



**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 1**

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

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

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

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 1 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 1 un fort déficit d'acier dans les piédroits (en pieds du voile nord (V5 et déport V7), en tête des voiles centraux (V3 et V4) et en tête 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 importants en zone 1, notamment en travée Nord.

Les plans de ferrailage récupérer auprès de la RATP montre un très faible ferrailage au niveau des aciers transversaux supérieur (dans le sens Est-Ouest) des travées Nord de la zone 1.

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 1 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 1, les deux travées latérales mesurent 14 m, et la travée centrale est de largeur variable : de 2,50m à l'ouest à 2,40m à l'Est.

La zone 1 compte deux parties très distinctes, l'une est un cadre avec une dalle sur 21,50m, l'autre partie de 17m (la plus à l'Est) est une tranchée ouverte et ne fait donc pas partie du périmètre de nos renforcements. Seulement les 21,50m de la partie cadre seront étudiés dans ce document et feront l'objet de renforcements.

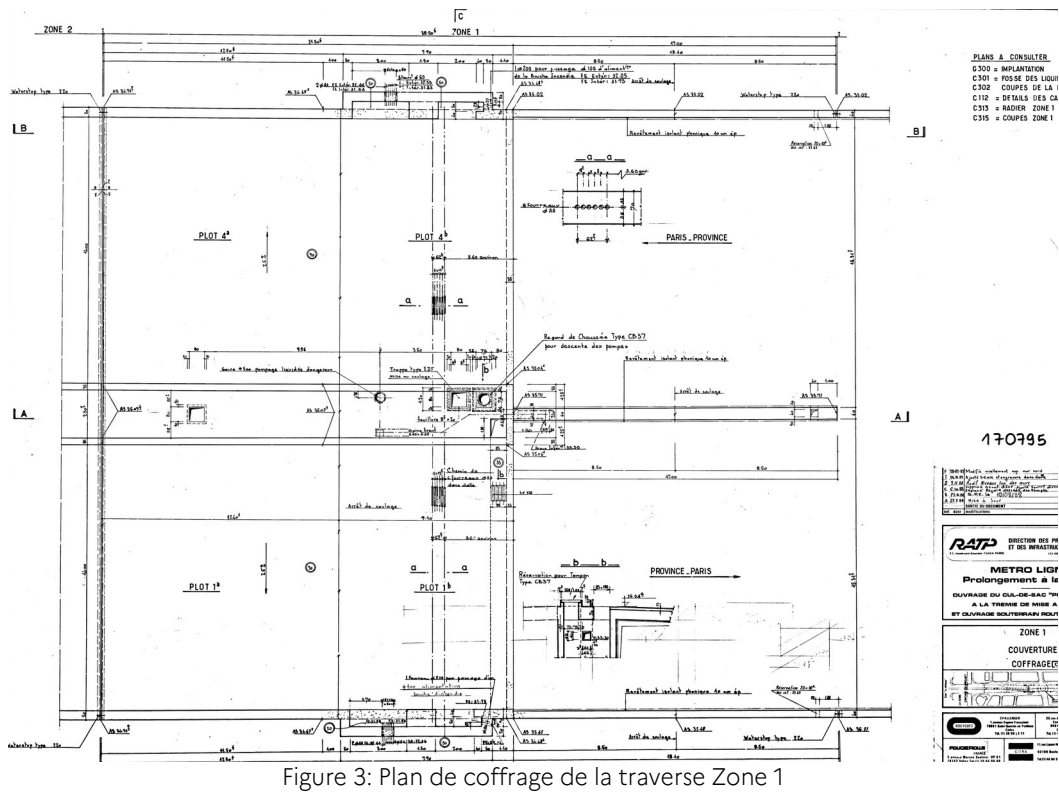


Figure 3: Plan de coffrage de la traverse Zone 1

Les piédroits centraux V3 et V4 sont de 0,35 m d'épaisseur.

Les voiles V1 et V5 de rive ont une épaisseur de 0,50 m.

Les voiles V2 et V7 correspondent aux déports sur les voiles V1 et V5 respectivement.

La dalle a une épaisseur de 70 cm.

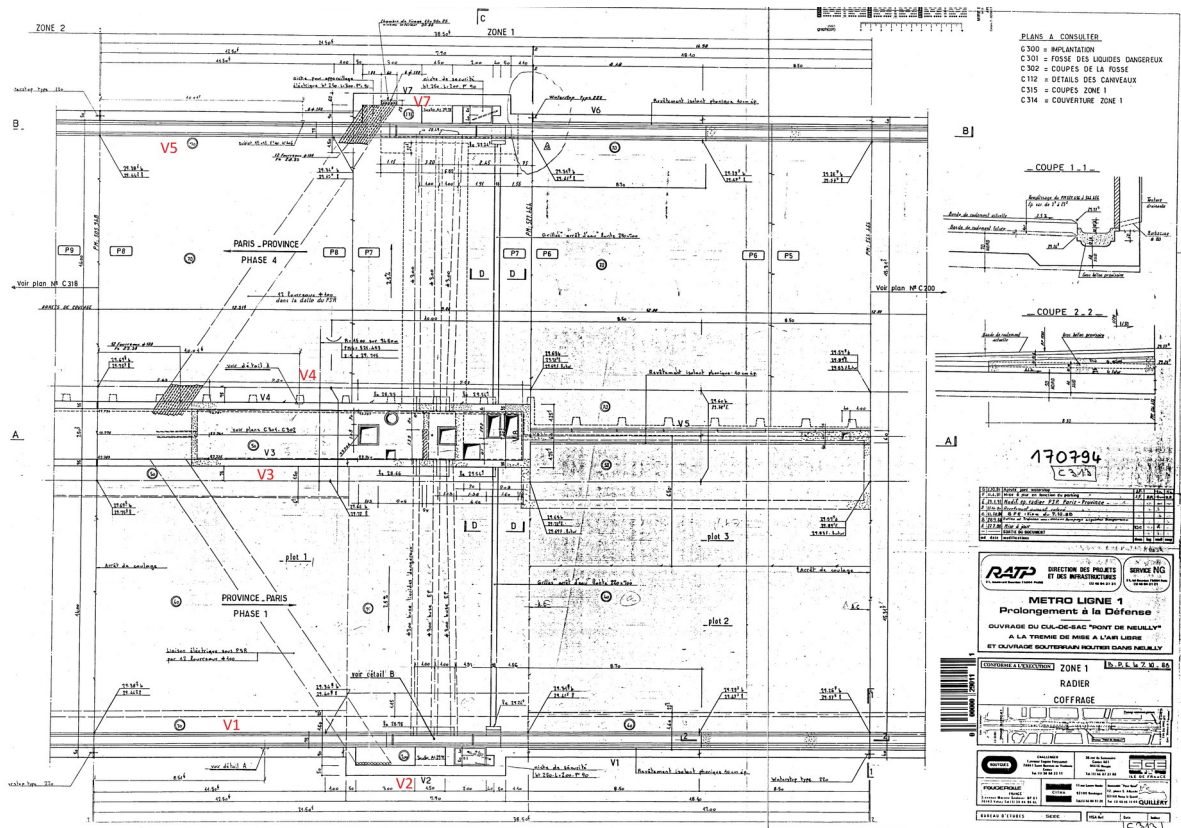


Figure 4: Plan de coffrage du radier Zone 1

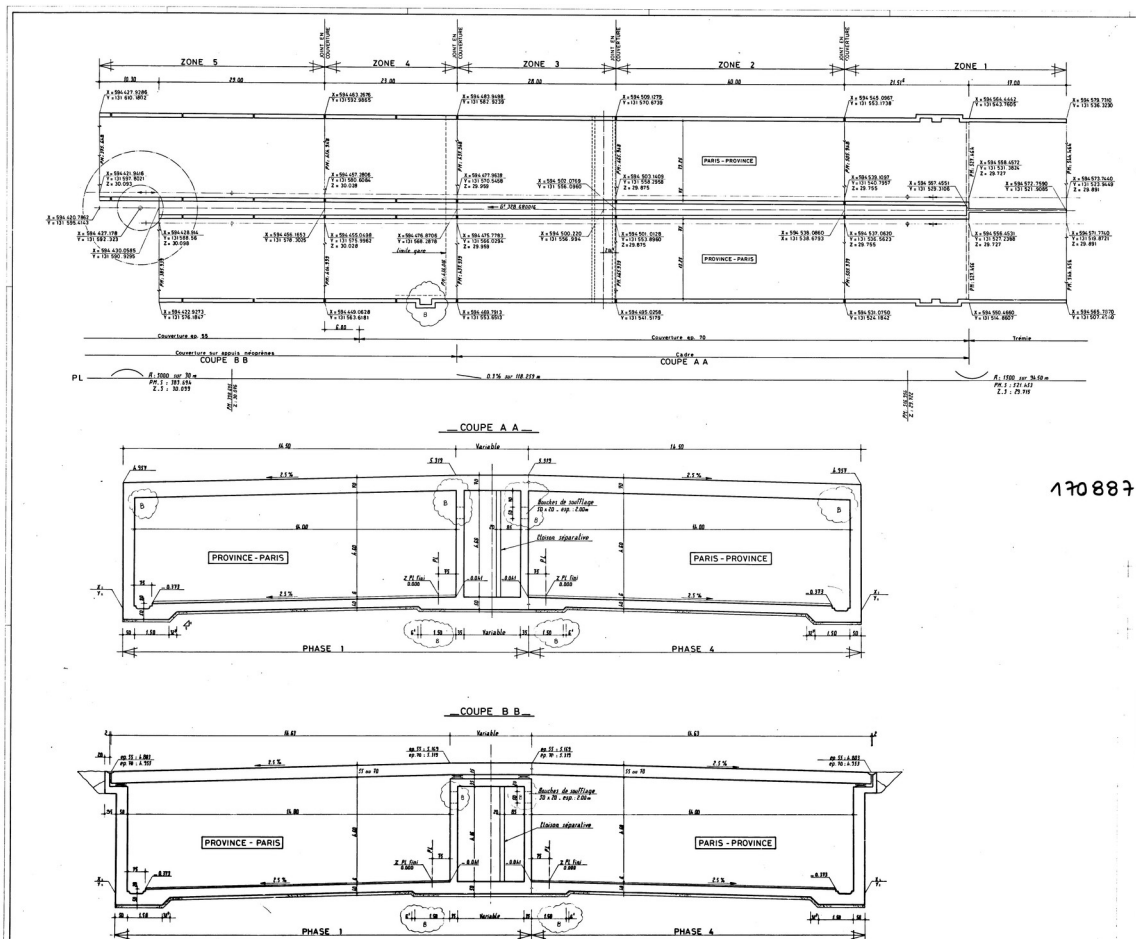


Figure 5: Coupe transversale du cadre en Zone 1 (plan 170888)

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.

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 collecteur de liquides dangereux situé en dessous du radier de la gaine de ventilation et faisant 16,75m de longueur (visible sur le plan 170794_Plan de coffrage du radier ci-dessus, et sur le plan 171232 ci-dessous).

- 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.

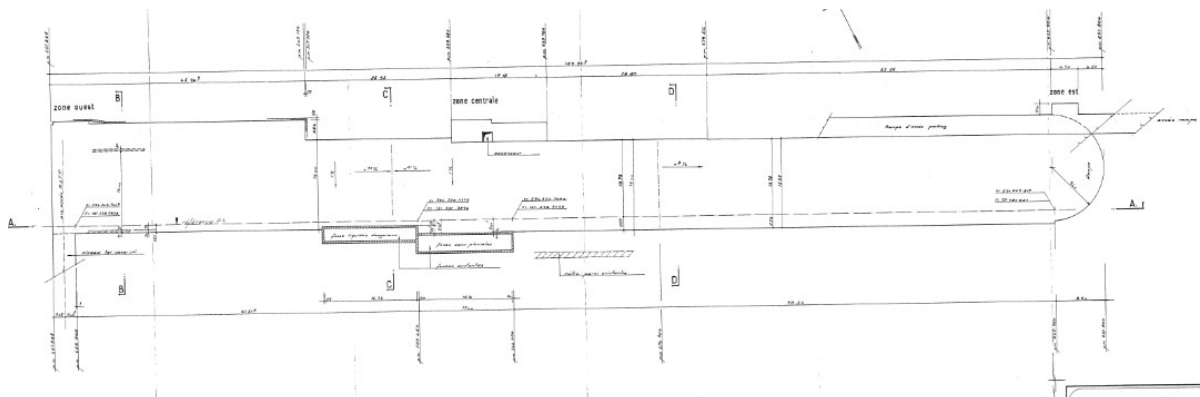


Figure 6: Plan de principe des collecteur liquides dangereux et eaux pluviales_plan 171232

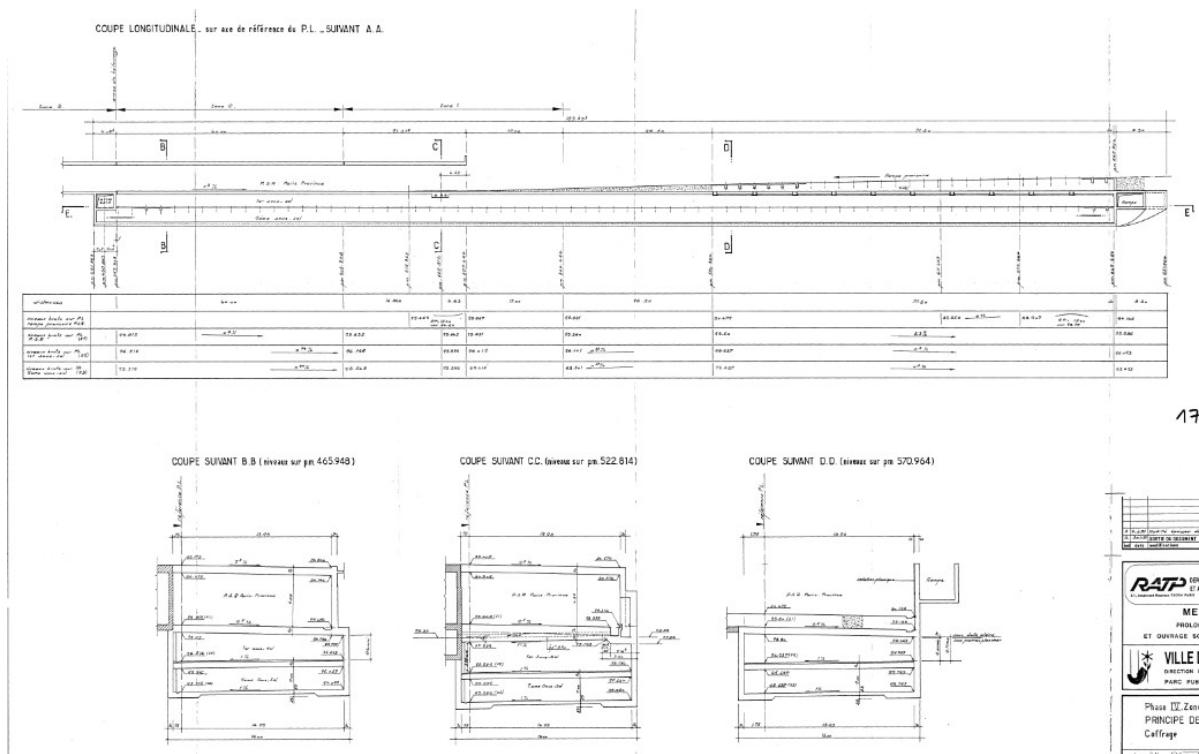


Figure 7: Plan et coupes de principe parking_plan 171233

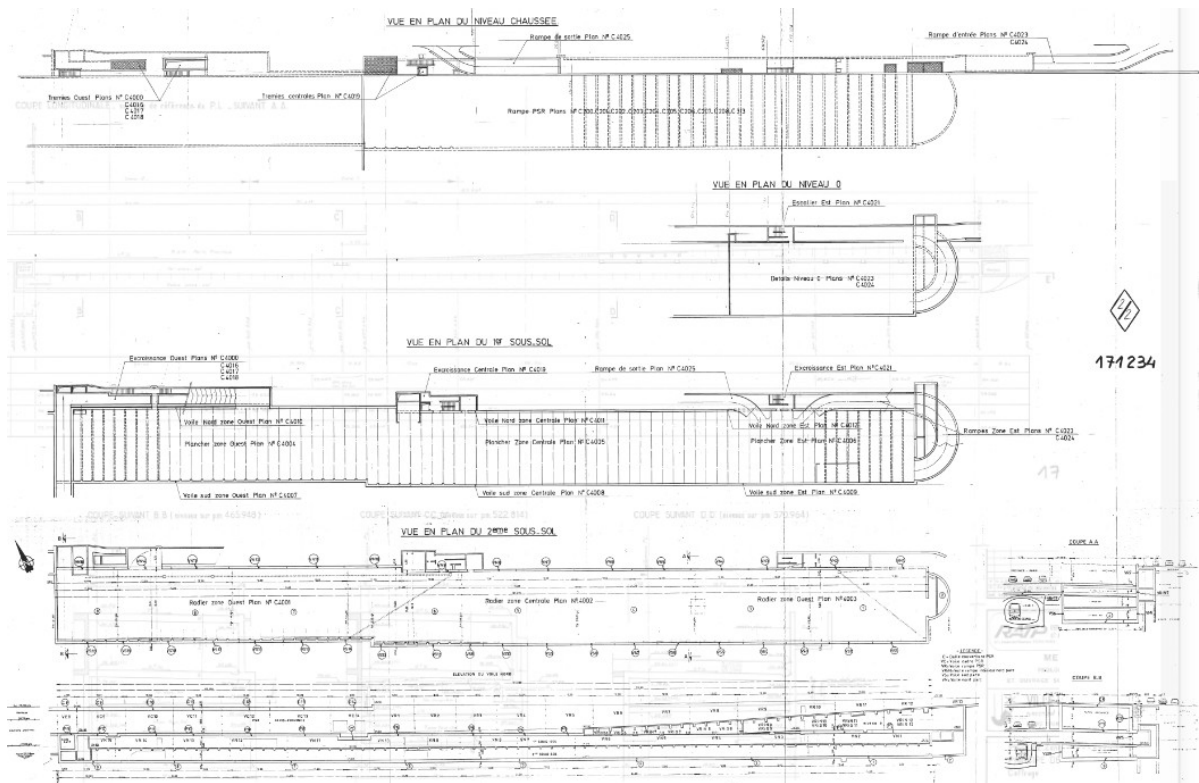


Figure 8: Plan synoptique de repérage_plan 171234

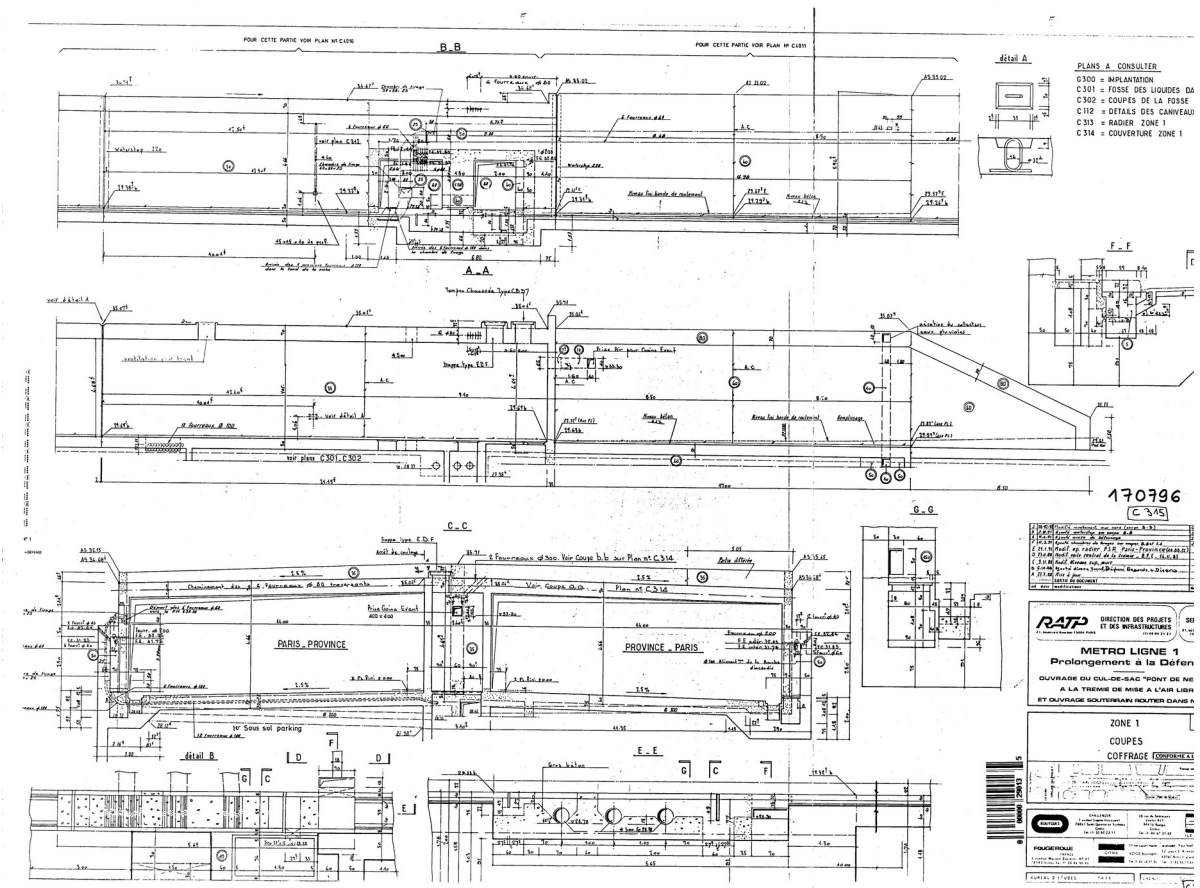


Figure 9: Coupes transversales et longitudinales de la Zone 1

Aménagement de la dalle :

La dalle de la zone 1 est occupée par des jardinières et une zone piétonne.

L'aménagement actuel fait 1158kg/m².



Figure 10: Schéma de l'aménagement actuel de la zone 1

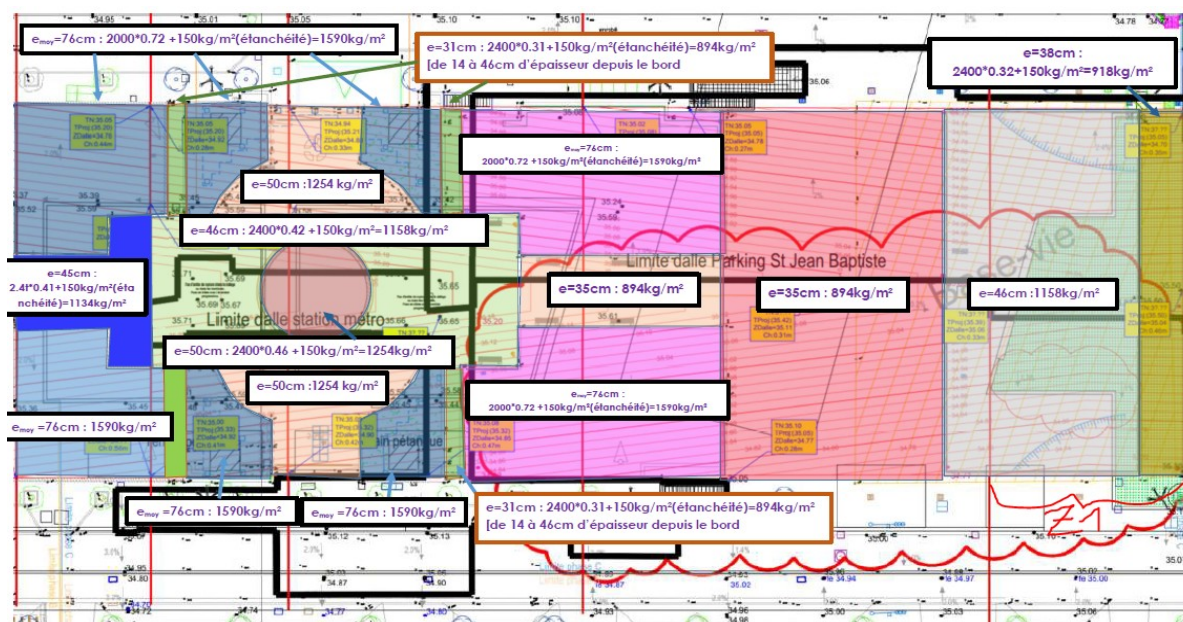


Figure 11: Charges sur l'aménagement actuel en Zone 1

A l'avenir l'aménagement au-dessus de la dalle va évoluer, et sera partagé en une zone de pelouse (830kg/m²) et une zone piétonne (774kg/m²).

