

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة سعيدة - د. مولاي الطاهر

UNIVERSITÉ DESAÏDA - Dr. MOULAY TAHAR



Faculté de Technologie

Département de Génie Civil et d'Hydraulique

## MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du Diplôme de MASTER en Génie Civil

Spécialité : Structures

# Conception et étude d'un Pont cadre préfabriqué (opti-cadre)

Présenté par :

**BOUAB MOHAMED ESSEDDIK**

**DAOUDI ABDELKADER**

Soutenu le ... / .... / 2020, Devant le jury composé de :

M.RABHI mohamed.....	Président
M.BENLEKHAL noureddine.....	Examineur
M.BELABED Zakaria.....	Encadreur
M.YAGHNEM reda.....	Co-encadreur

Année universitaire 2019/2020

## *Remerciements :*

*« Après aimer et aider, remercier est assurément le troisième plus beau verbe dans toutes les langues »*

*Toute notre parfaite gratitude et remerciement à Allah le plus puissant qui nous a donné la force, le courage et la volonté pour élaborer ce travail.*

*Nous tenons aussi à exprimer notre gratitude pour notre cher encadreur "Dr.Belabed Zakaria" "Dr.yaghnem reda" pour sa disponibilité et sa patience, pour ses encouragements et ses précieux conseils durant toute la période de de préparation de ce mémoire.*

*Nous remercions aussi les membres de jury qui mon fait l'honneur de Juger notre travail. A tous les enseignants qui nous ont enrichi de connaissances et de savoir de primaire jusqu'à l'université.*

*A tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin dans la réalisation de ce projet de fin d'étude.*

*Merci à tous*

## DEDICACES :

*Tout d'abord je remercie Dieu de m'avoir donné la force d'accomplir ce travail, que je dédie à Mes parents pour leurs amours, leurs soutiens et leurs confiances, rien n'aurait été possible sans eux,*

*A mon cher père qui n'a pas cessé de m'encourager et de se sacrifier pour que je puisse franchir tout obstacle durant toutes mes années d'études, que dieu me le garde en très bonne santé.*

*A ma plus belle étoile qui puisse exister dans l'univers ; ma chère mère, celle à qui je Souhaite une longue vie.*

*A toute ma grande famille, qui m'a accompagnée durant ce long parcours, celle qui m'a offerte tout l'amour.*

*Une deuxième personne qui a partagé ce travail avec moi dans les bons et mauvais moments ; à mon binôme "Daoudi Abdelkader " et toutes sa familles.*

*à mes amis " Abdellahi Ibrahim", "Chibani Mohamed ", "Tazi Oussama" et "taibiasmaa"*

*A tous la promotion 2020.*

*Tous ceux que j'ai oublié qui m'ont apporté d'aide et soutien durant ces années de formation.*

*Merci à tous*

*Bouab.MohamedEsseddik*



## DEDICACES :

### *Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux*

☀ *Tout d'abord je remercie Dieu de m'avoir donné la force d'accomplir ce travail, que je dédie à Mes parents pour leurs amours, leurs soutiens et leurs confiances, rien n'aurait été possible sans eux.*

☀ *A mon cher père qui n'a pas cessé de m'encourager et de se sacrifier pour que je puisse franchir tout obstacle durant toutes mes années d'études, que dieu le sauvegarde en bonne santé. A toute ma grande famille, qui m'a accompagnée durant ce long parcours, celle qui m'a offerte tout l'amour.*

☀ *A mon encadreur "Dr.Belabed Zakaria" et "Dr.yaghnemreda"*

☀ *Une deuxième personne qui a partagé ce travail avec moi dans les bons et mauvais moments ; à mon binôme "Bouab.MohamedEsseddik" et toute sa famille.*

☀ *A tous mes amis "Abdellahi Ibrahim", "Chibani Mohamed" et "Tazi Oussama"*

☀ *A tous la promotion 2020.*

☀ *Tous mes collègues sans exception.*

*A vous... merci*

*Daoudi.Abdelkader*

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

**Résumé :**

Pour répondre aux exigences de la réalisation des ouvrages d'art en termes de délais et le coût, la préfabrication offre des avantages significatifs tels que : le délai, le coût de la réalisation et l'esthétique. Dans cet esprit, les ponts-cadres préfabriqués en béton armé sont conçus pour soulever plusieurs contraintes, permettant d'obtenir un ouvrage d'art souple, poids adapté et la mise en œuvre facile et surtout la maîtrise de la qualité de production. L'objectif principal de ce mémoire est l'étude et la conception d'un pont-cadre basant sur une modélisation fiable tout en respectant la réglementation en vigueur. À la fin, le dimensionnement des éléments constituant l'ouvrage et l'élaboration d'un dossier technique sont aussi présentés dans ce travail.

**Mots-clés :** Pont Cadre, modélisation numérique, dossier technique, préfabrication.

**Abstract :**

To meet the requirements of drawdown of the civil engineering works needs in terms of delays and the cost, the precasting offers meaningful advantages such as: the delay, the cost of the realization and aesthetics. In this spirit, the prefabricated Box Culvert bridges in reinforced concrete are conceived to raise several constraints, permitting to get a flexible civil engineering works, adapted weight and the setting in easy applications and especially controlled production quality. The main objective of this dissertation is to design a prefabricated Box Culvert bridge basing on a reliable modelling with respecting the current standards. Finally, the pavement design of the structural constituting elements and the processing of technical manual are also presented in this work.

**Keyword :** Box Culvert bridge, numerical modeling , technical manual , precasting

## الملخص:

ولتلبية متطلبات بناء الهياكل الهندسية من حيث الوقت والتكلفة، يقدم التصنيع المسبق مزايا كبيرة مثل: الوقت وتكلفة البناء والجمال. وعلى هذا الصياغ، تم تصميم الجسور الخرسانية المسلحة الجاهزة لرفع العديد من القيود، مما يجعل من الممكن الحصول على هيكل مرن، ووزن مناسب وسهلا لتنفيذ وقبل كل شيء التحكم في جودة الإنتاج. الهدف الرئيسي من هذه المذكرة هو دراسة وتصميم جسر الاطار على أساس النمذجة الموثوقة مع احترام اللوائح المعمول بها. في النهاية، يتم عرض أبعاد العناصر التي تشكل الهيكل ووضع ملف فني في هذا العمل.

**الكلمات الرئيسية:** جسر الإطار، النمذجة الرقمية، الملف الفني، التصنيع المسبق.

# SOMMAIRE

Résumé :.....	I
الملخص.....	II
Sommaire .....	III
Liste des figures:.....	V
Liste des tableaux.....	VII
Notations .....	VII
<b>CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LES OUVRAGES D'ART PREFABRIQUES ET LES PONTS CADRES .....</b>	<b>1</b>
1.1 Généralité sur les ouvrages d'art .....	1
1.2 Familles d'ouvrages d'art .....	1
a) Les ouvrages d'art liés à des voies de communication :.....	1
b) Destinés à la protection contre l'action de la terre ou de l'eau :.....	2
c) Les ouvrages d'art destinés à la retenue des eaux :.....	2
1.3 Fonction d'un ouvrage d'art.....	2
1.4 Nature d'un ouvrage d'art.....	2
1.5 Généralité sur les ponts cadre.....	2
1.6 Définition.....	3
1.7 Les ponts-cadres et les portiques.....	3
1.8 Description du pont-cadre .....	4
1.9 Domaine d'application .....	5
1.10 Mise en place.....	5
1.11 Plans d'ensemble.....	5
a) Caractéristiques techniques .....	5
Indications générales et description .....	5
b) Caractéristiques des matériaux.....	6
1.12 Les types des ponts cadres.....	8
1.13 Morphologie.....	12
1.14 Domaine d'emploi .....	12
1.15 Avantages et inconvénients .....	14

<b>CHAPITRE 2: PRESENTATION DE L'OUVRAGE : DONNEES ET HYPOTHESES.....</b>	<b>15</b>
2.1 Présentation de l'ouvrage .....	15
2.2 Données et hypothèses .....	19
2.2.1 Règlements de calcul et documents de référence : .....	19
2.2.2 Matériaux .....	19
2.2.3 Densités des matériaux : .....	20
2.2.4 Remblais latéraux : .....	20
2.3 Sol de fondation .....	21
2.3.1 Surcharges d'exploitation à la construction .....	21
2.3.2 Détermination des densités de charges après diffusion .....	22
<b>CHAPITRE 3 : PROGRAMME DE CALCULS ET MODELISATION .....</b>	<b>26</b>
3.1 Calcul informatique modélisation : .....	26
3.2 Programme de calculs .....	26
3.3 Modélisation du cadre .....	27
3.4 Modélisation du sol de fondation et des remblais latéraux.....	28
3.5 Poids des terres .....	30
3.6 Cas de charges élémentaires envisagées (Hors pondération) .....	31
3.7 Modélisation des cas de charges élémentaires.....	31
3.9 Résultats de calculs .....	43
3.10 Résultats des moments $M_{max}$ et $M_{min}$ des cas de chargement élémentaire.....	54
3.11 Résultats des moments $M_{max}$ et $M_{min}$ des cas des combinaisons .....	55
<b>CHAPITRE 4 : EXPLOITATION DES RESULTATS .....</b>	<b>56</b>
4.1 Exploitation des résultats .....	56
4.2 Détermination des armatures à mettre en place (ELEMENT SUPERIEUR).....	57
4.3 Détermination des armatures à mettre en place (PIEDROIT LATERAL) .....	60
4.4 Détermination des armatures à mettre en place (RADIER) .....	62
<b>CONCLUSION GENERALE : .....</b>	<b>64</b>
<b>Annexe 01 : Exploitation du sondage pressiometrique.....</b>	<b>65</b>
<b>Annexe 02 : Fichiers de Données ROBOT .....</b>	<b>68</b>
<b>Annexe 03 :Plans de Ferrailage détaillés.....</b>	<b>84</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>93</b>

## LISTE DES FIGURES:

figure 1: pont cadre a une alveole .....	4
figure 2: portique a une alveole .....	4
figure 3 : pont opti-cadre fermes .....	8
figure 4 : pont opti-cadre ouverts .....	9
figure 5: details.....	10
figure 6a: mur de tete .....	11
figure 6b: mur de tete .....	11
figure 7 : morphologie d'un portique .....	12
figure 8-ouvrage sous remblais .....	13
figure 10: plan de la situation.....	17
figure 11: coupe longitudinale et transversal .....	18
figure 12: plan horizontal (camion bc) .....	22
figure 13: plan horizontal (tandem bt).....	23
figure 14: plan horizontal (roue br ).....	24
figure 15:plan horizontal (char mc120).....	24
figure 16:coupe transversale de coffrage .....	25
figure 17:numerotation des nœuds .....	27
figure 18: numerotation des elements .....	27
figure 19: interaction sol-structure .....	29
figure 20:cas 01: poids propre au stock .....	31
figure 21:cas 02 poids propre avant coulage .....	32
figure 22:cas 03 remblais jusqu' a la dalle .....	32
figure 23:cas 04:remblais au-dessus de la dalle.....	33
figure 23:cas 05 ch. H dues aux remblais se trouvant au-dessus du niveau de la dalle .....	33
figure 24:cas 06 5.20 m de terre remblayes.....	34
figure 25:cas 07 3.90 m de terre remblayes.....	34
figure26:cas 08: roue de 10t sur nœud n1(14) .....	35
figure 27:cas 09: roue de 10t sur nœud n2 (12).....	35
figure 28:cas 10 roue de 10t sur nœud n3(10).....	36
figure 29:cas 11 camion bc sur le nœud n1(14) .....	36
figure 30:cas 12 camion bc sur le nœud n2(12) .....	37

figure 31:cas 13 camion bc sur le nœud n3(10) .....	37
figure 32:cas 14 charge de a(l) sur la dalle superieure.....	38
figure 33:cas 15 charge de a(l) sur le cote gauche uniquement .....	38
figure 34:cas 16: charge de a(l) sur la 1/2 dalle gauche.....	39
figure 35:cas 17: charge repartie centre (largeur d'une 1/2 dalle).....	39
figure 36:cas 18: charge de a(l) sur les2 cotes simultanement .....	40
figure 37:cas 19 camion bt sur le noeud n1(14).....	40
figure 38:cas 20: camion bt sur le nœud n2(12) .....	41
figure 39:cas 21 camion bt sur le nœud n3(10) .....	41
figure 41:cas 01 poids propre au stock .....	43
figure 42:cas 02 poids propre avant coulage du radier.....	44
figure 43:cas 03 remblais jusqu' a la dalle .....	44
figure 44:cas 04 remblais au-dessus de la dalle .....	45
figure 45:cas 05 ch. H dues aux remblais se trouvant au-dessus du niveau de la dalle.....	45
figure 46:cas 06 5.20 m de terre remblayes.....	46
figure 47:cas 07 3.90 m de terre remblayes.....	46
figure 48:cas 08 roue de 10t sur nœud n1(14).....	47
figure 49:cas 09 roue de 10t sur nœud n 2(12).....	47
figure 50:cas 10 roue de 10t sur nœud n 3(10).....	48
figure 51:cas 11 camion bc sur le nœud n1 (14) .....	48
figure 52:cas 12 camion bc sur le nœud n2(12) .....	49
figure 53:cas 13 camion bc sur le nœud n3(10) .....	49
figure 54:cas 14 charge de a(l) sur la dalle superieure.....	50
figure 55:cas 15 charge de a(l) sur le cote gauche uniquement .....	50
figure 55:cas 16 charge de a(l) sur la 1/2 dalle gauche .....	51
figure 56:cas 17 charge repartie centree(largeur d'une 1/2 dalle .....	51
figure 57:cas 18 charge de a(l) sur les 2 cotes simultanement .....	52
figure 58:cas 19 camion bt sur le nœud n1(14) .....	52
figure 59:cas 20 camion bt sur le nœud n2(12) .....	53
figure 60:cas 21 camion bt sur le nœud n3(10).....	53
figure 61 : coupe transversale element superieur .....	59
figure 62: coupe transversale piedroit laterale.....	61
figure 63: coupe transversale radier .....	63

# LISTE DES TABLEAUX

tableau 1. sondage pressiometrique.....	21
tableau 2:cas de charges elementaires envisageees .....	31
tableau 3:descriptif des combinaisons.....	42
tableau 4: combinaisons a elu.....	42
tableau 5:mmax et mmin des cas de chargement elementaire .....	54
tableau 6:mmax et mmin des cas des combinaisons.....	55

# NOTATIONS

## Notations en majuscules romaines

**S** :La surface d'impact

**Q** :Surcharges roulantes

**KY, KX** :L'intensité de chaque ressort

**Mmax** : moment maximale

**Mmin** : moment minimale

**Nmax** :effort normale maximale

**Nmin** : effort normale minimale

**A** :section d'acier nécessaire

**Amin** ; section d'acier minimale

**At** : section d'acier nécessaire pour remonter l'effort tranchant

**Vu** : les effort tranchant elu

**R** :rayon

**AS** :section d'acier de surface

**Ψ** : coefficient de remplissage.

**Nu** :Effort normal de ultime

**Nser**: Effort normal en service

**Mu**: Moment de calcul ultime

**Mser** :Moment de calcul de service

**ELS** :Etat limite de service

**ELU**: Etat limite ultime

**Aser** :Section d'aciers pour l'ELS

**Au** :Section d'aciers pour l'ELU

**A<sub>2</sub>**: section d'acier comprimées.

**A<sub>1</sub>** :Section d'aciers tendues.

**F** :Force ou action générale

**Kh** : la raideur horizontale des remblais contigus, est le module de réaction horizontale en  $t/m^3$  des remblais latéraux.

**Kv** : réaction verticale ,le module de réaction verticale en  $t/m^3$  du sol de fondation.

**Hmin** :La couverture de terre

**Hc** : Hauteur de diffusion à la construction

**Hs** : Hauteur de diffusion en service

**B** : largeur de la semelle assimilée à la hauteur de l'ouvrage

**Bo** : largeur de référence

**E** : module de young  
**Ro** : poids propre de béton  
**Nu** : coef de poisson

### Notations en minuscule romaines

**b**: Hauteur totale d'une section de béton armé  
**h** :Epaisseur d'une membrure de béton  
**J**: Nombre de jours  
**fcj** :Résistance caractéristique à la compression du béton âgé de j jours  
**ftj**: Résistance caractéristique de la traction du béton âgé de j jour  
**fc28**: Resistance à la compression du béton calculé à 28 jours  
**ft28**: Resistance de la traction du béton calculé à 28 jours.  
**fe**:Limite d'élasticité de l'acier  
**esp**: Espacement des armatures transversales

### Notations Grecques

$\eta$  : Coefficient de fissuration  
 $\sigma_{bu}$  : Contrainte normale béton elu  
 $\sigma_{su}$  : Contrainte normale acier elu  
 $\tau_u$  : Contrainte tangente elu  
 $\sigma_{bc}$  : Contrainte normale béton els  
 $\sigma_s$  : Contrainte normale acier els  
 $\alpha$  :coefficient de structure du sol  
 $\lambda_c, \lambda_d$  : paramètres géométriques fonction du rapport L/B  
 $\gamma$  : Coefficient  
 $\theta$  : Coefficient  
 $\alpha$  :coefficient de structure du sol

# Chapitre 1

Généralités sur les ouvrages

D'arts préfabriqués

### CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LES OUVRAGES D'ART PREFABRIQUES ET LES PONTS CADRES

#### 1.1 Généralité sur les ouvrages d'art

L'ouvrage d'art est une construction artificielle de génie civil de grande importance liée à l'établissement et à l'exploitation d'une ligne de communication ou de transport terrestre, fluviale ou maritime (pont, viaduc, passerelle, tunnel) mais également un dispositif de protection contre l'action de la terre ou de l'eau (murs de soutènement, tranchée couverte, digue, descentes spéciales d'écoulement dans les régions montagneuses...) ou d'une adduction d'eau (buse, ponceau ou dalot) et enfin un dispositif de transition entre plusieurs modes de transport (quais et autres ouvrages portuaires), par le franchissement d'un obstacle naturel ou artificiel. L'obstacle peut être une chaîne de montagne, un cours d'eau, une région industrielle ou encore une ville comprenant de nombreux bâtiments (circulation, etc.)

De tels ouvrages sont qualifiés "d'art" parce que leur conception et leur réalisation font intervenir des connaissances où l'expérience joue un rôle aussi important que la théorie. Cet ensemble de connaissances constitue d'ailleurs ce que l'on appelle l'art de l'ingénieur (Faouzi, 2004/2005)

Ce terme est composé de deux mots :

- « Ouvrages » indiquant les constructions,
- « Art » indiquant l'importance de l'aspect esthétique et architectural dans ces constructions. (TIDJANI-SERPOS, 2011)

#### 1.2 Familles d'ouvrages d'art

Trois grandes familles peuvent être distinguées :

##### a) Les ouvrages d'art liés à des voies de communication :

- les ponts et viaducs, qui sont des ouvrages aériens qui permettent de franchir une rivière, un bras de mer, un val, une autre voie de communication ou tout autre obstacle;
- les tunnels, qui sont des ouvrages souterrains permettant le franchissement de tout obstacle similaire à ceux franchis par les ponts,
- Les structures en élévation comme les auvents de péage ou les grands murs antibruit, les grands mâts et portiques.
- les écluses et les ascenseurs à bateaux sont des ouvrages d'art liés à des voies navigables ouvrages d'art

### b) Destinés à la protection contre l'action de la terre ou de l'eau :

- les murs de soutènement, qui sont des ouvrages assurant la stabilité de la voie de communication portée.
- les gabions, les jetées, les brise-lames, etc.

### c) Les ouvrages d'art destinés à la retenue des eaux :

- les barrages qui sont des grands ouvrages de génie civil, sont souvent rangés dans la famille des ouvrages d'art.
- les digues, etc. (TIDJANI-SERPOS, 2011)

### 1.3 Fonction d'un ouvrage d'art

La fonction d'un ouvrage d'art est liée à la fonction de la voie de communication à laquelle il est lié

- un ouvrage d'art routier supporte une route,
- un ouvrage d'art autoroutier supporte une autoroute, qu'il s'agisse de la voie principale ou d'une bretelle de raccordement à l'autoroute,
- un ouvrage d'art ferroviaire supporte une voie ferrée.

Les voies navigables, canalisations d'eau (aqueducs) ou d'autres fluides ne donnent pas lieu à la définition d'une typologie spécifique à ces voies. (TIDJANI-SERPOS, 2011)

### 1.4 Nature d'un ouvrage d'art

L'ouvrage d'art peut être qualifié selon le milieu dans lequel il est construit, on rencontre ainsi des ouvrages d'art terrestres, maritimes ou de montagne. (TIDJANI-SERPOS, 2011)

### 1.5 Généralité sur les ponts cadre

Les ponts-cadres et portiques sont des ouvrages simples. Leur conception doit néanmoins être guidée par certaines règles minimales, tant sur le plan technique que sur celui de l'esthétique.

Comme pour tout ouvrage d'art, la conception s'effectue généralement en allant des grandes lignes vers le détail, par étapes et affinements successifs. En d'autres termes, la conception générale (implantation des piédroits, rapport largeur/hauteur de l'ouverture, choix du type de murs de tête ainsi que l'implantation de ces derniers, proportion entre le vide, c'est-à-dire l'ouverture, et les parements vus) doit précéder la conception de détail (équipements, corniches, cannelures...).

Il importe de le souligner, car des démarches inverses à cette règle de bon sens et les erreurs de conception qui en résultent sont fréquentes, particulièrement en matière de recherche esthétique.

Il ne faut évidemment pas en conclure qu'il faille négliger des éléments apparemment peu importants pour l'ouvrage tels que, par exemple, les dispositifs de retenue ou les corniches.

En effet, le choix d'un dispositif de retenue conditionne la largeur du tablier et entraîne une modification importante de l'aspect de la face vue. Il en va de même pour les corniches, dans la mesure où celles-ci concourent à modifier la face vue du tablier et à marquer ainsi le profil longitudinal de l'ouvrage.

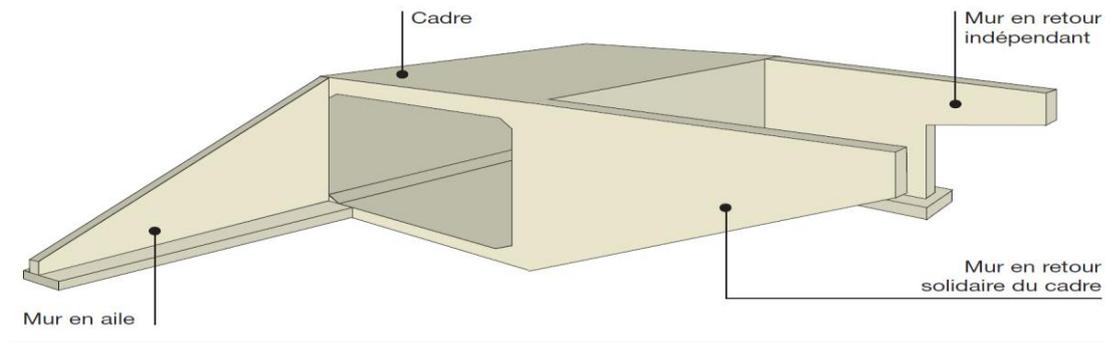
### **1.6 Définition**

Les ponts cadres préfabriqués en béton sont des éléments en béton armé dotés d'une géométrie rectangulaire et dont la versatilité a étendu leur application aux passages inférieurs, aux drainages transversaux, aux galeries de services, aux grandes conduites, aux canalisations, aux écoulements, aux assainissements ou encore aux regards de visite de grandes dimensions. Leur gamme est très variée, puisqu'il existe des cadres fermés ou d'une seule pièce et des cadres articulés.

Nos cadres en béton préfabriqués peuvent couvrir de nombreuses dimensions en fonction de la lumière intérieure requise par le projet, de la hauteur des terres et du trafic à supporter. Un calcul de l'armature est réalisé pour chaque cadre en fonction des conditions d'installation et de service. Ce calcul s'effectue sur base de l'Instruction du Béton Structuré (EHE) en vigueur et des instructions spécifiques à chacune de ses applications : routes, voies ferrées, aéroports, collecteurs, etc.

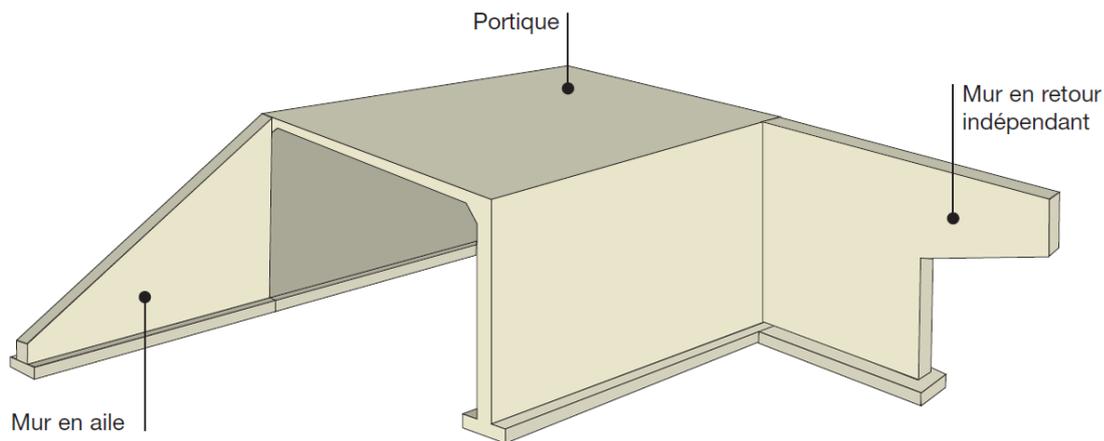
### **1.7 Les ponts-cadres et les portiques**

Les ponts-cadres et les portiques sont des ouvrages monolithiques, utilisés pour le franchissement en passage inférieur, lorsque la largeur de la voie franchie est modérée (inférieure à 20 mètres). Leur simplicité de forme et leur robustesse les rendent très adaptés à cette gamme de portée. Le choix entre ces deux types d'ouvrages s'opère en fonction de la distance à franchir et la qualité du sol de fondation. Les cadres conviennent à des portées modestes (inférieures à 12 mètres) et ont l'avantage de pouvoir se fonder sur des sols acceptant une fondation superficielle peu chargée.



**Figure 1: Pont cadre à une alvéolé**

Pour des portées plus grandes (comprises entre 12 et 20 mètres) l'on a recourt le plus souvent aux portiques ouverts, cette solution étant plus économique qu'une simple dalle en travée indépendante nécessitant des culées plus coûteuses que les piédroits d'un portique.



**Figure 2: Portique à une alvéole**

### 1.8 Description du pont-cadre

Le pont OPTI-CADRE est constitué d'éléments en béton armé préfabriqué, formant des sections rectangulaires fermées de type cadre ou des sections rectangulaires ouvertes de type portique.

Le cadre fermé se présente sous trois formes :

- deux éléments en « U », l'un inversé s'appuyant sur l'autre;
- quatre éléments : un « U » inversé, deux piédestaux réunis par clavage à un radier préfabriqué ou coulé en place;

– quatre éléments comme ci-dessus, sauf que les semelles des piédestaux se prolongent à l'extérieur du cadre.

Le portique est formé d'un élément en « U » inversé s'appuyant sur des semelles ou sur des piédestaux en béton préfabriqué ou coulé en place.

Le ponceau comprend également des murs de tête en béton préfabriqué ou coulé en place.

(québec, publication, 2014)

### 1.9 Domaine d'application

Le ponceau OPTI-CADRE est utilisé pour le passage de cours d'eau, de routes, de piétons et de cyclistes. Son utilisation doit respecter les exigences de la grille de sélection des ponceaux du chapitre 4 « Ponceaux » du Tome III – Ouvrages d'art des normes du Ministère. (québec, publication, 2014)

### 1.10 Mise en place

Si la mise en place du ponceau n'est pas réalisée par le fournisseur, ce dernier doit déléguer un représentant pour la mise en place. (québec, publication, 2014)

### 1.11 Plans d'ensemble

Les plans types du ponceau OPTI-CADRE sont présentés en annexe. (québec, publication, 2014)

#### a) Caractéristiques techniques

#### Indications générales et description

Le ponceau OPTI-CADRE est disponible avec les ouvertures suivantes :

- largeur : de 4 000 mm à 10 000 mm;
- hauteur : de 2 000 mm à 6 000 mm.

Les éléments ont une longueur maximale de 2,5 m et une longueur minimale de 1 m. L'épaisseur minimale de la paroi est de 250 mm.

La hauteur minimale de remblai au-dessus du ponceau doit être de 600 mm.

Le mur de tête standard mesure 300 mm x 300 mm. Pour des hauteurs de plus de 300 mm, un mur en « L » déposé sur la dalle est disponible. La hauteur maximale du mur varie selon la configuration du projet. Vérifier auprès du fournisseur pour valider la hauteur maximale pour un projet donné.

Pour des murs de plus de 300 mm, l'utilisation d'un mur homologué peut être proposée.

## Chapitre 1 : Généralités sur les ouvrages d'art préfabriqués et les ponts cadres

---

Le dessus du ponceau, lorsqu'il est recouvert de moins de 1 m de remblai, doit être protégé par une membrane d'étanchéité. La membrane doit se prolonger de 150 mm vers le bas des murs verticaux et doit être relevée de 50 mm le long des murs de tête.

Tous les joints entre les éléments du ponceau doivent être recouverts d'une membrane, soit une membrane d'étanchéité ou deux bandes de membrane autocollante, selon l'une des conditions suivantes :

- si la hauteur de remblai est de 1 m ou plus, tous les joints doivent être recouverts de deux bandes de membrane autocollante;
- si la hauteur de remblai est inférieure à 1 m, seules les parties de joints non recouverts par une membrane d'étanchéité doivent être recouvertes par deux bandes de membrane autocollante.

Les largeurs des bandes mesurent 300 mm et 500 mm; la bande de 300 mm doit être posée en premier.

Tous les ponceaux OPTI-CADRE sont dimensionnés pour chaque cas particulier. (québec, publication, 2014)

### b) Caractéristiques des matériaux

#### **Béton**

Le choix du type de béton se fait à partir du tableau 2.8-1 du *Tome III – Ouvrages d'art*. Le béton doit être conforme à la norme 3101 du Tome VII – Matériaux.

Tout changement de la formule de mélange doit être approuvé par le Ministère avant son utilisation en usine ou au chantier.

#### **Armature**

L'armature peut être constituée de barres crénelées ou de treillis d'acier crénelé à mailles soudées conformément à la norme 5101 du Tome VII – Matériaux.

Les treillis d'acier crénelé à mailles soudées doivent avoir une limite élastique spécifiée,  $f_y$ , de 485 MPa.

#### **Membrane**

Les membranes doivent être conformes à la norme 3701 du Tome VII – Matériaux.

#### **Enrobage**

L'enrobage de béton appliqué sur l'armature d'acier doit être de :

- 50 mm pour les barres crénelées;
- 40 mm pour les treillis d'acier crénelé à mailles soudées.

## **Chapitre 1 : Généralités sur les ouvrages d'art préfabriqués et les ponts cadres**

---

Lorsque le ponceau est exposé à l'eau de mer ou immergé dans celle-ci, l'épaisseur minimale d'enrobage de l'armature est de 50 mm et l'acier d'armature doit être galvanisé.

### **Acceptation**

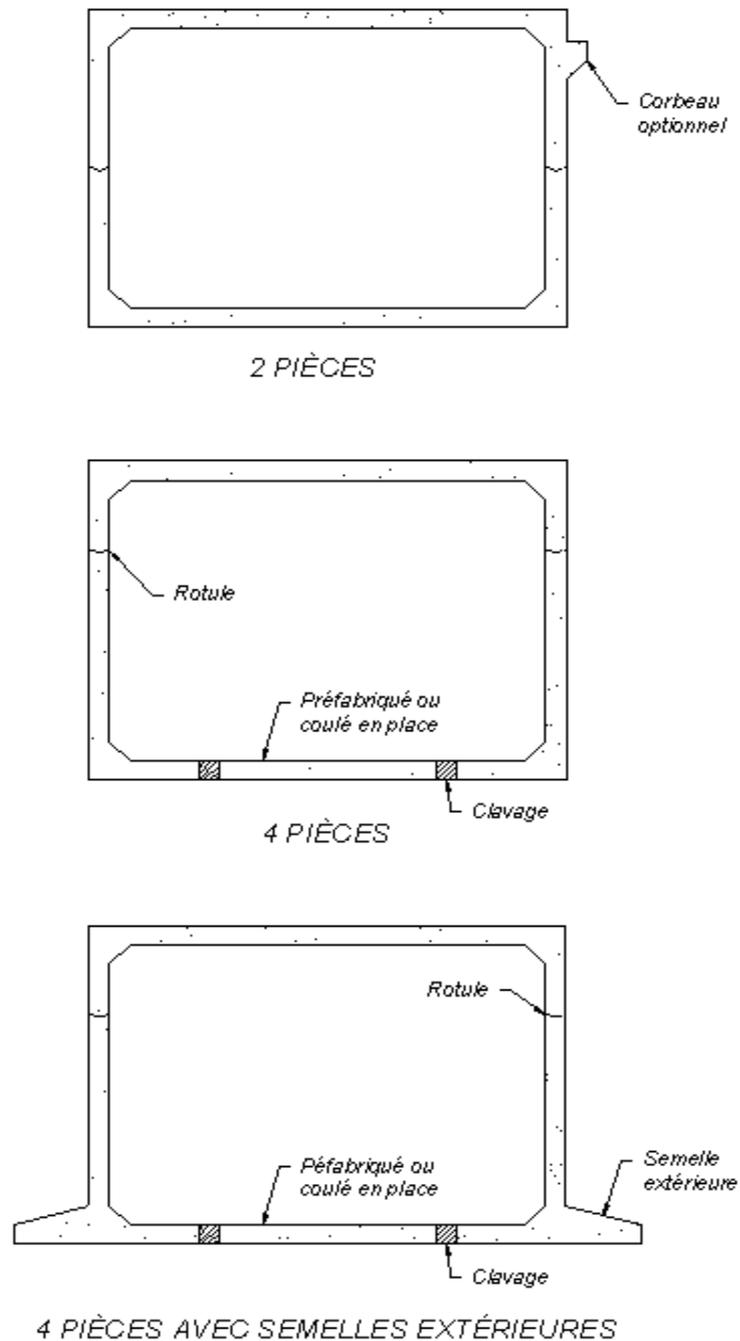
Le ponceau de type OPTI-CADRE a franchi les trois étapes du processus d'acceptation des nouveaux produits :

- présentation du dossier;
- étude du dossier;
- essais.

Ce pont est donc accepté.

