



Table des matières

Notations et abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale-1-

Chapitre 01 : Etude comparative technico-économique et choix de la variante

Introduction :-2-

1. Présentation du site :-3-

1.1. Topographie :-3-

1.2. Données naturelles :-3-

1.2.1. Actions naturelles :-3-

2. Rapport géotechnique :-4-

2.1. Programme de reconnaissance :-4-

2.2. Résultat de la reconnaissance :-4-

2.3. Essais Géotechniques :-5-

2.3.1. Formation des marnes :-5-

2.3.1.1. Essais physiques :-5-

2.3.1.1.1. Granulométrie :-5-

2.3.1.1.2. Limite d'Atterberg :-5-

2.3.1.1.3. Densité :-5-

2.3.1.1.4. Imbibition :-5-

2.3.1.2. Essais chimiques :-6-

2.3.1.2.1. Teneur en Carbonate :-6-

2.3.1.2.2. Teneur en sulfate SO₄ et chlorure :-6-

2.3.1.3. Essais mécaniques :-6-

2.3.1.3.1. Œdométrie :-6-



2.3.1.3.2. Cisaillement rectiligne :	-6-
2.3.2. Formation des calcaires :	-6-
2.3.2.1. Essais mécaniques :	-6-
2.3.2.1.1. Compression simple :	-6-
3. Analyse multicritère :	-7-
3.1. Identification des alternatives :	-7-
3.1.1. Variante 1 :	-7-
3.1.2. Variante 2 :	-7-
3.2. Première étape de cette analyse :	-10-
3.3. Deuxième étape de cette analyse :	-10-
3.4. Interprétation des résultats de l'analyse multicritère :	-11-
4. Présentation du projet (Trémie) :	-11-
4.1. Première partie (Partie couverte) :	-12-
4.2. Deuxième partie (Partie non-couverte) :	-12-
4.3. Equipement de l'ouvrage :	-13-
5. Préfabrication :	-14-
6. Organisation du projet :	-15-
6.1. Matrice de priorités du projet :	-15-
6.2. Type de système d'élaboration du projet :	-15-
6.2.1. Identification des facteurs :	-15-
6.2.2. Ranger les facteurs par importance et donner des scores :	-16-
6.2.3. Le choix du système d'élaboration :	-16-
CONCLUSION :	-18-



Chapitre 02 : Pré-dimensionnement et étude de charges et surcharges

Introduction :	-19-
1. Principe de dimensionnement :	-20-
1.1. Partie non-couverte :	-20-
1.1.1. Mur de soutènement (M.D.S) du type-1 :	-20-
1.1.2. Mur de soutènement (M.D.S) du type-2 :	-20-
1.1.3. Mur de soutènement (M.D.S) du type-3 :	-21-
1.2. Partie couverte :	-23-
2. Levage et manutention :	-24-
2.1. Calcul des poids propres des éléments préfabriqués :	-25-
2.2. Calcul des sections d'ancres de levage :	-27-
2.3. Calcul des efforts supportés par les ancres de levage :	-28-
2.4. Détermination de la position des ancres de levage :	-29-
2.4.1. Calcul des centres de gravité des éléments préfabriqués :	-29-
3. Actions considérées :	-34-
3.1. Poussée des terres :	-34-
3.2. Poussée due à la surcharge sur remblai :	-35-
3.3. Charges permanentes et surcharges d'exploitations :	-37-
3.3.1. Charges permanentes :	-37-
3.3.2. Surcharges d'exploitations :	-39-
3.3.2.1. Surcharges sur trottoir :	-39-
3.3.2.2. Système (A) :	-40-
3.3.2.3. Système (B) :	-41-
3.3.2.3.1. Le sous-système Bc :	-41-
3.3.2.3.2. Le sous-système Bt :	-52-
3.3.2.4. Surcharge militaire de type MC120 :	-62-
Conclusion :	-68-



Chapitre 03 : Etude dynamique et modélisation de calcul

Introduction :	-69-
1. Etude sismique :	-70-
1.1. Détermination du coefficient d'accélération :	-70-
1.2. L'incrément dynamique de poussée active :	-71-
1.3. Force du remblai sur la dalle de couverture-partie couverte:	-73-
1.4. Force d'inertie :	-74-
2. Modélisation de calcul :	-77-
2.1. Modélisation du sol d'assise :	-77-
2.2. Modélisation du remblai :	-78-
3. Différentes charges appliquées sur la structure :	-79-
3.1. Combinaisons de modélisation :	-80-
4. Efforts appliqués sur notre structure :	-82-
4.1. Efforts appliqués sur la partie couverte :	-82-
4.2. Efforts appliqués sur la partie non couverte :	-88-
5. Contrainte sur le sol :	-92-
5.1. Partie Couverte :	-92-
5.2. Partie non-Couverte (M.D.S TYPE-1) :	-93-
5.3. Partie non-Couverte (M.D.S TYPE-2) :	-94-
5.4. Partie non-Couverte (M.D.S TYPE-3) :	-95-
6. Efforts maximaux appliqués sur la structure :	-95-
6.1. Efforts maximaux de la partie couverte :	-96-
6.2. Efforts maximaux de la partie non-couverte/MDS TYPE-1 :	-97-
6.3. Efforts maximaux de la partie non-couverte/MDS TYPE-2 :	-98-
6.4. Efforts maximaux de la partie non-couverte/MDS TYPE-3 :	-98-
7. Interprétation des résultats :	-99-



7.1. Partie couverte :	-99-
7.2. Partie non-couverte :	-100-
8. Hypothèses de calcul :	-101-
8.1. Matériaux :	-101-
8.1.1. Béton :	-101-
8.1.2. Acier :	-101-
8.2. Contraintes limites :	-102-
8.2.1. Contraintes limites du béton :	-102-
8.2.2. Contraintes limites de l'acier :	-102-
9. Calcul de ferrailage :	-103-
9.1. Calcul ferrailage : Sollicitation flexion simple :	-103-
9.2. Calcul ferrailage : Sollicitation flexion composée :	-107-
9.3. Calcul du ferrailage de la partie-couverte (SOCOTEC):	-109-
9.4. Calcul du ferrailage de la Partie Non-Couverte : M.D.S TYPE-1 (SOCOTEC) :	-114-
9.5. Calcul du ferrailage de la Partie Non-Couverte : M.D.S TYPE-2 (SOCOTEC) :	-117-
9.6. Calcul du ferrailage de la Partie Non-Couverte : M.D.S TYPE-3 (SOCOTEC) :	-120-
9.7. Vérification du ferrailage choisi :	-123-
9.8. Espacements maximaux :	-124-
9.9. Justification des armatures d'effort tranchant :	-125-
10. Etude comparative des aciers :	-126-
10.1. Notre étude :	-126-
10.2. Etude réalisée par SEROR :	-127-
10.3. Interprétation des résultats :	-128-
Conclusion :	-128-



Chapitre 04 : Management de projet (Variante retenue)

INTRODUCTION :	-129-
1. Qu'est-ce qu'un projet ? :	-130-
2. Les caractéristiques d'un projet :	-130-
3. Définition du management de projet :	-130-
4. Cycle de vie d'un projet :	-131-
4.1. Définition :	-131-
4.2. Cas pratique :	-132-
5. Les parties prenantes :	-132-
5.1. Définition :	-132-
5.2. Cas pratique :	-132-
6. Planification du projet :	-133-
6.1. Définition :	-133-
6.2. Management du contenu du projet :	-134-
6.2.1. Définitions utiles :	-134-
6.3. Le management des délais du projet :	-135-
6.3.1. Qu'est-ce qu'un diagramme de Gantt ?	-135-
6.3.2. Cas pratique :	-136-
6.4. Management des coûts du projet :	-136-
6.4.1. Définition du management des coûts du projet :	-136-
6.4.2. Cas pratique :	-136-
7. Management des risques :	-140-
7.1.1. Qu'est-ce qu'un Aléa ?	-140-
7.1.2. Qu'est-ce qu'une vulnérabilité ?	-140-
7.1.3. Qu'est-ce qu'un risque ?	-140-
7.1.4. Quels sont les types de risques ?	-141-
7.1.5. Définition du management des risques :	-141-



7.1.6.	Processus du management de risque :.....	-141-
7.1.7.	Appréciation du risque :.....	-142-
7.1.8.	Identification des risques :.....	-142-
7.1.9.	Analyse des risques :.....	-143-
7.1.10.	Evaluation des risques :.....	-145-
7.1.11.	Traitement des risques :.....	-149-
	Conclusion :.....	-150-
	Conclusion générale :.....	-151-
	Références bibliographiques :.....	-152-

Rapport-Gratuit.com



Notations et abréviations

Chapitre 01 : Etude comparative technico-économique et choix de la variante

cm : L'unité de mesure centimètre

Ct : Coefficient de tassement

Cg : Coefficient de gonflement

C : Cohésion

CaCO3 : La teneur en carbonates

Cl : Chlorure

CII : Construction Industry Institute

CW71: Chemin de Wilaya N°71

DA : Dinar Algérien

e : épaisseur

Ip : Indice de plasticité

Kg : L'unité de poids, kilogramme

m : L'unité de mesure, mètre

MDS : Mur De Soutènement

Pc : Pression de consolidation

Rc : Résistance à la compression

RN22 : Route nationale N°22

Rc : Résistance à la compression

SEROR : Société d'études et de réalisation d'ouvrages d'arts de l'ouest

SR % : Degrés de saturation en pourcentage

SO4 : La teneur en sulfate

TTC : Toutes Taxes Comprises

WBS: Work Breakdown Structure



W % : Teneur en eau en pourcentage

γ_d : Poids volumique sec

γ_h : Poids volumique humide

y/c : y compris

φ : Angle de frottement

Chapitre 02 : Pré-dimensionnement et étude de charges et surcharges

Bt : Type de chargement roulant

Bc : Type de chargement roulant

B : Largeur du patin

Cp : Charge permanente

$E_{p_{min}}$: Épaisseur minimale

$E_{p_{max}}$: Épaisseur maximale

f_e : Nuance de l'acier

G : somme des charges permanentes appliquées sur un élément donné

H : Hauteur

K_a : Coefficient de poussée active

L : Longueur de l'élément préfabriqué ou du radier

Mc120 : Type de chargement roulant

P : Poids propre de l'élément préfabriqué

P_a : Poussée des terres active

Q : surcharge d'exploitation

$Q_{A(l)}$: Surcharge d'exploitation uniformément répartie du type $A(l)$

Q_{Bc} : Surcharge d'exploitation uniformément répartie du type Bc

Q_{Bt} : Surcharge d'exploitation uniformément répartie du type Bt

Q_{MC120} : Surcharge d'exploitation uniformément répartie du type $Mc120$

S : Section d'armature des crochets de levage



t : L'unité de poids, Tonnes

T : Effort tranchant

γ_t : Poids volumique

\emptyset : Angle de frottement interne

δ_{Bc} : Coefficient dynamique dû à la charge Bc

δ_{Bt} : Coefficient dynamique dû à la charge Bt

δ_{MC120} : Coefficient dynamique dû à la charge Mc120

Chapitre 03 : Etude dynamique et modélisation de calcul

A : Coefficient d'accélération

A_{st} : Section d'armatures

A_{sr} : Section des armatures de répartition

B : Hauteur de l'ouvrage

B0 : Hauteur de référence

ELU : Etat Limite Ultime

ELS : Etat Limite de Service

F_{c28} : Résistance du béton à 28 jours

F_R : Force du remblai

$F_{inertie}$: Force d'inertie

K_a : Coefficient de poussée dynamique

K_H : Coefficient sismique horizontal

K_V : Coefficient sismique vertical

M : Moment fléchissant

N : Effort axial

T : Effort tranchant

γ : Poids volumique du sol

ΔF_{ad} : L'incrément dynamique de poussée des terres active



α : Coefficient de structure du sol

$\overline{\sigma}_{\text{sol}}$: Contrainte admissible du sol

η : Coefficient de fissuration

σ_{bc} : Contrainte admissible de compression du béton à l'ELU

σ_{st} : La contrainte admissible de traction de l'acier à l'ELU

Chapitre 04 : Management de projet (Variante retenue)

EPI : Equipements de protection individuels

G : Gravité de l'évènement en termes de quantité de dommages

P : Probabilité de l'évènement

RACI : Matrice de responsabilité



Liste des figures

Chapitre 01 : Etude comparative technico-économique et choix de la variante

Figure 1 : Levé topographique du site (BET S.E.R.O.R)	-3-
Figure 2 : Carte de zonage sismique de l'Algérie	-3-
Figure 3 : Présentation des variantes par le graphique radar	-11-
Figure 4 : Vue du projet par satellite	-11-
Figure 5 : Partie couverte de la trémie	-12-
Figure 6 : Partie non couverte de la trémie	-13-
Figure 7 : Élément préfabriqué en « U » renversé	-14-
Figure 8 : Manutention d'un élément « U » renversé	-14-
Figure 9 : Matrice des priorités ¹⁵	
Figure 10 : Schéma de stratégie de contrat pour le système clé en main	-17-

Chapitre 02 : Pré-dimensionnement et étude de charges et surcharges

Figure 1 : Représentation partie non couverte-MDS TYPE 1	-22-
Figure 2 : Représentation partie non couverte-MDS TYPE 2	-22-
Figure 3 : Représentation partie non couverte-MDS TYPE 3	-22-
Figure 4 : Représentation de la partie couverte	-24-
Figure 5 : Représentation des sections prises en considération pour le poids du MDS TYPE-1	-27-
Figure 6 : Représentation des sections prises en considération pour la détermination du centre de gravité du MDS TYPE-1	-31-
Figure 7 : Représentation des positions des crochets de levage pour la partie couverte-élément supérieur « U »	-32-
Figure 8 : Représentation des positions des crochets de levage pour la partie non couverte-MDS TYPE 1	-32-
Figure 9 : Représentation des positions des crochets de levage pour la partie non couverte-MDS TYPE 2	-33-
Figure 10 : Représentation des positions des crochets de levage pour la partie non couverte-MDS TYPE 3	-33-



Figure 11 : Modélisation par SAP2000 des Poussées de terres-Partie couverte KN/m ²	-34-
Figure 12 : Modélisation par SAP2000 des Poussées de terres- Partie non couverte (MDS TYPE-1) en KN/m ²	-34-
Figure 13 : Modélisation par SAP2000 des surcharges sur remblai- Partie couverte en KN/m ²	-35-
Figure 14 : Modélisation par SAP2000 des surcharges sur remblai- Partie non couverte (MDS TYPE-1) en KN/m ²	-36-
Figure 15 : Représentation de la corniche préfabriquée	-38-
Figure 16 : Représentation du bac à fleurs préfabriquée	-38-
Figure 17 : Représentation de la glissière	-39-
Figure 18 : Coupe longitudinale des camions du sous-système Bc.....	-41-
Figure 19 : Coupe Transversale des camions du sous-système Bc	-41-
Figure 20 : Vue en plan des camions du sous-système Bc	-41-
Figure 21 : Représentation des multiples cas à étudier sur dans la partie couverte (dalle de couverture) pour le sous-système Bc.....	-43-
Figure 22 : Représentation vue de face des multiples cas à étudier du sous-système Bc pour la partie couverte (sur radier) et pour la partie non couverte	-44-
Figure 23 : Représentation de la descente de charges d'une roue (0.25x0.25m) sur la dalle de couverture-partie couvert.....	-47-
Figure 24 : Représentation de la répartition des charges des essieux dans le cas le plus défavorable du sous-système Bc sur la dalle de couverture-partie couverte	-48-
Figure 25 : Représentation de la descente de charges d'une roue (0.25x0.25m) sur radier	-49-
Figure 26 : Représentation de la répartition des charges des essieux dans le cas le plus défavorable du sous-système Bc sur radier (Vue en plan)	-50-
Figure 27 : Représentation de la répartition des charges des essieux dans le cas le plus défavorable du sous-système Bc sur radier-Partie couverte (Coupe transversale)	-50-
Figure 28 : Représentation de la répartition des charges des essieux dans le cas le plus défavorable du sous-système Bc sur radier-Partie non couverte (Coupe transversale)	-52-
Figure 29 : Vue en plan des tandems du sous-système Bt	-53-



Figure 30 : Coupe Transversale des tandems du sous-système Bt	-53-
Figure 31 : Coupe longitudinale des camions du sous-système Bt	-53-
Figure 32 : Représentation des multiples cas à étudier sur dans la partie couverte (dalle de couverture) pour le sous-système Bt	-54-
Figure 33 : Représentation vue de face des multiples cas à étudier du sous-système Bt pour la partie couverte (sur radier) et pour la partie non couverte	-55-
Figure 34 : Représentation de la descente de charges d'une roue (0.25x0.60m) sur la dalle de couverture-partie couverte	-57-
Figure 35 : Représentation de la répartition des charges des essieux dans le cas le plus défavorable du sous-système Bt sur la dalle de couverture-partie couverte	-58-
Figure 36 : Représentation de la descente de charges d'une roue (0.25x0.60m) sur radier	-59-
Figure 37 : Représentation de la répartition des charges des essieux dans le cas le plus défavorable du sous-système Bt sur radier-Partie couverte (Vue en plan)	-60-
Figure 38 : Représentation de la répartition des charges des essieux dans le cas le plus	-60-
Figure 39 : Représentation de la répartition des charges des essieux dans le cas le plus défavorable du sous-système Bt sur radier-Partie non couverte (Coupe transversale)	-61-
Figure 40 : Coupe longitudinale des chenilles du sous-système MC120	-62-
Figure 41 : Coupe transversale des chenilles du sous-système MC120	-62-
Figure 42 : Vue en plan des chenilles du sous-système MC120	-62-
Figure 43 : Représentation des multiples cas à étudier du sous-système MC120 pour la partie couverte (dalle de couverture)	-63-
Figure 44 : Représentation vue de face des multiples cas à étudier du sous-système MC120 pour la partie couverte (sur radier) et pour la partie non couverte	-64-
Figure 45 : Représentation de la répartition des charges d'une chenille de 550t dans le cas le plus défavorable du sous-système MC120 sur la dalle de couverture-partie couverte	-64-
Figure 46 : Représentation de la répartition des charges d'une chenille de 550t dans le cas le plus défavorable du sous-système MC120 sur radier (Vue en plan)	-67-
Figure 47 : Représentation de la répartition des charges d'une chenille de 550KN dans le cas le plus défavorable du sous-système MC120 sur radier-partie couverte (Coupe transversale).....	-67-



Figure 48 : Représentation de la répartition des charges des essieux dans le cas le plus défavorable du sous-système MC120 sur radier-Partie non couverte (Coupe transversale) -68-

Chapitre 03 : Etude dynamique et modélisation de calcul

Figure 1 : Modélisation par SAP2000-Incrément dynamique (Partie couverte) en KN/ml -72-

Figure 2 : Modélisation par SAP2000-Incrément dynamique (Partie non couverte/MDS type-1) en KN/ml -73-

Figure 3 : Répartition de la force du remblai sur la dalle de couverture -74-

Figure 4 : section prises en considération pour l'inertie du « U » renversé de la partie couverte -74-

Figure 5 : section prise en considération pour l'inertie du montant du piédroit-Partie couverte -75-

Figure 6 : Modélisation par SAP2000-Force d'inertie (Partie couverte) en KN/ml -76-

Figure 7 : section prise en considération pour l'inertie du MDS TYPE1 -76-

Figure 8 : Modélisation par SAP2000-Force d'inertie (Partie non couverte-MDS type-1) en KN/ml .. -77-

Figure 9 : Diagramme des moments de la partie couverte -100-

Figure 10 : Diagramme des moments de la partie non-couverte/MDS TYPE-1 -101-

Figure 11 : Prise de vue du logiciel de calcul ferrailage « SOCOTEC » -103-

Figure 12 : Etapes du dimensionnement des sections d'acier et de la vérification des contraintes en flexion simple à l'ELS -105-

Chapitre 04 : Management de projet (Variante retenue)

Figure 1 : cycle de vie d'un projet -131-

Figure 2 : cycle de vie d'un projet de construction (Trémie Ain Youcef) -132-

Figure 3 : Exemple d'une structure de découpage de projet -134-

Figure 4 : Equation de la criticité (Risque) -140-

Figure 5 : Processus de management du risque (Norme ISO31000 : 2009) -141-

Figure 6 : Matrice des risques -144-

Figure 7 : Matrice de gravité des risques internes (Risques liés au projet) -146-

Figure 8 : Matrice de gravité des risques internes (Risques liés aux parties prenantes) -146-

Figure 9 : Matrice de gravité des risques internes (Risques liés aux fournisseurs) -147-

Figure 10 : Matrice de gravité des risques internes (Risques liés aux ressources) -147-

Figure 11 : Matrice de gravité des risques externes (Risques Technologiques) -148-

Figure 12 : Matrice de gravité des risques externes (Risque politique) -148-



Figure 13 : Matrice de gravité des risques externes (Risque économique) -149-

Figure 14 : Traitement des risques internes liés au projet -149-

Figure 15 : Traitement des risques internes liés aux fournisseurs -150-

Figure 16 : Traitement des risques liés aux ressources -150-



Liste des tableaux :

Chapitre 01 : Etude comparative technico-économique et choix de la variante

Tableau 1 : Sondage S1 (LTPO-Unité de Tlemcen, 2013).....	-3-
Tableau 2 : Sondage S2 (LTPO-Unité de Tlemcen, 2013).....	-4-
Tableau 3 : Sondage S3 (LTPO-Unité de Tlemcen, 2013).....	-4-
Tableau 4 : Avantages et inconvénients de la trémie.....	-6-
Devis estimatif et quantitatif d'un échangeur (Pont à 03 travées de 33,40 ml en Béton précontraint.) sur la RN22/RN22 A AIN-YOUCHEF	-7-
Tableau 5 : Avantages et inconvénients du Pont en béton précontraint.....	-9-
Tableau 6 : Echelle de graduation	-10-
Tableau 7 : Résultats de l'analyse multicritère	-10-
Tableau 8 : récapitulatif des MDS de la trémie. (BET SEROR)	-12-
Tableau 9 : Facteurs et leurs scores	-16-
Tableau 10 : Classement des alternatives PDCS	-17-
Tableau 11 : Les trois alternatives PDCS retenues.....	-17-

Chapitre 02 : Pré-dimensionnement et étude de charges et surcharges

Tableau 1 : Récapitulatif des dimensions de différents types de murs de soutènements	-23-
Tableau 2 : Ferrailage des crochets de levage.....	-28-
Tableau 3 : Vérification de l'effort résistant des ancrs de levage	-28-
Tableau 4 : Calcul du centre de gravité du MDS TYPE-1	-29-
Tableau 5 : Poids propres des éléments préfabriqués	-37-
Tableau 6 : valeurs du coefficient bc	-42-
Tableau 7 : Coefficient de majoration dynamique δ_{Bc}	-46-
Tableau 8 : Coefficient de majoration dynamique δ_{Bt}	-56-
Tableau 9 : Coefficient de majoration dynamique δ_{MC120}	-65-

Chapitre 03 : Etude dynamique et modélisation de calcul

Tableau 1 : Classification des ponts (RPOA	-70-
Tableau 2 : Coefficient d'accélération de zone A (RPOA)	-70-
Tableau 3 : Récapitulatif de l'incrément dynamique	-73-
Tableau 4 : Les différents chargements utilisés pour la modélisation	-79-



Tableau 5 : liste de combinaisons utilisées pour la modélisation	-80-
Tableau 6 : Combinaisons à l'E.L.U Fondamental-Partie Couverte	-80-
Tableau 7 : Combinaisons à l'E.L.U Accidentel-Partie Couverte	-80-
Tableau 8 : Combinaisons à l'E.L.S -Partie Couverte	-80-
Tableau 9 : Combinaisons à l'E.L.U Fondamental-Partie Non Couverte	-80-
Tableau 10 : Combinaisons à l'E.L.U Accidentel-Partie Non Couverte	-80-
Tableau 11 : Combinaisons à l'E.L.S -Partie Non Couverte	-80-
Tableau 12 : Efforts à l'E.L.U Fondamental du montant-côté gauche-partie couverte	-82-
Tableau 13 : Efforts à l'E.L.U Accidentel du montant-côté gauche-partie couverte	-82-
Tableau 14 : Efforts à l'E.L.S du montant-côté gauche-partie couverte	-82-
Tableau 15 : Efforts à l'E.L.U Fondamental du montant-côté droit-partie couverte	-83-
Tableau 16 : Efforts à l'E.L.U Accidentel du montant-côté droit-partie couverte	-83-
Tableau 17 : Efforts à l'E.L.S du montant-côté droit-partie couverte	-83-
Tableau 18 : Efforts à l'E.L.U Fondamental de la dalle de couverture- section gauche-partie couverte	-83-
Tableau 19 : Efforts à l'E.L.U Accidentel de la dalle de couverture- section gauche-partie couverte	-84-
Tableau 20 : Efforts à l'E.L.S de la dalle de couverture-section gauche-partie couverte	-84-
Tableau 21 : Efforts à l'E.L.U Fondamental de la dalle de couverture- section droite-partie couverte	-84-
Tableau 22 : Efforts à l'E.L.U Accidentel de la dalle de couverture- section droite-partie couverte	-84-
Tableau 23 : Efforts à l'E.L.S de la dalle de couverture-section droite-partie couverte	-85-
Tableau 24 : Efforts à l'E.L.U Fondamental de la dalle de couverture-Mi-travée-partie couverte	-85-
Tableau 25 : Efforts à l'E.L.U Accidentel de la dalle de couverture- Mi-travée -partie couverte	-85-
Tableau 26 : Efforts à l'E.L.S de la dalle de couverture- Mi-travée -partie couverte	-85-
Tableau 27 : Efforts à l'E.L.U Fondamental du Radier-section gauche-partie couverte	-86-
Tableau 28 : Efforts à l'E.L.U Accidentel du Radier-section gauche-partie couverte	-86-
Tableau 29 : Efforts à l'E.L.S du Radier-section gauche-partie couverte	-86-
Tableau 30 : Efforts à l'E.L.U Fondamental du Radier-section droite-partie couverte	-86-



Tableau 31 : Efforts à l'E.L.U Accidentel du Radier-section droite-partie couverte	-87-
Tableau 32 : Efforts à l'E.L.S du Radier-section droite-partie couverte	-87-
Tableau 33 : Efforts à l'E.L.U Fondamental du Radier-MI-travée-partie couverte	-87-
Tableau 34 : Efforts à l'E.L.U Accidentel du Radier-MI-travée-partie couverte	-87-
Tableau 35 : Efforts à l'E.L.S du Radier-MI-travée-partie couverte	-87-
Tableau 36 : Efforts à l'E.L.U Fondamental du montant-côté gauche-partie non couverte	-88-
Tableau 37 : Efforts à l'E.L.U Accidentel du montant-côté gauche-partie non couverte	-88-
Tableau 38 : Efforts à l'E.L.S du montant-côté gauche-partie non couverte	-88-
Tableau 39 : Efforts à l'E.L.U Fondamental du montant-côté droit-partie non couverte	-88-
Tableau 40 : Efforts à l'E.L.U Accidentel du montant-côté droit-partie non couvert	-89-
Tableau 41 : Efforts à l'E.L.S du montant-côté droit-partie non couverte	-89-
Tableau 42 : Efforts à l'E.L.U Fondamental du radier-section gauche-partie non couverte	-89-
Tableau 43 : Efforts à l'E.L.U Accidentel du radier-section gauche-partie non couverte	-89-
Tableau 44 : Efforts à l'E.L.S du radier-section gauche-partie non couverte	-89-
Tableau 45 : Efforts à l'E.L.U Fondamental du radier-section droite-partie non couverte	-90-
Tableau 46 : Efforts à l'E.L.U Accidentel du radier-section droite-partie non couverte	-90-
Tableau 47 : Efforts à l'E.L.S du radier-section droite-partie non couverte	-90-
Tableau 48 : Efforts à l'E.L.U Fondamental du radier-Mi-travée-partie non couverte	-90-
Tableau 49 : Efforts à l'E.L.U Accidentel du radier-Mi-travée-partie non couverte	-90-
Tableau 50 : Efforts à l'E.L.S du radier-Mi-travée-partie non couverte	-91-
Tableau 51 : Déplacement verticaux maximaux à l'E.L.U Fondamental-partie couverte	-92-
Tableau 51 : Déplacement verticaux maximaux à l'E.L.U Fondamental-partie couverte	-92-
Tableau 52 : Déplacements verticaux maximaux à l'E.L.U Accidentel-partie couverte	-92-
Tableau 53 : Déplacements verticaux maximaux à l'E.L.S-partie couverte	-92-
Tableau 54 : Déplacements verticaux maximaux à l'E.L.U Fondamental-partie non couverte	-93-
Tableau 55 : Déplacements verticaux maximaux à l'E.L.U Accidentel-partie non couverte	-93-
Tableau 56 : Déplacements verticaux maximaux à l'E.L.S-partie non couvert	-93-
Tableau 57 : Déplacement verticaux maximaux à l'E.L.U Fondamental-partie non couverte	-94-
Tableau 58 : Déplacement verticaux maximaux à l'E.L.U Accidentel-partie non couverte	-94-
Tableau 59 : Déplacement verticaux maximaux à l'E.L.S-partie non couverte	-94-





Tableau 60 : Déplacement verticaux maximaux à l'E.L.U Fondamental-partie non couverte	-95-
Tableau 61 : Déplacement verticaux maximaux à l'E.L.U Accidentel-partie non couverte	-95-
Tableau 62 : Déplacement verticaux maximaux à l'E.L.S-partie non couvert	-95-
Tableau 63 : Efforts maximaux de la dalle de couverture-Mi-travée-partie couverte	-96-
Tableau 64 : Efforts maximaux de la dalle de couverture-Extrémité-partie couverte	-96-
Tableau 65 : Efforts maximaux du montant-section supérieure-partie couverte	-96-
Tableau 66 : Efforts maximaux du montant-section inférieure-partie couverte	-96-
Tableau 67 : Efforts maximaux du patin-piédroit-partie couverte	-96-
Tableau 68 : Efforts maximaux du radier coulé sur place-partie couverte	-96-
Tableau 69 : Efforts maximaux du montant MDS TYPE-1-partie non couverte	-97-
Tableau 70 : Efforts maximaux du patin MDS TYPE-1-partie non couverte	-97-
Tableau 71 : Efforts maximaux du radier coulé sur place MDS TYPE-1-partie non couverte	-97-
Tableau 72 : Efforts maximaux du montant MDS TYPE-2-partie non couverte	-98-
Tableau 73 : Efforts maximaux du patin MDS TYPE-2-partie non couverte	-98-
Tableau 74 : Efforts maximaux du radier coulé sur place MDS TYPE-2-partie non couverte	-98-
Tableau 75 : Efforts maximaux du montant MDS TYPE-3-partie non couverte	-98-
Tableau 76 : Efforts maximaux du patin MDS TYPE-3-partie non couverte	-98-
Tableau 77 : Efforts maximaux du radier coulé sur place MDS TYPE-3-partie non couverte	-99-
Tableau 78 : La contrainte de compression à l'ELU du béton	-102-
Tableau 79 : La contrainte de compression à l'ELS du béton	-102-
Tableau 80 : La contrainte de traction à l'ELU de l'acier	-102-
Tableau 81 : Les moments résistants selon la nuance de l'acier	-103-
Tableau 82 : Calcul du ferrailage à l'E.L.U Fondamental-partie couverte	-109-
Tableau 83 : Calcul du ferrailage à l'E.L.U Accidentel-partie couverte	-110-
Tableau 84 : Section retenue d'après la condition de non-fragilité-partie couverte	-111-
Tableau 85 : Calcul du ferrailage à l'E.L.S -partie couverte	-112-
Tableau 86 : Calcul des armatures de répartitions-Partie couverte	-113-
Tableau 87 : Ferrailage choisi pour la partie couverte	-114-
Tableau 88 : Calcul du ferrailage à l'E.L.U Fondamental MDS TYPE-1-partie non couverte	-114-
Tableau 89 : Calcul du ferrailage à l'E.L.U Accidentel MDS TYPE-1-partie non couverte	-115-



Tableau 90 : Section retenue d'après la condition de non-fragilité-
MDS TYPE-1-partie non couverte -115-

Tableau 91 : Calcul du ferrailage à l'E.L.S MDS TYPE-1-partie non couverte -116-

Tableau 92 : Calcul des armatures de répartitions MDS TYPE-1-Partie non couverte -116-

Tableau 93 : Ferrailage choisi pour MDS TYPE-1-partie non couverte -117-

Tableau 94 : Calcul du ferrailage à l'E.L.U Fondamental MDS TYPE-2-partie non couverte -117-

Tableau 95 : Calcul du ferrailage à l'E.L.U Accidentel MDS TYPE-2-partie non couverte -117-

Tableau 96 : Section retenue d'après la condition de non-fragilité-
MDS TYPE-2-partie non couverte -118-

Tableau 97 : Calcul du ferrailage à l'E.L.U Accidentel MDS TYPE-2-partie non couverte -118-

Tableau 98 : Calcul des armatures de répartitions MDS TYPE-2-Partie non couverte -119-

Tableau 99 : Ferrailage choisi pour MDS TYPE-2-partie non couverte -119-

Tableau 100 : Calcul du ferrailage à l'E.L.U Fondamental MDS TYPE-3-partie non couverte -120-

Tableau 101 : Calcul du ferrailage à l'E.L.U Accidentel MDS TYPE-3-partie non couverte -120-

Tableau 102 : Section retenue d'après la condition de non-fragilité-
MDS TYPE-3-partie non couverte -121-

Tableau 103 : Calcul du ferrailage à l'E.L.S MDS TYPE-3-partie non couverte -121-

Tableau 104 : Calcul des armatures de répartitions MDS TYPE-3-Partie non couverte -121-

Tableau 105 : Ferrailage choisi pour MDS TYPE-3-partie non couverte -122-

Tableau 106 : Vérification du ferrailage choisi des éléments de la trémie -123-

Tableau 107 : Espacements maximaux des armatures principales des éléments de la trémie -124-

Tableau 108 : Justification des armatures d'effort tranchant -125-

Tableau 109 : Quantité d'acier des piédroits latéraux-(Notre étude) -126-

Tableau 110 : Quantité d'acier des éléments supérieurs-(Notre étude) -126-

Tableau 111 : Quantité d'acier des MDS Type-1-(Notre étude) -126-

Tableau 112 : Quantité d'acier des MDS Type-2-(Notre étude) -126-

Tableau 113 : Quantité d'acier des MDS Type-3-(Notre étude) -126-

Tableau 114 : Quantité d'acier des piédroits latéraux-(Etude SEROR) -127-

Tableau 115 : Quantité d'acier des éléments supérieurs-(Etude SEROR) -127-

Tableau 116 : Quantité d'acier des MDS Type-1-(Etude SEROR) -127-



Tableau 117 : Quantité d'acier des MDS Type-2-(Etude SEROR) -127-

Tableau 118 : Quantité d'acier des MDS Type-3-(Etude SEROR) -127-

Chapitre 04 : Management de projet (Variante retenue)

Tableau 1 : Les acteurs principaux du projet et leurs missions -133-

Devis estimatif d'un échangeur (Trémie) sur la RN22/RN22A (Ain-Youcef) -136-

Tableau 2 : Typologie des risques -141-

Tableau 3 : Risque interne -142-

Tableau 4 : Risque externe -143-

Tableau 5 : Exemple de modèle de cotation de la probabilité (vraisemblance) -143-

Tableau 6 : Exemple de modèle de la gravité -144-

Tableau 7 : valeurs des (vraisemblances, Gravités), pour risque interne -145-

Tableau 8 : valeurs des (vraisemblances, Gravités), pour risque externe -145-



Introduction générale

L'agglomération de Tlemcen est un espace qui connaît une urbanisation effrénée dont les extensions spatiales lui confèrent des nuisances liées principalement aux modes d'occupations appelé aussi « problèmes socio-spatiaux ». Sauf que l'évolution démographique ne cesse de croître, une raison pour laquelle l'homme adapte le paysage à son usage (plantations, canaux, infrastructures) et pense à de nouvelles alternatives.

Le trafic urbain à Tlemcen augmente d'une façon alarmante, soit d'une valeur de **8%** à **10%**, ce qui invoque des problèmes de circulations en particulier aux heures de pointe, par conséquent l'inconfort des usagés, les nuisances causées à l'environnement et les accidents. Beaucoup de carrefours sont centres de saturation, c'est pourquoi ils doivent être aménagés.

Le carrefour de la route nationale RN22/RN22A se situant près de la localité d'Aïn-Youcef a été aménagé par la société **SEROR**.

Le présent projet qui est notre étude, consiste à refaire l'étude de l'aménagement technico-économique du carrefour en cause, et pouvoir faire une comparaison entre les deux études. Nous avons procédé dans notre étude de la façon qui suit :

- D'abord, dans un premier chapitre, nous avons fait une présentation du site accompagnée d'un rapport géotechnique, aussi nous avons proposé deux variantes et choisi par une analyse multicritère l'une des variantes proposées.
- Ensuite, dans un second chapitre, nous nous sommes basé sur les normes requises et adéquates pour pouvoir faire le dimensionnement des éléments préfabriqués constituant notre ouvrage, aussi nous avons identifié et étudié les différents chargements permanents soient ou d'exploitation.
- De plus, dans le chapitre qui suit, nous nous sommes focalisés sur la modélisation par le logiciel **SAP2000v14** et l'application des charges et surcharges, pour vérifier la portance du sol support ainsi choisir un ferrailage adéquat qui répond aux conditions de contraintes limites, et pouvoir comparer nos résultats avec ceux de la **SEROR**.
- Enfin, dans un dernier chapitre, une étude managériale a été faite, où nous avons eu recours à faire une planification pour notre projet, un management de contenu du projet, un management des coûts du projet ainsi qu'une étude de management de risque



Chapitre 1
**Etude comparative technico-économique
et
choix de la variante.**



Contenu (Chapitre 01)

Etude comparative technico-économique et choix de la variante

Introduction :.....	- 2 -
1. Présentation du site :	- 3 -
1.1. Topographie :	- 3 -
1.2. Données naturelles :	- 3 -
1.2.1. Actions naturelles :	- 3 -
2. Rapport géotechnique :	- 4 -
2.1. Programme de reconnaissance :	- 4 -
2.2. Résultat de la reconnaissance :	- 4 -
2.3. Essais Géotechniques :	- 5 -
2.3.1. Formation des marnes :	- 5 -
2.3.1.1. Essais physiques :	- 5 -
2.3.1.1.1. Granulométrie :	- 5 -
2.3.1.1.2. Limite d'Atterberg :	- 5 -
2.3.1.1.3. Densité :	- 5 -
2.3.1.1.4. Imbibition :	- 5 -
2.3.1.2. Essais chimiques :	- 6 -
2.3.1.2.1. Teneur en Carbonate :	- 6 -
2.3.1.2.2. Teneur en sulfate SO₄ et chlorure :	- 6 -
2.3.1.3. Essais mécaniques :	- 6 -
2.3.1.3.1. Œdométrie :	- 6 -
2.3.1.3.2. Cisaillement rectiligne :	- 6 -
2.3.2. Formation des calcaires :	- 6 -
2.3.2.1. Essais mécaniques :	- 6 -
2.3.2.1.1. Compression simple :	- 6 -
3. Analyse multicritère :	- 7 -
3.1. Identification des alternatives :	- 7 -
3.1.1. Variante 1 :	- 7 -
3.1.2. Variante 2 :	- 7 -
3.2. Première étape de cette analyse :	- 10 -
3.3. Deuxième étape de cette analyse :	- 10 -
3.4. Interprétation des résultats de l'analyse multicritère :	- 11 -
4. Présentation du projet (Trémie) :	- 11 -



4.1. Première partie (Partie couverte) :.....	- 12 -
4.2. Deuxième partie (Partie non-couverte) :.....	- 12 -
4.3. Equipement de l'ouvrage :.....	- 13 -
5. Préfabrication :.....	- 14 -
6. Organisation du projet :.....	- 15 -
6.1. Matrice de priorités du projet :.....	- 15 -
6.2. Type de système d'élaboration du projet :.....	- 16 -
6.2.1. Identification des facteurs :.....	- 16 -
6.2.2. Ranger les facteurs par importance et donner des scores :.....	- 16 -
6.2.3. Le choix du système d'élaboration :.....	- 16 -
CONCLUSION :.....	- 18 -



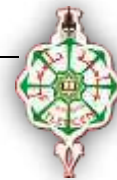
Introduction :

L'augmentation du parc automobile qui se développe de plus en plus chaque année, pose préjudice aux ouvrages dans le temps.

Si l'amélioration des autoroutes et des voies rapides peut aider à résoudre ce problème, la circulation aux abords et à l'intérieur des villes n'en demeure pas difficile et deviendra allégée.

Le carrefour situé à proximité d'Ain Youcef de la Wilaya de Tlemcen, est un carrefour qui fait l'objet d'une très forte congestion aux heures de pointes.

Devant cette situation nous nous pencherons dans ce chapitre sur une présentation du site. Nous proposons par la suite deux **02** alternatives, Alternative 01 : Ouvrage souterrain (Trémie), Alternative 02 : Echangeur (Pont), nous avons recours à faire une analyse multicritères pour trancher entre ces deux alternatives, ainsi une présentation des caractéristiques et des informations nécessaires au choix de l'alternative qui sera retenue.



1. Présentation du site :

1.1. Topographie :

La topographie consiste à effectuer toute sorte de relevé (Distances, angles, altitudes) dans le but de définir la configuration de portions de territoire et la position géographique. C'est aussi une technique qui consiste à lever la carte ou le plan d'un terrain, à une échelle réduite, en supposant la terre plane.

La **figure 1**, présente le levé topographique pour le cas de la trémie **d'Ain-Youcef** sur la **RN22/RN22A**.

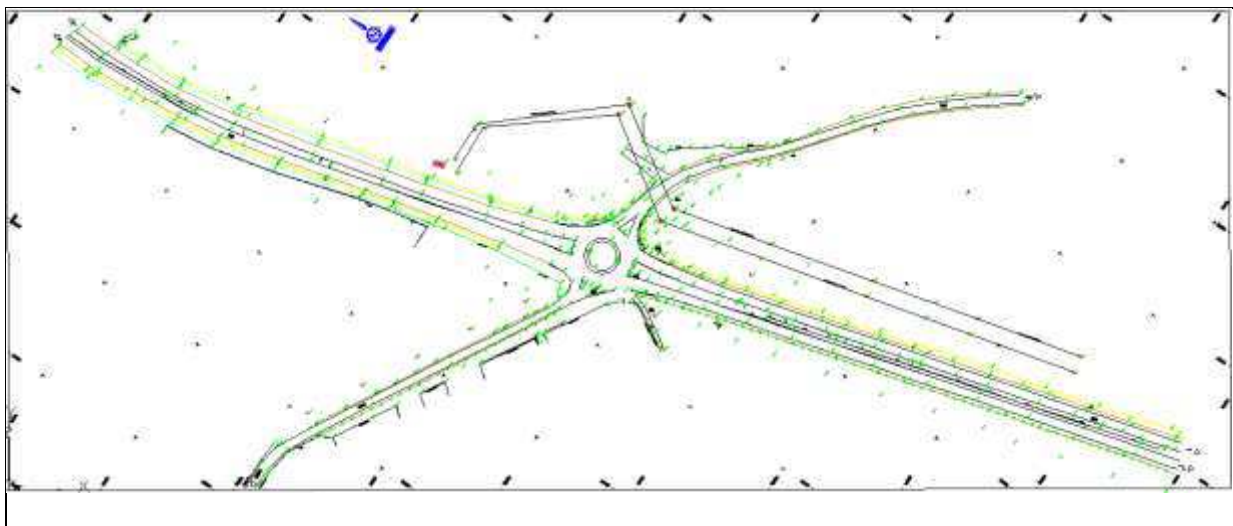


Figure 1 : Levé topographique du site (BET S.E.R.O.R)

1.2. Données naturelles :

1.2.1. Actions naturelles :

❖ Zone sismique :

Le territoire national est divisé en **05** zones sismiques (RPOA, 2008), Tlemcen située au Nord-Ouest de l'Algérie (faible sismicité) (Zone I). (Voir **Chapitre 03 : Etude dynamique et modélisation de calcul, Titre 1 : Etude sismique**)

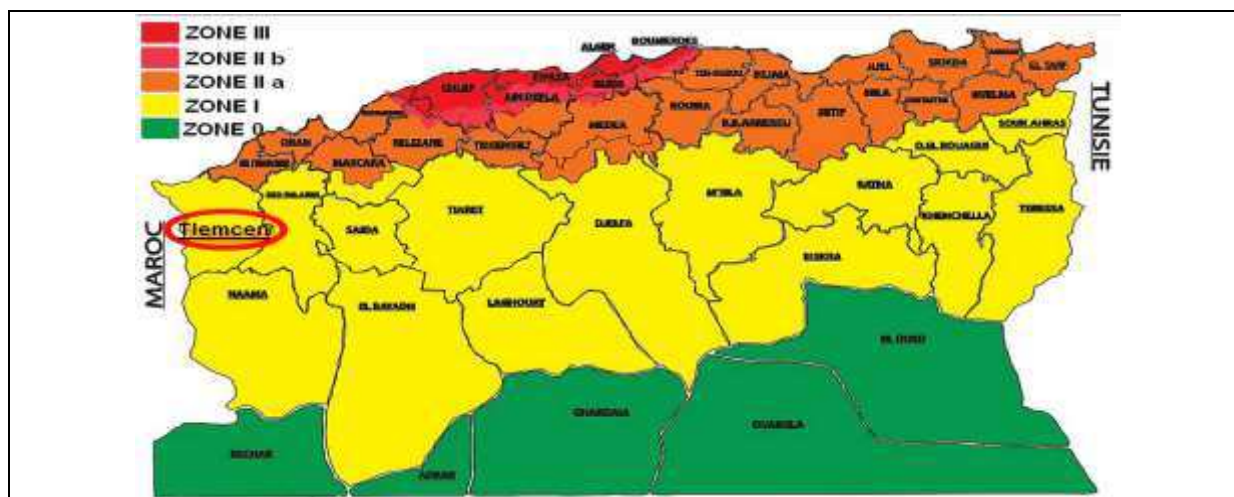


Figure 2 : Carte de zonage sismique de l'Algérie (RPOA, 2008)



2. Rapport géotechnique :

N.B : Aucun rapport géotechnique n'a été effectué dans le cadre de la réalisation de cet ouvrage [échangeur (Trémie) sur la RN22/RN22A (AIN-YOUCHEF)]. Le rapport géotechnique présenté dans notre mémoire concerne la réalisation d'un échangeur (Pont) sur la RN22 à l'entrée Sud de Remchi qui a été réalisé par (*L.T.P.O, Unité-Tlemcen*) et comme c'est à proximité de notre ouvrage, nous avons jugé que ça soit valable.

