



**PRÉFET  
DE LA RÉGION  
D'ÎLE-DE-FRANCE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

**Direction régionale et interdépartementale  
de l'environnement, de l'aménagement  
et des transports d'Île-de-France**

**Direction des routes d'Île-de-France**

Direction des routes d'Île-de-France

Service de la gestion du patrimonial du réseau

Juin 2024

Département ouvrages d'art

**RN13 – Neuilly-sur-Seine  
Tranchée couverte - TCRN13  
Zone 2**

---

**APROA**

**Affaire suivie par :**

---

DRIEAT / DiRIF / SGPR / DOA  
Monsieur Guillaume DAMIEN  
Chef de département  
65 avenue Faidherbe 93 310 Le Pré Saint Gervais  
Tél : 01 49 15 43 77  
Mail : [guillaume.damien@developpement-durable.gouv.fr](mailto:guillaume.damien@developpement-durable.gouv.fr)

DRIEAT / DiRIF / SGPR / DOA / UTOA  
Monsieur Maxime LHENRY  
Chef de projet  
65 avenue Faidherbe 93 310 Le Pré Saint Gervais  
Tél : 06 68 12 66 50  
Mail : [maxime.lhenry@developpement-durable.gouv.fr](mailto:maxime.lhenry@developpement-durable.gouv.fr)

**Coordonnées des services :**

---

Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement, de l'Aménagement  
et des Transports d'Île-de-France (DRIEAT)  
Direction des routes d'Île-de-France – DiRIF  
Service de la Gestion Patrimoniale du Réseau - SGPR  
Département Ouvrage D'Art – DOA  
Unité Technique Ouvrage d'Art - UTOA  
65 avenue Faidherbe 93 310 Le Pré Saint-Gervais  
Tél. 01 49 15 43 12

**Demandeur :**

---

DRIEAT / DiRIF / SGPR / DOA  
Monsieur Guillaume DAMIEN  
Chef de département  
65 avenue Faidherbe 93 310 Le Pré Saint Gervais  
Tél : 01 49 15 43 77  
Mail : [guillaume.damien@developpement-durable.gouv.fr](mailto:guillaume.damien@developpement-durable.gouv.fr)

## Sommaire

1. OBJET.....	4
2. RÉFÉRENCES, BIBLIOGRAPHIE, DOCUMENTATION.....	5
2.1. Règlements.....	5
2.2. Logiciels de calcul.....	5
2.3. Documents de l'ouvrage.....	5
3. DESCRIPTION DE L'OUVRAGE.....	6
3.1. Plan de situation.....	6
3.2. Géométrie de l'ouvrage.....	6
3.3. Profil en travers.....	7
3.4. Désordres de la structure.....	11
4. CARACTÉRISTIQUES DE L'OUVRAGE.....	14
4.1. Caractéristiques des matériaux.....	14
4.2. Ferrailage Traverse.....	14
4.2.1. Ferrailage sud.....	14
4.2.2. Ferrailage nord.....	15
4.2.3. Ferrailage centre.....	15
4.3. Ferrailage Voiles.....	16
4.3.1. Ferrailage des attentes à la jonction des voiles V1 et V4.....	17
4.3.2. Ferrailage des voiles V1 et V4.....	20
4.4. Surcharges admises à la construction (traverse).....	21
5. MODÉLISATION.....	22
5.1. Hypothèses.....	22
5.1.1. Aménagement actuel.....	22
5.1.2. Aménagement futur.....	26
5.1.2.1. Charges permanentes.....	27
5.2. Combinaisons.....	31
5.3. Justifications.....	31
5.3.1. Justification aux ELU.....	31
5.3.2. Justification aux ELS.....	32
5.4. Résultats.....	32
5.4.1. Voiles.....	32
5.4.2. Traverses.....	43
6. DIMENSIONNEMENT DU RENFORCEMENT.....	62
6.1. Renforcement du voile V1.....	62
6.1.1. Augmentation de la section d'acier.....	62
6.1.2. Vérification de la hauteur à renforcer.....	63
6.1.3. Épaisseur du renfort.....	65
6.1.4. Calcul des scellements.....	66
6.2. Renforcement du voile V4.....	67
6.2.1. Vérification de la hauteur à renforcer.....	68
6.2.2. Épaisseur du renfort.....	69
6.2.3. Scellements.....	70
7. CONCLUSION.....	71
7.1. Piédroits.....	71
7.2. Traverse.....	71

## OBJET

Le présent document a pour objet de définir les réparations à apporter au niveau de la zone 2 de la tranchée couverte de Neuilly.

La ville de Neuilly modifie l'aménagement au-dessus de la couverture et procède à la réfection de l'étanchéité. Dans ce cadre, la DiRIF a repris le calcul de l'ouvrage afin de vérifier que la capacité portante du cadre double est capable de reprendre les charges de l'aménagement futur et le cas échéant de renforcer les zones qui sont sous dimensionnées.

Pour ce faire, les charges du projet proposé par la ville a été comparé :

- aux notes de calcul initiale de la RATP ;
- aux charges existantes ;
- à un modèle transversal réalisé sous ST1 ;
- à un modèle plaque réalisé sous le logiciel EFFEL.

Le recalcul de l'ouvrage au vu du nouvel aménagement montre pour la zone 2 un fort déficit d'acier en pieds du voile nord (V4), en tête des voiles centraux (V2 et V3) et en travée Sud au niveau du voile Sud (V1). Le recalcul a aussi montré des déficits dans les aciers supérieurs de la dalle à proximité du voile Sud (V1).

Les planches de l'inspection de 2009 présentent des désordres très importants en zone 2 travée Nord.

Les plans de ferrailage récupérés auprès de la RATP montre un très faible ferrailage au niveau des aciers transversaux supérieur (dans le sens Est-Ouest) de la travée Nord de la zone 2.

Ce document propose un renfort de ces zones :

- par ajout d'acier passif au niveau des voiles centraux
- par ajout de fibre de carbone sur la dalle au niveau des travées Sud et Nord
- par remplacement des aciers inférieurs de la dalle en travée Nord

## **RÉFÉRENCES, BIBLIOGRAPHIE, DOCUMENTATION**

Le présent document est élaboré avec l'aide des documents suivants :

### **Règlements**

- Règlements en vigueur à la construction en 1989 :
  - BAEL 83
  - Fascicule 61 titre II
- Règlements utilisés pour le recalcul de l'ouvrage existant et le dimensionnement du renforcement :
  - Eurocodes EC0, EC1, EC2
- Guides, documents techniques

### **Logiciels de calcul**

Les logiciels ST1 et Effel ont été utilisés.

### **Documents de l'ouvrage**

Le dossier d'ouvrage comprend :

- [1] les plans de coffrage et de ferrailage de la construction (1989).
- [2] l'inspection détaillée de 1996
- [3] l'inspection détaillée de 2009
- [4] l'inspection détaillée de 2017

## DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

### Plan de situation



Figure 1: Localisation de l'ouvrage

### Géométrie de l'ouvrage

La tranchée couverte est divisée en 13 zones. La zone 2 est située à l'Est.

L'ouvrage est un cadre double séparant :

- le sens paris province de la RN13 au nord ;
- le sens province paris de la RN13 au sud

Actuellement, le dessus de la zone est occupé par une place piétonne et des espaces verts. Les zone centrale et sud ont été construites dans une première phase. La zone nord a été réalisée ensuite.





Figure 2: Visuel de l'existant

## Profil en travers

La RN13 comporte 4 voies dans le sens Y (Province-Paris) et 3 voies dans le sens W (Paris-Province), la voie lente est actuellement neutralisée. Ce dernier sens a été réduit à deux voies avec la mise en place de la voie vélo sur le pont de Neuilly.

La traverse supérieure supportant l'aménagement de la dalle comporte 3 travées.

Au niveau de la zone 2, les deux travées latérales mesurent 14 m, et la travée centrale est de largeur variable : de 2,69m à l'ouest à 2,50m à l'Est.

La zone 2 est composé d'un cadre qui s'étend sur 40m.

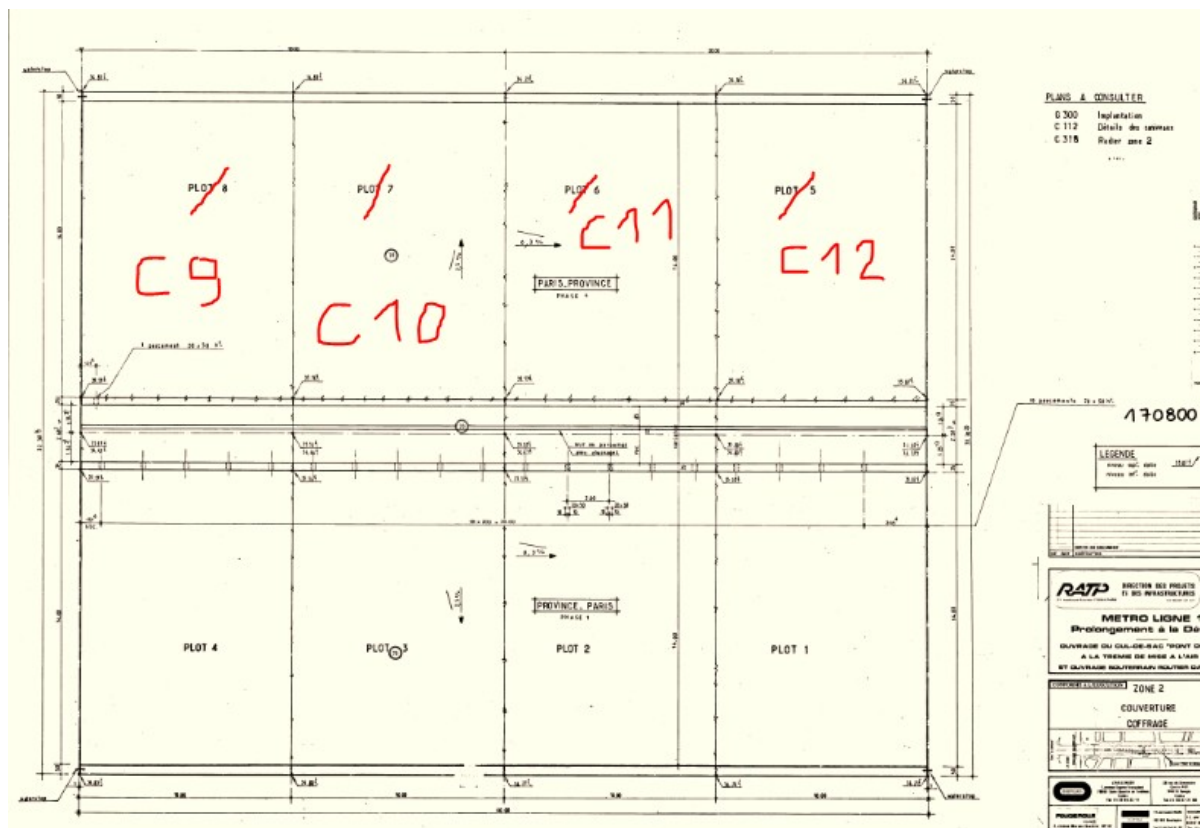


Figure 3: Plan de coffrage de la traverse Zone 2

Les piédroits centraux V2 et V3 sont de 0,35 m d'épaisseur.

Les voiles V1 et V4 de rive ont une épaisseur de 0,50 m.

La dalle a une épaisseur de 70 cm.



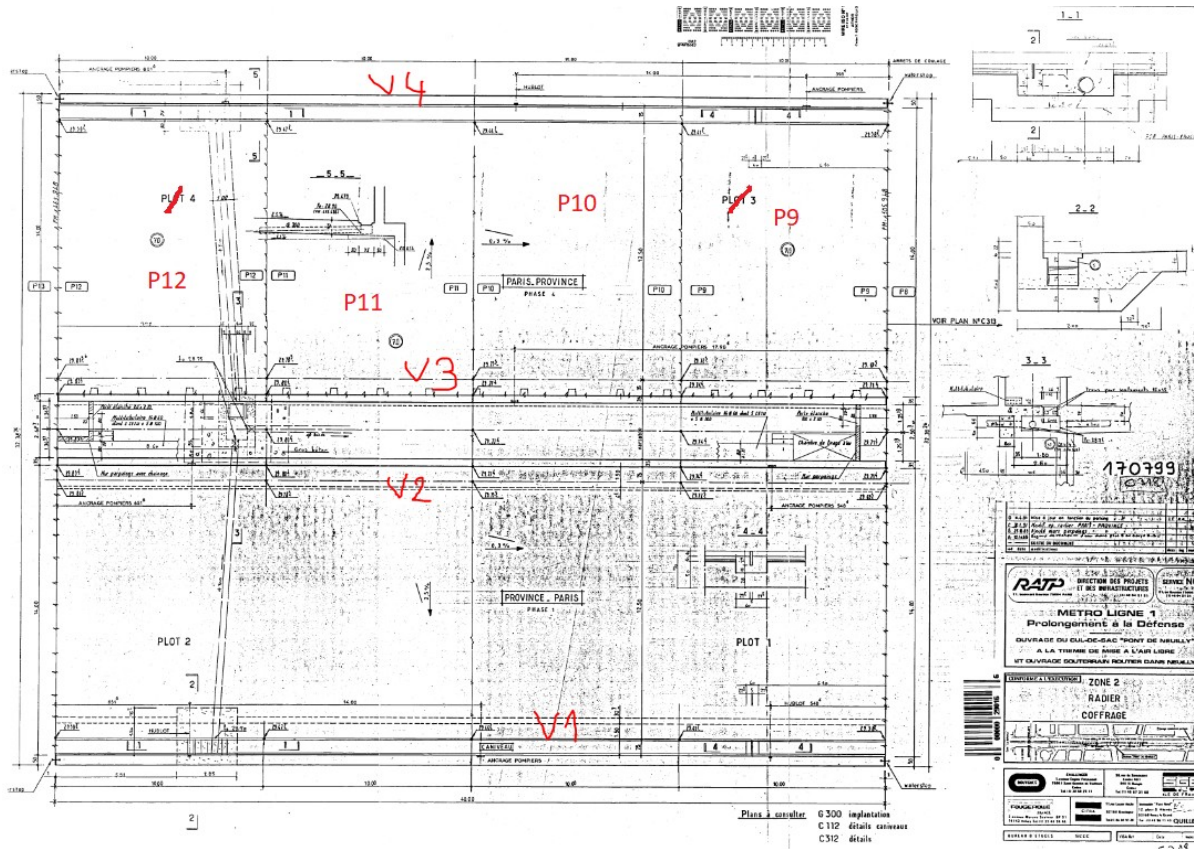


Figure 4: Plan de coffrage radier zone 2

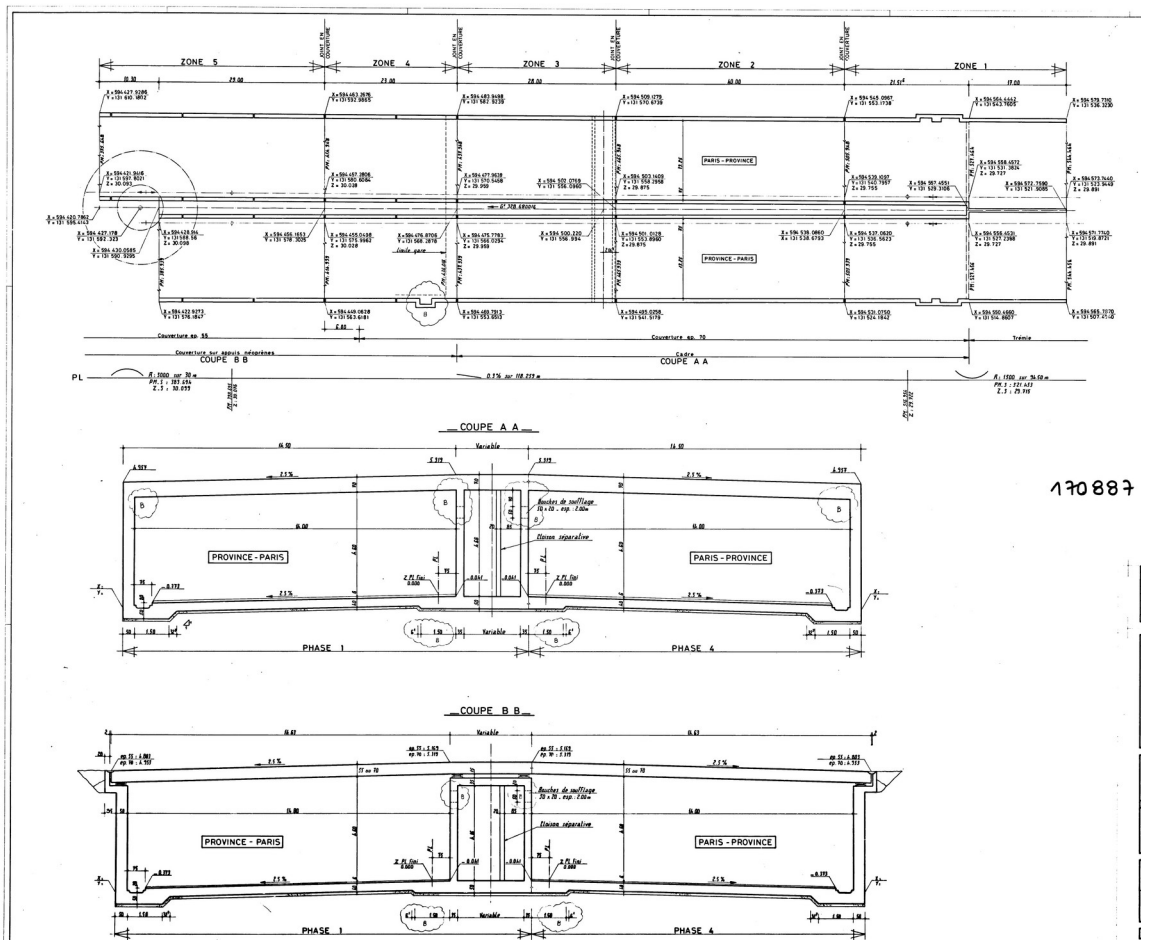


Figure 5: Coupe transversale du cadre en Zone 2 (plan 170888)

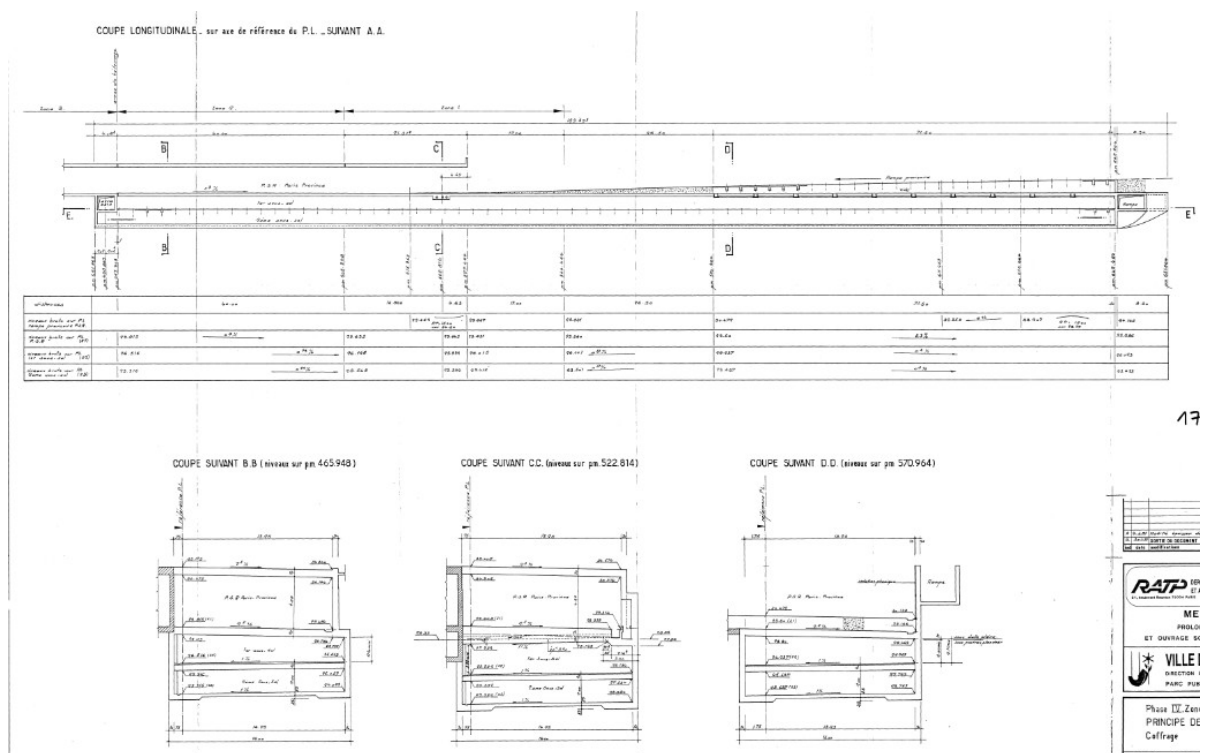
Le radier est d'épaisseur variable. Au niveau des piédroits centraux et extérieurs, le radier est de 50cm. Au niveau des travées Sud et Nord, le radier est de 40cm.

## Ouvrages annexes

Des ouvrages annexes non-visibles sur le plan 170888 (qui comprend la coupe de principe générale du cadre pour les zones 1 à 3) sont présent et sont reliés directement au cadre zone 1 :

- un parking sur deux niveaux situé en dessous de la travée Nord. Ce parking est visible sur les plans 171233 et 171234 ci-dessous qui en sont les plans de principes.
- un accès au métro au Sud de la zone 2 mais qui ne serait pas relié directement au cadre d'après les plans 170805 à 170808, et n'aurait donc pas d'impact sur le cadre en zone 2.
- deux escaliers d'accès, l'un à la centrale de ventilation, l'autre au parking (visibles sur les plans 171234 et 171170) qui sont accrochés directement au voile Nord de la zone 2.

## Parking sur deux niveaux



Page 11



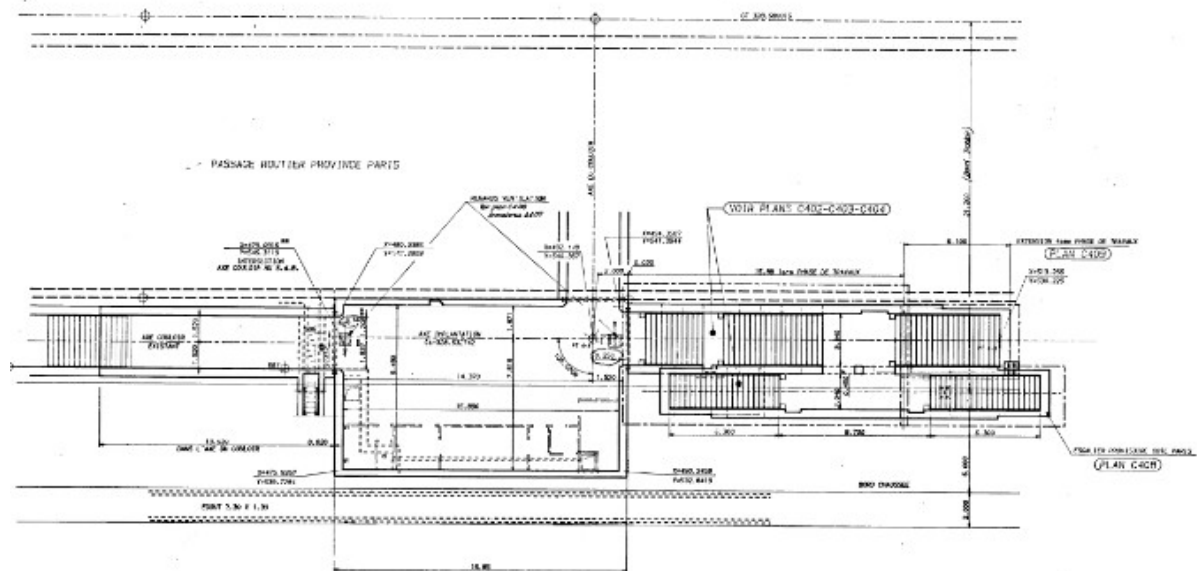


Figure 9: Accès métro Sud\_plan 170805

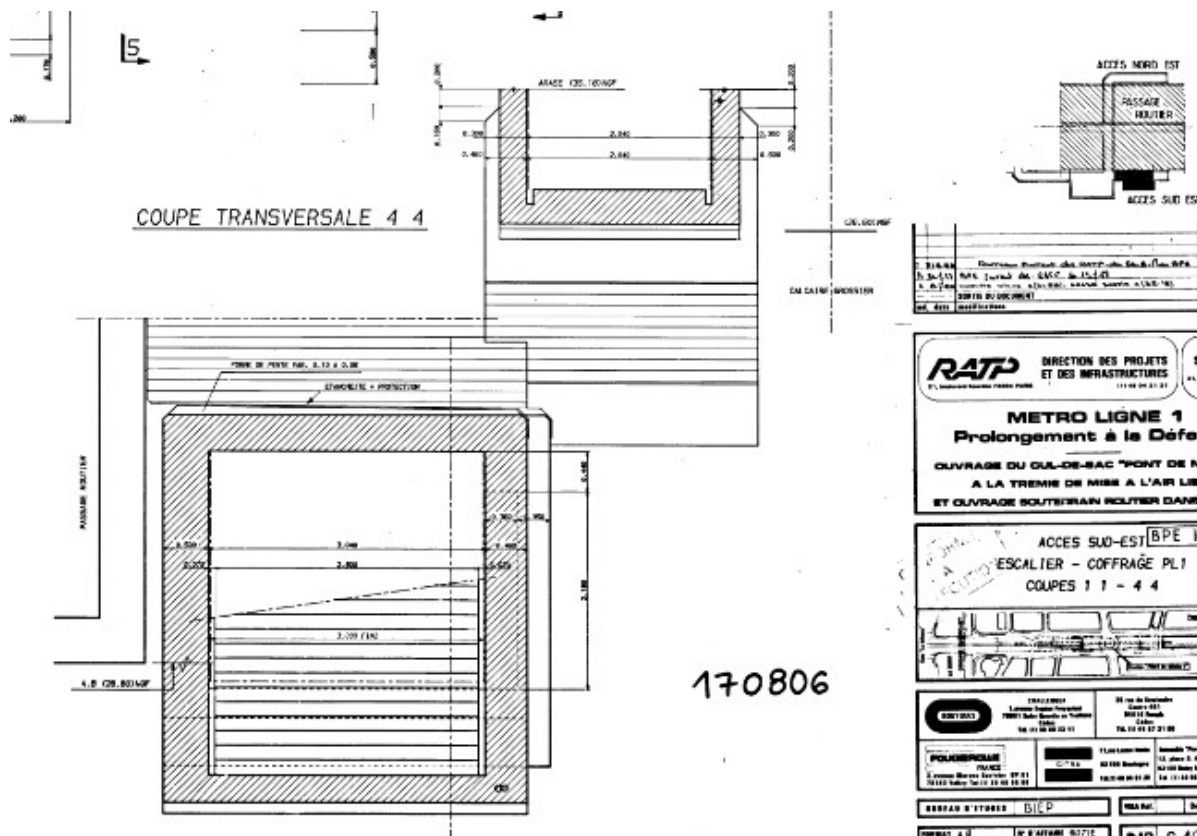


Figure 10: Accès métro Sud\_plan 170806



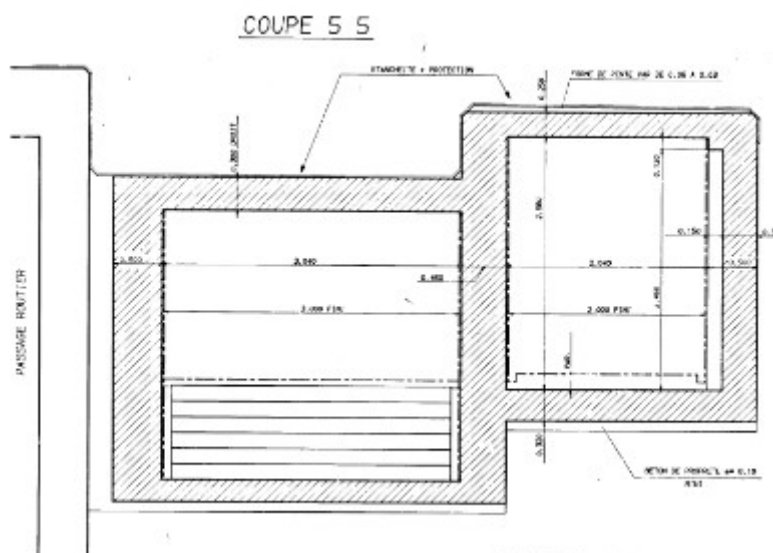


Figure 11: Accès métro Sud\_plan 170808

### Escaliers accrochés au voile V4 du cadre

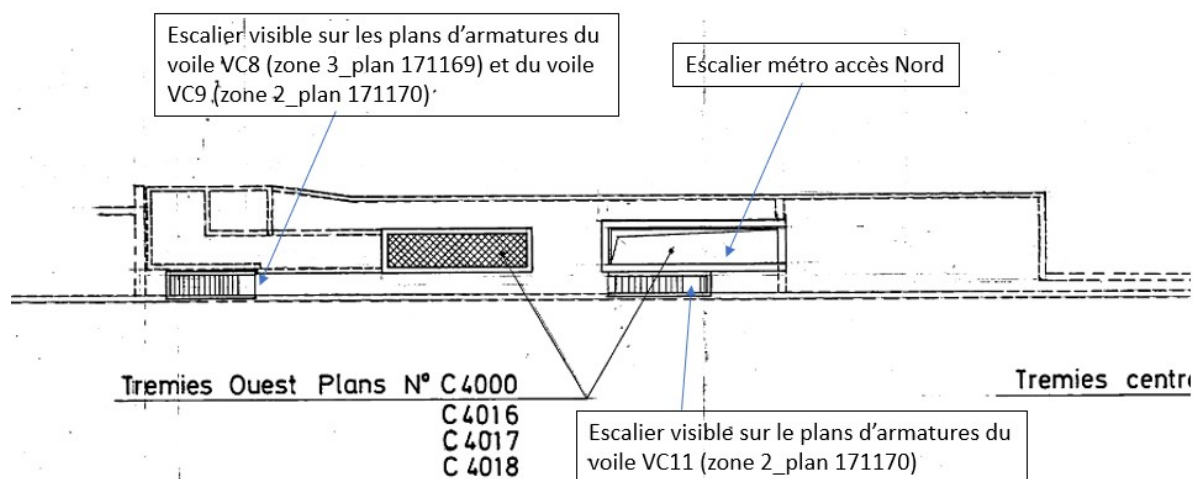


Figure 12: Extrait annoté du plan 171234 pour visualisation des escaliers reliés au cadre zone 2

