explication plausible) en utilisant la norme S6-78

Flexion $F_y := 350MPa$

$S_{b1} := 6.976 \cdot 10^7 mm^3$

$M_1 := 0.6 \cdot F_y \cdot S_{b1}$ $M_1 = 1.465 \times 10^4 \cdot kN \cdot m$

$S_{b2} := 5.504 \cdot 10^7 mm^3$

$M_2 := 0.6 \cdot F_y \cdot S_{b2}$ $M_2 = 1.156 \times 10^4 \cdot kN \cdot m$

$L := 27.23m$

Calcul de la charge distribuée équivalente:

$x_1 := 0.5 \cdot L$ $w_m := 1 \frac{kN}{m}$

given

$M_1 = w_m \cdot \frac{L}{2} \cdot x_1 - w_m \cdot x_1 \cdot \frac{x_1}{2}$

$w_{m1} := find(w_m)$ $w_{m1} = 158.059 \frac{kN}{m}$

Calcul de la charge distribuée équivalente:

$x_2 := 0.25 \cdot L$ $w_m := 1 \frac{kN}{m}$

Given

$M_2 = w_m \cdot \frac{L}{2} \cdot x_2 - w_m \cdot x_2 \cdot \frac{x_2}{2}$

$w_{m2} := Find(w_m)$ $w_{m2} = 166.277 \frac{kN}{m}$

Cisaillement

$w := 12.7mm \quad s_1 := 1219mm \quad h := 1829mm$

$f_{v1} := \left(920 \cdot \frac{w}{s_1}\right)^2 \cdot MPa \qquad f_{v1} = 91.87\,MPa$

$V_1 := f_{v1} \cdot w \cdot h \qquad V_1 = 2.134 \times 10^3\,kN$

$w_v := 1\,\frac{kN}{m}$

given

$V_1 = w_v \cdot \frac{L}{2}$

$w_{v1} := find(w_v) \qquad w_{v1} = 156.738\,\frac{kN}{m}$

$w := 12.7mm \quad s_2 := 1504mm \quad h := 1829mm$

$f_{v2} := \left(920 \cdot \frac{w}{s_2}\right)^2 \cdot MPa \qquad f_{v2} = 60.351\,MPa$

$V_2 := f_{v2} \cdot w \cdot h \qquad V_2 = 1.402 \times 10^3\,kN$

$w_v := 1\,\frac{kN}{m} \qquad x_v := 0.22L$

Given

$V_2 = w_v \cdot \frac{L}{2} - w_v \cdot x_v$

$w_{v2} := Find(w_v) \qquad w_{v2} = 183.865\,\frac{kN}{m}$

$w_t := min(w_{m1}, w_{m2}, w_{v1}, w_{v2}) \qquad w_t = 156.738\,\frac{kN}{m}$

$R := w_t \cdot \frac{L}{2}$ $\quad R = 2.134 \times 10^3\,kN$ $\quad kips := 1000lbf$ $\quad R = 479.741\,kips$

vs 450 kips
= capacité de
l'appareil d'appui

$w_d := 20\frac{kN}{m}$ Charge morte

$w_l := w_t - w_d$ $\quad w_l = 136.738\frac{kN}{m}$ Charge vive estimée

$S := 2.153m$ $\quad w_{l.p} := \frac{w_l}{S}$ $\quad w_{l.p} = 63.511\,kPa$

Évaluer la charge en kPa sous le multiligne :

$w_{multi} := \frac{11 \cdot 265kN}{(3.53m \cdot 10 \cdot 1.6m)}$ $\quad w_{multi} = 51.611\,kPa$

Si on considère un facteur d'impact de 25%, la charge devient

$w_{multi} := w_{multi} \cdot 1.25$ $\quad w_{multi} = 64.514\,kPa$

Cette valeur correspond donc à la charge distribuée estimé.

Il est fort probable que le concepteur ait utilisé la charge du multiligne comme une charge distribuée et qu'il a distribué cet effort sur la poutre tel une charge vive en kPa

Facteur d'essieu équivalent :

$f_{eq} := \frac{S}{3.53m}$ $\quad f_{eq} = 0.61$

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____ BPR

Nom du projet: _____ Par: P.L.

Date: _____

Sujet: _____ No du projet: _____

Calcul de la charge de flexion selon le concept original

Flexion au centre

- $M_R = 24841$ kN·m

$S_{bn} = 6.976 \cdot 10^7$ mm^3 $M = 0.95 \cdot 350 \cdot 6.796 \cdot 10^7$
$= 22597$ kN·m

$M_D = 507 + 1216 + 148 = 1871$ kN

$M_L = 10228 / (0.44/0.58) = 13482$ kN·m multiplier ($f_e = 1.0$)

Calcul original $M_s = 14650$ kNm avec $f_s = 0.6 f_y$

$M_{Df} = 1.06 \times 507 + 1.12 \times (1216 + 148) = 2065$ kN·m

① $M_{L_1} = \underset{1+J}{1.25} \cdot 13482 \cdot \underset{f_e}{0.61} = 10280$ kN·m

② $M_{L_2} = \underset{1+J}{1.10} \cdot 13482 \cdot \underset{f_e}{0.44} = 6525$ kN·m

$M_{Lf_1} = 1.42 \cdot 10280 = 14598$ kN·m

$M_{Lf_2} = 1.42 \cdot 6525 = 9266$ kN·m

Imprimerie J.B.R. inc.

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____ Par: P.L.

Date: _____

Sujet: _____ No du projet: _____

① FCS = (24641 - 2065) / 14598 = 1.56

② FCS = (24641 - 2065) / 9266 = 2.45

Le facteur d'erreur a un impact majeur sur le F.C.S.

La charge originale serait w = 156 kN/m

M = 136 × 2723²/8 = 12605 kN m

FCS = (24641 - 2065) / 1.42 · 12605 = 1.27

Le calcul original est sécuritaire compte tenu de la charge distribuée utilisée sur toute la longueur du pont et de facteurs d'erreur utilisés

Imprimerie J.B.R. inc

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

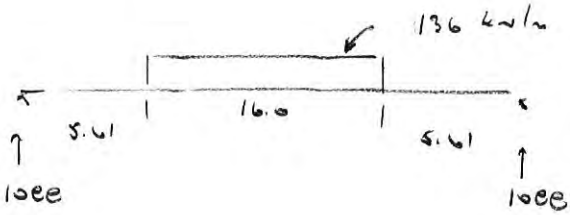
BPR

Nom du projet: _____ Par: P.L.

Date: _____

Sujet: _____ No du projet: _____

Comparer la charge distribuée sur le long du pont vs la charge sous les roues seulement



$M = 1066 \cdot 27.23/2 - 136 \cdot 8 \cdot 8/2 = 10461$ kN·m

$M = 136 \cdot 27.23^2/8$

$= 12605$ kN·m

$12605 / 10461 = \underline{1.20}$

Imprimerie J.B.R. inc

EVALUATION DE LA

CAPACITÉ POUR

L'AFFICHAGE

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____ Par: _____

_____ Date: _____

Sujet: _____ No du projet: _____

AFIN DE POUVOIR AFFICHER LA STRUCTURE DE CHAQUE COTÉ, LE PONT A ÉTÉ ÉVALUÉ POUR UN FARDIER DE 90 t. À PARTIR DE CE CHARGEMENT, UN FCS A ÉTÉ CALCULÉ.

TOUTEFOIS POUR L'AFFICHAGE, LES COEFFICIENTS DE PONDÉRATION DE CONCEPTION SERONT UTILISÉS POUR DONNER UNE SÉCURITÉ SUR DES CAS DE CHARGE QUI POURRAIENT AVOIR UN ARRANGEMENT DIFFÉRENT DES CHARGES D'ESSIEUX

Imprimerie J.B.R. inc

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

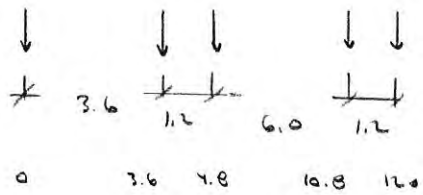
Nom du projet: _____ Par: P.L.

_____ Date: _____

Sujet: _____ No du projet: _____

Calcul des FCS pour le chargement de 90 t

Les charges sont les suivantes



Le critère le plus critique est le cisaillement

$V_{OS} = 74$ kN
$V_{OB} = 179$ kN
$V_{OC} = 22$ kN

$V_L = 901$ kN ($f.c = 1.0$, $J = 0.1$)

utiliser le facteur d'impact d'une structure neuve sans limitation de vitesse
→ $J = 0.25$

Le facteur d'usure à utiliser est de 0.64.

Evaluation $\alpha_{OS} = 1.06$ $\alpha_{OC} = 1.12$ $\alpha_L = 1.42$

$V_R = 2534$ kN

Imprimerie J.B.R. inc.

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____ Par: _____

_____ Date: _____

Sujet: _____ No du projet: _____

$$FCS = \frac{2534 - (1.06 \cdot 74 + 1.12 (179+22))}{1.42 \quad 0.58 \cdot 901} = \underline{3.01}$$

?

Calculé avec $f_c = \frac{0.64}{0.58}$

Si on utilise $\alpha_{D_s} = 1.10$ et $\alpha_{D_s} = 1.20$ et $\alpha_L = 1.7$

$$FCS = \frac{2534 - (1.10 \cdot 74 + 1.20 \cdot (179+22))}{1.7 \quad 0.58 \cdot 901 \quad \frac{1.25}{1.10}} = \underline{2.19}$$

$1.7 / 1.42 * 1.25 / 1.10 = 1.36$

$90\,t \times 2.19 = 197.1\,t$ → utiliser <u>200 t</u>

pour l'affichage

avec un maximum de

10 t par essieux

(176.6 kN)

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____ Par: P.L.

_____ Date: _____

Sujet: _____ No du projet: _____

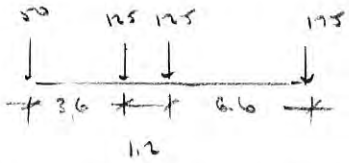
Charge en compression avec le CL625 niv 2

$FCS_v = 5.11$ pour 500 kN

pour 900 kN → FCS = 500/900 × 5.11

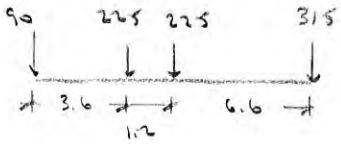
= 2.83 < 3.01

CL2

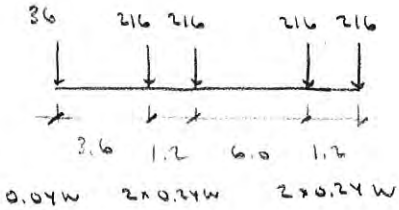


= 500 kN

CL2



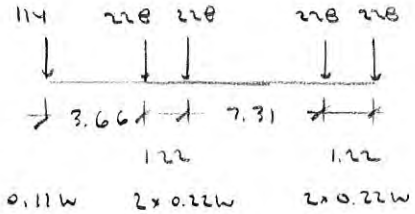
= 900 kN



← Camion de calcul pour la charge d'affichage

= 900 kN

Exemple de camion pour les axiles secondaires selon le livre de la SEBJ



1026 kN

= 100 t.

Imprimerie J.B.R. inc.

CALCUL DE LA DALLE

À PARTIR DES CHARGES

ORIGINALES

ET DES NOUVELLES CHARGES

DE TREMOREUX MULTICOUCHE

FEUILLE DE PROJET **NO.** _____ **de** _____

BPR

Nom du projet: _____ Par: P.L.

Date: _____

Sujet: _____ No du projet: _____

LES CALCULS QUI SUIVENT SONT DES ANALYSES PAR ÉLÉMENT FINIS POUR DÉTERMINER LA RÉSISTANCE DE LA DALLE AUX CHARGES CONCENTRÉES.

L'ABSENCE D'UNE POUTRE DE RIGIDITÉ AUX APPUIS AMÈNE UNE CERTAINE COMPLEXITÉ ET RÉDUIT DE FAÇON IMPORTANTE LA CAPACITÉ DE LA DALLE. L'ANALYSE A ÉTÉ FAITE SANS L'EFFET DU BIAIS.

Imprimerie J.B.R. Inc.

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____

Par: [illegible]

Date: 23 nov 12

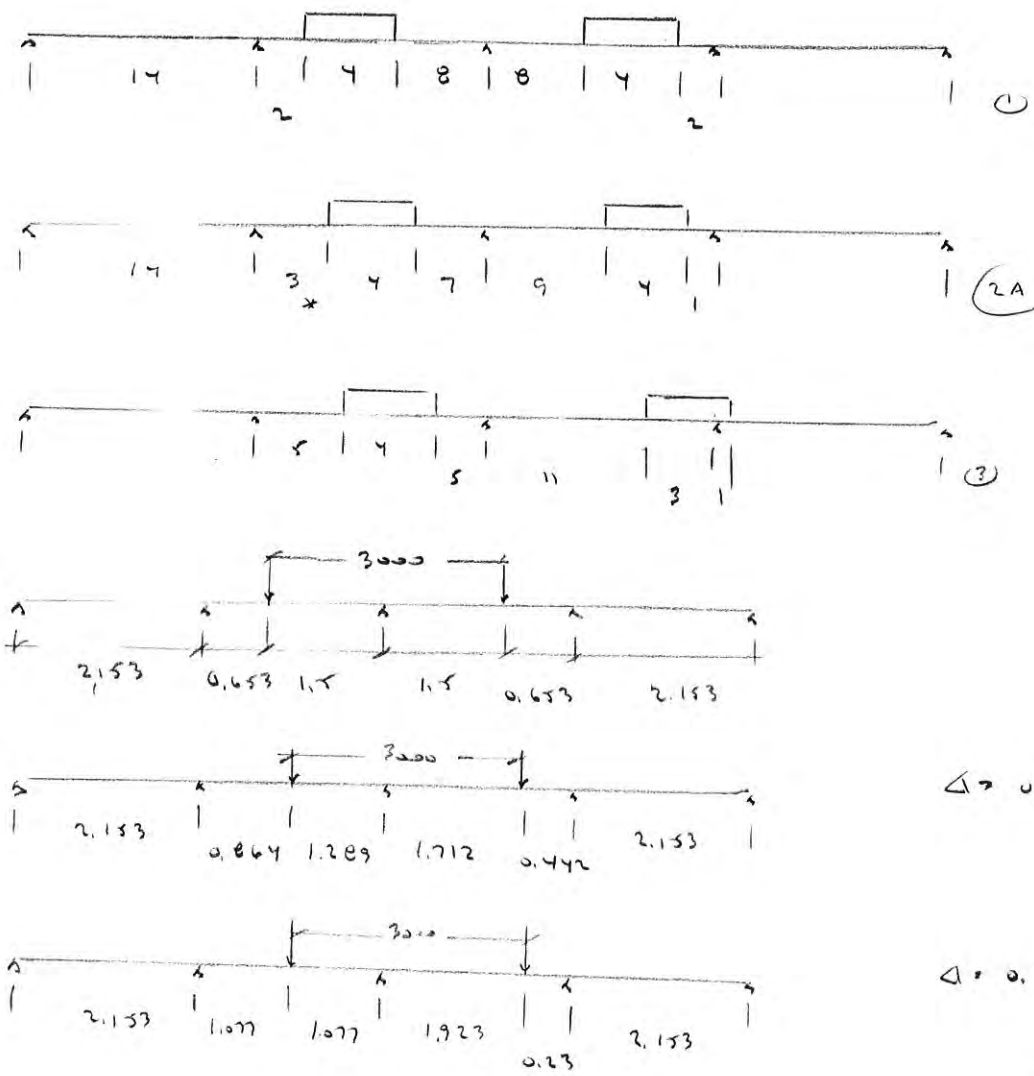
Sujet: _____

No du projet: _____

Calcul original de la dalle

P = 360 kN → Ch. essieux max.

$180/(0.24 \times 0.615) = 1219.5$ kPa



(2A) → * = (4)

Δ = 0.211

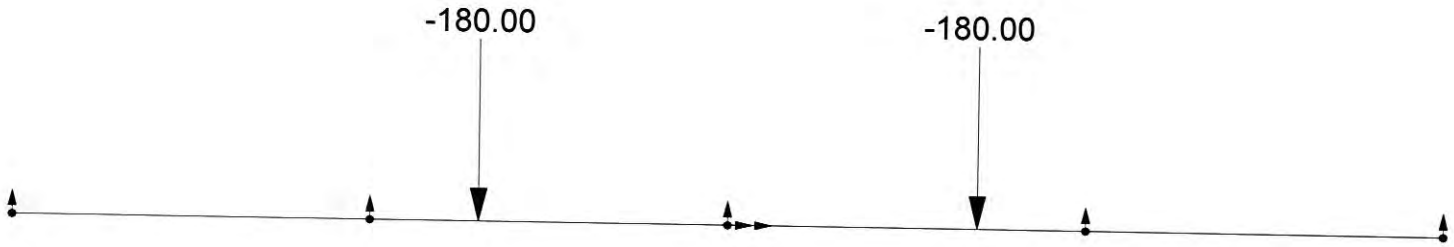
Δ = 0.423

$180/0.6 = 300$ kPa

Flexion selon

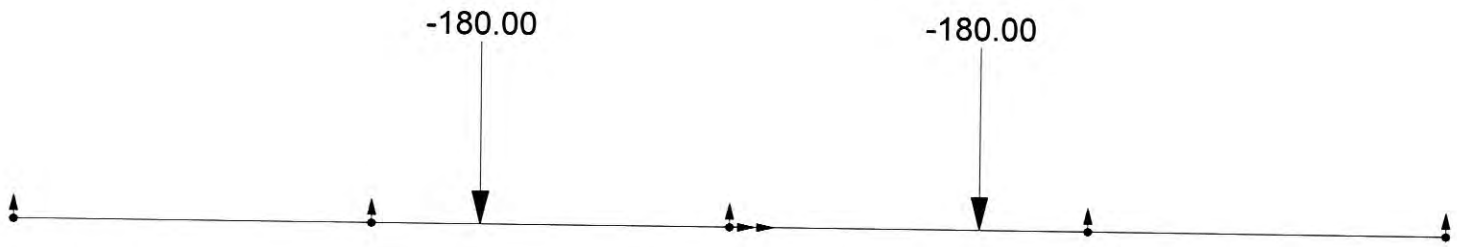
56.06

$180 \cdot (0.6 + 2.153)/10 = 49.6 \times 0.8 = 39.6$ kN/m

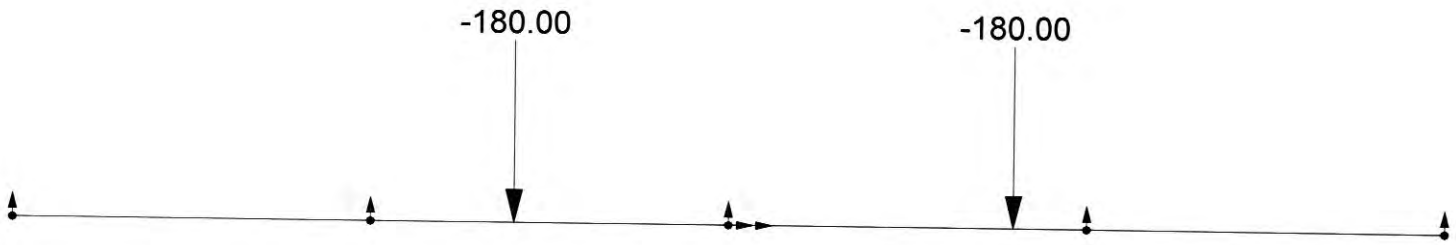


- Chargement : P 360 kN p1

Membrures
Ponctuelles (kN)

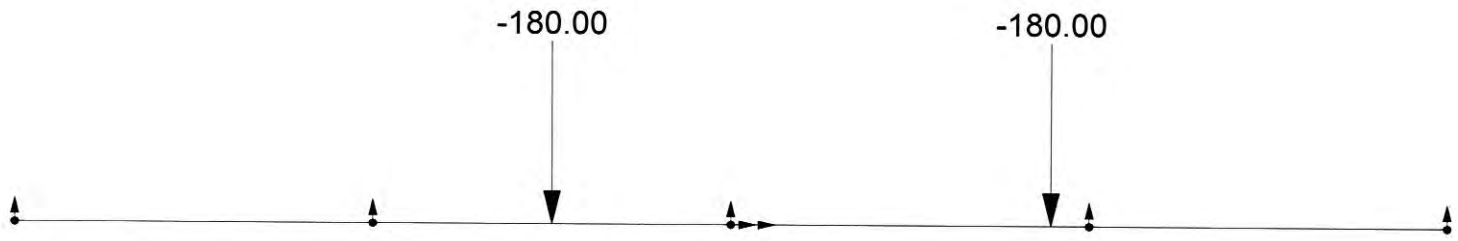


- Chargement : P 360 kN p1



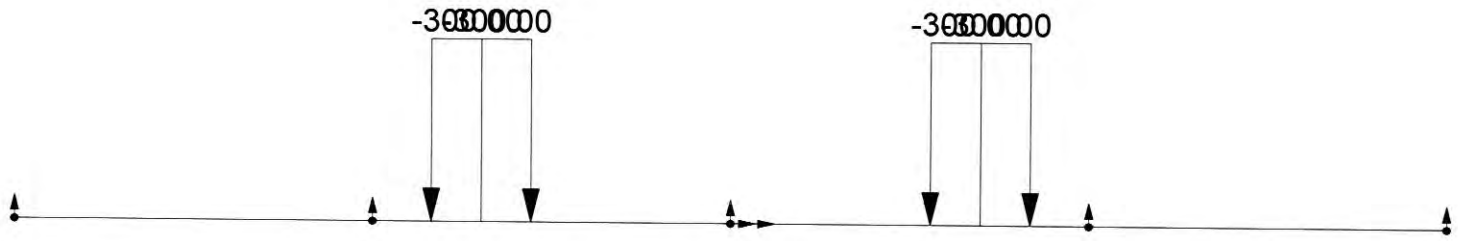
- Chargement : P 360 kN p2

Membrures
Ponctuelles (kN)

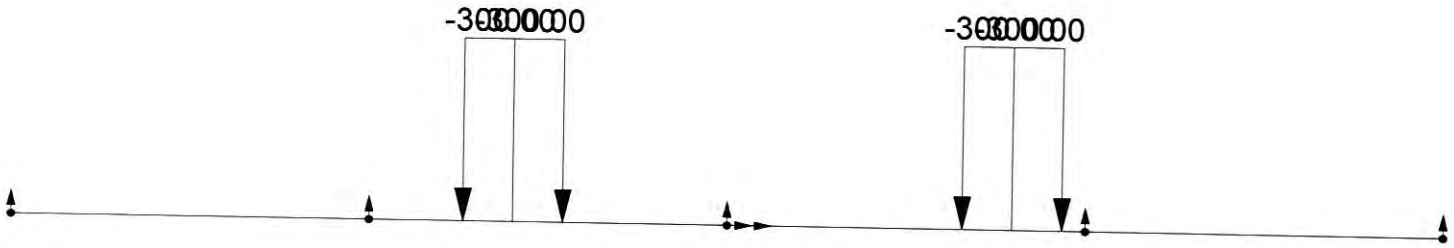


- Chargement : P 360 kN p3

Membrures
Réparties (kN/m)

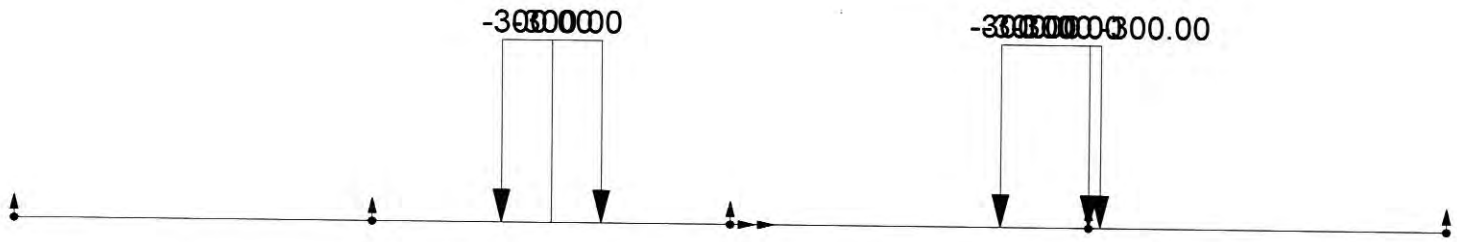


- Chargement : P 360 kN p1 D



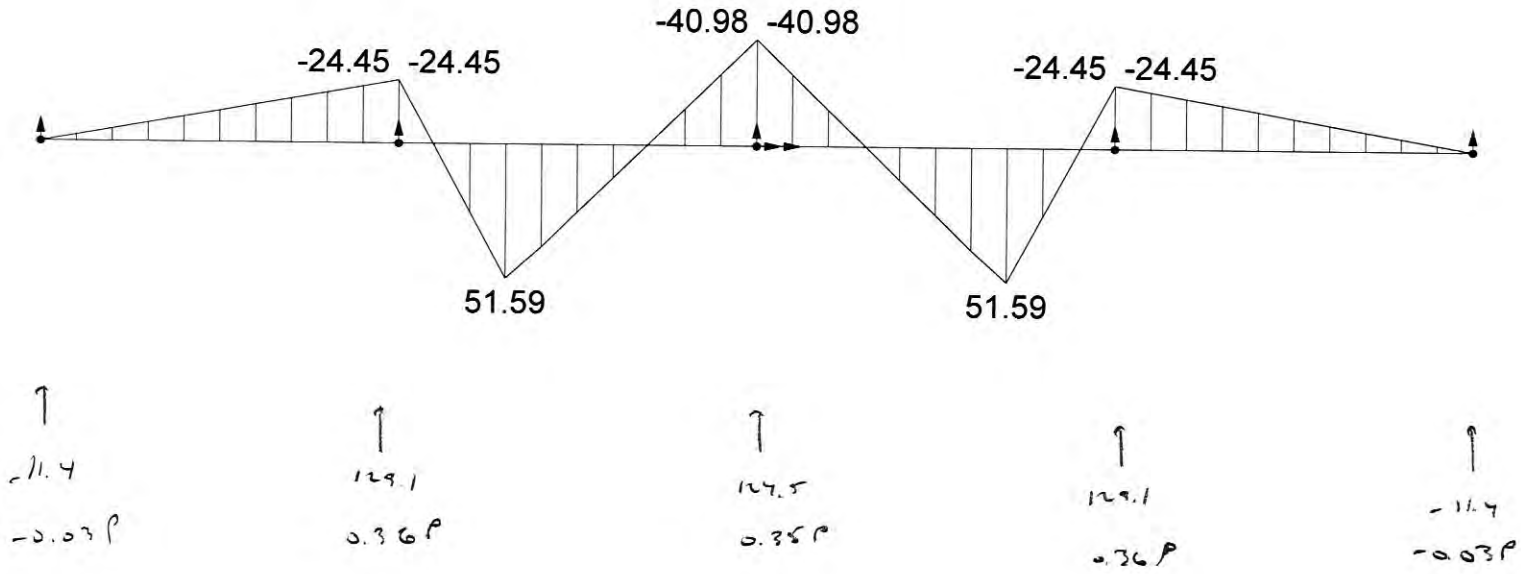
- Chargement : P 360 kN p2 D

Membrures
Réparties (kN/m)



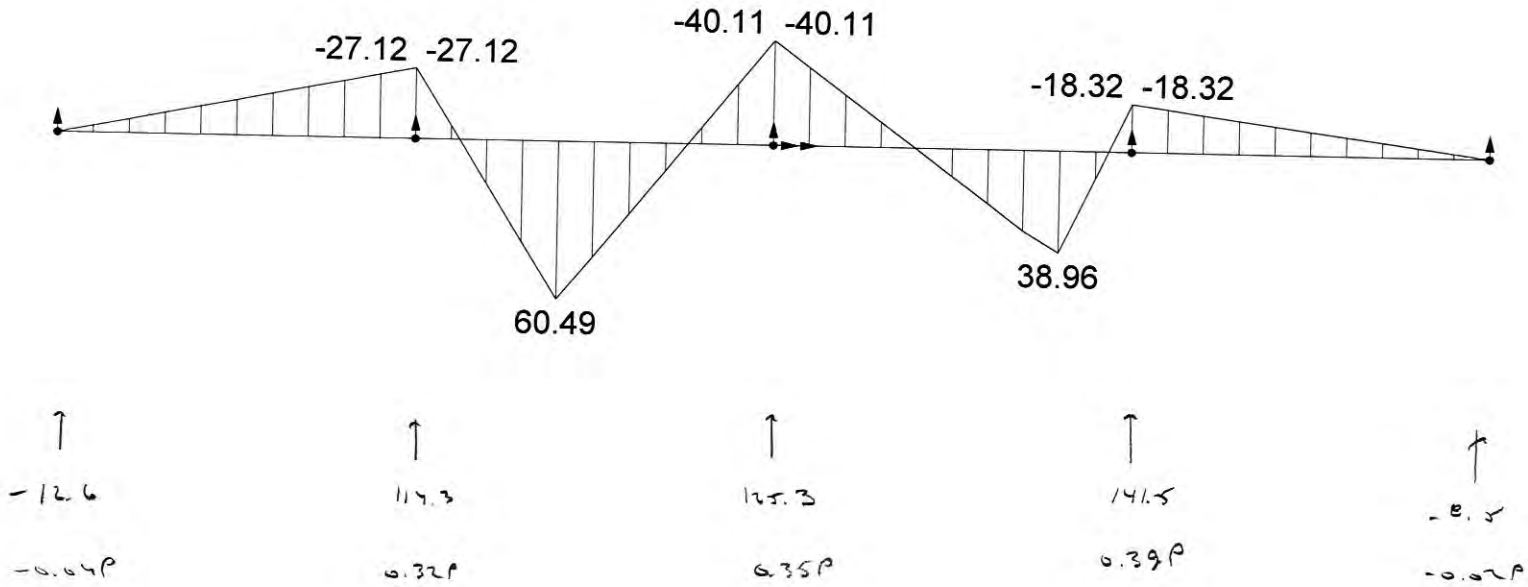
- Chargement : P 360 kN p3 D

Membrures
My (kN.m)



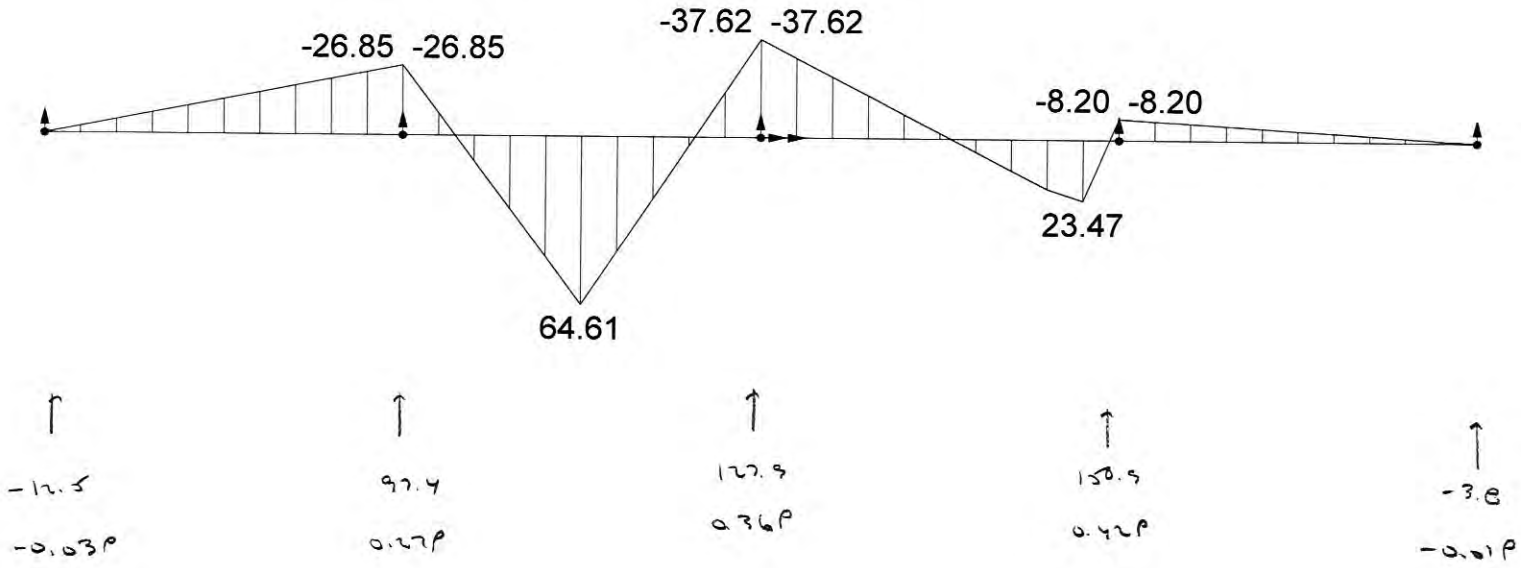
- Combinaison : P 360 kN p1

Membrures
My (kN.m)



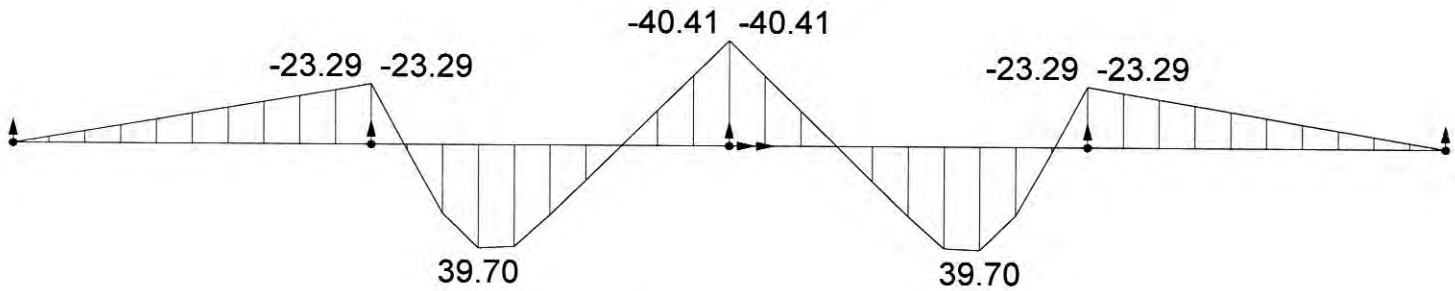
- Combinaison : P 360 kN p2

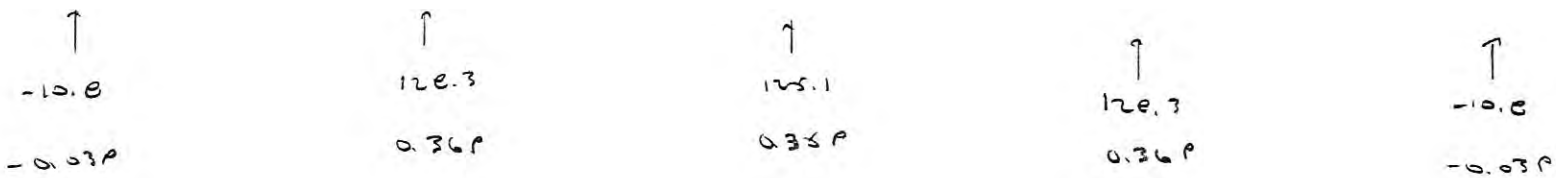
Membrures
My (kN.m)



- Combinaison : P 360 kN p3

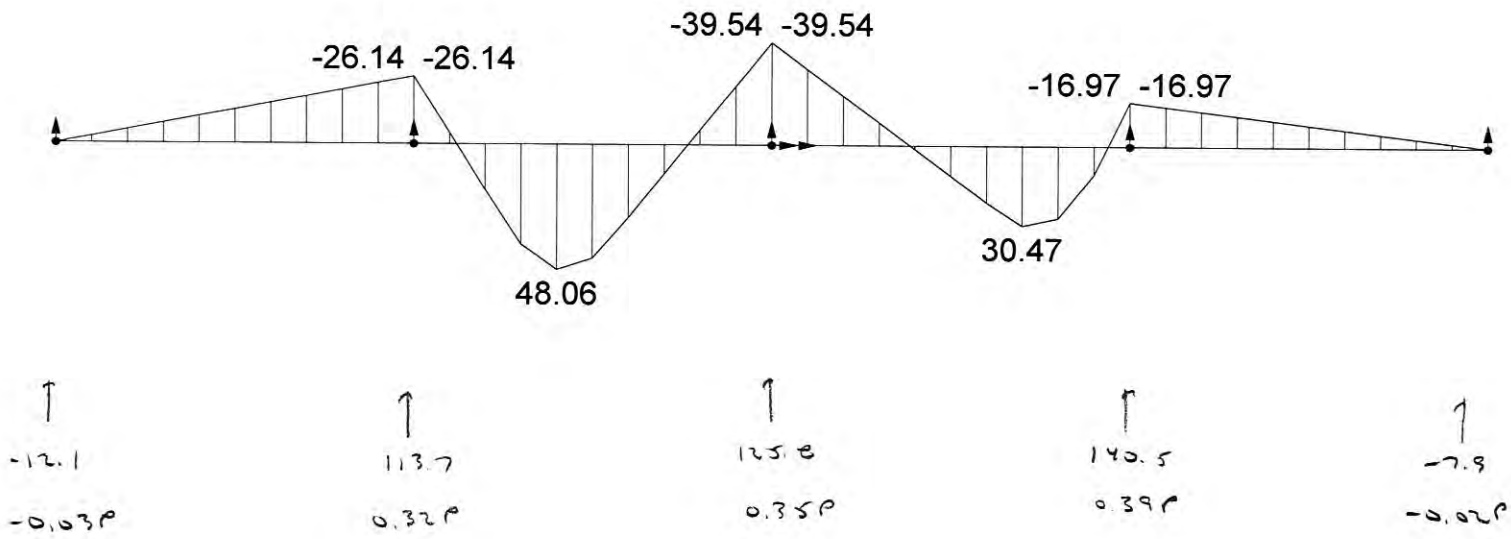
Membrures
My (kN.m)





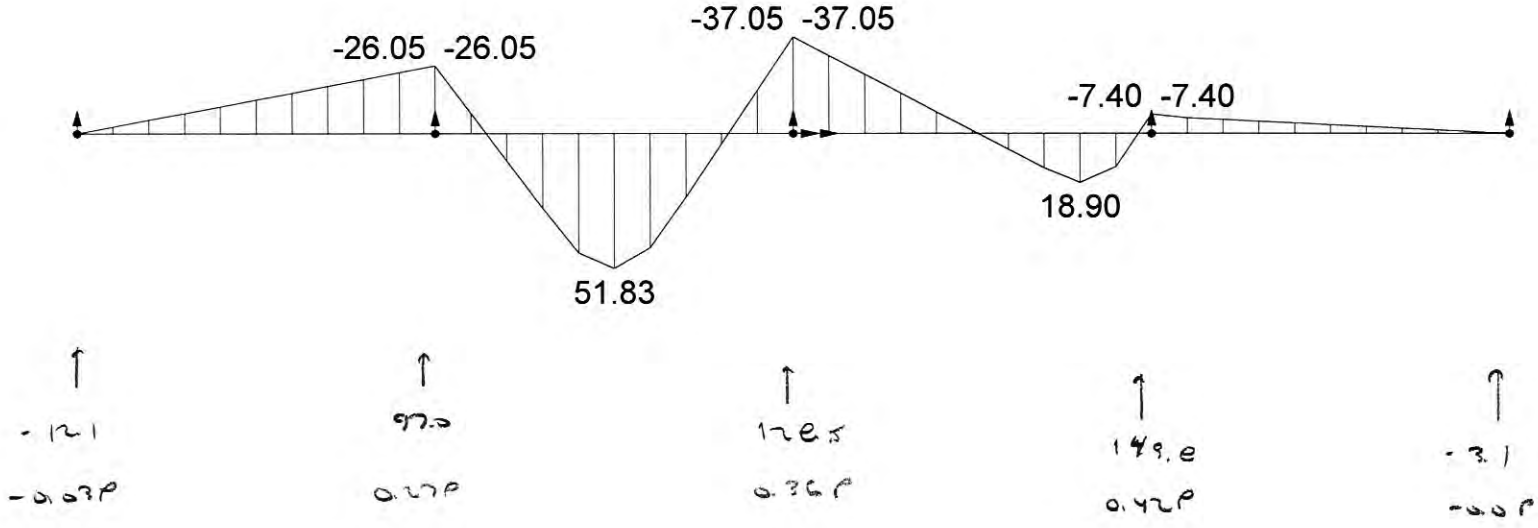
- Combinaison : P 360 kN p1 D

Membrures
My (kN.m)

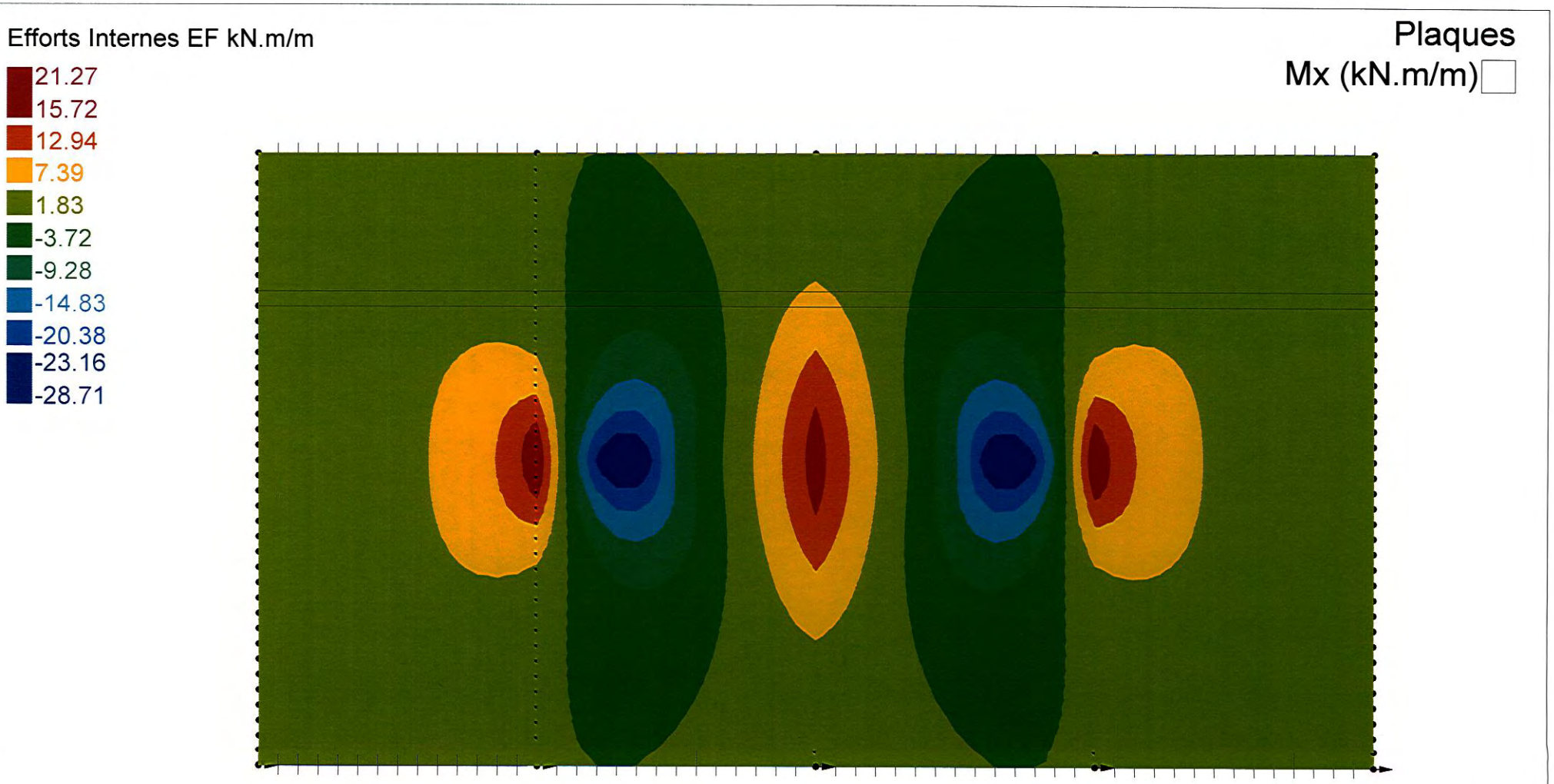


- Combinaison : P 360 kN p2 D

Membrures
My (kN.m)