2.1. Programme de reconnaissance :

La programmation de la campagne de reconnaissance a comporté la réalisation de **03** sondages carottés, descendus verticalement à des profondeurs de **16 à 17m**, avec l'extraction des échantillons pour l'analyse géologique et géotechnique.

Associés à une série de **03** essais à la pénétration dynamique (lourd), poussées jusqu'au refus.

2.2. Résultat de la reconnaissance :

- **Sondages carottés :**

Les **03 sondages carottés**, ont mis en évidence la présence au niveau de chaque sondage ce qui suit :

Sondage S1 : qui se trouve au niveau de la rive Est de la **RN22**, arrêté à **16m** :

Tableau 1 : Sondage S1 (*LTPO-Unité de Tlemcen, 2013*)

de 0 à 0.6m	Remblai conglomératique.
de 0.6 à 3m	Argile marron carbonatée pâteuse conglomératique.
de 3m à 3.8m	Marno-calcaire beige pâteuse à graveleuse.
de 3,8m à 16m	Marne verdâtre pâteuse à raide.

Sondage S2 : qui se trouve au niveau de la rive Ouest de la **RN22**, arrêté à **16m**:

Tableau 2 : Sondage S2 (*LTPO-Unité de Tlemcen, 2013*)

de 0 à 0.6m	Remblai conglomératique.
de 0.6 à 1.8m	Encroutement de calcaire conglomératique
de 1.80m à 4m	Marne marron tendre conglomératique par endroit.
de 4m à 6.50m	Encroutement de calcaire argileux, altéré en sable.
de 6.50m à 9m	Calcaire conglomératique argileux.
de 9m à 16m	Marne vétrate pâteuse à mi-raide.



Sondage S3 : qui se trouve au niveau de la rive Est de la **RN22**, arrêté à **17m**:

Tableau 3: Sondage S3 (*LTPO-Unité de Tlemcen, 2013*)

de 0 à 0.6m	remblai conglomératique.
de 0.6 à 3m	calcaire brun conglomératique argileux en profondeur.
de 3m à 17m	marnes jaunâtres tendres à pâteuses devenant verdâtres en profondeur, avec un passage de calcaire conglomératique

Remarque : Notant une hétérogénéité des sols en surface, devenant par la suite homogène.

2.3. Essais Géotechniques :

Sur des échantillons, appartenant aux formations des marnes, des essais physico- mécaniques, chimiques ont été programmés.

2.3.1. Formation des marnes :

2.3.1.1. Essais physiques :

2.3.1.1.1. Granulométrie :

La granulométrie montre que le sol a la texture limono-sablo-argileuse, à sablo-gravello-limono-argileuse ; parfois gravello-sablo-limono-argileuse.

2.3.1.1.2. Limite d'Atterberg :

L'indice de plasticité I_p **$10 \leq I_p \leq 23$**

Sol moyennement plastique à plastique.

2.3.1.1.3. Densité :

Le poids volumique sec γ_d et poids volumique humide γ_h :

$$1,59 \leq \gamma_d \leq 2,01 \text{ t/ m}^3$$

$$1,98 \leq \gamma_h \leq 2,26 \text{ t/ m}^3 \rightarrow \text{Sol lâche à très dense.}$$

2.3.1.1.4. Imbibition :

Teneur en eau naturelle $W\%$ et degrés de saturation $SR\%$:

$$12 \leq W\% \leq 25\%$$

$$95 \leq SR\% \leq 97\%$$

Sol très mouillé.



2.3.1.2. Essais chimiques :

2.3.1.2.1. Teneur en Carbonate :

La teneur en carbonates CaCO_3 est de **22% à 70%** (confirmant que c'est une formation de marne parfois sableuse à concrétionnaire.)

2.3.1.2.2. Teneur en sulfate SO_4 et chlorure :

La teneur en sulfate « SO_4 » est de **1234 mg/Kg**, et en Chlorure « Cl » est de **0,177%** → **Sol faiblement agressif.**

2.3.1.3. Essais mécaniques :

2.3.1.3.1. Œdométrie :

L'essai œdométrique a donné ce qui suit:

Pression de consolidation : $P_c = (1,5 \text{ à } 1,9) \text{ bars}$

Coefficient de tassement : $0,07 \leq C_t \leq 0,23$.

Coefficient de gonflement : $0,01 \leq C_g \leq 0,02$.

Sol peu compressible à assez fortement compressible, peu gonflant.

2.3.1.3.2. Cisaillement rectiligne :

L'essai de cisaillement rectiligne dit à la boîte de Casagrande (non-consolidé non-drainé UU), a donné des paramètres mécanique ce qui suit :

Une cohésion : $17 \leq C \leq 50 \text{ KPa}$

Un angle de frottement : $10 \leq \varphi \leq 22^\circ$

Pour une teneur en eau : $16 \leq W\% \leq 22\%$

2.3.2. Formation des calcaires :

2.3.2.1. Essais mécaniques :

2.3.2.1.1. Compression simple :

Sur une carotte (sondage S2, profondeur 7,80-8.00m) de appartenant à la formation des calcaires, un essai de compression simple a donné les résultats suivant :

$R_c=12 \text{ bars}$ (faible résistance).

❖ Mode de fondation :

Vu l'hétérogénéité des formations géologiques rencontrées en surface (de 3m à 9m d'épaisseur), composées d'argile, de marno-calcaire, de calcaire conglomératique, d'encroutement de calcaire et des remblais conglomératiques ; l'ensemble masquant une seule formation de marne jaunâtre à verdâtre, pâteuse à mi-raide parfois raide. Le laboratoire recommande de passer par un système de fondations type superficielles (Radier).



3. Analyse multicritère :

3.1. Identification des alternatives :

Nous avons engagé un programme d'études ayant pour objet l'aménagement du carrefour d'AIN-YOUCHEF, pour ce faire nous avons proposé deux variantes :

- ❖ Variante 1 : Une Trémie.
- ❖ Variante 2 : Un Pont.

3.1.1. Variante 1 :

Il s'agit d'un échangeur (Trémie), il présente un linéaire de : **322,15 m**, constitué de deux parties (*Couverte et non couverte*).

D'après le département de planification, il a été convenu qu'un tel projet coûtera la somme de : Trois Cent Soixante-Deux Millions Quatre Cent Deux Mille Neuf Cent Quatre Vingt dix Dinars Et Un Centimes en Toutes Taxes Comprises. (**362 402 990,01 DA TTC**), et un délai d'environ **420 Jours** a été en convenance.

On a identifié les avantages et inconvénients de cette variante :

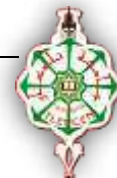
Tableau 4: Avantages et inconvénients de la trémie

Avantages	Inconvénients
Rapidité d'exécution.	Mauvaise adaptation aux gabarits.
Améliorer la sécurité routière.	Risque géotechnique.
Facilité de réalisation.	Terrassement en grande masse.
Meilleure esthétique.	Risque inondation.
Facilité d'assemblage.	Coût en énergie (éclairage, aération)
Le sous-sol offre l'avantage de protéger l'environnement extérieur des risques et nuisances.	

3.1.2. Variante 2 :

Il s'agit d'un échangeur Pont, il présente un linéaire de : 335,71 m, constitué de Trois (03) travées, deux **02 piles** et deux (02) culées, avec des parties de soutènement et des parties avec remblai d'accès d'une longueur de **256m** soit environ **128m/culée**. (**Voir annexe A**).

Nous avons établis un devis estimatif-quantitatif (**voir devis-Pont**), ce projet présente le coût de : Trois Cent soixante-deux Millions Huit Cent Soixante-six Mille Soixante Dinars Et Zéro Centimes en Toute Taxes Comprises. (**362 866 060,00 DA TTC**).

**N.B :**

Le montant prescrit précédemment, ne tient pas compte des **MDS** (Partie-Remblai d'accès).

Ensuite nous avons procédé à un système de découpage de projet (WBS : Work Breakdown Structure) afin d'établir un Diagramme de GANTT (**Voir annexe C**).
Le délai de réalisation de ce projet est de : **467 Jours**.

**Devis estimatif et quantitatif d'un échangeur
(Pont à 03 travées de 33,40 ml en Béton précontraint.)
sur la RN22/RN22 A AIN-YOUCF**

N°	Désignation des articles	U	Qu	P.U	Montant
SECTION 1 : Installation du chantier					
01	Amenée du matériel et installation du chantier	F	1	2 000 000,00	2 000 000,00
02	Repli du matériel et des installations du chantier	F	1	1 500 000,00	1 500 000,00
03	Etude d'exécution	F	1	2 500 000,00	2 500 000,00
Sous total(1)					6 000 000,00
SECTION 2 : INFRASTRUCTURE					
04	Exécution des pieux forés	MI	1200	60 000,00	72 000 000,00
05	Béton de propreté dosé a 150 kg/m3	M3	100	7 000,00	700 000,00
06	Gros béton sous MDS	M3	298	9 500,00	2 831 000,00
07	Béton pour éléments préfabriqués dosé à 350 kg/m3	M3	710	14 500,00	10 295 000,00
08	Aciers pour béton préfabriqués	T	230	150 000,00	34 500 000,00
09	Béton de fondation dosé à 350 kg/m3 y/c coffrage	M3	1050	14 000,00	14 700 000,00
10	Acier pour béton en fondation.	T	120	115 000,00	13 800 000,00
Sous total(2)					148 826 000,00
SECTION 3: SUPERSTRUCTURE.					
11	Béton en élévation (Piles et culées incluses) dosé à 350kg/m3 y/c coffrage.	M3	1710	15 500,00	26 505 000,00
12	Acier pour béton en élévation.	T	205	120 000,00	24 600 000,00
13	Fourniture et mise en place des poutres de 33,4 ml.	U	36	1 550 000,00	55 800 000,00
14	prédalles	M ²	584	1 900,00	1 109 600,00
15	Gargouilles d'évacuation d'EP f 100	U	50	5 900,00	295 000,00
16	Tuyau en PVC P/Eau pluviale	MI	110	1 900,00	209 000,00
17	Chape d'étanchéité	M ²	2550	3 500,00	8 925 000,00
18	Feutre Bitumineux.	M ²	2554	3 200,00	8 172 800,00

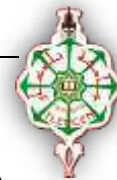


19	Garde-Corps métallique.	ML	330	12 000,00	3 960 000,00
20	Glissière de sécurité	ML	330	5 600,00	1 848 000,00
21	Appareils d'appui en néoprène	U	72	49 000,00	3 528 000,00
22	Peinture Bitumineuse	M ²	3900	500,00	1 950 000,00
23	Bordures de trottoirs	MI	330	1 500,00	495 000,00
24	Corniche en béton.	MI	330	9 900,00	3 267 000,00
25	Dallettes de trottoirs.	M ²	230	1 900,00	437 000,00
Sous total(3)					141 101 400,00
SECTION 4: CHAUSSEE					
26	Déblai en terrain meuble y/c réglage des fouilles	M3	3100	800,00	2 480 000,00
27	Remblai en matériaux sélectionnés	M3	9200	1 020,00	9 384 000,00
28	Couche en fondation en tuf	M3	420	1 080,00	453 600,00
29	Couche de base en grave concassée(e=25cm) y compris imprégnation en cut-back 0/1	M3	830	2 800,00	2 324 000,00
30	Couche en grave bitume (e= 12cm)	T	720	5 900,00	4 248 000,00
31	Couche en béton bitumineux sur e=6cm y compris couche d'accrochage en émulsion.	T	400	8 000,00	3 200 000,00
Sous total(4)					22 089 600,00
				Total en hors taxe	318 017 000,00
				Taxe 17%	44 849 060,00
				Total T.T.C	362 866 060,00
<p>Arrêté le présent devis à la somme de: Trois Cent soixante-deux Millions Huit Cent Soixante-six Mille Soixante Dinars Et Zéro Centimes en Toute Taxes Comprises. (362 866 060,00 DA TTC)</p>					

Comme tout ouvrage, celui-ci a ses avantages et inconvénients qui se présentent comme suit :

Tableau 5: Avantages et inconvénients du Pont en béton précontraint

Avantages	Inconvénients
Possibilité de franchir de plus grande portée.	Temps de réalisation très long.
Bonne adaptation aux gabarits.	Mauvaise esthétique (Nombre d'appuis).
Large choix dans les matériaux.	Sensibilité à la température (s'allonger ou rétrécir).
Relativement simple à construire.	La portée est limitée par la résistance des poutres.
Structure légère et solide.	Obligation d'avoir des piles.

**NB :**

La méthode de comparaison adoptée entre les (02) deux variantes citées auparavant, est l'**analyse multicritères**.

3.2. Première étape de cette analyse :

Cette étape consiste à définir des critères qui guideront la décision parmi des critères environnementaux, Techniques, et économiques.

Les critères envisagés pour cette analyse, sont les suivants :

1. **Délai de réalisation** : Ce critère évalue le temps nécessaire pour la réalisation de l'ouvrage.
2. **Coût** : Ce critère évalue le budget légal à la réalisation de l'ouvrage.
3. **Esthétique** : Ce critère prend en considération les formes architecturales de l'ouvrage.
4. **Environnement** : Ce critère permet d'évaluer les impacts d'un nouvel ouvrage sur le milieu naturel.
5. **Trafic** : Ce critère évalue les impacts du nouvel ouvrage en termes de volume du trafic.

3.3. Deuxième étape de cette analyse :

La deuxième étape a pour but de donner à chaque critère une notation, exprimant l'importance de celui-ci pour la variante envisagée. Cette notation peut être réalisée à partir de chiffres.

Tableau 6 : Echelle de graduation

Echelle	1	2	3	4	5
Mention	Mauvaise	Moyenne	Bonne	Très bonne	Excellente

Tableau 7: Résultats de l'analyse multicritère

Critère.	Poids du critère.	Variante01 (TREMIE).	Variante 02 (PONT).
Esthétique.	3	4	2
Délai.	5	5	3
Coût.	4	4	2
Environnement.	2	3	2
Trafic.	1	3	2



Les données de ce tableau sont ensuite représentées sur un plan en deux dimensions (à l'aide de l'outil EXCEL), chaque axe représente une caractéristique quantifiée à partir du même point. La plus grande surface couverte par l'une des solutions étant celle à privilégier.

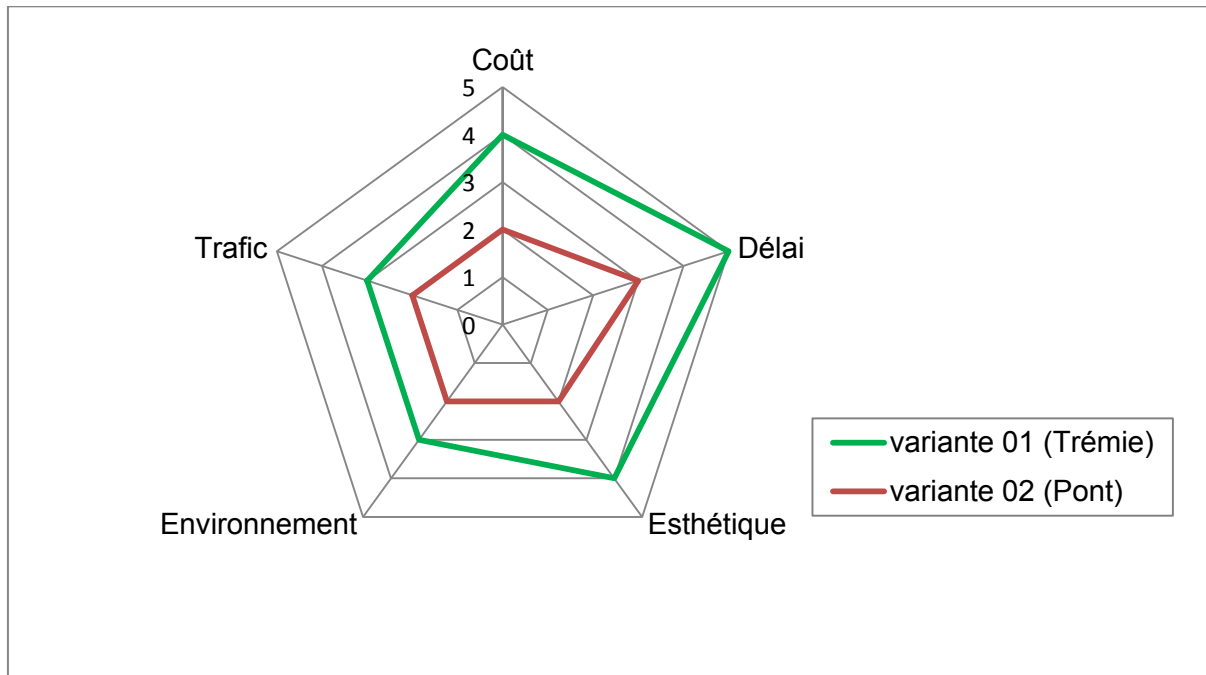


Figure 3: Présentation des variantes par le graphique radar

3.4. Interprétation des résultats de l'analyse multicritère :

Suite à la comparaison entre ces deux variantes, chacune de ces variantes a ses avantages et ses inconvénients.

Il ressort de cette analyse que le choix optimal s'est porté sur la variante 01 (Trémie) car, elle a moins d'impacts négatifs sur l'environnement en phase de construction, un coût moindre de plus elle est d'une fluidification de trafic plus efficace.

4. Présentation du projet (Trémie) :

La trémie d'Ain Youcef comme l'indique son nom se trouve à proximité d'Ain Youcef entre les deux Wilaya de Tlemcen et Oran. Il constitue le croisement entre la Rn22, W 71 et Rn22A.

Cet ouvrage a pour but de déniveler partiellement la circulation au droit du carrefour. Les voies centrales du courant principal sont dénivélées, et les voies de rive restent à niveau pour assurer le passage des véhicules tournant à droite ou à gauche.



Figure 4 : Vue du projet par satellite

L'échangeur est constitué de deux parties :

4.1. Première partie (Partie couverte) :

Elle est composée de 28 anneaux, chaque anneau (1,99m de largeur) est réalisé par un ensemble constructif d'élément préfabriqués, ces éléments sont :

- a) Un « U » renversé
- b) Deux piédroits
- c) Un radier

Le « U » est assemblé a ses deux extrémités aux piédroits par des rotules, puis une parfaite liaison est assurer entre les piédroits par un radier.

La longueur totale de cette partie est de 55,60 mètres, caractérisée aussi par un gabarit de 5,45 mètres de hauteur.



Figure 5 : Partie couverte de la trémie

4.2. Deuxième partie (Partie non-couverte) :

Cette partie est constituée de murs de soutènement préfabriqués de différents type, compléter ensuite par un radier afin de former un U. Le tableau suivant fourni l'ensemble d'information concernant chaque côté latéral.



Tableau 8 : récapitulatif des MDS de la trémie. (*BET SEROR*)

	Côté Droit (Sens Tlemcen)	Côté Droit (Sens Oran)	Côté Gauche (Sens Tlemcen)	Côté Gauche (Sens Oran)
MDS Type 1.	26 éléments	27 éléments	26 éléments	27 éléments
MDS Type 2.	12 éléments	10 éléments	12 éléments	10 éléments
MDS Type 3.	23 éléments	27 éléments	23 éléments	27 éléments
Longueur des murs coulés en place.	1,3 mètre	7,45 mètres	9,1 mètres	0,9 mètres
Longueur totale	123,3 mètres	135,45 mètres	131,1 mètres	128,90 mètres



Figure 6 : Partie non couverte de la trémie

4.3. Equipement de l'ouvrage :

Les équipements de cet ouvrage couvrent un ensemble de dispositif de nature, de conception, et de fonctionnement très divers afin de remplir un certain nombre de fonctions.

Ils permettent d'assurer :

- ✓ La sécurité et le confort des usagers (Qualité de la chaussée, Bordures de trottoirs, Garde-corps, Glissières).
- ✓ Protéger la structure (Etanchéité, Evacuation des eaux).
- ✓ Un éclairage suffisant pour la partie couverte et non couverte (Candélabres)
- ✓ Enfin les corniches et les bacs à fleurs ont un rôle principalement esthétique. Ces équipements ont une importance économique réelle.



5. Préfabrication :

Par définition, elle consiste à transférer un maximum d'activité du chantier vers une usine fixe. Ce processus industrialisé permet de fabriquer des éléments en béton armé, avant le début de projet pour que ces éléments soient montés sur place par la suite. La préfabrication requiert néanmoins une méthode de conception spécifique et adaptée.

On constate que cette technique est appliquée dans tous les domaines du secteur de la construction, qu'il s'agisse de la construction routière, parking, logements... grâce aux nombreux avantages qu'elle présente.



Figure 7 : Elément préfabriqué en « U » renversé

Parmi les **avantages** principaux, citons :

- ✓ Le temps de construction sur chantier est considérablement raccourci.
- ✓ Les conditions météorologiques ont un impact minime sur les conditions de travail des ouvriers, ce qui permet une production de meilleure qualité
- ✓ La préfabrication permet un contrôle de qualité plus performant.

Inconvénients :

- ✓ La manutention inappropriée par manque de matériel, ou de savoir-faire.
- ✓ Incidents lors du transport entraînant la chute des pièces.
- ✓ Le mauvais stockage des éléments préfabriqués, généralement les pièces sont soumises à des contraintes pouvant amener à leurs ruptures.



Figure 8 : Manutention d'un élément « U » renversé

6. Organisation du projet :

6.1. Matrice de priorités du projet :

Les critères de fixation d'objectifs sont toujours de trois ordres, à savoir :

- Time (le temps).
- Performance (la qualité).
- Cost (le coût).

	Time	Performance	Cost
Constrain		○	
Enhance	○		
Accept			○

Figure 9 : Matrice des priorités

- ✓ **Constrain (Contrainte) :** Exigences originales sont fixées, et ne peuvent pas être changées.
- ✓ **Enhance (Amélioration) :** Opportunité de faire mieux.
- ✓ **Accept (Acceptation) :** Exigences sont flexibles.



6.2. Type de système d'élaboration du projet :

Au cours de cette étape on s'est concentré sur le type de système d'élaboration de notre projet [Echangeur (Trémie) Ain-Youcef]. Pour ce faire, nous avons employé un outil informatique nommé **PDCS** développé par **Construction industry institute (CII)**.

Après identification des priorités du projet qui sont susceptibles d'influencer le type du système, on doit procéder aux étapes suivantes :

6.2.1. Identification des facteurs :

On doit identifier les six facteurs importants, en fonction des objectifs :

- (2) : Le coût minimum est critique pour le succès du projet.
- (5) : Le propriétaire assure un risque financier minimal dans le projet.
- (7) : Achèvement avant les délais est critique pour le succès du projet.
- (12) : Conditions locales sur site sont favorables à l'exécution du projet.
- (13) : Le propriétaire veut un degré très élevé de contrôle et d'influence du projet.
- (16) : Le propriétaire veut une utilisation minimale de ses ressources pour l'exécution du projet.

6.2.2. Ranger les facteurs par importance et donner des scores :

Le tableau suivant résume tous les résultats obtenus :

Tableau 9 : Facteurs et leurs scores (CII)

Table A-1: Compute Preference Weights			
Factor Action Statement	Preference Rank	Preference Scores	Normalized Preference Weight
2. Ensure lowest cost	2	90	0,24
7. Ensure shortest schedule	1	95	0,26
5. Reduce risks or transfer risks to contractor	3	80	0,22
16. Minimize Owner's involvement	5	30	0,08
13. Maximize Owner's controlling role	4	55	0,15
12. Capitalize on familiar project conditions	6	20	0,05
		370	

6.2.3. Le choix du système d'élaboration :

Le tableau suivant montre toutes les alternatives PDCS avec leurs approches de compensation.



Tableau 10 : Classement des alternatives PDCS (CII)

Table A-2: Compute Aggregate Scores									
PDCS Relative Rank	PDCS Alternatives	Factor	2	7	5	16	13	12	Aggregate Score
		Preference Weight	0,24	0,26	0,22	0,08	0,15	0,05	
6	PDCS 01	Predetermined Effectiveness Values (Table EV-1)	90	0	80	20	90	0	54,19
4	PDCS 02		100	50	50	10	100	50	66,35
9	PDCS 03		70	10	60	20	70	0	44,59
10	PDCS 04		70	0	60	20	80	0	43,51
8	PDCS 05		60	40	20	20	80	40	44,86
5	PDCS 06		40	80	70	60	60	70	62,97
2	PDCS 07		80	100	90	90	10	100	78,78
3	PDCS 08		80	90	80	70	20	90	73,38
11	PDCS 09		0	90	10	0	90	80	42,97
12	PDCS 10		0	60	0	70	50	10	29,05
1	PDCS 11		80	100	100	100	0	100	80,27
7	PDCS 12		40	100	0	0	100	70	54,05

D'après le tableau les 03 alternatives retenues sont les suivantes :

Tableau 11 : Les trois alternatives PDCS retenues (Cours Mr.Hamzaoui : Administration et contrôle de construction)

Numéro	Nom	Description
PDCS 11	Clé en main	Chevauchement entre les phases de conception et de construction. Acquisition commence pendant la conception. Propriétaire signe un contrat avec l'entrepreneur pour la livraison clé en main.
PDCS 07	Conception/Construction (DB)	Chevauchement entre les phases de conception et de construction. Acquisition commence pendant la conception. Propriétaire signe un contrat avec l'entrepreneur. (DB)
PDCS 08	Multiple Conception/Construction	Chevauchement entre les phases de conception et de construction. Acquisition commence pendant la conception. Propriétaire signe des contrats avec 02 entrepreneurs (DB), un pour le procédé et un pour les équipements.

Nous avons opté, pour le second système proposé par l'outil informatique, pour les avantages suivants :



- Les délais peuvent être définis avant le début du projet.
- Gain de temps à la fin du projet.
- Résolution rapide des problèmes techniques rencontrés sur chantier.
- Peu de changement de la conception pendant la construction.

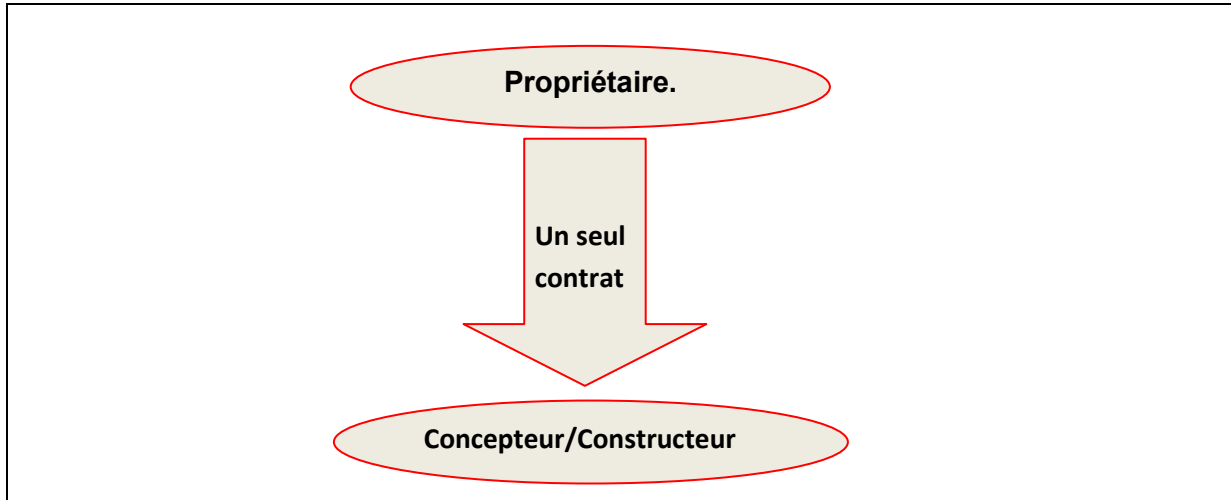


Figure 10 : Schéma de stratégie de contrat pour le système (DB)

CONCLUSION :

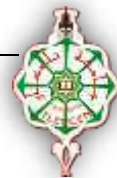
Ce premier chapitre nous a permis d'effectuer une étude comparative technico-économique ainsi qu'une analyse multicritère de deux projets (Trémie, Pont), on conclue que, la première alternative(Trémie) est celle ayant le moins d'impacts sur le milieu environnemental, un délai de réalisation moindre et elle réalise un bon traitement architectural. Quant à la deuxième alternative (Pont) elle présente un délai de réalisation plus long, esthétiquement moins agréable.

Suite à la comparaison de ces deux variantes, l'analyse a retenu la variante trémie comme choix optimale.

L'aménagement de ce carrefour consiste alors à la réalisation d'une trémie. Ce passage inférieur constitué d'éléments préfabriqués va assurer une bonne fluidité de la circulation, tout en mettant les usagers confortablement en sécurité.



Chapitre 02
**Pré-dimensionnement
et
étude de charges et surcharges**



Contenu (Chapitre 02)

Pré-dimensionnement et étude de charges et surcharges

Introduction :	- 19 -
1. Principe de dimensionnement :	- 20 -
1.1. Partie non-couverte :	- 20 -
1.1.1. Mur de soutènement (M.D.S) du type-1 :	- 20 -
1.1.2. Mur de soutènement (M.D.S) du type-2 :	- 20 -
1.1.3. Mur de soutènement (M.D.S) du type-3 :	- 21 -
1.2. Partie couverte :	- 23 -
2. Levage et manutention :	- 24 -
2.1. Calcul des poids propres des éléments préfabriqués :	- 25 -
2.2. Calcul des sections d'ancres de levage :	- 27 -
2.3. Calcul des efforts supportés par les ancres de levage :	- 28 -
2.4. Détermination de la position des ancres de levage :	- 29 -
2.4.1. Calcul des centres de gravité des éléments préfabriqués :	- 29 -
3. Actions considérées :	- 34 -
3.1. Poussée des terres :	- 34 -
3.2. Poussée due à la surcharge sur remblai :	- 35 -
3.3. Charges permanentes et surcharges d'exploitations :	- 37 -
3.3.1. Charges permanentes :	- 37 -
3.3.2. Surcharges d'exploitations :	- 39 -
3.3.2.1. Surcharges sur trottoir :	- 39 -
3.3.2.2. Système (A) :	- 40 -
3.3.2.3. Système (B) :	- 41 -
3.3.2.3.1. Le sous-système Bc :	- 41 -
3.3.2.3.2. Le sous-système Bt :	- 52 -
3.3.2.4. Surcharge militaire de type MC120 :	- 62 -
Conclusion :	- 68 -



Introduction :

Le pré-dimensionnement se situe en amont du processus de conception d'un système, il consiste à déterminer à partir de certaines exigences un ensemble de solutions techniques possibles dans un espace de recherche structuré par une connaissance du futur aspect de notre structure, une raison pour laquelle nous avons établi des simplifications concernant les approches définies par les normes pour pouvoir faire un choix sur des données imprécises qui seront vérifiées et approuvées par la suite à travers l'étude de la descente de charges et surcharges.

Dans notre analyse, nous dimensionnons les éléments de notre structure suivant les normes à considérer, pour avoir un aspect géométrique et pour pouvoir l'introduire dans le logiciel de modélisation **SAP2000v14**, par la suite nous effectuons l'étude de la descente de charges permanentes qui sont principalement : Le poids propre, et la poussée des remblais, et surcharges d'exploitation qui s'interprètent le plus aux charges roulables.

Notre ouvrage doit répondre à des exigences conformément aux normes appliquées dans notre domaine, qui se résument à pouvoir supporter les charges qui lui sont appliquées, et les transmettre au sol support qui doit à son tour les recevoir en toute sécurité.



1. Principe de dimensionnement :

1.1. Partie non-couverte :

La partie non-couverte sera réalisée avec :

- 03 types de murs de soutènements qui varient selon la hauteur (*B.E.T SEROR*)
 - 1- **Type-1** : $H = 5.90m \div 6.80m$
 - 2- **Type-2** : $H = 4.55m \div 5.70m$
 - 3- **Type-3** : $H = 1.50m \div 4.30m$
- Des murs coulés sur place au niveau des extrémités de la trémie
- Un radier coulé sur place au niveau des patins des M.D.S dont leurs épaisseurs varient selon chaque type de M.D.S
- Des corniches préfabriquées clavetées en têtes des M.D.S

1.1.1. Mur de soutènement (M.D.S) du type-1 :

- La hauteur maximale de ce type atteint : $H = 6.80 m$
- Montant : d'après (*Costet et Sanglerat, 1983*)
 - ❖ Au sommet : on détermine l'épaisseur Minimale du mur (Ep_{min}) :

$$Ep_{min} \geq \frac{H}{24} \rightarrow \frac{6.80}{24} = 0.283 m \leftrightarrow Ep_{min} = 0.30 m$$

- ❖ A la base : on détermine l'épaisseur maximale du mur (Ep_{max}) :

$$Ep_{max} \geq \frac{H}{12} \rightarrow \frac{6.80}{12} = 0.56 m \leftrightarrow Ep_{max} = 0.65m$$

- Semelle :

Pour déterminer la largeur de la semelle on applique la formule suivante :

$$B = 1.5 + Ep_{max} \leftrightarrow B = 1.5 + 0.65 = 2.15 m$$

N.B : 1.5 m est une dimension qui sera vérifiée pour la stabilité du mur préfabriqué en phase de construction.

- Radier coulé sur place :

L'épaisseur du radier est déterminée à partir de la formule forfaitaire :

$$Ep_{radier} \approx \left(h < \frac{l}{25} \right) \Leftrightarrow Ep_{radier} \approx \left(h < \frac{16.71}{25} = 0.67m \right)$$

$$\Leftrightarrow Ep_{radier} = 0.60 m$$

1.1.2. Mur de soutènement (M.D.S) du type-2 :

- La hauteur maximale de ce type atteint : $H = 5.70 m$
- Montant :
 - ❖ Au sommet : on détermine l'épaisseur Minimale du mur (Ep_{min}) :

$$Ep_{min} \geq \frac{H}{24} \rightarrow \frac{5.70}{24} = 0.24 m \leftrightarrow Ep_{min} = 0.30 m$$



- ❖ A la base : on détermine l'épaisseur maximale du mur (Ep_{max}) :

$$Ep_{max} \geq \frac{H}{12} \rightarrow \frac{5.70}{12} = 0.48 \text{ m} \leftrightarrow Ep_{max} = 0.50 \text{ m}$$

- Semelle :

Pour déterminer la largeur de la semelle on applique la formule suivante :

$$B = 1.5 + Ep_{max} \leftrightarrow B = 1.5 + 0.50 = 2.00 \text{ m}$$

- Radier coulé sur place :

L'épaisseur du radier est déterminée à partir de la formule forfaitaire :

$$Ep_{radier} \approx \left(h < \frac{l}{25} \right) \leftrightarrow Ep_{radier} \approx \left(h < \frac{16.71}{25} = 0.67 \text{ m} \right)$$

$$\Rightarrow Ep_{radier} = 0.45 \text{ m}$$

1.1.3. Mur de soutènement (M.D.S) du type-3 :

- La hauteur maximale de ce type atteint : $H = 4.30 \text{ m}$

- Montant :

- ❖ Au sommet : on détermine l'épaisseur Minimale du mur (Ep_{min}) :

$$Ep_{min} \geq \frac{H}{24} \rightarrow \frac{4.30}{24} = 0.18 \text{ m} \leftrightarrow Ep_{min} = 0.35 \text{ m} \rightarrow \text{Pour des raisons de coffrage adopté.}$$

- ❖ A la base : on détermine l'épaisseur maximale du mur (Ep_{max}) :

$$Ep_{max} \geq \frac{H}{12} \rightarrow \frac{4.30}{12} = 0.35 \text{ m} \leftrightarrow Ep_{max} = 0.35 \text{ m}$$

- Semelle :

Pour déterminer la largeur de la semelle on applique la formule suivante :

$$B = 1.5 + Ep_{max} \leftrightarrow B = 1.25 + 0.35 = 1.60 \text{ m}$$

- Radier coulé sur place :

L'épaisseur du radier est déterminée à partir de la formule forfaitaire :

$$Ep_{radier} \approx \left(h < \frac{l}{25} \right) \leftrightarrow Ep_{radier} \approx \left(h < \frac{16.71}{25} = 0.67 \text{ m} \right)$$

$$\Rightarrow Ep_{radier} = 0.35 \text{ m}$$

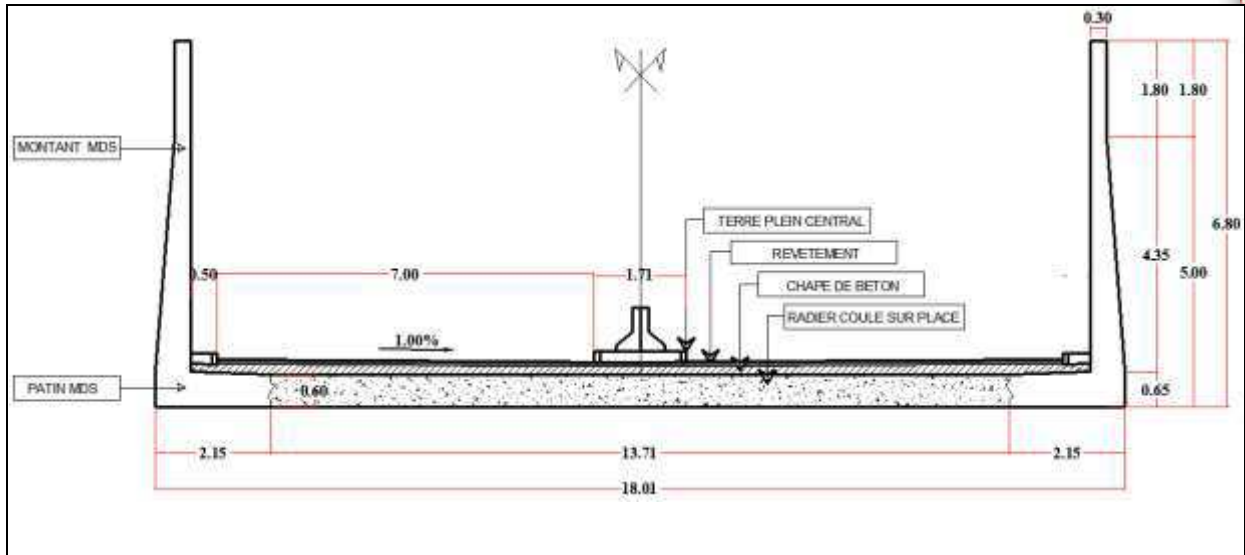


Figure 1 : Représentation partie non couverte-MDS TYPE 1

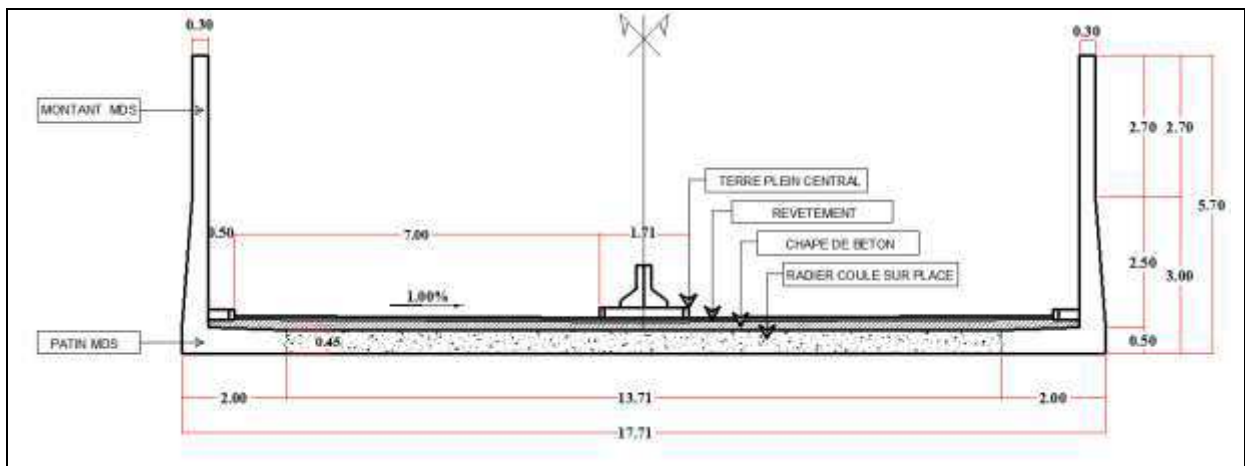


Figure 2 : Représentation partie non couverte-MDS TYPE 2

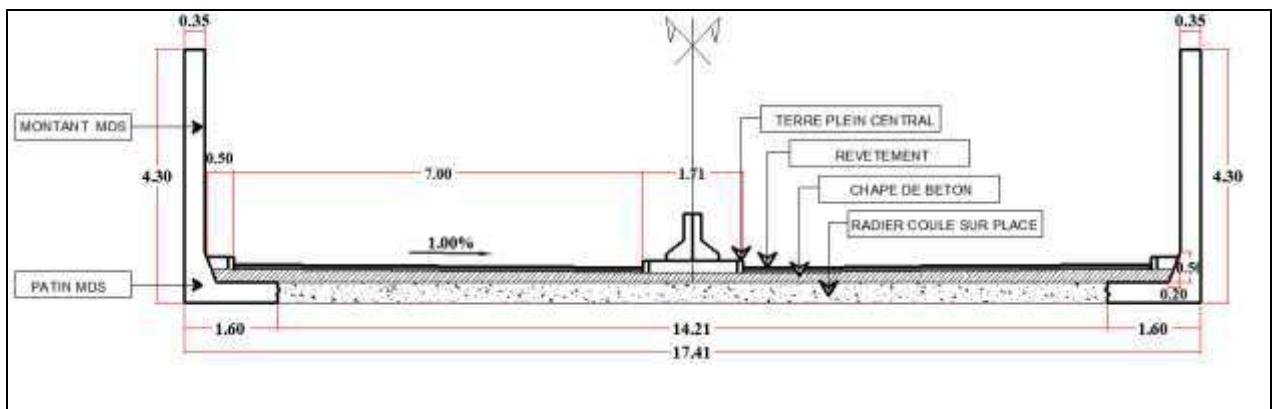


Figure 3 : Représentation partie non couverte-MDS TYPE 3





Tableau 1 : Récapitulatif des dimensions de différents types de murs de soutènements

Mur de soutènement	Hauteur max H (m)	h (m)	Ep_{max}	Ep_{min}	Largeur b (m)	B (m)	Ep_{radier} (m)	L_{radier} (m)	L_{radier} Totale (m)
Type 1	6.80	4.35	0.65	0.30	1.50	2.15	0.60	13.71	18.01
Type 2	5.70	2.50	0.50	0.30	1.50	2.00	0.45	13.71	17.71
Type 3	4.30	3.95	0.35	0.35	1.25	1.60	0.35	14.21	17.41

1.2. Partie couverte :

La partie couverte est constituée de **28 anneaux** × 2, dont chaque anneau est constitué d'une couverture en forme d'un « U » renversé, simplement posé sur **02 piédroits** par le biais d'une rotule. La hauteur de ces piédroits est de **3.95 m**, et sont d'une largeur de **1.99 m** ≈ **2.00 m**, assemblés au niveau des patins par un radier **claveté** et **coulé** sur place.

- Dalle de couverture :

Lorsque l'ouverture du cadre varie entre **3** à **10m**, l'épaisseur de la dalle de l'élément « U » doit être supérieure à **0.30m** et sera calculée selon la formule suivante :

$$Ep_{Dalle} = \frac{L}{32} + 0.125$$

Avec : **L** : Ouverture entre nus des piédroits.

D'après (CALGARO, 2000)

AN :

$$Ep_{Dalle} = \frac{8.00}{32} + 0.125 = 0.375m \approx 0.40m$$

$$Ep_{Dalle} = 0.40m$$

- Piédroit :

- ❖ Montant :

- A la base :

$$Ep_{min} \geq \frac{h}{12} \Leftrightarrow \frac{3.95}{12} = 0.329m$$

$$Ep_{max} = 0.35m$$

- Au sommet :

$$Ep_{min} \geq \frac{h}{24} \Leftrightarrow \frac{3.95}{24} = 0.16m$$

$$Ep_{min} = 0.35m$$

NB :

- Pour des raisons pratiques de coffrage on adopte une épaisseur constante pour le montant du piédroit égale à **0.35m**.
- La zone au niveau de la base porte un gousset de **0.20x0.50m** afin de rigidifier l'élément préfabriqué.