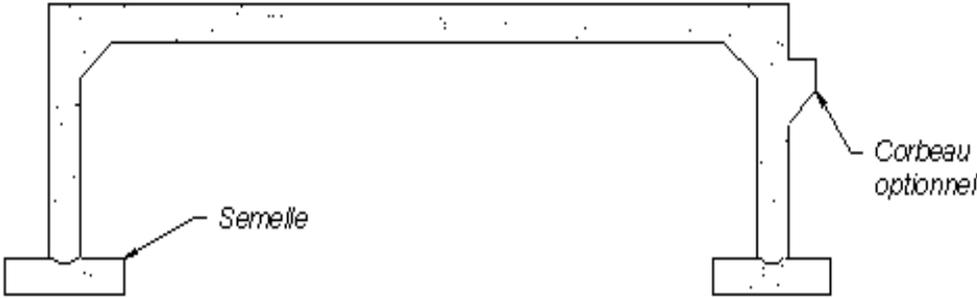
L'acceptation demeure valide à moins d'une modification des exigences du Ministère ou de changements dans les caractéristiques techniques ayant servi à l'acceptation et dans la mesure où le comportement du ponceau est satisfaisant.(québec, publication, 2014)

1.12 Les types des ponts cadres

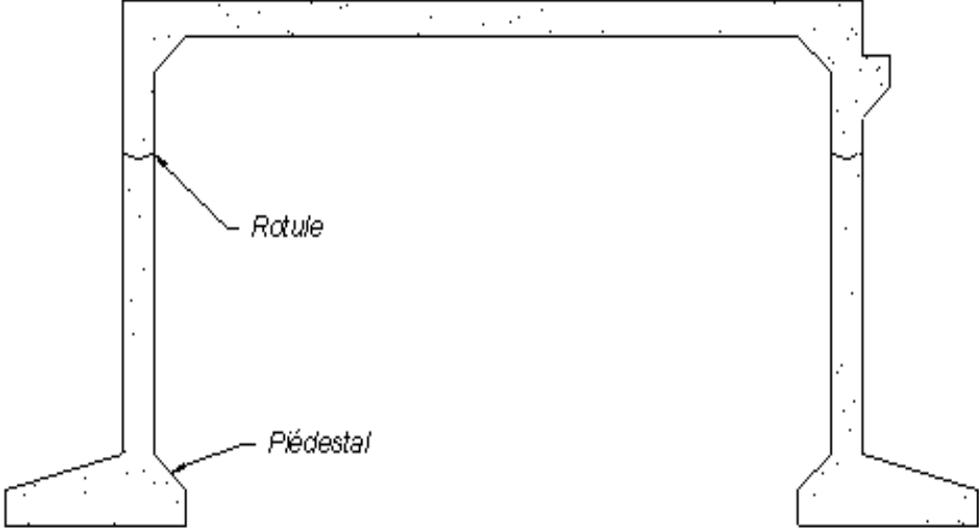


---

Figure 3 : Pont OPTI-CADRE fermés

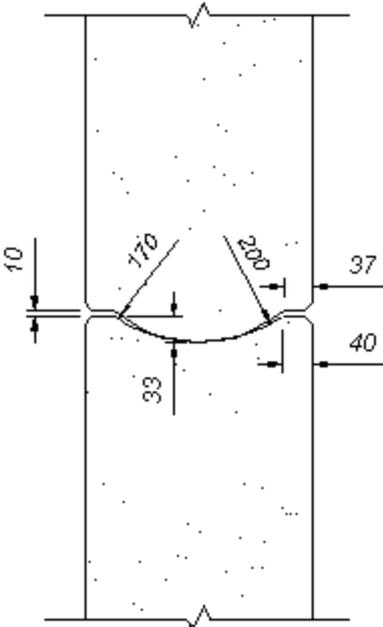


SUR SEMELLES

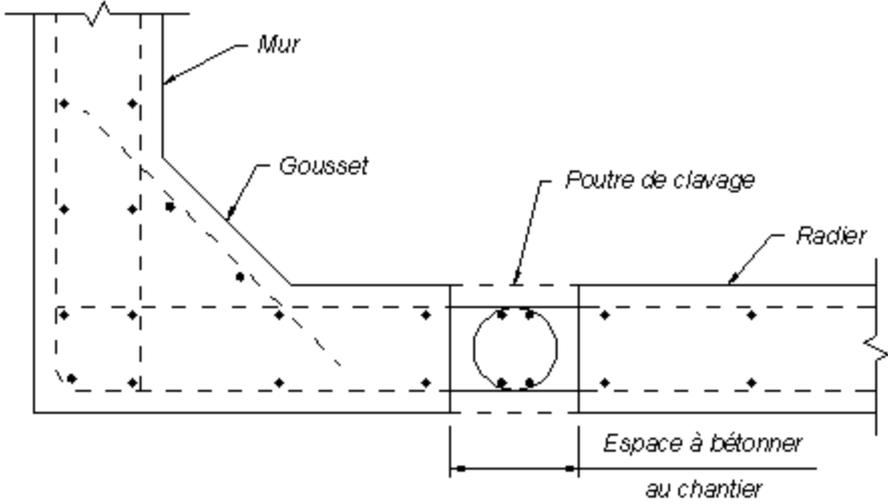


SUR PIÉDESTAUX

Figure 4 : Pont OPTI-CADRE ouverts



ROTULE  
(paroi de 300mm)



CLAVAGE

Figure 5: Détails

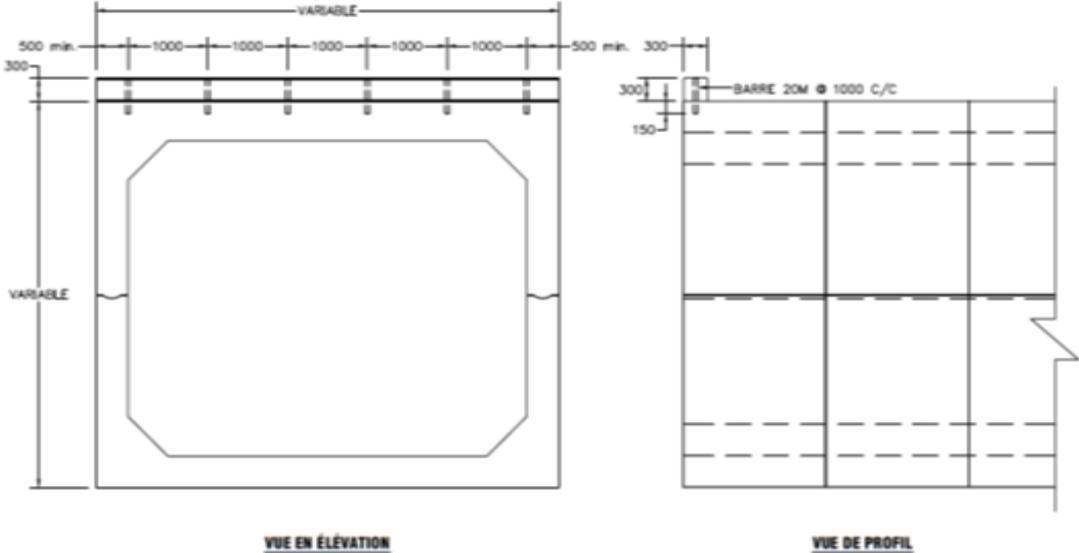


Figure 6a: Mur de tête

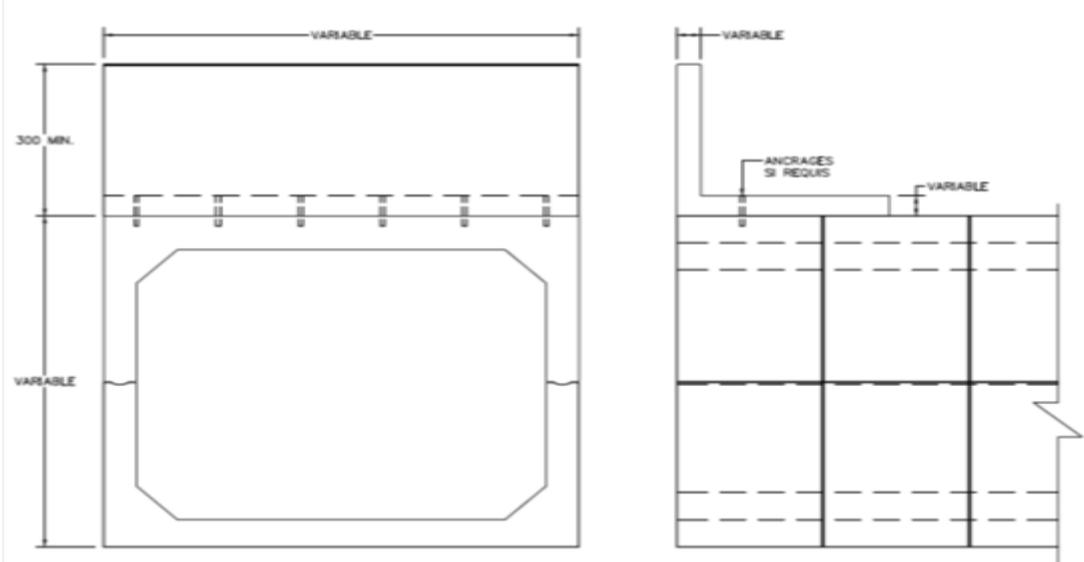


Figure 6b: Mur de tête

### 1.13 Morphologie

La conception de ces ouvrages est très simple : le gabarit à enjamber est enveloppé par une structure monolithique en béton armé, en forme de U renversé. Les jambes du U, qui constituent les piédroits, sont reliés par la traverse, qui fait office de tablier. (québec, publication, 2014)

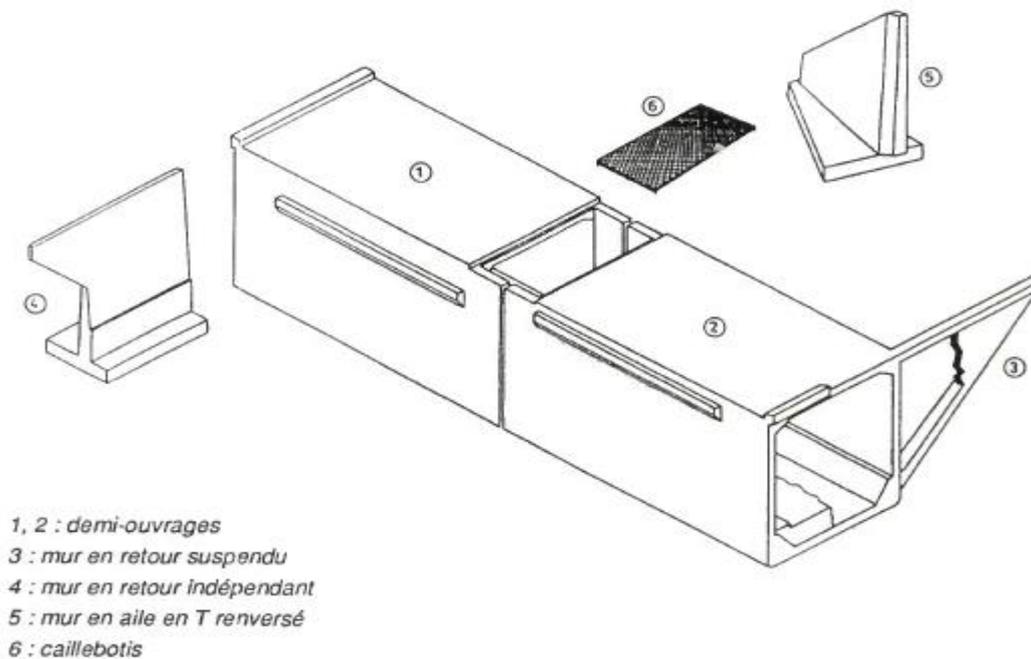


Figure 7 : morphologie d'un portique

### 1.14 Domaine d'emploi

Les cadres et portiques constituent la très grande majorité des passages inférieurs dans la gamme de portées de 2 à 20 m et sont également très employés pour la réalisation de passages souterrains (dénivellation de carrefours en site urbain). Leur simplicité de forme et leur grande robustesse les rendent en effet très bien adaptés et très compétitifs dans cette gamme de portées.

Les cadres conviennent plutôt à des portées modestes (jusqu'à environ 12 m) et présentent l'avantage de pouvoir être fondés sur tous les sols acceptant une fondation superficielle peu chargée. En effet, la traverse inférieure, faisant office de radier général, exerce des pressions de

## Chapitre 1 : Généralités sur les ouvrages d'art préfabriqués et les ponts cadres

---

l'ordre de 100 kPa (états-limites de service rares), ce qui n'exclut pratiquement que les vases, les tourbes ou certains limons, et permet souvent de fonder l'ouvrage sur remblai compacté.

Pour les sols trop médiocres, donnant lieu à des tassements absolus ou différentiels excessifs, la solution la plus satisfaisante consiste à purger ces sols et à les remplacer par un remblai bien compacté. En cas d'impossibilité, on pourra recourir à un portique sur pieux, à condition d'étudier soigneusement, tant sur l'ouvrage que sur les pieux, l'effet du tassement et du fluage latéral du sol situé sous les remblais adjacents. Le cas échéant, l'emploi d'une buse métallique peut être envisagé si le gabarit et la hauteur de remblai le permettent.

Par ailleurs, les cadres fermés peuvent être utilisés comme petits ouvrages hydrauliques lorsqu'une déviation provisoire coûteuse du cours d'eau n'est pas nécessaire, et, en particulier, comme ouvrages de décharge. Lorsque le tirant d'air est plat (rapport ouverture/hauteur supérieur à 2) et si le régime de la rivière s'y prête, on aura le plus souvent intérêt à réaliser un cadre double ou multiple, surtout si on est sous remblai. on peut également employer les cadres comme petits ouvrages sous remblai (ouvrages hydrauliques ou passages à bétail) lorsque la hauteur du remblai sur l'ouvrage est inférieure à 2 m.



**Figure 8-ouvrage sous remblais**

1Au-delà de cette limite, l'ouverture maximale économique décroît lorsque le remblai devient de plus en plus haut. A titre d'ordre de grandeur une hauteur de remblai de 3 m peut être considérée comme un maximum économique pour une ouverture de 8 m. (V. Le Khac, 1992)

### 1.15 Avantages et inconvénients

Les ponts-cadres et les portiques sont des structures monolithiques, en ce sens que les traverses et les piédroits forment un tout, d'où leur rusticité et leur robustesse tout-à-fait avantageuses.

En particulier, l'encastrement du tablier sur les piédroits assure la stabilité de ces derniers vis-à-vis des efforts horizontaux (poussée des terres,...) et permet de mieux répartir les moments dans le tablier que dans le cas d'une travée isostatique. Il en résulte une minceur remarquable, particulièrement intéressante dans le cas des franchissements de faible tirant d'air. de plus, dans leur grande majorité, ces ouvrages ne nécessitent ni joints de chaussée ni appareils d'appui, ce qui leur confère une grande facilité d'entretien. par ailleurs, les structures voûtées nécessitent un sur gabarit dû à leur forme, ainsi qu'une hauteur minimale de couverture au-dessus de la clé. La possibilité de disposer un remblai de faible hauteur sur les cadres et les portiques confère à ces derniers une plus grande souplesse d'utilisation.

En revanche, ces ouvrages, du fait de leur grande hyperstaticité, sont sensibles aux déformations imposées (tassements du sol notamment) et nécessitent certaines précautions au niveau de la conception, du calcul et de l'exécution.

En résumé, les ponts- cadres et les portiques constituent une solution souvent bien adaptée aux brèches d'importance modérée, tant sur le plan technique et économique que sur celui de l'esthétique. Il est vrai que, parmi les ouvrages réalisés, certains présentent un aspect peu satisfaisant dans leurs formes ou leurs proportions, ou engendrent un effet d'écran préjudiciable à la visibilité et à l'esthétique pour les usagers de la voie franchie. Cependant, ces défauts relèvent en général

D'une mauvaise conception et ne sont donc pas de nature à mettre en cause l'avantage de ces types d'ouvrages. (V. Le Khac, 1992)

# **Chapitre 2**

Présentation de l'ouvrage:

Données et Hypothèses.

### CHAPITRE 2: PRESENTATION DE L'OUVRAGE : DONNEES ET HYPOTHESES

#### 2.1 Présentation de l'ouvrage

La présente étude a pour objet le dimensionnement des anneaux courants d'une structure en opti-cadre préfabriqué rentrant dans le cadre de la :

#### TREMIE YEBDRI MANSOUR (TLEMCEN)

L'ouvrage concerné est un opti-cadre rectangulaire de dimensions intérieures **7.50 m**

de large x **4.50 m** de haut.

Les épaisseurs de la structure sont les suivantes :

- épaisseur de la dalle supérieure et inférieure : **35 cm**
- épaisseur des montants verticaux : **30 cm**;

Transversalement, un opti-cadre est composé d'un "U" s'emboîtant par l'intermédiaire de rotules sur deux pénétrations latérales, et d'un radier coulé en place (voir coupe transversale)

Nous traitons ci-après le dimensionnement des anneaux courants. Nous trouvons par la suite :

- les hypothèses de calculs,
- la modélisation informatique,
- le dimensionnement

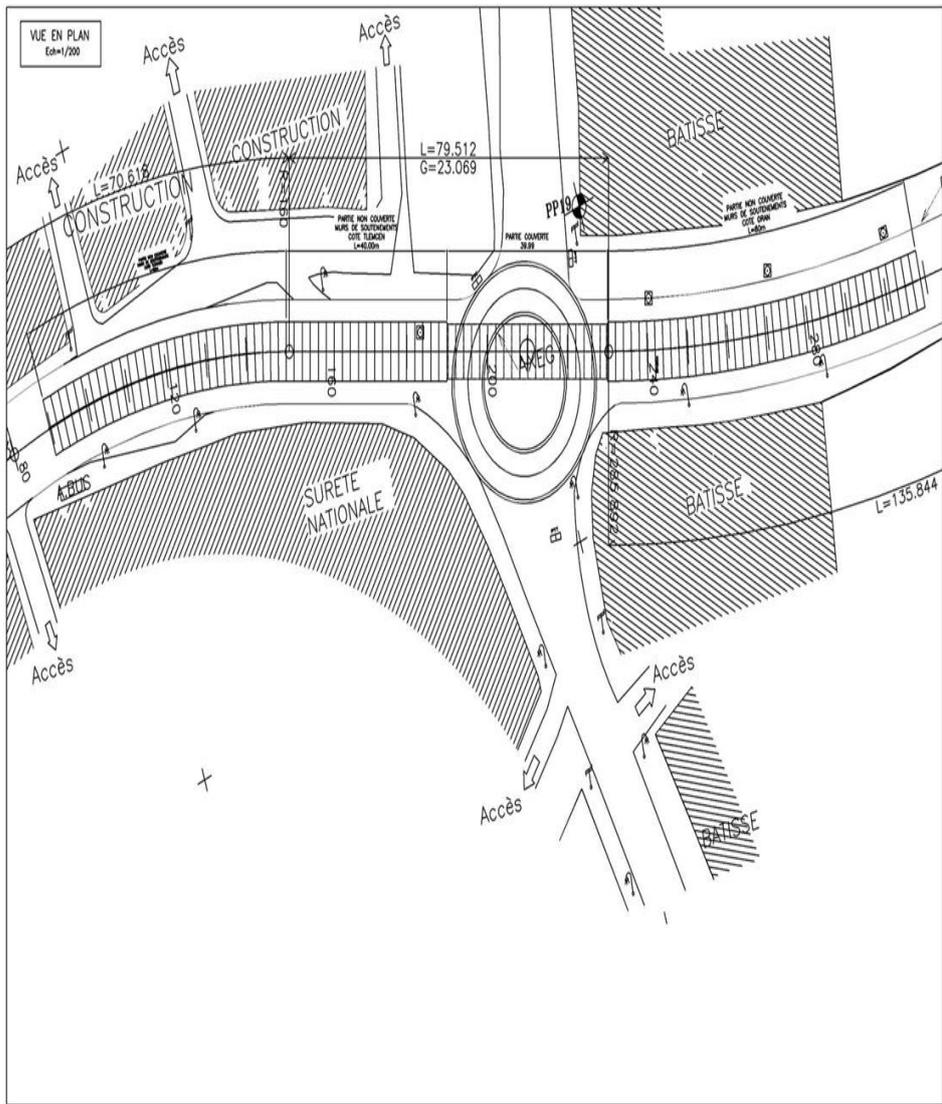


Figure 9: Vue en plan



Figure 10: plan de la situation

## Chapitre 2 : présentation de l'ouvrage : Données et Hypothèses

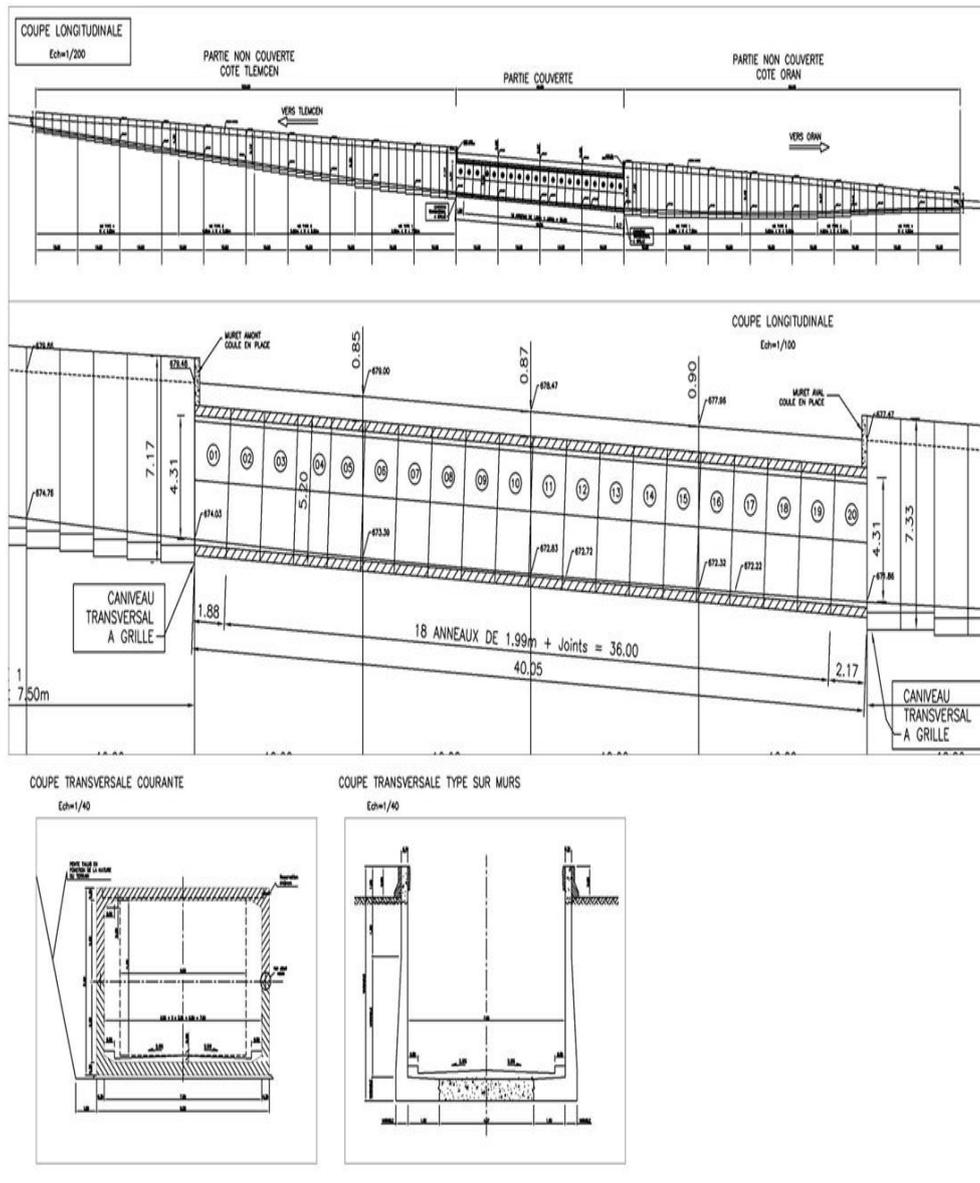


Figure 11: coupe longitudinale et transversal

### 2.2 Données et hypothèses

#### 2.2.1 Règlements de calcul et documents de référence :

\* **Béton armé** (Fascicule 62 - Titre - I - Section - I - Règles BAEL 91 Révisé 99)

\* **Charges d'exploitation** (Fascicule 61 - Titre - II )

\* **Géotechnique** (Fascicule 62 - Titre - V )

#### 2.2.2 Matériaux

##### a) - Béton

$$f_{c28} = 35 \text{ MPa} ; \quad f_{tj} = 2.7 \text{ MPa}$$

##### b) - Aciers

$$f_e = 400 \text{ MPa (HA)} \quad \eta = 1.6 \text{ (Coefficient de fissuration)}$$

#### Contraintes réglementaires:

##### E.L.U.

#### Contraintes normales :

$$\sigma_{bu} = (0.85 \times f_{c28}) / 1.5 \quad f_{c28} = 35 \text{ Mpa} \Rightarrow \sigma_{bu} = \mathbf{19.83 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{su} = f_e / 1.15 = \mathbf{347.80 \text{ Mpa}}$$

#### Contraintes tangentielles :

$$\tau_u = 0.07 \times f_{c28} / 1.5$$

$$f_{c28} = 35 \text{ Mpa} \Rightarrow \tau_u = \mathbf{1.63 \text{ MPa}}$$

#### E.L.S. (fissuration préjudiciable en service et à la construction)

$$\sigma_{bc} = 0.6 \times f_{c28} \quad f_{c28} = 35 \text{ Mpa} \Rightarrow \sigma_{bc} = \mathbf{21 \text{ MPa}}$$

$$- \sigma_s = \text{Min} [2f_e/3 ; \text{Max} (0.50 f_e ; 110 \times \sqrt{\eta \times f_{tj}})] = \mathbf{229 \text{ MPa}}$$

Diamètre minimal des armatures : **8 mm**

L'enrobage est pris à **3 cm** aux têtes d'épingles, et à **5 cm** à l'axe des aciers principaux

### 2.2.3 Densités des matériaux :

- Le poids volumique des terres est pris égal à **2.0 t/m<sup>3</sup>**
- Le poids volumique du béton armé est pris égal à **2.5 t/m<sup>3</sup>**

### 2.2.4 Remblais latéraux :

Nous calculons la raideur horizontale des remblais contigus, en appliquant la méthode de MENARD basée sur l'utilisation du pressiomètre. Nous assimilons l'ouvrage à une semelle verticale rectangulaire de longueur infinie et de largeur égale à la hauteur de l'ouvrage.

$$1 / Kh = \left( \frac{\alpha * B}{9E_A} \right) \lambda_c + \frac{2B_0}{9E_B} [\lambda_d * B / B_0]^\alpha$$

Dans laquelle

- EA = EB = **5 MPa** (valeur de calcul correspondant à un module EV2  $\geq 30$  MPa sur site avec un coeff de sécurité = 2.0), cette valeur est prise volontairement faible de façon à prendre en compte le fait que l'ouvrage est posé dans une tranchée très étroite et remblayé latéralement par du gros béton)
- $\alpha$  = coefficient de structure du sol = 0.5
- B = largeur de la semelle assimilée à la hauteur de l'ouvrage = **5.20 m**
- Bo = 60 cm : largeur de référence
- $\lambda_c, \lambda_d$  : paramètres géométriques fonction du rapport L/B  $\lambda_d = 2.40$  ;
- $\lambda_c = 1.45$

$$\mathbf{Kh = 4.88 MPa/m}$$

### 2.3 Sol de fondation

Un sondage pressiométrique SN2 à été effectué. Il a donné les résultats suivants :(anneXe1)

**Tableau 1. Sondage pressiométrique**

Profondeur (m)	Pression limite Pl (bars)	Module pressio (bars)
4.0	27.33	935.04
5.0	26.80	435.89
6.0	35.94	896.90
7.0	41.03	837.30
8.0	41.14	895.90
9.0	40.69	821.11
10.0	40.75	750.48

L'exploitation de ce sondage par la méthode indiquée dans le fascicule 62 titre V, a conduit à un module de réaction verticale  $K_v$  égal à :  **$K_v = 7813 \text{ t/m}^3$** (cf annexe 1)

Soit avec un coefficient de sécurité égal à **1.50**, le module de réaction de calcul vaut :

$$K_v = 5210 \text{ t/m}^3$$

#### 2.3.1 Surcharges d'exploitation à la construction

Nous considérons en phase de construction : **Roue Br de 10 t**

Couverture minimale en phase de construction : **1m**

Nota : Le dôme de protection, nécessaire à réaliser avant passage d'engins lourds, doit être mis en œuvre à l'aide de compacteurs légers

La charge à la construction est affectée d'un coefficient dynamique  $\delta$  pris égal à **1.40** et pondérée par 1.20 à l'ELS et 1.60 à l'ELU.

En service

- **Camion Bc**
- **Tandem Bt**
- **Surcharge sur remblai A=1.0 t/m<sup>2</sup>**
- **Char militaire Mc120**

La couverture de terre au-dessus de la clé prise en compte pour le dimensionnement

des anneaux est: **H<sub>min</sub> = 1 m.**

2.3.2 Détermination des densités de charges après diffusion

a) **Surcharges roulantes**

Les charges a la construction et en service seront diffusées suivant un angle de **40°** jusqu'au plan horizontal passant par la fibre neutre de la traverse supérieure

Hauteur de diffusion à la construction :  $H_c = 1 + 0.35 / 2 = 1.175\text{m}$

Hauteur de diffusion en service :  $H_s = 1 + 0.35 / 2 = 1.175\text{m}$

- **CamionBc**

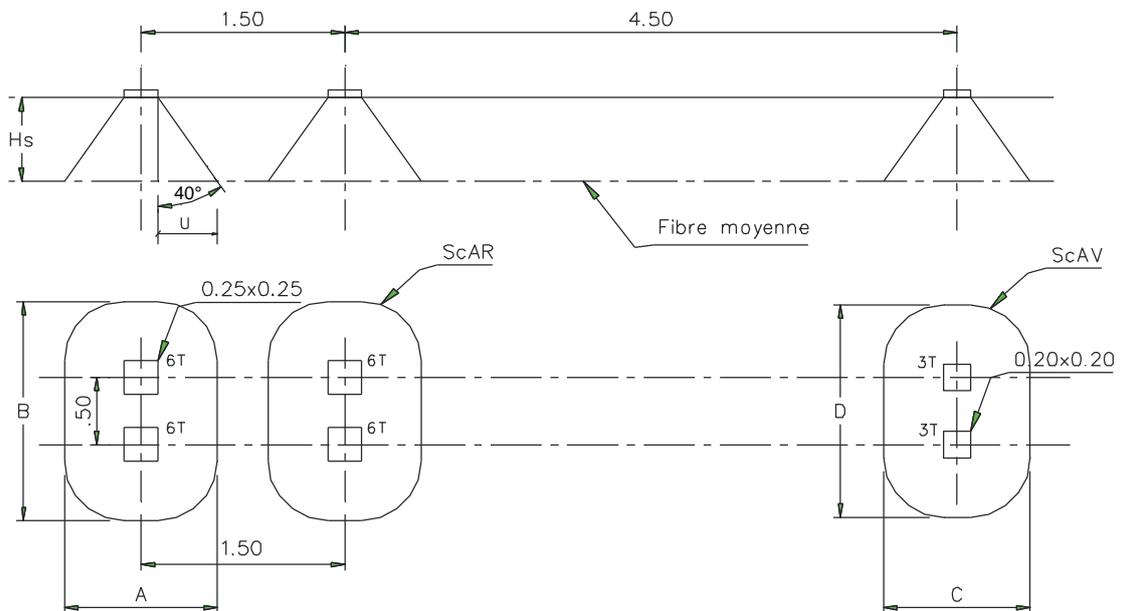


Figure 12: plan horizontal (camion bc)

$$U = H_s \times \tan(40^\circ) = 0.986\text{m}$$

## Chapitre 2 : présentation de l'ouvrage : Données et Hypothèses

$$A = (0.25 + 2 \times U) \quad B = (0.75 + 2 \times U) \quad C = (0.20 + 2 \times U) \quad D = (0.70 + 2 \times U)$$

La surface d'impact AR vaut :  $Sc_{AR} = A \times B - (4 - 3.14) \times U^2 = 5.212\text{m}^2$

Soit une charge répartie  $Q_{AR} = 12 / Sc_{AR} = \underline{\underline{2.302 \text{ t/m}^2}}$

La surface d'impact AV vaut :  $Sc_{AV} = C \times D - (4 - 3.14) \times U^2 = 4.968 \text{ m}^2$

Soit une charge répartie  $Q_{AV} = 6 / Sc_{AV} = \underline{\underline{1.208 \text{ t/m}^2}}$

- **Tandem Bt**

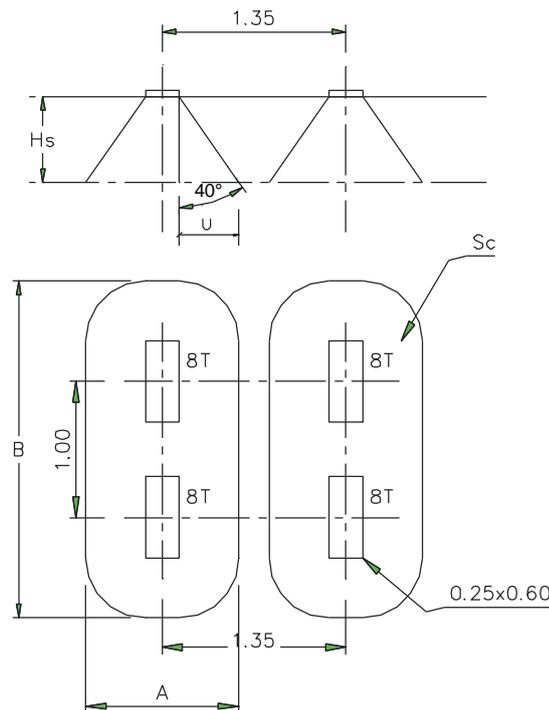


Figure 13: plan horizontal (Tandem bt)

$$U = H_s \times \tan(40^\circ) = 0.986\text{m}$$

$$A = (0.25 + 2 \times U) \quad B = (1.60 + 2 \times U)$$

La surface d'impact vaut :  $Sc = A \times B - (4 - 3.14) \times U^2 = 7.101\text{m}^2$

Soit une charge répartie  $Q = 16 / Sc = \underline{\underline{2.253\text{t/m}^2}}$ .

- **Roue Br de 10 T**

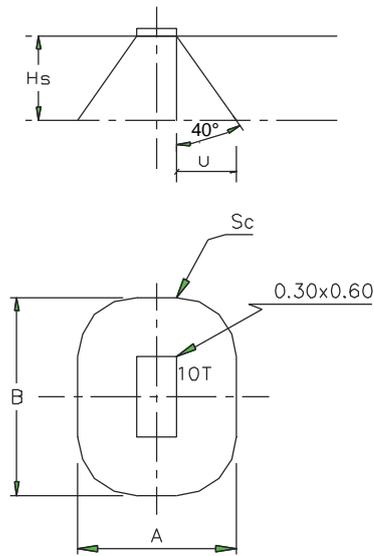


Figure 14: plan horizontal (roue br )

$$U = Hs \times \tan(40^\circ) = 0.986m$$

$$A = (0.30 + 2 \times U)B = (0.60 + 2 \times U)$$

La surface d'impact vaut :  $Sc = A \times B - (4 - 3.14) \times U^2 = 5.008m^2$

Soit une charge répartie  $Q_{Br} = 10 \times 1.40$  (coef dyn) /  $Sc = \underline{\underline{2.796 t/m^2}}$ .

