



**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 3**

---

**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 3 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 3 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 importants en zone 3 travée Nord.

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 de la travée Sud
- 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 3 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 3, les deux travées latérales mesurent 14 m, et la travée centrale est de largeur variable : de 2,82m à l'ouest à 2,69m à l'Est.

La zone 2 est composé d'un cadre qui s'étend sur 28m.

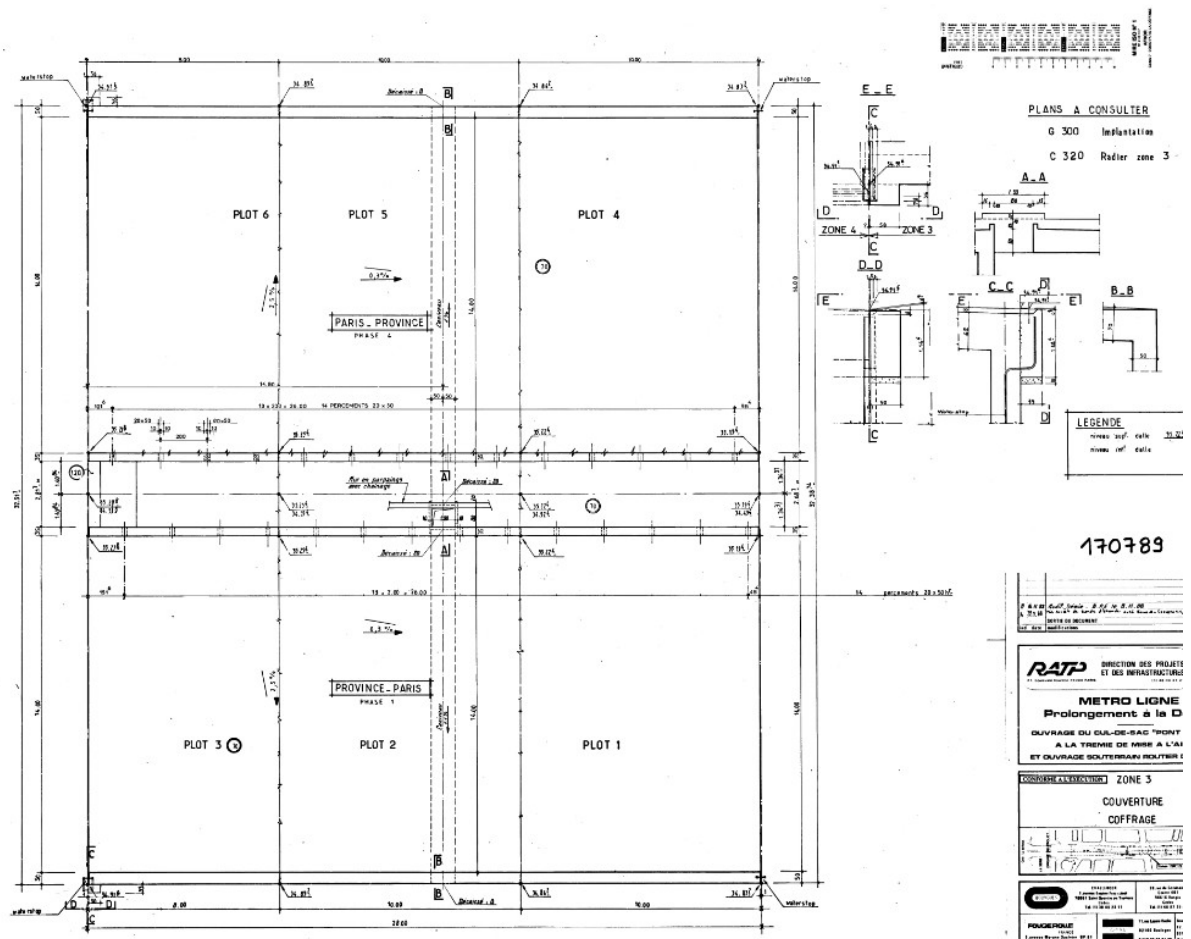


Figure 3: Plan de coffrage de la traverse Zone 3

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.



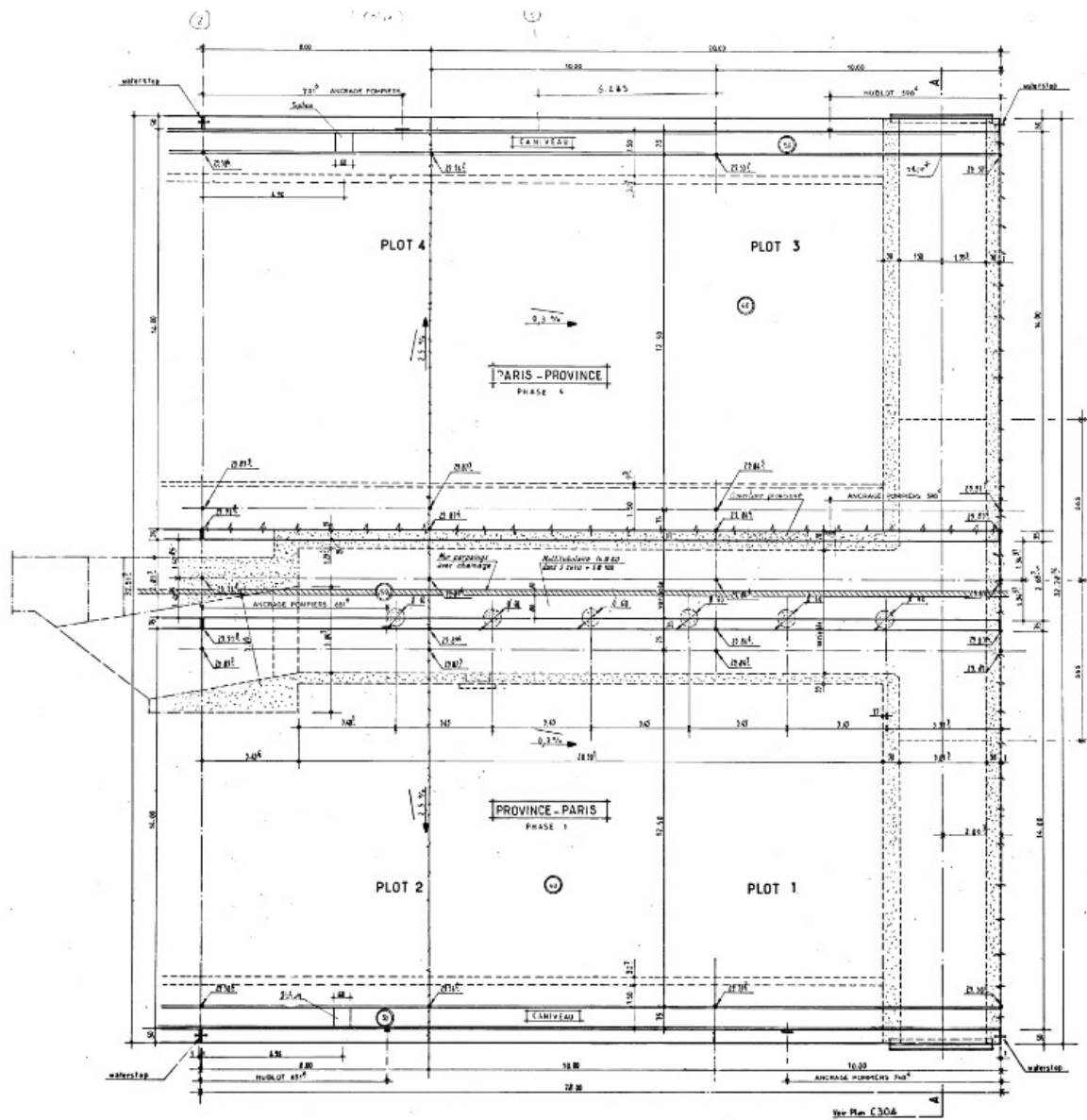


Figure 4: Plan de coffrage radier zone 3

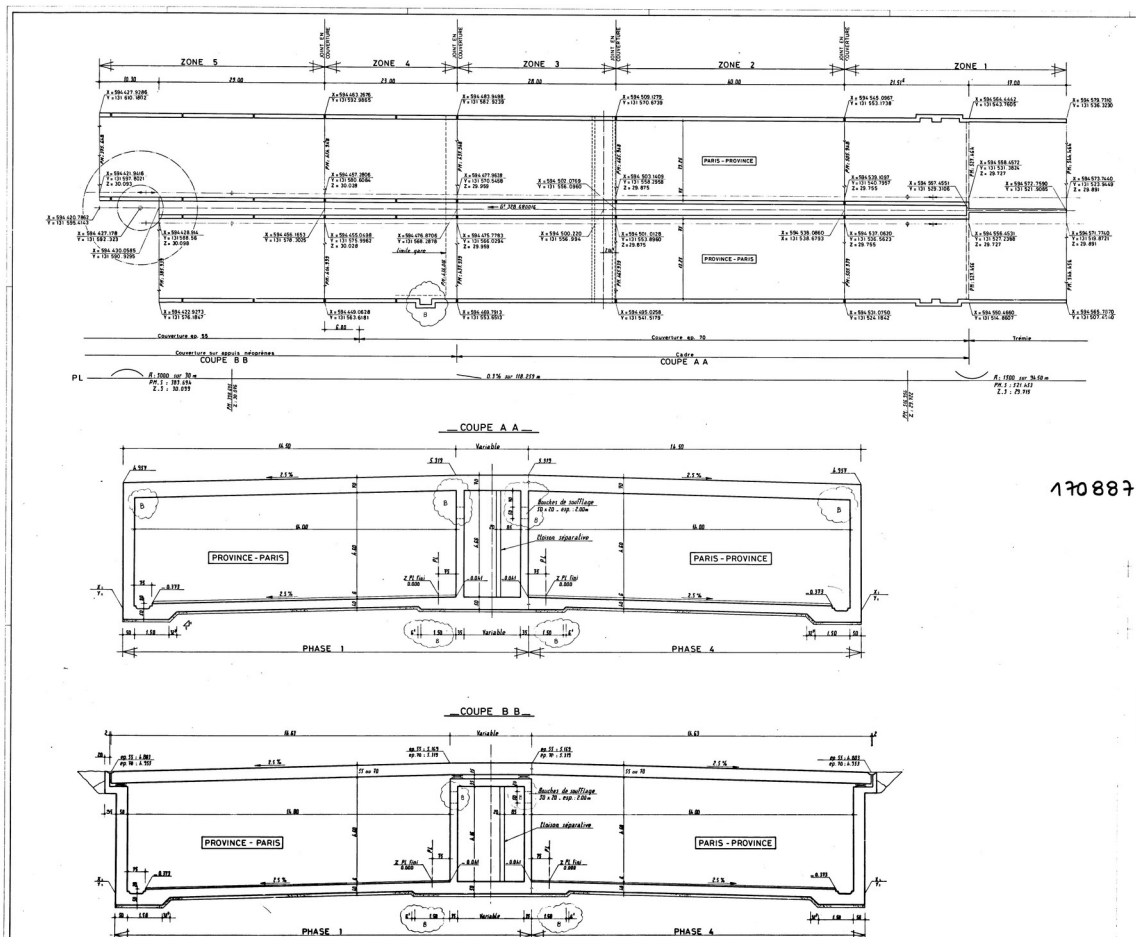


Figure 5: Coupe transversale du cadre en Zone 2 (plan 170888)

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 accès métro depuis les accès Nord et Sud accroché en dessous du radier de la zone 3. Cet accès est visible sur le plan de coffrage du radier ci-dessus en forme de T dont la tête est orientée vers l'Est. Cet accès est situé en dessous du voile VC8.
- la fin d'un parking sur deux niveaux situé en dessous de l'accès RATP en T lui-même en dessous de la travée Nord sur l'Est de la zone 3. 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 3 mais qui ne serait pas relié directement au cadre d'après les plans 170809 à 170813, et n'aurait donc pas d'impact sur le cadre en zone 3.
- un escalier d'accès à la centrale de ventilation (visible sur le plan 171169) qui est accroché directement au voile Nord VC8 de la zone 3.
- une centrale de ventilation représentée sur les plans 170801 à 170804. La centrale comprend un puits d'aération de 12m de long et de 12m de profondeur accroché au voile V4 de la zone 3. La centrale de ventilation s'étend également sur en dessous du radier de la travée Nord du cadre sur toute la longueur de la zone 3.

# Parking sur deux niveaux

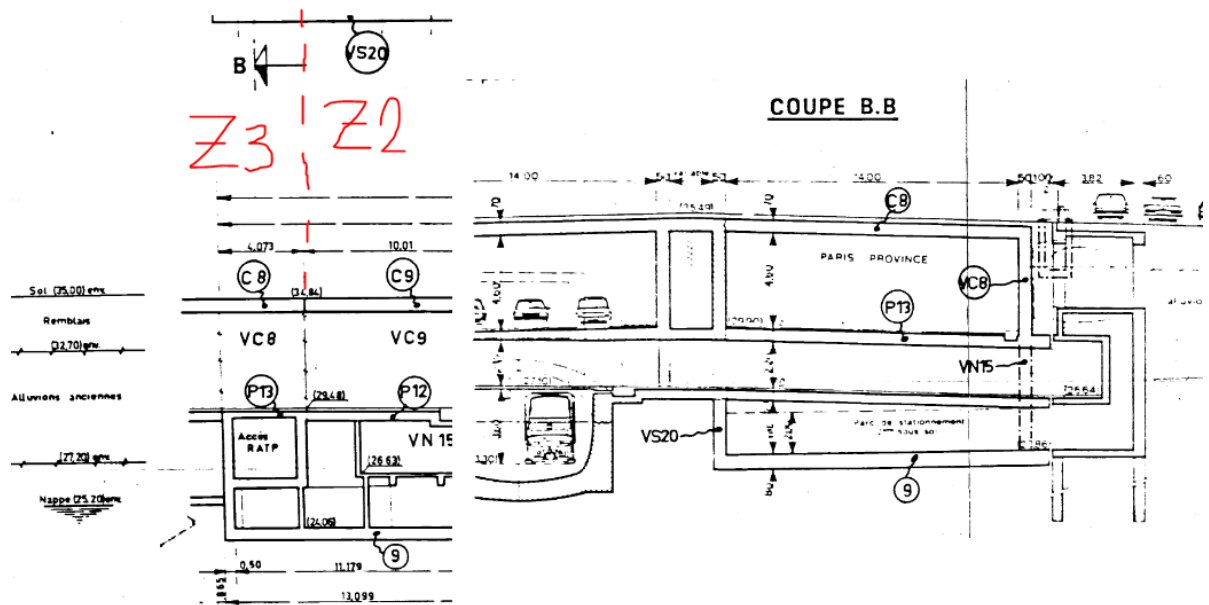


Figure 6: Coupes transversale et longitudinale de la fin du parking en dessous de la zone 3\_plan 171234

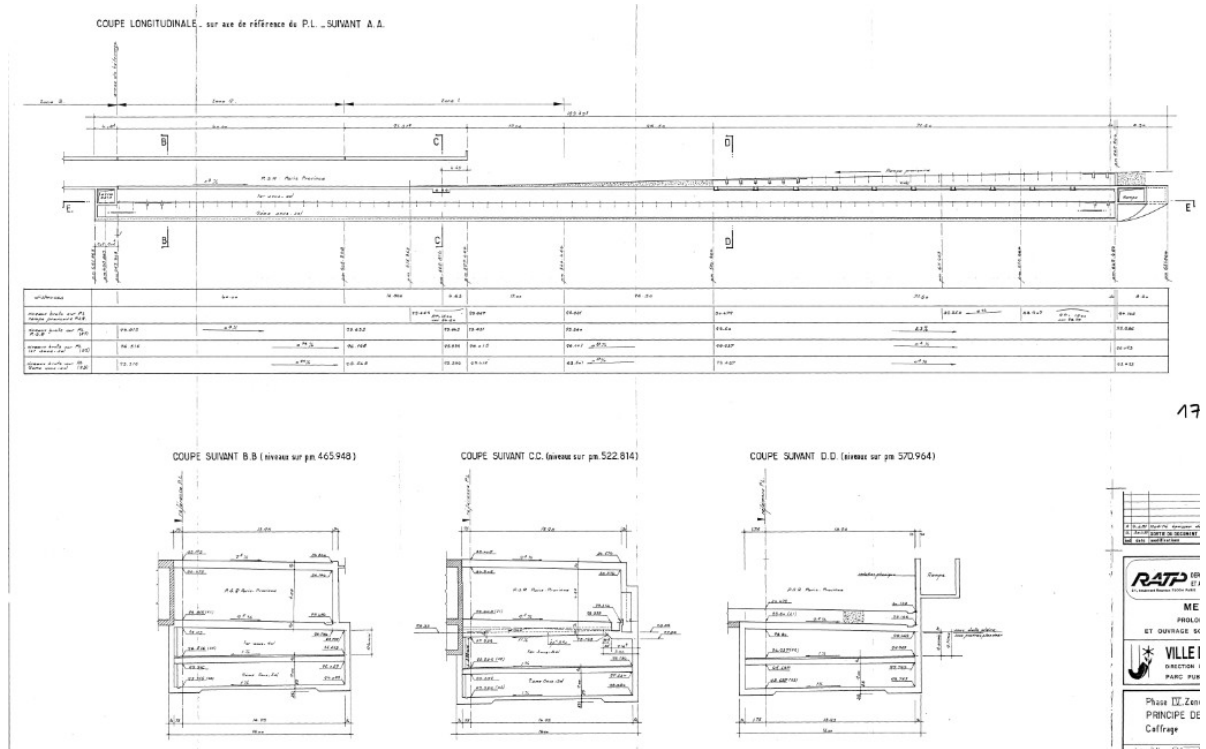


Figure 7: Plan et coupes de principe parking\_plan 171233

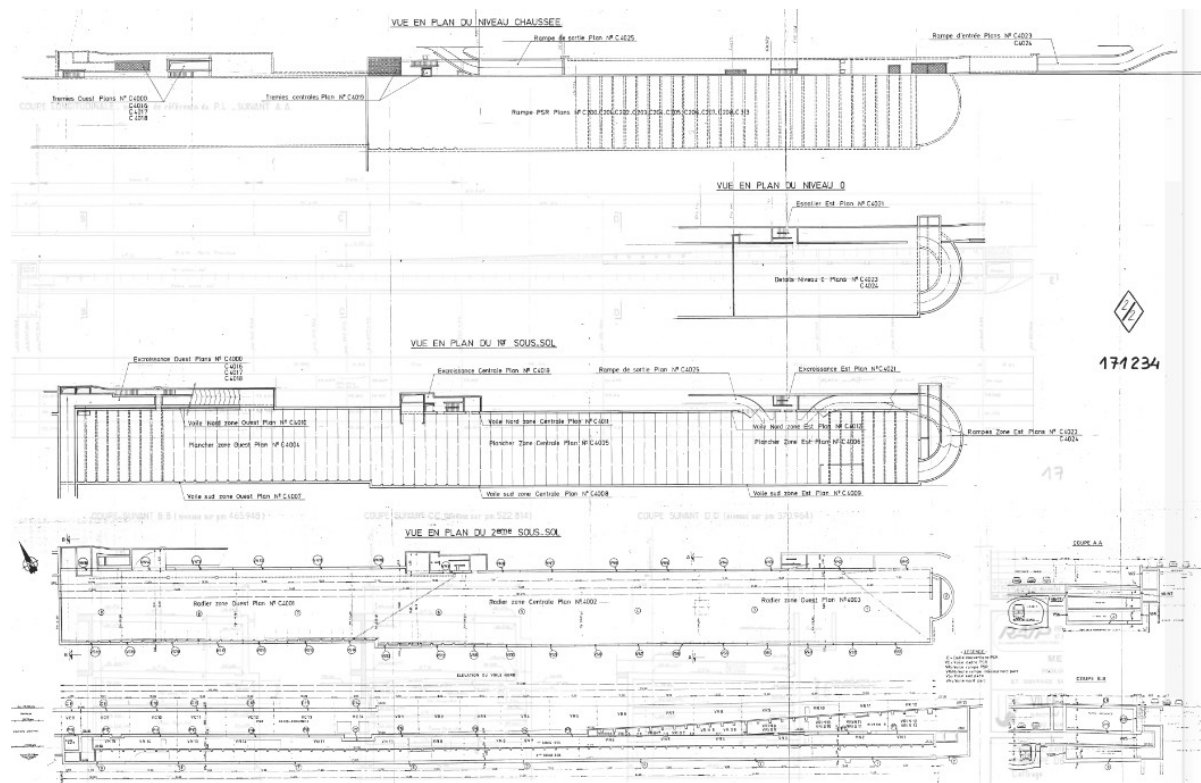


Figure 8: Plan synoptique de repérage\_plan 171234

## Accès métro Sud

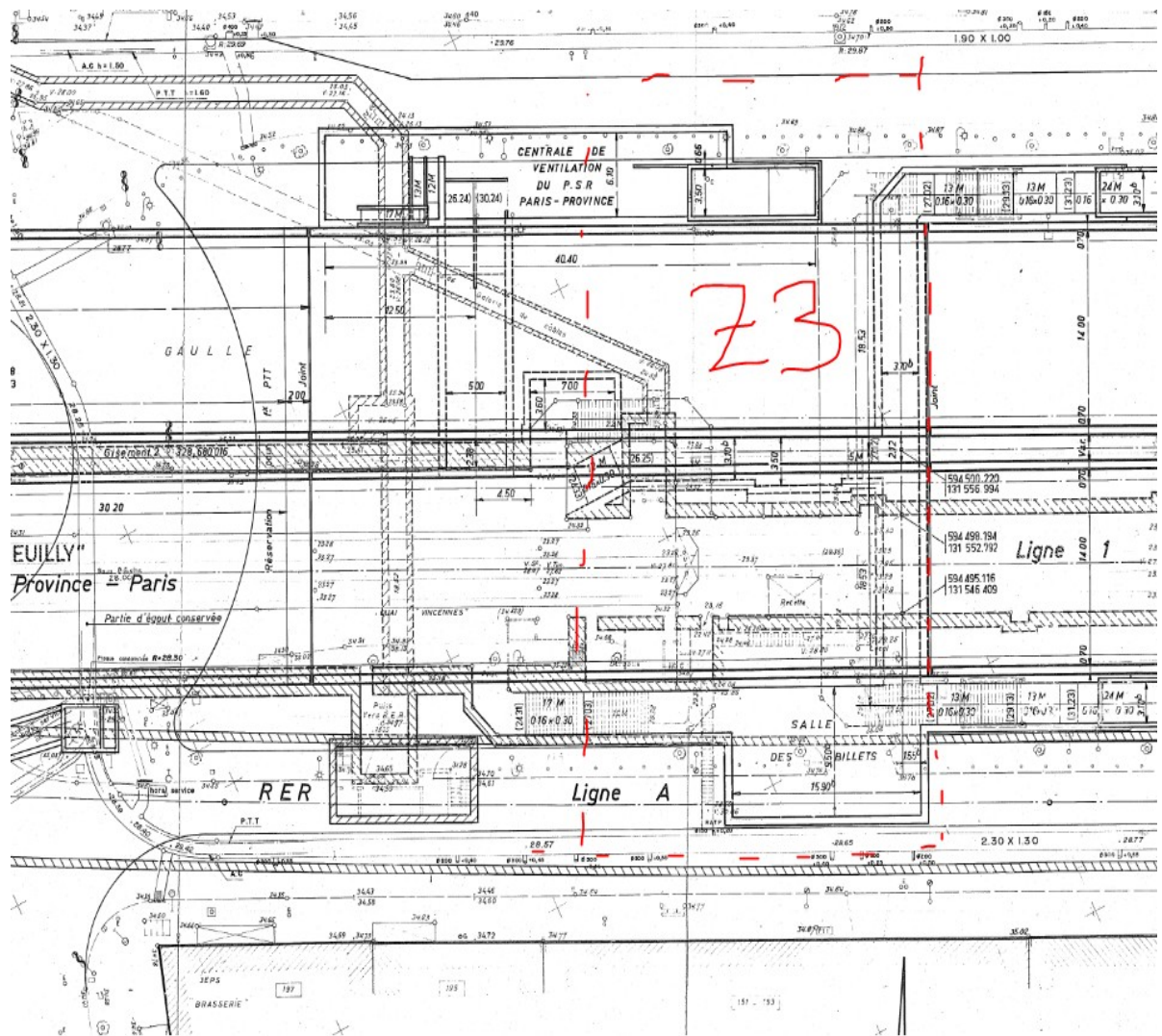


Figure 9: Plan représentant les accès métro Nord et Sud (plan non totalement conforme à la réalité)