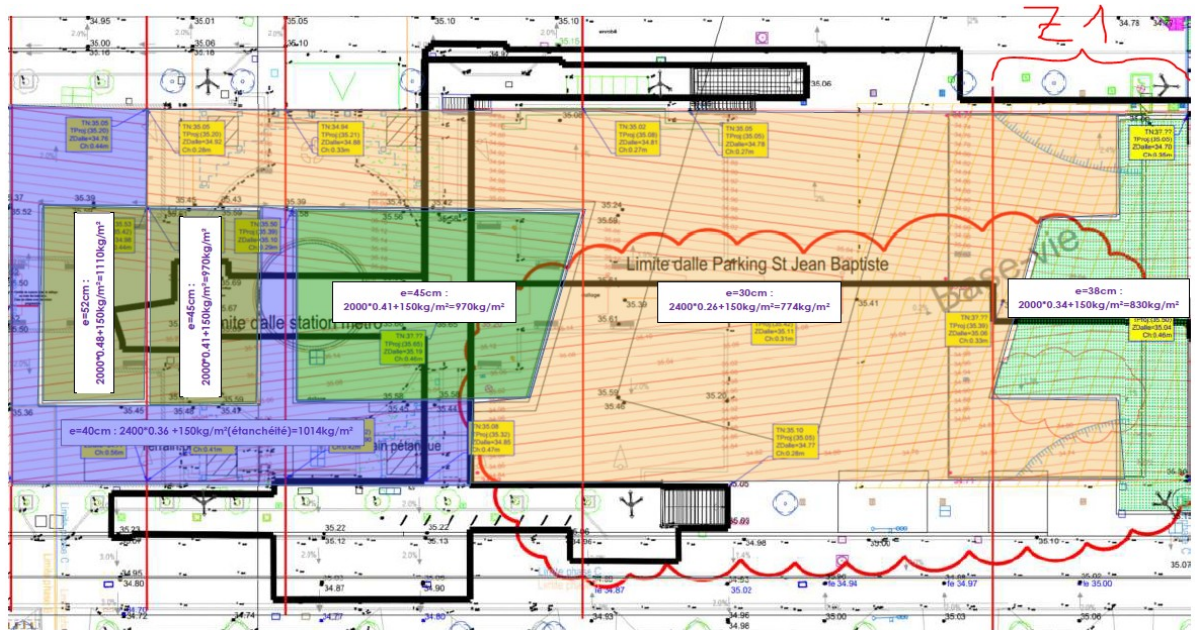


Figure 12: Charges de l'aménagement futur

Le plan ci-dessous n'est pas exhaustif au niveau de l'aménagement futur prévu, en effet, la Ville a prévu d'installer une jardinière plus importante au niveau de la bande bleu ci-dessous. Cette jardinière ferait 5m de large, serait présente sur toute la longueur de la dalle, et ferait environ 1600kg/m².

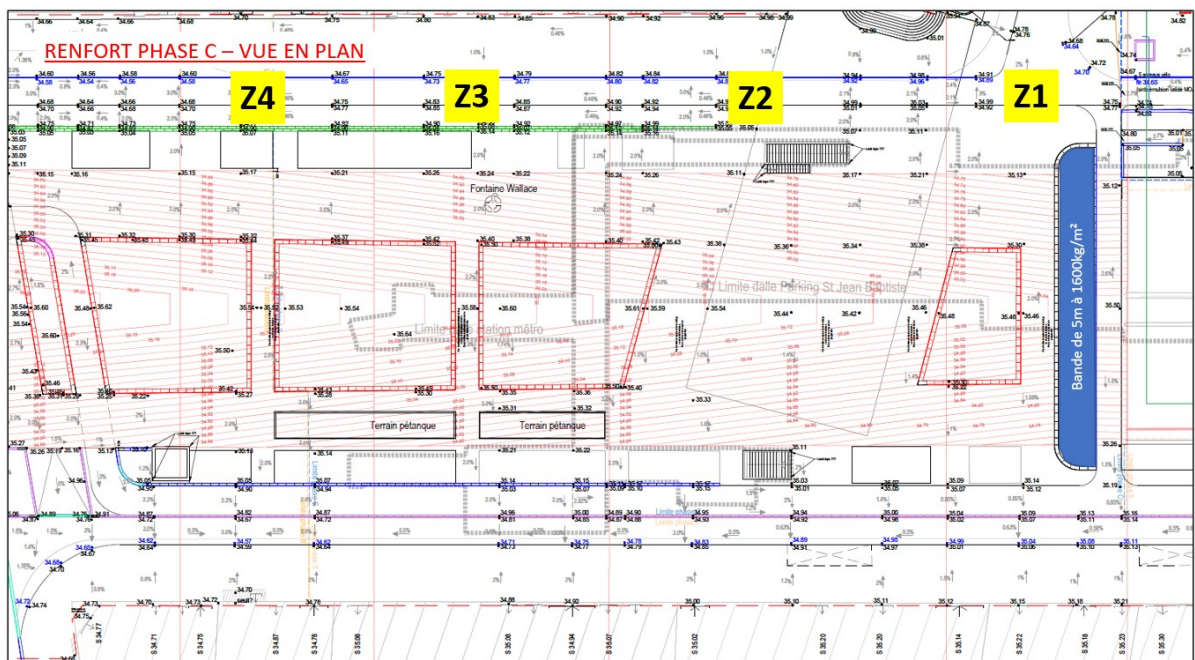


Figure 13: Représentation de la bande de 5m de l'aménagement futur

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).

En travée Nord (sens Paris-La Défense), on observe une fissuration importante, avec notamment des fissures transversales de 0,5 ou 0,6mm au niveau des piédroits.

On observe également l'apparition de fissures longitudinales de 0,2mm entre 2003 et 2009.

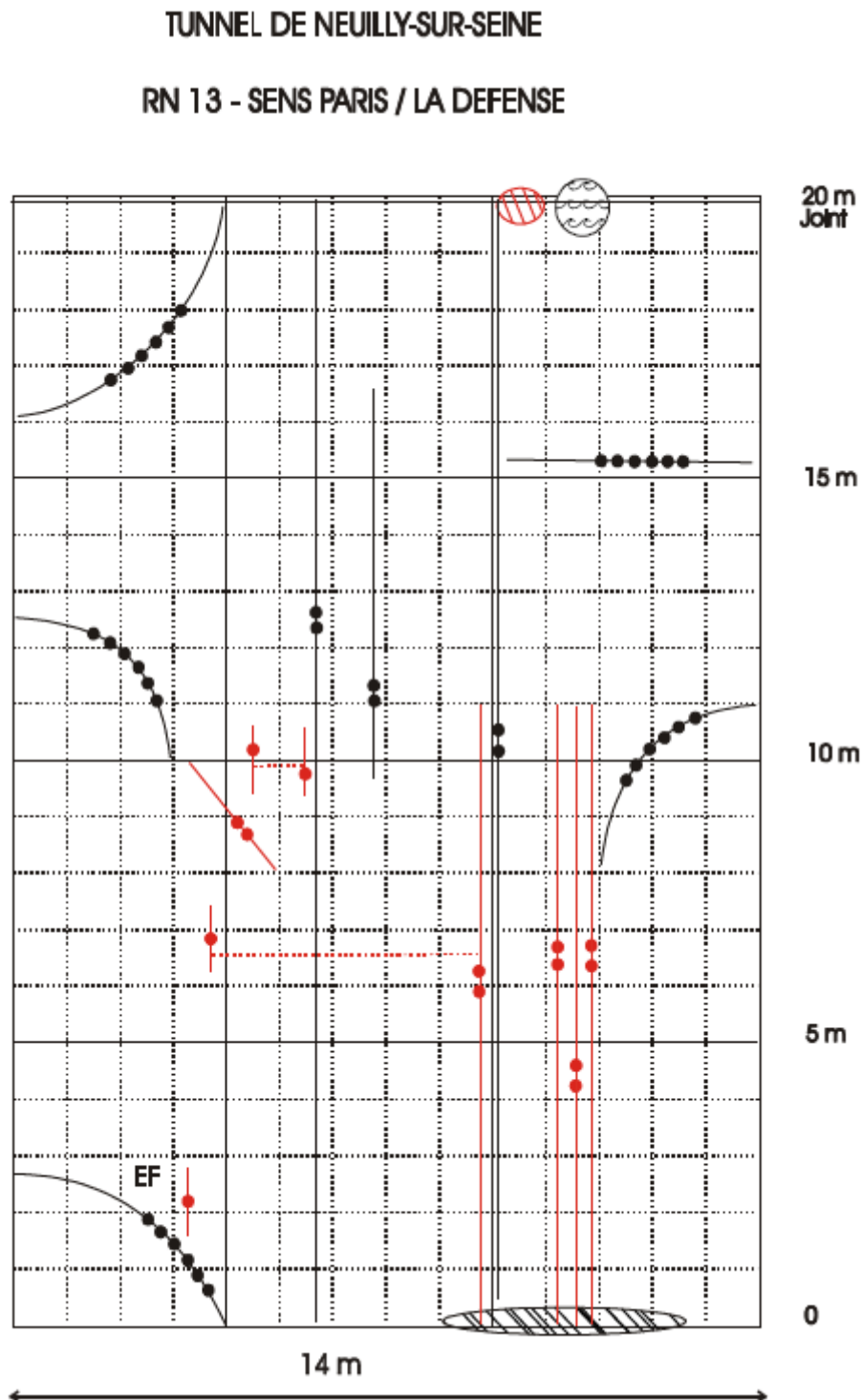


Figure 14: Planche de fissuration travée Nord Zone 1

TUNNEL DE NEUILLY-SUR-SEINE

RN 13 - SENS LA DEFENSE / PARIS

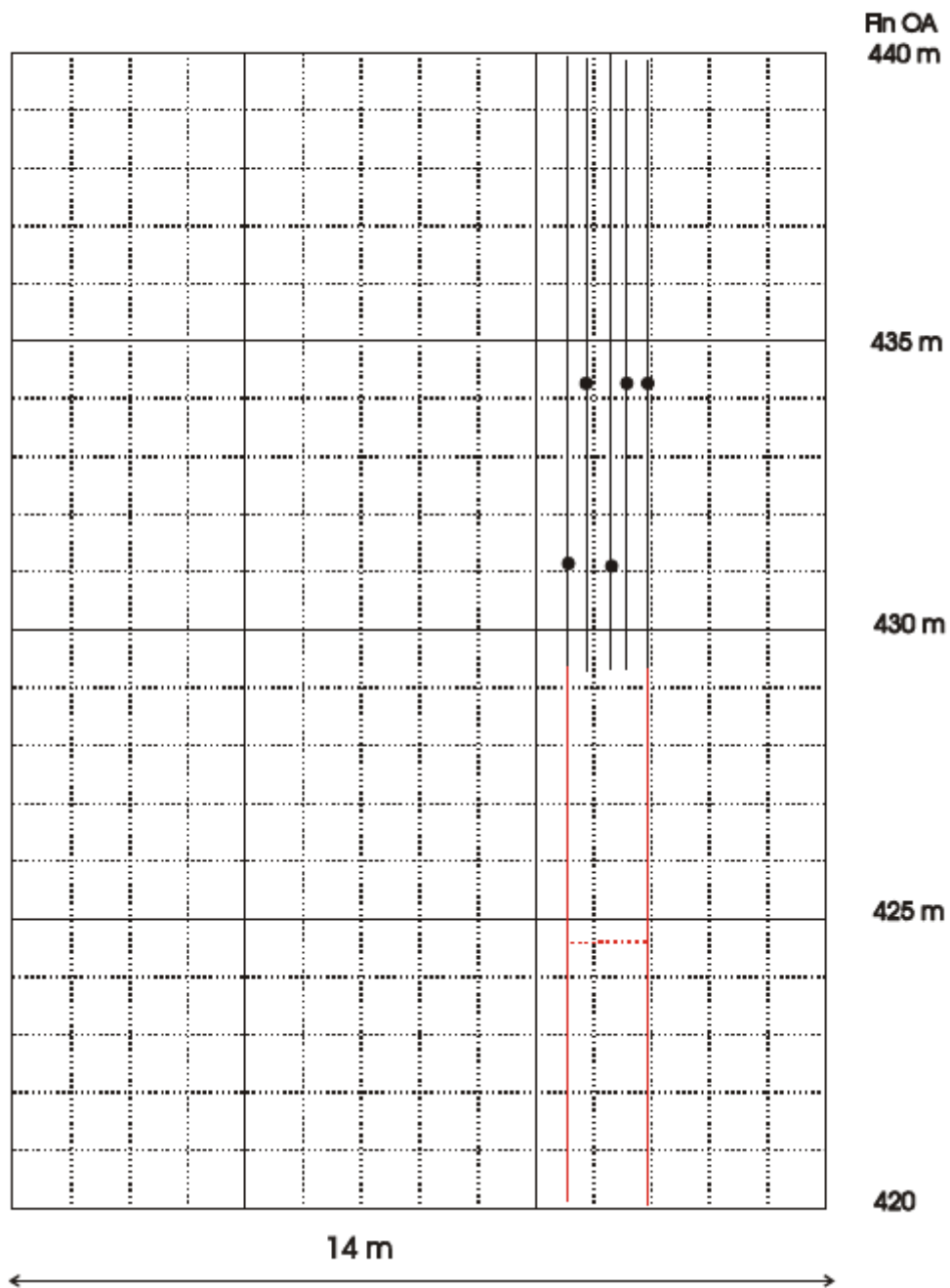


Figure 15: Planche de fissuration travée Sud Zone 1

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 1 est divisée en 4 sections, les deux sections côté Est font 9m de large, les deux sections côté Ouest font 11,50m de large.

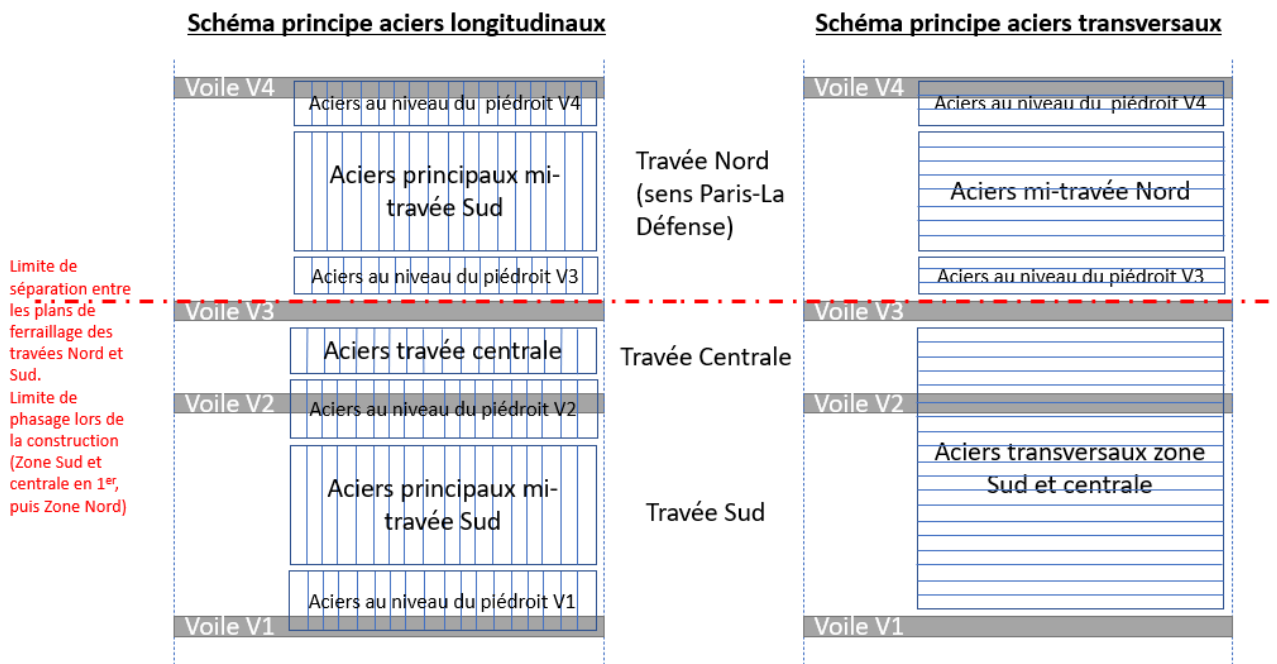
Les sections de la travée Nord sont C14 et C13 (également nommés 4b et 4a sur certains plans).

Les sections de la travée Sud sont 1b et 1a.

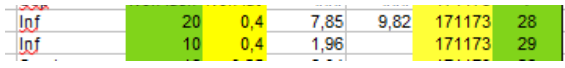
Le ferraillage des sections de la travée Nord est identique, et idem pour la travée Sud.

Les traverses C14 et 1b font 9m de longueur. Les traverses C13 et 1a en font 12,50m.

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

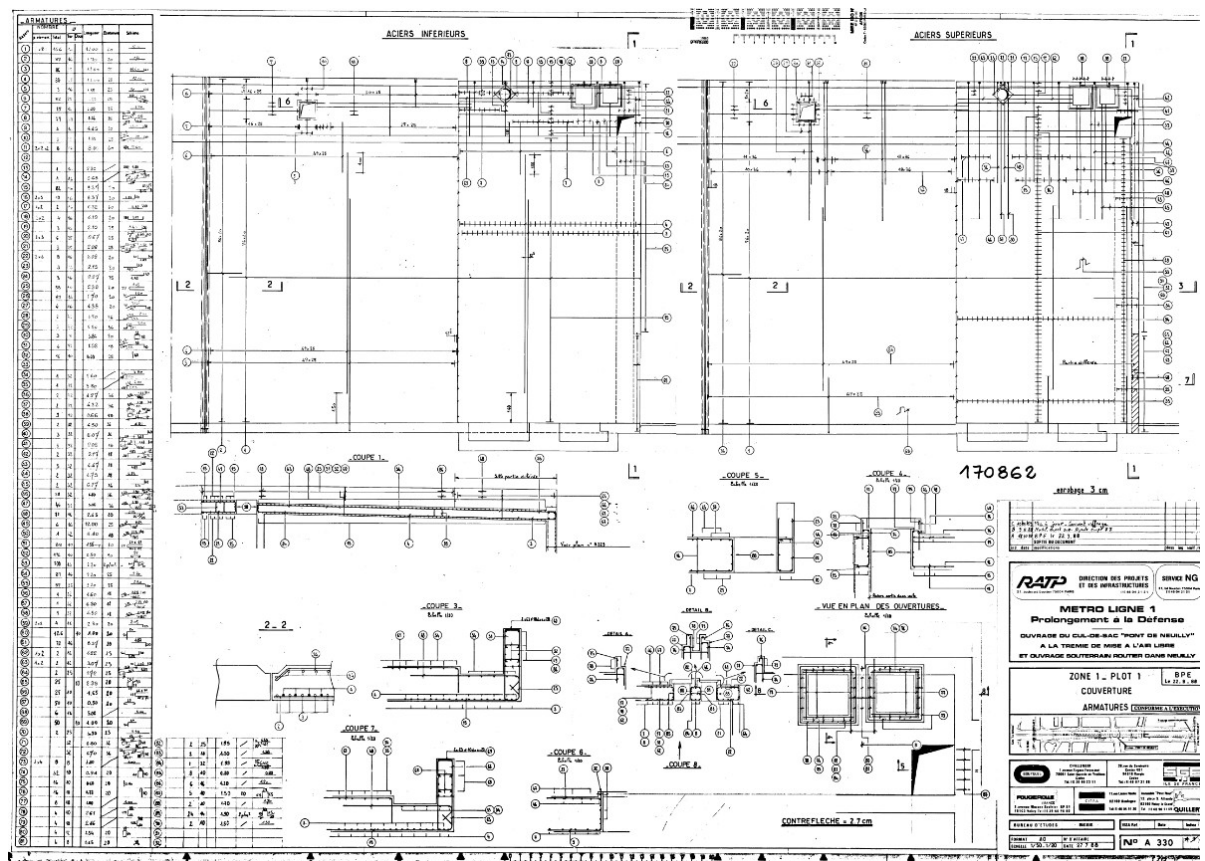


Figure 16: Ferrailage traverse 1b (à droite) et 1a (à gauche)_plan 170862

| Traverses 1b et 1a | | HA | e (en m) | As (en cm²) | plan | Aciers traverse 1b | Aciers 1a |
|---------------------------------|-----------|----|----------|-------------|--------|--------------------|-----------|
| Aciers travée centrale | Sup | 32 | 0,18 | 44,68 | 170862 | 46 et 47 | 10 et 11 |
| | Inf | 16 | 0,25 | 8,04 | 170862 | 7 | 2 |
| | Sup trans | 16 | 0,2 | 10,05 | 170862 | 15 | 6 |
| | Inftrans | 16 | 0,2 | 10,05 | 170862 | 16 | 6 |
| Aciers au niveau du piédroit V2 | Sup | 32 | 0,18 | 44,68 | 170862 | 46 et 47 | 10 et 1 |
| | Inf | 25 | 0,25 | 19,63 | 170862 | 6 | 3 |
| | Sup trans | 16 | 0,2 | 10,05 | 170862 | 48,61 | 6 |
| | Inftrans | 16 | 0,2 | 10,05 | 170862 | 15 | 6 |
| Aciers mi-travée Sud | Sup | 16 | 0,25 | 8,04 | 170862 | 54 | 13 |
| | Inf | 25 | 0,125 | 39,27 | 170862 | 4 et 3 | 4 et 5 |
| | Sup trans | 16 | 0,2 | 10,05 | 170862 | 48,61 | 6 |
| | Inftrans | 16 | 0,2 | 10,05 | 170862 | 15 | 6 |
| Aciers au niveau du piédroit V1 | Sup | 25 | 0,25 | 19,63 | 170862 | 55 | 14 |
| | Inf | 25 | 0,25 | 19,63 | 170862 | 3 | 5 |
| | Sup trans | 16 | 0,2 | 10,05 | 170862 | 48,61 | 6 |
| | Inftrans | 16 | 0,2 | 10,05 | 170862 | 15 | 6 |

Ferrailage nord

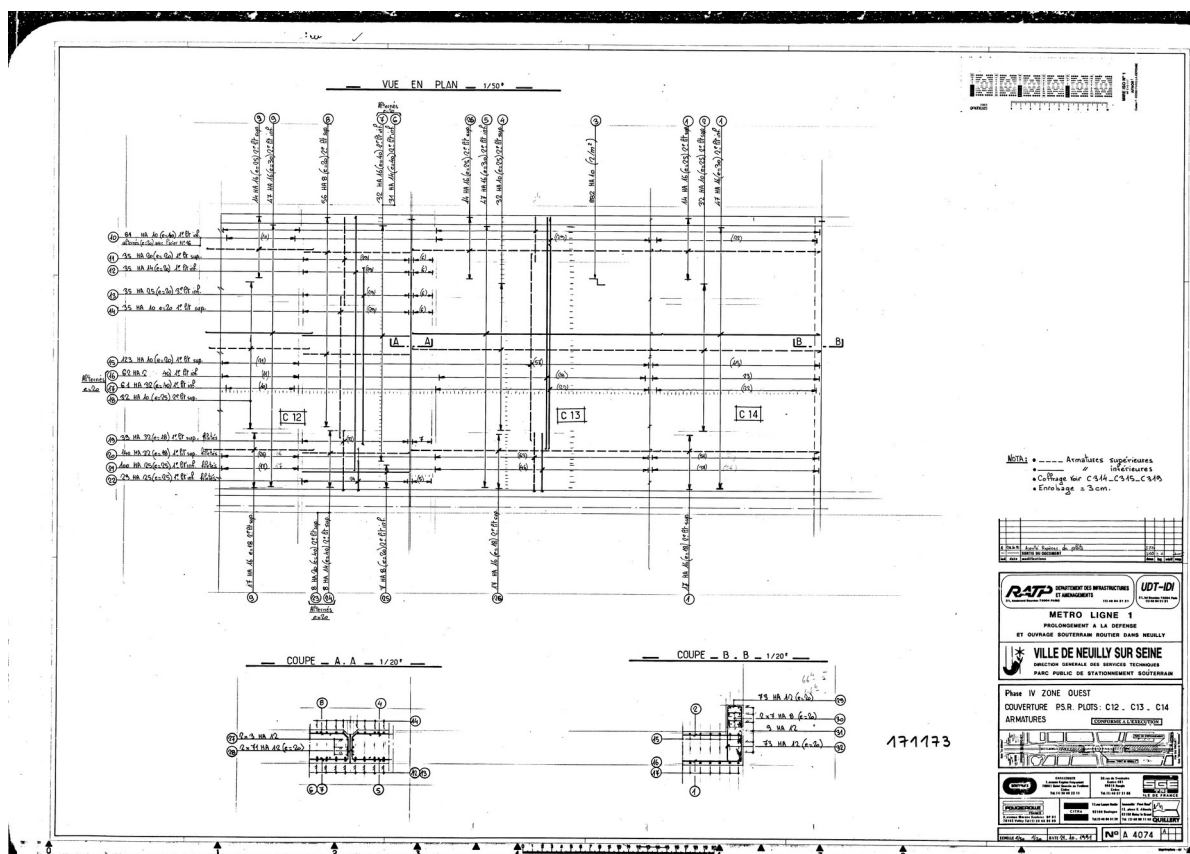


Figure 17: Ferrailage traverse C14 et C13_plan 171173

| Traverses C14 et C13 | HA | e (en m) | As (en cm ²) | As total | plan | Aciers C14 | Aciers C13 |
|---------------------------------|-----------|----------|--------------------------|----------|-------|------------|------------|
| Aciers au niveau du piédroit V4 | Sup | 32 | 0,4 | 20,11 | 32,38 | 171171 | 22 |
| | Sup | 25 | 0,4 | 12,27 | | 171171 | 23 |
| | Inf | 20 | 0,4 | 7,85 | 9,82 | 171173 | 22 |
| | Inf | 10 | 0,4 | 1,96 | | 171173 | 23 |
| | Sup trans | 16 | 0,25 | 8,04 | | 171173 | 1 |
| | Inf trans | 16 | 0,3 | 6,70 | | 171173 | 1 |
| Aciers mi-travée Nord | Sup | 10 | 0,2 | 3,93 | | 171173 | 45 |
| | Inf | 20 | 0,4 | 7,85 | 27,96 | 171173 | 22 |
| | Inf | 32 | 0,4 | 20,11 | | 171173 | 23 |
| | Sup trans | 10 | 0,25 | 3,14 | | 171173 | 2 |
| | Inf trans | 16 | 0,3 | 6,70 | | 171173 | 1 |
| | Inf trans | 16 | 0,3 | 6,70 | | 171173 | 5 |
| Aciers au niveau du piédroit V3 | Sup | 32 | 0,18 | 44,68 | | 171173 | 51 |
| | Inf | 25 | 0,25 | 19,63 | | 171173 | 37 |
| | Sup trans | 16 | 0,18 | 11,17 | | 171173 | 1 |
| | Inf trans | 16 | 0,3 | 6,70 | | 171173 | 1 |