- **Effet du char Mc120**

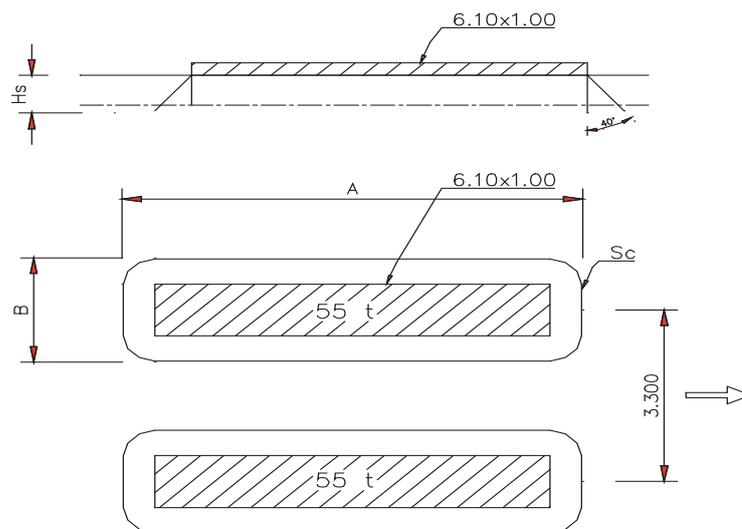


Figure 15: plan horizontal (char Mc120)

## Chapitre 2 : présentation de l'ouvrage : Données et Hypothèses

$$U = H_s \times \tan(40^\circ) = 0.986\text{m}$$

Les surfaces d'impacts des chenilles ne s'interfèrent pas :

$$A = (6.10 + 2 \times U) \quad B = (1.00 + 2 \times U)$$

$$\text{La surface d'impact vaut : } S_{c_{Mc120}} = A \times B - (4 - 3.14) \times U^2 = 23.154\text{m}^2$$

$$Q_{Mc120} = (55) / S_{c_{Mc120}} = 2.375\text{t/m}^2. \text{ Soit une charge répartie}$$

Compte tenu de l'importance des dimensions en plan de l'impact du char Mc120, par rapport à la dimension transversale de l'ouvrage, la charge due au char est assimilée à une surcharge sur remblai que l'on compare à la charge répartie  $A = 1.00 \text{ t/m}^2$ .

La charge due au char est minorée initialement par un facteur 1.20, dans le but de la comparer avec la charge sur remblai (les calculs ROBOT sont menés, dans notre programme, à l'ELU avec une pondération de 1.60), d'où :  $Q_{Mc120} = 2.375 / 1.20 = 1.980 \text{ t/m}^2$ .

La valeur de la charge due au char Mc120, est supérieure à la surcharge sur remblai de  $1.0 \text{ t/m}^2$ , nous prendrons en compte donc dans les calculs

$$A = 3.350 \text{ t/m}^2$$

### Coffrages :

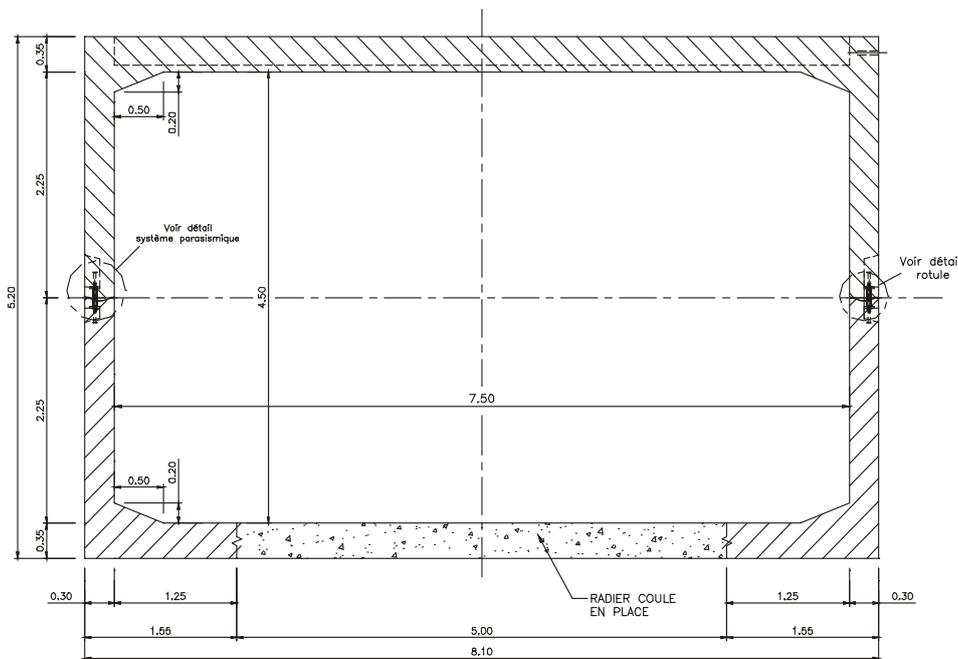


Figure 16: Coupe Transversale de coffrage

# **Chapitre 3**

Programme de calculs  
Et modélisation

## **CHAPITRE 3 : PROGRAMME DE CALCULS ET MODELISATION**

### **3.1 Calcul informatique modélisation :**

Le calcul est effectué pour une tranche de **1ml**.

### **3.2 Programme de calculs**

Le calcul de la structure est effectué par un enchaînement de programmes articulés autour du programme général « ROBOT »

Nous avons généré 08 fichiers de données propres au programme « ROBOT » composés uniquement des cas élémentaires de chargement. Ces fichiers sont les suivants (Annexe 01):

**DON0.txt** : poids propre des éléments en phase de stockage

**DON01.txt** : poids propre de l'ouvrage avant coulage du radier

**DON1.txt**: poids propre de l'ouvrage en place

**DON2c.txt** : phase construction

**DON2K50.txt** : - charges permanentes en service avec  $K_o=0.50$

**DON3K50.txt** : - surcharges d'exploitation à la construction et en service avec  $K_o=0.50$

Le programme de calculs « ROBOT » traite ces fichiers et stocke tous les résultats (déplacements, moments, efforts normaux et tranchants) dans des fichiers spécifiques.

Ces résultats sont exploités pour rôle :

- d'ajouter le poids propre à toutes les combinaisons de chargement avec les pondérations réglementaires
- d'indiquer les déplacements ELS verti. et Horiz. en chaque nœud de la structure
- de faire l'enveloppe des sollicitations ELU et ELS en chaque nœud de la structure
- de calculer en chaque nœud les sections d'aciers strictement nécessaires pour l'ensemble des combinaisons ELU et ELS
- de calculer l'enveloppe de ces sections
- de vérifier les contraintes dans les matériaux pour les combinaisons ELS
- de déterminer les diamètres et longueurs des aciers à mettre en place à partir des arrêts de barres de chaque élément préfabriqué
- de générer les nomenclatures des diverses armatures avec leur façonnage

### 3.3 Modélisation du cadre

Le cadre est modélisé par une structure à barres. Le modèle comporte **58 barres** (inertie variable ou constante) et **56 nœuds**. L'interaction sol/structure est représentée par des appuis élastiques disposés aux nœuds du modèle (cf. schéma page suivantes).

#### Numérotation des nœuds

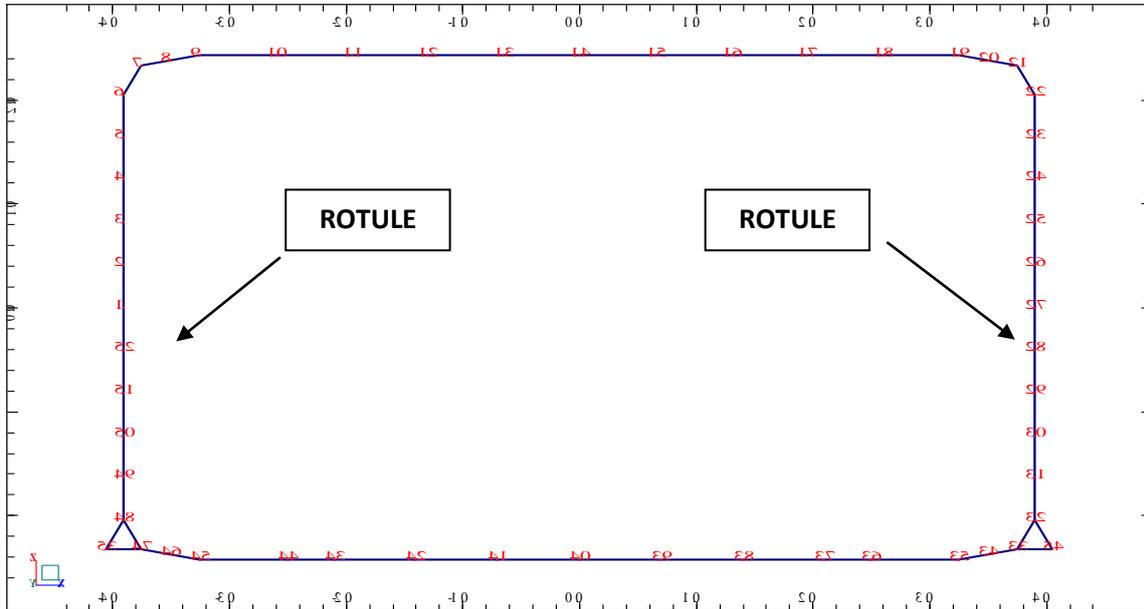


Figure 17: numérotation des nœuds

#### Numérotation des éléments

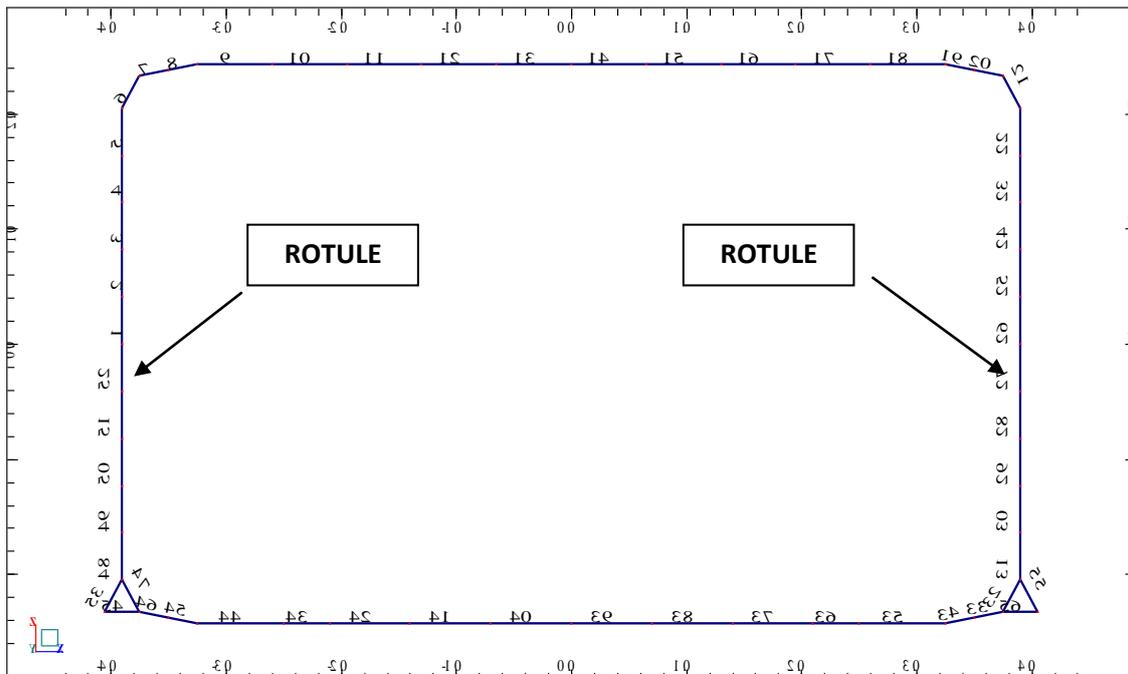


Figure 18: Numérotation des éléments

### 3.4 Modélisation du sol de fondation et des remblais latéraux

Les effets du sol de fondation et des remblais latéraux constituent "l'interaction sol/structure". Elle est modélisée par des ressorts d'interaction positionnés aux nœuds de la structure (les déformations du conduit étant faibles, le sol reste en phase élastique).

Les ressorts éventuellement tendus sont supprimés.

#### a - Sol de fondation

Le sol de fondation est représenté par des ressorts verticaux dont les raideurs sont calculées à partir du module de réaction verticale introduit en données.

L'intensité KY de chaque ressort est calculée comme suit :

si L(i) est la longueur de la barre (i) et L(i+1) celle de la barre (i+1) alors :

$$\mathbf{KY \text{ (au nœud } i) = K_v \times 1.00 \times [L(i) + L(i+1)] / 2}$$

Où  $K_v$  est le module de réaction verticale en  $t/m^3$  du sol de fondation.

#### b – Remblais latéraux

Les remblais latéraux sont représentés par des ressorts horizontaux dont les raideurs sont calculées à partir du module de réaction horizontale  $K_h$  introduit en données.

L'intensité KX de chaque ressort est calculée comme suit :

si L(i) est la longueur de la barre (i) et L(i+1) celle de la barre (i+1) alors :

$$\mathbf{KX \text{ (au nœud } i) = K_h \times 1.00 \times [L(i) + L(i+1)] / 2}$$

Où  $K_h$  est le module de réaction horizontale en  $t/m^3$  des remblais latéraux.



### 3.5 Poids des terres

Les charges provenant des terres sont décomposées en charges élémentaires :

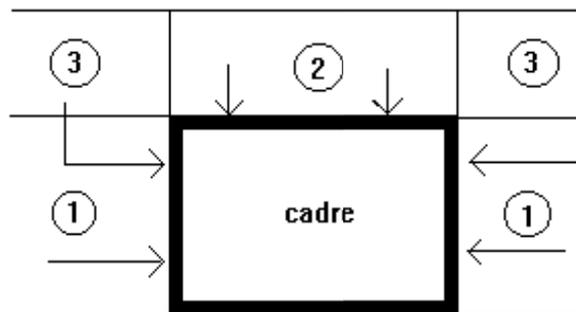
- Charges situées sous le niveau supérieur du cadre :

Zone 1 : influence "horizontale"

- Charges situées au niveau supérieur du cadre :

Zone 2 : influence "verticale"

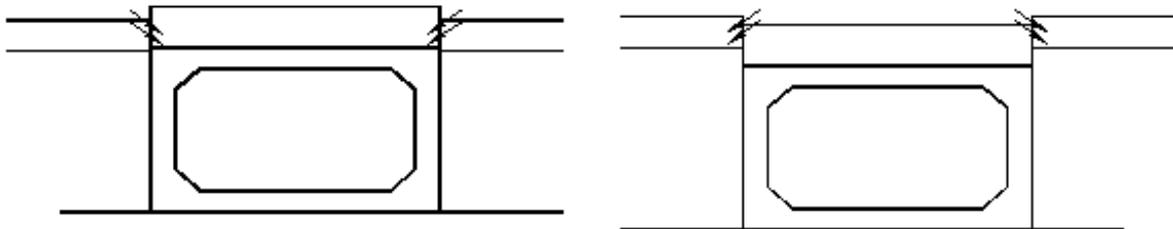
Zone 3 : influence "horizontale"



Sous l'action des remblais situés au-dessus de la génératrice supérieure de l'ouvrage, il se produit des tassements :

- du cadre,
- des remblais latéraux sur la hauteur du cadre,
- de l'assise

En général, les tassements totaux au niveau du plan (P) calculés pour la zone latérale et la zone au droit de l'ouvrage ne sont pas égaux, et il se produit des reports de charges par le biais de



contraintes de cisaillement, tendant à uniformiser les tassements.

#### 1<sup>er</sup> Cas

Cadre plus rigide que les remblais :  
Les reports de charge augmentent les charges verticales appliquées au cadre

#### 2<sup>ème</sup> Cas

Cadre plus souple que les remblais :  
Les reports de charges diminuent les charges verticales appliquées au cadre

3.6 Cas de charges élémentaires envisagées (Hors pondération)

Tableau 2: Cas de charges élémentaires envisagées

Cas de chargement élémentaire	Nœud
Cas 01: POIDS PROPRE AU STOCK	14 /48
Cas 02: POIDS PROPRE AVANT COULAGE DU RADIER	14/46
Cas 03: remblais jusqu'à la dalle	33/32
Cas 04: remblais au-dessus de la dalle	14/22
Cas 05: ch. H dues aux remblais se trouvant au-dessus du niveau de la dalle	33/32
Cas 06: 5.20 m de terre remblayés	47/48
Cas 07: 3.90 m de terre remblayés	47/48
Cas 08: roue de 10t sur nœud n1( 14)	14/21
Cas 09: roue de 10t sur nœud n2( 12)	12/006
Cas 10: roue de 10t sur nœud n3( 10)	011/21
Cas 11: camion BC sur le nœud n1( 14)	14/21
Cas 12: camion BC sur le nœud n2( 12)	13/006
Cas 13: camion BC sur le nœud n3( 10)	012/21
Cas 14: charge de 1t/m <sup>2</sup> sur la dalle supérieure	14/22
Cas 15: charge de 1t/m <sup>2</sup> sur le côté gauche uniquement	47/48
Cas 16: charge de 1t/m <sup>2</sup> sur la 1/2 dalle gauche	13/21
Cas 17: charge répartie centrée (largeur d'une 1/2 dalle)	14/21
Cas 18: charge de 1t/m <sup>2</sup> sur les 2 cotés simultanément	33/32
Cas 19: camion Bt sur le nœud n1( 14)	14/21
Cas 20: camion Bt sur le nœud n2( 12)	13/006
Cas 21: camion Bt sur le nœud n3( 10)	011/21

3.7 Modélisation des cas de charges élémentaires

**Cas 01: POIDS PROPRE AU STOCK**

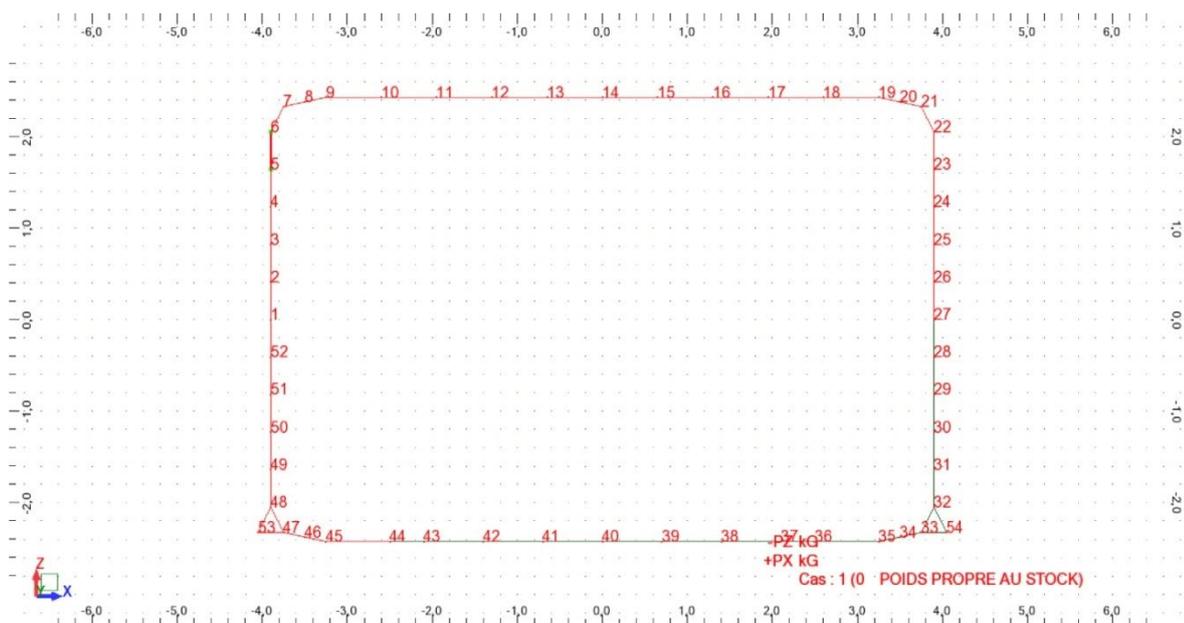


Figure 20: Cas 01: POIDS PROPRE AU STOCK

**Cas 02:POIDS PROPRE AVANT COULAGE DU RADIER**

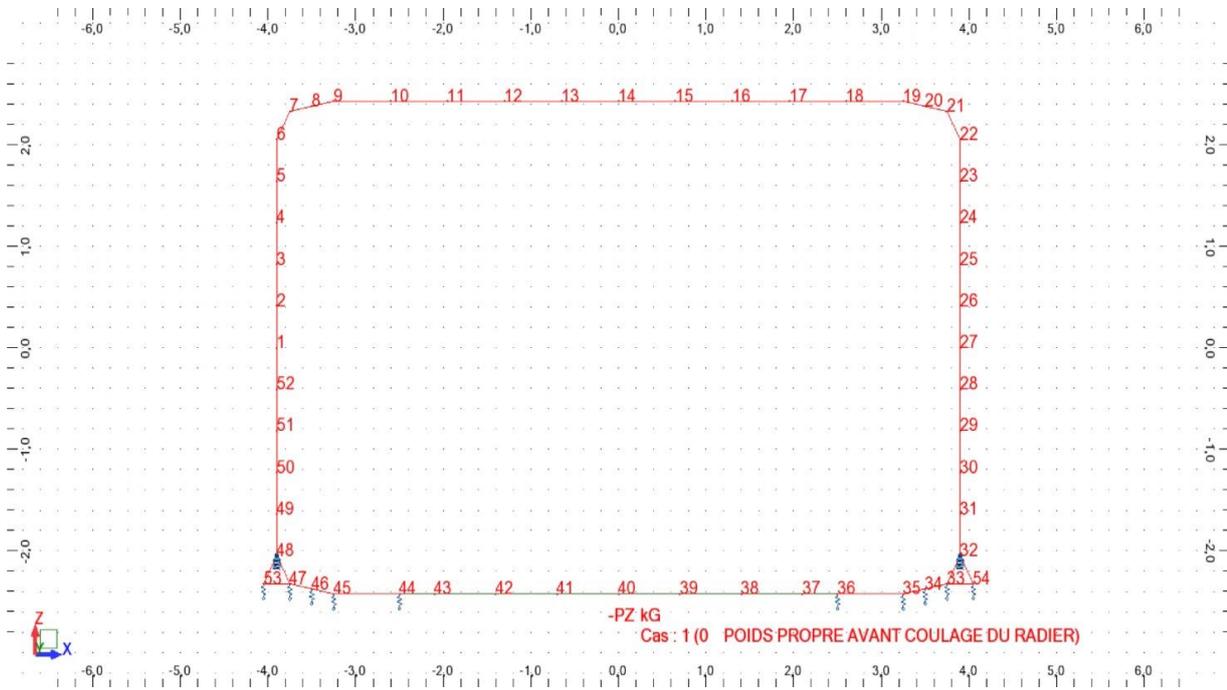


Figure 21:Cas 02 POIDS PROPRE AVANT COULAGE

**Cas 03: remblais jusqu' à la dalle**

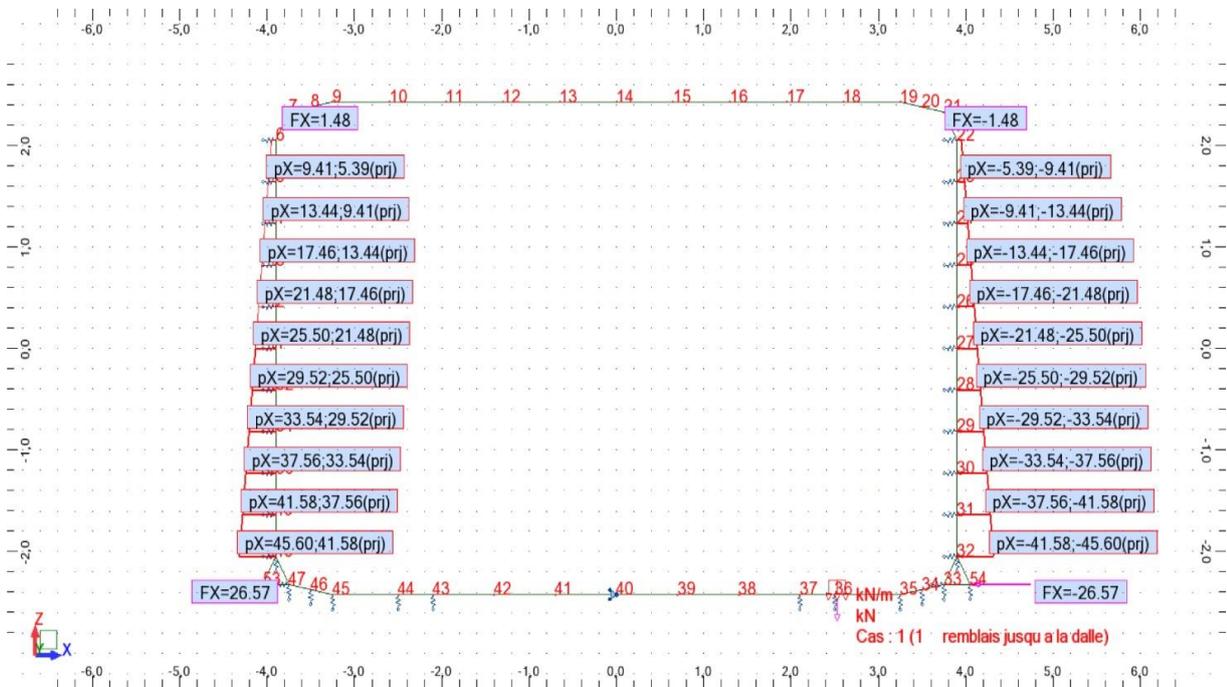


Figure 22:Cas 03 remblais jusqu' à la dalle

**Cas 04:remblais au dessus de la dalle**

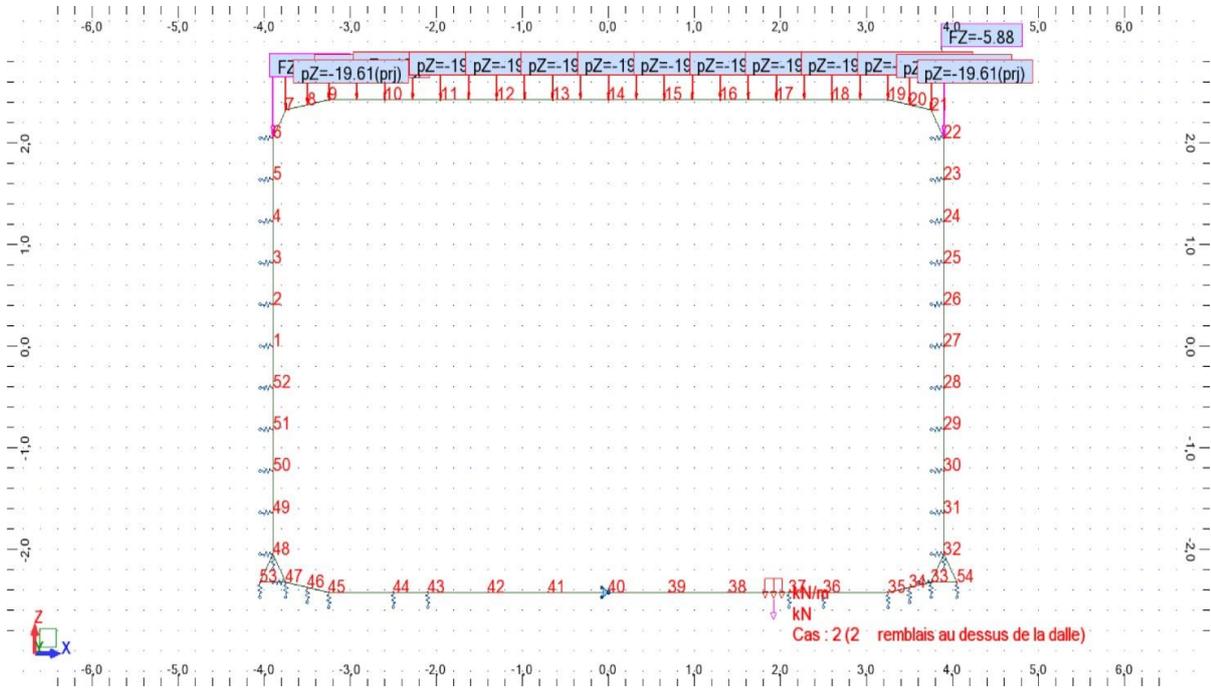


Figure 23:Cas 04:remblais au-dessus de la dalle

**Cas 05: ch. H dues aux remblais se trouvant au dessus du niveau de la dalle**

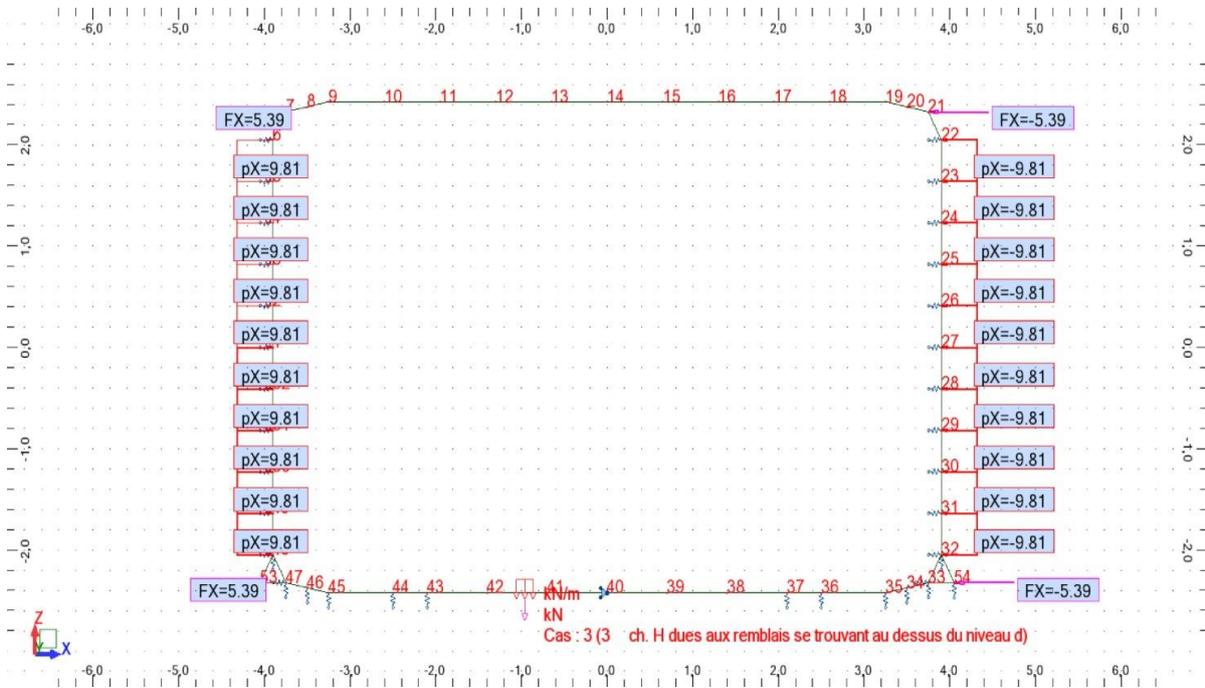


Figure 23:Cas 05 ch. H dues aux remblais se trouvant au-dessus du niveau de la dalle