❖ Semelle préfabriquée :

Longueur de la semelle préfabriquée :

$$B = 1.25 + Ep_{moy} = 1.25 + 0.35 = 1.60m$$

$$B = 1.60m$$

Épaisseur de la semelle préfabriquée :

$$Ep_{Semelle} = Ep_{max} + 0.05 = 0.35 + 0.05 = 0.40m$$

$$Ep_{Semelle} = 0.40m$$

• Radier coulé sur place :

$$Ep_{Radier} \geq \frac{L}{25} \Leftrightarrow Ep_{Radier} \geq \frac{8.00}{25} = 0.32m$$

$$Ep_{Radier} = 0.40m$$

NB :

- La semelle ayant une épaisseur de **0.40m** nous conduit à considérer la même épaisseur pour le radier coulé sur place à voir **0.40m**.

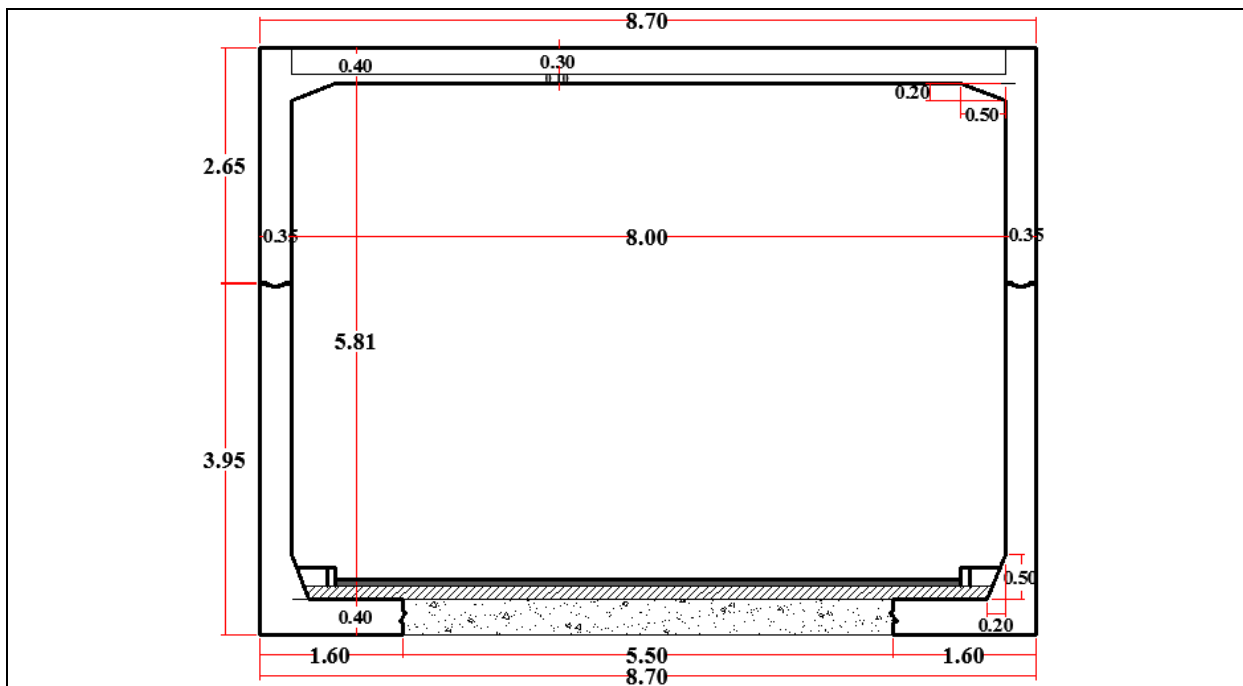


Figure 4 : Représentation de la partie couverte

2. Levage et manutention :

La manutention et levage des éléments préfabriqués (*Murs de soutènements, piédroits, élément en « U »,...etc.*) se fait à l'aide de **04 crochets** ancrés dans la face extérieure des montant (*pour les M.D.S et les piédroits*) et sur la face supérieure de l'élément « U » renversé, ayant la capacité requise pour supporter le poids propre de l'élément préfabriqué.



2.1. Calcul des poids propres des éléments préfabriqués :

- Données :

- ✓ Masse volumique du béton armé = **2.5 t/m³**
- ✓ La largeur de l'élément préfabriqué = **1.99m**

- Mur de soutènement du TYPE-1 :

$$P'_1 = (0.30 \times 6.15 \times 1.99) \times 2.5$$

$$P'_1 = 9.178 \text{ t}$$

$$P'_2 = \left[\left(\frac{0.35 \times 4.35}{2} \right) \times 1.99 \right] \times 2.5$$

$$P'_2 = 3.787 \text{ t}$$

$$P'_3 = (0.60 \times 2.15 \times 1.99) \times 2.5$$

$$P'_3 = 6.417 \text{ t}$$

$$P'_4 = \left[\left(\frac{0.05 \times 1.50}{2} \right) \times 1.99 \right] \times 2.5$$

$$P'_4 = 0.186 \text{ t}$$

$$P'_5 = (0.05 \times 0.65 \times 1.99) \times 2.5$$

$$P'_5 = 0.161 \text{ t}$$

$$P_1: P_{\text{mur de soutènement type-1}} = \sum P'_i = P'_1 + P'_2 + P'_3 + P'_4 + P'_5$$

$$P_1 = 9.178 + 3.787 + 6.417 + 0.186 + 0.161$$

$$\mathbf{P_1 = 19.73 \text{ t}}$$

- Mur de soutènement du TYPE-2 :

$$P''_1 = (0.30 \times 5.20 \times 1.99) \times 2.5$$

$$P''_1 = 7.761 \text{ t}$$

$$P''_2 = \left[\left(\frac{0.20 \times 2.50}{2} \right) \times 1.99 \right] \times 2.5$$

$$P''_2 = 1.243 \text{ t}$$

$$P''_3 = (0.45 \times 2 \times 1.99) \times 2.5$$

$$P''_3 = 4.477 \text{ t}$$

$$P''_4 = \left[\left(\frac{0.05 \times 1.50}{2} \right) \times 1.99 \right] \times 2.5$$

$$P''_4 = 0.186 \text{ t}$$

$$P''_5 = (0.50 \times 0.05 \times 1.99) \times 2.5$$

$$P''_5 = 0.124 \text{ t}$$

$$P_2: P_{\text{mur de soutènement type-2}} = \sum P''_i = P''_1 + P''_2 + P''_3 + P''_4 + P''_5$$

$$P_2 = 7.761 + 1.243 + 4.477 + 0.186 + 0.124$$

$$\mathbf{P_2 = 13.79 \text{ t}}$$



- Mur de soutènement du TYPE-3 :

$$P'''_1 = (0.35 \times 3.95 \times 1.99) \times 2.5$$

$$P'''_1 = 6.878 \text{ t}$$

$$P'''_2 = \left[\left(\frac{0.20 \times 0.50}{2} \right) \times 1.99 \right] \times 2.5$$

$$P'''_2 = 0.248 \text{ t}$$

$$P'''_3 = (0.35 \times 1.60 \times 1.99) \times 2.5$$

$$P'''_3 = 2.786 \text{ t}$$

$$P_3: P_{\text{mur de soutènement type-3}} = \sum P'''_i = P'''_1 + P'''_2 + P'''_3$$

$$P_3 = 6.878 + 0.248 + 2.786$$

$$P_3 = \mathbf{9.912 \text{ t}}$$

- Partie couverte :

- ❖ Piédroit :

$$P_{P1} = (0.40 \times 1.60 \times 1.99) \times 2.5$$

$$P_{P1} = 3.184 \text{ t}$$

$$P_{P2} = \left[\left(\frac{0.20 \times 0.50}{1} \right) \times 1.99 \right] \times 2.5$$

$$P_{P2} = 0.248 \text{ t}$$

$$P_{P3} = (0.35 \times 3.55 \times 1.99) \times 2.5$$

$$P_{P3} = 6.1814 \text{ t}$$

$$P_{\text{piédroit}} = \sum P_{Pi} = P_{P1} + P_{P2} + P_{P3}$$

$$P_{\text{piédroit}} = 3.184 + 0.248 + 6.1814$$

$$P_{\text{piédroit}} = \mathbf{9.613 \text{ t}}$$

- ❖ Élément supérieur « U » renversé :

$$P_{\text{Dalle de couverture}}: P_D = (0.40 \times 8.70 \times 1.99) \times 2.5$$

$$P_D = 17.313 \text{ t}$$

$$P_{\text{Gousset Gauche}} = P_{\text{Gousset Droit}} = P_G = \left[\left(\frac{0.50 \times 0.20}{2} \right) \times 1.99 \right] \times 2.5$$

$$P_G = 0.248 \text{ t}$$

$$P_{\text{Montant Gauche}} = P_{\text{Montant Droit}} = P_{\text{Montant}}$$

$$P_{\text{Montant}} = (2.25 \times 0.35 \times 1.99) \times 2.5$$

$$P_{\text{Montant}} = 3.917 \text{ t}$$

P_U : Poids de l'élément supérieur "U"

$$P_U = P_D + (2 \times P_G) + (2 \times P_{\text{Montant}})$$

$$P_U = \mathbf{25.643 \text{ t}}$$

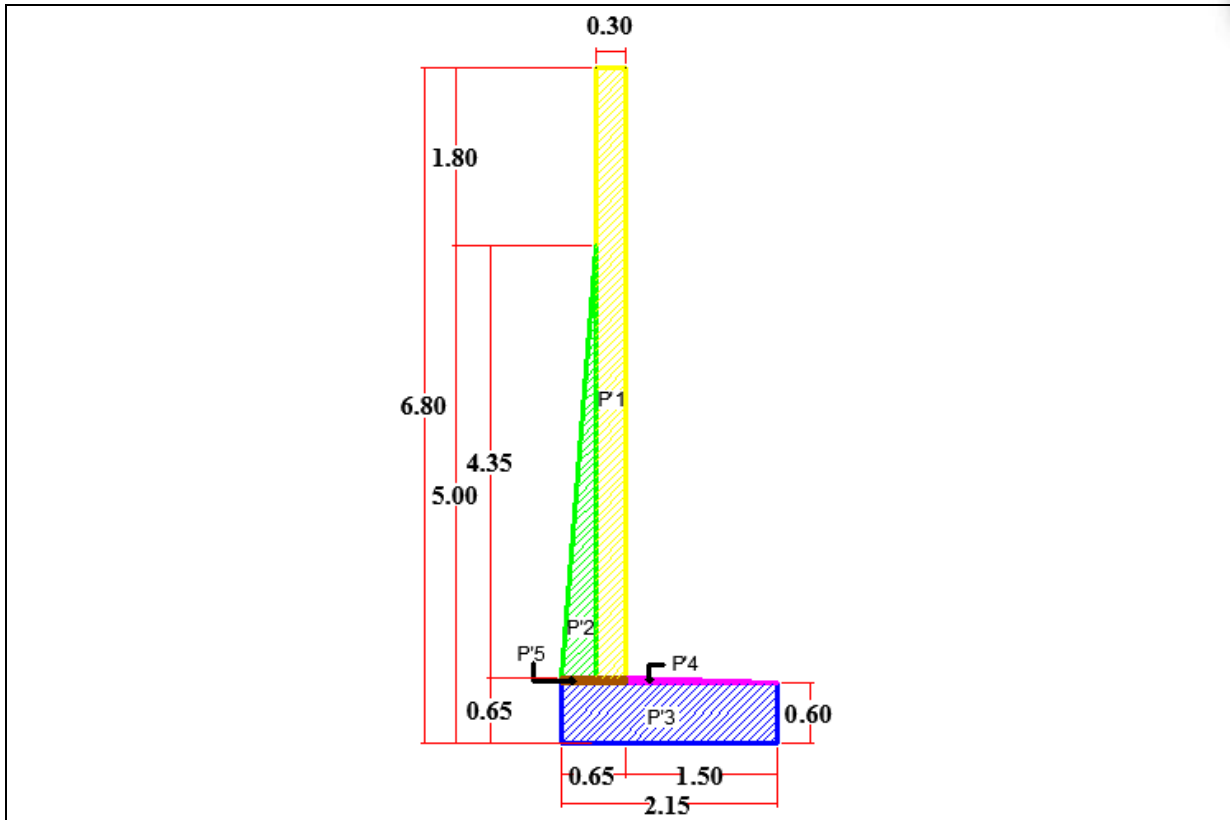


Figure 5 : Représentation des sections prises en considération pour le poids du MDS TYPE-1

2.2. Calcul des sections d'ancres de levage :

La section d'une ancre de levage se calcul par la formule forfaitaire suivante :

$$\sigma \leq \sigma_e = \frac{f_e}{1.15} \text{ Avec : } \begin{cases} \sigma = \frac{P}{4 \times S} \Leftrightarrow S \geq \frac{P}{4 \times \sigma} \\ f_e = 400 \text{ MPa} \end{cases}$$

- A l'état limite ultime les poids des éléments sont majorés par **1.35**
- Nous prenons en compte un coefficient dynamique au moment de levage qui est d'une valeur égale à : **1.25**

A.N :

Prenons comme exemple pour le calcul le M.D.S TYPE-1 :

Poids du MDS : $P_1 = 19.73 \text{ t} = 197.3 \text{ KN}$

- A l'état limite ultime (**ELU**) nous avons :
 $1.35 \times P_1 = 1.35 \times 197.3 = 266.355 \text{ KN}$
- Coefficient dynamique de levage :
 $266.355 \times 1.25 = 332.94 \text{ KN}$

On a : $\sigma_e = \frac{f_e}{1.15} = 347.83 \text{ MPa}$

Donc :

$$\frac{P}{4 \times \sigma} = \frac{332.94 \times 10}{4 \times 347.83} = 2.39 \text{ cm}^2$$

$$\Leftrightarrow S \geq 2.39 \text{ cm}^2$$

$$\Leftrightarrow S = 3.14 \text{ cm}^2 \rightarrow \mathbf{1T20}$$



Tableau 2 : Ferrailage des crochets de levage

	Eléments	Section « S » calculée (cm ²)	Section « S » choisie (cm ²)	Ferrailage adopté (cm ²)	Nombre de crochets de levage/élément
Partie Non Couverte	M.D.S TYPE-1	2.39	3.14	T20	04
	M.D.S TYPE-2	1.67	2.01	T16	04
	M.D.S TYPE-3	1.20	1.54	T14	04
Partie Couverte	Piédroit	1.16	1.54	T14	04
	« U » renversé	3.11	3.14	T20	04

NB :

Nous avons considéré que le diamètre minimum soit : T14

2.3. Calcul des efforts supportés par les ancrs de levage :

Les efforts que doivent prendre les crochets de levage sont calculés par la formule suivante :

$$T = P \times 1.25$$

L'effort résistant pour 01 ancre se calcule comme suit : $T_R = \sigma_e \times S_{Choisie}$

Tableau 3 : Vérification de l'effort résistant des ancrs de levage

	Eléments	Effort pris par les 04 ancrs T (KN)	Effort pris par 01 ancre T/4 (KN)	Effort résistant/ancre T _R (KN)	Vérification $\frac{T}{4} \leq T_R$
Partie Non Couverte	M.D.S TYPE-1	332.94	83.23	109.22	C. Vérifiée
	M.D.S TYPE-2	232.71	58.18	69.91	C. Vérifiée
	M.D.S TYPE-3	167.26	41.81	53.56	C. Vérifiée
Partie Couverte	Piédroit	162.22	40.55	53.56	C. Vérifiée
	« U » renversé	432.73	108.18	109.22	C. Vérifiée



2.4. Détermination de la position des ancrs de levage :

2.4.1. Calcul des centres de gravité des éléments préfabriqués :

- **Mur de soutènement (M.D.S) TYPE-1 :**

Les étapes à suivre pour déterminer le centre de gravité d'un élément :

- 1- Choisir et déterminer un repère global pour l'élément (X, Y, Z)
- 2- Décomposer l'élément en plusieurs sections
- 3- Calculer les coordonnées globales du centre de gravité de chaque section (X_i, Y_i, Z_i)
- 4- Calculer les surfaces des sections choisies (S_i)
- 5- Calculer les coordonnées globales du centre de gravité de l'élément en utilisant les formules suivantes :

$$\begin{cases} X_G = \frac{\sum X_i \times S_i}{\sum S_i} \\ Y_G = \frac{\sum Y_i \times S_i}{\sum S_i} \\ Z_G = \frac{\sum Z_i \times S_i}{\sum S_i} \end{cases}$$

Tableau 4 : Calcul du centre de gravité du MDS TYPE-1

Coordonnées globales des sections	Surfaces des sections choisies
❖ <u>Coordonnées : Section-01 :</u> $X_{G1} = \frac{0.30}{2} + 0.35 = \mathbf{0.50m}$ $Y_{G1} = \frac{2}{2} = \mathbf{1m}$ $Z_{G1} = \frac{4.35 + 1.8}{2} + 0.65 = \mathbf{3.725m}$	❖ <u>Surface : Section-01 :</u> $S_1 = (1.8 + 4.35) \times 0.30 = \mathbf{1.845m^2}$
❖ <u>Coordonnées : Section-02 :</u> $X_{G2} = (0.65 - 0.30) \times \frac{2}{3} = \mathbf{0.23m}$ $Y_{G2} = \frac{2}{2} = \mathbf{1m}$ $Z_{G2} = \frac{4.35}{3} + 0.65 = \mathbf{2.10m}$	❖ <u>Surface : Section-02 :</u> $S_2 = \frac{4.35 \times 0.35}{2} = \mathbf{0.76m^2}$



<p>❖ Coordonnées : Section-03 :</p> $X_{G3} = \frac{0.65}{2} = 0.325m$ $Y_{G3} = \frac{2}{2} = 1m$ $Z_{G3} = \frac{0.65}{2} = 0.325m$	<p>❖ Surface : Section-03 :</p> $S_3 = 0.65 \times 0.65 = 0.4225m^2$
<p>❖ Coordonnées : Section-04 :</p> $X_{G4} = \frac{1.5}{2} + 0.65 = 1.40m$ $Y_{G4} = \frac{2}{2} = 1m$ $Z_{G4} = \frac{0.60}{2} = 0.30m$	<p>❖ Surface : Section-04 :</p> $S_4 = 1.50 \times 0.60 = 0.90m^2$
<p>❖ Coordonnées : Section-05 :</p> $X_{G5} = \frac{1.5}{3} + 0.65 = 1.15m$ $Y_{G5} = \frac{2}{2} = 1m$ $Z_{G5} = \frac{0.05}{3} + 0.60 = 0.62m$	<p>❖ Surface : Section-04 :</p> $S_5 = 0.05 \times 1.5 \times \frac{1}{2} = 0.0375m^2$ <p>❖ Surface totale :</p> $\sum S_i = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5$ $\sum S_i = 3.965m^2$

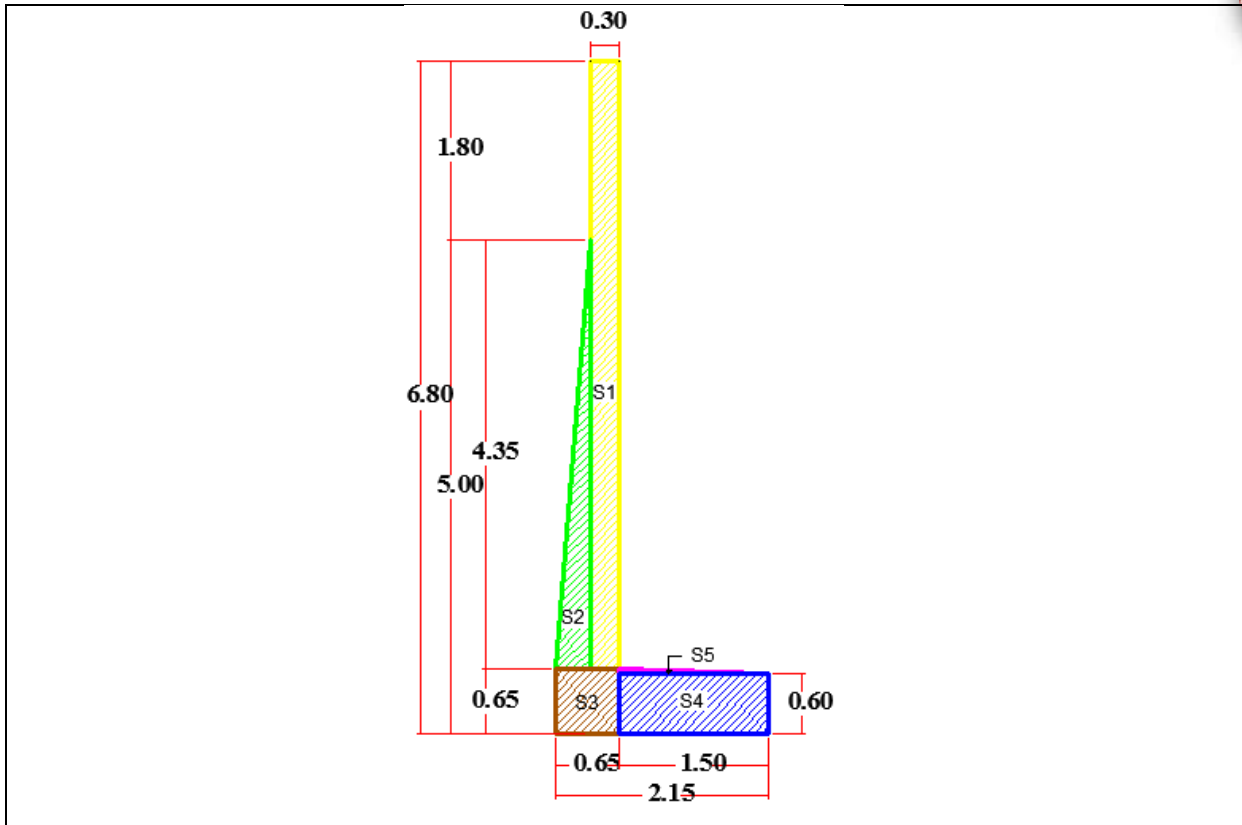


Figure 6 : Représentation des sections prises en considération pour la détermination du centre de gravité du MDS TYPE-1

❖ Coordonnées globales du centre de gravité de l'élément :

$$\text{Coordonnées de } \mathbf{G} : \begin{cases} X_G = \frac{\sum X_i \times S_i}{\sum S_i} = 0.64m \\ Y_G = \frac{\sum Y_i \times S_i}{\sum S_i} = 1.00m \\ Z_G = \frac{\sum Z_i \times S_i}{\sum S_i} = 2.24m \end{cases}$$

N.B. :

- Pour les autres éléments préfabriqués, on fait de même que le M.D.S TYPE-1, et on suit les mêmes étapes pour déterminer leurs centres de gravité.
- Les positions des crochets de levage sont représentées sur les figures qui suivent :

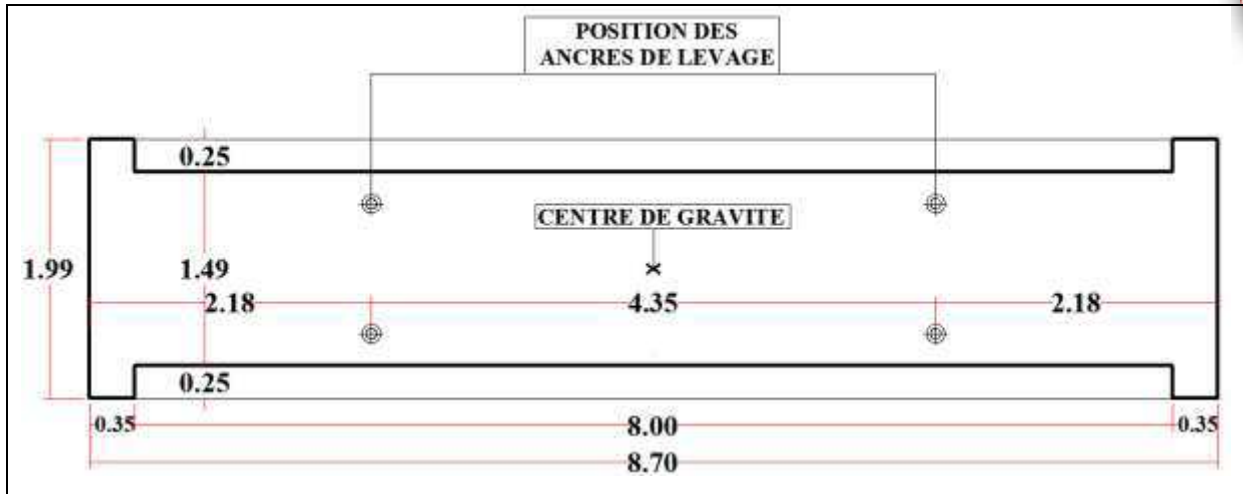


Figure 7 : Représentation des positions des crochets de levage pour la partie couverte-
élément supérieur « U »

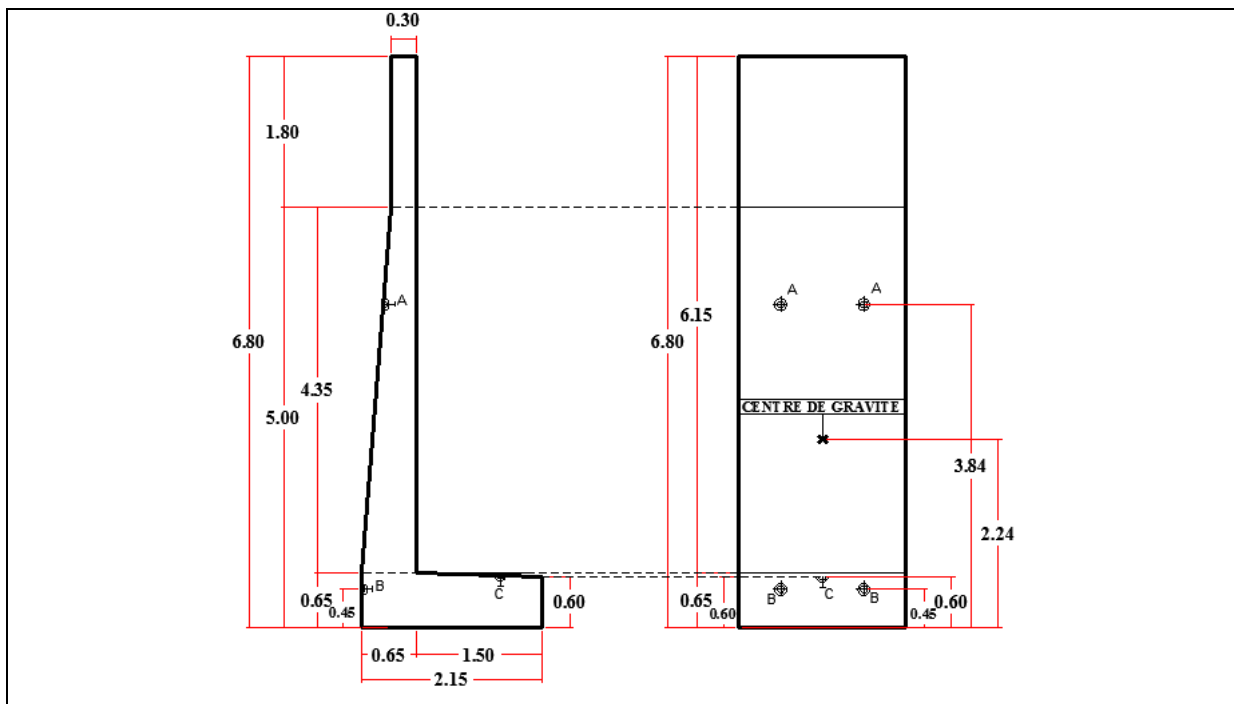


Figure 8 : Représentation des positions des crochets de levage pour la partie non couverte-
MDS TYPE 1

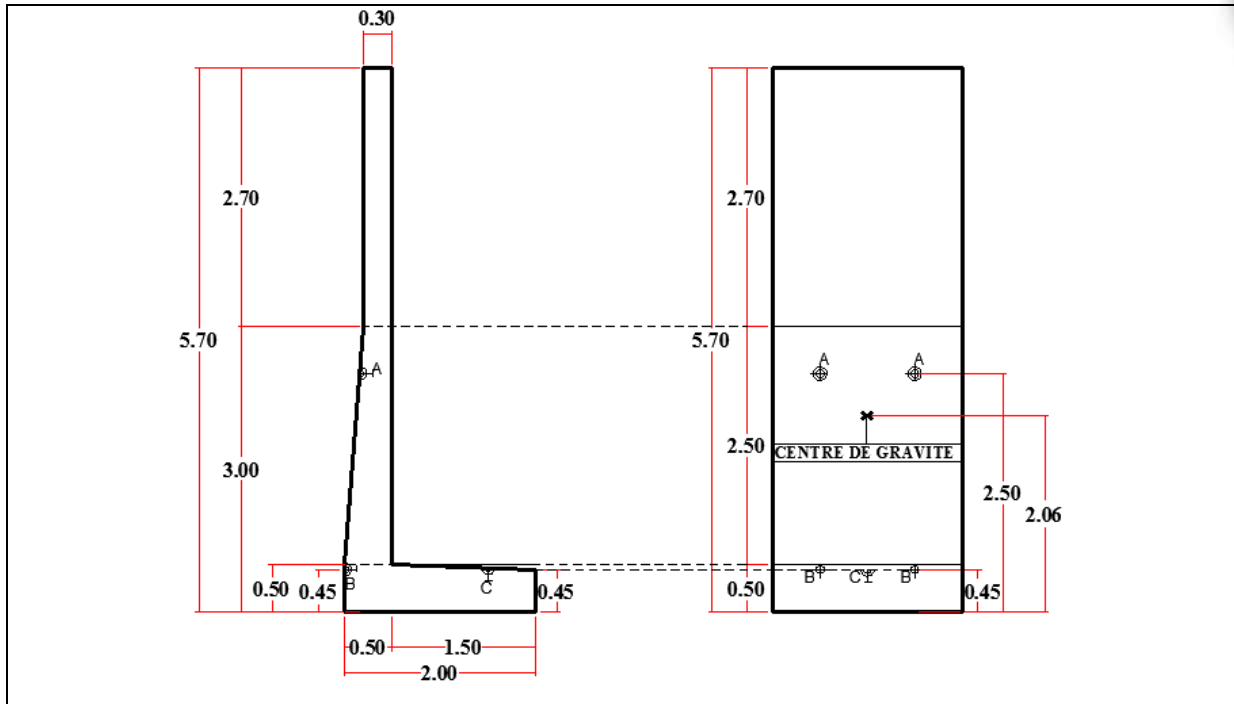


Figure 9 : Représentation des positions des crochets de levage pour la partie non couverte-
MDS TYPE 2

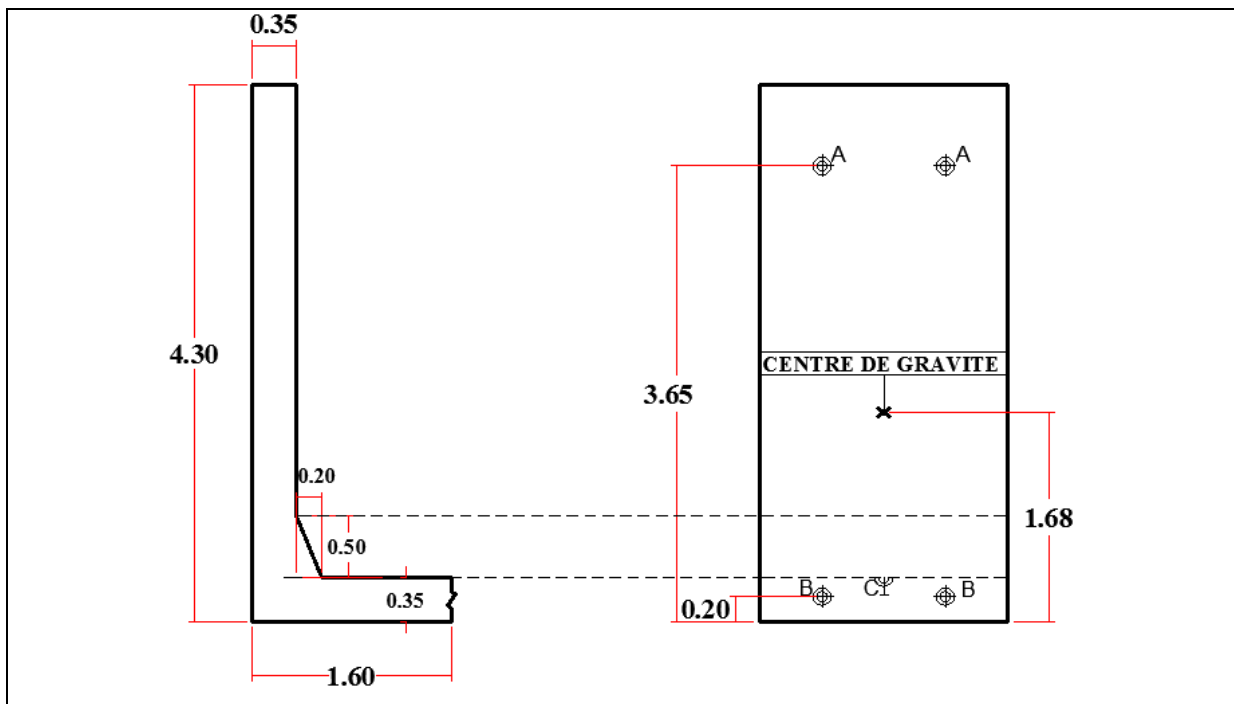


Figure 10 : Représentation des positions des crochets de levage pour la partie non
couverte-MDS TYPE 3



3. Actions considérées :

3.1. Poussée des terres :

Cette action représente l'effet statique de la poussée des terres influençant sur les murs de soutènements (*partie non couverte*) et les piédroits (*partie couverte*), cette charge varie linéairement du sommet à la base comme montré dans les figures 11 et 12.



Figure 11 : Modélisation par SAP2000 des Poussées de terres-Partie couverte KN/m^2

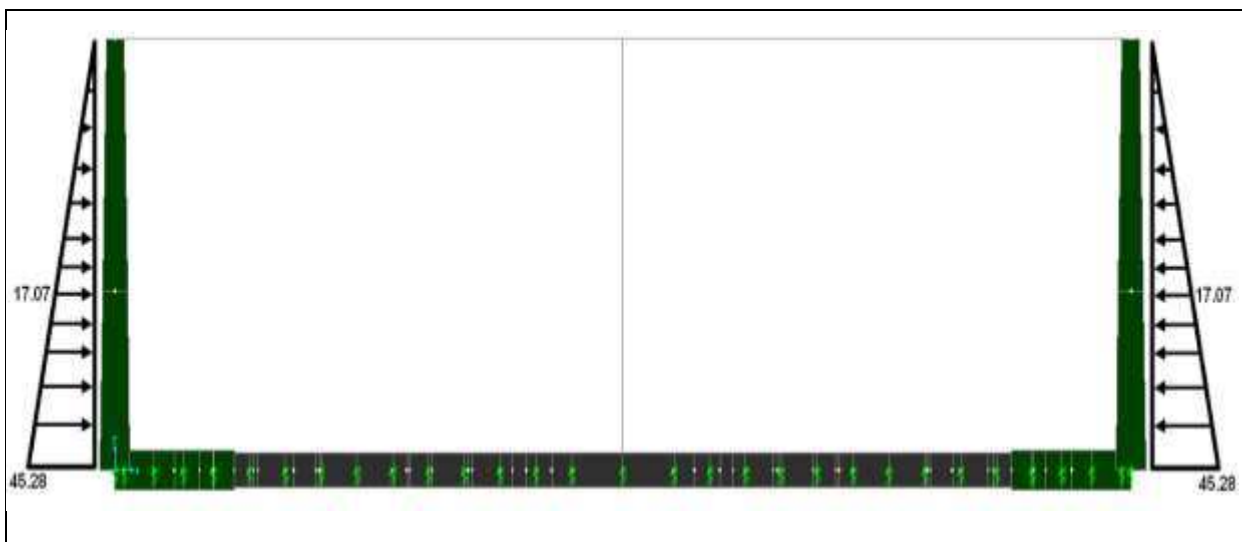


Figure 12 : Modélisation par SAP2000 des Poussées de terres-Partie non couverte (MDS TYPE-1) en KN/m^2

Sa résultante est donnée d'après (*Costet et Sanglerat, 1983*) par la formule :

$$P_t = \frac{1}{2} K_a \cdot \gamma \cdot H^2$$

Avec :

H : Hauteur du mur à considérer.



On a considéré que le remblai est un sol pulvérulent dont :

$$\gamma_t: \text{Poids volumique} = 20 \text{ KN/m}^3$$

$$\phi: \text{Angle de frottement interne} = 30^\circ$$

$$K_a: \text{Coefficient de poussée actif} = \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\phi}{2} \right) = 0.333$$

- **Partie couverte :**

$$\text{La poussée à la base : } P_a = K_a \cdot \gamma_t \cdot H$$

$$\text{A.N. : } P_a = 0.333 \times 20 \times (6.60 + 0.50)$$

$$P_a = 47.29 \text{ KN/m}^2$$

- **Partie non-couverte :**

$$\text{La poussée à la base : } P_a = K_a \cdot \gamma_t \cdot H$$

$$\text{A.N. : } P_a = 0.333 \times 20 \times (6.80)$$

$$P_a = 45.28 \text{ KN/m}^2$$

3.2. Poussée due à la surcharge sur remblai :

Cette action correspond à la poussée statique de la surcharge sur remblai derrière les M.D.S (*partie non couverte*) et les piédroits (*partie couverte*), cette charge est uniformément répartie sur toute la surface du sommet à la base comme montré sur les figures ci-dessous.



Figure 13 : Modélisation par SAP2000 des surcharges sur remblai-Partie couverte en KN/m^2



Figure 14 : Modélisation par SAP2000 des surcharges sur remblai-Partie non couverte (MDS TYPE-1) en **KN/m²**

Sa résultante est donnée d'après (*Costet et Sanglerat, 1983*) par la formule :

$$Q_{sur} = K_a \cdot q \cdot H$$

Avec :

q : Surcharge sur remblai, est prise égale à **10 KN/m²**

- **Partie couverte :**

La poussée due à la surcharge sur remblai est constante et uniformément répartie :

$$P_a = K_a \times q$$

$$P_a = 0.333 \times 10$$

$$P_a = \mathbf{3.33 \text{ KN/m}^2}$$

- **Partie non-couverte :**

La poussée due à la surcharge sur remblai est constante et uniformément répartie :

$$P_a = K_a \times q$$

$$P_a = 0.333 \times 10$$

$$P_a = \mathbf{3.33 \text{ KN/m}^2}$$



3.3. Charges permanentes et surcharges d'exploitations :

3.3.1. Charges permanentes :

Dans le calcul de cet échangeur, on prend en considération les charges permanentes suivantes :

❖ Poids propre des éléments préfabriqués :

Les poids propres des éléments préfabriqués sont précédemment calculés dans le titre (2.1 : *Poids propres des éléments préfabriqués*)

Tableau 5 : Poids propres des éléments préfabriqués

Eléments préfabriqués	Poids propres en tonnes (t)
M.D.S TYPE-1	$P_1 = 19.73 t$
M.D.S TYPE-2	$P_2 = 13.79 t$
M.D.S TYPE-3	$P_3 = 9.912 t$
Piédroit	$P_{\text{Piédroit}} = 9.613 t$
« U » renversé	$P_U = 25.643 t$

❖ Charges permanentes :

➤ Dalle de couverture : (Remblai + Revêtement)

On a :

Epaisseur du remblai sur la dalle de couverture = **0.50m**

Epaisseur de la couche de revêtement = **0.08m**

Poids volumique du remblai sur la dalle de couverture = **20 KN/m²**

Poids volumique du béton bitumineux (revêtement) = **22 KN/m²**

$$Cp_{r1} = (0.50 \times 20) + (0.08 \times 22)$$

$$Cp_{r1} = \mathbf{11.76 KN/ml} \rightarrow \text{Pour un (01) anneau}$$

➤ Sur radier : (Chape de béton + Revêtement)

Ceci est pour les parties **couverte (01 anneau)** et **non-couverte (02 voies)**

On a :

Epaisseur de la chape de béton = **0.15m**

Epaisseur de la couche de revêtement = **0.08m**

Poids volumique de la chape de béton = **25 KN/m²**

Poids volumique du béton bitumineux (revêtement) = **22 KN/m²**

$$Cp_{r2} = (0.15 \times 25) + (0.08 \times 22)$$

$$Cp_{r2} = \mathbf{5.51 KN/ml}$$

➤ Trottoir :

On a :

Epaisseur du trottoir = **0.20m**

Poids volumique du trottoir = **25 KN/m²**

$$Cp_T = 0.2 \times 25$$

$$Cp_T = \mathbf{5 KN/ml}$$



➤ Garde-corps + Corniche + Bac à fleurs :

Le garde-corps est pris égale à :

$$Cp_{Garde-coprs} = 1.5 \text{ KN/ml}$$

La corniche est préfabriquée

$$Cp_{Corniche} = 0.104 \times 25 = 2.6 \text{ KN/ml}$$

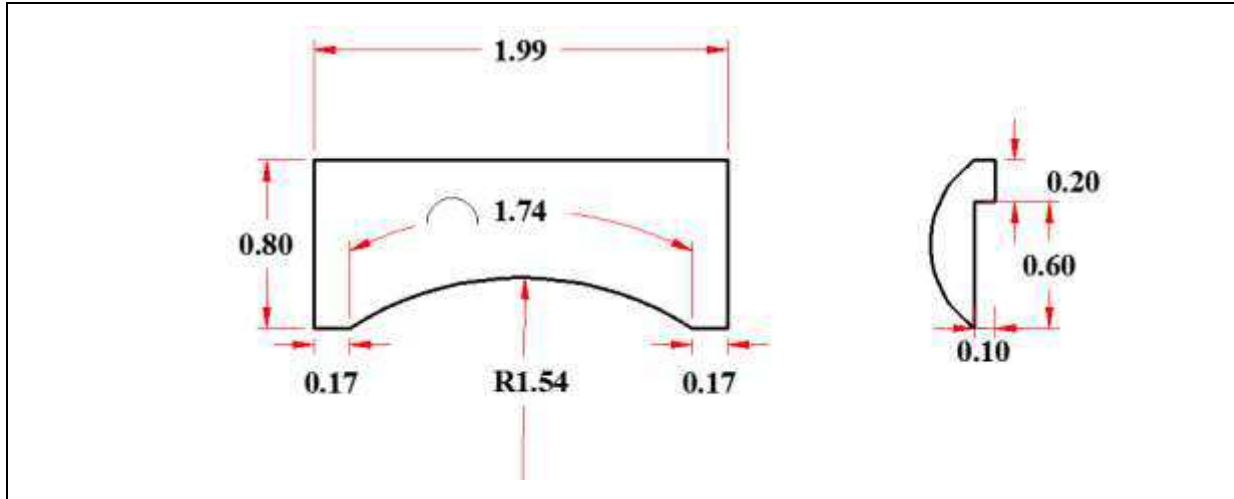


Figure 15 : Représentation de la corniche préfabriquée

Le bac à fleurs est préfabriqué

$$Cp_{Bac \text{ à fleurs}} = 0.23 \times 25 = 5.75 \text{ KN/ml}$$

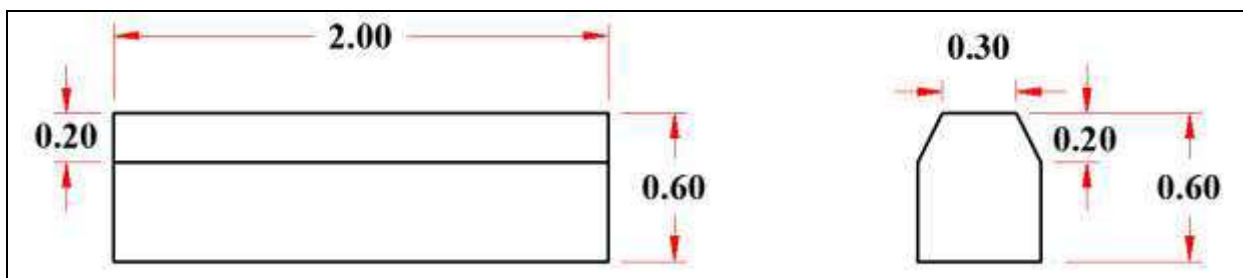


Figure 16 : Représentation du bac à fleurs préfabriquée

$$Cp_D = Cp_{Garde-coprs} + Cp_{Corniche} + Cp_{Bac \text{ à fleurs}}$$

$$Cp_D = 1.5 + 2.6 + 5.75$$

$$Cp_D = 9.85 \text{ KN/ml}$$

➤ Séparateur central (partie non-couverte uniquement) :

Après le calcul des poids des deux (02) glissières

$$Cp_S = 11.08 \text{ KN/ml}$$

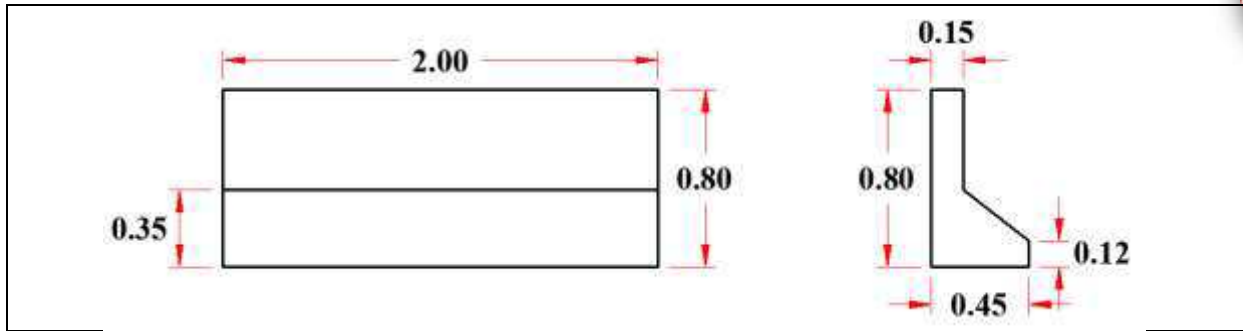


Figure 17 : Représentation de la glissière

➤ Radier :

Partie couverte :

On a :

Épaisseur radier = **0.40m**

Longueur radier = **5.50m**

$$Cp_{r3} = 0.40 \times 5.50 \times 25$$

$$Cp_{r3} = \mathbf{55 \text{ KN/ml}}$$

Partie non-couverte :

On a :

Épaisseur radier = **0.60m**

Longueur radier = **13.71m** (Pour toute la partie non-couverte **04** voies)

$$Cp_{r4} = 0.60 \times 13.71 \times 25$$

$$Cp_{r4} = \mathbf{205.65 \text{ KN/ml}} \rightarrow \text{Pour } \mathbf{04} \text{ voies}$$

$$Cp_{r4} = \mathbf{102.83 \text{ KN/ml}} \rightarrow \text{Pour } \mathbf{02} \text{ voies}$$

3.3.2. Surcharges d'exploitations :

3.3.2.1. Surcharges sur trottoir :

Cette surcharge est prise égale :

$Q_{\text{Trottoir}} = \mathbf{1.5 \text{ KN/m}^2}$ → Dans le cas d'une seule (**01**) voie d'après (CALGARO, 2000)

On a :

Longueur trottoir = **0.50m**

$$Q_{\text{Trottoir}} = 1.5 \times 0.50$$

$$Q_{\text{Trottoir}} = \mathbf{0.75 \text{ KN/ml}}$$



3.3.2.2. Systeme (A) :

- **Partie couverte : (sur dalle de couverture)**

D'après le (BAEL 91 modifiées 99) :

$$A(l) = 2.30 + \frac{360}{l + 12}$$

Avec : $l = 8.70m$

A.N :

$$A(l) = 2.30 + \frac{360}{8.70 + 12}$$

$$A(l) = \mathbf{19.69 \text{ KN/m}^2}$$

$$\text{Soit : } A(l) = 19.69 \times 1 = \mathbf{19.69 \text{ KN/ml}}$$

Classe du pont :

Pont de la 1^{ère} classe : $\left\{ \begin{array}{l} * \text{ Nombre de voies} = \mathbf{02 \text{ voies}} \\ * \text{ Coeff. de dégressivité transversale} \\ \text{de la charge } A(l) : \mathbf{a_1 = 1} \end{array} \right.$

On doit vérifier la condition suivante :

$$A(l) \times a_1 > [400 - (0.2 \times l)] \times 10^{-2}$$

A.N :

$$19.69 \times 1 > [400 - (0.2 \times 8.70)] \times 10^{-2}$$

$$\mathbf{19.69 > 3.98} \rightarrow \text{Condition vérifiée}$$

$$Q_{A(l)} = A(l) \times a_1 \times a_2$$

$$\text{Avec : } a_2 = \frac{V_0}{V}$$

V : étant la largeur d'une voie = **3.50m**

V_0 : ayant les valeurs suivantes :

✓ $V_0 = \mathbf{3.50m} \rightarrow$ Pour les ouvrages de la 1^{ère} classe

✓ $V_0 = \mathbf{3.00m} \rightarrow$ Pour les ouvrages de la 2nd classe

✓ $V_0 = \mathbf{2.75m} \rightarrow$ Pour les ouvrages de la 3^{ème} classe

Donc :

$$a_2 = \frac{3.50}{3.50} = \mathbf{1}$$

$$\Leftrightarrow Q_{A(l)} = 19.69 \times 1 \times 1$$

$$\Leftrightarrow Q_{A(l)} = \mathbf{19.69 \text{ KN/ml}}$$

- **Partie couverte : (sur radier)**

On a :

$$l = \mathbf{55.60m}$$

Donc :

$$A(l) = 2.30 + \frac{360}{55.60 + 12}$$

$$A(l) = \mathbf{7.625 \text{ KN/m}^2}$$

$$\Leftrightarrow Q_{A(l)} = \mathbf{7.625 \text{ KN/ml}}$$



3.3.2.3. Systeme (B) :

3.3.2.3.1. Le sous-système Bc :

Le sous-système **Bc** se compose de Camions de poids individuel égal à **30t**, dont les **02 roues (0.25x0.25m)** du devant sont d'un poids égal à **3t/Roue** et celles de l'arrière, soient **04 roues (0.25x0.25m)**, sont d'un poids égal à **6t/Roue**.