Ferrailage Voiles

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

Voile V1 et déport V2

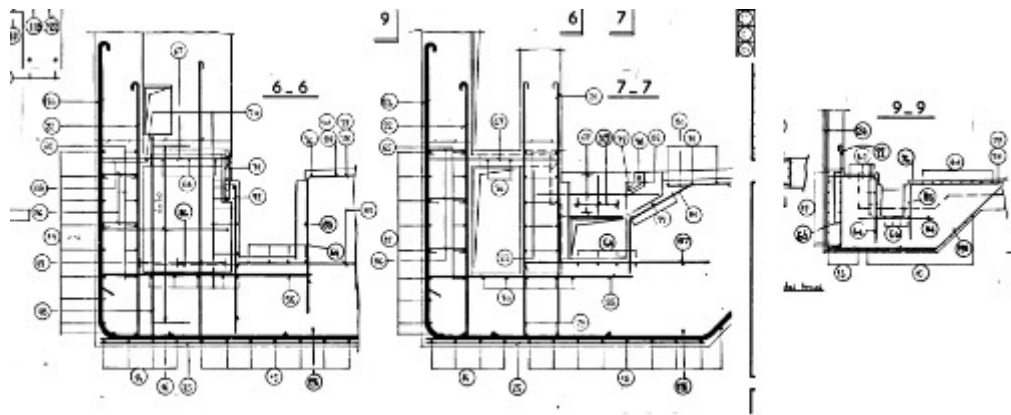


Figure 18: Attentes jonction V1 ou déport V2 avec radier (plot 1 côté droit)_plan 170860

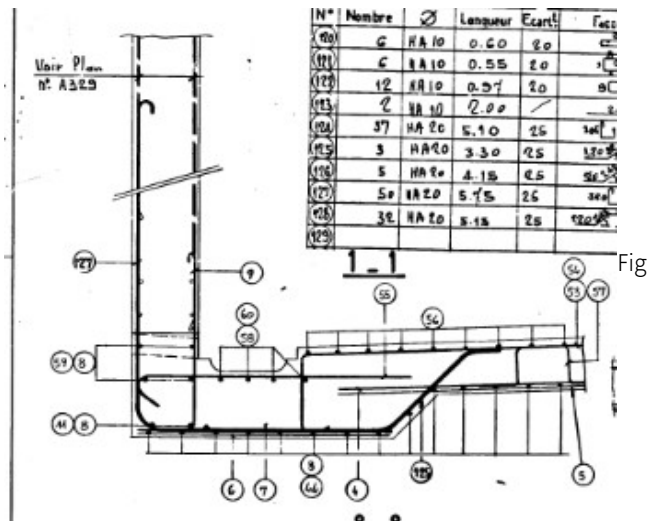


Figure 19: Attentes jonction V1 et radier (plot 1 côté gauche)_plan 170860

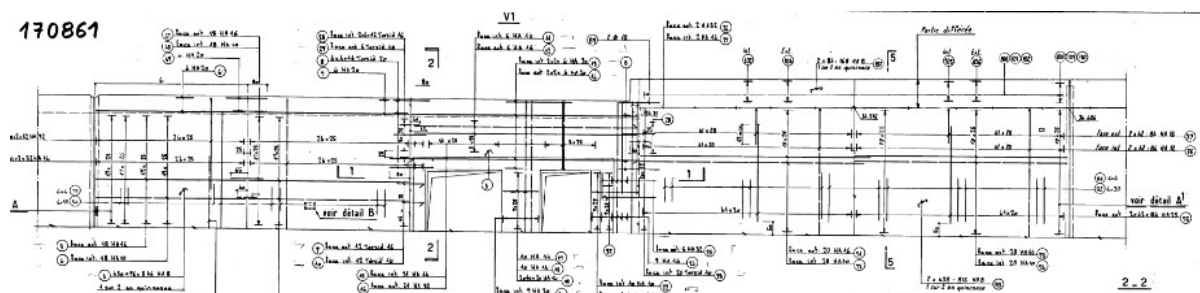


Figure 20: Voile V1 et déport V2

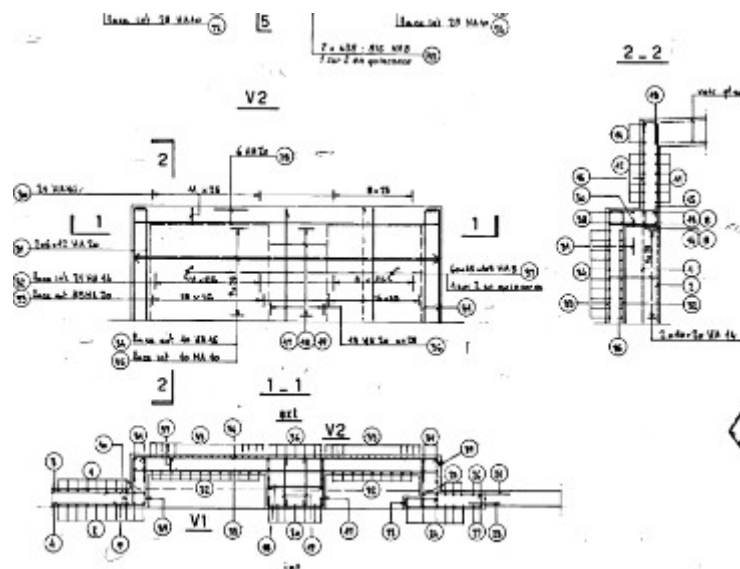


Figure 21: Déport V2 coupes

| V1 et déport V2 | | | HA | e en m | As cm ² | plan | aciers |
|------------------------|--------------------------------|--------------|----|--------|--------------------|--------|---------|
| Zone sans déport | Haut du voile et liaison dalle | Ext | 32 | 0,25 | 32,17 | 170861 | 1.25 |
| | | Int | 14 | 0,25 | 6,16 | 170861 | 2.24 |
| | | Ext trans | 20 | 0,4 | 7,85 | 170861 | 13 |
| | | Int trans | 20 | 0,4 | 7,85 | 170861 | 14 |
| | Milieu et bas du voile | Ext | 32 | 0,25 | 32,17 | 170861 | 1.11 |
| | | Int | 14 | 0,25 | 6,16 | 170861 | 2.12 |
| | | Ext trans | 16 | 0,25 | 8,04 | 170861 | 50.3 |
| | | Int trans | 10 | 0,25 | 3,14 | 170861 | 51.4 |
| | | Epingles | 8 | 0,5 | 1,01 | 170861 | 5 |
| | | Ext | 32 | 0,25 | 32,17 | 170861 | 16 |
| Au niveau du Déport V2 | Haut du voile | Int | 14 | 0,25 | 6,16 | 170861 | 15 |
| | | Ext trans | 16 | 0,25 | 8,04 | 170861 | 12 |
| | | Int trans | 10 | 0,25 | 3,14 | 170861 | 11 |
| | | Ext | 20 | 0,16 | 19,63 | 170861 | 33 |
| | | Int | 14 | 0,25 | 6,16 | 170861 | 30 |
| | Zone horizontale | Ext trans | 20 | 0,4 | 7,85 | 170861 | 8.13.38 |
| | | Int trans | 20 | 0,4 | 7,85 | 170861 | 8.13.38 |
| | | Ext | 20 | 0,16 | 19,63 | 170861 | 33 |
| | | Int | 14 | 0,25 | 6,16 | 170861 | 32 |
| | | Ext trans | 16 | 0,25 | 8,04 | 170861 | 34 |
| | Milieu et bas du voile | Int trans | 10 | 0,25 | 3,14 | 170861 | 35 |
| | | Epingles | 8 | 0,5 | 1,01 | 170861 | 5 |
| | Liaison avec radier | Attentes Ext | 20 | 0,25 | 12,57 | 170860 | 124.127 |
| | | Attentes Int | 14 | 0,25 | 6,16 | 170860 | 22.9 |

Voiles centraux V3 (Sud) et V4 (Nord)

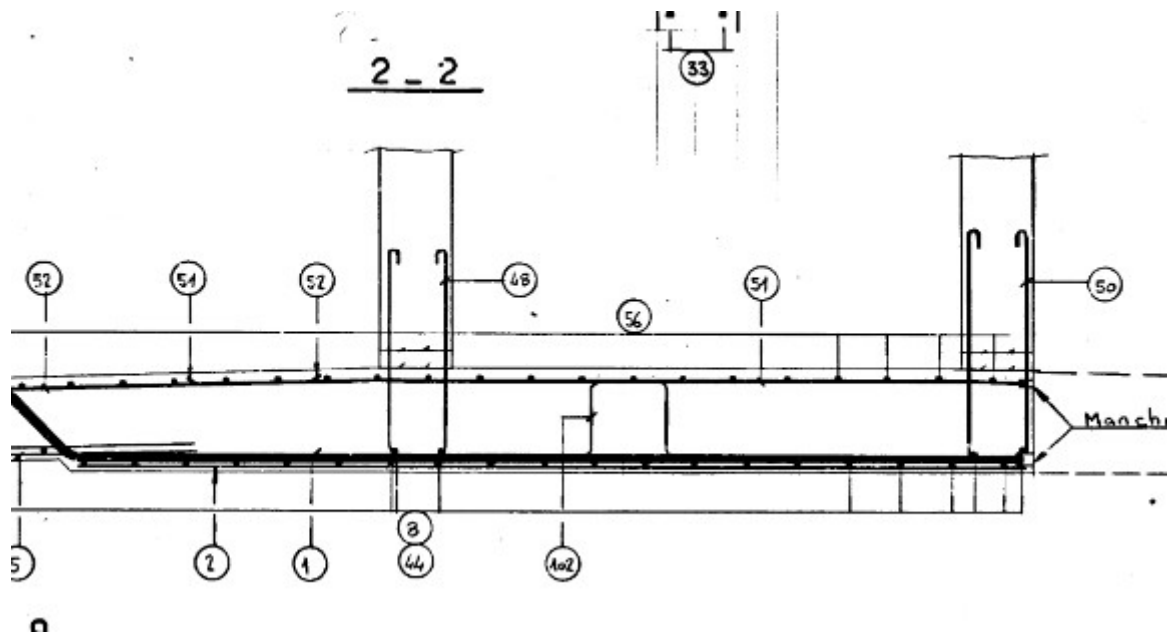


Figure 22: Attentes jonction V3 et V4 avec radier (plot1)_plan 170860

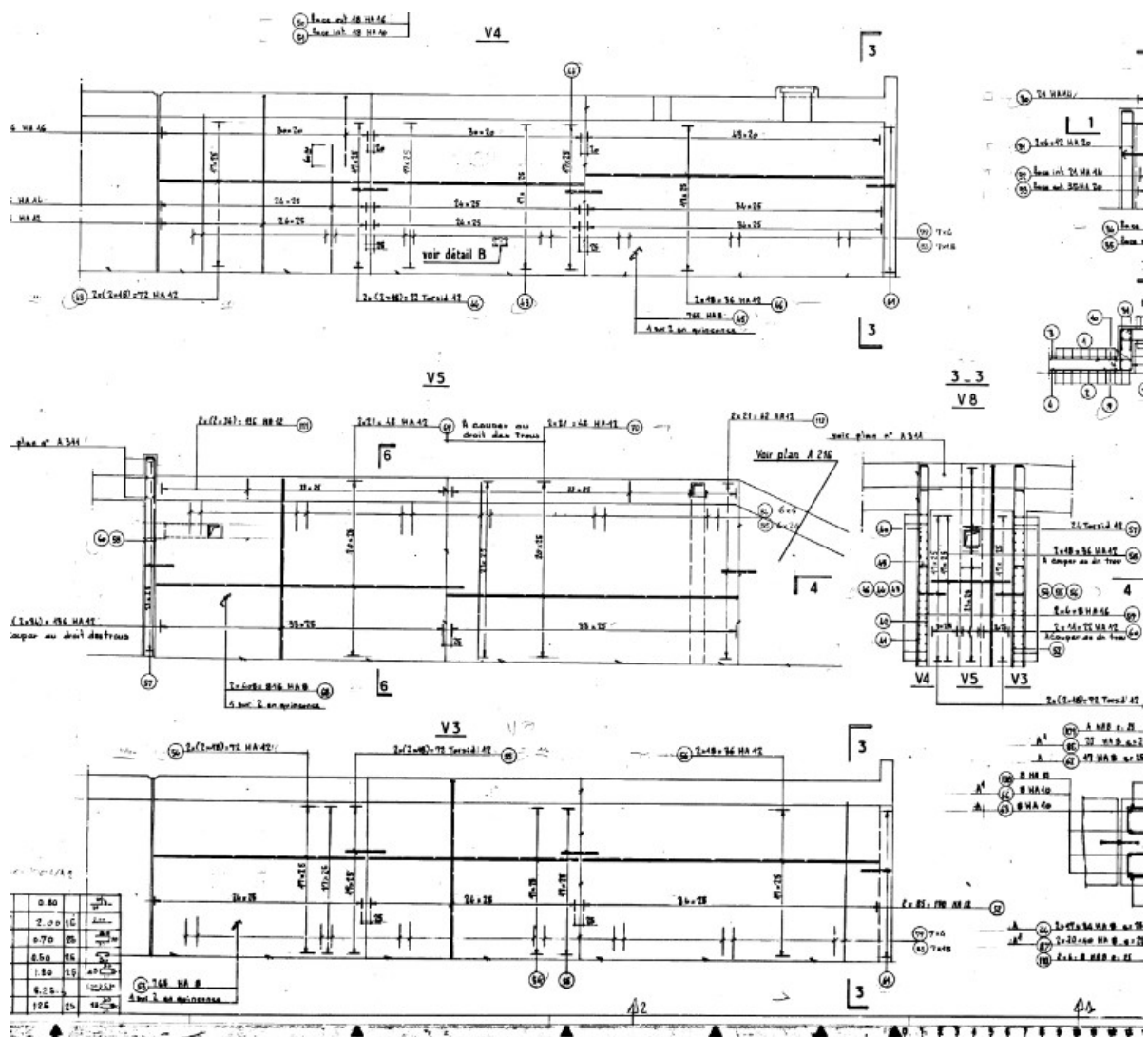


Figure 23: Voiles V3 et V4

| V3 | | HA | e en m | As cm ² | plan | aciers |
|---------------------|--------------|----|--------|--------------------|--------|----------|
| Liaison dalle | Ext | 12 | 0,25 | 4,52 | 170861 | 52 |
| | Int | 12 | 0,25 | 4,52 | 170861 | 52 |
| | Ext | 12 | 0,25 | 4,52 | 170861 | 52 |
| | Int | 12 | 0,25 | 4,52 | 170861 | 52 |
| Tout le voile | Ext trans | 12 | 0,25 | 4,52 | 170861 | 54.55.56 |
| | Int trans | 12 | 0,25 | 4,52 | 170861 | 54.55.56 |
| | Epingles | 8 | 0,5 | 1,01 | 170861 | 53 |
| Liaison avec radier | Attentes Ext | 12 | 0,25 | 4,52 | 170860 | 48 |
| | Attentes Int | 12 | 0,25 | 4,52 | 170860 | 48 |

| V4 | | HA | e en m | As cm ² | plan | aciers |
|---------------------|--------------|----|--------|--------------------|--------|----------|
| Liaison dalle | Ext | 16 | 0,2 | 10,05 | 170861 | 40 |
| | Int | 12 | 0,25 | 4,52 | 170861 | 42 |
| | Ext | 14 | 0,25 | 6,16 | 170861 | 41 |
| | Int | 12 | 0,25 | 4,52 | 170861 | 42 |
| Tout le voile | Ext trans | 12 | 0,25 | 4,52 | 170861 | 43.44.46 |
| | Int trans | 12 | 0,25 | 4,52 | 170861 | 43.44.46 |
| | Epingles | 8 | 0,5 | 1,01 | 170861 | 45 |
| Liaison avec radier | Attentes Ext | 14 | 0,25 | 6,16 | 170860 | 50 |
| | Attentes Int | 14 | 0,25 | 6,16 | 170860 | 50 |

Voile VC13 (=voile V5 gauche) et VC14 (=voile V5 droite)

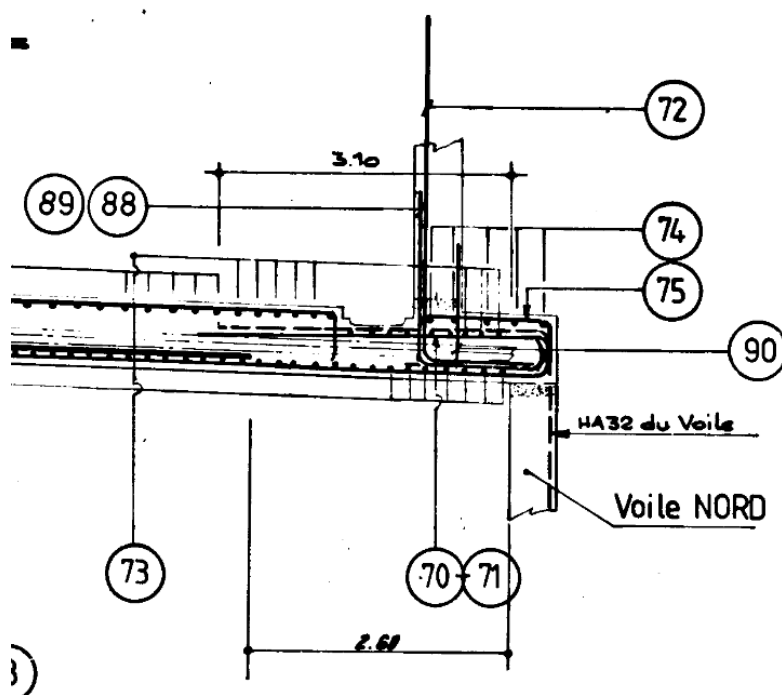


Figure 24: Liaison VC13 avec radier_plan 171186

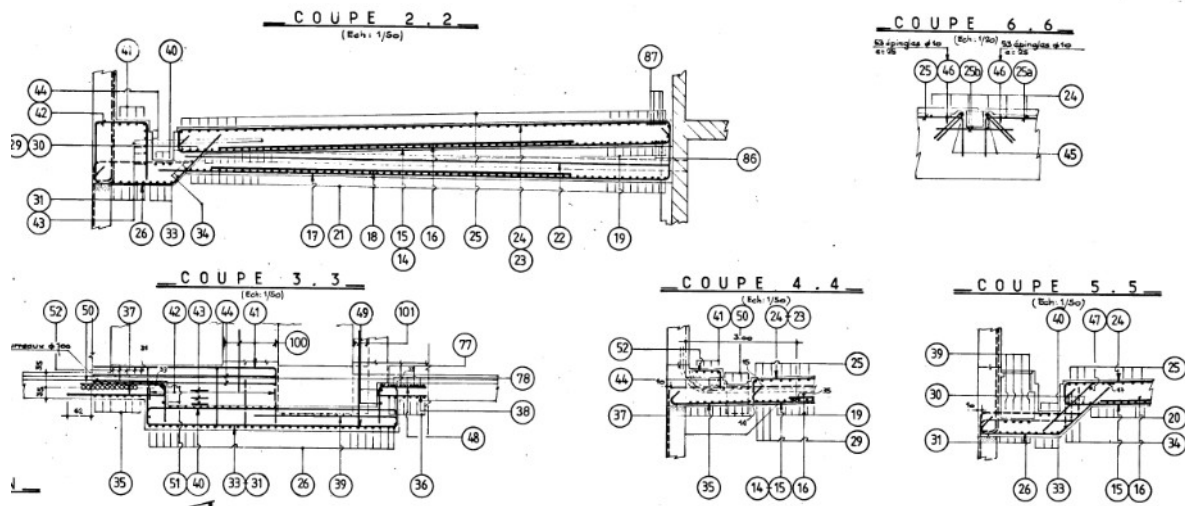


Figure 25: Liaison VC14 avec radier

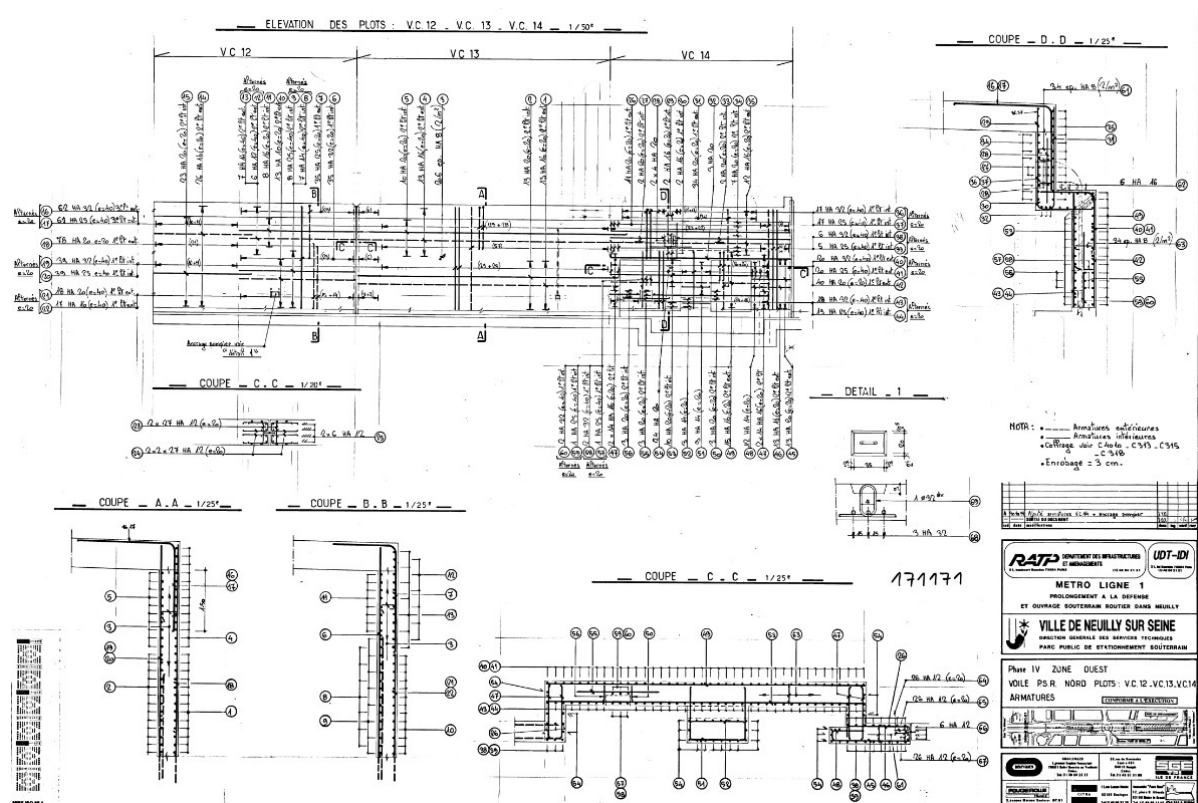
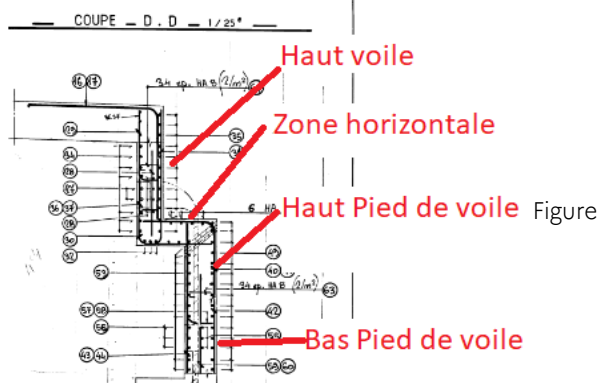