**Cas 06: 5.20 m de terre remblayés**

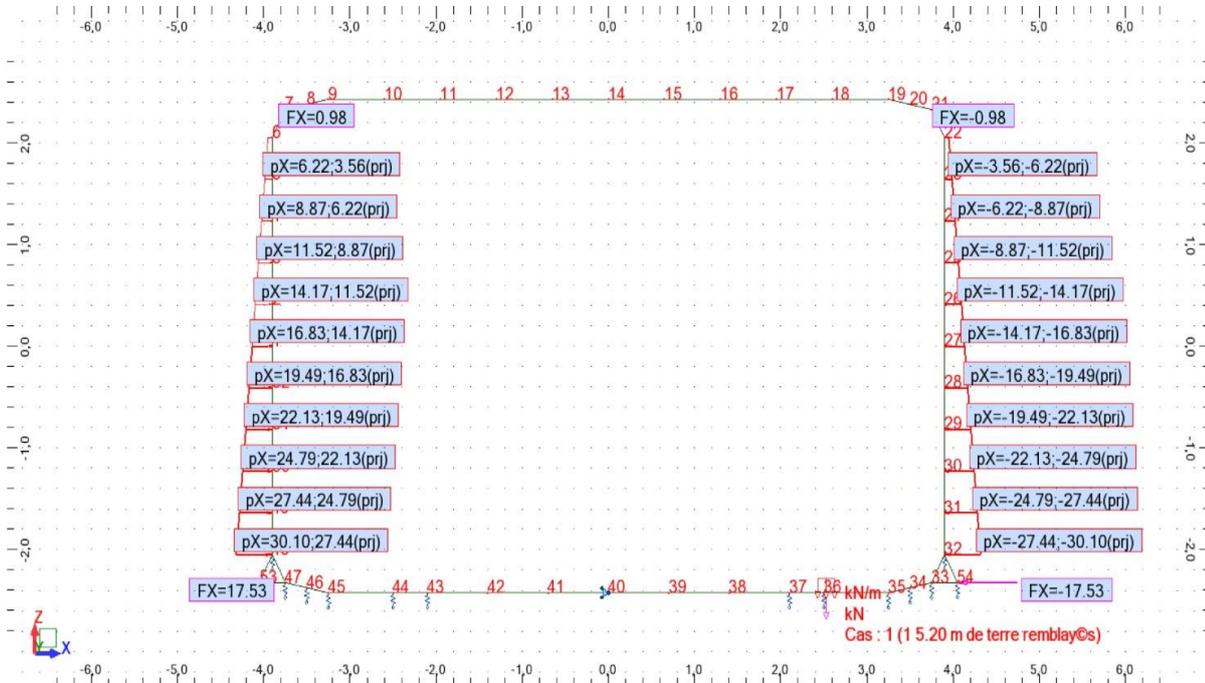


Figure 24: Cas 06 5.20 m de terre remblayés

**Cas 07: 3.90 m de terre remblayés**

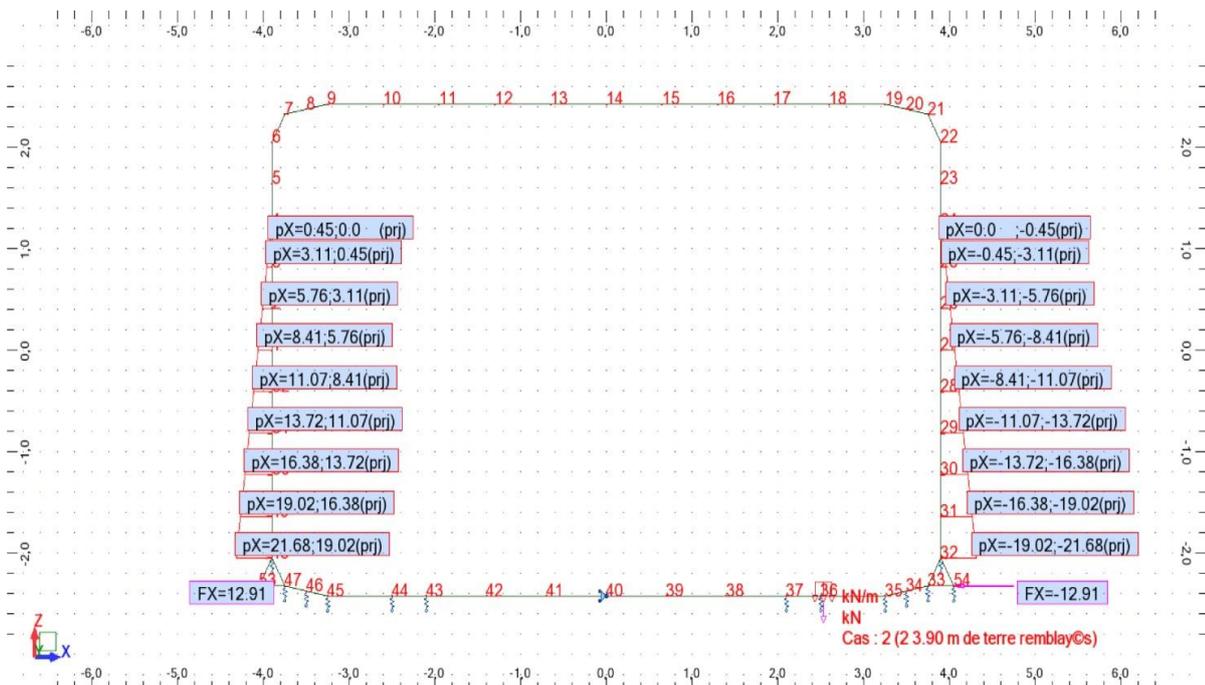


Figure 25: Cas 07 3.90 m de terre remblayés

**Cas 08: roue de 10t sur noeud n1( 14)**

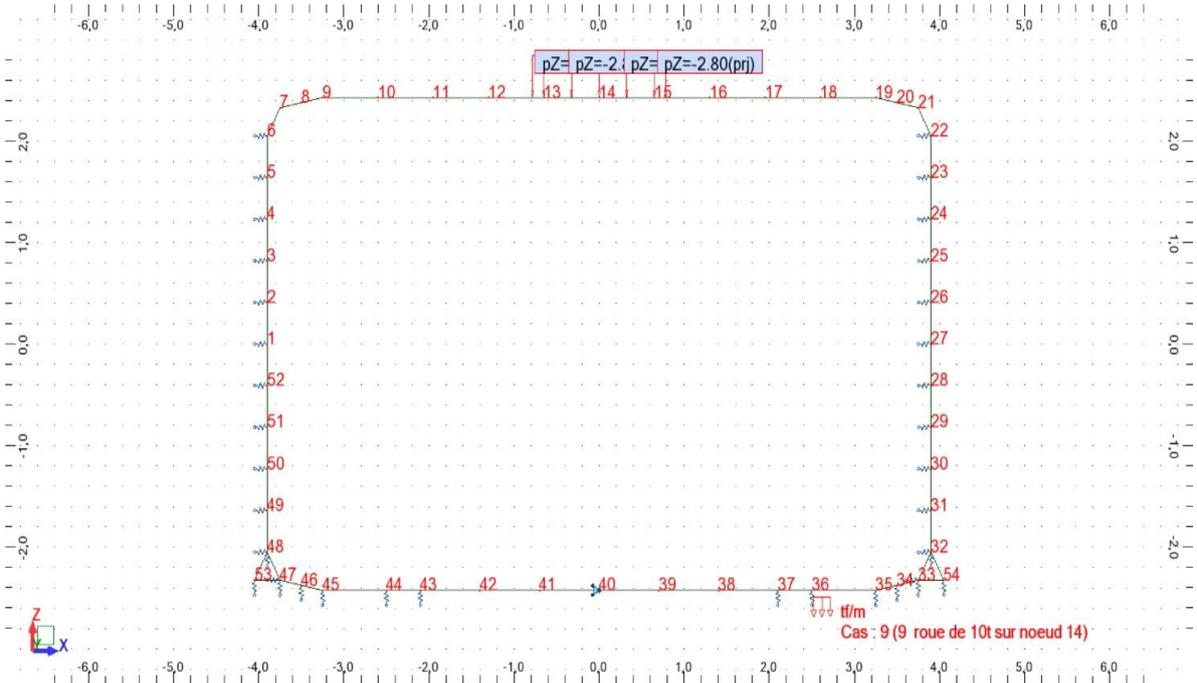


figure26:Cas 08: roue de 10t sur noeud n1(14)

**Cas 09: roue de 10t sur noeud n2( 12)**

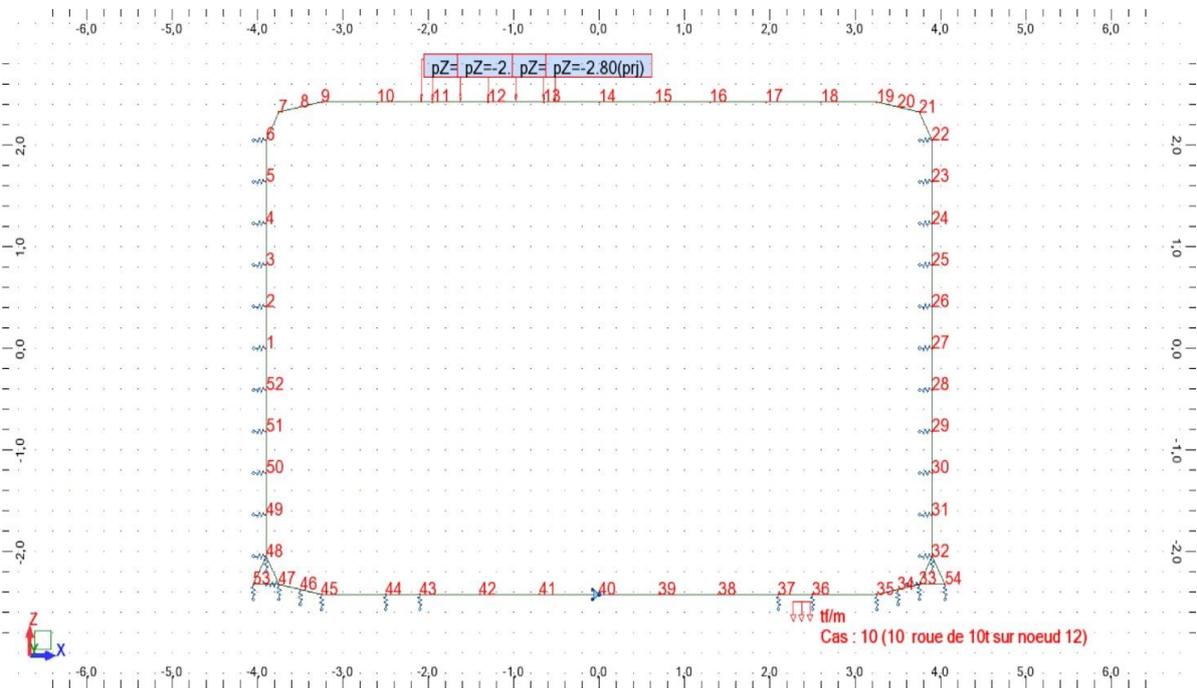


Figure 27:Cas 09: roue de 10t sur noeud n 2 (12)

**Cas 10: roue de 10t sur nœud n3( 10)**

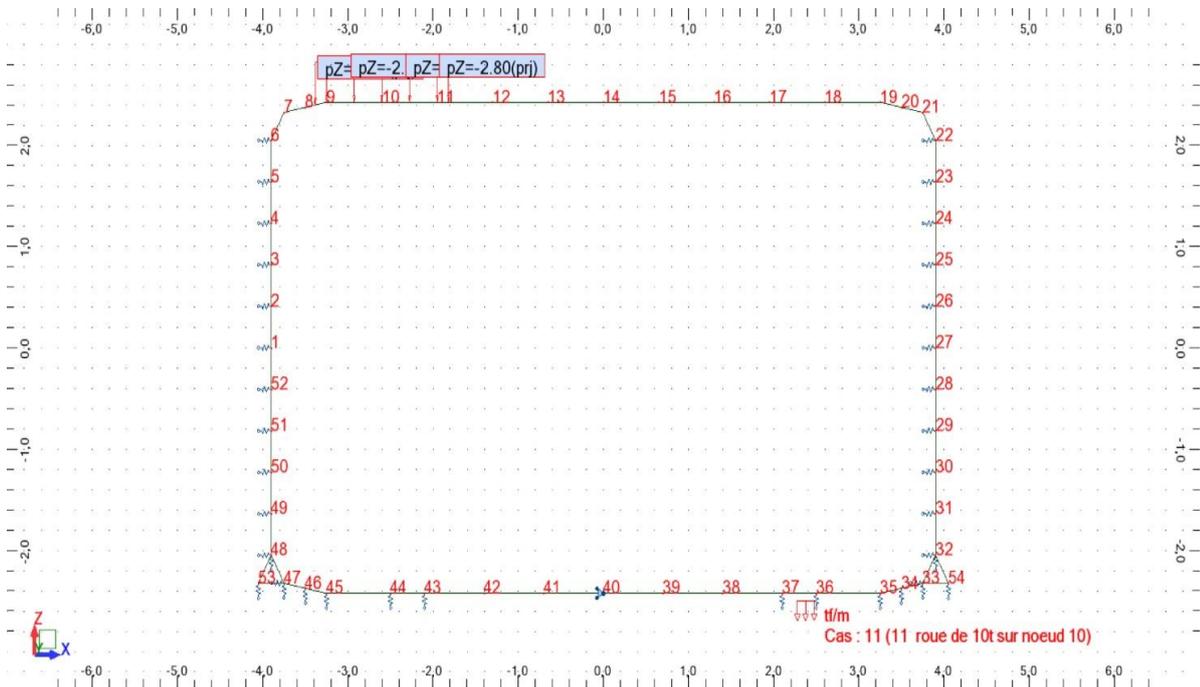


Figure 28: Cas 10 roue de 10t sur nœud n3(10)

**Cas 11: camion BC sur le nœud n1( 14)**

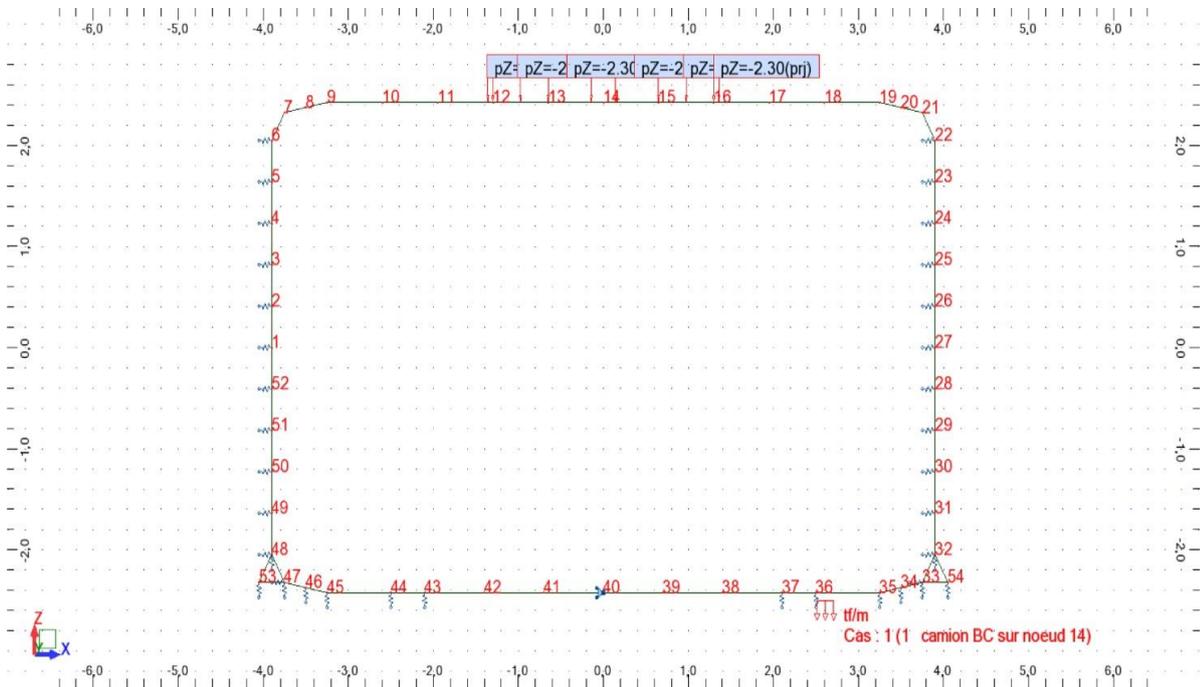


Figure 29: Cas 11 camion BC sur le nœud n1(14)



**Cas 14: charge de A(I) sur la dalle supérieure**

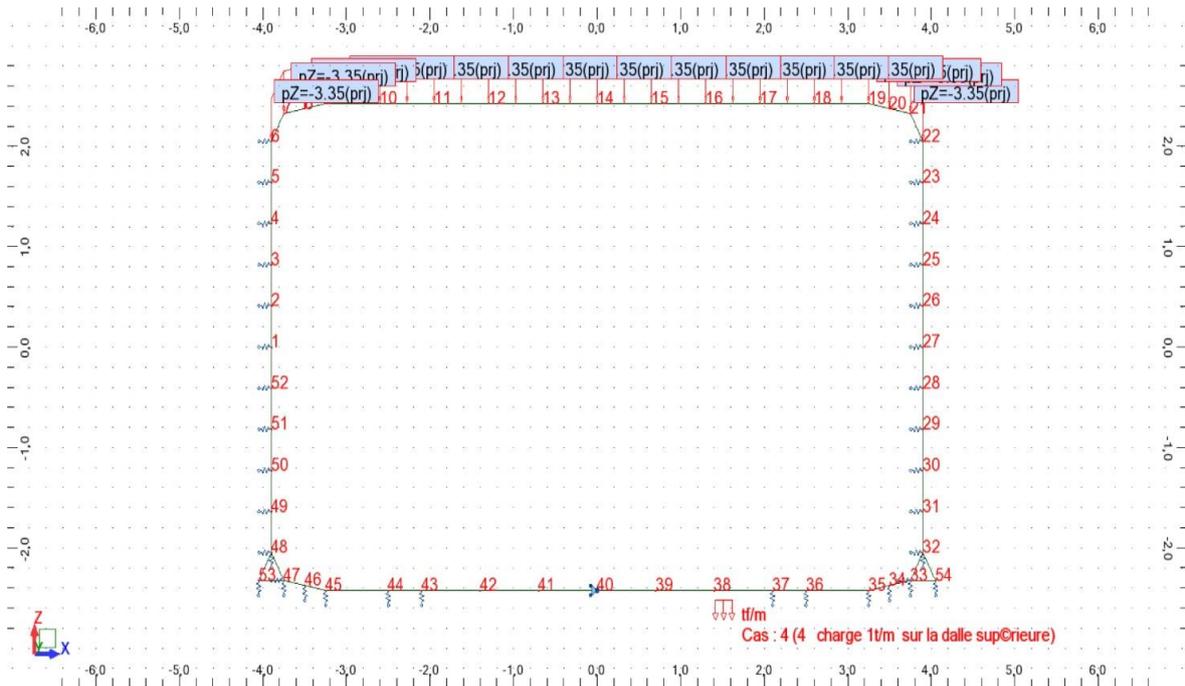


Figure 32: Cas 14 charge de A(I) sur la dalle supérieure

**Cas 15: charge de A(I) sur le côté gauche uniquement**

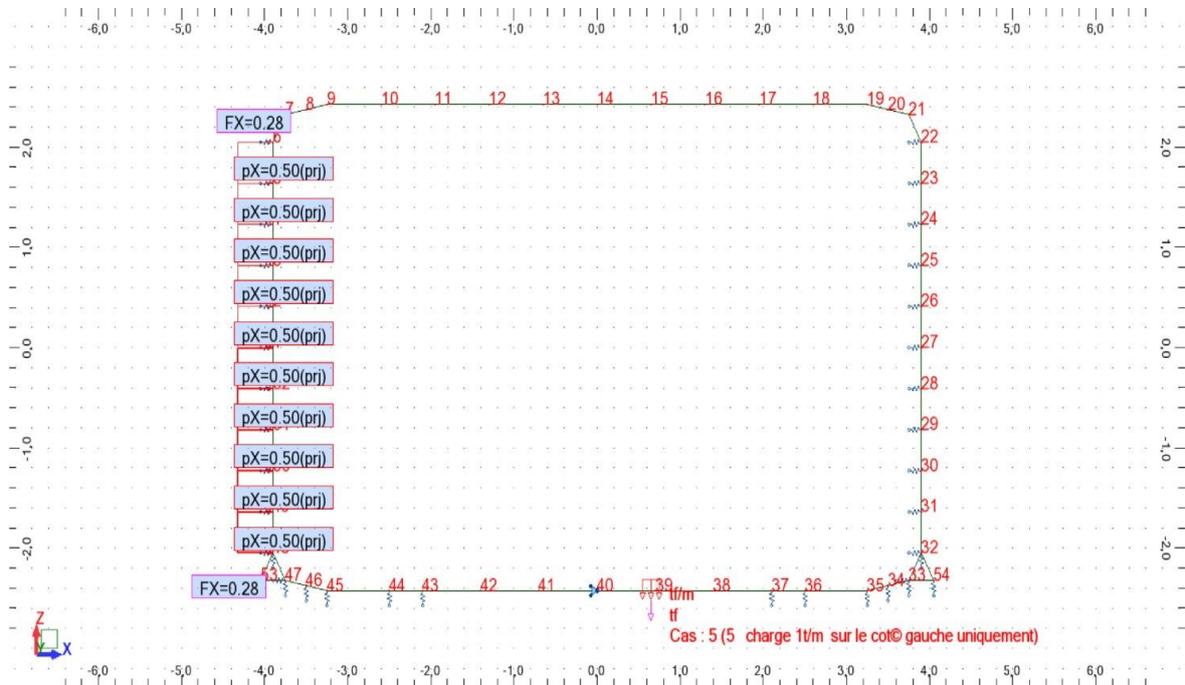


Figure 33: Cas 15 charge de A(I) sur le côté gauche uniquement

**Cas 16: charge de A(l) sur la 1/2 dalle gauche**

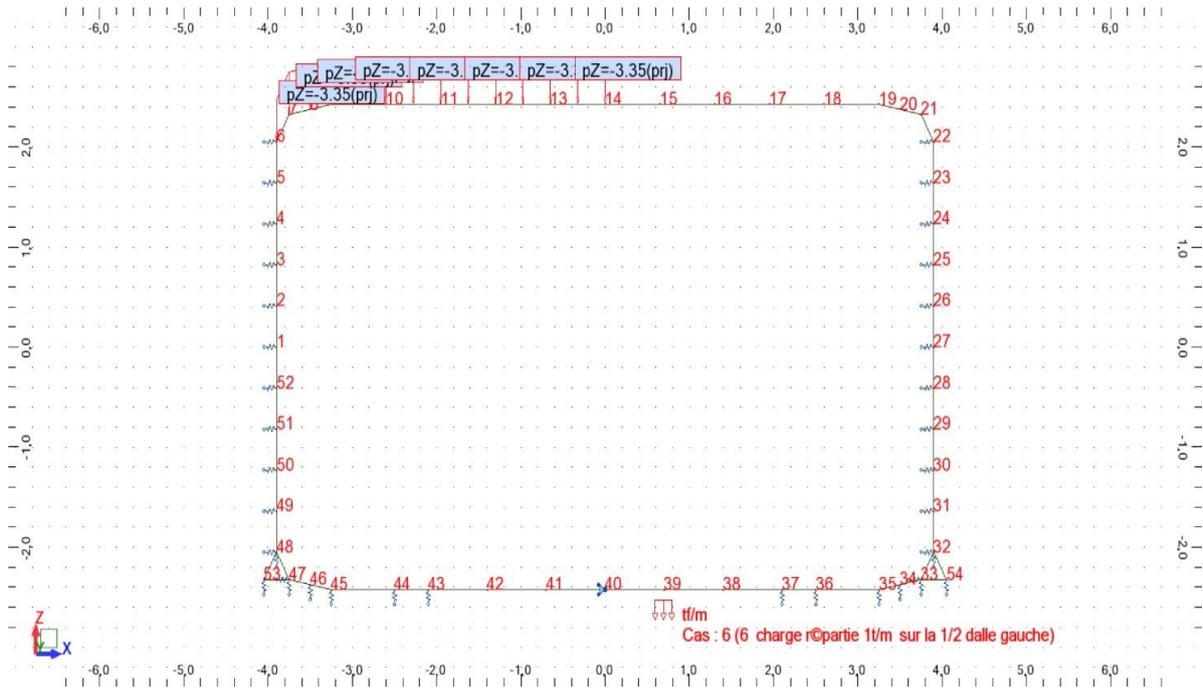


Figure 34: Cas 16: charge de A(l) sur la 1/2 dalle gauche

**Cas 17: charge répartie centrée (largeur d'une 1/2 dalle)**

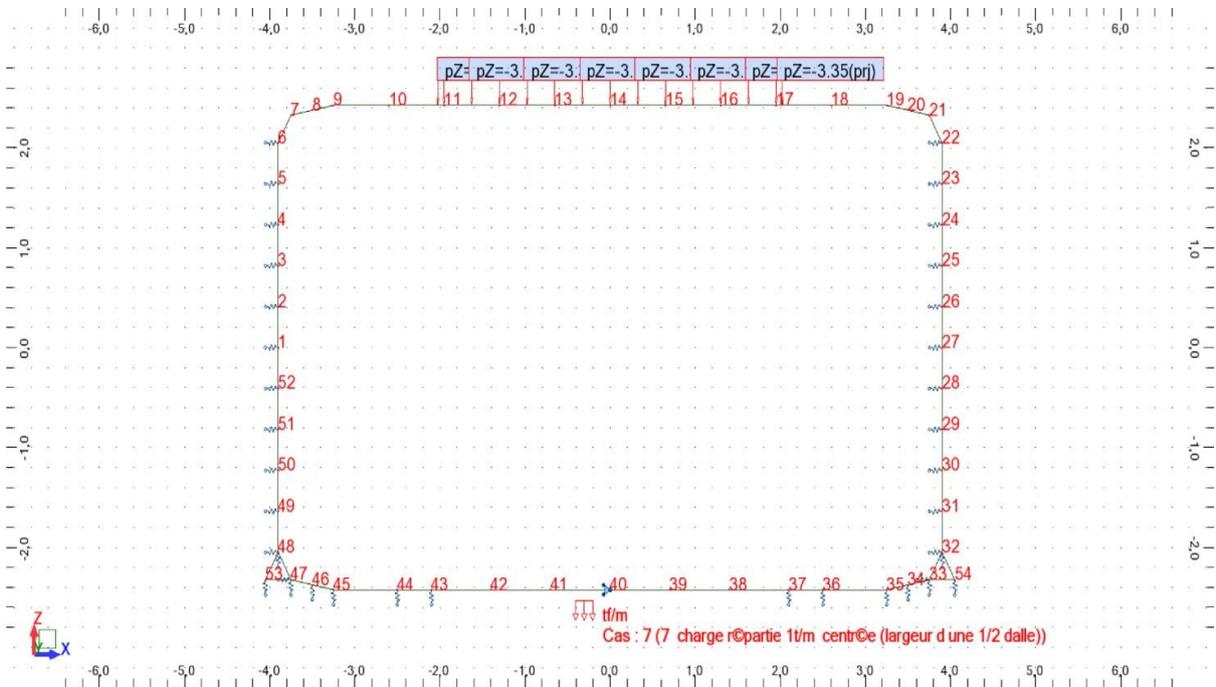


Figure 35: Cas 17: charge répartie centrée (largeur d'une 1/2 dalle)



**Cas 20: camion Bt sur le nœud n2( 12)**

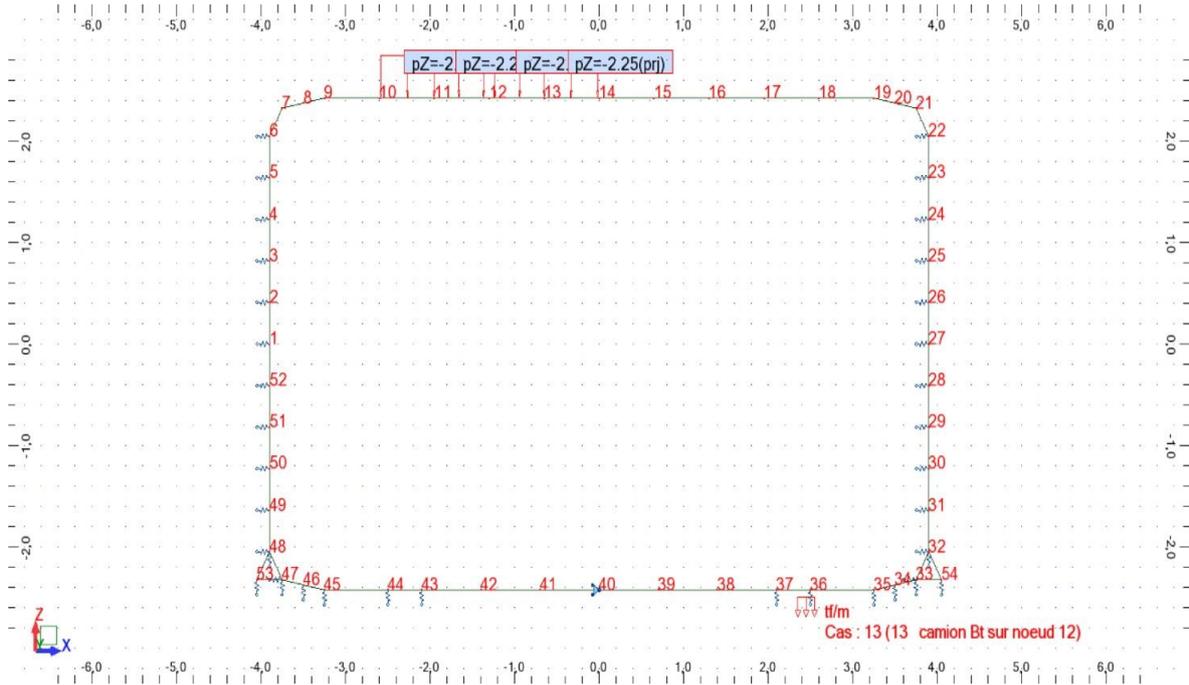


Figure 38: Cas 20: camion Bt sur le nœud n2(12)

**Cas 21: camion Bt sur le nœud n3( 10)**

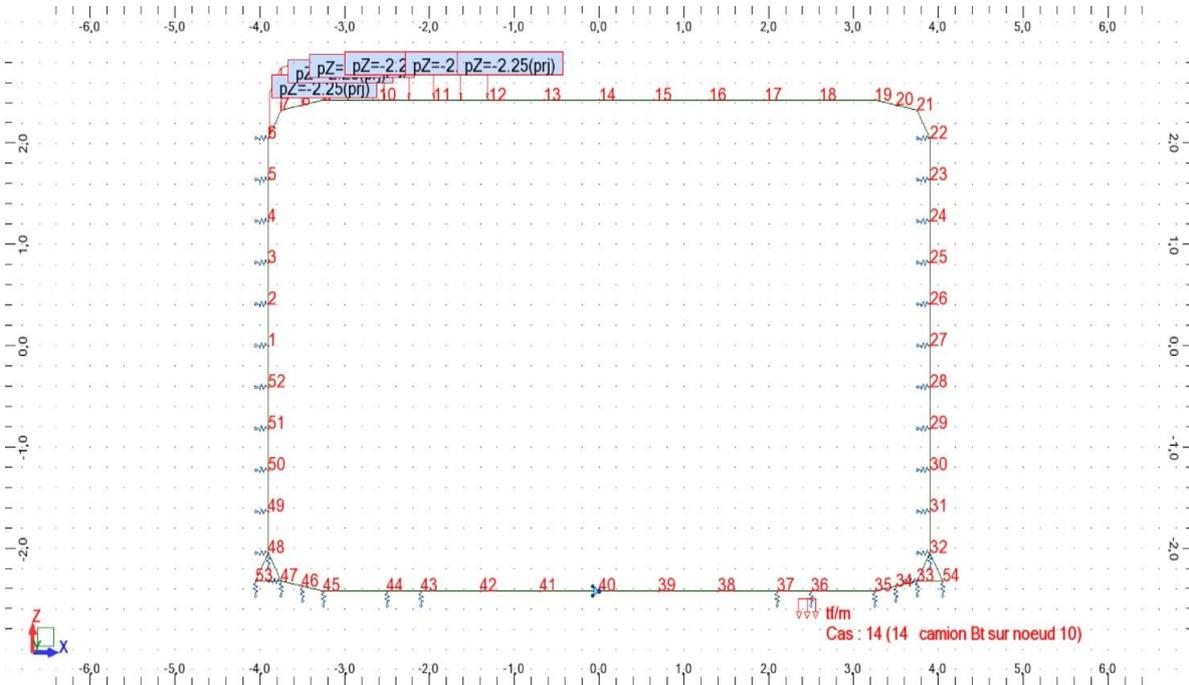


Figure 39: Cas 21 camion Bt sur le nœud n3(10)

3.8 Descriptif des combinaisons

Tableau 3:Descriptif des combinaisons

DESCRIPTIF des COMBINAISONS
Comb 01: stockage
Comb 02: terre jusqu'à la dalle à la construction +P.Proprie
Comb 03: terre au 3/4 à la construction + P.Proprie
Comb 04: roue de 10t centré sur le noeud n1( 14)
Comb 05: roue de 10t centré sur le noeud n1( 12)
Comb 06: roue de 10t centré sur le noeud n1( 10)
Comb 07: camion BC centré sur le noeud n1( 14)
Comb 08: camion BC centré sur le noeud n1( 12)
Comb 09: camion BC centré sur le noeud n1( 10)
Comb 10: charge répartie infinie
Comb 11: charge répartie semi infinie
Comb 12: charge répartie sur la demie dalle gauche
Comb 13: charge répartie centrée
Comb 14: charges permanentes phase chantier
Comb 15: charges permanentes phase service
Comb 16: charge latérale due au 1 t/m <sup>2</sup> sur les 2 cotés
Comb 17: camion BC centré sur le noeud n1( 14)
Comb 18: camion BC centré sur le noeud n1( 12)
Comb 19: camion BC centré sur le noeud n1( 10)

Tableau 4: combinaisons a ELU

Cas combiné	Cas 1	Cas 2	cas 3	Cas 4	Cas 5	Cas 6	Cas 7	Cas 8	Cas 9	cas 10	Cas 11	cas 12	cas 13	cas 14	cas 15	cas 16	cas 17	cas 18	cas 19	cas 20	cas 21
Comb 1	1.35																				
Comb 2			1.35	1.35																	
Comb 3			1.35		1.35																
Comb 4			1.35			1.35	1.35	1.35	1.35												
Comb 5			1.35			1.35	1.35	1.35		1.35											
Comb 6			1.35			1.35	1.35	1.35			1.35										
Comb 7			1.35			1.35	1.35	1.35				1.6									
Comb 8			1.35			1.35	1.35	1.35					1.6								
Comb 9			1.35			1.35	1.35	1.35						1.6							
Comb 10			1.35			1.35	1.35	1.35							1.6				1.6		
Comb 11			1.35			1.35	1.35	1.35							1.6	1.6					

### Chapitre 3 : programme de calculs et modélisation

Comb 12		1.35		1.35	1.35	1.35									1.6			
Comb 13		1.35		1.35	1.35	1.35									1.6			
Comb 14		1.35		1.35	1.35	1.35												
Comb 15		1.35		1.35	1.35	1.35												
Comb 16		1.35		1.35	1.35	1.35										1.6		
Comb 17		1.35		1.35	1.35	1.35										1.6		
Comb 18		1.35		1.35	1.35	1.35											1.6	
Comb 19		1.35		1.35	1.35	1.35												1.6

Nota : les sollicitations à l'ELS sont obtenues en divisant celles à l'ELU par 1.35