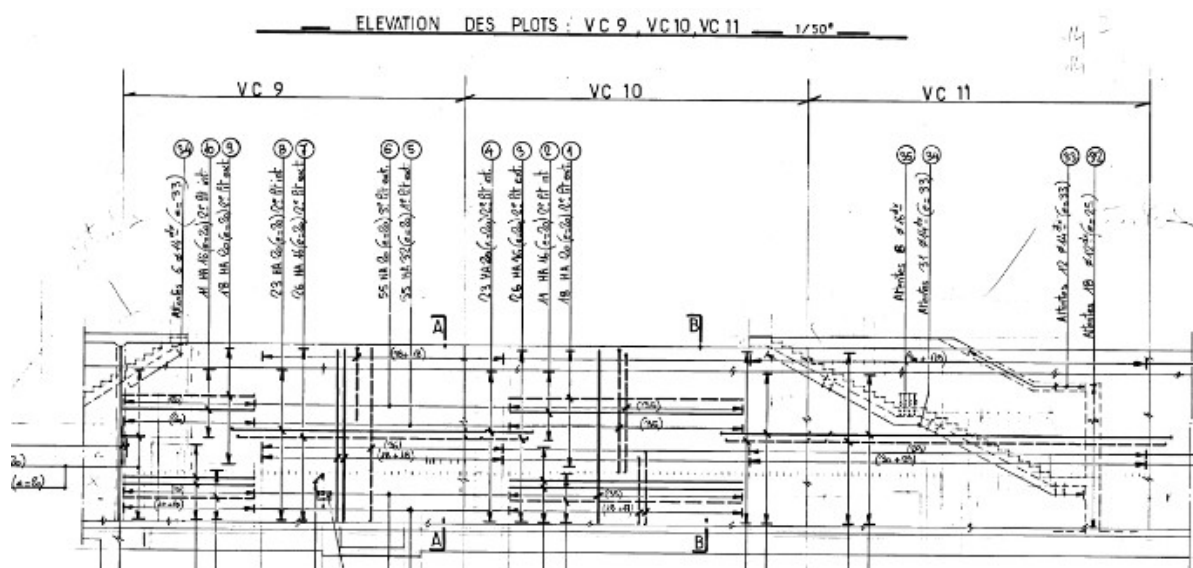


Figure 13: Voiles VC9 et VC11 avec les escaliers accrochés au cadre représentés\_plan 171170

Aménagement de la dalle :

La dalle de la zone 2 est occupée par des jardinières et une zone piétonne.

L'aménagement actuel fait 1158kg/m<sup>2</sup> à l'Est de la zone, 894kg/m<sup>2</sup> au centre à l'Ouest et 1590kg/m<sup>2</sup> au niveau de deux jardinières à l'Ouest de la zone.

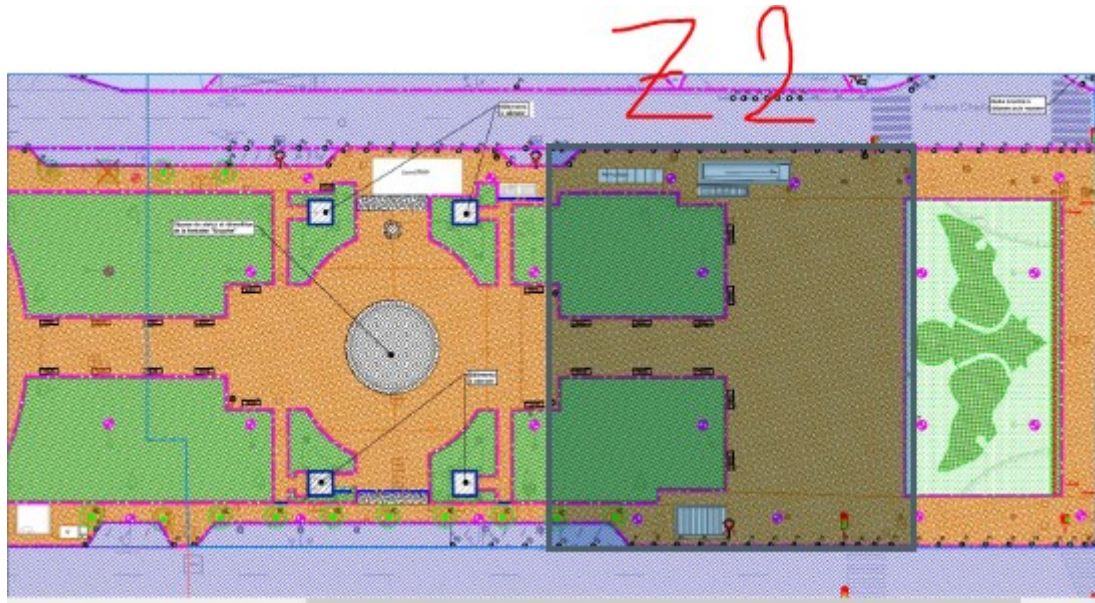


Figure 14: Schéma de l'aménagement actuel de la zone 2

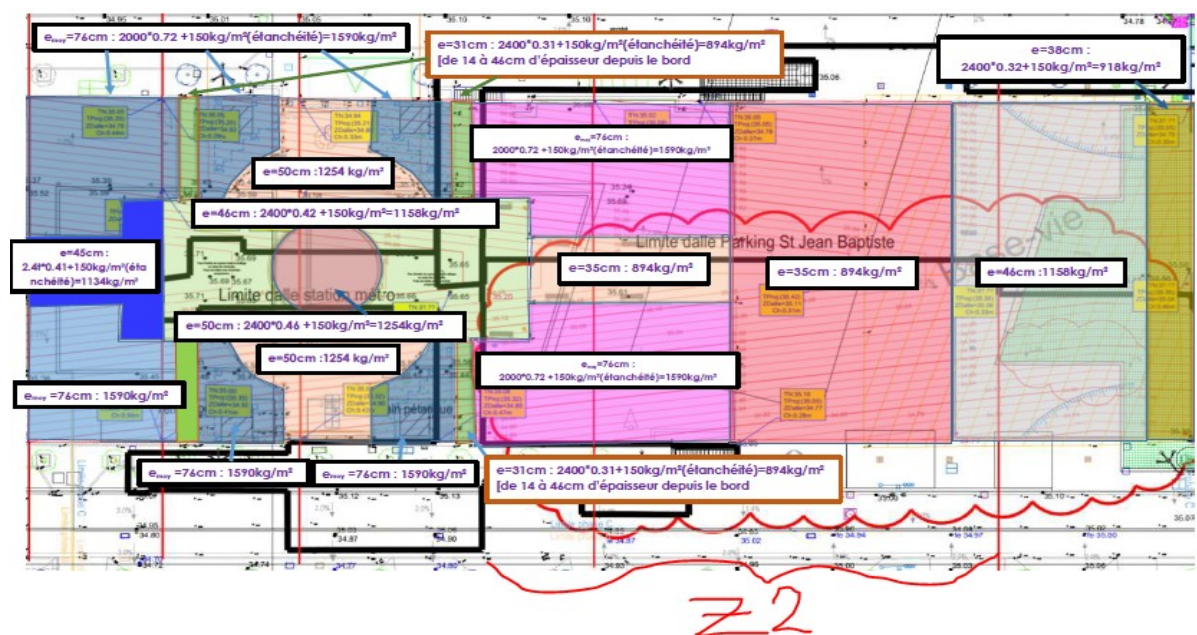


Figure 15: Charges sur l'aménagement actuel en Zone 2

A l'avenir l'aménagement au-dessus de la dalle va évoluer, et sera composé uniquement d'une zone piétonne (774kg/m<sup>2</sup>).





Figure 16: Charges de l'aménagement futur

## Désordres de la structure

Nous disposons de deux rapports concernant les désordres de la structure : une inspection de 2003 et une inspection de 2009 réalisée par le CEREMA.

Les planches présentées sont issues du rapport du CEREMA consécutif à l'inspection de 2009 et présente l'évolution des fissures (fissures de 2003 en noir, et fissures de 2009 en rouge).

Pour la planche de la travée Nord Ouest de la zone 2, étant donné qu'il s'agissait de la partie de l'ouvrage avec les plus gros désordres, une nouvelle inspection a eu lieu en 2019 pour suivre l'évolution des fissures.

En travée Nord-Ouest (sens Paris-La Défense), on observe une fissuration très importante avec une aggravation au cours des dernières années. Cette zone correspond à la zone des jardinières pour lesquelles le poids de l'aménagement est beaucoup plus important qu'ailleurs. On observe de nombreuses fissures de plus d'1mm et dans toutes les directions.

La travée Sud-Ouest, qui présente le même aménagement que celle Nord-Ouest avec les jardinières, est quant-à-elle pas fissurée. Cela s'explique par un ferrailage plus important mis en place dans les travées Sud.

La travée Nord-Est présente des fissures transversales à proximité des piliers, et quelques fissures longitudinales.

La travée Sud-Est est peu fissurée.

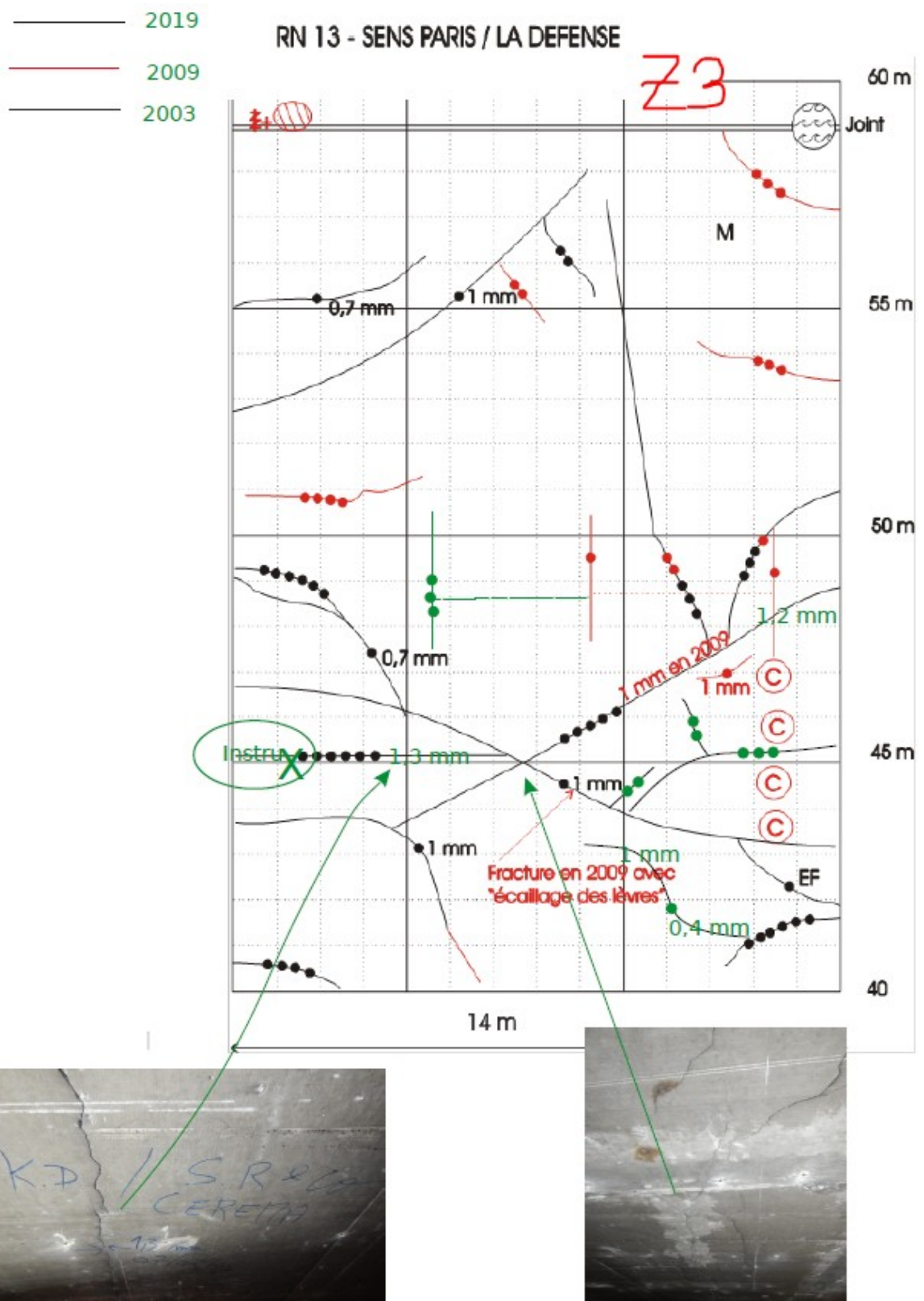
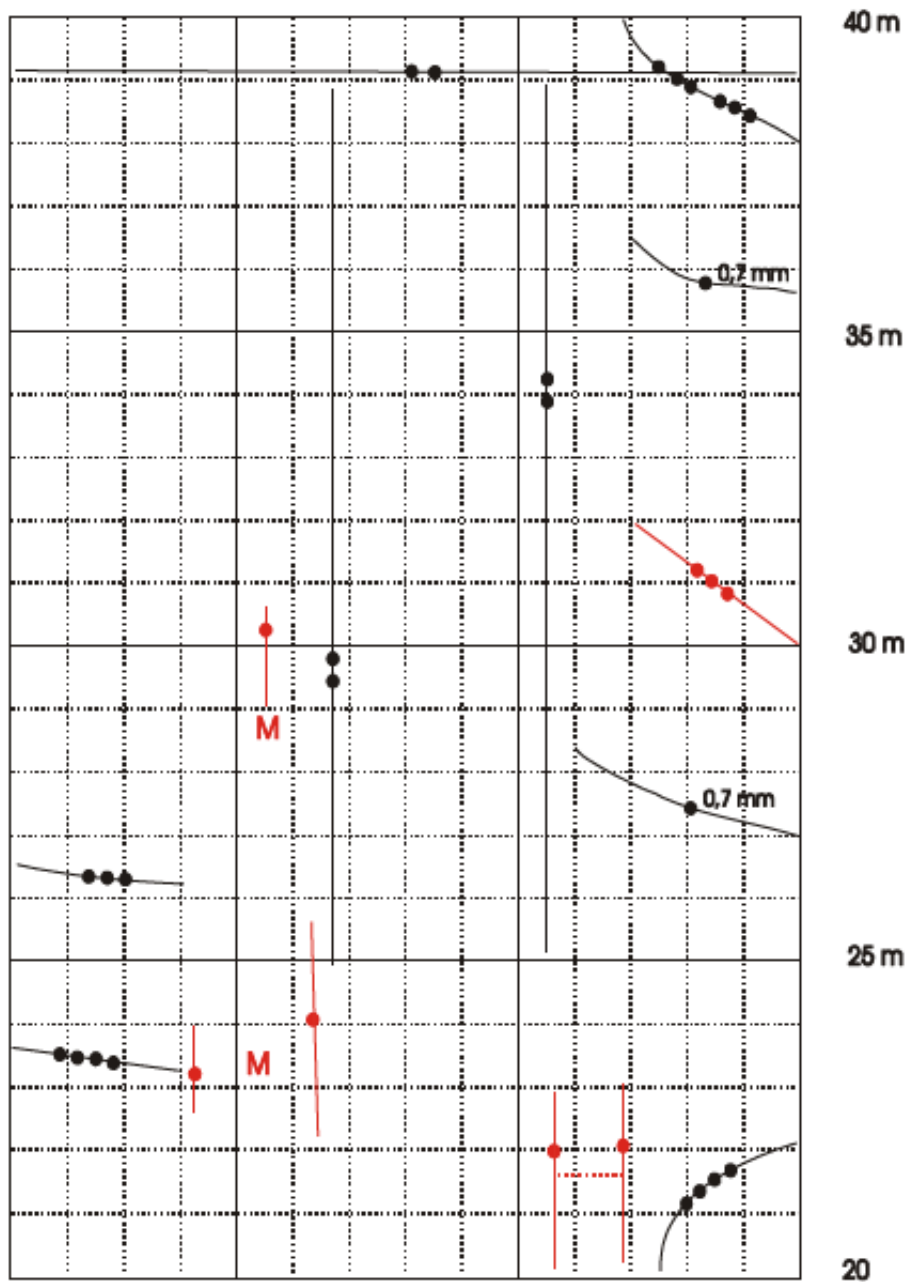


Figure 17: Planche de fissuration travée Nord-Ouest Zone 2

# RN 13 - SENS PARIS / LA DEFENSE



vers Z1

Figure 18: Planche de fissuration travée Nord-Est Zone 2



# RN 13 - SENS LA DEFENSE / PARIS

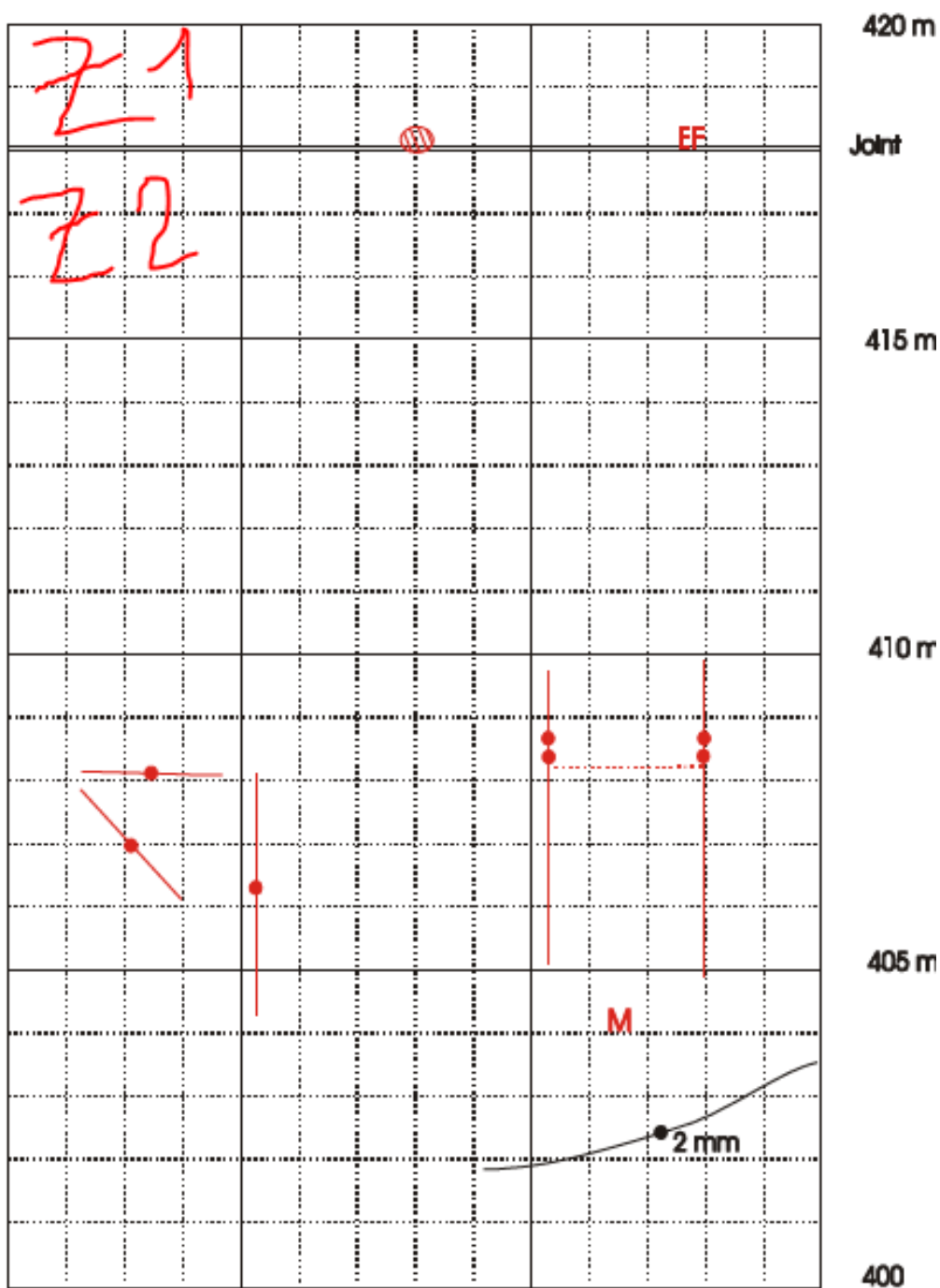


Figure 19: Planche de fissuration travée Sud-Est Zone 2

RN 13 - SENS LA DEFENSE / PARIS

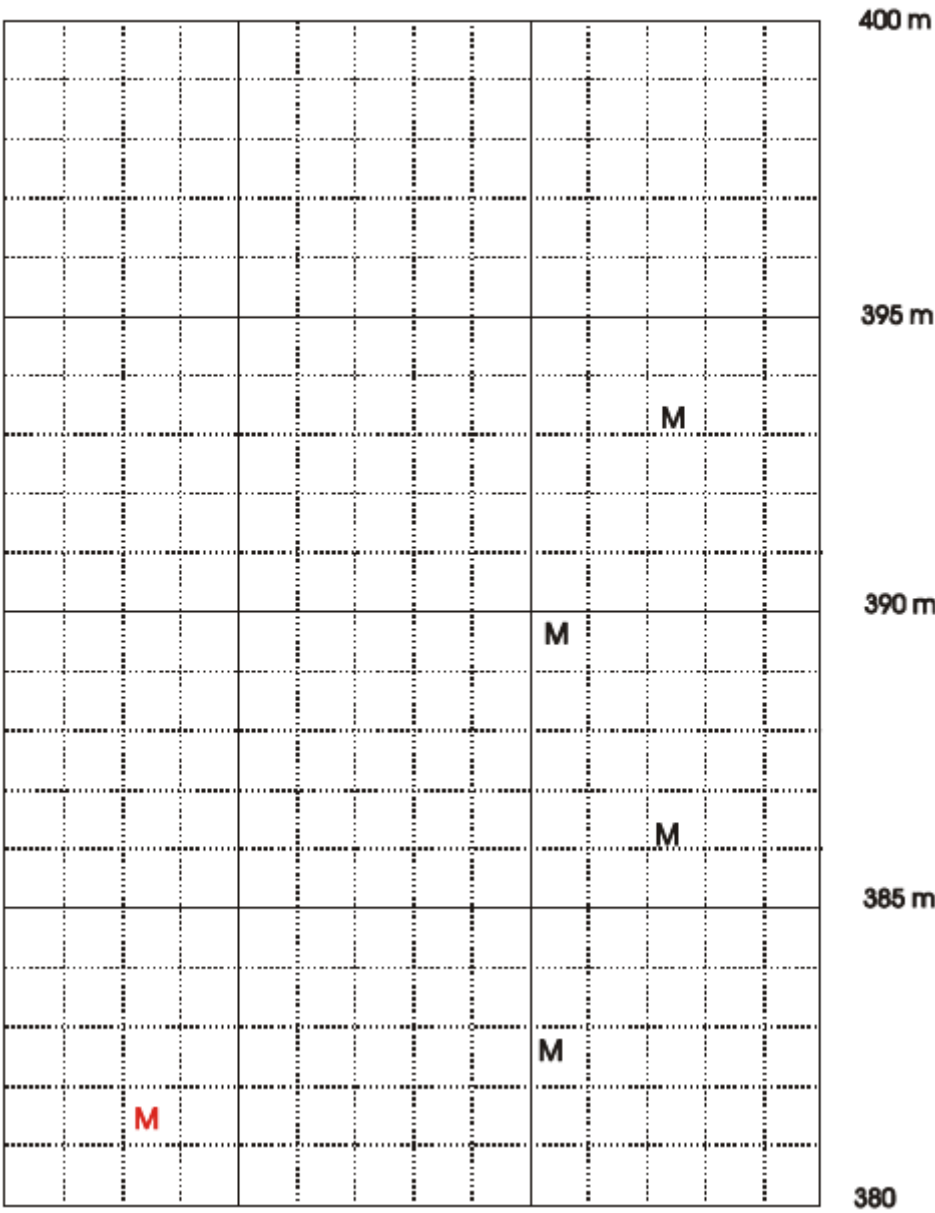


Figure 20: Planche de fissuration travée Sud-Ouest Zone 2

## CARACTÉRISTIQUES DE L'OUVRAGE

### Caractéristiques des matériaux

Le dossier d'exécution fournit les éléments suivants relatifs au matériau :

Béton  $f_{c28} = 30$  MPa

Aciers  $f_y = 400$  MPa

### Ferraillage Traverse

La dalle de couverture de la zone 2 est divisée en 8 sections (4 au Nord, 4 au Sud) faisant toutes 10m de long.

Les sections de la travée Nord sont C12, C11, C10 et C9.

Les sections de la travée Sud sont 1, 2, 3 et 4.

Le ferraillage des 4 sections de la travée Sud est identique.

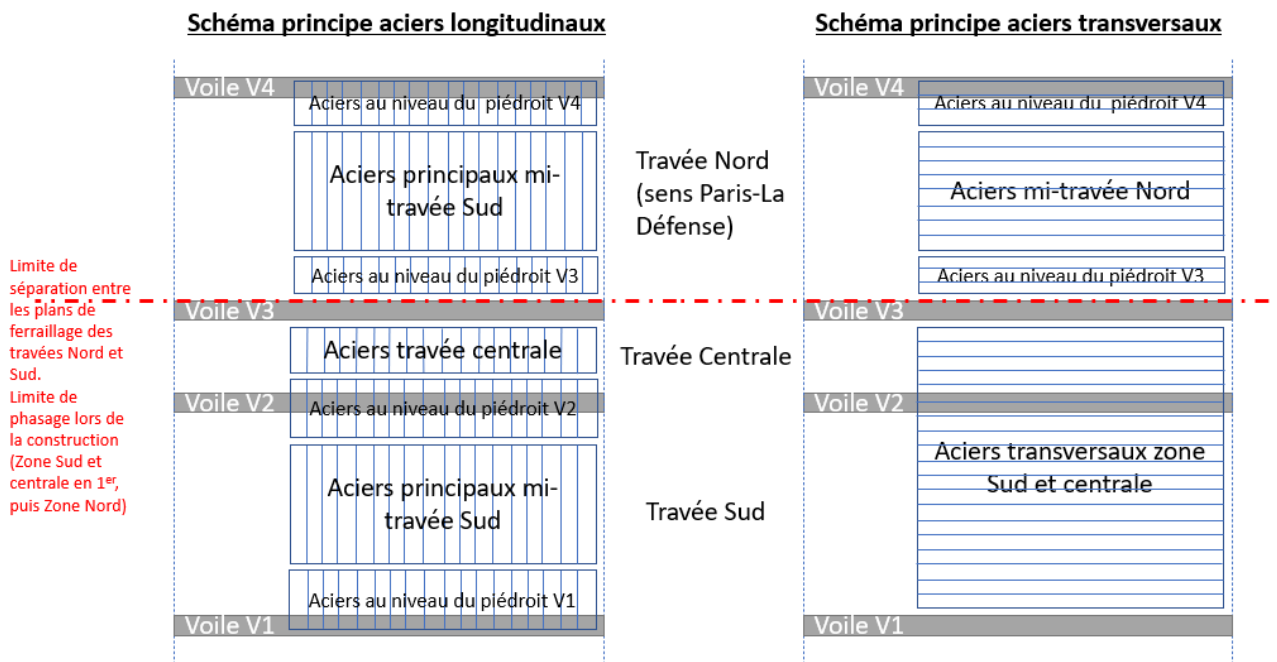
Pour la travée Nord, le ferraillage des sections C9 et C12 n'est pas identique sur toute leur longueur, et l'on peut distinguer une partie droite, et une partie gauche qui seront nommées respectivement C9D, C12D et C9G et C12G.