Figure 26: Voile VC13 et VC14 (=déport V7)



27: Zones du voile en cas de déport (V2 ou V7)

| VC13 | | HA | e en m | As cm² | As total | plan | aciers |
|---------------------|---------------------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|
| Liaison dalle | Liaison dalle (Ext) | 32 | 0,4 | 20,11 | 32,38 | 171171 | 16 |
| | Liaison dalle (Ext) | 25 | 0,4 | 12,27 | | 171171 | 17 |
| | Liaison dalle (Int) | 32 | 0,4 | 20,11 | 32,38 | 171171 | 19 |
| | Liaison dalle (Int) | 25 | 0,4 | 12,27 | | 171171 | 20 |
| Haut du voile | Ext | 32 | 0,2 | 40,21 | 72,59 | 171171 | 18 |
| | Ext | 32 | 0,4 | 20,11 | | 171171 | 16 |
| | Ext | 25 | 0,4 | 12,27 | | 171171 | 17 |
| | Int | 32 | 0,4 | 20,11 | 32,38 | 171171 | 19 |
| | Int | 25 | 0,4 | 12,27 | | 171171 | 20 |
| | Ext trans | 16 | 0,2 | 10,05 | | 171171 | 1.4 |
| | Int trans | 20 | 0,2 | 15,71 | | 171171 | 2.5 |
| | Epingles | 8 2/m² | | | | 171171 | 3 |
| | Ext | 32 | 0,2 | 40,21 | | 171171 | 18 |
| Milieu du voile | Int | 32 | 0,4 | 20,11 | 32,38 | 171171 | 19 |
| | Int | 25 | 0,4 | 12,27 | | 171171 | 20 |
| | Ext trans | 16 | 0,2 | 10,05 | | 171171 | 1.4 |
| | Int trans | 20 | 0,2 | 15,71 | | 171171 | 2.5 |
| | Epingles | 8 2/m² | | | | 171171 | 3 |
| | Ext | 32 | 0,2 | 40,21 | | 171171 | 18 |
| Liaison avec radier | Attentes Ext | 20 | 0,2 | 15,71 | | 171186 | 90 |
| | Attentes Int | 32 | 0,4 | 20,11 | 72,59 | 171186 | 88 |
| | Attentes Int | 25 | 0,4 | 12,27 | | 171186 | 89 |
| | Attentes Int | 32 | 0,2 | 40,21 | | 171186 | 72 |

| VC14 zone avec déport (=V7) | | HA | e en m | As cm² | As total | plan | aciers |
|-----------------------------|----------------------|--------|--------|--------|----------|--------|----------|
| Liaison dalle | Liaison dalle (Ext) | 32 | 0,4 | 20,11 | 32,38 | 171171 | 16 |
| | Liaison dalle (Ext) | 25 | 0,4 | 12,27 | | 171171 | 17 |
| | Liaison dalle (Int) | 16 | 0,2 | 10,05 | | 171171 | 29 |
| Haut voile | Ext | 20 | 0,2 | 15,71 | 48,09 | 171171 | 31 |
| | Ext | 32 | 0,4 | 20,11 | | 171171 | 16 |
| | Ext | 25 | 0,4 | 12,27 | | 171171 | 17 |
| | Int | 32 | 0,4 | 20,11 | 32,38 | 171171 | 36 |
| | Int | 25 | 0,4 | 12,27 | | 171171 | 37 |
| | Ext trans | 16 | 0,2 | 10,05 | | 171171 | 35 |
| | Int trans | 20 | 0,2 | 15,71 | | 171171 | 27.33.34 |
| | Epingles | 8 2/m² | | | | 171171 | 61 |
| | Ext | 32 | 0,4 | 20,11 | 32,38 | 171171 | 40 |
| Zone horizontale | Ext | 25 | 0,4 | 12,27 | | 171171 | 41 |
| | Int | 16 | 0,2 | 10,05 | | 171171 | 30 |
| | Ext trans | 16 | 0,2 | 10,05 | | 171171 | 62 |
| | Int trans | 20 | 0,2 | 15,71 | | 171171 | 32 |
| | Ext | 32 | 0,4 | 20,11 | 32,38 | 171171 | 40 |
| Haut Pied de voile | Ext | 25 | 0,4 | 12,27 | | 171171 | 41 |
| | Int | 32 | 0,4 | 20,11 | 32,38 | 171171 | 43 |
| | Int | 25 | 0,4 | 12,27 | | 171171 | 44 |
| | Ext trans | 16 | 0,2 | 10,05 | | 171171 | 49 |
| | Int trans | 20 | 0,2 | 15,71 | | 171171 | 53 |
| | Epingles | 8 2/m² | | | | 171171 | 63 |
| Bas Pied de voile | Ext | 32 | 0,4 | 20,11 | 32,38 | 171171 | 40 |
| | Ext | 25 | 0,4 | 12,27 | | 171171 | 41 |
| | Int | 32 | 0,4 | 20,11 | 32,38 | 171171 | 43 |
| | Int | 25 | 0,4 | 12,27 | | 171171 | 44 |
| | Ext trans | 16 | 0,2 | 10,05 | | 171171 | 49 |
| | Int trans | 20 | 0,2 | 15,71 | | 171171 | 53 |
| | Epingles | 8 2/m² | | | | 171171 | 63 |
| Liaison avec radier | Attentes Ext coupe 5 | 25 | 0,2 | 24,54 | | 171186 | 26 |
| | Attentes Ext coupe 2 | 32 | 0,4 | 20,11 | | 171186 | 42 |
| | Attentes Int coupe 2 | 25 | 0,2 | 24,54 | | 171186 | 26 |
| | Attentes Ext coupe 4 | 20 | 0,2 | 15,71 | | 171186 | 35 |

| VC14 zone sans déport (=V5) | | HA | e en m | As cm ² | As total | plan | aciers |
|-----------------------------|----------------------|----|--------------------|--------------------|----------|-------|-----------------|
| Liaison dalle | Liaison dalle (Ext) | | 32 | 0,4 | 20,11 | 32,38 | 171171 16 |
| | Liaison dalle (Ext) | | 25 | 0,4 | 12,27 | | 171171 17 |
| Haut voile | Ext | | 20 | 0,2 | 15,71 | 48,09 | 171171 26 |
| | Ext | | 32 | 0,4 | 20,11 | | 171171 16 |
| | Ext | | 25 | 0,4 | 12,27 | | 171171 17 |
| | Int | | 32 | 0,4 | 20,11 | 40,21 | 171171 38 |
| | Int | | 32 | 0,4 | 20,11 | | 171171 39 |
| | Ext trans | | 16 | 0,2 | 10,05 | | 171171 35 |
| | Int trans | | 20 | 0,2 | 15,71 | | 171171 27.33.34 |
| | Ext | | 20 | 0,2 | 15,71 | | 171171 26 |
| Milieu voile | Int | | 32 | 0,4 | 20,11 | 40,21 | 171171 38 |
| | Int | | 32 | 0,4 | 20,11 | | 171171 39 |
| | Ext trans | | 16 | 0,2 | 10,05 | | 171171 35 |
| | Int trans | | 20 | 0,2 | 15,71 | | 171171 27.33.34 |
| | Ext | | 20 | 0,2 | 15,71 | | 171171 26 |
| Pied de voile | Int | | 32 | 0,4 | 20,11 | 40,21 | 171171 38 |
| | Int | | 32 | 0,4 | 20,11 | | 171171 39 |
| | Ext trans | | 16 | 0,2 | 10,05 | | 171171 46 |
| | Int trans | | 20 | 0,2 | 15,71 | | 171171 45 |
| | Epingles | | 8 2/m ² | | | | 171171 61 |
| | Attentes Ext coupe 5 | | 25 | 0,2 | 24,54 | | 171186 26 |
| Liaison avec radier | Attentes Ext coupe 2 | | 32 | 0,4 | 20,11 | | 171186 42 |
| | Attentes Int coupe 2 | | 25 | 0,2 | 24,54 | | 171186 26 |
| | Attentes Ext coupe 4 | | 20 | 0,2 | 15,71 | | 171186 35 |

Surcharges admises à la construction (traverse)

La note de calcul initial indique des charges permanentes de 0,23 t/m² sur toute la surface de la dalle.

À cette charge vient s'ajouter une charge d'exploitation de 1,14 t/m². Soit un total de 1,37t/m².

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.

Dans le cadre de l'étude des déficits au niveau des aciers transversaux de la zone 1, nous utiliserons le modèle Effel de la zone 2.

Vues du modèle EFFEL :

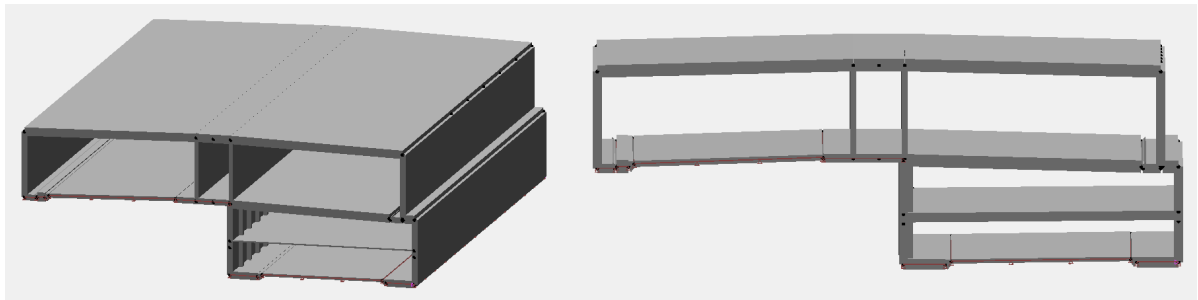


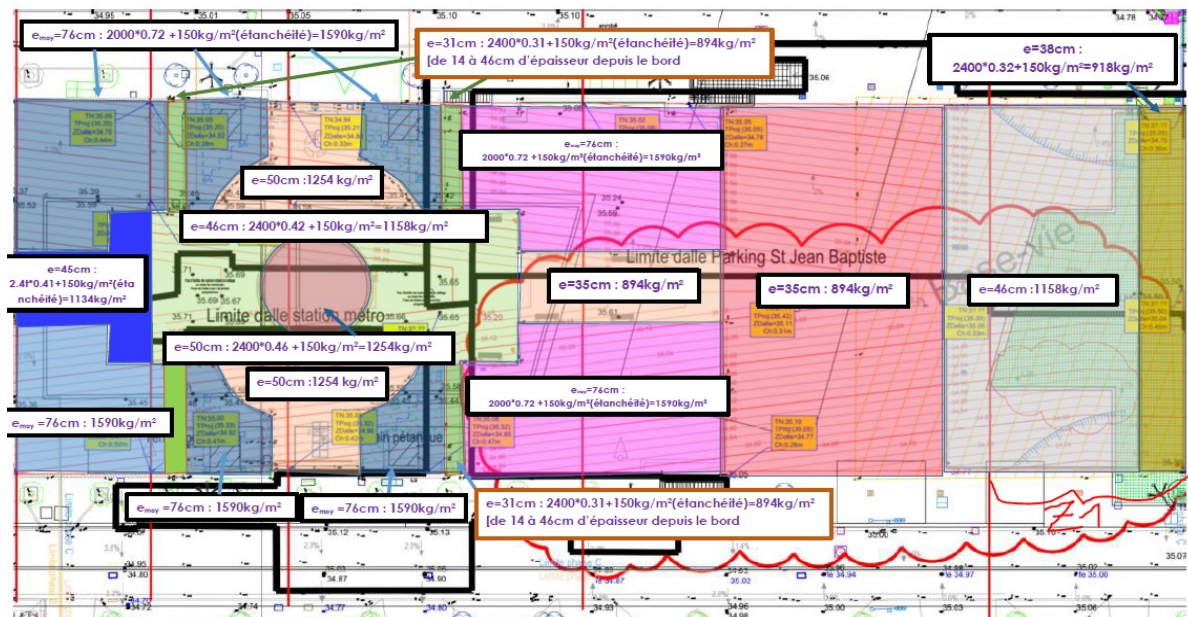
Figure 28: Représentation du cadre Zone 2 du modèle Effel

Hypothèses

Aménagement actuel

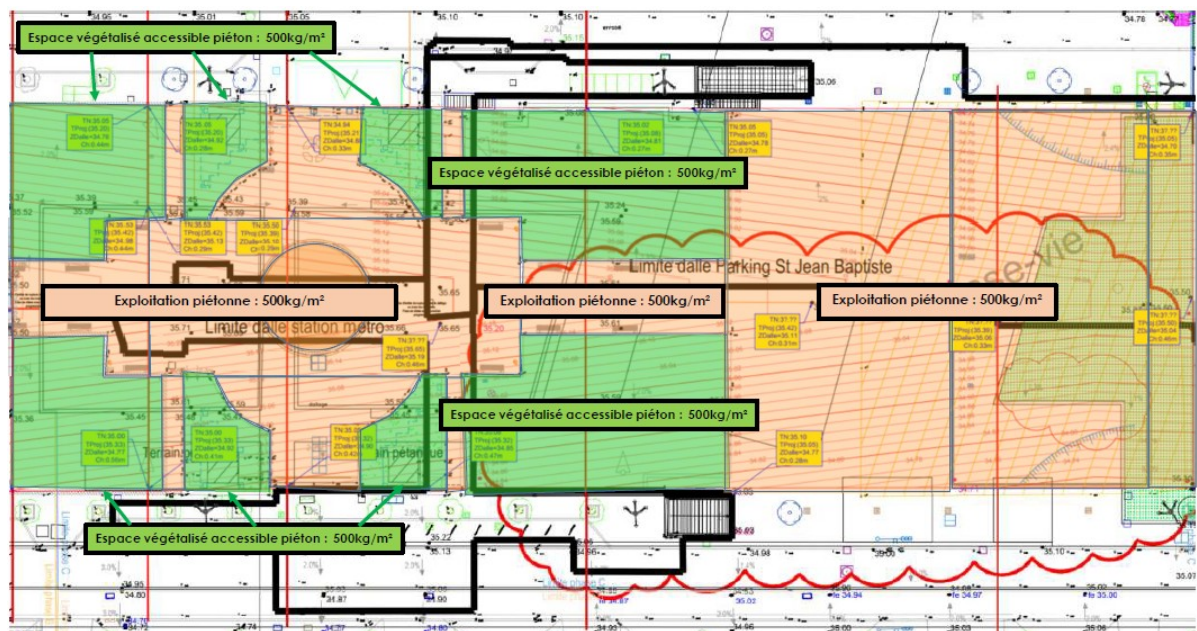
Charges permanentes

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) : $\Delta T_{M,heat}=12 \text{ }^{\circ}\text{C}$ et $\Delta T_{M,cool}=-6^{\circ}\text{C}$

- gradient de calcul :

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

- la dilatation uniforme est prise en compte avec les valeurs suivantes : $+32 \text{ }^{\circ}\text{C}$ et $-22 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (pour un écart de $+42 \text{ }^{\circ}\text{C}$ et $-12 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

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/m3) |
|---------------------|-----------------------------|--------------------|------------------------|
| remblai | 25° | 0,41 | 1,8 |
| alluvions anciennes | 35° | 0,27 | 2 |

La poussée est considérée comme normale au parement.

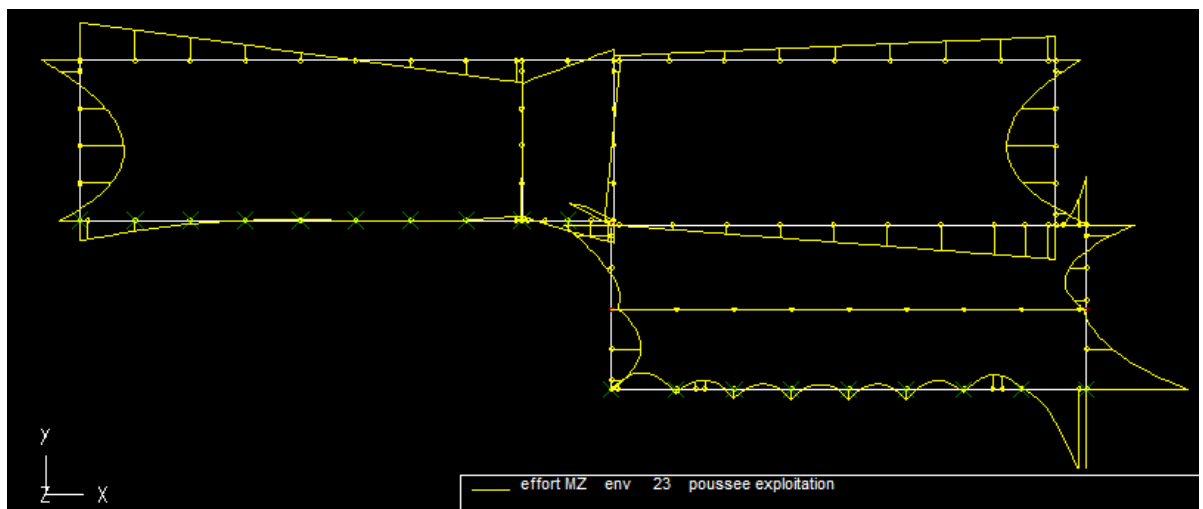


Figure 29: Moment poussées des terres

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 1300t/m^2 ;
- Des appuis élastiques sous le radier du parking dans la partie Nord, avec un module de réaction de 10000t/m^2 ;

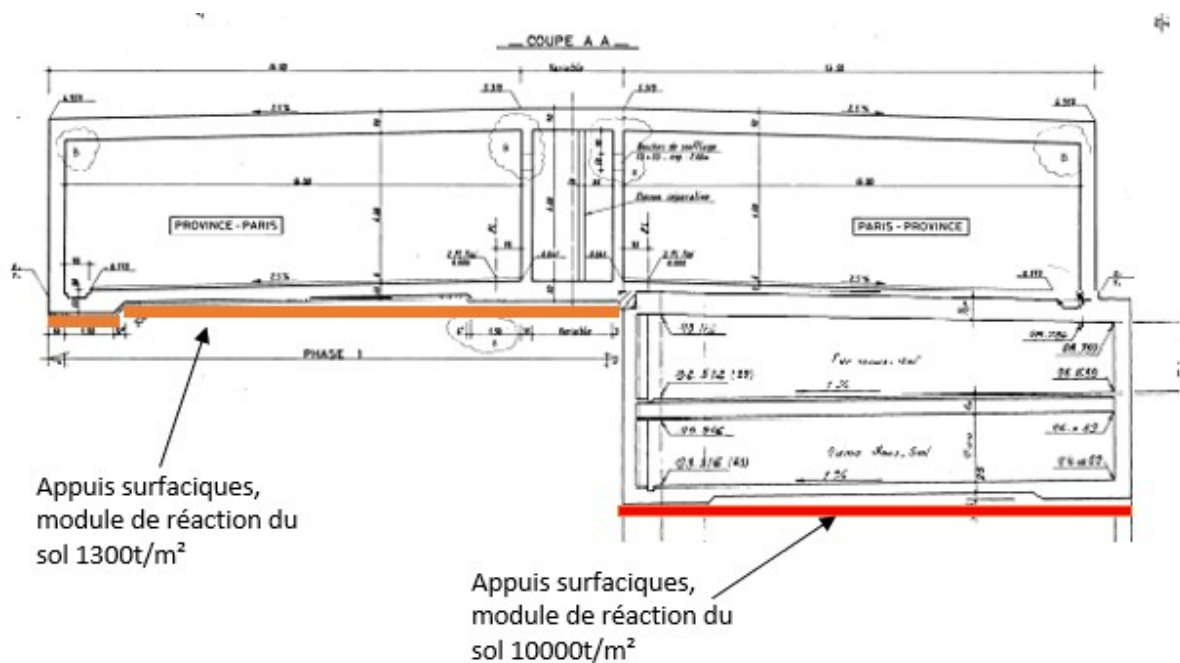
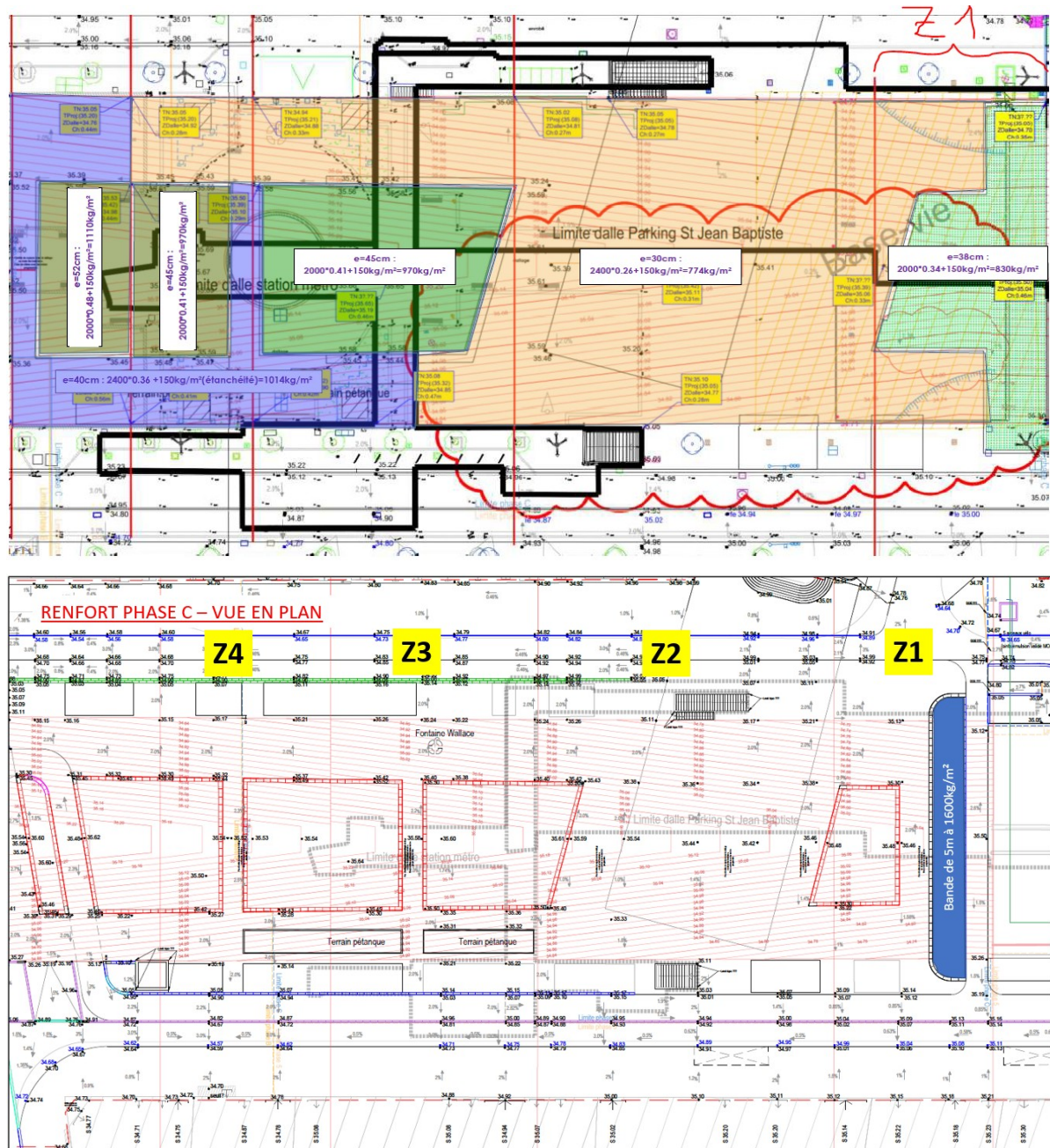


Figure 30: Modélisation appuis coupe

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/m²) et une zone piétonne (774kg/m²).

La ville a également prévu une jardinière plus lourde sur une bande de 5m de large à 1600kg/m².

Dans notre modélisation sur ST1, nous avons pris le cas le plus défavorable de la coupe majoritaire où la totalité de la dalle est soumise à une charge de 830kg/m².