- Combinaison : P 360 kN p3 D

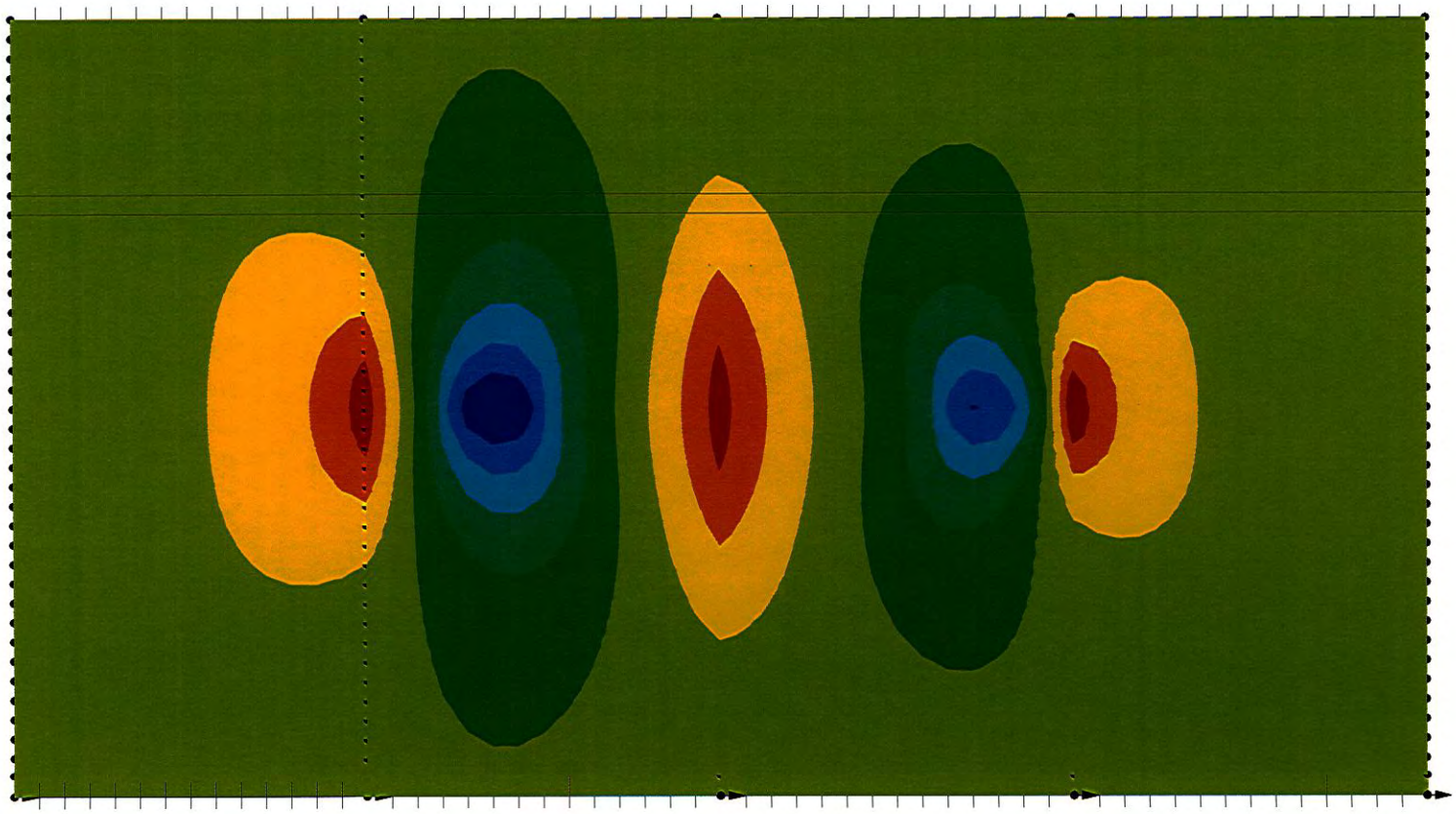


- Combinaison : P 360 kN p1

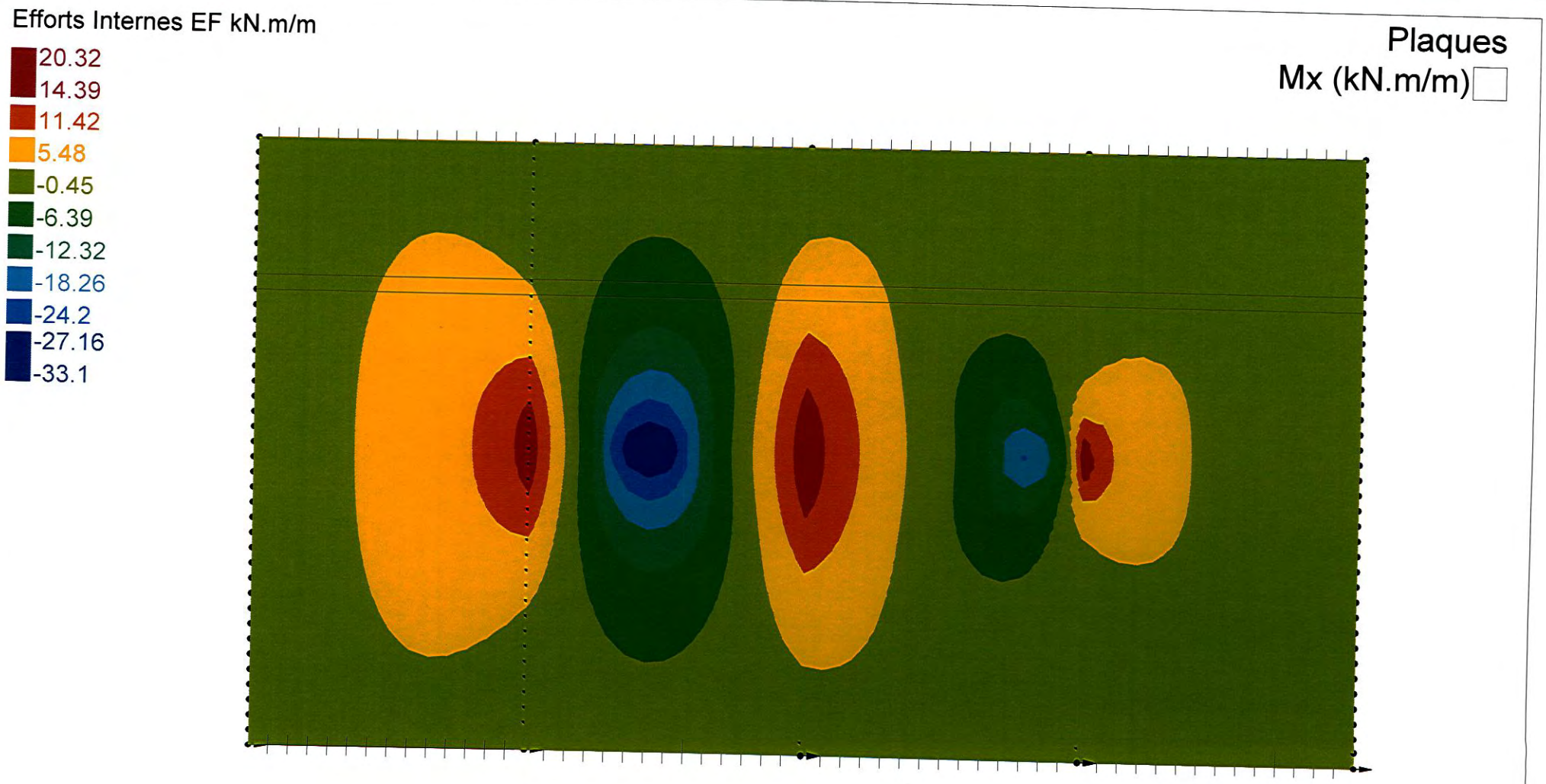
Efforts Internes EF kN.m/m

22.06
16.12
13.14
7.2
1.26
-4.68
-10.63
-16.57
-22.51
-25.49
-31.43

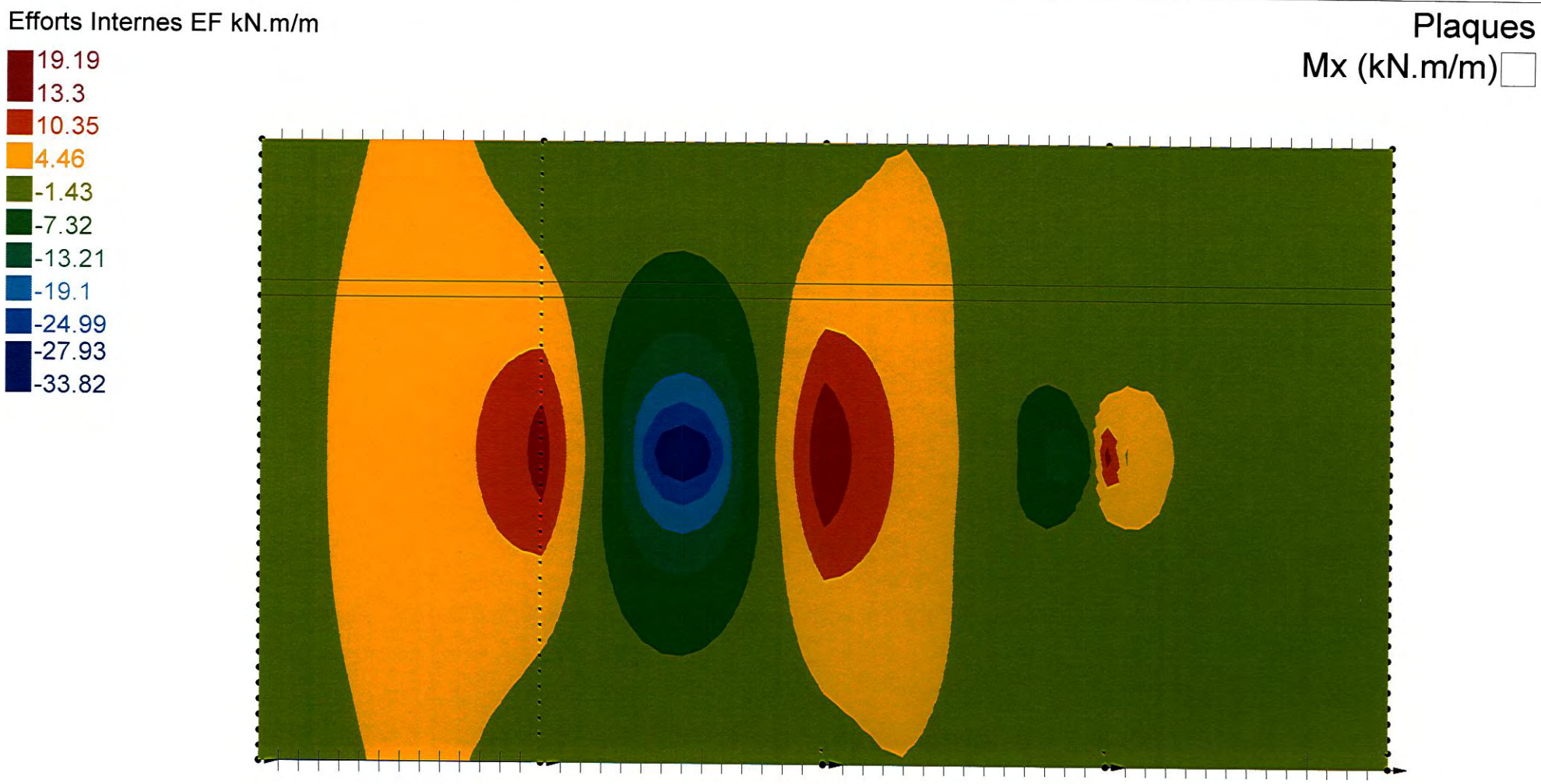
Plaques
Mx (kN.m/m)



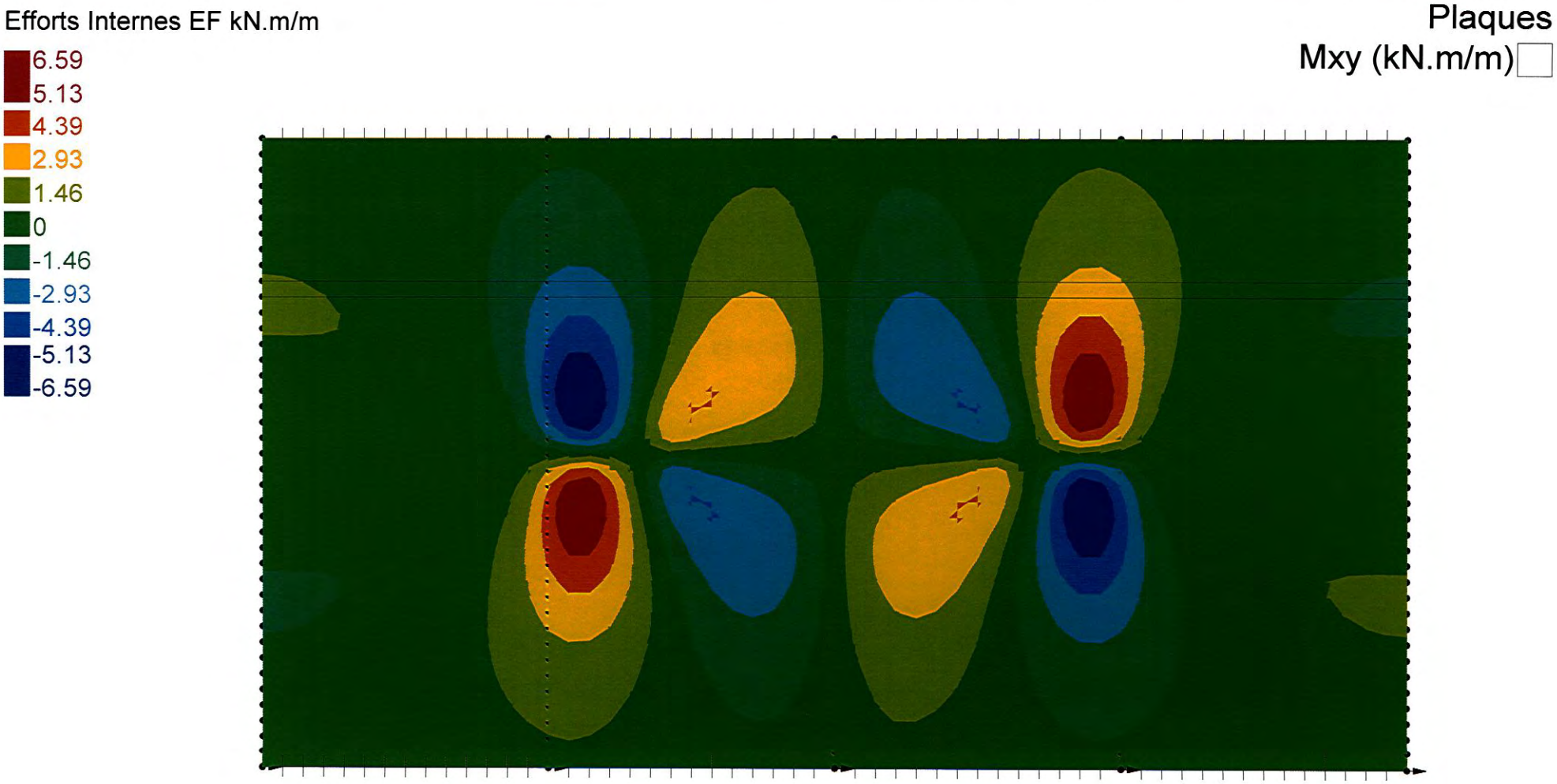
- Combinaison : P 360 kN p2a



- Combinaison : P 360 kN p2b



- Combinaison : P 360 kN p3

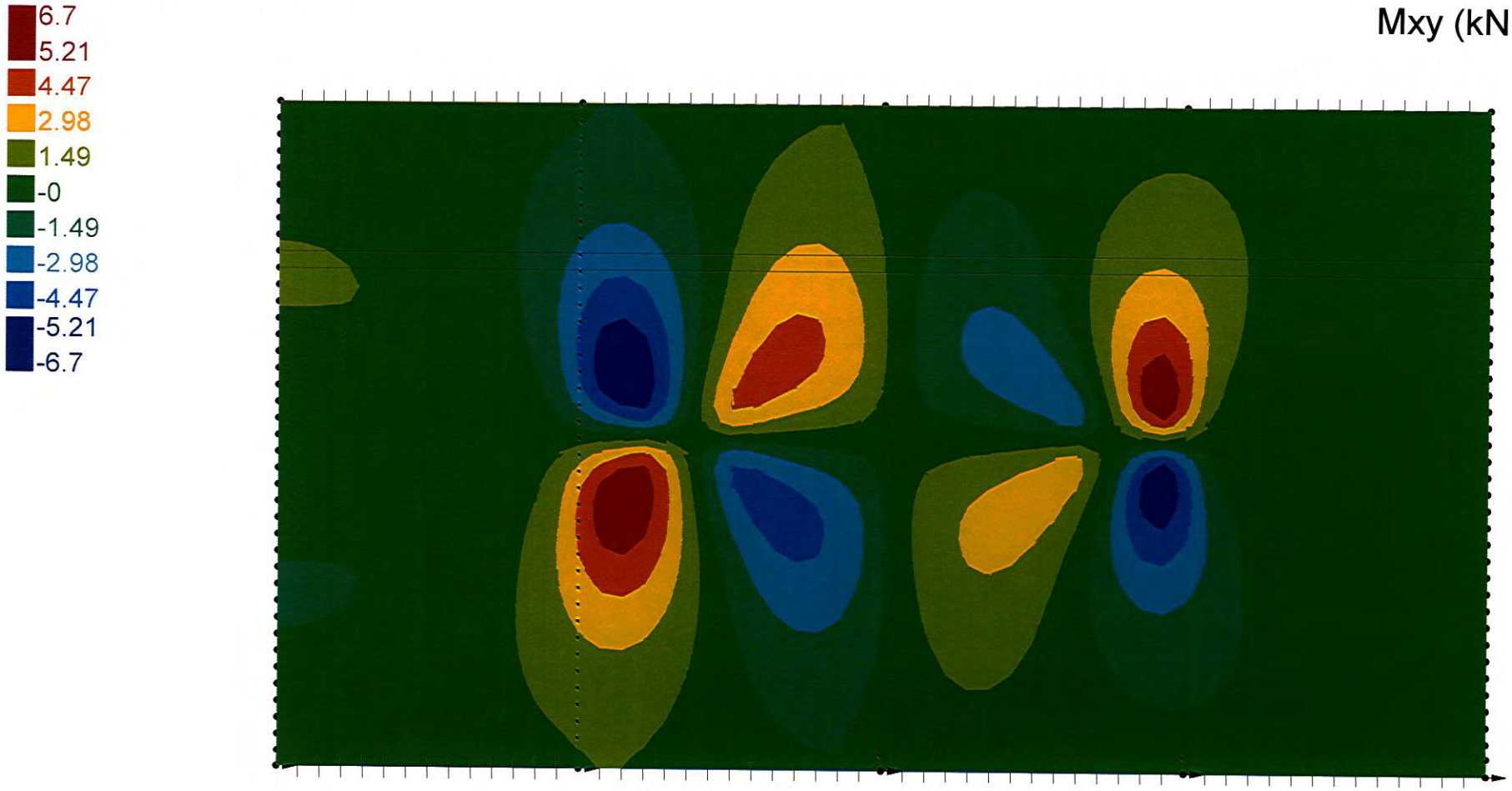


- Combinaison : P 360 kN p1

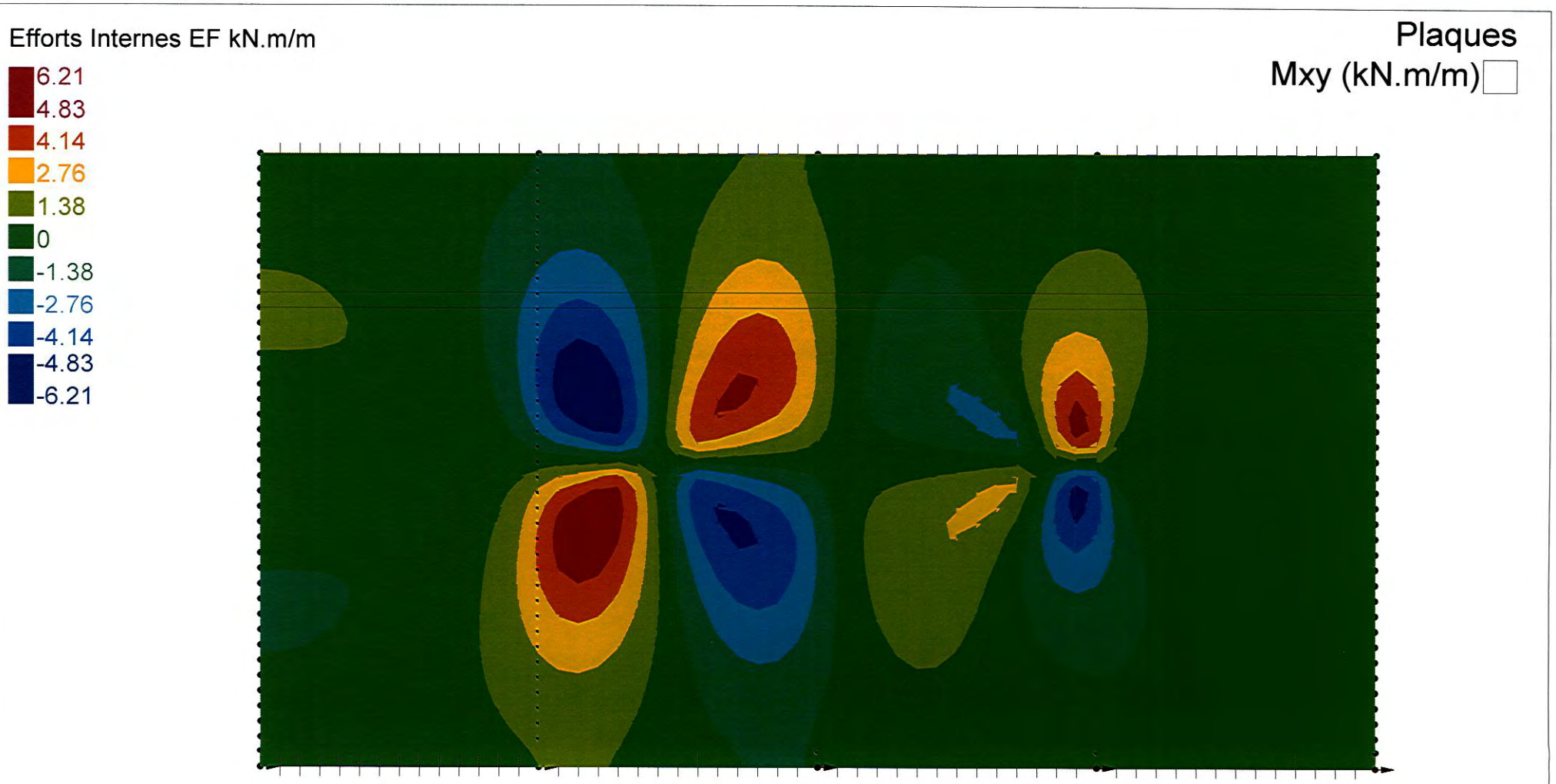
Efforts Internes EF kN.m/m

Plaques

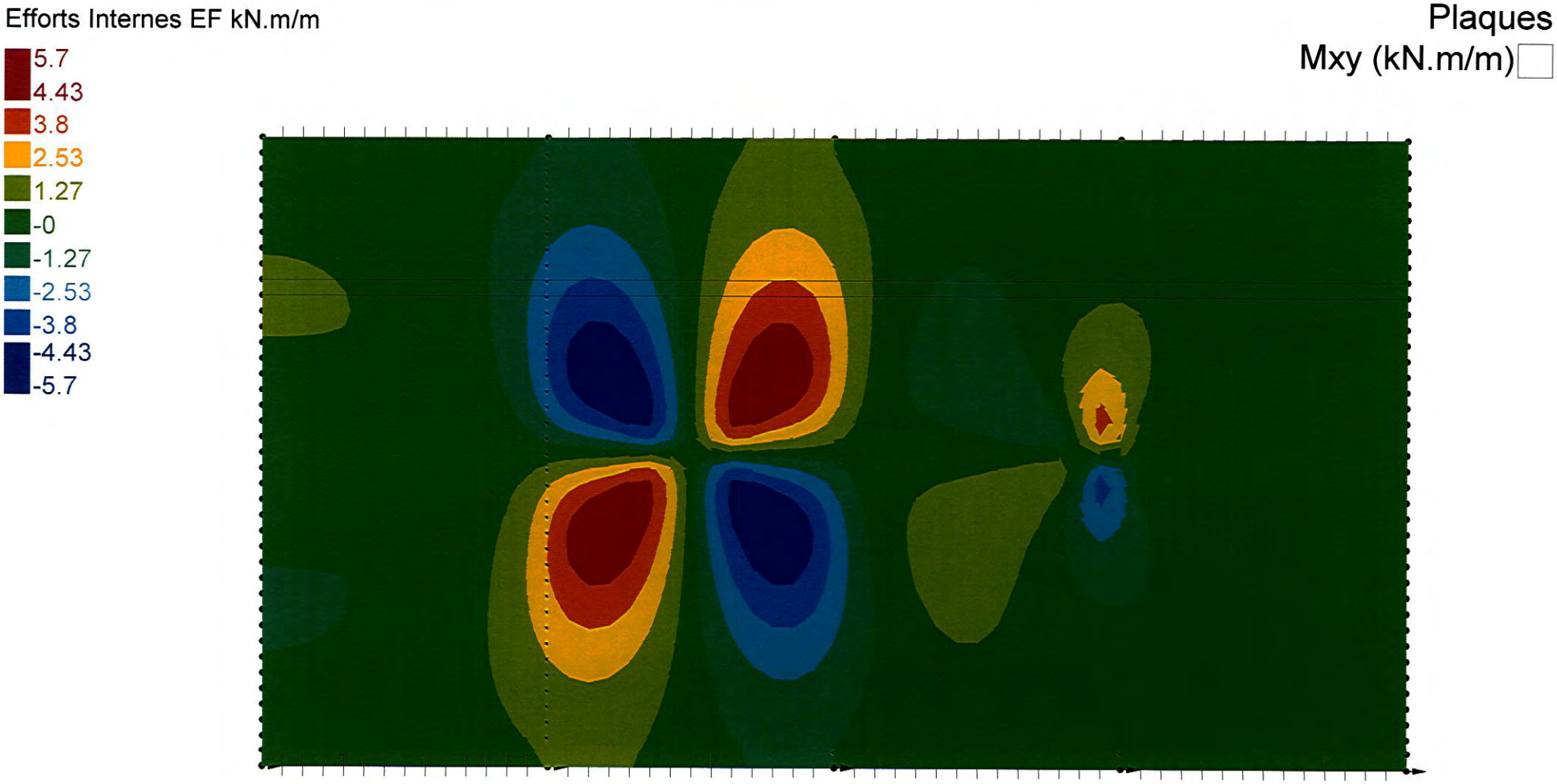
Mxy (kN.m/m)



- Combinaison : P 360 kN p2a



- Combinaison : P 360 kN p2b



- Combinaison : P 360 kN p3

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: ____ Par: P.L.

Date: 23 nov '12

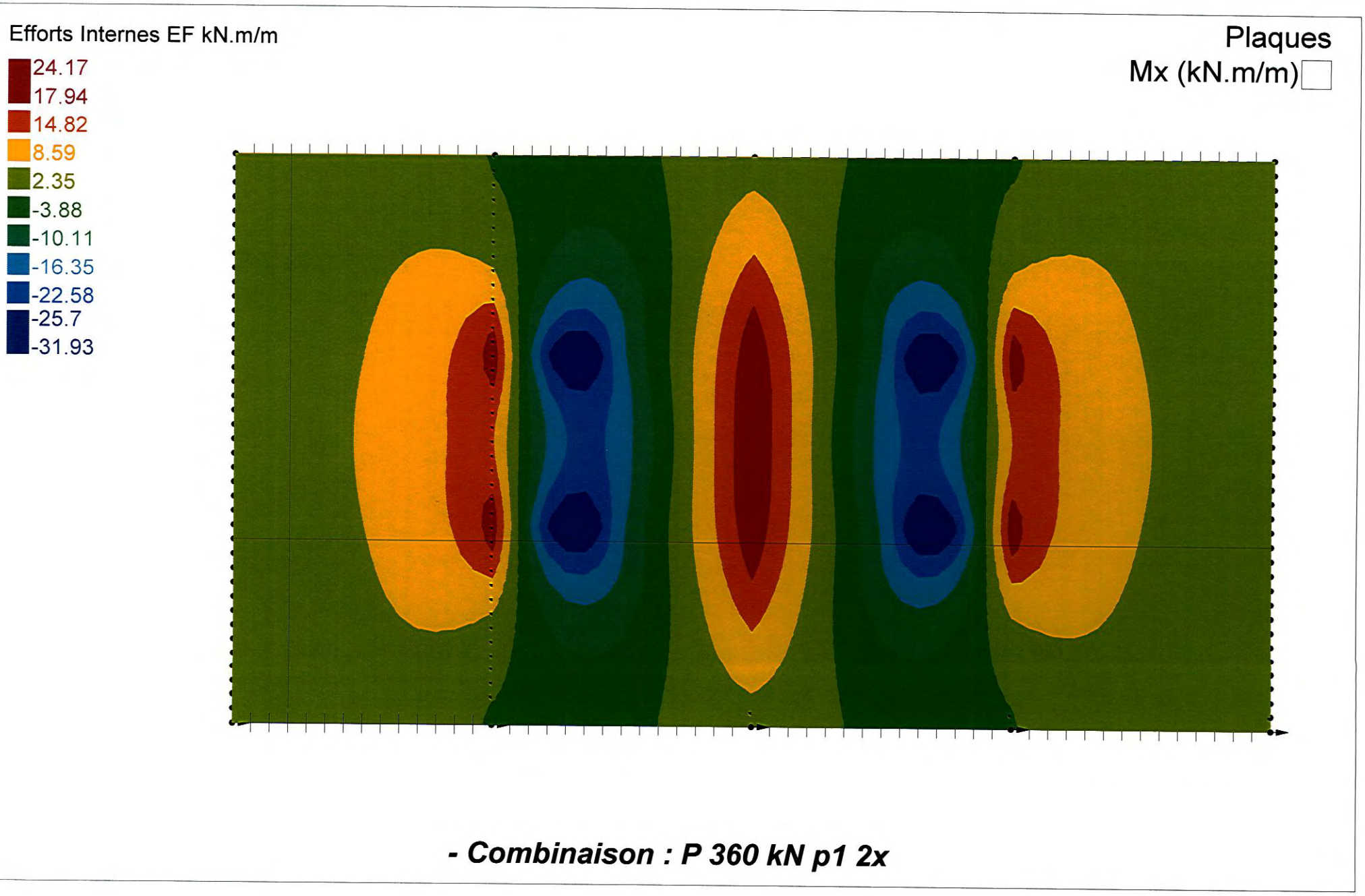
Sujet: ____ No du projet: ____

Evaluer le cas de 2 charges de 360 kN à 1.55 m c/c

→ Cette analyse donne M = 39.0 kN.m/m

Ce qui s'approche du M = 39.6 kN.m/m de la formule du code S6.

→ Pour des charges en travée seulement et non près des appuis

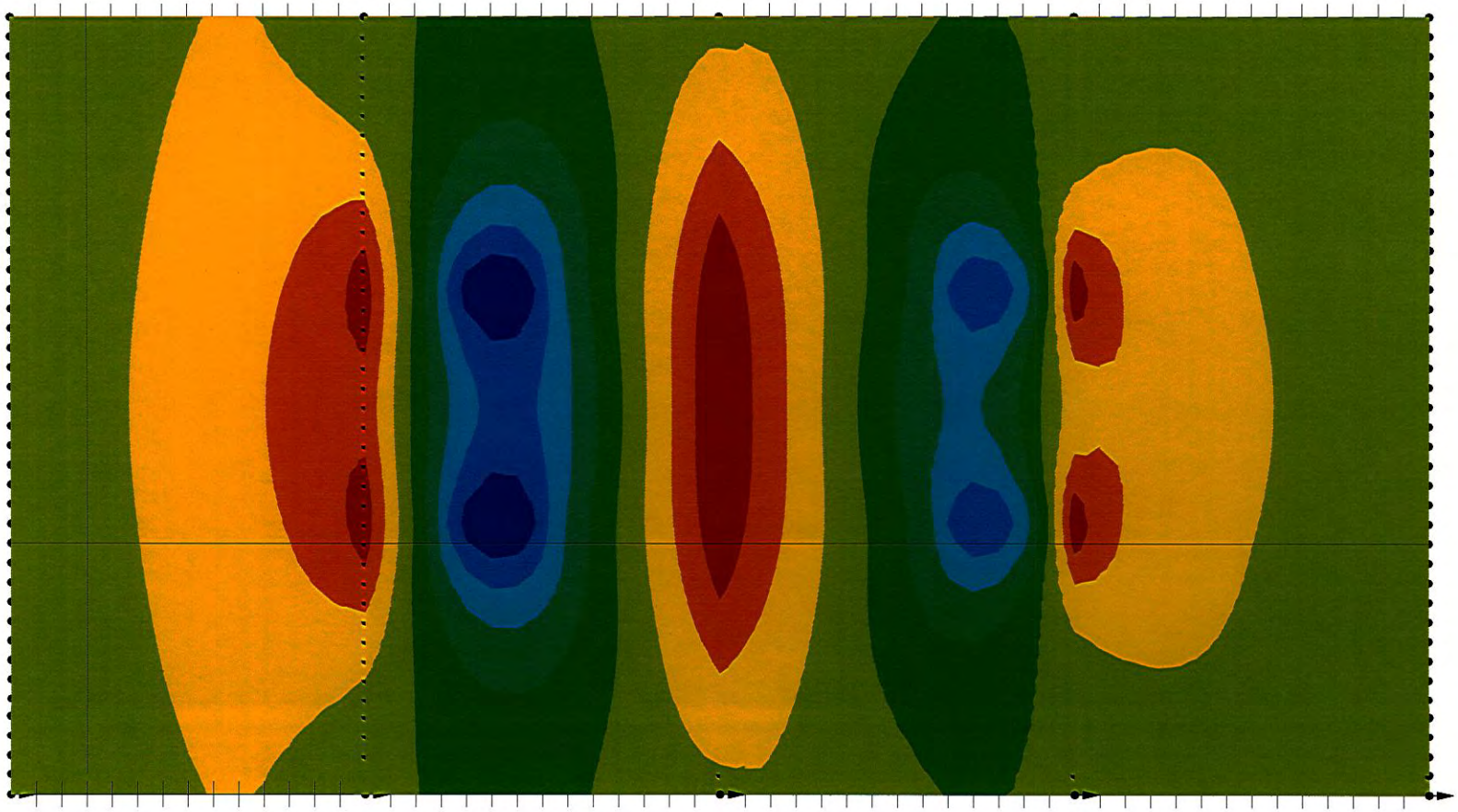


- Combinaison : P 360 kN p1 2x

Efforts Internes EF kN.m/m

23.95
17.36
14.06
7.46
0.86
-5.74
-12.33
-18.93
-25.53
-28.83
-35.43

Plaques
Mx (kN.m/m)

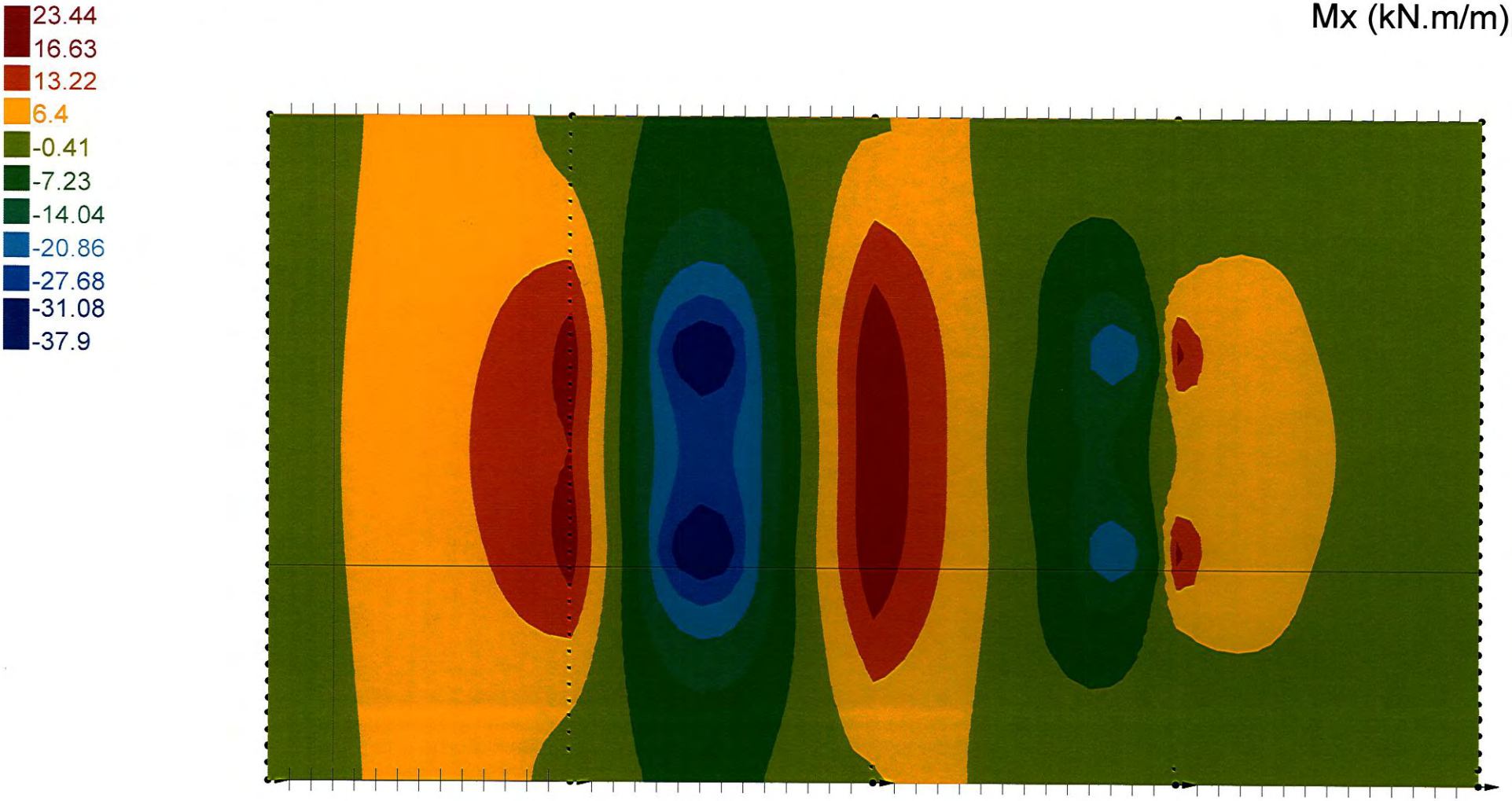


- Combinaison : P 360 kN p2a 2x

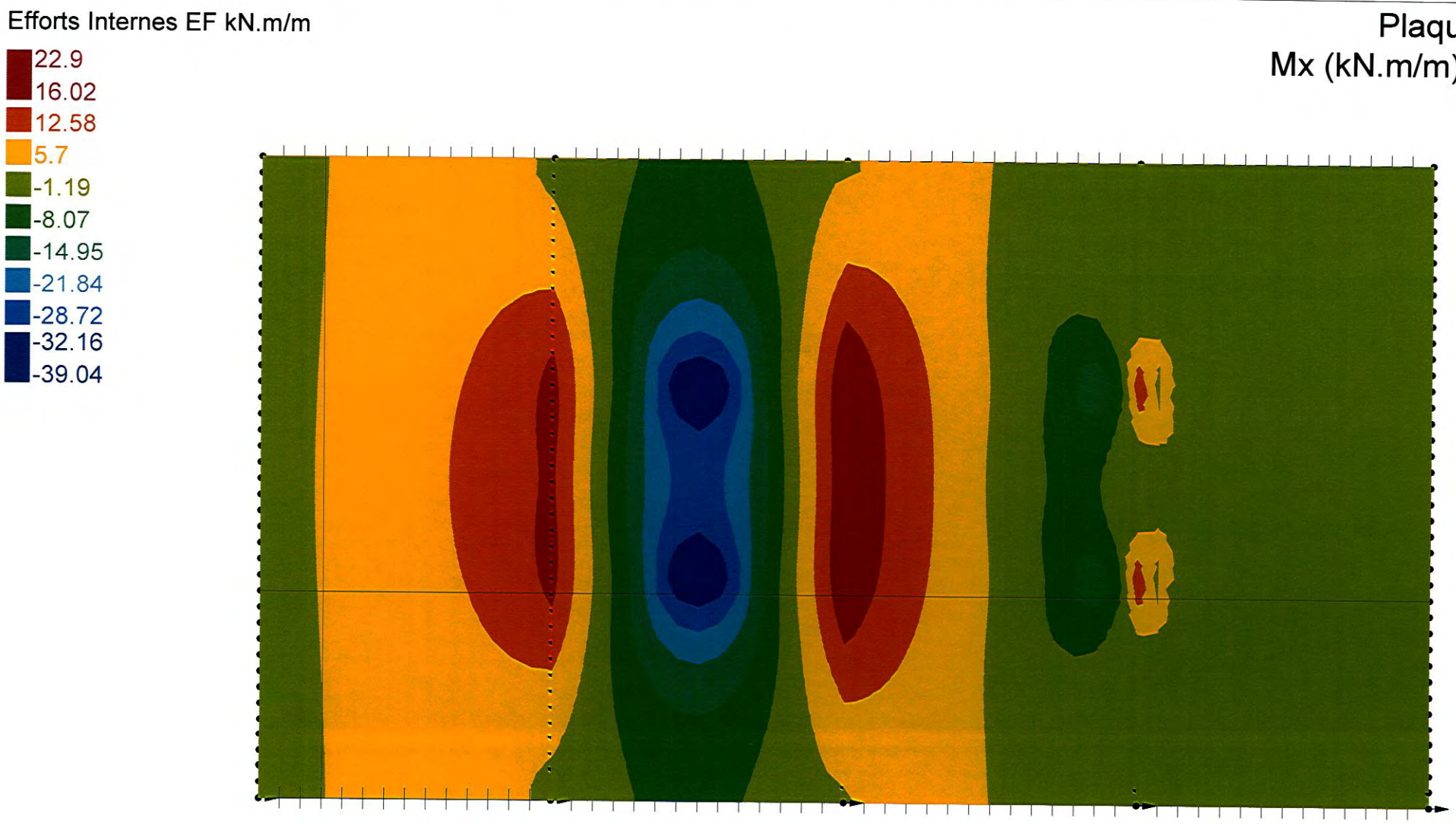
Efforts Internes EF kN.m/m

Plaques

Mx (kN.m/m)



- Combinaison : P 360 kN p2b 2x



- Combinaison : P 360 kN p3 2x

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____ Par: PL

_____ Date: 27 nov 12

Sujet: _____ No du projet: _____

Selon la norme S6-78

→ $1.3\,(D + 1.67\,(L+I))$ ultime

$D + L + I$ utilisation

Ch. utilisation $f_c = 0.4 f'_c$
max

$f_{c\,max} = 140$ MPa — $f_y = 300$ MPa

(150 pour $f_y = 350$
165 pour $f_y = 400$)

Ch. ultime $\phi = 0.90$ (flexion)

$\alpha_1 = 0.85$

$\beta = 0.85$ si $f'_c \leq 30$ MPa

$0.85 - 0.08\,(f'_c - 30)$ si $f'_c > 30$ MPa

Conception du béton:

$t_{dalle} := 254mm$

$f'_c := 30 \cdot MPa$ $\qquad$ $f_y := 300 \cdot MPa$

$\phi_c := 0.75$ $\qquad$ $\phi_s := 0.90$

$\alpha_1 := if\left(0.85 - 0.0015 \cdot \frac{f'_c}{MPa} \geq 0.67, 0.85 - 0.0015 \cdot \frac{f'_c}{MPa}, 0.67\right)$ $\quad \alpha_1 = 0.805$ $\qquad$ $\alpha_1 := 0.85$

$\beta_1 := if\left(0.97 - 0.0025 \cdot \frac{f'_c}{MPa} \geq 0.67, 0.97 - 0.0025 \cdot \frac{f'_c}{MPa}, 0.67\right)$ $\quad \beta_1 = 0.895$ $\qquad$ $\beta_1 := 0.85$

$E_s := 200000MPa$ $\qquad$ $E_c := \left(3000 \cdot \sqrt{f'_c \cdot MPa} + 6900MPa\right) \cdot \left(\frac{2350 \frac{kg}{m^3}}{2300 \frac{kg}{m^3}}\right)$ $\qquad$ $E_c = 2.384 \times 10^4 \cdot MPa$

$n := \frac{E_s}{E_c}$ $\qquad$ $n = 8.39$

$\varepsilon_{cu} := 0.0035$

$\rho_{bal} := \frac{\alpha_1 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \left(\frac{E_s \cdot \varepsilon_{cu}}{f_y + E_s \cdot \varepsilon_{cu}}\right)$ $\qquad$ $\rho_{bal} = 0.051$ $\qquad$ $\rho_{max} := 0.75 \cdot \rho_{bal}$ $\qquad$ $\rho_{max} = 0.038$

$f_{cr} := 0.4 \cdot \sqrt{f'_c \cdot MPa}$

$M_w := f_{cr} \cdot \frac{1}{6} \cdot 1000mm \cdot t_{dalle}^2$ $\qquad$ $M_w = 23.558 \cdot kN \cdot m$

Conception de la dalle :

$M_f := 93.5kN \cdot m$ $\qquad$ $T_f := 0kN$

$M_s := 46.7kN \cdot m$ $\qquad$ $T_s := 0kN$

$V_f := 0kN$

Flexion :

$cover := 65 \cdot mm$ $\quad d_b := 30 \cdot mm$ $\quad A_{sb} := 700 \cdot mm^2$ $\quad d := t_{dalle} - cover - \frac{d_b}{2}$ $\quad d = 174 \cdot mm$

$M_{ft} := M_f - T_f \cdot \left(d - \frac{t_{dalle}}{2}\right)$ $\quad M_{ft} = 93.5 \cdot kN \cdot m$

$k_r := \frac{M_{ft}}{1000 \cdot mm \cdot d^2}$ $\quad k_r = 3.088 \cdot MPa$

$$\rho := \frac{-(-\phi_s \cdot f_y) - \sqrt{(\phi_s \cdot f_y)^2 - 4 \cdot \frac{\phi_s^2 \cdot f_y^2}{2 \cdot \alpha_1 \cdot \phi_c \cdot f'_c} \cdot k_r}}{2 \cdot \frac{\phi_s^2 \cdot f_y^2}{2 \cdot \alpha_1 \cdot \phi_c \cdot f'_c}}$$