Les traverses C12D, C12G font respectivement 5,8m et 4,2m de longueur.

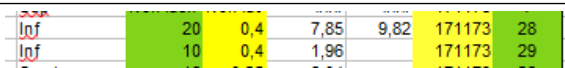
Les traverses C9D, C9G font respectivement 6m et 4m de longueur.

Pour la travée Nord, les ferraillages des zones C11 et C9D sont identiques, idem pour ceux des zones C10 et C9G.

Dans la suite du document, les ferraillages des travées Nord, Sud et centrale sont rassemblés dans des tableaux. Ci-dessous les schémas de principes indiquant la localisation des aciers désignés par zone dans les tableaux de ferraillage.



Dans les tableaux de ferrailage de l'APROA, le numéro des aciers est indiqué en dernière colonne et doit être lu selon les modalités ci-dessous :

Numéros séparés par un point	Exemple : 41.61	Alors les armatures sont identiques mais ne se cumulent pas, elles couvrent chacune une partie de la zone.
Numéros séparés par un « et »	Exemple : 41 et 61	Les armatures sont identiques et sont alternées, elles couvrent la même zone, il est indiqué e/2 pour le prendre en compte
Numéros sur deux lignes nommées de la même manière		Les armatures ne sont pas identiques et sont alternées, elles couvrent la même zone, il est indiqué l'espacement par armature, il faudra sommer les sections d'acier pour obtenir la section d'aciers totale sur cette zone.

# Ferrailage sud

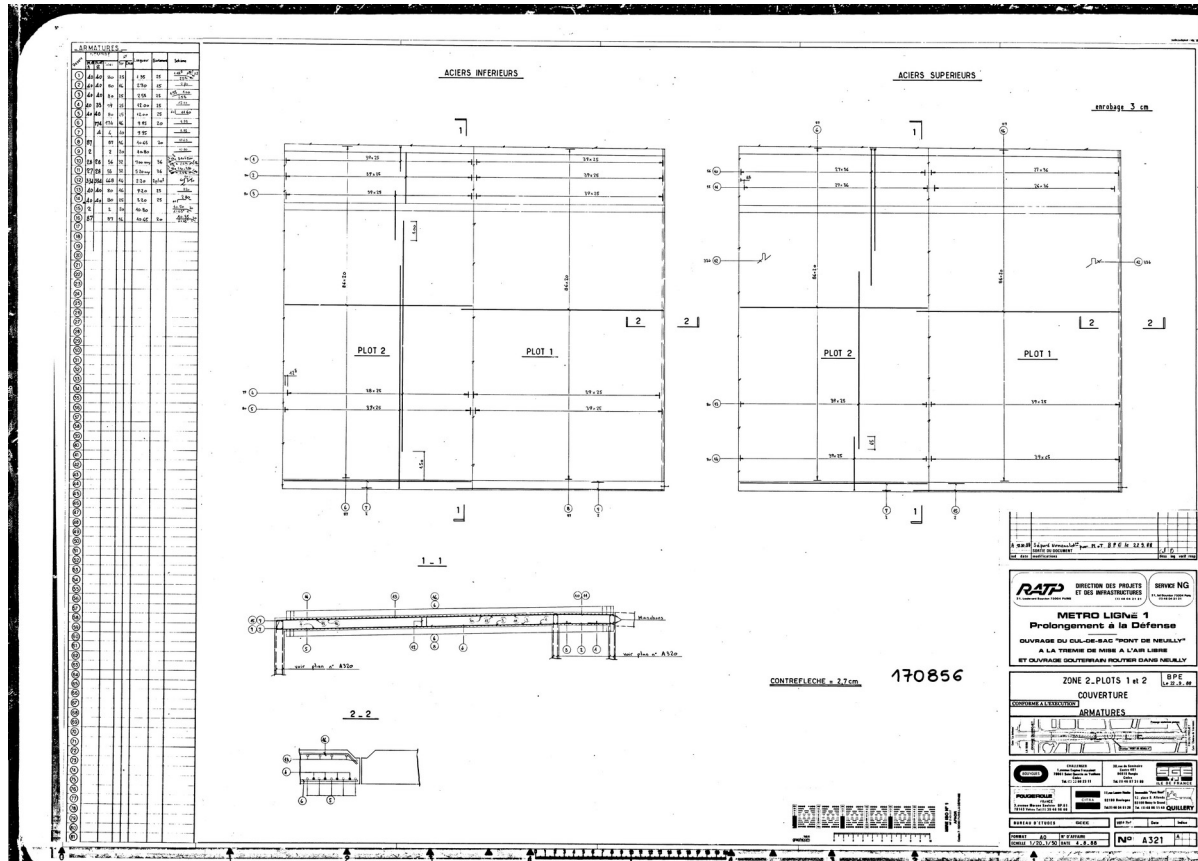


Figure 21: Ferrailage traverses 1 et 2\_plan 170856

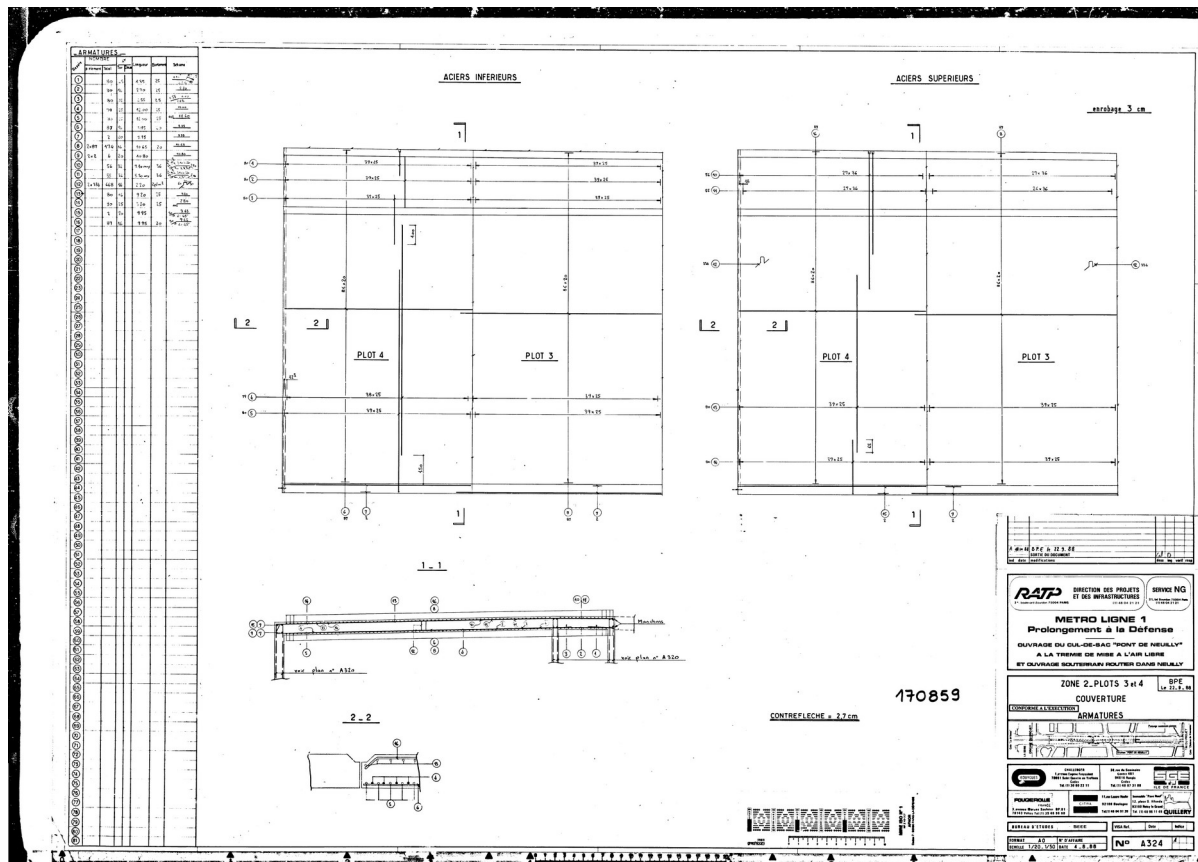
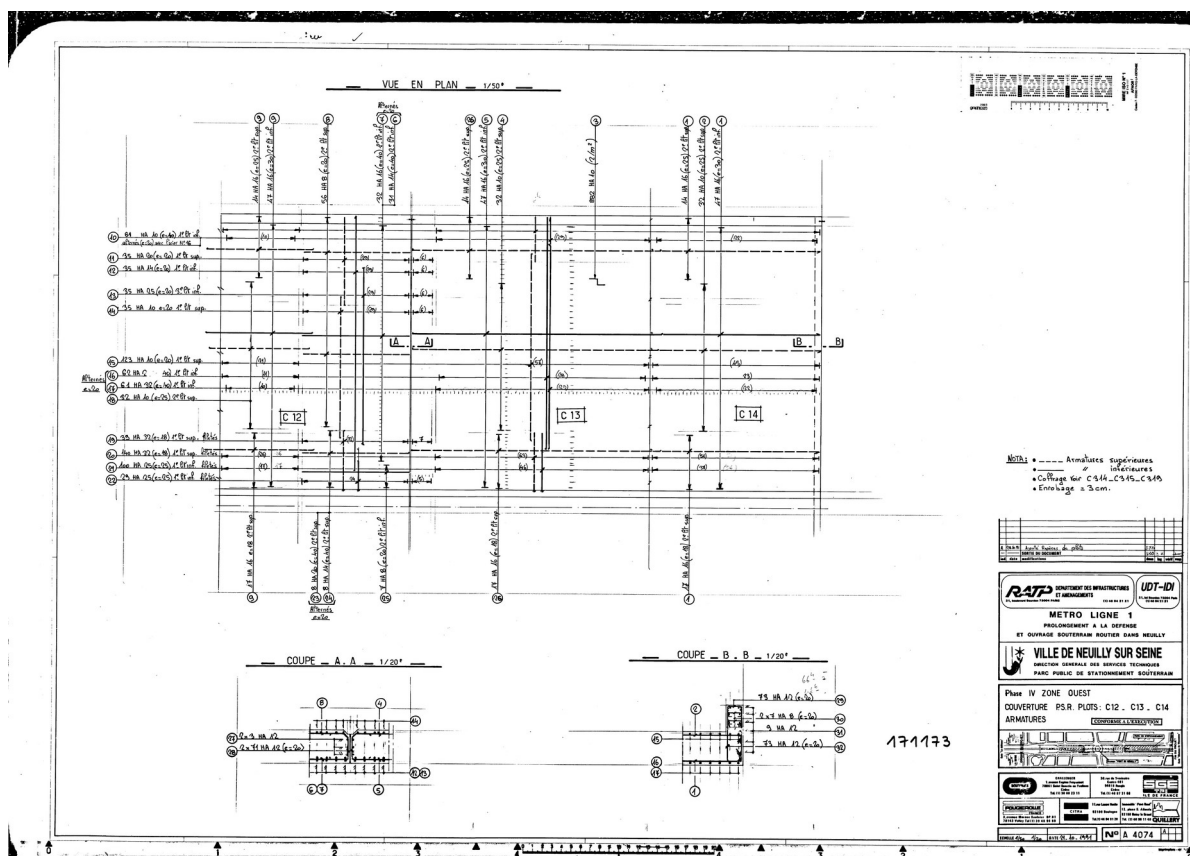


Figure 22: Ferrailage traverses 3 et 4\_plan 170859



Traverses 1, 2, 3, 4	HA	e (en m)	As (en cm <sup>2</sup> )	plan	Aciers traverse 1	Aciers 2	Aciers 3	Aciers 4
Aciers travée centrale	Sup	32	0,18	44,68	170856	10 et 11	10 et 11	10 et 11
	Inf	16	0,25	8,04	170856	2	2	2
	Sup trans	16	0,2	10,05	170856	16	6	8
	Inftrans	16	0,2	10,05	170856	8	6	8
Aciers au niveau du piédroit V2	Sup	32	0,18	44,68	170856	10 et 11	10 et 11	10 et 11
	Inf	25	0,25	19,63	170856	3	3	3
	Sup trans	16	0,2	10,05	170856	16	6	8
	Inftrans	16	0,2	10,05	170856	8	6	8
Aciers mi-travée Sud	Sup	16	0,25	8,04	170856	13	13	13
	Inf	25	0,125	39,27	170856	4 et 5	4 et 5	4 et 5
	Sup trans	16	0,2	10,05	170856	16	6	8
	Inftrans	16	0,2	10,05	170856	8	6	8
Aciers au niveau du piédroit V1	Sup	25	0,25	19,63	170856	14	14	14
	Inf	25	0,25	19,63	170856	5	5	5
	Sup trans	16	0,2	10,05	170856	16	6	8
	Inftrans	16	0,2	10,05	170856	8	6	8

## Ferrailage nord



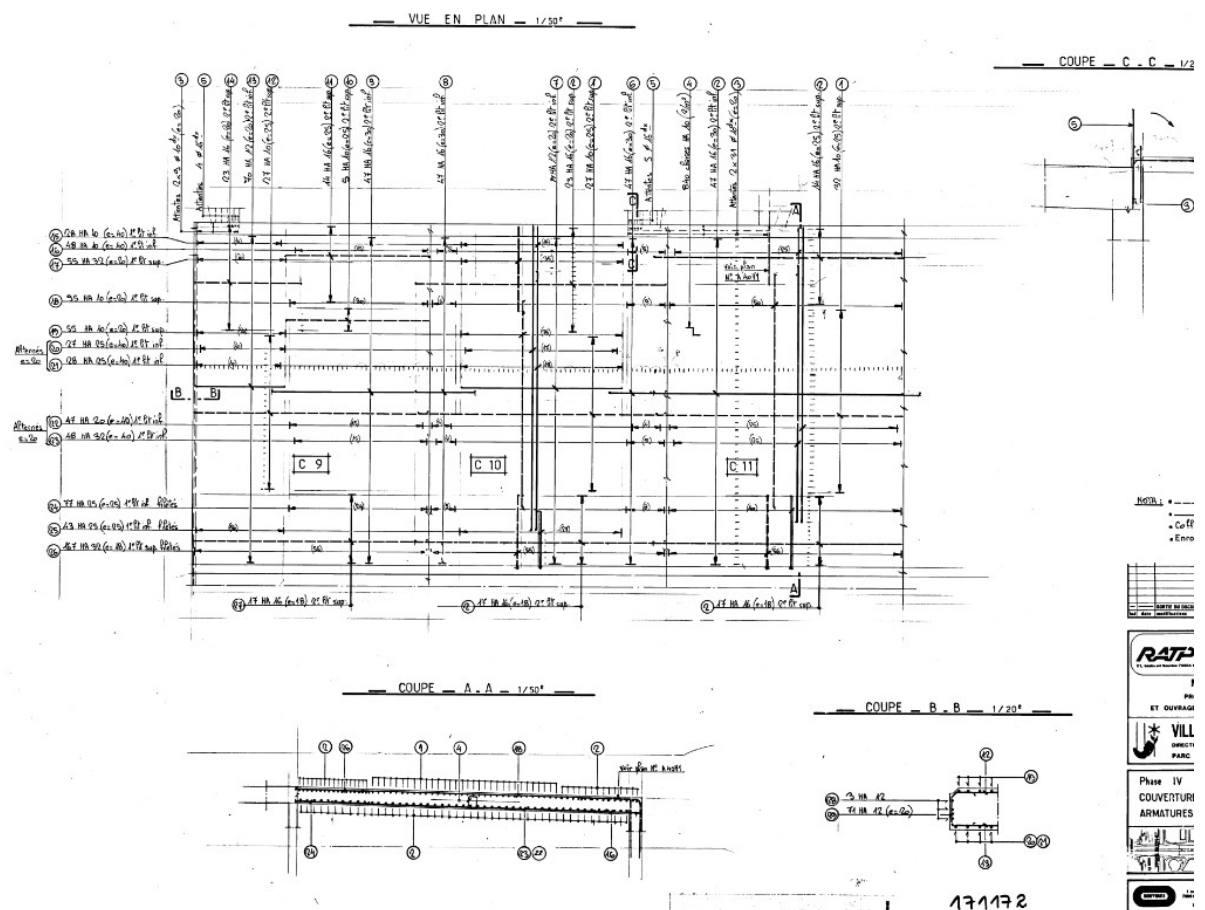


Figure 24: Ferrailage traverses C11, C10 et C9\_plan 171172

Traverse C12D	HA	e (en m)	As (en cm²)	As total	plan	aciers
Aciers au niveau du piedroit V4	Sup	20	0,2	15,71	171173	11
	Inf	14	0,2	7,70	171173	12
	Sup trans	8	0,2	2,51	171173	8
	Inf trans	16	0,4	5,03	171173	7
Aciers mi-travée Nord	Inf trans	14	0,4	3,85	171173	6
	Sup	10	0,2	3,93	171173	14
	Inf	14	0,2	7,70	171173	12
	Sup trans	25	0,2	24,54	171173	13
Aciers au niveau du piedroit V3	Inf trans	8	0,2	2,51	171173	8
	Sup trans	16	0,4	5,03	171173	7
	Inf trans	14	0,4	3,85	171173	6
	Sup	32	0,18	44,68	171173	32
Aciers au niveau du piedroit V3	Inf	25	0,25	19,63	171173	24
	Sup trans	20	0,4	7,85	171173	23
	Inf trans	14	0,4	3,85	171173	24
	Sup	8	0,2	2,51	171173	25

Traverse C12G	HA	e (en m)	As (en cm²)	As total	plan	aciers
Aciers au niveau du piedroit V4	Sup	32	0,4	20,11	171171	16
	Sup	25	0,4	12,27	171171	17
	Inf	10	0,4	1,96	171173	10
	Inf	20	0,4	7,85	171173	11
Aciers mi-travée Nord	Sup trans	16	0,25	8,04	171173	9
	Inf trans	16	0,3	6,70	171173	9
	Sup	10	0,2	3,93	171173	21
	Inf	20	0,4	7,85	171173	11
Aciers au niveau du piedroit V3	Inf	32	0,4	20,11	171173	10
	Sup trans	10	0,25	3,14	171173	18
	Inf trans	16	0,3	6,70	171173	9
	Sup	32	0,18	44,68	171173	26
Aciers au niveau du piedroit V3	Inf	25	0,25	19,63	171173	17
	Sup trans	16	0,18	11,17	171173	9
	Inf trans	16	0,3	6,70	171173	9

Traverse	C11 et C9D	HA	e (en m)	As (en cm <sup>2</sup> )	As total	plan	aciers
Aciers au niveau du piedroit V4	Sup	32	0,4	20,11	32,38	171170	18
	Sup	25	0,4	12,27		171170	18
	Inf	20	0,4	7,85	9,82	171172	15
	Inf	10	0,4	1,96		171172	15
	Sup trans	16	0,25	8,04		171172	11
	Inftrans	16	0,3	6,70		171172	9
Aciers mi-travée Nord	Sup	10	0,2	3,93		171172	30
	Inf	20	0,4	7,85	27,96	171172	15
	Inf	32	0,4	20,11		171172	15
	Sup trans	10	0,25	3,14		171172	12
	Inftrans	16	0,3	6,70		171172	9
	Sup	32	0,18	44,68		171172	56
Aciers au niveau du piedroit V3	Inf	25	0,25	19,63		171172	24
	Sup trans	16	0,18	11,17		171172	27
	Inftrans	16	0,3	6,70		171172	9
Traverse	C10 et C9G	HA	e (en m)	As (en cm <sup>2</sup> )	As total	plan	aciers
Aciers au niveau du piedroit V4	Sup	32	0,2	40,21		171172	35
	Inf	10	0,4	1,96	14,24	171172	18
	Inf	25	0,4	12,27		171172	17
	Sup trans	16	0,2	10,05		171172	2
	Inftrans	12	0,2	5,65		171172	7
	Sup	10	0,2	3,93		171172	35
Aciers mi-travée Nord	Inf	25	0,2	24,54		171172	17 et 18
	Sup trans	10	0,25	3,14		171172	1
	Inftrans	12	0,2	5,65		171172	7
	Sup	32	0,18	44,68		171172	55
Aciers au niveau du piedroit V3	Inf	25	0,25	19,63		171172	27
	Sup trans	16	0,18	11,17		171172	2
	Inftrans	12	0,2	5,65		171172	7

## Ferrailage Voiles

### Ferrailage des attentes à la jonction des voiles, ferrailage des voiles et liaison avec la dalle

Voile V1

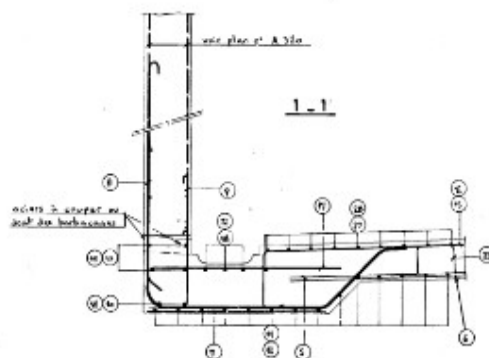


Figure 25: Attentes jonction V1 avec radier (plot 1)\_plan 170854

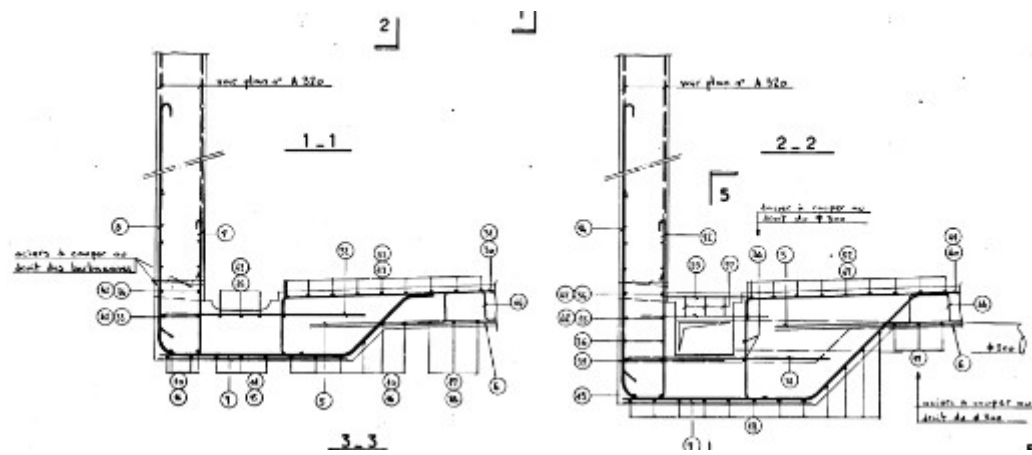


Figure 26: Attentes jonction V1 avec radier (plot 2)\_plan 170857

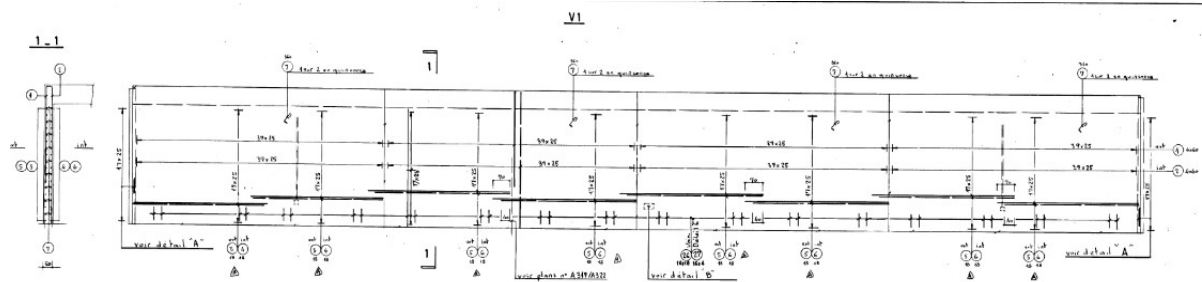


Figure 27: Voile V1 \_plan170855

V1		HA	e en m	As cm <sup>2</sup>	plan	aciers
Tout le voile	Ext	32	0,25	32,17	170855	1
	Int	14	0,25	6,16	170855	2
	Ext trans	16	0,25	8,04	170855	3.5
	Int trans	10	0,25	3,14	170855	4.6
	Epingles	8	0,5	1,01	170855	7
Liaison avec radier	Attentes Ext	20	0,25	12,57	170854	8
	Attentes Int	14	0,25	6,16	170854	9

Voiles centraux V2 (Sud) et V3 (Nord)

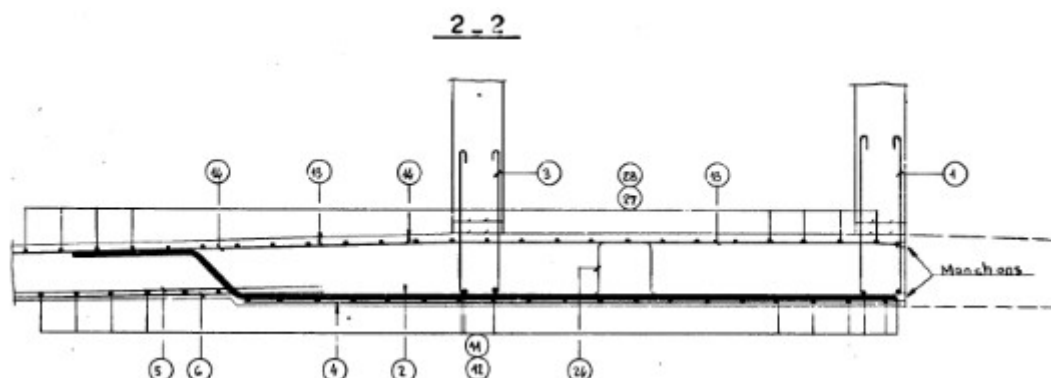


Figure 28: Attentes jonction V2 et V3 avec radier \_plan 170854

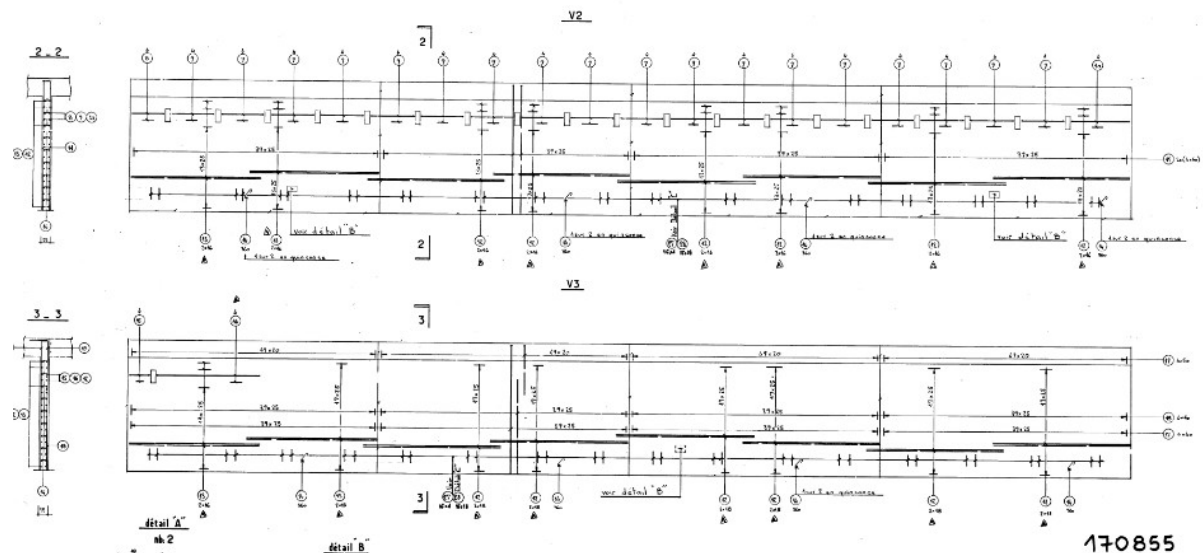


Figure 29: Voiles V2 et V3\_plan 170855

V2		HA	e en m	As cm <sup>2</sup>	plan	aciers
Tout le voile	Ext	12	0,25	4,52	170855	11
	Int	12	0,25	4,52	170855	11
	Ext trans	12	0,25	4,52	170855	8.9.10.12.13
	Int trans	12	0,25	4,52	170855	8.9.10.12.13
	Epingles	8	0,5	1,01	170855	14
Liaison avec radier	Attentes Ext	12	0,25	4,52	170854	3
	Attentes Int	12	0,25	4,52	170854	3

V3		HA	e en m	As cm <sup>2</sup>	plan	aciers
Haut du voile	Ext + liaison dalle Sud	16	0,2	10,05	170855	19
	Int	12	0,25	4,52	170855	17
Milieu et bas du voile	Ext	14	0,25	6,16	170855	18
	Int	12	0,25	4,52	170855	17
	Ext trans	12	0,25	4,52	170855	12.13
	Int trans	12	0,25	4,52	170855	12.13
	Epingles	8	0,5	1,01	170855	14
Liaison avec radier	Attentes Ext	14	0,25	6,16	170854	4
	Attentes Int	14	0,25	6,16	170854	4

### Voile VC12, VC11, VC10 et VC9 (=voile V4)

#### Sections des voiles :

Le ferrailage des sections de voile VC12, VC10 et VC9 n'est pas identique sur toute leur longueur.