### 3.9 Résultats de calculs

#### Cas 01: POIDS PROPRE AU STOCK

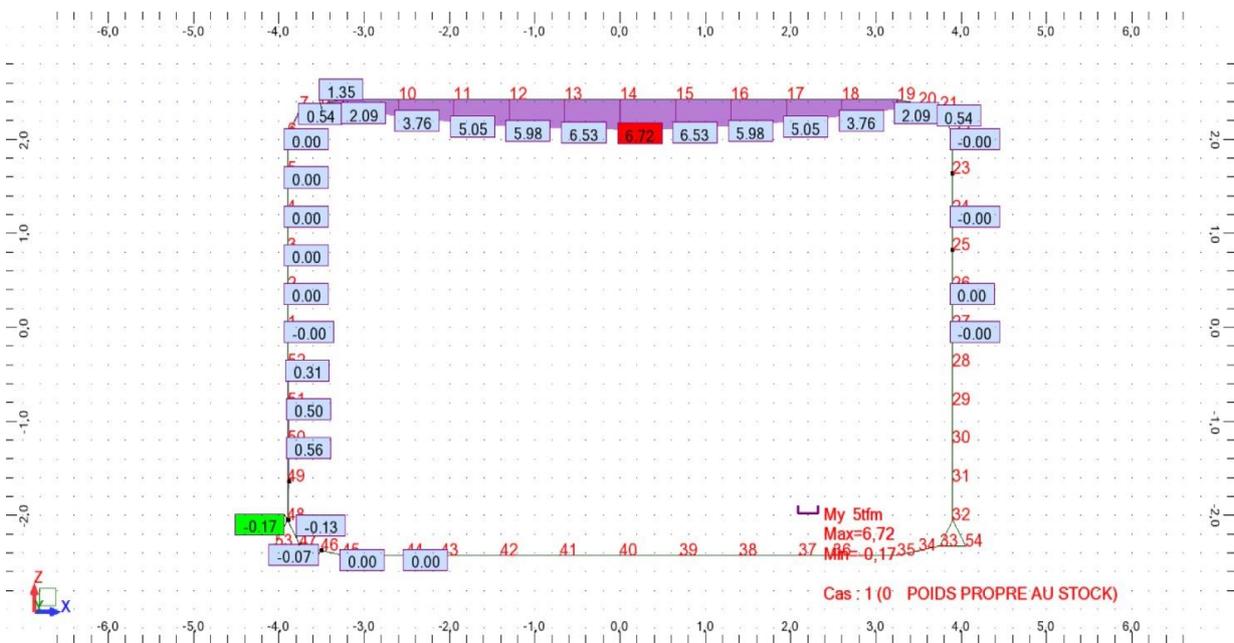


Figure 41: Cas 01 POIDS PROPRE AU STOCK

**Cas 02:POIDS PROPRE AVANT COULAGE DU RADIER**

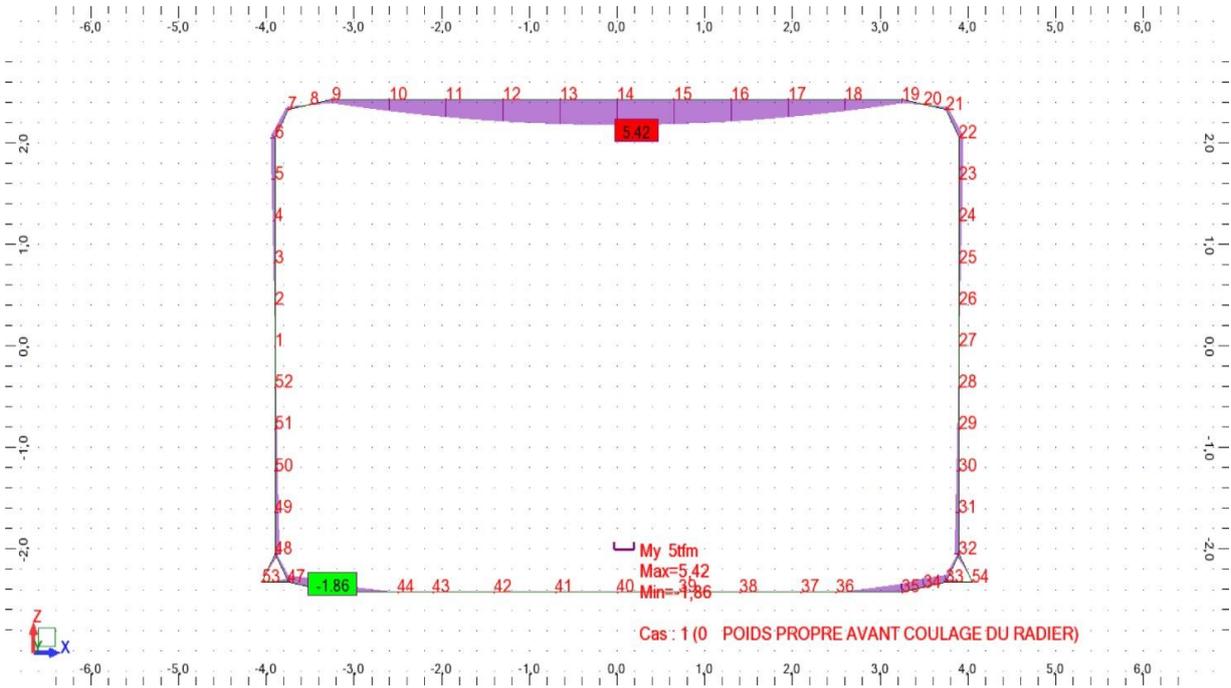


figure 42:Cas 02 POIDS PROPRE AVANT COULAGE du radier

**Cas 03: remblais jusqu' à la dalle**

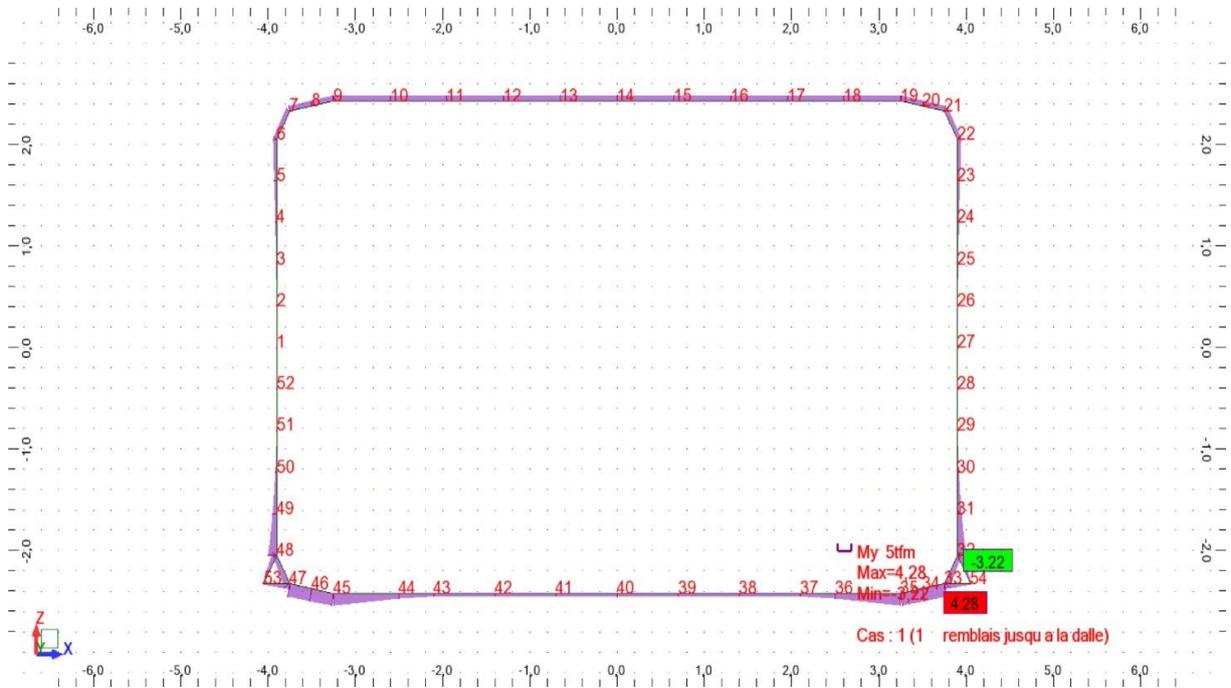


Figure 43:Cas 03 remblais jusqu' à la dalle

**Cas 04:remblais au dessus de la dalle**

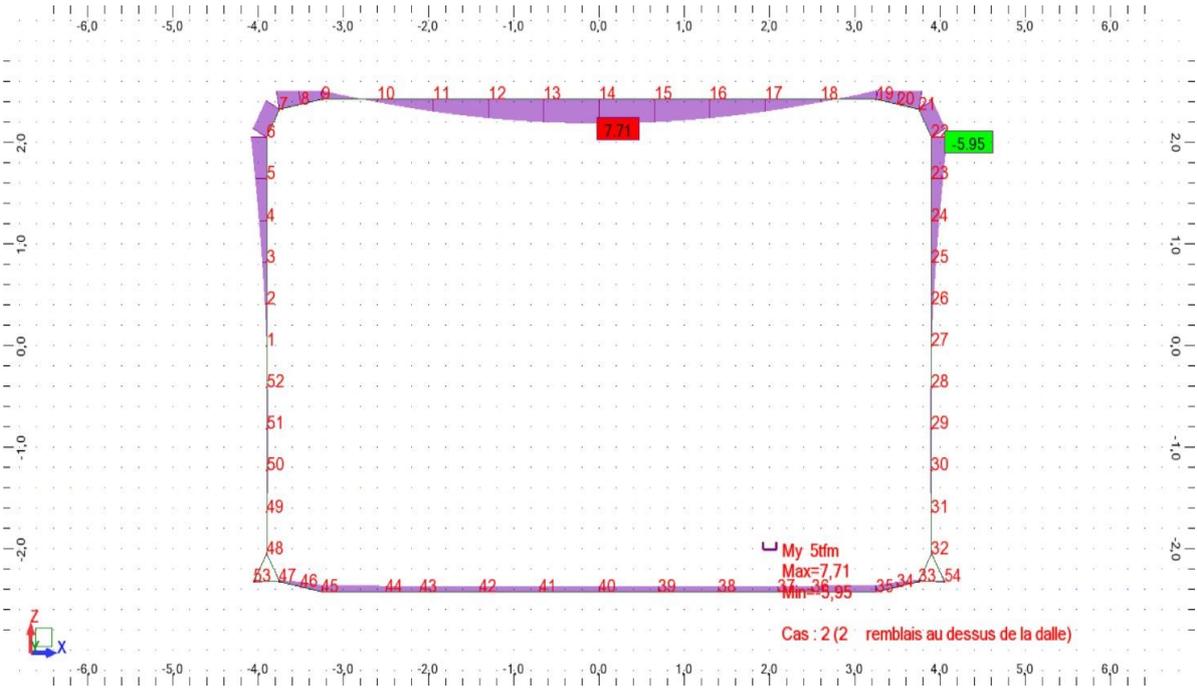


Figure 44:Cas 04 remblais au-dessus de la dalle

**Cas 05: ch. H dues aux remblais se trouvant au dessus du niveau de la dalle**

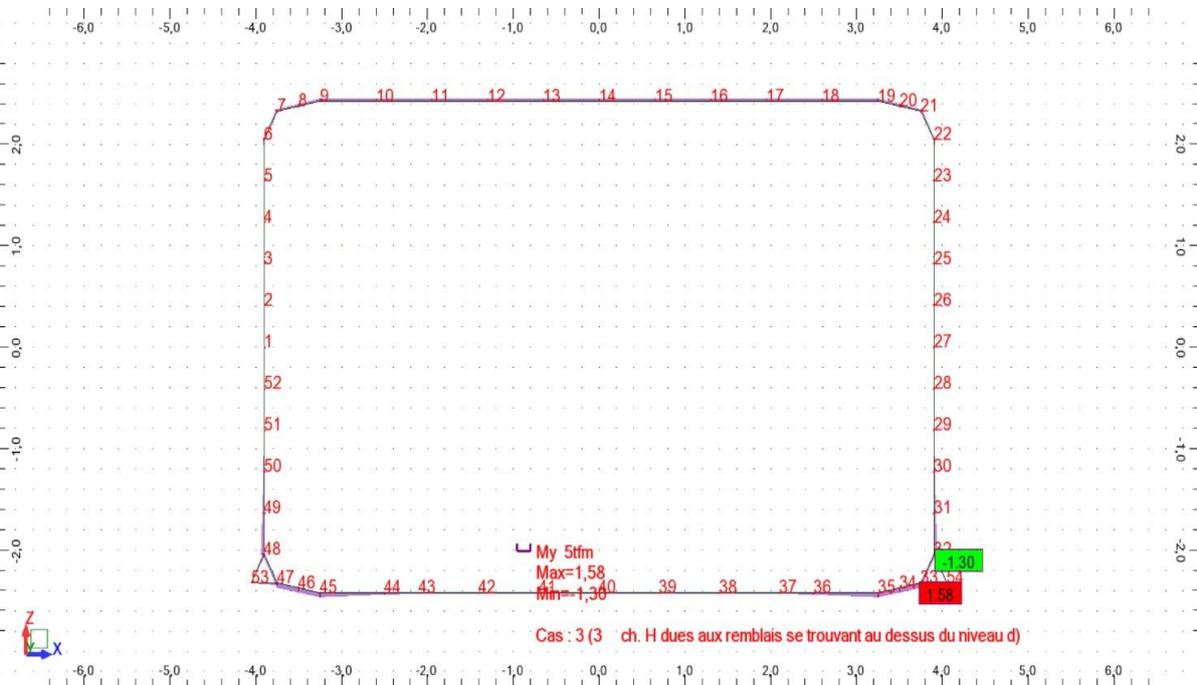


Figure 45:Cas 05 ch. H dues aux remblais se trouvant au-dessus du niveau de la dalle

**Cas 06: 5.20 m de terre remblayés**

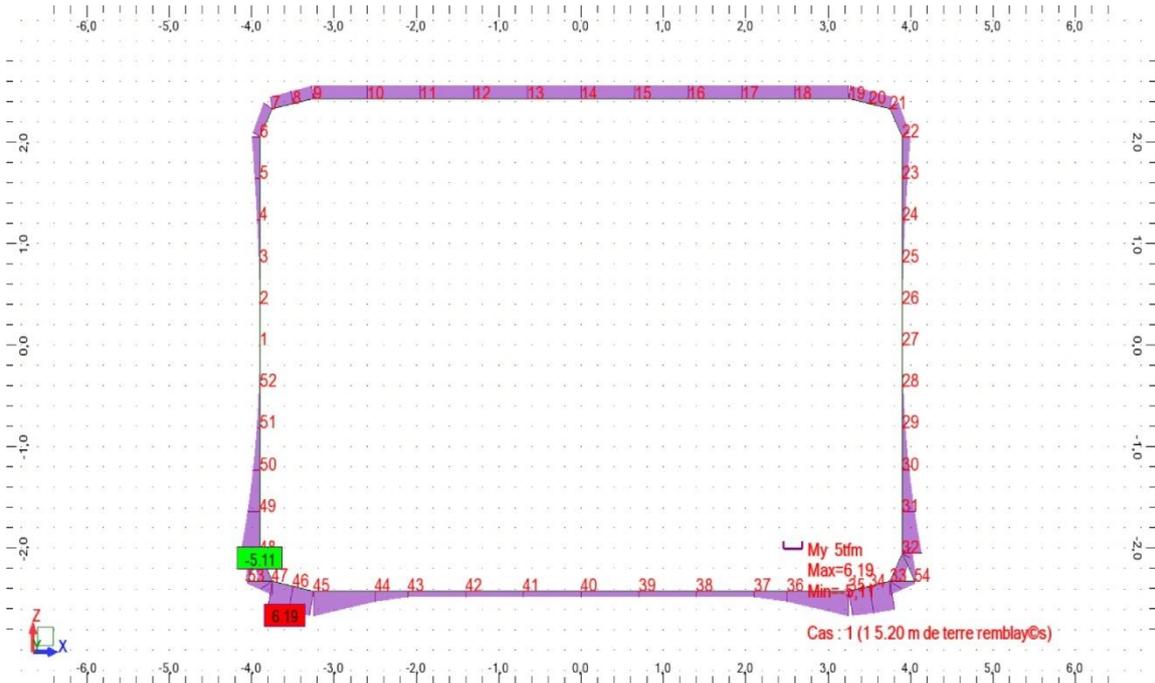


Figure 46: Cas 06 5.20 m de terre remblayés

**Cas 07: 3.90 m de terre remblayés**

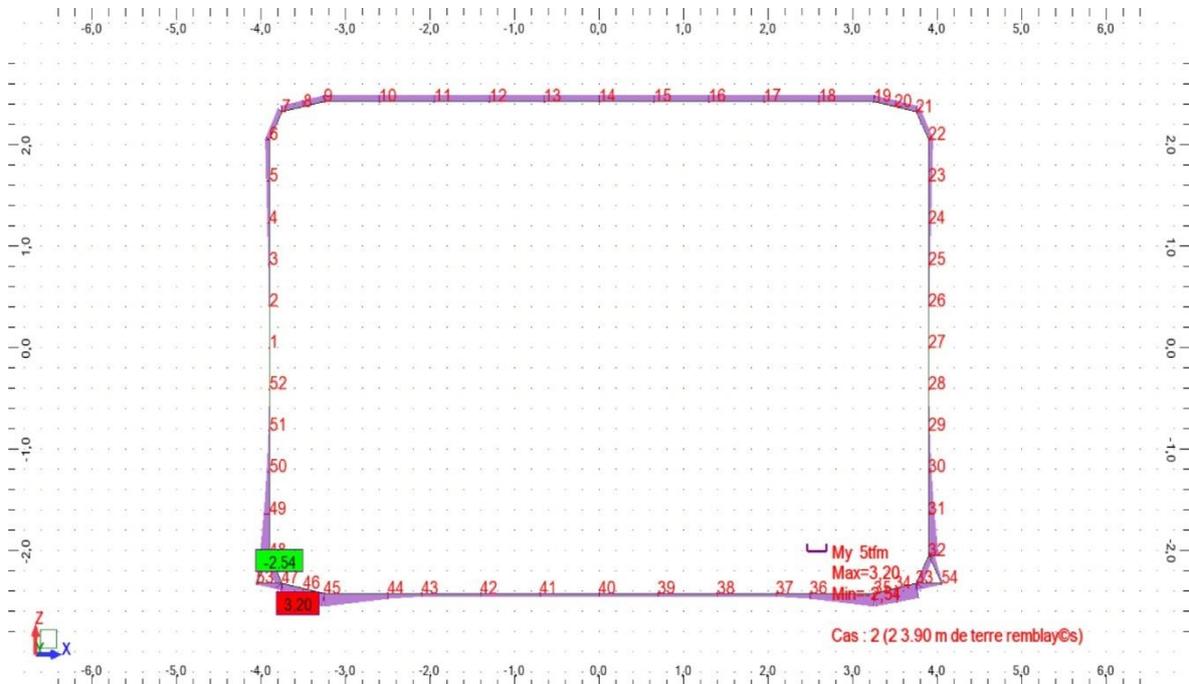


Figure 47: Cas 07 3.90 m de terre remblayés

**Cas 08: roue de 10t sur nœud n1(14)**

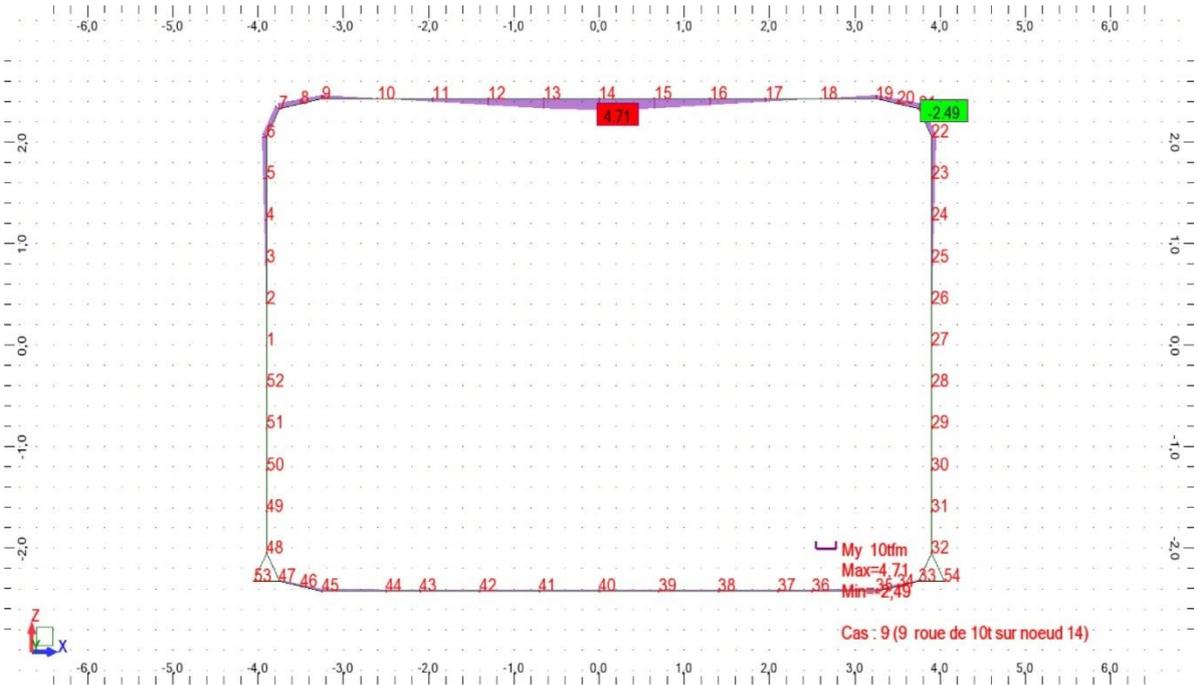


Figure 48: Cas 08 roue de 10t sur nœud n1(14)

**Cas 09: roue de 10t sur nœud n2(12)**

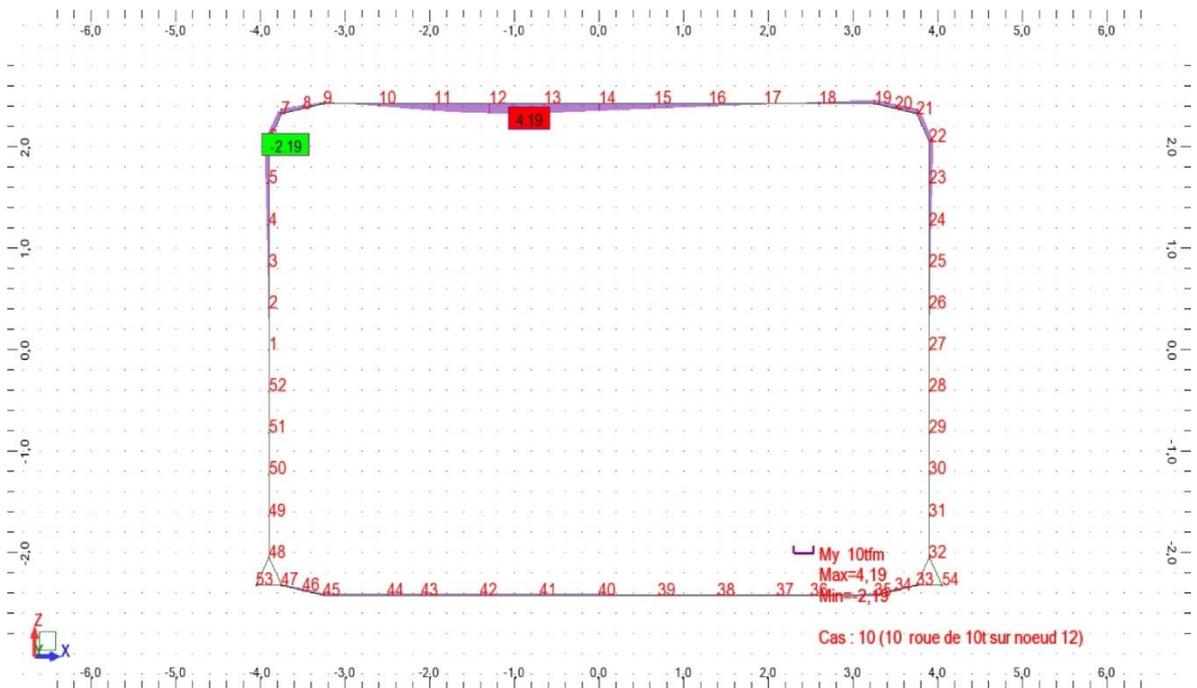


Figure 49: Cas 09 roue de 10t sur nœud n 2(12)

**Cas 10: roue de 10t sur nœud n3(10)**

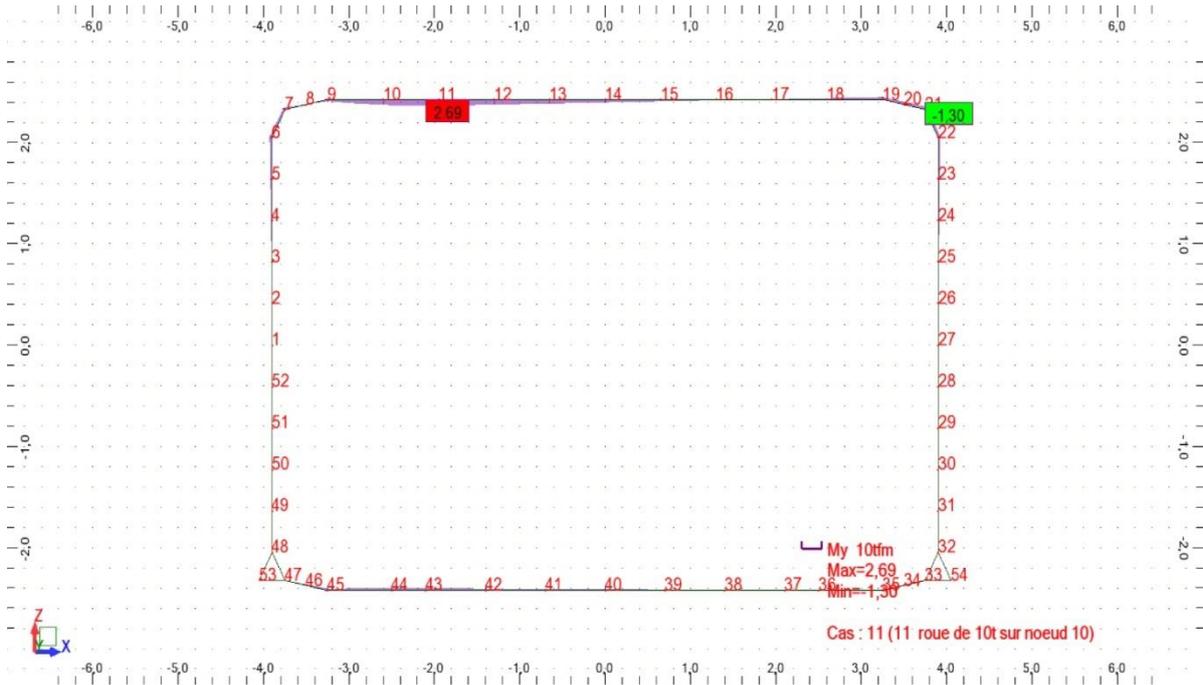


Figure 50: Cas 10 roue de 10t sur nœud n 3(10)

**Cas 11: camion BC sur le nœud n1( 14)**

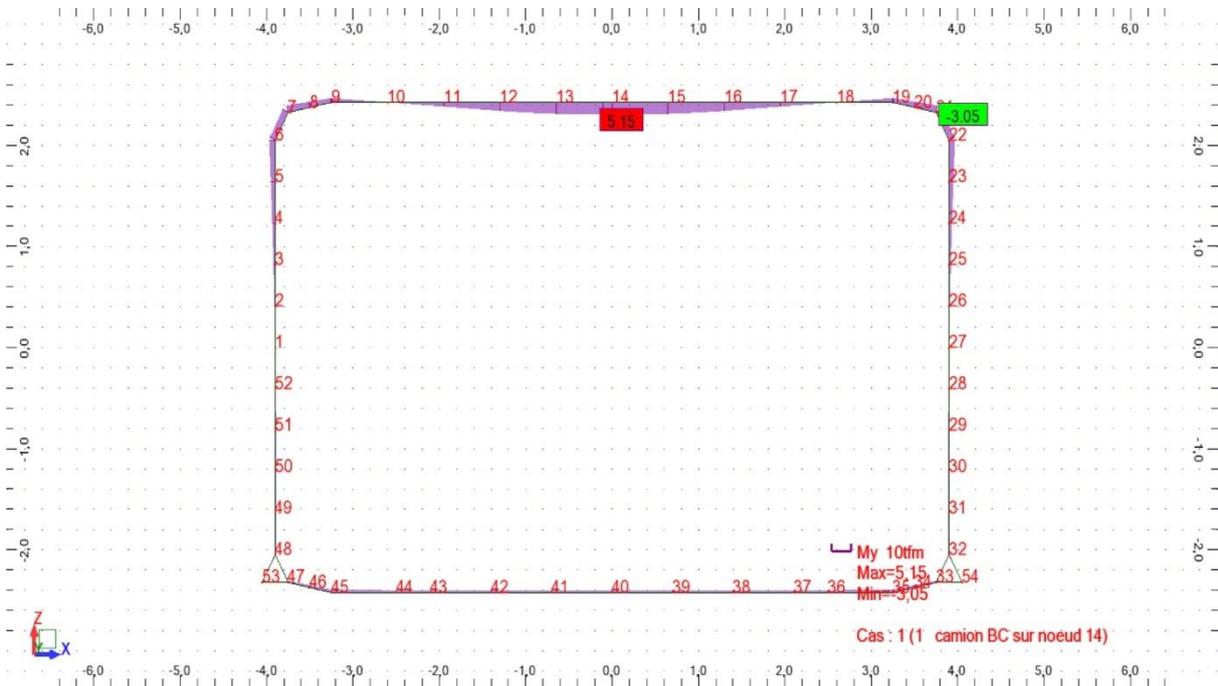
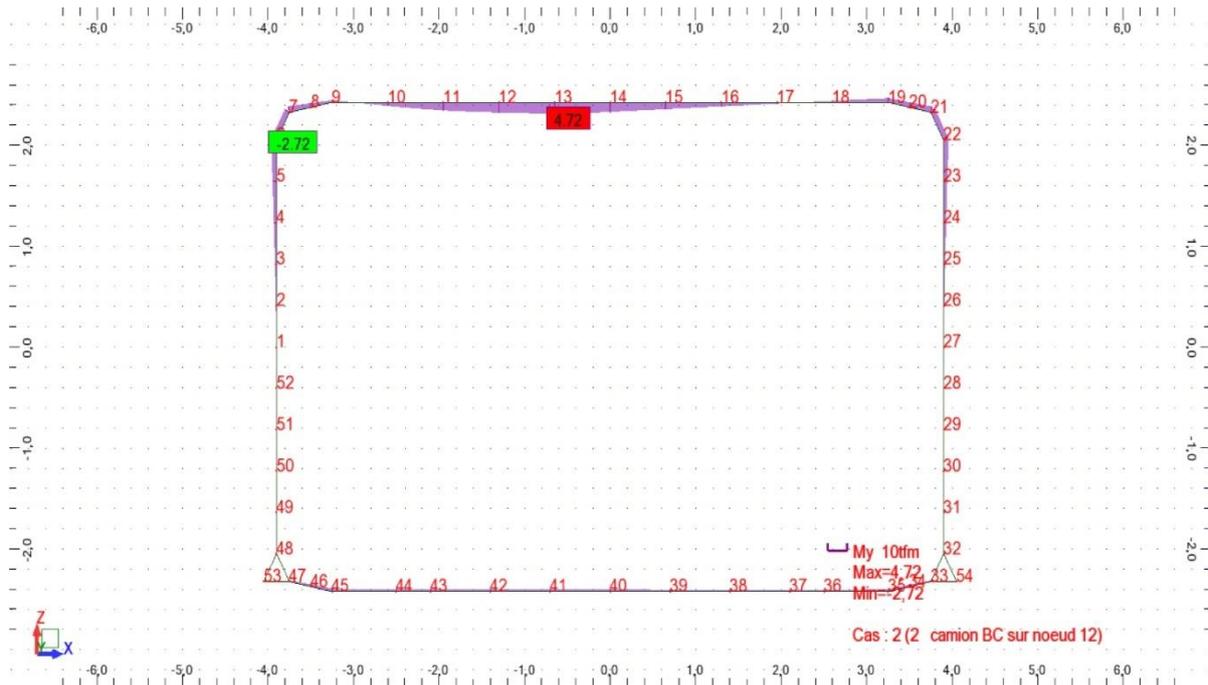
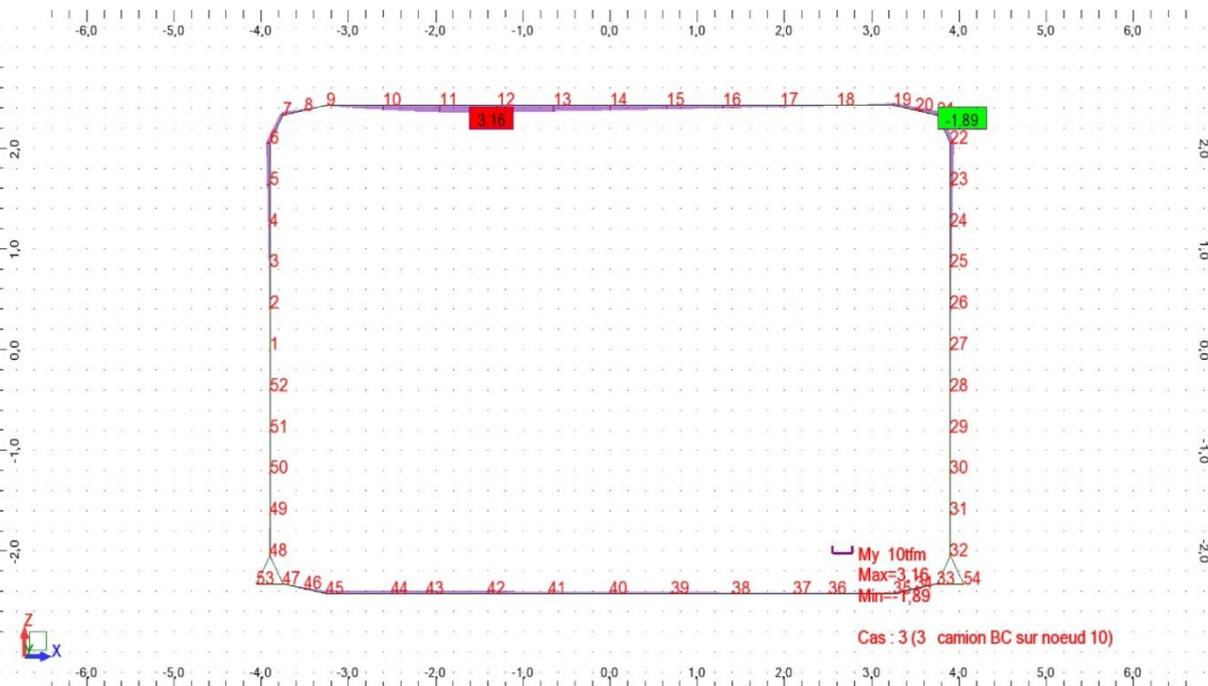


Figure 51: Cas 11 camion BC sur le nœud n1 (14)