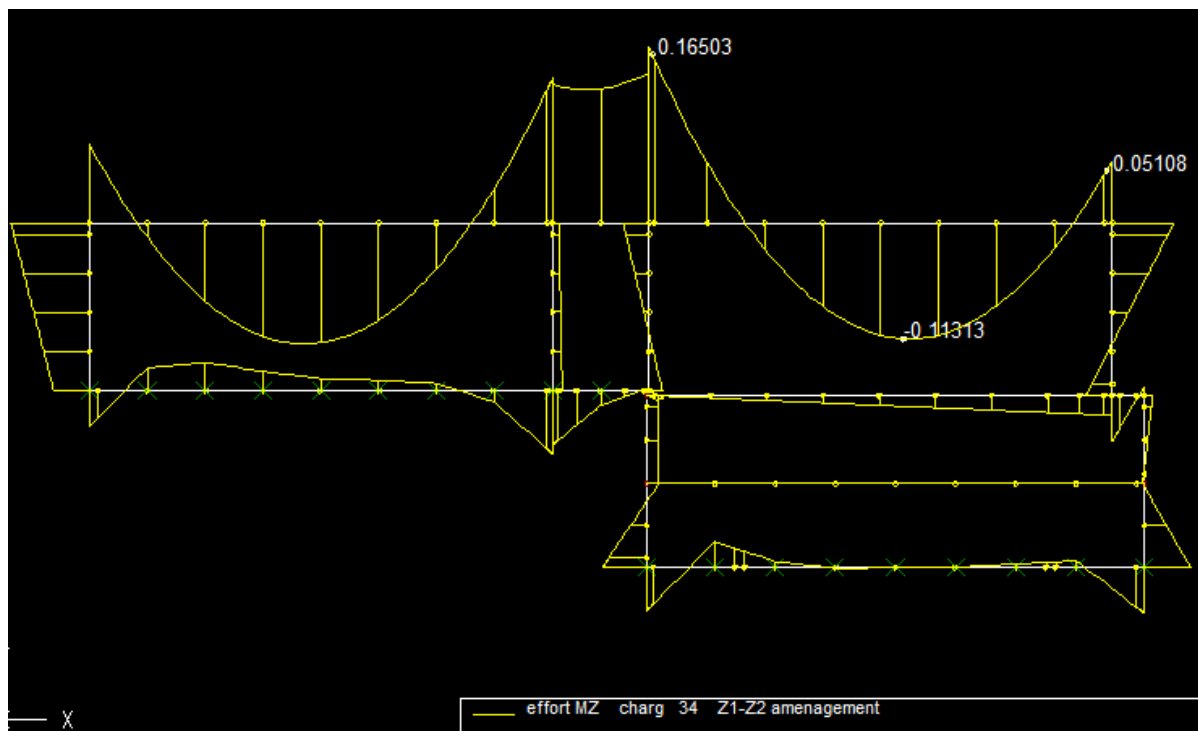
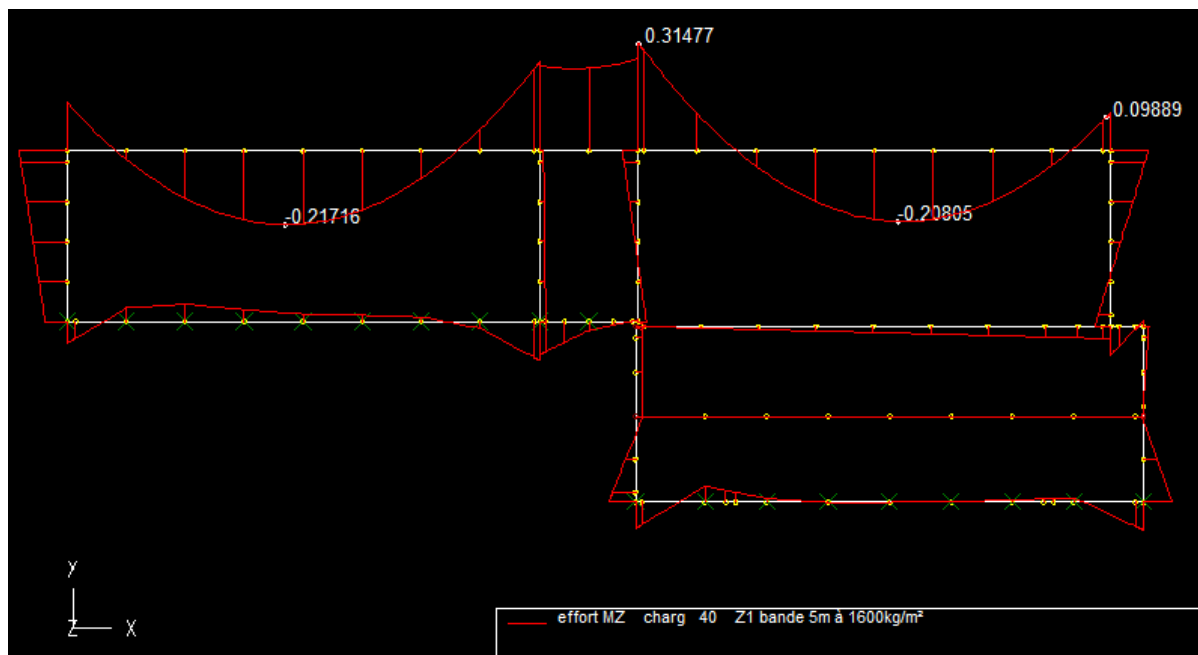


Figure 31: Effet de l'aménagement futur

Nous avons également modélisé un cas de charge comprenant la bande de 5m à 1600kg/m^2 sur toute la longueur de la dalle afin de pouvoir analyser l'impact de cette jardinière et pouvoir adapter notre renforcement en conséquence.



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 800kg/m^2 en exploitation.

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

Afin de s'assurer qu'une surcharge d'exploitation piétonne de 800kg/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 500kg/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 500kg/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 : $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $+32\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Gradient de calcul :

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

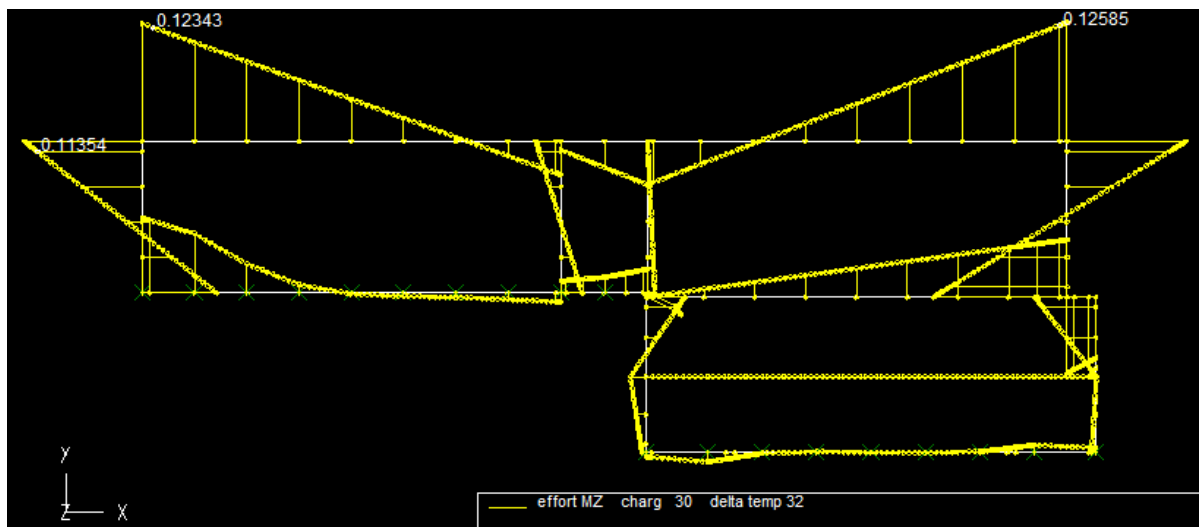


Figure 32: Effet d'une variation de température de +32°

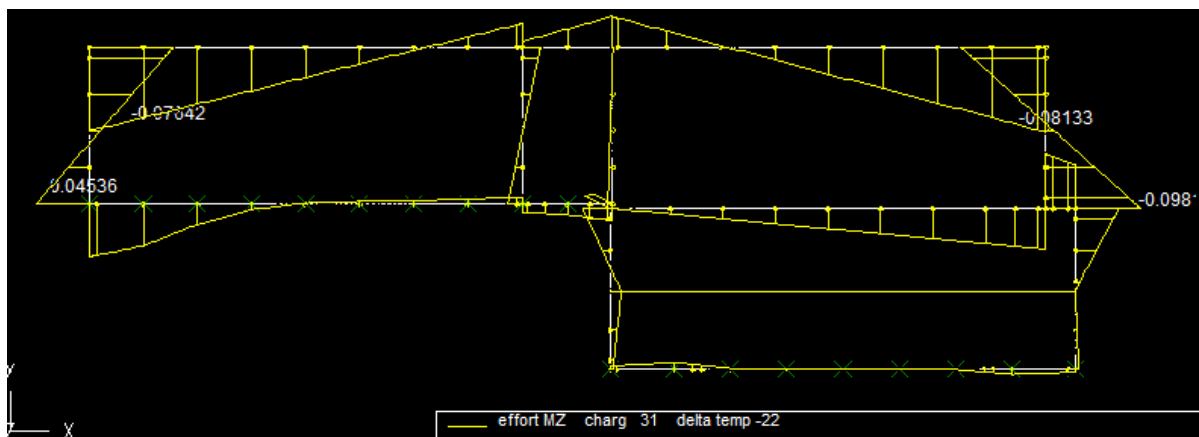


Figure 33: Effet d'une variation de température de -22°

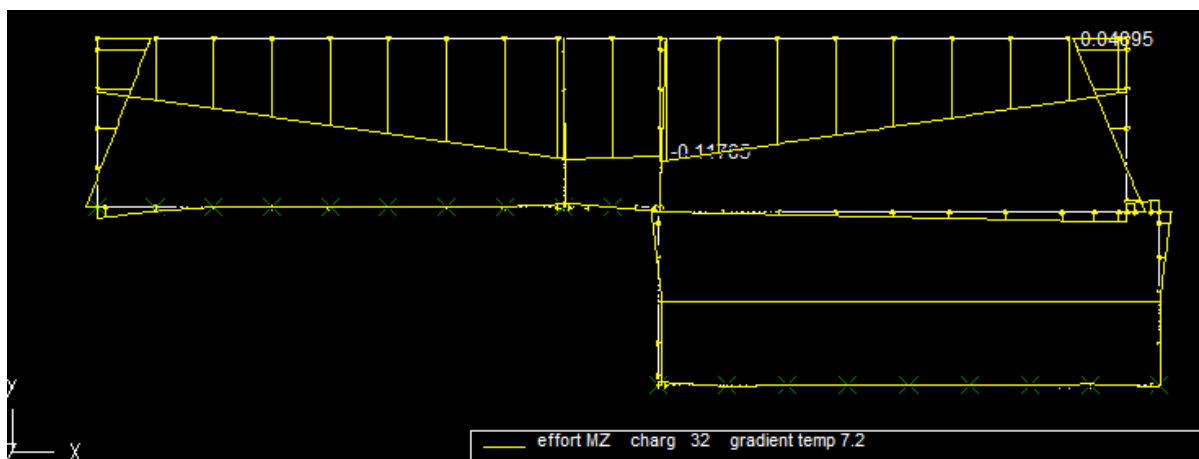


Figure 34: Effet d'un gradient de température de +7,2°

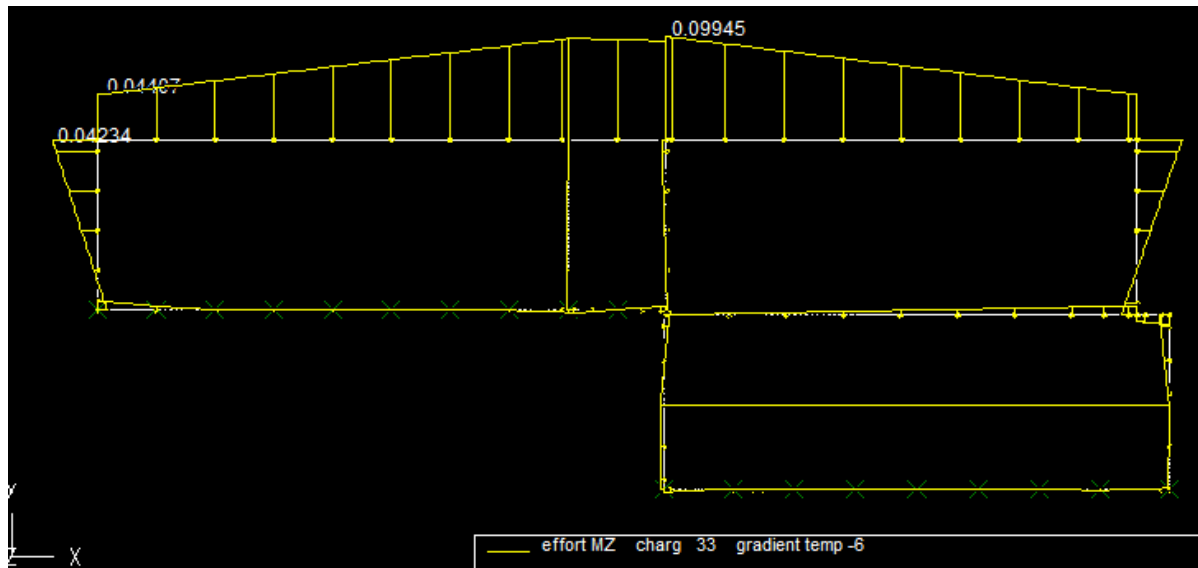


Figure 35: Effet d'un gradient de température de -6°

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
 - $Gk + TS + UDL + qfk + 0,6 Tk$
 - $Gk + 0,75 TS + 0,4 UDL + 0,4 qfk + Tk$
 - $Gk + Tk$
- ELS combinaison fréquente
 - $Gk + 0,75 TS + 0,4 UDL + 0,4 qfk + 0.5 Tk$
 - $Gk + 0.6 Tk$

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.

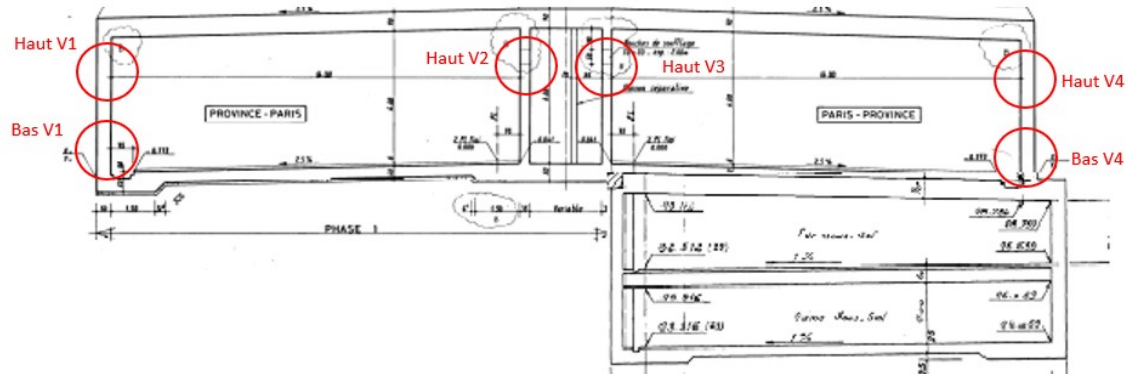
Une ouverture de fissure de $w_{max} = 0,3 \text{ mm}$ est visée

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

Résultats

Voiles

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 de ce point sur le voile est donné dans le tableau.



| Zone → | | | Voile V1 bas | Voile V5 bas | Voile V1 haut | Voile V5 haut | Voile V3 haut | Voile V4 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 |
| Z1 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 |
| Z1 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 V5 bas | Voile V1 haut | Voile V5 haut | Voile V3 haut | Voile V4 haut |
|--|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Z1 – ELU $1,35G_{max}+G_{min}+1,35Q+0,9T$ | 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 |
| Z1 – 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 |
| Z1 – 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 jardinière de 5m à 1600kg/m ² | En KN et kN.m | Voile V1 bas | Voile V5 bas | Voile V1 haut | Voile V5 haut | Voile V3 haut | Voile V4 haut |
| Z1 – ELU $1,35G_{max}+G_{min}+1,35Q+0,9T$ | N min | 255,68 | 232,52 | 200,37 | 163,78 | 188,57 | 283,39 |
| | M max | 244,37 | 653,95 | 589,08 | -385,90 | 114,75 | 165,96 |
| Z1 – ELS freq $G+0,4Q+0,5T$ | N | 201,64 | 187,33 | 141,97 | 120,33 | 147,22 | 201,98 |
| | M | 159,73 | 324,25 | 335,83 | -217,44 | 54,91 | 89,20 |
| Z1 – ELS cara $G+Q+0,6T$ | N | 236,90 | 215,89 | 178,31 | 148,89 | 177,76 | 259,42 |
| | M | 170,15 | 454,78 | 421,36 | -260,42 | 70,43 | 114,79 |
| | | | | | | | |
| Combinaisons avec aménagement actuel | En KN et kN.m | Voile V1 bas | Voile V5 bas | Voile V1 haut | Voile V5 haut | Voile V3 haut | Voile V4 haut |
| Z1 – ELU $1,35G_{max}+G_{min}+1,35Q+0,9T$ | N min | 198,98 | 178,98 | 143,67 | 110,23 | 114,00 | 198,44 |
| | M max | 204,07 | 624,40 | 500,60 | -316,15 | 120,46 | 136,90 |
| Z1 – ELS freq $G+0,4Q+0,5T$ | N | 164,02 | 151,80 | 104,35 | 84,80 | 97,74 | 145,61 |
| | M | 137,12 | 307,67 | 286,19 | -178,31 | 58,70 | 72,89 |
| Z1 – ELS cara $G+Q+0,6T$ | N | 187,23 | 168,98 | 128,64 | 101,98 | 112,44 | 185,00 |
| | M | 140,30 | 432,89 | 355,82 | -208,76 | 75,44 | 93,26 |

On peut comparer les valeurs des efforts à différents endroits des voiles entre l'aménagement actuel, l'aménagement futur, et l'aménagement futur au niveau de la jardinière à 1600kg/m² sur une bande de 5m de large.

En zone 1, on remarque que le passage de l'aménagement actuel à l'aménagement futur n'entraîne pas une diminution significative des efforts dans les voiles de la structure.

En revanche, il est très net que la jardinière de 5m de large à 1600kg/m² entraîne beaucoup plus d'efforts dans les voiles.

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 V5, il est de 0,31m pour les voiles V3 et V4.

| Combinaisons avec aménagement futur | En KN et kN.m | Voile V1 bas | Voile V5 bas VC13 | Voile V1 haut | Voile V5 haut | Voile V3 haut | Voile V4 haut |
|-------------------------------------|----------------------------------|--------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Z1 – ELU | N min | 206,81 | 186,38 | 151,50 | 117,63 | 124,30 | 210,17 |
| 1,35Gmax+Gmin+1,35Q+0,9T | M max | 204,72 | 624,88 | 502,03 | -317,28 | 119,67 | 137,37 |
| ELU Vérification | Section Astendue cm ² | 32,17 | 72,59 | 32,17 | 48,09 | 4,52 | 4,52 |
| | Section As,min | 9,2 | 36,26 | 28,57 | 17,3 | 8,4 | 8,81 |
| | Déficit | -22,97 | -36,33 | -3,6 | -30,79 | 3,88 | 4,29 |
| Z1 – ELS freq | N | 152,78 | 141,18 | 93,10 | 74,18 | 82,95 | 128,76 |
| G+0,4Q+0,5T | M | 130,36 | 302,72 | 271,35 | -166,61 | 59,84 | 68,02 |
| ELS freq Vérification | Sigma s MPa | 79,77 | 95,24 | 194,86 | 78,12 | 365,7 | 379,88 |
| | Limite ELS MPa (vmax) | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| | Limite ELS – Sigma s | 220,23 | 204,76 | 105,14 | 221,88 | -65,7 | -79,88 |
| Z1 – ELS cara | N | 188,03 | 169,74 | 129,45 | 102,74 | 113,49 | 186,20 |
| G+Q+0,6T | M | 140,79 | 433,24 | 356,88 | -209,59 | 75,36 | 93,61 |
| ELS Cara Vérification | Sigma s MPa | 83,31 | 138,17 | 255,35 | 97,44 | 450,82 | 513,18 |
| | Limite ELS MPa | 320 | 320 | 320 | 320 | 320 | 320 |
| | Limite ELS – Sigma s | 236,69 | 181,83 | 64,65 | 222,56 | -130,82 | -193,18 |

| Combinaisons avec aménagement jardinière de 5m à 1600kg/m ² | En KN et kN.m | Voile V1 bas | Voile V5 bas VC13 | Voile V1 haut | Voile V5 haut | Voile V3 haut | Voile V4 haut |
|--|----------------------------------|--------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Z1 – ELU | N min | 255,68 | 232,52 | 200,37 | 163,78 | 188,57 | 283,39 |
| 1,35Gmax+Gmin+1,35Q+0,9T | M max | 244,37 | 653,95 | 589,08 | -385,90 | 114,75 | 165,96 |
| ELU Vérification | Section Astendue cm ² | 32,17 | 72,59 | 32,17 | 48,09 | 4,52 | 4,52 |
| | Section As,min | 11,81 | 37,68 | 33,7 | 20,98 | 7,11 | 10,41 |
| | Déficit | -20,36 | -34,91 | 1,53 | -27,11 | 2,59 | 5,89 |
| Z1 – ELS freq | N | 201,64 | 187,33 | 141,97 | 120,33 | 147,22 | 201,98 |
| G+0,4Q+0,5T | M | 159,73 | 324,25 | 335,83 | -217,44 | 54,91 | 89,20 |
| ELS freq Vérification | Sigma s MPa | 95,66 | 99,94 | 237,64 | 99,86 | 260,63 | 462,95 |
| | Limite ELS MPa (vmax) | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| | Limite ELS – Sigma s | 204,34 | 200,06 | 62,36 | 200,14 | 39,37 | -162,95 |
| Z1 – ELS cara | N | 236,90 | 215,89 | 178,31 | 148,89 | 177,76 | 259,42 |
| G+Q+0,6T | M | 170,15 | 454,78 | 421,36 | -260,42 | 70,43 | 114,79 |
| ELS Cara Vérification | Sigma s MPa | 99,5 | 142,86 | 298,14 | 119,17 | 345,68 | 596,3 |
| | Limite ELS MPa | 320 | 320 | 320 | 320 | 320 | 320 |
| | Limite ELS – Sigma s | 220,5 | 177,14 | 21,86 | 200,83 | -25,68 | -276,3 |

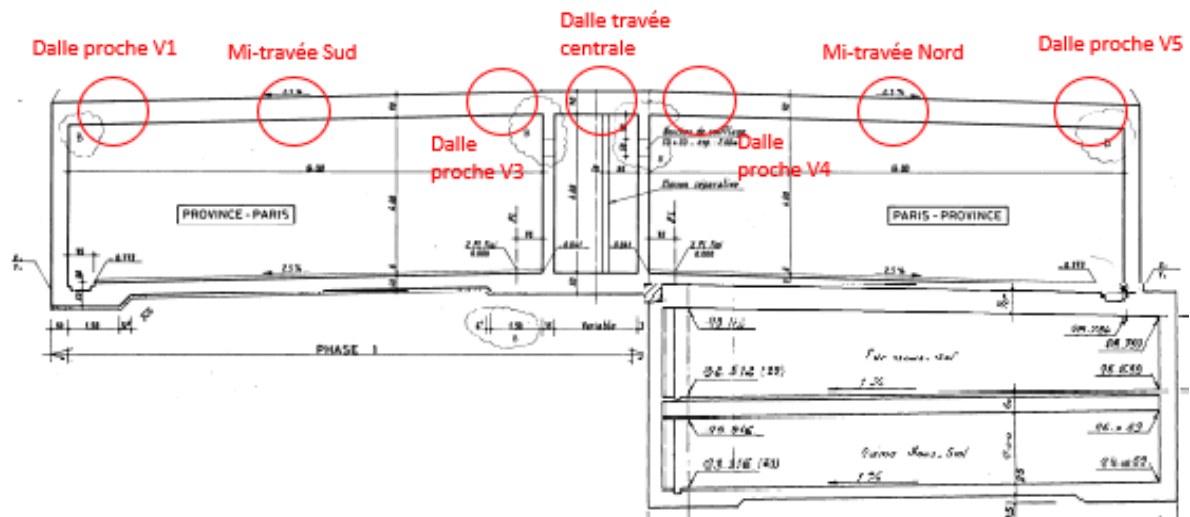
| Combinaisons avec aménagement actuel | En KN et kN.m | Voile V1 bas | Voile V5 bas VC13 | Voile V1 haut | Voile V5 haut | Voile V3 haut | Voile V4 haut |
|--------------------------------------|----------------------------------|--------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Z1 – ELU | N min | 198,98 | 178,98 | 143,67 | 110,23 | 114,00 | 198,44 |
| 1,35Gmax+Gmin+1,35Q+0,9T | M max | 204,07 | 624,40 | 500,60 | -316,15 | 120,46 | 136,90 |
| ELU Vérification | Section Astendue cm ² | 32,17 | 72,59 | 32,17 | 48,09 | 4,52 | 4,52 |
| | Section As,min | 9,26 | 36,32 | 28,58 | 17,32 | 8,61 | 8,92 |
| | Déficit | -22,91 | -36,27 | -3,59 | -30,77 | 4,09 | 4,4 |
| Z1 – ELS freq | N | 164,02 | 151,80 | 104,35 | 84,80 | 97,74 | 145,61 |
| G+0,4Q+0,5T | M | 137,12 | 307,67 | 286,19 | -178,31 | 58,70 | 72,89 |
| ELS freq Vérification | Sigma s MPa | 83,49 | 96,32 | 204,7 | 83,13 | 341,14 | 398,93 |
| | Limite ELS MPa (vmax) | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| | Limite ELS – Sigma s | 216,51 | 203,68 | 95,3 | 216,87 | -41,14 | -98,93 |
| Z1 – ELS cara | N | 187,23 | 168,98 | 128,64 | 101,98 | 112,44 | 185,00 |
| G+Q+0,6T | M | 140,30 | 432,89 | 355,82 | -208,76 | 75,44 | 93,26 |
| ELS Cara Vérification | Sigma s MPa | 83,04 | 138,1 | 249,35 | 97,08 | 452,56 | 511,8 |
| | Limite ELS MPa | 320 | 320 | 320 | 320 | 320 | 320 |
| | Limite ELS – Sigma s | 236,96 | 181,9 | 70,65 | 222,92 | -132,56 | -191,8 |

Au niveau des voiles en zone 1, on ne constate aucun changement au niveau des déficits entre l'aménagement actuel et le futur aménagement.