- ✓ Dans le sens longitudinal le nombre de camions est limité à **02**
- ✓ Dans le sens transversal on dispose autant de files de **02** camions au maximum que de voies de circulation.

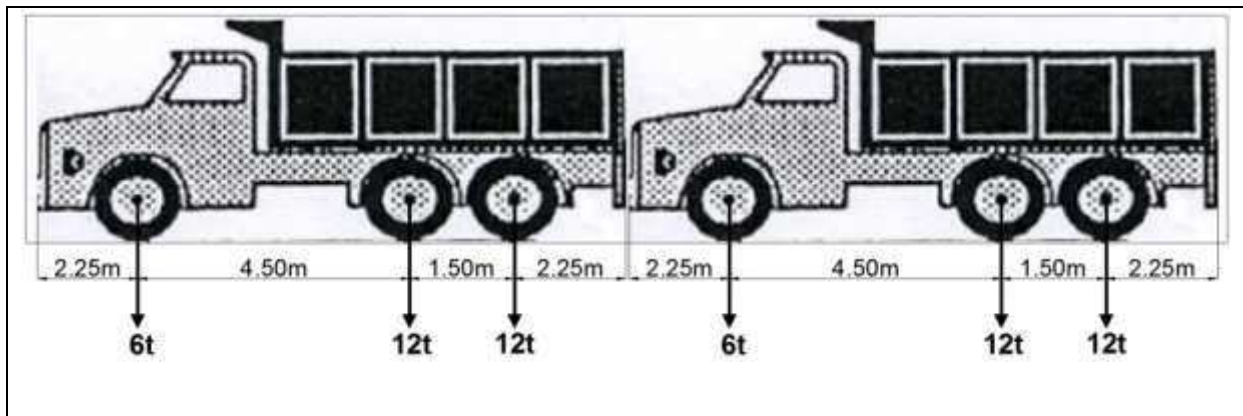


Figure 18 : Coupe longitudinale des camions du sous-système Bc

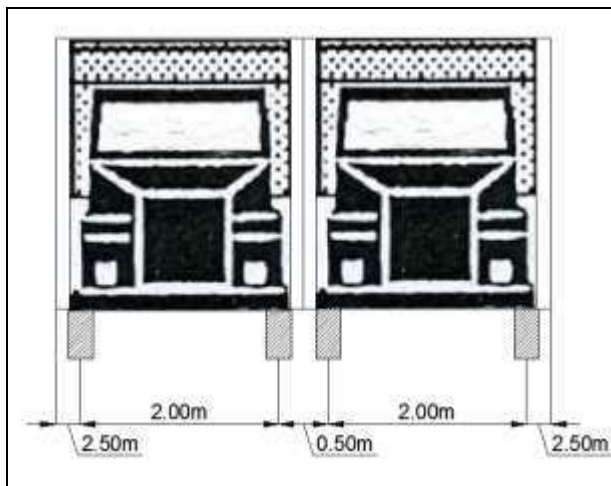


Figure 19 : Coupe Transversale des camions du sous-système Bc

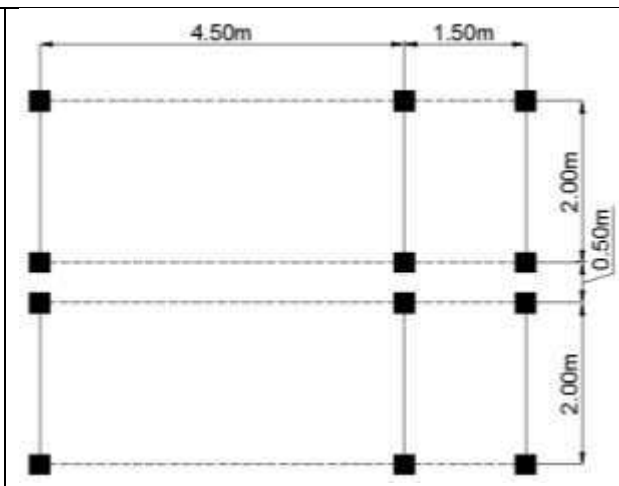


Figure 20 : Vue en plan des camions du sous-système Bc



Il est affecté d'un coefficient de pondération **bc** donné dans le tableau suivant :

Tableau 6 : valeurs du coefficient **bc**

Classe de l'ouvrage	Nombre de voies chargées				
	01	02	03	04	05
I	1.20	1.10	0.95	0.80	0.70
II	1.00	1.00	-	-	-
III	1.00	0.80	-	-	-

Donc pour notre cas, on déduit d'après le tableau précédant que **bc=1.10**

Partie couverte (sur dalle de couverture) :

On a :

G : Charge permanente

- Poids du « U » renversé = **128.86 KN/ml**
- Charge du (Remblais + Revêtement) = **11.76 KN/ml**

Donc : **G = 140.62 KN/ml**

Calcul des multiples cas possibles :

N.B : Les calculs sont faits pour **1ml**, pour seulement **01 anneau**

On a deux (**02**) cas possibles :

$$1^{\text{er}} \text{ cas : } \begin{cases} 02 \text{ (Roues de 60 KN)} \\ + \\ 01 \text{ (Roues de 30 KN)} \end{cases} \rightarrow Q_{Bc} = 150 \text{ KN/ml}$$

$$2^{\text{ème}} \text{ cas : } \begin{cases} 04 \text{ (Roues de 60 KN)} \\ + \\ 02 \text{ (Roues de 30 KN)} \end{cases} \rightarrow Q_{Bc} = 300 \text{ KN/ml}$$

Donc le cas le plus défavorable est celui qui a la plus grande charge :

$$Q_{Bc} = 300 \text{ KN/ml}$$

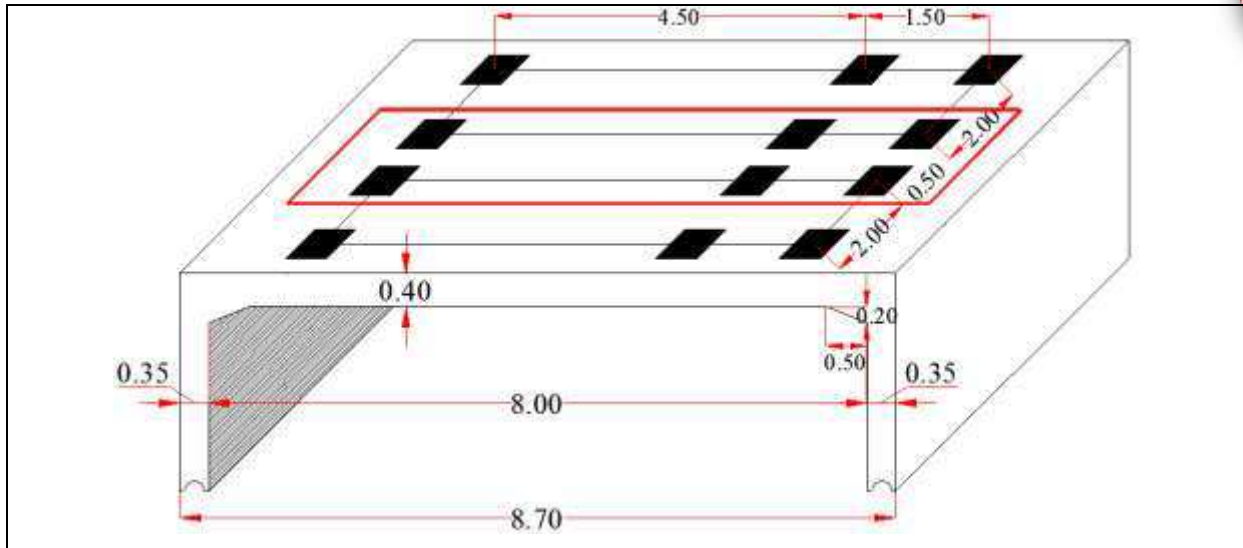


Figure 21 : Représentation des multiples cas à étudier sur dans la partie couverte (dalle de couverture) pour le sous-système **Bc**

Remarque : Le cadre en rouge dans la figure précédente est le cas le plus défavorable à étudier dans 1ml.

S : Poids total maximal des essieux du système **B** qu'il est possible de les placer sur la longueur L tel que : $S = Q_{Bc} \times bc$

A.N :

$$S = 300 \times 1.10 = 330 \text{ KN/ml}$$

Les surcharges du système **Bc** sont affectées par un coefficient de majoration dynamique donné par la formule :

$$\delta_{Bc} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2L} + \frac{0.6}{1 + 4\frac{G}{S}}$$

$$\delta_{Bc} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2 \times 8.70} + \frac{0.6}{1 + 4\frac{140.62}{330}}$$

$$\delta_{Bc} = 1.36$$



Partie couverte (sur radier) :

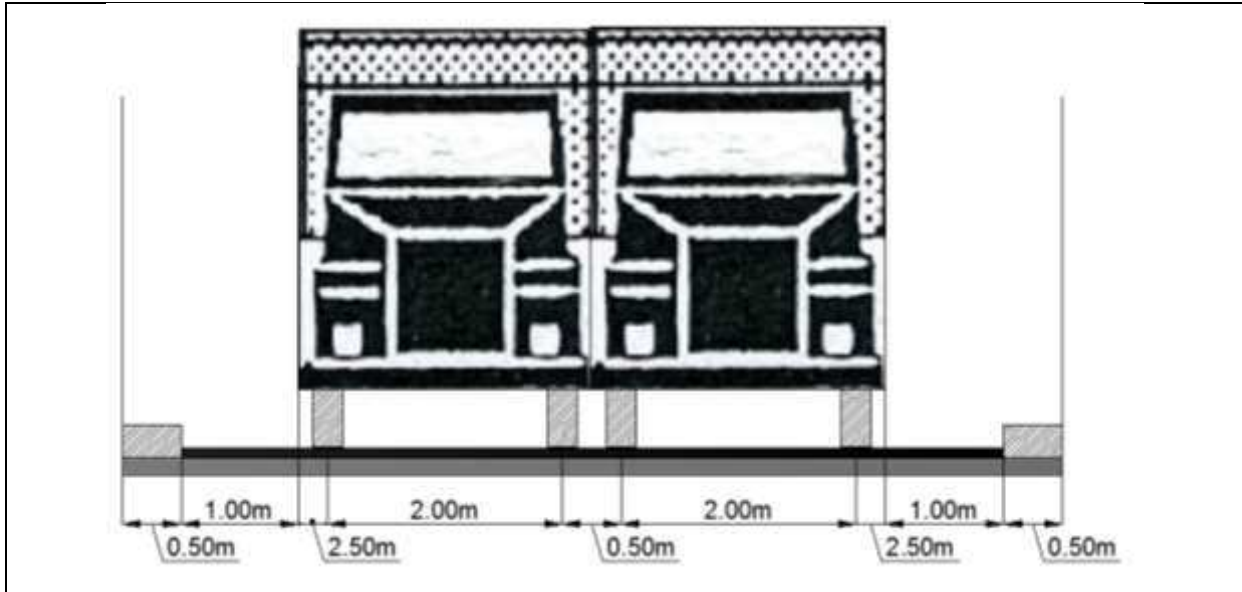


Figure 22 : Représentation vue de face des multiples cas à étudier du sous-système **Bc** pour la partie couverte (sur radier) et pour la partie non couverte

On a comme charge permanentes :

- Couche de revêtement + Remblai (Dalle de couverture)
- Poids « U » renversé
- Poids des **02** piédroits
- Couche de revêtement + Chape de béton (sur radier)
- Trottoir
- Radier
- Gros béton

On a donc :

$$G = 384.36 \text{ KN/ml}$$

$$L = 7.00 \text{ m}$$

Calcul des multiples cas possibles :

$$1^{\text{er}} \text{ et } 2^{\text{ème}} \text{ cas : } \{04 \text{ (Roues de } 60\text{KN)} \rightarrow Q_{Bc} = 240 \text{ KN/ml}$$

$$3^{\text{ème}} \text{ cas : } \{04 \text{ (Roues de } 30\text{KN)} \rightarrow Q_{Bc} = 120 \text{ KN/ml}$$

Le cas le plus défavorable :

$$Q_{Bc} = 240 \text{ KN/ml}$$

$$S = Q_{Bc} \times bc$$

$$S = 240 \times 1.10 = 264 \text{ KN/ml}$$



$$\delta_{Bc} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2L} + \frac{0.6}{1 + 4\frac{G}{S}}$$

$$\delta_{Bc} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2 \times 7.00} + \frac{0.6}{1 + 4\frac{384.36}{264}}$$

$$\delta_{Bc} = 1.25$$

Partie non-couverte :

N.B : On prend en considération le cas le plus défavorable (cas du M.D.S TYPE-1)

On a comme charge permanentes :

- Garde-corps + Corniche + Bac à fleurs
- Poids du M.D.S TYPE-1
- Trottoir
- Revêtement + Chape de béton
- Radier
- Poids du séparateur central
- Gros béton

Donc :

$$G = 315.33 \text{ KN/ml}$$

$$L = 7.00 \text{ m}$$

Calcul des multiples cas possibles :

1^{er} et 2^{ème} cas : {04 (Roues de 60KN) → $Q_{Bc} = 240 \text{ KN/ml}$

3^{ème} cas : {04 (Roues de 30KN) → $Q_{Bc} = 120 \text{ KN/ml}$

Le cas le plus défavorable :

$$Q_{Bc} = 240 \text{ KN/ml}$$

$$S = Q_{Bc} \times bc$$

$$S = 240 \times 1.10 = 264 \text{ KN/ml}$$

$$\delta_{Bc} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2L} + \frac{0.6}{1 + 4\frac{G}{S}}$$

$$\delta_{Bc} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2 \times 7.00} + \frac{0.6}{1 + 4\frac{315.33}{264}}$$

$$\delta_{Bc} = 1.27$$

Tableau 7 : Coefficient de majoration dynamique δ_{Bc}

Parties de l'ouvrage		L (m)	G (KN/ml)	S (KN/ml)	δ_{Bc}
Partie couverte	Sur dalle de couverture	8.70	140.62	330	1.36
	Sur radier	7.00	384.36	264	1.25
Partie non-couverte	Pour 02 voies seulement	7.00	315.33	264	1.27

- L'impact des essieux :

Partie couverte :

Dans la partie couverte les surcharges sont appliquées sur la dalle de couverture, sur le radier coulé en place et les patins des piédroits.

Pour le sous-système **Bc**, on considère des roues de dimensions (0.25x0.25m)

Dalle de couverture :

H : Hauteur de la diffusion de la charge

$$H = h(\text{revêtement}) + h(\text{Remblai}) + \frac{h}{2}(\text{Radier})$$

$$H = 0.08 + 0.50 + 0.20 = \mathbf{0.78m}$$

$$U = H \times \text{tg}40^\circ = 0.78 \times \text{tg}40^\circ = \mathbf{0.65m}$$

$$U_0 = V_0 = 0.25 + 2U = 0.25 + (2 \times 0.65) = \mathbf{1.55m}$$

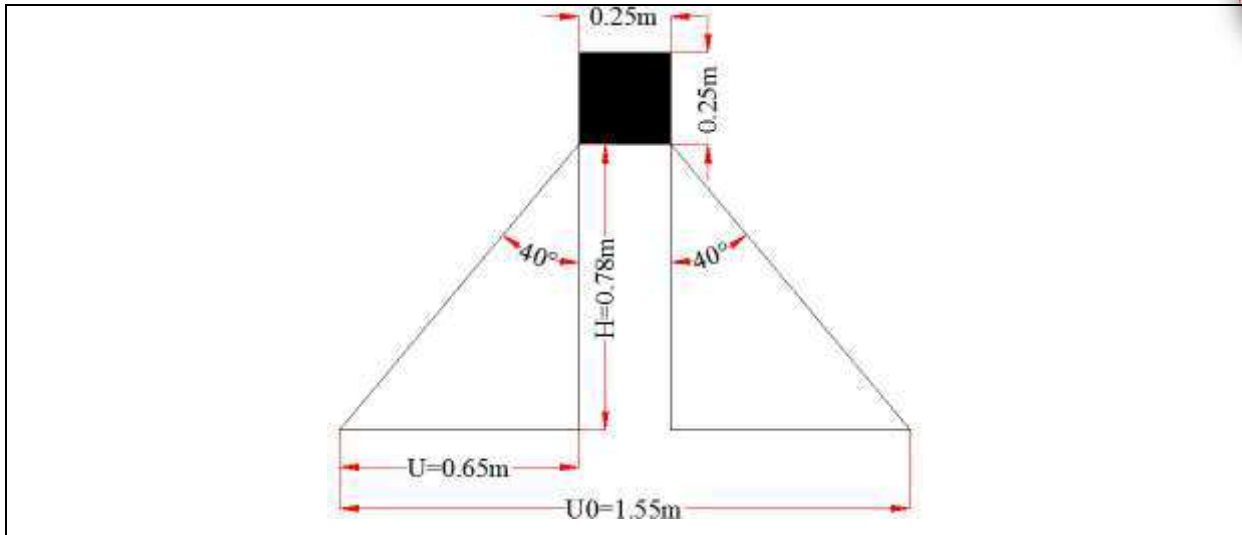


Figure 23 : Représentation de la descente de charges d'une roue (0.25x0.25m) sur la dalle de couverture-partie couverte

Calcul des multiples cas possibles :

1^{er} cas : Diffusion de charge d'une (01) roue de 60 KN

$$\sigma_1 = \frac{60}{1.55 \times 1.55} = 24.97 \text{ KN/m}^2$$

2^{ème} cas : Diffusion des charges de deux (02) roues de 60KN/roue

$$\sigma_2 = \frac{2 \times 60}{1.55 \times 3.05} = 25.38 \text{ KN/m}^2$$

3^{ème} cas : Diffusion de charge d'une (01) roue de 30 KN

$$\sigma_3 = \frac{30}{1.55 \times 1.55} = 12.49 \text{ KN/m}^2$$

4^{ème} cas : Diffusion des charges pour deux (02) roues de 30 KN

$$\sigma_4 = \frac{2 \times 30}{1.55 \times 2.05} = 18.88 \text{ KN/m}^2$$

5^{ème} cas : Diffusion de charges pour (04) roues de 60 KN

$$\sigma_5 = \frac{4 \times 60}{3.05 \times 2.05} = 38.38 \text{ KN/m}^2$$

Donc : le cas le plus défavorable c'est :

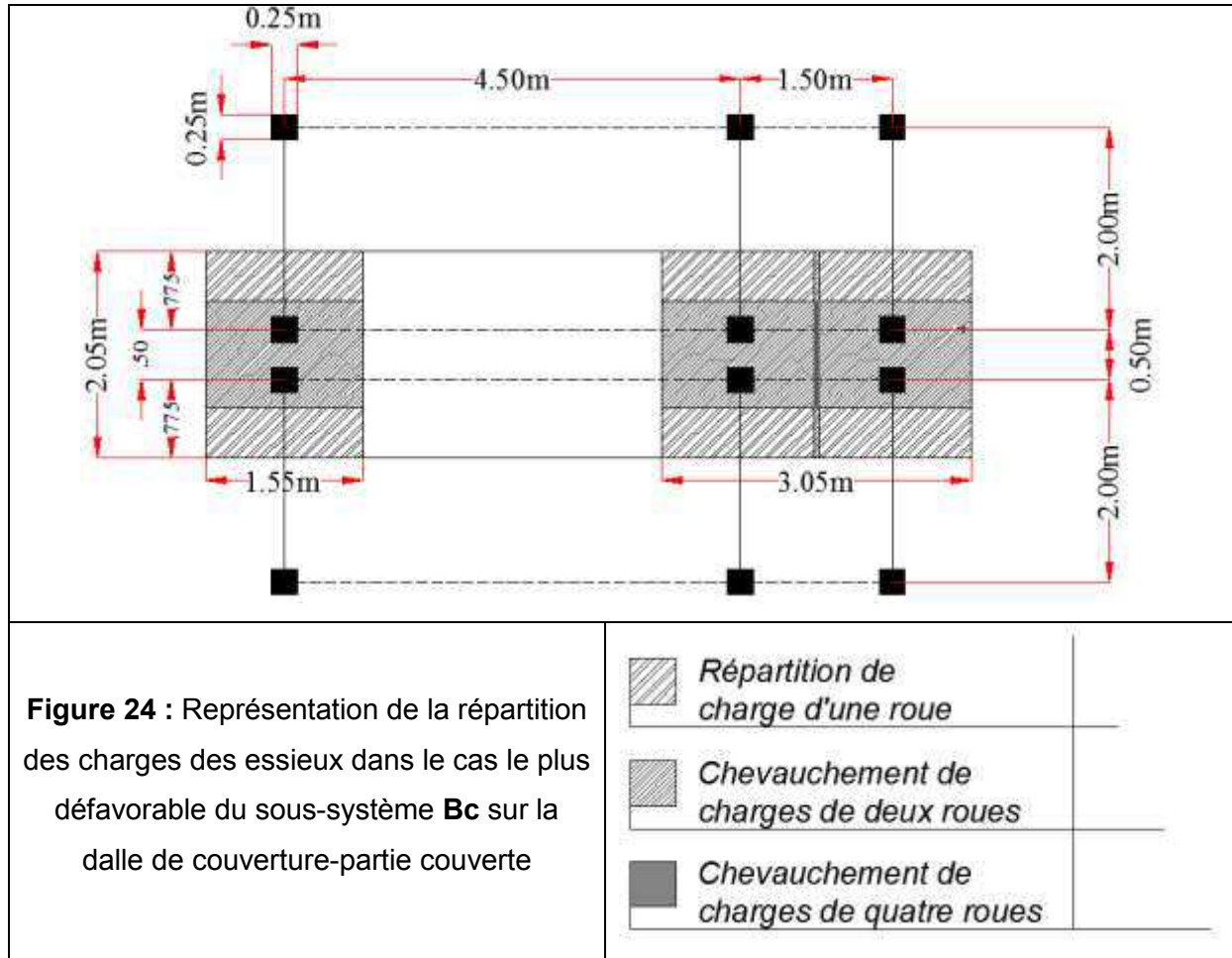
$$\left\{ \begin{array}{l} (04) \text{ roues de } 60 \text{ KN} \Leftrightarrow \sigma_5 = 38.38 \text{ KN/m}^2 \\ + \\ (02) \text{ roues de } 30 \text{ KN} \Leftrightarrow \sigma_4 = 18.88 \text{ KN/m}^2 \end{array} \right.$$

Donc les charges par essieux seront :



$$Q_{Bc1} = 38.38 \times 1.10 \times 1.36 = 57.42 \text{ KN/ml}$$

$$Q_{Bc2} = 18.88 \times 1.10 \times 1.36 = 28.24 \text{ KN/ml}$$



Important : Pour le sous-système **Bc** sur la dalle de couverture, nous avons songé à ce que la charge soit mobile suivant le sens de la circulation pour avoir le cas le plus défavorable, et nous l'avons modéliser dynamiquement dans SAP2000v14.

Partie couverte (sur radier) :

H : Hauteur de la diffusion de la charge

$$H = h(\text{revêtement}) + h(\text{chape de béton}) + \frac{h}{2}(\text{Radier})$$

$$H = 0.08 + 0.15 + 0.20 = 0.43\text{m}$$

$$U = H \times \text{tg}40^\circ = 0.43 \times \text{tg}40^\circ = 0.36\text{m}$$

$$U_0 = V_0 = 0.25 + 2U = 0.25 + (2 \times 0.36) = 0.97\text{m}$$

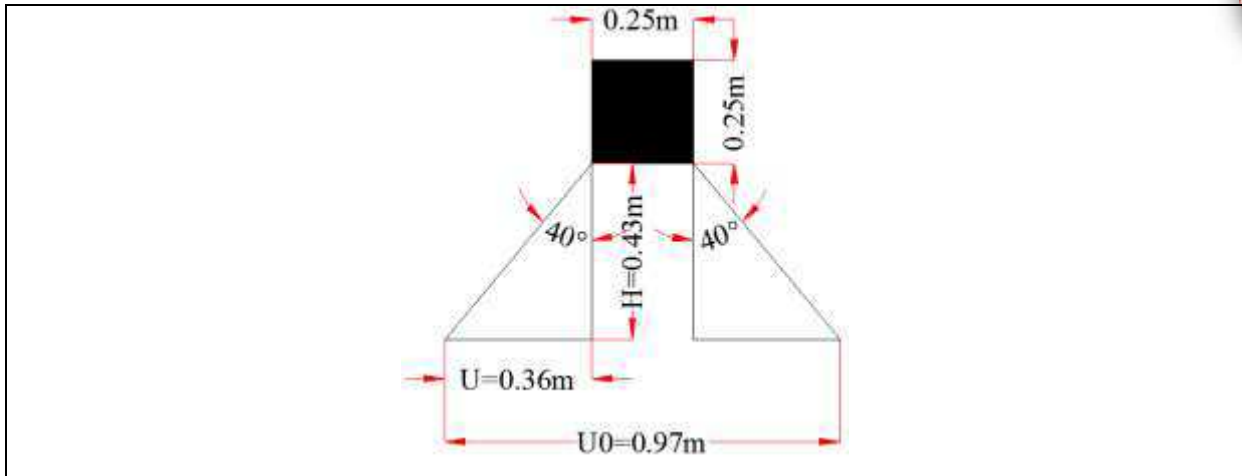


Figure 25 : Représentation de la descente de charges d'une roue (0.25x0.25m) sur radier

Calcul des multiples cas possibles :

1^{er} cas : Diffusion de charge d'une (01) roue de **60 KN**

$$\sigma_1 = \frac{60}{0.97 \times 0.97} = 63.77 \text{ KN/m}^2$$

2^{ème} cas : Diffusion des charges de **deux (02) roues de 60KN/roue**

$$\sigma_2 = \frac{2 \times 60}{0.97 \times 1.47} = 84.16 \text{ KN/m}^2$$

3^{ème} cas : Diffusion de charge d'une (01) roue de **30 KN**

$$\sigma_3 = \frac{30}{0.97 \times 0.97} = 31.88 \text{ KN/m}^2$$

4^{ème} cas : Diffusion des charges pour **deux (02) roues de 30 KN**

$$\sigma_4 = \frac{2 \times 30}{0.97 \times 1.47} = 42.08 \text{ KN/m}^2$$

*Pour les autres cas les diffusions de charges ne chevauchent pas donc c'est **le cas d'une roue isolée** et ce n'est pas intéressant de l'étudier.

Donc : **le cas le plus défavorable c'est :**

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{(01) roues de 60 KN} \Leftrightarrow \sigma_1 = 63.77 \text{ KN/m}^2 \\ + \\ \text{(02) roues de 60 KN} \Leftrightarrow \sigma_2 = 84.16 \text{ KN/m}^2 \\ + \\ \text{(01) roues de 60 KN} \Leftrightarrow \sigma_1 = 63.77 \text{ KN/m}^2 \end{array} \right.$$



Donc les charges par essieux seront :

$$Q_{Bc1} = 63.77 \times 1.10 \times 1.25 = 87.68 \text{ KN/ml}$$

$$Q_{Bc2} = 84.16 \times 1.10 \times 1.25 = 115.72 \text{ KN/ml}$$

La répartition sera comme montrer sur la figure suivante :

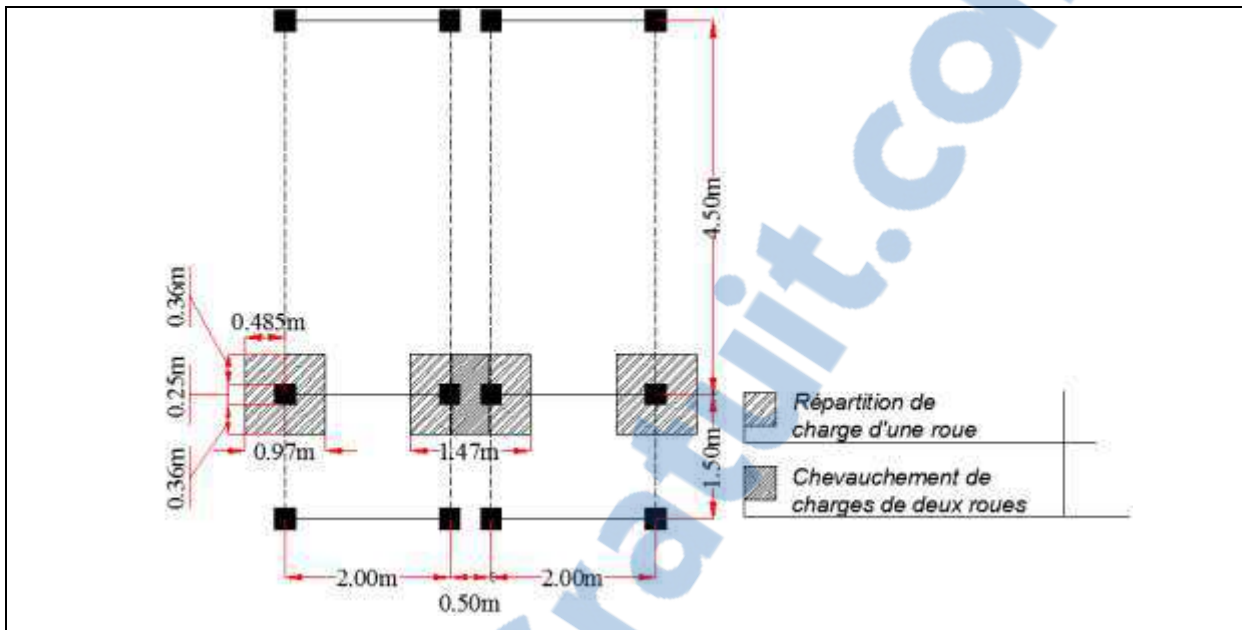


Figure 26 : Représentation de la répartition des charges des essieux dans le cas le plus défavorable du sous-système **Bc** sur radier (Vue en plan)

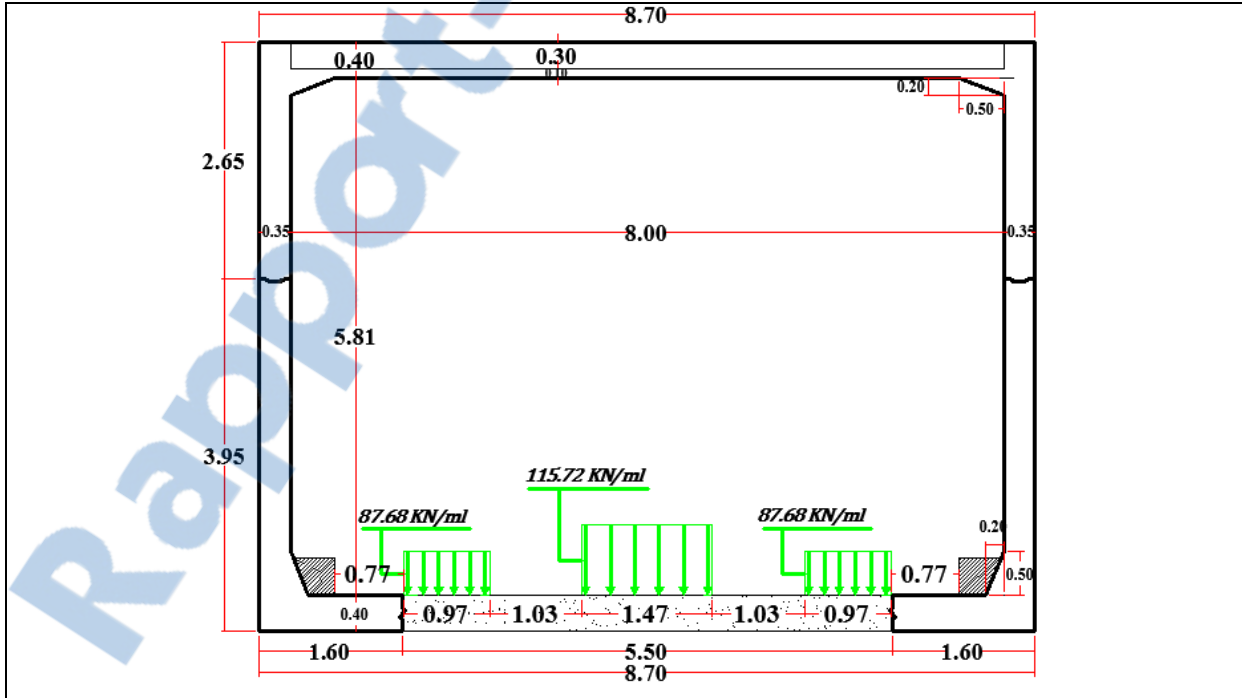


Figure 27 : Représentation de la répartition des charges des essieux dans le cas le plus défavorable du sous-système **Bc** sur radier-Partie couverte (Coupe transversale)



Partie non-couverte (pour 02 voies) :

La répartition des charges des essieux dans la partie non couverte (**02 voies**) est la même que pour la partie couverte (**sur radier**)

H : Hauteur de la diffusion de la charge

$$H = h(\text{revêtement}) + h(\text{chape de béton}) + \frac{h}{2}(\text{Radier})$$

$$H = 0.08 + 0.15 + 0.20 = \mathbf{0.43m}$$

$$U = H \times \text{tg}40^\circ = 0.43 \times \text{tg}40^\circ = \mathbf{0.36m}$$

$$U_0 = V_0 = 0.25 + 2U = 0.25 + (2 \times 0.36) = \mathbf{0.97m}$$

Calcul des multiples cas possibles :

1^{er} cas : Diffusion de charge d'une (**01**) roue de **60 KN**

$$\sigma_1 = \frac{60}{0.97 \times 0.97} = \mathbf{63.77 KN/m^2}$$

2^{ème} cas : Diffusion des charges de **deux (02)** roues de **60KN/roue**

$$\sigma_2 = \frac{2 \times 60}{0.97 \times 1.47} = \mathbf{84.16 KN/m^2}$$

3^{ème} cas : Diffusion de charge d'une (**01**) roue de **30 KN**

$$\sigma_3 = \frac{30}{0.97 \times 0.97} = \mathbf{31.88 KN/m^2}$$

4^{ème} cas : Diffusion des charges pour **deux (02)** roues de **30 KN**

$$\sigma_4 = \frac{2 \times 30}{0.97 \times 1.47} = \mathbf{42.08 KN/m^2}$$

*Pour les autres cas les diffusions de charges ne chevauchent pas donc c'est **le cas d'une roue isolée** et ce n'est pas autant intéressant à étudier.

Donc : **le cas le plus défavorable c'est :**

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{(01) roues de } 60 \text{ KN} \Leftrightarrow \sigma_1 = 63.77 \text{ KN/m}^2 \\ + \\ \text{(02) roues de } 60 \text{ KN} \Leftrightarrow \sigma_2 = 84.16 \text{ KN/m}^2 \\ + \\ \text{(01) roues de } 60 \text{ KN} \Leftrightarrow \sigma_1 = 63.77 \text{ KN/m}^2 \end{array} \right.$$



Donc les charges par essieux seront :

$$Q_{Bc1} = 63.77 \times 1.10 \times 1.27 = \mathbf{89.08 \text{ KN/ml}}$$

$$Q_{Bc2} = 84.16 \times 1.10 \times 1.27 = \mathbf{117.57 \text{ KN/ml}}$$

La répartition des charges des essieux dans le cas le plus défavorable de la partie non couverte (**02 voies**) est la même que pour la partie couverte (**sur radier**).

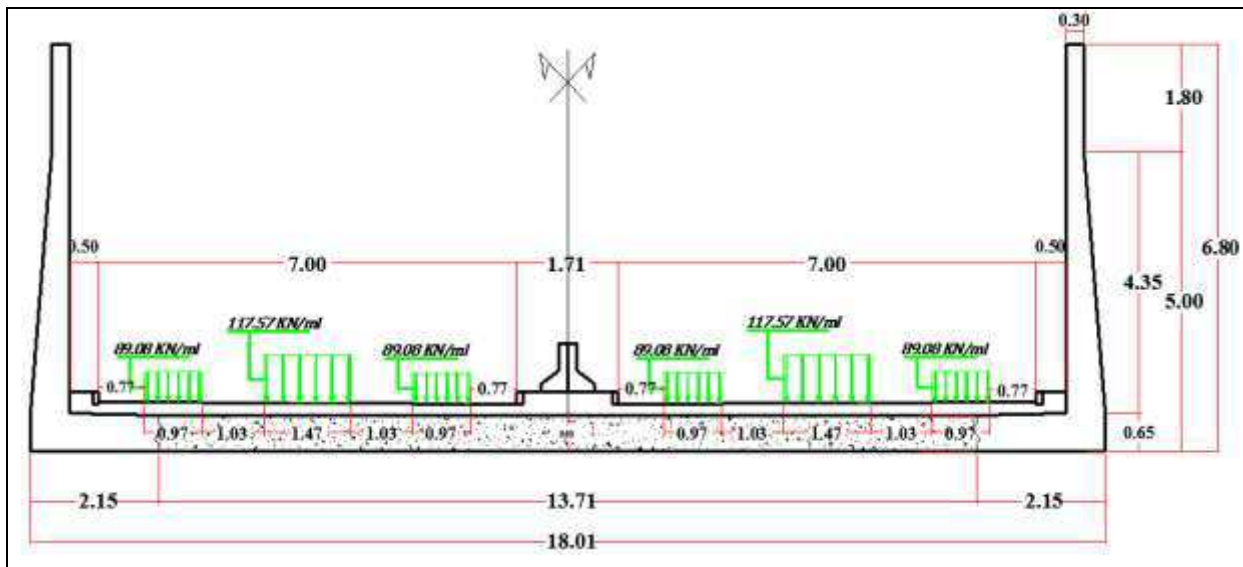


Figure 28 : Représentation de la répartition des charges des essieux dans le cas le plus défavorable du sous-système **Bc** sur radier-Partie non couverte (**Coupe transversale**)

3.3.2.3.2. Le sous-système Bt :

Le sous-système **Bt** se compose de deux (**02**) tandems à deux (**02**) essieux de quatre **04 roues (0.6x0.25m)** chacun, le poids de chaque essieu étant de **16t** :

- ✓ Il ne s'applique qu'aux ouvrages de **1^{ère}** et **2^{ème}** classe.
- ✓ Il est affecté d'un coefficient de pondération **bt** égale à :

bt = 1 → Pour les ouvrages de la **1^{ère}** classe

bt = 0.9 → Pour les ouvrages de la **2^{ème}** classe

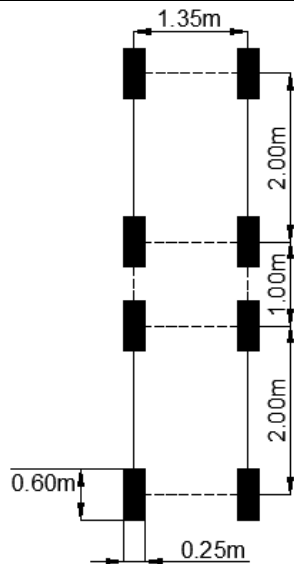


Figure 29 : Vue en plan des tandems du sous-système **Bt**

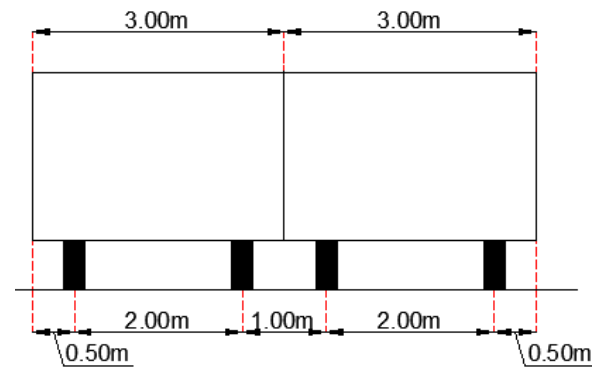


Figure 30 : Coupe Transversale des tandems du sous-système **Bt**

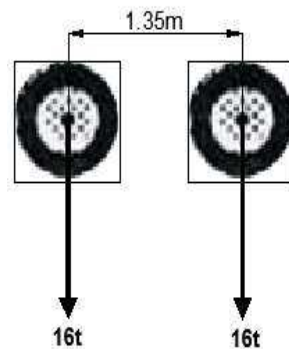


Figure 31 : Coupe longitudinale des camions du sous-système **Bt**

Partie couverte (sur dalle de couverture) :

On rappelle que :

$$G = 140.62 \text{ KN/ml}$$

$$L = 8.70 \text{ m}$$

Calcul des multiples cas possibles :

N.B : Les calculs sont faits pour **1ml**, pour seulement **01 anneau**

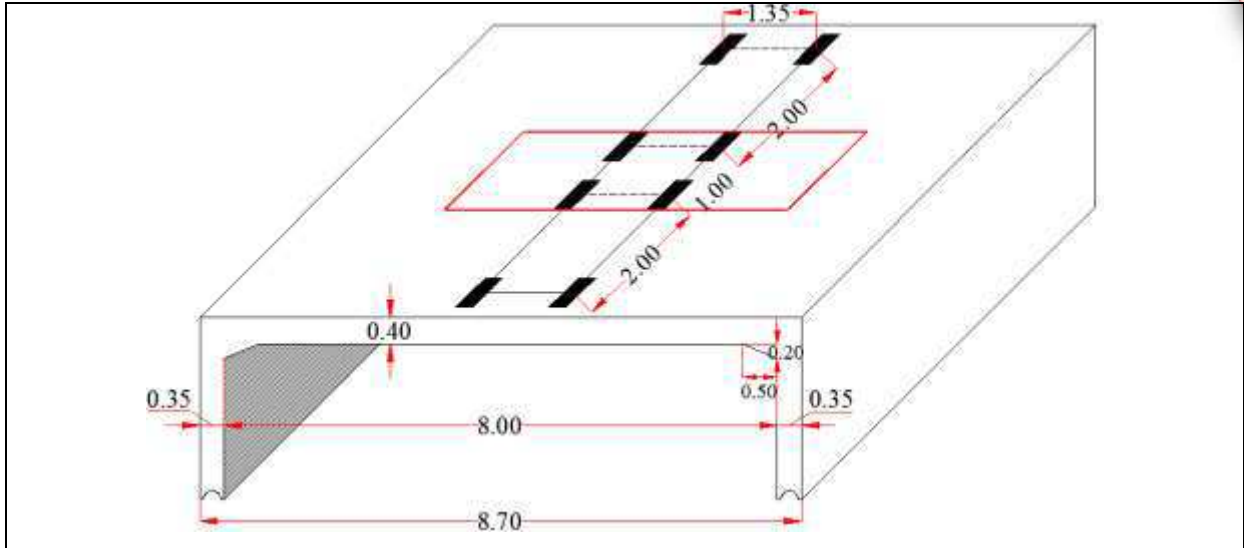


Figure 32 : Représentation des multiples cas à étudier sur dans la partie couverte (dalle de couverture) pour le sous-système **Bt**

Remarque : Le cadre en rouge dans la figure précédente est le cas le plus défavorable à étudier dans 1ml.