$\rho = 0.013$ $\quad \frac{\rho}{\rho_{max}} = 0.331$

$\rho_s := if(\rho < 0.002, 0.002, \rho)$ $\quad \rho_s = 0.013$

$A_s := \rho_s \cdot 1000 \cdot mm \cdot d$ $\quad A_s = 2.184 \times 10^3 \cdot mm^2$ $\quad A_s := A_s + \frac{T_f}{\phi_s \cdot f_y}$ $\quad A_s = 2.184 \times 10^3 \cdot mm^2$

$n_{barres} := \frac{A_s}{A_{sb}}$ $\quad n_{barres} = 3.119$

$s_{barres} := \frac{1000 \cdot mm}{n_{barres}}$ $\quad \boxed{s_{barres} = 320.564 \cdot mm}$ $\quad s_{barres} := 320 \cdot mm$ $\quad s_c := s_{barres} - d_b$

$A_{sc} := \frac{1000mm}{s_{barres}} \cdot A_{sb}$ $\quad A_{sc} = 2.188 \times 10^3 \cdot mm^2$

$B := \frac{1000mm}{n \cdot A_{sc}}$ $\quad B = 54.489 \frac{1}{m}$ $\quad kd := \frac{\sqrt{2 \cdot d \cdot B + 1} - 1}{B}$ $\quad kd = 0.064m$

$k := \frac{kd}{d}$ $\quad k = 0.366$ $\quad j := 1 - \frac{k}{3}$ $\quad j = 0.878$

$M_{st} := M_s - T_s \cdot \left(d - \frac{t_{dalle}}{2}\right)$ $\quad M_{st} = 46.7 \cdot kN \cdot m$

$f_s := \frac{|M_s|}{A_{sc} \cdot j \cdot d} + \frac{T_s}{A_{sc}}$ $\quad f_s = 139.729 \cdot MPa$ $\quad f_c := \frac{A_{sc} \cdot f_s}{0.5 \cdot kd \cdot 1000mm}$ $\quad f_c = 9.605 \cdot MPa$

$\text{if}\left(f_s \le 0.6 f_y, \text{"OK"}, \text{"NOT OK"}\right) = \text{"OK"}$ $\quad \frac{f_c}{f'_c} = 0.32$

Calcul de la fissuration :

$$K := \begin{cases} 1.3 & \text{if } t_{dalle} \le 300mm \\ 1.7 & \text{if } t_{dalle} \ge 800mm \\ 1.06 + 0.0008 \cdot \frac{t_{dalle}}{mm} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$K = 1.3$

$\beta_2 := K \cdot (0.9 \cdot s_c + 100mm) \cdot f_s \cdot \left[1 - 0.5 \cdot \left(\frac{M_w}{M_s}\right)^2\right]$ $\quad \boxed{\beta_2 = 5.723 \times 10^4 \cdot \frac{N}{mm}}$

$\boxed{\text{if}\left(\beta_2 \le 70000 \frac{N}{mm}, \text{"OK"}, \text{"NOT OK"}\right) = \text{"OK"}}$

$f_w := f_s \cdot \frac{M_w}{M_s}$ $\quad f_w = 70.487 \cdot MPa$

$\varepsilon_{sm} := \frac{f_s}{E_s} \cdot \left[1 - \left(\frac{f_w}{f_s}\right)^2\right]$ $\quad \varepsilon_{sm} = 5.209 \times 10^{-4}$

$k_c := 0.5$ Flexion

$d_b = 30 \cdot mm$

$h_t := \min\left[2.5 \cdot (t_{dalle} - d), \frac{1}{3} \cdot (t_{dalle} - kd)\right]$ $\quad h_t = 63.452 \cdot mm$

$A_{ct} := 1000mm \cdot h_t$

$\rho_c := \frac{A_{sc}}{A_{ct}}$ $\quad \rho_c = 0.034$

$s_{rm} := 50mm + 0.25 \cdot k_c \cdot \frac{d_b}{\rho_c}$ $\quad s_{rm} = 158.775 \cdot mm$

$\beta_c := 1.7$ Fissuration causée par le chargement

$k_b := 1.0$ Armature standard

$w_c := k_b \cdot \beta_c \cdot s_{rm} \cdot \varepsilon_{sm}$ $\boxed{w_c = 0.141 \cdot mm}$ $\boxed{if(w_c \le 0.35mm, "OK", "NOT OK") = "OK"}$

$\beta_2 := k_b \cdot (0.9 \cdot s_c + 100mm) \cdot f_s \cdot \left[1 - \left(\frac{M_w}{M_s}\right)^2\right]$ Selon S6-00

$\boxed{\beta_2 = 3.761 \times 10^4 \cdot \frac{N}{mm}}$

Cisaillement :

$f_{cr} := \min(0.4 \cdot \sqrt{f'_c \cdot MPa}, 3.2MPa)$ $f_{cr} = 2.191 \cdot MPa$

$d_v := 0.9 \cdot d$ $d_v = 156.6 \cdot mm$

$\beta := \frac{230mm}{1000mm + d_v}$ $\beta = 0.199$ Valeur de β pour un granulat de diamètre supérieur ou égal à 20mm

$V_r := 2.5 \cdot \beta \cdot \phi_c \cdot f_{cr} \cdot 1000mm \cdot d_v$

$V_r = 127.926 \cdot kN$

$Vérif := if(V_r \ge V_f, "OK", "Not OK")$ $\boxed{Vérif = "OK"}$

Méthode générale :

$a_g := 20mm$ Dimension des granulats

$s_z := d_v$ Aucune armature de face

$M_{f.v} := 0kN \cdot m$ $\frac{M_{f.v}}{d_v} = 0 \cdot kN$

$N_f := 0kN$

$V_{df} := V_f$

$s_{ze} := \max\left(\frac{35mm \cdot s_z}{15mm + a_g}, 0.85 \cdot s_z\right)$ $s_{ze} = 156.6 \cdot mm$

$A_{sc.v} := A_{sc}$

$\varepsilon_x := \frac{\frac{M_{f.v}}{d_v} + V_{df} + 0.5 \cdot N_f}{2E_s \cdot A_{sc.v}}$ $\varepsilon_x = 0$

$\beta := \frac{0.4}{1 + 1500 \cdot \varepsilon_x} \cdot \frac{1300mm}{1000mm + s_{ze}}$ $\beta = 0.45$

$V_{rg} := 2.5 \cdot \beta \cdot \phi_c \cdot f_{cr} \cdot 1000mm \cdot d_v$ $V_{rg} = 289.224 \cdot kN$

$\text{Vérif} := \text{if}\left(V_{rg} \geq V_f, \text{"OK"}, \text{"Not OK"}\right)$ $\boxed{\text{Vérif} = \text{"OK"}}$

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____

Par: PL

Date: 23 nov 12

Sujet: _____

No du projet: _____

Avec ce calcul

$M_r = 93.5$ kN·m

$M_D = \underbrace{24 \cdot 0.254}_{W_D} \cdot 0.49 = 3.0$ kN·m

$M_L = 39.6$ kN·m Considérer $I = 0.10$

$M_s = 39.6 \times 1.1 + 3.0 = 46.6$ kN·m ~ 46.7 kN·m en service

$M_f = 1.3\,(3.0 + 1.67 \cdot 39.6 \times 1.1) = 98.5$ kN·m

~ 93.5 kN·m à l'ultime

$98.5/93.5 = 1.05$

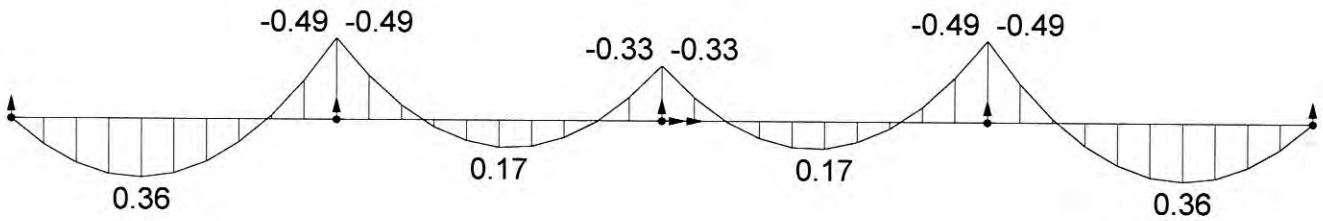
→ D'après ce calcul, la charge de conception par essieu est bien de 360 kN

Par éléments finis $M_L = 33.8$ kN·m (0.854)

vs 39.6 kN·m

Membrures
My (kN.m)

→ Pour w = 1 kN/m² entraxe



- Combinaison : Ch. dist.

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____ Par: P.L.

_____ Date: 23 nov '12

Sujet: _____ No du projet: _____

Dans le cas de l'évaluation selon la S6-06

$M_r = 93$ kpi.m/m

$M_f = 1.2 \cdot 24 \cdot 0.254 \cdot 0.49 + 1.7 \cdot 0.8 \cdot 165 \cdot 1.1 \cdot \left(\frac{0.6 + 2.153}{10}\right)$

$= 77.7$ kpi.m < 93 kpi.m ok

→ Effets de pondération de la S6-06 pour une structure neuve

Conception du béton:

$t_{dalle} := 254mm$

$f'_c := 30 \cdot MPa$ $\qquad$ $f_y := 300 \cdot MPa$

$\phi_c := 0.75$ $\qquad$ $\phi_s := 0.90$

$$\alpha_1 := if\left(0.85 - 0.0015 \cdot \frac{f'_c}{MPa} \geq 0.67, 0.85 - 0.0015 \cdot \frac{f'_c}{MPa}, 0.67\right) \quad \alpha_1 = 0.805$$

$$\beta_1 := if\left(0.97 - 0.0025 \cdot \frac{f'_c}{MPa} \geq 0.67, 0.97 - 0.0025 \cdot \frac{f'_c}{MPa}, 0.67\right) \quad \beta_1 = 0.895$$

$$E_s := 200000MPa \qquad E_c := \left(3000 \cdot \sqrt{f'_c \cdot MPa} + 6900MPa\right) \cdot \left(\frac{2350 \frac{kg}{m^3}}{2300 \frac{kg}{m^3}}\right) \qquad E_c = 2.384 \times 10^4 \cdot MPa$$

$$n := \frac{E_s}{E_c} \qquad n = 8.39$$

$\varepsilon_{cu} := 0.0035$

$$\rho_{bal} := \frac{\alpha_1 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \left(\frac{E_s \cdot \varepsilon_{cu}}{f_y + E_s \cdot \varepsilon_{cu}}\right) \qquad \rho_{bal} = 0.05 \qquad \rho_{max} := 0.75 \cdot \rho_{bal} \qquad \rho_{max} = 0.038$$

$$f_{cr} := 0.4 \cdot \sqrt{f'_c \cdot MPa}$$

$$M_w := f_{cr} \cdot \frac{1}{6} \cdot 1000mm \cdot t_{dalle}^2 \qquad M_w = 23.558 \cdot kN \cdot m$$

Conception de la dalle :

$M_f := 93kN \cdot m$ $\qquad$ $T_f := 0kN$

$M_s := 46.7kN \cdot m$ $\qquad$ $T_s := 0kN$

$V_f := 0kN$

Flexion :

$cover := 65 \cdot mm$ $\quad d_b := 30 \cdot mm$ $\quad A_{sb} := 700 \cdot mm^2$ $\quad d := t_{dalle} - cover - \frac{d_b}{2}$ $\quad d = 174 \cdot mm$

$M_{ft} := M_f - T_f \cdot \left(d - \frac{t_{dalle}}{2}\right)$ $\quad M_{ft} = 93 \cdot kN \cdot m$

$$k_r := \frac{M_{ft}}{1000 \cdot mm \cdot d^2} \qquad k_r = 3.072 \cdot MPa$$

$$\rho := \frac{-(-\phi_s \cdot f_y) - \sqrt{(\phi_s \cdot f_y)^2 - 4 \cdot \frac{\phi_s^2 \cdot f_y^2}{2 \cdot \alpha_1 \cdot \phi_c \cdot f'_c} \cdot k_r}}{2 \cdot \frac{\phi_s^2 \cdot f_y^2}{2 \cdot \alpha_1 \cdot \phi_c \cdot f'_c}}$$

$\rho = 0.013$ $\qquad \frac{\rho}{\rho_{max}} = 0.332$

$\rho_s := if(\rho < 0.002, 0.002, \rho)$ $\quad \rho_s = 0.013$

$A_s := \rho_s \cdot 1000 \cdot mm \cdot d$ $\quad A_s = 2.184 \times 10^3 \cdot mm^2$ $\quad A_s := A_s + \frac{T_f}{\phi_s \cdot f_y}$ $\quad A_s = 2.184 \times 10^3 \cdot mm^2$

$n_{barres} := \frac{A_s}{A_{sb}}$ $\quad n_{barres} = 3.12$

$s_{barres} := \frac{1000 \cdot mm}{n_{barres}}$ $\quad \boxed{s_{barres} = 320.533 \cdot mm}$ $\quad s_{barres} := 320 \cdot mm$ $\quad s_c := s_{barres} - d_b$

$A_{sc} := \frac{1000mm}{s_{barres}} \cdot A_{sb}$ $\quad A_{sc} = 2.188 \times 10^3 \cdot mm^2$

$B := \frac{1000mm}{n \cdot A_{sc}}$ $\quad B = 54.489 \frac{1}{m}$ $\quad kd := \frac{\sqrt{2 \cdot d \cdot B + 1} - 1}{B}$ $\quad kd = 0.064 m$

$k := \frac{kd}{d}$ $\quad k = 0.366$ $\quad j := 1 - \frac{k}{3}$ $\quad j = 0.878$

$M_{st} := M_s - T_s \cdot \left(d - \frac{t_{dalle}}{2}\right)$ $\quad M_{st} = 46.7 \cdot kN \cdot m$

$f_s := \frac{|M_s|}{A_{sc} \cdot j \cdot d} + \frac{T_s}{A_{sc}}$ $\quad f_s = 139.729 \cdot MPa$ $\quad f_c := \frac{A_{sc} \cdot f_s}{0.5 \cdot kd \cdot 1000mm}$ $\quad f_c = 9.605\,MPa$

$\text{if}\left(f_s \le 0.6 f_y, \text{"OK"}, \text{"NOT OK"}\right) = \text{"OK"}$ $\quad \frac{f_c}{f'_c} = 0.32$

Calcul de la fissuration :

$$K := \begin{cases} 1.3 & \text{if } t_{dalle} \le 300mm \\ 1.7 & \text{if } t_{dalle} \ge 800mm \\ 1.06 + 0.0008 \cdot \frac{t_{dalle}}{mm} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$K = 1.3$

$\beta_2 := K \cdot (0.9 \cdot s_c + 100mm) \cdot f_s \cdot \left[1 - 0.5 \cdot \left(\frac{M_w}{M_s}\right)^2\right]$ $\quad \boxed{\beta_2 = 5.723 \times 10^4 \cdot \frac{N}{mm}}$

$\boxed{\text{if}\left(\beta_2 \le 70000 \frac{N}{mm}, \text{"OK"}, \text{"NOT OK"}\right) = \text{"OK"}}$

$f_w := f_s \cdot \frac{M_w}{M_s}$ $\quad f_w = 70.487 \cdot MPa$

$\varepsilon_{sm} := \frac{f_s}{E_s} \cdot \left[1 - \left(\frac{f_w}{f_s}\right)^2\right]$ $\quad \varepsilon_{sm} = 5.209 \times 10^{-4}$

$k_c := 0.5$ Flexion

$d_b = 30 \cdot mm$

$h_t := \min\left[2.5 \cdot (t_{dalle} - d), \frac{1}{3} \cdot (t_{dalle} - kd)\right]$ $\quad h_t = 63.452 \cdot mm$

$A_{ct} := 1000mm \cdot h_t$

$\rho_c := \frac{A_{sc}}{A_{ct}}$ $\quad \rho_c = 0.034$

$s_{rm} := 50mm + 0.25 \cdot k_c \cdot \frac{d_b}{\rho_c}$ $\quad s_{rm} = 158.775 \cdot mm$

$\beta_c := 1.7$ Fissuration causée par le chargement

$k_b := 1.0$ Armature standard

$w_c := k_b \cdot \beta_c \cdot s_{rm} \cdot \varepsilon_{sm}$ $\boxed{w_c = 0.141 \cdot mm}$ $\boxed{if(w_c \le 0.35mm, "OK", "NOT OK") = "OK"}$

$\beta_2 := k_b \cdot (0.9 \cdot s_c + 100mm) \cdot f_s \cdot \left[1 - \left(\frac{M_w}{M_s}\right)^2\right]$ Selon S6-00

$\boxed{\beta_2 = 3.761 \times 10^4 \cdot \frac{N}{mm}}$

Cisaillement :

$f_{cr} := \min(0.4 \cdot \sqrt{f'_c \cdot MPa}, 3.2MPa)$ $f_{cr} = 2.191 \cdot MPa$

$d_v := 0.9 \cdot d$ $d_v = 156.6 \cdot mm$

$\beta := \frac{230mm}{1000mm + d_v}$ $\beta = 0.199$ Valeur de β pour un granulat de diamètre supérieur ou égal à 20mm

$V_r := 2.5 \cdot \beta \cdot \phi_c \cdot f_{cr} \cdot 1000mm \cdot d_v$

$V_r = 127.926 \cdot kN$

$Vérif := if(V_r \ge V_f, "OK", "Not OK")$ $\boxed{Vérif = "OK"}$

Méthode générale :

$a_g := 20mm$ Dimension des granulats

$s_z := d_v$ Aucune armature de face

$M_{f.v} := 0kN \cdot m$ $\frac{M_{f.v}}{d_v} = 0 \cdot kN$

$N_f := 0kN$

$V_{df} := V_f$

$s_{ze} := \max\left(\frac{35mm \cdot s_z}{15mm + a_g}, 0.85 \cdot s_z\right)$ $s_{ze} = 156.6 \cdot mm$

$A_{sc.v} := A_{sc}$

$\varepsilon_x := \frac{\frac{M_{f.v}}{d_v} + V_{df} + 0.5 \cdot N_f}{2E_s \cdot A_{sc.v}}$ $\varepsilon_x = 0$

$\beta := \frac{0.4}{1 + 1500 \cdot \varepsilon_x} \cdot \frac{1300mm}{1000mm + s_{ze}}$ $\beta = 0.45$

$V_{rg} := 2.5 \cdot \beta \cdot \phi_c \cdot f_{cr} \cdot 1000mm \cdot d_v$ $V_{rg} = 289.224 \cdot kN$

$\text{Vérif} := \text{if}\left(V_{rg} \geq V_f, \text{"OK"}, \text{"Not OK"}\right)$ $\boxed{\text{Vérif} = \text{"OK"}}$

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____ Par: P.L.

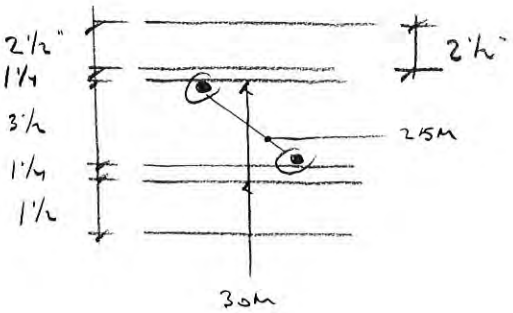
Date: 26 nov '12

Sujet: _____ No du projet: _____

Calcul de la flexion dans le sens parallèle à la route

M_y calculé = 27.2 kN·m 360 kN p1
29.8 kN·m 360 kN p2a
31.4 kN·m 360 kN p2b
32.0 kN·m 360 kN p3

25.6 kN·m 360 kN p1 2x
27.8 kN·m 360 kN p2a 2x
29.1 kN·m 360 kN p2b 2x
29.6 kN·m 360 kN p3 2x



Résistance M_s = 23,7 kN·m
avec f_s = 140 MPa

M_r = 48 kN·m

Selon les normes S6-66 et S6-78, l'aire de distribution doit être de 67% ou 120/√S l'aire principal. Si l'aire principal est 30M à 320, l'aire de distribution devient être de la 25M à 340. Toutefois l'expertise n'a pas déterminé plus d'information

Conception du béton:

$t_{dalle} := 254mm$

$f'_c := 30 \cdot MPa$ $\qquad$ $f_y := 300 \cdot MPa$

$\phi_c := 0.75$ $\qquad$ $\phi_s := 0.90$

$\alpha_1 := if\left(0.85 - 0.0015 \cdot \frac{f'_c}{MPa} \geq 0.67, 0.85 - 0.0015 \cdot \frac{f'_c}{MPa}, 0.67\right)$ $\quad \alpha_1 = 0.805$ $\qquad$ $\alpha_1 := 0.85$

$\beta_1 := if\left(0.97 - 0.0025 \cdot \frac{f'_c}{MPa} \geq 0.67, 0.97 - 0.0025 \cdot \frac{f'_c}{MPa}, 0.67\right)$ $\quad \beta_1 = 0.895$ $\qquad$ $\beta_1 := 0.85$

$E_s := 200000MPa$ $\qquad$ $E_c := \left(3000 \cdot \sqrt{f'_c \cdot MPa} + 6900MPa\right) \cdot \left(\frac{2350 \frac{kg}{m^3}}{2300 \frac{kg}{m^3}}\right)$ $\qquad$ $E_c = 2.384 \times 10^4 \cdot MPa$

$n := \frac{E_s}{E_c}$ $\qquad$ $n = 8.39$

$\varepsilon_{cu} := 0.0035$

$\rho_{bal} := \frac{\alpha_1 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \cdot \left(\frac{E_s \cdot \varepsilon_{cu}}{f_y + E_s \cdot \varepsilon_{cu}}\right)$ $\qquad$ $\rho_{bal} = 0.051$ $\qquad$ $\rho_{max} := 0.75 \cdot \rho_{bal}$ $\qquad$ $\rho_{max} = 0.038$

$f_{cr} := 0.4 \cdot \sqrt{f'_c \cdot MPa}$

$M_w := f_{cr} \cdot \frac{1}{6} \cdot 1000mm \cdot t_{dalle}^2$ $\qquad$ $M_w = 23.558 \cdot kN \cdot m$

Conception de la dalle :

$M_f := 48kN \cdot m$ $\qquad$ $T_f := 0kN$

$M_s := 23.7kN \cdot m$ $\qquad$ $T_s := 0kN$

$V_f := 0kN$

Flexion :

$cover := 70 \cdot mm$ $\quad d_b := 25 \cdot mm$ $\quad A_{sb} := 500 \cdot mm^2$ $\quad d := t_{dalle} - cover - \frac{d_b}{2}$ $\quad d = 171.5 \cdot mm$

$M_{ft} := M_f - T_f \cdot \left(d - \frac{t_{dalle}}{2}\right)$ $\quad M_{ft} = 48 \cdot kN \cdot m$

$k_r := \frac{M_{ft}}{1000 \cdot mm \cdot d^2}$ $\quad k_r = 1.632 \cdot MPa$

$$\rho := \frac{-(-\phi_s \cdot f_y) - \sqrt{(\phi_s \cdot f_y)^2 - 4 \cdot \frac{\phi_s^2 \cdot f_y^2}{2 \cdot \alpha_1 \cdot \phi_c \cdot f'_c} \cdot k_r}}{2 \cdot \frac{\phi_s^2 \cdot f_y^2}{2 \cdot \alpha_1 \cdot \phi_c \cdot f'_c}}$$

$\rho = 6.327 \times 10^{-3}$ $\quad \frac{\rho}{\rho_{max}} = 0.167$

$\rho_s := if(\rho < 0.002, 0.002, \rho)$ $\quad \rho_s = 6.327 \times 10^{-3}$

$A_s := \rho_s \cdot 1000 \cdot mm \cdot d$ $\quad A_s = 1.085 \times 10^3 \cdot mm^2$ $\quad A_s := A_s + \frac{T_f}{\phi_s \cdot f_y}$ $\quad A_s = 1.085 \times 10^3 \cdot mm^2$

$n_{barres} := \frac{A_s}{A_{sb}}$ $\quad n_{barres} = 2.17$

$s_{barres} := \frac{1000 \cdot mm}{n_{barres}}$ $\quad \boxed{s_{barres} = 460.802 \cdot mm}$ $\quad s_{barres} := 460 \cdot mm$ $\quad s_c := s_{barres} - d_b$

$A_{sc} := \frac{1000mm}{s_{barres}} \cdot A_{sb}$ $\quad A_{sc} = 1.087 \times 10^3 \cdot mm^2$

$B := \frac{1000mm}{n \cdot A_{sc}}$ $\quad B = 109.659 \frac{1}{m}$ $\quad kd := \frac{\sqrt{2 \cdot d \cdot B + 1} - 1}{B}$ $\quad kd = 0.048m$

$k := \frac{kd}{d}$ $\quad k = 0.277$ $\quad j := 1 - \frac{k}{3}$ $\quad j = 0.908$

$M_{st} := M_s - T_s \cdot \left(d - \frac{t_{dalle}}{2}\right)$ $\quad M_{st} = 23.7 \cdot kN \cdot m$

$f_s := \frac{|M_s|}{A_{sc} \cdot j \cdot d} + \frac{T_s}{A_{sc}}$ $\quad f_s = 140.083 \cdot MPa$ $\quad f_c := \frac{A_{sc} \cdot f_s}{0.5 \cdot kd \cdot 1000mm}$ $\quad f_c = 6.405 \cdot MPa$

$\text{if}\left(f_s \le 0.6 f_y, \text{"OK"}, \text{"NOT OK"}\right) = \text{"OK"}$ $\quad \frac{f_c}{f_c} = 0.213$

Calcul de la fissuration :

$$K := \begin{cases} 1.3 & \text{if } t_{dalle} \le 300mm \\ 1.7 & \text{if } t_{dalle} \ge 800mm \\ 1.06 + 0.0008 \cdot \frac{t_{dalle}}{mm} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$K = 1.3$

$\beta_2 := K \cdot (0.9 \cdot s_c + 100mm) \cdot f_s \cdot \left[1 - 0.5 \cdot \left(\frac{M_w}{M_s}\right)^2\right]$ $\quad \boxed{\beta_2 = 4.529 \times 10^4 \cdot \frac{N}{mm}}$

$\boxed{\text{if}\left(\beta_2 \le 70000 \frac{N}{mm}, \text{"OK"}, \text{"NOT OK"}\right) = \text{"OK"}}$

$f_w := f_s \cdot \frac{M_w}{M_s}$ $\quad f_w = 139.243 \cdot MPa$

$\varepsilon_{sm} := \frac{f_s}{E_s} \cdot \left[1 - \left(\frac{f_w}{f_s}\right)^2\right]$ $\quad \varepsilon_{sm} = 8.373 \times 10^{-6}$

$k_c := 0.5$ Flexion

$d_b = 25 \cdot mm$

$h_t := \min\left[2.5 \cdot (t_{dalle} - d), \frac{1}{3} \cdot (t_{dalle} - kd)\right]$ $\quad h_t = 68.818 \cdot mm$

$A_{ct} := 1000mm \cdot h_t$

$\rho_c := \frac{A_{sc}}{A_{ct}}$ $\quad \rho_c = 0.016$

$s_{rm} := 50mm + 0.25 \cdot k_c \cdot \frac{d_b}{\rho_c}$ $\quad s_{rm} = 247.851 \cdot mm$

$\beta_c := 1.7$ Fissuration causée par le chargement

$k_b := 1.0$ Armature standard

$w_c := k_b \cdot \beta_c \cdot s_{rm} \cdot \varepsilon_{sm}$ $\boxed{w_c = 3.528 \times 10^{-3} \cdot m}$ $\boxed{\text{if}(w_c \le 0.35mm, \text{"OK"}, \text{"NOT OK"}) = \text{"OK"}}$

$\beta_2 := k_b \cdot (0.9 \cdot s_c + 100mm) \cdot f_s \cdot \left[1 - \left(\frac{M_w}{M_s}\right)^2\right]$ Selon S6-00

$\boxed{\beta_2 = 823.08 \cdot \frac{N}{mm}}$

Cisaillement :

$f_{cr} := \min(0.4 \cdot \sqrt{f'_c \cdot MPa}, 3.2MPa)$ $f_{cr} = 2.191 \cdot MPa$

$d_v := 0.9 \cdot d$ $d_v = 154.35 \cdot mm$

$\beta := \frac{230mm}{1000mm + d_v}$ $\beta = 0.199$ Valeur de β pour un granulat de diamètre supérieur ou égal à 20mm

$V_r := 2.5 \cdot \beta \cdot \phi_c \cdot f_{cr} \cdot 1000mm \cdot d_v$

$V_r = 126.334 \cdot kN$

$\text{Vérif} := \text{if}(V_r \ge V_f, \text{"OK"}, \text{"Not OK"})$ $\boxed{\text{Vérif} = \text{"OK"}}$

Méthode générale :

$a_g := 20mm$ Dimension des granulats

$s_z := d_v$ Aucune armature de face

$M_{f.v} := 0kN \cdot m$

$N_f := 0kN$

$\frac{M_{f.v}}{d_v} = 0 \cdot kN$

$V_{df} := V_f$

$s_{ze} := \max\left(\frac{35mm \cdot s_z}{15mm + a_g}, 0.85 \cdot s_z\right)$ $s_{ze} = 154.35 \cdot mm$

$A_{sc.v} := A_{sc}$

$\varepsilon_x := \frac{\frac{M_{f.v}}{d_v} + V_{df} + 0.5 \cdot N_f}{2E_s \cdot A_{sc.v}}$ $\varepsilon_x = 0$

$\beta := \frac{0.4}{1 + 1500 \cdot \varepsilon_x} \cdot \frac{1300mm}{1000mm + s_{ze}}$ $\beta = 0.45$

$V_{rg} := 2.5 \cdot \beta \cdot \phi_c \cdot f_{cr} \cdot 1000mm \cdot d_v$ $V_{rg} = 285.624 \cdot kN$

$\text{Vérif} := \text{if}\left(V_{rg} \geq V_f, \text{"OK"}, \text{"Not OK"}\right)$ $\boxed{\text{Vérif} = \text{"OK"}}$

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

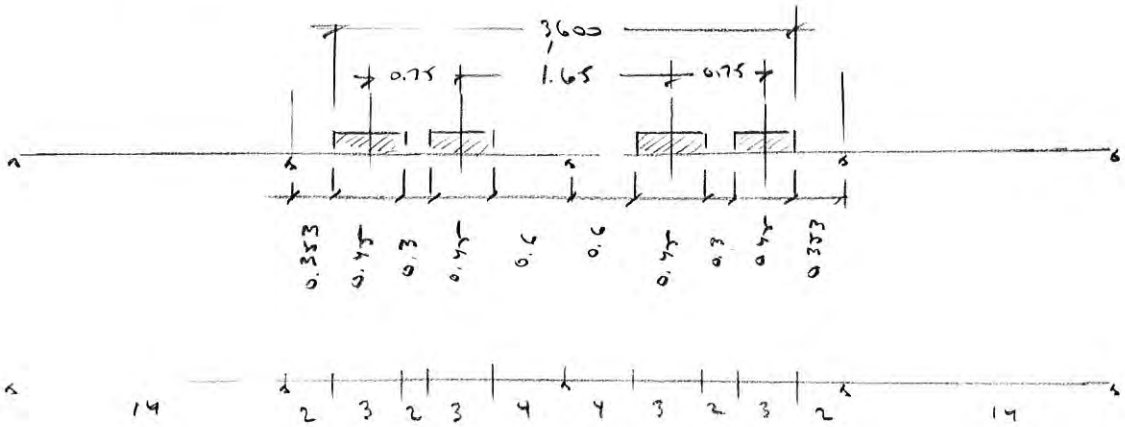
BPR

Nom du projet: _____ Par: P.L.

Date: 23 nov '12

Sujet: _____ No du projet: _____

Evaluer les charges d'un multiplex ayant des essieux à 1.5 m c/c



Modèle 30

1/4 x 265 kN / 0.75

= 147.2 kN/m

1/4 x 265 kN / (0.75 x 0.24)

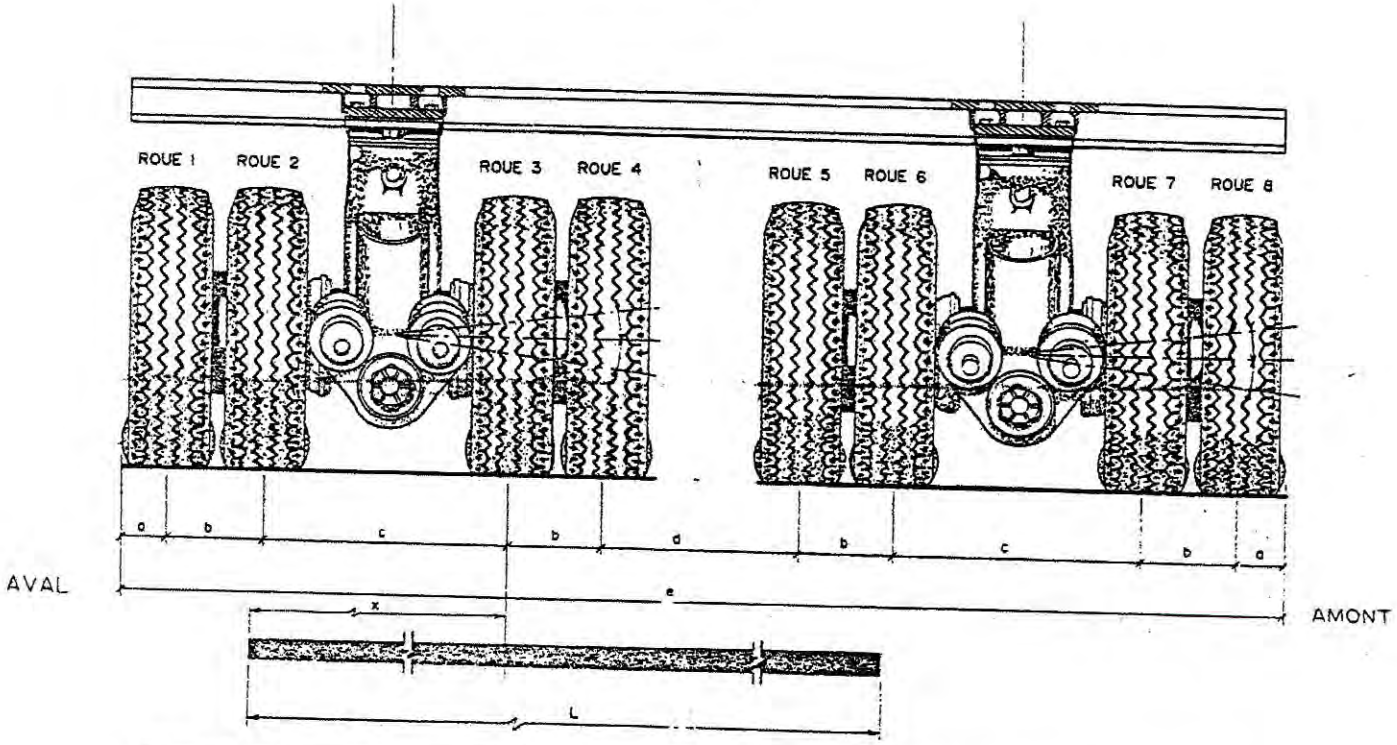
= 613.4 kPa

Cette combinaison de charge est moins critique que les 2 charges de 360 kN à 1.55 m c/c

390 kN.m — 2 x 360 kN à 1.55 m

27.9 kN.m — 265 kN à 1.5 m c/c

POSITIONNEMENT CRITIQUE DES ROUES DU FARDIER



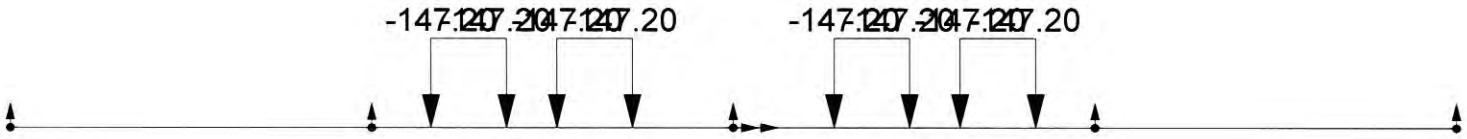
FARDIER TYPE	a	b	c	d	D	e
SCHEURLE	106 mm (4.13 po.)	248 mm (9.75 po.)	540 mm (21.38 po.)	717 mm (28.23 po.)	1400 mm (55.1 po.)	3000 (9 pi. 10 po.)

D: DISTANCE C. à C. ENTRE 2 LIGNES ADJACANTES
L: LONGUEUR DE LA PARTIE EN FLEXION DANS LE SENS AVAL-AMONT
X: POSITIONNEMENT DE LA ROUE 3 CREANT LA SITUATION LA PLUS DEFAVORABLE SUR LA PARTIE EN FLEXION.

Membrures
Ponctuelles (kN)

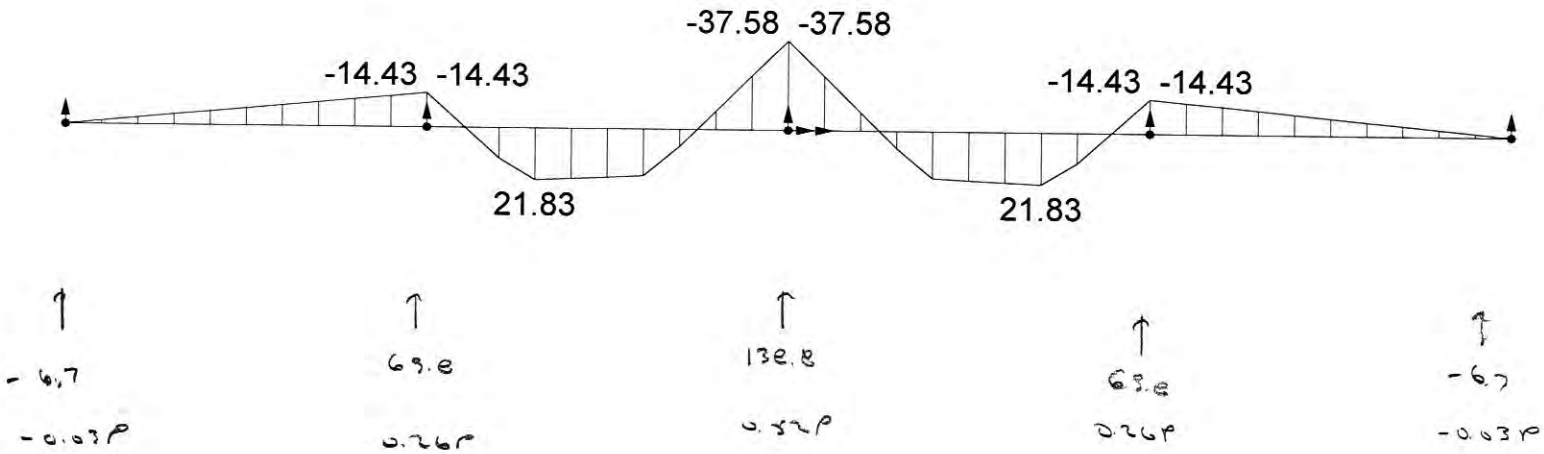
- Chargement : P 265 kN p1

Membrures
Réparties (kN/m)



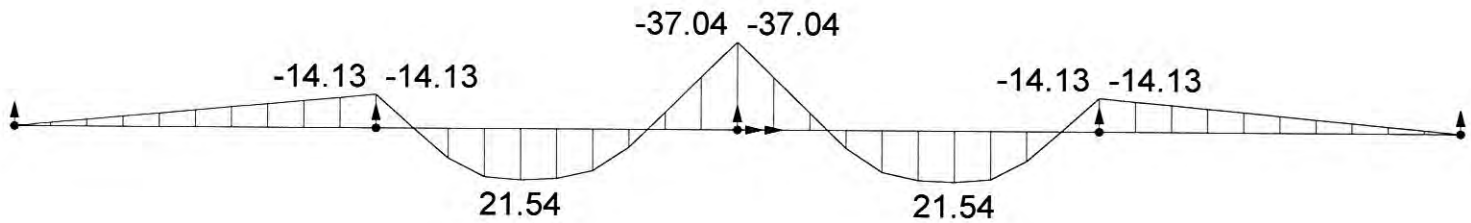
- Chargement : P 265 kN p1 D

Membrures
My (kN.m)



- Combinaison : P 265 kN p1

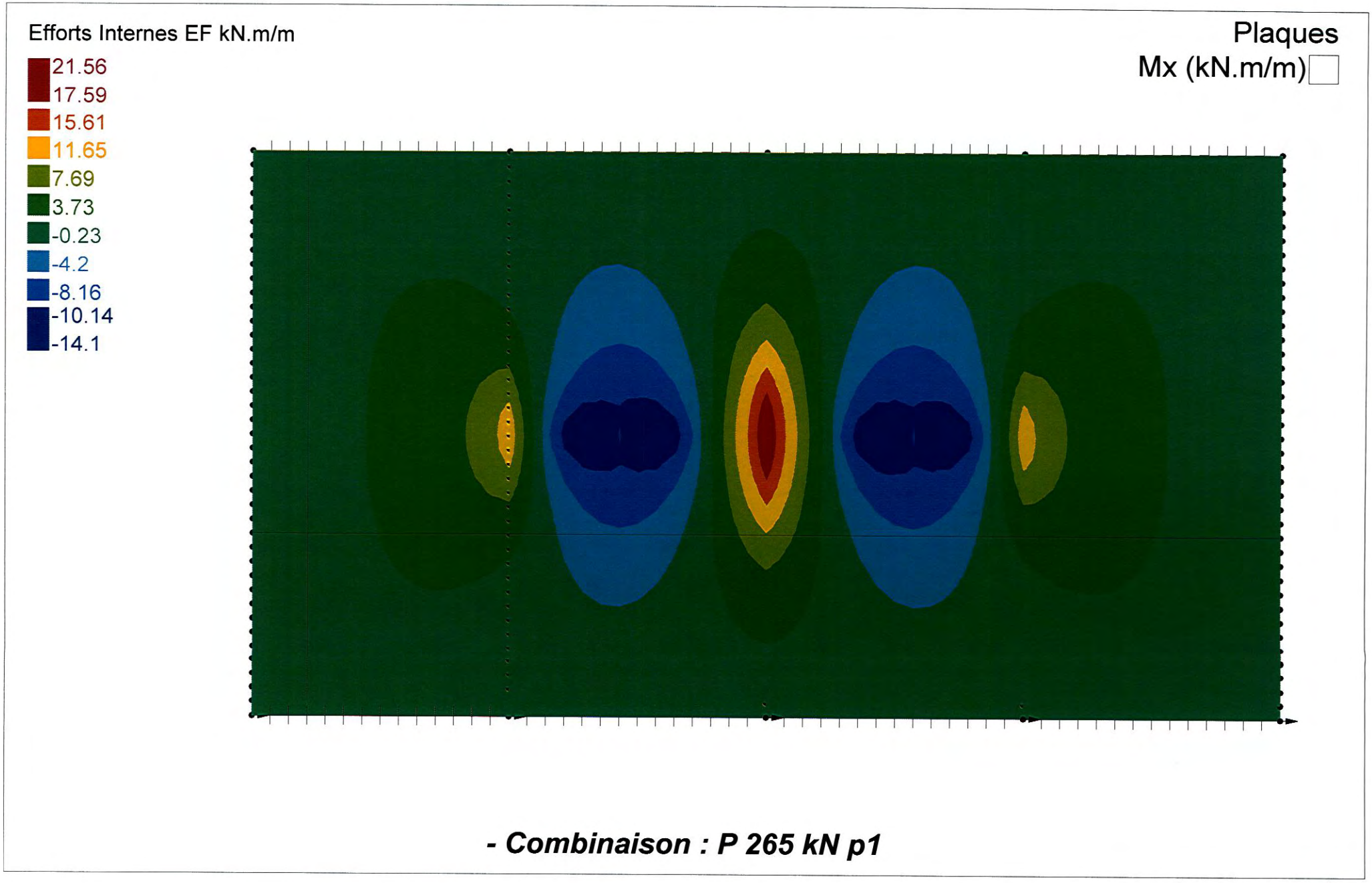
Membrures
My (kN.m)



Charge M − 37.0 / 1.5 = 24.7 kN.m/m vs 27.9 kN/m
e 1.5m M + 21.5 / 1.5 = 14.3 kN.m/m vs 17.5 kN/m