**Cas 12: camion BC sur le nœud n2(12)**



**Cas 13: camion BC sur le nœud n3(10)**



**Cas 14: charge de A(l) sur la dalle supérieure**

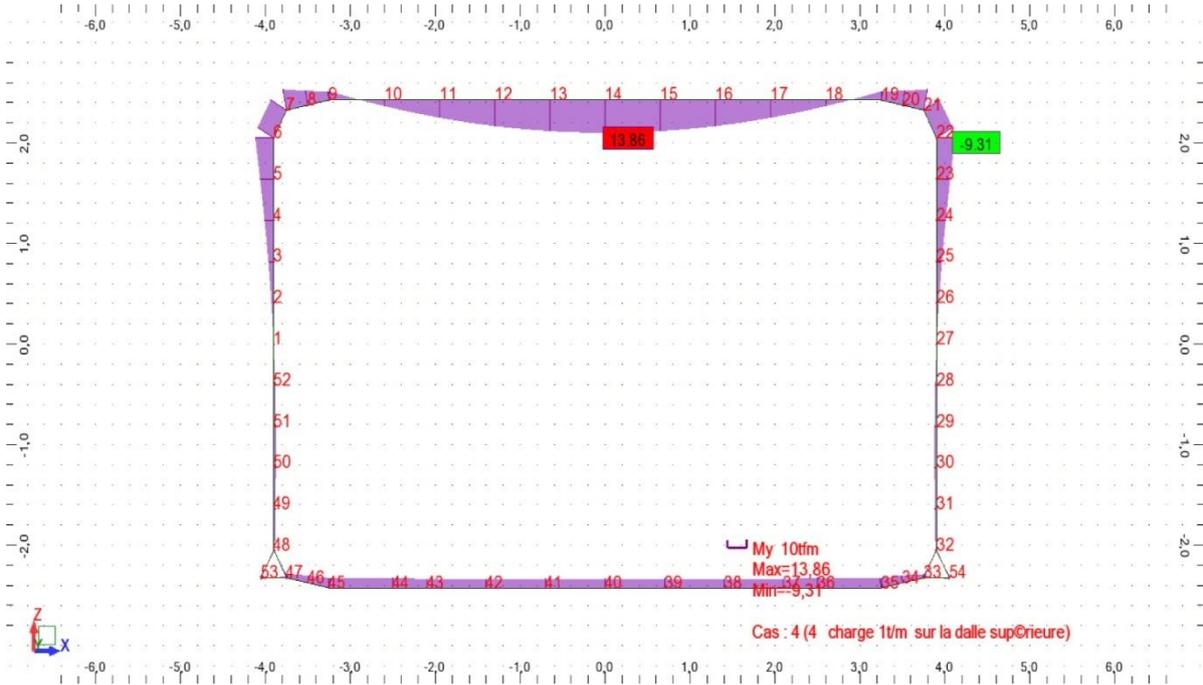


Figure 54: Cas 14 charge de A(l) sur la dalle supérieure

**Cas 15: charge de A(l) sur le côté gauche uniquement**

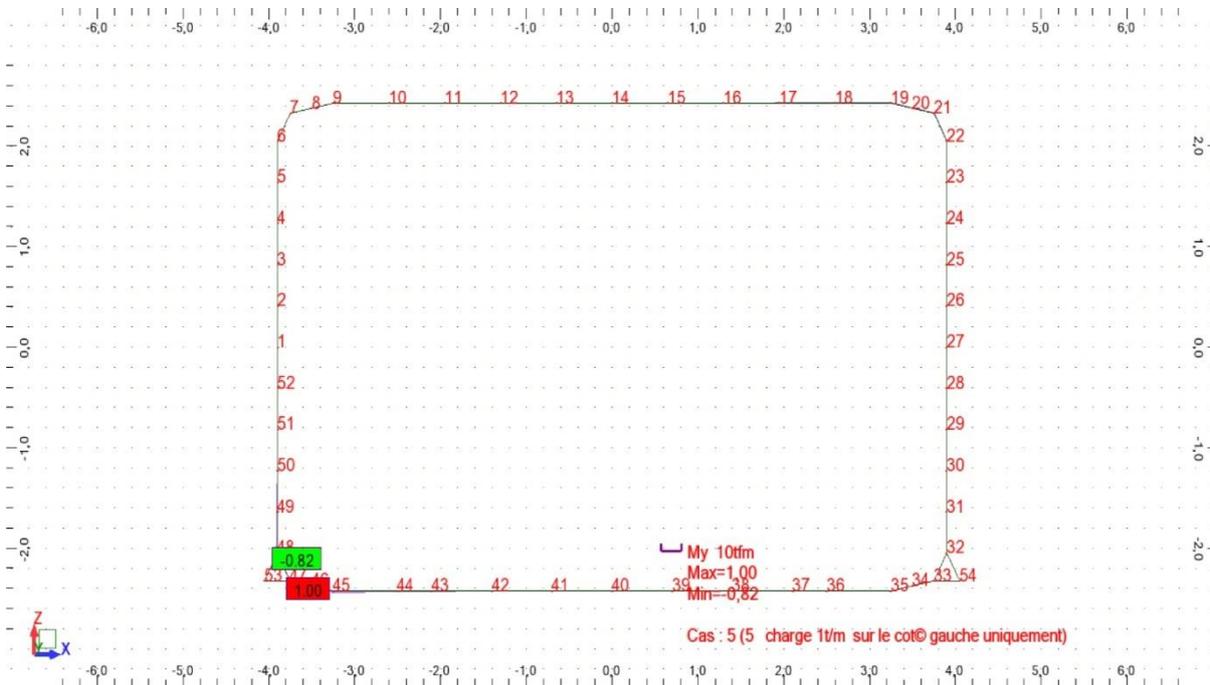


Figure 55: Cas 15 charge de A(l) sur le côté gauche uniquement

**Cas 16: charge de A(l) sur la 1/2 dalle gauche**

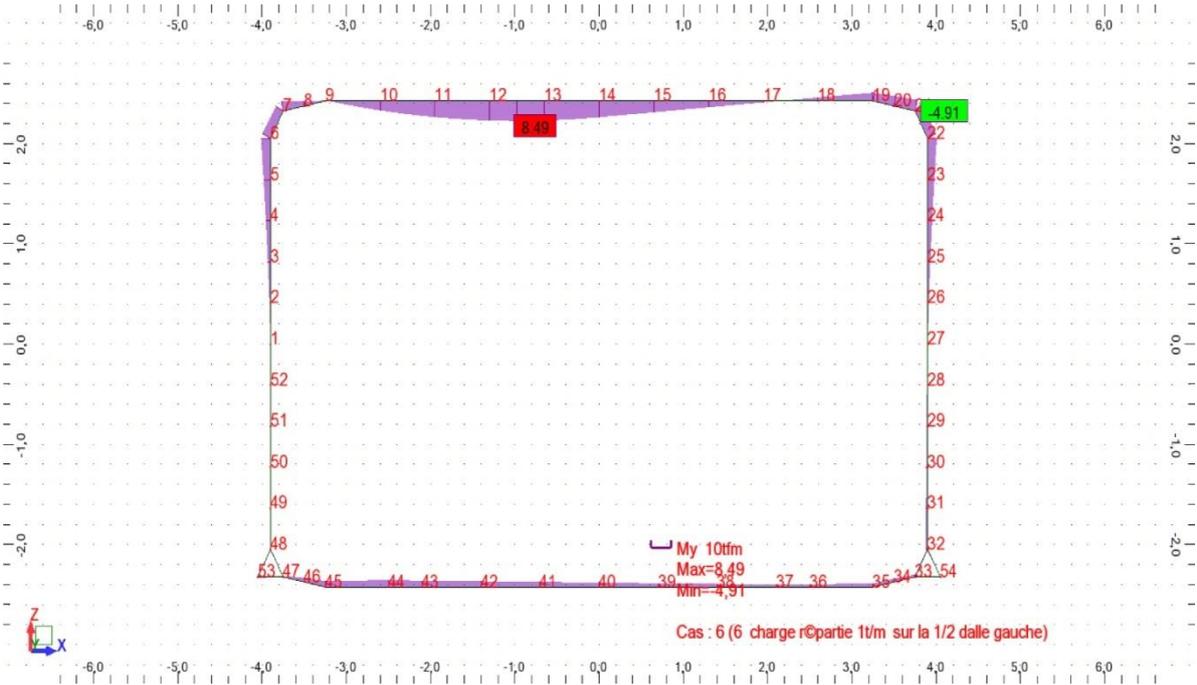


Figure 55: Cas 16 charge de A(l) sur la 1/2 dalle gauche

**Cas 17: charge répartie centrée (largeur d'une 1/2 dalle)**

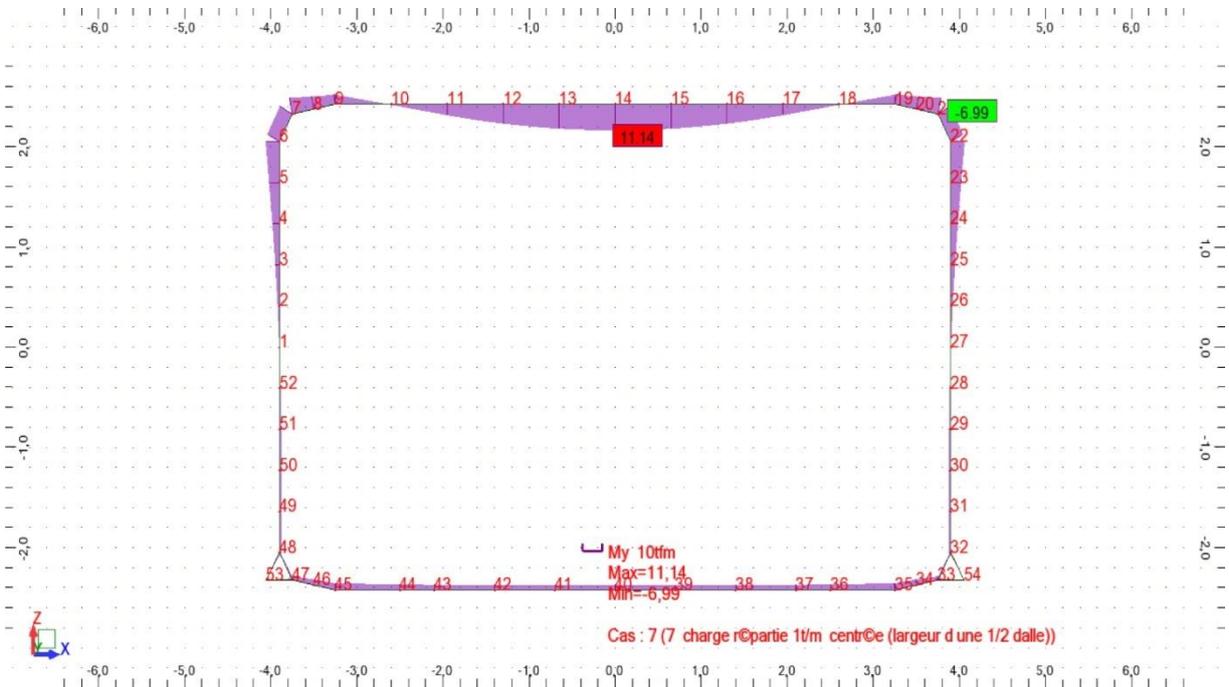


Figure 56: Cas 17 charge répartie centrée (largeur d'une 1/2 dalle)

**Cas 18: charge de A(l) sur les 2 cotés simultanément**

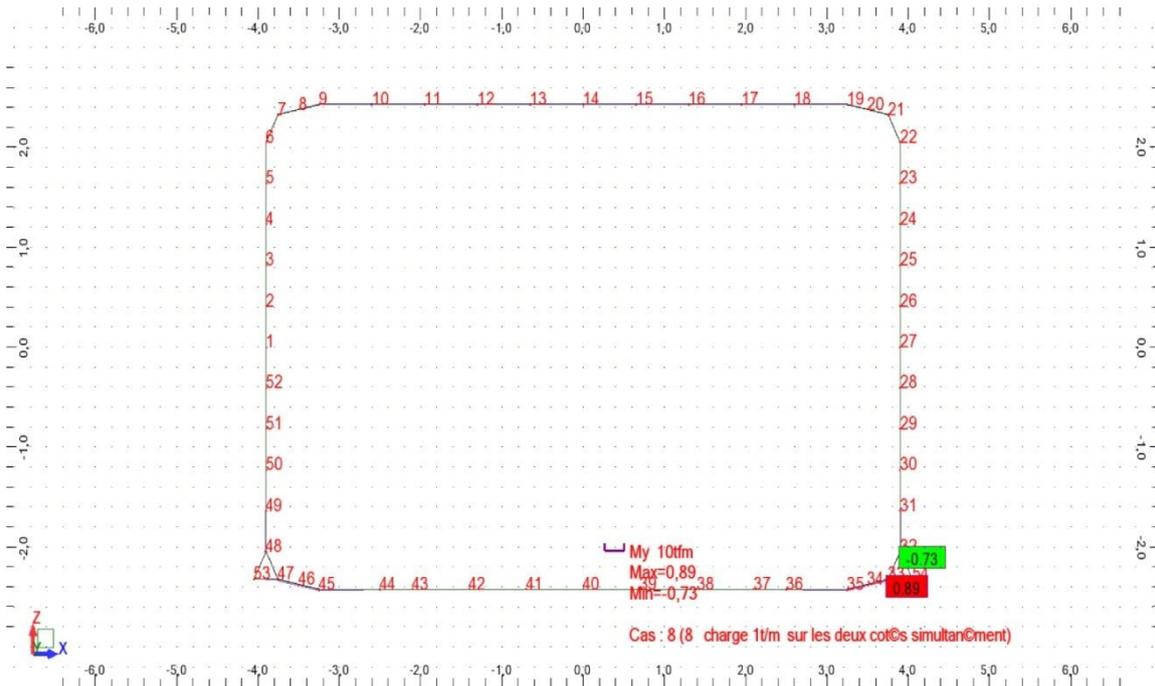


Figure 57: Cas 18 charge de A(l) sur les 2 cotés simultanément

**Cas 19: camion Bt sur le nœud n1(14)**

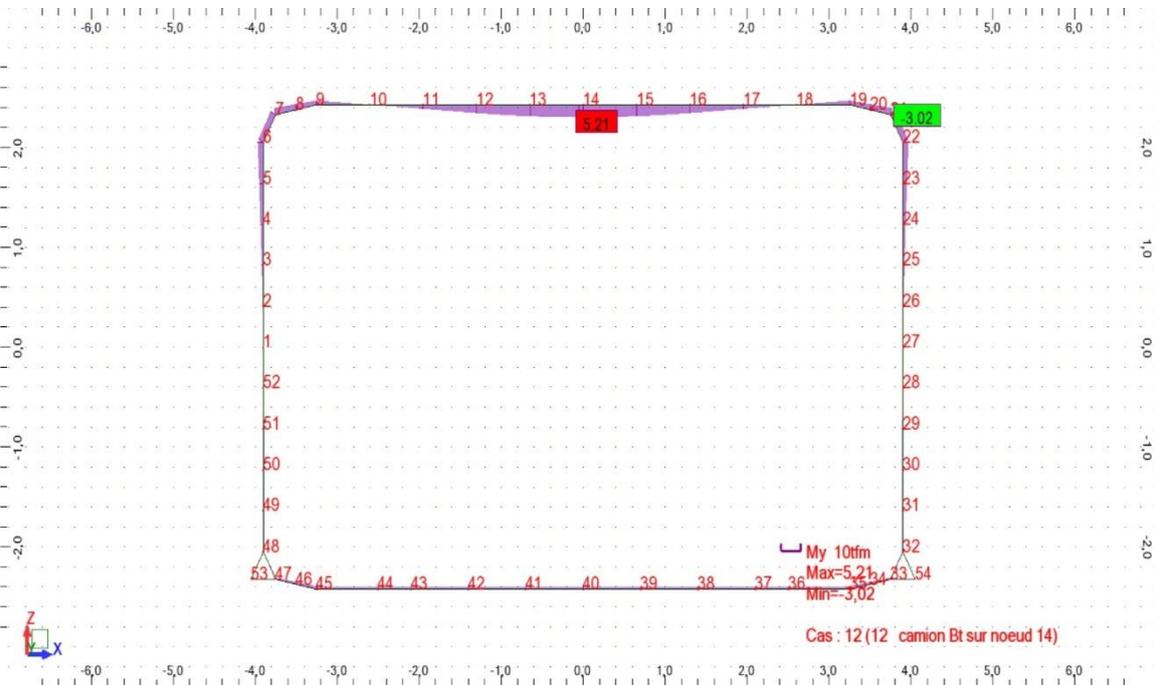


Figure 58: Cas 19 camion Bt sur le nœud n1(14)

**Cas 20: camion Bt sur le nœud n2(12)**

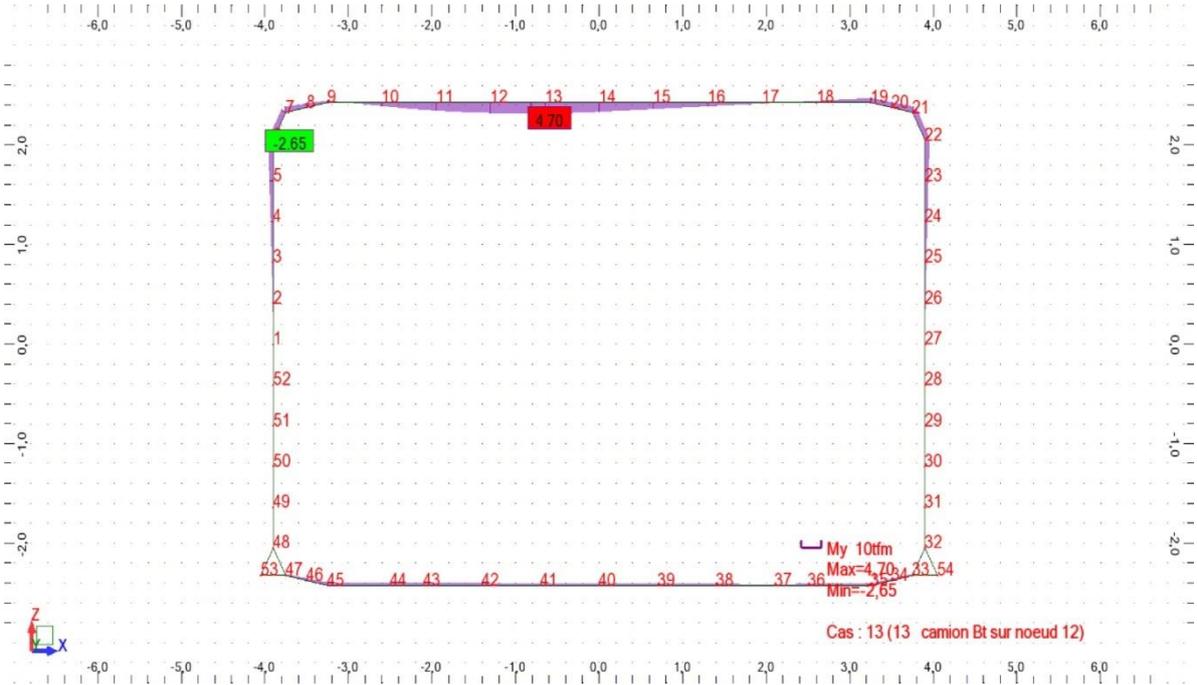


Figure 59: Cas 20 camion Bt sur le nœud n2(12)

**Cas 21: camion Bt sur le nœud n3(10)**

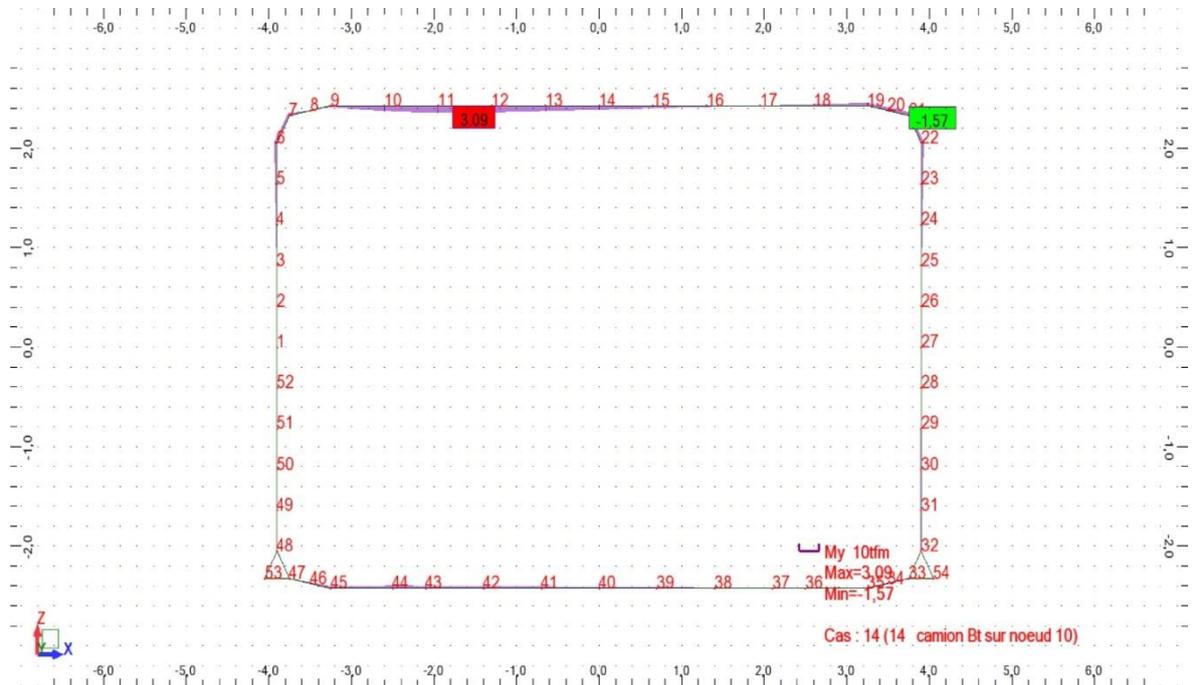


Figure 60: Cas 21 camion Bt sur le nœud n3(10)

3.10 Résultats des moments Mmax et Mmin des cas de chargement élémentaire

Tableau5:Mmax et Mmin des cas de chargement élémentaire

Cas de chargement élémentaire	Nœud	Max	Mmin	Nmax	Nmin
Cas 01: POIDS PROPRE AU STOCK	14/48	6,72	-0,17	5,29	-0,24
Cas 02:POIDS PROPRE AVANT COULAGE DU RADIER	14/47	5,42	-1,86	6,83	-0,09
Cas 03: remblais jusqu'à la dalle	33/32	4,28	-3,22	8,83	-3,77
Cas 04:remblais au dessus de la dalle	14/22	7,71	-5,95	8,54	0,68
Cas 05: ch. H dues aux remblais se trouvant au dessus du niveau de la dalle	33/32	1,58	-1,3	3,2	-1,51
Cas 06: 5.20 m de terre remblayés	47/48	6,19	-5,11	12,49	-5,96
Cas 07: 3.90 m de terre remblayés	47/48	3,2	-2,54	6,5	-2,98
Cas 08: roue de 10t sur noeud n1( 14)	14/21	4,71	-2,49	2,66	0
Cas 09: roue de 10t sur noeud n2( 12)	12/006	4,09	-2,19	3,24	-0,23
Cas 10: roue de 10t sur noeud n3( 10)	011/21	2,67	-1,3	3,66	-0,16
Cas 11: camion BC sur le noeud n1( 14)	14/21	5,15	-3,05	3,37	0,08
Cas 12: camion BC sur le noeud n2( 12)	13/006	4,71	-2,72	4,14	0,11
Cas 13: camion BC sur le noeud n3( 10)	012/21	3,09	-1,89	4,78	0,14
Cas 14: charge de 1t/m <sup>2</sup> sur la dalle supérieure	14/22	13,86	-9,31	14,42	0,94
Cas 15: charge de 1t/m <sup>2</sup> sur le coté gauche uniquement	47/48	1	-0,82	1,94	-0,98
Cas 16: charge de 1t/m <sup>2</sup> sur la 1/2 dalle gauche	13/21	8,33	-4,91	10,1	-0,45
Cas 17: charge répartie centrée (largeur d'une 1/2 dalle)	14/21	11,14	-6,99	8,06	0,24
Cas 18: charge de 1t/m <sup>2</sup> sur les 2 cotés simultanément	33/32	0,89	-0,73	1,78	-0,86
Cas 19: camion Bt sur le noeud n1( 14)	14/21	5,21	-3,02	3,3	0,07
Cas 20: camion Bt sur le noeud n2( 12)	13/006	4,67	-2,65	4,02	-0,25
Cas 21: camion Bt sur le noeud n3( 10)	011/21	3,03	-1,57	4,57	-0,18

3.11 Résultats des moments Mmax et Mmin des cas des combinaisons

Tableau 6: Mmax et Mmin des cas des combinaisons

Résultats des COMBINAISONS	Max	Mmin	Nmax	Nmin
Comb 01: stockage	9,072	-0,2295	7,1415	-0,324
Comb 02: terre jusqu'à la dalle à la construction +P.Propre	13,095	-2,511	21,141	-5,211
Comb 03: terre au 3/4 à la construction + P.Propre	11,637	-4,347	17,9955	-4,1445
Comb 04: roue de 10t centré sur le noeud n1( 14)	24,165	-8,0325	33,993	-10,206
Comb 05: roue de 10t centré sur le noeud n1( 12)	23,328	-1,755	34,776	-10,5165
Comb 06: roue de 10t centré sur le noeud n1( 10)	21,411	-6,8985	35,343	-10,422
Comb 07: camion BC centré sur le noeud n1( 14)	26,0465	-3,429	35,794	-10,078
Comb 08: camion BC centré sur le noeud n1( 12)	25,3425	-3,3615	37,026	-10,03
Comb 09: camion BC centré sur le noeud n1( 10)	22,7505	-2,9565	38,05	-9,982
Comb 10: charge répartie infinie	41,4065	-1,755	56,322	-10,078
Comb 11: charge répartie semi infinie	41,5825	-4,1175	56,578	-10,27
Comb 12: charge répartie sur la demie dalle gauche	53,3105	-3,672	69,634	-9,422
Comb 13: charge répartie centrée	57,8065	-2,5515	66,37	-8,318
Comb 14: charges permanentes phase chantier	25,6365	-12,5685	36,99	-6,3315
Comb 15: charges permanentes phase service	28,1448	-1,107	40,1598	-6,5556
Comb 16: charge latérale due au 1 t/m <sup>2</sup> sur les 2 cotés	35,417	-6,6285	56,6995	-15,7535
Comb 17: camion BC centré sur le noeud n1( 14)	26,1425	-9,4365	35,682	-10,094
Comb 18: camion BC centré sur le noeud n1( 12)	25,2785	-0,9855	36,834	-10,606
Comb 19: camion BC centré sur le noeud n1( 10)	22,6545	-4,077	37,714	-10,494

Le ferrailage des différents éléments de la structure sera obtenu à partir de l'enveloppe de ces calculs.

# **Chapitre 4**

Exploitation  
Des résultats.

### CHAPITRE 4 : EXPLOITATION DES RESULTATS

#### 4.1 Exploitation des résultats

Nous présentons dans ce qui suit :

- Les tableaux des sections d'aciers strictement nécessaires.
- La détermination des armatures des éléments courants

Les différentes sollicitations qui seront considérées ultérieurement ont été obtenues lors de l'analyse statique de la structure retenue par le biais du logiciel Robot.

Une section d'un élément peut avoir quatre types de sollicitations possibles :

1. Compression simple.
2. Traction simple.
3. Flexion simple.
4. Flexion composée.

La structure est soumise à des efforts normaux, des efforts tranchants et à des moments fléchissant, ils seront donc calculés en flexion composée.

Les éléments de l'ouvrage sont des éléments non exposée aux intempéries et solliciter par des moments de flexion et des efforts tranchants, donc le calcul se fera en flexion simple avec les sollicitations les plus défavorables en considérant la fissuration comme étant peu nuisible. Le ferrailage est calculé à l'état limité ultime et vérifié à l'état limite de service sous l'effet du moment le plus défavorable

BAEL ont pour objet de spécifier les principes et les méthodes les plus actuels devant présider et servir à la conception et aux calculs de vérification des structures et ouvrages en béton armé. Les règles de conception sont venu afin de remédier en faisant travailler les matériaux dans le domaine plastique et en adoptant des combinaisons d'action qui tiennent compte d'une part de la variation possible dans le cas défavorable des intensités des actions, d'autre part de la probabilité les quelles les actions entaient leurs valeurs.

### 4.2 Détermination des armatures à mettre en place (ELEMENT SUPERIEUR)

#### \*ACIERS COTE INTERIEUR DE LA DALLE

section minimale nécessaire :

$$A \geq 38.71 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

cette section peut être obtenue par un lit d'acier + 1 renfort

soit 12 aciers HA25 + 12 aciers HA16 en renfort sur 1.99 m = 41.72 cm<sup>2</sup>/ml (**ACIERS 1 et 2**)

#### \* ACIERS de répartition coté intérieur de la dalle

armatures principales : 38.71 cm<sup>2</sup>/ml

armatures de répartition (1/4 armatures principales) : 9.67 cm<sup>2</sup>/ml

soit HA 14 esp 15cm = 10.26 cm<sup>2</sup>/ml (**ACIERS 3**)

#### \* ACIERS DANS LES APPUIS SUP. COTE EXTERIEUR

section minimale nécessaire : au nœud 6  $A \geq 32.81 \text{ cm}^2/\text{ml}$

cette section peut être obtenue par un lit d'acier + 1 renfort

soit 12 aciers HA25 + 7 aciers HA14 en renfort sur 1.99 m = 35.03 cm<sup>2</sup>/ml (**ACIERS 4 et 5**)

section minimale nécessaire : au nœud 9  $A \geq 25.09 \text{ cm}^2/\text{ml}$

cette section peut être obtenue par un lit d'acier

soit 12 aciers HA25 sur 1.99 m = 29.60 cm<sup>2</sup>/ml (**ACIERS 4**)

#### \* ACIERS COTE EXTERIEUR DE LA DALLE

section minimale nécessaire :

$$A \geq 4.66 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

cette section peut être obtenue par un seul lit d'acier

soit 12 aciers HA 12 sur 1.99 m = 6.81 cm<sup>2</sup>/ml (**ACIERS 7**)

#### \* ACIERS de répartition coté extérieur de la dalle au niveau des appuis.

armatures principales: 25.09 cm<sup>2</sup>/ml (nœud 9)

armatures de répartition (1/4 armatures principales): 6.27 cm<sup>2</sup>/ml

soit HA 14 esp 15cm = 10.26 cm<sup>2</sup>/ml (**ACIERS6**)

#### \* ACIERS de répartition coté extérieur au centre de la dalle.

armatures principales: 4.66 cm<sup>2</sup>/ml

armatures de répartition (1/4 armatures principales): 1.17 cm<sup>2</sup>/ml

soit HA 8 esp 15cm = 3.33 cm<sup>2</sup>/ml (**ACIERS 8**)

#### \* ACIERS de répartition coté extérieur des montants du U supérieur.

armatures principales: 32.81 cm<sup>2</sup>/ml

armatures de répartition (1/4 armatures principales): 8.20 cm<sup>2</sup>/ml

soit HA 16 esp 20cm = 10.05 cm<sup>2</sup>/ml (**ACIERS 11**)

## Chapitre 4 : exploitation des résultats

---

### \* ACIERS coté intérieur des montants du U supérieur.

- Vérification vis à vis de la remonté de l'effort tranchant .

effort tranchant MAXI: 6.79 t/ml

$A_{t>} : 1.95 \text{ cm}^2/\text{ml}$

- Vérification vis à vis du Moment maxi.

$A_{>=} : 3.88 \text{ cm}^2/\text{ml}$

- Dimensionnement des aciers

section minimale nécessaire :

$A_{>=} : 3.88 \text{ cm}^2/\text{ml}$

soit 12 aciers HA 10 sur 1.99 m =  $4.73 \text{ cm}^2/\text{ml}$  (**ACIERS 9**)

### \* ACIERS de répartition coté intérieur des montants du U supérieur.

armatures principales:  $3.88 \text{ cm}^2/\text{ml}$

armatures de répartition (1/4 armatures principales):  $0.97 \text{ cm}^2/\text{ml}$

soit HA 10 esp 20cm =  $3.95 \text{ cm}^2/\text{ml}$  (**ACIERS 10**)

### \* EPINGLES des montants du "U" supérieur. (ACIERS 14)

Aucune armature d'effort tranchant n'est requise

les epingles 14 servent pour le montage et seront de diametre : 8

### \* EPINGLES de la dalle du "U" supérieur. (ACIERS 15)

Aucune armature d'effort tranchant n'est requise

les epingles 15 servent pour le montage et seront de diametre : 8

### \* VERIFICATION aux ROTULES .

#### - Vérification vis à vis de la remonté de l'effort tranchant .

effort tranchant MAXI: 6.79 t/ml

La section d'acier nécessaire pour remonter l'effort tranchant est donnée par:

$$A_{t/st} \geq V_u / (f_e/\gamma_{as})$$

$$A_{t \geq} : 1.95 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

#### - Vérification vis à vis de l'effort Normal.

La vérification vis à vis de l'effort normal se fait à l'ELS.

effort normal MAXI (elu) : 32.75 t/ml

effort normal MAXI (els) : 24.26 t/ml

La contrainte aux rotules est calculée sur la base d'une surface de contact

ayant pour largeur le quart du rayon soit:  $0.25 R = 0.25 * 0.17 = 0.04 \text{ m}$

## Chapitre 4 : exploitation des résultats

nous avons  $\sigma_{\max} = 5.71 \text{ Mpa}$  et  $0.6 \cdot f_{c28} = 21.00 \text{ Mpa}$   
 $\sigma_{\max} < 0.6 \cdot f_{c28} \rightarrow \text{OK}$

Le ferrailage de surface est donné par :

$$AS \geq 0.04 \cdot N_{\text{ser}} / (f_e \cdot 2/3) \quad \text{Soit} \quad AS \geq 0.36 \text{ cm}^2$$

Nous proposons de disposer 1 HA10 (**ACIERS 12**)

### Principe de ferrailage et repérage des aciers ELEMENT SUPERIEUR

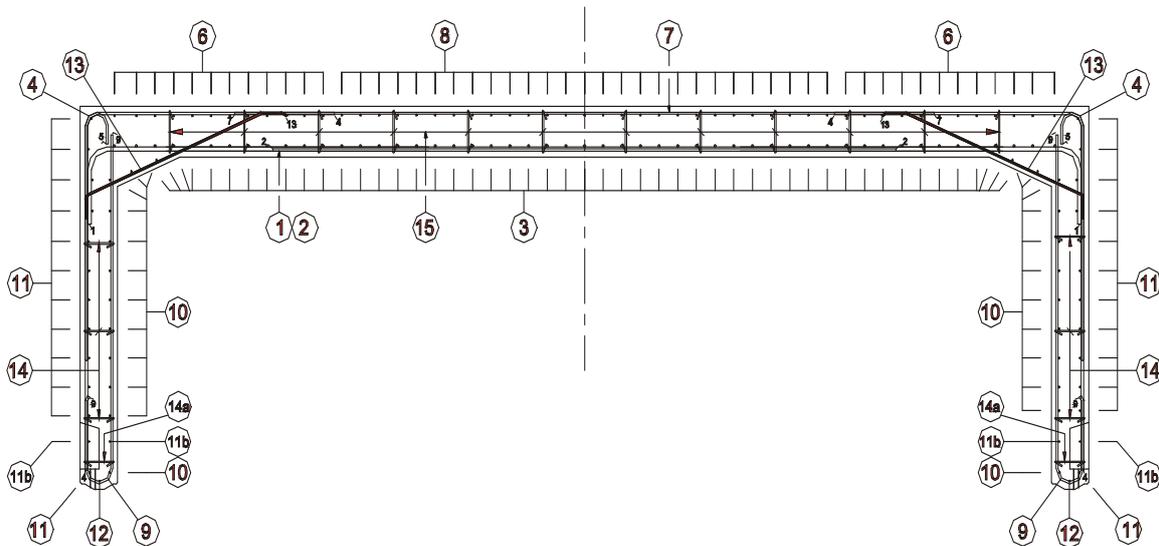


Figure 61 : coupe transversale élément supérieur

NOTA : Le schéma ci-dessus est un PRINCIPE de ferrailage NON A L'ECHELLE. Se référer à la nomenclature des aciers pour le nombre, le diamètre, et l'espacement des armatures

### 4.3 Détermination des armatures à mettre en place (PIEDROIT LATERAL)

#### \* ACIERS DANS LES APPUIS INF. COTE EXTERIEUR

section minimale nécessaire :

$$A \geq 7.76 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

cette section peut être obtenue par un seul lit d'acier

$$\text{soit } 12 \text{ aciers HA } 16 \text{ sur } 1.99 \text{ m} = 12.12 \text{ cm}^2/\text{ml} \text{ (ACIERS 55)}$$