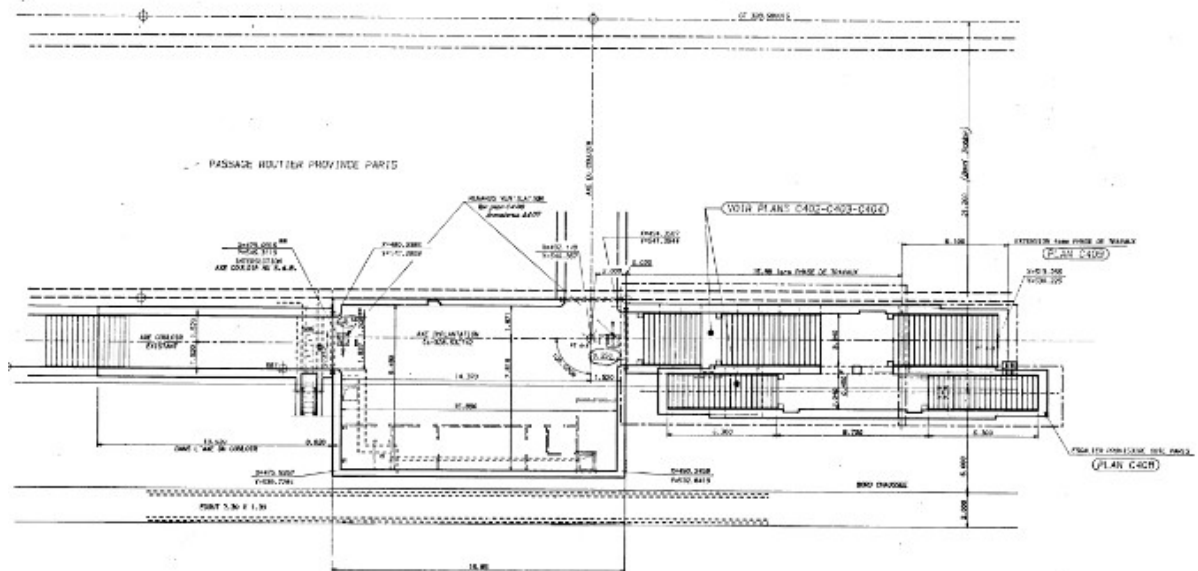


Figure 10: Accès métro Sud\_plan 170805

### COUPE 3 3

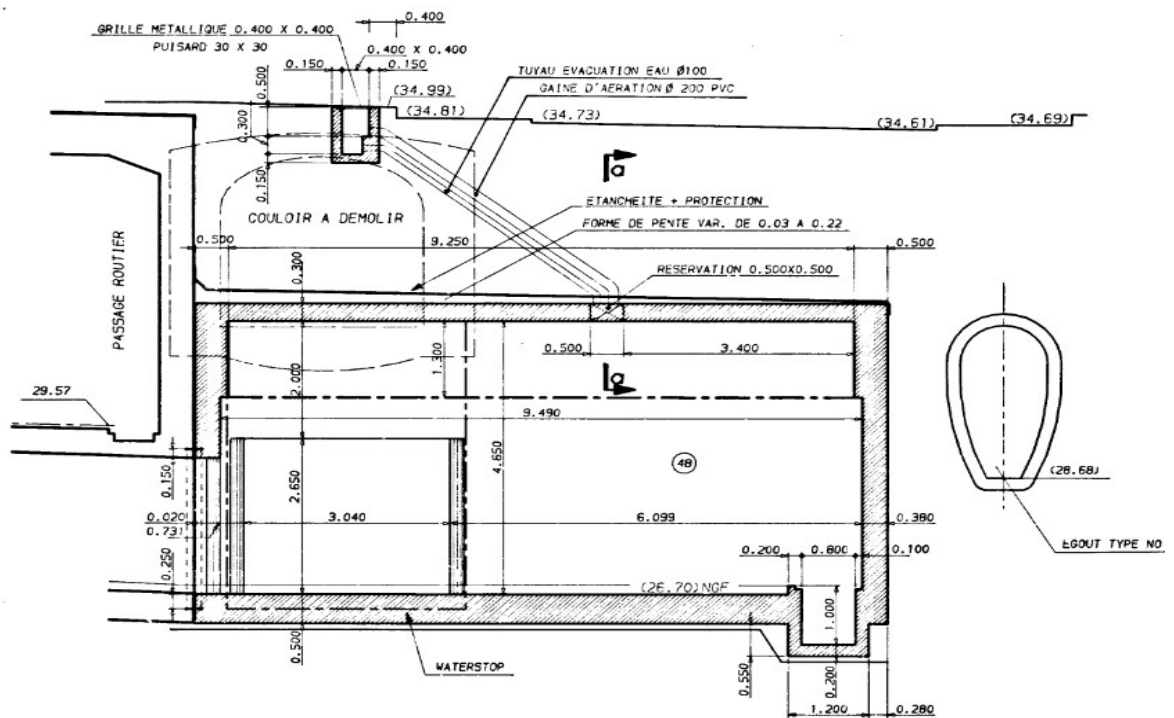


Figure 11: Accès métro Sud\_plan 170810



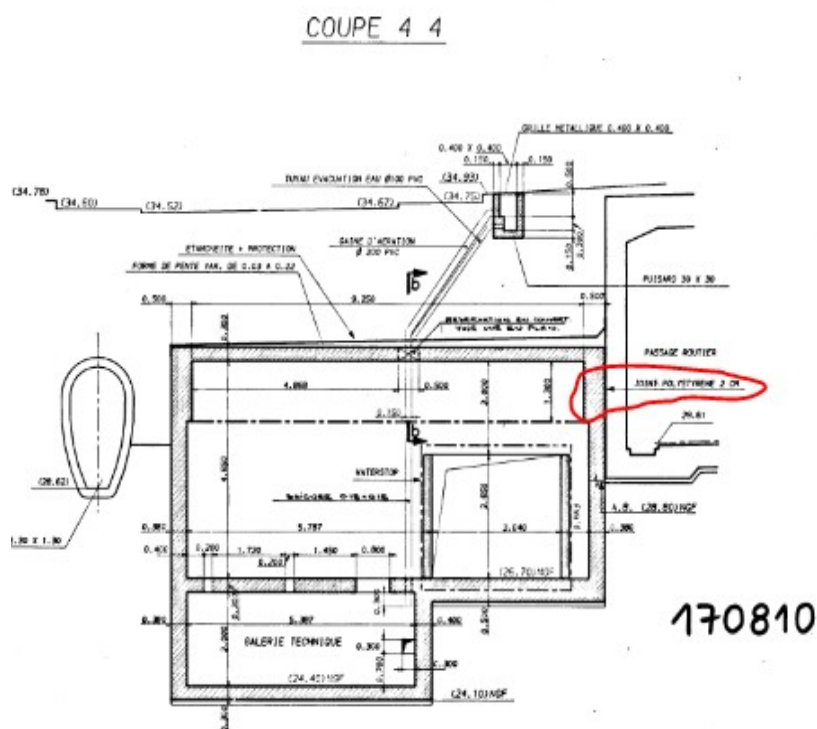


Figure 12: Accès métro Sud\_plan 170810

### Escaliers accrochés au voile V4 du cadre

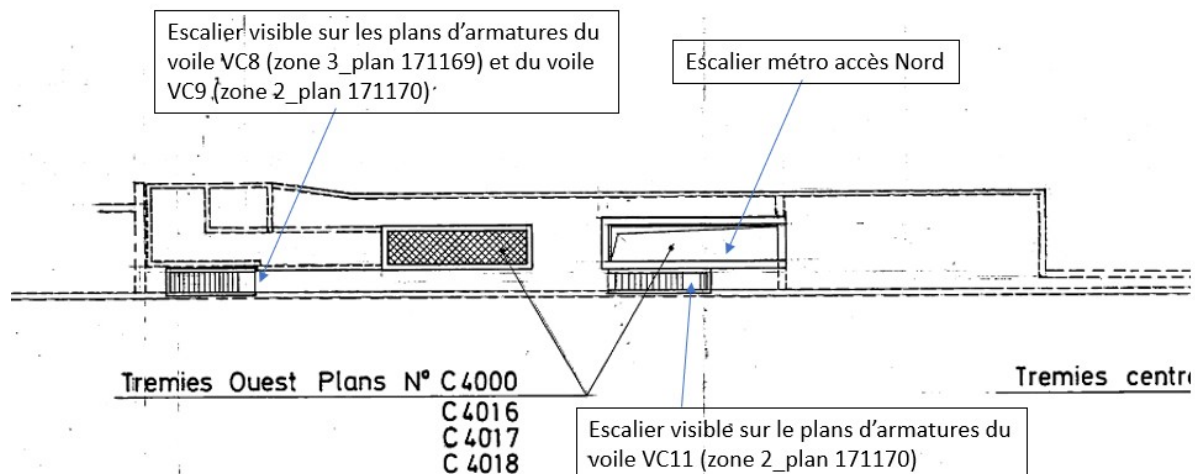


Figure 13: Extrait annoté du plan 171234 pour visualisation des escaliers reliés au cadre zone 3

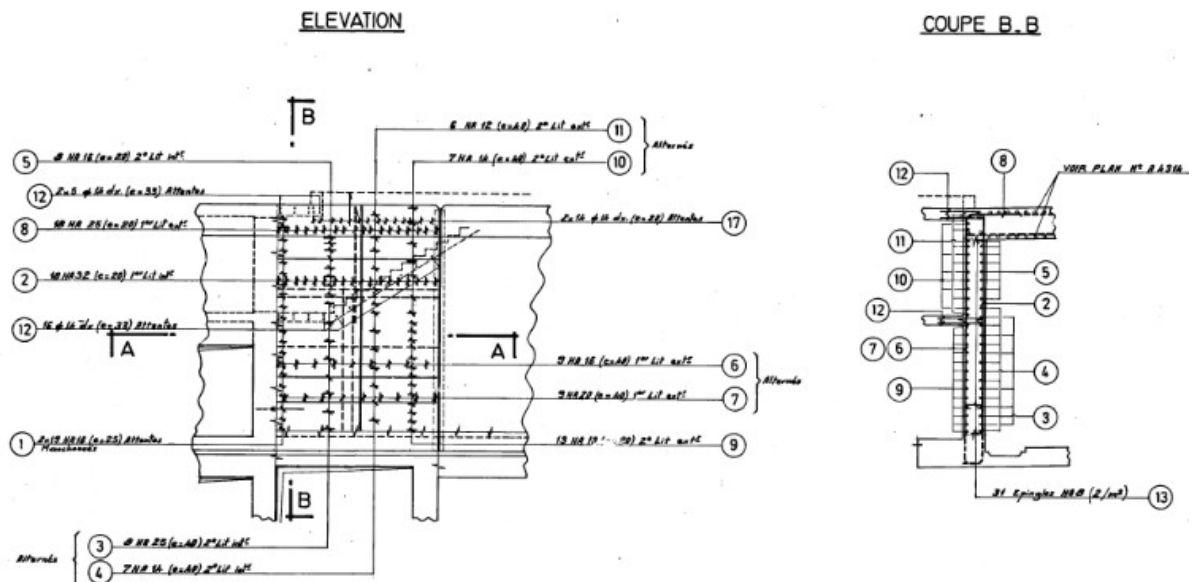


Figure 14: Voile VC8 avec l'escalier accroché au cadre représenté\_plan 171169

### Escaliers accrochés au voile V4 du cadre

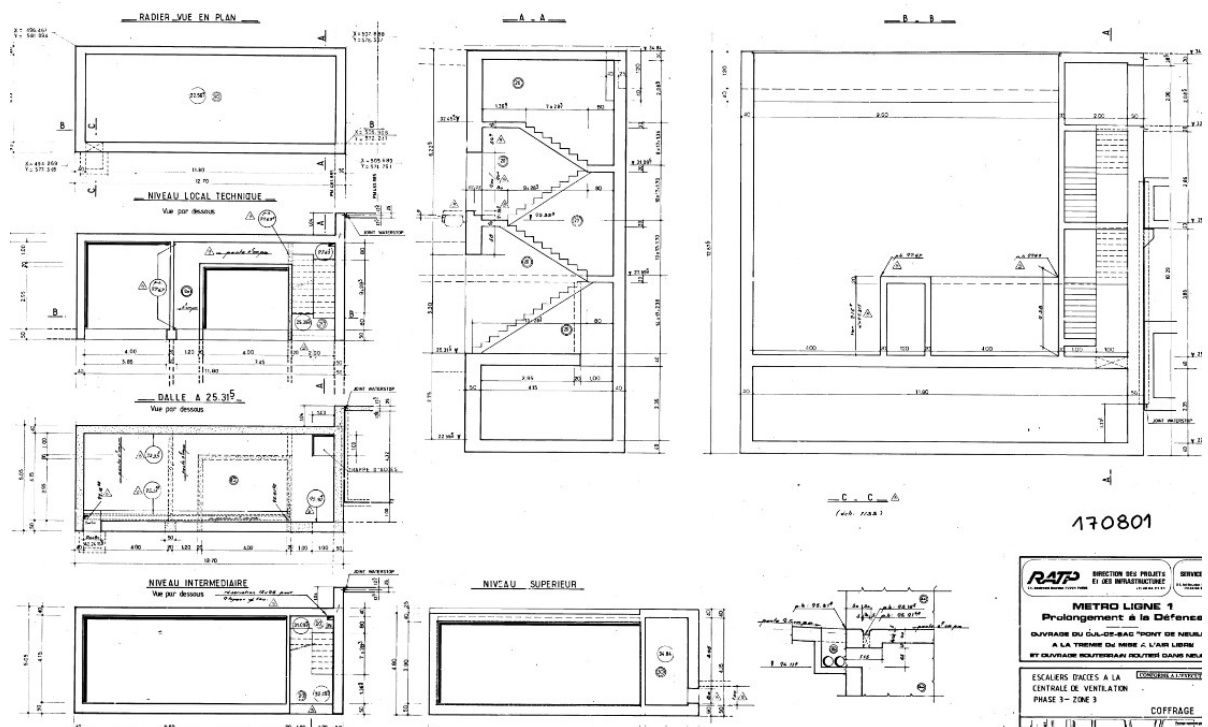


Figure 15: Escalier d'accès et puits de la centrale de ventilation\_plan 170801



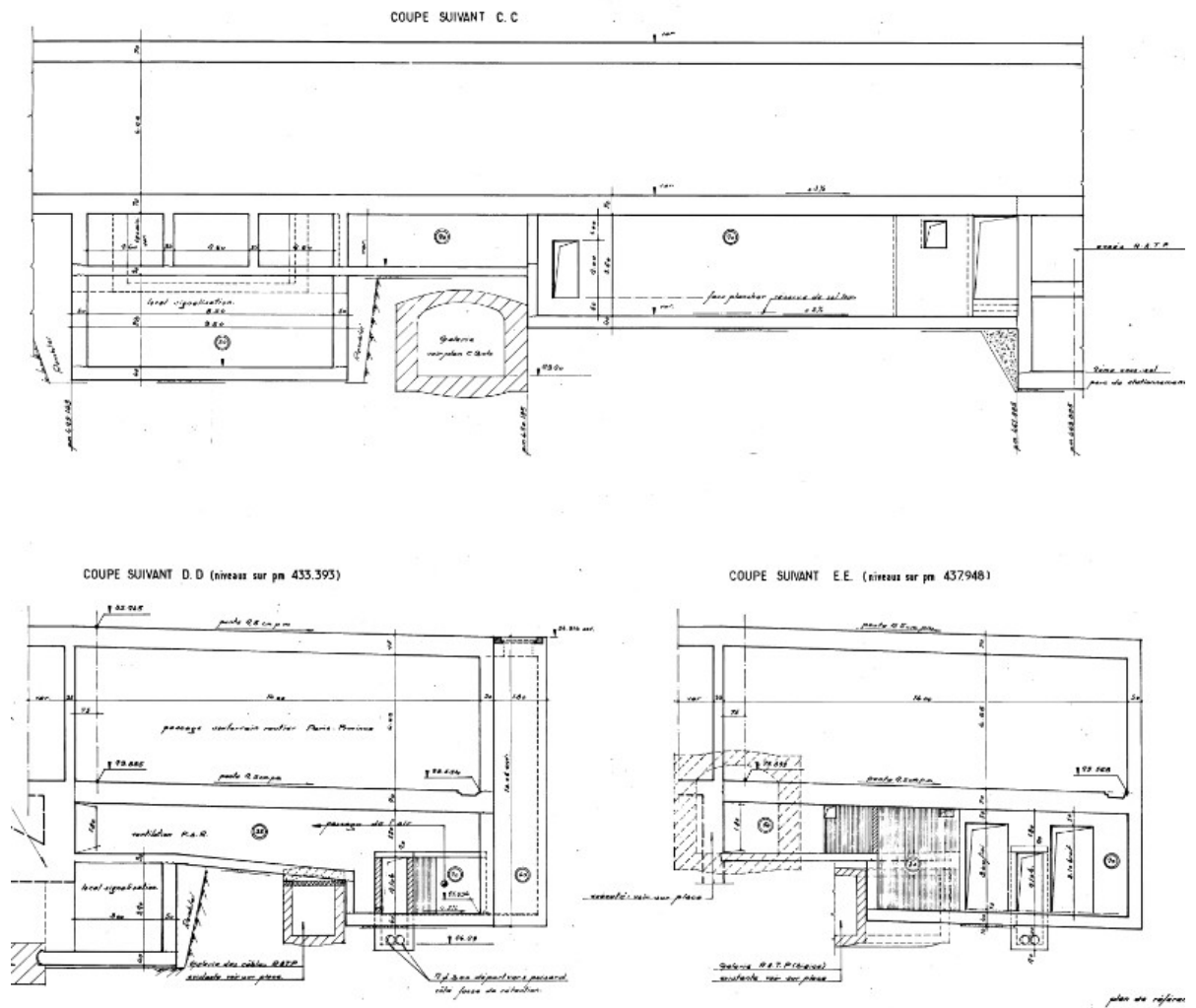


Figure 17: Centrale de ventilation coupes\_plan 170803

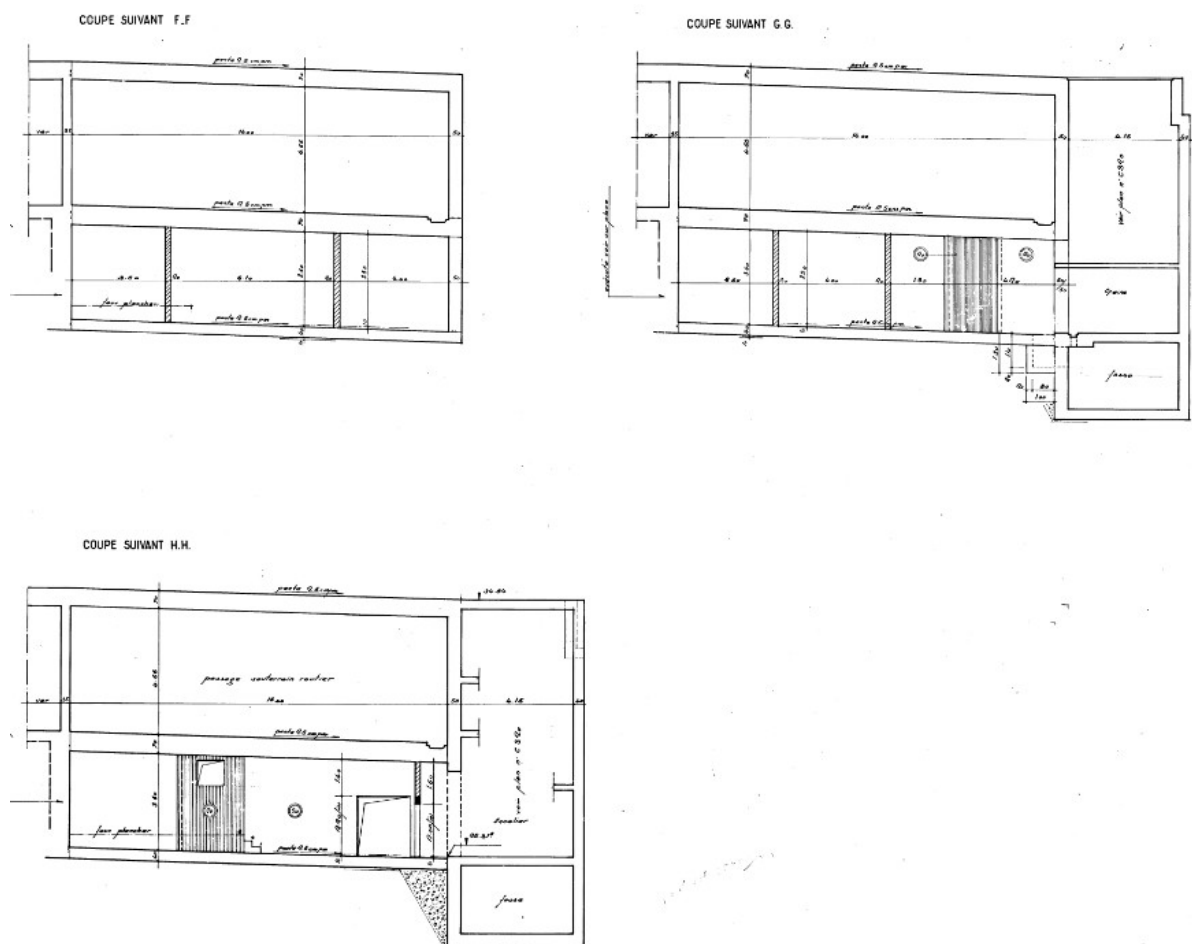


Figure 18: Centrale de ventilation coupes\_plan 170804

### Aménagement de la dalle :

La dalle de la zone 3 est occupée par des jardinières et une zone piétonne.

L'aménagement actuel fait  $1158\text{kg/m}^2$  au centre de la zone excepté pour la fontaine où il fait  $1254\text{kg/m}^2$ , et  $1590\text{kg/m}^2$  au niveau des quatre jardinières dans les coins de la zone.



Figure 19: Schéma de l'aménagement actuel de la zone 3





A l'avenir l'aménagement au-dessus de la dalle va évoluer, et sera composé d'une zone piétonne au Nord (774kg/m<sup>2</sup>), d'une zone de jardinières au centre (970kg/m<sup>2</sup>), et d'une zone piétonne et vélo au Sud (1014kg/m<sup>2</sup>).



Figure 21: 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).

En travée Nord-Est (sens Paris-La Défense), on observe une fissuration importante. 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 de 0,5mm principalement dans la direction transversale à proximité des piédroits.