30 cm e 1.5m

- Combinaison : P 265 kN p1 D

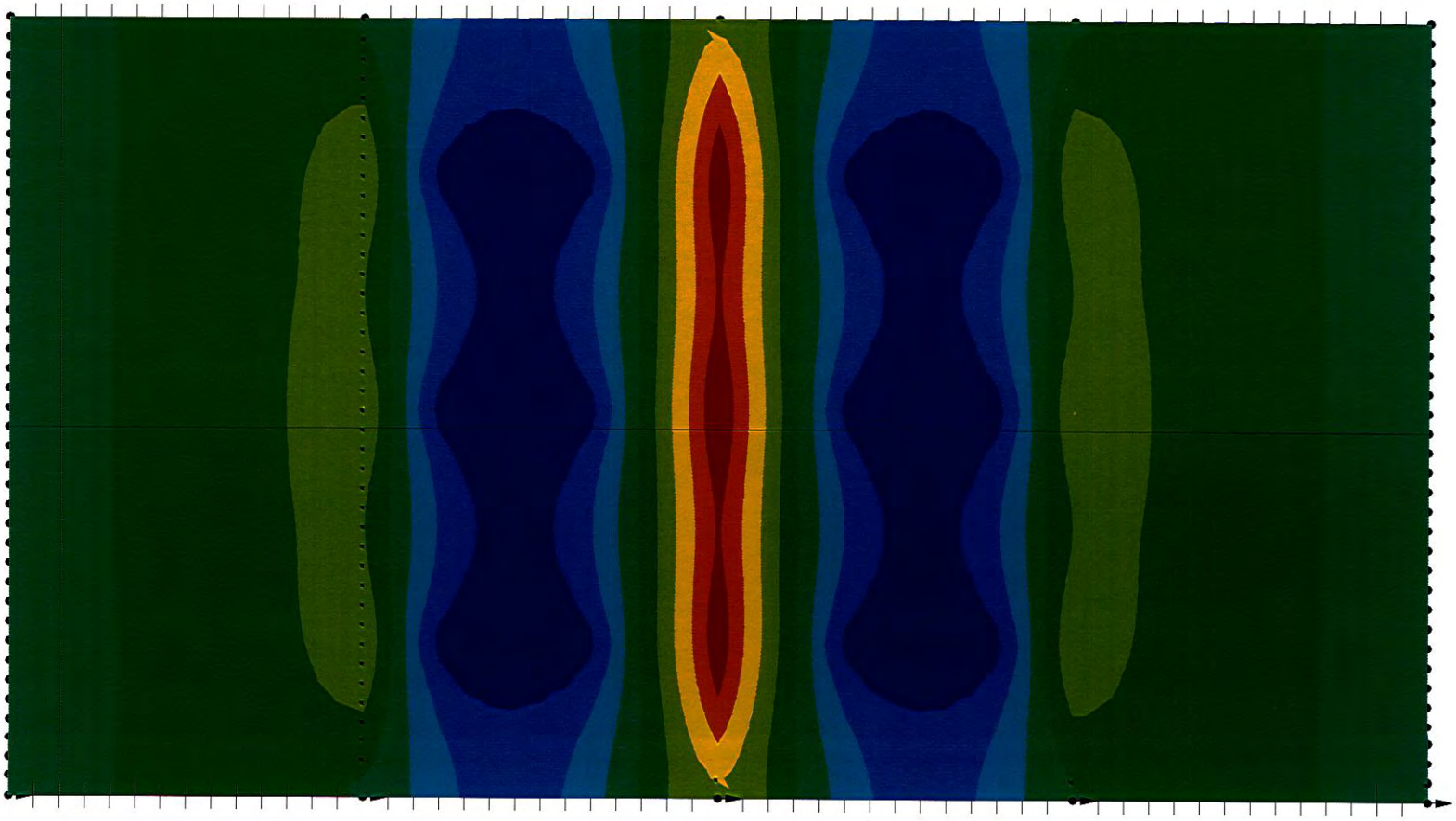


- Combinaison : P 265 kN p1

Efforts Internes EF kN.m/m

27.92
22.87
20.35
15.3
10.25
5.2
0.14
-4.91
-9.96
-12.48
-17.53

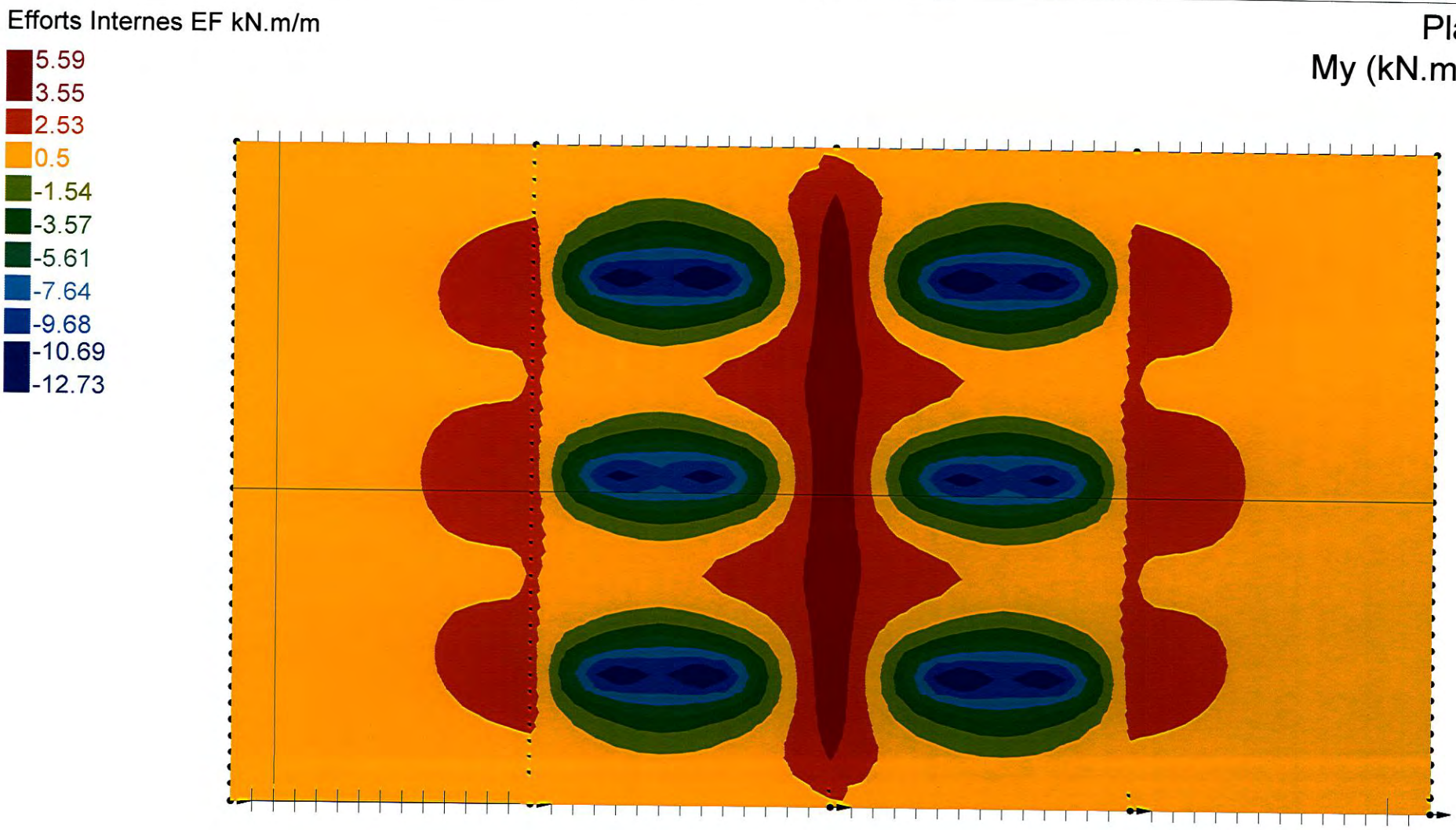
Plaques
Mx (kN.m/m)



- Combinaison : P 265 kN p1 @1.5

$M_x \pm |M_{xy}|$ = 28.1 ; -17.3

27.8 , -17.7



$m_y + |m_{xy}| = +5.7 ; -12.5$

$5,5 ; -13,5$

- Combinaison : P 265 kN p1 @1.5

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: ____ Par: P.L.

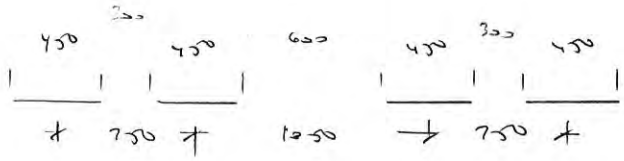
Date: 11 janv '13

Sujet: ____ No du projet: ____

Analyse de la dalle avec le multiligne Goldhofer

Utiliser une charge de 200 kN par essieux en étudiant les charges près de la rive

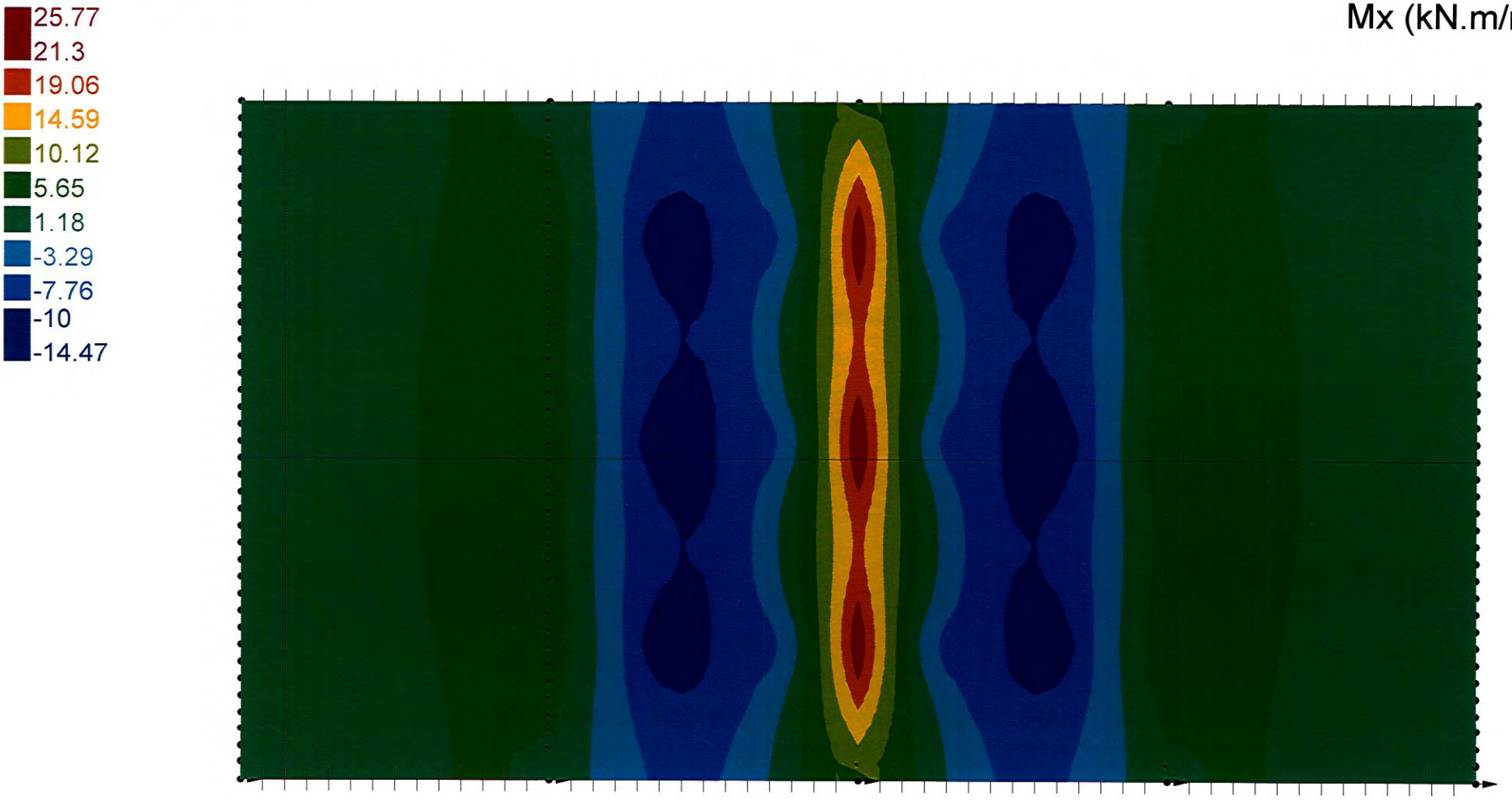
$p = 1/4 \times 200 / (0.45 \times 0.24) = 463.0$ kPa



Efforts Internes EF kN.m/m

Plaques

Mx (kN.m/m)



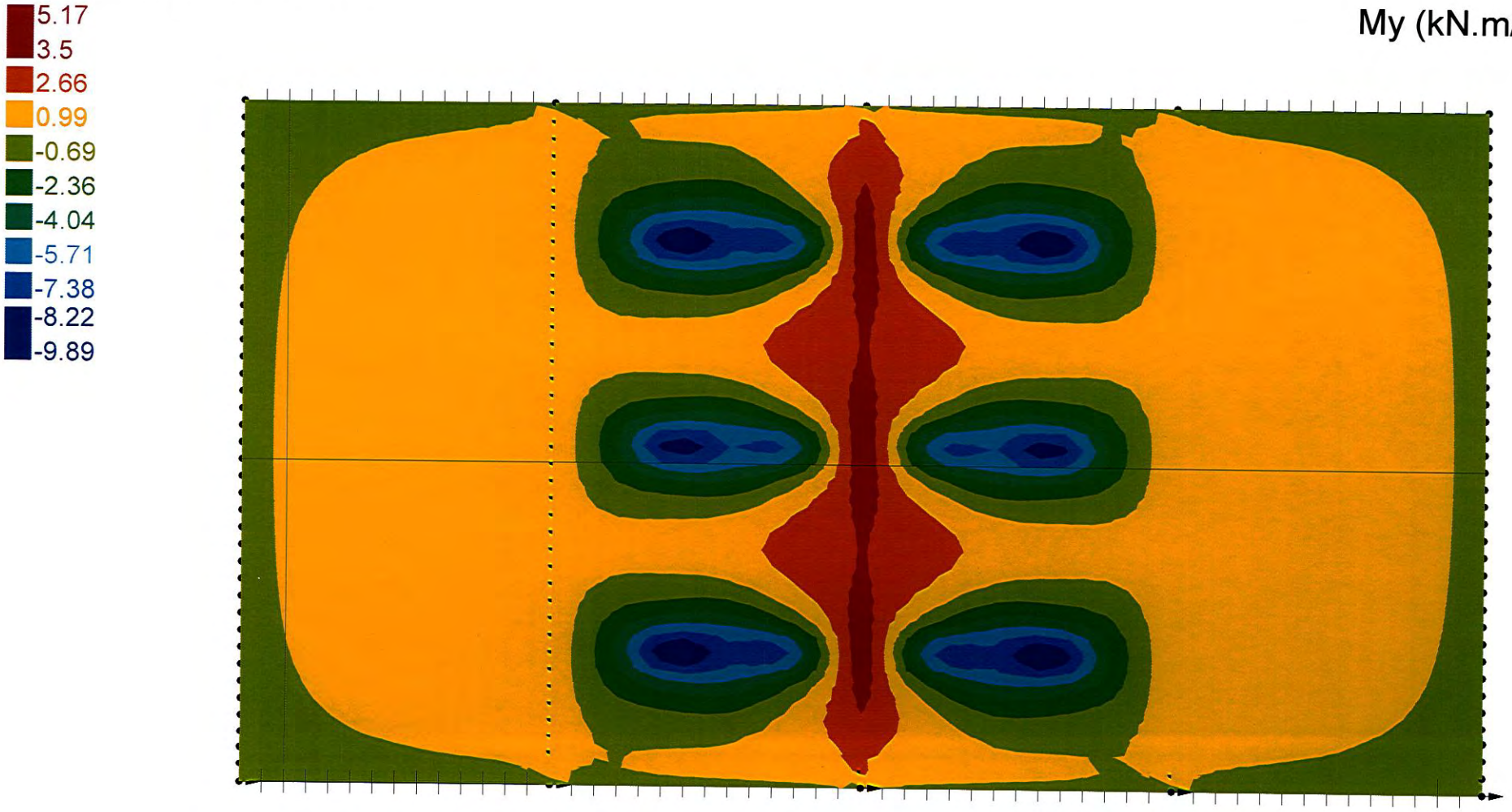
- Combinaison : P 200 kN p1 @ 1.5

$M_x \pm M_{xy}$ = 26,1 ; -14.3

25.5 ; -14.6

Efforts Internes EF kN.m/m

Plaques
My (kN.m/m)



- Combinaison : P 200 kN p1 @ 1.5

$M_y \pm |M_{xy}|$: 5.5 ; -9.9

4.9 ; -10.2

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____

Sujet: _____

Par: P.L.

Date: 29 nov 12

No du projet: _____

Estimation des charges sur la rive de la dalle

- Compte tenu de l'absence d'une poutre de rigidité près des jonctions la dalle n'a pas la même capacité portante qu'ailleurs sur le pont

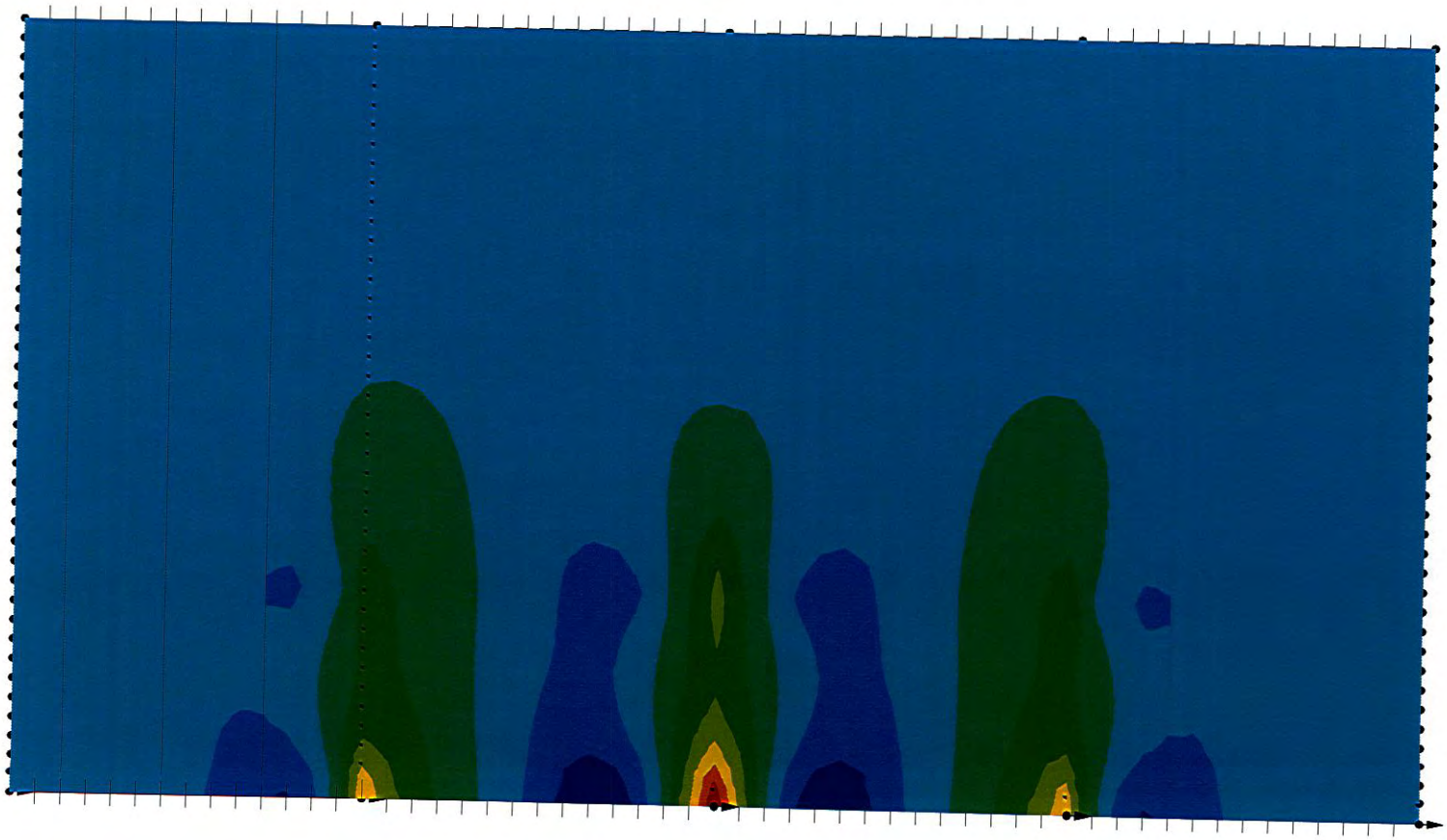
→ Ces combinaisons de charge contrôlent le dimensionnement de la dalle en béton armé

Imprimerie J.B.R. inc.

Efforts Internes EF kN.m/m

39.09
32.74
29.56
23.2
16.85
10.49
4.13
-2.23
-8.58
-11.76
-18.12

Plaques
Mx (kN.m/m)



CL 625

- Combinaison : P 125 kN p1 2xb

$M_x + |M_{xy}|$ → +39.7 , -18.1

+38.5 , -19.4

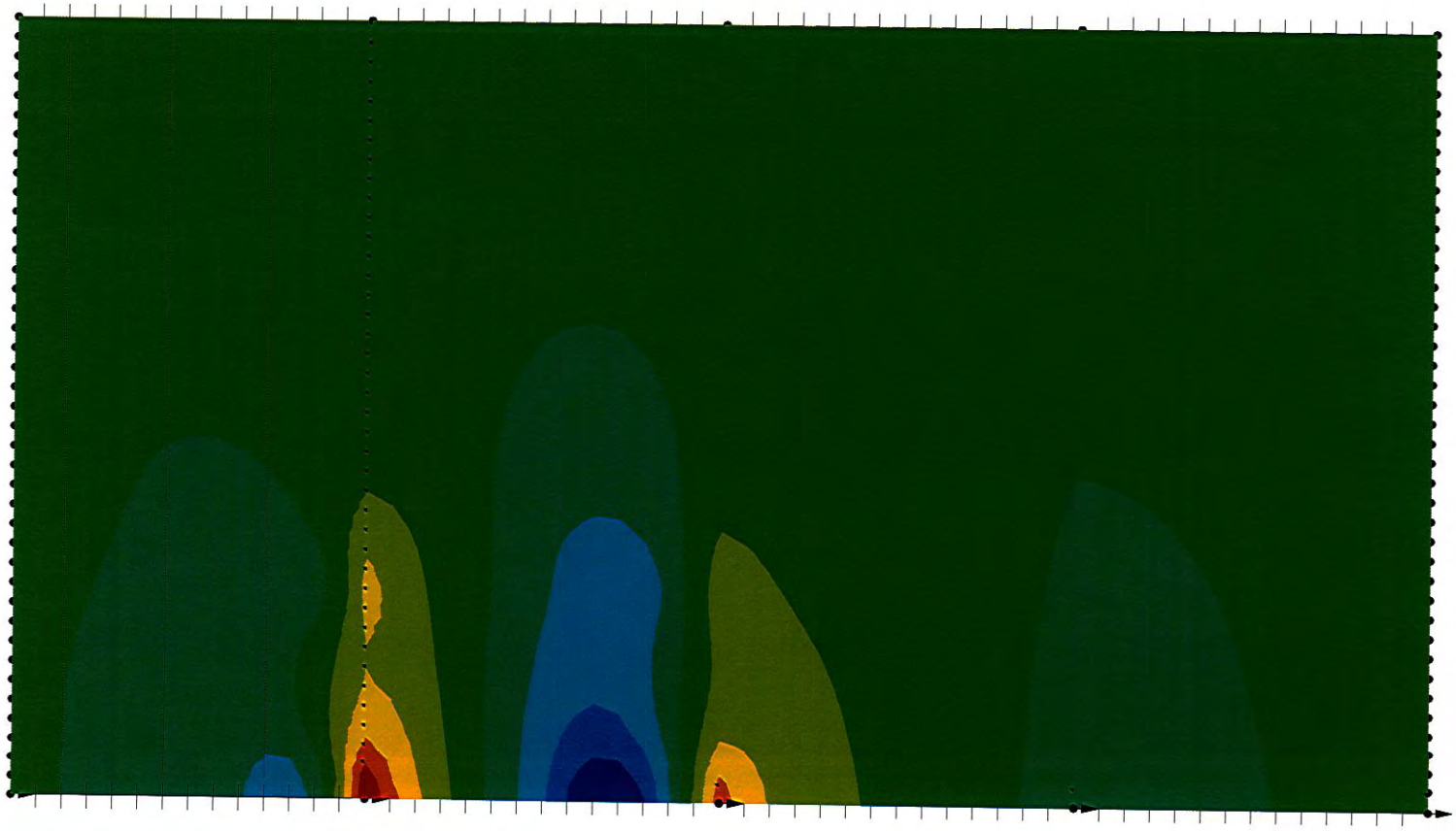
$M_y + |M_{xy}|$ => +9.4 ; -6.6

+9.2 , -7.9

Efforts Internes EF kN.m/m

27.7
21.99
19.14
13.43
7.72
2.01
-3.7
-9.41
-15.12
-17.98
-23.69

Plaques
Mx (kN.m/m)



CL 625

- Combinaison : P 125 kN p2 2xb

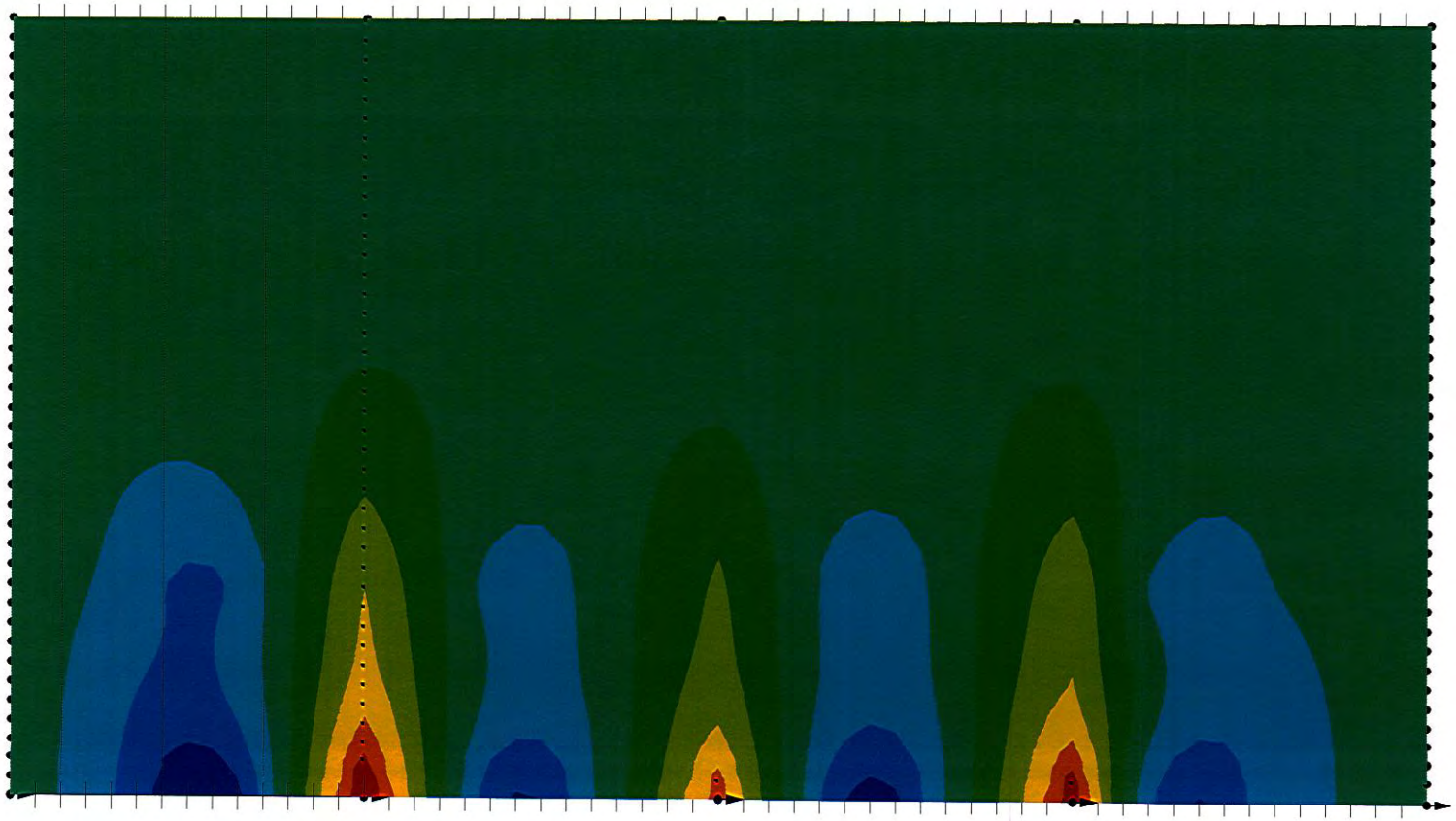
$M_x = |M_{xy}| \rightarrow +30.2, -23.3$
$+25.6, -26.1$

$M_y + |M_{xy}| \rightarrow +9.6, -7.2$
$+8.0, -9.0$

Efforts Internes EF kN.m/m

39.05
31.64
27.94
20.53
13.12
5.72
-1.69
-9.1
-16.51
-20.21
-27.62

Plaques
Mx (kN.m/m)



CL 62T

- Combinaison : P 125 kN p3 2xb

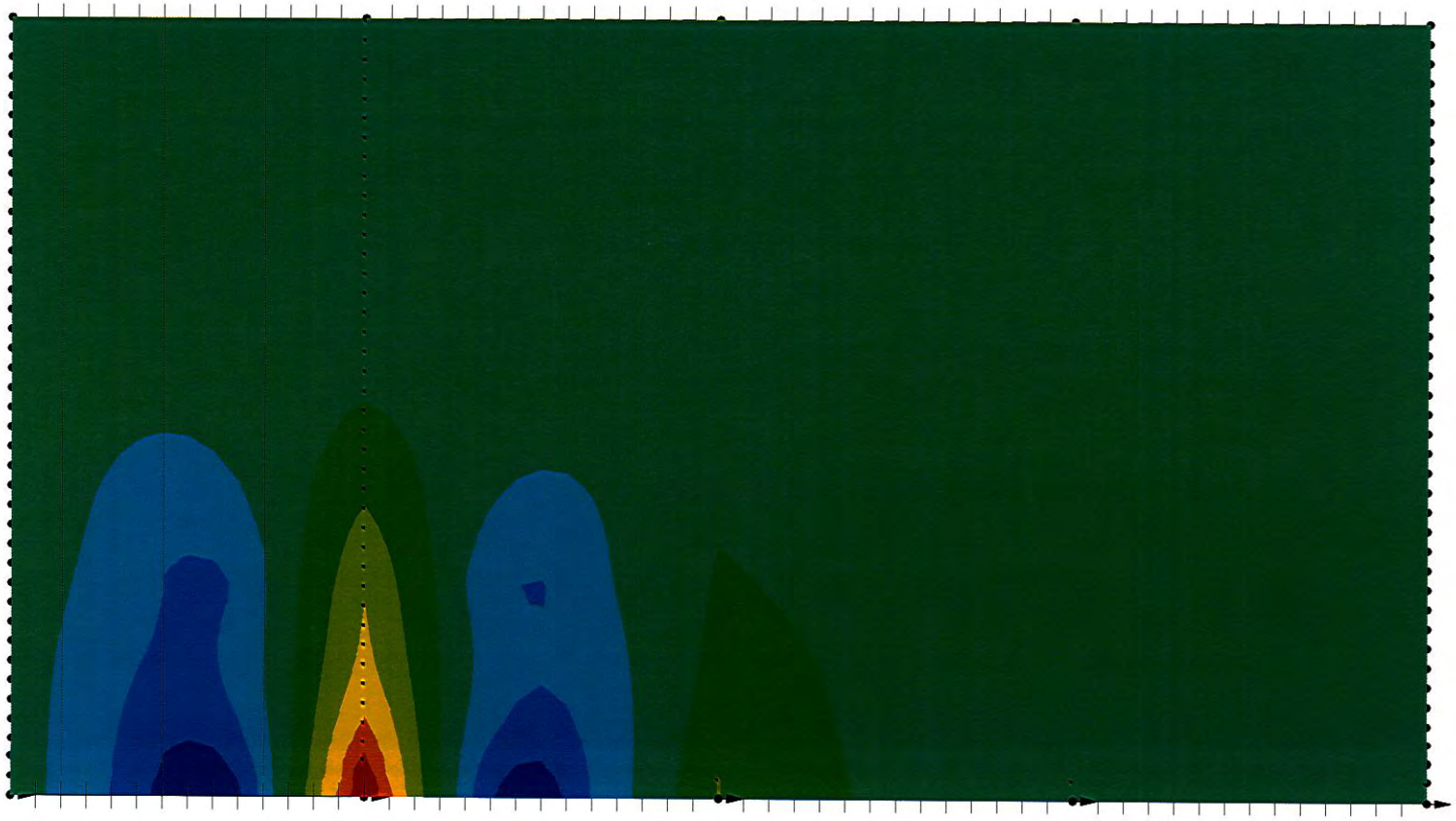
Mx ± |Mxy| -> +40.2 , -26.8
+38.6 , -29.3

My ± |Mxy| - +11.8 , -7.8
+9.5 , -9.7

Efforts Internes EF kN.m/m

41.7
34.1
30.3
22.7
15.1
7.5
-0.1
-7.7
-15.29
-19.09
-26.69

Plaques
Mx (kN.m/m)



cc 625

- Combinaison : P 125 kN p4 2xb

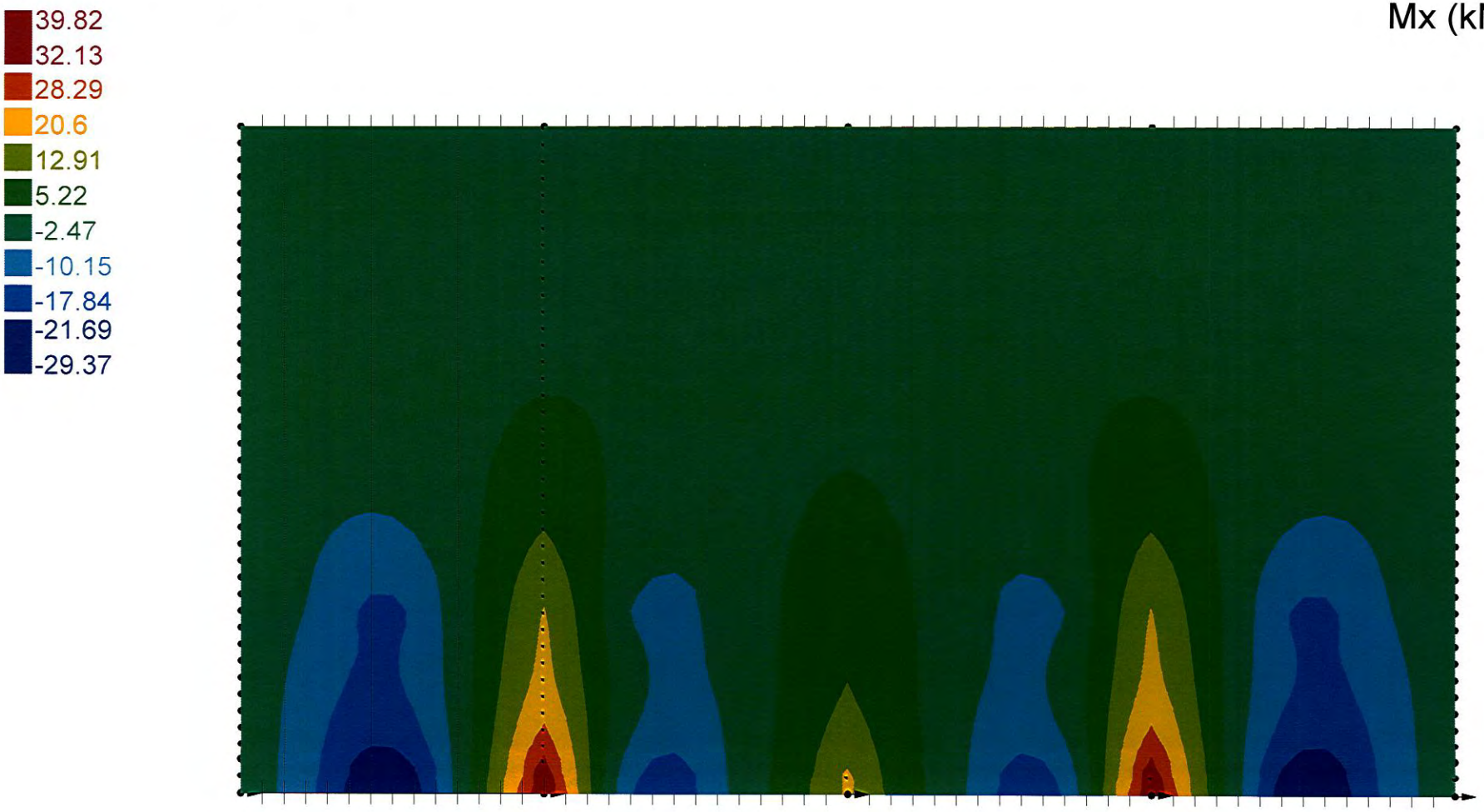
Mx ± |Mxy| → +42.5 ; -26.0
+41.7, -26.2

My ± |Mxy| → +11.4, -7.5
+10.7, -9.6

Efforts Internes EF kN.m/m

Plaques

Mx (kN.m/m)



CL 62r

- Combinaison : P 125 kN p5 2xb

$M_x \pm |M_{xy}| \rightarrow$ +40.5, -28.2

+39.7, -31.1

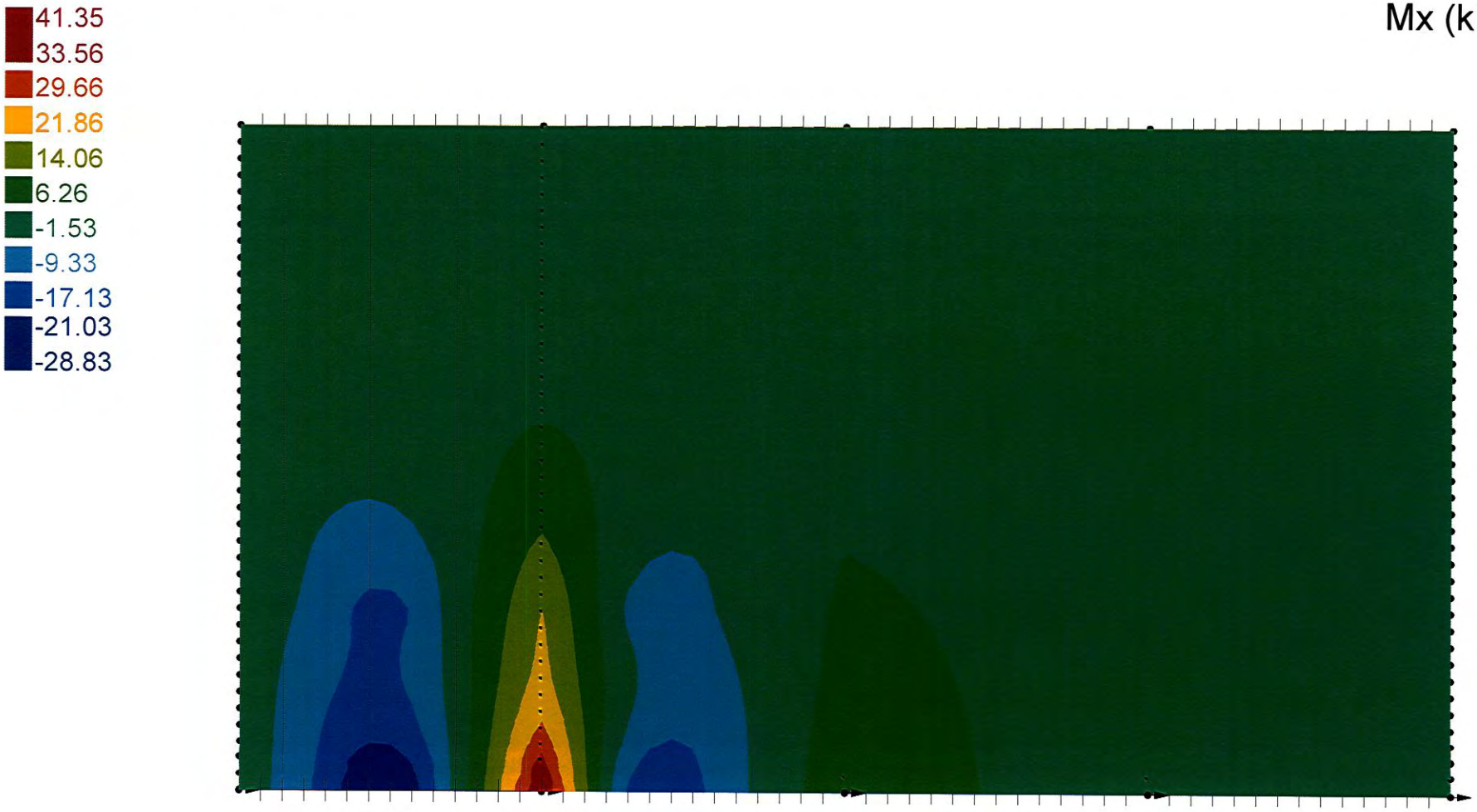
$M_y \pm |M_{xy}|$: + 10.8, - 8.2

+ 10.1, - 9.5

Efforts Internes EF kN.m/m

Plaques

Mx (kN.m/m)



CL 625

- Combinaison : P 125 kN p6 2xb

$M_x \pm |M_{xy}| \rightarrow$ +42.4, -27.5

+41.2, -30.6

$M_y \pm |M_{xy}|$: +11.5, -8.0

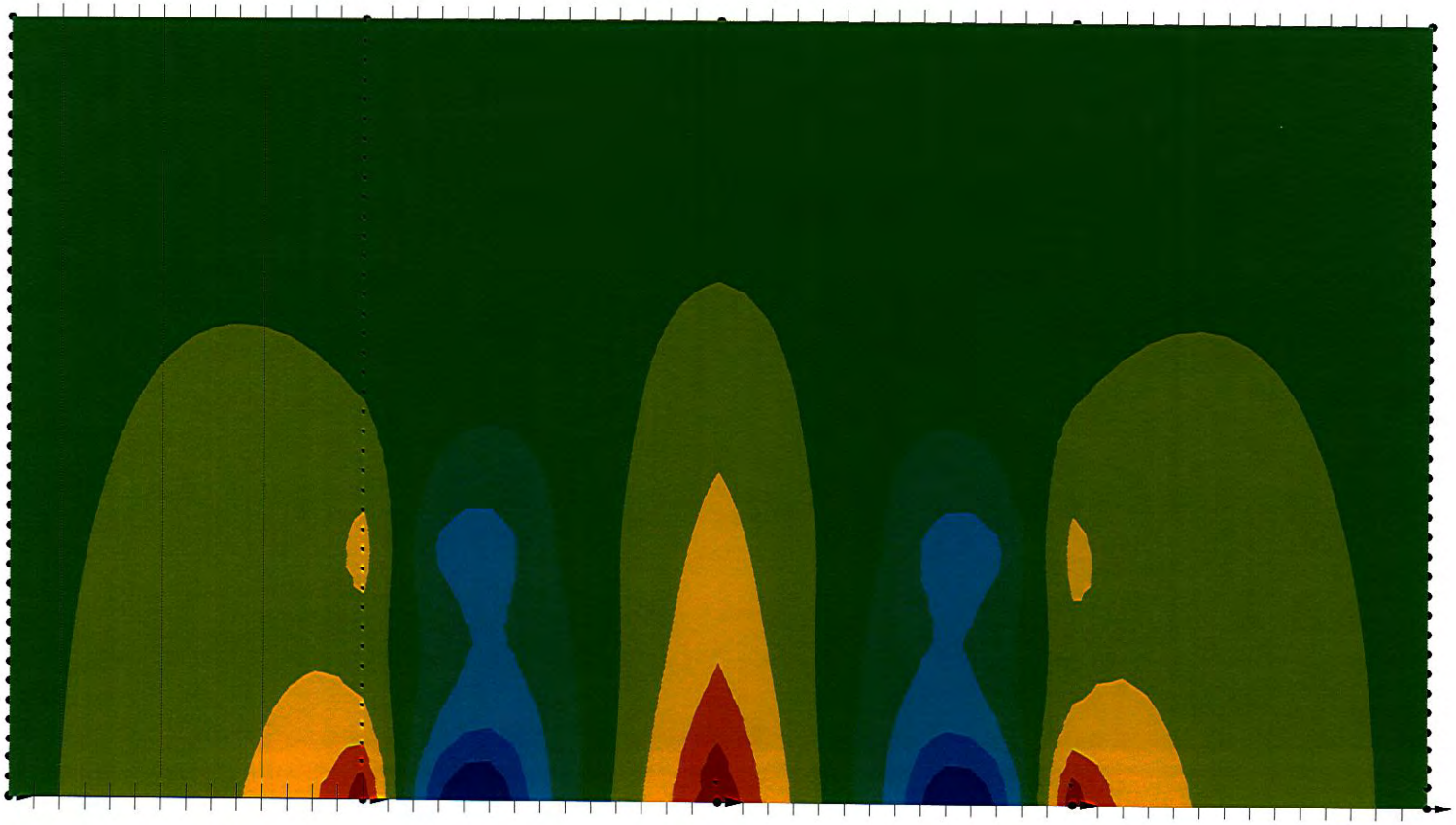
+10.7, -9.4

Efforts Internes EF kN.m/m

Plaques

Mx (kN.m/m)