Pour les sections VC9 et VC12, on peut distinguer une partie droite, et une partie gauche qui seront nommées respectivement VC9D, VC12D et VC9G, VC12G (il s'agit de la même subdivision que pour les sections de voile).

Les deux extrémités de la section VC10 ne sont pas identiques au centre de la section qui seront nommés VC10D et VC10G. Le centre de la section sera nommé VC10C.

Les voiles VC12D, VC12G font respectivement 6m et 4m de longueur.

Les voiles VC9D, VC9G font respectivement 5,8m et 4,2m de longueur.

Les voiles VC10D, VC10C et VC10G font respectivement 2m, 7m et 1m de longueur.

Pour la travée Nord, les ferrailages des zones VC12G, VC11, VC10D, VC10G et VC9D sont identiques, idem pour ceux des zones VC9G et VC10C.



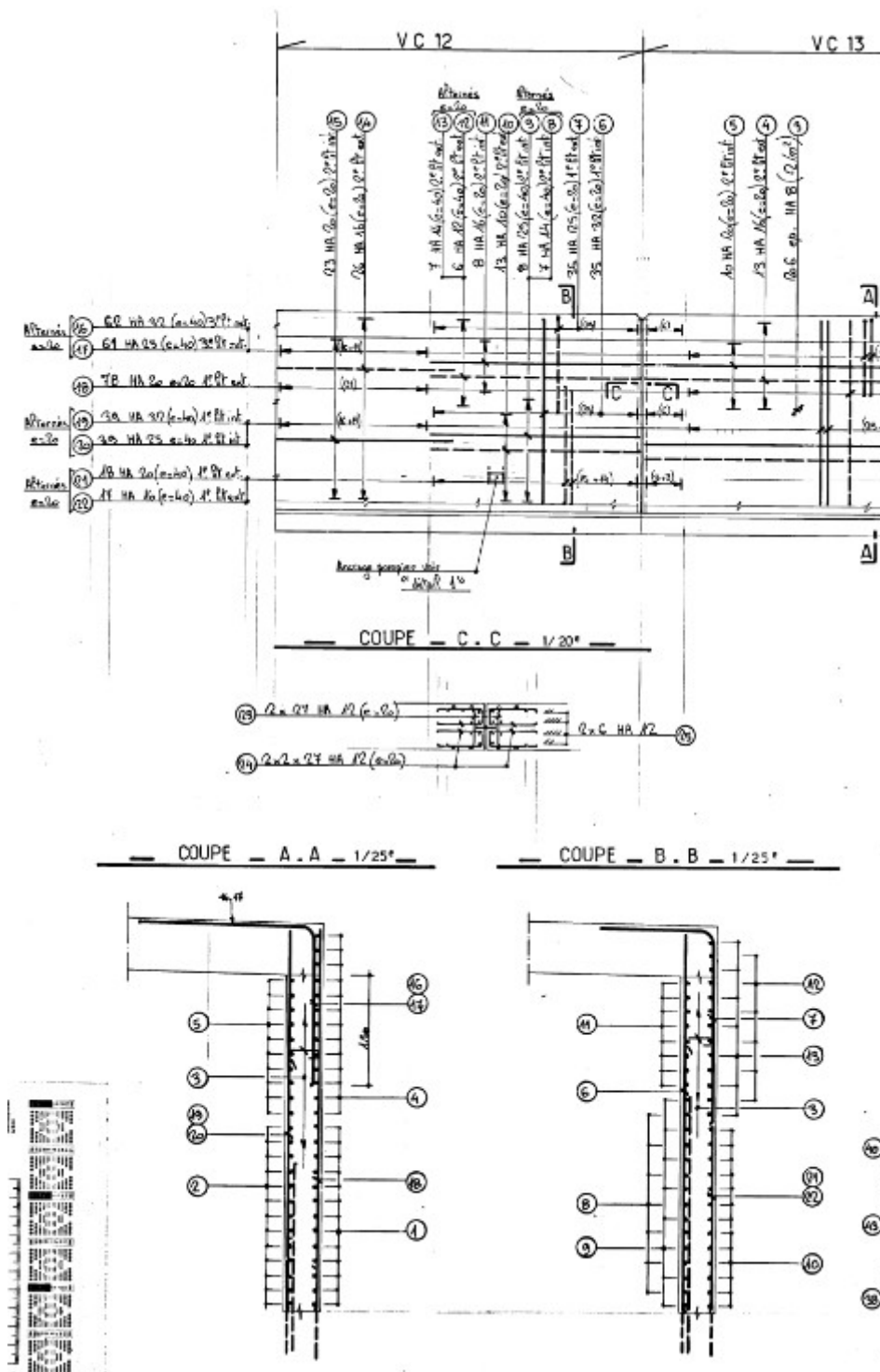


Figure 30: Voile VC12 élévation et coupes\_plan 171171

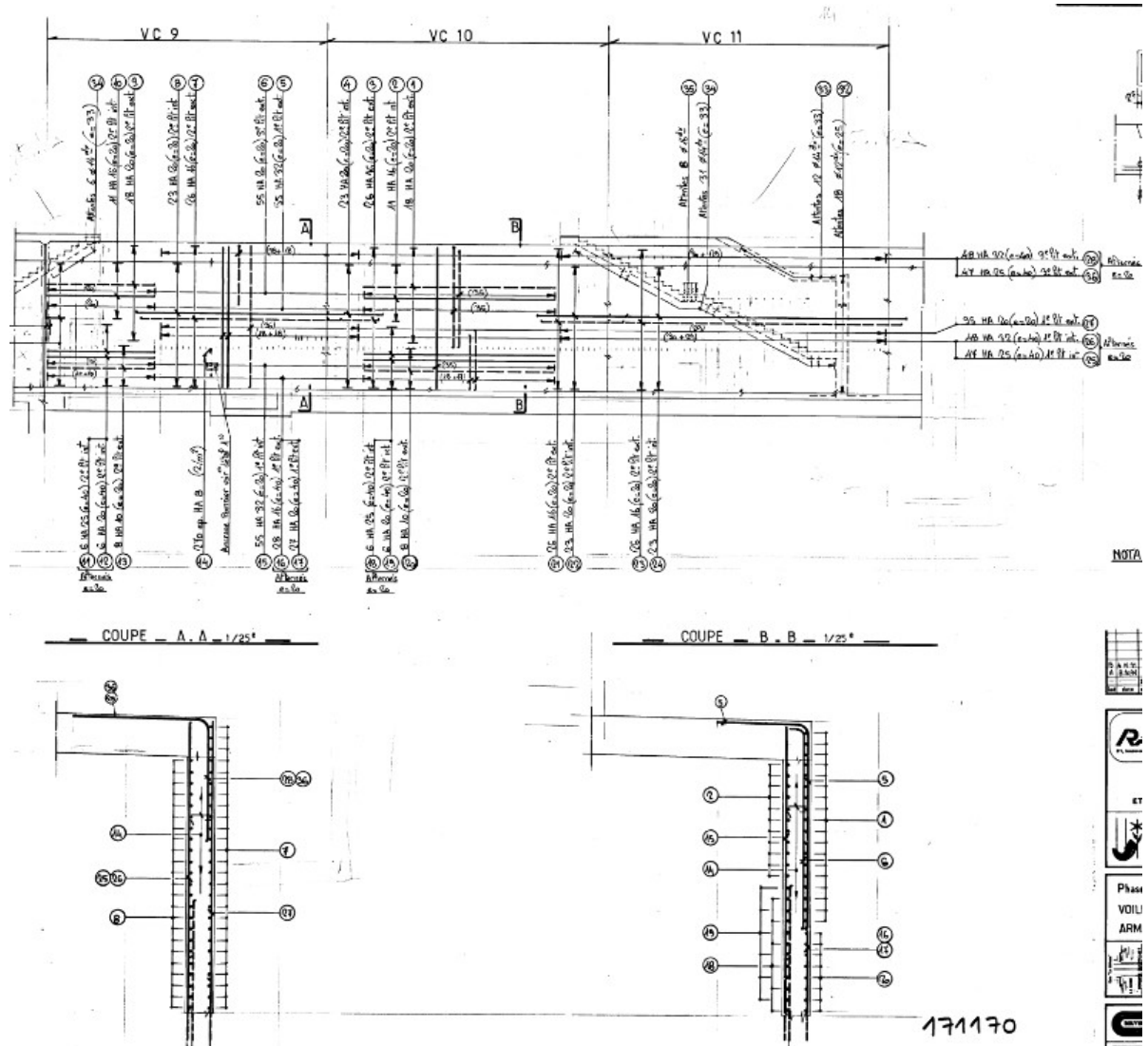


Figure 31: Voiles VC11, VC10 et VC9 élévation et coupes\_plan 171170

VC12D		HA	e en m	As cm <sup>2</sup>	As total	plan	aciers
Liaison dalle	Ext	25	0,2	24,54		171171	7
	Ext	25	0,2	24,54		171171	7
	Int	32	0,2	40,21		171171	6
Haut du voile	Ext trans	14	0,4	3,85	6,68	171171	13
	Ext trans	12	0,4	2,83		171171	12
	Int trans	16	0,2	10,05		171171	11
	Ext	20	0,4	7,85	12,88	171171	21
	Ext	16	0,4	5,03		171171	22
Pied de voile	Int	32	0,2	40,21	80,42	171171	6
	Int	32	0,2	40,21		171167	25
	Ext trans	10	0,2	3,93		171171	10
	Int trans	25	0,4	12,27	16,12	171171	9
	Int trans	14	0,4	3,85		171171	8

VC12G, VC11, VC10D, VC10G, VC9D		HA	e en m	As cm <sup>2</sup>	As total	plan	aciers VC12G	VC11, VC10D, VC10G, VC9D
Liaison dalle	Ext	32	0,4	20,11	32,38	171171	16	28
	Ext	25	0,4	12,27		171171	17	36
	Ext	32	0,4	20,11	48,09	171171	16	28
Haut du voile	Ext	25	0,4	12,27		171171	17	36
	Ext	20	0,2	15,71		171171	18	27
	Ext	20	0,2	15,71		171171	18	27
	Int	32	0,4	20,11	72,59	171171	19	26
	Int	25	0,4	12,27		171171	20	25
Milieu et bas du voile	Int	32	0,2	40,21		171167	6	40
	Ext trans	16	0,2	10,05	10,05	171171	14	23
	Int trans	20	0,2	15,71	15,71	171171	15	24

VC10C, VC9G		HA	e en m	As cm <sup>2</sup>	As total	plan	aciers
Liaison dalle	Ext		32	0,2	40,21	171170	5
	Ext		32	0,2	40,21	55,92	5
Milieu et haut voile	Ext		20	0,2	15,71	171170	6
	Int		32	0,2	40,21	40,21	15
	Ext trans		18	0,2	12,72	12,72	9
	Int trans		16	0,2	10,05	10,05	10
	Ext		20	0,4	7,85	12,88	17
Pied de voile	Ext		16	0,4	5,03		16
	Int		32	0,2	40,21	80,42	15
	Int		32	0,2	40,21		2
	Ext trans		10	0,2	3,93	3,93	13
	Int trans		25	0,4	12,27	20,13	11
	Int trans		20	0,4	7,85		12

### Sections des radiers :

L'ordre de numérotation des plots du radier est inversé par rapport à la numérotation des sections de voile et de traverse. En effet, le plot P9 est au niveau des VC12 et C12, le plot P10 est au niveau des VC11 et C11, le plot P11 est au niveau des VC10 et C10, et enfin le plot P12 est au niveau des VC9 et C9.

Le ferrailage des sections de voile P9, P11 et P12 n'est pas identique sur toute leur longueur.

Pour les sections P12 et P9, on peut distinguer une partie droite, et une partie gauche qui seront nommées respectivement P12D, P9D et P12G, P9G (il s'agit de la même subdivision que pour les sections de voile).

Les deux extrémités de la section P11 ne sont pas identiques au centre de la section qui seront nommés P11D et P11G. Le centre de la section sera nommé P11C.

Les voiles P9D, P9G font respectivement 6m et 4m de longueur.

Les voiles P12D, P12G font respectivement 5,8m et 4,2m de longueur.

Les voiles P11D, P11C et P11G font respectivement 2m, 7m et 1m de longueur.

Pour la travée Nord, les ferrailages des zones P10, P11D, P11G et P12D sont identiques, idem pour ceux des zones P12G et P11C.

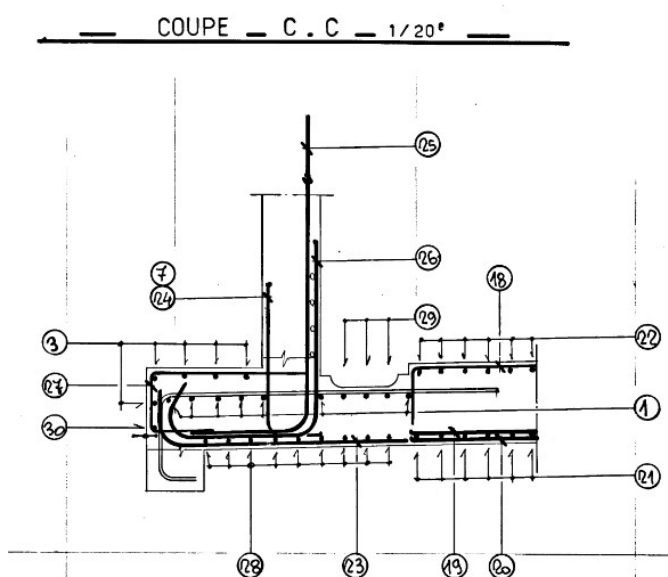


Figure 32: Liaison voile VC12D avec radier P9D\_plan 171167

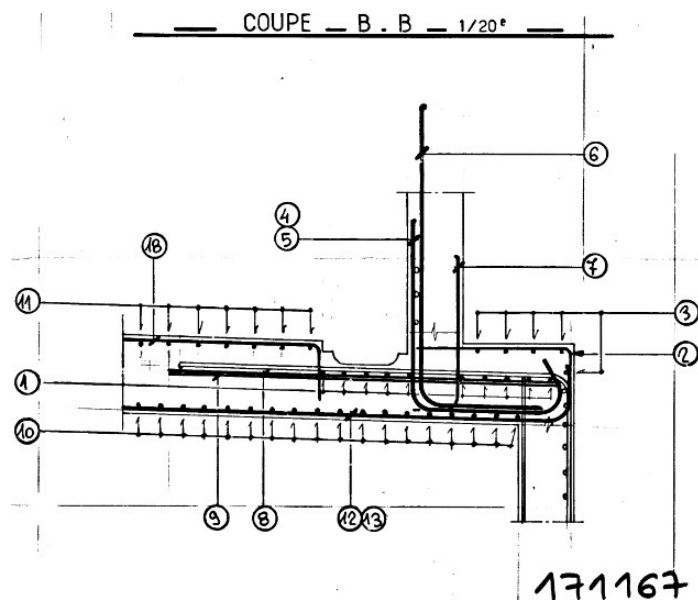


Figure 33: Liaison voiles VC12G, VC11, VC10D, VC10G, VC9D avec radiers P9G, P10, P11D, P11G, P12D\_plan 171167

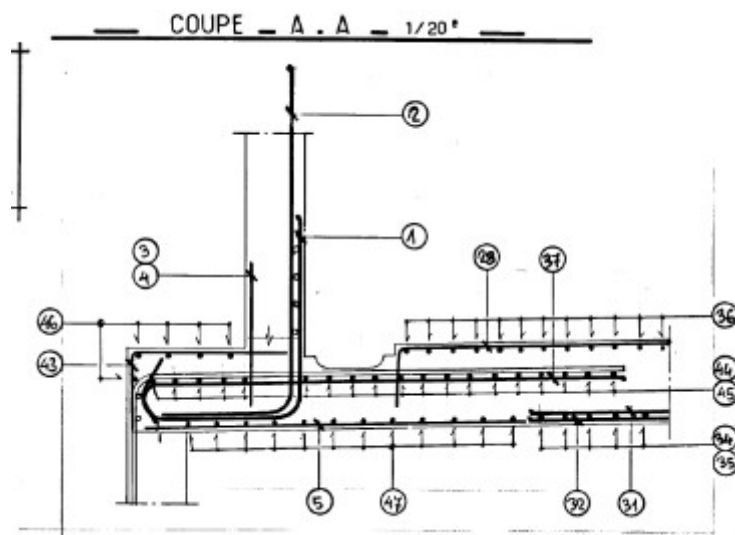


Figure 34: Liaison voile VC10C, VC9G avec radier P11C, P12G\_plan 171168

<u>P9D</u>		HA	e en m	As cm <sup>2</sup>	As total	plan	aciers
Liaison voile	Ext	20	0,4	7,85	12,88	171167	7
VC12D avec	Ext	16	0,4	5,03		171167	24
radier P9D	Int	32	0,1	80,42	80,42	171167	25 et 26
<u>P9G, P10, P11D, P11G, P12D</u>		HA	e en m	As cm <sup>2</sup>	As total	plan	aciers
Liaison voiles	Ext	20	0,2	15,71		171167	7
VC12G, VC11,	Int	32	0,2	40,21	72,59	171167	6
VC10D, VC10G,	Int	32	0,4	20,11		171167	4
VC9D avec	Int	25	0,4	12,27		171167	5
radier							
<u>P11C, P12G</u>		HA	e en m	As cm <sup>2</sup>	As total	plan	aciers
Liaison voile	Ext	16	0,4	5,03	12,88	171168	3
VC10C, VC9G	Ext	20	0,4	7,85		171168	4
avec radier	Int	32	0,2	40,21	80,42	171168	2
P11C, P12G	Int	32	0,2	40,21		171168	1

## **Surcharges admises à la construction (traverse)**

La note de calcul initial indique des charges permanentes de  $0,23 \text{ t/m}^2$  sur toute la surface de la dalle.

À cette charge vient s'ajouter une charge d'exploitation de  $1,14 \text{ t/m}^2$ . Soit un total de  $1,37 \text{ t/m}^2$ .



## MODÉLISATION

Le calcul de la flexion longitudinale a été réalisé avec le logiciel ST1. Un unique modèle a été utilisé pour les zones 1, 2 et 3 car la coupe principale du cadre de ces trois zones est très similaire.

Pour la zone 2 un modèle élément fini coques a aussi été réalisé avec le logiciel Effel pour étudier les efforts transversaux.

Il a été choisi de modéliser la zone 2 en priorité via un modèle plaque car il s'agit de la zone la plus fissurée des trois zones de travaux.

Vues du modèle EFFEL :

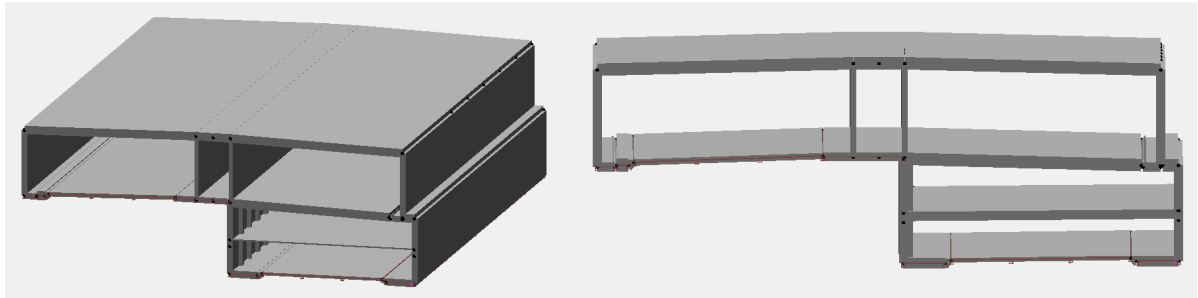


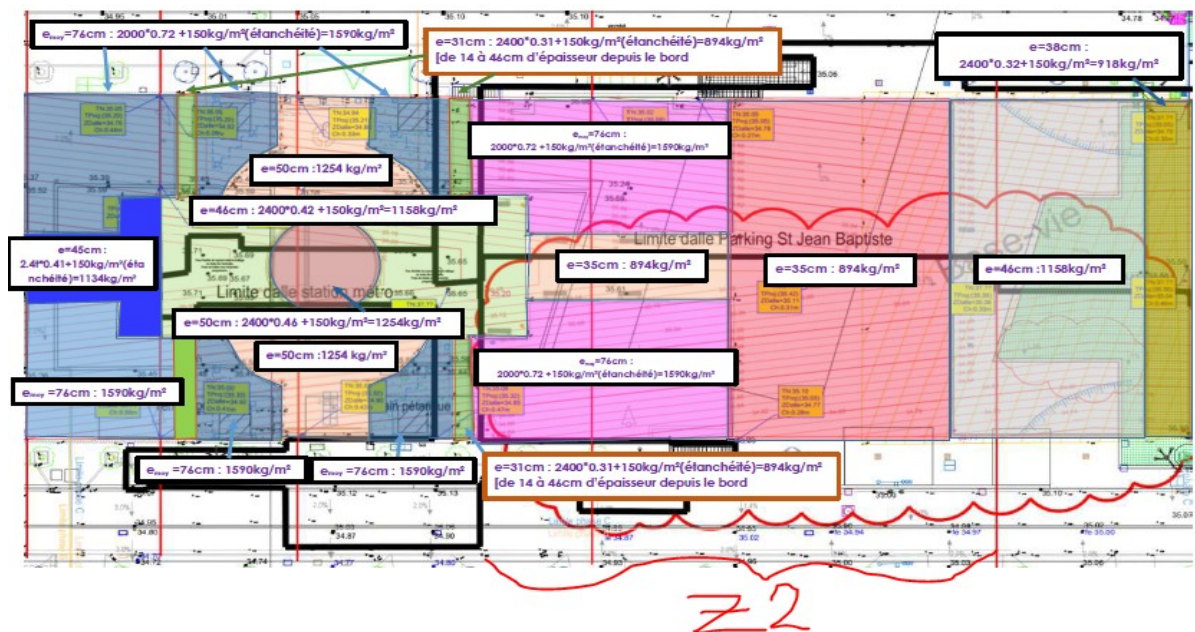
Figure 35: Représentation du cadre Zone 2 du modèle Effel

## Hypothèses

### Aménagement actuel

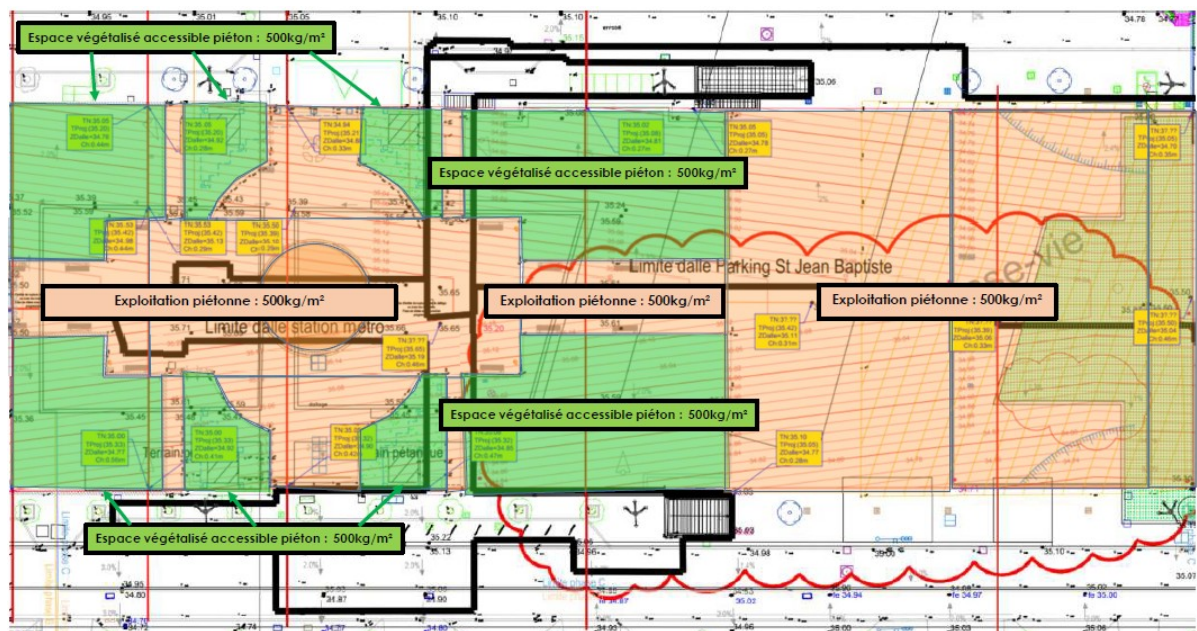
### Charges permanentes

La ville de Neuilly a fourni les charges permanentes des jardinières et des trottoirs :



## Charges d'exploitation

Charges sur l'existant  $Q = 500 \text{ kg/m}^2$  pour les piétons ;



## Actions climatiques

Les actions thermiques de l'EC1-5 donne le calcul du gradient thermique suivant (méthode 1) :

- zone de trottoir ou jardinières épaisseur de ballast de 350 mm (type 3 dalle en béton) :

- $ksur=0,6$  heat et  $ksur=1$  cool

- dalle en béton armé (type 3) :  $\Delta T_{M,heat}=12 \text{ °C}$  et  $\Delta T_{M,cool}=-6 \text{ °C}$

- gradient de calcul :

- Jardin et trottoirs + 7,2 °C -6°C

- la dilatation uniforme est prise en compte avec les valeurs suivantes : +32 °C et -22 °C (pour un écart de +42 °C et -12 °C)

## La poussée latérale du sol

La poussée latérale du sol est prise en compte d'après la note de calcul de 1989.

Soit 2,45 m de remblais et 5,50m d'alluvions anciennes. Avec comme caractéristiques :

	angle de frottement interne	module de réaction	masse volumique (t/m <sup>3</sup> )
<b>remblai</b>	25°	0,41	1,8
<b>alluvions anciennes</b>	35°	0,27	2

La poussée est considérée comme normale au parement.