La travée Sud-Est, qui présente le même aménagement que celle Nord-Est avec les jardinières, est quant-à-elle moins fissurée. Cela s'explique par un ferrailage plus important mis en place dans les travées Sud. Elle comporte tout de même des fissures longitudinales de 0,3mm

Le Nord-Ouest de la zone 3 est moins fissuré que le Nord-Est.

## RN 13 - SENS PARIS / LA DEFENSE

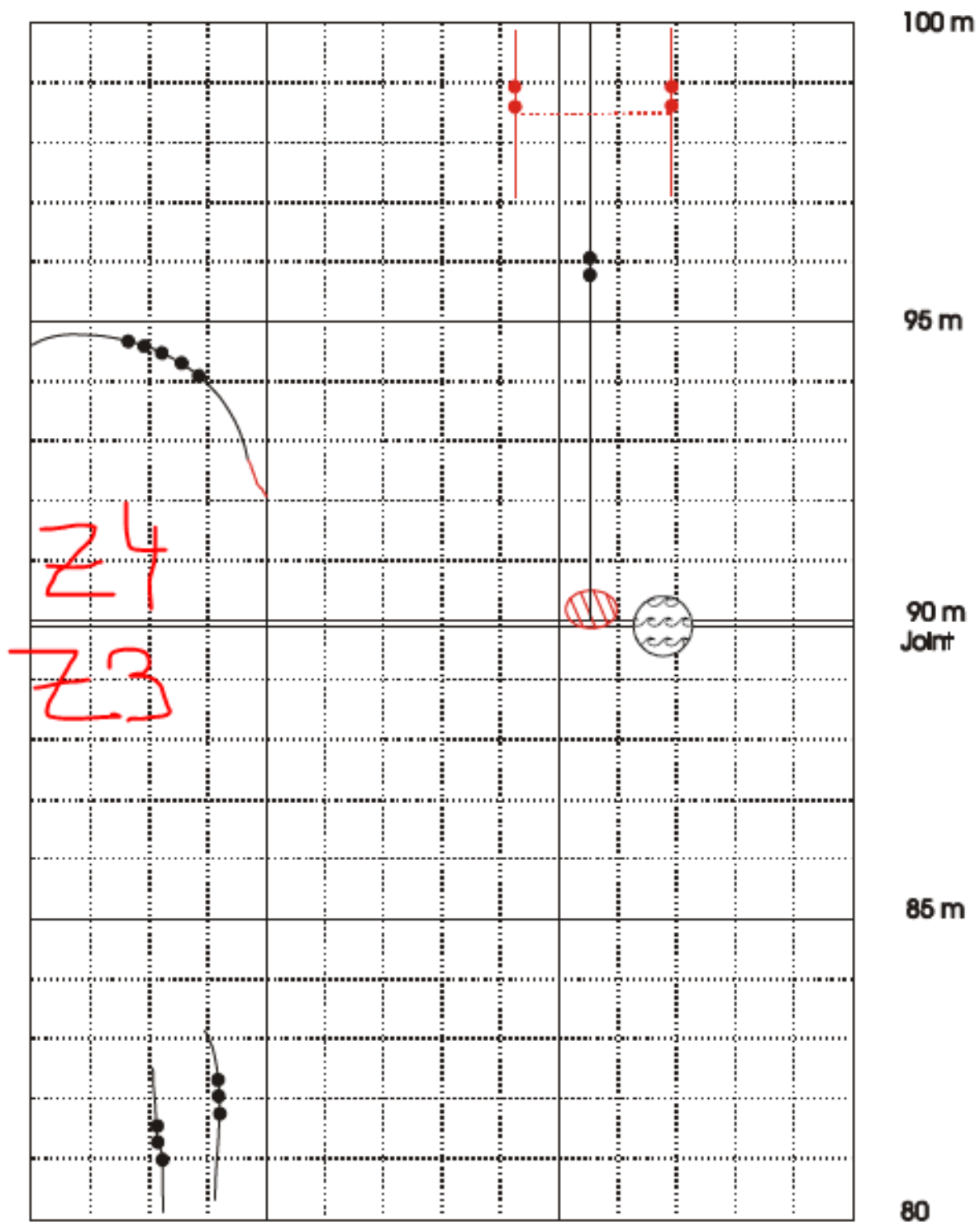


Figure 22: Planche de fissuration travée Nord-Ouest Zone 3

RN 13 - SENS PARIS / LA DEFENSE

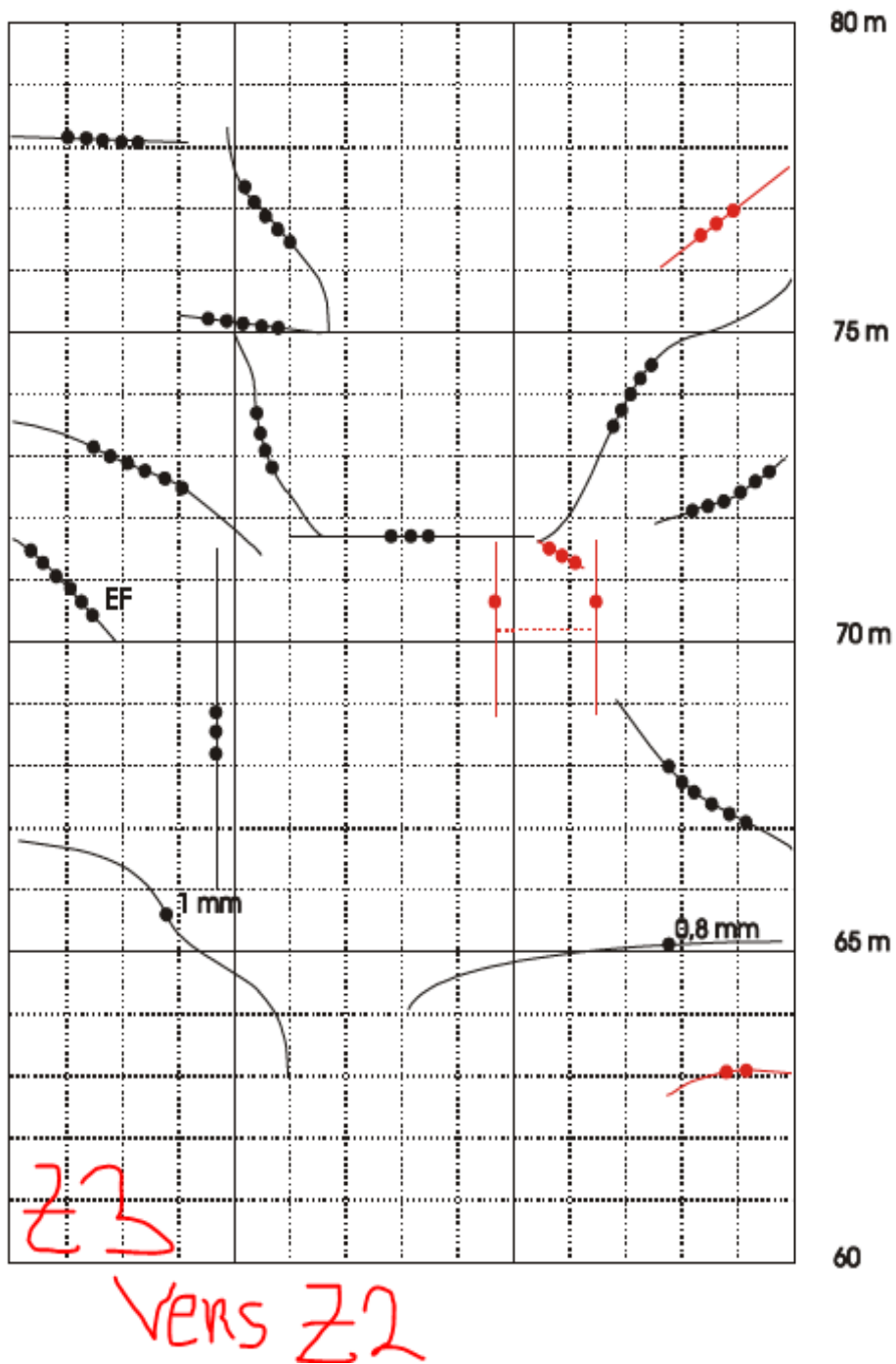


Figure 23: Planche de fissuration travée Nord-Est Zone 3

# RN 13 - SENS LA DEFENSE / PARIS

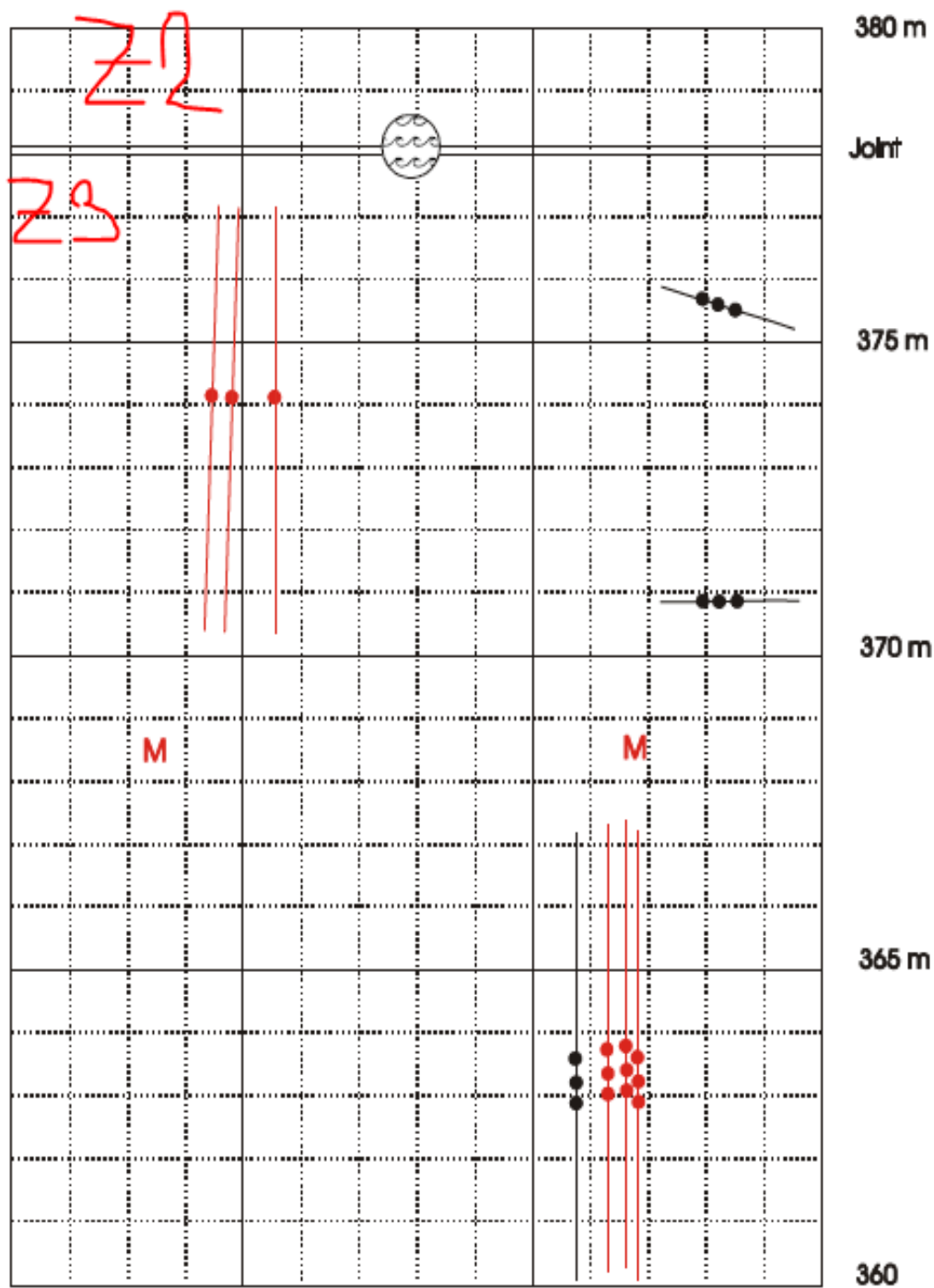


Figure 24: Planche de fissuration travée Sud-Est Zone 3

**RN 13 - SENS LA DEFENSE / PARIS**

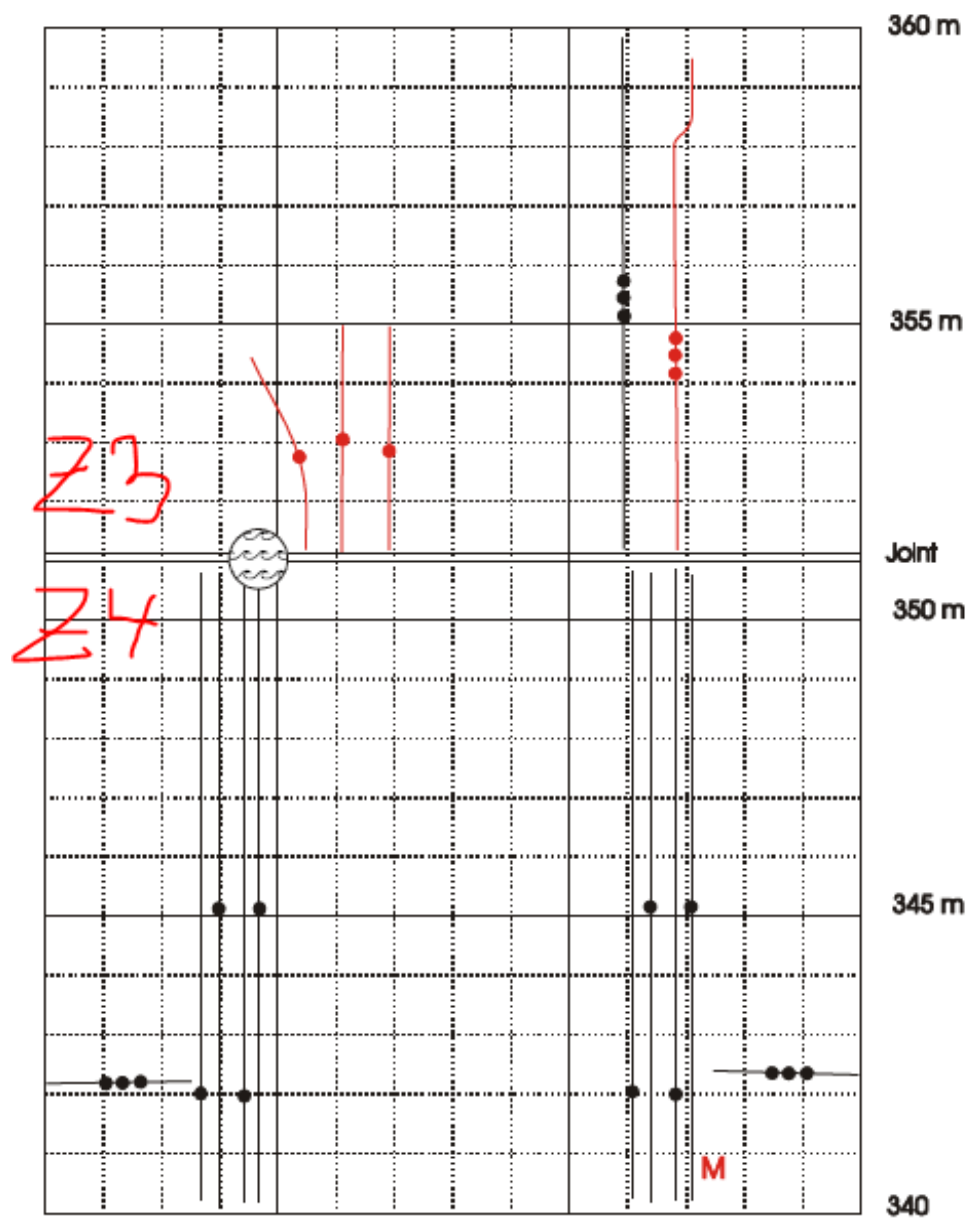


Figure 25: Planche de fissuration travée Sud-Ouest Zone 3

## 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 4, 5 et 6.

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

En traverses 5 et 2, il y a la présence d'un décaissé. Les aciers au niveau du décaissé sont au moins aussi importants que ceux ailleurs sur la traverse. En traverse 5, les aciers supérieurs longitudinaux y sont légèrement plus importants (HA 32  $e=0,25$  contre HA20  $e=0,25$ ).

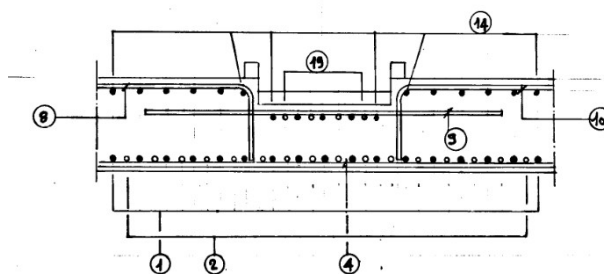


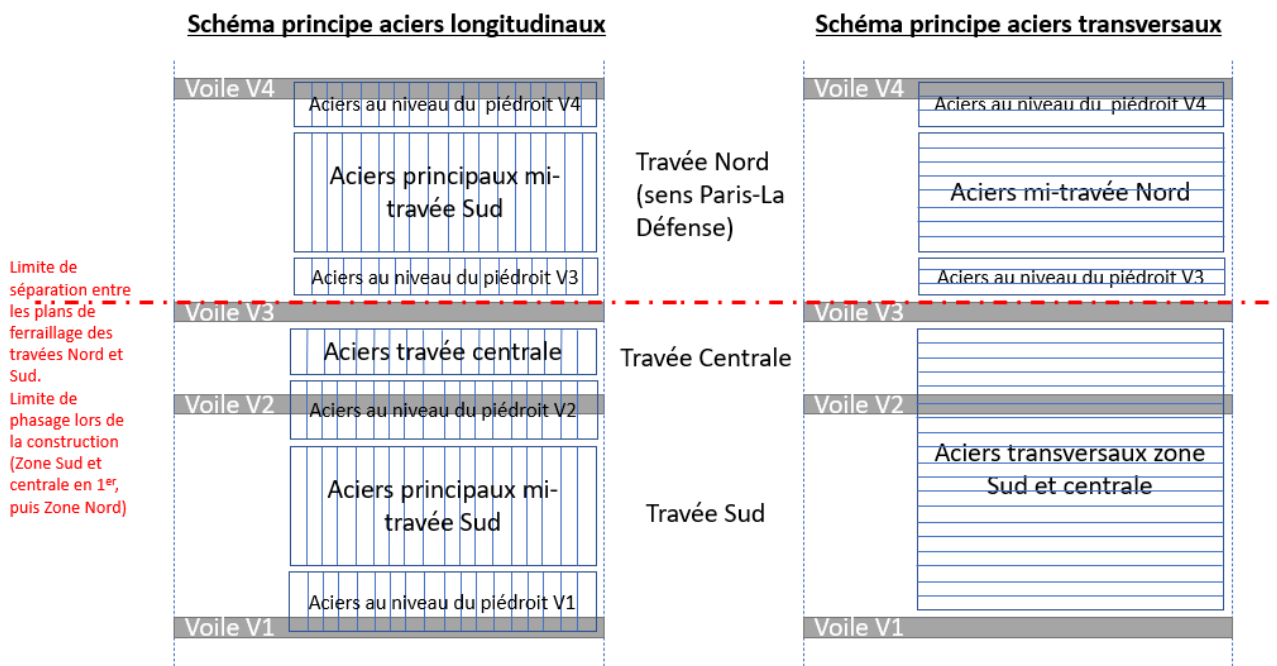
Figure 26: Décaissé traverse 5

Le ferraillage des 3 sections de la travée Sud est identique.

Le ferraillage des 3 sections de la travée Nord est identique.

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 | <table><tr><td>Inf</td><td>20</td><td>0,4</td><td>7,85</td><td>9,82</td><td>171173</td><td>28</td></tr><tr><td>Inf</td><td>10</td><td>0,4</td><td>1,96</td><td></td><td>171173</td><td>29</td></tr></table> | Inf  | 20   | 0,4  | 7,85   | 9,82 | 171173 | 28 | Inf | 10 | 0,4 | 1,96 |  | 171173 | 29 | 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. |
| Inf  | 20  | 0,4  | 7,85 | 9,82 | 171173 | 28   |        |    |     |    |     |      |  |        |    |  |
| Inf  | 10  | 0,4  | 1,96 |      | 171173 | 29   |        |    |     |    |     |      |  |        |    |  |