58.94
44.95
37.95
23.96
9.97
-4.02
-18.01
-32
-45.99
-52.99
-66.98



Charge originale

- Combinaison : P 360 kN p1 2xb

$M_x \pm |M_{xy}| \rightarrow +71.4, -66.3$

$+58.3, -74.8$

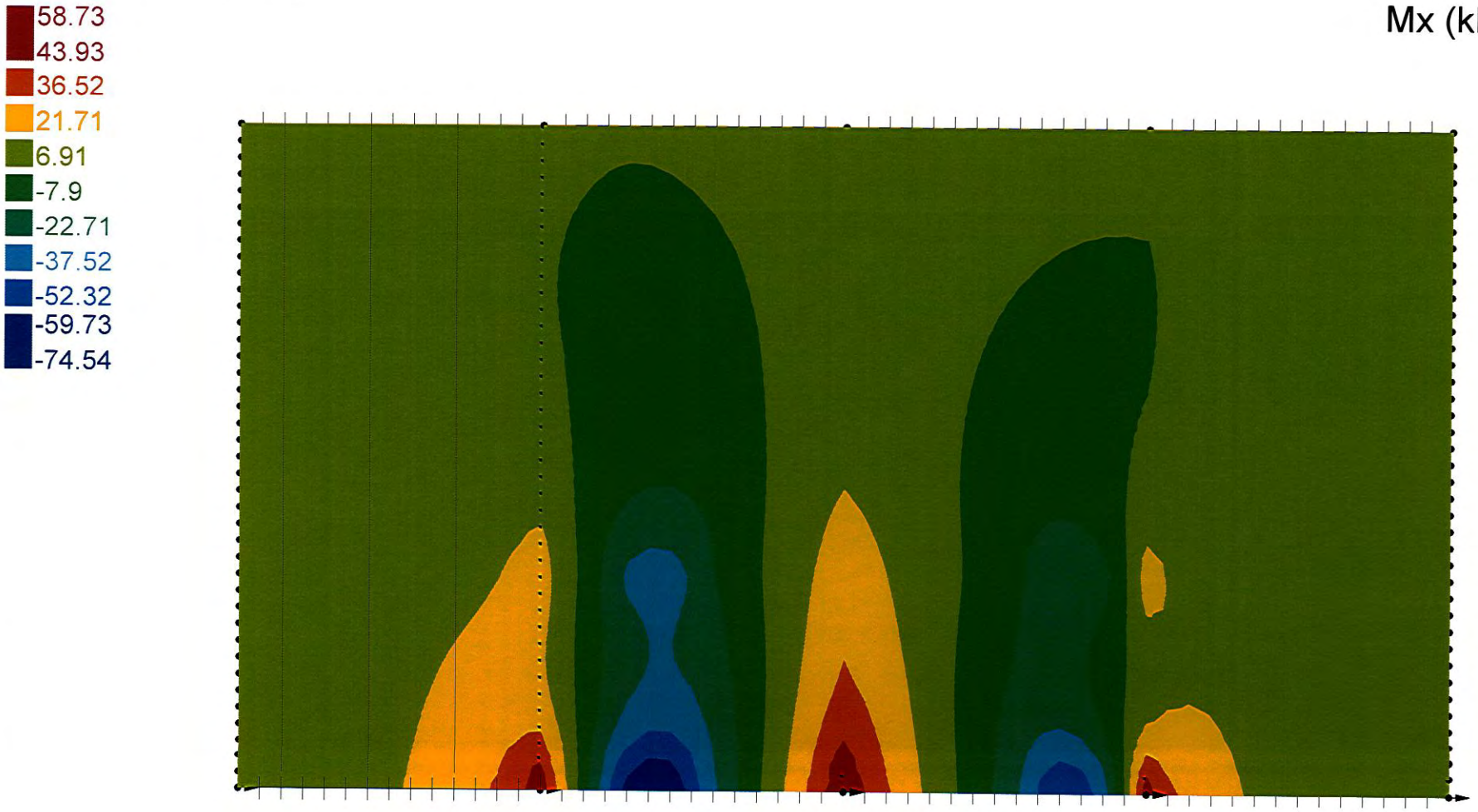
$M_y \pm |M_{xy}| \rightarrow +26.6, -22.6$

$+14.3, -26.6$

Efforts Internes EF kN.m/m

Plaques

Mx (kN.m/m)



Change origin 6

- Combinaison : P 360 kN p2a 2xb

$M_x \pm |M_{xy}| \rightarrow$ +69.2, -69.4

+56.3, -80.3

$M_y + |M_{xy}|$ - +26.3, -24.2

+12.5, -27.8

charge original

- Combinaison : P 360 kN p2b 2xb

$M_x \pm |M_{xy}| \rightarrow +65.1, -77.4$

$+52.6, -84.0$

$M_y \pm |M_{xy}| - +24.8, -25.8$

$+9.2, -27.7$

Efforts Internes EF kN.m/m

57.18
41.7
33.96
18.48
3
-12.49
-27.97
-43.45
-58.93
-66.67
-82.15

Plaques
Mx (kN.m/m)

charge origine 6

- Combinaison : P 360 kN p3 2xb

$M_x \pm |M_{xy}| \rightarrow$ +66.9 ; -82.1
+48.7 , -85.7

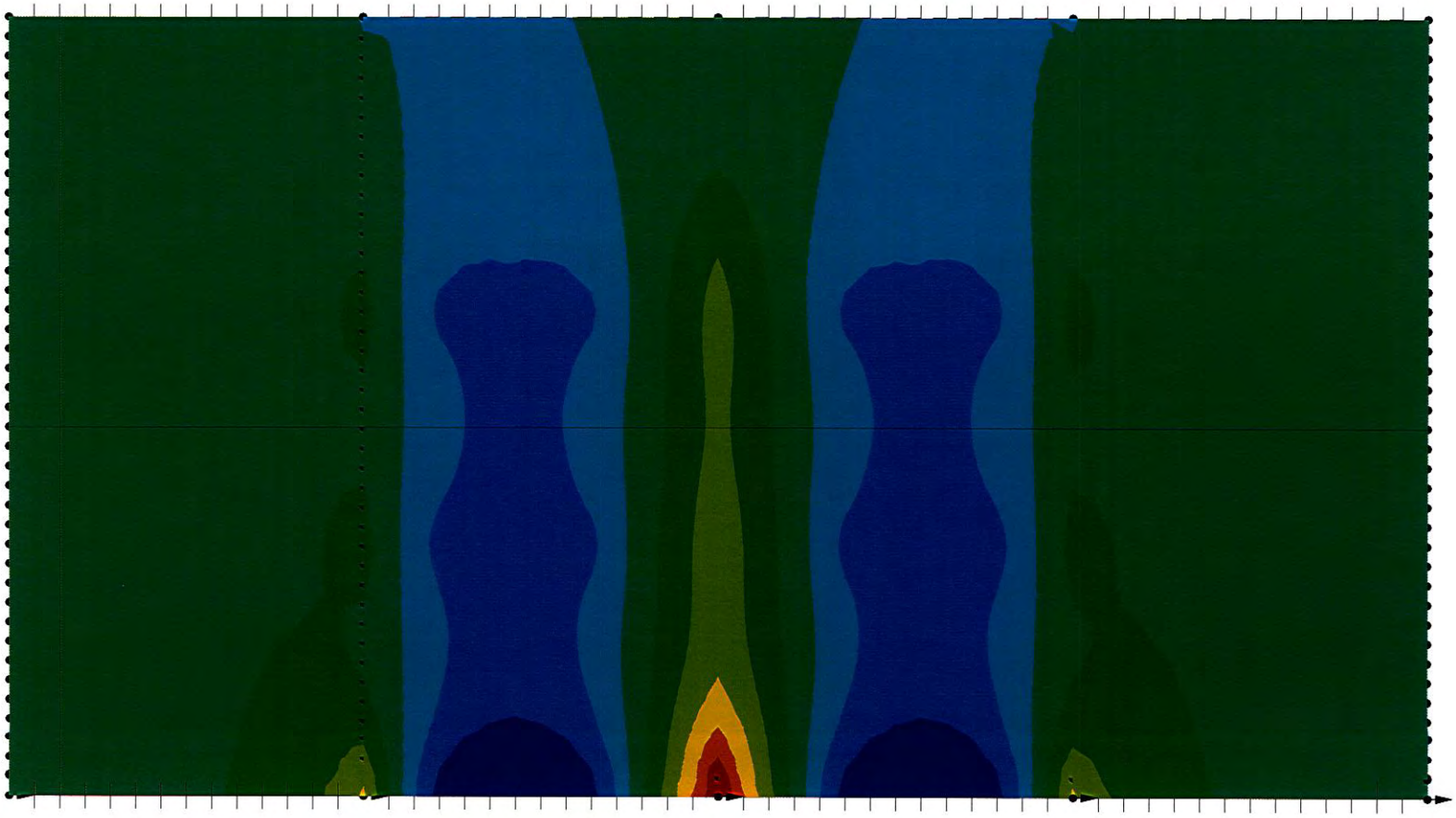
$M_y \pm |M_{xy}| \rightarrow$ +24.3 , -26.4
+9.4 , -27.2

Efforts Internes EF kN.m/m

Plaques

Mx (kN.m/m)

62.4
51.85
46.58
36.02
25.47
14.92
4.37
-6.18
-16.73
-22.01
-32.56

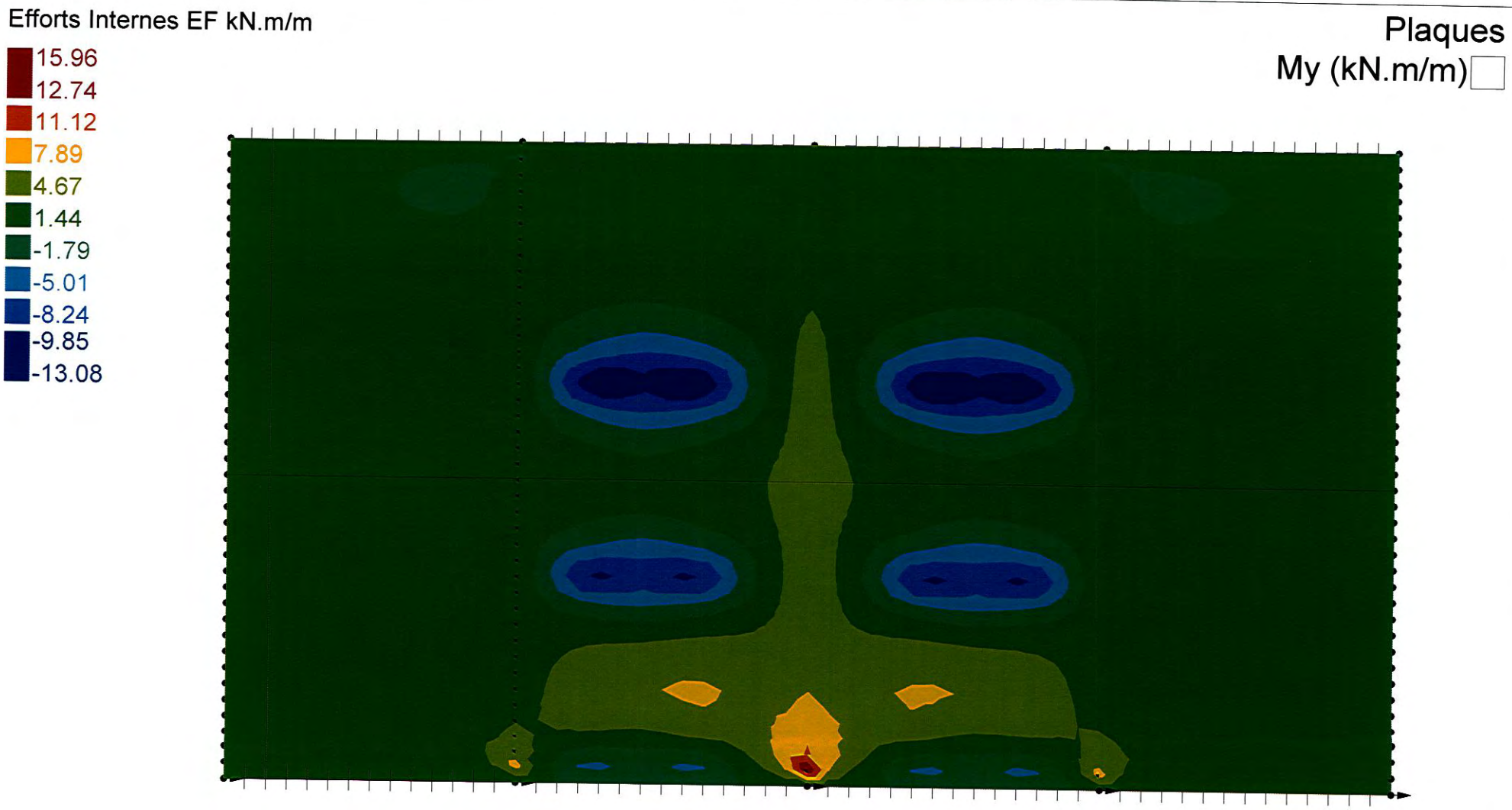


Charge origine 6

- Combinaison : P 265 kN p1b@1.5

$m_x \pm |m_{xy}|$: 63.0 ; -30.1

62.0 ; -39.2



charge originale

- Combinaison : P 265 kN p1b@1.5

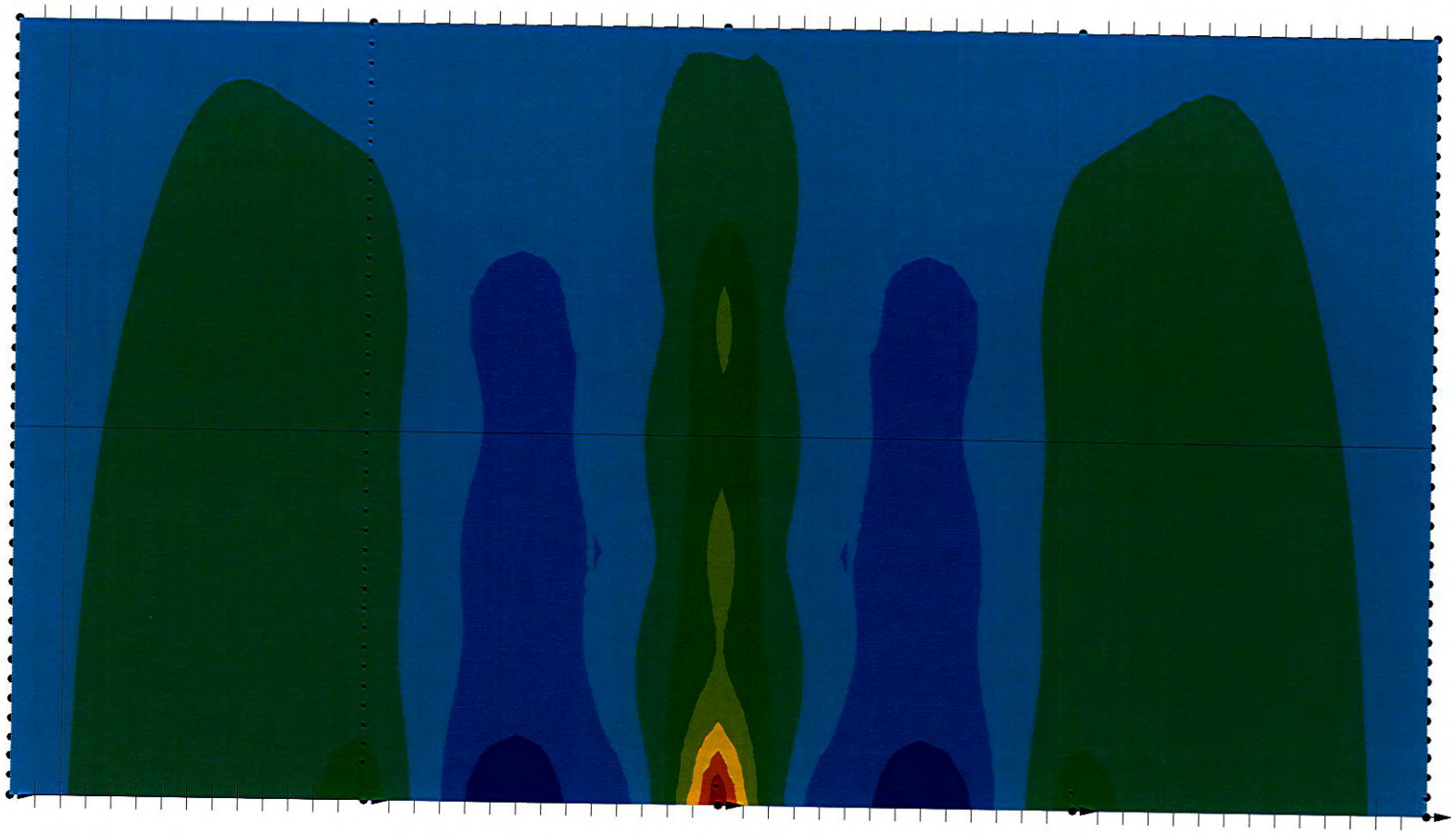
$m_y \pm |m_{xy}| =$ 16.6 : -12.4

15.4 : -14.2

Efforts Internes EF kN.m/m

58.6
49.07
44.31
34.78
25.26
15.73
6.21
-3.32
-12.84
-17.61
-27.13

Plaques
Mx (kN.m/m)

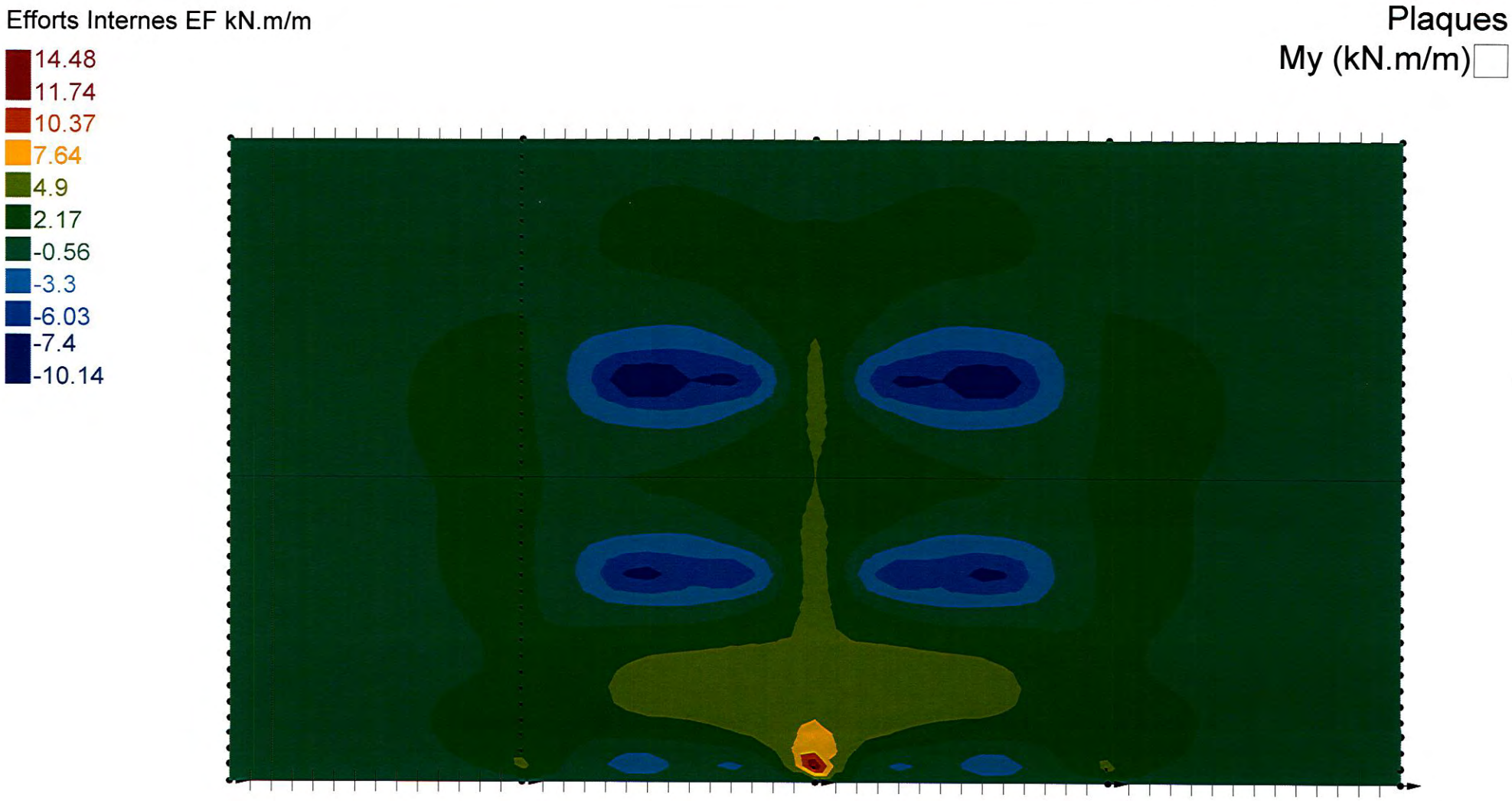


Charge modifiée

- Combinaison : P 200 kN p1b@1.5

$M_x \pm |M_{xy}| =$ 59.2 ; -25.8

58.0 ; -29.9



charges modifiée

- Combinaison : P 200 kN p1b@1.5

$m_y \pm |m_{xy}| = 14.9 : -10.1$

$14.9 : -10.5$

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

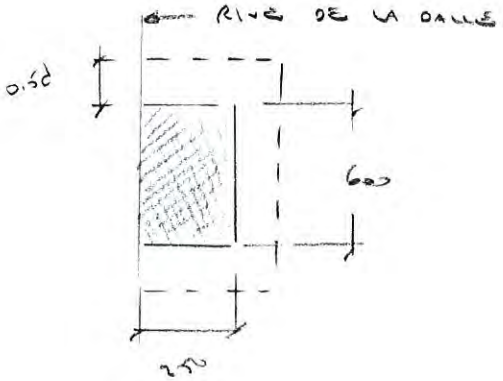
BPR

Nom du projet: ____ Par: PL

Date: 4 Nov '13

Sujet: ____ No du projet: ____

Calcul du poinçonnement de la dalle



$V_r = \phi_c f_{cr} b_o d$

$= 0.75 \cdot 0.4\sqrt{f_c}\, b_o d$

$d = 174$ mm

$b_o = 600 + 174 + 2 \times (250 + 174/2)$

$= 1446$ mm

$V_r = 0.75 \cdot 0.4\sqrt{f_c} \cdot 1446 \cdot 174$

$= 1.77$ MPa $\cdot$ $1446 \cdot 174$

$= 447$ kN

Ch. ensemble max =

$\frac{1}{2}P = 447 / (1.7 \cdot 1.4)$ => $P = 375$ kN

Charge supérieure aux cas de charges qui contrôlent la flexion de la dalle

Imprimerie J.B.R. inc

CALCUL DE LA DALLE

POUR LE CAMION (TRACTEUR)

OU MULTI GRUE

FEUILLE DE PROJET **NO.** _____ **de** _____

BPR

Nom du projet: _____

Par: P.L.

Date: _____

Sujet: _____

No du projet: _____

LE TRACTEUR UTILISÉ POUR TIRER LE MULTI LIGNE SERA DIFFÉRENT DE CELUI DE CONCEPTION ORIGINALE. LE TRACTEUR ORIGINAL AVAIT BEAUCOUP DE CHARGE SUR SES ESSIEUX COMPTE TENU DE LA PRÉSENCE D'UN COL DE CYGNE SUR LE MULTILIGNE QUI ENVOIE UNE PARTIE IMPORTANTE DES CHARGES DE LA REMORQUE SUR LE TRACTEUR POUR DONNER DE LA TRACTION À CELUI-CI. DANS NOTRE CAS, LE TRACTEUR POSSÈDE DES CONTRE POIDS AUX ESSIEUX DES ROUES DE TRACTION POUR DONNER PLUS DE TRACTION CAR IL N'Y A PAS DE COL DE CYGNE SUR LA REMORQUE.

Imprimerie J.B.R. inc.

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____

Sujet: _____

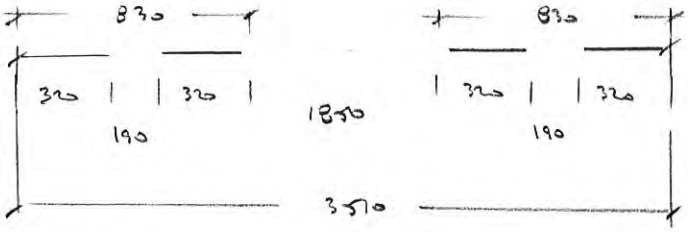
Par: P.L.

Date: 13 jan '13

No du projet: _____

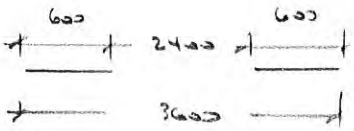
DIMENSIONS DU CAMION POUSSEUR AMB

P12

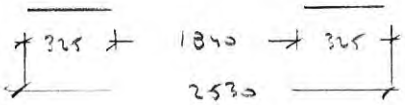


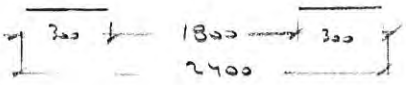
(11'-6")

TEL CONÇU CALCULS ORIGINAUX DU PONT

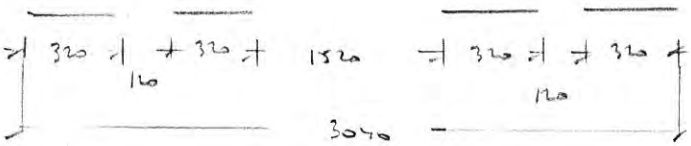


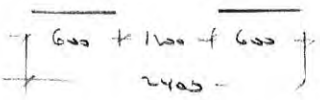
CAMION TIRANT AMB



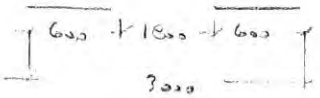


CL625





CL625



MODIF

Imprimerie J.B.R. inc

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

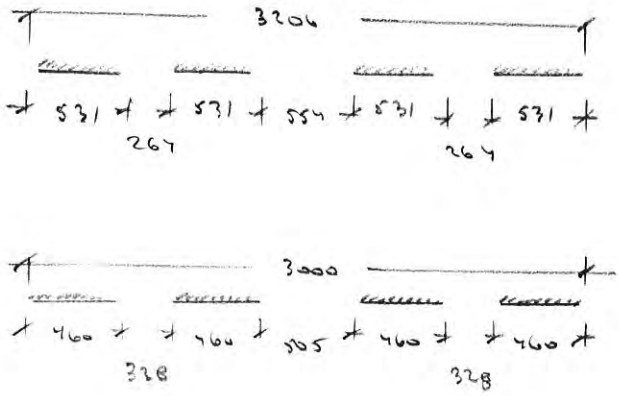
BPR

Nom du projet: _____ Par: P.L.

Date: 13 JAN '13

Sujet: _____ No du projet: _____

MULTI LIGNE ABB



semblable à la nomenclature de Goldhofer utilisée dans les calculs

← Goldhofer

Imprimerie J.B.R. inc

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____ Par: P.L.

_____ Date: 14 juin 13

Sujet: _____ No du projet: _____

Étude pour deux anneaux centrés sur le pont
avec une dimension extérieure de 3000 et 2400

Utiliser une charge par essieu de 160 kN (selon ABB)
et deux essieux espacés de 1200 mm (selon ABB,
cette valeur est supérieure)

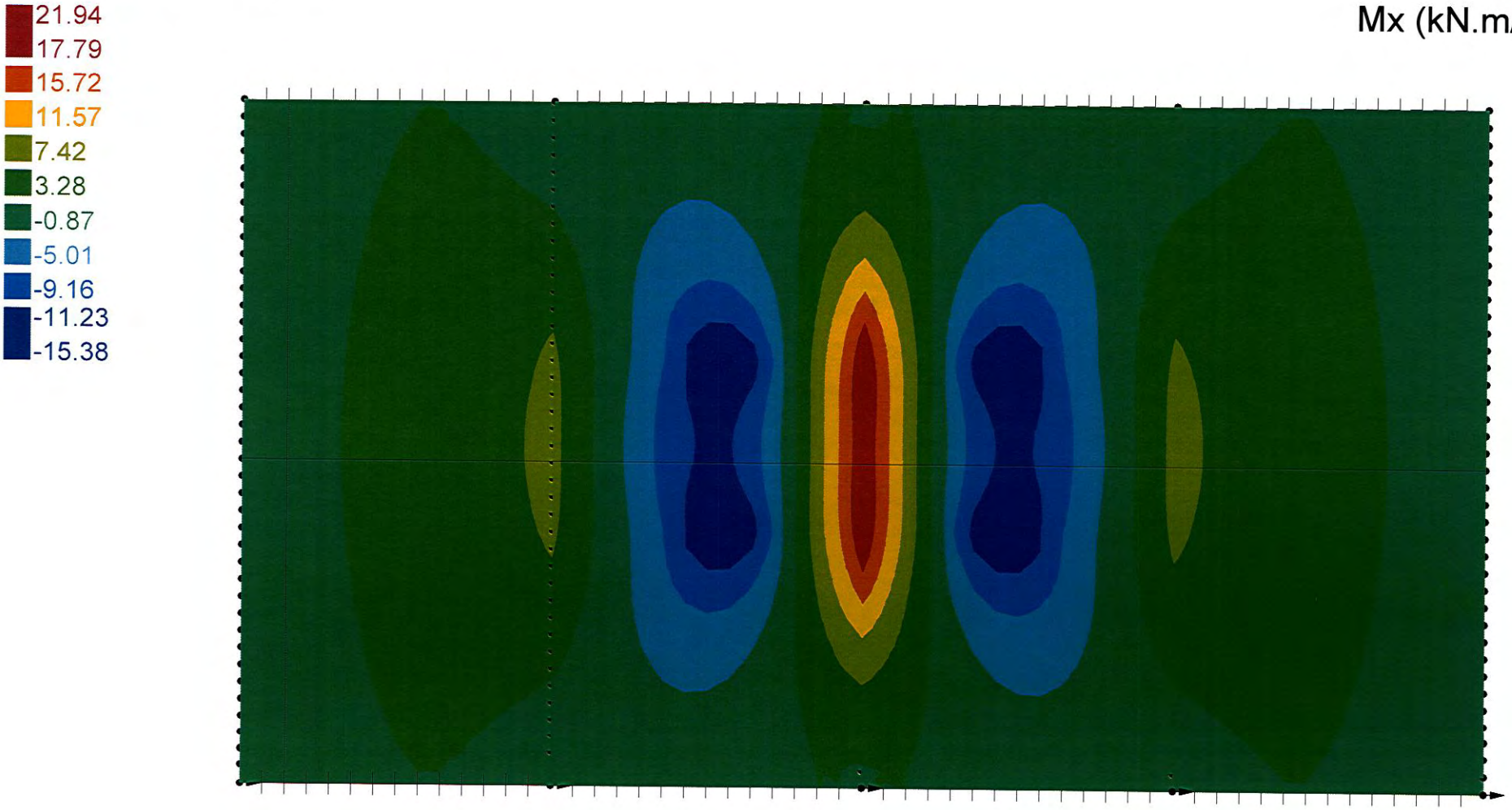
Considérer des charges de 160 kN

$p = 1/4 \times 160 / (0.600 \times 0.24) = 5556$ kPa

Efforts Internes EF kN.m/m

Plaques

Mx (kN.m/m)



- Combinaison : P 160 kN p1a 2x

Mx +/max/ = 22.1 ; -15.3

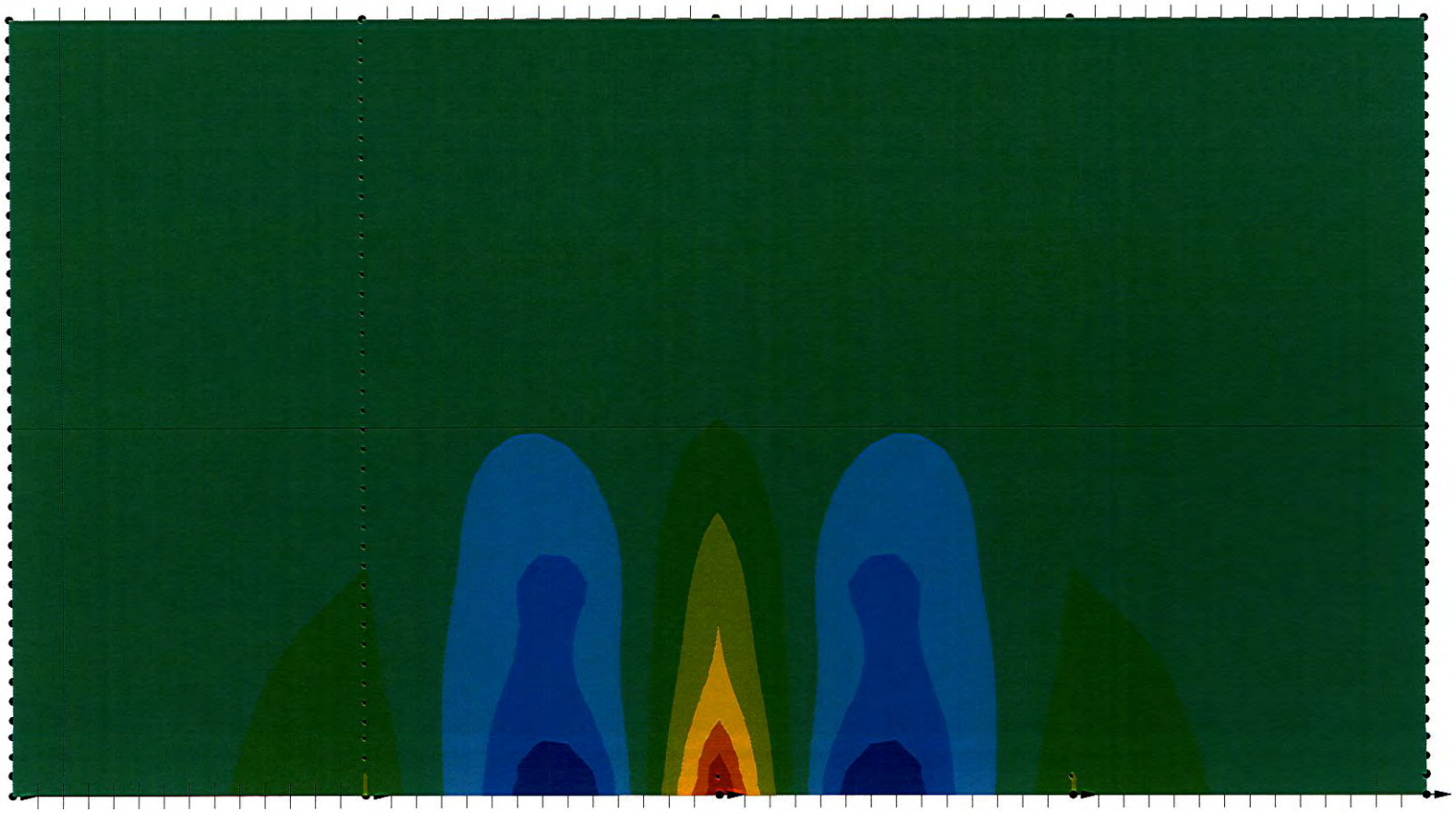
21.9 ; -16.0

Efforts Internes EF kN.m/m

Plaques

Mx (kN.m/m)

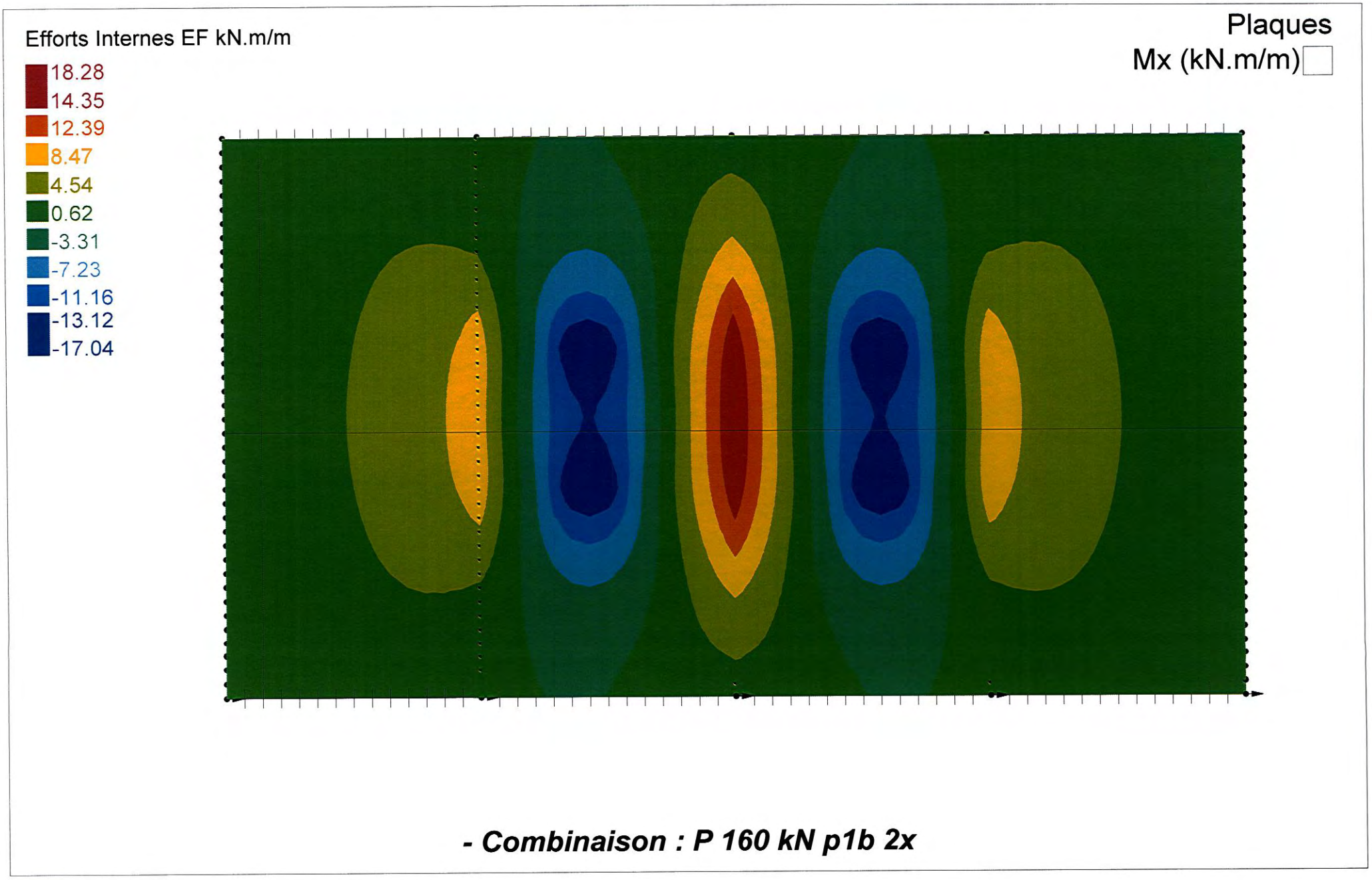
52.04
42.72
38.06
28.74
19.42
10.1
0.78
-8.54
-17.86
-22.52
-31.84



- Combinaison : P 160 kN p1a 2xb

$m_x \pm |m_{xy}|$ = 52.6 ; -30.3

51.7 ; -34.0



- Combinaison : P 160 kN p1b 2x

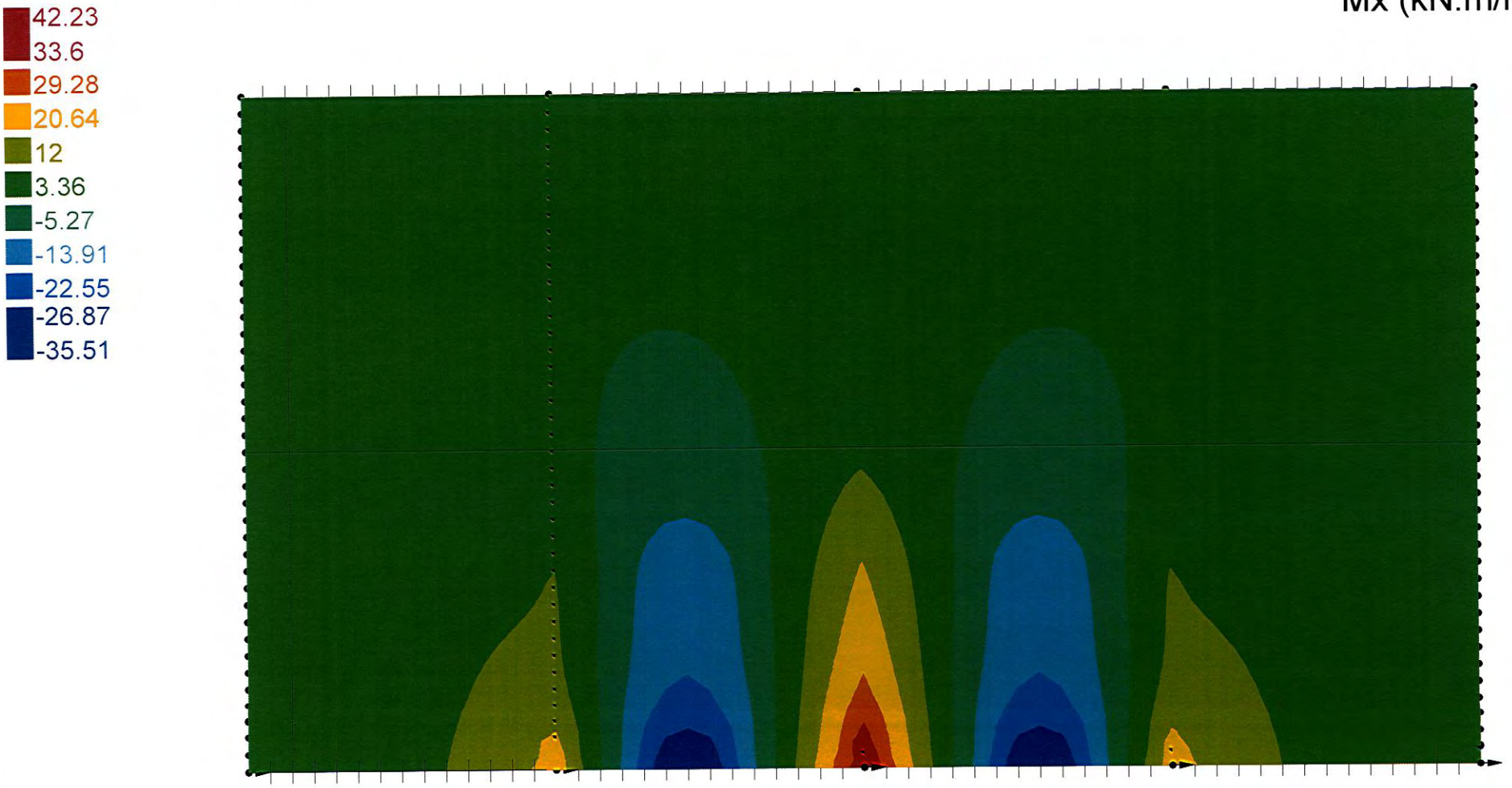
$m_x \pm |m_{xy}| =$ 18.3 ; -17.0

18.4 ; -17.4

Efforts Internes EF kN.m/m

Plaques

Mx (kN.m/m)



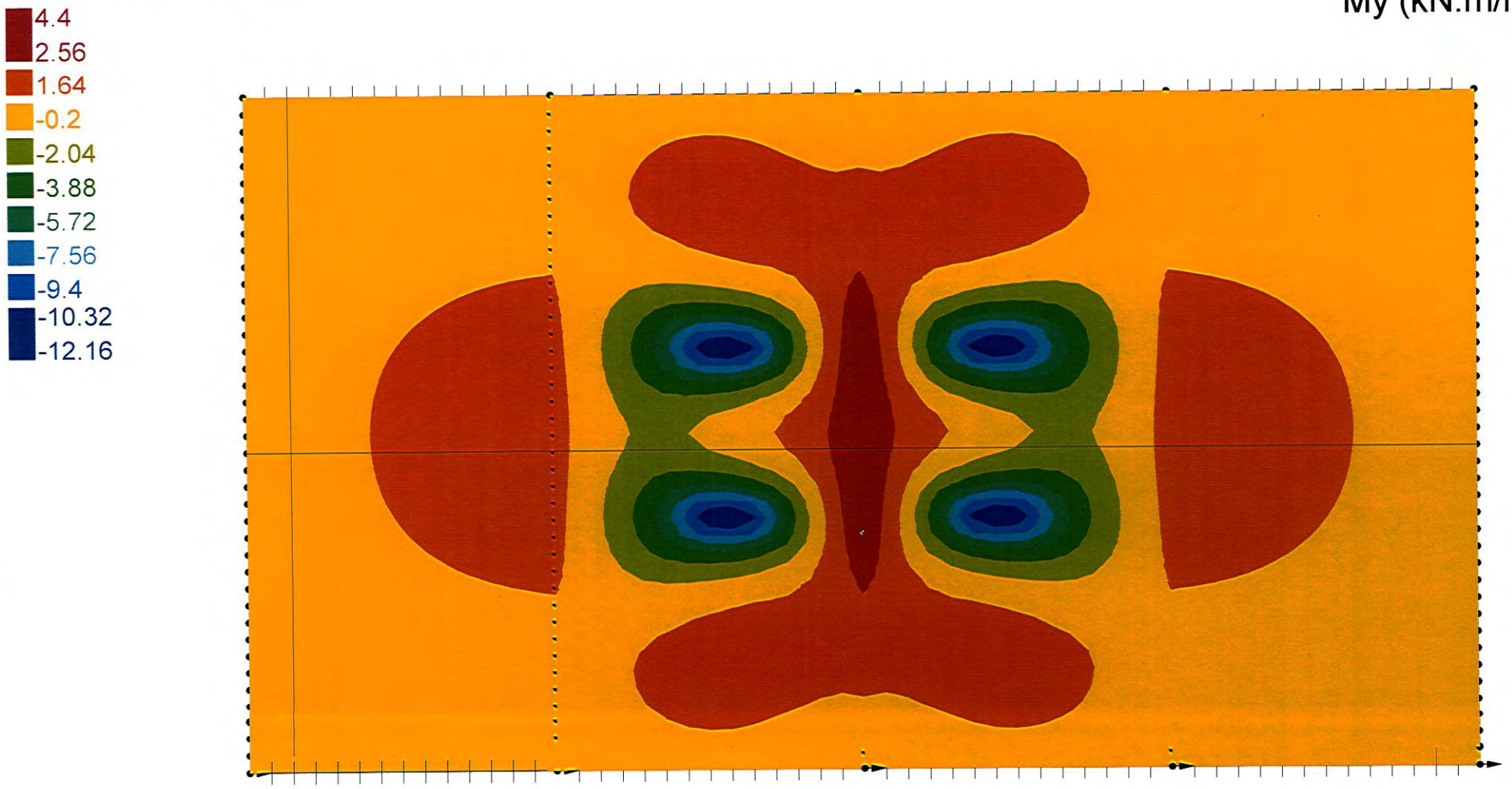
- Combinaison : P 160 kN p1b 2xb

Mx ± |Mxy| : 42.8 ; -35.1

41.8 ; -37.3

Efforts Internes EF kN.m/m

Plaques
My (kN.m/m)



- Combinaison : P 160 kN p1a 2x

my = |mxy| = 4.5 ; -11.8
4.4 ; -12.9

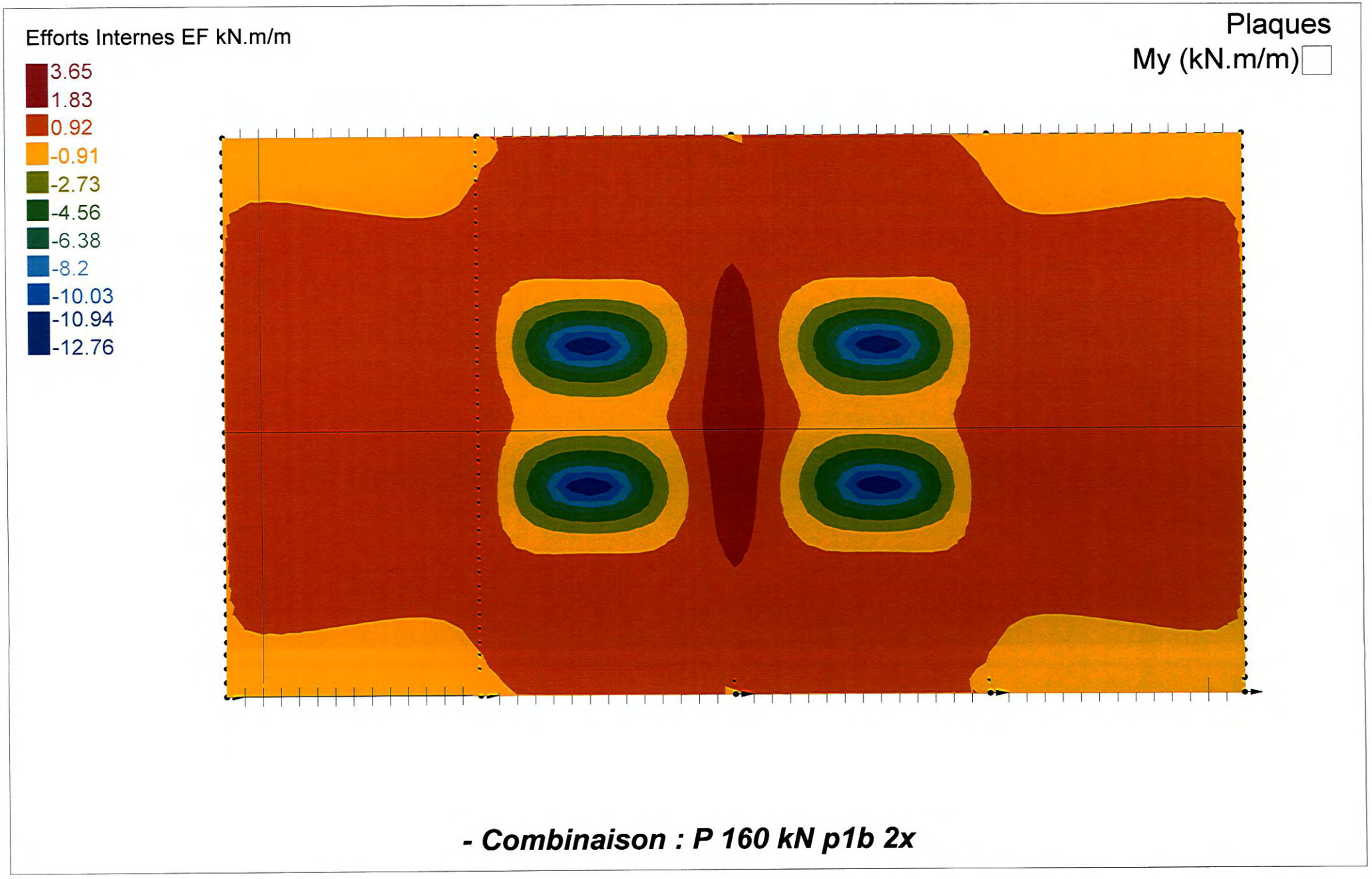
Efforts Internes EF kN.m/m

Plaques
My (kN.m/m)

- Combinaison : P 160 kN p1a 2xb

m_y + $|m_{xy}|$ = 13.8 ; -9.8

12.9 ; -11.9



- Combinaison : P 160 kN p1b 2x

$m_y \pm |m_y|$ = 3.7 ; -12.7

3.6 ; -13.1

Efforts Internes EF kN.m/m

Plaques
My (kN.m/m)

- Combinaison : P 160 kN p1b 2xb

$m_y = |m_{xy}| =$ 11.2 ; -10.9

10.3 ; -11.4

CALCUL DE LA

DALLE POUR LE

CAMION CLARK

FEUILLE DE PROJET **NO.** _____ **de** _____

BPR

Nom du projet: _____

Sujet: _____

Par: PL

Date: _____

No du projet: _____

LES CALCULS QUI SUIVENT DÉMONTRENT LES SIMILARITÉS ENTRE LES EFFORTS DE CONCEPTION DE LA NORME S6-06 ET L'ANALYSE PAR ÉLÉMENT FINIS CONCEVANT DE VALIDER LE MODÈLE UTILISÉ

Par exemple, pour l'état de la charge de 175 kN, le flexion maximum donne 19,7 kN-m/m pour le cas 175 kN-P6. Selon la norme S6-06, le flexion est de 0.8 (1/2 × 175) × (0.6 + 2.153)/10 = 19.3 kN-m/m ce qui est semblable à la valeur par élément fini.