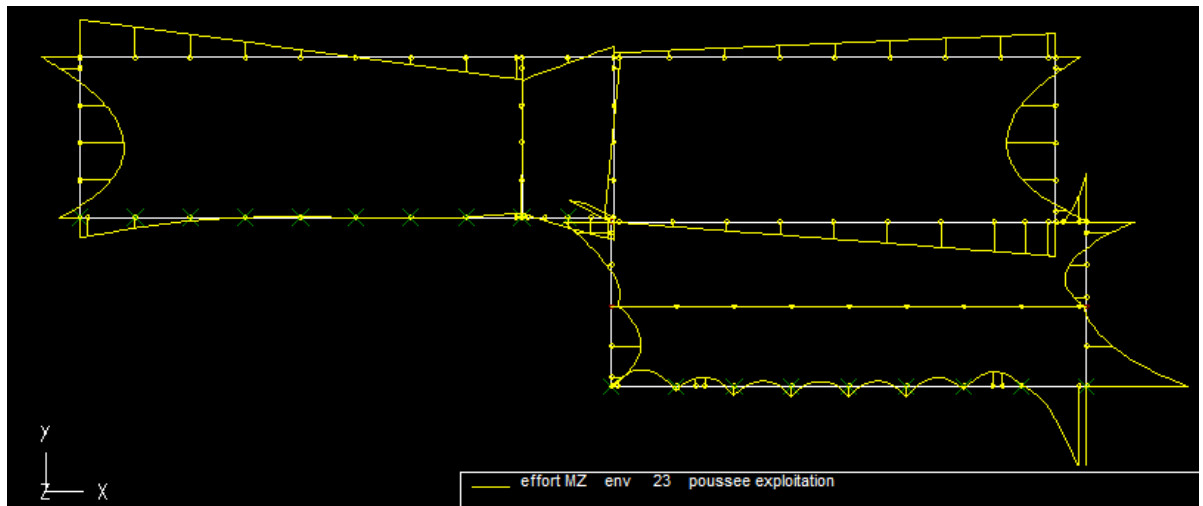


Figure 36: Moment poussées des terres

### Hypothèses d'appui

Les hypothèses des notes de calculs de 1989 sont :

- des appuis élastiques sous la RN 13 avec un module de réaction du sol égal à  $1300\text{t/m}^2$  ;
- Des appuis élastiques sous le radier du parking dans la partie Nord, avec un module de réaction de  $10000\text{t/m}^2$  ;

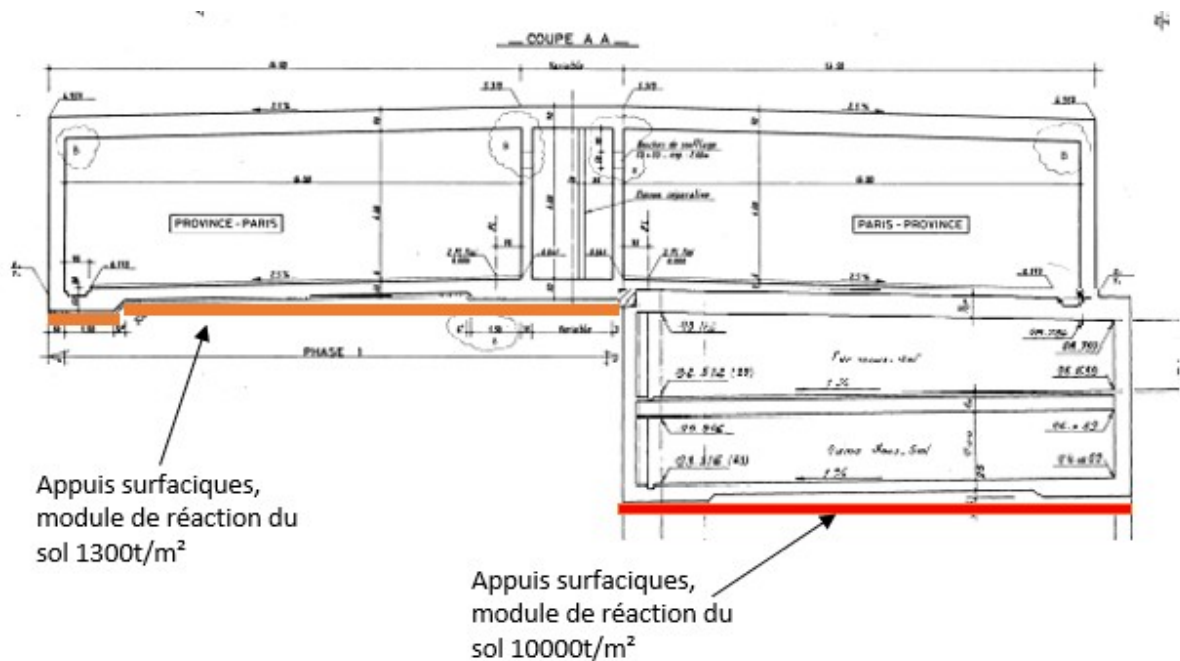
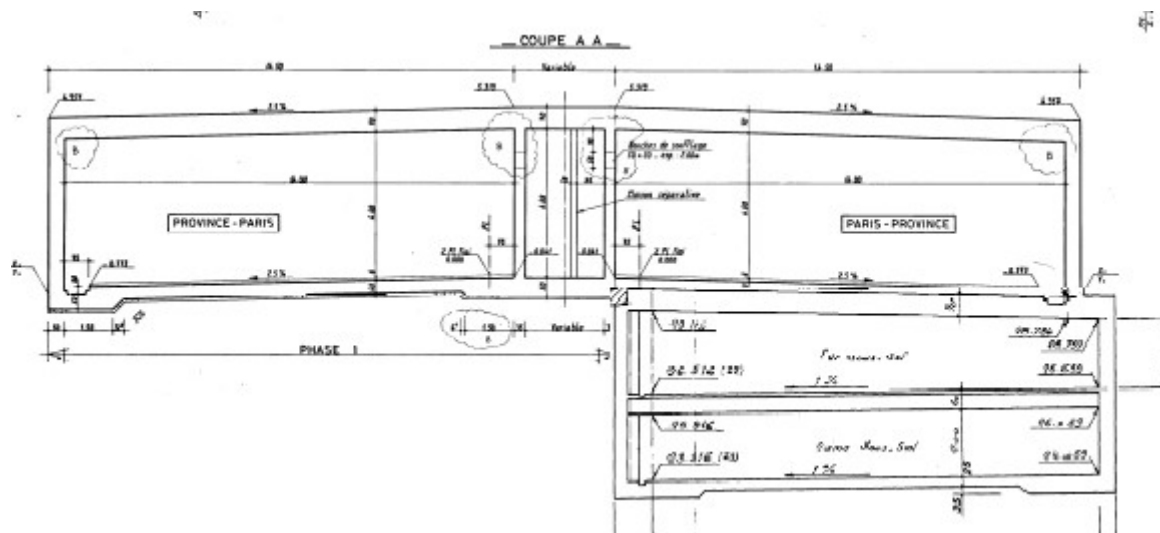


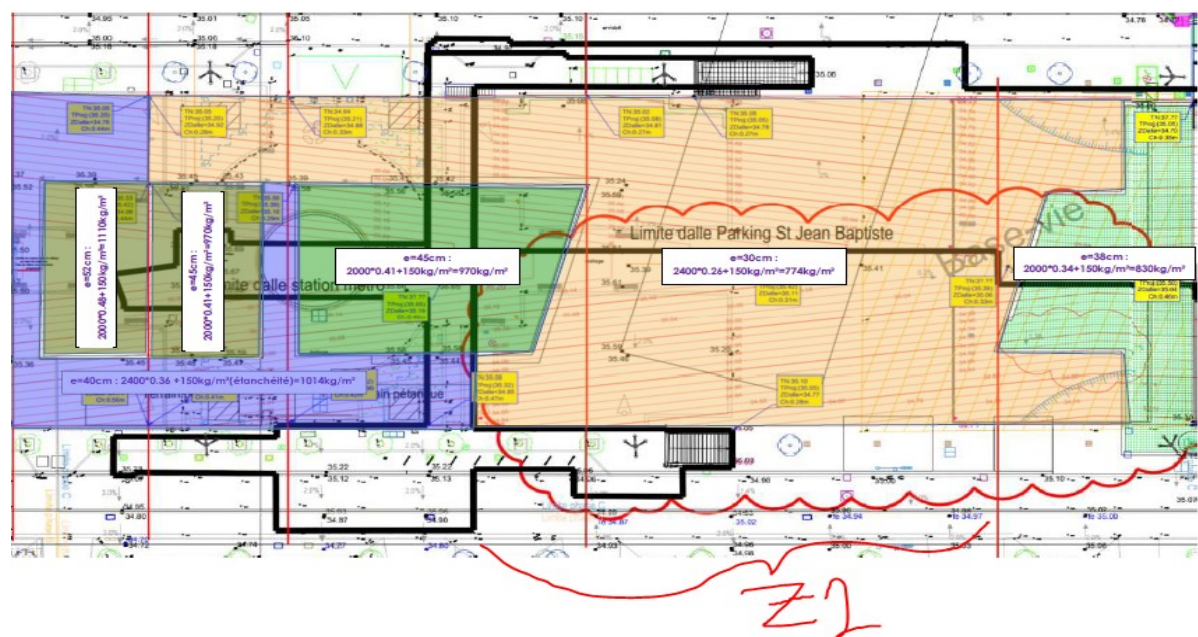
Figure 37: Modélisation appuis coupe





## Aménagement futur

Les plans suivants fournis par la ville de Neuilly montrent le futur aménagement de la zone 1.



### Charges permanentes

A l'avenir l'aménagement au-dessus de la dalle va évoluer, et sera partagé en une zone de pelouse (830kg/m<sup>2</sup>) et une zone piétonne (774kg/m<sup>2</sup>).

Dans notre modélisation sur ST1, nous avons pris le cas le plus défavorable, à savoir l'Ouest de la zone 2 où la totalité de la dalle est soumise à une charge de 830kg/m<sup>2</sup>.

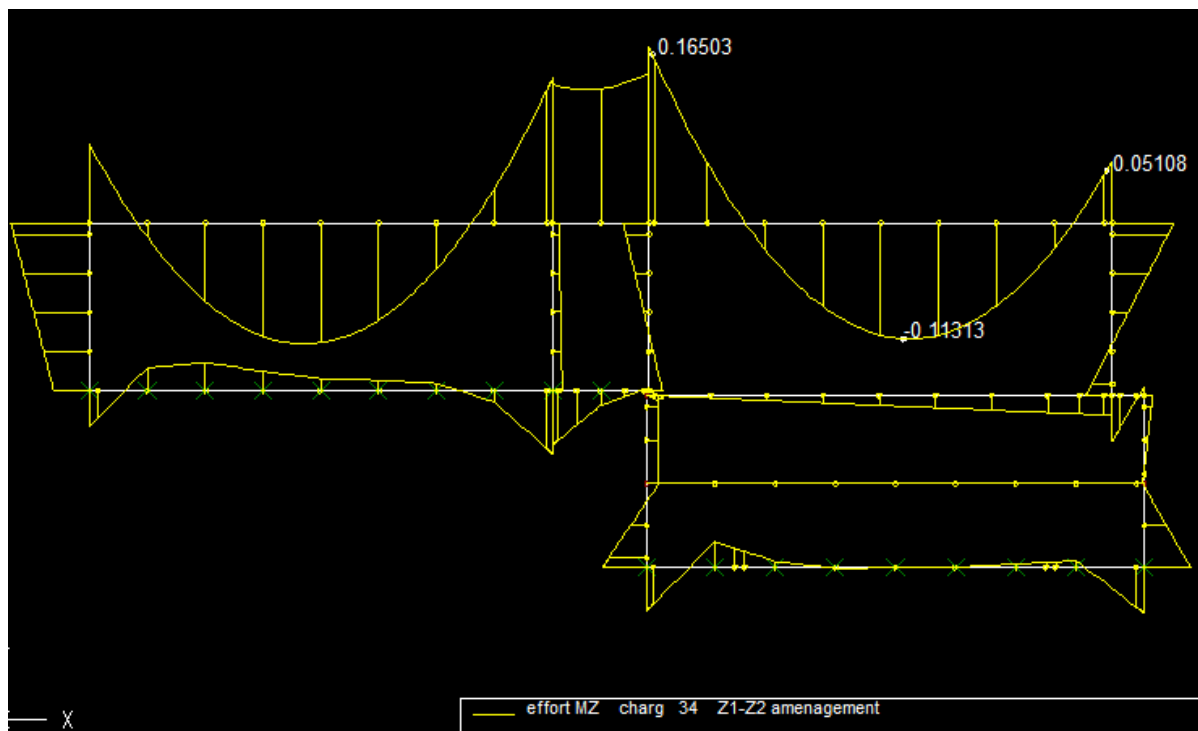


Figure 38: Effet de l'aménagement futur

### Charges d'exploitation

La Ville a indiqué vouloir organiser des événements sur la dalle comme par exemples des marchés, fêtes foraine ou concerts.

La Ville a transmis son étude des charges d'exploitation liées à la présence d'une scène musicale ainsi que son installation/désinstallation. Les effets induits sur la dalle par cette scène seraient de l'ordre de  $800\text{kg/m}^2$  en exploitation.

Afin de prendre en compte cette volonté de la Ville, les calculs ont été réalisés avec  $800\text{ kg/m}^2$  de charge d'exploitation.

Afin de s'assurer qu'une surcharge d'exploitation piétonne de  $800\text{kg/m}^2$  permettent également de bien prendre en compte l'effet d'une foule qui saute lors d'un concert, il a été réalisé une modélisation sur Effel pour comparer l'effet, sur une dalle de 14m de portée :

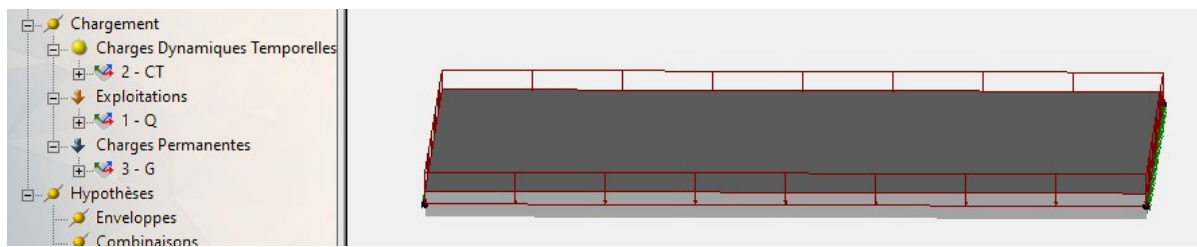
-d'une charge  $Q=500\text{kg/m}^2$

-d'une charge dynamique temporelle de  $500\text{kg/m}^2$  avec une période de retour de 0,5s

-d'une charge  $Q=800\text{kg/m}^2$

	Moment maximal à mi-travée
Charge $Q=500\text{kg/m}^2$	40,57 kN.m
Charge $Q=800\text{kg/m}^2$	64,92 kN.m
Charge Dynamique temporelle de $500\text{kg/m}^2$ , période 0,5s	44,09 kN.m





### Actions climatiques

Les gradients de température utilisés restent les mêmes.

L'effet de dilatation est pris en compte pour le dimensionnement des réparations :

Au vu des nouveaux aménagements, une partie de la dalle est couverte d'une zone enherbée soit environ 20 cm de terre pour au minimum 34cm d'aménagement total. Pour les zones piétonnes, avec un minimum de 34cm d'aménagement. Les efforts liés à la dilatation seront donc pris en compte.

La sous face de la dalle est recouverte de dalles anti-feu qui complètent l'isolation.

Les variations de températures prises en compte sont :  $-22^{\circ}\text{C}$  et  $+32^{\circ}\text{C}$ .

Gradient de calcul :

- Jardin et trottoirs  $+7,2^{\circ}\text{C}$   $-6^{\circ}\text{C}$

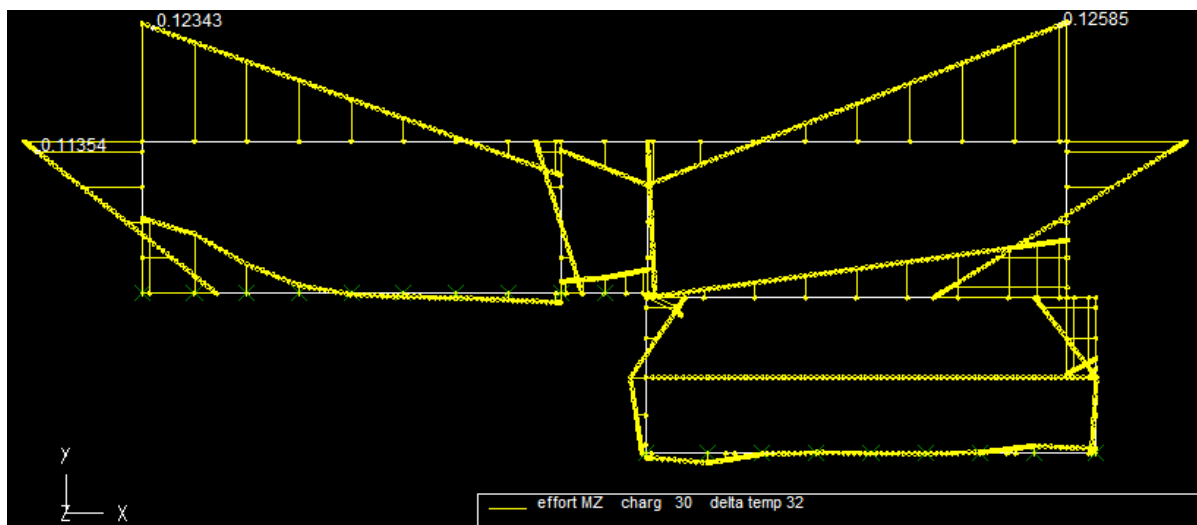


Figure 39: Effet d'une variation de température de  $+32^{\circ}$

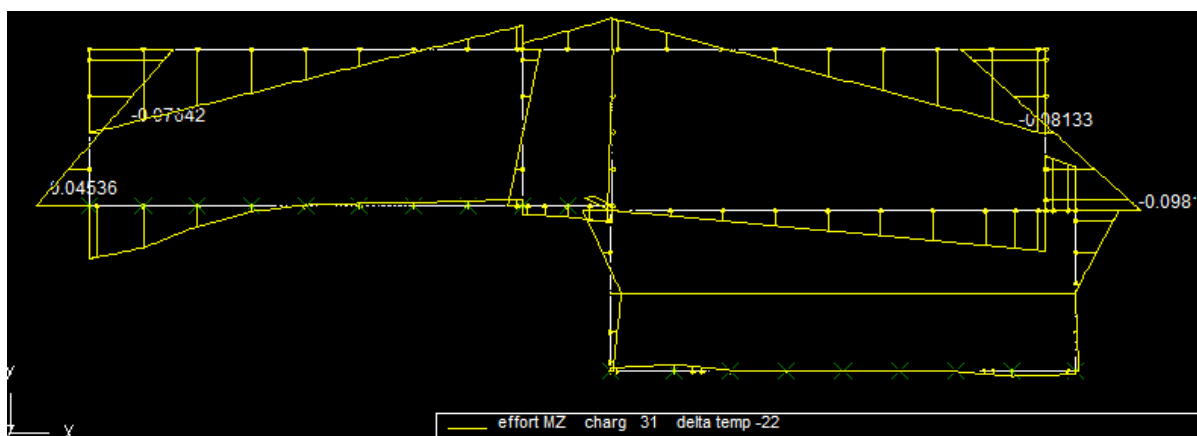


Figure 40: Effet d'une variation de température de  $-22^{\circ}$

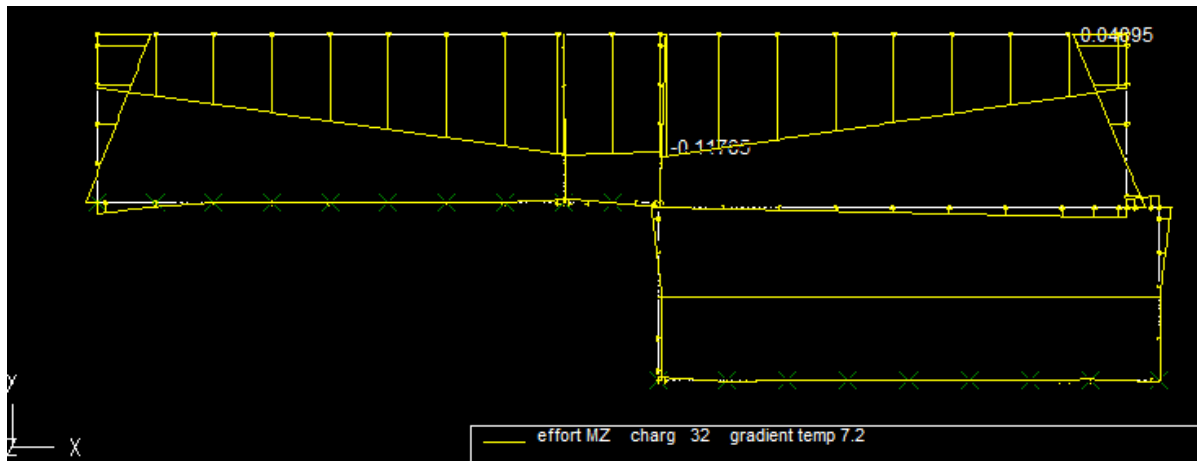


Figure 41: Effet d'un gradient de température de +7,2°

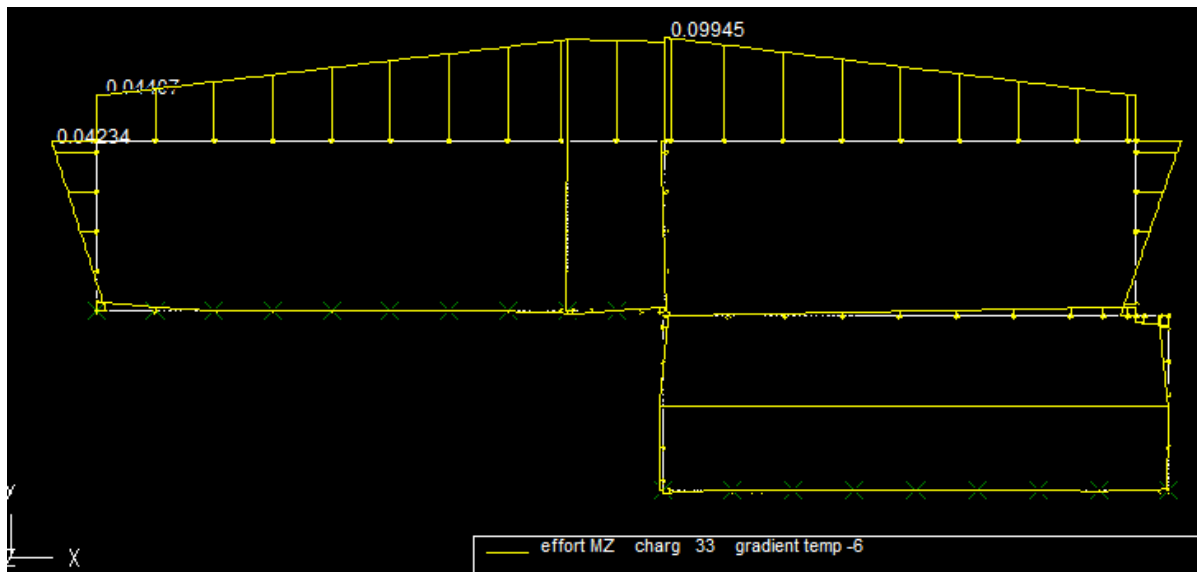


Figure 42: Effet d'un gradient de température de -6°

### Conditions d'appuis

Les conditions d'appuis sont inchangées

### Combinaisons

Les combinaisons suivantes avaient été prises en compte à la construction, conformément au BAEL 83

- ELS caractéristiques  $G + Q$  avec une limite de 240 MPa
- ELU  $1,35 G + 1,5 Q$ , avec une limite de  $400 / 1,15 = 348$  MPa

Les combinaisons utilisées sont pour le renfort sont :

- ELU combinaison fondamentale
  - $1.35 G_{k,sup} + 1.35 G_{k,inf} + 1.35(0,75 TS + 0,4 UDL + 0,4 qfk) + 1.5 Tk$
  - $1.35 G_{k,sup} + 1.35 G_{k,inf} + 1.35(TS + UDL + qfk)$
  - $1.35 G_{k,sup} + 1.35 G_{k,inf} + 1.5 Tk$
- ELS combinaison caractéristique
  - $G_k + TS + UDL + qfk + 0,6 Tk$

- $G_k + 0,75 TS + 0,4 UDL + 0,4 q_{fk} + T_k$
- $G_k + T_k$
- ELS combinaison fréquente
  - $G_k + 0,75 TS + 0,4 UDL + 0,4 q_{fk} + 0,5 T_k$
  - $G_k + 0,6 T_k$

## Justifications

### Justification aux ELU

Dans cette configuration, on vérifie que la capacité résistante est supérieure aux sollicitations.

Les moments et efforts tranchants résistants sont calculés à partir des données suivantes :

- Limite en compression du béton : loi parabole rectangle :  $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$

$$f_{cd} = 1 \cdot 30 / 1,5 = 20 \text{ MPa}$$

- Aciers de renfort :  $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$

$$f_{yd} = 500 / 1,15 = 435 \text{ MPa}$$

### Justification aux ELS

Le coefficient d'équivalence acier/béton pour le calcul des contraintes dans les sections est égal à 15.

- Combinaison caractéristique :
  - Limitation de la compression du béton à  $0,6 \cdot f_{ck} = 0,6 \cdot 30 = 18 \text{ MPa}$
  - Limitation de la traction des aciers à 300 MPa pour la prise en compte de la fatigue
- Combinaison fréquente :

Selon la norme NF EN 1992-2, Les classes de béton pour la tranchée couverte étudiée, en zone de salage fréquent, sont :

- XC2 pour les parties enterrées des piliers ;
- XD3 pour l'intrados de la dalle,
- XC2 pour l'extrados de la dalle.

D'après la norme, l'ouverture de fissure acceptable en fonction de la classe est :

- XC2 : 0,30 mm,
- XD3 : 0,20 mm.

L'intrados étant protégé par des plaques, nous considérerons qu'il n'est pas en contact direct avec l'air, et prenons une limite de 0,30 mm pour l'ensemble de notre ouvrage.

Une ouverture de fissure de  $w_{max} = 0,3 \text{ mm}$  est visée

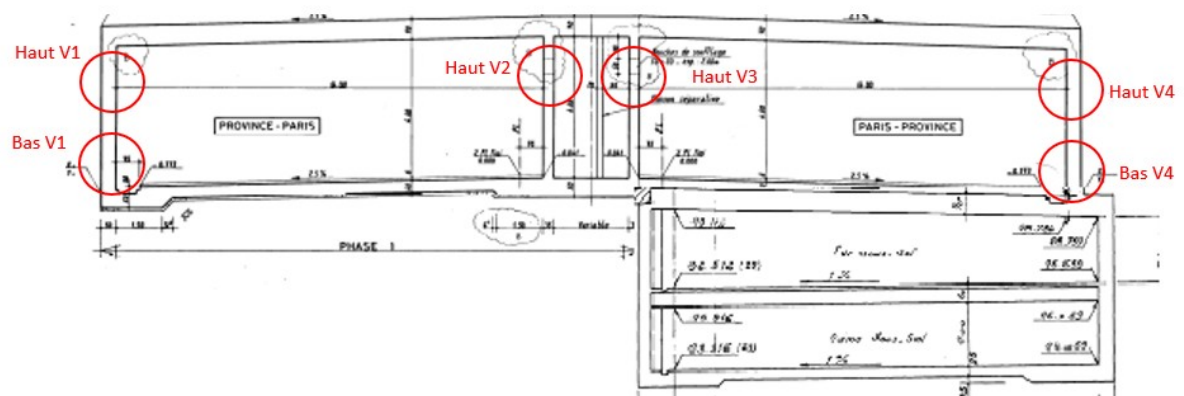
Contrainte maximale dans les aciers : éléments fléchis :  $\sigma < 1000$  wmax soit  $\sigma < 300\text{MPa}$

## Résultats

### Voiles

Le ferrailage n'est pas homogène le long du voile V5, une vérification est faite pour chaque portion : VC12, VC11, VC10, et VC9.

Le tableau ci-dessous donne le Moment en kN.m et l'effort Normal en kN pour le point avec les sollicitations les plus importantes pour chacune des zones entourée en rouge ci-dessous. La hauteur du point en question sur le voile est donné dans le tableau.