Dans ces deux cas, il existe seulement un déficit à l'ELU et à l'ELS au niveau du haut des piédroits centraux V3 et V4..

En revanche, dans la zone de la jardinière de 5m du futur aménagement, il apparaît un déficit à l'ELU au niveau du haut du voile V1. On constate également que le déficit à l'ELS freq en haut du voile V3 disparaît.

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 | | | Abscisse en m → | 0 | 7,2 | 14,425 | 17,425 | 17,425 | 22,834 |
| 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 V3 | Dalle centrale | Dalle proche V4 | Mi-travée Nord | Dalle proche V5 |
|--|---------|-----------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Z1-ELU 1,35G _{max} +G _{min} +1,35Q+0,9T | M | 502,03 | -395,11 | 388,40 | 585,25 | 720,42 | -358,56 | 317,28 |
| Z1-ELS freq G+0,4Q+0,5T | M | 271,35 | -206,81 | 197,01 | 306,34 | 373,81 | -185,37 | 166,61 |
| Z1-ELS cara G+Q+0,6T | M | 356,88 | -281,80 | 263,81 | 419,16 | 512,12 | -251,66 | 209,59 |

| Combinaisons avec aménagement jardinière de 5m à 1600kg/m ² | En kN.m | Dalle proche V1 | Mi-travée Sud | Dalle proche V3 | Dalle centrale | Dalle proche V4 | Mi-travée Nord | Dalle proche V5 |
|--|---------|-----------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Z1 – ELU 1,35G _{max} +G _{min} +1,35Q+0,9T | M | 589,08 | -527,81 | 547,79 | 751,94 | 915,70 | -485,77 | 385,90 |
| Z1 – ELS freq G+0,4Q+0,5T | M | 335,83 | -304,80 | 316,06 | 429,81 | 518,46 | -279,62 | 217,44 |
| Z1 – ELS cara G+Q+0,6T | M | 421,36 | -379,74 | 379,73 | 542,63 | 656,77 | -345,77 | 260,42 |

| Combinaisons avec aménagement actuel | En kN.m | Dalle proche V1 | Mi-travée Sud | Dalle proche V3 | Dalle centrale | Dalle proche V4 | Mi-travée Nord | Dalle proche V5 |
|--|---------|-----------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Z1 – ELU 1,35G _{max} +G _{min} +1,35Q+0,9T | M | 500,60 | -392,93 | 388,74 | 582,51 | 717,21 | -356,48 | 316,15 |
| Z1 – ELS freq G+0,4Q+0,5T | M | 286,19 | -229,24 | 222,64 | 334,75 | 407,10 | -206,98 | 178,31 |
| Z1 – ELS cara G+Q+0,6T | M | 355,82 | -280,20 | 261,86 | 417,13 | 509,74 | -250,12 | 208,76 |

On peut comparer les valeurs des efforts à différents endroits de la dalle entre l'aménagement actuel, l'aménagement futur, et l'aménagement futur au niveau de la jardinière à 1600kg/m² sur une bande de 5m de large.

En zone 1, on remarque que le passage de l'aménagement actuel à l'aménagement futur n'entraîne pas une diminution significative des efforts sur la dalle de la structure.

En revanche, il est très net que la jardinière de 5m de large à 1600kg/m² entraîne beaucoup plus d'efforts sur la dalle.

Vérifications ELS/ELU

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 V3 | Dalle centrale | Dalle proche V4 | Mi-travée Nord | Dalle proche V5 |
|--|------------------------------------|-----------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Z1 – ELU 1,35G _{max} +G _{min} +1,35Q+0,9T | M | 502,03 | -395,11 | 388,40 | 585,25 | 720,42 | -358,56 | 317,28 |
| ELU Vérification | Section Astendue cm ² | 19,63 | 39,27 | 44,68 | 44,68 | 44,68 | 27,96 | 15,71 |
| | Section As,min | 21,18 | 16,57 | 16,28 | 24,8 | 30,76 | 15,01 | 13,25 |
| | Déficit | 1,55 | -22,7 | -28,4 | -19,88 | -13,92 | -12,95 | -2,46 |
| Z1 – ELS freq G+0,4Q+0,5T | M | 271,35 | -206,81 | 197,01 | 306,34 | 373,81 | -185,37 | 166,61 |
| ELS Freq Vérification | Sigma s MPa | 226,03 | 89,28 | 74,4 | 116,97 | 141,17 | 111,11 | 173,12 |
| | Limite ELS MPa (w _{max}) | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| | Limite ELS – Sigma s | 73,97 | 210,72 | 225,6 | 183,03 | 158,83 | 188,89 | 126,88 |
| Z1 – ELS cara G+Q+0,6T | M | 356,88 | -281,80 | 263,81 | 419,16 | 512,12 | -251,66 | 209,59 |
| ELS Cara Vérification | Sigma s MPa | 297,28 | 121,65 | 99,62 | 160,04 | 193,4 | 150,84 | 217,78 |
| | Limite ELS MPa (w _{max}) | 320 | 320 | 320 | 320 | 320 | 320 | 320 |
| | Limite ELS – Sigma s | 22,72 | 198,35 | 220,38 | 159,96 | 126,6 | 169,16 | 102,22 |
| | | | | | | | | |
| Combinaisons avec aménagement jardinière de 5m à 1600kg/m ² | En kN.m | Dalle proche V1 | Mi-travée Sud | Dalle proche V3 | Dalle centrale | Dalle proche V4 | Mi-travée Nord | Dalle proche V5 |
| Z1 – ELU 1,35G _{max} +G _{min} +1,35Q+0,9T | M | 589,08 | -527,81 | 547,79 | 751,94 | 915,70 | -485,77 | 385,90 |
| ELU Vérification | Section Astendue cm ² | 19,63 | 39,27 | 44,68 | 44,68 | 44,68 | 27,96 | 15,71 |
| | Section As,min | 24,97 | 22,3 | 23,17 | 32,17 | 39,55 | 20,47 | 16,17 |
| | Déficit | 5,34 | -16,97 | -21,51 | -12,51 | -5,13 | -7,49 | 0,46 |
| Z1 – ELS freq G+0,4Q+0,5T | M | 335,83 | -304,80 | 316,06 | 429,81 | 518,46 | -279,62 | 217,44 |
| ELS Freq Vérification | Sigma s MPa | 279,74 | 131,58 | 119,36 | 164,11 | 195,79 | 167,6 | 225,93 |
| | Limite ELS MPa (w _{max}) | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| | Limite ELS – Sigma s | 20,26 | 168,42 | 180,64 | 135,89 | 104,21 | 132,4 | 74,07 |
| Z1 – ELS cara G+Q+0,6T | M | 421,36 | -379,74 | 379,73 | 542,63 | 656,77 | -345,77 | 260,42 |
| ELS Cara Vérification | Sigma s MPa | 350,99 | 163,93 | 143,4 | 207,19 | 248,02 | 207,25 | 270,59 |
| | Limite ELS MPa (w _{max}) | 320 | 320 | 320 | 320 | 320 | 320 | 320 |
| | Limite ELS – Sigma s | -30,99 | 156,07 | 176,6 | 112,81 | 71,98 | 112,75 | 49,41 |
| | | | | | | | | |
| Combinaisons avec aménagement actuel | En kN.m | Dalle proche V1 | Mi-travée Sud | Dalle proche V3 | Dalle centrale | Dalle proche V4 | Mi-travée Nord | Dalle proche V5 |
| Z1 – ELU 1,35G _{max} +G _{min} +1,35Q+0,9T | M | 500,60 | -392,93 | 388,74 | 582,51 | 717,21 | -356,48 | 316,15 |
| ELU Vérification | Section Astendue cm ² | 19,63 | 39,27 | 44,68 | 44,68 | 44,68 | 27,96 | 15,71 |
| | Section As,min | 21,11 | 16,48 | 16,3 | 24,68 | 30,62 | 14,92 | 13,2 |
| | Déficit | 1,48 | -22,79 | -28,38 | -20 | -14,06 | -13,04 | -2,51 |
| Z1 – ELS freq G+0,4Q+0,5T | M | 286,19 | -229,24 | 222,64 | 334,75 | 407,10 | -206,98 | 178,31 |
| ELS Freq Vérification | Sigma s MPa | 238,39 | 98,96 | 84,08 | 127,81 | 153,74 | 124,06 | 185,27 |
| | Limite ELS MPa (w _{max}) | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |
| | Limite ELS – Sigma s | 61,61 | 201,04 | 215,92 | 172,19 | 146,26 | 175,94 | 114,73 |
| Z1 – ELS cara G+Q+0,6T | M | 355,82 | -280,20 | 261,86 | 417,13 | 509,74 | -250,12 | 208,76 |
| ELS Cara Vérification | Sigma s MPa | 296,39 | 120,96 | 98,89 | 159,27 | 192,5 | 149,92 | 216,91 |
| | Limite ELS MPa (w _{max}) | 320 | 320 | 320 | 320 | 320 | 320 | 320 |
| | Limite ELS – Sigma s | 23,61 | 199,04 | 221,11 | 160,73 | 127,5 | 170,08 | 103,09 |

Au niveau de la dalle en zone 1, on ne constate aucun changement au niveau des déficits entre l'aménagement actuel et le futur aménagement.

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

En revanche, dans la zone de la jardinière de 5m du futur aménagement, il apparaît un déficit à l'ELS cara au niveau de la dalle à proximité du pignon V1, et un déficit à l'ELU sur la dalle à proximité du pignon V5.

Résumés des déficits ELU et ELS identifiés sur la structure avec le nouvel aménagement prévu par la ville en Zone 1.

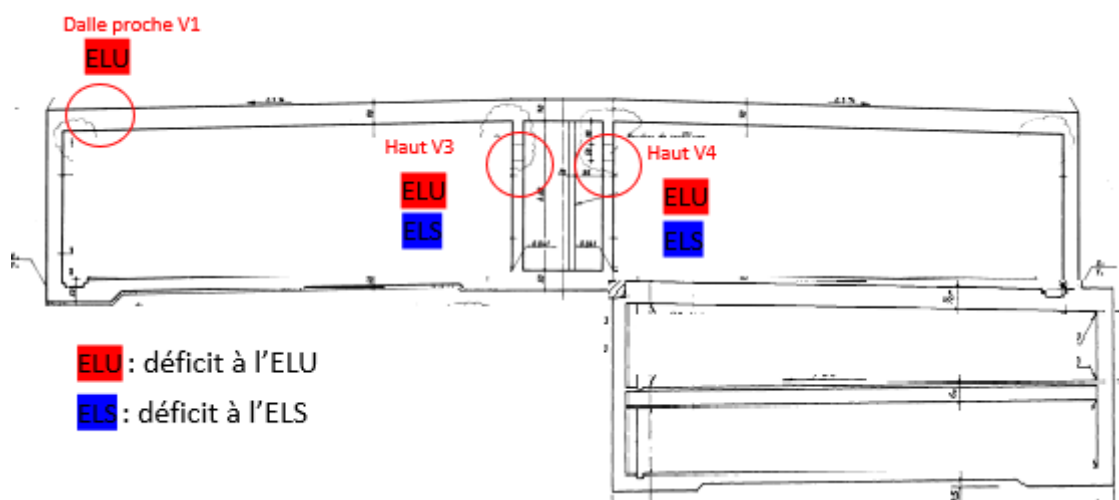


Figure 36: Déficits pour l'aménagement futur zone courante

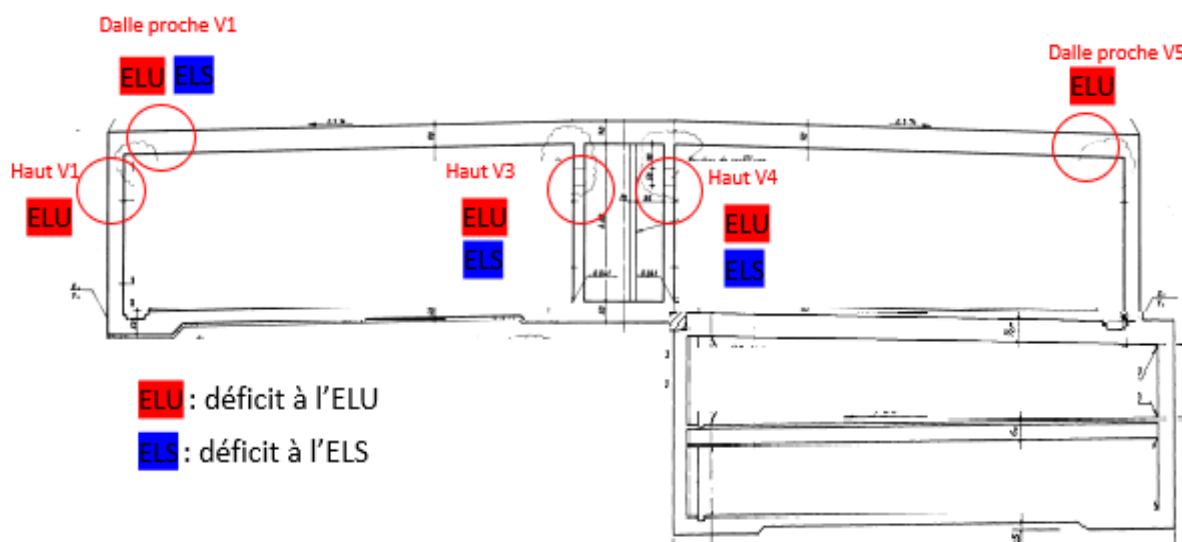


Figure 37: Déficits pour l'aménagement futur au niveau de la jardinière de 5m

Aciers transversaux dalle

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

Vues du modèle EFFEL :

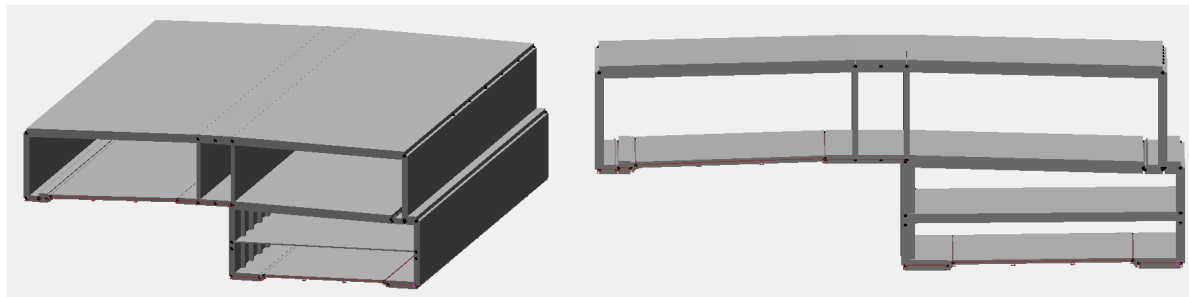


Figure 38: Représentation du cadre Zone 2 du modèle Effel

Charges permanentes

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

- le poids propre
- l'aménagements sur la dalle

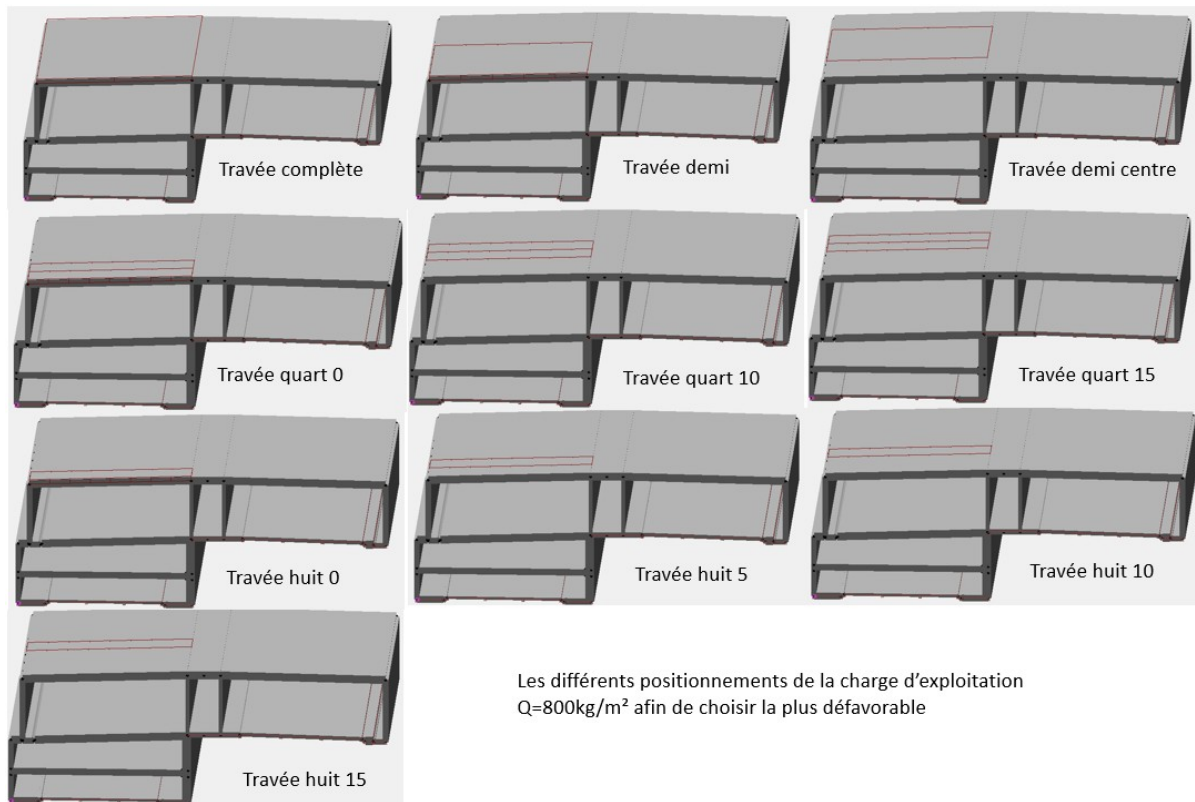
Au niveau de l'aménagement sur la dalle, nous avons comparé les situations ci-dessous :

- L'aménagement futur (800kg/m^2) avec la bande de 5m de jardinière à 1600kg/m^2
- L'aménagement actuel (entre 918 et 1158kg/m^2)

Charges d'exploitation

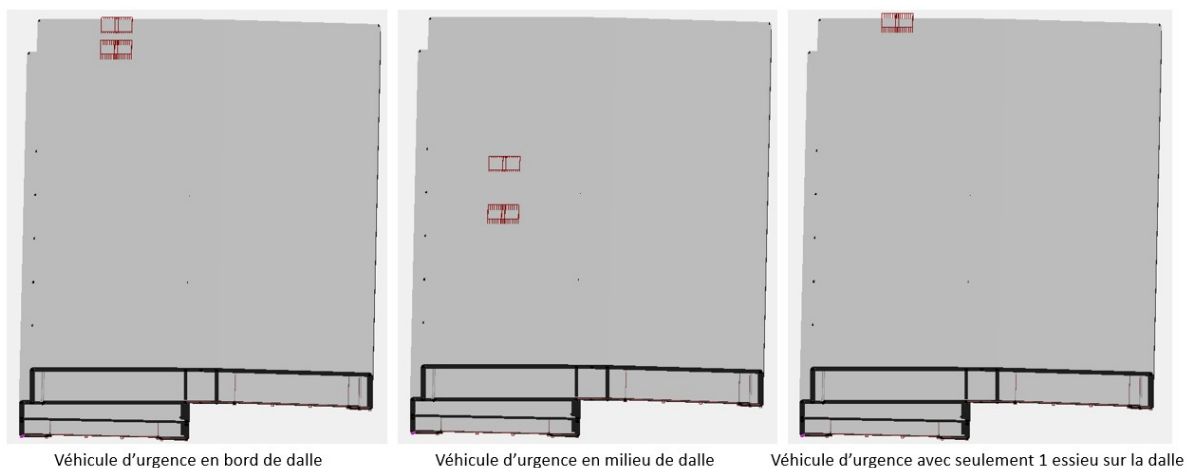
Dans le modèle Effel, nous avons rentré 10 cas de chargement différents pour la charge d'exploitation $Q=800\text{kg/m}^2$, afin d'avoir le cas le plus défavorable possible.

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



Véhicule d'urgence

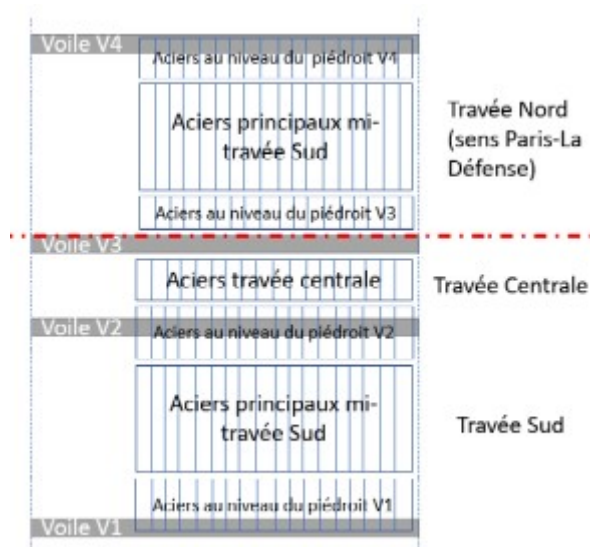
Afin d'obtenir le cas de charge le plus défavorable pour les aciers transversaux, nous avons également appliqué au modèle le véhicule d'urgence de 12T dans plusieurs positions.