Imprimerie J.B.R. inc

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____ Par: PL

Date: 23 nov '12

Sujet: _____ No du projet: _____

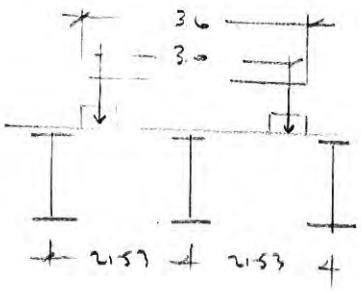
Calcul de la dalle CL-625

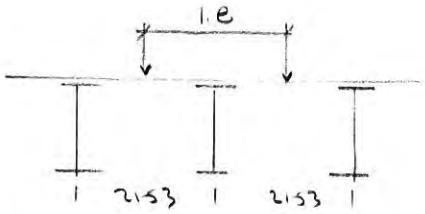
SG-06 M = (S+0.6) P/10 kN·m/m

SG-ee

SG-66 x0.8 si continuité

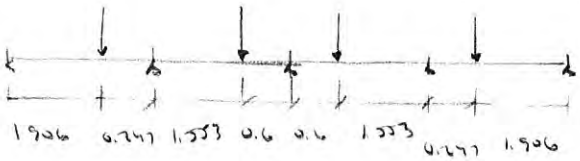
→ charge max : Essieu de 360 kN





SG 06 Essieu ① = 175 kN

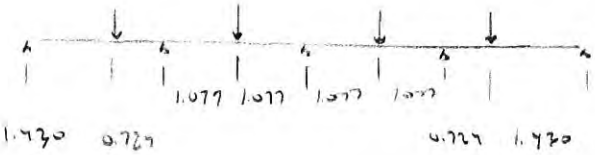
② = 2 essieux 125 kN e 1.2 m c/c



← SG-06

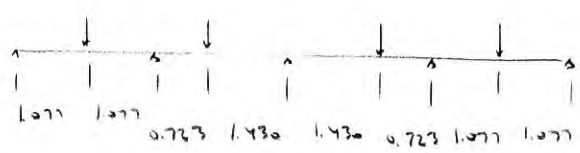
P = 175 kN

ou P = 2 × 125 kN



1 ou 2 voies

facteur de simultanéité = 0.9 pour 2 voies



Imprimerie J.B.R. inc.

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

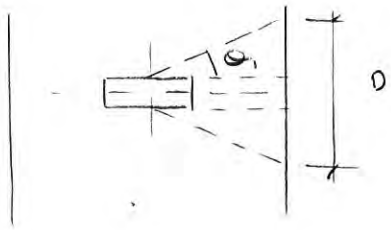
Nom du projet: ____

Sujet: ____

Par: P.L.

Date: 23 nov 1[illegible]

No du projet: ____

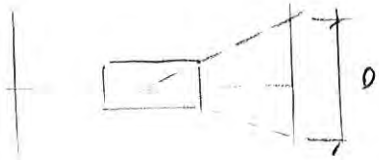


$$M = \frac{P\,(0.6+S)}{10}$$

$$M = \frac{P\,S}{e}\cdot\frac{1}{D} = \frac{P\,(0.6+S)}{10}$$

$$S/e\,D = (0.6+S)/10$$

$$\frac{10\,S}{e\,(0.6+S)} = D$$



$S = 2.153 \qquad D = 0.977$

$(0.977 - 0.25)/2 = 0.363$

$\theta_1 = \arctan(0.363/0.5\cdot 2.153) = 18.7°$

$\theta_2 = \arctan(1/2\cdot 0.977/1/2\cdot 2.153) = 27.4°$

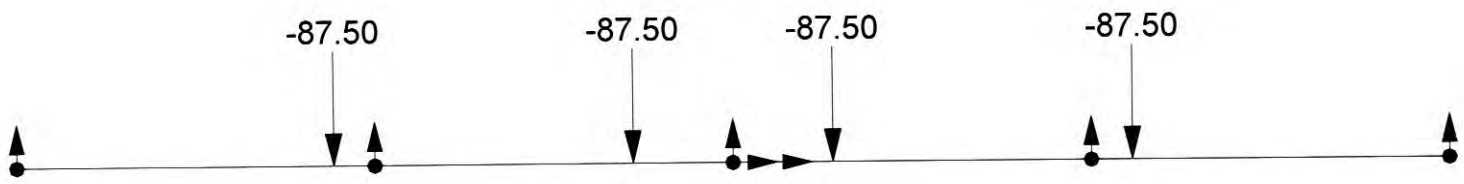
Avec $P = 87.5$ kN $\quad M = 87.5\cdot(0.6+2.153)/10 = 24.1$ kN·m/m

→ Effectuer un calcul avec un chargement de 600 m

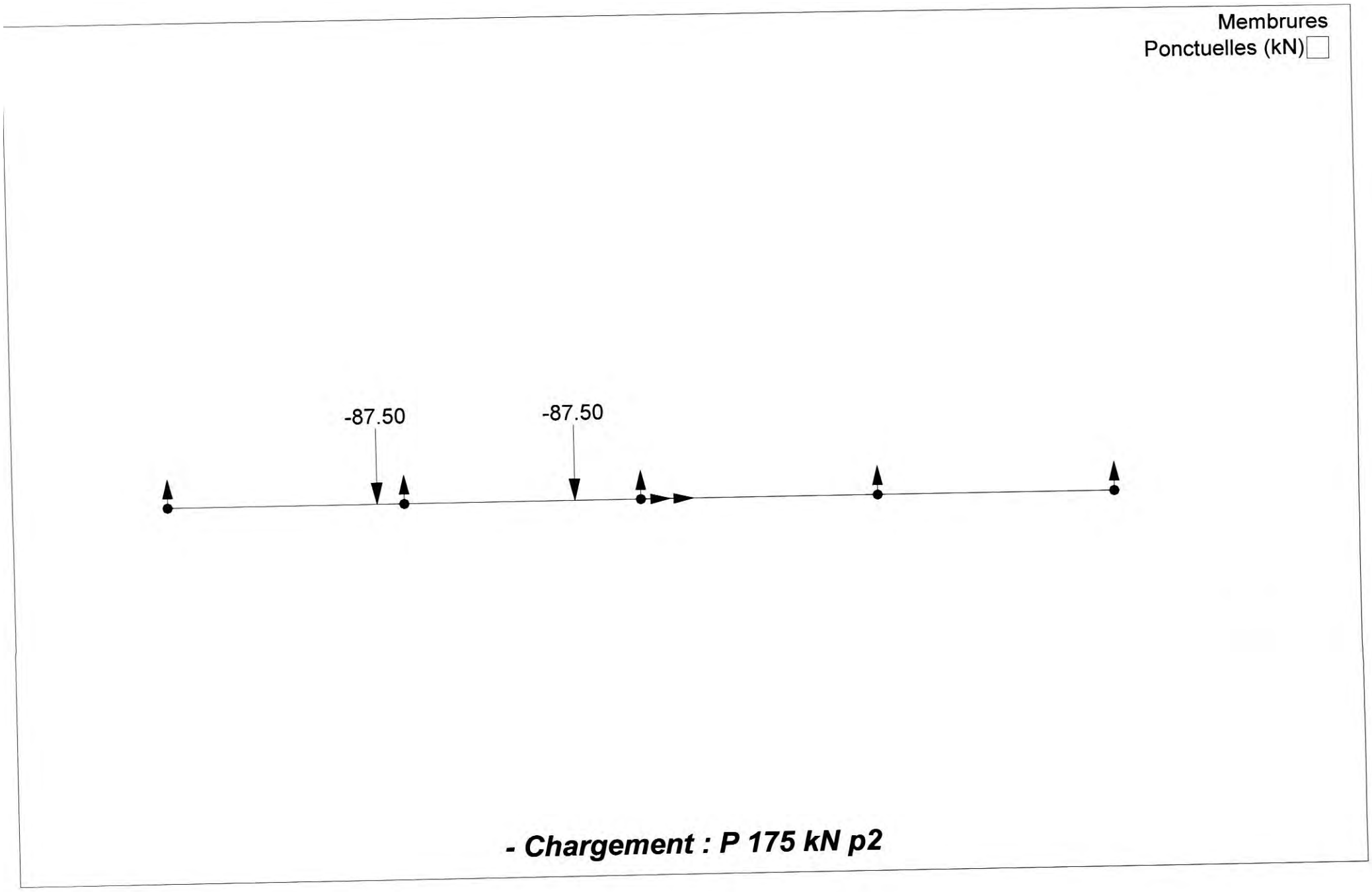
$w = 87.5/0.6 = 145.8$

Imprimerie J.B.R. inc

Membrures
Ponctuelles (kN)

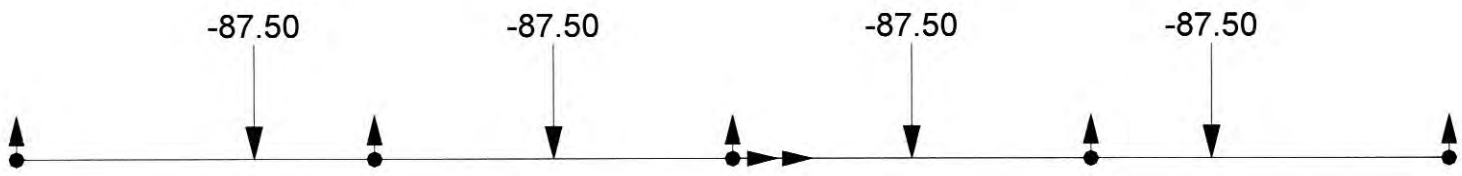


- Chargement : P 175 kN p1



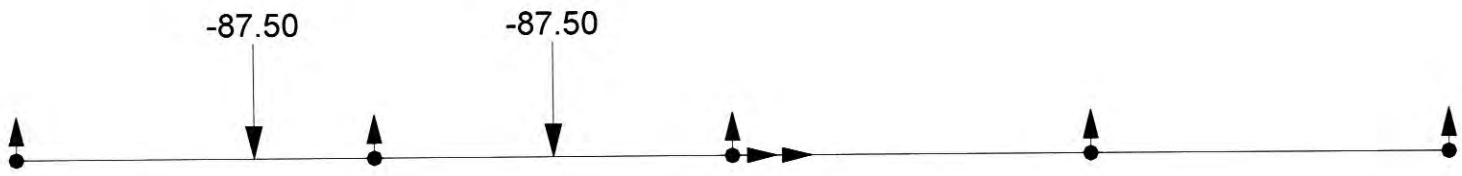
- Chargement : P 175 kN p2

Membrures
Ponctuelles (kN)



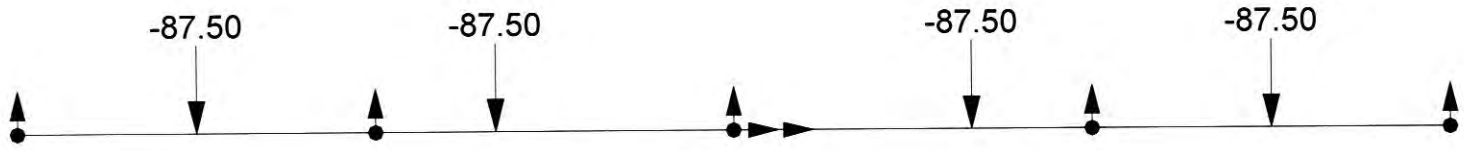
- Chargement : P 175 kN p3

Membrures
Ponctuelles (kN)



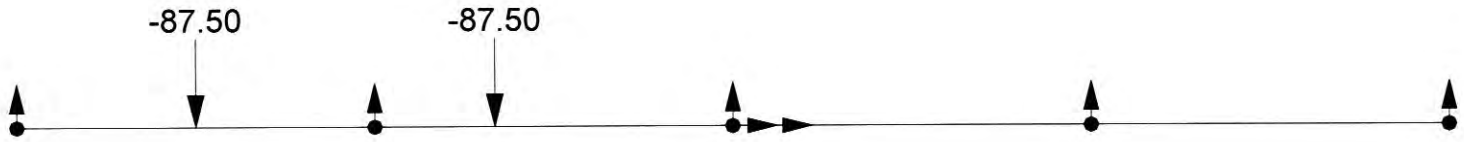
- Chargement : P 175 kN p4

Membrures
Ponctuelles (kN)



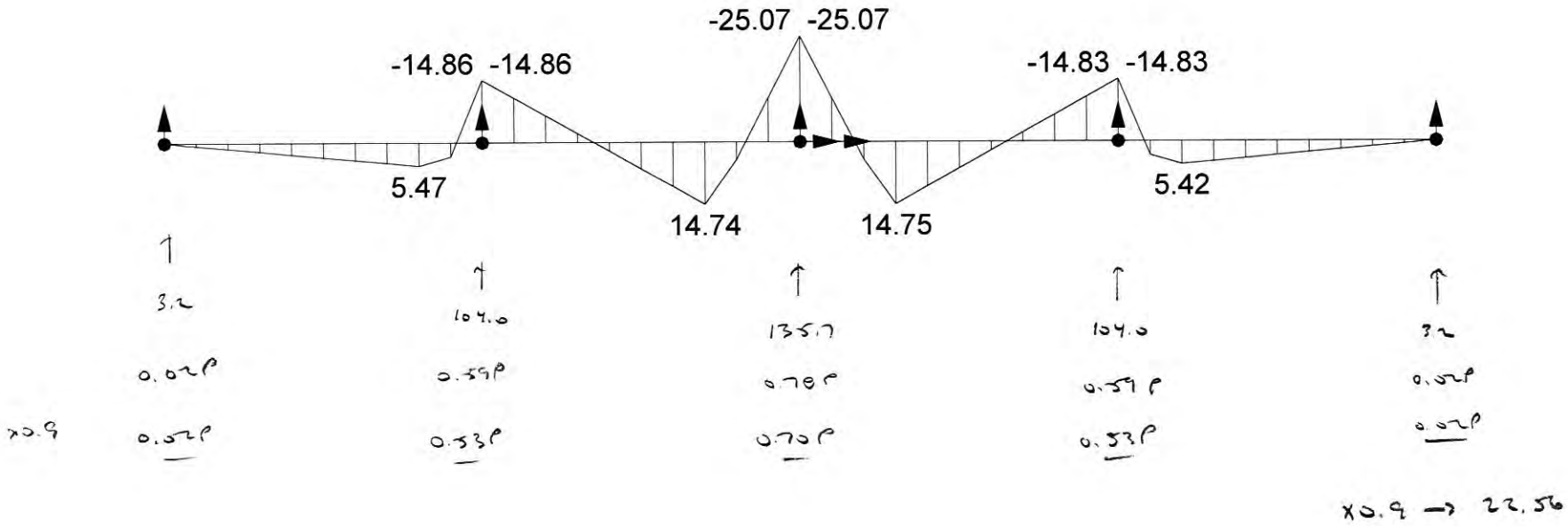
- Chargement : P 175 kN p5

Membrures
Ponctuelles (kN)



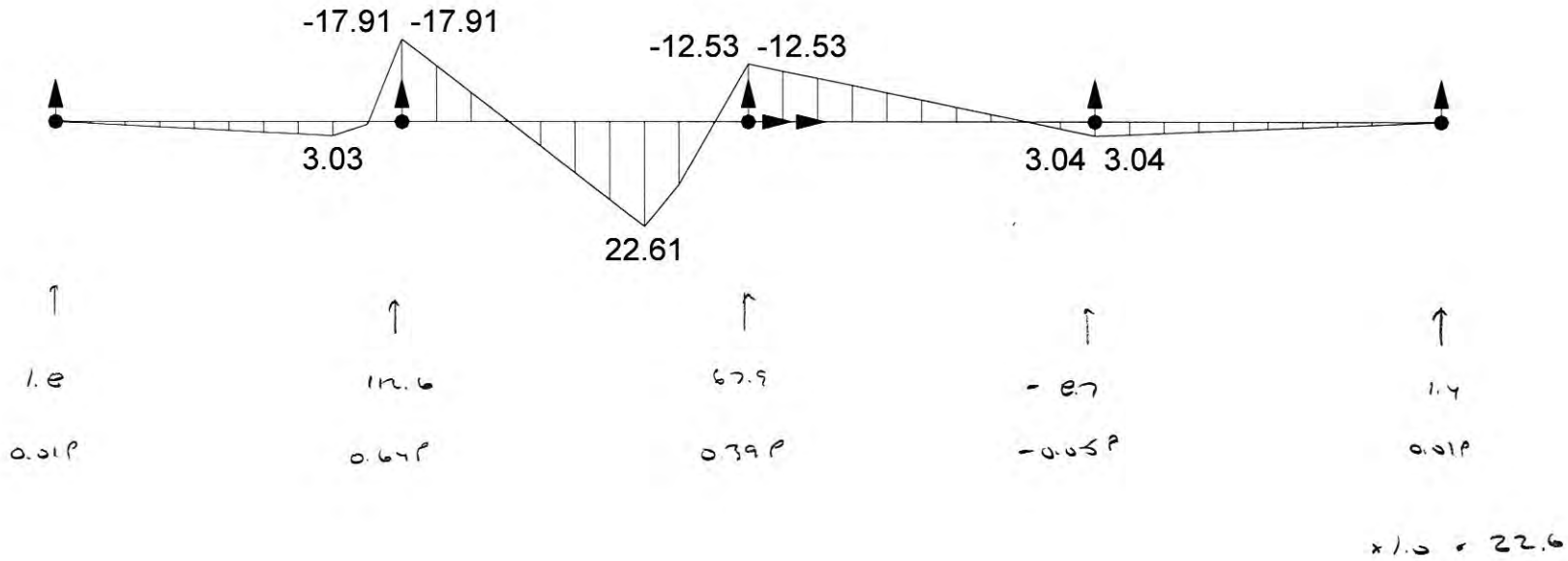
- Chargement : P 175 kN p6

Membrures
My (kN.m)



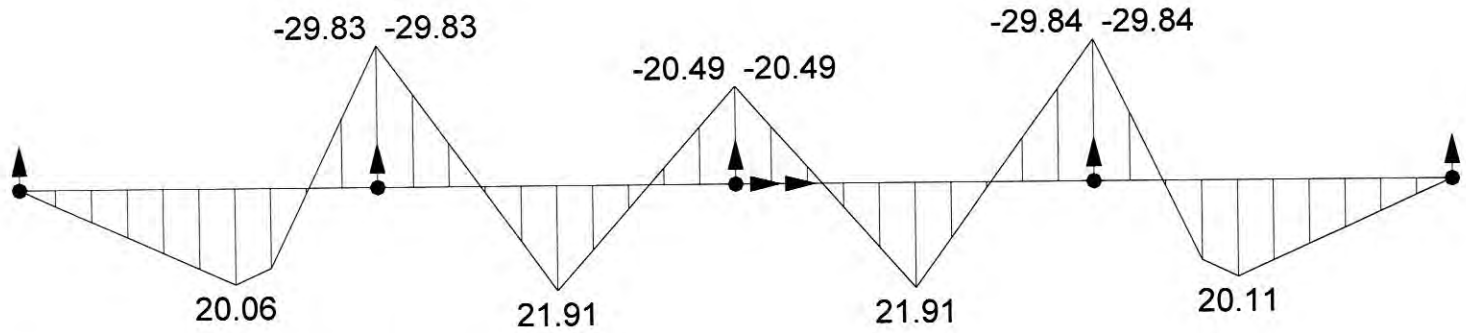
- Combinaison : P 175 kN p1

Membrures
My (kN.m)



- Combinaison : P 175 kN p2

Membrures
My (kN.m)

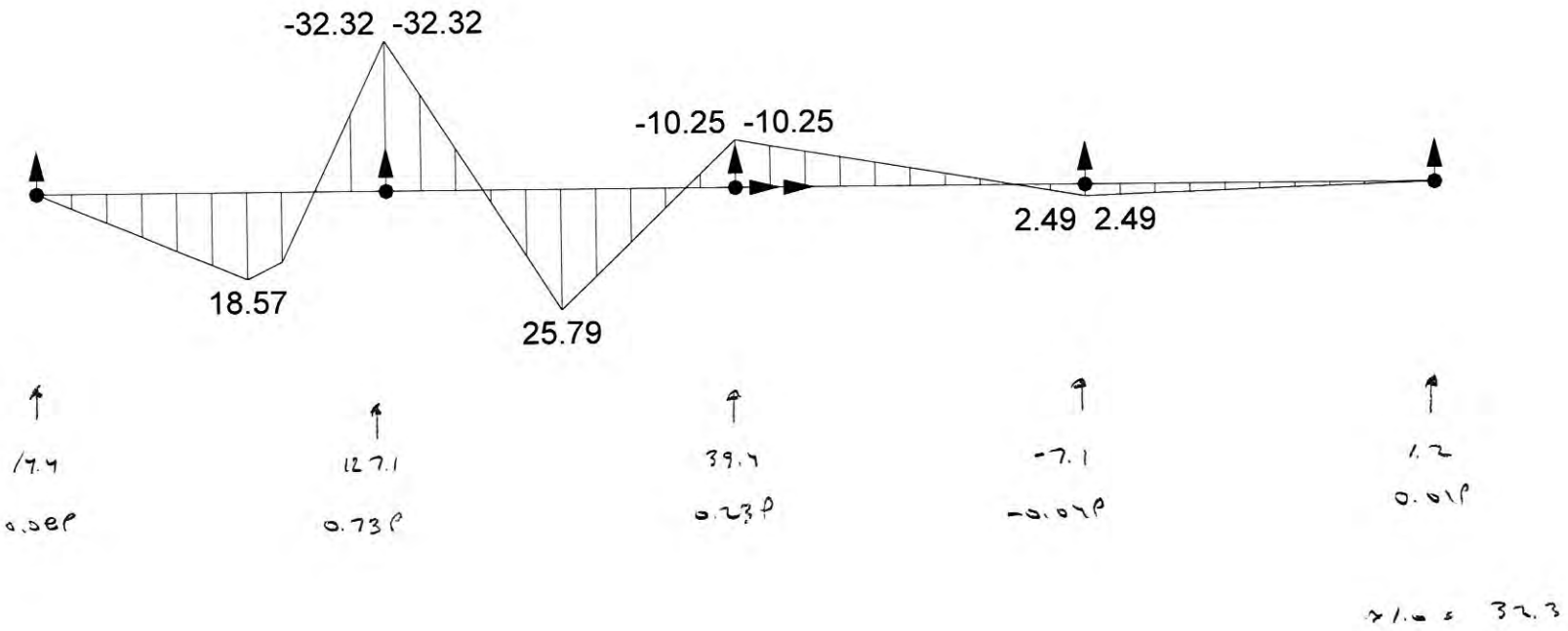


	15.5	120.0	78.8	120.0	15.5
	0.09P	0.69P	0.45P	0.69P	0.09P
x0.9	0.08P	0.62P	0.41P	0.62P	0.08P

x0.9 = 26.85

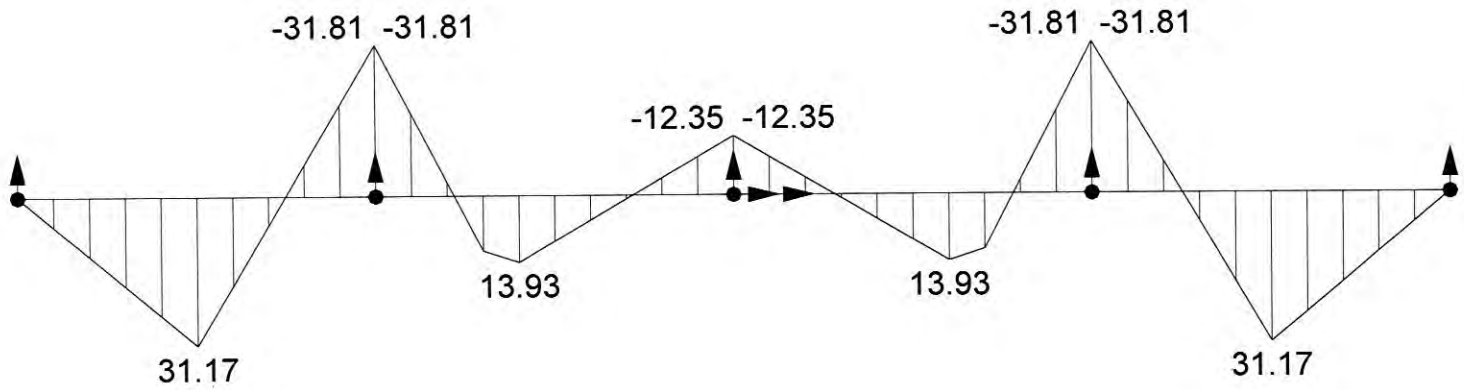
- Combinaison : P 175 kN p3

Membrures
My (kN.m)



- Combinaison : P 175 kN p4

Membrures
My (kN.m)

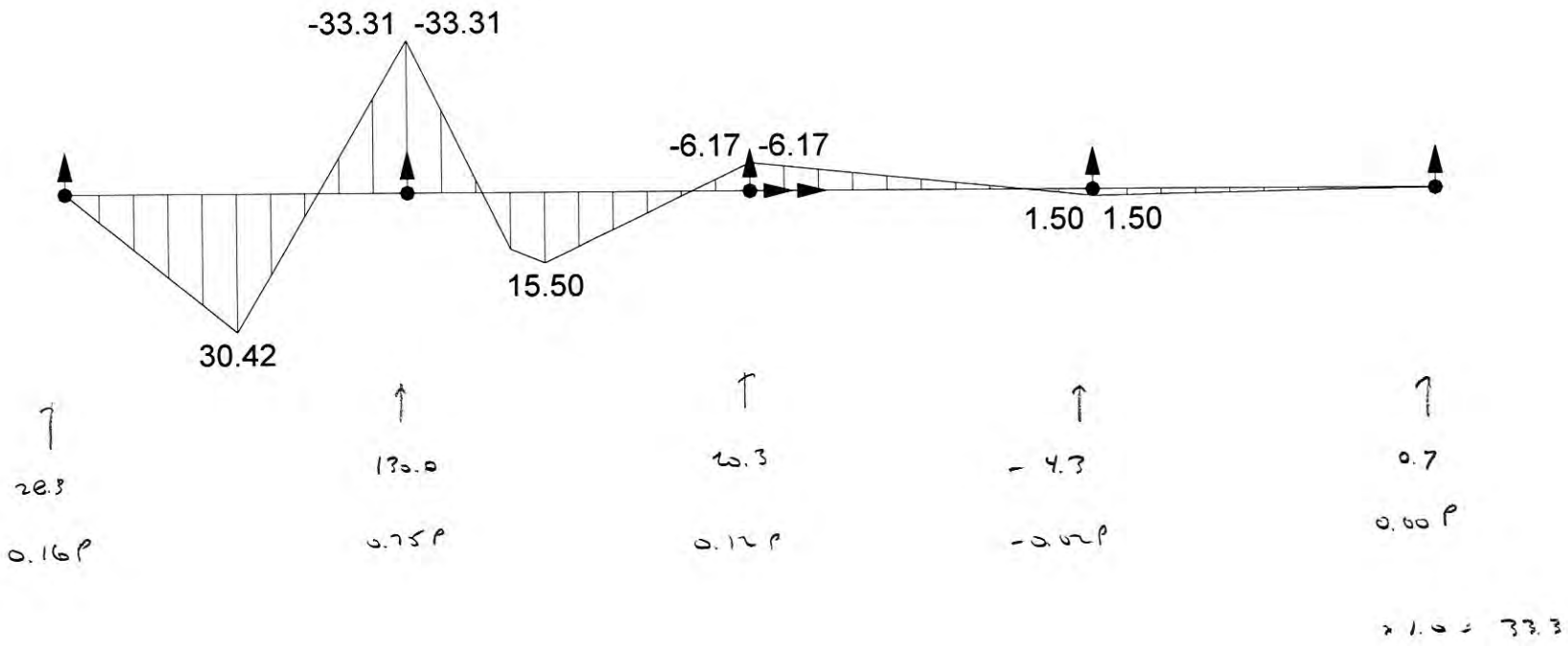


	29.0	125.7	40.7	125.7	29.0
	0.17P	0.72P	0.23P	0.72P	0.17P
x0.9	0.15P	0.65P	0.21P	0.65P	0.15P

- Combinaison : P 175 kN p5

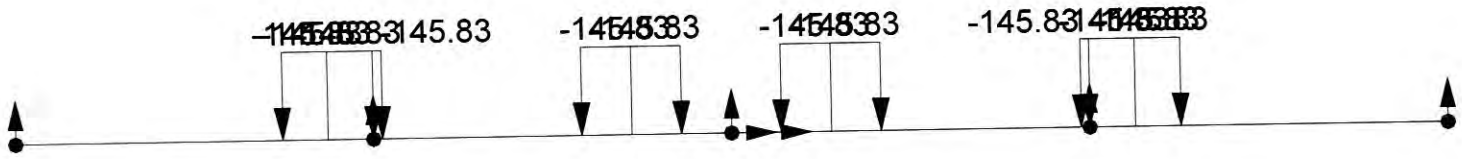
x0.9 = 28.6

Membrures
My (kN.m)



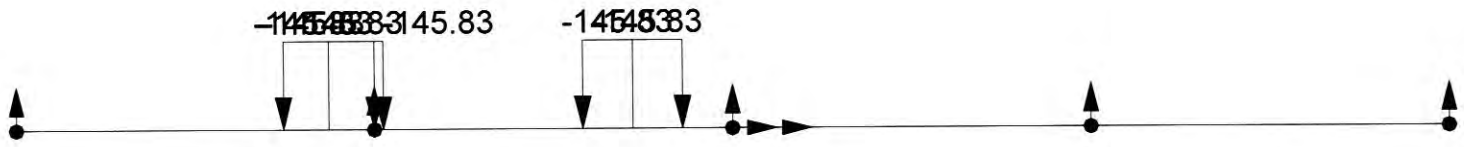
- Combinaison : P 175 kN p6

Membrures
Réparties (kN/m)



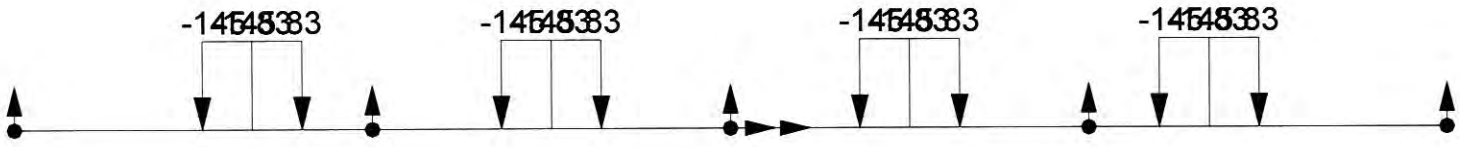
- Chargement : P 175 kN p1 D

Membrures
Réparties (kN/m)



- Chargement : P 175 kN p2 D

Membrures
Réparties (kN/m)

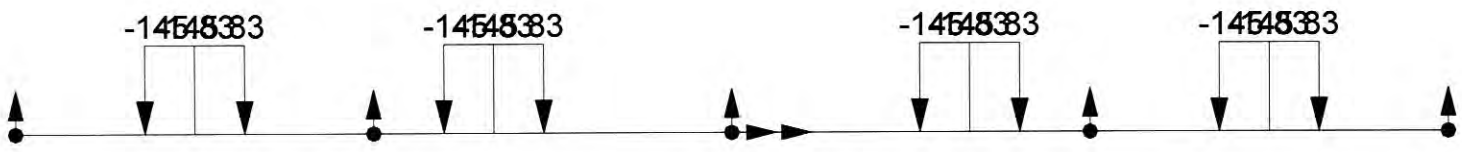


- Chargement : P 175 kN p3 D

Membrures
Réparties (kN/m)

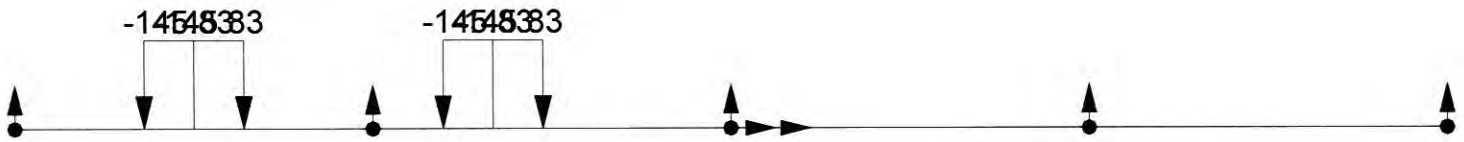
- Chargement : P 175 kN p4 D

Membrures
Réparties (kN/m)



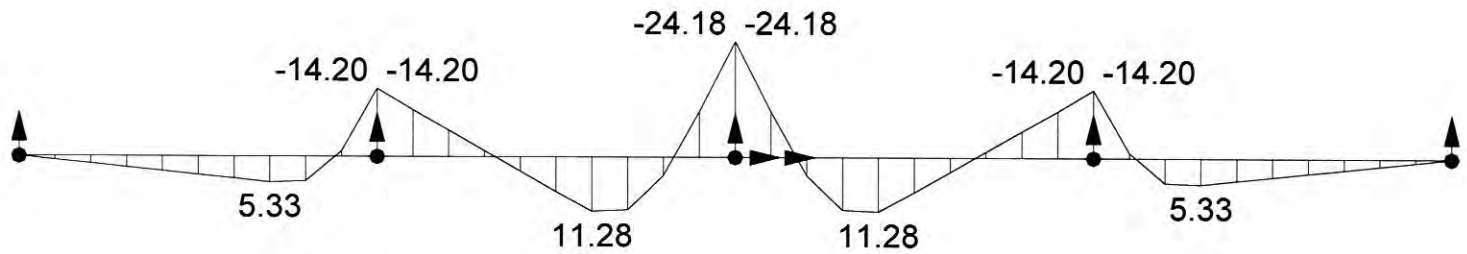
- Chargement : P 175 kN p5 D

Membrures
Réparties (kN/m)



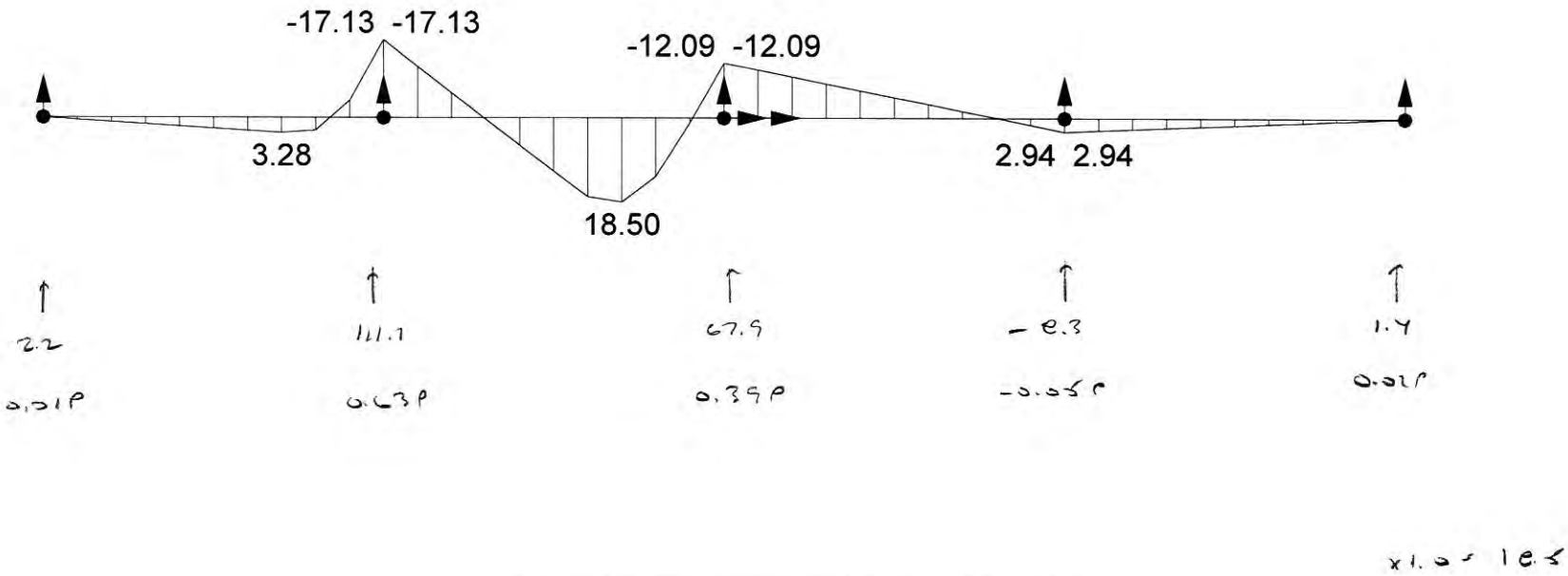
- Chargement : P 175 kN p6 D

Membrures
My (kN.m)



- Combinaison : P 175 kN p1 D

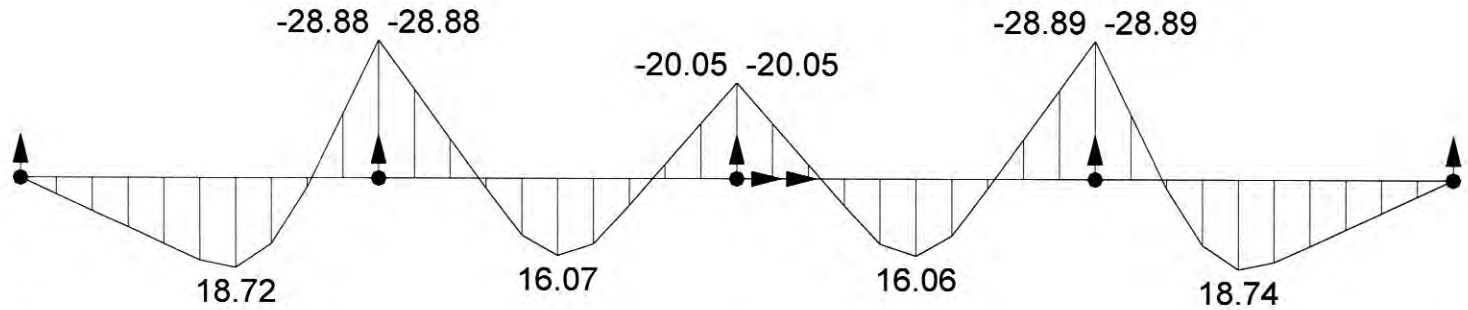
Membrures
My (kN.m)



x1.0 = 1e.5

- Combinaison : P 175 kN p2 D

Membrures
My (kN.m)