En kN et kN.m

Zone →			Voile V1 bas	Voile V4 bas	Voile V1 haut	Voile V4 haut	Voile V2 haut	Voile V3 haut
N° barre sur ST1 →			30	115	46	70	47	48
Cas de charge		Hauteur par rapport au radier RN13 →	0	0	5,21	5,21	5,21	5,21
Poids propre	1 – G	N	68,4	62,0	3,2	-5,0	-2,2	4,0
		M	38,7	155,3	25,4	22,8	44,1	29,5
Chargement RN13 W	6 – Q	N	1,0	-2,9	1,0	-2,9	-19,4	21,3
		M	-7,6	-9,1	3,7	14,5	-11,7	-4,5
Chargement RN13 Y	7 – Q	N	4,9	-1,7	4,9	-1,7	-3,4	0,3
		M	-18,7	175,6	40,4	-0,3	37,4	22,4
Chargement parking haut	9 – Q	N	-0,2	0,2	-0,2	0,2	1,9	-2,0
		M	0,4	0,8	-0,6	-1,2	0,8	0,6
Chargement parking bas	10 – Q	N	-0,0	0,1	-0,0	0,1	0,4	-0,4
		M	0,1	0,1	-0,1	-0,2	0,2	0,1
Poussée voile V1	20 – G	N	-2,2	5,5	-2,2	5,5	4,9	-8,2
		M	38,5	22,9	-10,5	-43,2	-29,1	-20,6
Poussée voile V4	21 – G	N	5,1	-2,7	5,1	-2,7	-8,7	6,3
		M	-19,0	-55,1	39,7	14,4	29,8	18,0
Poussée parking Nord	22 – G	N	0,1	0,6	0,1	0,6	1,7	-2,4
		M	-0,3	-2,5	0,9	-3,5	0,9	-1,0
Poussée parking Sud	23 – G	N	0,1	-0,2	0,1	-0,2	-1,5	1,7
		M	-0,0	-0,6	0,4	1,3	-0,2	-0,7
Poids sol sur parking	24 – G	N	0,0	-1,2	0,0	-1,2	-3,2	4,4
		M	0,0	9,3	0,1	6,1	0,2	1,5
Surcharge sol Sud	25 – G	N	-0,6	1,2	-0,6	1,2	1,0	-1,6
		M	-0,6	6,3	-3,4	-9,8	-6,5	-5,1
Surcharge sol Nord et parking Nord	26 – G	N	1,0	-0,6	1,0	-0,6	-0,9	0,6
		M	-4,1	-12,2	8,1	4,1	6,5	4,8
Surcharge sol piédroit	27 – G	N	0,2	-0,2	0,2	-0,2	-1,7	1,7
		M	-0,2	0,4	0,9	1,3	0,1	-0,8
Sous pression eau	28 – G	N	0,5	-0,7	0,5	-0,7	-5,9	6,2
		M	-1,0	-2,8	1,7	3,7	-2,5	-1,9
Voûte du métro	29 – G	N	0,2	-0,2	0,2	-0,2	-1,4	1,4
		M	-0,2	0,7	0,8	1,0	0,2	-0,7
Delta température 32°	30 – T	N	11,4	12,2	11,4	12,2	1,3	-24,8
		M	-80,5	144,6	127,5	-128,9	27,2	0,6
Delta température -22°	31 – T	N	-7,8	-8,4	-7,8	-8,4	-0,9	17,1
		M	55,4	-99,4	-87,7	88,6	-18,7	-0,4
Gradient température 7,2°	32 – T	N	4,5	4,7	4,5	4,7	-5,6	-3,6
		M	10,9	-17,8	-52,1	52,2	-0,5	-5,1
Gradient température -6°	33 – T	N	-3,8	-3,9	-3,8	-3,9	4,7	3,0
		M	-9,1	14,9	43,4	-43,5	0,4	4,2
Z2 aménagement futur	34 – G	N	58,2	55,0	58,2	55,0	76,6	87,3
		M	35,0	25,7	76,8	-60,6	-5,9	25,2
Z2 exploitation futur	37 – Q	N	53,6	50,6	53,6	50,6	70,4	80,2
		M	32,2	23,6	70,7	-55,7	-5,4	23,2



Combinaisons avec aménagement futur	En KN et kN.m	Voile V1 bas	Voile V4 bas	Voile V1 haut	Voile V4 haut	Voile V2 haut	Voile V3 haut
Z2 – ELU 1,35G <sub>max</sub> +G <sub>min</sub> +1,35Q+0,9T	N min	206,81	186,38	151,50	117,63	124,30	210,17
	M max	204,72	624,88	502,03	-317,28	119,67	137,37
Z2 – ELS freq G+0,4Q+0,5T	N	152,78	141,18	93,10	74,18	82,95	128,76
	M	130,36	302,72	271,35	-166,61	59,84	68,02
Z2 – ELS cara G+Q+0,6T	N	188,03	169,74	129,45	102,74	113,49	186,20
	M	140,79	433,24	356,88	-209,59	75,36	93,61

Combinaisons avec aménagement actuel	En KN et kN.m	Voile V1 bas	Voile V4 bas	Voile V1 haut	Voile V4 haut	Voile V2 haut	Voile V3 haut
Z2 – ELU 1,35G <sub>max</sub> +G <sub>min</sub> +1,35Q+0,9T	N min	226,90	206,00	171,59	137,25	132,53	216,43
	M max	227,67	638,92	545,84	-354,47	117,49	155,22
Z2 – ELS freq G+0,4Q+0,5T	N	191,95	178,82	132,27	111,82	116,27	163,60
	M	154,60	318,43	319,70	-206,70	55,73	86,46
Z2 – ELS cara G+Q+0,6T	N	215,15	196,00	156,57	129,00	130,96	202,99
	M	157,78	443,64	389,33	-237,14	72,46	106,83

On peut comparer les valeurs des efforts à différents endroits des voiles entre l'aménagement actuel et l'aménagement futur.

En zone 2, on remarque que le passage de l'aménagement actuel à l'aménagement futur entraîne une diminution des efforts sur les voiles de la structure.

Le nouvel aménagement choisi par la ville est donc globalement plus favorable pour la stabilité de la structure.

### Vérifications ELS/ELU

Le calcul de la contrainte max aux ELS et à l'ELU est réalisée en flexion composée.

Le bras de levier d est de 0,46 m sur toutes les voiles V1 et V4, il est de 0,31m pour les voiles V2 et V3.

Combinaisons avec aménagement futur	En KN et kN.m	Voile V1 bas	Voile V4 bas VC12G, VC11, VC10D, VC9	Voile V4 bas VC12D, VC10G, VC9G	Voile V1 haut	Voile V4 haut VC12G	Voile V4 haut VC12D	Voile V4 haut VC10G, VC9G	Voile V4 haut VC11, VC10D, VC9D	Voile V2 haut	Voile V3 haut
Z2 – ELU 1,35G <sub>max</sub> +G <sub>min</sub> +1,35Q+0,9T	N min	206,81	186,38	186,38	151,50	117,63	117,63	117,63	117,63	124,30	210,17
	M max	204,72	624,88	624,88	502,03	-317,28	-317,28	-317,28	-317,28	119,67	137,37
ELU Vérification	Section Astendue cm <sup>2</sup>	32,17	72,59	80,42	32,17	72,59	24,54	55,92	48,09	4,52	4,52
	Section As,min	9,2	32,26	36,26	28,57	17,3	17,3	17,3	17,3	8,4	8,81
	Déficit	-22,97	-40,33	-44,16	-9,6	-55,29	-7,24	-38,62	-30,75	-3,88	-4,25
		152,78	141,18	141,18	93,10	74,18	74,18	74,18	74,18	82,95	128,76
Z2 – ELS freq G+0,4Q+0,5T	M	130,36	302,72	302,72	271,35	-166,61	-166,61	-166,61	-166,61	59,84	68,02
		72,74	95,24	89,67	194,86	53,05	147,68	67,29	78,12	398,57	379,88
	Sigmas MPa	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
	Limite ELS MPa (w <sub>max</sub> )	227,26	204,76	210,33	105,14	246,95	152,32	232,71	221,88	-98,57	-79,88
Z2 – ELS cara G+Q+0,6T	N	188,03	169,74	169,74	129,45	102,74	102,74	102,74	102,74	113,49	186,20
	M	140,79	433,24	433,24	356,88	-209,59	-209,59	-209,59	-209,59	75,36	93,61
		83,31	138,17	129,89	255,35	66,2	184	83,92	97,44	450,82	513,18
	Sigmas MPa	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320
ELU Cara Vérification	Limite ELS MPa	236,69	181,83	190,11	64,65	253,8	136	236,08	222,56	-130,82	-193,18
	Limite ELS – Sigmas										

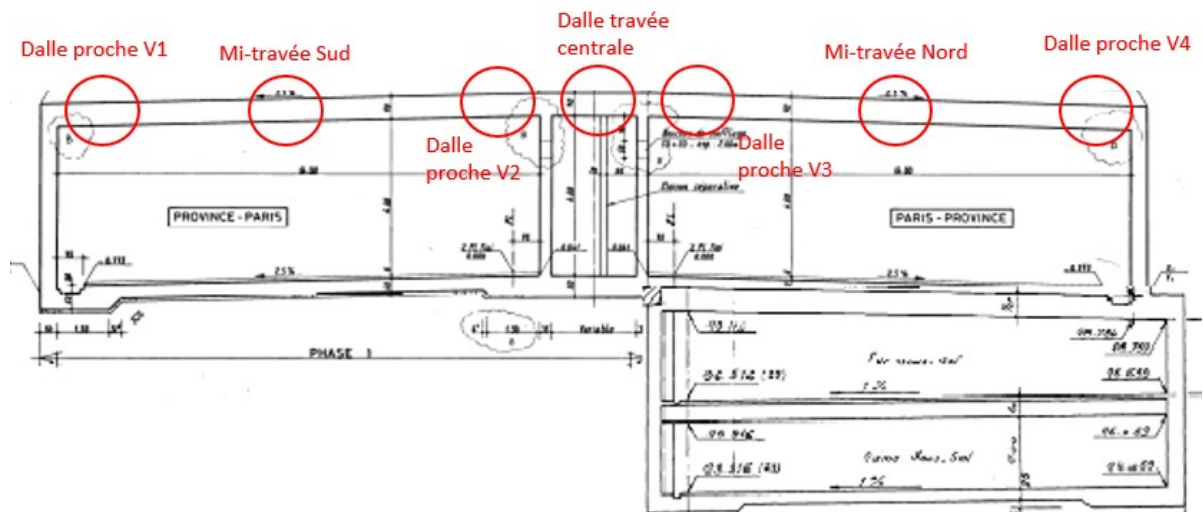
Combinaisons avec aménagement actuel	En KN et kN.m	Voile V1 bas VC12G, VC11, VC100, VC9	Voile V4 bas VC12G, VC11, VC12D, VC10G, VC9G	Voile V1 haut VC12G	Voile V4 haut VC12D	Voile V4 haut VC10G, VC9G	Voile V4 haut VC11, VC100, VC9D	Voile V2 haut	Voile V3 haut
Z2 – ELU 1,35Gmax+Gmin+1,35Q+0,9T	N min	226,90	206,00	206,00	171,59	137,25	137,25	137,25	216,43
	M max	227,67	638,92	638,92	545,84	-354,47	-354,47	-354,47	155,22
	Section Astendue cm²	32,17	72,59	80,42	32,17	72,59	24,54	55,92	4,52
	Section As,min	10,32	36,98	36,98	31,19	19,35	19,35	19,35	8,1
	Déficit	-21,85	-85,61	-43,44	-40,96	-53,24	-5,15	-28,74	3,58
Z2 – ELS freq G+0,4Q+0,5T	N	191,95	178,82	178,82	132,27	111,82	111,82	111,82	163,60
	M	154,60	318,43	318,43	319,70	-206,70	-206,70	-206,70	86,46
	Sigma s MPa	93,27	98,44	92,87	226,6	60,1	177,76	81,96	482,93
	Limite ELS MPa (vmax)	300	300	300	300	300	300	300	300
	Limite ELS - Sigmas	206,73	201,56	207,13	73,4	239,9	122,24	218,04	-182,93
Z2 – ELS cara G+0,4Q+0,6T	N	215,15	196,00	196,00	156,57	129,00	129,00	129,00	202,99
	M	157,78	443,64	443,64	389,33	-237,14	-237,14	-237,14	106,83
	Sigma s MPa	92,82	132,01	131,94	276,55	74,18	205,78	93,98	595,81
	Limite ELS MPa	320	320	320	320	320	320	320	320
	Limite ELS - Sigmas	227,18	187,99	188,06	43,45	245,82	114,22	226,02	-275,81

Le haut des voiles centraux V2 et V3 présentent un déficit à l'ELU comme à l'ELS.

On constate également que le nouvel aménagement fait apparaître un déficit à l'ELS freq qui n'existait pas avec l'aménagement actuel malgré les efforts inférieurs.

Cela vient de la diminution de l'effort normal dans le voile avec le nouvel aménagement, ce qui est défavorable pour la stabilité de la structure.

## Traverses



Zone →			Dalle proche V1	Mi-travée Sud	Dalle proche V3	Dalle centrale	Dalle proche V4	Mi-travée Nord	Dalle proche V5
N° barre sur ST1 →			49	52	57	59	60	64	69
Cas de charge			0	7,2	14,425	17,425	17,425	22,834	31,85
Poids propre	1 – G	M	25,4	2,1	-21,3	19,7	49,2	13,2	-22,8
Chargement RN13 W	6 – Q	M	3,7	-3,9	-11,5	31,9	27,4	6,4	-14,5
Chargement RN13 Y	7 – Q	M	40,4	5,3	-30,0	3,0	25,5	12,9	0,3
Chargement parking haut	9 – Q	M	-0,6	0,5	1,6	-2,9	-2,3	-0,6	1,2
Chargement parking bas	10 – Q	M	-0,1	0,1	0,3	-0,6	-0,5	-0,1	0,2
Poids propre sans aménagement	12	M	38,7	-18,1	3,1	45,1	78,9	-5,7	-12,4
Poussée voile V1	20 – G	M	-10,5	5,6	21,7	-15,4	-36,0	3,6	43,2
Poussée voile V4	21 – G	M	39,7	3,1	-33,7	6,8	24,8	5,2	-14,4
Poussée parking Nord	22 – G	M	0,9	0,4	-0,1	-4,4	-5,4	-0,9	3,5
Poussée parking Sud	23 – G	M	0,4	-0,4	-1,3	2,8	2,1	0,4	-1,3
Poids sol sur parking	24 – G	M	0,1	0,0	-0,0	9,9	11,3	2,6	-6,1
Surcharge sol Sud	25 – G	M	-3,4	0,7	4,9	-2,8	-7,8	1,0	9,8
Surcharge sol Nord et parking Nord	26 – G	M	8,1	1,0	-6,2	0,1	4,9	0,4	-4,1
Surcharge sol piédroit	27 – G	M	0,9	-0,4	-1,8	2,9	2,1	0,4	-1,3
Sous pression eau	28 – G	M	1,7	-1,5	-4,8	9,0	7,1	1,7	-3,7
Voûte du métro	29 – G	M	0,8	-0,4	-1,6	2,4	1,7	0,3	-1,0
Delta température 32°	30 – T	M	127,5	45,7	-36,3	-47,2	-46,5	41,2	128,9
Delta température -22°	31 – T	M	-87,7	-31,4	25,0	32,4	32,0	-28,3	-88,6
Gradient température 7,2°	32 – T	M	-52,1	-84,5	-117,1	-114,3	-119,4	-85,8	-52,2
Gradient température -6°	33 – T	M	43,4	70,4	97,6	95,3	99,5	71,5	43,5
Z1-Z2 aménagement	34 – G	M	76,8	-117,0	141,9	147,2	172,4	-109,8	60,6
Z1-Z2 exploitation	37 – Q	M	70,7	-107,6	130,5	135,3	158,5	-101,0	55,7

Combinaisons avec aménagement futur	En kN.m	Dalle proche V1	Mi-travée Sud	Dalle proche V2	Dalle centrale	Dalle proche V3	Mi-travée Nord	Dalle proche V4
Z2 – ELU 1,35Gmax+Gmin+1,35Q+0,9T	M	502,03	-395,11	388,40	585,25	720,42	-358,56	317,28
Z2 – ELS freq G+0,4Q+0,5T	M	271,35	-206,81	197,01	306,34	373,81	-185,37	166,61
Z2 – ELS cara G+Q+0,6T	M	356,88	-281,80	263,81	419,16	512,12	-251,66	209,59

Combinaisons avec aménagement actuel	En kN.m	Dalle proche V1	Mi-travée Sud	Dalle proche V2	Dalle centrale	Dalle proche V3	Mi-travée Nord	Dalle proche V4
Z2 – ELU 1,35Gmax+Gmin+1,35Q+0,9T	M	545,84	-468,07	481,30	667,82	820,85	-431,55	354,47
Z2 – ELS freq G+0,4Q+0,5T	M	319,70	-284,89	292,97	397,95	483,87	-262,76	206,70
Z2 – ELS cara G+Q+0,6T	M	389,33	-335,55	330,42	480,32	586,50	-305,72	237,14

On peut comparer les valeurs des efforts à différents endroits de la dalle entre l'aménagement actuel et l'aménagement futur.

En zone 2, on remarque que le passage de l'aménagement actuel à l'aménagement futur entraîne une diminution des efforts sur la dalle de la structure.

Le nouvel aménagement choisi par la ville est donc plus favorable pour la stabilité de la structure.

Vérification ELU et ELS :

Le calcul de la contrainte max aux ELS et à l'ELU est réalisée en flexion simple.

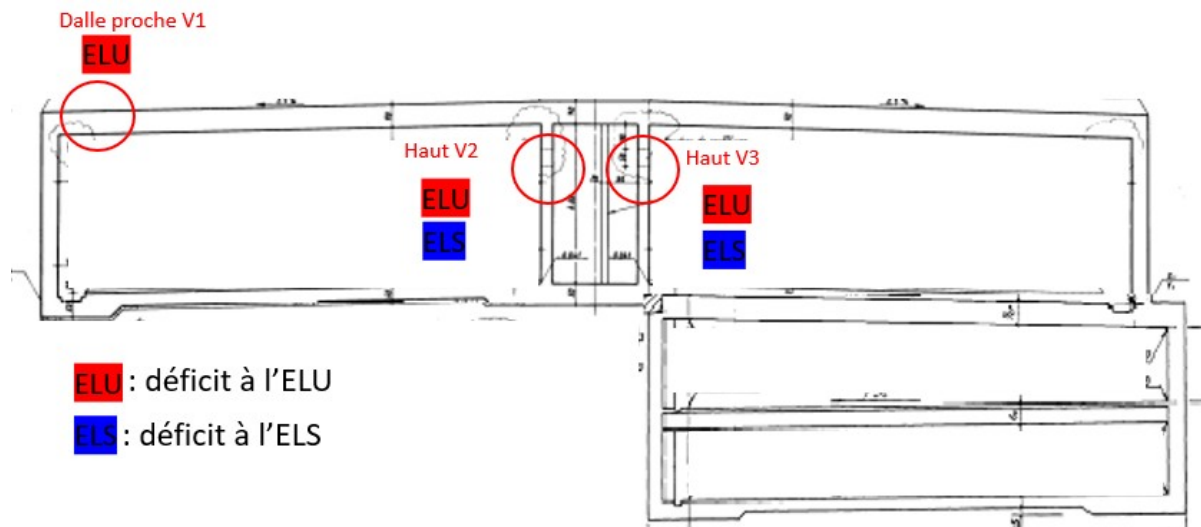
Combinaisons avec aménagement futur	En kN.m	Dalle proche V1	Mi-travée Sud	Dalle proche V2	Dalle centrale	Dalle proche V3	Mi-travée Nord C10 et C9G	Mi-travée Nord C12G, C11 et C9D	Mi-travée Nord C12D
Z2 – ELU 1,35G <sub>max</sub> +G <sub>min</sub> +1,35Q+0,9T	M	502,03	-395,11	388,40	585,25	720,42	-358,56	-358,56	-358,56
ELU Vérification	Section Astendue cm <sup>2</sup>	19,63	39,27	44,68	44,68	44,68	24,54	27,96	32,24
	Section As,min	21,18	16,57	16,28	24,8	30,76	15,01	15,01	15,01
	Déficit	1,55	-22,7	-28,4	-19,88	-13,92	-9,53	-11,95	-17,23
Z2 – ELS freq G+0,4Q+0,5T	M	271,35	-206,81	197,01	306,34	373,81	-185,37	-185,37	-185,37
ELS Freq Vérification	Sigma s MPa	226,03	89,28	74,4	116,97	171,17	125,89	111,11	96,98
	Limite ELS MPa (w <sub>max</sub> )	300	300	300	300	300	300	300	300
	Limite ELS – Sigma s	73,97	210,72	225,6	183,03	128,83	174,11	188,89	203,02
Z2 – ELS cara G+0,4Q+0,6T	M	356,88	-281,80	263,81	419,16	512,12	-251,66	-251,66	-251,66
ELS Cara Vérification	Sigma s MPa	297,28	121,65	99,62	160,04	193,4	170,9	150,84	131,66
	Limite ELS MPa (w <sub>max</sub> )	320	320	320	320	320	320	320	320
	Limite ELS – Sigma s	22,72	198,35	220,38	159,96	126,6	149,1	169,16	188,34
Combinaisons avec aménagement futur	En kN.m	Dalle proche V4 C12G, C11 et C9D	Dalle proche V4 C10 et C9G	Dalle proche V4 C12D					
Z2 – ELU 1,35G <sub>max</sub> +G <sub>min</sub> +1,35Q+0,9T	M	317,28	317,28	317,28					
ELU Vérification	Section Astendue cm <sup>2</sup>	32,38	40,21	15,71					
	Section As,min	13,25	13,25	13,25					
	Déficit	-19,13	-26,96	-2,46					
Z2 – ELS freq G+0,4Q+0,5T	M	166,61	166,61	166,61					
ELS Freq Vérification	Sigma s MPa	86,31	69,9	173,33					
	Limite ELS MPa (w <sub>max</sub> )	300	300	300					
	Limite ELS – Sigma s	213,69	230,1	126,67					
Z2 – ELS cara G+0,4Q+0,6T	M	209,59	209,59	209,59					
ELS Cara Vérification	Sigma s MPa	108,57	87,94	218,05					
	Limite ELS MPa (w <sub>max</sub> )	320	320	320					
	Limite ELS – Sigma s	211,43	232,06	101,95					

Combinaisons avec aménagement actuel	En kN.m	Dalle proche V1	Mi-travée Sud	Dalle proche V2	Dalle centrale	Dalle proche V3	Mi-travée Nord C10 et C9G	Mi-travée Nord C12G, C11 et C9D	Mi-travée Nord C12D
Z2 – ELU 1,35G <sub>max</sub> +G <sub>min</sub> +1,35Q+0,9T	M	545,84	-468,07	481,30	667,82	820,85	-431,55	-431,55	-431,55
ELU Vérification	Section Astendue cm <sup>2</sup>	19,63	39,27	44,68	44,68	44,68	24,54	27,96	32,24
	Section As,min	23,08	19,71	20,28	28,43	35,26	18,13	18,13	18,13
	Déficit	3,45	-19,56	-24,4	-16,25	-9,42	-6,42	-9,83	-14,13
Z2 – ELS freq G+0,4Q+0,5T	M	319,70	-284,89	292,97	397,95	483,87	-262,76	-262,76	-262,76
ELS Freq Vérification	Sigma s MPa	266,31	122,98	110,64	151,94	182,73	178,44	157,49	137,46
	Limite ELS MPa (w <sub>max</sub> )	300	300	300	300	300	300	300	300
	Limite ELS – Sigma s	33,69	177,02	189,36	148,06	117,27	121,56	142,51	162,54
Z2 – ELS cara G+0,4Q+0,6T	M	389,33	-335,55	330,42	480,32	586,50	-305,72	-305,72	-305,72
ELS Cara Vérification	Sigma s MPa	324,31	144,85	124,78	183,4	221,49	207,62	183,24	159,94
	Limite ELS MPa (w <sub>max</sub> )	320	320	320	320	320	320	320	320
	Limite ELS – Sigma s	-4,31	175,15	195,22	136,6	98,51	112,38	136,76	160,08
Combinaisons avec aménagement actuel	En kN.m	Dalle proche V4 C12G, C11 et C9D	Dalle proche V4 C10 et C9G	Dalle proche V4 C12D					
Z2 – ELU 1,35G <sub>max</sub> +G <sub>min</sub> +1,35Q+0,9T	M	354,47	354,47	354,47					
ELU Vérification	Section Astendue cm <sup>2</sup>	32,38	40,21	15,71					
	Section As,min	14,83	14,83	14,83					
	Déficit	-17,55	-25,38	-0,88					
Z2 – ELS freq G+0,4Q+0,5T	M	206,70	206,70	206,70					
ELS Freq Vérification	Sigma s MPa	107,08	86,72	215,04					
	Limite ELS MPa (w <sub>max</sub> )	300	300	300					
	Limite ELS – Sigma s	192,92	213,28	84,96					
Z2 – ELS cara G+0,4Q+0,6T	M	237,14	237,14	237,14					
ELS Cara Vérification	Sigma s MPa	122,85	99,49	246,71					
	Limite ELS MPa (w <sub>max</sub> )	320	320	320					
	Limite ELS – Sigma s	197,15	220,51	73,29					

Au niveau de la dalle en zone 2, on constate la disparition du déficit à l'ELS cara au niveau de la dalle à proximité du piédroit V1

Dans ces deux cas, il subsiste un déficit à l'ELU au niveau de la dalle à proximité du piédroit V1.

**Résumés des déficits ELU et ELS identifiés sur la structure avec le nouvel aménagement prévu par la ville en Zone 2.**



## Aciers transversaux dalle

Avec le modèle réalisé sur Effel, les efforts dans les aciers transversaux ont été étudiés.

Vues du modèle EFFEL :

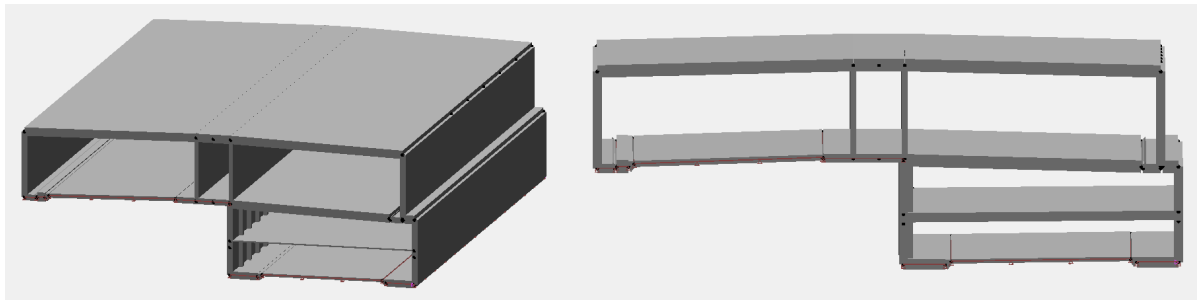


Figure 43: Représentation du cadre Zone 2 du modèle Effel

## Charges permanentes

Dans le modèle Effel réalisé, nous avons pris en compte comme charge permanente :

- le poids propre
- l'aménagements sur la dalle

Au niveau de l'aménagement sur la dalle, nous avons comparé les situations ci-dessous :

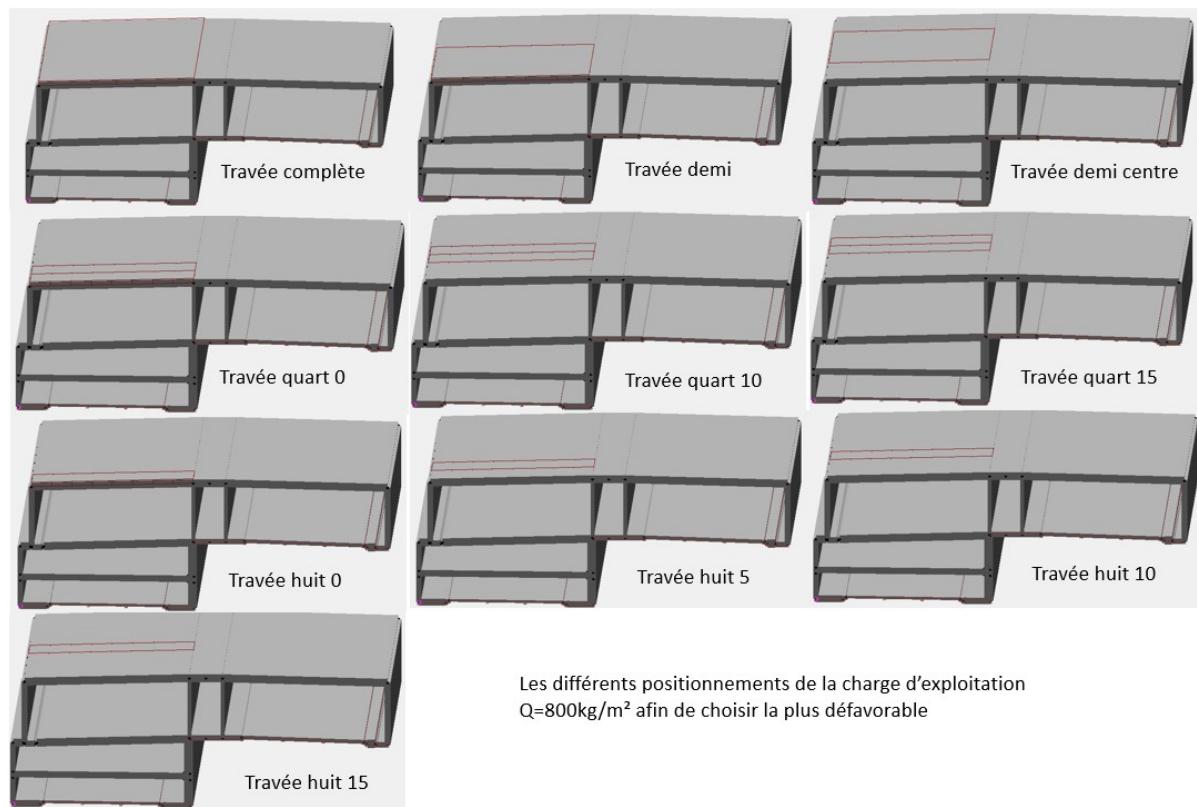
- L'aménagement futur ( $830\text{kg/m}^2$ )
- L'aménagement actuel (une moitié de dalle à  $894\text{kg/m}^2$ , l'autre à  $1590\text{kg/m}^2$ )

## Charges d'exploitation

Dans le modèle Effel, nous avons rentré 10 cas de chargement différents pour la charge d'exploitation  $Q=800\text{kg/m}^2$ , afin d'avoir le cas le plus défavorable possible.