# Ferrailage sud

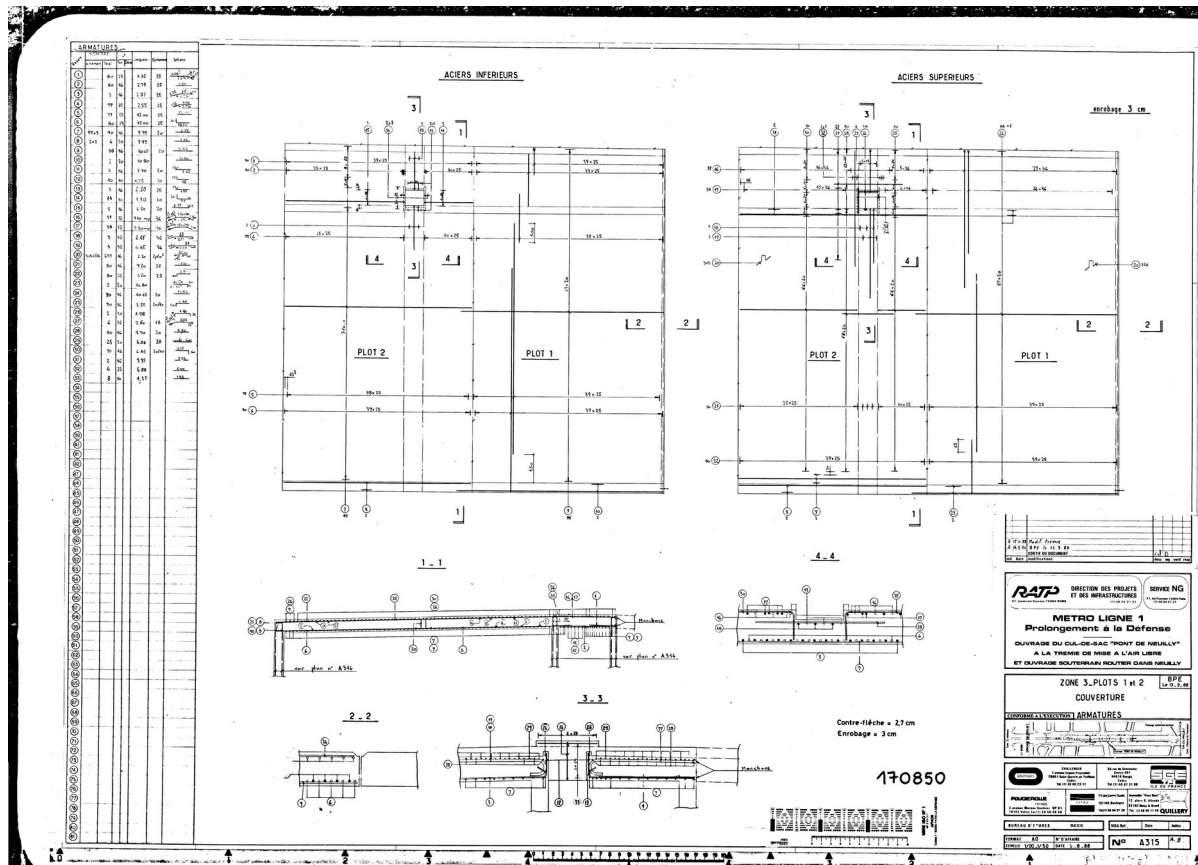


Figure 27: Ferrailage traverses 1 et 2, plan 170850

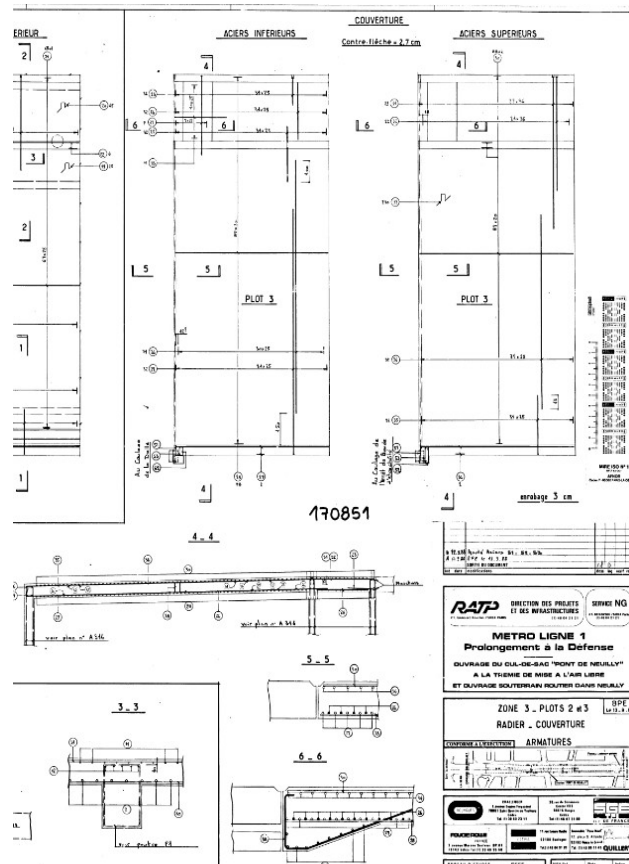


Figure 28: Ferrailage traverse 3, plan 170851

| Traverses 1, 2 et 3             |           | HA | e (en m) | As (en cm <sup>2</sup> ) | plan   | Aciers traverse 1 | Aciers 2 | Aciers 3 |
|---------------------------------|-----------|----|----------|--------------------------|--------|-------------------|----------|----------|
| Aciers travée centrale          | Sup       | 32 | 0,18     | 44,68                    | 170850 | 16 et 17          | 16 et 17 | 31 et 32 |
|                                 | Inf       | 16 | 0,25     | 8,04                     | 170850 | 2                 | 2        | 24       |
|                                 | Sup trans | 16 | 0,2      | 10,05                    | 170850 | 24                | 25.30    | 30       |
|                                 | Inf trans | 16 | 0,2      | 10,05                    | 170850 | 9                 | 7        | 28       |
| Aciers au niveau du piédroit V2 | Sup       | 32 | 0,18     | 44,68                    | 170850 | 16 et 17          | 16 et 17 | 31 et 32 |
|                                 | Inf       | 25 | 0,25     | 19,63                    | 170850 | 4                 | 4        | 25       |
|                                 | Sup trans | 16 | 0,2      | 10,05                    | 170850 | 24                | 25.30    | 30       |
|                                 | Inf trans | 16 | 0,2      | 10,05                    | 170850 | 9                 | 7        | 28       |
| Aciers mi-travée Sud            | Sup       | 16 | 0,25     | 8,04                     | 170850 | 21                | 21       | 34       |
|                                 | Inf       | 25 | 0,125    | 39,27                    | 170850 | 5 et 6            | 5 et 6   | 26 et 27 |
|                                 | Sup trans | 16 | 0,2      | 10,05                    | 170850 | 24                | 25.30    | 30       |
|                                 | Inf trans | 16 | 0,2      | 10,05                    | 170850 | 9                 | 7        | 28       |
| Aciers au niveau du piédroit V1 | Sup       | 25 | 0,25     | 19,63                    | 170850 | 22                | 22       | 35       |
|                                 | Inf       | 25 | 0,25     | 19,63                    | 170850 | 6                 | 6        | 27       |
|                                 | Sup trans | 16 | 0,2      | 10,05                    | 170850 | 24                | 25.30    | 30       |
|                                 | Inf trans | 16 | 0,2      | 10,05                    | 170850 | 9                 | 7        | 28       |

## Ferrailage nord

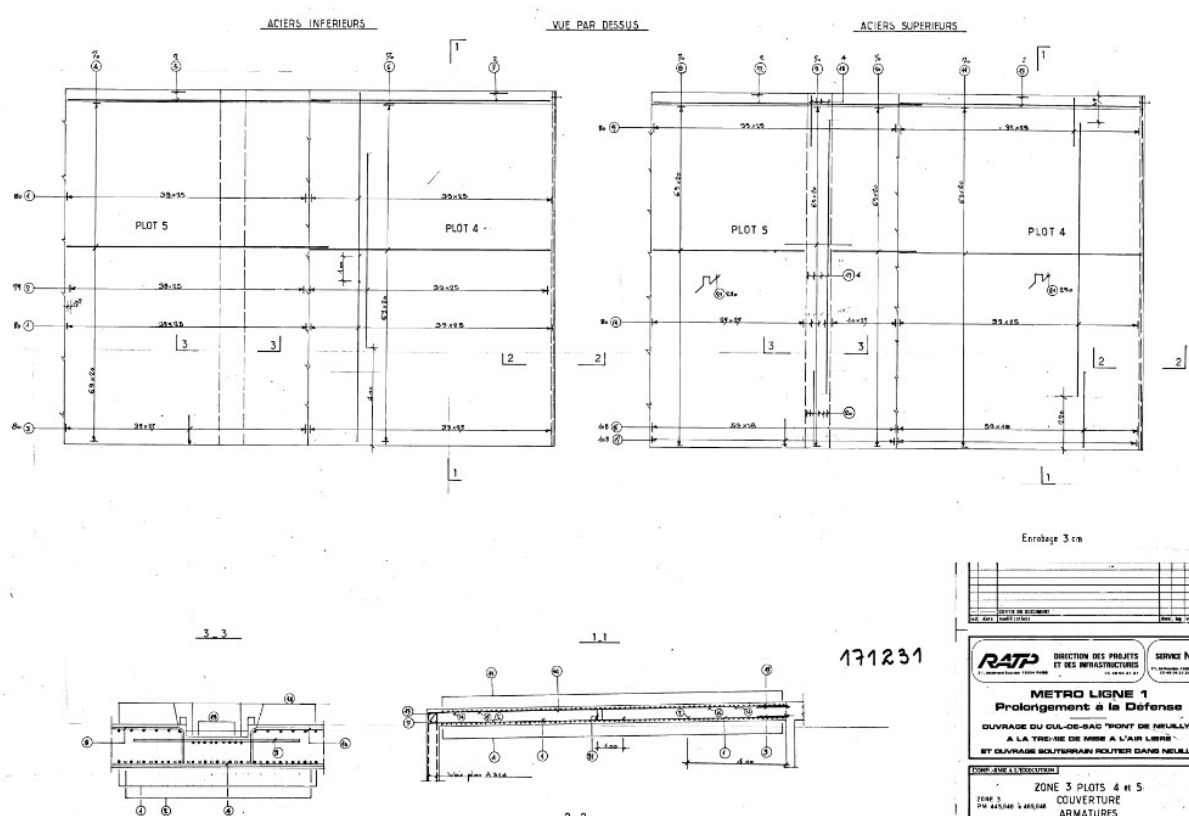
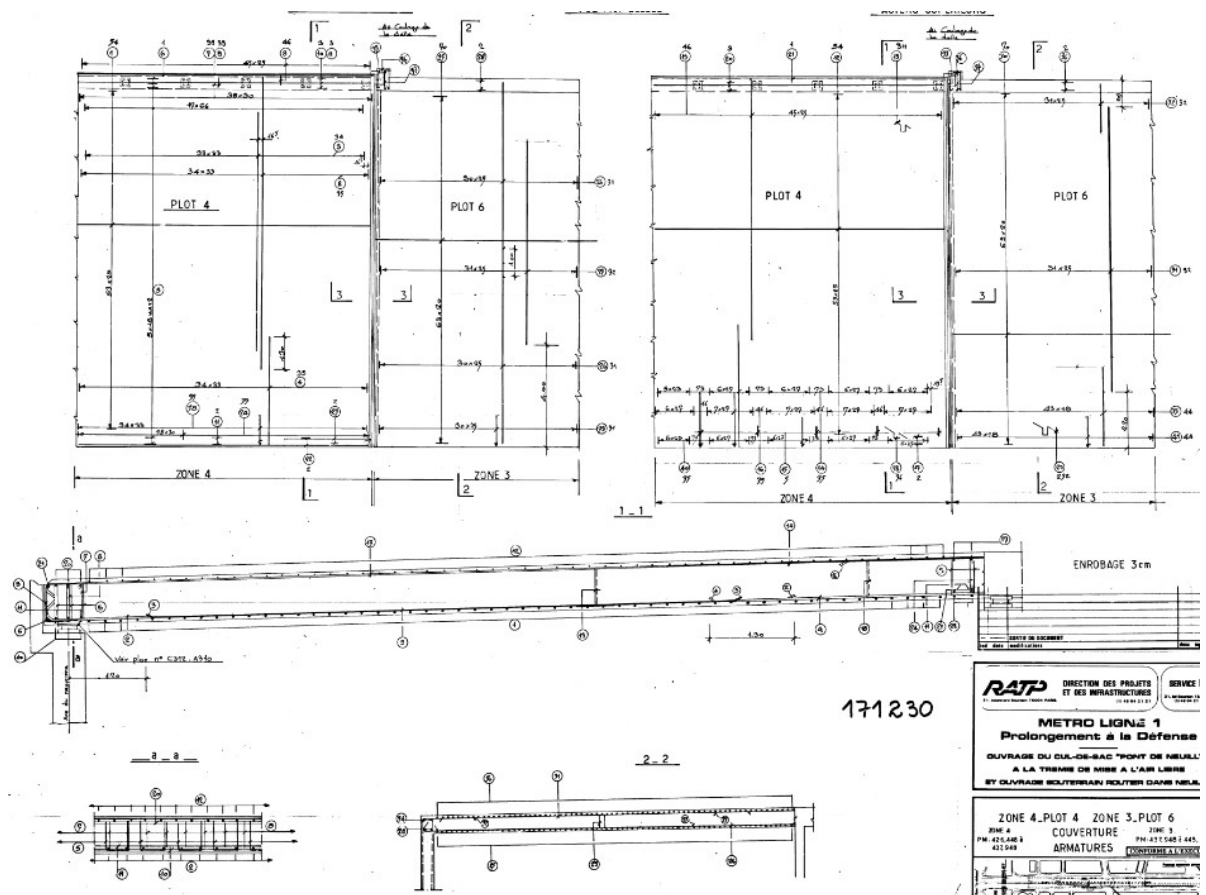


Figure 29: Ferrailage traverses 4 et 5\_plan 171231



| Traverses 4, 5, 6               |           | HA | e (en m) | As (en cm²) | plan   | Aciers traverse 4 | Aciers 5 | Aciers 6 |
|---------------------------------|-----------|----|----------|-------------|--------|-------------------|----------|----------|
| Aciers au niveau du piedroit V4 | Sup       | 32 | 0,25     | 32,17       | 171231 | 15                | 15       | 32       |
|                                 | Inf       | 25 | 0,25     | 19,63       | 171231 | 1                 | 1        | 26       |
|                                 | Sup trans | 16 | 0,2      | 10,05       | 171231 | 11                | 8.10     | 30       |
|                                 | Inf trans | 16 | 0,2      | 10,05       | 171231 | 6                 | 4        | 25       |
| Aciers mi-travée Nord           | Sup       | 20 | 0,25     | 12,57       | 171231 | 14                | 14       | 31       |
|                                 | Inf       | 25 | 0,125    | 39,27       | 171231 | 1 et 2            | 1 et 2   | 26 et 27 |
|                                 | Sup trans | 16 | 0,2      | 10,05       | 171231 | 11                | 8.10     | 30       |
|                                 | Inf trans | 16 | 0,2      | 10,05       | 171231 | 6                 | 4        | 25       |
| Aciers au niveau du piedroit V3 | Sup       | 32 | 0,18     | 44,68       | 171231 | 16                | 16       | 33       |
|                                 | Inf       | 25 | 0,25     | 19,63       | 171231 | 1                 | 1        | 26       |
|                                 | Sup trans | 16 | 0,2      | 10,05       | 171231 | 11                | 8.10     | 30       |
|                                 | Inf trans | 16 | 0,2      | 10,05       | 171231 | 6                 | 4        | 25       |

## Ferrailage Voiles

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

Voile V1

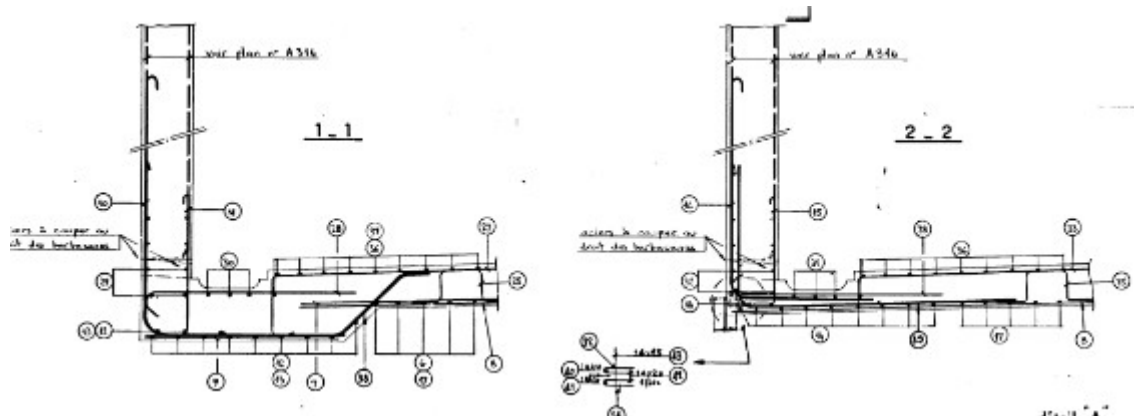


Figure 31: Attentes jonction V1 avec radier\_plan 170848

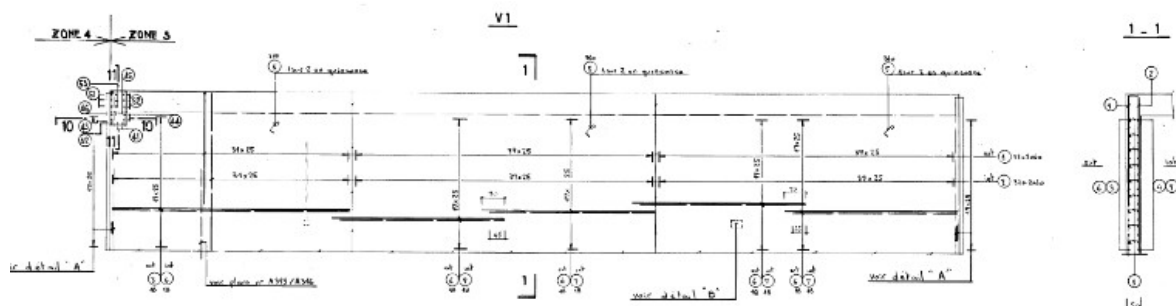


Figure 32: Voile V1\_plan 170849

| V1                  |              | HA | e en m | As cm <sup>2</sup> | plan  | aciers     |
|---------------------|--------------|----|--------|--------------------|-------|------------|
| Tout le voile       | Ext          |    | 32     | 0,25               | 32,17 | 170849 1   |
|                     | Int          |    | 14     | 0,25               | 6,16  | 170849 2   |
|                     | Ext trans    |    | 16     | 0,25               | 8,04  | 170849 3.6 |
|                     | Int trans    |    | 10     | 0,25               | 3,14  | 170849 4.7 |
|                     | Epingles     |    | 8      | 0,5                | 1,01  | 170849 5   |
| Liaison avec radier | Attentes Ext |    | 20     | 0,25               | 12,57 | 170848 10  |
|                     | Attentes Int |    | 14     | 0,25               | 6,16  | 170848 11  |

Voiles centraux V2 (Sud) et V3 (Nord)

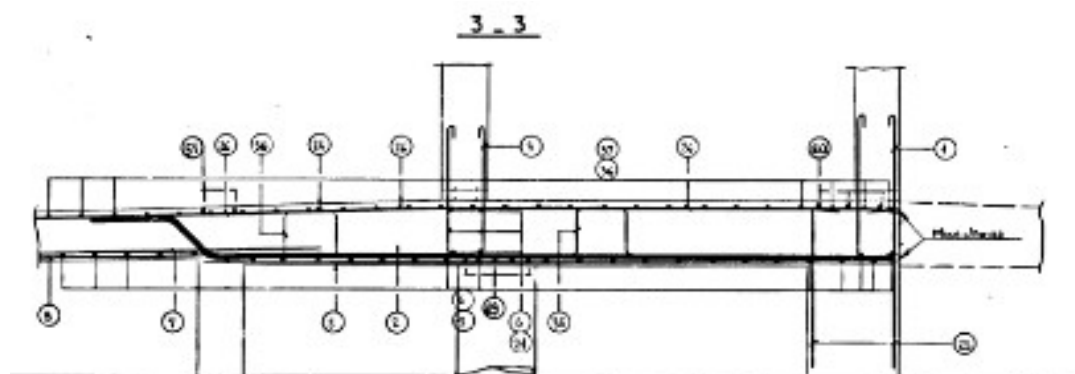


Figure 33: Attentes jonction V2 et V3 avec radier\_plan 170848

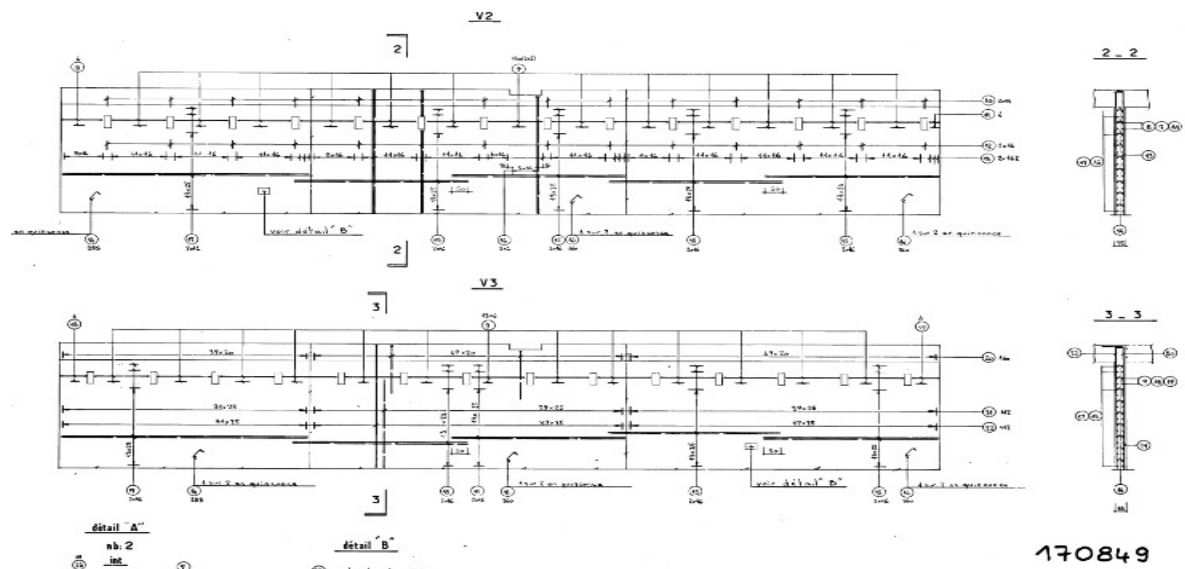


Figure 34: Voiles V2 et V3\_plan 170849

| V2                  |              | HA | e en m | As cm <sup>2</sup> | plan   | aciers       |
|---------------------|--------------|----|--------|--------------------|--------|--------------|
| Tout le voile       | Ext          | 12 | 0,16   | 7,07               | 170849 | 12.13        |
|                     | Int          | 12 | 0,16   | 7,07               | 170849 | 12.13        |
|                     | Ext trans    | 12 | 0,25   | 4,52               | 170849 | 17.15.8.9.11 |
|                     | Int trans    | 12 | 0,25   | 4,52               | 170849 | 17.15.8.9.11 |
|                     | Epingles     | 8  | 0,5    | 1,01               | 170849 | 14           |
| Liaison avec radier | Attentes Ext | 12 | 0,16   | 7,07               | 170848 | 3            |
|                     | Attentes Int | 12 | 0,16   | 7,07               | 170848 | 3            |

| V3                  |                         | HA | e en m | As cm <sup>2</sup> | plan   | aciers       |
|---------------------|-------------------------|----|--------|--------------------|--------|--------------|
| Liaison dalle       | Ext + liaison dalle Sud | 16 | 0,2    | 10,05              | 170849 | 20           |
|                     | Int                     | 12 | 0,25   | 4,52               | 170849 | 22           |
| Tout le voile       | Ext                     | 14 | 0,25   | 6,16               | 170849 | 21           |
|                     | Int                     | 12 | 0,25   | 4,52               | 170849 | 22           |
|                     | Ext trans               | 12 | 0,25   | 4,52               | 170849 | 17.15.8.9.11 |
|                     | Int trans               | 12 | 0,25   | 4,52               | 170849 | 17.15.8.9.11 |
|                     | Epingles                | 8  | 0,5    | 1,01               | 170849 | 14           |
| Liaison avec radier | Attentes Ext            | 14 | 0,25   | 6,16               | 170848 | 1            |
|                     | Attentes Int            | 14 | 0,25   | 6,16               | 170848 | 1            |

Voile V4 et VC8 (=partie au dessus de l'accès RATP du voile V4)

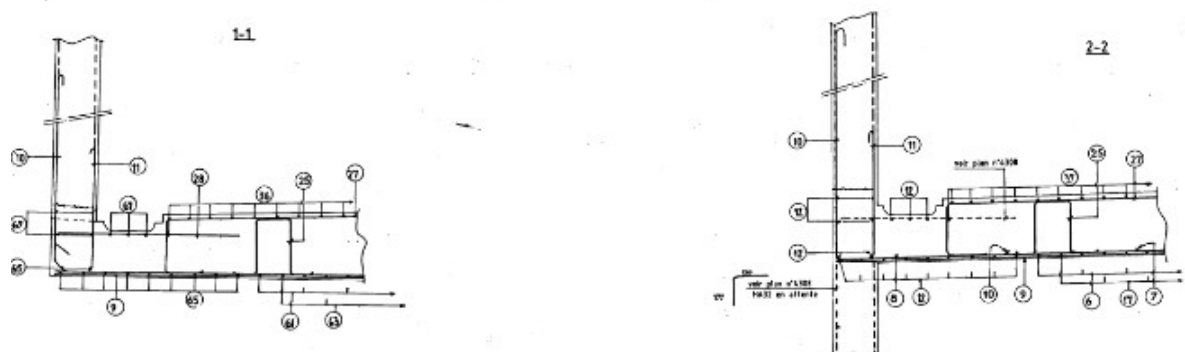


Figure 35: Liaison voile V4 avec radier\_plan 171228



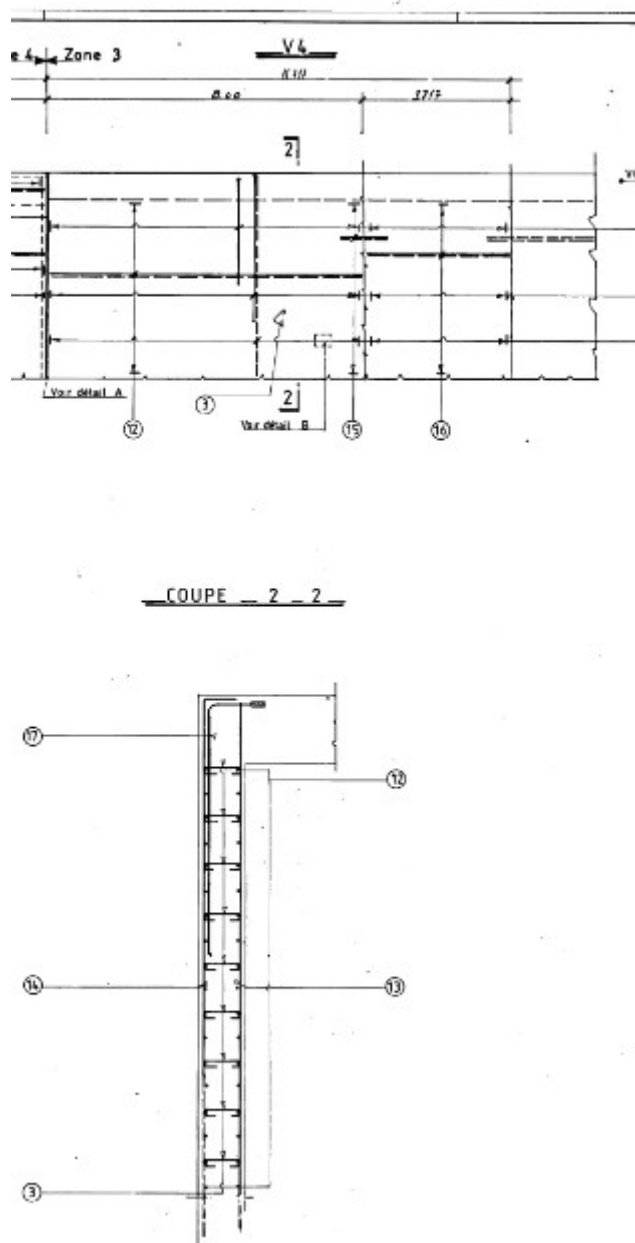


Figure 36: Voile V4\_171229

| V4                  |                         | HA | e en m | As cm <sup>2</sup> | plan   | aciers |
|---------------------|-------------------------|----|--------|--------------------|--------|--------|
| Liaison dalle       | Ext + liaison dalle Sud | 32 | 0,25   | 32,17              | 171229 | 17     |
|                     | Int                     | 14 | 0,25   | 6,16               | 171229 | 13     |
| Tout le voile       | Ext                     | 16 | 0,25   | 8,04               | 171229 | 14     |
|                     | Int                     | 14 | 0,25   | 6,16               | 171229 | 13     |
|                     | Ext trans               | 14 | 0,25   | 6,16               | 171229 | 12     |
|                     | Int trans               | 14 | 0,25   | 6,16               | 171229 | 12     |
|                     | Epingles                | 8  | 0,5    | 1,01               | 171229 | 3      |
| Liaison avec radier | Attentes Ext            | 32 | 0,25   | 32,17              | 171228 | 10     |
|                     | Attentes Int            | 20 | 0,25   | 12,57              | 171228 | 11     |



## 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. La coupe principale du cadre des zones 1 et 2 est très similaire pour toutes les sections avec le parking en dessous.