On a deux (02) cas possibles :

1^{er} cas : {02 (Roues de 80KN) $\rightarrow Q_{Bt} = 160 \text{ KN/ml}$

2^{ème} cas : {04 (Roues de 80KN) $\rightarrow Q_{Bt} = 320 \text{ KN/ml}$

Le cas le plus défavorable :

$$Q_{Bt} = 320 \text{ KN/ml}$$

S : Poids total maximal des essieux du système **B** qu'il est possible de les placer sur la longueur **L** tel que : $S = Q_{Bt} \times bt$

A.N :

$$S = 320 \times 1 = 320 \text{ KN/ml}$$

Les surcharges du système **Bt** sont affectées par un coefficient de majoration dynamique donné par la formule :

$$\delta_{Bt} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2L} + \frac{0.6}{1 + 4\frac{G}{S}}$$

$$\delta_{Bt} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2 \times 8.70} + \frac{0.6}{1 + 4\frac{140.62}{320}}$$

$$\delta_{Bt} = 1.36$$



Partie couverte (sur radier) :

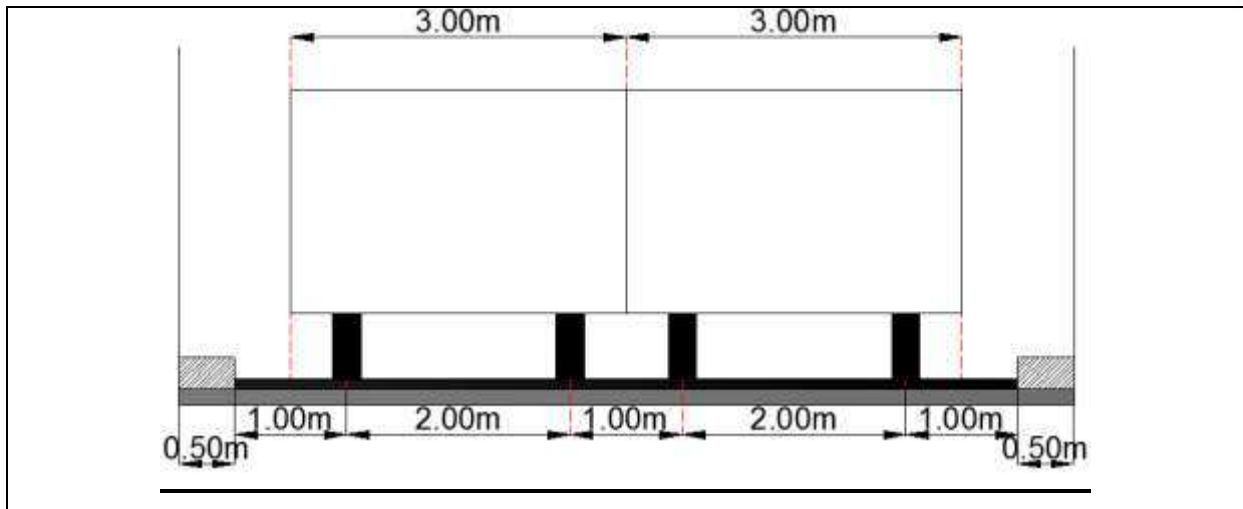


Figure 33 : Représentation vue de face des multiples cas à étudier du sous-système **Bt** pour la partie couverte (sur radier) et pour la partie non couverte

On rappelle que :

$$G = 384.36 \text{ KN/ml}$$

$$L = 7.00 \text{ m}$$

Calcul des multiples cas possibles :

$$1^{\text{er}} \text{ cas : } \{04 \text{ (Roues de } 80\text{KN)} \rightarrow Q_{Bt} = 320 \text{ KN/ml}$$

$$2^{\text{ème}} \text{ cas : } \{08 \text{ (Roues de } 80\text{KN)} \rightarrow Q_{Bt} = 640 \text{ KN/ml}$$

Le cas le plus défavorable :

$$Q_{Bt} = 640 \text{ KN/ml}$$

$$S = Q_{Bt} \times bt$$

$$S = 640 \times 1 = 640 \text{ KN/ml}$$

$$\delta_{Bt} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2L} + \frac{0.6}{1 + 4 \frac{G}{S}}$$

$$\delta_{Bt} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2 \times 7.00} + \frac{0.6}{1 + 4 \frac{384.36}{640}}$$

$$\delta_{Bt} = 1.34$$



Partie non-couverte :

N.B : On prend en considération le cas le plus défavorable (cas du M.D.S TYPE-1)

On rappelle que :

$$G = 315.33 \text{ KN/ml}$$

$$L = 7.00 \text{ m}$$

Calcul des multiples cas possibles :

$$1^{\text{er}} \text{ cas : } \{04 \text{ (Roues de } 80\text{KN)} \rightarrow Q_{Bt} = 320 \text{ KN/ml}$$

$$2^{\text{ème}} \text{ cas : } \{08 \text{ (Roues de } 80\text{KN)} \rightarrow Q_{Bt} = 640 \text{ KN/ml}$$

Le cas le plus défavorable :

$$Q_{Bt} = 640 \text{ KN/ml}$$

$$S = Q_{Bt} \times bt$$

$$S = 640 \times 1 = 640 \text{ KN/ml}$$

$$\delta_{Bt} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2L} + \frac{0.6}{1 + 4 \frac{G}{S}}$$

$$\delta_{Bt} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2 \times 7.00} + \frac{0.6}{1 + 4 \frac{315.33}{640}}$$

$$\delta_{Bt} = 1.36$$

Tableau 8 : Coefficient de majoration dynamique δ_{Bt}

Parties de l'ouvrage		L (m)	G (KN/ml)	S (KN/ml)	δ_{Bt}
Partie couverte	Sur dalle de couverture	8.70	140.62	320	1.36
	Sur radier	7.00	384.36	640	1.34
Partie non-couverte	Pour 02 voies seulement	7.00	315.33	640	1.36



- **L'impact des essieux :**

Partie couverte :

Dans la partie couverte les surcharges sont appliquées sur la dalle de couverture, sur le radier coulé en place et les patins des pénétrations.

Dalle de couverture :

H : Hauteur de la diffusion de la charge

$$H = h(\text{revêtement}) + h(\text{Remblai}) + \frac{h}{2}(\text{Radier})$$

$$H = 0.08 + 0.50 + 0.20 = \mathbf{0.78m}$$

$$U = H \times \text{tg}40^\circ = 0.78 \times \text{tg}40^\circ = \mathbf{0.65m}$$

$$V = H \times \text{tg}40^\circ = 0.78 \times \text{tg}40^\circ = \mathbf{0.65m}$$

$$U_0 = 0.25 + 2U = 0.25 + (2 \times 0.65) = \mathbf{1.55m}$$

$$V_0 = 0.60 + 2V = 0.60 + (2 \times 0.65) = \mathbf{1.90m}$$

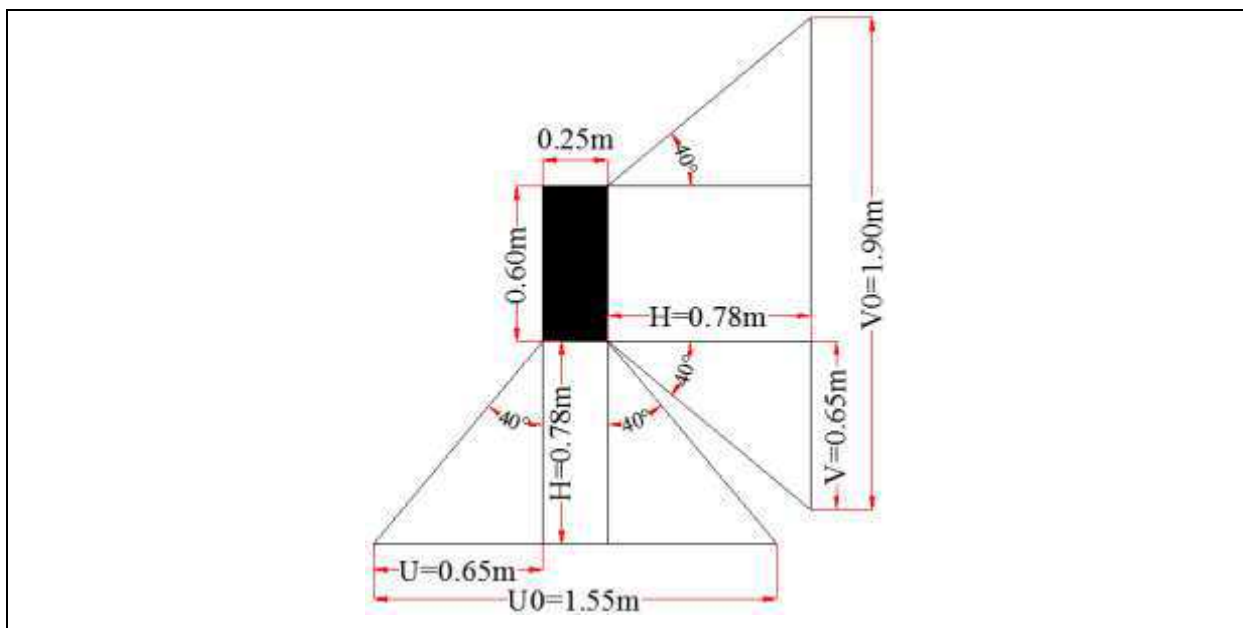


Figure 34 : Représentation de la descente de charges d'une roue (**0.25x0.60m**) sur la dalle de couverture-partie couverte

Calcul des multiples cas possibles :

1^{er} cas : {Diffusion de charge **deux (02)** roue de **80 KN/roue**

$$\sigma_1 = \frac{2 \times 80}{2.90 \times 1.90} = \mathbf{29.04 \text{ KN/m}^2}$$



2^{ème} cas : {Diffusion de charge **quatre (04)** roue de **80 KN/roues** :

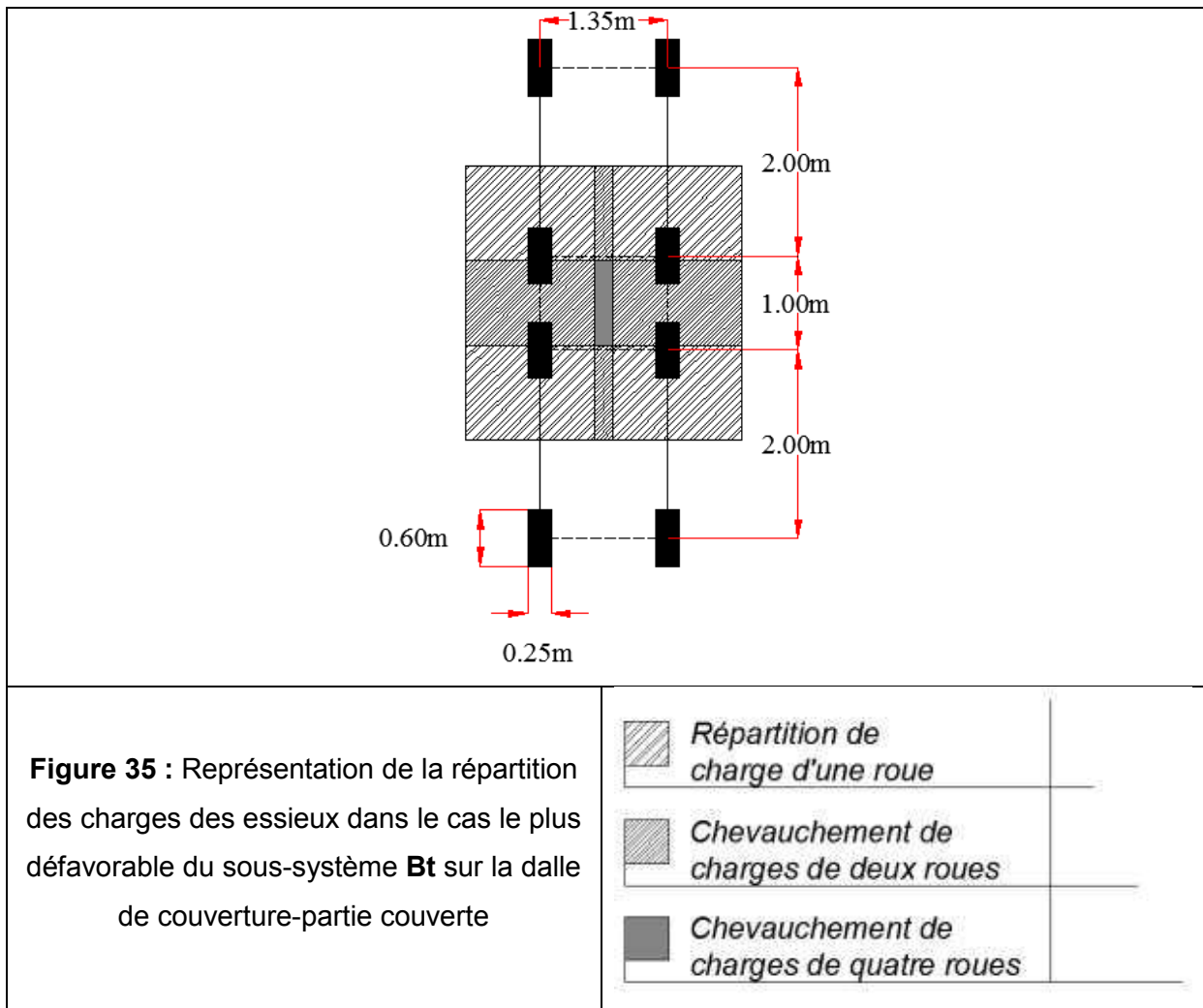
$$\sigma_1 = \frac{2 \times 80}{2.90 \times 2.90} = 38.05 \text{ KN/m}^2$$

Donc : **le cas le plus défavorable c'est** :

{Diffusion de charge **quatre (04)** roue de **80 KN/roue**

Donc les charges par essieux seront :

$$Q_{Bt} = 38.05 \times 1 \times 1.36 = 51.74 \text{ KN/ml}$$



Important : Pour le sous-système **Bt** sur la dalle de couverture, nous avons songé à ce que la **charge soit mobile** suivant le sens de la circulation pour avoir le cas le plus défavorable, et nous l'avons modéliser dynamiquement dans *SAP2000v14*.



Sur radier :

H : Hauteur de la diffusion de la charge

$$H = h(\text{revêtement}) + h(\text{Chape de béton}) + \frac{h}{2}(\text{Radier})$$

$$H = 0.08 + 0.15 + 0.20 = \mathbf{0.43m}$$

$$U = H \times \text{tg}40^\circ = 0.43 \times \text{tg}40^\circ = \mathbf{0.36m}$$

$$V = H \times \text{tg}40^\circ = 0.43 \times \text{tg}40^\circ = \mathbf{0.36m}$$

$$U_0 = 0.25 + 2U = 0.60 + (2 \times 0.36) = \mathbf{1.32m}$$

$$V_0 = 0.60 + 2V = 0.25 + (2 \times 0.36) = \mathbf{0.97m}$$

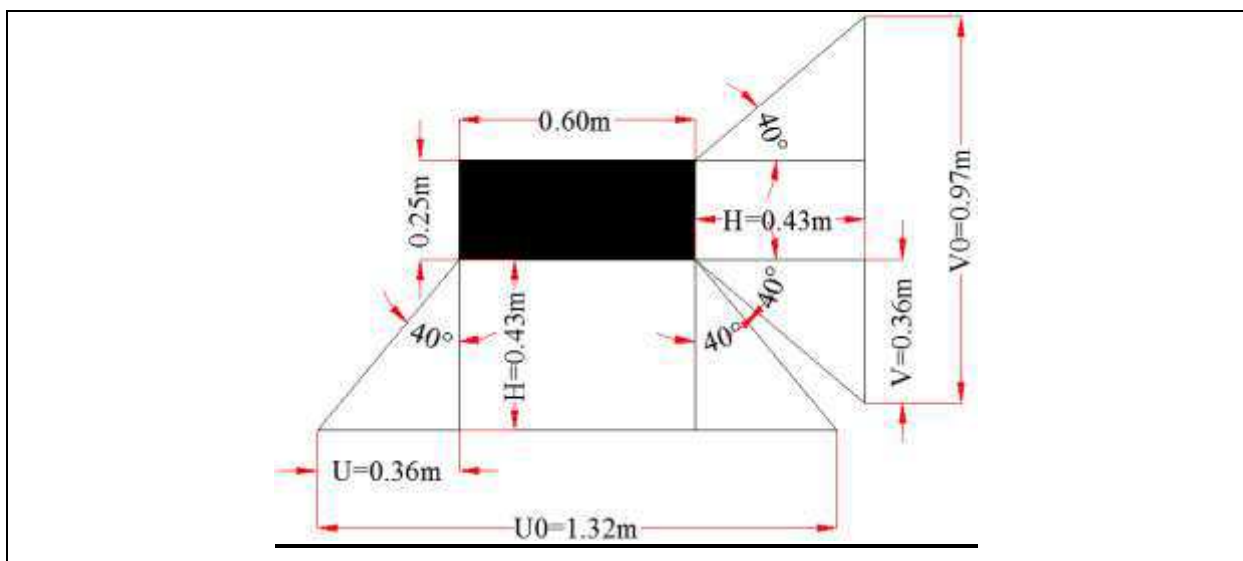


Figure 36 : Représentation de la descente de charges d'une roue (0.25x0.60m) sur radier

Calcul des multiples cas possibles :

On a un seul cas de chevauchement qui est :

- Diffusion de charge **d'une (01) roue de 80 KN/roue**
- +
- Diffusion des charges de **deux (02) roues de 80KN/roue**
- +
- Diffusion de charge **d'une (01) roue de 80 KN/roue**

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \sigma'_1 = \frac{80}{1.32 \times 0.97} = \mathbf{62.48 \frac{KN}{m^2}} \Leftrightarrow Q'_1 = \mathbf{83.72 KN/ml} \\ \sigma'_2 = \frac{2 \times 80}{2.32 \times 0.97} = \mathbf{71.10 \frac{KN}{m^2}} \Leftrightarrow Q'_2 = \mathbf{95.27 KN/ml} \\ \sigma'_3 = \frac{80}{1.32 \times 0.97} = \mathbf{62.48 \frac{KN}{m^2}} \Leftrightarrow Q'_1 = \mathbf{83.72 KN/ml} \end{cases}$$



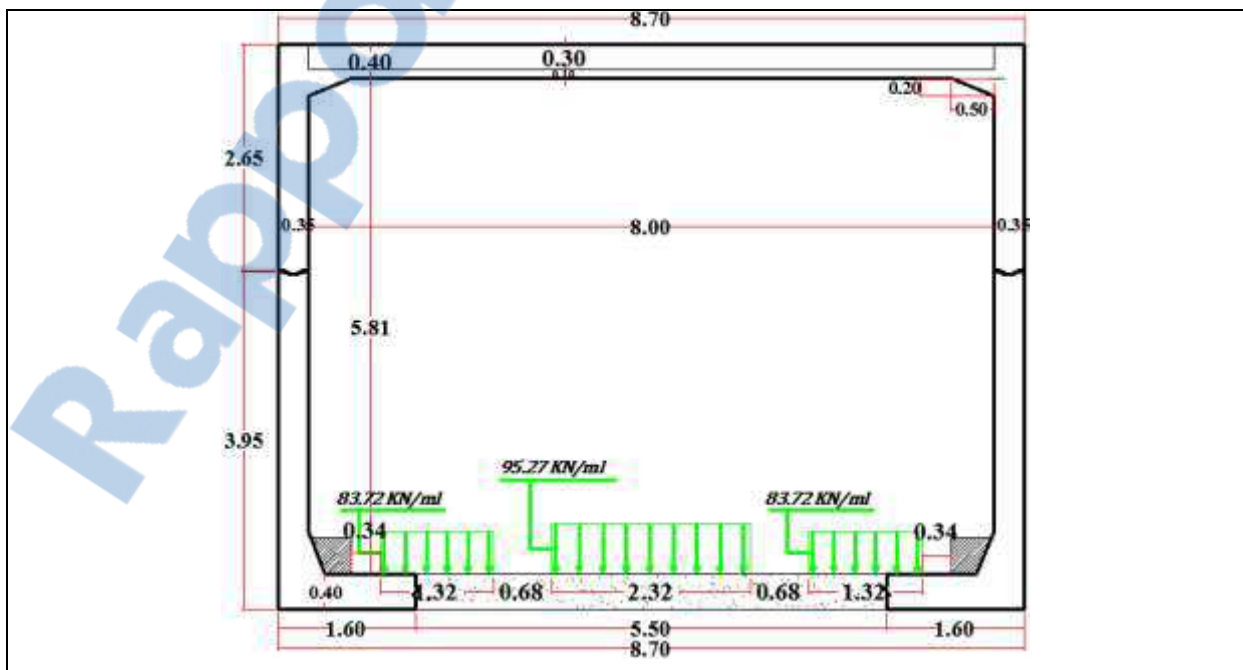
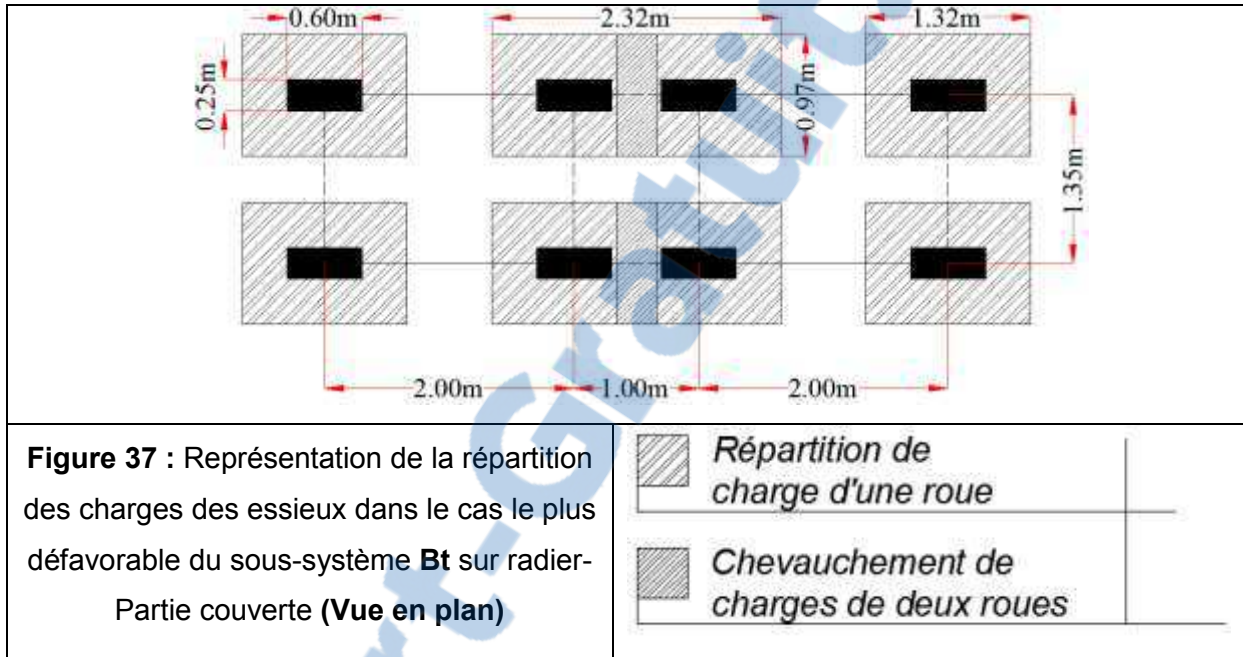
Donc : le cas le plus défavorable c'est :

{ une (01) roue de 80 KN/roue
 +
 deux (02) roue de 80 KN/roue
 +
 une (01) roue de 80 KN/roue

Donc les charges par essieux seront :

$$Q_{Bt1} = 62.48 \times 1 \times 1.34 = 83.72 \text{ KN/ml}$$

$$Q_{Bt2} = 71.10 \times 1 \times 1.34 = 95.27 \text{ KN/ml}$$





Partie non-couverte :

N.B : On prend en considération le cas le plus défavorable (cas du M.D.S TYPE-1)

On rappelle que :

$$G = 315.33 \text{ KN/ml}$$

$$L = 7.00 \text{ m}$$

On fait de même que la **partie couverte (sur radier)** mais uniquement pour **deux (02) voies.**

Donc :

$$Q_{Bt1} = 62.48 \times 1 \times 1.36 = 84.97 \text{ KN/ml} \rightarrow 01 \text{ roue (80KN)}$$

$$Q_{Bt2} = 62.48 \times 1 \times 1.36 = 96.70 \text{ KN/ml} \rightarrow 02 \text{ roues (80KN)}$$

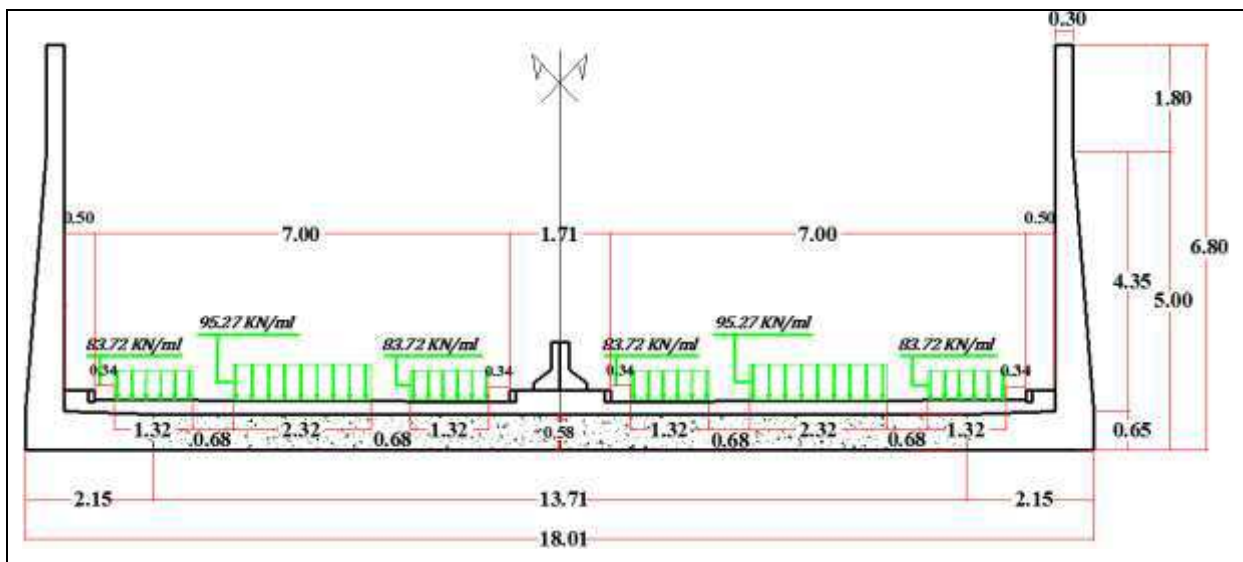


Figure 39 : Représentation de la répartition des charges des essieux dans le cas le plus défavorable du sous-système **Bt** sur radier-Partie non couverte (**Coupe transversale**)



3.3.2.4. Surcharge militaire de type MC120 :

Le MC 120 est un engin chenille avec un poids total de **110t** équivaut à **55t/chenille** répartie sur une longueur de **6.10m** et une largeur de **1m/chenille**.

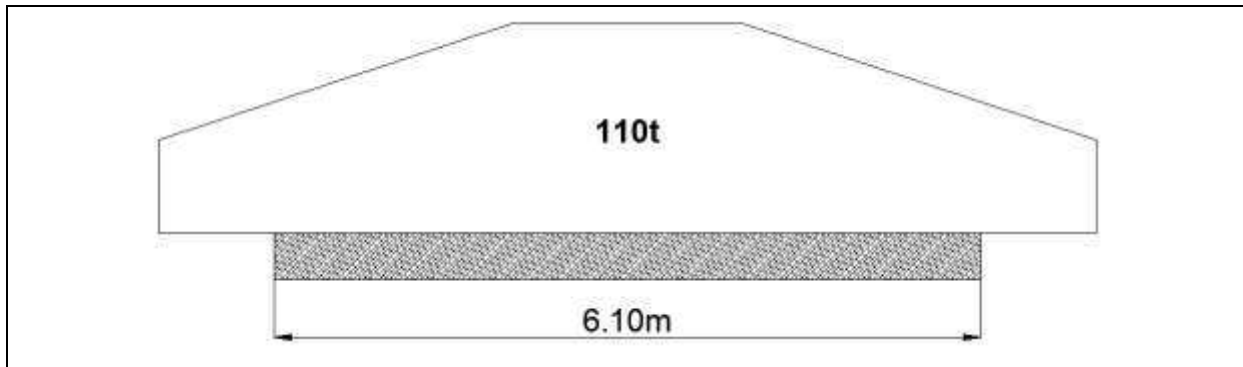


Figure 40 : Coupe longitudinale des chenilles du sous-système MC120

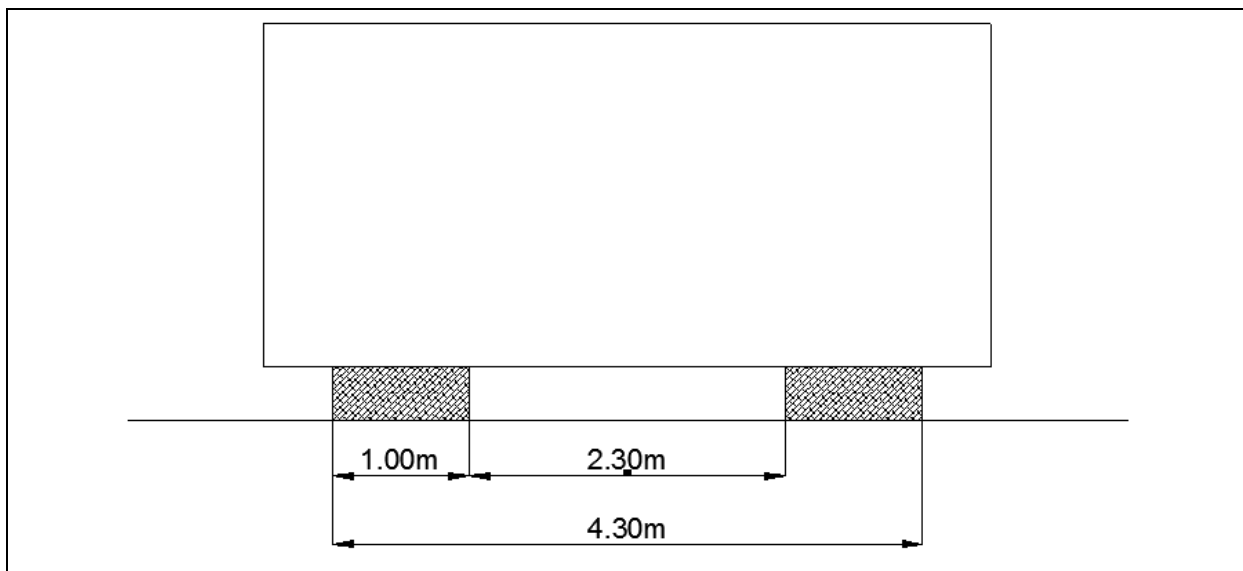


Figure 41 : Coupe transversale des chenilles du sous-système MC120

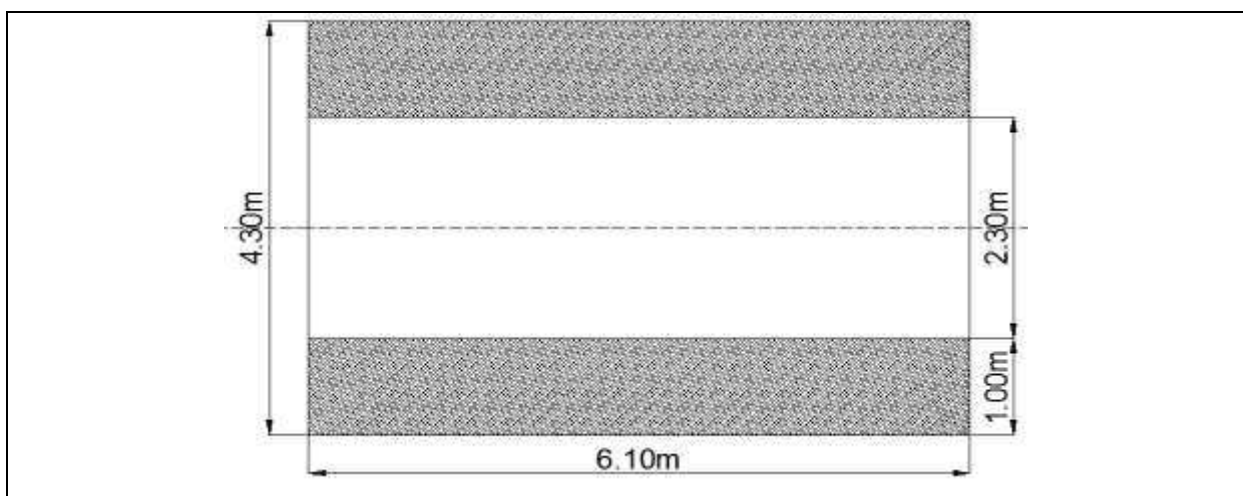


Figure 42 : Vue en plan des chenilles du sous-système MC120

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES





Partie couverte (sur dalle de couverture) :

On rappelle que :

$$G = 140.62 \text{ KN/ml} ; L=8.70\text{m}$$

Calcul des multiples cas possibles :

N.B : Les calculs sont faits pour **1ml**, pour seulement **01 anneau**

1100 KN \Leftrightarrow **02 chenilles (l'engin complet)**

$$\frac{1100}{2} = 550 \text{ KN/ml} \Leftrightarrow \text{01 chenille}$$

Dans **1ml** on a affaire qu'à **01 chenille**

$$S = Q_{MC120} = 550 \text{ KN/ml}$$

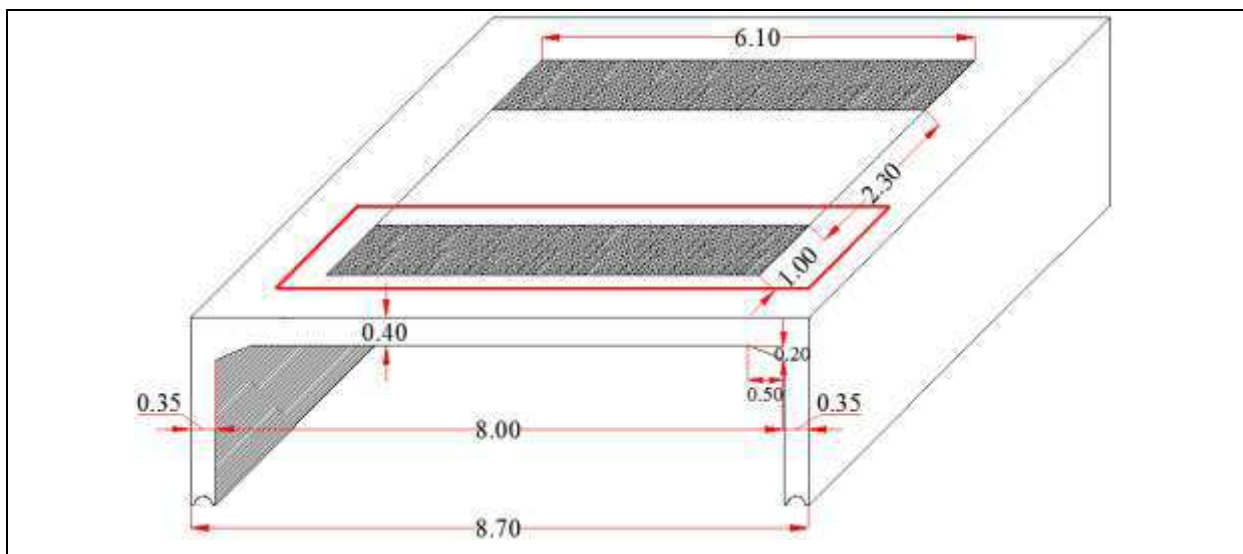


Figure 43 : Représentation des multiples cas à étudier du sous-système **MC120** pour la partie couverte (dalle de couverture)

S : Poids total maximal des chenilles du système **MC120** qu'il est possible de les placer sur la longueur **L** tel que : $S = Q_{MC120}$

Les surcharges du système **MC120** sont affectées par un coefficient de majoration dynamique donné par la formule :

$$\delta_{MC120} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2L} + \frac{0.6}{1 + 4\frac{G}{S}}$$

$$\delta_{MC120} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2 \times 8.70} + \frac{0.6}{1 + 4\frac{140.62}{550}}$$

$$\delta_{MC120} = 1.44$$



Partie couverte (sur radier) :

On rappelle que :

$$G = 384.36 \text{ KN/ml} ; L = 7.00 \text{ m}$$

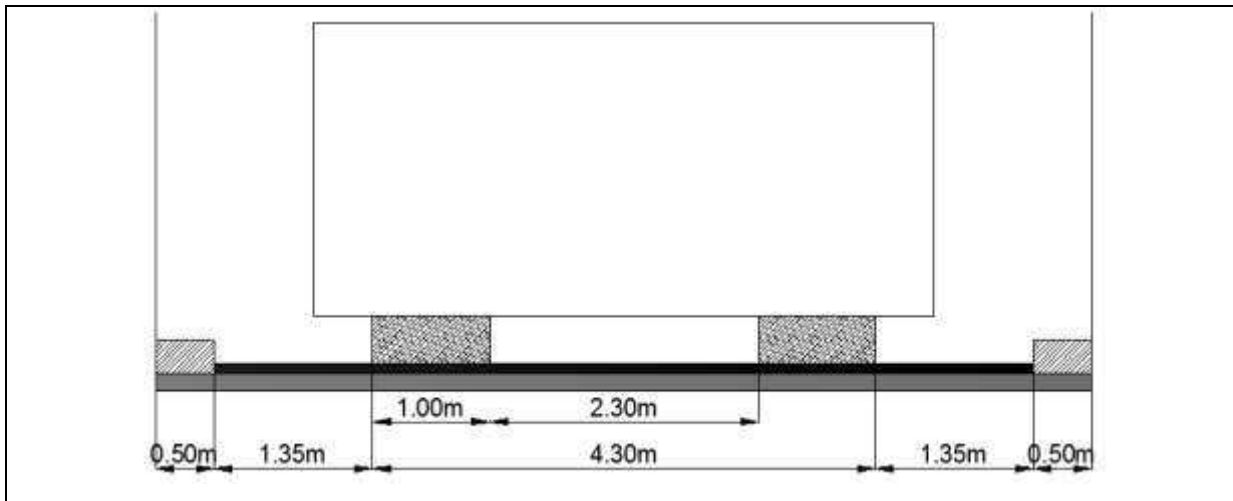


Figure 44 : Représentation vue de face des multiples cas à étudier du sous-système MC120 pour la partie couverte (sur radier) et pour la partie non couverte

$$S = Q_{MC120} = 1100 \text{ KN} \rightarrow \text{Pour } 6.10\text{m}$$

$$S = Q_{MC120} = \frac{1100}{6.10} = 180.33 \text{ KN/ml}$$

$$\delta_{MC120} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2L} + \frac{0.6}{1 + 4\frac{G}{S}}$$

$$\delta_{MC120} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2 \times 7.00} + \frac{0.6}{1 + 4\frac{384.36}{180.33}}$$

$$\delta_{MC120} = 1.22$$

Partie non-couverte :

N.B : On prend en considération le cas le plus défavorable (cas du M.D.S TYPE-1)

On rappelle que :

$$G = 315.33 \text{ KN/ml}$$

$$L = 7.00 \text{ m}$$

On fait de même que la **partie couverte (sur radier)** mais uniquement pour **deux (02) voies.**

$$S = Q_{MC120} = 1100 \text{ KN} \rightarrow \text{Pour } 6.10\text{m}$$

$$S = Q_{MC120} = \frac{1100}{6.10} = 180.33 \text{ KN/ml}$$



$$\delta_{MC120} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2L} + \frac{0.6}{1 + 4\frac{G}{S}}$$

$$\delta_{MC120} = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2 \times 7.00} + \frac{0.6}{1 + 4\frac{315.33}{180.33}}$$

$$\delta_{MC120} = 1.24$$

Tableau 9 : Coefficient de majoration dynamique δ_{MC120}

Parties de l'ouvrage		L (m)	G (KN/ml)	S (KN/ml)	δ_{MC120}
Partie couverte	Sur dalle de couverture	8.70	140.62	550	1.44
	Sur radier	7.00	384.36	180.33	1.22
Partie non-couverte	Pour 02 voies seulement	7.00	315.33	180.33	1.24

- **L'impact des chenilles :**

Partie couverte :

Dans la partie couverte les surcharges sont appliquées sur la dalle de couverture, sur le radier coulé en place et les patins des piédroits.

Dalle de couverture :

H : Hauteur de la diffusion de la charge

$$H = h(\text{revêtement}) + h(\text{Remblai}) + \frac{h}{2}(\text{Radier})$$

$$H = 0.08 + 0.50 + 0.20 = \mathbf{0.78m}$$

$$U = H \times \text{tg}40^\circ = 0.78 \times \text{tg}40^\circ = \mathbf{0.65m}$$

$$V = H \times \text{tg}40^\circ = 0.78 \times \text{tg}40^\circ = \mathbf{0.65m}$$

$$U_0 = 6.10 + 2U = 6.10 + (2 \times 0.65) = \mathbf{7.40m}$$

$$V_0 = 1.00 + 2V = 1.00 + (2 \times 0.65) = \mathbf{2.30m}$$



Notre cas : Diffusion de charges pour une chenille de **550 KN/ml**

$$\sigma = \frac{550}{7.40 \times 2.30} = 32.31 \text{ KN/m}^2$$

$$Q_{MC120} = 32.31 \times 1.44 = 46.52 \text{ KN/ml}$$

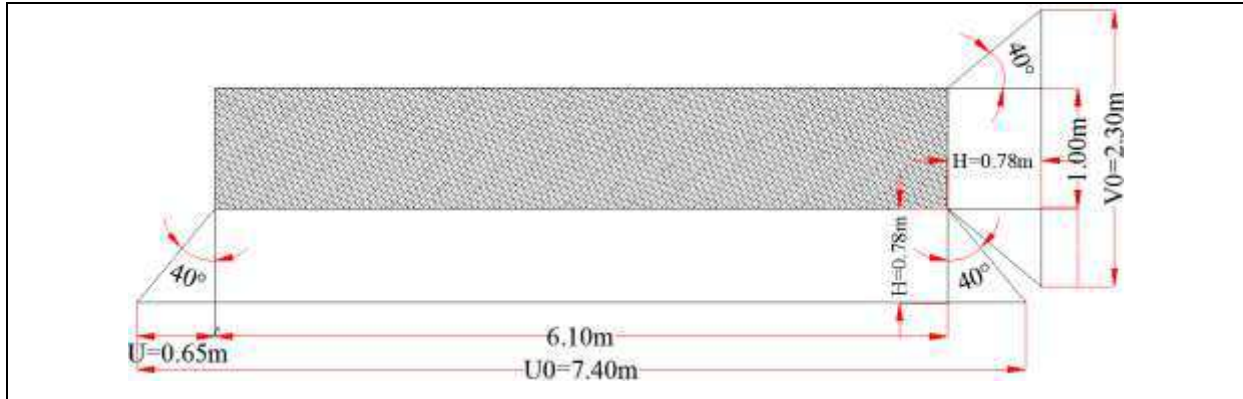


Figure 45 : Représentation de la répartition des charges d'une chenille de **550t** dans le cas le plus défavorable du sous-système **MC120** sur la dalle de couverture-partie couverte

Important : Pour le sous-système **MC120** sur la dalle de couverture, nous avons songé à ce que la **charge soit mobile** suivant le sens de la circulation pour avoir le cas le plus défavorable, et nous l'avons modéliser dynamiquement dans *SAP2000v14*.