Les différentes positions de la charge  $Q$  sont représentées ci-dessous.





### Véhicule d'urgence

Afin d'obtenir le cas de charge le plus défavorable pour les aciers transversaux, nous avons également appliqué au modèle le véhicule d'urgence de 12T dans plusieurs positions.



### Résultat

Pour l'analyse des déficits de la structure, nous étudions les moments à 7 endroits différents : à proximité des piédroits extérieurs, à mi-travée, à proximité des piédroits centraux et en travée centrale.

Pour les aciers à mi-travée, nous étudions le moment Max et le moment min pour vérifier les déficits au niveau des aciers transversaux sup et également inf.

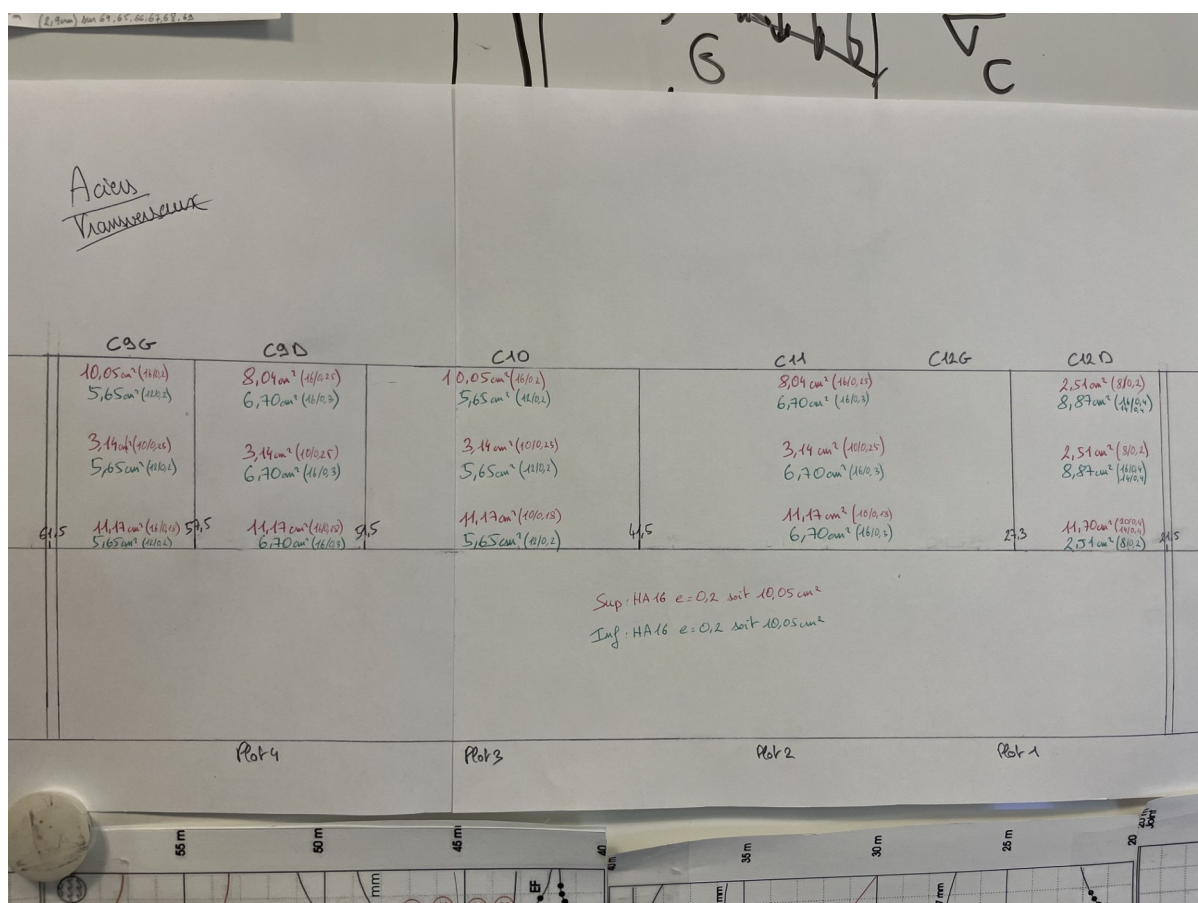
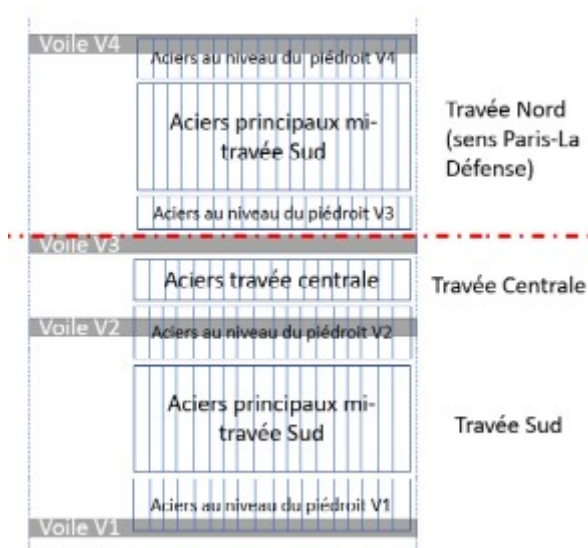


Figure 44: Aciers transversaux zone 2

Les valeurs des moments en chaque endroit.

Pour les zones ci-dessous, les valeurs de moment sont utilisées pour la zone Sud et également la zone Nord :

- Travée proche piédroit Extraits
- Mi-travée Max et min
- Travée proche piédroit central

Selon l'Eurocode 1, le véhicule d'urgence doit être considéré avec G uniquement.

	Zone →	Travée proche piédroit Ext	Mi-travée Max	Mi-travée min	Travée proche piédroit central	Travée centrale
	Cas de charge	$M_{yy}$ (kN.m)	$M_{yy}$ (kN.m)	$M_{yy}$ (kN.m)	$M_{yy}$ (kN.m)	$M_{yy}$ (kN.m)
G	Poids propre G	13,87	-3,52	-44,7	59,13	59,34
	Aménagement futur 800kg/m² toute la dalle	9,29	-1,95	-22,05	23,29	14,25
	Aménagement actuel Nord Z2	19,03	-1,87	-52,36	46,46	27,6
Q	Travée Nord complet – 800kg/m²	9,29	-1,95	-22,05	23,29	14,25
	Travée Nord demi	14,4	9,33	-31,25	22,95	14,55
	Travée Nord demi centre	10,18	8,5	-33,61	20,25	13,09
	Travée Nord quart 0	13,4	9,34	-26,82	20,71	12,62
	Travée Nord quart 10	5,73	7,55	-40,56	13,92	9,59
	Travée Nord quart 15	5,57	7,51	-40,57	13,72	9,5
	Travée Nord huit 0	10,38	9,03	-14,28	14,7	9,07
	Travée Nord huit 5	3,29	5,04	-31,51	7,89	5,22
	Travée Nord huit 10	2,77	4,68	-32,84	7,2	5,41
	Travée Nord huit 15	2,62	4,62	-33,36	7,12	5,45
Véhicule d'urgence	Véhicule en bord de dalle ELU	3,28	4,44	-15,35	6,75	3,92
	Véhicule en bord de dalle ELS	2,19	2,96	-10,24	4,5	2,61
	Véhicule en milieu de dalle ELU	0,9	2,16	-20,51	3,28	2,17
	Véhicule en milieu de dalle ELS	0,6	1,44	-13,67	2,19	1,45
	Véhicule 1 essieu sur dalle ELU	3,78	6,8	-4,62	6,18	3,41
	Véhicule 1 essieu sur dalle ELS	2,52	4,54	-3,08	4,12	2,28

Avec les résultats du modèle, on remarque que la charge d'exploitation Q entraîne des efforts plus importants dans la dalle que le véhicule d'urgence. Pour la suite de l'analyse des déficits, nous ne considérerons donc plus que les valeurs de Qmax par zone (en jaune).

Zone →	Travée proche piédroit Ext	Mi-travée Max	Mi-travée min	Travée proche piédroit central	Travée centrale
Cas de charge	$M_{yy}$ (kN.m)	$M_{yy}$ (kN.m)	$M_{yy}$ (kN.m)	$M_{yy}$ (kN.m)	$M_{yy}$ (kN.m)
ELU aménagement futur 1,35xG + 1,35xQmax	50,71	5,22	-144,88	142,71	118,99
ELS aménagement futur G + Qmax	37,56	3,87	-107,32	105,71	88,14
ELU Aménagement actuel Z2	44,94	5,31	-185,80	107,89	76,01
ELS Aménagement actuel Z2	33,29	3,93	-137,63	79,92	56,30

Au niveau des moments transversaux, on remarque que le passage à l'aménagement futur entraîne une diminution conséquente des efforts dans la dalle.

Cela s'explique principalement par la présence de jardinières à 1590kg/m² sur l'aménagement actuel de la zone 2.

Vérification ELU et ELS :

Traverse Sud

Combinaisons	En kN.m Z2 – Traverses Sud	Travée proche piédroit V1	Mi-travée Sud Max	Mi-travée Sud min	Travée proche piédroit V2	Travée centrale
Z2 – ELU aménagement futur 1,35G+1,35Q	M	50,71	5,22	-144,88	142,71	118,99
ELU Vérification	Section Astendue cm <sup>2</sup>	10,05	10,05	10,05	10,05	10,05
	Section As,min	2,09	0,21	6	5,9	4,92
	Déficit	-7,96	-9,84	-4,05	-4,15	-5,13
Z2 – ELS aménagement futur G+Q	M	37,56	3,87	-107,32	105,71	88,14
ELS Cara Vérification	Sigma s MPa	60,23	6,21	172,09	169,51	141,34
	Limite ELS MPa (wmax)	320	320	320	320	320
	Limite ELS – Sigma s	259,77	313,79	147,91	150,49	178,66
Z2 – ELU Aménagement actuel	M	63,86	5,33	-185,18	173,99	137,01
ELU Vérification	Section Astendue cm <sup>2</sup>	10,05	10,05	10,05	10,05	10,05
	Section As,min	2,63	0,22	7,68	7,21	5,67
	Déficit	-7,42	-9,83	-2,37	-2,84	-4,38
Z2 – ELS cara Aménagement actuel	M	47,30	3,95	-137,17	128,88	101,49
ELS Cara Vérification	Sigma s MPa	75,85	6,33	219,96	206,67	165,68
	Limite ELS MPa (wmax)	320	320	320	320	320
	Limite ELS – Sigma s	244,15	313,67	100,04	113,33	154,32

On ne remarque aucun déficit en traverse Sud au niveau des aciers transversaux.

Le passage de l'aménagement actuel à l'aménagement futur ne soulage pas de manière significative les aciers transversaux de la traverse Sud.

#### Traverse Nord

On étudie les différentes parties de la traverse Nord ayant des ferrillages transversaux différents :

-traverse C12D

-traverses C12G, C11, C9D

-traverses C10, C9G

Combinaisons	En kN.m Z2 – Traverses Nord C12D	Travée proche piédroit V4	Mi-travée Nord Max	Mi-travée Nord min	Travée proche piédroit V3
Z2 – ELU aménagement futur 1,35G+1,35Q	M	50,71	5,22	-144,88	142,71
ELU Vérification	Section Astendue cm <sup>2</sup>	2,51	2,51	8,87	11,7
	Section As,min	2,09	0,21	6	5,9
	Déficit	-0,42	-2,3	-2,87	-5,8
Z2 – ELS aménagement futur G+Q	M	37,56	3,87	-107,32	105,71
ELS Cara Vérification	Sigma s MPa	235,05	24,22	194,91	146,74
	Limite ELS MPa (wmax)	320	320	320	320
	Limite ELS – Sigma s	84,95	295,78	125,09	173,26
Z2 – ELU Aménagement actuel	M	63,86	5,33	-185,18	173,99
ELU Vérification	Section Astendue cm <sup>2</sup>	2,51	2,51	8,87	11,7
	Section As,min	2,63	0,22	7,68	7,21
	Déficit	0,12	-2,29	-1,19	-4,49
Z2 – ELS cara Aménagement actuel	M	47,30	3,95	-137,17	128,88
ELS Cara Vérification	Sigma s MPa	296,01	24,72	249,13	178,9
	Limite ELS MPa (wmax)	320	320	320	320
	Limite ELS – Sigma s	23,99	295,28	70,87	141,1

Au niveau de la traverse C12D, le passage à l'aménagement futur permet de résorber un déficit à l'ELU au niveau des aciers transversaux proches du piédroit V4.

Ce déficit vient du fait que cette zone est très peu ferrillée, avec seulement 2,51 cm<sup>2</sup>.

Combinaisons	En kN.m Z2 – Traverses Nord C12G, C11, C9D	Travée proche piédroit V4	Mi-travée Nord Max	Mi-travée Nord min	Travée proche piédroit V3
Z2 – ELU aménagement four 1,35G+1,35Q	M	50,71	5,22	-144,88	142,71
ELU Vérification	Section Astendue cm <sup>2</sup>	8,04	3,15	6,7	11,17
	Section As,min	2,09	0,21	6	5,9
	Déficit	-5,95	-2,94	-0,7	-5,27
Z2 – ELS aménagement futur G+Q	M	37,56	3,87	-107,32	105,71
ELS Cara Vérification	Sigma s MPa	74,96	188,45	256,13	153,16
	Limite ELS MPa (wmax)	320	320	320	320
	Limite ELS – Sigma s	245,04	131,55	63,87	166,84
Z2 – ELU Aménagement actuel	M	63,86	5,33	-185,18	173,99
ELU Vérification	Section Astendue cm <sup>2</sup>	8,04	3,15	6,7	11,17
	Section As,min	2,63	0,22	7,68	7,21
	Déficit	-5,41	-2,93	0,98	-3,96
Z2 – ELS cara Aménagement actuel	M	47,30	3,95	-137,17	128,88
ELS Cara Vérification	Sigma s MPa	94,39	19,82	327,37	186,73
	Limite ELS MPa (wmax)	320	320	320	320
	Limite ELS – Sigma s	225,61	300,18	-7,37	133,27

Au niveau des traverses C12G, C11 et C9D, le passage à l'aménagement futur permet de résorber un déficit à l'ELU et à l'ELS au niveau des aciers transversaux à mi-travée.

Combinaisons	En kN.m Z2 – Traverses Nord C10, C9G	Travée proche piédroit V4	Mi-travée Nord Max	Mi-travée Nord min	Travée proche piédroit V3
Z2 – ELU aménagement four 1,35G+1,35Q	M	50,71	5,22	-144,88	142,71
ELU Vérification	Section Astendue cm <sup>2</sup>	10,05	3,14	5,65	11,17
	Section As,min	2,09	0,21	6	5,9
	Déficit	-7,96	-2,93	0,35	-5,27
Z2 – ELS aménagement futur G+Q	M	37,56	3,87	-107,32	105,71
ELS Cara Vérification	Sigma s MPa	60,33	19,41	302,54	153,23
	Limite ELS MPa (wmax)	320	320	320	320
	Limite ELS – Sigma s	259,67	300,59	17,46	166,77
Z2 – ELU Aménagement actuel	M	63,86	5,33	-185,18	173,99
ELU Vérification	Section Astendue cm <sup>2</sup>	10,05	3,14	5,65	11,17
	Section As,min	2,63	0,22	7,68	7,21
	Déficit	-7,42	-2,92	2,03	-3,96
Z2 – ELS cara Aménagement actuel	M	47,30	3,95	-137,17	128,88
ELS Cara Vérification	Sigma s MPa	75,98	19,82	386,69	186,82
	Limite ELS MPa (wmax)	320	320	320	320
	Limite ELS – Sigma s	244,02	300,18	-66,69	133,18

Au niveau des traverses C10 et C9G, le passage à l'aménagement futur permet de résorber un déficit à l'ELS au niveau des aciers transversaux à mi-travée.

En revanche au niveau des aciers transversaux à mi-travée, le déficit à l'ELU identifié est toujours présent même s'il a diminué.



## DIMENSIONNEMENT DU RENFORCEMENT

### Augmentation de la section d'acier

#### Renforcement du haut du voile V2

Au regard des déficits montrés au paragraphe précédent, le haut du voile V2 est renforcé sur toute la zone 2. Le dimensionnement du renfort se fait à l'ELU.

Pour le haut du voile V2, la section d'acier tendu est de  $A_{s,tendu}=4,52\text{cm}^2$  (HA12  $e=0,25\text{m}$ ). La section  $A_{s,min}$  calculée est de  $8,4\text{cm}^2$ . Le déficit d'acier à l'ELU est donc de  $3,88\text{cm}^2$  (85,83 %).

On considère que les aciers existant sont en mauvais état, on dimensionne donc le renfort de façon à ce que celui-ci puisse reprendre l'ensemble des efforts en haut de voile.

En considérant une épaisseur de renfort en béton de 12cm, avec 3cm d'enrobage, le bras de levier des aciers du renforcement est de 44cm.

Pour la section courante de renforcement, avec le nouveau bras de levier,  $A_{s,min}$  passe à  $6,42\text{cm}^2$ , on peut donc choisir les 3 renforts ci-dessous (HA12, 14 et 16).

Au niveau des interruptions de renfort à cause des contraintes d'aménagement de la ville de Neuilly (interruptions de 90cm), on pourra installer un renfort en HA32.

	HA	e en m	$A_{s,tendu}\text{ cm}^2$	$A_{s,min}\text{ cm}^2$
Ext	16	0,25	8,04	6,42
Ext	14	0,2	7,70	6,42
Ext	12	0,15	7,54	6,42
Ext	32	1	8,04	6,42

#### Renforcement du haut du voile V3

Au regard des déficits montrés au paragraphe précédent, le haut du voile V3 est renforcé sur toute la zone 2. Le dimensionnement du renfort se fait à l'ELU.

Pour le haut du voile V3, la section d'acier tendu est de  $A_{s,tendu}=4,52\text{cm}^2$  (HA12  $e=0,25\text{m}$ ). La section  $A_{s,min}$  calculée est de  $8,81\text{cm}^2$ . Le déficit d'acier à l'ELU est donc de  $4,29\text{cm}^2$  (94,93 %).

On considère que les aciers existant sont en mauvais état, on dimensionne donc le renfort de façon à ce que celui-ci puisse reprendre l'ensemble des efforts en haut de voile.

En considérant une épaisseur de renfort en béton de 12cm, avec 3cm d'enrobage, le bras de levier des aciers du renforcement est de 44cm.

Pour la section courante de renforcement, avec le nouveau bras de levier,  $A_{s,min}$  passe à  $6,48\text{cm}^2$ , on peut donc choisir les 3 renforts ci-dessous (HA12, 14 et 16).

Au niveau des interruptions de renfort à cause des contraintes d'aménagement de la ville de Neuilly (interruptions de 90cm), on pourra installer un renfort en HA32.

	HA	e en m	As,tendu cm <sup>2</sup>	As,min cm <sup>2</sup>
Ext	16	0,25	8,04	6,48
Ext	14	0,2	7,70	6,48
Ext	12	0,15	7,54	6,48
Ext	32	1	8,04	6,48

## Renforcement de la dalle à proximité du piédroit V1

Au vu des déficits montrés au paragraphe précédent, la surface de la dalle à proximité du voile V1 est renforcée sur toute la zone 1. Le dimensionnement du renfort se fait à l'ELU.

Pour la surface de la dalle à proximité du voile V1, la section d'acier tendu est de  $A_{s,tendu}=19,63\text{cm}^2$  (HA25  $e=0,25\text{m}$ ). La section  $A_{s,min}$  calculée est de  $21,18\text{cm}^2$ . Le déficit d'acier à l'ELU est donc de  $1,55\text{cm}^2$  (8,13 %).

Pour des questions de contraintes d'aménagement de la Ville de Neuilly, le renforcement de la dalle sera réalisé avec de la fibre de carbone.

## Dimensionnement du renfort des aciers transversaux

### Renforcement des aciers transversaux supérieurs

*Aciers Transversaux*

C9G	C9D	C10	C11	C12G	C12D
10,05 cm <sup>2</sup> (14/0,2)	8,04 cm <sup>2</sup> (14/0,2)	10,05 cm <sup>2</sup> (14/0,2)	8,04 cm <sup>2</sup> (14/0,2)		2,54 cm <sup>2</sup> (8/0,2)
5,65 cm <sup>2</sup> (14/0,3)	6,70 cm <sup>2</sup> (14/0,3)	5,65 cm <sup>2</sup> (14/0,3)	6,70 cm <sup>2</sup> (14/0,3)		8,87 cm <sup>2</sup> (14/0,3)
3,14 cm <sup>2</sup> (10/0,25)	3,14 cm <sup>2</sup> (10/0,25)	3,14 cm <sup>2</sup> (10/0,25)	3,14 cm <sup>2</sup> (10/0,25)		2,51 cm <sup>2</sup> (8/0,2)
5,65 cm <sup>2</sup> (14/0,3)	6,70 cm <sup>2</sup> (14/0,3)	5,65 cm <sup>2</sup> (14/0,3)	6,70 cm <sup>2</sup> (14/0,3)		8,87 cm <sup>2</sup> (14/0,3)
11,17 cm <sup>2</sup> (14/0,2)	11,17 cm <sup>2</sup> (14/0,2)	11,17 cm <sup>2</sup> (14/0,2)	11,17 cm <sup>2</sup> (14/0,2)		11,70 cm <sup>2</sup> (14/0,2)
5,65 cm <sup>2</sup> (14/0,3)	6,70 cm <sup>2</sup> (14/0,3)	5,65 cm <sup>2</sup> (14/0,3)	6,70 cm <sup>2</sup> (14/0,3)		2,54 cm <sup>2</sup> (8/0,2)
Plot 4	Plot 3	Plot 2	Plot 1		

Sup : HA 16  $e=0,2$  soit 10,05 cm<sup>2</sup>  
 Inf : HA 16  $e=0,2$  soit 10,05 cm<sup>2</sup>

Le modèle Effel a montré l'existence d'un déficit avec l'aménagement actuel au niveau des aciers transversaux supérieur à proximité du piédroit V4 pour la traverse C12D qui est particulièrement peu ferrillée avec seulement une section d'aciers de

2,51cm<sup>2</sup>. Aucun autre déficit au niveau des aciers transversaux supérieurs, que ce soit avec l'aménagement actuel ou l'aménagement futur.

Les inspections ont montré que le dessous de la traverse Nord était beaucoup plus fissuré que celui de la zone Sud.

Les charges sur la dalle étant globalement similaire entre le Nord et le Sud, il est très probable que ces fissures soient dues à des sections d'acier insuffisantes en zone Nord.

Au niveau des aciers transversaux supérieurs, nous remarquons qu'il n'y a que 3,14cm<sup>2</sup> de section au niveau de ceux à mi-travée (et même seulement 2,51cm<sup>2</sup> pour la C12D), quand il y en a 10,05cm<sup>2</sup> pour la même zone en traverse Sud. Ainsi, au regard de la différence de désordres entre les deux traverses, renforcer ces aciers transversaux supérieurs à mi-travée en traverse Nord, de façon à avoir une section d'armature plus proche des 10,05cm<sup>2</sup>, semble être pertinent.

On renforce les aciers transversaux supérieurs à mi-travée avec des fibres de carbone. Comme il ne s'agit pas de la direction principale de la dalle, le carbone peut couvrir 60 % de la section résistante. On peut donc installer jusqu'à 4,71cm<sup>2</sup> de section résistante de fibre de carbone pour les parties de la zone 2 ayant 3,14cm<sup>2</sup> de section d'acier transversaux, et 3,76cm<sup>2</sup> pour la traverse C12D avec seulement 2,51cm<sup>2</sup> de section d'aciers transversaux supérieur.

### **Renforcement des aciers transversaux inférieurs**

Au niveau des aciers transversaux inférieurs, on constate des déficits à mi-travée de la traverse Nord. Pour C12G, C11 et C9D, c'est seulement l'aménagement actuel qui présente des déficits à l'ELU (0,98cm<sup>2</sup>) comme à l'ELS. Pour C10 et C9G, l'aménagement futur présente un déficit à l'ELU (0,35cm<sup>2</sup>), et l'aménagement actuel présente un déficit à l'ELU (2,03cm<sup>2</sup>) comme à l'ELS.

Cependant, les inspections ont montré que le dessous de la traverse Nord était beaucoup plus fissuré que celui de la zone Sud.

Les charges sur la dalle étant globalement similaire entre le Nord et le Sud, il est très probable que ces fissures soient dues à des sections d'acier insuffisantes en zone Nord.

Au niveau des aciers transversaux inférieur, nous remarquons qu'il n'y a que 6,70cm<sup>2</sup> ou 5,65cm<sup>2</sup> de section au niveau de ceux à mi-travée en traverse Nord, quand il y en a 10,05cm<sup>2</sup> pour la même zone en traverse Sud.

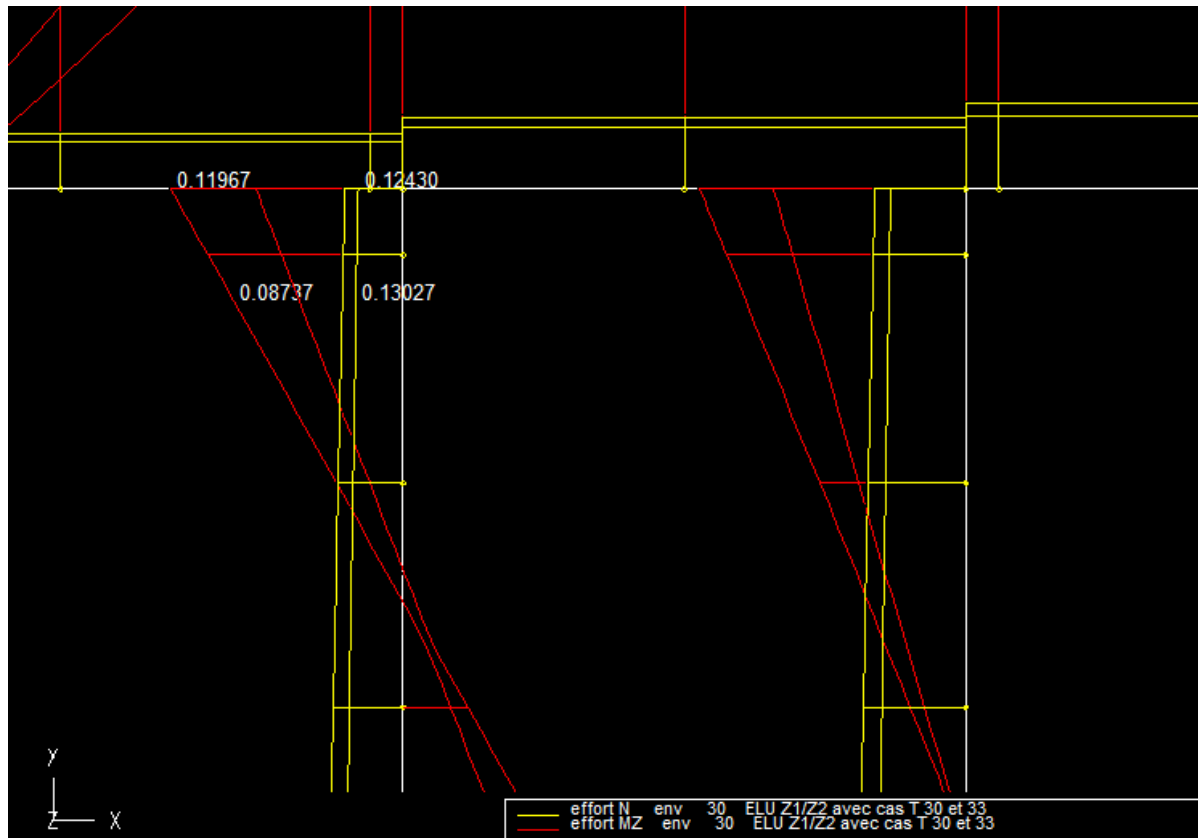
Pour la traverse Nord, étant donné les fissures, on considère que les aciers en place ne reprennent plus rien et doivent être remplacés, ou complétés.

Ainsi, au regard de la différence de désordres entre les deux traverses, renforcer ces aciers transversaux supérieurs à mi-travée en traverse Nord, de façon à avoir une section d'armature plus proche des 10,05cm<sup>2</sup>, semble être pertinent.

On renforce donc les aciers transversaux inférieurs de la traverse Nord avec les mêmes aciers qu'en traverse Sud (HA16 e=0,2m) que l'on rajoute dans la dalle entre les aciers existants en faisant des saignées dans le béton par hydrodémolition.

## **Vérification de la hauteur/longueur à renforcer**

### **Renforcement du haut du voile V2**



Une vérification des efforts à différentes altitudes est menée jusqu'à trouver la hauteur à laquelle le haut du voile V2 ne présente plus de déficit à l'ELU comme à l'ELS.