Contrairement aux zones 1 et 2, la zone 3 est très hétérogène au niveau de sa coupe transversale. En effet, à cause des différents ouvrages extérieurs qui se succèdent, la coupe transversale de la zone 3 varie beaucoup.

Sur les 3m les plus à l'Est de la zone 3 (limite Z2), se trouve juste en dessous des voies de la RN13, l'accès au métro (il s'agit de la coupe B-B sur l'image ci-dessous). En dessous de cet accès RATP, se trouve la fin du parking présent en Z1 et Z2.

Une fois le parking et l'accès RATP passé, c'est la centrale de ventilation qui se trouve en dessous du sens Paris-Province, et également à côté du voile V4 (voir toutes les autres coupes de l'image ci-dessous).

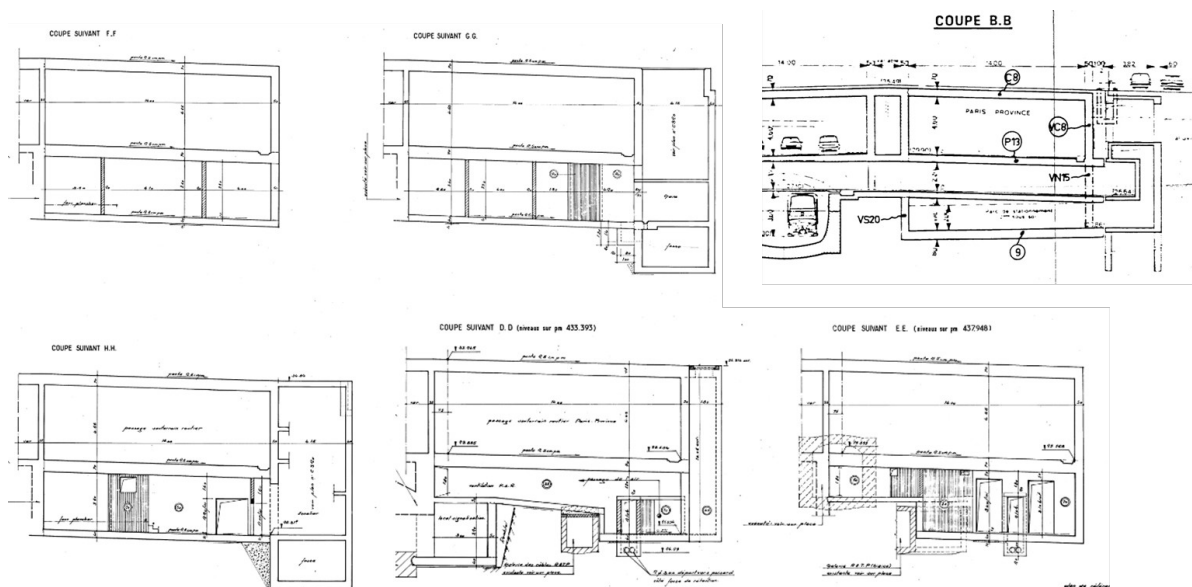


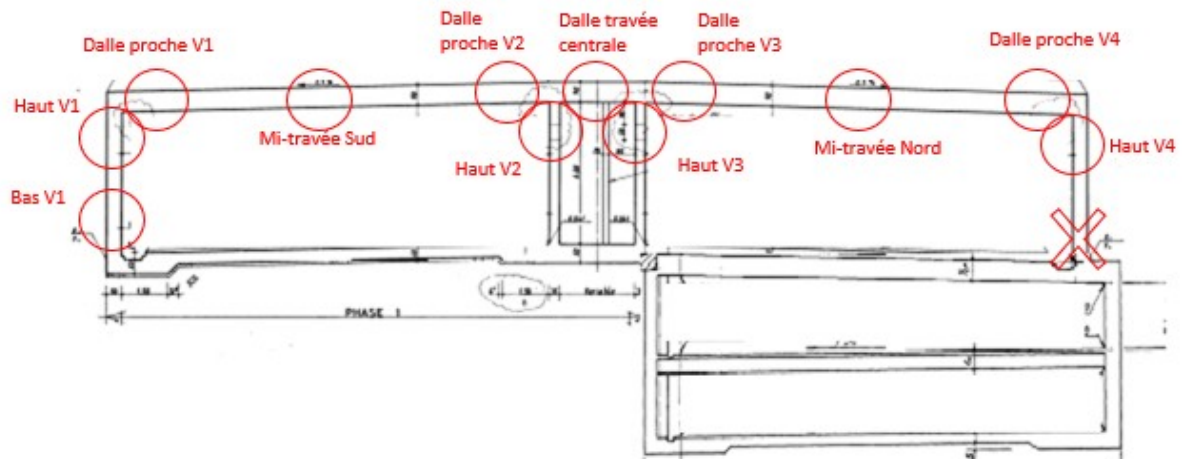
Figure 38: Les différentes coupes qui se succèdent en zone 3 en commençant par le coupe B-B en haut à droite si l'on regarde depuis l'Est (limite Z2)

Comme il était trop complexe de réaliser un modèle 3D pour cette zone, nous avons réutilisé le même modèle ST1 que pour les zones 1 et 2 (en adaptant les cas de charges), mais nous avons seulement étudié les points du cadre suffisamment similaire entre la zone 3 et les zones 1 et 2.

Sur le schéma ci-dessous qui représente la coupe de principe des zones 1 et 2, sont entourées en rouge les points du cadre que nous avons étudié pour la zone 3 en prenant les valeurs des efforts fournis par le ST1 des zones 1 et 2.

Par rapport à notre étude en zones 1 et 2, il y a seulement le point au niveau de la croix rouge (le bas du voile V4) que nous avons pas étudié pour la zone 3 alors que cela a été fait pour les zones 1 et 2. La principale raison vient du fait que pour les zones 1 et 2, le bas du voile V4 est un point qui concentre beaucoup les efforts avec la descente de charges du voile V4 directement sur le toit du parking et non sur une continuité de voile jusqu'au sol.

En effet en zone 3, même si la coupe transversale varie beaucoup, on remarque que sous le voile V4, il y a régulièrement une continuité de voile jusqu'au sol et non une rupture de continuité de voile comme en zones 1 et 2.



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 3, nous utiliserons le modèle Effel de la zone 2.

Vues du modèle EFFEL :

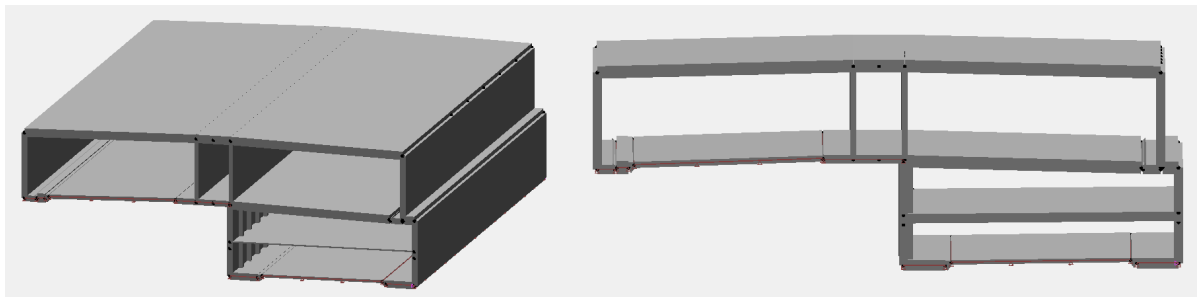


Figure 39: Représentation du cadre Zone 2 du modèle Effel

## Hypothèses

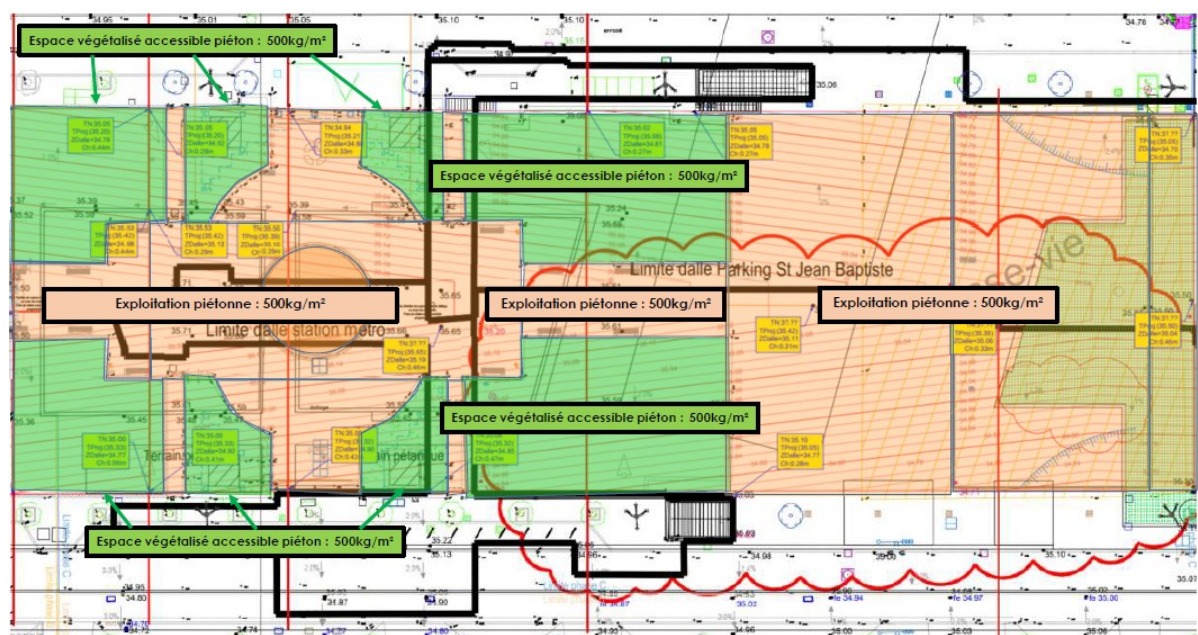
### Aménagement actuel

### 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'EC1-1-5 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) :
- $k_{sur}=0,6$  heat et  $k_{sur}=1$  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.

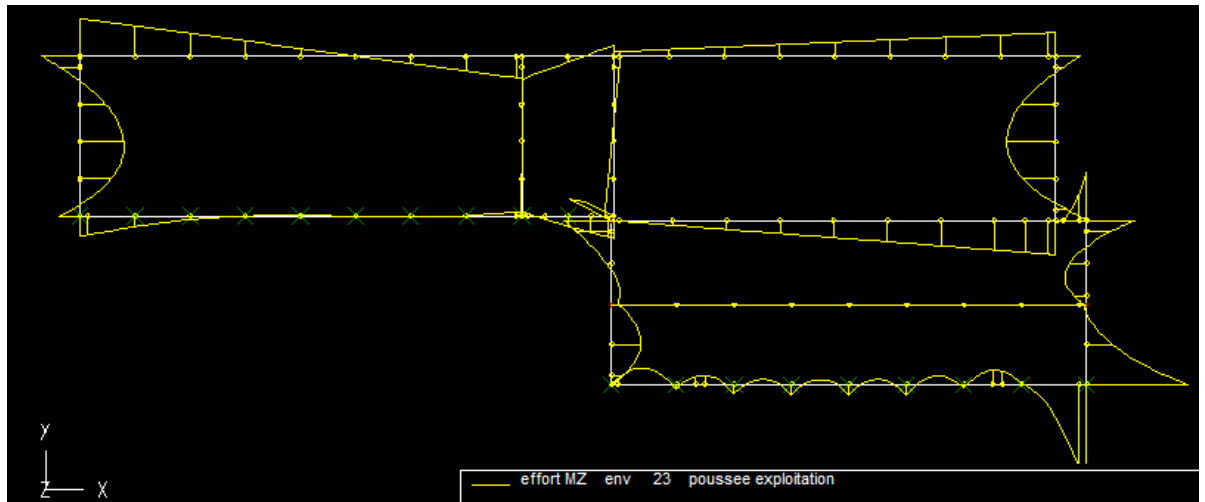
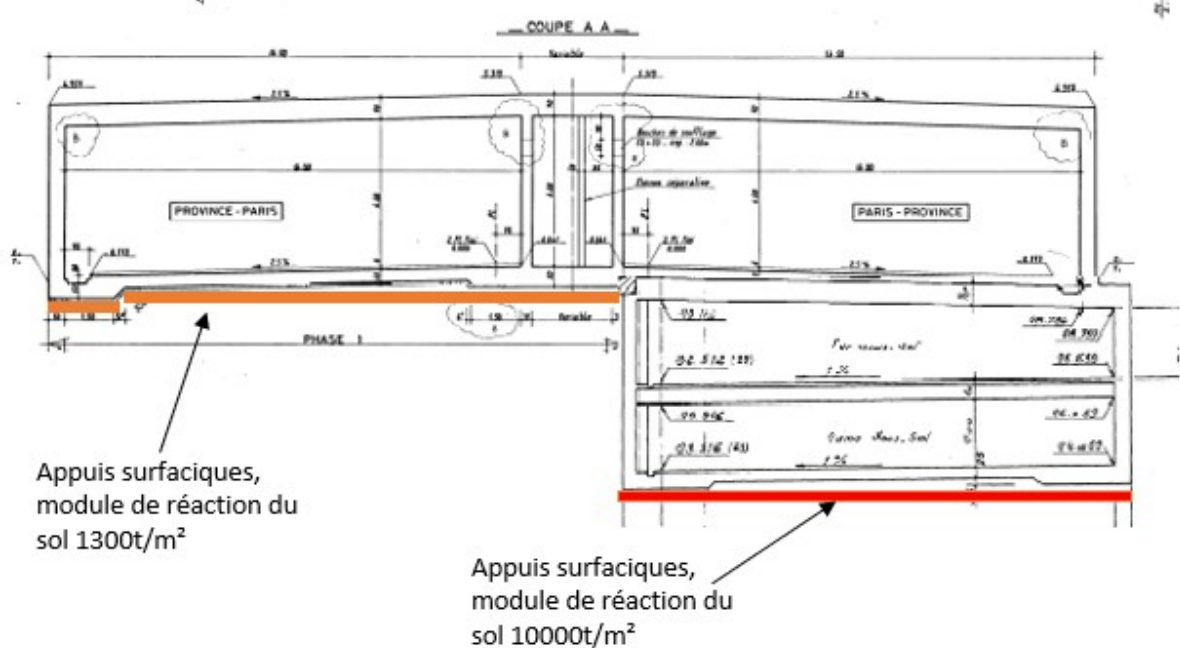


Figure 40: Moment poussées des terres

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





## Aménagement futur

Les plans suivants fournis par la ville de Neuilly montrent le futur aménagement de la zone 3.



## Charges permanentes

A l'avenir l'aménagement au-dessus de la dalle va évoluer, et sera partagé en une zone de pelouse ( $970\text{kg/m}^2$ ) au centre, une zone piétonne ( $774\text{kg/m}^2$ ) au Nord et une autre zone piétonne au Sud ( $1014\text{kg/m}^2$ ).

Dans notre modélisation sur ST1, nous avons pris en compte ces variations de charges d'aménagement.

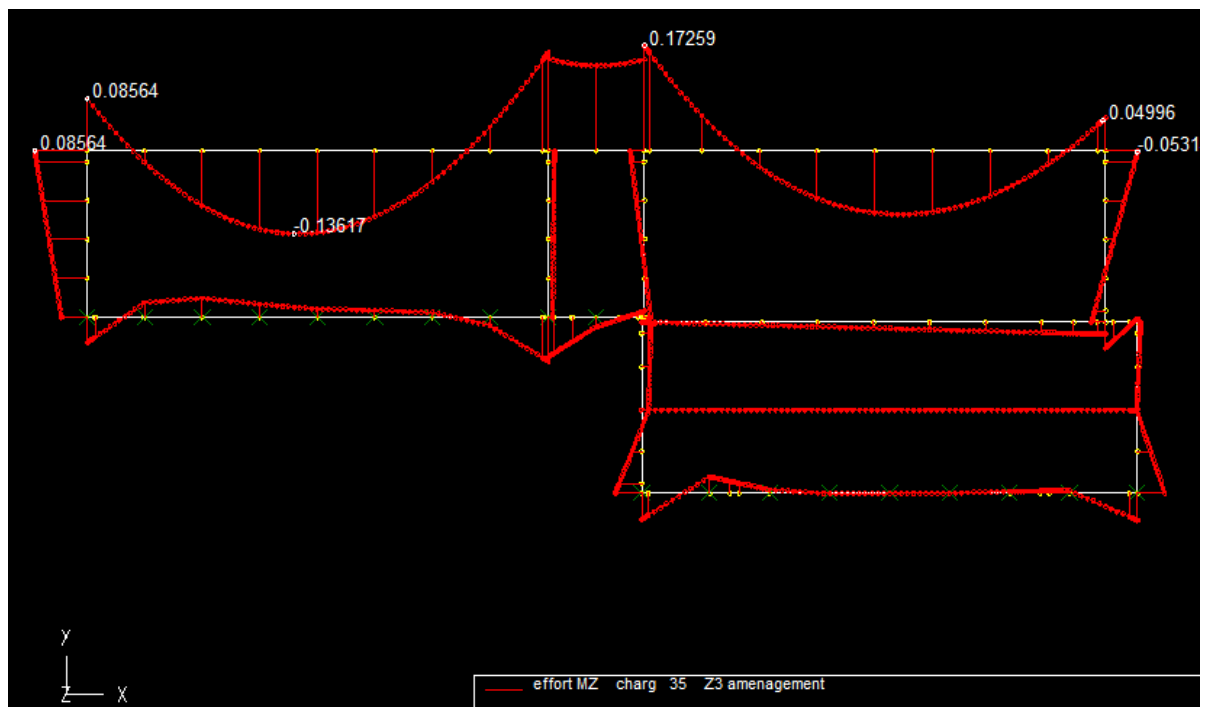


Figure 41: Effet de l'aménagement futur en Z3

### Charges d'exploitation

Une charge piétonne de  $5\text{kn/m}^2$  est appliquée sur l'ensemble de la dalle.