#### \* ACIERS de répartition coté extérieur des montants du U supérieur.

armatures principales:  $7.76 \text{ cm}^2/\text{ml}$

armatures de répartition (1/4 armatures principales):  $1.94 \text{ cm}^2/\text{ml}$

$$\text{soit HA } 10 \text{ } 4.00 \text{ pm} = 3.16 \text{ cm}^2/\text{ml} \text{ (ACIERS 34)}$$

#### \* ACIERS coté intérieur des montants de la partie inférieure.

Vérification vis à vis de la remonté de l'effort tranchant .

effort tranchant MAXI:  $6.54 \text{ t/ml}$

$$A_t \geq 1.88 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Vérification vis à vis du Moment maxi.

$$A \geq 3.88 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Dimensionnement des aciers .

section minimale nécessaire :

$$A \geq 3.88 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

$$\text{soit } 12 \text{ aciers HA } 10 \text{ sur } 1.99 \text{ m} = 4.73 \text{ cm}^2/\text{ml} \text{ (ACIERS 32)}$$

#### \* ACIERS de répartition coté intérieur des montants de la partie inférieure.

armatures principales:  $3.88 \text{ cm}^2/\text{ml}$

armatures de répartition (1/4 armatures principales):  $0.97 \text{ cm}^2/\text{ml}$

$$\text{soit HA } 8 \text{ } 4.00 \text{ pm} = 2.01 \text{ cm}^2/\text{ml} \text{ (ACIERS 35)}$$

#### \* ACIERS 52, 53 DANS LES SEMELLES COTE INTERIEUR

section minimale nécessaire :

à 3 cm du clavage  $A \geq 11.94 \text{ cm}^2/\text{ml}$

dans le piedroit, coté intérieur  $A \geq 11.94 \text{ cm}^2/\text{ml}$

$$\text{-----> } A \geq 11.94 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

cette section peut être obtenue par un seul lit d'acier

$$\text{soit } 12 \text{ aciers HA } 16 \text{ sur } 1.99 \text{ m} = 12.13 \text{ cm}^2/\text{ml} \text{ (ACIERS 52)}$$

#### \* ACIERS de répartition face intérieure de la semelle intérieure.

armatures principales :  $11.94 \text{ cm}^2/\text{ml}$

armatures de répartition (1/4 armatures principales):  $2.99 \text{ cm}^2/\text{ml}$

## Chapitre 4 : exploitation des résultats

soit HA 12 4.00 pm = 4.52 cm<sup>2</sup>/ml (**ACIERS54**)

\* **ACIERS** de répartition face extérieure de la semelle intérieure.

armatures principales: 7.76 cm<sup>2</sup>/ml

armatures de répartition (1/4 armatures principales): 1.94 cm<sup>2</sup>/ml

soit HA 10 4.00 pm = 3.16 cm<sup>2</sup>/ml (**ACIERS51**)

\* **EPINGLES** dans la partie de la semelle à épaisseur constante. (**ACIEFRS37**)

Aucune armature d'effort tranchant n'est requise

les epingles 37 servent pour le montage et seront de diametre : 8

\* **EPINGLES** des montants de la partie inférieure. (**ACIERS36**)

Aucune armature d'effort tranchant n'est requise

les epingles 36 servent pour le montage et seront de diametre : 8

### Principe de ferrailage et repérage des aciers **PIEDROIT LATERAL**

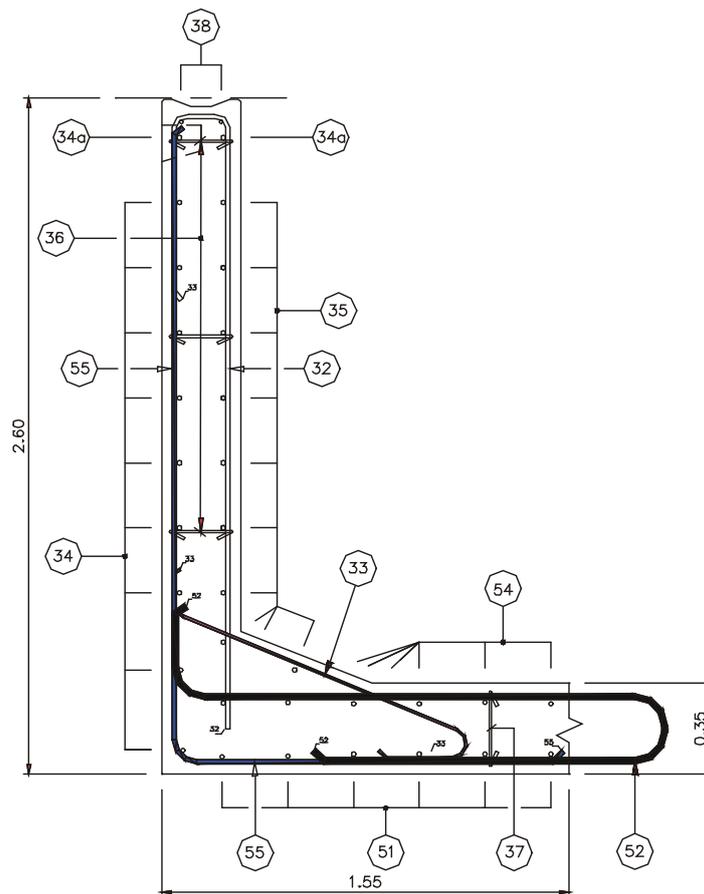


Figure 62: coupe transversale piédroit latérale

NOTA : Le schéma ci dessus est un PRINCIPE de ferrailage NON A L'ECHELLE. Se référer à la nomenclature des aciers pour le nombre, le diamètre, et l'espace des armatures

### 4.4 Détermination des armatures à mettre en place (RADIER)

#### \* ACIERS 58 DANS LE RADIER coté intérieur

section minimale nécessaire :

à 3 cm du clavage  $A \geq 11.57 \text{ cm}^2/\text{ml}$   
dans le radier, coté intérieur  $A \geq 11.54 \text{ cm}^2/\text{ml}$   
----->  $A \geq 11.57 \text{ cm}^2/\text{ml}$

au niveau du clavage cette section peut être obtenue par 1 seul acier  
soit 12 aciers HA 16 sur 1.99 m =  $12.13 \text{ cm}^2/\text{ml}$ .  
au milieu du radier cette section peut être obtenue par 1 lit d'acier  
composé de 2 aciers en "L" en recouvrement  
soit 12 aciers HA 16 sur 1.99 m =  $12.13 \text{ cm}^2/\text{ml}$  (**ACIERS 58**)

#### \* ACIERS de répartition coté intérieur du radier

armatures principales :  $11.57 \text{ cm}^2/\text{ml}$   
armatures de répartition (1/4 armatures principales):  $2.89 \text{ cm}^2/\text{ml}$   
soit HA 12 4.00 pm =  $4.52 \text{ cm}^2/\text{ml}$  (**ACIERS 59**)

#### \* ACIERS COTE EXTERIEUR DU RADIER

section minimale nécessaire :  
 $A \geq 4.66 \text{ cm}^2/\text{ml}$   
cette section peut être obtenue par un seul lit d'acier  
soit 12 aciers HA 10 sur 1.99 m =  $4.73 \text{ cm}^2/\text{ml}$  (**ACIERS 60**)

#### \* ACIERS de répartition coté extérieur au centre du radier.

armatures principales:  $4.66 \text{ cm}^2/\text{ml}$   
armatures de répartition (1/4 armatures principales):  $1.17 \text{ cm}^2/\text{ml}$   
soit HA 8 4.00 pm =  $2.01 \text{ cm}^2/\text{ml}$  (**ACIERS61**)

#### \* ACIERS filant du clavage.

les nervures sont en HA: 16  
La section des filants doit être supérieure de 20% à celle des nervures  
soit  $2.41 \text{ cm}^2$   
cette section est assurée par 2 filants en HA 16. (**ACIERS30**)

#### \* EPINGLES dans le radier. (ACIERS 65)

Aucune armature d'effort tranchant n'est requise  
les epingles 61 servent pour le montage et seront de diamètre : 8

## Chapitre 4 : exploitation des résultats

\* RESPECT des conditions géométriques du clavage.

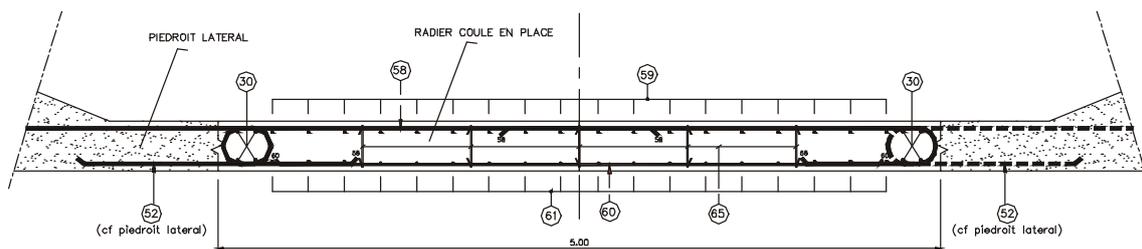
recouvrement intérieur des boucles.

le recouvrement doit être =  $10 P$ .

le recouvrement est de 0.31 m avec  $P=16$  mm

la condition est donc vérifiée

### Principe de ferrailage et repérage des aciers RADIER



**Figure 63: coupe transversale radier**

NOTA : Le schéma ci-dessus est un PRINCIPE de ferrailage NON A L'ECHELLE. Se référer à la nomenclature des aciers pour le nombre, le diamètre, et l'espacement des armatures

# **Conclusions**

## **CONCLUSION GENERALE :**

Ce projet de fin d'étude, nous a beaucoup aidé à mettre en pratique toutes nos connaissances acquises durant notre cycle de formation en génie civil, d'approfondir nos connaissances en basant sur les documents techniques et même d'application des règlements et de certaines méthodes, de mettre en évidence quelques principes de base qui doivent être pris en considération dans la conception des ponts cadres préfabriqués en béton armée. Notons qu'à la fin de ce projet qui constitue pour nous une première expérience, que l'utilisation de l'outil informatique pour l'analyse et le calcul des structures est très bénéfique en temps et en effort à condition de maîtriser les notions de bases des sciences de l'ingénieur, ainsi que les logiciels « Robot et autoCAD » lui mêmes.

D'autre part, la modélisation numérique des ponts reste toujours l'intérêt principal de beaucoup de concepteurs, le modèle utilisé est simple et peut aussi offrir une bonne contribution dans le domaine des ponts vu que la simulation en 3D avec des éléments robustes (plaques et coques) peut donner des résultats parfaits mais d'un autre côté sont très lourds de point de vue numériques. donc il est évident d'utiliser d'autres éléments structuraux pour simuler le comportement mécanique des ponts cadres surtout pour l'analyse dynamique ou vibratoire.

## Annexe 01 :

### Exploitation du sondage pressiometrique

#### Fichier de données

```
tremie ybdri mansour TLEMCEN
08/05/06          DATE DU CALCUL
4.05             LARGEUR FONDATION (m)
0.              LONGUEUR/LARGEUR FONDATION( 20 par defaut)
0.              PROFONDEUR FONDATION (m)
0.              ANCRAGE SUBSTRATUM (m)
5.60            HAUTEUR REMBLAI (m)
2.00            DENSITE REMBLAI (t/m2; 2 par defaut)
0.              FACTEUR DE PORTANCE (0.8 par defaut)
0.              COEFFICIENT ALPHA (0.5 par defaut)
1.45            COEFF. CONSOLIDATION (1.50 par defaut)
2.40            COEFF. DEVIATORIQUE (2.65 par defaut)
7              NOMBRE DE POINTS MESURES PRESSIOMETRIQUES
935.04,27.33    Ep,Plnette POINT 1 (bars) PROFONDEUR=0.
435.89,26.80    Ep,Plnette POINT 1 (bars) PROFONDEUR=0.
896.90,35.94    Ep,Plnette POINT I (bars) PROFOND.=(I-1)m
837.30,41.03    Ep,Plnette POINT I (bars) PROFOND.=(I-1)m
895.90,41.14    Ep,Plnette POINT 1 (bars) PROFONDEUR=0.
821.11,40.69    Ep,Plnette POINT I (bars) PROFOND.=(I-1)m
750.48,40.75    Ep,Plnette POINT I (bars) PROFOND.=(I-1)m
0              NOMBRE DE COUCHE MOLLE INTERCALAIRE
0.00,0.0, .00,0. Prof(m) ,Epais(m) ,Alpha,Ep(bars) COUCHE 1
```

## Annexe 01: Exploitation du sondage pressiometrique

\*\*\*\*\*  
\*           FONDATION SUPERFICIELLE RIGIDE           \*  
\* APPLICATION DE LA METHODE PRESSIOMETRIQUE \*  
\*       SECOA - PROGRAMME PRESSIO - MAI 1991       \*  
\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*  
PFE PONT CADRE BOUAB et DAUDI  
\*\*\*\*\*

DATE:08/03/20

CARACTERISTIQUES DE LA FONDATION SUPERFICIELLE  
\*\*\*\*\*

-LARGEUR:B=                   4.05m  
-LONGUEUR/LARGEUR:L/B= 20.00  
-PROFONDEUR:P0=               .00m  
-ANCRAGE SUBSTRATUM:h=       .00m  
-HAUTEUR REMBLAI:Hr=         5.60m  
-DENSITE REMBLAI:Dr=         2.00t/m3

\*\*\*\*\*  
\*       **CONTRAINTE ADMISIBILE ELS**       \*  
\*\*\*\*\*

VALEURS A PRENDRE EN COMPTE POUR LE CACUL DE ple:  
\*\*\*\*\*

PROFONDEUR=   .00m; PRESSION LIMITE NETTE= 27.33bars  
PROFONDEUR= 1   m; PRESSION LIMITE NETTE= 26.80bars  
PROFONDEUR= 2   m; PRESSION LIMITE NETTE= 35.94bars  
PROFONDEUR= 3   m; PRESSION LIMITE NETTE= 40.20bars  
PROFONDEUR= 4   m; PRESSION LIMITE NETTE= 40.20bars  
PROFONDEUR= 5   m; PRESSION LIMITE NETTE= 40.20bars  
PROFONDEUR= 6   m; PRESSION LIMITE NETTE= 40.20bars  
PROFONDEUR= 6.08m; PRESSION LIMITE NETTE= 40.20bars

NOTA:plmin= 26.80bars;LES PRESSIONS CI-DESSUS SONT  
BORNEES SUPERIEUREMENT PAR 1.5\*plmini= 40.20bars

PRESSION LIMITE EQUIVALENTE NETTE:ple= 36.23bars  
\*\*\*\*\*

NOTA:ple=MOYENNE GEOMETRIQUE DES PRESSIONS ENTRE  
LES PROFONDEURS P1=   .00m ET P2= 6.08m  
P2-P0=3a AVEC a=max(B/2;0.5m)= 2.03m  
ET P0-P1=b=min(h;a)=   .00m

**CONTRAINTE ADMISIBILE ELS:qa= 10.78bars**

NOTA:qa=Kp\*ple/3+q0 AVEC FACTEUR DE PORTANCE:  
Kp=   .80 ET MINIMUM DE LA CONTRAINTE VERTICALE A DROITE  
ET A GAUCHE DE LA FONDATION:q0=HAUTEUR REMBLAI\*DENSITE  
REMBLAI= 5.60\* 2.00= 11.20t/m2= 1.12bars

## Annexe 01: Exploitation du sondage pressiometrique

\*\*\*\*\*  
\*        **MODULE DE REACTION Kv DIFFERE**        \*  
\*\*\*\*\*

VALEURS A PRENDRE EN COMPTE POUR LE CALCUL DE EC ET ED

PROFONDEUR= .00m; MODULE PRESSIOMETRIQUE= 935.0bars  
PROFONDEUR= 1 m; MODULE PRESSIOMETRIQUE= 435.9bars  
PROFONDEUR= 2 m; MODULE PRESSIOMETRIQUE= 896.9bars  
PROFONDEUR= 3 m; MODULE PRESSIOMETRIQUE= 837.3bars  
PROFONDEUR= 4 m; MODULE PRESSIOMETRIQUE= 895.9bars  
PROFONDEUR= 5 m; MODULE PRESSIOMETRIQUE= 821.1bars  
PROFONDEUR= 6 m; MODULE PRESSIOMETRIQUE= 750.5bars  
VALEUR CONSTANTE PAR DEFAUT JUSQU`A LA  
PROFONDEUR= 32.40m; MODULE PRESSIOMETRIQUE= 750.5bars

MODULE DES 16 TRANCHES D`EPAISSEUR B/2

TRANCHE 1; MODULE PRESSIOMETRIQUE E 1= 593.1bars  
TRANCHE 2; MODULE PRESSIOMETRIQUE E 2= 866.2bars  
TRANCHE 3; MODULE PRESSIOMETRIQUE E 3= 814.5bars  
TRANCHE 4; MODULE PRESSIOMETRIQUE E 4= 750.5bars  
TRANCHE 5; MODULE PRESSIOMETRIQUE E 5= 750.5bars  
TRANCHE 6; MODULE PRESSIOMETRIQUE E 6= 750.5bars  
TRANCHE 7; MODULE PRESSIOMETRIQUE E 7= 750.5bars  
TRANCHE 8; MODULE PRESSIOMETRIQUE E 8= 750.5bars  
TRANCHE 9; MODULE PRESSIOMETRIQUE E 9= 750.5bars  
TRANCHE10; MODULE PRESSIOMETRIQUE E10= 750.5bars  
TRANCHE11; MODULE PRESSIOMETRIQUE E11= 750.5bars  
TRANCHE12; MODULE PRESSIOMETRIQUE E12= 750.5bars  
TRANCHE13; MODULE PRESSIOMETRIQUE E13= 750.5bars  
TRANCHE14; MODULE PRESSIOMETRIQUE E14= 750.5bars  
TRANCHE15; MODULE PRESSIOMETRIQUE E15= 750.5bars  
TRANCHE16; MODULE PRESSIOMETRIQUE E16= 750.5bars

MODULE EC (CONSOLIDATION) =E1 = 593.1bars

MODULE ED (DEVIATORIQUE) = 735.3bars

NOTA:ED=4/(1/E1+1/(.85\*E2)+1/E3,5+1/(2.5\*E6,8)+1/(2.5\*E9,16)) AVEC  
E3,5 MOYENNE HARMONIQUE DES MODULES E3 A E5 = 770.7bars  
E6,8 MOYENNE HARMONIQUE DES MODULES E6 A E8 = 750.5bars  
E9,16 MOYENNE HARMONIQUE DES MODULES E9 A E16 = 750.5bars

**MODULE DE REACTION Kv DIFFERE = 7.813bars/cm = 7813 t/m3**  
**Soit en tenant compte d'un coef de securité egal à 1.5**  
**Kv DIFFERE = 5210 t/m3**

NOTA:Kv=1/(SC+SD+SM):INVERSE DE LA SOMME DES SOUPLESSES:  
SC=ALPHA\*LAMDAC\*(B\*100.)/(9\*EC)= .0550cm/bars  
SD=2\*(.6\*100.)\*(LAMDAD\*B/.6)\*\*ALPHA)/(9\*ED)= .0730cm/bars  
SM=SOMME DES SOUPLESSES SM(I) DE CHACUNE DES COUCHES MOLLES= .0000cm/bars

AVEC COEFF. RHEOLOGIQUE:ALPHA= .50  
COEFF. (DE FORME) CONSOLIDATION:LAMDAC= 1.45  
COEFF. (DE FORME) DEVIATORIQUE:LAMDAD= 2.40

REMARQUES: AUCUN COEFFICIENT DE SECURITE N`EST PRIS EN COMPTE  
POUR LE CALCUL DE Kv. D`AUTRE PART SOUS LA CONTRAINTE  
ADMISSIBLE qa= 10.78bars/cm,TASSEMENT qa/Kv= 1.380cm

# Annexe02 :

## Fichiers de Données ROBOT

### Fichier DON0.txt

```
ROBOT PFE PONT CADRE BOUAB et DAUDI
NOEUD 54 ELEMENT 56
UNITES
L=M F=T
NOEUDS
  1 r  5  -3.900    0.000  -3.900    2.050
  7 r  2  -3.750    2.325  -3.250    2.425
 10 r  4  -2.600    2.425    0.000    2.425
  1 A 13 SYMETRIE  x=0  27 A 15 PAS -1
 45 r  2  -3.250   -2.425  -3.750   -2.325
 48 r  4  -3.900   -2.050  -3.900   -0.410
 45 A 52 SYMETRIE  x=0  35 A 28 PAS -1
 40 r  3    0.000   -2.425  -2.100   -2.425
 44      -2.500   -2.425
 41 A 44 SYMETRIE  x=0  39 A 36 PAS -1
 53      -4.050   -2.325
 53      SYMETRIE  x=0  54
ELEMENTS
  1 r 25    1    2
 27 r 24   27   28
 52      52    1
 53      48   53
 54      47   53
 55      32   54
 56      33   54
CARACTERISTIQUES
E= 1199391 Ro=2.500 Nu=0.2
  1 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
  2 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
  3 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
  4 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
  5 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
  6 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.550
  7 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.450
  8 B=1.000 H=0.450 var B=1.000 H=0.350
  9 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
 10 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
 11 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
 12 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
 13 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
 14 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
 15 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
 16 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
 17 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
 18 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
 19 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.450
 20 B=1.000 H=0.450 var B=1.000 H=0.550
 21 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.300
 22 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
 23 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
 24 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
 25 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
 26 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
 27 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
 28 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
```

## Annexe 02: Fichiers de Données ROBOT

```
29 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
30 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
31 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
33 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.450
34 B=1.000 H=0.450 var B=1.000 H=0.350
35 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
E=1.E-8 Ro=0.001
36 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
E= 1199391 Ro=2.500 Nu=0.2
37 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
38 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
39 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
40 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
41 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
42 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
E=1.E-8 Ro=0.001
43 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
E= 1199391 Ro=2.500 Nu=0.2
44 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
45 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.450
46 B=1.000 H=0.450 var B=1.000 H=0.550
48 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
49 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
50 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
51 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
52 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
54 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.550
56 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.550
E= 1199391 Ro=0.001 Nu=0.2
32 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.550
55 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.550
47 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.300
53 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.550
RELACHEMENT
1
ELEMENT 27 or UX UY RZ
ELEMENT 35 ext UX UY RZ
ELEMENT 43 ext UX UY RZ
APPUIS
44 UY RZ
1 RZ
27 UX RZ
33
38 RZ
42 RZ
CHARGEMENTS
CAS 0 POIDS PROPRE AU STOCK
POIDS PROPRE
44 A 54 PX PLUS
1 A 26 PY MOINS
FIN
```

## Annexe 02: Fichiers de Données ROBOT

### Fichier DON01.txt

```
ROBOT PFE PONT CADRE BOUAB et DAOUDI
NOEUD 54 ELEMENT 56
UNITES
L=M F=T
NOEUDS
 1 r 5 -3.900 0.000 -3.900 2.050
 7 r 2 -3.750 2.325 -3.250 2.425
10 r 4 -2.600 2.425 0.000 2.425
 1 A 13 SYMETRIE x=0 27 A 15 PAS -1
45 r 2 -3.250 -2.425 -3.750 -2.325
48 r 4 -3.900 -2.050 -3.900 -0.410
45 A 52 SYMETRIE x=0 35 A 28 PAS -1
40 r 3 0.000 -2.425 -2.100 -2.425
44 -2.500 -2.425
41 A 44 SYMETRIE x=0 39 A 36 PAS -1
53 -4.050 -2.325
53 SYMETRIE x=0 54
ELEMENTS
 1 r 25 1 2
27 r 24 27 28
52 52 1
53 48 53
54 47 53
55 32 54
56 33 54
CARACTERISTIQUES
E= 1199391 Ro=2.500 Nu=0.2
 1 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
 2 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
 3 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
 4 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
 5 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
 6 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.550
 7 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.450
 8 B=1.000 H=0.450 var B=1.000 H=0.350
 9 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
10 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
11 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
12 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
13 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
14 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
15 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
16 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
17 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
18 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
19 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.450
20 B=1.000 H=0.450 var B=1.000 H=0.550
21 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.300
22 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
23 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
24 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
25 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
26 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
27 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
28 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
29 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
30 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
31 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
33 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.450
34 B=1.000 H=0.450 var B=1.000 H=0.350
35 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
36 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
37 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
38 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
39 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
40 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
41 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
```

## Annexe 02: Fichiers de Données ROBOT

---

```
42 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
43 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
44 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
45 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.450
46 B=1.000 H=0.450 var B=1.000 H=0.550
48 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
49 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
50 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
51 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
52 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
54 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.550
56 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.550
E= 1199391 Ro=0.001 Nu=0.2
32 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.550
55 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.550
47 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.300
53 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.550
RELACHEMENT
  1
  27
ELEMENT 36 or UX UY RZ
ELEMENT 43 ext UX UY RZ
APPUIS
32          KY= 781.500      RZ
33  UX      KY=1042.000     RZ
34  UX      KY=1302.500     RZ
35  UX      KY=2605.000     RZ
36  UX      KY=1953.750     RZ
44  UX      KY=1953.750     RZ
45  UX      KY=2605.000     RZ
46  UX      KY=1302.500     RZ
47  UX      KY=1042.000     RZ
48          KY= 781.500     RZ
53  UX      KY= 390.750     RZ
54  UX      KY= 390.750     RZ
CHARGEMENT
CAS 0      POIDS PROPRE AVANT COULAGE DU RADIER
POIDS PROPRE
  1 A 35 PY MOINS
  44 A 56 PY MOINS
FIN
```

## Annexe 02: Fichiers de Données ROBOT

### Fichier DON1.txt

```
ROBOT PFE PONT CADRE BOUAB et DAOUDI
NOEUD 54 ELEMENT 56
UNITES
L=M F=T
NOEUDS
 1 r 5 -3.900 0.000 -3.900 2.050
 7 r 2 -3.750 2.325 -3.250 2.425
10 r 4 -2.600 2.425 0.000 2.425
 1 A 13 SYMETRIE x=0 27 A 15 PAS -1
45 r 2 -3.250 -2.425 -3.750 -2.325
48 r 4 -3.900 -2.050 -3.900 -0.410
45 A 52 SYMETRIE x=0 35 A 28 PAS -1
40 r 3 0.000 -2.425 -2.100 -2.425
44 -2.500 -2.425
41 A 44 SYMETRIE x=0 39 A 36 PAS -1
53 -4.050 -2.325
53 SYMETRIE x=0 54
ELEMENTS
 1 r 25 1 2
27 r 24 27 28
52 52 1
53 48 53
54 47 53
55 32 54
56 33 54
CARACTERISTIQUES
E= 1199391 Ro=2.500 Nu=0.2
 1 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
 2 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
 3 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
 4 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
 5 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
 6 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.550
 7 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.450
 8 B=1.000 H=0.450 var B=1.000 H=0.350
 9 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
10 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
11 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
12 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
13 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
14 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
15 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
16 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
17 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
18 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
19 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.450
20 B=1.000 H=0.450 var B=1.000 H=0.550
21 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.300
22 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
23 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
24 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
25 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
26 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
27 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
28 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
29 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
30 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
31 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
33 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.450
34 B=1.000 H=0.450 var B=1.000 H=0.350
35 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
36 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
37 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
38 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
39 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
40 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
41 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
```

## Annexe 02: Fichiers de Données ROBOT

---

```
42 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
43 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
44 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
45 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.450
46 B=1.000 H=0.450 var B=1.000 H=0.550
48 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
49 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
50 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
51 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
52 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
54 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.550
56 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.550
E= 1199391 Ro=0.001 Nu=0.2
32 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.550
55 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.550
47 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.300
53 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.550
RELACHEMENT
  1
  27
APPUIS
 32 UX KY= 781.500 RZ
 33 UX KY=1042.000 RZ
 34 UX KY=1302.500 RZ
 35 UX KY=2605.000 RZ
 36 UX KY=2995.750 RZ
 37 UX KY=2865.500 RZ
40 UY RZ
43 UX KY=2865.500 RZ
44 UX KY=2995.750 RZ
45 UX KY=2605.000 RZ
46 UX KY=1302.500 RZ
47 UX KY=1042.000 RZ
48 UX KY= 781.500 RZ
53 UX KY= 390.750 RZ
54 UX KY= 390.750 RZ
CHARGEMENT
CAS 0 POIDS PROPRE
POIDS PROPRE
  1 A 56 PY MOINS
FIN
```

## Annexe 02: Fichiers de Données ROBOT

### Fichier DON2C.txt

ROBOT PFE PONT CADRE BOUAB et DAOUDI

NOEUD 54 ELEMENT 56

UNITES

L=M F=T

NOEUDS

```
1 r 5 -3.900 0.000 -3.900 2.050
7 r 2 -3.750 2.325 -3.250 2.425
10 r 4 -2.600 2.425 0.000 2.425
1 A 13 SYMETRIE x=0 27 A 15 PAS -1
45 r 2 -3.250 -2.425 -3.750 -2.325
48 r 4 -3.900 -2.050 -3.900 -0.410
45 A 52 SYMETRIE x=0 35 A 28 PAS -1
40 r 3 0.000 -2.425 -2.100 -2.425
44 -2.500 -2.425
41 A 44 SYMETRIE x=0 39 A 36 PAS -1
53 -4.050 -2.325
53 SYMETRIE x=0 54
```

ELEMENTS

```
1 r 25 1 2
27 r 24 27 28
52 52 1
53 48 53
54 47 53
55 32 54
56 33 54
```

CARACTERISTIQUES

E= 1199391 Ro=2.500 Nu=0.2

```
1 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
2 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
3 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
4 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
5 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
6 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.550
7 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.450
8 B=1.000 H=0.450 var B=1.000 H=0.350
9 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
10 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
11 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
12 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
13 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
14 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
15 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
16 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
17 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
18 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
19 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.450
20 B=1.000 H=0.450 var B=1.000 H=0.550
21 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.300
22 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
23 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
24 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
25 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
26 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
27 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
28 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
29 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
30 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
31 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
33 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.450
34 B=1.000 H=0.450 var B=1.000 H=0.350
35 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
36 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
37 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
38 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
39 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
40 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
41 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
```

## Annexe 02: Fichiers de Données ROBOT

```
42 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
43 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
44 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
45 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.450
46 B=1.000 H=0.450 var B=1.000 H=0.550
48 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
49 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
50 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
51 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
52 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
54 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.550
56 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.550
E= 1199391 Ro=0.001 Nu=0.2
32 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.550
55 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.550
47 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.300
53 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.550
```

RELACHEMENT

1

27

APPUIS

```
32 UX KY= 781.500 RZ
33 UX KY=1042.000 RZ
34 UX KY=1302.500 RZ
35 UX KY=2605.000 RZ
36 UX KY=2995.750 RZ
37 UX KY=2865.500 RZ
40 UY RZ
43 UX KY=2865.500 RZ
44 UX KY=2995.750 RZ
45 UX KY=2605.000 RZ
46 UX KY=1302.500 RZ
47 UX KY=1042.000 RZ
48 UX KY= 781.500 RZ
53 UX KY= 390.750 RZ
54 UX KY= 390.750 RZ
```

CHARGEMENT

CAS 1 5.20 m de terre remblayés

noeud

53 FX= 1.788

elements

```
48 PX= 3.069 JU PX= 2.798 PROJETE
49 PX= 2.798 JU PX= 2.528 PROJETE
50 PX= 2.528 JU PX= 2.257 PROJETE
51 PX= 2.257 JU PX= 1.987 PROJETE
52 PX= 1.987 JU PX= 1.716 PROJETE
1 PX= 1.716 JU PX= 1.445 PROJETE
2 PX= 1.445 JU PX= 1.175 PROJETE
3 PX= 1.175 JU PX= 0.904 PROJETE
4 PX= 0.904 JU PX= 0.634 PROJETE
5 PX= 0.634 JU PX= 0.363 PROJETE
```

noeud

7 FX= 0.100

21 FX= -0.100

elements

```
22 PX= -0.363 JU PX= -0.634 PROJETE
23 PX= -0.634 JU PX= -0.904 PROJETE
24 PX= -0.904 JU PX= -1.175 PROJETE
25 PX= -1.175 JU PX= -1.445 PROJETE
26 PX= -1.445 JU PX= -1.716 PROJETE
27 PX= -1.716 JU PX= -1.987 PROJETE
28 PX= -1.987 JU PX= -2.257 PROJETE
29 PX= -2.257 JU PX= -2.528 PROJETE
30 PX= -2.528 JU PX= -2.798 PROJETE
31 PX= -2.798 JU PX= -3.069 PROJETE
```

noeud

54 FX= -1.788

## Annexe 02: Fichiers de Données ROBOT

---

CAS 2 3.90 m de terre remblayés

```

      noeud
53 FX= 1.316
      elements
48 PX= 2.211 JU PX= 1.940 PROJETE
49 PX= 1.940 JU PX= 1.670 PROJETE
50 PX= 1.670 JU PX= 1.399 PROJETE
51 PX= 1.399 JU PX= 1.129 PROJETE
52 PX= 1.129 JU PX= 0.858 PROJETE
  1 PX= 0.858 JU PX= 0.587 PROJETE
  2 PX= 0.587 JU PX= 0.317 PROJETE
  3 PX= 0.317 JU PX= 0.046 PROJETE
  4 x=0.000 PX= 0.046 JU x=0.171 PX= 0.000 PROJETE RELATIF
      elements
23 x=0.829 PX= 0.000 JU x=1.000 PX= -0.046 PROJETE RELATIF
24 PX= -0.046 JU PX= -0.317 PROJETE
25 PX= -0.317 JU PX= -0.587 PROJETE
26 PX= -0.587 JU PX= -0.858 PROJETE
27 PX= -0.858 JU PX= -1.129 PROJETE
28 PX= -1.129 JU PX= -1.399 PROJETE
29 PX= -1.399 JU PX= -1.670 PROJETE
30 PX= -1.670 JU PX= -1.940 PROJETE
31 PX= -1.940 JU PX= -2.211 PROJETE
      noeud
54 FX= -1.316
```

FIN

## Annexe 02: Fichiers de Données ROBOT

### Fichier DON2K50.txt

ROBOT PFE PONT CADRE BOUAB et DAOUDI

NOEUD 54 ELEMENT 56

UNITES

L=M F=T

NOEUDS

```
1 r 5 -3.900 0.000 -3.900 2.050
7 r 2 -3.750 2.325 -3.250 2.425
10 r 4 -2.600 2.425 0.000 2.425
1 A 13 SYMETRIE x=0 27 A 15 PAS -1
45 r 2 -3.250 -2.425 -3.750 -2.325
48 r 4 -3.900 -2.050 -3.900 -0.410
45 A 52 SYMETRIE x=0 35 A 28 PAS -1
40 r 3 0.000 -2.425 -2.100 -2.425
44 -2.500 -2.425
41 A 44 SYMETRIE x=0 39 A 36 PAS -1
53 -4.050 -2.325
53 SYMETRIE x=0 54
```

ELEMENTS

```
1 r 25 1 2
27 r 24 27 28
52 52 1
53 48 53
54 47 53
55 32 54
56 33 54
```