D'après notre modèle ST1, c'est l'ELU qui dimensionne la hauteur sur laquelle le haut du voile V2 présente un déficit et nécessite un renforcement.

Dans l'extrait du ST1 ci-dessus, nous avons représenté les valeurs de moment et d'effort normal les plus défavorables en haut de voile, ainsi que les 1ères valeurs qui ne montrent plus de déficits.

Ainsi, le haut du voile V2 ne présente plus de déficit à partir de 59,3cm depuis le haut du sommet du voile (à cette hauteur les valeurs des efforts sont de  $M=87,37\text{kN.m}$  et  $N=130,27\text{kN}$ ).

Les aciers en extérieurs du voile ne sont efficaces à 100 % qu'une fois la longueur d'ancrage atteinte.

Calcul de la longueur d'ancrage pour des aciers HA 12 et  $f_{yk}=500\text{ MPa}$ .

Longueur d'ancrage de référence  $L_{b,rqd}$  :

$$L_{b,rqd} = (\sigma_s / 4) (\sigma_{sd} / f_{bd})$$

avec :

$$f_{bd}, \text{ contrainte ultime d'adhérence : } f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}$$

où

$\eta_1 = 1$  si les conditions d'adhérences sont bonnes, 0,7 sinon

$\eta_2 = 1$  pour  $\varnothing < 32\text{mm}$

$$f_{ctd} = f_{ctk} / 0,05 / \gamma_c$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$f_{ctk};0,05=0,7 \quad f_{ctm}=0,7*0,3*(f_{ck})^{(2/3)}=0,7*0,3*30^{(2/3)}=2,03$$

$$f_{ctd}=2,03/1,5=1,35 \text{ MPa}$$

$$f_{db}=2,25*1*1*1,35= 3,04 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sd} \text{ est la contrainte de calcul : } \sigma_{sd}=f_{yd}=f_{yk}/\gamma_s=500/1,15=435 \text{ MPa}$$

pour  $\varnothing=12 \text{ mm}$

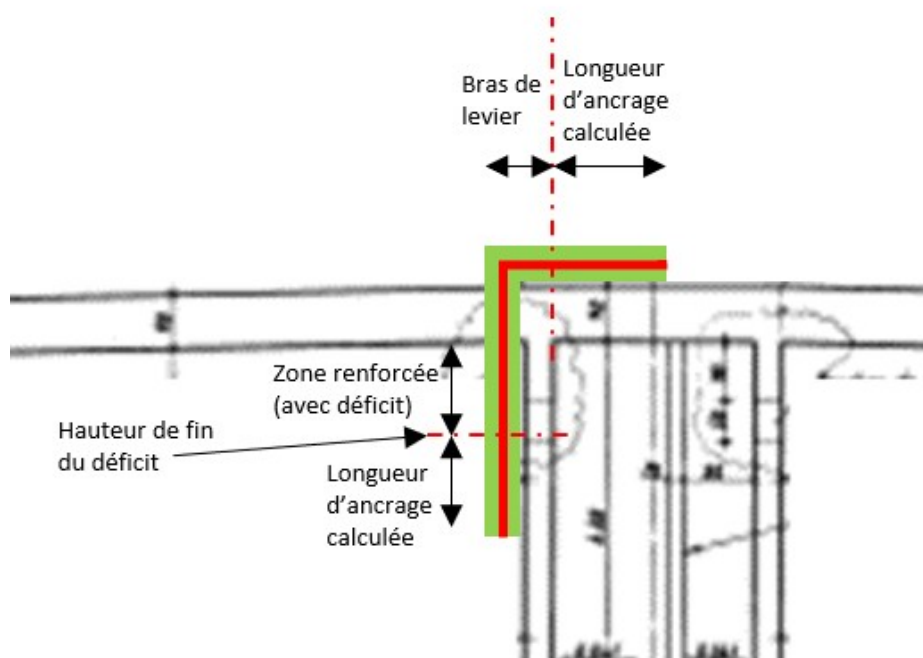
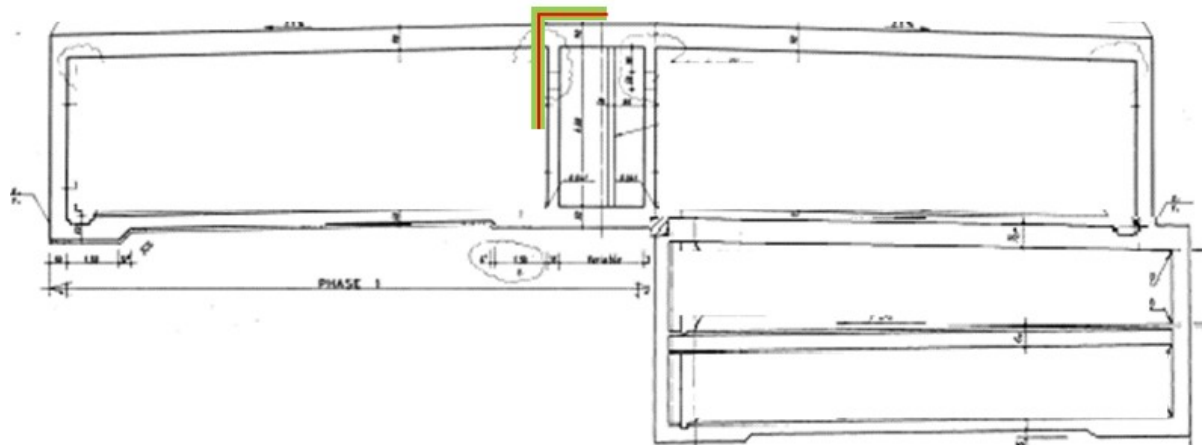
$$l_{b,rqd}=(12/4)(435/3,04)$$

$$l_{b,rqd}=429 \text{ mm}$$

La longueur d'ancrage pour des aciers HA12 est 42,9 cm.

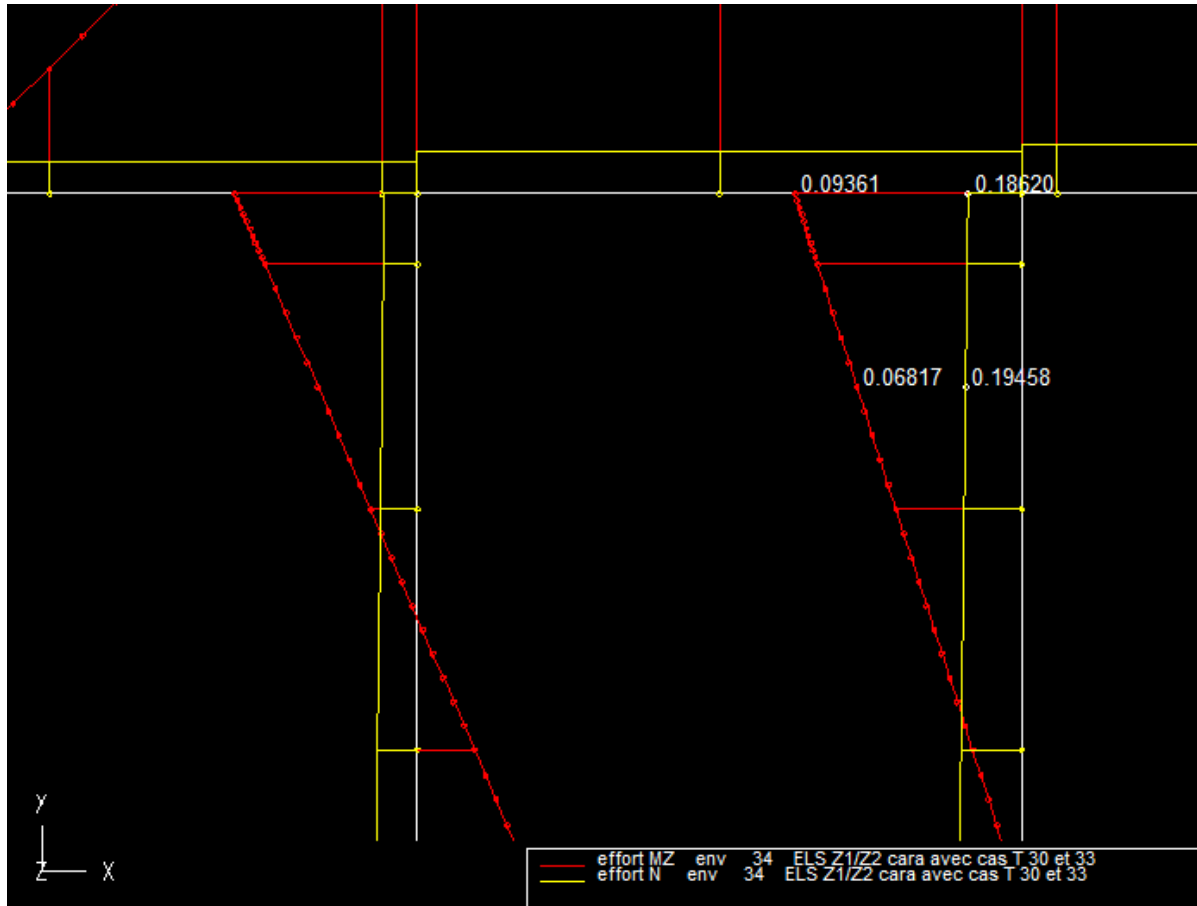
Le renforcement du haut du voile V2 se présentera sous la forme d'un renforcement de béton armé de 12cm d'épaisseur tel que représenté sur les schémas ci-dessous.

La partie du renforcement utile sera la zone verticale. La zone horizontale ne sert pas à renforcer la dalle mais sert d'ancrage des aciers de renforcement.





## Renforcement du haut du voile V3



Une vérification des efforts à différentes altitudes est menée jusqu'à trouver la hauteur à laquelle le haut du voile V3 ne présente plus de déficit à l'ELU comme à l'ELS.

D'après notre modèle ST1, c'est l'ELS cara qui dimensionne la hauteur sur laquelle le haut du voile V3 présente un déficit et nécessite un renforcement.

Dans l'extrait du ST1 ci-dessus, nous avons représenté les valeurs de moment et d'effort normal les plus défavorables en haut de voile, ainsi que les 1ères valeurs qui ne montrent plus de déficits.

Ainsi, le haut du voile V3 ne présente plus de déficit à partir de 95,7cm depuis le haut du sommet du voile (à cette hauteur les valeurs des efforts sont de  $M=68,17\text{kN.m}$  et  $N=194,58\text{kN}$ ).

Les aciers en extérieurs du voile ne sont efficaces à 100 % qu'une fois la longueur d'ancrage atteinte.

Calcul de la longueur d'ancrage pour des aciers HA 12 et  $f_{yk}=500\text{ MPa}$ .

Longueur d'ancrage de référence  $L_{b,rqd}$  :

$$L_{b,rqd} = (\sigma_s / 4) (\sigma_{sd} / f_{bd})$$

avec :

$$f_{bd}, \text{ contrainte ultime d'adhérence : } f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}$$

où

$\eta_1 = 1$  si les conditions d'adhérences sont bonnes, 0,7 sinon

$$\eta_2=1 \text{ pour } \varnothing < 32\text{mm}$$

$$f_{ctd} = f_{ctk}; 0,05/\gamma_c$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$f_{ctk}; 0,05 = 0,7 \quad f_{ctm} = 0,7 * 0,3 * (f_{ck})^{(2/3)} = 0,7 * 0,3 * 30^{(2/3)} = 2,03$$

$$f_{ctd} = 2,03/1,5 = 1,35 \text{ MPa}$$

$$f_{db} = 2,25 * 1 * 1,35 = 3,04 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sd} \text{ est la contrainte de calcul : } \sigma_{sd} = f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 500/1,15 = 435 \text{ MPa}$$

$$\text{pour } \varnothing = 12 \text{ mm}$$

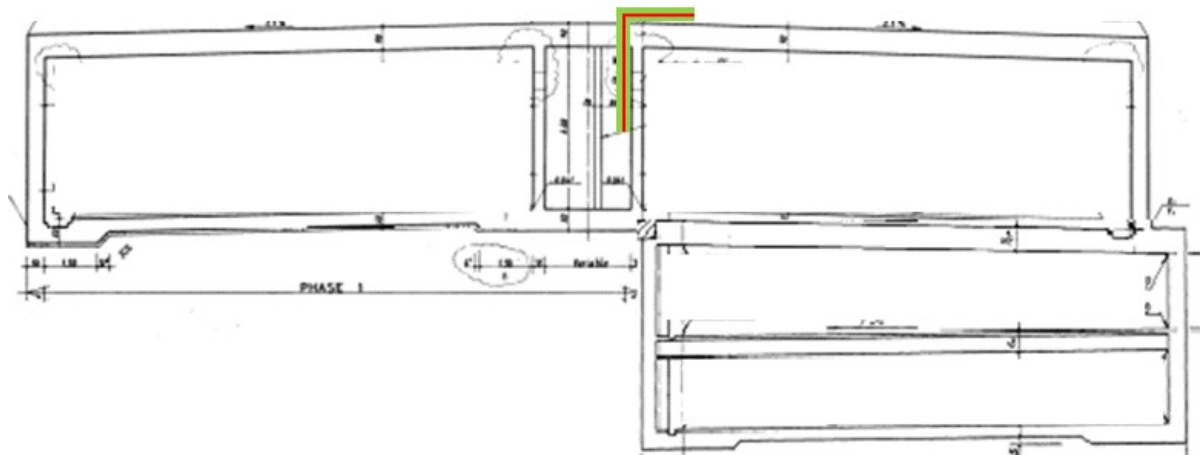
$$l_{b,rqd} = (12/4) * (435/3,04)$$

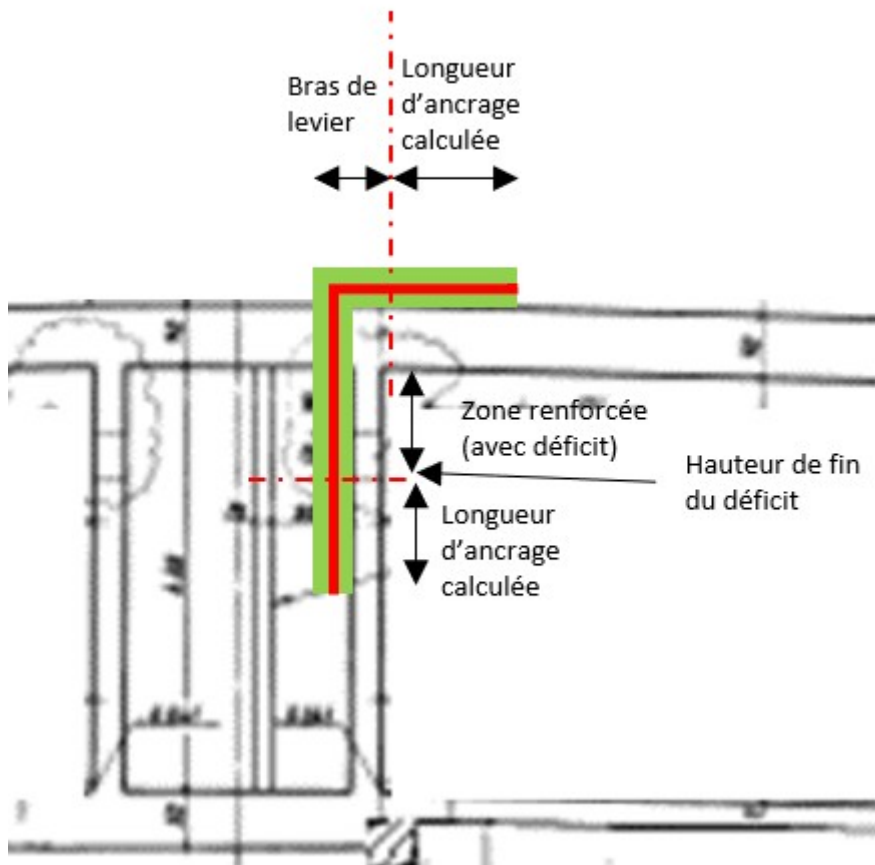
$$l_{b,rqd} = 429 \text{ mm}$$

La longueur d'ancrage pour des aciers HA12 est 42,9 cm.

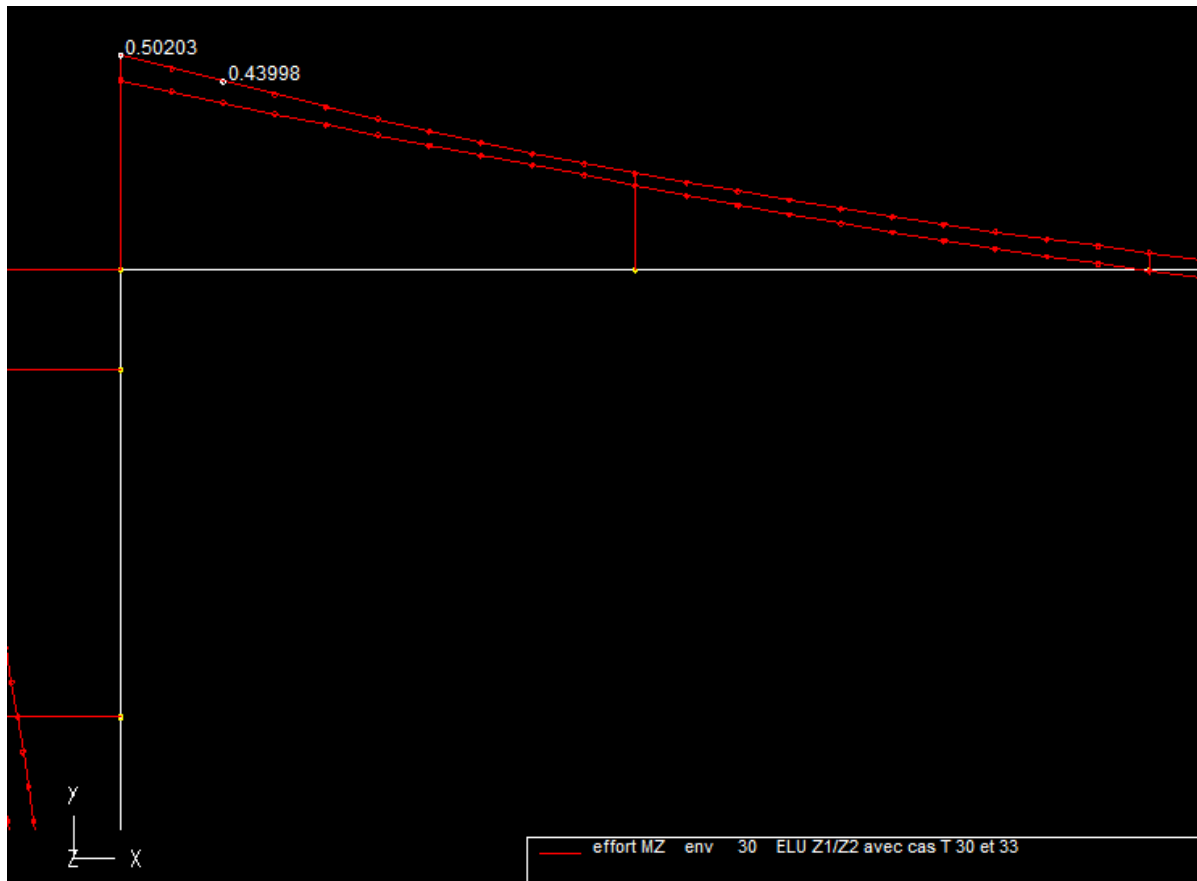
Le renforcement du haut du voile V3 se présentera sous la forme d'un renforcement de béton armé de 12cm d'épaisseur tel que représenté sur les schémas ci-dessous.

La partie du renforcement utile sera la zone verticale. La zone horizontale ne sert pas à renforcer la dalle mais sert d'ancrage des aciers de renforcement.





**Déficit au niveau de la dalle à proximité du piédroit Sud (V1)**



Une vérification des efforts à différentes positions est menée jusqu'à trouver la position depuis le piédroit V1 à laquelle la dalle à proximité du piédroit V1 ne présente plus de déficit à l'ELU (aucun déficit n'a été identifié à l'ELS).

Dans l'extrait du ST1 ci-dessus, nous avons représenté la valeur du moment le plus défavorable au niveau du piédroit, ainsi que la 1ère valeur qui ne montre plus de déficit.

Ainsi, la dalle à proximité du piédroit V1 ne présente plus de déficit à partir de 36cm depuis le haut de la liaison entre la dalle et le voile V1 (à cette position la valeur du moment est de  $M=439,98\text{kN.m}$ ).

## Calcul des scellements

Les renforcements des voiles V2 et V3 sont des renforcements en béton armé, il est donc nécessaire de faire des scellements dans le cadre existant pour couder nos renforcements.

Le nombre de scellement est calculé sur la base d'armatures scellées chimiquement.

Les scellements utilisés ont une limite caractéristique de 500MPa.

Le calcul de la section d'acier nécessaire pour reprendre l'effort tranchant est réalisé en conformité avec l'Eurocode 2 -1-1 section 6.5 .

$$A_{s,cout} = (\beta \cdot V_{ed}) / (\mu \cdot z \cdot f_{yd,cout})$$

où  $\beta$  est le rapport de l'effort normal dans le béton de renfort sur l'effort total dans la zone comprimée.

$\beta = A_{s,r} / (A_{s,r} + A_{s,e})$ , qui est égal à 1 car on néglige les aciers existants,

$A_{s,cout}$  = section d'aciers de couture,

$A_{s,r}$  = section d'acier de renfort,

$A_{s,e}$  = section des armatures existantes

$V_{ed}$  = contrainte de cisaillement dans la zone à renforcer, La contrainte de cisaillement est étudiée à l'ELU pour le dimensionnement.

$z$  = hauteur utile, ici prise égale à  $0,9 \cdot d$

$f_{yd,cout}$  = limite élastique des armatures de couture

$\mu$  = coefficient dépendant de la rugosité de l'interface, il varie de 0,5 à 0,9 ; 0,5 pour une surface très lisse, 0,9 pour une surface avec indentation. Nous considérons ici une surface lisse :  $\mu = 0,6$

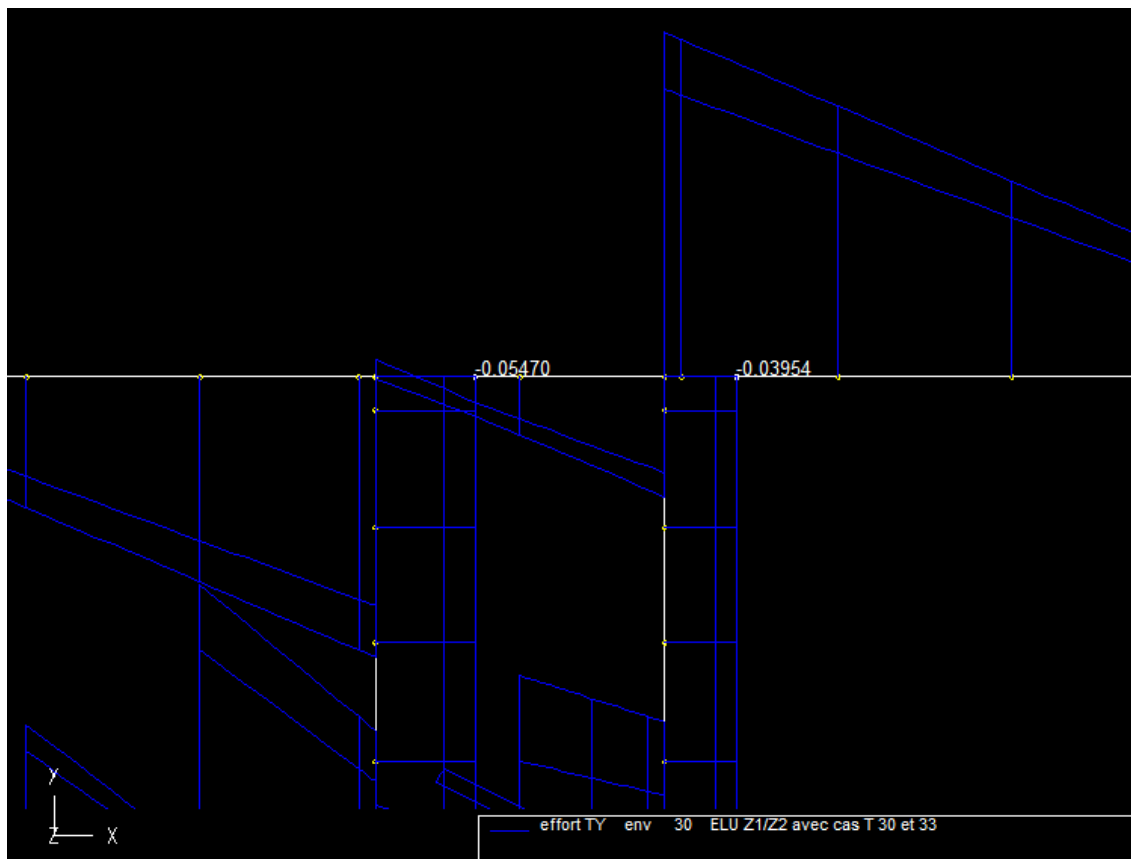
Pour le renforcement du voile V2,  $V_{ed} = 0,05470$  MN.m,  $d = 0,47$  m :

**$A_{s,cout} = 4,95 \text{ cm}^2/\text{ml}$**

En considérant des aciers de coutures HA10, 7 scellements par mètre linéaire sont nécessaires ( $5,50 \text{ cm}^2$ )

Pour le renforcement du voile V3,  $V_{ed} = 0,03954$  MN.m,  $d = 0,47$  m :

**$A_{s,cout} = 3,58 \text{ cm}^2/\text{ml}$**  soit 5 HA 10 par mètre linéaire ( $3,93 \text{ cm}^2$ )





## Dimensionnement renforcement en matériau composite

Pour la zone 1, les différents déficits calculés aux niveaux des zones de renforcement en matériau composite ont été regroupées dans le tableau ci-dessous.

Le dimensionnement des renforcements à l'ELU dans les différentes zones est laissé à la charge du titulaire.

Zone	Localisation	Épaisseur voile/dalle	Déficit acier cm <sup>2</sup> à l'ELU	Effort actuel kN.m	Effort maximal sans déficit kN.m	Effort à reprendre par plat carbone kN.m	Niveau de renforcement	Quantités m <sup>2</sup>	
2	Dalle proche V1	0,7	1,55	502,03	466	36,03	<40kN.m	200	T01
2 – C12D	Aciers transversaux supérieur proche piédroit V4	0,7	0,12	63,86	60	3,86	<10kN.m	21	T02
2	Aciers transversaux inférieur dalle Nord	0,7	Pas de déficit mais comparaison avec Z1/2				<30kN.m	80	TF
2	Aciers transversaux supérieur dalle Nord	0,7	Pas de déficit mais comparaison avec dalle Sud	Effort pouvant être repris par 10,05cm <sup>2</sup> : 241 kN.m	Effort pouvant être repris par 3,14cm <sup>2</sup> : 76 kN.m	165	<170kN.m	360	T02

## CONCLUSION

### Voiles

Les hauts des voiles centraux V2 et V3 sont sous dimensionnés pour l'aménagement actuel et également pour l'aménagement futur, ils présentent un déficit au niveau des aciers tendus côté Sud et doivent donc être renforcés. Le renforcement se fera avec l'aide d'un renfort en béton armé de 12cm d'épaisseur.

### Traverse

Les aciers supérieurs de la dalle à proximité du voile V1 sont sous dimensionnés et présentent un déficit pour l'aménagement actuel et également pour l'aménagement futur, ils doivent donc être renforcés. Le renforcement se fera avec de la fibre de carbone.

### Traverse – aciers transversaux

Les aciers transversaux supérieurs de la dalle à proximité du voile V4 étaient sous-dimensionnés pour l'aménagement actuel, ces aciers sont donc en mauvais état et doivent donc être renforcés. Le renforcement se fera avec de la fibre de carbone.

Les aciers transversaux inférieurs de la dalle à mi-travée sont sous dimensionnés et présentent un déficit pour l'aménagement actuel et également pour l'aménagement futur, ces aciers sont donc en mauvais état et doivent donc être renforcés. Le renforcement se fera par ajout d'acier dans des saignées faites par hydrodémolition.

Au regard de la fissuration importante de la traverse Nord par rapport à la traverse Sud malgré l'absence de déficits identifiés avec les modèles, les zones ci-dessous seront également renforcées :

- les aciers transversaux inférieurs à mi-travée de la traverse Nord pour l'ensemble de la zone 2. Le renforcement se fera par ajout d'acier dans des saignées faites par hydrodémolition.
- les aciers transversaux supérieurs à mi-travée de la traverse Nord pour l'ensemble de la zone 2. Le renforcement se fera avec de la fibre de carbone.