### 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 :  $-22\text{ °C}$  et  $+32\text{ °C}$ .

Gradient de calcul :

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

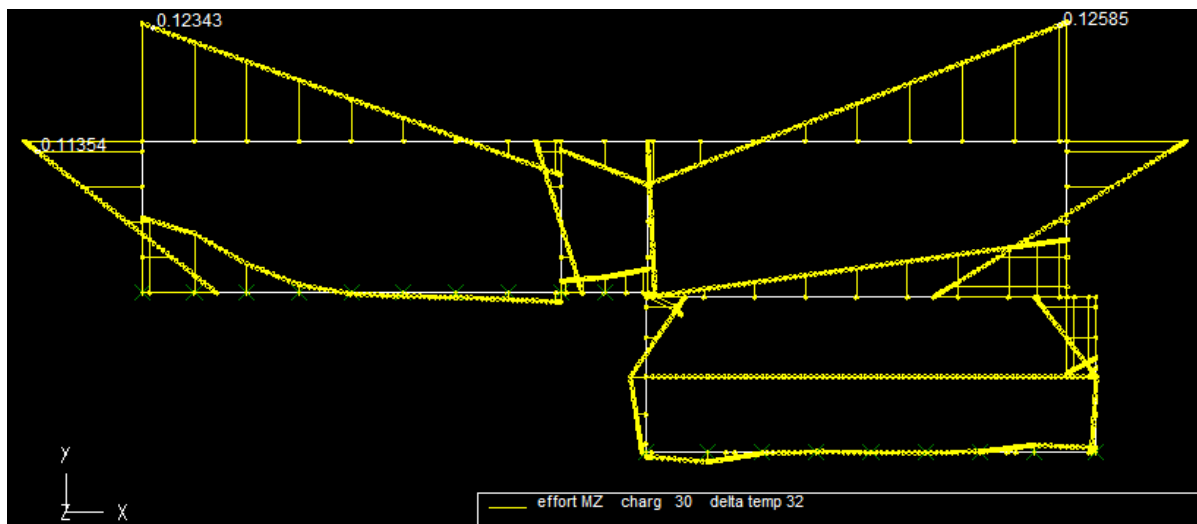


Figure 42: Effet d'une variation de température de +32°

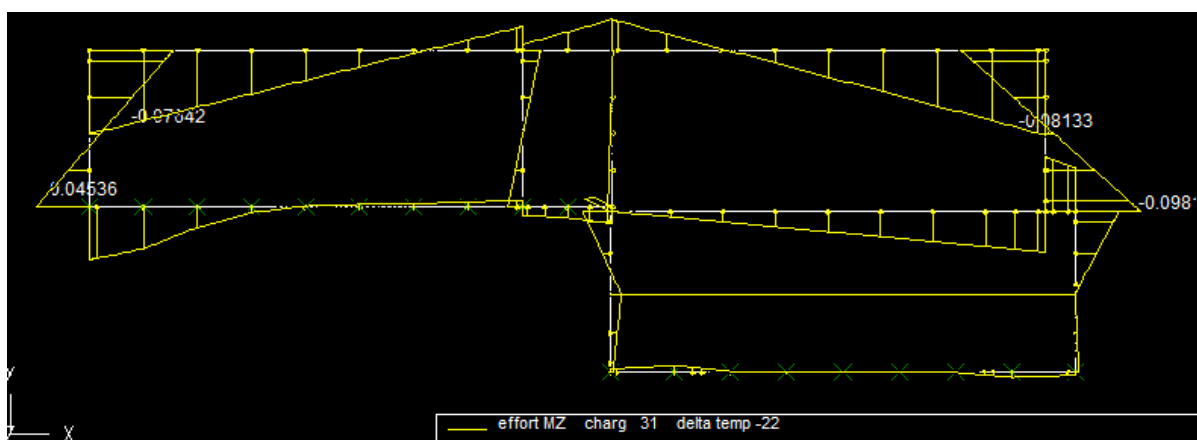


Figure 43: Effet d'une variation de température de -22°

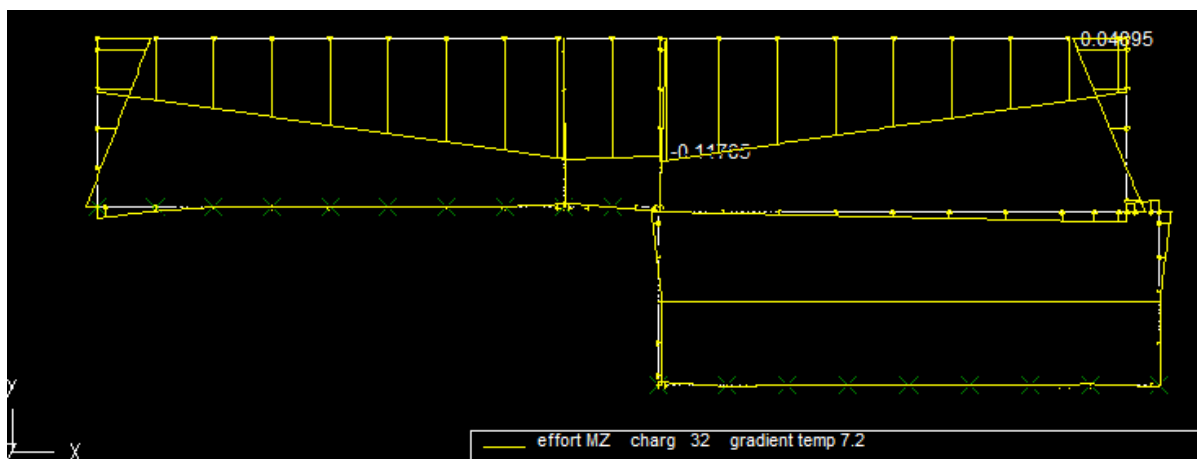


Figure 44: Effet d'un gradient de température de +7,2°

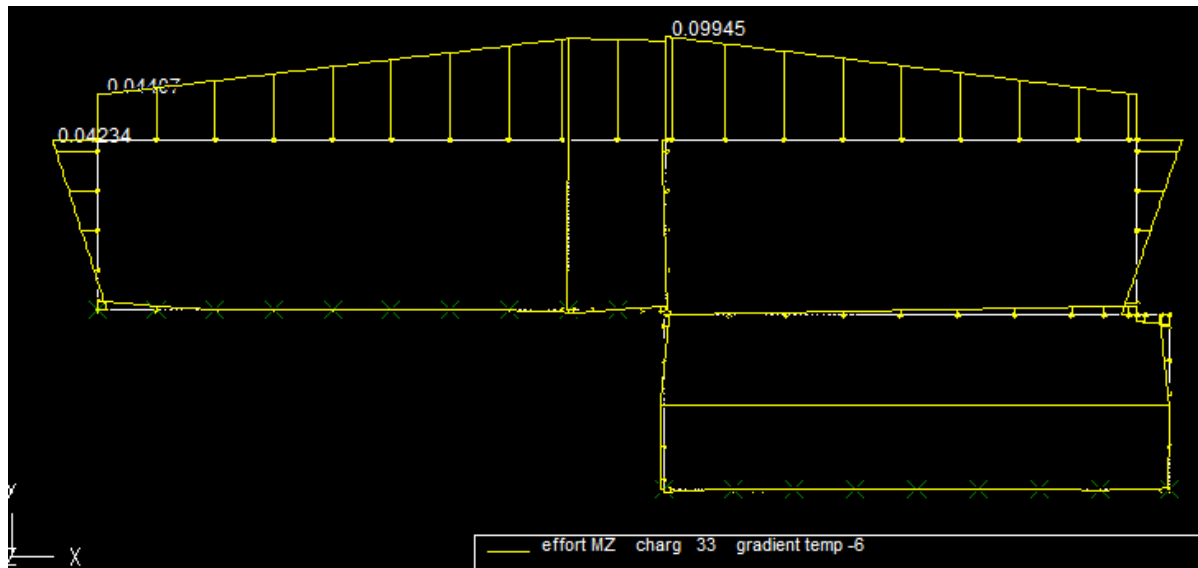


Figure 45: Effet d'un gradient de température de -6°

### 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  $\sigma < 300 \text{ MPa}$

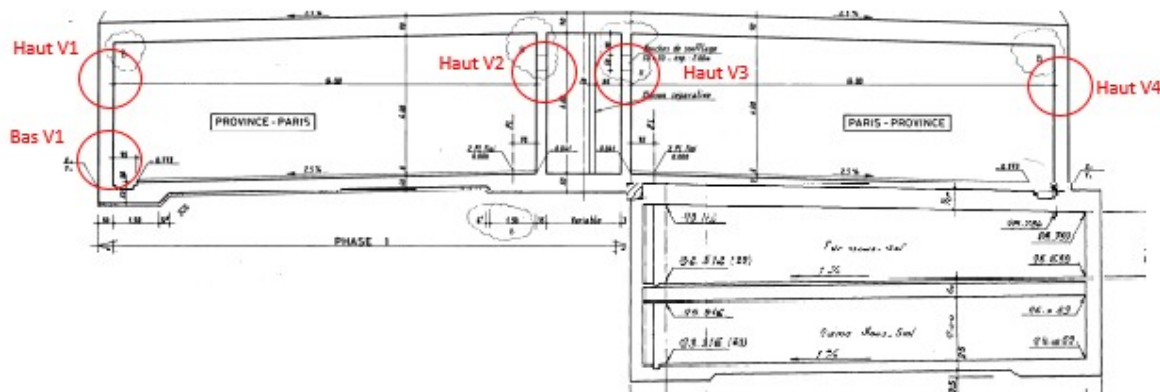
## Résultats

### Voiles

Le ferrailage n'est pas homogène le long du voile V4, une vérification est faite pour chaque portion : V4 et VC8.

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 MN et MN.m                      |        |                                       |              |               |               |               |               |
|------------------------------------|--------|---------------------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Zone →                             |        |                                       | Voile V1 bas | Voile V1 haut | Voile V4 haut | Voile V2 haut | Voile V3 haut |
| N° barre sur ST1 →                 |        |                                       | 30           | 46            | 70            | 47            | 48            |
| Cas de charge                      |        | Abscisse par rapport au radier RN13 → | 0            | 5,21          | 5,21          | 5,21          | 5,21          |
| Poids propre                       | 1 - G  | N                                     | 0,068400     | 0,003240      | -0,004990     | -0,002230     | 0,003980      |
|                                    |        | M                                     | 0,038700     | 0,025400      | 0,022800      | 0,044100      | 0,029500      |
| Chargement RN13 W                  | 6 - Q  | N                                     | 0,001049     | 0,001049      | -0,002905     | -0,019399     | 0,021254      |
|                                    |        | M                                     | -0,007591    | 0,003674      | 0,014510      | -0,011716     | -0,004478     |
| Chargement RN13 Y                  | 7 - Q  | N                                     | 0,004884     | 0,004884      | -0,001746     | -0,003446     | 0,000308      |
|                                    |        | M                                     | -0,018685    | 0,040448      | -0,000287     | 0,037368      | 0,022429      |
| Chargement parking haut            | 9 - Q  | N                                     | -0,000151    | -0,000151     | 0,000241      | 0,001918      | -0,002009     |
|                                    |        | M                                     | 0,000352     | -0,000592     | -0,001173     | 0,000844      | 0,000566      |
| Chargement parking bas             | 10 - Q | N                                     | -0,000033    | -0,000033     | 0,000052      | 0,000403      | -0,000422     |
|                                    |        | M                                     | 0,000078     | -0,000133     | -0,000249     | 0,000167      | 0,000112      |
| Poussée voile V1                   | 20 - G | N                                     | -0,002233    | -0,002233     | 0,005493      | 0,004924      | -0,008184     |
|                                    |        | M                                     | 0,038501     | -0,010475     | -0,043209     | -0,029051     | -0,020639     |
| Poussée voile V4                   | 21 - G | N                                     | 0,005089     | 0,005089      | -0,002721     | -0,008656     | 0,006287      |
|                                    |        | M                                     | -0,019044    | 0,039713      | 0,014415      | 0,029839      | 0,018000      |
| Poussée parking Nord               | 22 - G | N                                     | 0,000069     | 0,000069      | 0,000614      | 0,001688      | -0,002371     |
|                                    |        | M                                     | -0,000290    | 0,000930      | -0,003494     | 0,000947      | -0,000986     |
| Poussée parking Sud                | 23 - G | N                                     | 0,000115     | 0,000115      | -0,000235     | -0,001538     | 0,001658      |
|                                    |        | M                                     | -0,000050    | 0,000400      | 0,001337      | -0,000219     | -0,000741     |
| Poids sol sur parking              | 24 - G | N                                     | 0,000012     | 0,000012      | -0,001210     | -0,003233     | 0,004431      |
|                                    |        | M                                     | 0,000012     | 0,000126      | 0,006125      | 0,000249      | 0,001472      |
| Surcharge sol Sud                  | 25 - G | N                                     | -0,000576    | -0,000576     | 0,001221      | 0,000954      | -0,001598     |
|                                    |        | M                                     | -0,000576    | -0,003416     | -0,009772     | -0,006531     | -0,005067     |
| Surcharge sol Nord et parking Nord | 26 - G | N                                     | 0,000994     | 0,000994      | -0,000619     | -0,000936     | 0,000561      |
|                                    |        | M                                     | -0,004082    | 0,008134      | 0,004060      | 0,006455      | 0,004787      |
| Surcharge sol piédroit             | 27 - G | N                                     | 0,000182     | 0,000182      | -0,000235     | -0,001690     | 0,001742      |
|                                    |        | M                                     | -0,000214    | 0,000864      | 0,001294      | 0,000129      | -0,000797     |
| Sous pression eau                  | 28 - G | N                                     | 0,000452     | 0,000452      | -0,000749     | -0,005879     | 0,006176      |
|                                    |        | M                                     | -0,000977    | 0,001741      | 0,003709      | -0,002496     | -0,001921     |
| Voûte du métro                     | 29 - G | N                                     | 0,000166     | 0,000166      | -0,000192     | -0,001418     | 0,001444      |
|                                    |        | M                                     | -0,000239    | 0,000846      | 0,001040      | 0,000190      | -0,000653     |
| Delta température 32°              | 30 - T | N                                     | 0,011359     | 0,011359      | 0,012161      | 0,001317      | -0,024837     |
|                                    |        | M                                     | -0,080537    | 0,127520      | -0,128890     | 0,027183      | 0,000649      |
| Delta température - 22°            | 31 - T | N                                     | -0,007809    | -0,007809     | -0,008361     | -0,000906     | 0,017075      |
|                                    |        | M                                     | 0,055370     | -0,087669     | 0,088614      | -0,018688     | -0,000446     |
| Gradient température 7,2°          | 32 - T | N                                     | 0,004510     | 0,004510      | 0,004660      | -0,005590     | -0,003580     |
|                                    |        | M                                     | 0,010900     | -0,052100     | 0,052200      | -0,000487     | -0,005100     |
| Gradient température -6°           | 33 - T | N                                     | -0,003756    | -0,003756     | -0,003887     | 0,004660      | 0,002983      |
|                                    |        | M                                     | -0,009065    | 0,043402      | -0,043462     | 0,000406      | 0,004247      |
| Z3 aménagement                     | 35 - G | N                                     | 0,060400     | 0,060400      | 0,055500      | 0,084100      | 0,093500      |
|                                    |        | M                                     | 0,036080     | 0,081400      | -0,061900     | -0,007100     | 0,025500      |
| Z3 exploitation                    | 38 - Q | N                                     | 0,033500     | 0,033500      | 0,031600      | 0,044000      | 0,050200      |
|                                    |        | M                                     | 0,020100     | 0,044200      | -0,034800     | -0,003370     | 0,014500      |



| Combinaisons avec aménagement futur                            | En KN et kN.m | Voile V1 bas | Voile V1 haut | Voile V4 haut | Voile V2 haut | Voile V3 haut |
|--|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Z3 – ELU<br>1,35G <sub>max</sub> +G <sub>min</sub> +1,35Q+0,9T | N min         | 188,54       | 133,23        | 86,35         | 103,13        | 168,88        |
|  | M max         | 197,94       | 478,14        | -279,72       | 118,26        | 122,27        |
| Z3 – ELS freq<br>G+0,4Q+0,5T                                   | N             | 153,59       | 93,92         | 60,92         | 86,87         | 116,06        |
|  | M             | 132,58       | 269,55        | -151,32       | 56,50         | 62,05         |
| Z3 – ELS cara<br>G+Q+0,6T                                      | N             | 176,79       | 118,21        | 78,09         | 101,57        | 155,44        |
|  | M             | 135,76       | 339,18        | -181,76       | 73,23         | 82,42         |
| Combinaisons avec aménagement actuel                           | En KN et kN.m | Voile V1 bas | Voile V1 haut | Voile V4 haut | Voile V2 haut | Voile V3 haut |
| Z3 – ELU<br>1,35G <sub>max</sub> +G <sub>min</sub> +1,35Q+0,9T | N min         | 224,32       | 169,01        | 134,84        | 128,54        | 211,77        |
|  | M max         | 226,33       | 536,76        | -346,52       | 119,81        | 150,79        |
| Z3 – ELS freq<br>G+0,4Q+0,5T                                   | N             | 189,36       | 129,69        | 109,41        | 112,29        | 158,95        |
|  | M             | 153,61       | 312,98        | -200,80       | 58,05         | 83,18         |
| Z3 – ELS cara<br>G+Q+0,6T                                      | N             | 212,56       | 153,98        | 126,59        | 126,98        | 198,33        |
|  | M             | 156,79       | 382,60        | -231,25       | 74,78         | 103,55        |

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

En zone 3, 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 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.

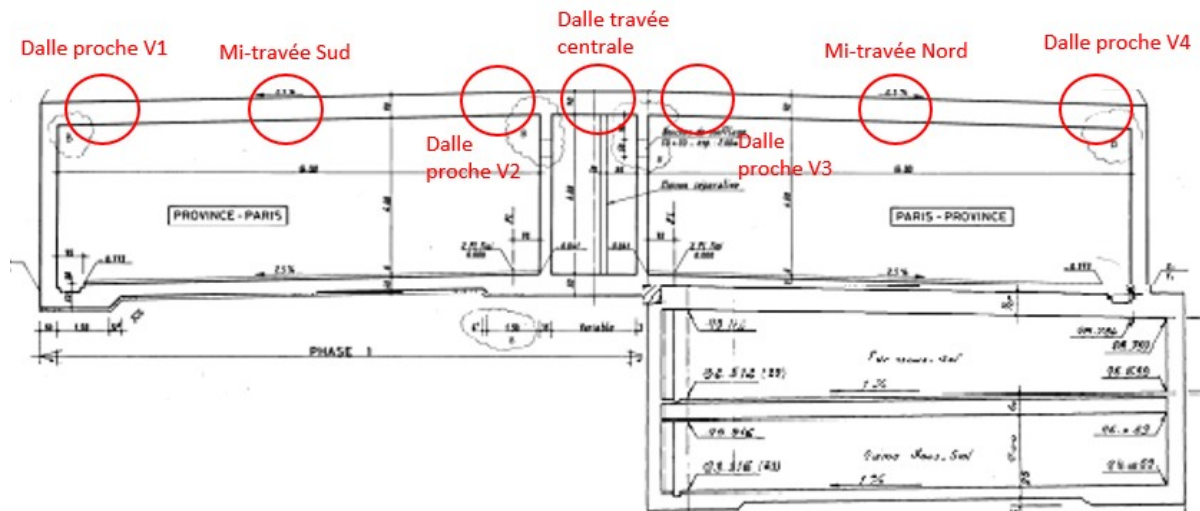
| Combinaisons avec aménagement futur                            | En KN et kN.m                      | Voile V1 bas | Voile V1 haut | Voile V4 haut | Voile V2 haut | Voile V3 haut |
|--|------------------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Z3 – ELU<br>1,35G <sub>max</sub> +G <sub>min</sub> +1,35Q+0,9T | N min                              | 188,54       | 133,23        | 86,35         | 86,35         | 103,13        |
|  | M max                              | 197,94       | 478,14        | -279,72       | -279,72       | 118,26        |
| ELU Vérification   | Section Astendue cm <sup>2</sup>   | 32,17        | 32,17         | 40,21         | 24,54         | 7,07          |
|  | Section A <sub>s,min</sub>         | 9,03         | 27,26         | 15,4          | 15,4          | 8,56          |
|  | Déficit                            | -23,14       | -4,91         | -24,81        | -9,14         | 1,49          |
| Z3 – ELS freq<br>G+0,4Q+0,5T                                   | N                                  | 153,59       | 93,92         | 60,92         | 60,92         | 86,87         |
|  | M                                  | 132,58       | 269,55        | -151,32       | -151,32       | 56,50         |
| ELS freq Vérification  | Sigma s MPa                        | 81,35        | 193,38        | 87,22         | 135,34        | 220,2         |
|  | Limite ELS MPa (w <sub>max</sub> ) | 300          | 300           | 300           | 300           | 300           |
|  | Limite ELS – Sigma s               | 218,65       | 106,62        | 212,78        | 164,66        | 79,8          |
| Z3 – ELS cara<br>G+Q+0,6T                                      | N                                  | 176,79       | 118,21        | 78,09         | 78,09         | 101,57        |
|  | M                                  | 135,76       | 339,18        | -181,76       | -181,76       | 73,23         |
| ELS Cara Vérification  | Sigma s MPa                        | 80,89        | 243,32        | 104,26        | 161,64        | 292,81        |
|  | Limite ELS MPa                     | 320          | 320           | 320           | 320           | 320           |
|  | Limite ELS – Sigma s               | 239,11       | 76,68         | 215,74        | 158,36        | 27,19         |

| Combinaisons avec<br>aménagement actuel | En KN et kN.m                    | Voile V1 bas | Voile V1 haut | Voile V4 haut | Voile VC8 haut | Voile V2 haut | Voile V3 haut |
|---|----------------------------------|--------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|
| Z3 – ELU                                | N min                            | 224,32       | 169,01        | 134,84        | 134,84         | 128,54        | 211,77        |
| 1,35Gmax+Gmin+1,35Q+0,9T                | M max                            | 226,33       | 536,76        | -346,52       | -346,52        | 119,81        | 150,79        |
| ELU Vérification                        | Section Astendue cm <sup>2</sup> | 32,17        | 32,17         | 40,21         | 24,54          | 7,07          | 4,52          |
|   | Section As,min                   | 10,28        | 30,62         | 18,89         | 18,89          | 8,35          | 9,98          |
|   | Déficit                          | -21,89       | -1,55         | -21,32        | -5,65          | 1,28          | 5,46          |
| Z3 – ELS freq                           | N                                | 189,36       | 129,69        | 109,41        | 109,41         | 112,29        | 158,95        |
| G+0,4Q+0,5T                             | M                                | 153,61       | 312,98        | -200,80       | -200,80        | 58,05         | 83,18         |
| ELS freq Vérification                   | Sigma s MPa                      | 92,84        | 221,81        | 112,82        | 172,53         | 210,9         | 462,95        |
|   | Limite ELS MPa (wmax)            | 300          | 300           | 300           | 300            | 300           | 300           |
|   | Limite ELS – Sigma s             | 207,16       | 78,19         | 187,18        | 127,47         | 89,1          | -162,95       |
| Z3 – ELS cara                           | N                                | 212,56       | 153,98        | 126,59        | 126,59         | 126,98        | 198,33        |
| G+Q+0,6T                                | M                                | 156,79       | 382,60        | -231,25       | -231,25        | 74,78         | 103,55        |
| ELS Cara Vérification                   | Sigma s MPa                      | 92,39        | 271,75        | 129,86        | 200,52         | 283,41        | 575,83        |
|   | Limite ELS MPa                   | 320          | 320           | 320           | 320            | 320           | 320           |
|   | Limite ELS – Sigma s             | 227,61       | 48,25         | 190,14        | 119,48         | 36,59         | -255,83       |

Que ce soit pour l'aménagement actuel ou l'aménagement futur, le haut des voiles centraux V2 et V4 présentent un déficit à l'ELU, et également à l'ELS pour le voile V3.

Le futur aménagement fait tout de même globalement diminué les déficits dans les voiles.

## Traverses



| Zone → en kN.m                     |      |                 | Dalle proche V1 | Mi-travée Sud | Dalle proche V2 | Dalle centrale | Dalle proche V3 | Mi-travée Nord | Dalle proche V4 |
|------------------------------------|------|-----------------|-----------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| 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         | 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 propres 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            |
| Z3 aménagement                     | 35-G | M               | 85,6            | -136,2        | 161,4           | 155,0          | 180,5           | -112,4         | 61,9            |
| Z3 exploitation                    | 38-Q | M               | 44,2            | -67,2         | 81,5            | 84,6           | 99,1            | -63,1          | 34,8            |

| 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 |
|--|---------|-----------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Z3 - ELU<br>1,35G <sub>max</sub> +G <sub>min</sub> +1,35Q+0,9T | M       | 478,14          | -364,35       | 351,73          | 520,37         | 640,45          | -294,22        | 279,72          |
| Z3 - ELS freq<br>G+0,4Q+0,5T                                   | M       | 269,55          | -208,07       | 196,99          | 288,73         | 350,24          | -160,77        | 151,32          |
| Z3 - ELS cara<br>G+Q+0,6T                                      | M       | 339,18          | -259,05       | 234,44          | 371,10         | 452,87          | -204,10        | 181,76          |

| 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 |
|--|---------|-----------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Z3 - ELU<br>1,35G <sub>max</sub> +G <sub>min</sub> +1,35Q+0,9T | M       | 536,76          | -452,65       | 452,40          | 641,20         | 789,80          | -420,72        | 346,52          |
| Z3 - ELS freq<br>G+0,4Q+0,5T                                   | M       | 312,98          | -273,46       | 269,56          | 378,23         | 460,87          | -254,57        | 200,80          |
| Z3 - ELS cara<br>G+Q+0,6T                                      | M       | 382,60          | -323,86       | 309,01          | 460,61         | 563,51          | -297,70        | 231,25          |

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

En zone 3, 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.