Résultat

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



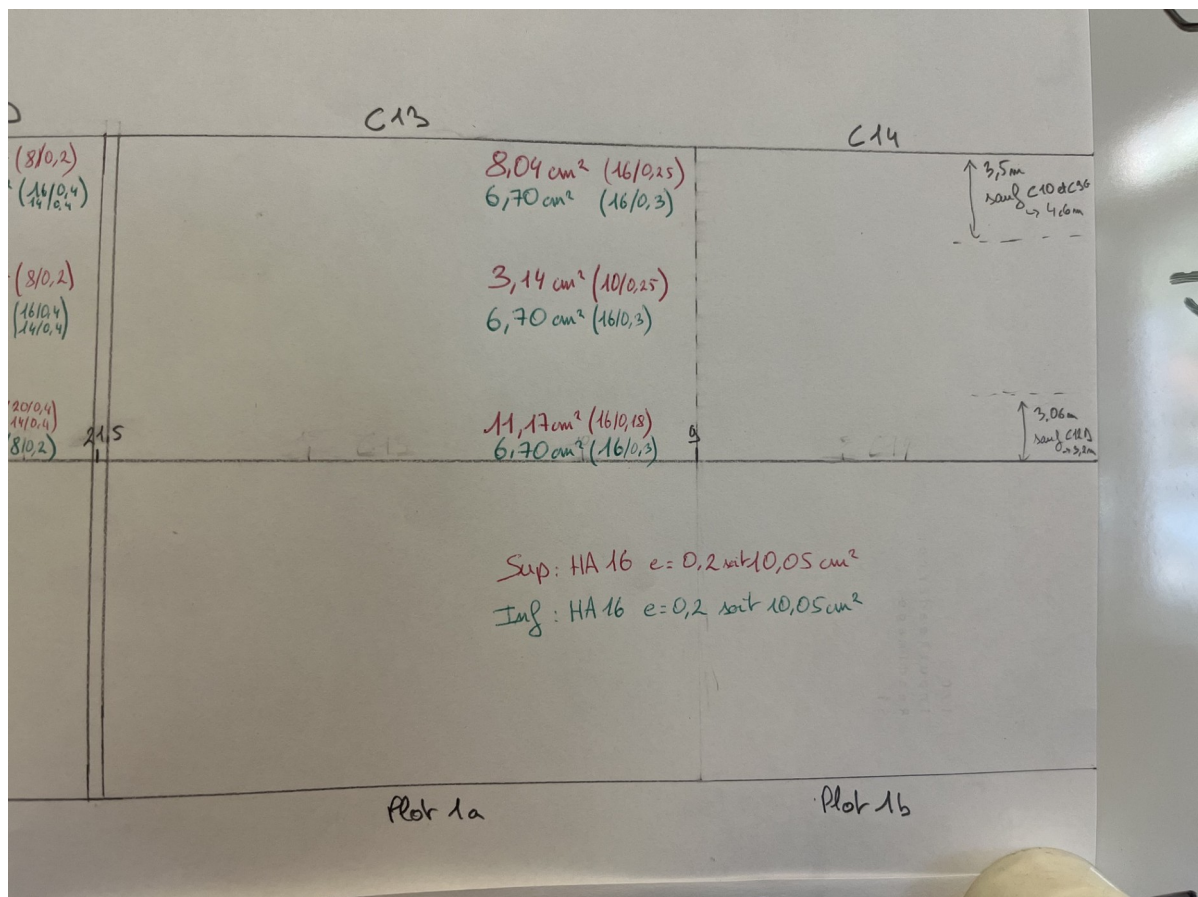


Figure 39: Aciers transversaux zone 1

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

| | Zone → | Travée proche piédroit Ext | Mi-travée Max | Mi-travée min | Travée proche piédroit central | Travée centrale |
|--------------------|--|----------------------------|---------------|---------------|--------------------------------|-----------------|
| | Cas de charge | Myy (kN.m) | Myy (kN.m) | Myy (kN.m) | Myy (kN.m) | Myy (kN.m) |
| | Poids propre G | 13,87 | -3,52 | -44,7 | 59,13 | 59,34 |
| G | Aménagement futur 800kg/m² toute la dalle | 9,29 | -1,95 | -22,05 | 23,29 | 14,25 |
| | Aménagement actuel Nord Z1 | 19,03 | -1,87 | -32,53 | 46,46 | 27,6 |
| | Zone 1 avec bande de 5m arbres à 1600kg/m², reste dalle à 800kg/m² | 10,6 | -1,63 | -50,41 | 36,38 | 29,43 |
| | Travée Nord complet – 800kg/m² | 9,29 | -1,95 | -22,05 | 23,29 | 14,25 |
| Q | 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 |

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

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 | Myy (kN.m) | Myy (kN.m) | Myy (kN.m) | Myy (kN.m) | Myy (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 Z1 | 63,86 | 5,33 | -159,03 | 173,99 | 137,01 |
| ELS Aménagement actuel Z1 | 47,30 | 3,95 | -117,80 | 128,88 | 101,49 |
| ELU Z1 proximité bande 5m | 52,47 | 5,66 | -183,17 | 160,38 | 139,48 |
| ELS Z1 proximité bande 5m | 38,87 | 4,19 | -135,68 | 118,80 | 103,32 |

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

Cependant la présence de la jardinière de 5m de l'aménagement futur, les aciers transversaux seront plus sollicités qu'avec l'aménagement actuel.

Vérification ELU et ELS :

Traverse Sud

| Combinaisons | En kN.m Z1 – Traverses Sud | Travée proche piédroit V1 | Mi-travée Sud Max | Mi-travée Sud min | Travée proche piédroit V3 | Travée centrale |
|---|---|------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------|--------------------|
| Z1 – ELU aménagement fur 1,35G+1,35Q | M | 50,71 | 5,22 | -144,88 | 142,71 | 118,99 |
| ELU Vérification | Section Astendue cm ² | 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 |
| Z1 – 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 |
| Z1 – ELU Aménagement actuel | M | 63,86 | 5,33 | -159,03 | 173,99 | 137,01 |
| ELU Vérification | Section Astendue cm ² | 10,05 | 10,05 | 10,05 | 10,05 | 10,05 |
| | Section As,min | 2,63 | 0,22 | 6,59 | 7,21 | 5,67 |
| | Déficit | -7,42 | -9,83 | -3,46 | -2,84 | -4,38 |
| Z1 – ELS cara Aménagement actuel | M | 47,30 | 3,95 | -117,80 | 128,88 | 101,49 |
| ELS Cara Vérification | Sigma s MPa | 75,85 | 6,33 | 188,9 | 206,67 | 165,68 |
| | Limite ELS MPa (wmax) | 320 | 320 | 320 | 320 | 320 |
| | Limite ELS – Sigma s | 244,15 | 313,67 | 131,1 | 113,33 | 154,32 |
| | | | | | | |
| Combinaisons | En kN.m Z1 – Traverses Sud à proximité bande 5m | Travée proche piédroit V1 | Mi-travée Sud Max | Mi-travée Sud min | Travée proche piédroit V3 | Travée centrale |
| Z1 – ELU - Bande 5m 1,35G+1,35Q | M | 52,47 | 5,66 | -183,17 | 160,38 | 139,48 |
| ELU Vérification | Section Astendue cm ² | 10,05 | 10,05 | 10,05 | 10,05 | 10,05 |
| | Section As,min | 2,16 | 0,23 | 7,59 | 6,64 | 5,77 |
| | Déficit | -7,89 | -9,82 | -2,46 | -3,41 | -4,28 |
| Z1 – ELS cara - Bande 5m G+Q | M | 38,87 | 4,19 | -135,68 | 118,80 | 103,32 |
| ELS Cara Vérification | Sigma s MPa | 62,33 | 6,72 | 217,57 | 190,5 | 165,68 |
| | Limite ELS MPa (wmax) | 320 | 320 | 320 | 320 | 320 |
| | Limite ELS – Sigma s | 257,67 | 313,28 | 102,43 | 129,5 | 154,32 |

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

La présence de la jardinière de 5m un impact significatif sur les aciers transversaux par rapport au reste de la dalle sur l'aménagement futur, mais n'entraîne pas d'apparition de déficits.

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

| Combinaisons | En kN.m Z1 – Traverses Nord | Travée proche piédroit V5 | Mi-travée Nord Max | Mi-travée Nord min | Travée proche piédroit V4 |
|---|--|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Z1 – ELU aménagement futur 1,35G+1,35Q | M | 50,71 | 5,22 | -144,88 | 142,71 |
| ELU Vérification | Section Astendue cm ² | 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 |
| Z1 – 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 (w _{max}) | 320 | 320 | 320 | 320 |
| | Limite ELS – Sigma s | 245,04 | 131,55 | 63,87 | 166,84 |
| Z1 – ELU Aménagement actuel | M | 63,86 | 5,33 | -159,03 | 173,99 |
| ELU Vérification | Section Astendue cm ² | 8,04 | 3,15 | 6,7 | 11,17 |
| | Section As,min | 2,63 | 0,22 | 6,59 | 7,21 |
| | Déficit | -5,41 | -2,93 | -0,11 | -3,96 |
| Z1 – ELS cara Aménagement actuel | M | 47,30 | 3,95 | -117,80 | 128,88 |
| ELS Cara Vérification | Sigma s MPa | 94,39 | 19,82 | 281,14 | 186,73 |
| | Limite ELS MPa (w _{max}) | 320 | 320 | 320 | 320 |
| | Limite ELS – Sigma s | 225,61 | 300,18 | 38,86 | 133,27 |
| | | | | | |
| Combinaisons | En kN.m Z1 – Traverses Nord à proximité bande 5m | Travée proche piédroit V5 | Mi-travée Nord Max | Mi-travée Nord min | Travée proche piédroit V4 |
| Z1 – ELU - Bande 5m 1,35G+1,35Q | M | 52,47 | 5,66 | -183,17 | 160,38 |
| ELU Vérification | Section Astendue cm ² | 8,04 | 3,15 | 6,7 | 11,17 |
| | Section As,min | 2,16 | 0,23 | 7,59 | 6,64 |
| | Déficit | -5,88 | -2,92 | 0,89 | -4,53 |
| Z1 – ELS cara - Bande 5m G+Q | M | 38,87 | 4,19 | -135,68 | 118,80 |
| ELS Cara Vérification | Sigma s MPa | 77,57 | 21,02 | 323,82 | 172,12 |
| | Limite ELS MPa (w _{max}) | 320 | 320 | 320 | 320 |
| | Limite ELS – Sigma s | 242,43 | 298,98 | -3,82 | 147,88 |

Sur les aciers transversaux inférieurs à mi-travée de la zone 1, on constate l'apparition d'un déficit à l'ELU comme à l'ELS à proximité de la jardinière de 5m de large.

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

MODÉLISATION DU DÉPORT

Étude du déport V7 au niveau du voile Nord V5

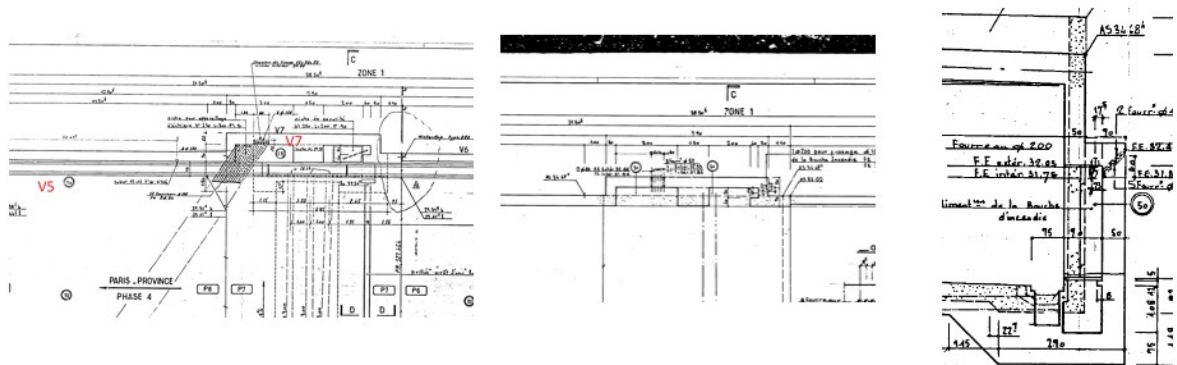


Figure 40: Extraits des plans représentant ce déport V7

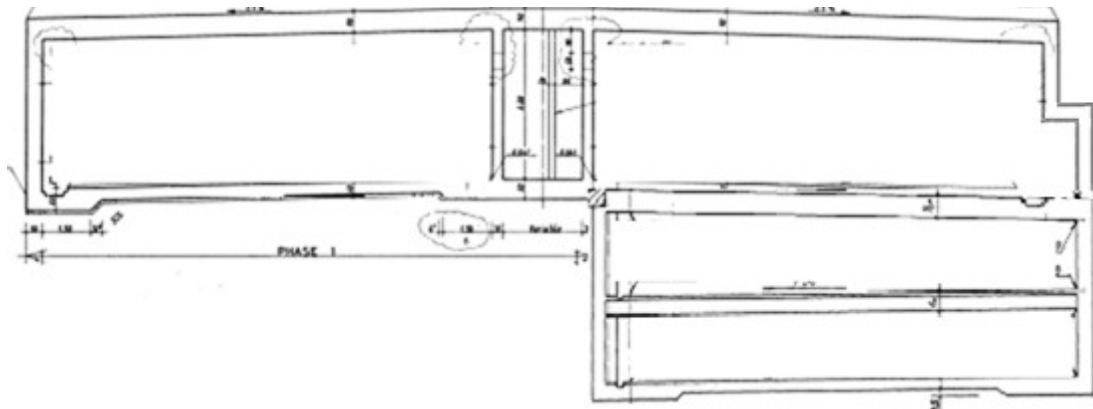
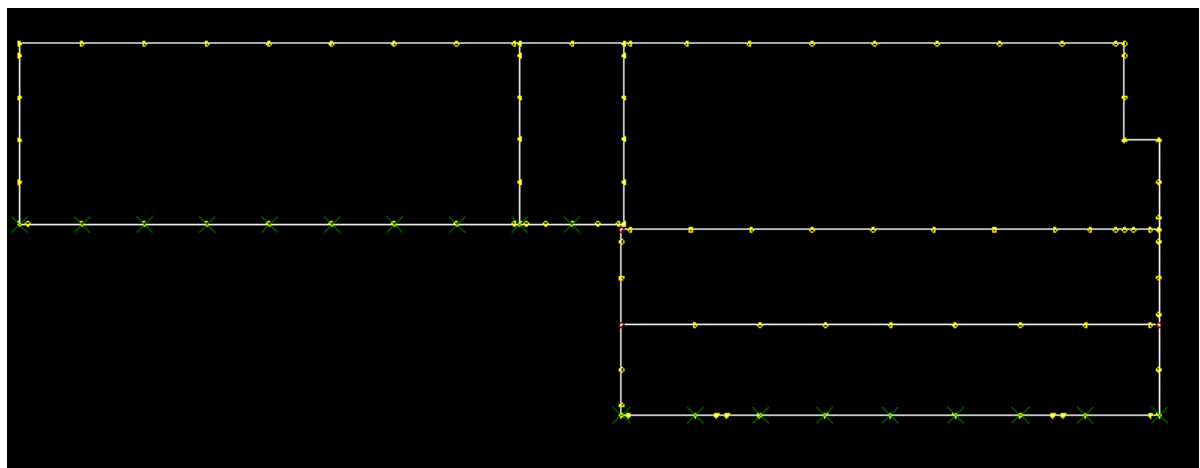
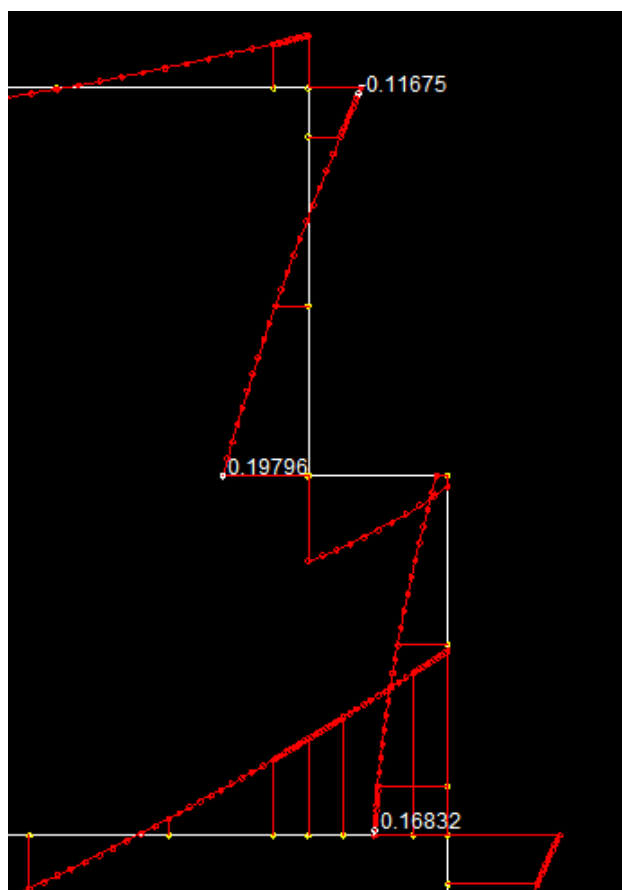


Figure 41: Coupe de principe au niveau du déport

Pour étudier le comportement de ce déport, une adaptation du modèle ST1 a été réalisée :



On s'intéresse aux efforts en haut du voile, en bas du haut du voile avant le déport, et tout en bas du déport (aux 3 points où les valeurs sont affichées sur l'extrait du modèle ci-dessous).



| | | En MN et MN.m | | |
|--|---|---------------|---------|---------|
| Z1 – ELU $1,35G_{max}+G_{min}+1,35Q+0,9T$ | N | 0,12039 | 0,19848 | 0,39091 |
| | M | -0,32279 | 0,33995 | 0,43888 |
| Z1 – ELS freq $G+0,4Q+0,5T$ | N | 0,07511 | 0,11416 | 0,25861 |
| | M | -0,16872 | 0,19796 | 0,18906 |
| Z1 – ELS cara $G+Q+0,6T$ | N | 0,10443 | 0,14435 | 0,28793 |
| | M | -0,21570 | 0,24676 | 0,29183 |

Vérification ELU et ELS :

| Combinaisons | | | Haut du haut du voile V5 | Bas du haut du voile V5 | Bas du voile |
|--|---|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------|
| Z1 – ELU $1,35G_{max}+G_{min}+1,35Q+0,9T$ | N | | 251,56 | 230,97 | 143,07 |
| | M | | 194,24 | 625,86 | -316,30 |
| ELU Vérification | | Section Astendue cm ² | 48,09 | 32,38 | 32,38 |
| | | Section As,min | 17,41 | 20,26 | 20,84 |
| | | Déficit | -30,68 | -12,12 | -11,54 |
| Z1 – ELS freq $G+0,4Q+0,5T$ | N | | 152,96 | 141,00 | 74,01 |
| | M | | 122,42 | 303,45 | -165,63 |
| ELS freq Vérification | | Sigma s MPa | 81,2 | 130,23 | 108,35 |
| | | Limite ELS MPa (w_{max}) | 300 | 300 | 300 |
| | | Limite ELS – Sigma s | 218,8 | 169,77 | 191,65 |
| Z1 – ELS cara $G+Q+0,6T$ | N | | 188,24 | 169,57 | 102,58 |
| | M | | 132,86 | 433,97 | -208,61 |
| ELS Cara Vérification | | Sigma s MPa | 103,1 | 162,05 | 181,33 |
| | | Limite ELS MPa | 320 | 320 | 320 |
| | | Limite ELS – Sigma s | 216,9 | 157,95 | 138,67 |

Aucun déficit n'est constaté du fait de la présence de ce déport.

DIMENSIONNEMENT DU RENFORCEMENT

Augmentation de la section d'acier

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 1. 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 $8,4\text{cm}^2$ au niveau de la section courante de l'aménagement futur. Le déficit d'acier à l'ELU y est donc de $3,88\text{cm}^2$ (85,83 %).

Pour la zone 1, la section $A_{s,min}$ est plus importante en dehors de la zone de la jardinière de 5m, c'est donc avec les efforts de la section courante de l'aménagement futur que l'on dimensionne le renforcement.

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 le 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 V4

Au regard des déficits montrés au paragraphe précédent, le haut du voile V4 est renforcé sur toute la zone 1. Le dimensionnement du renfort se fait à l'ELU.

Pour le haut du voile V4, 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 $8,81\text{cm}^2$ au niveau de la section courante de l'aménagement futur. Le déficit d'acier à l'ELU y est donc de $4,29\text{cm}^2$ (94,93 %).

Pour la zone au niveau de la jardinière de 5m, la section $A_{s,min}$ calculée est de $10,41\text{cm}^2$. Le déficit d'acier à l'ELU y est donc plus important qu'en section courante et est de $5,89\text{cm}^2$ (130,41 %).

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 $7,24\text{cm}^2$, 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 | 7,24 |
| Ext | 14 | 0,2 | 7,70 | 7,24 |
| Ext | 12 | 0,15 | 7,54 | 7,24 |
| Ext | 32 | 1 | 8,04 | 7,24 |

Renforcement de la dalle à proximité du piédroit V1

Au regard 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 $1,55\text{cm}^2$ (7,88 %).

Pour la zone au niveau de la jardinière de 5m, la section $A_{s,min}$ calculée est de $24,97\text{cm}^2$. Le déficit d'acier à l'ELU y est donc plus important qu'en section courante et est de $5,34\text{cm}^2$ (27,20 %).

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.

Renforcement du haut du voile V1

Au regard des déficits montrés au paragraphe précédent, le haut du voile V1 est renforcé sur la zone au niveau de la jardinière de 5m. Le dimensionnement du renfort se fait à l'ELU.

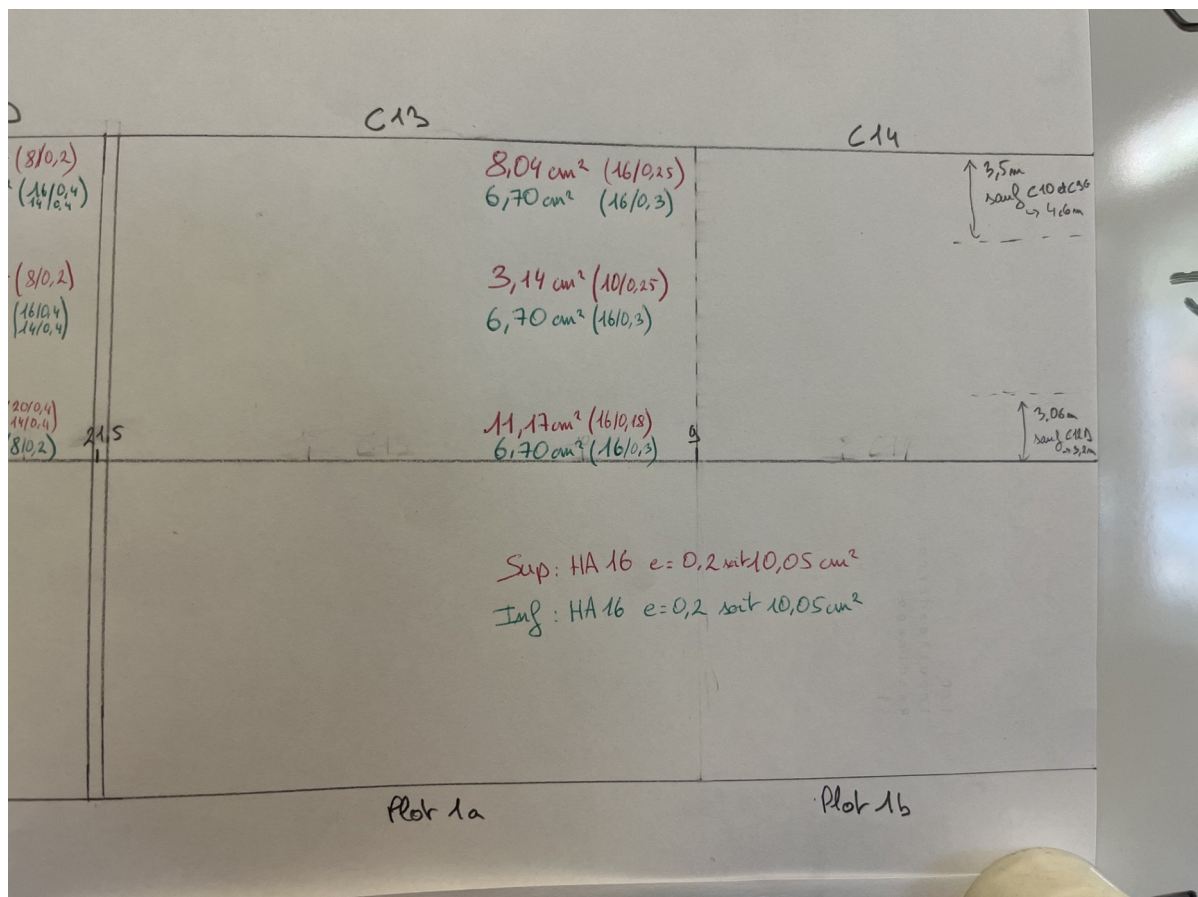
Pour le haut du voile V1, la section d'acier tendu est de $A_{s,tendu}=32,17\text{cm}^2$ (HA32 $e=0,25\text{m}$). La section $A_{s,min}$ calculée est de $33,70\text{cm}^2$ au niveau de la jardinière de 5m de l'aménagement futur. Le déficit d'acier à l'ELU y est donc de $1,53\text{cm}^2$ (4,76 %).

Le déficit n'étant pas présent avec l'aménagement actuel et apparaissant uniquement avec l'aménagement futur, on dimensionne notre renfort pour reprendre uniquement le déficit.

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



Aucun déficit au niveau des aciers transversaux supérieurs, que ce soit avec l'aménagement actuel ou l'aménagement futur.

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 supérieurs, nous remarquons qu'il n'y a que $3,14 \text{ cm}^2$ de section au niveau de ceux à mi-travée, quand il y en a $10,05 \text{ cm}^2$ 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 $10,05 \text{ cm}^2$, 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 $4,71 \text{ cm}^2$ de section résistante de fibre de carbone.

Renforcement des aciers transversaux inférieurs

Aucun déficit au niveau des aciers transversaux inférieurs, que ce soit avec l'aménagement actuel ou l'aménagement futur excepté à proximité de la jardinière de 5m où un déficit de $0,89 \text{ cm}^2$ apparaît.

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 $6,70\text{cm}^2$ de section au niveau de ceux à mi-travée en traverse Nord, quand il y en a $10,05\text{cm}^2$ pour la même zone en traverse Sud.