Sur radier :

H : Hauteur de la diffusion de la charge

$$H = h(\text{revêtement}) + h(\text{Chape de béton}) + \frac{h}{2} (\text{Radier})$$

$$H = 0.08 + 0.15 + 0.20 = 0.43 \text{ m}$$

$$U = H \times \text{tg}40^\circ = 0.43 \times \text{tg}40^\circ = 0.36 \text{ m}$$

$$V = H \times \text{tg}40^\circ = 0.43 \times \text{tg}40^\circ = 0.36 \text{ m}$$

$$U_0 = 1.00 + 2U = 1.00 + (2 \times 0.36) = 1.72 \text{ m}$$

$$V_0 = 6.10 + 2V = 6.10 + (2 \times 0.36) = 6.82 \text{ m}$$

Notre cas : Diffusion de charges pour une chenille de **550 KN/ml**

$$\sigma = \frac{550}{1.72 \times 6.82} = 46.89 \text{ KN/m}^2$$

$$Q_{MC120} = 46.89 \times 1.22 = 57.20 \text{ KN/ml}$$

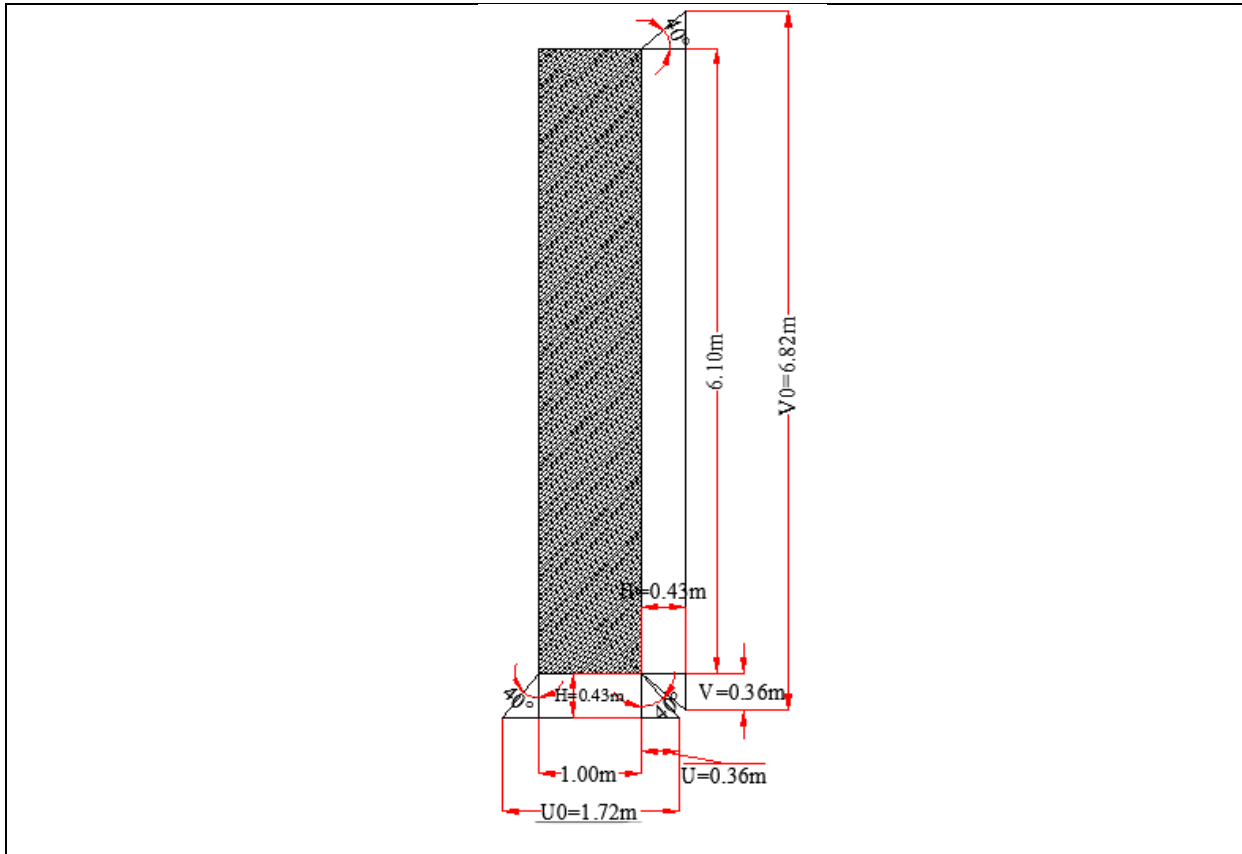


Figure 46 : Représentation de la répartition des charges d'une chenille de **550t** dans le cas le plus défavorable du sous-système **MC120** sur radier (**Vue en plan**)

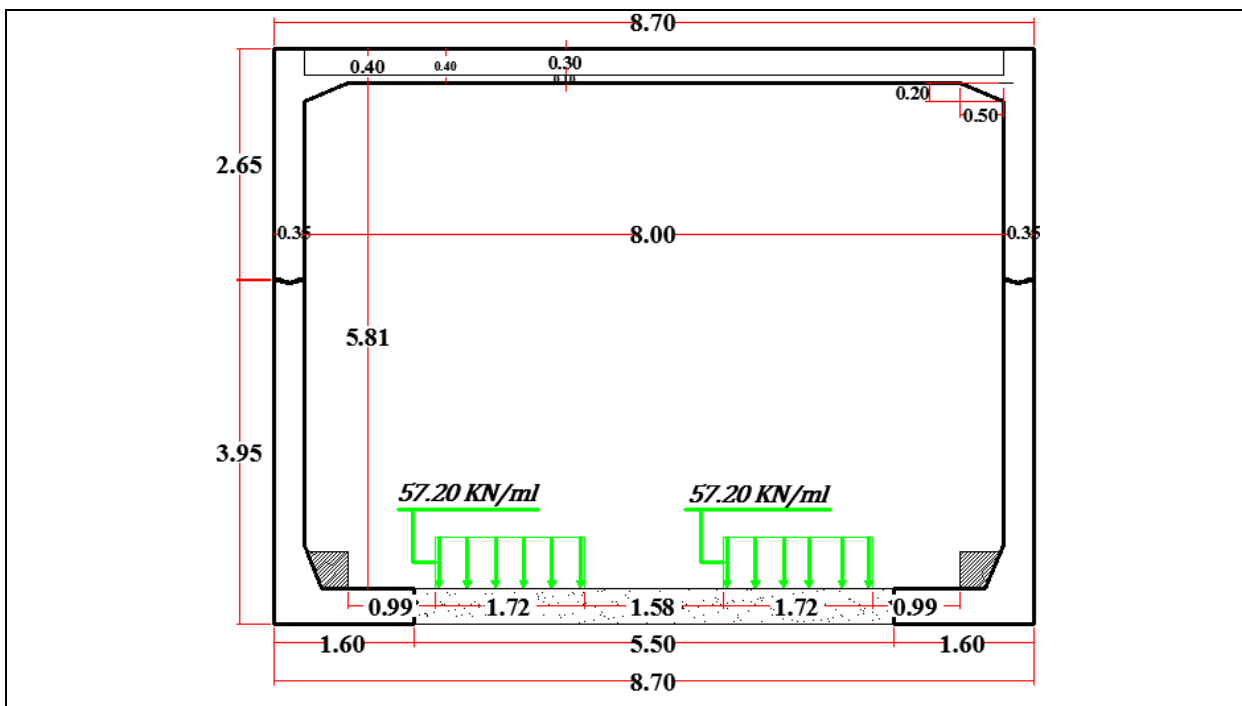


Figure 47 : Représentation de la répartition des charges d'une chenille de **550kN** dans le cas le plus défavorable du sous-système **MC120** sur radier-partie couverte (**Coupe transversale**)



Partie non-couverte :

N.B :

On prend en considération le cas le plus défavorable (cas du M.D.S TYPE-1)

On rappelle que :

$$G = 315.33 \text{ KN/ml}$$

$$L = 7.00 \text{ m}$$

On fait de même que la **partie couverte (sur radier)** mais uniquement pour **deux (02) voies** sauf que :

$$Q_{MC120} = 46.89 \times 1.24 = 58.14 \text{ KN/ml}$$

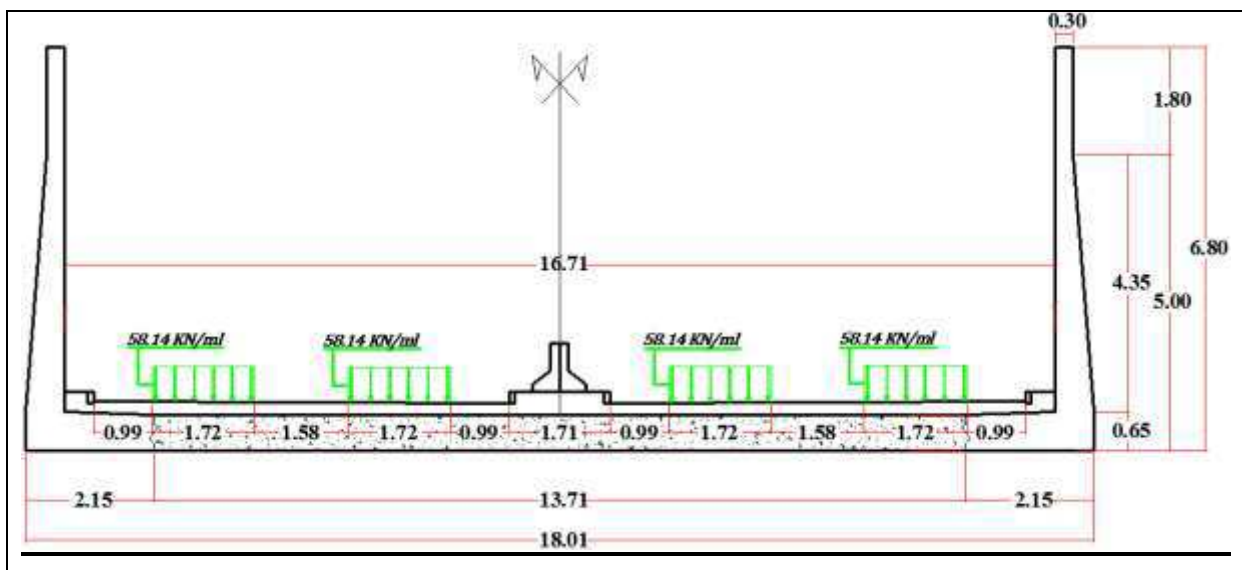


Figure 48 : Représentation de la répartition des charges des essieux dans le cas le plus défavorable du sous-système **MC120** sur radier-Partie non couverte (**Coupe transversale**)

Conclusion :

Comme cité auparavant, nous nous sommes basés sur des hypothèses qui sont aspirées d'un mélange de retour d'expériences et de calculs, mises en élaboration par des experts sous formes de normes.

A la lumière de l'étude faite, nous déduisons que les hypothèses qui ont été posées sont confirmées, ainsi que l'étude de charges et surcharges nous a permis de quantifier les différents chargements appliqués sur notre structure et les positionner dans les cas les plus défavorables pour aller plus vers la sécurité, avoir une idée sur leurs directions et voir les déformations engendrées.



Chapitre 03

***Etude dynamite
et
modélisation de calcul***



Contenu (Chapitre 03)

Etude dynamique et modélisation de calcul

Introduction :	- 69 -
1. Etude sismique :	- 70 -
1.1. Détermination du coefficient d'accélération :	- 70 -
1.2. L'incrément dynamique de poussée active :	- 71 -
1.3. Force du remblai sur la dalle de couverture-partie couverte:	- 73 -
1.4. Force d'inertie :	- 74 -
2. Modélisation de calcul :	- 77 -
2.1. Modélisation du sol d'assise :	- 77 -
2.2. Modélisation du remblai :	- 78 -
3. Différentes charges appliquées sur la structure :	- 79 -
3.1. Combinaisons de modélisation :	- 80 -
4. Efforts appliqués sur notre structure :	- 82 -
4.1. Efforts appliqués sur la partie couverte :	- 82 -
4.2. Efforts appliqués sur la partie non couverte :	- 88 -
5. Contrainte sur le sol :	- 92 -
5.1. Partie Couverte :	- 92 -
5.2. Partie non-Couverte (M.D.S TYPE-1) :	- 93 -
5.3. Partie non-Couverte (M.D.S TYPE-2) :	- 94 -
5.4. Partie non-Couverte (M.D.S TYPE-3) :	- 95 -
6. Efforts maximaux appliqués sur la structure :	- 95 -
6.1. Efforts maximaux de la partie couverte :	- 96 -
6.2. Efforts maximaux de la partie non-couverte/MDS TYPE-1 :	- 97 -
6.3. Efforts maximaux de la partie non-couverte/MDS TYPE-2 :	- 98 -
6.4. Efforts maximaux de la partie non-couverte/MDS TYPE-3 :	- 98 -
7. Interprétation des résultats :	- 99 -
7.1. Partie couverte :	- 99 -
7.2. Partie non-couverte :	- 100 -
8. Hypothèses de calcul :	- 101 -
8.1. Matériaux :	- 101 -
8.1.1. Béton :	- 101 -
8.1.2. Acier :	- 101 -
8.2. Contraintes limites :	- 102 -
8.2.1. Contraintes limites du béton :	- 102 -



8.2.2.	Contraintes limites de l'acier :.....	- 102 -
9.	Calcul de ferrailage :	- 103 -
9.1.	Calcul ferrailage : Sollicitation flexion simple :	- 103 -
9.2.	Calcul ferrailage : Sollicitation flexion composée :	- 107 -
9.3.	Calcul du ferrailage de la partie-couverte (SOCOTEC):.....	- 109 -
9.4.	Calcul du ferrailage de la Partie Non-Couverte : M.D.S TYPE-1 (SOCOTEC) :-	114 -
9.5.	Calcul du ferrailage de la Partie Non-Couverte : M.D.S TYPE-2 (SOCOTEC) :-	117 -
9.6.	Calcul du ferrailage de la Partie Non-Couverte : M.D.S TYPE-3 (SOCOTEC) :-	120 -
9.7.	Vérification du ferrailage choisi :.....	- 123 -
9.8.	Espacements maximaux :	- 124 -
9.9.	Justification des armatures d'effort tranchant :	- 125 -
10.	Etude comparative des aciers :	- 126 -
10.1.	Notre étude :.....	- 126 -
10.2.	Etude réalisée par SEROR :	- 127 -
10.3.	Interprétation des résultats :.....	- 128 -
	Conclusion :.....	- 128 -



Introduction :

Le risque sismique est d'une influence catastrophique sur les constructions. Une coopération à l'échelle mondiale est nécessaire pour un échange d'informations et de retour d'expériences pour la prévention sismique afin de pouvoir ou non, mettre en place et implanter des constructions. L'étude sismique conduit à des études de micro-zonage afin de localiser les zones du moins au plus dangereuses.

Les ouvrages en béton armé qui correspondent à un mariage judicieux de matériaux aux caractéristiques complémentaires, l'acier pour sa capacité à résister aux contraintes de traction et le béton pour sa capacité de résister à la compression, doivent répondre aux exigences de stabilités requises et vérifier les conditions de contraintes limites. Pour le dimensionnement d'un ouvrage, on a recours à des méthodes analytiques, mais elles restent basiques pour des ouvrages exceptionnels et donc difficiles à traiter, donc le génie civil en s'associant avec la numérisation nous guide vers un calcul plus efficient et précis.

Pour notre projet, nous avons utilisé comme indiqué précédemment, le **SAP2000v14** basé sur la méthode des éléments finis pour le calcul des efforts internes. Il s'agit de déformation plane, c'est pour cela qu'on s'est permis de réduire notre modèle à un modèle plan auquel nous avons donné aux sections les dimensions calculées dans le pré-dimensionnement, appliqué les charges et surcharges, établi des combinaisons de calcul aux états limites, et vu l'influence sur notre structure pour avoir les efforts maximaux aux sections considérées. Ces efforts seront pris en considération pour le calcul des sections d'armatures à l'ELU et faire la vérification à l'ELS, et voir si notre section vérifie les conditions de contraintes du béton et de l'acier pour la garder, ou non pour l'augmenter. Nous avons opté pour le logiciel de calcul du ferrailage « **SOCOTEC v1.02** » dans le but de valider les valeurs obtenues manuellement.



1. Etude sismique :

Un séisme est une succession de déplacements rapides imposés aux fondations d'un ouvrage. On recommande de considérer l'action sismique sur un ouvrage comme étant le résultat d'un mouvement d'ensemble du sol.

1.1. Détermination du coefficient d'accélération :

Tableau 1 : Classification des ponts (RPOA)

Groupe de pont	Importance
Groupe 1	Pont stratégique
Groupe 2	Pont important
Groupe 3	Pont d'importance moyenne

Notre ouvrage (**Trémie**) est implanté à Tlemcen qui, d'après le (RPOA), est classée dans la **zone I** qui est d'une faible sismicité, et considéré comme étant un « **Pont important** » donc il appartient au « **Groupe 2** ».

Groupe 2 : Pont important

Dans ce groupe sont classés les ponts qui franchissent ou longent au moins une des voies terrestres ci-après :

- Autoroutes, routes express et voies à grande circulation.
- Liaisons assurant la continuité du réseau autoroutier.
- Grandes liaisons d'aménagement du territoire.
- Les ponts situés dans les emprises des ports commerciaux maritimes.
- Les ponts sur itinéraire de desserte des installations de grande importance (*Groupe 1B du RPA99/2003*). (RPOA)

Tableau 2 : Coefficient d'accélération de zone A (RPOA)

Groupe de pont	Zones sismique			
	I	Ila	Ilb	III
1	0.15	0.25	0.30	0.40
2	0.12	0.20	0.25	0.30
3	0.10	0.15	0.20	0.25

D'après le **Tableau 2** on déduit que le coefficient d'accélération **A** dans notre cas est l'intersection entre la **zone I** et le **groupe 2** : **A = 0.12**

Le (RPOA) indique que les efforts d'inertie du mur de soutènement ou des terres reposant sur la semelle du mur sont calculés à partir des coefficients sismiques K_H et K_V :

$$K_H = A = \mathbf{0.12}$$

$$K_V = 0.3 K_H = \mathbf{0.036}$$



1.2. L'incrément dynamique de poussée active :

L'incrément dynamique de poussée des terres active est donné d'après le (RPOA) par la formule :

$$\Delta F_{ad} = \frac{1}{2} \gamma H^2 [(1 \pm K_V)K_{ad} - K_a]$$

γ : Poids volumique du sol avec : $\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$

Partie couverte :

H : Hauteur du montant + remblai

$$H = 7.10\text{m}$$

On a :

$$\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$$

$$K_H = A = 0.12$$

$$K_V = 0.3 K_H = 0.036$$

$$K_a = 0.333$$

$$K_{ad} = \frac{\cos^2(\varphi - \theta)}{\cos^2 \theta \left[1 + \sqrt{\frac{\sin \varphi \sin(\varphi - \beta - \theta)}{\cos \theta \cos \beta}} \right]^2}$$

(RPOA)

$$\theta = \arctg \frac{K_H}{1 \pm K_V} \begin{cases} \theta^+ = \arctg \frac{K_H}{1+K_V} \Leftrightarrow \theta^+ = 6.61^\circ \\ \theta^- = \arctg \frac{K_H}{1-K_V} \Leftrightarrow \theta^- = 7.10^\circ \end{cases}$$

$$K_{ad}^+ = f(\theta^+) = 0.41$$

$$K_{ad}^- = f(\theta^-) = 0.396$$

Donc l'incrément dynamique pour la partie couverte :

$$\Delta F_{ad} = \frac{1}{2} \gamma H^2 [(1 \pm K_V)K_{ad} - K_a] \begin{cases} \Delta F_{ad}^+ = \frac{1}{2} \gamma H^2 [(1 + K_V)K_{ad}^+ - K_a] = 46.25 \text{ KN} \\ \Delta F_{ad}^- = \frac{1}{2} \gamma H^2 [(1 - K_V)K_{ad}^- - K_a] = 24.57 \text{ KN} \end{cases}$$

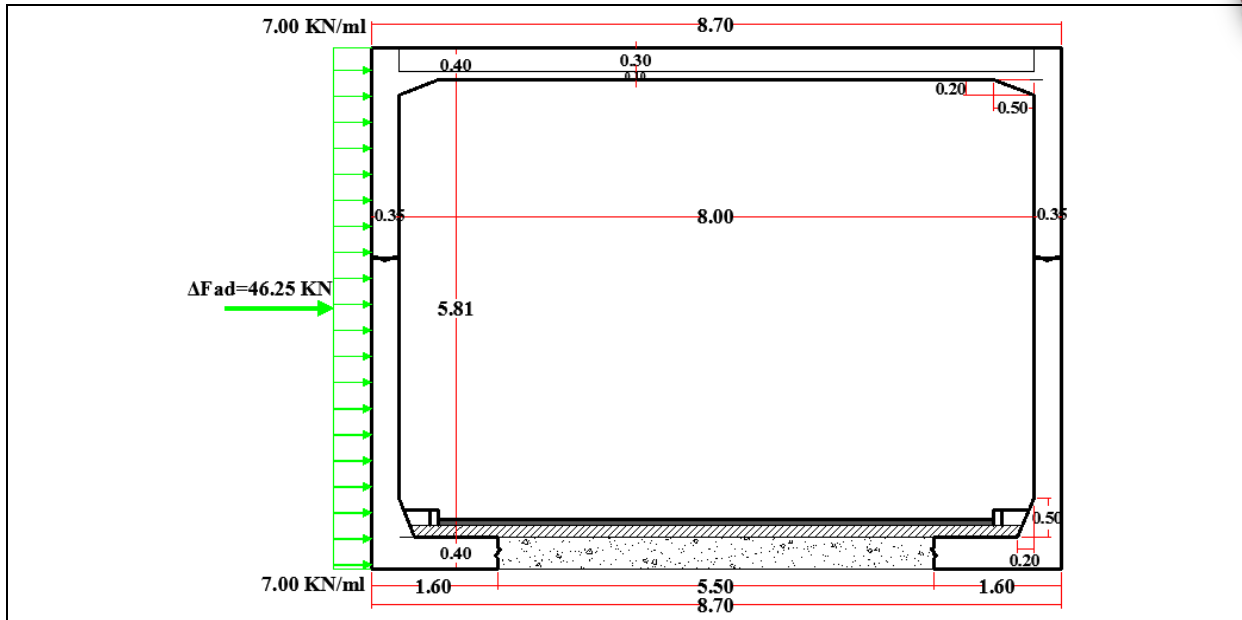


Figure 1 : Modélisation par **SAP2000**-Incrément dynamique (Partie couverte) en **KN/ml**

Partie non couverte :

H : Hauteur du MDS TYPE-1

$$H = 6.80m$$

On a :

$$\gamma = 20 \text{ KN}/m^3$$

$$K_H = A = 0.12$$

$$K_V = 0.3 K_H = 0.036$$

$$K_a = 0.333$$

En utilisant la même méthode que la partie couverte on calcule l'incrément dynamique pour la partie non couverte-MDS type-1 tel que :

$$\Delta F_{ad} = \frac{1}{2} \gamma H^2 [(1 \pm K_V)K_{ad} - K_a] : \begin{cases} \Delta F_{ad}^+ = \frac{1}{2} \gamma H^2 [(1 + K_V)K_{ad}^+ - K_a] = 42.42 \text{ KN} \\ \Delta F_{ad}^- = \frac{1}{2} \gamma H^2 [(1 - K_V)K_{ad}^- - K_a] = 22.54 \text{ KN} \end{cases}$$

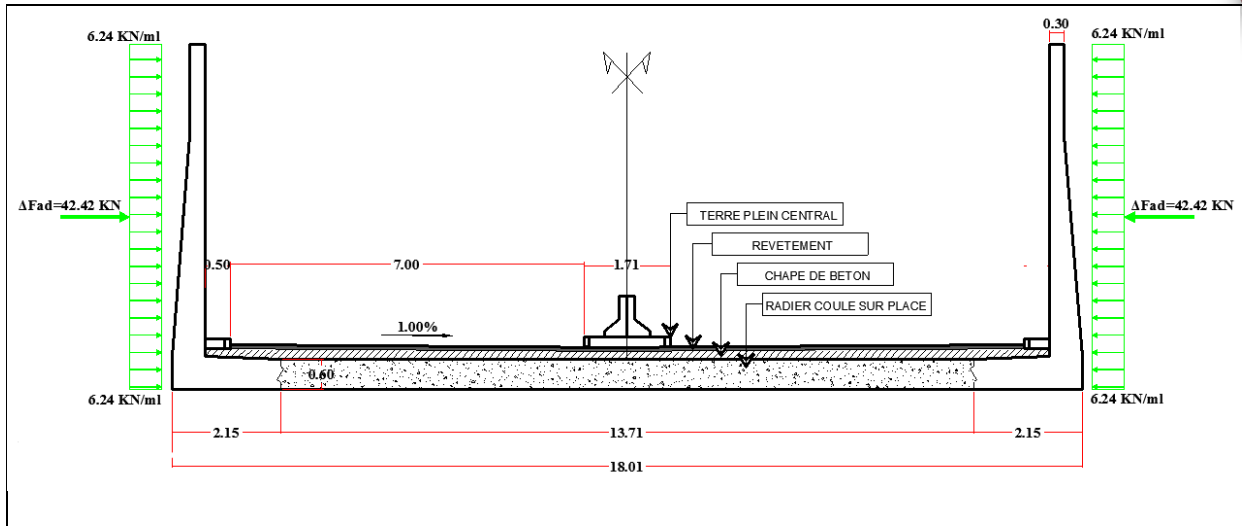


Figure 2 : Modélisation par **SAP200**-Incrément dynamique (Partie non couverte/MDS type-1) en **KN/ml**

NB :

- Nous prenons comme exemple le cas du **MDS TYPE-1**, les autres types (**2** et **3**) sont calculés de la même manière, comme indiqué sur le **tableau 3**.
- Nous prenons en compte pour notre calcul le **max** (ΔF_{ad}^+ ; ΔF_{ad}^-)

Tableau 3 : Récapitulatif de l'incrément dynamique

Elément	ΔF_{ad}^+		ΔF_{ad}^-	
	en KN	en KN/ml	en KN	en KN/ml
Partie couverte	46.25	7.00	24.57	3.72
MDS type-1	42.42	6.24	22.54	3.31
MDS type-2	29.81	5.23	15.84	2.78
MDS type-3	16.97	3.95	9.01	2.10

1.3. Force du remblai sur la dalle de couverture-partie couverte:

Le remblai sur la dalle de couverture de la partie couverte applique une force sur celle-ci, elle donnée par la formule :

$$F_R = [(\gamma_{Remblai} e_{pRemblai}) + (\gamma_{Bitume} e_{pBitume})] K_H$$

$$\Leftrightarrow F_R = [(20 \times 0.50) + (22 \times 0.08)] 0.12$$

$$\Leftrightarrow F_R = 1.41 \text{ KN/ml}$$

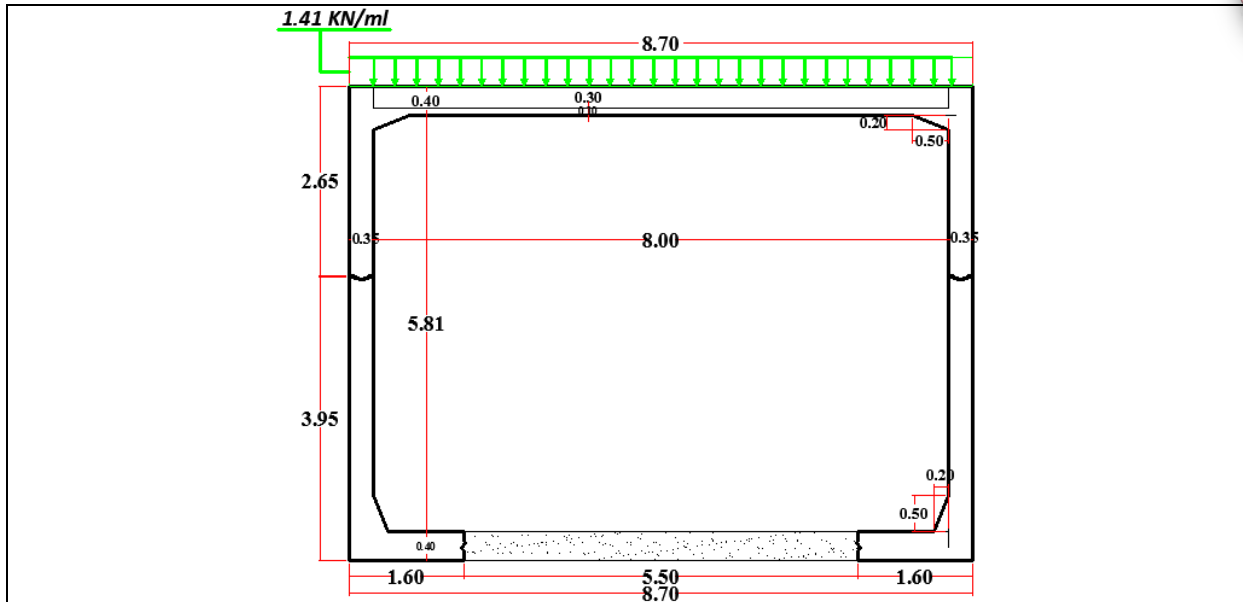


Figure 3 : Répartition de la force du remblai sur la dalle de couverture

1.4. Force d'inertie :

Est donnée par la formule suivante :

$$F_{inertie} = [S \times \rho_{B.armé} \times K_H] / L$$

Avec :

S : Surface de la section à considérer

L : Longueur dans la direction de répartition de la force d'inertie

Partie couverte :

On prend en considération dans ce calcul :

- L'élément supérieur « U » renversé
- Montant du piedroit

Le patin du piedroit et le radier sont négligés.

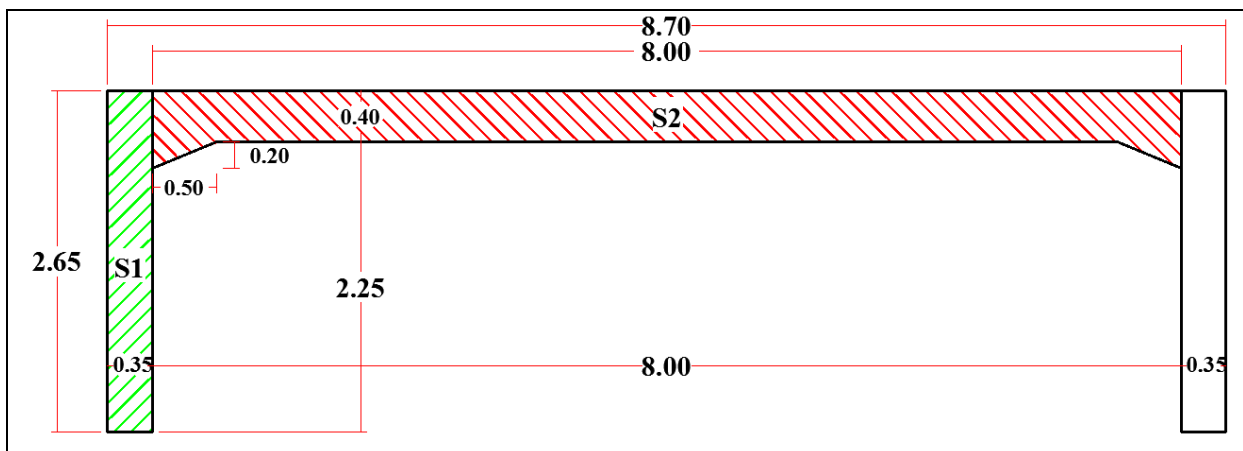


Figure 4 : section prises en considération pour l'inertie du « U » renversé de la partie couverte



- Elément en « U » renversé :

Section 1 :

$$F_{inertie} = (0.93 \times 25 \times 0.12)/2.65$$

$$F_{inertie} = \mathbf{1.05 \text{ KN/ml}}$$

Section 2 :

$$F_{inertie} = \left[(8 \times 0.40) + 2 \left(\frac{0.20 \times 0.50}{2} \right) \right] \times 25 \times 0.12 / 8$$

$$F_{inertie} = \mathbf{1.24 \text{ KN/ml}}$$

- Montant du piédroit :

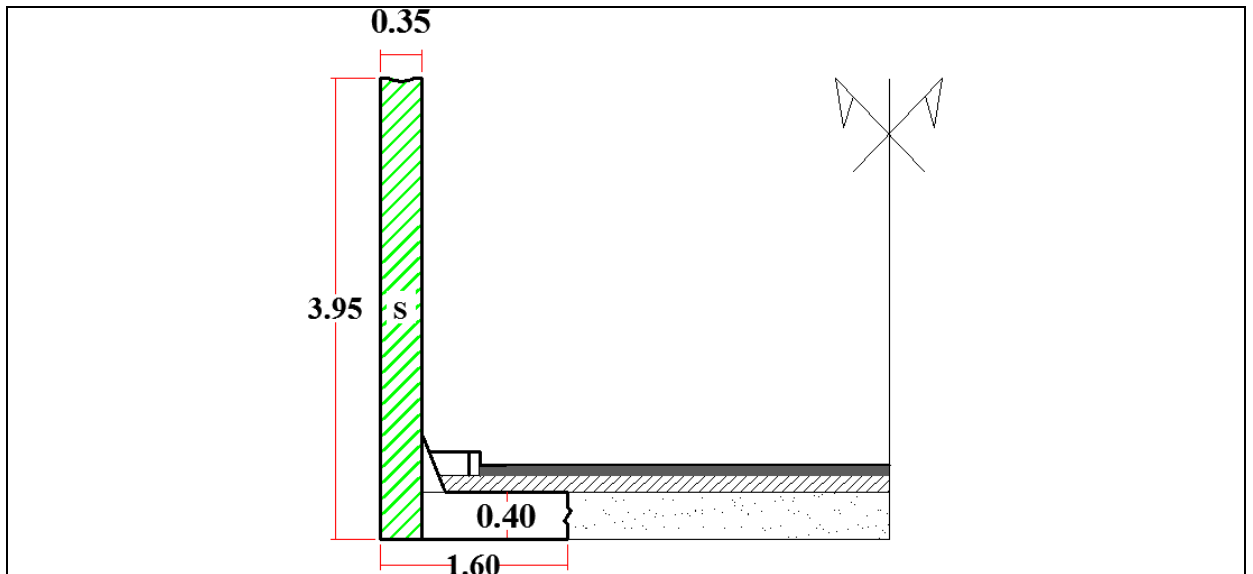


Figure 5 : section prise en considération pour l'inertie du montant du piédroit-Partie couverte

$$F_{inertie} = [(3.95 \times 0.35) \times 25 \times 0.12] / 3.95$$

$$F_{inertie} = \mathbf{1.05 \text{ KN/ml}}$$

Partie non couverte :

$$\text{On a : } F_{inertie} = [S \times \rho_{B.armé} \times K_H] / L$$

$$\text{On sait que : } S \times \rho_{B.armé} = P$$

$$\text{Donc : } F_{inertie} = [P \times K_H] / L$$

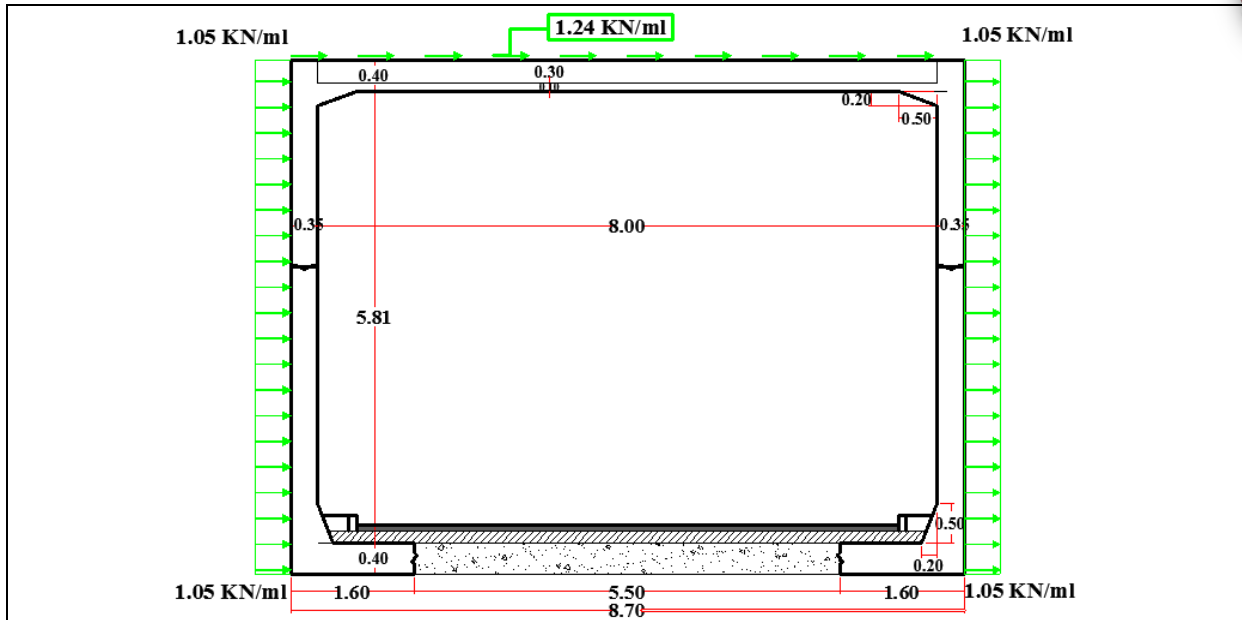


Figure 6 : Modélisation par **SAP2000**-Force d'inertie (Partie couverte) en **KN/ml**

➤ MDS TYPE-1 :

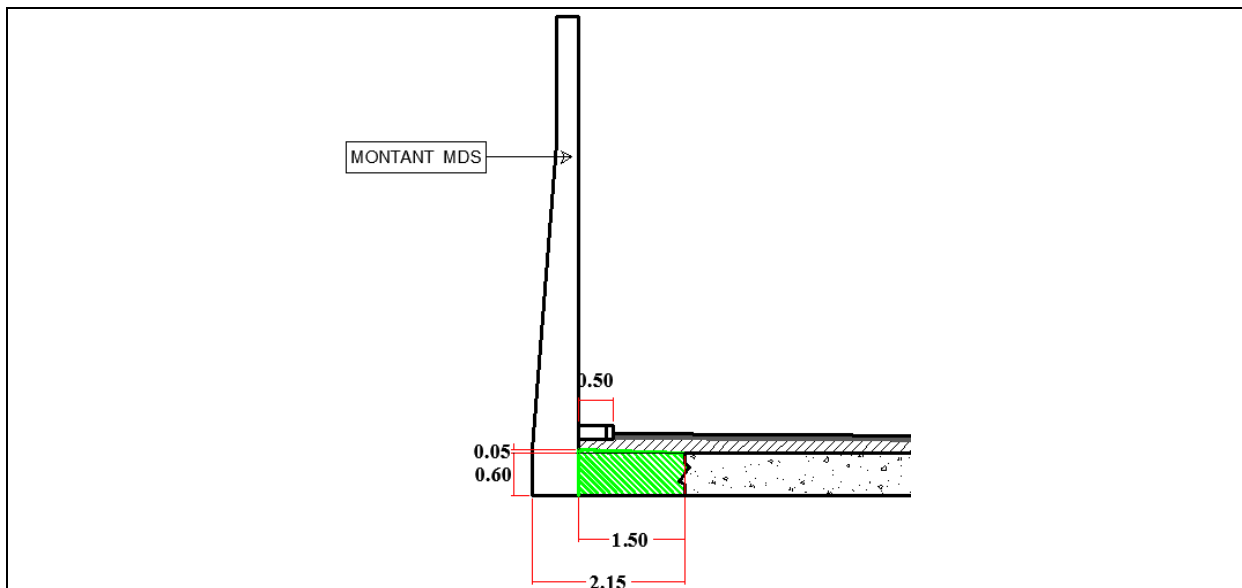


Figure 7 : section prise en considération pour l'inertie du MDS TYPE1

D'après le **chapitre 02 : 2.1 Calcul des poids propres des éléments préfabriqués** on a comme poids du MDS TYPE-1 : $P_1 = 19.73 \text{ t}$

Comme le patin n'est pas pris en considération on le réduit du poids total du MDS TYPE-1 :

$$P_{\text{Patin}} = \left[(0.60 \times 1.50) + \left(\frac{0.05 \times 1.50}{2} \right) \right] \times 25$$

$$P_{\text{Patin}} = 23.44 \text{ KN}$$



Donc :

$$P_{\text{Montant}} = 197.3 - 23.44 = 173.86 \text{ KN}$$

$$F_{\text{inertie}} = [173.86 \times 0.12]/6.80$$

$$F_{\text{inertie}} = 3.07 \text{ KN/ml}$$

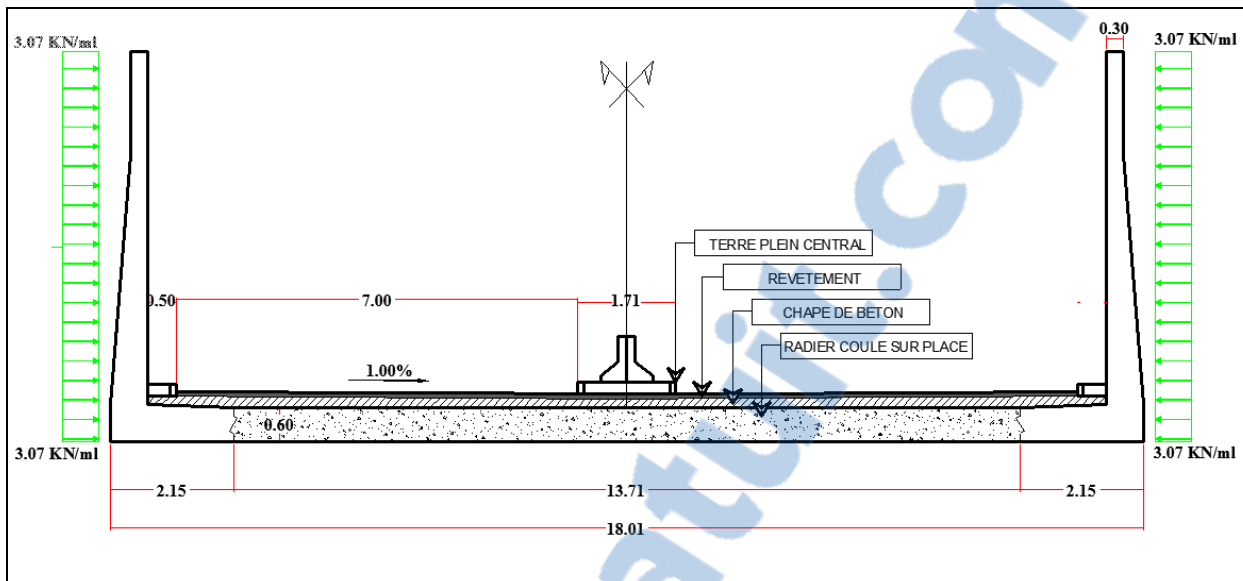


Figure 8 : Modélisation par **SAP2000**-Force d'inertie (Partie non couverte-MDS type-1) en **KN/ml**

2. Modélisation de calcul :

2.1. Modélisation du sol d'assise :

Le sol de fondation est représenté par des ressorts verticaux, dont on a permis que les déplacements suivant l'axe global (Z) selon le **SAP2000.v14** et la rotation suivant l'axe global (Y), et leurs rigidités sont calculées à partir du module de réaction vertical K_V

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

Avec :

$$E_A = E_B = 10 \text{ MPa}$$

α : Coefficient de structure du sol.

Pour les limons, argiles sableuses et sables argileuses $\rightarrow \alpha = 0.5$

B : La hauteur de l'ouvrage = **6.60m (Partie couverte)**

B_0 : Largeur de référence

$$B_0 = \frac{8.70}{6} = 1.45 \text{ m}$$



λ_d, λ_c : Paramètres géométriques fonction du rapport (L/B)

$$\lambda_d = 2.40 ; \lambda_c = 1.45$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{K_V} = 0.16 \Leftrightarrow K_V = 6.25 \text{ MPa/m}$$

2.2. Modélisation du remblai :

Le remblai est représenté par des ressorts horizontaux, dont on a permis que les déplacements suivant l'axe global (Z) selon le *SAP2000.v14* et la rotation suivant l'axe global (Y), leurs rigidités sont calculées à partir du module de réaction vertical K_H

$$1/K_H = \left(\frac{\alpha \times B}{9E_A}\right) \lambda_c + \frac{2B_0}{9E_B} [\lambda_d \times B/B_0]^\alpha \quad (\text{CALGARO, 2000})$$

Avec :

$$E_A = E_B = 8 \text{ MPa}$$

α : Coefficient de structure du sol.