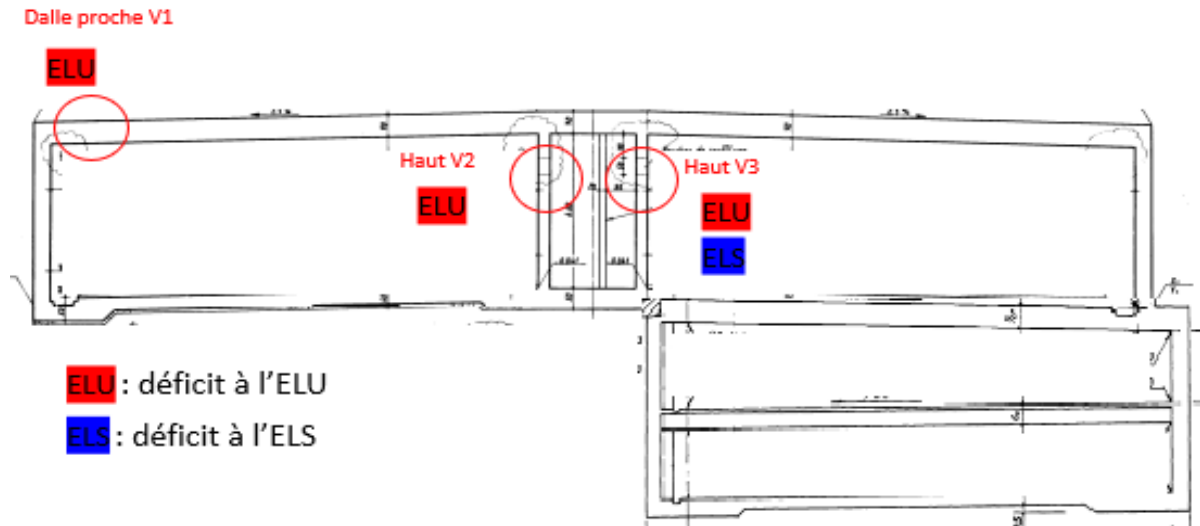
#### Vérifications ELS et ELU :

| 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 |
|--|------------------------------------|-----------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Z3 - ELU<br>1,35G <sub>max</sub> +G <sub>min</sub> +1,35Q+0,9T | M                                  | 478,14          | -364,35       | 351,73          | 520,37         | 640,45          | -294,22        | 279,72          |
| ELU Vérification   | Section Astendue cm <sup>2</sup>   | 19,63           | 39,27         | 44,68           | 44,68          | 89,36           | 39,27          | 32,17           |
|  | Section A <sub>s,min</sub>         | 20,14           | 15,25         | 14,72           | 21,97          | 27,22           | 12,27          | 11,66           |
|  | Déficit                            | 0,51            | -24,02        | -29,96          | -22,71         | -62,14          | -27            | -20,51          |
| Z3 - ELS freq<br>G+0,4Q+0,5T                                   | M                                  | 269,55          | -208,07       | 196,99          | 288,73         | 350,24          | -160,77        | 151,32          |
| ELS Freq Vérification  | Sigma s MPa                        | 224,53          | 89,82         | 74,39           | 110,24         | 67,32           | 69,1           | 78,26           |
|  | Limite ELS MPa (w <sub>max</sub> ) | 300             | 300           | 300             | 300            | 300             | 300            | 300             |
|  | Limite ELS - Sigma s               | 75,47           | 210,18        | 225,61          | 189,76         | 232,68          | 230,9          | 221,74          |
| Z3 - ELS cara<br>G+Q+0,6T                                      | M                                  | 339,18          | -259,05       | 234,44          | 371,10         | 452,87          | -204,10        | 181,76          |
| ELS Cara Vérification  | Sigma s MPa                        | 282,53          | 111,83        | 88,53           | 141,69         | 87,05           | 87,72          | 94,01           |
|  | Limite ELS MPa (w <sub>max</sub> ) | 320             | 320           | 320             | 320            | 320             | 320            | 320             |
|  | Limite ELS - Sigma s               | 37,47           | 208,17        | 231,47          | 178,31         | 232,95          | 232,28         | 225,99          |
|  |                                    |                 |               |                 |                |                 |                |                 |
| 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 |
| Z3 - ELU<br>1,35G <sub>max</sub> +G <sub>min</sub> +1,35Q+0,9T | M                                  | 536,76          | -452,65       | 452,40          | 641,20         | 789,80          | -420,72        | 346,52          |
| ELU Vérification   | Section Astendue cm <sup>2</sup>   | 19,63           | 39,27         | 44,68           | 44,68          | 89,36           | 39,27          | 32,17           |
|  | Section A <sub>s,min</sub>         | 22,68           | 19,04         | 19,03           | 27,26          | 33,86           | 17,67          | 14,49           |
|  | Déficit                            | 3,05            | -20,23        | -25,65          | -17,42         | -55,5           | -21,6          | -17,68          |
| Z3 - ELS freq<br>G+0,4Q+0,5T                                   | M                                  | 312,98          | -273,46       | 269,56          | 378,23         | 460,87          | -254,57        | 200,80          |
| ELS Freq Vérification  | Sigma s MPa                        | 260,71          | 118,05        | 101,8           | 144,42         | 88,58           | 109,41         | 103,85          |
|  | Limite ELS MPa (w <sub>max</sub> ) | 300             | 300           | 300             | 300            | 300             | 300            | 300             |
|  | Limite ELS - Sigma s               | 39,29           | 181,95        | 198,2           | 155,58         | 211,42          | 190,59         | 196,15          |
| Z3 - ELS cara<br>G+Q+0,6T                                      | M                                  | 382,60          | -323,86       | 309,01          | 460,61         | 563,51          | -297,70        | 231,25          |
| ELS Cara Vérification  | Sigma s MPa                        | 318,7           | 139,8         | 116,69          | 175,87         | 108,31          | 127,95         | 119,6           |
|  | Limite ELS MPa (w <sub>max</sub> ) | 320             | 320           | 320             | 320            | 320             | 320            | 320             |
|  | Limite ELS - Sigma s               | 1,3             | 180,2         | 203,31          | 144,13         | 211,69          | 192,05         | 200,4           |

Au niveau de la dalle en zone 3, on constate un déficit à l'ELU au niveau de la dalle à proximité du piédroit V1.

Le futur aménagement fait tout de même globalement diminué les déficits sur la dalle.

**Résumés des déficits ELU et ELS identifiés sur la structure avec le nouvel aménagement prévu par la ville en Zone 3.**



## Aciers transversaux dalle

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

Vues du modèle EFFEL :

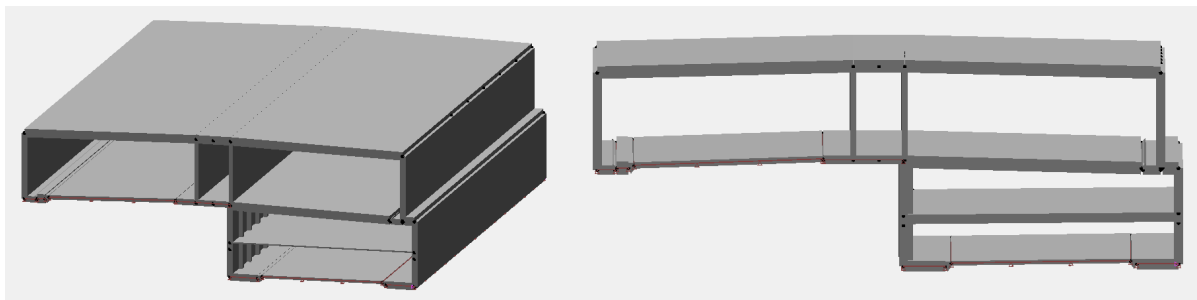


Figure 46: Représentation du cadre Zone 2 du modèle Effel

## Charges permanentes

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

- le poids propre
- l'aménagements sur la dalle

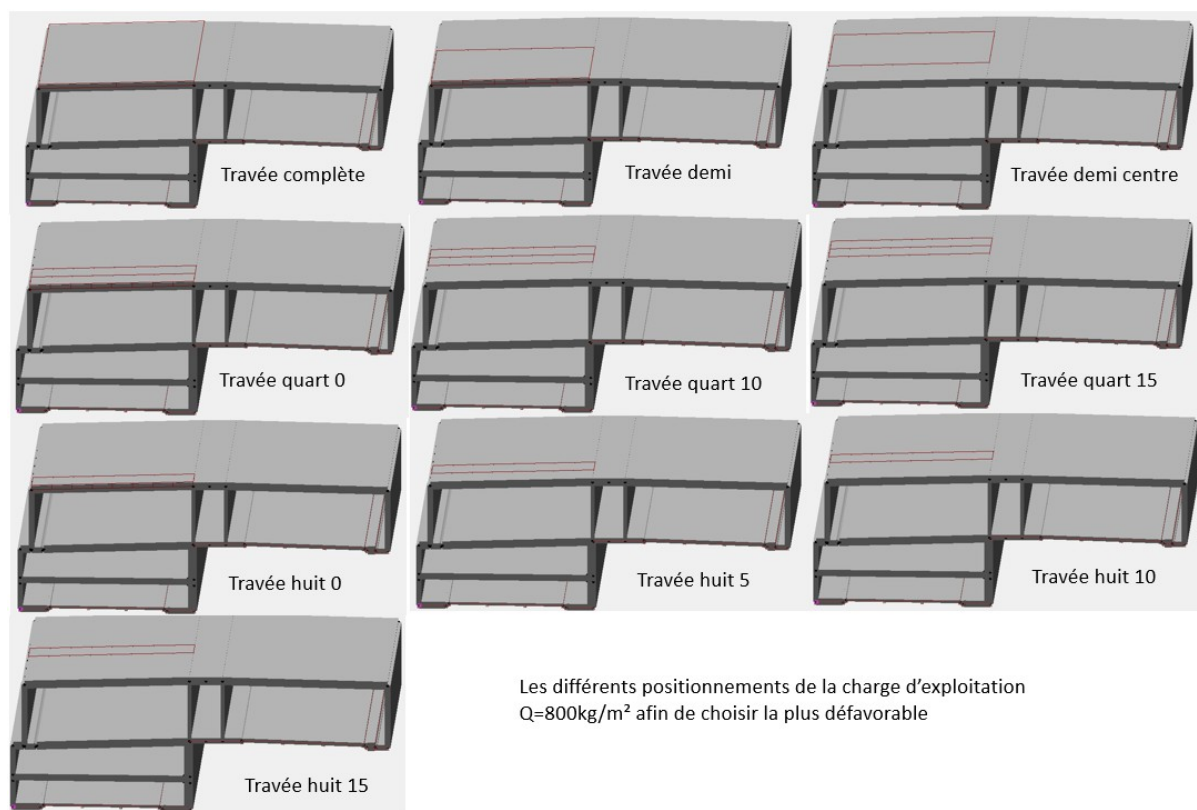
Au niveau de l'aménagement sur la dalle, nous avons comparé les situations ci-dessous :

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

## Charges d'exploitation

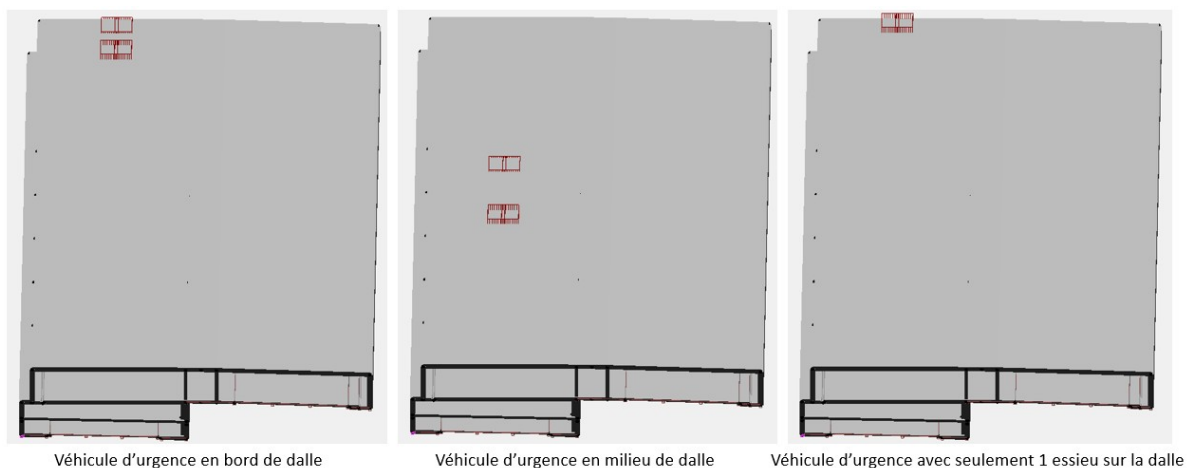
Dans le modèle Effel, nous avons rentré 10 cas de chargement différents pour la charge d'exploitation  $Q=800\text{kg/m}^2$ , afin d'avoir le cas le plus défavorable possible.

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.



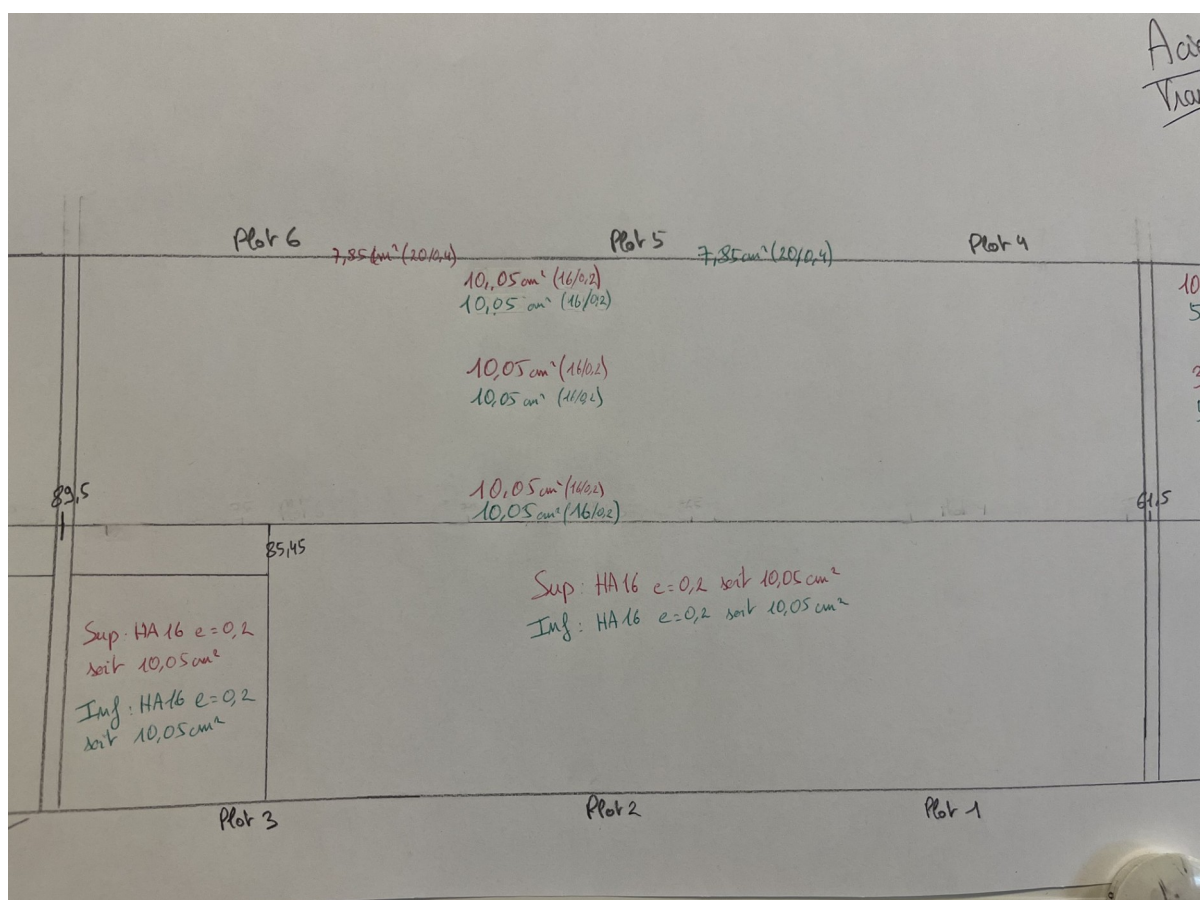
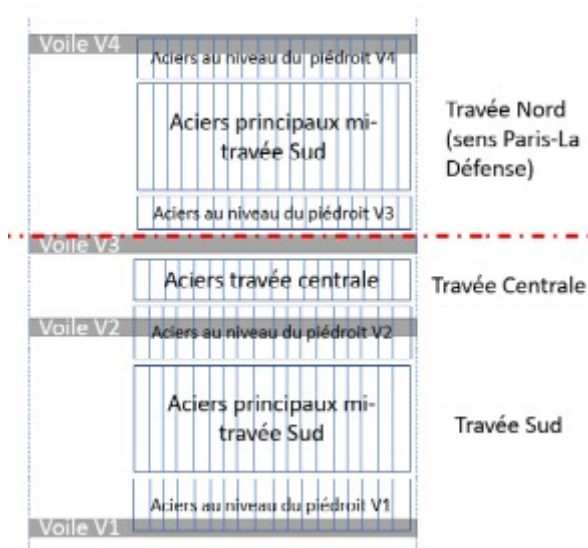


Figure 47: Aciers transversaux zone 3

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                             | 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 Z3                | 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                            | 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 Z3                | 44,94                      | 5,31          | -185,80       | 107,89                         | 76,01           |
| ELS Aménagement actuel Z3                | 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 significative des efforts dans la dalle.

Vérification ELU et ELS :

Traverse Sud

| Combinaisons                                    | En kN.m<br>Z3 – Traverses Sud      | Travée<br>proche<br>piédroit V1 | Mi-travée<br>Sud Max | Mi-travée<br>Sud min | Travée<br>proche<br>piédroit V2 | Travée<br>centrale |
|---|------------------------------------|---------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------|--------------------|
| Z3 – ELU<br>aménagement<br>futur<br>1,35G+1,35Q | M                                  | 50,71                           | 5,22                 | -144,88              | 142,71                          | 118,99             |
| ELU<br>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              |
| Z3 – ELS<br>aménagement<br>futur<br>G+Q         | M                                  | 37,56                           | 3,87                 | -107,32              | 105,71                          | 88,14              |
| ELS Cara<br>Vérification                        | Sigma s MPa                        | 60,23                           | 6,21                 | 172,09               | 169,51                          | 141,34             |
|   | Limite ELS MPa (w <sub>max</sub> ) | 320                             | 320                  | 320                  | 320                             | 320                |
|   | Limite ELS – Sigma s               | 259,77                          | 313,79               | 147,91               | 150,49                          | 178,66             |
| Z3 – ELU<br>Aménagement<br>actuel               | M                                  | 63,86                           | 5,33                 | -185,18              | 173,99                          | 137,01             |
| ELU<br>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              |
| Z3 – ELS cara<br>Aménagement<br>actuel          | M                                  | 47,30                           | 3,95                 | -137,17              | 128,88                          | 101,49             |
| ELS Cara<br>Vérification                        | Sigma s MPa                        | 75,85                           | 6,33                 | 219,96               | 206,67                          | 165,68             |
|   | Limite ELS MPa (w <sub>max</sub> ) | 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 soulage un peu les aciers transversaux de la traverse Sud.

#### Traverse Nord

| Combinaisons                                    | En kN.m<br>Z3 – Traverses Nord     | Travée<br>proche<br>piédroit V4 | Mi-travée<br>Nord Max | Mi-travée<br>Nord min | Travée<br>proche<br>piédroit V3 |
|---|------------------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Z3 – ELU<br>aménagement<br>futur<br>1,35G+1,35Q | M                                  | 50,71                           | 5,22                  | -144,88               | 142,71                          |
| ELU<br>Vérification                             | Section Astendue cm <sup>2</sup>   | 10,05                           | 10,05                 | 10,05                 | 10,05                           |
|   | Section As,min                     | 2,09                            | 0,21                  | 6                     | 5,9                             |
|   | Déficit                            | -7,96                           | -9,84                 | -4,05                 | -4,15                           |
| Z3 – ELS<br>aménagement<br>futur<br>G+Q         | M                                  | 37,56                           | 3,87                  | -107,32               | 105,71                          |
| ELS Cara<br>Vérification                        | Sigma s MPa                        | 60,23                           | 6,21                  | 172,09                | 169,51                          |
|   | Limite ELS MPa (w <sub>max</sub> ) | 320                             | 320                   | 320                   | 320                             |
|   | Limite ELS – Sigma s               | 259,77                          | 313,79                | 147,91                | 150,49                          |
| Z3 – ELU<br>Aménagement<br>actuel               | M                                  | 63,86                           | 5,33                  | -185,18               | 173,99                          |
| ELU<br>Vérification                             | Section Astendue cm <sup>2</sup>   | 10,05                           | 10,05                 | 10,05                 | 10,05                           |
|   | Section As,min                     | 2,63                            | 0,22                  | 7,68                  | 7,21                            |
|   | Déficit                            | -7,42                           | -9,83                 | -2,37                 | -2,84                           |
| Z3 – ELS cara<br>Aménagement<br>actuel          | M                                  | 47,30                           | 3,95                  | -137,17               | 128,88                          |
| ELS Cara<br>Vérification                        | Sigma s MPa                        | 75,85                           | 6,33                  | 219,96                | 206,67                          |
|   | Limite ELS MPa (w <sub>max</sub> ) | 320                             | 320                   | 320                   | 320                             |
|   | Limite ELS – Sigma s               | 244,15                          | 313,67                | 100,04                | 113,33                          |

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

Le passage de l'aménagement actuel à l'aménagement futur soulage un peu les aciers transversaux de la traverse Nord.

## DIMENSIONNEMENT DU RENFORCEMENT

### Augmentation de la section d'acier

#### Renforcement du haut du voile V2

Au vu des déficits montrés au paragraphe précédent, le haut du voile V2 est renforcé sur toute la zone 1. Le dimensionnement du renfort se fait à l'ELU.

Pour le haut du voile V2, la section d'acier tendu est de  $A_{s,tendu}=7,07\text{cm}^2$  (HA12  $e=0,16\text{m}$ ). La section  $A_{s,min}$  calculée est de  $8,56\text{cm}^2$ . Le déficit d'acier à l'ELU est donc de  $1,49\text{cm}^2$  (21,10 %).

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 vu 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  $8,03\text{cm}^2$ . Le déficit d'acier à l'ELU est donc de  $3,51\text{cm}^2$  (77,62 %).

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  $5,79\text{cm}^2$ , 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 | 0,3    | 6,70                     | 5,79                   |
| Ext | 14 | 0,25   | 6,16                     | 5,79                   |
| Ext | 12 | 0,15   | 7,54                     | 5,79                   |
| Ext | 32 | 1      | 8,04                     | 5,79                   |

## 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  $20,14\text{cm}^2$ . Le déficit d'acier à l'ELU est donc de  $1,60\text{cm}^2$  (2,61 %).

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 inférieurs

Aucun déficit au niveau des aciers transversaux inférieurs, 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.