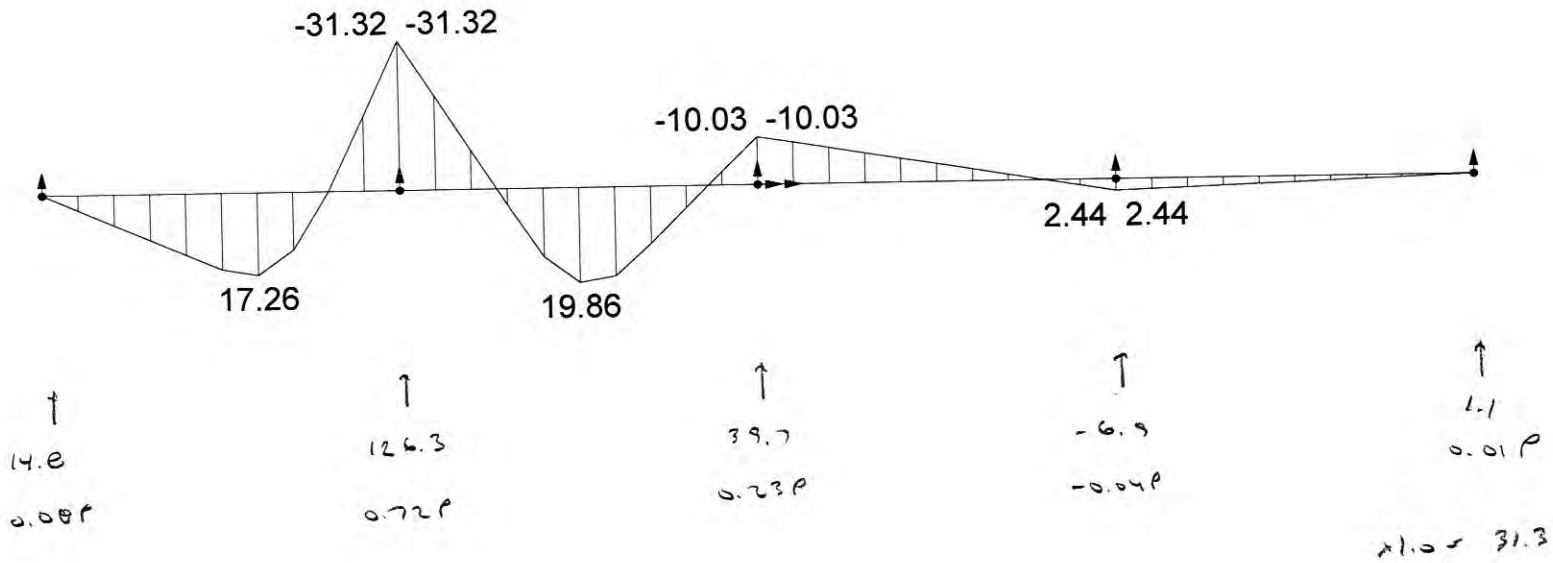


	16.0	119.4	79.3	119.4	16.0
	0.09P	0.68P	0.45P	0.68P	0.09P
x0.9	0.08P	0.61P	0.41P	0.61P	0.08P

x0.9 : 26.0

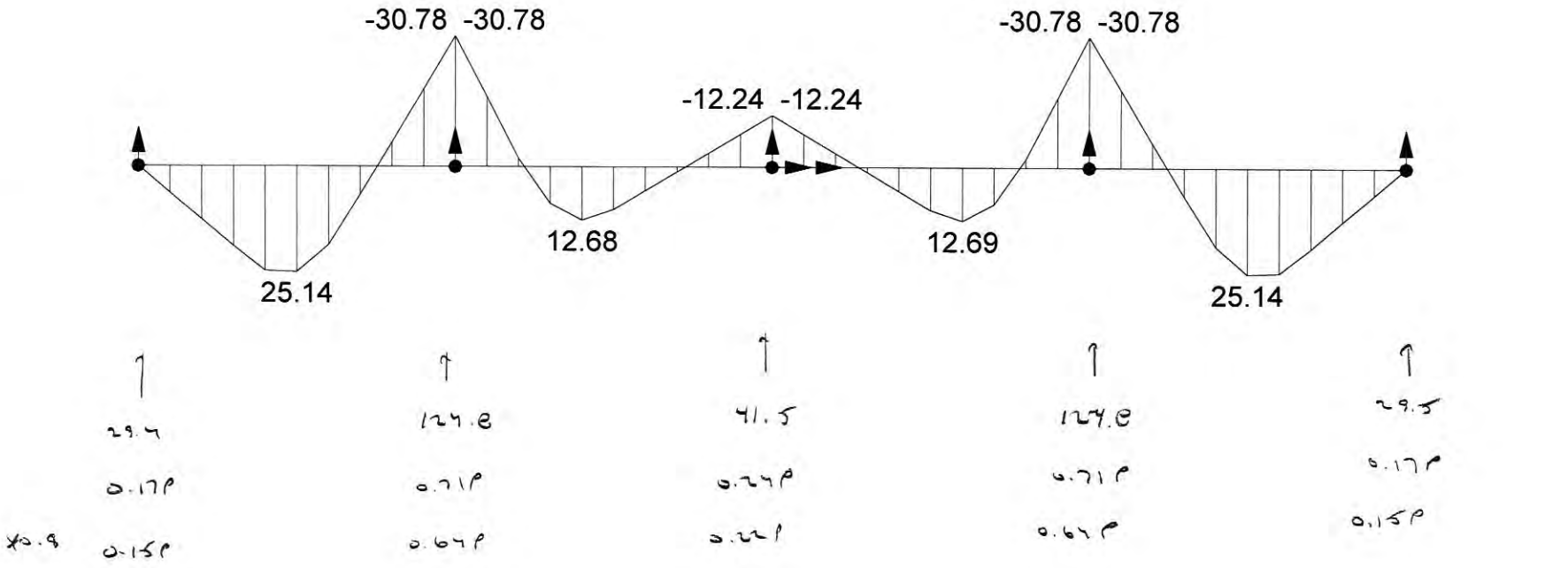
- Combinaison : P 175 kN p3 D

Membrures
My (kN.m)



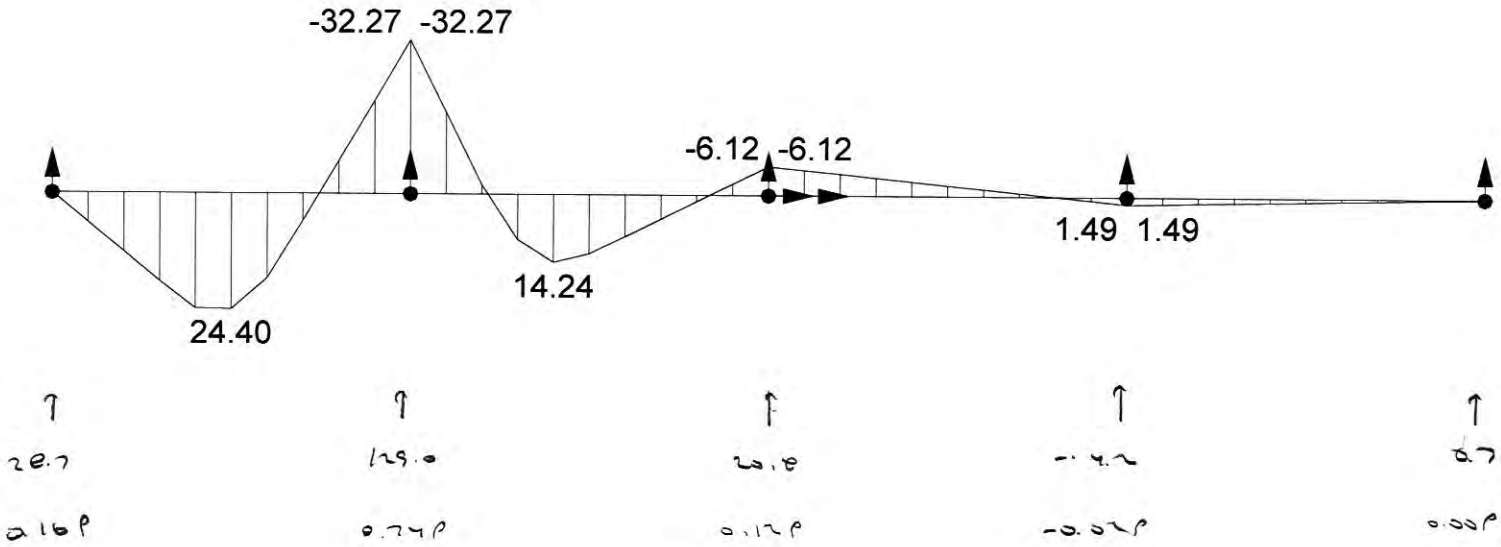
- Combinaison : P 175 kN p4 D

Membrures
My (kN.m)



- Combinaison : P 175 kN p5 D

Membrures
My (kN.m)



- Combinaison : P 175 kN p6 D

x 1.0 = 32.27

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____

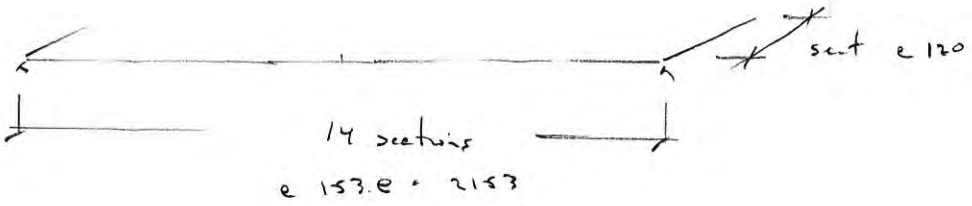
Par: P.

Date: 23 mai '12

Sujet: _____

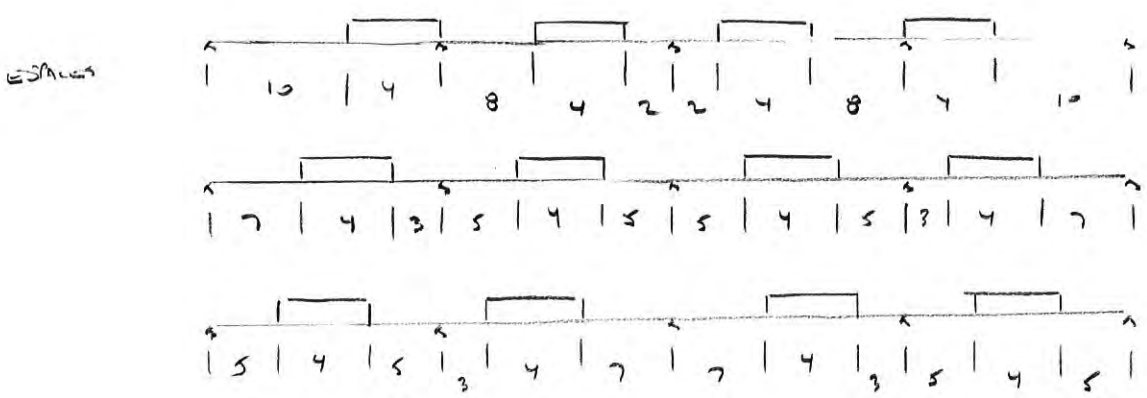
No du projet: _____

Effectuer un calcul par éléments finis



① p = 87.5 kN
240 × 615 mm²
= 592.8 kPa

② p = 62.5 kN
240 × 615
= 423.4 kPa

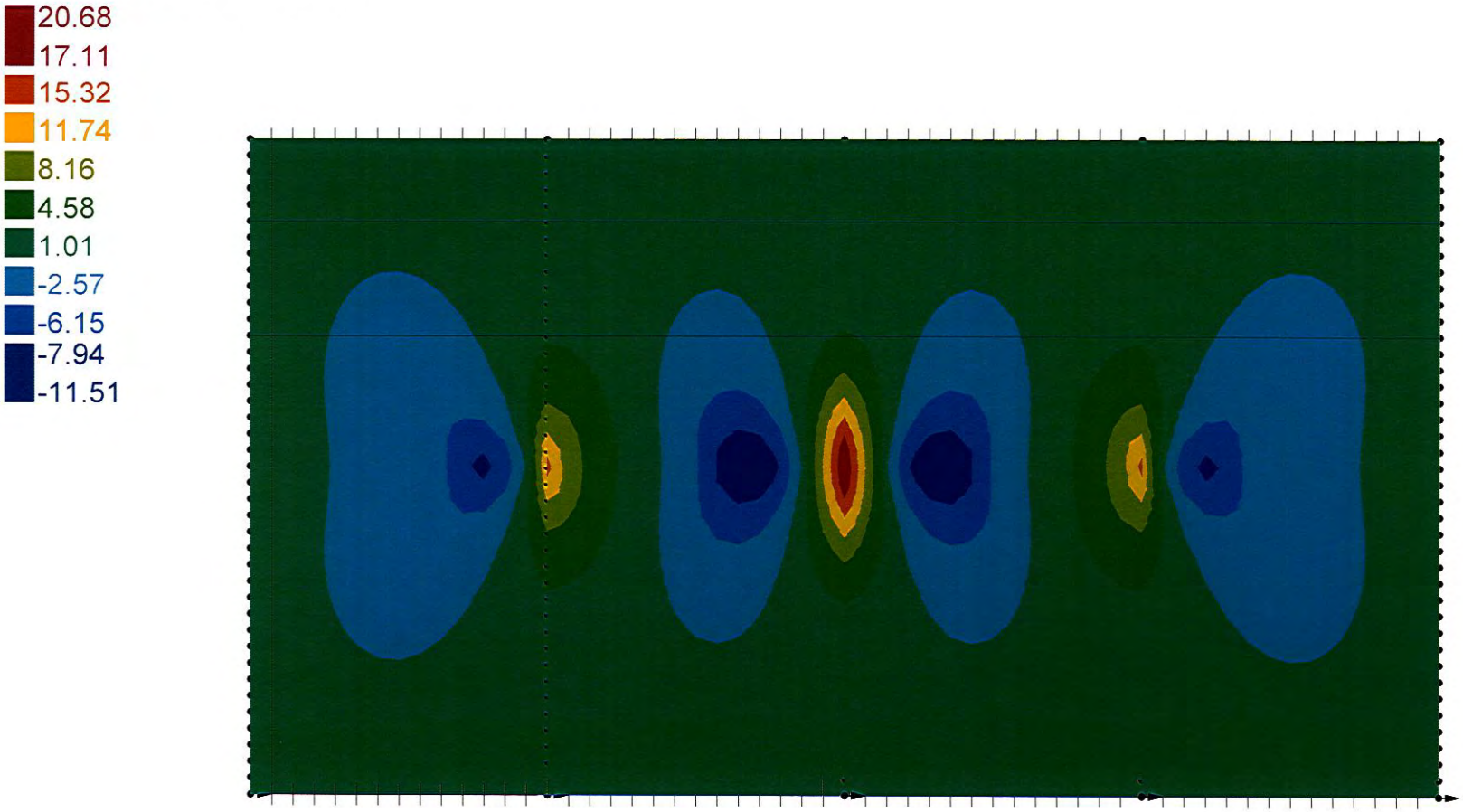


Imprimerie J.B.R. inc

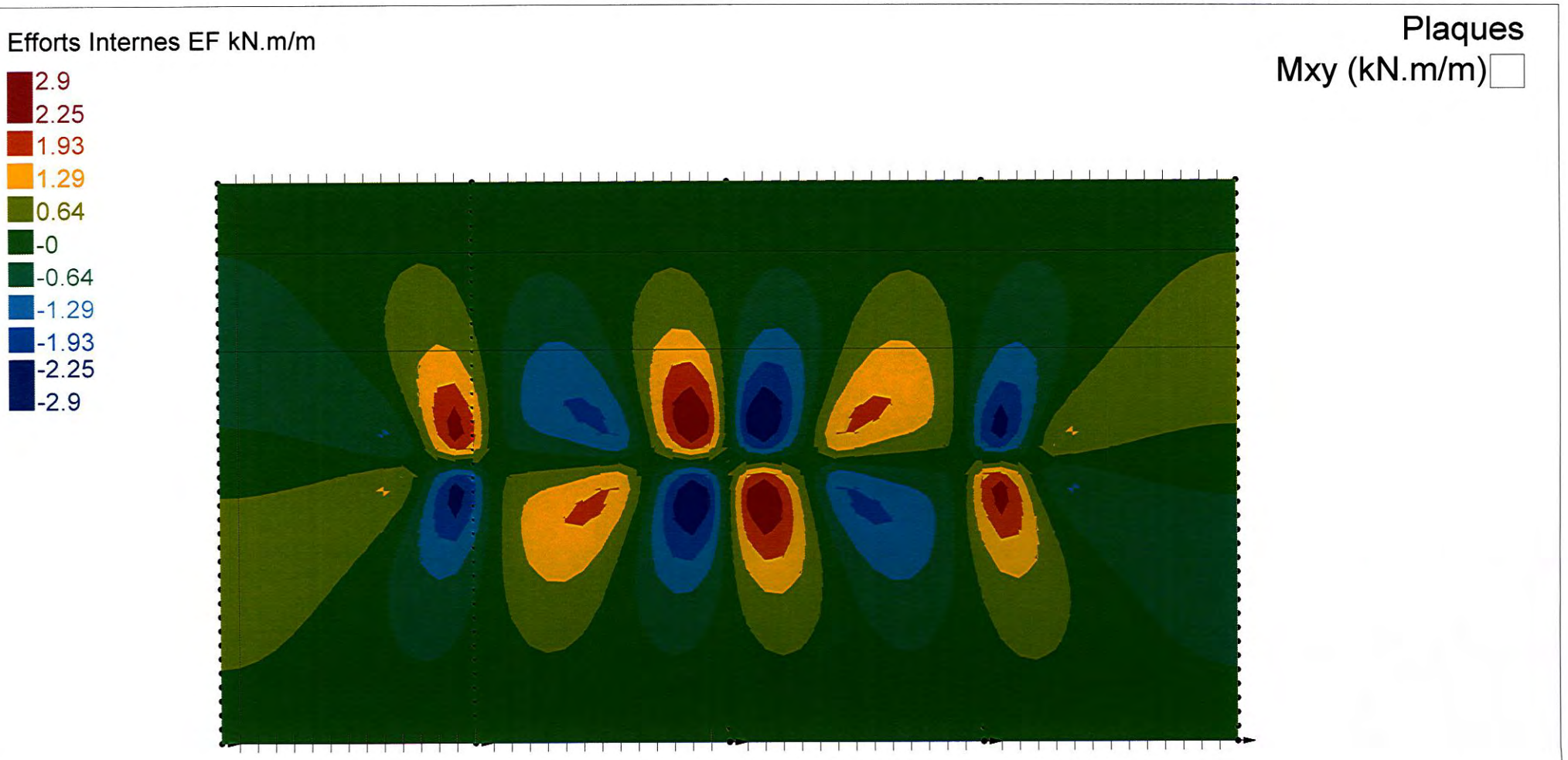
Efforts Internes EF kN.m/m

Plaques

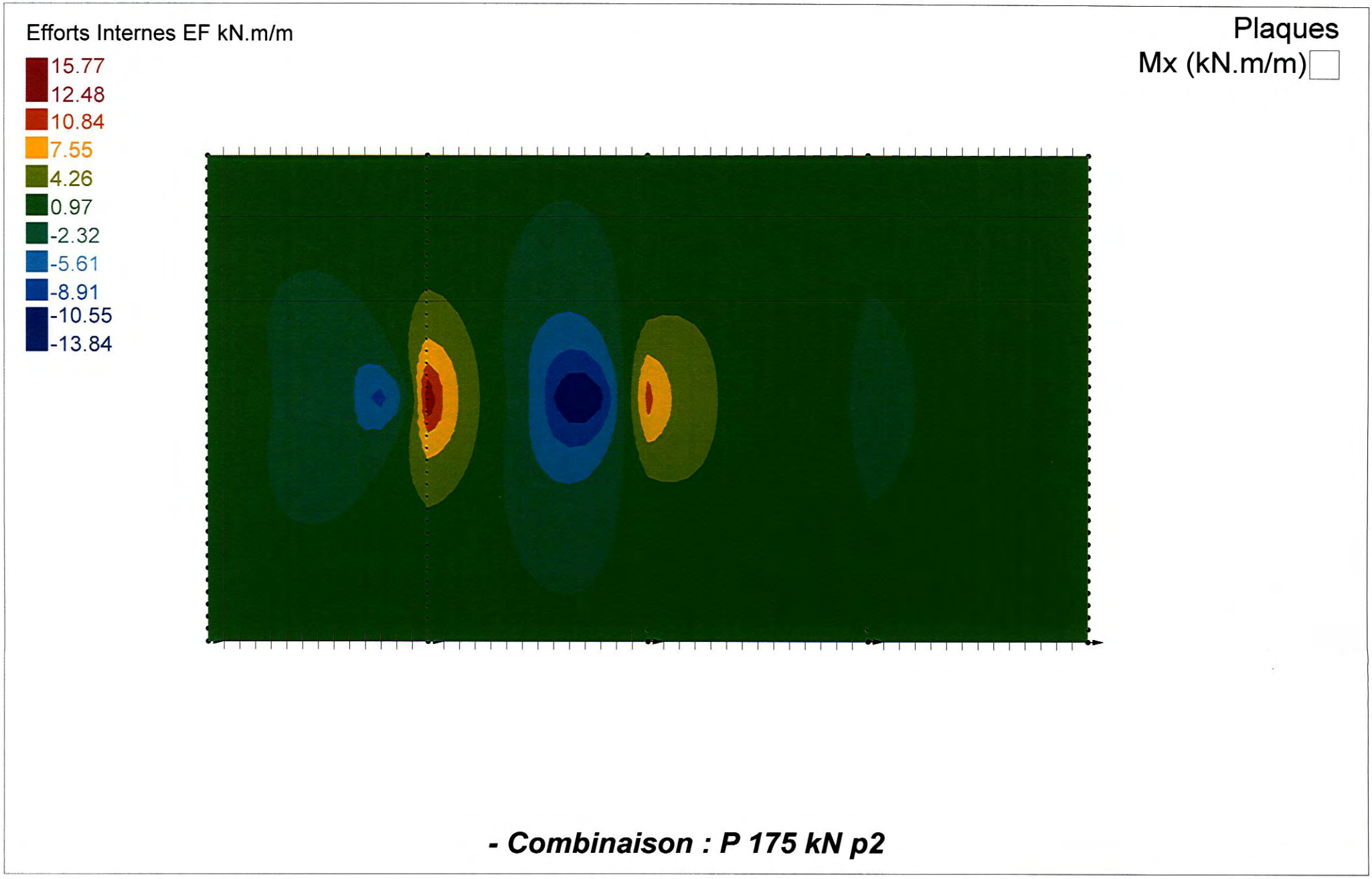
Mx (kN.m/m)



- Combinaison : P 175 kN p1



- Combinaison : P 175 kN p1

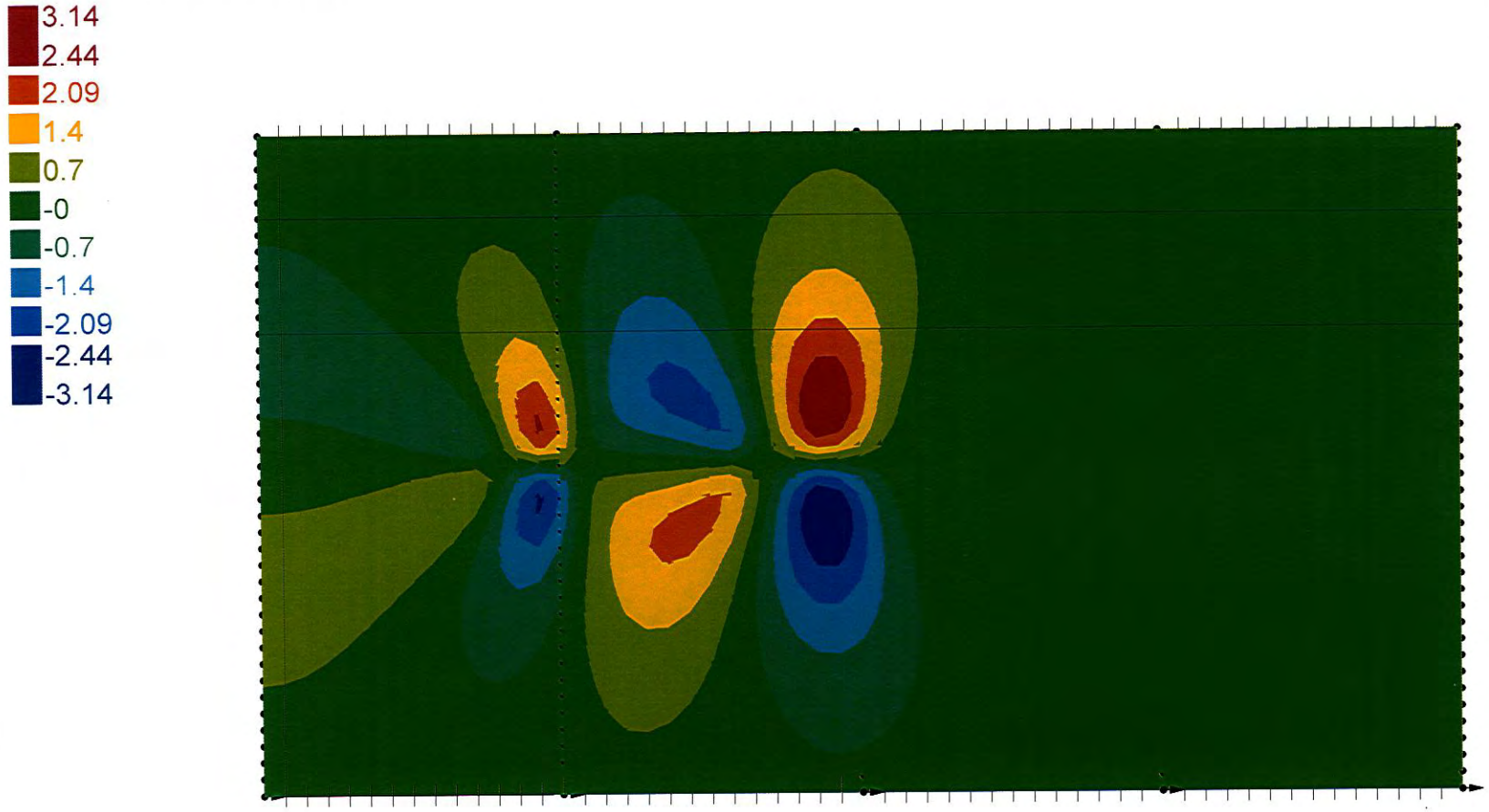


- Combinaison : P 175 kN p2

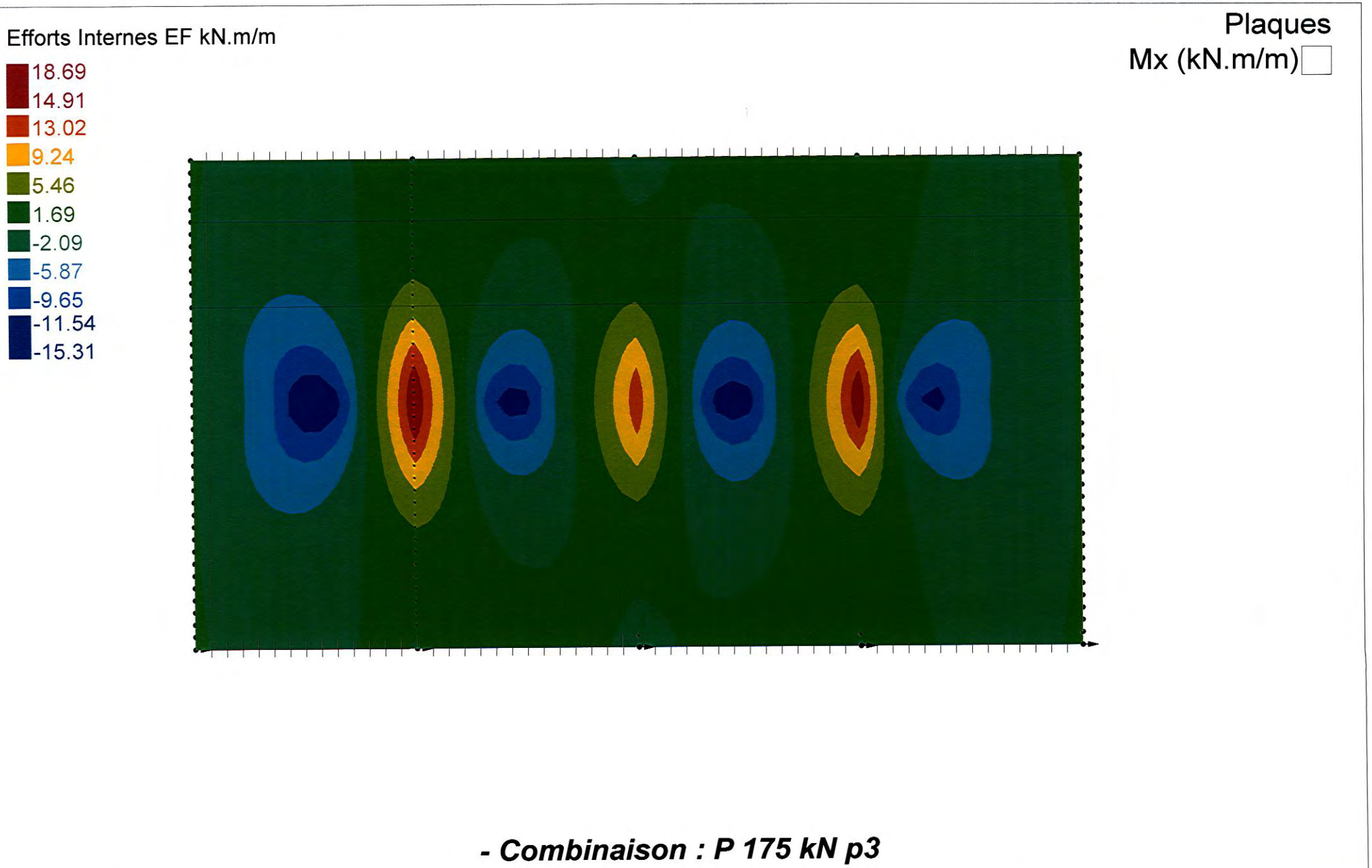
Efforts Internes EF kN.m/m

Plaques

Mxy (kN.m/m)



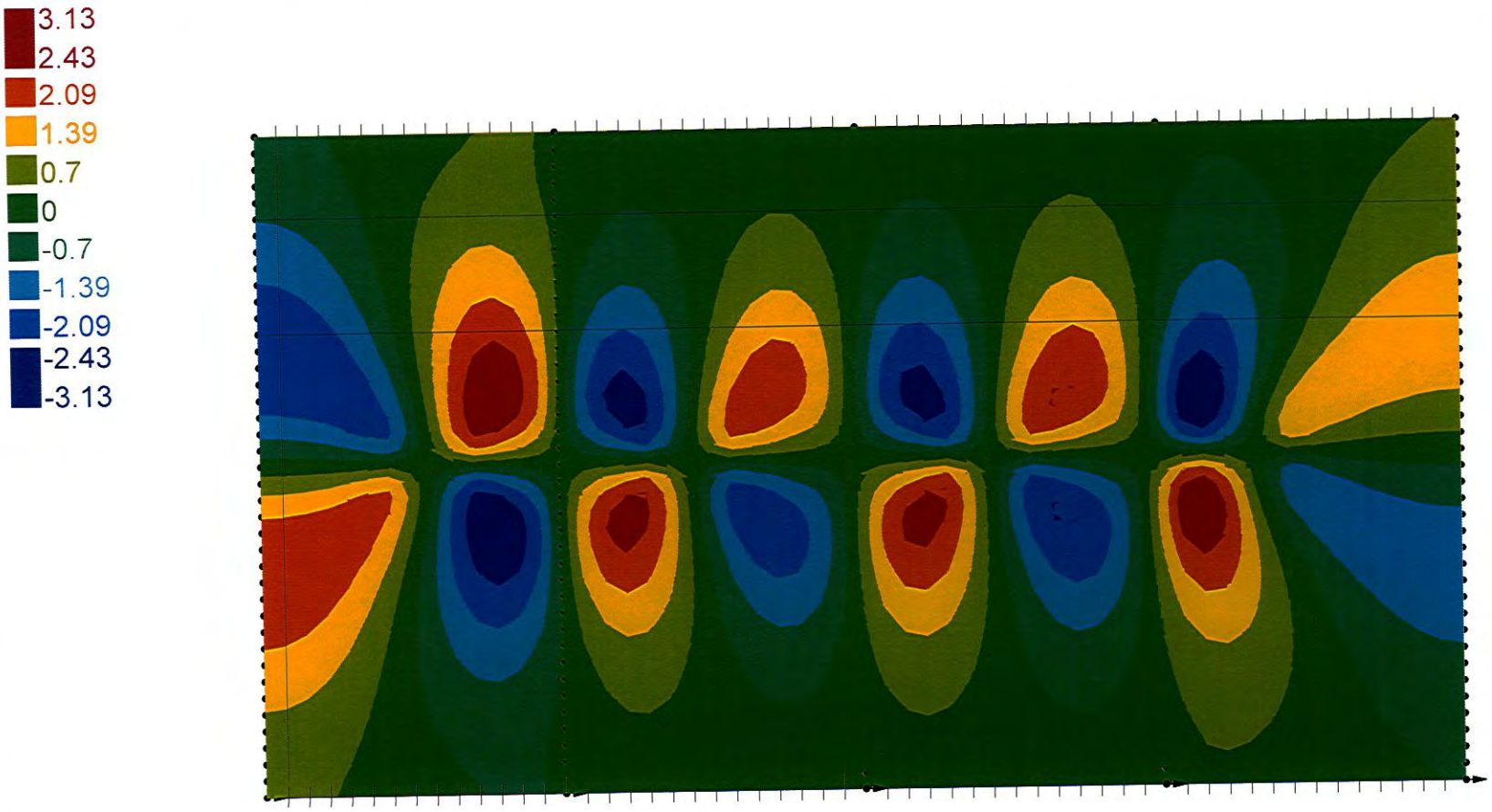
- Combinaison : P 175 kN p2



- Combinaison : P 175 kN p3

Efforts Internes EF kN.m/m

Plaques
Mxy (kN.m/m)

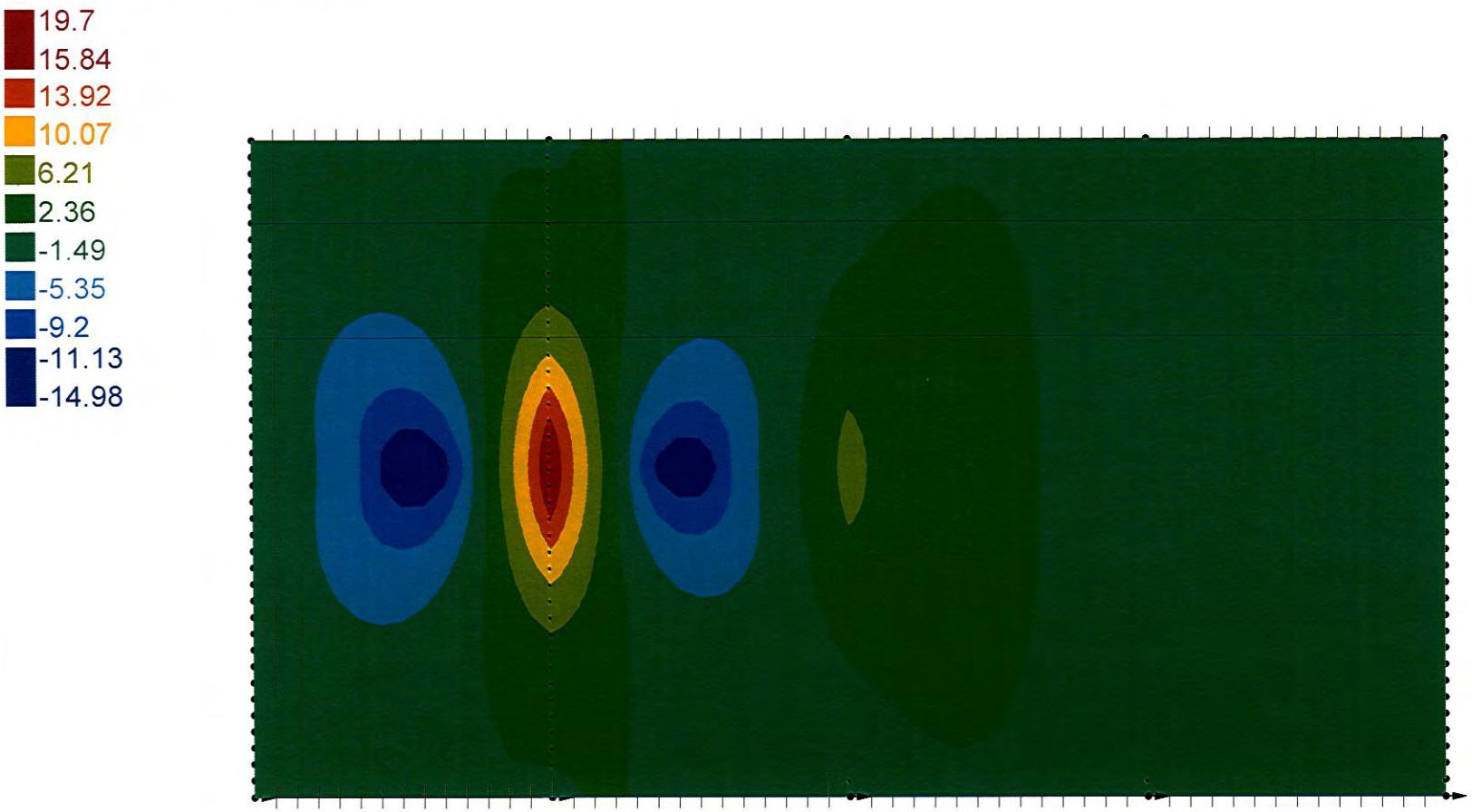


- Combinaison : P 175 kN p3

Efforts Internes EF kN.m/m

Plaques

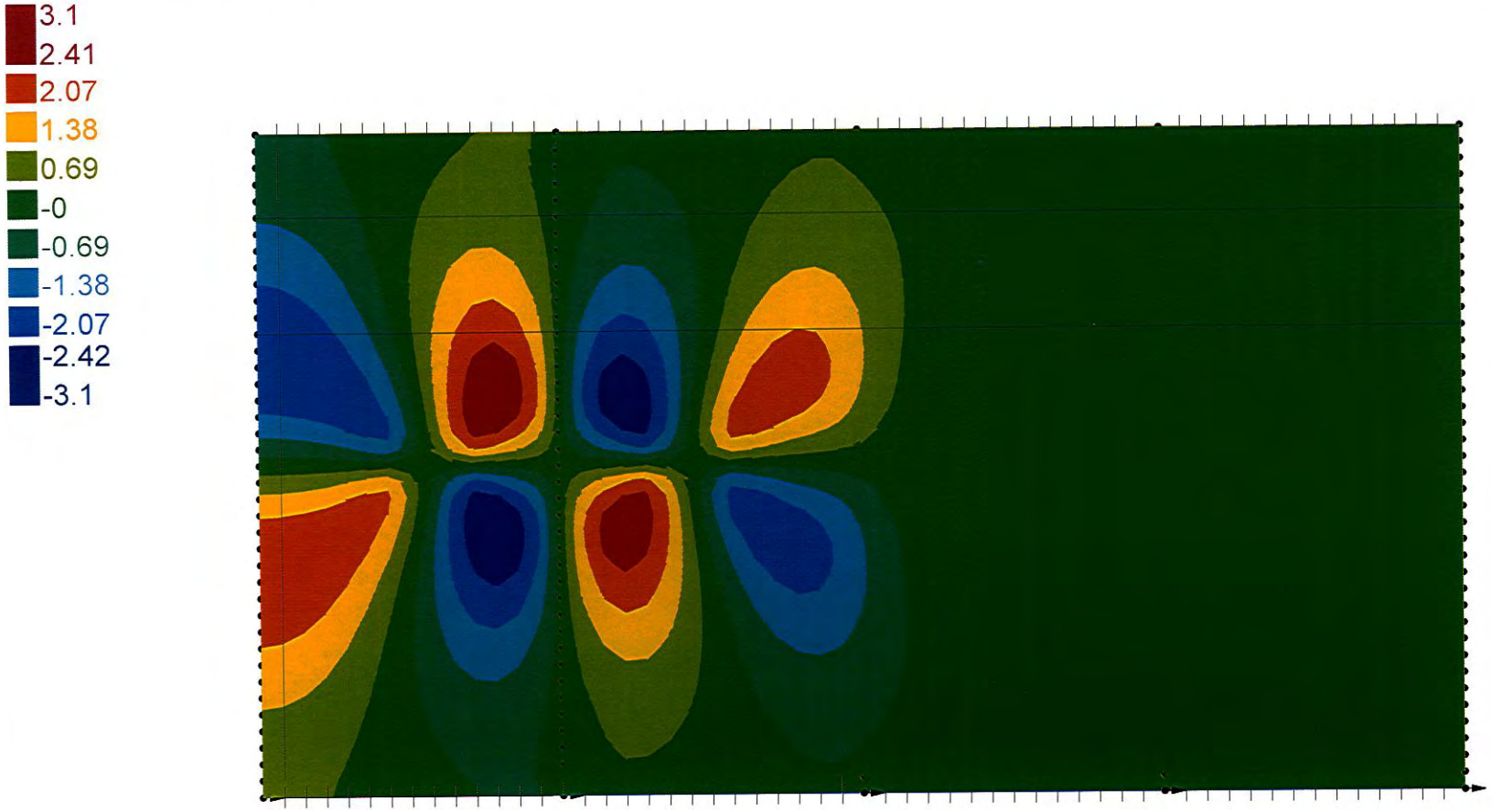
Mx (kN.m/m)



- Combinaison : P 175 kN p4

Efforts Internes EF kN.m/m

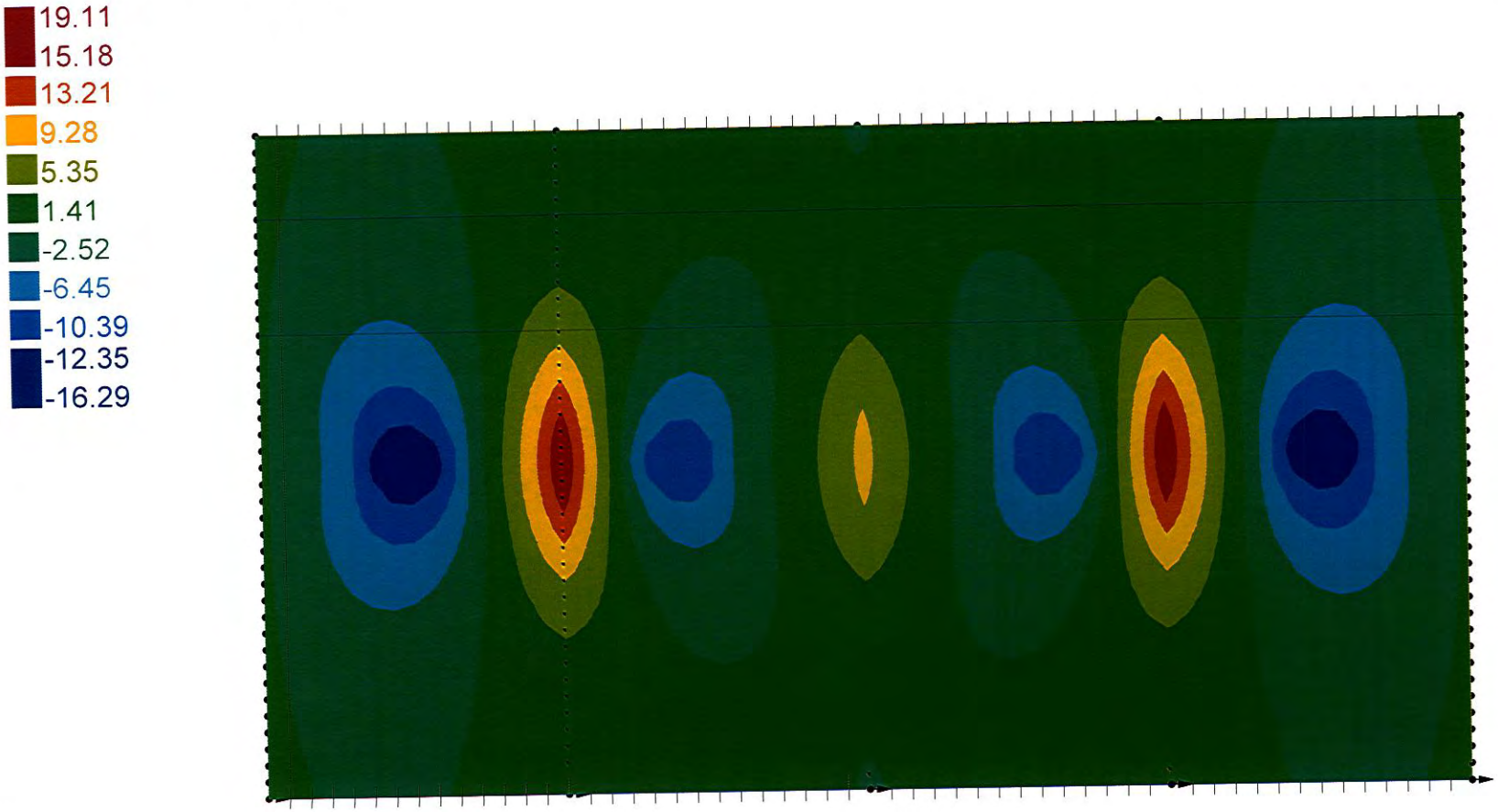
Plaques
Mxy (kN.m/m)