CARACTERISTIQUES

E= 1199391 Ro=2.500 Nu=0.2

```
1 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
2 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
3 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
4 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
5 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
6 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.550
7 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.450
8 B=1.000 H=0.450 var B=1.000 H=0.350
9 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
10 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
11 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
12 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
13 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
14 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
15 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
16 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
17 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
18 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
19 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.450
20 B=1.000 H=0.450 var B=1.000 H=0.550
21 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.300
22 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
23 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
24 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
25 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
26 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
27 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
28 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
29 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
30 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
31 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
33 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.450
34 B=1.000 H=0.450 var B=1.000 H=0.350
35 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
36 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
37 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
38 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
39 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
40 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
41 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
```

## Annexe 02: Fichiers de Données ROBOT

```
42 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
43 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
44 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
45 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.450
46 B=1.000 H=0.450 var B=1.000 H=0.550
48 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
49 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
50 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
51 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
52 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
54 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.550
56 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.550
E= 1199391 Ro=0.001 Nu=0.2
32 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.550
55 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.550
47 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.300
53 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.550
RELACHEMENT
1
27
APPUIS
32 KX= 166.998 KY= 781.500 RZ
33 KX= 201.129 KY=1042.000 RZ
34 UX KY=1302.500 RZ
35 UX KY=2605.000 RZ
36 UX KY=2995.750 RZ
37 UX KY=2865.500 RZ
40 UY RZ
43 UX KY=2865.500 RZ
44 UX KY=2995.750 RZ
45 UX KY=2605.000 RZ
46 UX KY=1302.500 RZ
47 KX= 201.129 KY=1042.000 RZ
48 KX= 166.998 KY= 781.500 RZ
53 UX KY= 390.750 RZ
54 UX KY= 390.750 RZ
49 KX= 199.910 UY RZ
50 KX= 199.910 UY RZ
51 KX= 199.910 UY RZ
52 KX= 199.910 UY RZ
1 KX= 199.910 UY RZ
2 KX= 199.910 UY RZ
3 KX= 199.910 UY RZ
4 KX= 199.910 UY RZ
5 KX= 199.910 UY RZ
6 KX= 166.998 UY RZ
22 KX= 166.998 UY RZ
23 KX= 199.910 UY RZ
24 KX= 199.910 UY RZ
25 KX= 199.910 UY RZ
26 KX= 199.910 UY RZ
27 KX= 199.910 UY RZ
28 KX= 199.910 UY RZ
29 KX= 199.910 UY RZ
30 KX= 199.910 UY RZ
31 KX= 199.910 UY RZ
CHARGEMENT
CAS 1 remblais jusqu'à la dalle
53 FX= 2.709
elements
48 PX= 4.650 JU PX= 4.240 PROJETE
49 PX= 4.240 JU PX= 3.830 PROJETE
50 PX= 3.830 JU PX= 3.420 PROJETE
51 PX= 3.420 JU PX= 3.010 PROJETE
52 PX= 3.010 JU PX= 2.600 PROJETE
1 PX= 2.600 JU PX= 2.190 PROJETE
2 PX= 2.190 JU PX= 1.780 PROJETE
3 PX= 1.780 JU PX= 1.370 PROJETE
4 PX= 1.370 JU PX= 0.960 PROJETE
```

## Annexe 02: Fichiers de Données ROBOT

---

```
5 PX= 0.960 JU PX= 0.550 PROJETE
   noeud
7 FX= 0.151
21 FX= -0.151
   elements
22 PX= -0.550 JU PX= -0.960 PROJETE
23 PX= -0.960 JU PX= -1.370 PROJETE
24 PX= -1.370 JU PX= -1.780 PROJETE
25 PX= -1.780 JU PX= -2.190 PROJETE
26 PX= -2.190 JU PX= -2.600 PROJETE
27 PX= -2.600 JU PX= -3.010 PROJETE
28 PX= -3.010 JU PX= -3.420 PROJETE
29 PX= -3.420 JU PX= -3.830 PROJETE
30 PX= -3.830 JU PX= -4.240 PROJETE
31 PX= -4.240 JU PX= -4.650 PROJETE

   noeud
54 FX= -2.709

CAS 2      remblais au dessus de la dalle
6 FY= -0.600
   elements
7 A 20 Py= -2.000 PROJETE
noeud
22 FY= -0.600

CAS 3      ch. H dues aux remblais se trouvant au-dessus du niveau de la dalle
53 FX= 0.550
   elements
48 A 52 Px= 1.000
1 A 5 Px= 1.000
noeud
7 FX= 0.550
21 FX= -0.550
   elements
22 A 31 Px= -1.000
   noeud
54 FX= -0.550
FIN
```

## Annexe 02: Fichiers de Données ROBOT

### Fichier DON3K50.txt

ROBOT PFE PONT CADRE BOUAB et DAOUDI

NOEUD 54 ELEMENT 56

UNITES

L=M F=T

NOEUDS

```
1 r 5 -3.900 0.000 -3.900 2.050
7 r 2 -3.750 2.325 -3.250 2.425
10 r 4 -2.600 2.425 0.000 2.425
1 A 13 SYMETRIE x=0 27 A 15 PAS -1
45 r 2 -3.250 -2.425 -3.750 -2.325
48 r 4 -3.900 -2.050 -3.900 -0.410
45 A 52 SYMETRIE x=0 35 A 28 PAS -1
40 r 3 0.000 -2.425 -2.100 -2.425
44 -2.500 -2.425
41 A 44 SYMETRIE x=0 39 A 36 PAS -1
53 -4.050 -2.325
53 SYMETRIE x=0 54
```

ELEMENTS

```
1 r 25 1 2
27 r 24 27 28
52 52 1
53 48 53
54 47 53
55 32 54
56 33 54
```

CARACTERISTIQUES

E= 3598173 Ro=2.500 Nu=0.2

```
1 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
2 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
3 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
4 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
5 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
6 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.550
7 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.450
8 B=1.000 H=0.450 var B=1.000 H=0.350
9 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
10 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
11 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
12 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
13 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
14 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
15 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
16 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
17 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
18 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
19 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.450
20 B=1.000 H=0.450 var B=1.000 H=0.550
21 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.300
22 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
23 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
24 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
25 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
26 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
27 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
28 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
29 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
30 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
31 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
33 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.450
34 B=1.000 H=0.450 var B=1.000 H=0.350
35 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
36 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
37 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
38 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
39 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
40 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
41 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
```

## Annexe 02: Fichiers de Données ROBOT

```
42 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
43 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
44 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.350
45 B=1.000 H=0.350 var B=1.000 H=0.450
46 B=1.000 H=0.450 var B=1.000 H=0.550
48 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
49 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
50 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
51 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
52 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.300
54 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.550
56 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.550
E= 3598173 Ro=0.001 Nu=0.2
32 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.550
55 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.550
47 B=1.000 H=0.550 var B=1.000 H=0.300
53 B=1.000 H=0.300 var B=1.000 H=0.550
RELACHEMENT
1
27
APPUIS
32 KX= 333.996 KY=1563.000 RZ
33 KX= 402.258 KY=2084.000 RZ
34 UX KY=2605.000 RZ
35 UX KY=5210.000 RZ
36 UX KY=5991.500 RZ
37 UX KY=5731.000 RZ
40 UY RZ
43 UX KY=5731.000 RZ
44 UX KY=5991.500 RZ
45 UX KY=5210.000 RZ
46 UX KY=2605.000 RZ
47 KX= 402.258 KY=2084.000 RZ
48 KX= 333.996 KY=1563.000 RZ
53 UX KY= 781.500 RZ
54 UX KY= 781.500 RZ
49 KX= 399.820 UY RZ
50 KX= 399.820 UY RZ
51 KX= 399.820 UY RZ
52 KX= 399.820 UY RZ
1 KX= 399.820 UY RZ
2 KX= 399.820 UY RZ
3 KX= 399.820 UY RZ
4 KX= 399.820 UY RZ
5 KX= 399.820 UY RZ
6 KX= 333.996 UY RZ
22 KX= 333.996 UY RZ
23 KX= 399.820 UY RZ
24 KX= 399.820 UY RZ
25 KX= 399.820 UY RZ
26 KX= 399.820 UY RZ
27 KX= 399.820 UY RZ
28 KX= 399.820 UY RZ
29 KX= 399.820 UY RZ
30 KX= 399.820 UY RZ
31 KX= 399.820 UY RZ
CHARGEMENT
CAS 1 camion BC sur noeud 14
elements
11 x=0.912 PY= -2.302 x=1 PY= -2.302 projete relatif
12 PY= -2.302 projete
13 x=0 PY= -2.302 x=0.781 PY= -2.302 projete relatif
14 x=0.219 PY= -2.302 x=1 PY= -2.302 projete relatif
15 PY= -2.302 projete
16 x=0 PY= -2.302 x=0.088 PY= -2.302 projete relatif
CAS 2 camion BC sur noeud 12
elements
```

## Annexe 02: Fichiers de Données ROBOT

```
9 x=0.912 PY= -2.302 x=1 PY= -2.302 projete relatif
10 PY= -2.302 projete
11 x=0 PY= -2.302 x=0.781 PY= -2.302 projete relatif
12 x=0.219 PY= -2.302 x=1 PY= -2.302 projete relatif
13 PY= -2.302 projete
14 x=0 PY= -2.302 x=0.088 PY= -2.302 projete relatif
19 x=0.470 PY= -1.208 x=1 PY= -1.208 projete relatif
20 PY= -1.208 projete
21 x=0 PY= -1.208 x=1.000 PY= -1.208 projete relatif

CAS 3 camion BC sur noeud 10
elements
6 x=0.000 PY= -2.302 x=1 PY= -2.302 projete relatif
7 A 8 PY= -2.302 projete
9 x=0 PY= -2.302 x=0.781 PY= -2.302 projete relatif
10 x=0.219 PY= -2.302 x=1 PY= -2.302 projete relatif
11 PY= -2.302 projete
12 x=0 PY= -2.302 x=0.088 PY= -2.302 projete relatif
17 x=0.181 PY= -1.208 x=1 PY= -1.208 projete relatif
18 x=0 PY= -1.208 x=0.973 PY= -1.208 projete relatif

CAS 4 charge 1t/m² sur la dalle supérieure
elements
6 A 21 PY= -3.350 projete

CAS 5 charge 1t/m² sur le coté gauche uniquement
noeud
53 Fx= 0.275
elements
48 A 52 PX= 0.500 projete
1 A 5 PX= 0.500 projete
noeud
7 Fx= 0.275

CAS 6 charge répartie 1t/m² sur la 1/2 dalle gauche
elements
6 A 13 PY= -3.350 projete

CAS 7 charge répartie 1t/m² centrée (largeur d une 1/2 dalle)
elements
10 x=0.885 PY= -3.350 x=1 PY= -3.350 projete relatif
11 A 16 PY= -3.350 projete
17 x=0 PY= -3.350 x=0.115 PY= -3.350 projete relatif

CAS 8 charge 1t/m² sur les deux cotés simultanément
elements
noeud
53 Fx= 0.275
elements
48 A 52 PX= 0.500 projete
1 A 5 PX= 0.500 projete
noeud
7 Fx= 0.275
noeud
21 Fx= -0.275
elements
22 A 31 PX= -0.500 projete
noeud
54 Fx= -0.275

CAS 9 roue de 10t sur noeud 14
elements
12 x=0.796 PY= -2.796 x=1 PY= -2.796 projete relatif
13 A 14 PY= -2.796 projete
15 x=0 PY= -2.796 x=0.204 PY= -2.796 projete relatif

CAS 10 roue de 10t sur noeud 12
elements
10 x=0.796 PY= -2.796 x=1 PY= -2.796 projete relatif
```

## Annexe 02: Fichiers de Données ROBOT

---

```
11 A 12    PY= -2.796 projete
13 x=0     PY= -2.796 x=0.204 PY= -2.796 projete relatif

CAS 11 roue de 10t sur noeud 10
      elements
  8 x=0.470 PY= -2.796 x=1     PY= -2.796 projete relatif
  9 A 10    PY= -2.796 projete
 11 x=0     PY= -2.796 x=0.204 PY= -2.796 projete relatif

CAS 12 camion Bt sur noeud 14
      elements
 12 x=0.027 PY= -2.253 x=1     PY= -2.253 projete relatif
 13 x=0     PY= -2.253 x=0.896 PY= -2.253 projete relatif
 14 x=0.104 PY= -2.253 x=1     PY= -2.253 projete relatif
 15 x=0     PY= -2.253 x=0.973 PY= -2.253 projete relatif

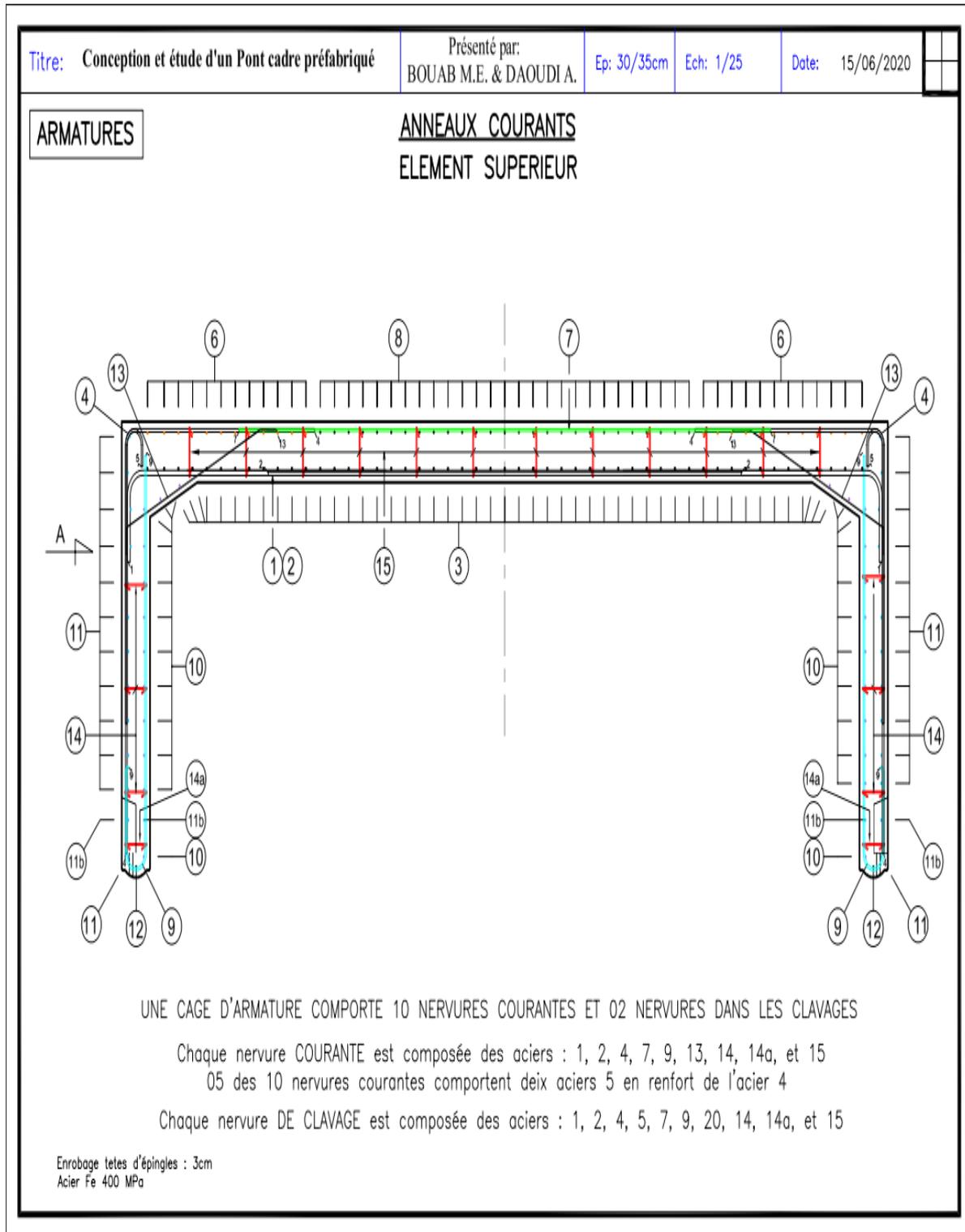
CAS 13 camion Bt sur noeud 12
      elements
 10 x=0.027 PY= -2.253 x=1     PY= -2.253 projete relatif
 11 x=0     PY= -2.253 x=0.896 PY= -2.253 projete relatif
 12 x=0.104 PY= -2.253 x=1     PY= -2.253 projete relatif
 13 x=0     PY= -2.253 x=0.973 PY= -2.253 projete relatif

CAS 14 camion Bt sur noeud 10
      elements
  6 x=0.117 PY= -2.253 x=1     PY= -2.253 projete relatif
  7 A  8    PY= -2.253 projete
  9 x=0     PY= -2.253 x=0.896 PY= -2.253 projete relatif
 10 x=0.104 PY= -2.253 x=1     PY= -2.253 projete relatif
 11 x=0     PY= -2.253 x=0.973 PY= -2.253 projete relatif

FIN
```

# Annexe03 :

## Plans de Ferrailage détaillés



Conception et étude d'un Pont cadre préfabriqué

Présenté par:  
BOUAB M.E. & DAOUADI A.

Ep: 30/35cm

Date: 15/06/2020

NOMENCLATURE ELEMENT SUPERIEUR

N°	Nbre	Diam (mm)	Long (m)	Ep (m)	Façonnage
1	12	25	8.78	VCN	
2	12	16	5.00	VCN	5.00
3	49	14	1.42	0.15	1.42
3a	2	14	1.92	--	1.92
4	2x12 =24	25	4.37	VCN	
5	2x7 =14	14	2.76	VCN	
7	12	12	5.62	VCN	5.62
6	12x2 =24	14	1.42	0.15	1.42
8	27	8	1.42	0.15	1.42
11	12x2 =24	16	1.92	0.20	1.92
10	12x2 =24	10	1.92	0.20	1.92
11a	2x2 =4	14	1.43	--	

VCN = VOIR CALEPINAGE DES NERVIRES (0.08 + 0.23 + 0.10 + 0.18 + 5x0.162 + 0.18 + 0.10 + 0.23 + 0.08 = 1.99m)

N°	Nbre	Diam (mm)	Long (m)	Ep (m)	Façonnage
11b	2	14	2.33	--	
9	2x12 =24	10	3.02	VCN	
12	2	10	1.92	--	1.92
13	2x10 =20	10	1.85	VCN	
14	12x3x2 =72	8	0.46	VCN x 0.60	0.24
14a	12x1x2 =24	8	0.46	VCN x 0.60	0.24
15	12x10 =120	8	0.53	VCN x 0.60	0.29
20	2x2 =4	10	1.11	-	
24	49x2 =98	14	1.92	0.15	

Conception et étude d'un Pont cadre préfabriqué

Présenté par:  
BOUAB M.E. & DAOUDI A.

Ep: 30/35cm

Date: 15/06/2020

NOMENCLATURE PIEDROIT LATERAL

N°	Nbre	Diam (mm)	Long (m)	Esp (m)	Façonnage
52	12	16	3.38	0.165	
55	12	16	3.88	0.165	
32	12	10	3.06	0.165	
34	9	10	1.92	0.25	1.92
34a	2	10	1.37	--	0.40
34b	1	10	2.17	--	0.85
35	10	8	1.92	0.25	1.92
51	6	10	1.92	0.25	1.92
54	6	12	1.92	0.25	1.92
33	12	10	1.71	0.165	

N°	Nbre	Diam (mm)	Long (m)	Esp (m)	Façonnage
37	12	8	0.57	0.165 x 0.75	0.29 ] 0.08
36	12x3 =36	8	0.45	0.165 x 0.75	0.24 ] 0.08
38	2x2 =4	10	1.92	--	1.92 Dans les rouleaux

Diamètres	8	10	12	14	16	20	25	32	40
Etriers et Cordes	30	40	50	70	100	120	250	300	400
Ancrages	70	100	100	150	150	200	250	300	400
Cordes		150	200	200	250	300	400	500	500

Conception et étude d'un Pont cadre préfabriqué

Présenté par:  
BOUAB M.E. & DAOUDI A.

Ep: 30/35cm

Date: 15/06/2020

NOMENCLATURE pour 1 CLAVAGE

N°	Nbre	Diam (mm)	Long (m)	Esp (m)	Façonnage
21	49x2 =98	14	1.17	0.15	
22	4	16	7.42	-	

NOMENCLATURE RADIER COULE EN PLACE

N°	Nbre	Diam (mm)	Long (m)	Esp (m)	Façonnage
58	12	16	4.05	0.165	
58a	12	16	4.05	0.165	
59	18	12	1.99	0.25	
60	12	10	4.10	0.165	
61	18	8	1.99	0.25	
65	12x5 =60	8	0.56	0.165 x 0.75	
30	2x4 =8	16	1.99	--	

DIAMETRES MINIMAUX DE CINTRAGE DES ACIERS H.A										
Diamètres	8	10	12	14	16	20	25	32	40	
Etriers et Cordes	30	40	50	70	100	120				
Ancreages	70	100	100	150	150	200	250	300	400	
Coudes	150	200	200	200	250	300	400	500	500	

Conception et étude d'un Pont cadre préfabriqué

Présenté par:  
BOUAB M.E. & DAOUDI A.

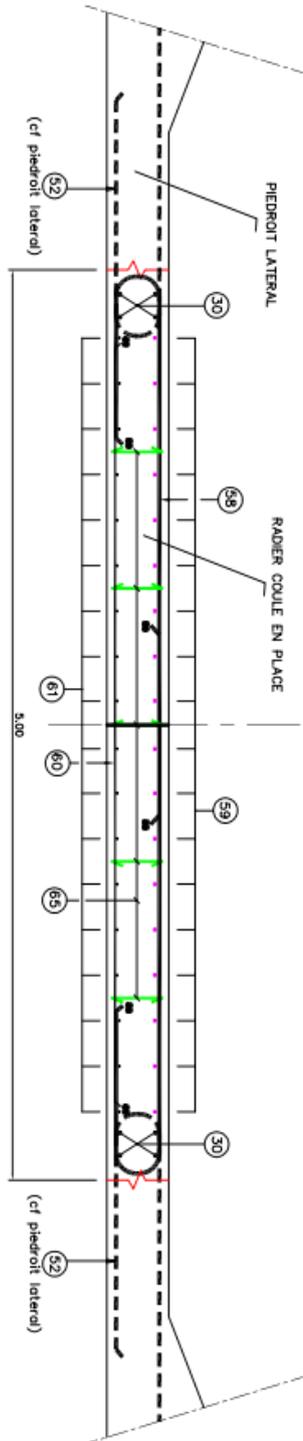
Ep: 30/35cm

Ech: 1/25

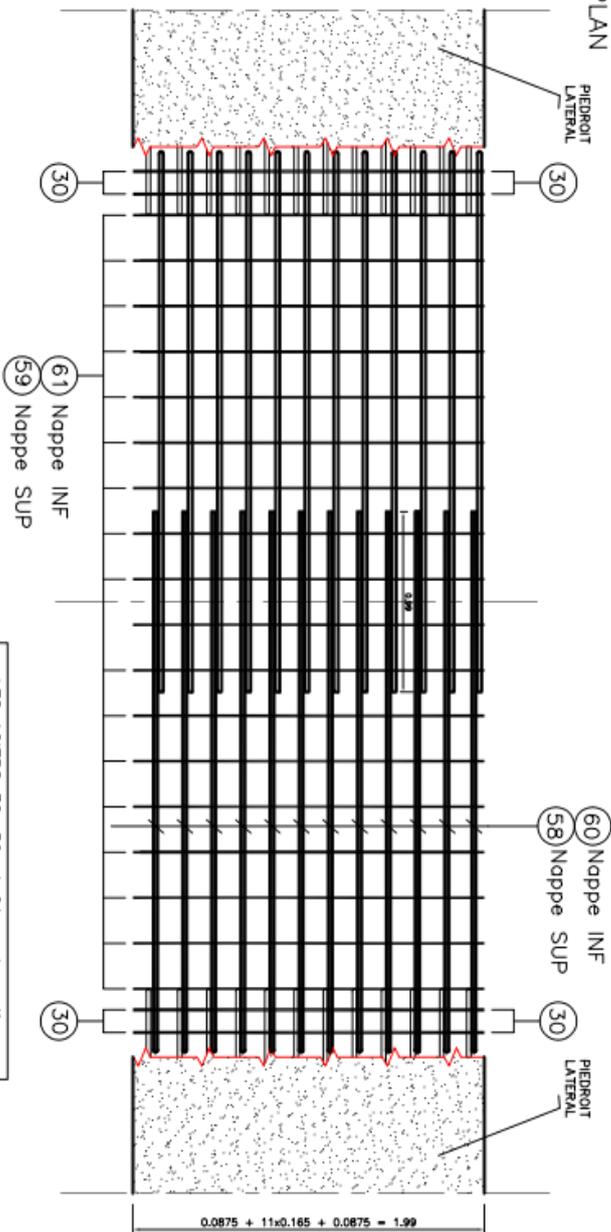
Date: 15/06/2020

ARMATURES

ANNEAUX COURANTS  
RADIERS COULE EN PLACE

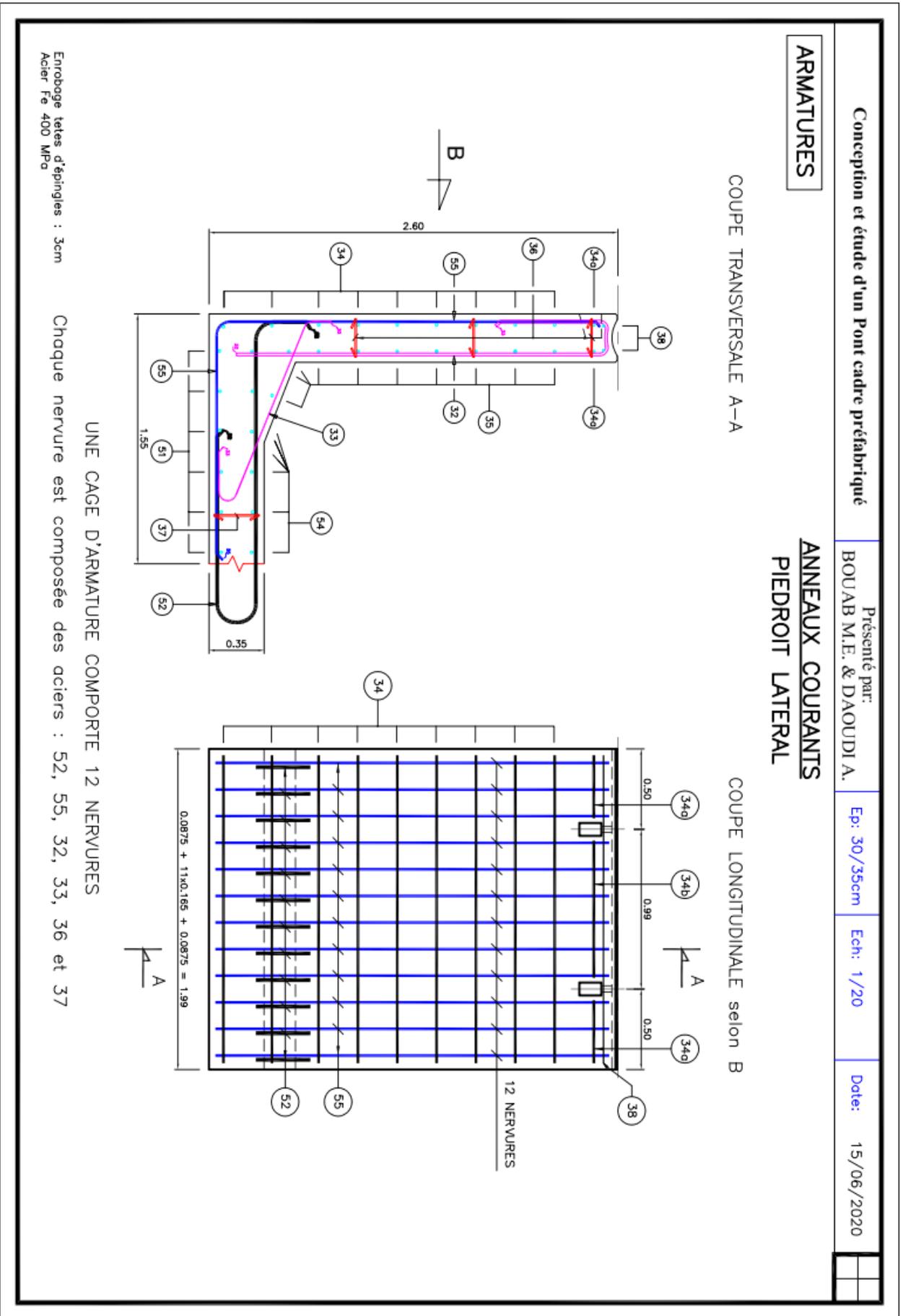


VUE EN PLAN



Enrobage têtes d'épingles : 3cm  
Acier Fe 400 MPa

LES ACIERS 30, 59 et 61 sont continus  
ne pas tronçonner, Recouvrement mini 60cm



### Annexe 03: Plans de Ferrailage détaillés

---

Méthode de calcul :

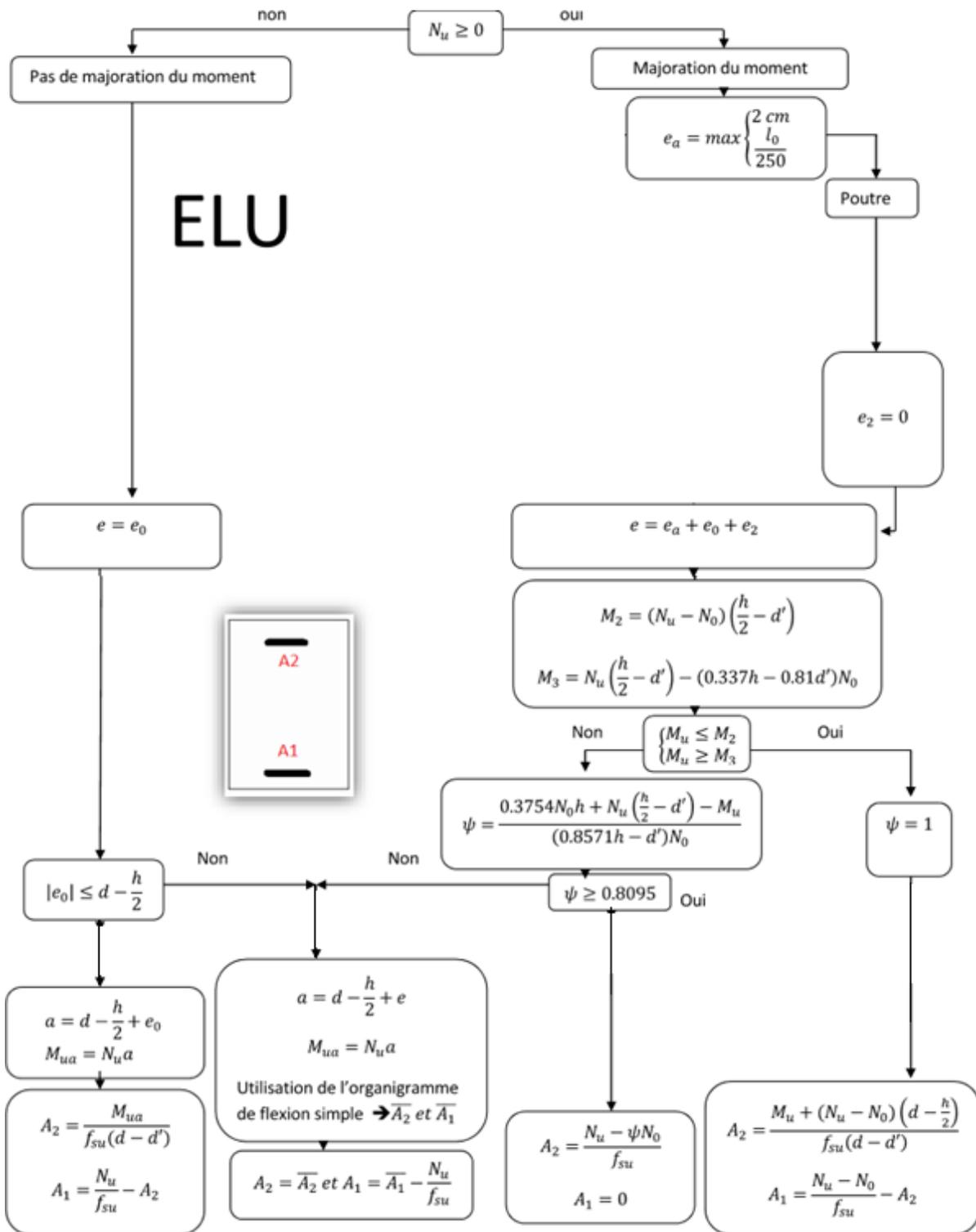
$$M_{\max} = M_u$$

$$N_{\max} = N_u$$

$$M_u ; N_u ; e_0 = \frac{M_{ser}}{N_{ser}} \quad , \quad d = 0.9 h ; d' = 0.11 d ; f_{c28} ; f_{t28} = 0.6 + 0.06 f_{c28} ; \gamma_s = 1.15 ; \gamma_b = 1.5 ; \theta$$

$$f_{su} = \frac{f_c}{\gamma_s} \quad f_{bu} = \frac{0.85 f_{c28}}{\theta \gamma_b} ; B ; N_0 = b h f_{bu} .$$

### Annexe 03: Plans de Ferrailage détaillés



$$e_0 = M_{ser} / N_{ser}$$

$\Psi$  : coefficient de remplissage.

$$\Psi = \frac{N_U}{b \cdot h \cdot f_{bc}}$$

- Selon BAEL91modifier99 :

$$A_{\min} \succ \max \left( \frac{b \cdot h}{1000}; 0.23 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{t28}}{f_e} \right) :$$

- Selon RPA99 modifier2003 [Art 7.7.3.3]

$$A_{\min} = 0,15\% \times b \times h$$

## **Références bibliographiques**

- ❖ Tome III – Ouvrages d’art. france
- ❖ Tome VII – Matériaux.
- ❖ Faouzi, A. (2004/2005). Généralités sur les ouvrages d’art. ENI de GABES.
- ❖ Fascicule 61 - Titre - II
- ❖ Fascicule 62 - Titre - I - Section - I - Règles BAEL 91 Révisé 99. (s.d.).
- ❖ Fascicule 62 - Titre - V
- ❖ québec, publication. (2014, Mars). *AVIS TECHNIQUE P – 013*. Récupéré sur <https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/entreprises-partenaires/entreprises-reseaux-routier/contrats/Documents/ponceaux/P-013.pdf>
- ❖ TIDJANI-SERPOS, R. (2011). *4geniecivil*. Récupéré sur [4geniecivil.com](https://www.4geniecivil.com/2018/04/cours-douvrage-dart-2.html): <https://www.4geniecivil.com/2018/04/cours-douvrage-dart-2.html>
- ❖ V. Le Khac, A. L. (1992, septembre). Ponts - cadres et portiques . *Guide de conception*. france: S.E.T.R.A.