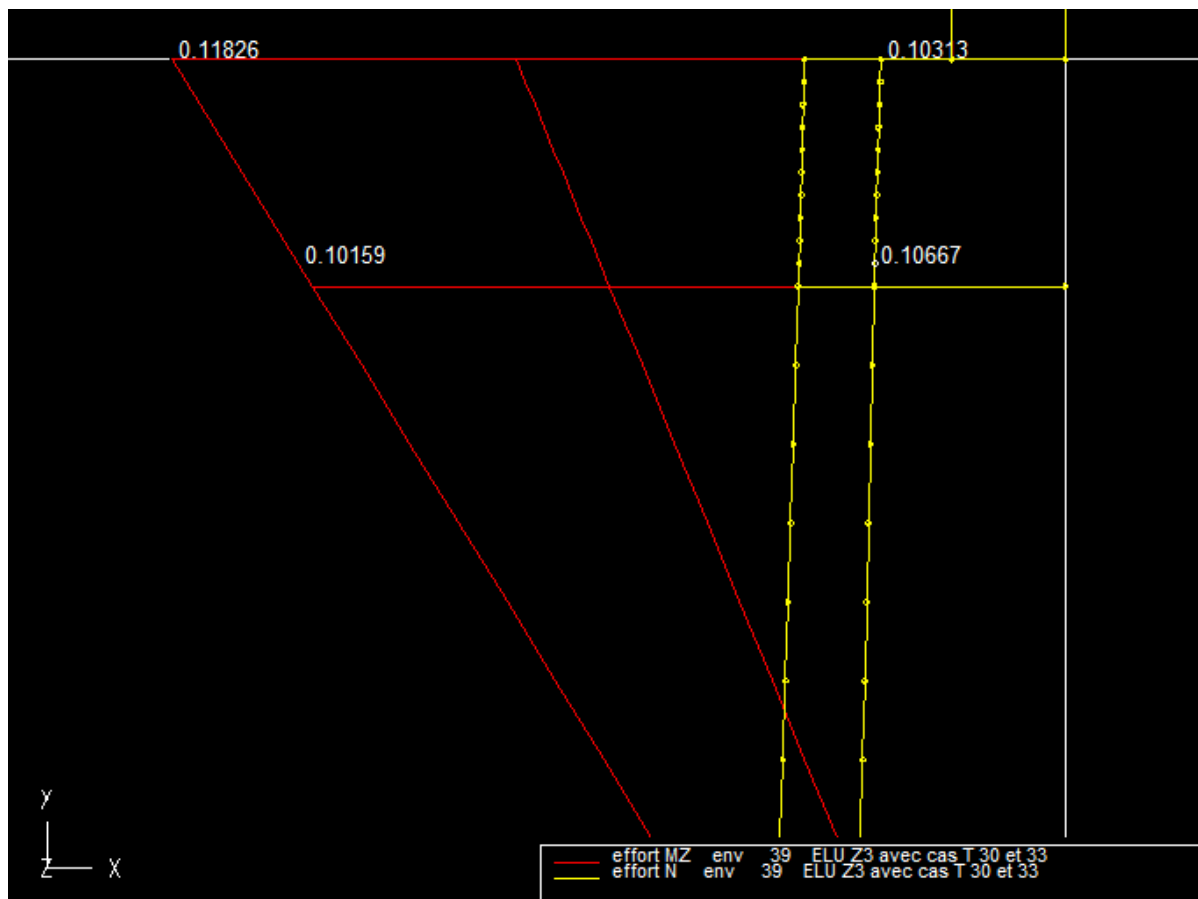
Comme les aciers transversaux en traverse Nord et en traverse Sud sont identiques, il doit y avoir dans la géométrie de la zone 3, un ouvrage annexe (centrale de ventilation, passage RATP,...) qui induit des charges plus importantes en travée Nord.

Comme nous n'avons pas pu modéliser les spécificités de la zone 3 avec un modèle plaque, nous ne sommes pas parvenus à mettre en évidence les déficits ayant entraînés cette fissuration.

On renforce tout de même la zone 3 avec des aciers transversaux inférieurs de la traverse Nord. Il est possible de doubler les aciers en place (HA16  $e=0,2\text{m}$ ). Le ferrailage est complété par des aciers 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 voile haut du voile V2 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 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 31,5cm depuis le haut du sommet du voile (à cette hauteur les valeurs des efforts sont de  $M=101,59\text{kN.m}$  et  $N=106,67\text{kN}$ ).

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  $\varnothing=12 \text{ mm}$

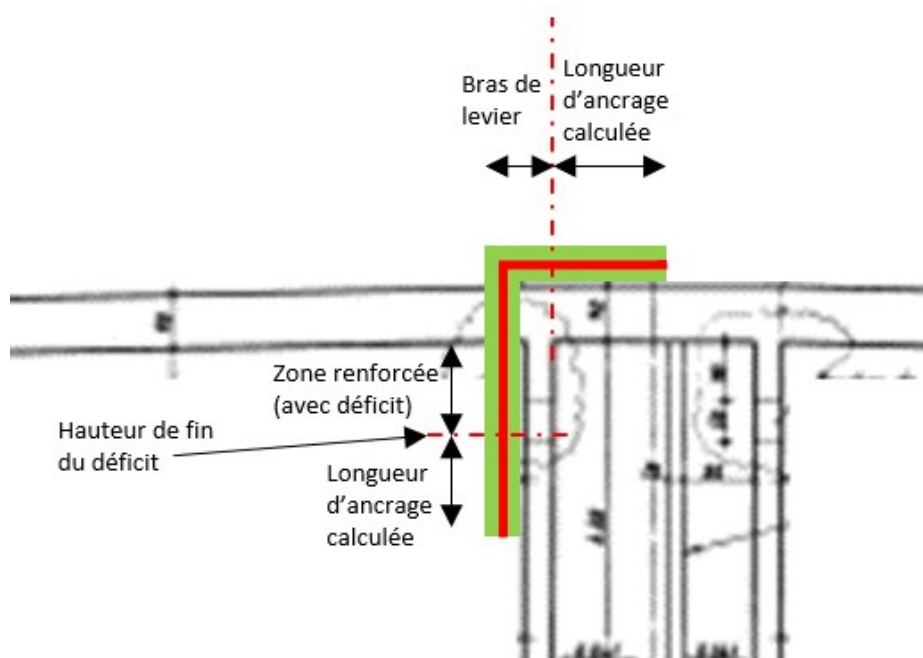
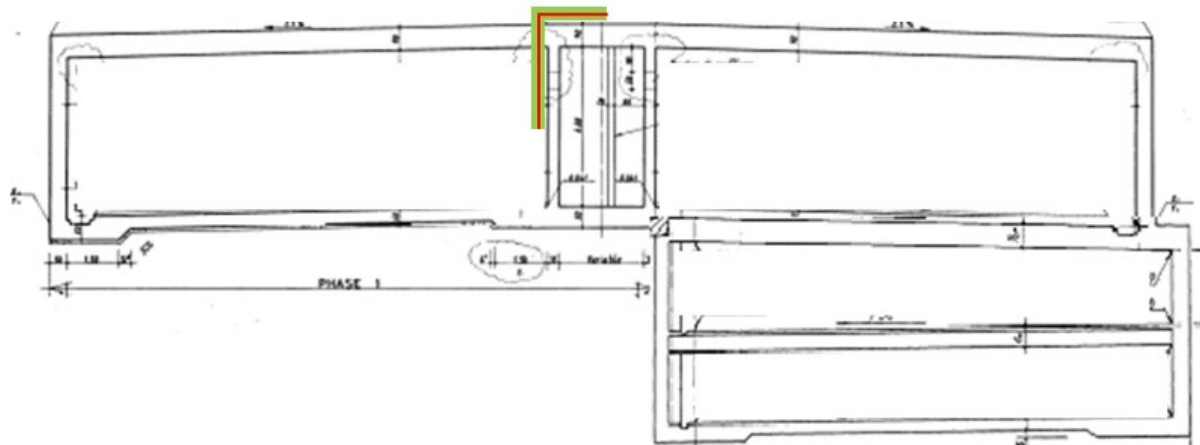
$$l_{b,rqd}=(12/4)(435/3,04)$$

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

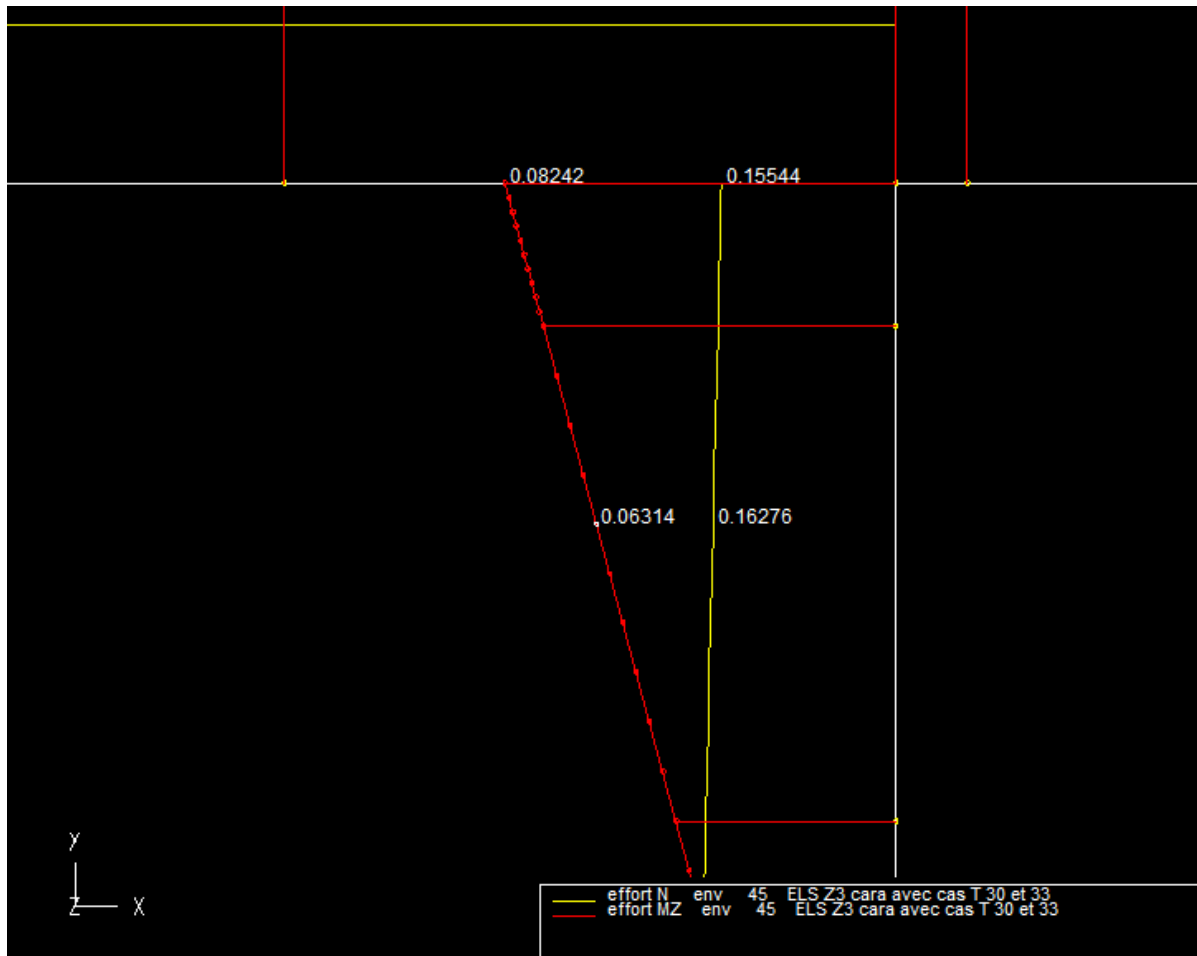
La longueur d'ancrage pour des aciers HA12 est 42,9 cm.

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 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'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 83,6cm depuis le haut du sommet du voile (à cette hauteur les valeurs des efforts sont de  $M=63,14\text{kN.m}$  et  $N=162,76\text{kN}$ ).

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  $\varnothing < 32\text{mm}$

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

$\gamma_c = 1,5$

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

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

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

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

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

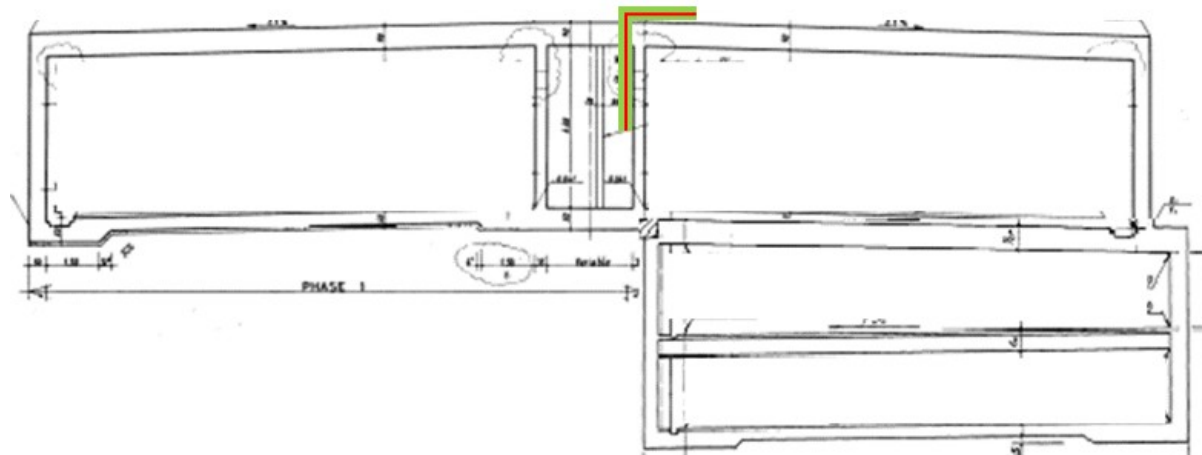
$l_{b,rqd} = (12/4) * (435/3,04)$

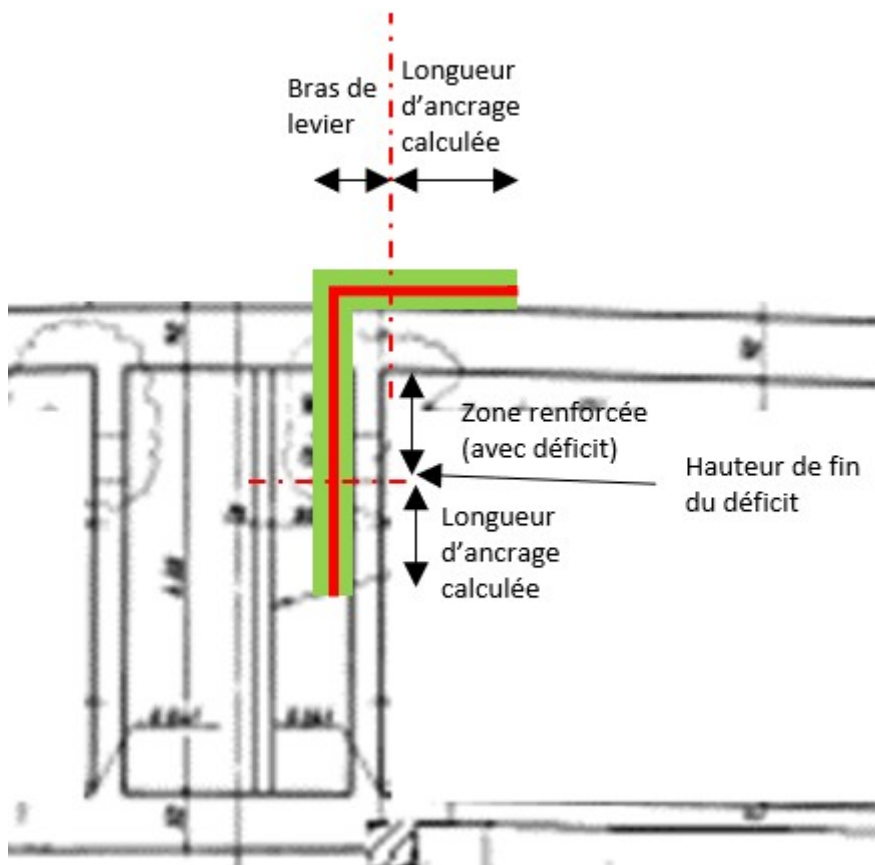
**$l_{b,rqd} = 429 \text{ mm}$**

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

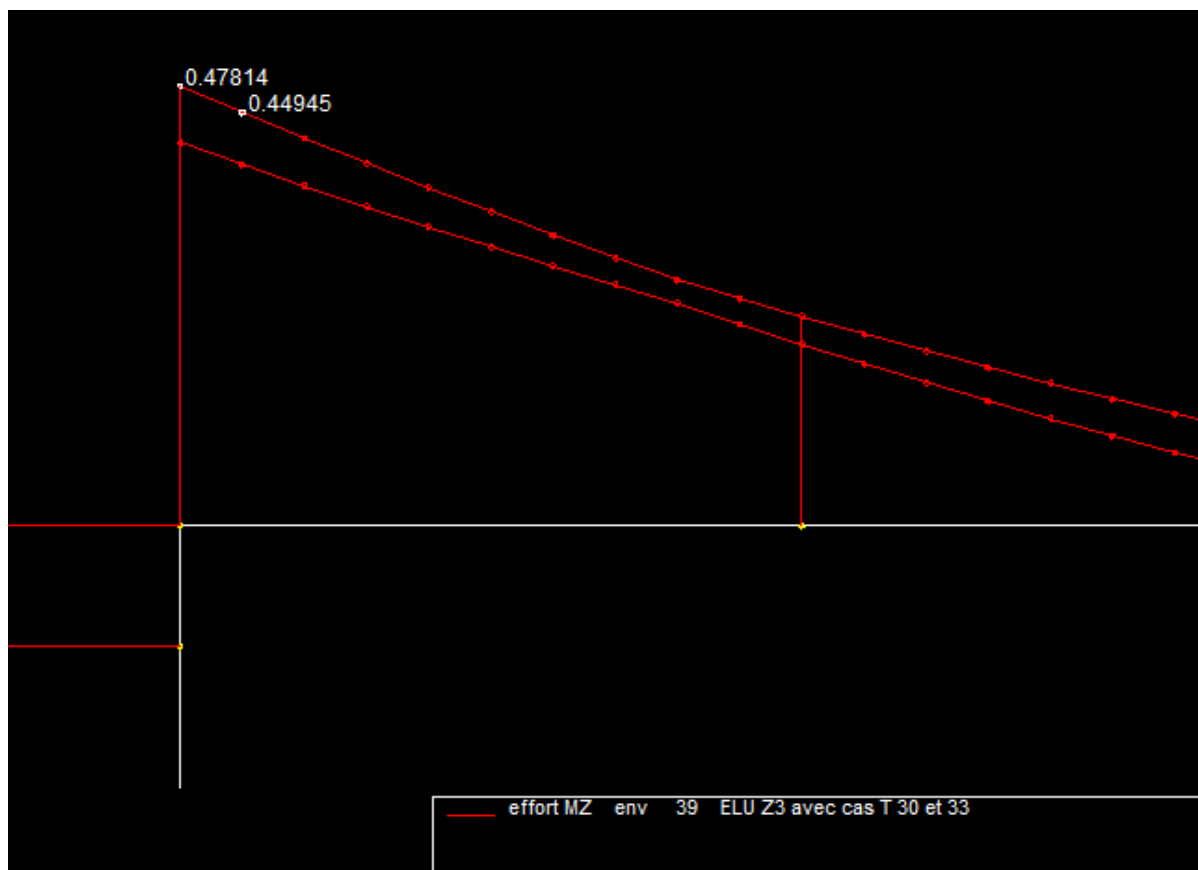
Le renforcement du haut du voile V3 se présentera sous la forme d'un renforcement de béton armé de 12cm d'épaisseur tel que représenté sur les schémas ci-dessous.

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.





### 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  $M=449,45\text{kN.m}$ ).

## 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 :  $\mu = 0,6$

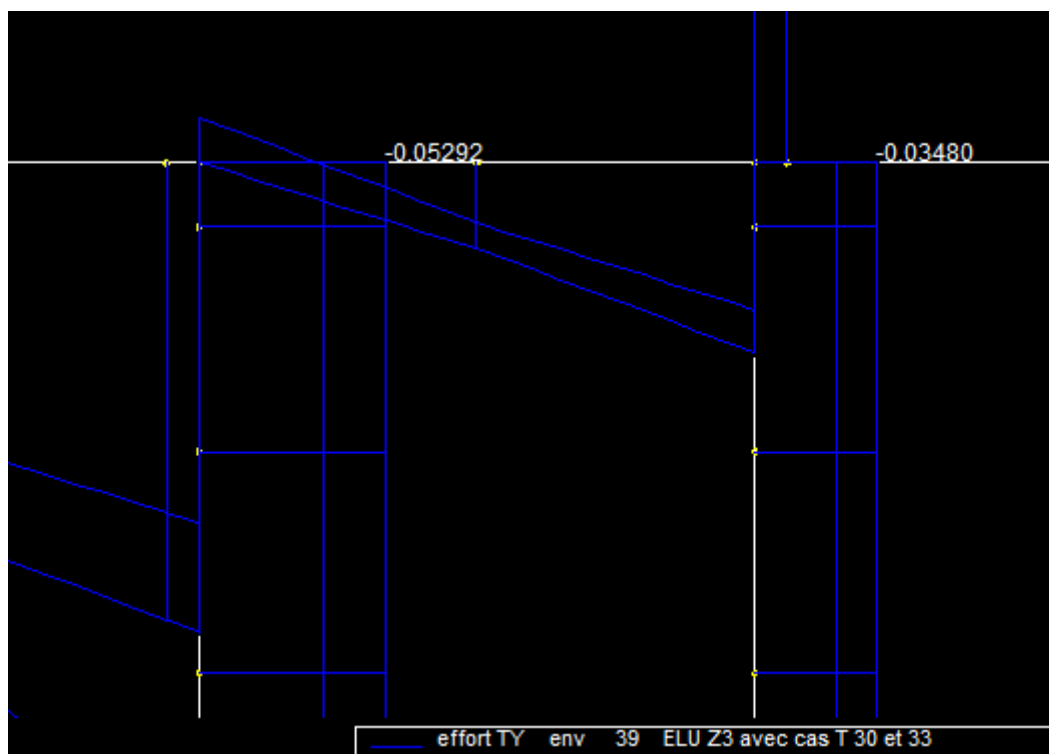
Pour le renforcement du voile V2,  $V_{ed} = 0,05470 \text{ MN.m}$ ,  $d = 0,47 \text{ m}$  :

$$A_{s,cout} = 4,79 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

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,  $V_{ed} = 0,03954 \text{ MN.m}$ ,  $d = 0,47 \text{ m}$  :

$$A_{s,cout} = 3,15 \text{ cm}^2/\text{ml} \text{ soit } 5 \text{ HA } 10 \text{ par mètre linéaire } (3,93\text{cm}^2)$$



### Dimensionnement renforcement en matériau composite

Pour la zone 3, 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<br>voile/dalle | Déficit acier<br>cm <sup>2</sup> à l'ELU           | Effort actuel<br>kN.m | Effort maximal<br>sans déficit kN.m | Effort à reprendre par<br>plat carbone kN.m | Niveau de<br>renforcement | Quantités m <sup>2</sup> |     |
|------|---|--------------------------|--|-----------------------|-------------------------------------|---|---------------------------|--------------------------|-----|
| 3    | Dalle proche V1                             | 0,7                      | 0,51   | 478,14                | 466                                 | 12,14                                       | <20kN.m                   | 140                      | TQ1 |
| 3    | Aciers transversaux<br>inférieur dalle Nord | 0,7                      | Pas de déficit<br>mais<br>comparaison<br>avec Z1/2 |                       |                                     |   | <30kN.m                   | 56                       | TF  |



## 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

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 3. Le renforcement se fera par ajout d'acier dans des saignées faites par hydrodémolition.