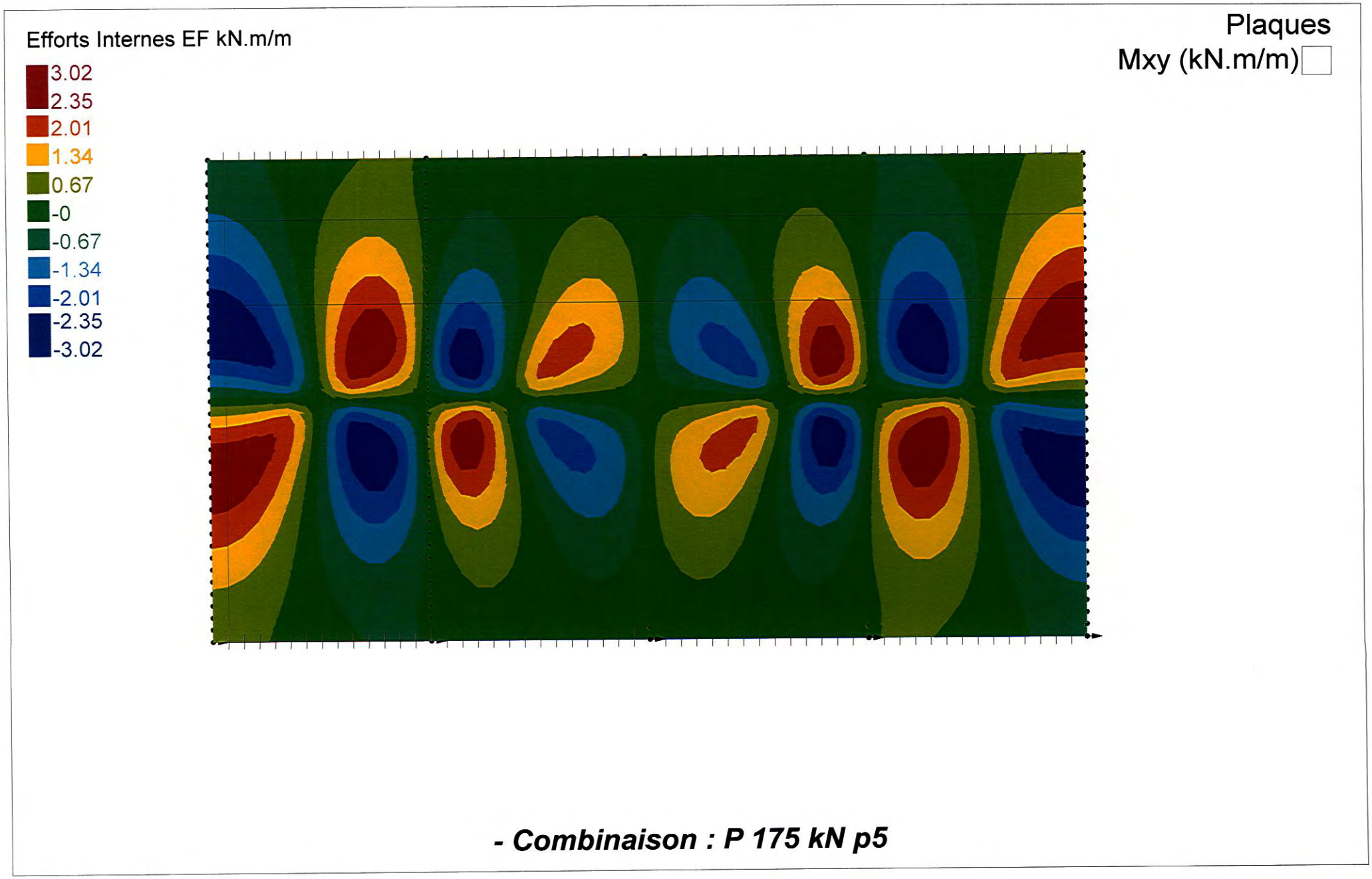
- Combinaison : P 175 kN p4

Efforts Internes EF kN.m/m

Plaques
Mx (kN.m/m)



- Combinaison : P 175 kN p5

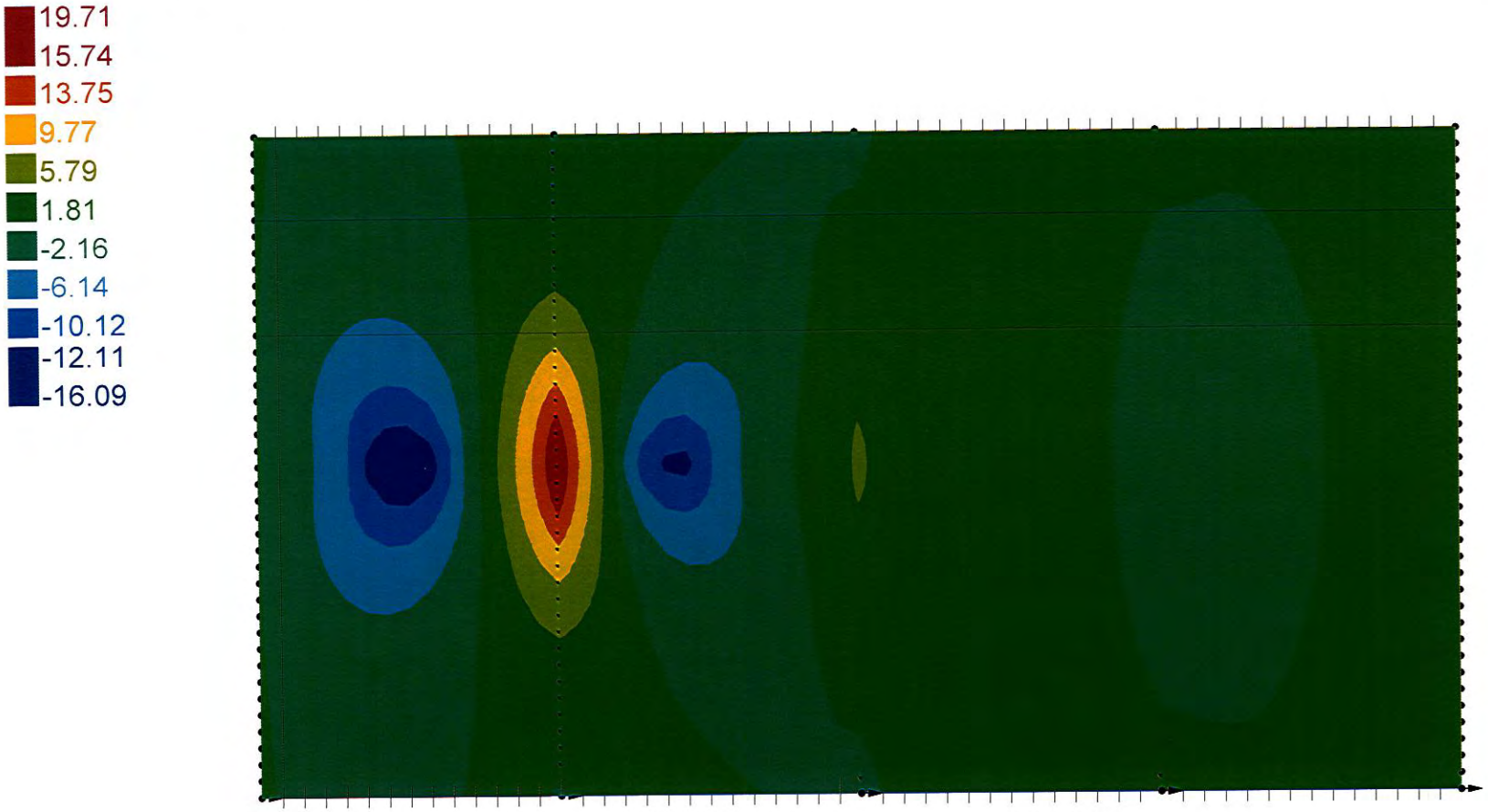


- Combinaison : P 175 kN p5

Efforts Internes EF kN.m/m

Plaques

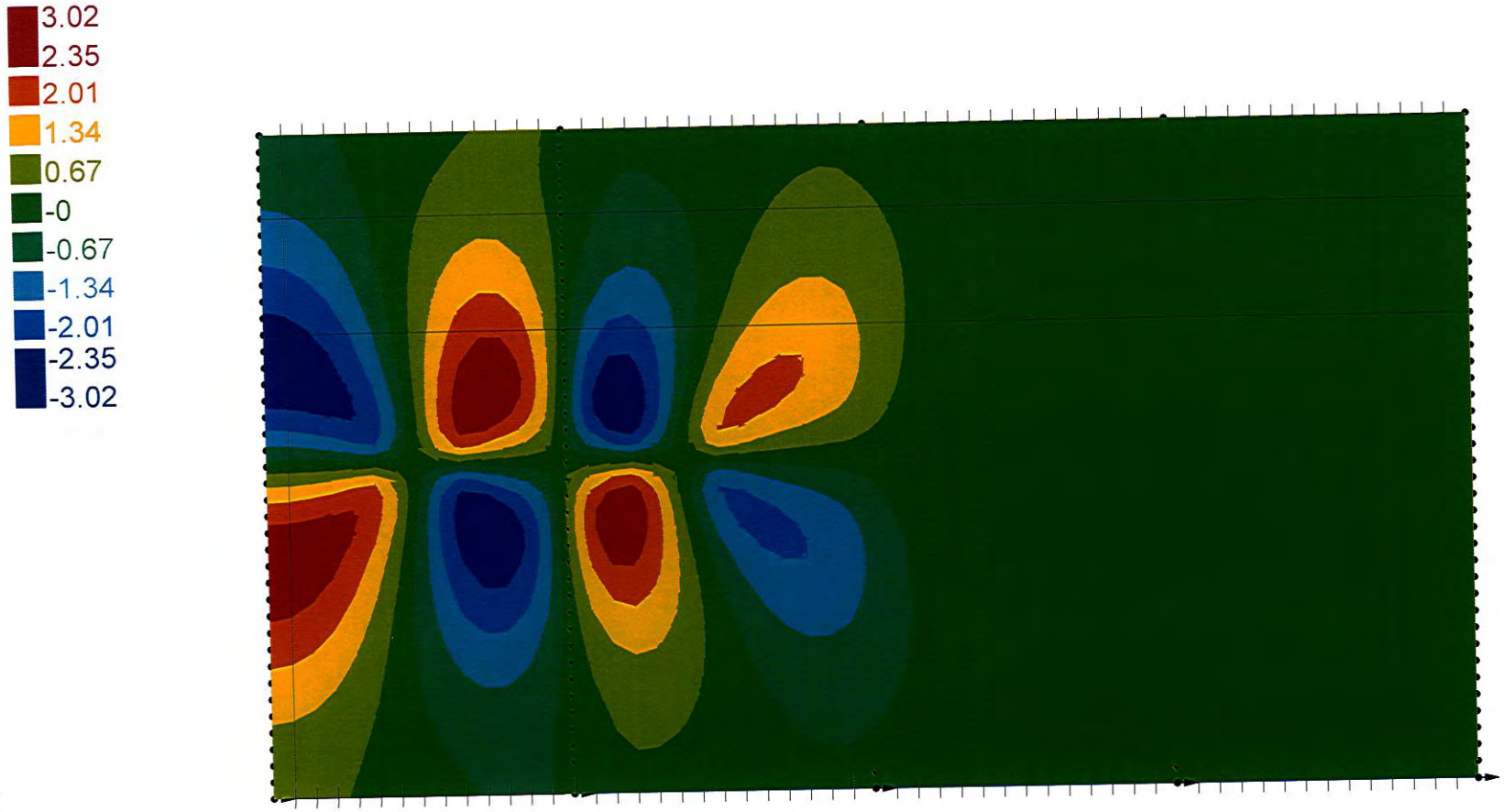
Mx (kN.m/m)



- Combinaison : P 175 kN p6

Efforts Internes EF kN.m/m

Plaques
Mxy (kN.m/m)



- Combinaison : P 175 kN p6

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____

Par: [illegible]

Date: 23 nov '12

Sujet: _____

No du projet: _____

Résultats $M_x \pm |M_{xy}|$ (max) ← secondaire

Vrais valeurs

1) M_+ : 11.5 + 2.9 = 14.4 → 11.3 , 11.7 × 0.9
M_- : 20.7 + 2.9 = 23.6 → 21.1 , 20.3

2) M_+ : 13.8 + 3.1 = 16.9 → 13.6 , 14.1 × 1.0
M_- : 15.6 + 3.1 = 18.7 → 16.3 , 15.2

3) M_+ : 15.3 + 3.1 = 18.4 → 15.6 15.1 × 0.9
M_- 18.7 + 3.1 = 21.8 → 18.5 , 18.9

4) M_+ : 15.0 + 3.1 = 18.1 → 14.7 , 15.2 × 1.0
M_- 19.7 + 3.1 = 22.8 → 19.9 , 19.5

5) M_+ : 16.3 + 3.0 19.3 → 18.9 , 19.3 × 0.9
M_- : 19.1 + 3.0 = 22.1 → 16.5 , 16.1

6) M_+ : 16.1 + 3.0 = 19.1 → 15.9 , 16.3 × 1.0
M_- : 19.7 + 3.0 = 22.7 → 19.9 , 19.5

Selon S6-06 → M = 24.1 kpd·m/m

FEM → M_{max} = 19.9 kpd·m/m (0.825)

$M_{y\,max}$ = +11.4 , -4.2
+13.1 , -3.3
+14.9 , -3.7
+14.7 , -3.9
+15.4 , -3.8
+15.5 , -4.0

15.5 / 24.1 = 0.64

% Acier transfert
120 / √5 = 81.8 %
max = 67 % ok

Imprimerie J.B.R. inc.

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____

Sujet: _____

Par: PL

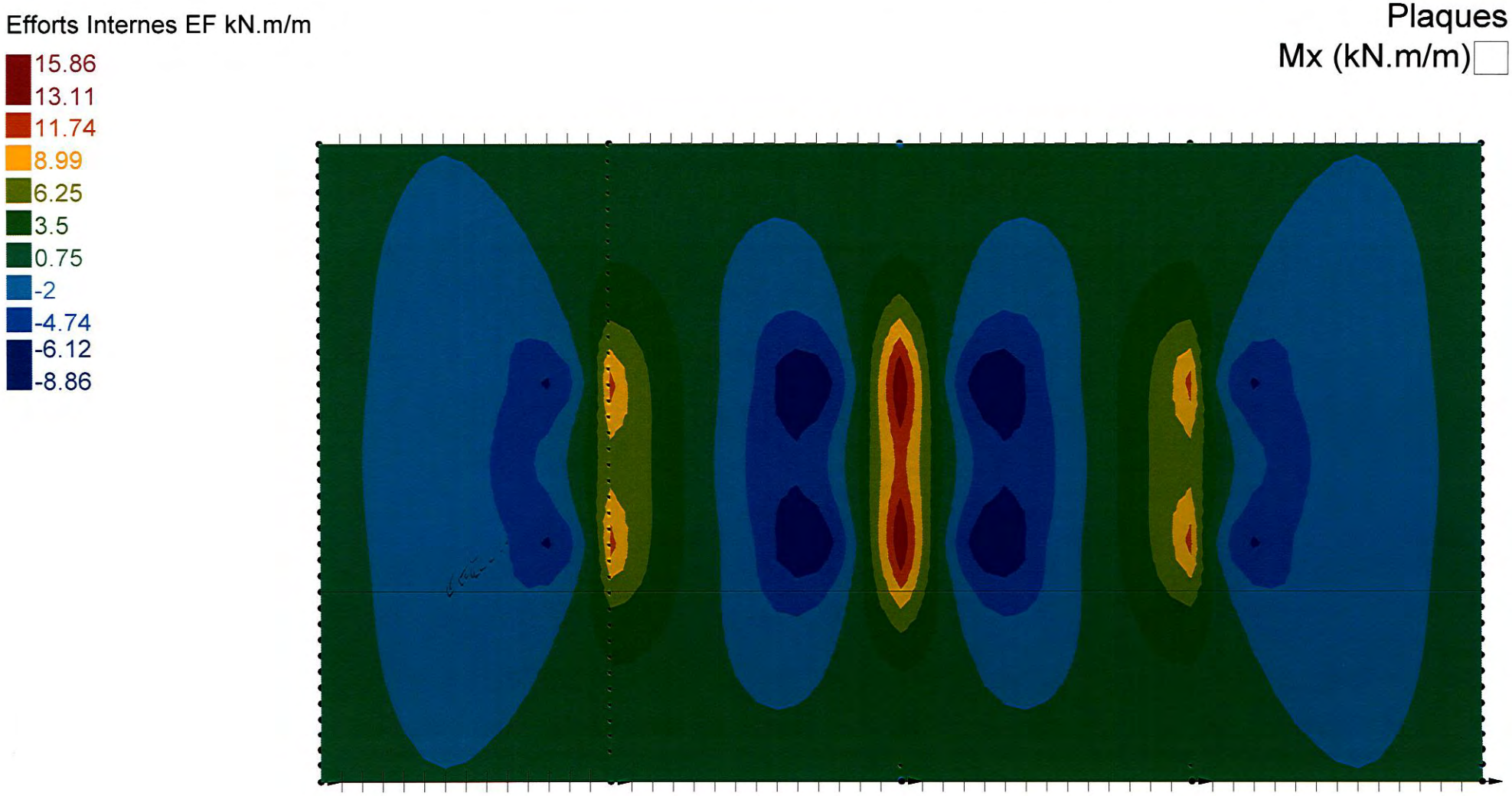
Date: 23 nov 1[illegible]

No du projet: _____

Comparaison des efforts - ch. dist vs FEM

		20	30	Distribution 20 vs 30
1)	M+	11.3	11.7	0.97 m
	M-	24.2	21.1	1.14 m
2)	M+	18.5	14.1	1.31 m
	M-	17.1	16.3	1.05 m
3)	M+	18.7	15.6	1.20 m
	M-	28.9	18.9	1.53 m
4)	M+	19.9	14.7	1.35 m
	M-	31.3	19.9	1.57 m
5)	M+	25.1	16.5	1.52 m
	M-	30.8	19.3	1.60 m
6)	M+	24.4	16.3	1.50 m
	M-	32.2	19.9	1.61 m

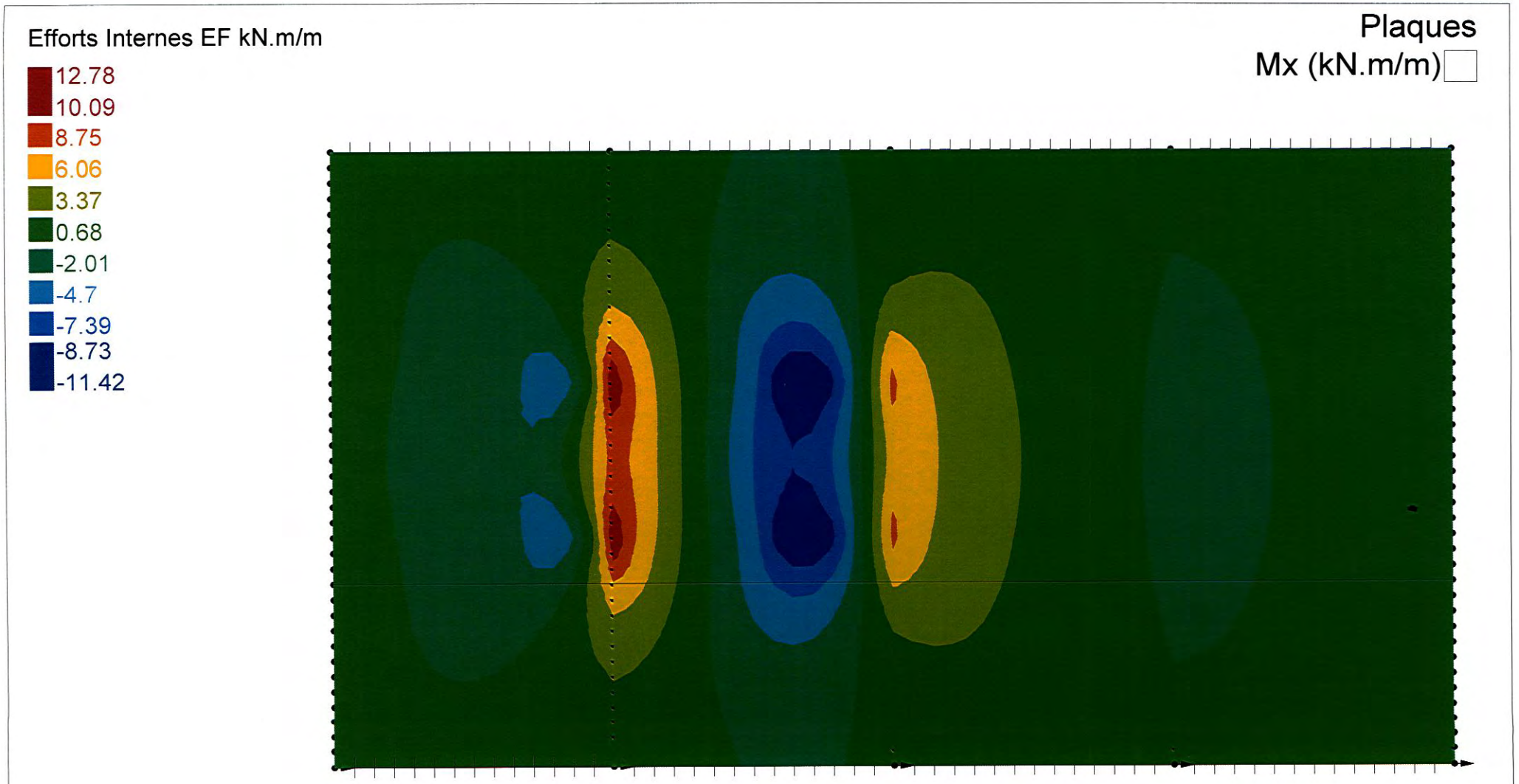
Imprimerie J.B.R. inc



1 x 175 kN → M + 11.5 77%

M - 20.7 77%

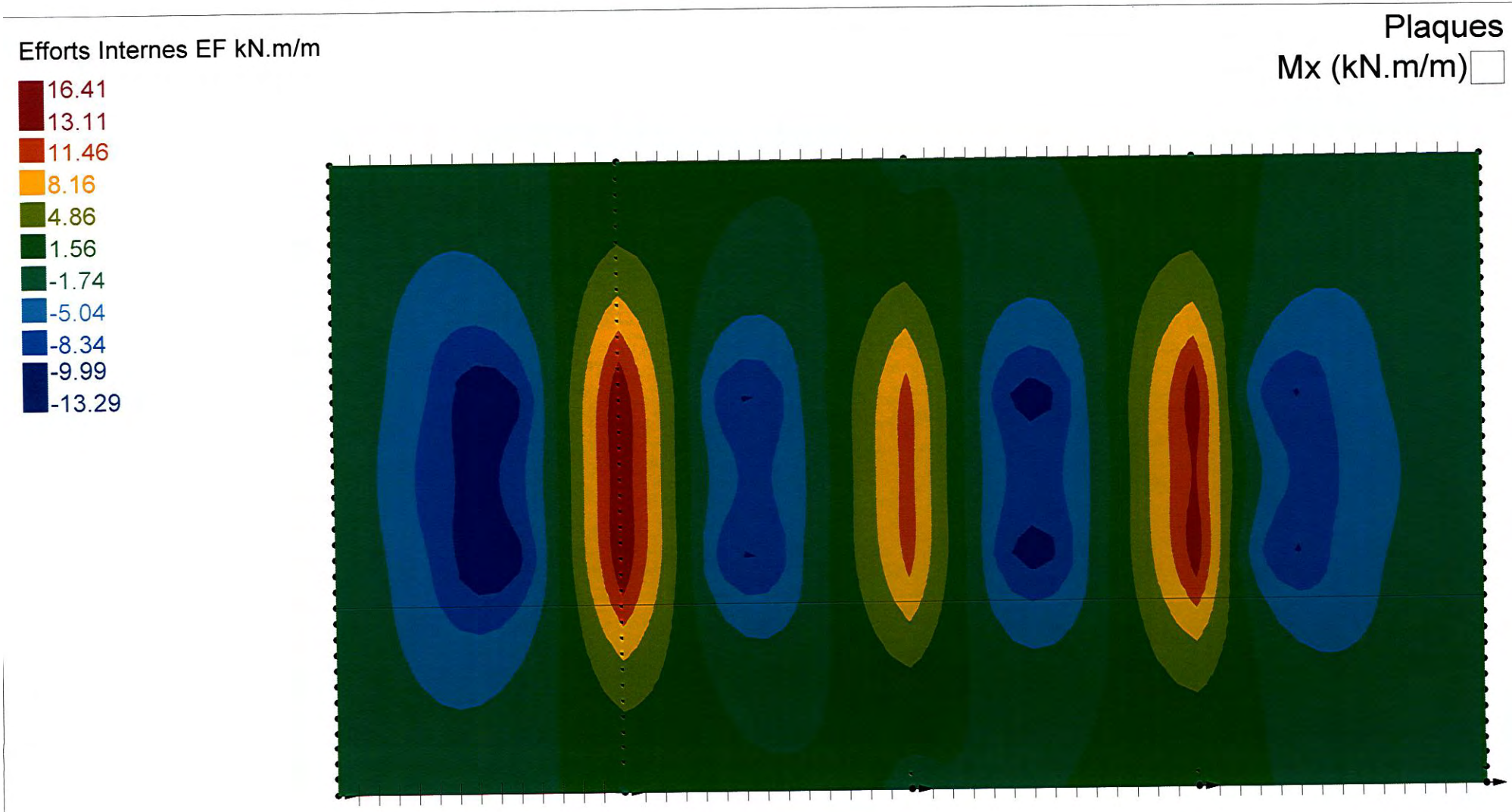
- Combinaison : P 125 kN p1 2x



1 x 175 kN → M + 13.8 83%

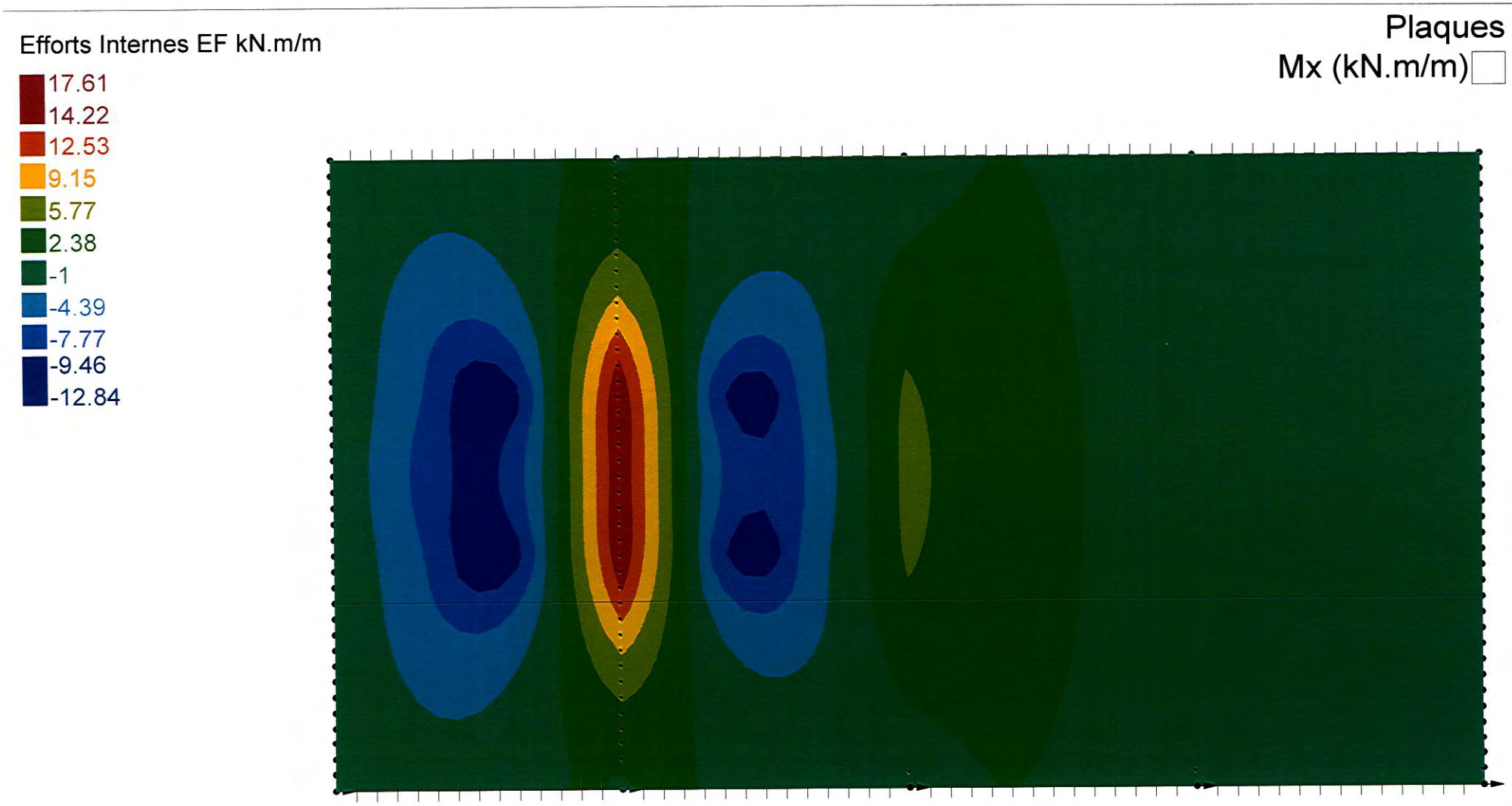
M - 15.8 81%

- Combinaison : P 125 kN p2 2x



1x 175 kN M+ : 15.3 e72

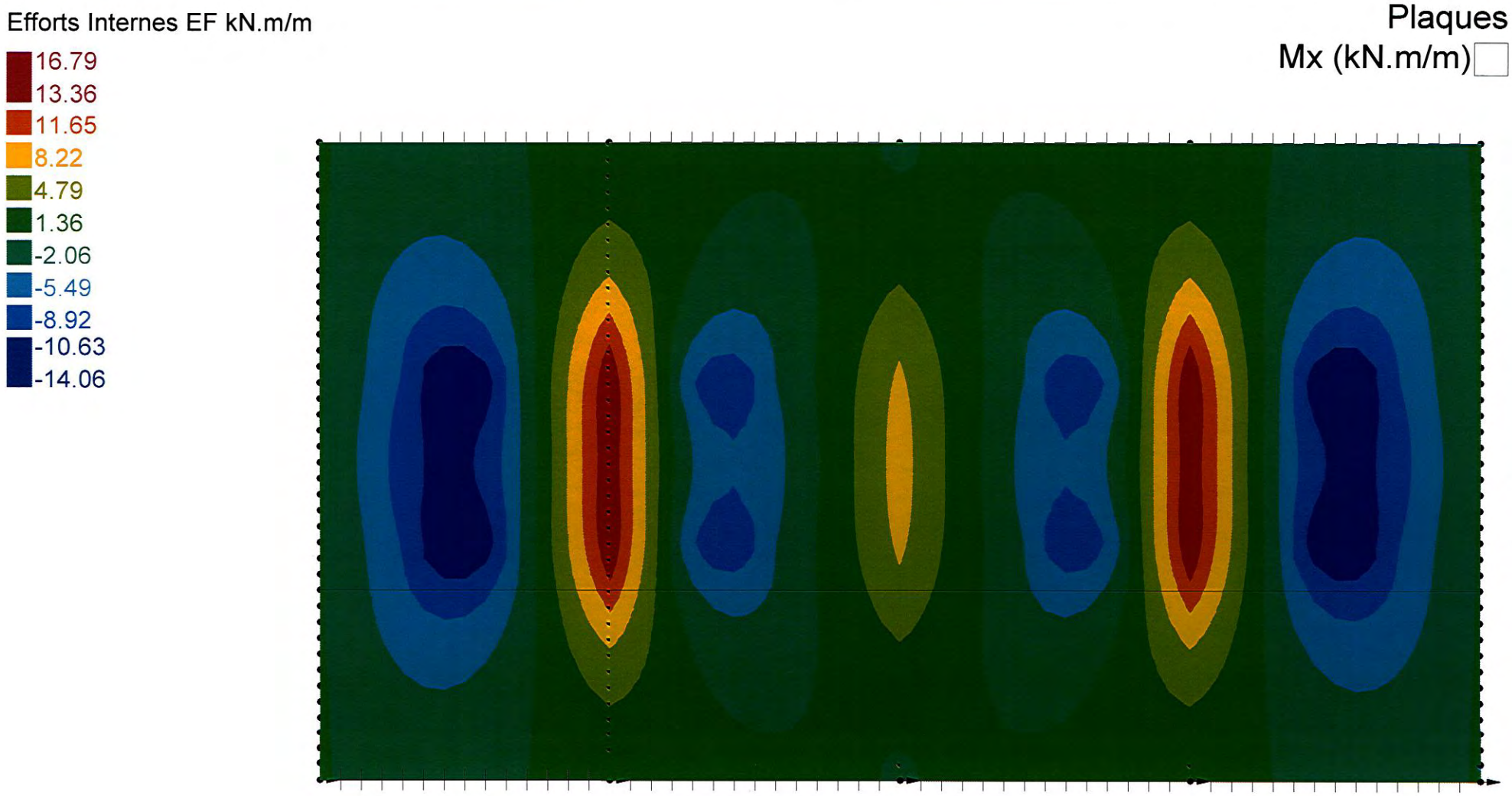
M- : 18.7 eez - **Combinaison : P 125 kN p3 2x**



1 x 125 kN M+ 15.0 e6%

M- 19.7 e9%

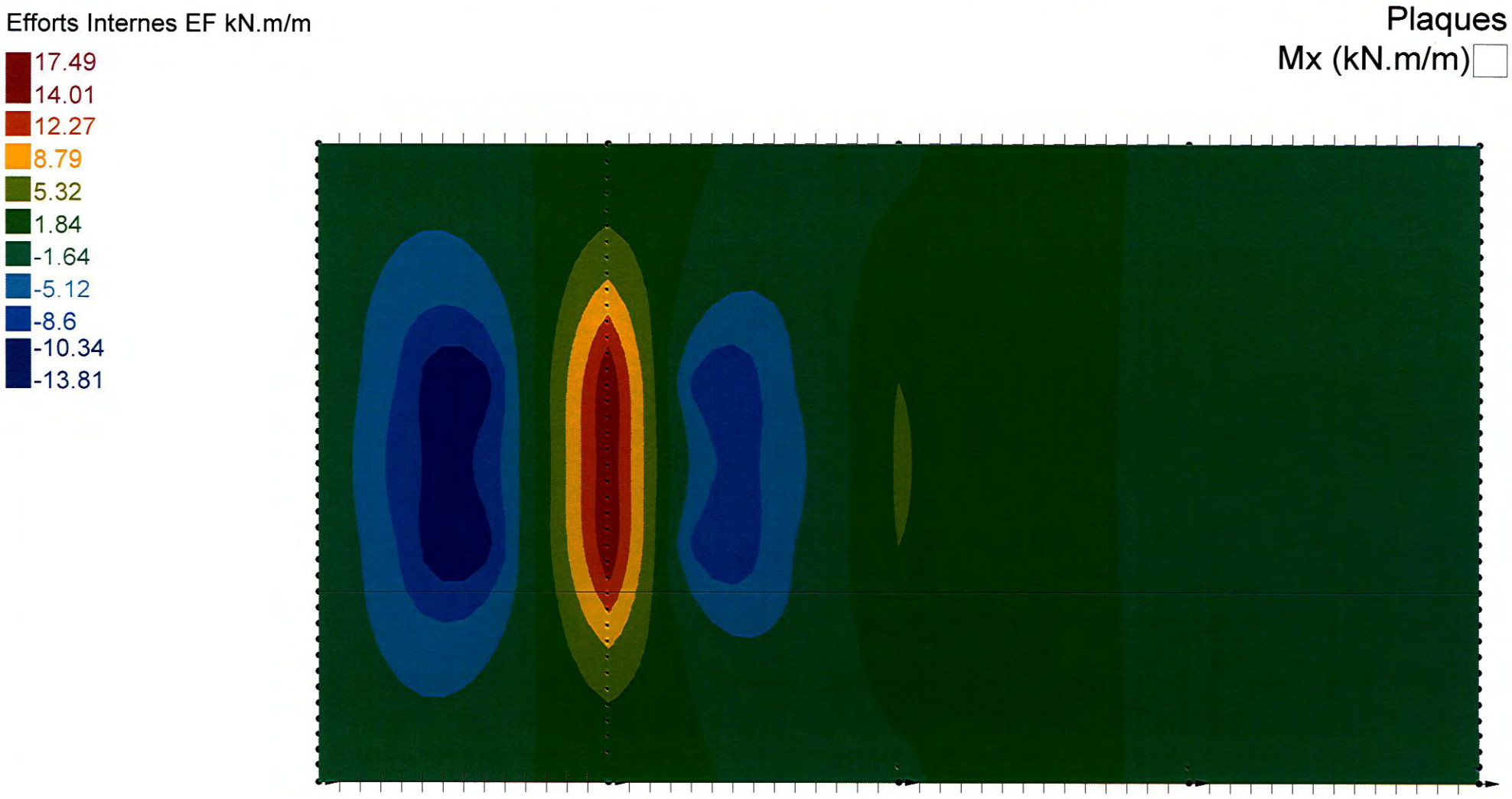
- Combinaison : P 125 kN p4 2x



1x175 kN M+ 16.3 e72

M- 19.1 e82

- Combinaison : P 125 kN p5 2x



1x175 LW M+ 16.1 e62

M- 19.7 e92

- Combinaison : P 125 kN p6 2x

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: ____

Sujet: ____

Par: P.L.

Date: 26 nov '12

No du projet: ____

Acier de transfert

25M e 460 vs 30M e 320

% As principal = 500/700 x 320/460 = 0.50

Imprimerie J.B.R. inc

RESUMÉ DES CALCULS

DE LA PALLE

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: _____ Par: P.L.

Date: 12 Janv 13

Sujet: _____ No du projet: _____

Résistance disponible pour la dalle

M_{rx} = 93 kpi·m/m

Si on enlève l'effet de la dalle

1.2 · 24 · 0.254 · 2.153²/8 + 4.8 = 3.4 kpi·m

M_{rL} = 93 − 3.4 = 89.6 kpi·m

M_{ry} = 48 kpi·m

Pour la fissuration si $M = M_s$ à f_s = 140 MPa

w = 0.141 mm < 0.25 mm
dalle

M_s = 46.7 kpi·m/m

Pour éviter de faire fissurer la dalle de façon excessive

M_{max} = 0.25/0.141 × 46.7 = 82.8 kpi·m

Pour ne pas faire plastifier l'acier, f_y = 300 MPa

300/140 × 46.7 = 100 kpi·m

Imprimerie J.B.R. inc

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ **de** ____

BPR

Nom du projet: ____ Par: P.L.

Date: 14 janv 13

Sujet: ____ No du projet: ____

Résumé des calculs de la dalle par éléments finis

→ Calcul avec les charges près de la rive

P 3600 kgf (2x)	p1	Mx :	-71.4	+74.8
		My :	-26.6	+22.6
	p2a	Mx :	-69.2	+68.3
		My :	-26.3	+27.8
	p2b	Mx	-65.1	+82.0
		My	-24.8	+27.7
	p3	Mx	-66.9	+85.7
		My	-24.3	+27.2
P 265 kgf (3x)	p1b à 1.5	Mx :	-63.0	+39.2
		My :	-16.6	+12.4
P 200 kgf	p1b à 1.5	Mx	-59.2	+29.9
		My	-14.9	+10.5
P 160 kgf (2x)	p1a	Mx :	-52.6	+34.0
		My :	-13.8	+12.9
	p1b	Mx	-42.8	+37.3
		My	-11.2	+11.4

Imprimerie J.B.R. inc

FEUILLE DE PROJET **NO.** ____ de ____

BPR

Nom du projet: ____ Par: PL.

Date: 16 juin 2013

Sujet: ____ No du projet: ____

Effort pour les charges de camions 1 ou 2 camions

P 125 kN (2x)

P1 (2e)	Mx =	-39.7 ,	+19.4
	My =	-9.4 ,	+7.9
P2 (1e)	Mx :	-30.2 ,	+26.1
	My	-9.6 ,	+9.0
P3 (2e)	Mx :	-40.2 ,	+29.3
	My :	-11.8 ,	+9.7
P4 (1e)	Mx :	-42.5 ;	+28.2
	My :	-11.4 ,	+9.6
P5 (2e)	Mx :	-40.5 ;	+31.1
	My	-10.8 :	+9.5
P6 (1e)	Mx :	-42.4 :	+30.6
	My	-11.5 ,	+9.4

1e = 1 essieux

2e = 2 essieux

Imprimerie J.B.R. inc

Efforts dans la dalle aux extrémités (cas d'une dalle sans biais)

		Mx+ (max)	Mx- (max)	My+ (max)	My- (max)	Ch. essieu de base	
P 360 kN	p1	74.8	71.4	22.6	26.6	360	Tracteur original
	p2a	80.3	69.2	27.8	26.3	360	(I = 0.1)
	p2b	84.0	65.1	27.7	24.8	360	
	p3	85.7	66.9	27.2	24.3	360	
P 265 kN	p1b @ 1.5	39.2	63.0	12.4	16.6	265	Multiligne original (I = 0.1)
P 200 kN	p1b @ 1.5	29.9	59.2	10.5	14.9	200	Multiligne Goldhofer (I = 0.1)
P160 kN	p1a	34.0	52.6	12.9	13.8	160	Tracteur ABB (I = 0.4)
	p1b	37.3	42.8	11.4	11.2	160	
P125 kN	p1	19.4	39.7	7.9	9.4	125	Tracteur
	p2	26.1	30.2	9.0	9.6	125	CL625 2 essieux@1.2
	p3	29.3	40.2	9.7	11.8	125	(I = 0.4)
	p4	28.2	42.5	9.6	11.4	125	
	p5	31.1	40.5	9.5	10.8	125	
	p6	30.6	42.4	9.4	11.5	125	
		Mrx	Mrx	Mry	Mry		
		89.6	89.6	48	48		

Charges par essieu possible en considérant 2/3 Mmax pour la distribution latérale et aL = 1.7

P 360 kN	p1	345.9	362.4	613.3	521.1	Tracteur original
	p2a	322.2	373.9	498.6	527.0	(I = 0.1)
	p2b	308.0	397.4	500.4	558.9	
	p3	**301.9**	386.8	509.6	570.4	
P 265 kN	p1b @ 1.5	485.9	**302.3**	822.8	614.7	Multiligne original (I = 0.1)
P 200 kN	p1b @ 1.5	480.7	**242.8**	733.4	516.8	Multiligne Goldhofer (I = 0.1)
P 160 kN	p1a	338.2	**218.6**	477.6	446.4	Tracteur ABB (I = 0.1)
	p1b	308.3	268.7	540.4	550.0	
P 125 kN	p1	363.9	177.8	478.7	402.3	Tracteur
	p2	270.5	233.7	420.2	393.9	CL625 2 essieux@1.2
	p3	240.9	175.6	389.8	320.5	(I = 0.4)
	p4	250.3	**166.1**	393.9	331.7	
	p5	227.0	174.3	398.1	350.1	
	p6	230.7	166.5	402.3	328.8	

Charges par essieu possible en considérant 1.0 Mmax pour la distribution latérale et aL = 1.42

P 360 kN	p1	276.1	289.2	489.5	415.9	Tracteur original
	p2a	257.2	298.4	397.9	420.6	(I = 0.1)
	p2b	245.8	317.2	399.4	446.1	
	p3	**241.0**	308.7	406.7	455.3	
P 265 kN	p1b @ 1.5	387.8	**241.3**	656.7	490.6	Multiligne original (I = 0.1)
P 200 kN	p1b @ 1.5	383.7	**193.8**	585.3	412.5	Multiligne Goldhofer (I = 0.1)
P 160 kN	p1a	269.9	**174.5**	381.1	356.3	Tracteur ABB (I = 0.1)
	p1b	246.1	214.4	431.3	439.0	
P 125 kN	p1	290.4	180.6	486.2	408.6	Tracteur
	p2	215.9	237.4	426.8	400.1	CL625 2 essieux@1.2
	p3	192.3	178.4	396.0	325.5	(I = 0.4)
	p4	199.8	**168.7**	400.1	336.9	
	p5	181.2	177.0	404.3	355.7	
	p6	184.1	169.1	408.6	334.0	

Charges par essieu possible en considérant 2/3 Mmax pour la distribution latérale et aL = 1.42

P 360 kN	p1	414.1	433.8	734.3	623.8	Tracteur original
	p2a	385.7	447.6	596.9	631.0	(I = 0.1)
	p2b	368.8	475.8	599.1	669.1	
	p3	**361.4**	463.0	610.1	682.9	
P 265 kN	p1b @ 1.5	581.7	**361.9**	985.1	735.8	Multiligne original (I = 0.1)
P 200 kN	p1b @ 1.5	575.5	**290.7**	878.0	618.7	Multiligne Goldhofer (I = 0.1)
P 160 kN	p1a	404.9	**261.7**	571.7	534.4	Tracteur ABB (I = 0.1)
	p1b	369.1	321.7	646.9	658.5	
P 125 kN	p1	435.6	212.9	573.1	481.6	Tracteur
	p2	323.8	279.8	503.0	471.6	CL625 2 essieux@1.2
	p3	288.4	210.2	466.7	383.7	(I = 0.4)
	p4	299.7	**198.8**	471.6	397.1	
	p5	271.7	208.7	476.5	419.2	
	p6	276.2	199.3	481.6	393.7	

ANNEXE 6 – SIGNALISATION AUX APPROCHES

MAXIMUM

200t

CHARGE MAX.

PAR ESSIEUX

18t

CREE
DEVELOPMENT
CORPORATION

Respect · Collaboration · Strength