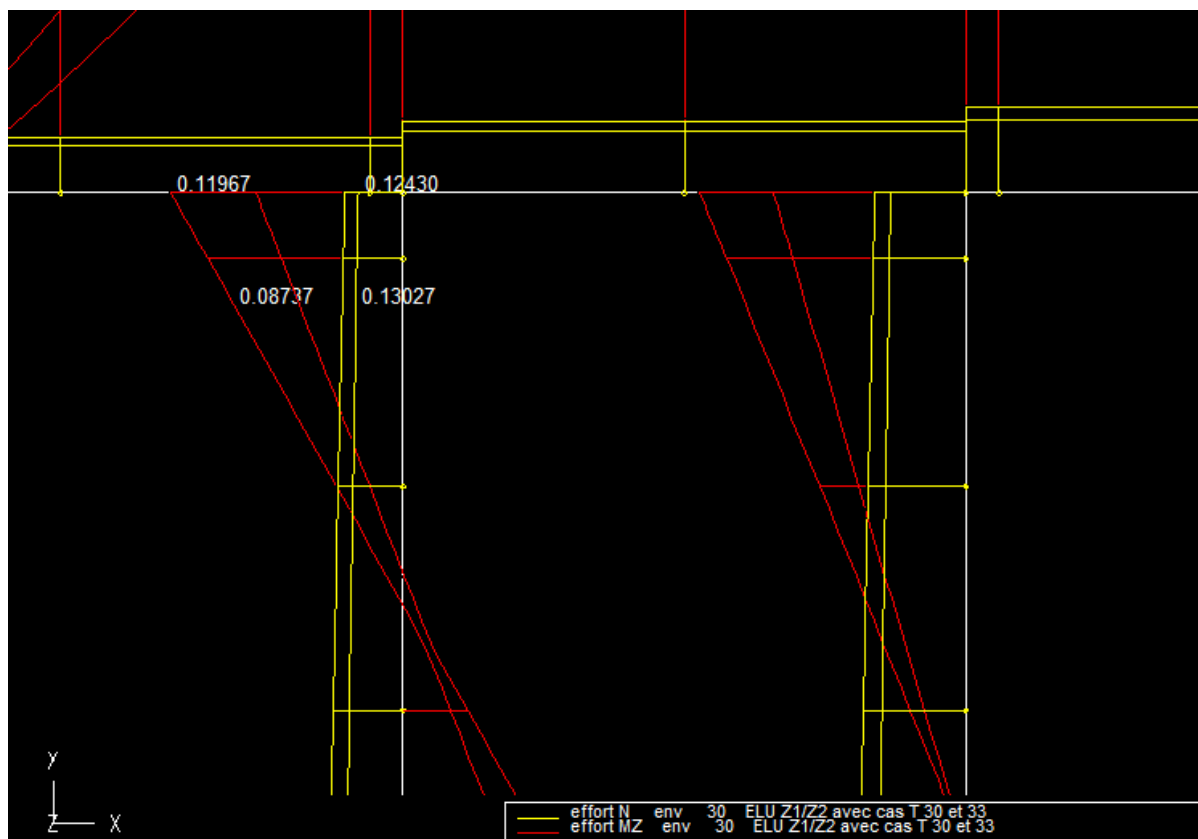
Pour la traverse Nord, étant donné les fissures, on considère que les aciers en place ne reprennent plus rien et doivent être remplacés, ou complétés.

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 $10,05\text{cm}^2$, semble être pertinent.

On renforce donc les aciers transversaux inférieurs de la traverse Nord avec les mêmes aciers qu'en traverse Sud (HA16 $e=0,2\text{m}$) 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 V3



Une vérification des efforts à différentes altitudes est menée jusqu'à trouver la hauteur à laquelle le voile haut du voile V3 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 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 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 $l_{b,rqd}$:

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

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 $\varnothing < 32\text{mm}$

$$f_{ctd} = f_{ctk}/\gamma_c$$

$$\gamma_c = 1,5$$

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

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

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

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

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

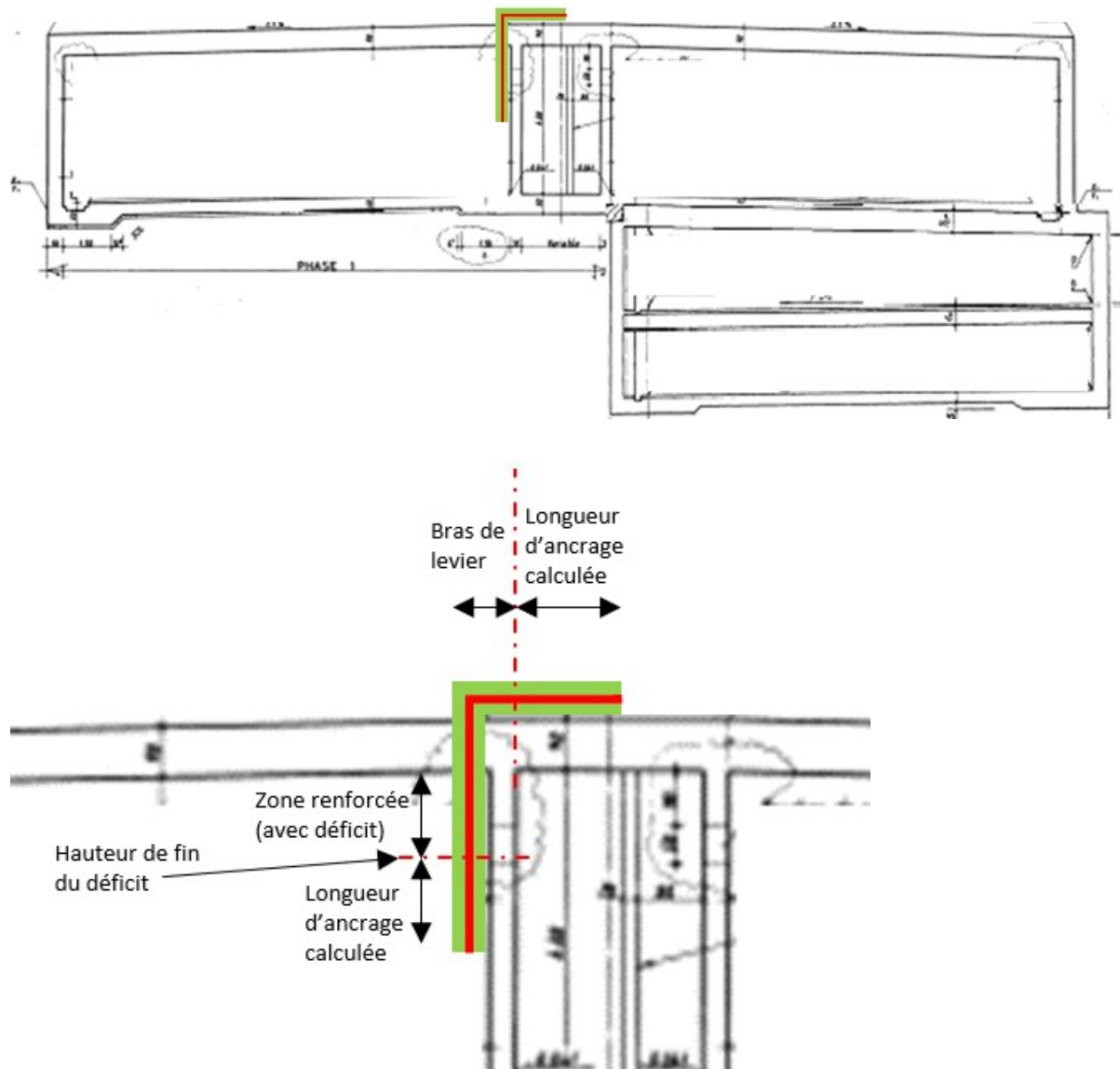
$$l_{b,rqd} = (12/4)(435/3,04)$$

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

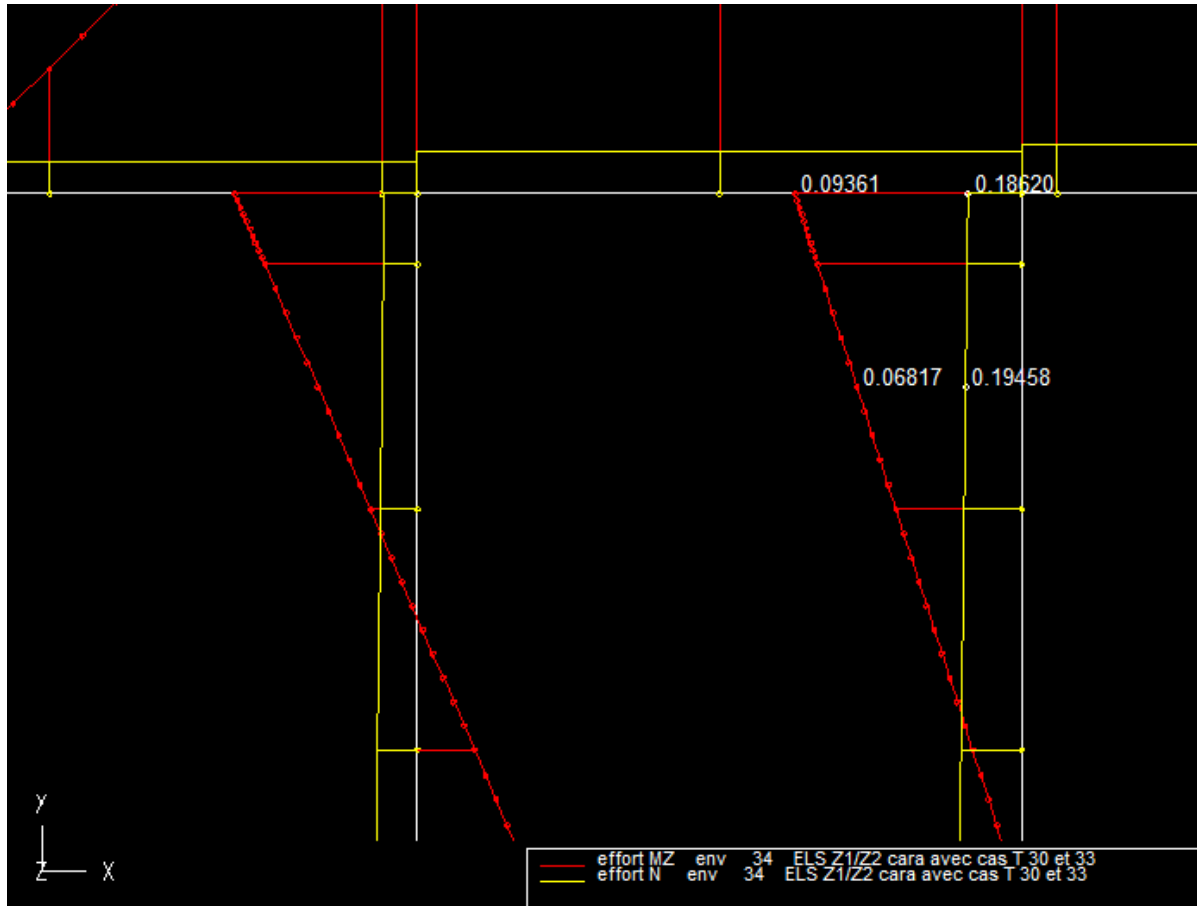
La longueur d'ancrage pour des aciers HA12 est 42,9 cm.

Le renforcement du haut du voile 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.



Renforcement du haut du voile V4



Une vérification des efforts à différentes altitudes est menée jusqu'à trouver la hauteur à laquelle le haut du voile V4 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 V4 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 V4 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

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

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

$$\gamma_c = 1,5$$

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

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

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

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

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

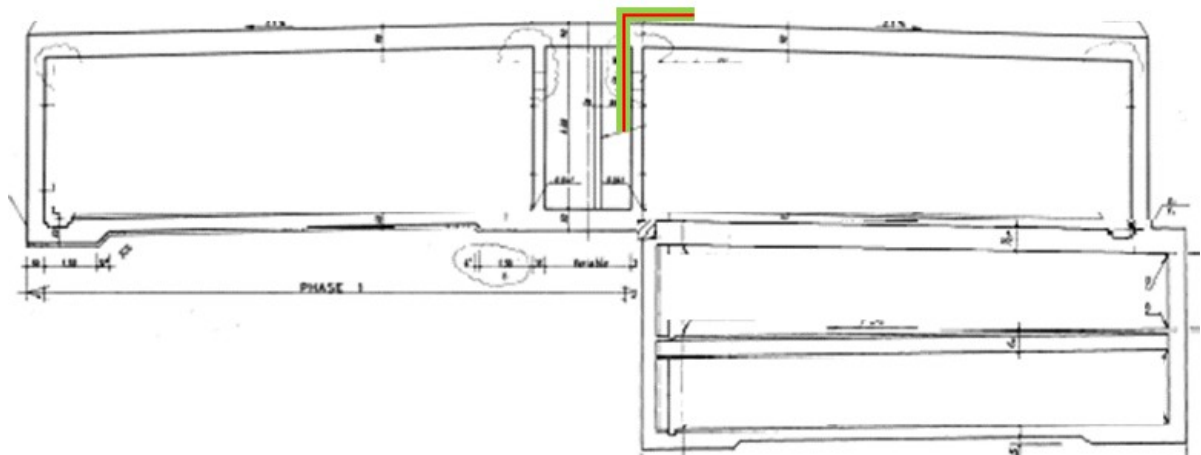
$$l_{b,rqd} = (12/4)(435/3,04)$$

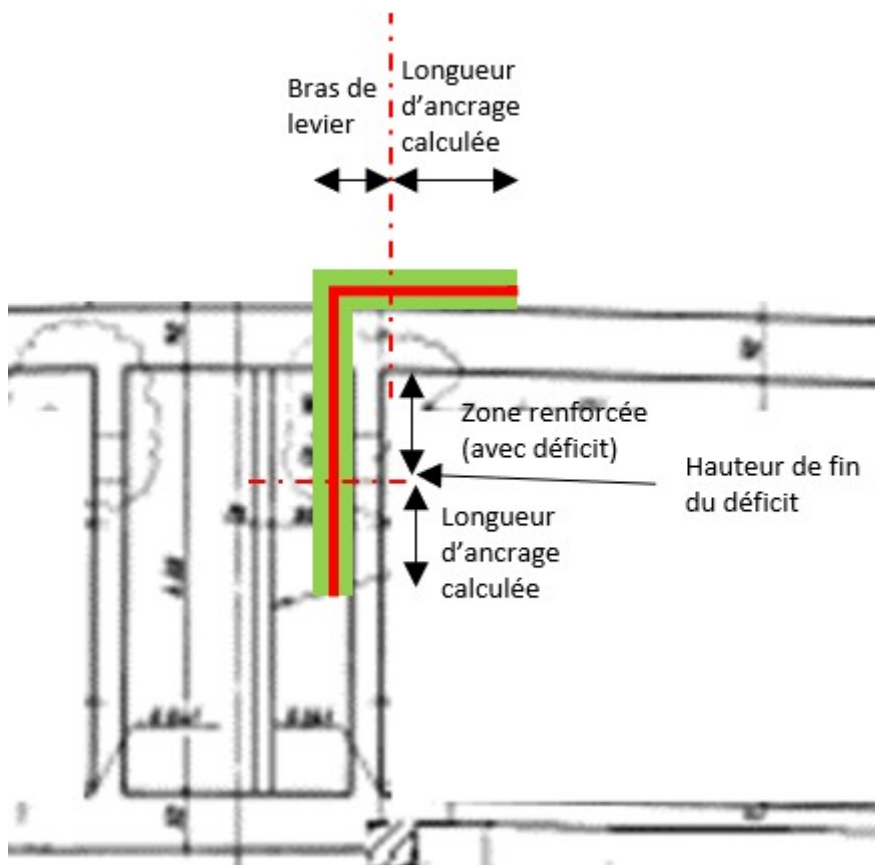
$$l_{b,rqd} = 429 \text{ mm}$$

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

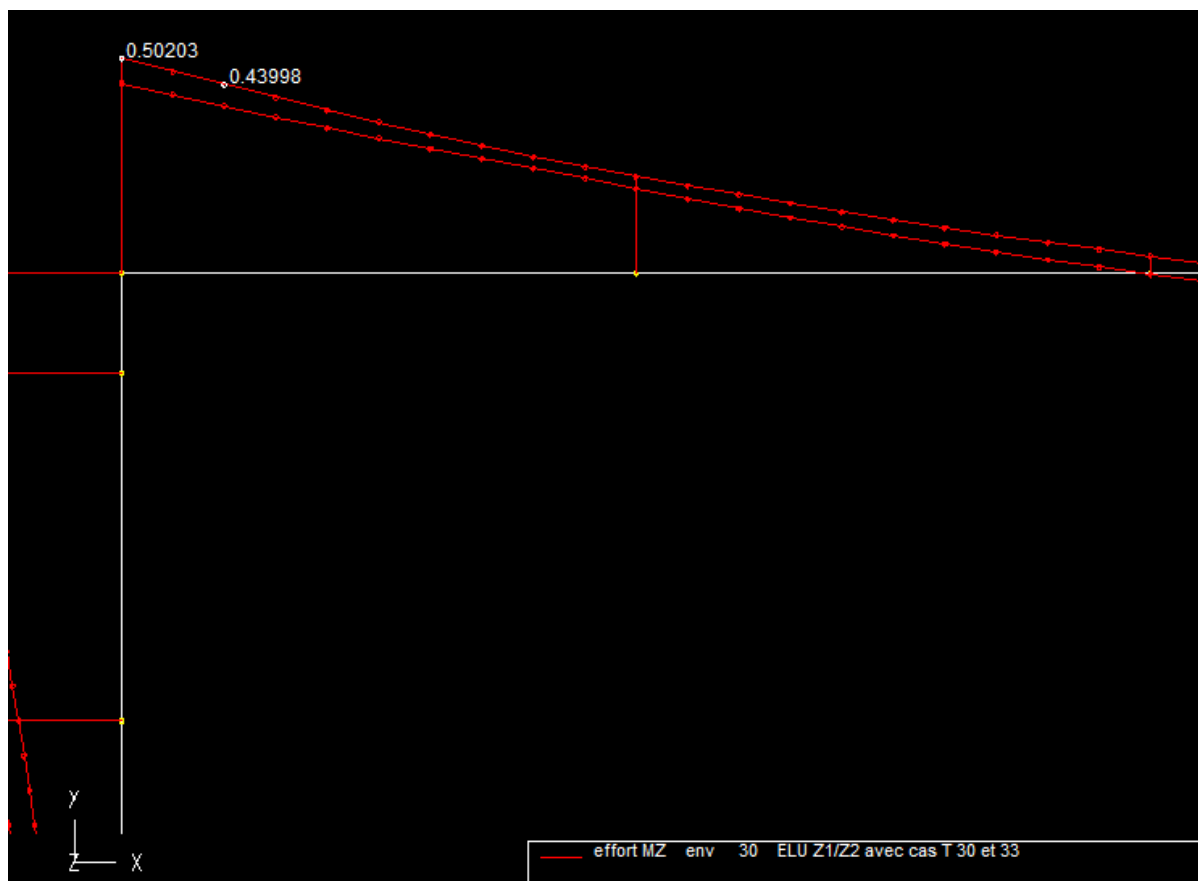
Le renforcement du haut du voile V4 se présentera sous la forme d'un renforcement de béton armé de 12cm d'épaisseur tel que représenté sur les schémas ci-dessous.

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 V3 et V4 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 β 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

μ = 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 : $\mu = 0,6$

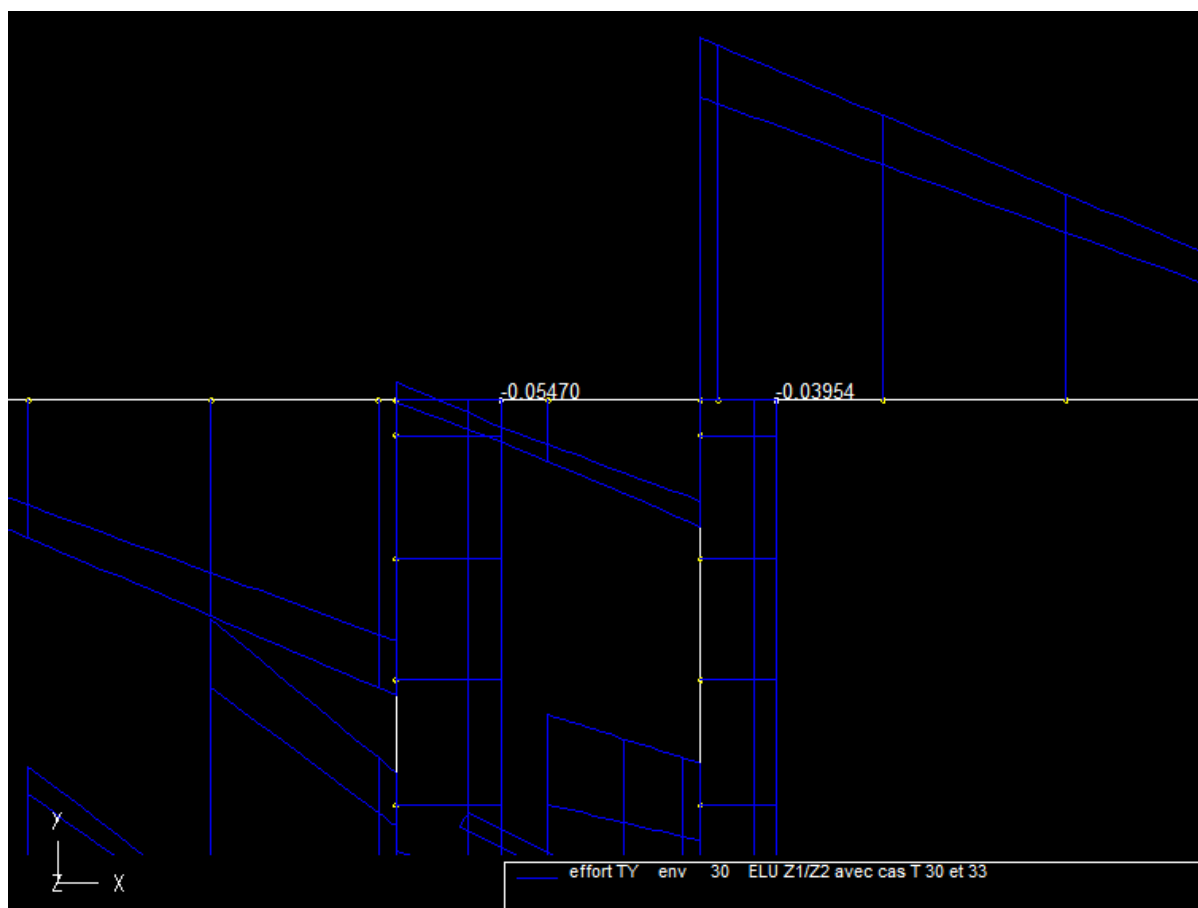
Pour le renforcement du voile V3, $V_{ed} = 0,05470 \text{ MN.m}$, $d = 0,47 \text{ m}$:

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

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

Pour le renforcement du voile V4, $V_{ed} = 0,03954 \text{ MN.m}$, $d = 0,47 \text{ m}$:

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



Dimensionnement renforcement en matériau composite

Pour la zone 1, les différents déficits calculés aux niveaux des zones de renforcement en matériau composite ont été regroupés 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^2 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^2 | |
|------|--|-----------------------|--|--|--|--|------------------------|------------------------|-----|
| 1 | Haut voile V1 sous jardinière | 0,5 | 1,53 | 589,08 | 560 | 29,08 | <30kN.m | 15 | T01 |
| 1 | Dalle proche V1 hors jardinière | 0,7 | 1,55 | 502,03 | 466 | 36,03 | <40kN.m | 85 | T01 |
| 1 | Dalle proche V1 sous jardinière | 0,7 | 5,34 | 589,08 | 466 | 123,08 | <130kN.m | 25 | T01 |
| 1 | Dalle proche V5 sous jardinière | 0,7 | 0,46 | 385,9 | 375 | 10,9 | <20kN.m | 21 | T02 |
| 1 | Aciers transversaux inférieur dalle Nord | 0,7 | 0,89 | 183,17 | 161 | 22,17 | <30kN.m | 44 | TF |
| 1 | Aciers transversaux supérieur dalle Nord | 0,7 | Pas de déficit mais comparaison avec dalle Sud | Effort pouvant être repris par $10,05 \text{ cm}^2$: 241 kN.m | Effort pouvant être repris par $3,14 \text{ cm}^2$: 76 kN.m | 165 | <170kN.m | 198 | T02 |

CONCLUSION

Voiles

Les hauts des voiles centraux V3 et V4 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.

A proximité de la jardinière de 5m de l'aménagement futur, il apparaît un déficit en haut du voile V1, celui-ci devra être renforcé. Le renforcement se fera avec de la fibre de carbone.

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.

Au niveau des aciers supérieurs de la dalle à proximité du voile V5, il apparaît un déficit pour le futur aménagement à proximité de la jardinière de 5m, ces aciers doivent donc être renforcés. Le renforcement se fera avec de la fibre de carbone.

Traverse – aciers transversaux

Au niveau des aciers transversaux inférieurs à mi-travée de la traverse Nord, il apparaît un déficit pour le futur aménagement à proximité de la jardinière de 5m, ces aciers 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 1. 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 1. Le renforcement se fera avec de la fibre de carbone.