Pour les limons, argiles sableuses et sables argileuses $\rightarrow \alpha = 0.5$

B : La hauteur de l'ouvrage = **6.60m (Partie couverte)**

$B_0 = 0.60\text{m}$: Largeur de référence

$$B_0 = \frac{6.60}{6} = 1.10\text{m}$$

λ_d, λ_c : Paramètres géométriques fonction du rapport (L/B)

$$\lambda_d = 2.40 ; \lambda_c = 1.45$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{K_H} = 0.1835 \Leftrightarrow K_H = 5.45 \text{ MPa/m}$$

Donc pour récapituler :

$$K_H = 5.45 \text{ MPa/m} = 5450 \text{ KN/m}^3 \rightarrow \text{Pour les remblais latéraux}$$

$$K_V = 6.25 \text{ MPa/m} = 6250 \text{ KN/m}^3 \rightarrow \text{Pour le sol support (fondations)}$$



3. Différentes charges appliquées sur la structure :

Notre structure subit des charges permanentes et surcharges d'exploitation comme cité dans le (**Chapitre 02 : Pré-dimensionnement et étude de charges et surcharges Titre 3 : Actions considérées**).

Nous avons choisi pour la modélisation par *SAP2000v14* les définitions qui sont citées dans le (**Tableau 4**)

Tableau 4 : Les différents chargements utilisés pour la modélisation

N°	Charges	Définitions
01	DEAD	Charge permanente due au poids propre de l'élément
02	Revetement	Charge permanente de la couche de roulement bitumineuse
03	Ch.Trottoir	Charge permanente due au poids propre du trottoir
04	Chape.Beton	Charge permanente due au poids de la chape de béton
05	Poussee.Terre	Charge permanente due à la poussée des terres des remblais
06	Charge.Remblai.Dalle	Charge permanente due au poids propre du remblai sur dalle de couverture (seulement sur dalle de couverture de la partie-couverte)
07	Terre.Plein.Central	Charge permanente due au poids du terre-plein central (seulement partie non-couverte)
08	Corniche+G.C+B.F	Charge permanente due au poids propre de Corniche+Garde-Corps+Bac-à-Fleurs (seulement partie non-couverte)
09	Surch.Trottoir	Surcharge d'exploitation sur trottoir
10	Surch.Remblais	Surcharge d'exploitation sur remblais des terres
11	A(L)	Surcharge roulable du système A (seulement partie couverte)
12	Bc	Surcharge roulable du sous-système Bc
13	Bt	Surcharge roulable du sous-système Bt
14	MC 120	Surcharge roulable du système MC 120
15	Force.Inertie	La force d'inertie des MDS (partie non-couverte) / U renversé (partie couverte)
16	Increment.Dyn	L'incrément dynamique due aux poussées actives des terres de remblai
17	Force.Remblais.Dalle	La force des ramblais sur dalle de couverture (seulement partie couverte)

Pour notre étude nous avons établi la liste de combinaisons suivante (**Tableau 5**) pour la modélisation des états limites considérés.

**Tableau 5** : liste de combinaisons utilisées pour la modélisation

Combinaison	Définition
ELU.Fbc	Etat Limite Ultime Fondamental du sous-système Bc
ELU.Fbt	Etat Limite Ultime Fondamental du sous-système Bt
ELU.F MC120	Etat Limite Ultime Fondamental du système MC 120
ELU.F A(L)	Etat Limite Ultime Fondamental du système A(L)
ELS.Bc	Etat Limite de Service du sous-système Bc
ELS.Bt	Etat Limite de Service du sous-système Bt
ELS.MC120	Etat Limite de Service du système MC 120
ELS.A(L)	Etat Limite de Service du système A(L)
ELU.Acc.Bc	Etat Limite Ultime Accidentel du sous-système Bc
ELU.Acc.Bt	Etat Limite Ultime Accidentel du sous-système Bt
ELU.Acc.MC 120	Etat Limite Ultime Accidentel du système MC 120
ELU.Acc.A(L)	Etat Limite Ultime Accidentel du système A(L)

3.1. Combinaisons de modélisation :

Pour ce qui concerne le contenu de chaque combinaison, nous l'avons résumé dans les (*Tableau 6 ; 7 ; 8 ; 9 ; 10 ; 11*) en multipliant les différents chargements par les coefficients correspondants, afin d'obtenir les états les plus défavorables.

Les numéros des chargements sont indiqués précédemment dans le (*Tableau 4*)

Partie couverte :

- Combinaison à l'E.L.U :

Tableau 6 : Combinaisons à l'E.L.U Fondamental-Partie Couverte

E.L.U Fondamental	Combinaison
ELU.Fbc	$1,35x (01+02+03+04+05+06) + 1,5(09) + 1,6x (10+12)$
ELU.Fbt	$1,35x (01+02+03+04+05+06) + 1,5(09) + 1,6x (10+13)$
ELU.F MC120	$1,35x (01+02+03+04+05+06) + 1,5(09) + 1,6x (10+14)$
ELU.F A(L)	$1,35x (01+02+03+04+05+06) + 1,5(09) + 1,6x (10+11)$

Tableau 7 : Combinaisons à l'E.L.U Accidentel-Partie Couverte

E.L.U Accidentel	Combinaison
ELU.Acc.Bc	$1x (01+02+03+04+05+06+16+17) + 0,2x (09+10+12)$
ELU.Acc.Bt	$1x (01+02+03+04+05+06+16+17) + 0,2x (09+10+13)$
ELU.Acc.MC 120	$1x (01+02+03+04+05+06+16+17) + 0,2x (09+10+14)$
ELU.Acc.A(L)	$1x (01+02+03+04+05+06+16+17) + 0,2x (09+10+11)$



- Combinaison à l'E.L.S :

Tableau 8 : Combinaisons à l'E.L.S -Partie Couverte

E.L.S	Combinaison
ELS.Bc	1X (01+02+03+04+05+06+09) + 1,2x (10+12)
ELS.Bt	1x (01+02+03+04+05+06+09) + 1,2x (10+13)
ELS.MC120	1x (01+02+03+04+05+06+09) + 1,2x (10+14)
ELS.A(L)	1x (01+02+03+04+05+06+09) + 1,2x (10+11)

Partie non couverte :

- Combinaison à l'E.L.U :

Tableau 9 : Combinaisons à l'E.L.U Fondamental-Partie Non Couverte

E.L.U Fondamental	Combinaison
ELU.Fbc	1,35x (01+02+03+04+05+07+08) + 1,5(09) + 1,6x (10+12)
ELU.Fbt	1,35x (01+02+03+04+05+07+08) + 1,5(09) + 1,6x (10+13)
ELU.F MC120	1,35x (01+02+03+04+05+07+08) + 1,5(09) + 1,6x (10+14)

Tableau 10 : Combinaisons à l'E.L.U Accidentel-Partie Non Couverte

E.L.U Accidentel	Combinaison
ELU.Acc.Bc	1x (01+02+03+04+05+07+08+16+17) + 0,2x (09+10+12)
ELU.Acc.Bt	1x (01+02+03+04+05+07+08+16+17) + 0,2x (09+10+13)
ELU.Acc.MC 120	1x (01+02+03+04+05+07+08+16+17) + 0,2x (09+10+14)

- Combinaison à l'E.L.S :

Tableau 11 : Combinaisons à l'E.L.S -Partie Non Couverte

E.L.S Fondamental	Combinaison
ELS.Bc	1x (01+02+03+04+05+07+08+09) + 1,2x (10+12)
ELS.Bt	1x (01+02+03+04+05+07+08+09) + 1,2x (10+13)
ELS.MC120	1x (01+02+03+04+05+07+08+09) + 1,2x (10+14)



4. Efforts appliqués sur notre structure :

4.1. Efforts appliqués sur la partie couverte :

Les valeurs des efforts dans les tableaux qui suivent, sont tirées de la modélisation.

- **Montant :**

- ❖ **Côté gauche :**

- ✓ **A l'E.L.U Fondamental :**

Tableau 12 : Efforts à l'E.L.U Fondamental du montant-côté gauche-partie couverte

E.L.U Fondamental	Moments Max		Effort Tranchant		Effort Normal	
	Supérieure (U.Renversé)	Inférieure (P.Droit)	Supérieure (U.Renversé)	Inférieure (P.Droit)	Supérieure (U.Renversé)	Inférieure (P.Droit)
Section						
ELU.Fbc	198,0071	285,7518	-106,517	188,163	-146,746	-210,337
ELU.Fbt	191,5678	277,3552	-103,744	185,586	-145,114	-208,704
ELU.F MC120	195,9630	269,6386	-105,144	183,218	-145,829	-209,419
ELU.F A(L)	225,5766	263,9640	-126,091	193,916	-255,340	-318,931

- ✓ **A l'E.L.U Accidentel :**

Tableau 13 : Efforts à l'E.L.U Accidentel du montant-côté gauche-partie couverte

E.L.U Accidentel	Moments Max		Effort Tranchant		Effort Normal	
	Supérieure (U.Renversé)	Inférieure (P.Droit)	Supérieure (U.Renversé)	Inférieure (P.Droit)	Supérieure (U.Renversé)	Inférieure (P.Droit)
Section						
ELU.Acc.Bc	126,4387	168,7496	-74,276	132,324	-101,991	-149,095
ELU.Acc.Bt	125,6338	167,7000	-73,930	132,261	-101,787	-148,891
ELU.Acc.MC 120	126,1832	166,7354	-74,105	131,965	-101,877	-148,981
ELU.Acc.A(L)	129,8849	166,0261	-76,723	133,302	-115,566	-162,670

- ✓ **A l'E.L.S :**

Tableau 14 : Efforts à l'E.L.S du montant-côté gauche-partie couverte

E.L.S	Moments Max		Effort Tranchant		Effort Normal	
	Supérieure (U.Renversé)	Inférieure (P.Droit)	Supérieure (U.Renversé)	Inférieure (P.Droit)	Supérieure (U.Renversé)	Inférieure (P.Droit)
Section						
ELS.Bc	147,2602	212,5529	-79,202	139,718	-108,838	-155,943
ELS.Bt	142,4307	206,2554	-77,122	137,785	-107,614	-154,718
ELS.MC120	145,7271	200,4680	-78,173	136,009	-108,150	-155,255
ELS.A(L)	167,9374	196,2120	-93,883	144,033	-190,284	-237,388

❖ Côté droit :✓ A l'E.L.U Fondamental :

Tableau 15 : Efforts à l'E.L.U Fondamental du montant-côté droit-partie couverte

E.L.U Fondamental	Moments Max		Effort Tranchant		Effort Normal	
	Supérieure (U.Renversé)	Inférieure (P.Droit)	Supérieure (U.Renversé)	Inférieure (P.Droit)	Supérieure (U.Renversé)	Inférieure (P.Droit)
ELU.Fbc	-197,9703	-147,5788	106,517	-526,178	-145,449	-209,039
ELU.Fbt	-190,7613	-328,7236	103,744	-508,256	-143,809	-207,400
ELU.F MC120	-188,6340	-318,0709	105,144	-491,785	-143,055	-206,646
ELU.F A(L)	-296,3883	-385,8450	126,091	-596,569	-272,301	-335,892

✓ A l'E.L.U Accidentel :

Tableau 16 : Efforts à l'E.L.U Accidentel du montant-côté droit-partie couverte

E.L.U Accidentel	Moments Max		Effort Tranchant		Effort Normal	
	Supérieure (U.Renversé)	Inférieure (P.Droit)	Supérieure (U.Renversé)	Inférieure (P.Droit)	Supérieure (U.Renversé)	Inférieure (P.Droit)
ELU.Acc.Bc	-108,1427	-177,3596	85,488	-274,694	-97,448	-144,552
ELU.Acc.Bt	-107,2416	-175,9106	85,141	-272,453	-97,243	-144,347
ELU.Acc.MC 120	-106,9756	-174,5790	85,316	-270,395	-97,149	-144,253
ELU.Acc.A(L)	-120,4449	-183,0508	87,935	-283,493	-113,304	-160,409

✓ A l'E.L.S :

Tableau 17 : Efforts à l'E.L.S du montant-côté droit-partie couverte

E.L.S	Moments Max		Effort Tranchant		Effort Normal	
	Supérieure (U.Renversé)	Inférieure (P.Droit)	Supérieure (U.Renversé)	Inférieure (P.Droit)	Supérieure (U.Renversé)	Inférieure (P.Droit)
ELS.Bc	-147,2005	-253,1386	79,202	-391,390	-107,858	-154,962
ELS.Bt	-141,7938	-244,4449	77,122	-377,949	-106,628	-153,732
ELS.MC120	-140,1983	-236,4554	78,173	-365,595	-106,063	-153,167
ELS.A(L)	-221,0140	-287,2860	93,883	-444,184	-202,997	-250,101

• Dalle de couverture:❖ Section gauche :✓ A l'E.L.U Fondamental :

Tableau 18 : Efforts à l'E.L.U Fondamental de la dalle de couverture-section gauche-partie couverte

E.L.U Fondamental	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELU.Fbc	-198,0071	-137,099	-106,517
ELU.Fbt	-191,5678	-135,467	-103,744
ELU.F MC120	-195,9630	-136,182	-105,144
ELU.F A(L)	-225,5766	-245,694	-126,091



✓ A l'E.L.U Accidentel :

Tableau 19 : Efforts à l'E.L.U Accidentel de la dalle de couverture-section gauche-partie couverte

E.L.U Accidentel	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELU.Acc.Bc	-126,4387	-94,845	-74,276
ELU.Acc.Bt	-125,6338	-94,641	-73,930
ELU.Acc.MC 120	-126,1832	-94,731	-74,105
ELU.Acc.A(L)	-129,8849	-108,420	-76,723

✓ A l'E.L.S :

Tableau 20 : Efforts à l'E.L.S de la dalle de couverture-section gauche-partie couverte

E.L.U Fondamental	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELS.Bc	-147,2602	-101,693	-79,202
ELS.Bt	-142,4307	-100,468	-77,122
ELS.MC120	-145,7271	-101,005	-78,173
ELS.A(L)	-167,9374	-183,138	-93,883

❖ Section droite :

✓ A l'E.L.U Fondamental :

Tableau 21 : Efforts à l'E.L.U Fondamental de la dalle de couverture-section droite-partie couverte

E.L.U Fondamental	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELU.Fbc	-197,9703	135,802	-106,517
ELU.Fbt	-190,7613	134,162	-103,744
ELU.F MC120	-188,6340	133,408	-105,144
ELU.F A(L)	-296,3883	262,654	-126,091

✓ A l'E.L.U Accidentel :

Tableau 22 : Efforts à l'E.L.U Accidentel de la dalle de couverture-section droite-partie couverte

E.L.U Accidentel	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELU.Acc.Bc	-108,1427	90,302	-84,630
ELU.Acc.Bt	-107,2416	90,097	-84,284
ELU.Acc.MC 120	-106,9756	90,003	-84,459
ELU.Acc.A(L)	-120,4449	106,159	-87,077



✓ A l'E.L.S :

Tableau 23 : Efforts à l'E.L.S de la dalle de couverture-section droite-partie couverte

E.L.U Fondamental	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELS.Bc	-147,2005	100,712	-79,202
ELS.Bt	-141,7938	99,482	-77,122
ELS.MC120	-140,1983	98,917	-78,173
ELS.A(L)	-221,0140	195,851	-93,883

❖ Mi-Travée

✓ A l'E.L.U Fondamental :

Tableau 24 : Efforts à l'E.L.U Fondamental de la dalle de couverture-Mi-travée-partie couverte

E.L.U Fondamental	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELU.Fbc	129,8182	-57,049	-106,517
ELU.Fbt	128,0780	-55,418	-103,744
ELU.F MC120	127,1554	-56,132	-105,144
ELU.F A(L)	270,1954	-79,796	-126,091

✓ A l'E.L.U Accidentel :

Tableau 25 : Efforts à l'E.L.U Accidentel de la dalle de couverture- Mi-travée -partie couverte

E.L.U Accidentel	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELU.Acc.Bc	80,8200	-35,549	-80,352
ELU.Acc.Bt	80,6024	-81,0062	-80,006
ELU.Acc.MC 120	80,4871	-35,345	-80,181
ELU.Acc.A(L)	98,3671	-38,393	-82,799

✓ A l'E.L.S :

Tableau 26 : Efforts à l'E.L.S de la dalle de couverture- Mi-travée -partie couverte

E.L.U Fondamental	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELS.Bc	96,2566	-42,397	-79,202
ELS.Bt	94,9514	-41,172	-77,122
ELS.MC120	94,2595	-41,709	-78,173
ELS.A(L)	201,5395	-59,456	-93,883



- **Radier :**

- ✓ **Section gauche (Patin Piédroit) :**

- ✓ **A l'E.L.U Fondamental :**

Tableau 27 : Efforts à l'E.L.U Fondamental du Radier-section gauche-partie couverte

E.L.U Fondamental	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELU.Fbc	285,7518	225,097	0
ELU.Fbt	277,3552	218,847	0
ELU.F MC120	269,6386	223,508	0
ELU.F A(L)	263,9640	308,085	0

- ✓ **A l'E.L.U Accidentel :**

Tableau 28 : Efforts à l'E.L.U Accidentel du Radier-section gauche-partie couverte

E.L.U Accidentel	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELU.Acc.Bc	168,7496	147,617	0
ELU.Acc.Bt	167,7000	146,836	0
ELU.Acc.MC 120	166,7354	147,418	0
ELU.Acc.A(L)	166,0261	157,991	0

- ✓ **A l'E.L.S :**

Tableau 29 : Efforts à l'E.L.S du Radier-section gauche-partie couverte

E.L.U Fondamental	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELS.Bc	212,5529	167,065	0
ELS.Bt	206,2554	162,377	0
ELS.MC120	200,4680	165,873	0
ELS.A(L)	196,2120	229,306	0

- ✓ **Section droite (Patin Piédroit) :**

- ✓ **A l'E.L.U Fondamental :**

Tableau 30 : Efforts à l'E.L.U Fondamental du Radier-section droite-partie couverte

E.L.U Fondamental	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELU.Fbc	340,3151	-225,039	0
ELU.Fbt	328,7236	-218,431	0
ELU.F MC120	318,0709	-221,591	0
ELU.F A(L)	385,8450	-326,324	0



✓ A l'E.L.U Accidentel :

Tableau 31 : Efforts à l'E.L.U Accidentel du Radier-section droite-partie couverte

E.L.U Accidentel	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELU.Acc.Bc	177,3596	-143,560	0
ELU.Acc.Bt	175,5539	-142,734	0
ELU.Acc.MC 120	174,5790	-143,129	0
ELU.Acc.A(L)	183,0508	-156,221	0

✓ A l'E.L.S :

Tableau 32 : Efforts à l'E.L.S du Radier-section droite-partie couverte

E.L.U Fondamental	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELS.Bc	253,1386	-167,007	0
ELS.Bt	244,4449	-162,051	0
ELS.MC120	236,4554	-164,421	0
ELS.A(L)	287,2860	-242,971	0

✓ Mi-travée (Radier coulé sur place) :

✓ A l'E.L.U Fondamental :

Tableau 33 : Efforts à l'E.L.U Fondamental du Radier-MI-travée-partie couverte

E.L.U Fondamental	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELU.Fbc	-213,6304	-86,514	0
ELU.Fbt	-196,7435	-78,740	0
ELU.F MC120	-207,0652	-78,215	0
ELU.F A(L)	-251,1534	-46,284	0

✓ A l'E.L.U Accidentel :

Tableau 34 : Efforts à l'E.L.U Accidentel du Radier-MI-travée-partie couverte

E.L.U Accidentel	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELU.Acc.Bc	-114,2914	-24,049	0
ELU.Acc.Bt	-112,1806	-23,077	0
ELU.Acc.MC 120	-113,4708	-23,012	0
ELU.Acc.A(L)	-118,9818	-19,021	0

✓ A l'E.L.S :

Tableau 35 : Efforts à l'E.L.S du Radier-MI-travée-partie couverte

E.L.U Fondamental	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELS.Bc	-158,8526	-64,655	0
ELS.Bt	-146,1875	-58,824	0
ELS.MC120	-153,9288	-58,431	0
ELS.A(L)	-186,9949	-34,483	0



4.2. Efforts appliqués sur la partie non couverte :

MDS TYPE-1 :

- Montant MDS TYPE-1 :
- Côté gauche :

✓ A l'ELU Fondamental :

Tableau 36 : Efforts à l'E.L.U Fondamental du montant-côté gauche-partie non couverte

E.L.U Fondamental	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELU.Fbc	542,9970	233,298	103,030
ELU.Fbt	542,9970	233,298	103,030
ELU.F MC120	542,9970	233,298	103,030

✓ A l'ELU accidentel :

Tableau 37 : Efforts à l'E.L.U Accidentel du montant-côté gauche-partie non couverte

E.L.U Fondamental	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELU.Acc.Bc	517,5484	208,299	76,319
ELU.Acc.Bt	517,5484	208,299	76,319
ELU.Acc.MC 120	517,5484	208,299	76,319

✓ A l'ELS :

Tableau 38 : Efforts à l'E.L.S du montant-côté gauche-partie non couverte

E.L.U Fondamental	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELS.Bc	403,2622	173,134	76,319
ELS.Bt	403,2622	173,134	76,319
ELS.MC120	403,2622	173,134	76,319

- Côté droit :

✓ A l'ELU Fondamental :

Tableau 39 : Efforts à l'E.L.U Fondamental du montant-côté droit-partie non couverte

E.L.U Fondamental	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELU.Fbc	-542,9970	-233,298	-103,030
ELU.Fbt	-542,9970	-233,298	-103,030
ELU.F MC120	-542,9970	-233,298	-103,030



✓ **A l'ELU accidentel :**

Tableau 40 : Efforts à l'E.L.U Accidentel du montant-côté droit-partie non couvert

E.L.U Fondamental	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELU.Acc.Bc	-517,5484	-208,299	-76,319
ELU.Acc.Bt	-517,5484	-208,299	-76,319
ELU.Acc.MC 120	-517,5484	-208,299	-76,319

✓ **A l'ELS :**

Tableau 41 : Efforts à l'E.L.S du montant-côté droit-partie non couverte

E.L.U Fondamental	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELS.Bc	-403,2622	-173,134	-76,319
ELS.Bt	-403,2622	-173,134	-76,319
ELS.MC120	-403,2622	-173,134	-76,319

- **Radier MDS TYPE-1 :**
- **Section gauche (Patin MDS TYPE-1)**

✓ **A l'ELU Fondamental :**

Tableau 42 : Efforts à l'E.L.U Fondamental du radier-section gauche-partie non couverte

E.L.U Fondamental	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELU.Fbc	542,9970	101,012	0
ELU.Fbt	542,9970	99,484	0
ELU.F MC120	542,9970	103,035	0

✓ **A l'ELU accidentel :**

Tableau 43 : Efforts à l'E.L.U Accidentel du radier-section gauche-partie non couverte

E.L.U Fondamental	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELU.Acc.Bc	517,5484	78,302	0
ELU.Acc.Bt	517,5484	78,111	0
ELU.Acc.MC 120	517,5484	78,507	0

✓ **A l'ELS :**

Tableau 44 : Efforts à l'E.L.S du radier-section gauche-partie non couverte

E.L.U Fondamental	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELS.Bc	403,2622	74,796	0
ELS.Bt	403,2622	73,650	0
ELS.MC120	403,2622	76,031	0

Rapport-gratuit.com

LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES





- **Section droite (Patin MDS TYPE-1) :**

- ✓ **A l'ELU Fondamental :**

Tableau 45 : Efforts à l'E.L.U Fondamental du radier-section droite-partie non couverte

E.L.U Fondamental	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELU.Fbc	528,0825	-101,012	0
ELU.Fbt	528,3117	-99,484	0
ELU.F MC120	527,7791	-103,035	0

- ✓ **A l'ELU accidentel :**

Tableau 46 : Efforts à l'E.L.U Accidentel du radier-section droite-partie non couverte

E.L.U Fondamental	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELU.Acc.Bc	505,9790	-78,302	0
ELU.Acc.Bt	506,0076	-78,111	0
ELU.Acc.MC 120	505,9481	-78,507	0

- ✓ **A l'ELS :**

Tableau 47 : Efforts à l'E.L.S du radier-section droite-partie non couverte

E.L.U Fondamental	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELS.Bc	392,2185	-74,796	0
ELS.Bt	392,9304	-73,650	0
ELS.MC120	392,0333	-76,031	0

- **Mi-Travée (Radier coulé sur place MDS TYPE-1) :**

- ✓ **A l'ELU Fondamental :**

Tableau 48 : Efforts à l'E.L.U Fondamental du radier-Mi-travée-partie non couverte

E.L.U Fondamental	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELU.Fbc	-123,8437	47,806	0
ELU.Fbt	-131,7905	55,906	0
ELU.F MC120	-63,6245	33,620	0

- ✓ **A l'ELU accidentel :**

Tableau 49 : Efforts à l'E.L.U Accidentel du radier-Mi-travée-partie non couverte

E.L.U Fondamental	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELU.Acc.Bc	-5,6241	20,332	0
ELU.Acc.Bt	-6,6174	21,344	0
ELU.Acc.MC 120	6,0780	18,872	0

✓ A l'ELS :

Tableau 50 : Efforts à l'E.L.S du radier-Mi-travée-partie non couverte

E.L.U Fondamental	Moments Max	Effort Tranchant	Effort Normal
ELS.Bc	-92,5586	35,688	0
ELS.Bt	-98,5187	41,762	0
ELS.MC120	-54,3990	26,931	0

NB:

Les efforts appliqués sur les **MDS** du type **2** et **3** sont tirés à partir du logiciel de modélisation **SAP2000v14**, de la même façon que pour la **partie couverte** et le **MDS type-1**.



5. Contrainte sur le sol :

On considère que le sol support est d'une contrainte admissible : $\overline{\sigma}_{sol} = 150 \text{ KN/m}^2$

On rappelle que :

- ✓ Le module de réaction vertical du sol d'assise : $K_V = 6250 \text{ KN/m}^3$
- ✓ Le module de réaction horizontale du sol de remblai : $K_H = 5450 \text{ KN/m}^3$
- ✓ Le coefficient de majoration à l'ELU Fondamental égale à : **1,5**
- ✓ Le coefficient de majoration à l'ELU accidentel égale à : **2**
- ✓ Le coefficient de majoration à l'ELS égale à : **1**

5.1. Partie Couverte :

✓ A l'ELU fondamental :

Tableau 51 : Déplacements verticaux maximaux à l'ELU Fondamental-partie couverte

E.L.U fondamental	Dép.Max .Z (m)	Z*Kv = σ (KN/m ²)	$\overline{\sigma}_{sol}$ (KN/m ²)	Condition $\sigma < \overline{\sigma}_{sol}$
ELU.Fbc	0.0263	164.375	150*1.5= 225	✓
ELU.Fbt	0.0248	155.000	150*1.5= 225	✓
ELU.F MC120	0.0264	165.000	150*1.5= 225	✓
ELU.F A(L)	0.0241	150.625	150*1.5= 225	✓

✓ A l'ELU accidentel :

Tableau 52 : Déplacements verticaux maximaux à l'ELU Accidentel-partie couverte

E.L.U accidentel	Dép.Max .Z (m)	Z*Kv = σ (KN/m ²)	$\overline{\sigma}_{sol}$ (KN/m ²)	Condition $\sigma < \overline{\sigma}_{sol}$
ELU.Acc.Bc	0.0120	75	150*2= 300	✓
ELU.Acc.Bt	0.0118	73,75	150*2= 300	✓
ELU.Acc.MC 120	0.026	165	150*2= 300	✓
ELU.Acc.A(L)	0.0241	150,625	150*2= 300	✓

✓ A l'ELS :

Tableau 53 : Déplacements verticaux maximaux à l'ELS-partie couverte

E.L.S	Dép.Max .Z (m)	Z*Kv = σ (KN/m ²)	$\overline{\sigma}_{sol}$ (KN/m ²)	Condition $\sigma < \overline{\sigma}_{sol}$
ELS.Bc	0.0196	122.5	150*1= 150	✓
ELS.Bt	0.0185	115.625	150*1= 150	✓
ELS.MC120	0.0197	123.125	150*1= 150	✓
ELS.A(L)	0.01798	112.375	150*1= 150	✓



5.2. Partie non-Couverte (M.D.S TYPE-1) :

✓ A l'E.L.U fondamental :

Tableau 54 : Déplacements verticaux maximaux à l'E.L.U Fondamental-partie non couverte

	Dép.Max .Z (m)	Z*Kv = σ (KN/m ²)	$\overline{\sigma}_{sol}$ (KN/m ²)	Condition $\sigma < \overline{\sigma}_{sol}$
ELU.Fbc	0.01854	115.8750	150*1.5= 225	✓
ELU.Fbt	0.02159	134.9375	150*1.5= 225	✓
ELU.F MC120	0.01285	80.3125	150*1.5= 225	✓

✓ A l'E.L.U accidentel :

Tableau 55 : Déplacements verticaux maximaux à l'E.L.U Accidentel-partie non couverte

	Dép.Max .Z (m)	Z*Kv = σ (KN/m ²)	$\overline{\sigma}_{sol}$ (KN/m ²)	Condition $\sigma < \overline{\sigma}_{sol}$
ELU.Acc.Bc	0.00761	47.5625	150*2= 300	✓
ELU.Acc.Bt	0.00799	49.9375	150*2= 300	✓
ELU.Acc.MC 120	0.00706	44.1250	150*2= 300	✓

✓ A l'E.L.S :

Tableau 56 : Déplacements verticaux maximaux à l'E.L.S-partie non couverte

	Dép.Max .Z (m)	Z*Kv = σ (KN/m ²)	$\overline{\sigma}_{sol}$ (KN/m ²)	Condition $\sigma < \overline{\sigma}_{sol}$
ELS.Bc	0.01384	86.5000	150*1= 150	✓
ELS.Bt	0.01612	100.7500	150*1= 150	✓
ELS.MC120	0.01031	64.4375	150*1= 150	✓



5.3. Partie non-Couverte (M.D.S TYPE-2) :

✓ A l'E.L.U fondamental :

Tableau 57 : Déplacement verticaux maximaux à l'E.L.U Fondamental-partie non couverte

	Dép.Max .Z (m)	Z*Kv = σ (KN/m ²)	$\bar{\sigma}_{sol}$ (KN/m ²)	Condition $\sigma < \bar{\sigma}_{sol}$
ELU.Fbc	0.01770	110.625	150*1.5= 225	✓
ELU.Fbt	0.02166	135.375	150*1.5= 225	✓
ELU.F MC120	0.01169	73.0625	150*1.5= 225	✓

✓ A l'E.L.U accidentel :

Tableau 58 : Déplacement verticaux maximaux à l'E.L.U Accidentel-partie non couverte

	Dép.Max .Z (m)	Z*Kv = σ (KN/m ²)	$\bar{\sigma}_{sol}$ (N/m ²)	Condition $\sigma < \bar{\sigma}_{sol}$
ELU.Acc.Bc	0.00635	39.6875	150*2= 300	✓
ELU.Acc.Bt	0.00682	42.6250	150*2= 300	✓
ELU.Acc.MC 120	0.00572	35.7500	150*2= 300	✓

✓ A l'E.L.S :

Tableau 59 : Déplacement verticaux maximaux à l'E.L.S-partie non couverte

	Dép.Max .Z (m)	Z*Kv = σ (KN/m ²)	$\bar{\sigma}_{sol}$ (KN/m ²)	Condition $\sigma < \bar{\sigma}_{sol}$
ELS.Bc	0.01322	82.6250	150*1= 150	✓
ELS.Bt	0.01618	101.125	150*1= 150	✓
ELS.MC120	0.00946	59.125	150*1= 150	✓



5.4. Partie non-Couverte (M.D.S TYPE-3) :

✓ A l'E.L.U fondamental :

Tableau 60 : Déplacement verticaux maximaux à l'E.L.U Fondamental-partie non couverte

	Dép.Max .Z (m)	Z*Kv = σ (KN/m ²)	$\bar{\sigma}_{sol}$ (KN/m ²)	Condition $\sigma < \bar{\sigma}_{sol}$
ELU.Fbc	0.02854	178.3750	150*1.5= 225	✓
ELU.Fbt	0.03368	210.5000	150*1.5= 225	✓
ELU.F MC120	0.01783	111.4375	150*1.5= 225	✓

✓ A l'E.L.U accidentel :

Tableau 61 : Déplacement verticaux maximaux à l'E.L.U Accidentel-partie non couverte

	Dép.Max .Z (m)	Z*Kv = σ (KN/m ²)	$\bar{\sigma}_{sol}$ (KN/m ²)	Condition $\sigma < \bar{\sigma}_{sol}$
ELU.□cc.Bc	0.00901	56.3125	150*2= 300	✓
ELU.Acc.Bt	0.00966	60.3750	150*2= 300	✓
ELU.Acc.MC 120	0.00791	49.4375	150*2= 300	✓

✓ A l'E.L.S :

Tableau 62 : Déplacement verticaux maximaux à l'E.L.S-partie non couverte

	Dép.Max .Z (m)	Z*Kv = σ (KN/m ²)	$\bar{\sigma}_{sol}$ (KN/m ²)	Condition $\sigma < \bar{\sigma}_{sol}$
ELS.Bc	0.02134	133.3750	150*1= 150	✓
ELS.Bt	0.02519	154.4375	150*1= 150	✓
ELS.MC120	0.01464	91.5000	150*1= 150	✓

6. Efforts maximaux appliqués sur la structure :

Après avoir tiré les efforts appliqués sur notre structure d'après la modélisation, nous nous intéressons aux efforts maximaux qui nous permettent d'avoir les cas les plus défavorables pour pouvoir faire le ferrailage par la suite.



6.1. Efforts maximaux de la partie couverte :

- **Dalle de couverture (Mi- Travée) :**

Tableau 63 : Efforts maximaux de la dalle de couverture-Mi-travée-partie couverte

	M.max (KN.m)	T.max (KN)	N.max (KN)
ELU.F	270,1954	-79,796	-126,091
ELU.Acc	98,3671	-81,0062	-82,799
ELS	201,5395	-59,456	-93,883

- **Dalle de couverture (Extrémité) :**

Tableau 64 : Efforts maximaux de la dalle de couverture-Extrémité-partie couverte

	M.max (KN.m)	T.max (KN)	N.max (KN)
ELU.F	-296,3883	262,654	-126,091
ELU.Acc	-129,8849	-108,420	-87,077
ELS	-221,0140	195,851	-93,883

- **Montant (Section supérieure) :**

Tableau 65 : Efforts maximaux du montant-section supérieure-partie couverte

	M.max (KN.m)	T.max (KN)	N.max (KN)
ELU.F	-296,3883	126,091	272,301
ELU.Acc	-129,8849	87,935	-115,566
ELS	-221,0140	93,883	-202,997

- **Montant (Section inférieure) :**

Tableau 66 : Efforts maximaux du montant-section inférieure-partie couverte

	M.max (KN.m)	T.max (KN)	N.max (KN)
ELU.F	-385,8450	-596,569	-335,892
ELU.Acc	-183,0508	-283,493	-160,409
ELS	-287,2860	-444,184	-250,101

- **Patin piédroit :**

Tableau 67 : Efforts maximaux du patin-piédroit-partie couverte

	M.max (KN.m)	T.max (KN)	N.max (KN)
ELU.F	385,8450	-326,324	0
ELU.Acc	183,0508	157,991	0
ELS	287,2860	-242,971	0

- **Radier coulé sur place :**

Tableau 68 : Efforts maximaux du radier coulé sur place-partie couverte

	M.max (KN.m)	T.max (KN)	N.max (KN)
ELU.F	-251,1534	-86,514	0
ELU.Acc	-118,9818	-24,049	0
ELS	-186,9949	-64,655	0



6.2. Efforts maximaux de la partie non-couverte/MDS TYPE-1 :

- **Montant MDS TYPE-1:**

Tableau 69 : Efforts maximaux du montant MDS TYPE-1-partie non couverte

	M.max (KN.m)	T.max (KN)	N.max (KN)
ELU.F	542,9970	223,298	103,030
ELU.Acc	517,5484	208,299	76,319
ELS	403,2622	173,134	76,319

- **Patin MDS TYPE-1 :**

Tableau 70 : Efforts maximaux du patin MDS TYPE-1-partie non couverte

	M.max (KN.m)	T.max (KN)	N.max (KN)
ELU.F	542,9970	103,035	0
ELU.Acc	517,5484	78,507	0
ELS	403,2622	76,031	0

- **Radier coulé sur place (Mi- Travée) MDS TYPE-1 :**

Tableau 71 : Efforts maximaux du radier coulé sur place MDS TYPE-1-partie non couverte

	M.max (KN.m)	T.max (KN)	N.max (KN)
ELU.F	-131,7905	55,906	0
ELU.Acc	-6,6174	21,344	0
ELS	-98,5187	41,762	0



6.3. Efforts maximaux de la partie non-couverte/MDS TYPE-2 :

- **Montant MDS TYPE-2 :**

Tableau 72 : Efforts maximaux du montant MDS TYPE-2-partie non couverte

	M.max (KN.m)	T.max (KN)	N.max (KN)
ELU.F	335.8769	169.457	-87.210
ELU.Acc	330,6212	155.413	-64.600
ELS	249.5371	125.794	-64.600

- **Patin MDS TYPE-2 :**

Tableau 73 : Efforts maximaux du patin MDS TYPE-2-partie non couverte

	M.max (KN.m)	T.max (KN)	N.max (KN)
ELU.F	335.8769	86.291	0
ELU.Acc	330.6212	65.989	0
ELS	249.5371	63.653	0

- **Radier coulé sur place (Mi- Travée) MDS TYPE-2 :**

Tableau 74 : Efforts maximaux du radier coulé sur place MDS TYPE-2-partie non couverte

	M.max (KN.m)	T.max (KN)	N.max (KN)
ELU.F	-153.707	52.721	0
ELU.Acc	-36.2033	16.796	0
ELS	-115.0102	39.424	0

6.4. Efforts maximaux de la partie non-couverte/MDS TYPE-3 :

- **Montant MDS TYPE-3 :**

Tableau 75 : Efforts maximaux du montant MDS TYPE-3-partie non couverte

	M.max (KN.m)	T.max (KN)	N.max (KN)
ELU.F	154.9707	101.717	-62.024
ELU.Acc	161.2401	97.866	-45.944
ELS	115.2128	75.549	-45.944

- **Patin MDS TYPE-3 :**

Tableau 76 : Efforts maximaux du patin MDS TYPE-3-partie non couverte

	M.max (KN.m)	T.max (KN)	N.max (KN)
ELU.F	154.9707	57.990	0
ELU.Acc	161.2401	45.629	0
ELS	115.2128	42.556	0



- **Radier coulé sur place (Mi- Travée) MDS TYPE-3 :**

Tableau 77 : Efforts maximaux du radier coulé sur place MDS TYPE-3-partie non couverte

	M.max (KN.m)	T.max (KN)	N.max (KN)
ELU.F	-226.6884	67.837	0
ELU.Acc	-53.2480	19.170	0
ELS	-169.7479	50.742	0

7. Interprétation des résultats :

7.1. Partie couverte :

➤ Dalle de couverture :

La dalle de couverture est soumise à des efforts qui la sollicitent en flexion composée, en ayant un diagramme des moments fléchissants et des efforts axiaux.

L'allure du moment présente une valeur positive ultime au niveau de la mi-travée $M_U = 270,1954 \text{ KN.m}$, tandis qu'au niveau des extrémités, le moment prend une valeur négative ultime $M_U = -296,3883 \text{ KN.m}$.

Nous déduisons que la fibre tendue à mi- travée est la fibre inférieure, par contre au niveau des extrémités c'est la fibre supérieure qui est tendue.

➤ Montant :

Le Montant se compose d'une section supérieure qui est une partie du « U » renversé, et d'une section inférieure qui est le montant du piédroit, assemblés à l'aide d'une rotule, soumis à une flexion composée.

L'allure du moment a pour valeur maximale dans la section supérieure de $M_U = -296,3883 \text{ KN.m}$, et une valeur de $M_U = -385,8450 \text{ KN.m}$ au niveau de la section inférieure.

Nous déduisons que la fibre tendue est du côté du remblai.

➤ Patin piédroit + Radier coulé en place :

L'ensemble « patin du piédroit-Radier coulé en place » de la partie couverte est sollicité en flexion simple.

Le diagramme des moments nous donne une valeur maximale positive égale à $M_U = 385,8450 \text{ KN.m}$ au niveau du patin, et une valeur négative égale à $M_U = -251,1534 \text{ KN.m}$ à mi- travée.





Nous déduisons que la fibre tendue au niveau des extrémités est la fibre inférieure, par contre au niveau de la mi-travée c'est la fibre supérieure.

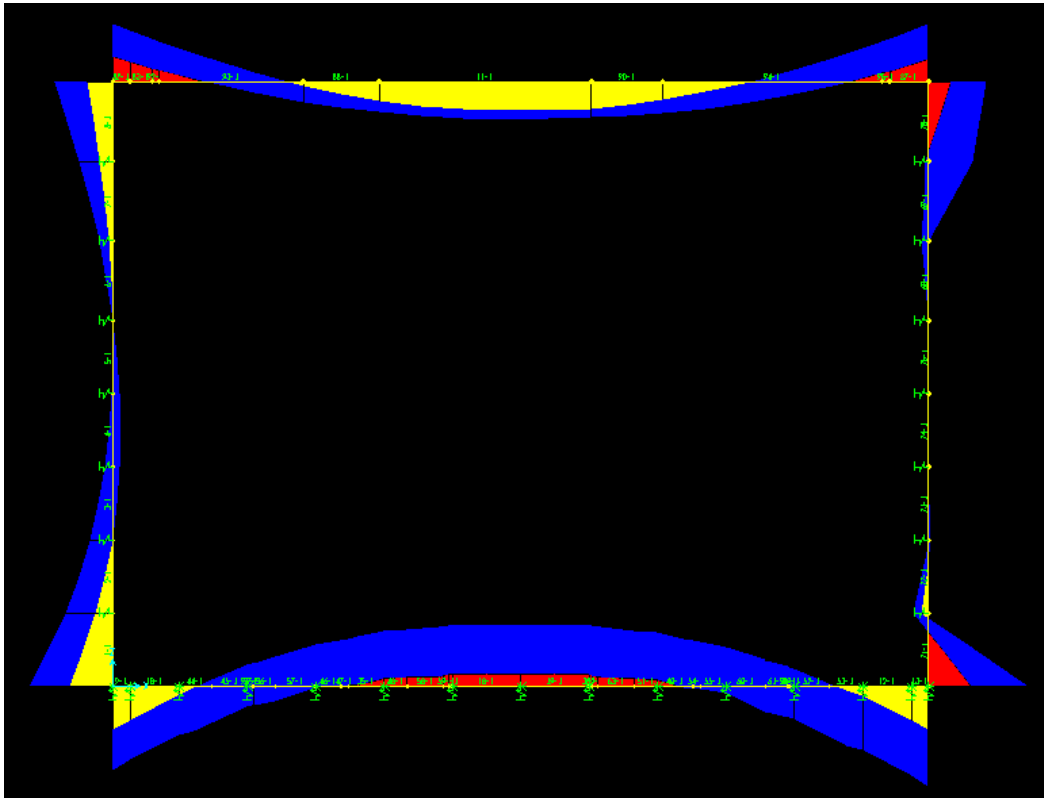
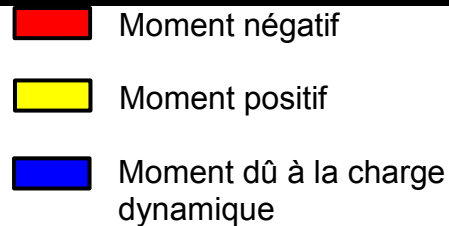


Figure 9 : Diagramme des moments de la partie couverte



7.2. Partie non-couverte :

NB :

Nous avons pris comme exemple le cas du **MDS type-1**, mais ça reste valable pour les **MDS type-2** et **type-3**.

➤ Montant du MDS type-1 :

Le montant du MDS est considéré comme étant une console dans le calcul. Comme nous pouvons remarquer selon le diagramme des moments fléchissants, la partie la plus sollicitée se situe à la base du montant, avec un moment dégressif du haut vers le bas d'une valeur extrême de $M_U = 542.997 \text{ KN.m}$.

Le montant est sollicité en flexion composée, et selon le diagramme des moments fléchissant nous déduisons que la partie tendue est du côté remblai.



➤ Patin MDS type-1 + Radier coulé en place :

L'ensemble « Patin MDS + Radier coulé en place » est sollicité en flexion simple.

Le diagramme des moments fléchissants est d'une allure variable du patin à mi-travée, et d'une valeur positive maximale au niveau du patin égale à $M_U = 542.997 \text{ KN.m}$, et d'une valeur négative moindre à mi-travée égale à $M_U = -131.7905 \text{ KN.m}$.

Nous déduisons qu'au niveau du patin, la fibre tendue est la fibre inférieure, et qu'au niveau de la mi-travée, la fibre tendue est la fibre supérieure.

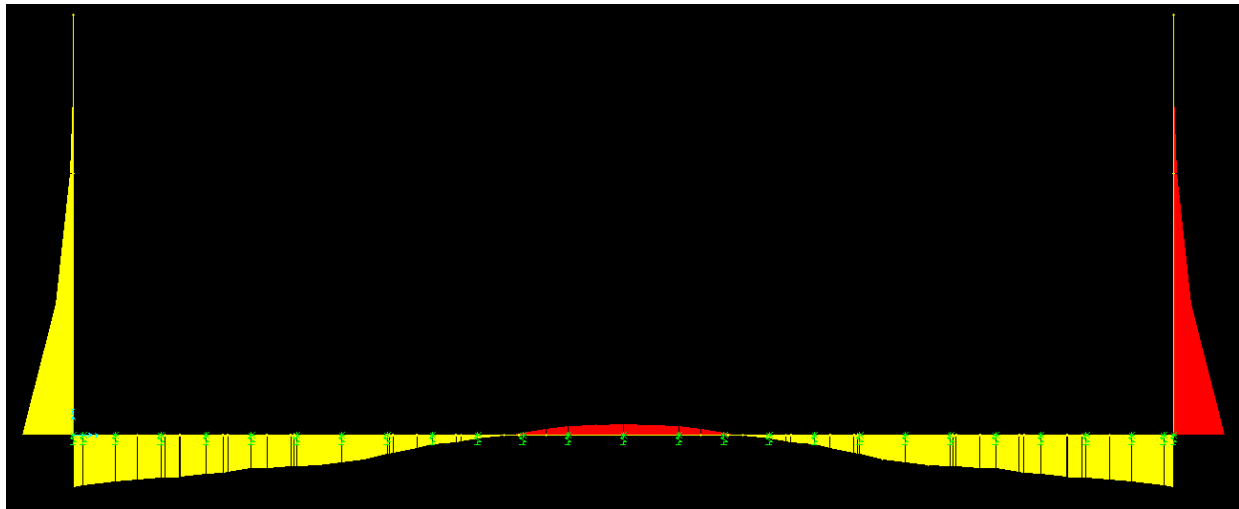


Figure 10 : Diagramme des moments de la partie non-couverte/MDS TYPE-1

	Moment négatif
	Moment positif

8. Hypothèses de calcul :

8.1. Matériaux :

8.1.1. Béton :

Comme hypothèses concernant le béton :

- Résistance du béton de préfabrication à **28Jours** : $F_{c28} = 35 \text{ MPa}$
- Résistance du béton coulé en place à **28Jours** : $F_{c28} = 27 \text{ MPa}$
- Poids volumique du béton : $\gamma_b = 25 \text{ KN/m}^3$

8.1.2. Acier :

Comme hypothèses concernant l'acier :

- Armatures principales → Haute adhérence : $f_e = 400 \text{ MPa}$
- Armatures secondaires → Haute adhérence : $f_e = 400 \text{ MPa}$



- Fissuration préjudiciable.
- Enrobage = **4cm**
- Coefficient de fissuration : $\eta = 1,6$

8.2. Contraintes limites :

8.2.1. Contraintes limites du béton :

❖ Etat limite ultime de compression :

La contrainte admissible de compression du béton à l'ELU est donnée par la formule suivante : $\sigma_{bc} = \frac{0.85 f_{c28}}{\gamma_b}$

Dans le tableau suivant nous présentons un résumé des contraintes limites ultimes :

Tableau 78 : La contrainte de compression à l'ELU du béton

Type de béton	Résistance F_{c28} [MPa]	Le cas considéré	γ_b	La contrainte σ_{bc} [MPa]
Préfabrication	35	Fondamental	1.5	19.83
		Accidentel	1.15	25.87
Coulé en place	27	Fondamental	1.5	15.30
		Accidentel	1.15	19.96

❖ Etat limite de service :

La contrainte admissible dans le cas de l'ELS est donnée par la formule suivante : $\bar{\sigma}_{bc} = 0.6 \times f_{c28}$

Tableau 79 : La contrainte de compression à l'ELS du béton

Type de béton	Résistance F_{c28} [MPa]	La contrainte $\bar{\sigma}_{bc}$ [MPa]
Préfabrication	35	21
Coulé en place	27	16.20

8.2.2. Contraintes limites de l'acier :

❖ Etat limite ultime de traction :

La contrainte admissible de traction de l'acier à l'ELU est donnée par la formule suivante : $\sigma_{st} = \frac{f_e}{\gamma_s}$

Tableau 80 : La contrainte de traction à l'ELU de l'acier

Type de l'acier	Résistance f_e [MPa]	Le cas considéré	γ_s	La contrainte σ_{st} [MPa]
Haute adhérence	400	Fondamental	1.15	347.83
		Accidentel	1	400

❖ Etat limite de service :

La contrainte admissible dans le cas de l'ELS est donnée par la formule suivante : $\bar{\sigma}_{st} = \xi = \min \left\{ \frac{2}{3} F_e; \max(0,5, F_e; 110\sqrt{\eta, F_{c28}}) \right\}$

- Béton armé de la préfabrication : $\bar{\sigma}_{st} = 228,6 \text{ MPa}$
- Béton armé coulé en place : $\bar{\sigma}_{st} = 207,3 \text{ MPa}$



9. Calcul de ferrailage :

Nous avons effectué le calcul de ferrailage à l'aide du logiciel « **SOCOTEC** » en injectant les données nécessaires pour qu'il puisse faire le calcul à l'ELU/ELS et nous donner les sections de ferrailage.

En voici quelques prises de vue du logiciel « **SOCOTEC** » :

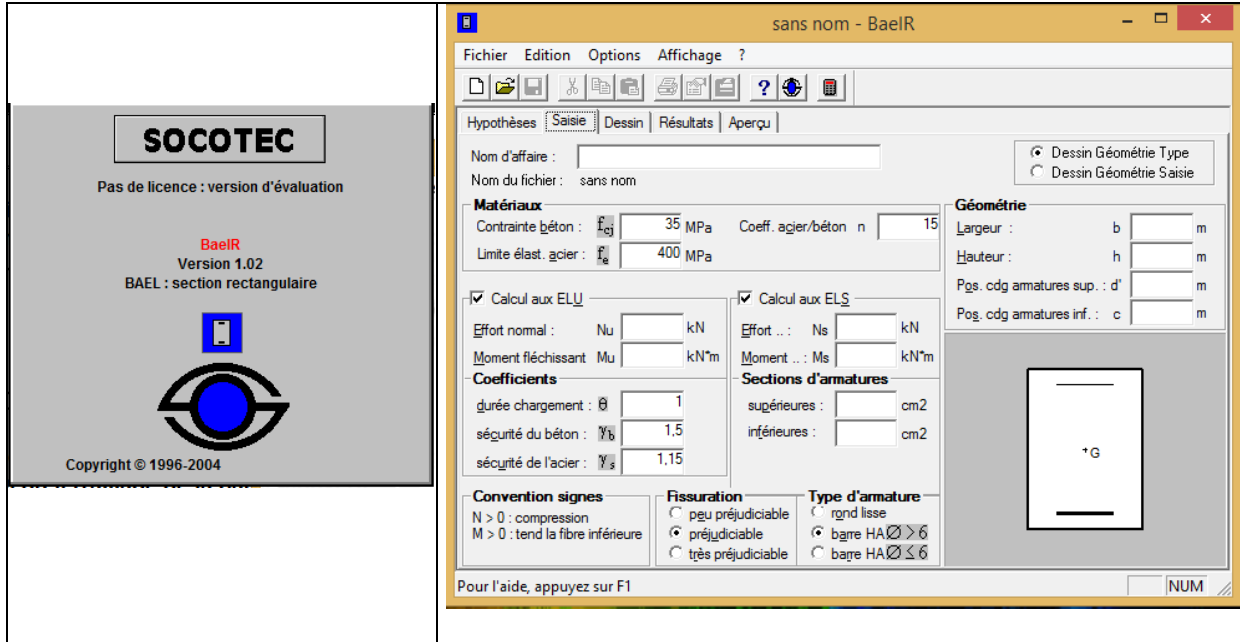


Figure 11 : Prise de vue du logiciel de calcul ferrailage « **SOCOTEC** »

Nous avons effectué un exemple de calcul à mains pour les deux sollicitations 'Flexion simple et Flexion composée'

9.1. Calcul ferrailage : Sollicitation flexion simple :

(Règles BAEL 91 modifiées 99)

- Cas du radier coulé en place de la partie non couverte-MDS TYPE-1 :

ELU. Fondamental :

On a :

$$\begin{aligned}
 b &= 1 \text{ ml} \\
 F_{c28} &= 27 \text{ MPa} \\
 f_e &= 400 \text{ MPa} \\
 \gamma_b &= 1.5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h &= 0.60 \text{ m} \\
 \gamma_s &= 1.15 \\
 \sigma_{st} &= 347.83 \text{ MPa} \\
 M_U &= -131.7905 \text{ KN.m} \\
 \sigma_{bc} &= 15.30 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tableau 81 : Les moments résistants selon la nuance de l'acier

Nuance	FeE215		FeE255		FeE400		FeE500	
γ_s	1.15	1	1.15	1	1.15	1	1.15	1
ϵ_{es} (‰)	0.935	1.075	1.02	1.175	1.74	2	2.175	2.5
α_R	0.789	0.765	0.774	0.749	0.668	0.636	0.617	0.583
μ_R	0.432	0.425	0.427	0.42	0.392	0.379	0.372	0.358



On calcule le moment réduit : $\mu_U = \frac{M_U}{b \times d^2 \times \sigma_{bc}}$

Avec : $d = 0.9 \times h$

$\mu_U = 0.029 < \mu_R = 0.392 \rightarrow$ **Section à simples armature**

On calcule la section d'armatures tendues : $A_{st} = \frac{M_U}{\sigma_{st} \times z}$

$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_U}) \Leftrightarrow \alpha = 0.037$

$z = d(1 - 0.4 \alpha) \Leftrightarrow z = 0.53$

Donc la section d'armatures est :

$A_{st} = \frac{M_U}{\sigma_{st} \times z} \Leftrightarrow A_{st} = 7.14 \text{ cm}^2$

ELU. Accidentel :

On a :

$b = 1 \text{ ml}$

$F_{c28} = 27 \text{ MPa}$

$f_e = 400 \text{ MPa}$

$\gamma_b = 1.15$

$\sigma_{bc} = 19.96 \text{ MPa}$

$h = 0.60 \text{ m}$

$\gamma_s = 1$

$\sigma_{st} = 400 \text{ MPa}$

$h = 0.60 \text{ m}$

$M_U = -6.6174 \text{ KN.m}$

On calcule le moment réduit : $\mu_U = \frac{M_U}{b \times d^2 \times \sigma_{bc}}$

Avec : $d = 0.9 \times h$

$\mu_U = 1.137 \cdot 10^{-3} < \mu_R = 0.392 \rightarrow$ **Section à simples armatures**

On calcule la section d'armatures tendues : $A_{st} = \frac{M_U}{\sigma_{st} \times z}$

$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_U}) \Leftrightarrow \alpha = 1.422 \cdot 10^{-3}$

$z = d(1 - 0.4 \alpha) \Leftrightarrow z = 0.54$

Donc la section d'armatures est :

$A_{st} = \frac{M_U}{\sigma_{st} \times z} \Leftrightarrow A_{st} = 0.31 \text{ cm}^2$



Vérification à l'ELS :

	Dimensionnement	Vérification
Données	$M_{ser}, b, h, f_{c1}, f_e$	$M_{ser}, A_s, b, h, d, f_{c1}, f_e$
Inconnues	$A_s, y_1, \sigma_{bc_{max}}, \sigma_{st}, d$	$y_1, \sigma_{bc_{max}}, \sigma_{st}$
Equations comp.	$d \approx 0.9h$ $\sigma_{st} = \bar{\sigma}_{st}$	
Résolution	$M'_{ser} = \frac{1}{2} b y_{1lim} \bar{\sigma}_{bc} (d - y_{1lim}/3)$ <p>avec $y_{1lim} = d \frac{n \bar{\sigma}_{bc}}{n \bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}}$</p> <p>✓ si $M_{ser} \leq M'_{ser}$ continuer</p> <p>✓ si $M_{ser} > M'_{ser}$ augmenter b et/ou h ou placer des aciers comprimés (<i>mauvais</i>)</p> <p>on pose $\alpha = \frac{y_1}{d}$</p> <p>calcul de $\mu_{ser} = \frac{n M_{ser}}{b d^2 \bar{\sigma}_{st}}$</p> <p>$\alpha$ solution de</p> $\alpha^3 - 3\alpha^2 - 6\mu_{ser}(\alpha - 1) = 0$ <p>section d'acier :</p> $A_s = \frac{M_{ser}}{\bar{\sigma}_{st} d (1 - \alpha/3)}$	<p>y_1 solution de</p> $\frac{1}{2} b y_1^2 - n A_s (d - y_1) = 0$ <p>calcul de :</p> $I_1 = \frac{1}{3} b y_1^3 + n A_s (d - y_1)^2$ <p>Vérifier :</p> <p>✓ $\sigma_{bc_{max}} = \frac{M_{ser}}{I_1} y_1 \leq \bar{\sigma}_{bc}$</p> <p>✓ $\sigma_{st} = \frac{n M_{ser}}{I_1} (d - y_1) \leq \bar{\sigma}_{st}$</p>

Figure 12 : Etapes du dimensionnement des sections d'acier et de la vérification des contraintes en flexion simple à l'ELS

(<https://fr.scribd.com/doc/25904295/Dimensionnement-Des-Sections-en-flexion-Simple>)
consulté le 03/04/2017

On a :

$$b = 1 \text{ ml}$$

$$F_{c28} = 27 \text{ MPa}$$

$$f_e = 400 \text{ MPa}$$

$$\bar{\sigma}_{bc} = 16.20 \text{ MPa}$$

$$h = 0.60 \text{ m}$$

$$n = 15$$

$$M_S = -98.5187 \text{ KN.m}$$

$$\bar{\sigma}_{st} = 207.3 \text{ MPa}$$

$$y_{1lim} = d \frac{n \bar{\sigma}_{bc}}{n \bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}} = \mathbf{0.29 \text{ m}}$$

$$M'_s = \frac{1}{2} b y_{1lim} \bar{\sigma}_{bc} \left(d - \frac{y_{1lim}}{3} \right) = \mathbf{1\ 041.39 \text{ KN.m}}$$

$$M_S = \mathbf{98.5187 \text{ KN.m}}$$

$M_S < M'_s \rightarrow$ Donc **continuer** sans augmenter b et/ou h



On a comme donnée :

- $A_{st} = 7.14 \text{ cm}^2$
- y_1 est une solution de l'équation différentielle du 2nd ordre :

$$\frac{1}{2} b y_1^2 - n A_s (d - y_1) = 0$$

Après calcul, on obtient :

$$\Delta = 0.01167 > 0$$

Donc on a deux (02) solutions :

$$y'_1 = -0.119 \text{ m} \rightarrow \text{Solution absurde}$$

$$y''_1 = 0.097 \text{ m} \rightarrow \text{Solution de l'équation différentielle}$$

On calcule : $I_1 = \frac{1}{3} b y_1^3 + n A_s (d - y_1)^2$

$$I_1 = 2.403 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

Il faut que les deux (02) conditions suivantes soient vérifiées :

$$\sigma_{bc.max} = \frac{M_S}{I_1} y_1 \leq \bar{\sigma}_{bc}$$

$$\sigma_{st} = n \frac{M_S}{I_1} (d - y_1) \leq \bar{\sigma}_{st}$$

Donc :

$$\sigma_{bc.max} = 3.976 \text{ MPa} \leq \bar{\sigma}_{bc} = 16.20 \text{ MPa} \rightarrow \text{Condition vérifiée}$$

$$\sigma_{st} = 272.43 \text{ MPa} \geq \bar{\sigma}_{st} = 207.3 \text{ MPa} \rightarrow \text{Condition non vérifiée}$$

Alors on augmente la section d'acier jusqu'à ce que la condition soit vérifiée et on recalcule :

$$A_{st} = 9.20 \text{ cm}^2$$

$$\Delta = 0.15 > 0$$

Donc on a deux (02) solutions :

$$y'_1 = -0.136 \text{ m} \rightarrow \text{Solution absurde}$$

$$y''_1 = 0.13 \text{ m} \rightarrow \text{Solution de l'équation différentielle}$$

On calcule :

$$I_1 = 3.05 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

Nous déduisons que :

$$\sigma_{bc.max} = 4.199 \text{ MPa} \leq \bar{\sigma}_{bc} = 16.20 \text{ MPa} \rightarrow \text{Condition vérifiée}$$

$$\sigma_{st} = 198.65 \text{ MPa} \leq \bar{\sigma}_{st} = 207.3 \text{ MPa} \rightarrow \text{Condition vérifiée}$$

Interprétation des résultats :

Puisque la section d'acier à l'ELU n'a pas suffi pour vérifier les conditions à l'ELS donc nous avons augmenté la section d'acier pour avoir une valeur maximal de $A_{st} = 9.20 \text{ cm}^2$ et c'est la section que nous prenons en considération pour notre ferrailage.



9.2. Calcul ferrailage : Sollicitation flexion composée :

(Règles BAEL 91 modifiées 99)

- Cas de la dalle de couverture-partie couverte :

ELU. Fondamental :

$$\begin{aligned} M_U &= 270.1954 \text{ KN.m} \\ b &= 1 \text{ ml} \\ F_{c28} &= 35 \text{ MPa} \\ f_e &= 400 \text{ MPa} \\ \gamma_b &= 1.5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_U &= -126.091 \text{ KN.m} \\ \sigma_{bc} &= 19.83 \text{ MPa} \\ h &= 0.40 \text{ m} \\ \gamma_s &= 1.15 \\ \sigma_{st} &= 347.83 \text{ MPa} \end{aligned}$$

On calcule l'excentricité : $e = \frac{M}{N} \Leftrightarrow e = 2.14 \text{ m}$

On calcule la position du centre de pression **C** par rapport au centre de gravité

de la section **G** : $e_a = \frac{d-d'}{2} + e \Leftrightarrow e_a = 2.30 \text{ m}$

On calcule : $\begin{cases} M_G = N_U \cdot e \Leftrightarrow M_G = 269.835 \text{ KN.m} \\ M_A = N_U \cdot e_a \Leftrightarrow M_A = 290.0093 \text{ KN.m} \end{cases}$

On calcule le moment réduit : $\mu_U = \frac{M_A}{d^2 \cdot \sigma_{bc}} \Leftrightarrow \mu_U = 0.113$

Donc : $\mu_U = 0.113 < \mu_R = 0.392 \rightarrow$ **Section à simples armatures**

La section d'armatures : $A_{st} = \frac{M_A}{\sigma_{st} \times z}$

$$z = 0.338 \Leftrightarrow A_{st} = 24.67 \text{ cm}^2$$

ELU. Accidentel :

$$\begin{aligned} M_U &= 98.3671 \text{ KN.m} \\ b &= 1 \text{ ml} \\ F_{c28} &= 35 \text{ MPa} \\ f_e &= 400 \text{ MPa} \\ \gamma_b &= 1.15 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_U &= -82.799 \text{ KN.m} \\ \sigma_{bc} &= 25.87 \text{ MPa} \\ h &= 0.40 \text{ m} \\ \gamma_s &= 1 \\ \sigma_{st} &= 400 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Après calcul on obtient :

$$e = 1.19 \text{ m} \Leftrightarrow e_a = 1.35 \text{ m}$$

$$\begin{cases} M_G = N_U \cdot e \Leftrightarrow M_G = 98.5308 \text{ KN.m} \\ M_A = N_U \cdot e_a \Leftrightarrow M_A = 111.7786 \text{ KN.m} \end{cases}$$

$\mu_U = 0.033 < \mu_R = 0.392 \rightarrow$ **Section à simples armatures**

$$z = 0.348$$

La section d'armatures : $A_{st} = \frac{M_A}{\sigma_{st} \times z}$

$$A_{st} = 8.03 \text{ cm}^2$$



Vérification à l'ELS :

Nous avons à traiter une **section partiellement comprimée**, en présence d'un effort de compression.

On a :

$$M_S = 201.5395 \text{ KN.m}$$

$$b = 1 \text{ ml}$$

$$F_{c28} = 35 \text{ MPa}$$

$$f_e = 400 \text{ MPa}$$

$$\bar{\sigma}_{bc} = 21 \text{ MPa}$$

$$N_S = -93.883 \text{ KN}$$

$$h = 0.60 \text{ m}$$

$$n = 15$$

$$\bar{\sigma}_{st} = 228,6 \text{ MPa}$$

$$\text{Calcul de l'excentricité : } e = \frac{M_S}{N_S} \Leftrightarrow e = 2.15 \text{ m}$$

On doit vérifier la condition :

$$e > \frac{h}{6} \Leftrightarrow e = 2.15 \text{ m} > \frac{h}{6} = 0.067 \text{ m} \rightarrow \text{Condition vérifiée}$$

Détermination de la position de l'axe neutre :

$$\text{On a : } x = \frac{h}{2} + e_1 - e$$

Avec : e_1 est défini par l'équation du 3^{ème} degré suivante :

$$e_1^3 + p \cdot e_1 + q = 0$$

$$\begin{cases} p = -3 \left(e - \frac{h}{2} \right)^2 + \frac{6 \cdot n \cdot A_2}{b} \left(e - \frac{h}{2} + d' \right) + \frac{6 \cdot n \cdot A_1}{b} \left(e - \frac{h}{2} + d \right) \\ q = 2 \left(e - \frac{h}{2} \right)^3 - \frac{6 \cdot n \cdot A_2}{b} \left(e - \frac{h}{2} + d' \right)^2 - \frac{6 \cdot n \cdot A_1}{b} \left(e - \frac{h}{2} + d \right)^2 \end{cases}$$

$A_1 = 24.67 \text{ cm}^2 \rightarrow$ Armatures tendues (Fibre inférieure).

$A_2 = 0 \text{ cm}^2 \rightarrow$ Armatures de montage qui n'interviennent pas dans la résistance (Fibre supérieure).

$$\Leftrightarrow \begin{cases} p = -10.89 \\ q = 13.65 \end{cases}$$

Donc l'équation devient : $e_1^3 - 10.89 \cdot e_1 + 13.65 = 0$

La résolution de $x = \frac{h}{2} + e_1 - e$ se fait par itération de : $e_1 = \frac{-e_1^3 - q}{p}$

Après résolution de l'équation du 3^{ème} degré on obtient : $x = 0.12 \text{ m}$

$$S = \frac{b \cdot x^2}{2} + n \cdot A_2 (x - d') - n \cdot A_1 (d - x)$$

On doit vérifier les conditions des contraintes limites :

$$\sigma_{bc} = \frac{N_S \cdot x}{S} \leq \bar{\sigma}_{bc} = 21 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{st} = \frac{n \cdot N_S (d - x)}{S} \leq \bar{\sigma}_{st} = 228,6 \text{ MPa}$$

Après calcul avec une section d'armatures tendues $A_1 = 24.67 \text{ cm}^2$ on obtient :

$$\sigma_{bc} = 9.32 \text{ MPa} \leq \bar{\sigma}_{bc} = 21 \text{ MPa} \rightarrow \text{Condition vérifiée}$$

$$\sigma_{st} = 234.4 \text{ MPa} \geq \bar{\sigma}_{st} = 228,6 \text{ MPa} \rightarrow \text{Condition non vérifiée}$$



On augmente la section des aciers tendus jusqu'à aboutir au résultat suivant :

$$A_1 = 26.02 \text{ cm}^2$$

Avec des contraintes limites de :

$$\sigma_{bc} = 9.04 \text{ MPa} \leq \bar{\sigma}_{bc} = 21 \text{ MPa} \rightarrow \text{Condition vérifiée}$$

$$\sigma_{st} = 223.7 \text{ MPa} \leq \bar{\sigma}_{st} = 228,6 \text{ MPa} \rightarrow \text{Condition vérifiée}$$

Interprétation des résultats :

Comme la section d'acier à l'ELU n'a pas été suffisante pour vérifier les conditions de contraintes limites à l'ELS donc nous avons augmenté la section d'acier jusqu'à avoir $A_{st} = 26.02 \text{ cm}^2$ et c'est la section que nous prenons en considération pour notre ferrailage à mi-travée de la dalle de couverture.

9.3. Calcul du ferrailage de la partie-couverte (SOCOTEC):

✓ Ferrailage à l'E.L.U Fondamental :

Avec : $\gamma_s = 1.15$; $\gamma_b = 1.5$ d'après : (Règles BAEL 91 modifiées 99)

Tableau 82 : Calcul du ferrailage à l'E.L.U Fondamental-partie couverte

Eléments	b (m)	h (m)	Mu (KN.m)	Tu (KN)	Nu (KN)	Ast (cm ² /ml)	Ast adoptée (cm ² /ml)
Dalle (Mi-Travée) 35MPa	1,00	0,40	270,195	-79,796	-126,091	24,71	25,13 (8T20)
Dalle (Extrémité) 35MPa	1,00	0,60	-296,3883	262,654	-126,091	13,76	16,08 (8T16)
Montant (Section supérieure) 35MPa	1,00	0,60	-296,3883	126,091	-272,301	11,63	12,32 (8T14)
Montant (Section inférieure) 35MPa	1,00	0,50	-385,8450	-596,569	-335,892	20,67	25,13 (8T20)
Patin.Piédroit 35MPa	1,00	0,70	385,8450	-326,324	0	17,21	18,85 (6T20)
Radier coulé sur place 27MPa	1,00	0,40	-251,1534	-86,514	0	21,57	21,99 (8T20)

Rapport-gratuit.com

LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES





✓ **Ferrailage à l'E.L.U Accidentel :**

Avec : $\gamma_s = 1$; $\gamma_b = 1.15$

d'après : (Règles BAEL 91 modifiées 99)

Tableau 83 : Calcul du ferrailage à l'E.L.U Accidentel-partie couverte

Eléments	b (m)	h (m)	Mu (KN.m)	Tu (KN)	Nu (KN)	Ast (cm ² /ml)	Ast adoptée (cm ² /ml)
Dalle (Mi-Travée) 35MPa	1,00	0,40	98,3671	-81,0062	-82,799	8,06	9.03 (8T12)
Dalle (Extrémité) 35Mpa	1,00	0,60	-129,8849	-108,420	-87,077	4,70	6.26 (8T10)
Montant (Section supérieure) 35Mpa	1,00	0,60	129,8849	87,935	-115,566	4,32	6.26 (8T10)
Montant (Section inférieure) 35Mpa	1,00	0,50	-183,0508	-283,493	-160,409	8,02	9.03 (8T12)
Patin.Piédroit 35Mpa	1,00	0,70	183,0508	157,991	0	6,99	9.03 (8T12)
Radier coulé sur place 27Mpa	1,00	0,40	-118,9818	-24,049	0	8,47	9.03 (8T14)

✓ **Condition de Non-Fragilité (Partie Couverte) :**

Pour obtenir le ferrailage final de la Partie-Couverte il faudra vérifier la condition de Non-Fragilité pour déterminer le A_{min} et le comparer avec le A_{st} pour prendre le maximum entre les deux.

N.B :

✓ $A_{min} \geq 0,23 \times b \times d \times \frac{f_{tj}}{f_e}$ (Règles BAEL 91 modifiées 99)

✓ Résistance du béton (Préfabrication) à la traction :

$f_{tj} = 0,6 + 0,06 \times f_{cj} = 2,7 \text{ MPa}$

✓ Résistance du béton (Bétonnage sur place) à la traction :

$f_{tj} = 0,6 + 0,06 \times f_{cj} = 2,22 \text{ MPa}$

**Tableau 84** : Section retenue d'après la condition de non-fragilité-partie couverte

Eléments	Largeur b (m)	Hauteur d (m)	Ast à l'E.L.U Fond. (cm ² /ml)	Ast à l'E.L.U Acc. (cm ² /ml)	Ast la plus défav. (cm ² /ml)	A _{min} (cm ² /ml)	Compara- raison	Section retenue
Dalle (Mi-Travée) 35MPa	1,00	0,40	24,71	8,06	24,71	6,21	A _{st} > A _{min}	A _{st}
Dalle (Extrémité) 35MPa	1,00	0,60	13,76	4,70	13,76	9,32	A _{st} > A _{min}	A _{st}
Montant (Section supérieure) 35MPa	1,00	0,60	11,63	4,32	4,32	9,32	A _{st} < A _{min}	A _{min}
Montant (Section inférieure) 35MPa	1,00	0,50	20,67	8,02	20,67	7,76	A _{st} > A _{min}	A _{st}
Patin Piédroit 35MPa	1,00	0,70	17,21	6,99	17,21	1,09	A _{st} > A _{min}	A _{st}
Radier coulé sur place 27MPa	1,00	0,40	21,57	8,47	21,57	5,11	A _{st} > A _{min}	A _{st}



✓ **Ferraillage à l'E.L.S :**

- La fissuration est considérée comme **préjudiciable**

On rappelle que :

- Résistance de la préfabrication → $F_{c28} = 35 \text{ MPa}$
- Résistance du béton coulé en place → $F_{c28} = 27 \text{ MPa}$
- Contrainte limite de compression d'acier (Préfabrication) :
 $\bar{\sigma}_{bc} = 0,6 \times F_{c28} = 21 \text{ MPa}$
- Contrainte limite de compression d'acier (Bétonnage sur place) :
 $\bar{\sigma}_{bc} = 0,6 \times F_{c28} = 16.2 \text{ MPa}$
- Contrainte limite de traction d'acier (Préfabrication) :
 $\bar{\sigma}_{st} = \xi = \min \left\{ \frac{2}{3} F_e; \max(0,5 \cdot F_e; 110 \sqrt{\eta \cdot F_{c28}}) \right\} = 228,6 \text{ MPa}$
- Contrainte limite de traction d'acier (Bétonnage sur place) :
 $\bar{\sigma}_{st} = \xi = \min \left\{ \frac{2}{3} F_e; \max(0,5 \cdot F_e; 110 \sqrt{\eta \cdot F_{c28}}) \right\} = 207.3 \text{ MPa}$
- $F_e = 400 \text{ MPa}$
- $n = 15$
- $\eta = 1,6$

Tableau 85 : Calcul du ferraillage à l'E.L.S -partie couverte

Eléments	b (m)	h (m)	Ms (KN.m)	Ts (KN)	Ns (KN)	Ast (cm ² /ml)	σ_{bc} (MPa)	σ_{st} (MPa)	Ast adoptée (cm ² /ml)
Dalle (Mi-Travée) 35MPa	1,00	0,40	201,5395	-59,456	-93,883	26.30	9.8<21	227.5<228.6	29.45 (6T25)
Dalle (Extrémité) 35MPa	1,00	0,60	-221,0140	195,851	-93,883	17.20	6.06<21	-227<228.6	29.45 (6T25)
Montant (Section supérieure) 35MPa	1,00	0,60	-221,0140	93,883	-202,997	15	6.47<21	-226.6<228.6	18.85 (6T20)
Montant (Section inférieure) 35MPa	1,00	0,50	-287,2860	-444,184	-250,101	26,2	9.55<21	-228.1<228.6	29.45 (6T25)
Patin.Piédroit 35MPa	1,00	0,70	287,2860	-242,971	0	21.00	5.46<21	-227.4<228.6	29.45 (6T25)
Radier coulé sur place 27MPa	1,00	0,40	-186,9949	-64,655	0	28.80	8.61<21	-206,9<207.3	29.45 (6t25)



✓ **Armatures de répartitions :**

Ce sont des armatures perpendiculaires aux armatures principales et dans le même plan, permettant de répartir transversalement une action ponctuelle sur plusieurs armatures longitudinales.

(<http://www.editions-eyrolles.com/Dico-BTP.com>, 10/04/2017)

On peut déterminer les armatures de répartitions à partir de la formule :

$$A_{sr} = \frac{A_{st}}{4} \quad (\text{Règles BAEL 91 modifiées 99})$$

Tableau : Calcul des armatures de répartitions-Partie couverte

Tableau 86 : Calcul des armatures de répartitions-Partie couverte

Eléments	b (m)	h (m)	Ast (cm ² /ml)	Ast adoptée (cm ² /ml)	Asr Calculée (cm ² /ml)	Asr/ml adoptée (cm ² /ml)	Esp e (cm)
Dalle (Mi-Travée) 35MPa	1,00	0,40	26,30	29,45 (6T25)	7,36	7,70 (5T14)	17
Dalle (Extrémité) 35MPa	1,00	0,60	29,20	29,45 (6T25)	7,36	7,70 (5T14)	17
Montant (Section supérieure) 35MPa	1,00	0,60	15,00	18,85 (6T20)	4,71	4,71 (6T10)	15
Montant (Section inférieure) 35MPa	1,00	0,50	26,20	29,45 (6T25)	7,36	7,70 (5T14)	17
Patin.Piédroit 35MPa	1,00	0,70	21,00	29,45 (6T25)	7,36	7,70 (5T14)	17
Radier coulé sur place 27MPa	1,00	0,40	28,80	29,45 (6T25)	7,36	7,70 (5T14)	17



✓ **Ferrailage choisi (Partie-Couverte) :**

Tableau 87 : Ferrailage choisi pour la partie couverte

Eléments	Ast à l'E.L.U Fond. (cm ² /ml)	Ast à l'E.L.U Accid. (cm ² /ml)	Section retenue (cm ² /ml)	Ast à l'E.L.S (cm ² /ml)	Ast la plus défav. (cm ² /ml)	Ast/élément (cm ²)	Ast/élément Choisie (cm ²)	σ_{bc} (MPa)	σ_{st} (MPa)	Espe (cm)
Dalle (Mi-Travée) 35MPa	24,71	8,06	A _{st} 24,71	26.30	26.30	52.60	58.91 (12T25)	9.45<21	204.7<228.6	13.5
Dalle (Extrémité) 35MPa	13,76	4,70	A _{st} 13,76	29.20	29.20	58.40	58.91 (12T25)	5.01<21	136.9<228.6	13.5
Montant (Section supérieure) 35MPa	11,63	4,32	A _{min} 9.32	15.00	15.00	30.00	37.70 (12T20)	5.98<21	183.5<228.6	14.0
Montant (Section inférieure) 35MPa	20,67	8,02	A _{st} 20,67	26.20	26.20	52.40	58.91 (12T25)	9.21<21	204.8<228.6	13.5
Patin. Piedroit 35MPa	17,21	6,99	A _{st} 17,21	21.00	21.00	42.00	58.91 (12T25)	4.81<21	164.5<228.6	13.5
Radier coulé sur place 27MPa	21,57	8,47	A _{st} 21,57	28.80	28.80	57.60	58.91 (12T25)	8.55<21	202.6<207.3	13.5

9.4. **Calcul du ferrailage de la Partie Non-Couverte : M.D.S TYPE-1 (SOCOTEC) :**

✓ **Ferrailage à l'E.L.U Fondamental :**

Avec : $\gamma_s = 1.15$; $\gamma_b = 1.5$ d'après : (Règles BAEL 91 modifiées 99)

Tableau 88 : Calcul du ferrailage à l'E.L.U Fondamental MDS TYPE-1-partie non couverte

Eléments	b (m)	h (m)	Mu (KN.m)	Tu (KN)	Nu (KN)	Ast (cm ² /ml)	Ast adoptée (cm ² /ml)
Montant 35MPa	1,00	0,65	-542,9970	223,298	-103,030	28.1	34.36 (7T25)
Patin.MDS 35MPa	1,00	0,65	542,9970	103,035	0	26,64	34.36 (7T25)
Radier coulé sur place 27MPa	1,00	0,60	-131,7905	55,906	0	7,13	7.92 (7T12)



✓ **Ferraillage à l'E.L.U Accidentel :**

Avec : $\gamma_s = 1$; $\gamma_b = 1.15$ d'après : (Règles BAEL 91 modifiées 99)

Tableau 89 : Calcul du ferraillage à l'E.L.U Accidentel MDS TYPE-1-partie non couverte

Eléments	b (m)	h (m)	Mu (KN.m)	Tu (KN)	Nu (KN)	Ast (cm ² /ml)	Ast adoptée (cm ² /ml)
Montant 35MPa	1,00	0,65	517,5484	208,299	-76,319	22,80	29.45 (6T25)
Patin.MDS 35MPa	1,00	0,65	517,5484	78,507	0	21,83	29.45 (6T25)
Radier coulé sur place 27MPa	1,00	0,60	-6,6174	21,344	0	0,31	0.85 (3T6)

✓ **Condition de Non-Fragilité de la partie non-couverte/M.D.S TYPE 1 :**

On rappelle que :

✓ $A_{min} \geq 0,23 \times b \times d \times \frac{f_{tj}}{f_e}$ (Règles BAEL 91 modifiées 99)

✓ Résistance du béton (Préfabrication) à la traction :

$f_{tj} = 0,6 + 0,06 \times f_{cj} = 2,7 \text{ MPa}$

✓ Résistance du béton (Bétonnage sur place) à la traction :

$f_{tj} = 0,6 + 0,06 \times f_{cj} = 2,22 \text{ MPa}$

Tableau 90 : Section retenue d'après la condition de non-fragilité-MDS TYPE-1-partie non couverte

Eléments	Hauteur d (m)	Largeur b (m)	Ast à l'E.L.U Fond. (cm ² /ml)	Ast à l'E.L.U Acc. (cm ² /ml)	Ast la plus défav. (cm ² /ml)	A _{min} Calculée (cm ² /ml)	Comparaison	Section retenue
Montant 35MPa	1,00	0,65	28.1	22,80	28.1	10,09	$A_{st} > A_{min}$	A_{st}
Patin.MDS 35MPa	1,00	0,65	26,64	21,83	26,64	10,09	$A_{st} > A_{min}$	A_{st}
Radier coulé sur place 27MPa	1,00	0,60	7,13	0,31	7,13	7,66	$A_{st} < A_{min}$	A_{min}



✓ Ferrailage à l'E.L.S :

- La fissuration est considérée comme préjudiciable

Comme données on a :

- Résistance de la préfabrication → $F_{c28} = 35 \text{ MPa}$
- Résistance du béton coulé en place → $F_{c28} = 27 \text{ MPa}$
- Contrainte limite de compression d'acier (Préfabrication) :
 $\bar{\sigma}_{bc} = 0,6 \times F_{c28} = 21 \text{ MPa}$
- Contrainte limite de compression d'acier (Bétonnage sur place) :
 $\bar{\sigma}_{bc} = 0,6 \times F_{c28} = 16.2 \text{ MPa}$
- Contrainte limite de traction d'acier (Préfabrication) :
 $\bar{\sigma}_{st} = \xi = \min \left\{ \frac{2}{3} F_e; \max(0,5 \cdot F_e; 110 \sqrt{\eta \cdot F_{c28}}) \right\} = 228,6 \text{ MPa}$
- Contrainte limite de traction d'acier (Bétonnage sur place) :
 $\bar{\sigma}_{st} = \xi = \min \left\{ \frac{2}{3} F_e; \max(0,5 \cdot F_e; 110 \sqrt{\eta \cdot F_{c28}}) \right\} = 207.3 \text{ MPa}$
- $F_e = 400 \text{ MPa}$
- $n = 15$
- $\eta = 1,6$

Tableau 91 : Calcul du ferrailage à l'E.L.S MDS TYPE-1-partie non couverte

Eléments	b (m)	h (m)	Ms (KN.m)	Ts (KN)	Ns (KN)	Ast (cm ² /ml)	σ_{bc} (MPa)	σ_{st} (MPa)	Ast adoptée (cm ² /ml)
Montant 35MPa	1,00	0,65	403,2622	173,134	-76,319	31,0	7.67<21	228,4<228.6	34.36 (7T25)
Patin.MDS 35MPa	1,00	0,65	403,2622	76,031	0	32,5	7.42<21	228.4<228.6	34.36 (7T25)
Radier coulé sur place 27MPa	1,00	0,60	- □98,5187	41,762	0	9.20	3.39<16.2	204.8<207.3	10.78 (7T14)

✓ Armatures de répartitions de la partie non-couverte/M.D.S TYPE-1 :

On peut déterminer les armatures de répartitions à partir de la formule :

$$\checkmark A_{Sr} = \frac{A_{st}}{4} \quad (\text{Règles BAEL 91 modifiées 99})$$

Tableau 92 : Calcul des armatures de répartitions MDS TYPE-1-Partie non couverte

Eléments	b (m)	h (m)	Ast (cm ² /ml)	Ast adoptée (cm ² /ml)	Asr Calculée (cm ² /ml)	Asr/ml adoptée (cm ² /ml)	Esp e (cm)
Montant 35MPa	1,00	0,65	31,0	34.36 (7T25)	8,59	9.24 (6T14)	14
Patin.MDS 35MPa	1,00	0,65	32,5	34.36 (7T25)	8,59	9.24 (6T14)	14
Radier coulé sur place 27MPa	1,00	0,60	9.20	10.78 (7T14)	2,70	3.02 (6T8)	15



✓ **Ferrailage choisi de la partie non-couverte/M.D.S TYPE-1 :**

Tableau 93 : Ferrailage choisi pour MDS TYPE-1-partie non couverte

Eléments	Ast à l'E.L.U Fond. (cm ² /ml)	Ast à l'E.L.U Accid. (cm ² /ml)	Section retenue (cm ² /ml)	Ast à l'E.L.S (cm ² /ml)	Ast la plus défav. (cm ² /ml)	Ast/élément (cm ²)	Ast/élément Choisie (cm ²)	σ_{bc} (MPa)	σ_{st} (MPa)	Esp e (cm)
Montant 35MPa	28.1	22,80	A _{st} 28.10	31,0	31,0	62.00	68.72 (14T25)	7.41<21	207.3<228.6	11
Patin MDS 35MPa	26,64	21,83	A _{st} 26.64	32,5	32,5	65.00	68.72 (14T25)	7.28<21	216.6<228.6	11
Radier coulé sur place 27MPa	7,13	0,31	A _{min} 7,66	9.20	9.20	18.40	21.55 (14T14)	3.17<21	175.7<207.3	12.5

De la même façon qu'on a calculé le ferrailage du M.D.S Type-1 à partir des efforts maximaux tirés de la modélisation par **SAP2000v14**, on calcule le ferrailage des M.D.S **Type-2 (5m70)** et **Type-3 (4m30)**, et les résultats sont présentés sur les tableaux suivants :

9.5. Calcul du ferrailage de la Partie Non-Couverte : M.D.S TYPE-2 (SOCOTEC) :

✓ **Ferrailage à l'E.L.U Fondamental :**

Avec : $\gamma_s = 1.15$; $\gamma_b = 1.5$ d'après : (Règles BAEL 91 modifiées 99)

Tableau 94 : Calcul du ferrailage à l'E.L.U Fondamental MDS TYPE-2-partie non couverte

Eléments	b (m)	h (m)	Mu (KN.m)	Tu (KN)	Nu (KN)	Ast (cm ² /ml)	Ast adoptée (cm ² /ml)
Montant 35MPa	1,00	0,50	335.8769	169.457	-87.210	20.68	21.99 (7T20)
Patin.MDS 35MPa	1,00	0,50	335.8769	86.291	0	21.94	21.99 (7T20)
Radier coulé sur place 27MPa	1,00	0,45	-153.707	52.721	0	11.13	14.07 (7T16)

✓ **Ferrailage à l'E.L.U Accidentel :**

Avec : $\gamma_s = 1$; $\gamma_b = 1.15$ d'après : (Règles BAEL 91 modifiées 99)

Tableau 95 : Calcul du ferrailage à l'E.L.U Accidentel MDS TYPE-2-partie non couverte

Eléments	b (m)	h (m)	Mu (KN.m)	Tu (KN)	Nu (KN)	Ast (cm ² /ml)	Ast adoptée (cm ² /ml)
Montant 35MPa	1,00	0,50	330,6212	155.413	-64.600	17.47	18.85 (6T20)
Patin.MDS 35MPa	1,00	0,50	330.6212	65.989	0	18.56	18.85 (6T20)
Radier coulé sur place 27MPa	1,00	0,45	-36.2033	16.796	0	2.22	3.02 (6T8)



✓ **Condition de non-fragilité de la partie non-couverte/M.D.S TYPE 2 :**

On rappelle que :

✓ $A_{min} \geq 0,23 \times b \times d \times \frac{f_{tj}}{f_e}$ (Règles BAEL 91 modifiées 99)

✓ Résistance du béton (Préfabrication) à la traction :

$f_{tj} = 0,6 + 0,06 \times f_{cj} = 2,7 \text{ MPa}$

✓ Résistance du béton (Bétonnage sur place) à la traction :

$f_{tj} = 0,6 + 0,06 \times f_{cj} = 2,22 \text{ MPa}$

Tableau 96 : Section retenue d'après la condition de non-fragilité-MDS TYPE-2-partie non couverte

Eléments	Hauteur d (m)	Largeur b (m)	Ast à l'E.L.U Fond. (cm ² /ml)	Ast à l'E.L.U Acc. (cm ² /ml)	Ast la plus défav. (cm ² /ml)	A _{min} Calculée (cm ² /ml)	Comparaison	Section retenue
Montant 35MPa	1,00	0,50	20.68	17.47	20.68	7,76	A _{st} > A _{min}	A _{st}
Patin.MDS 35MPa	1,00	0,50	21.94	18.56	21.94	7,76	A _{st} > A _{min}	A _{st}
Radier coulé sur place 27MPa	1,00	0,45	11.13	2.22	11.13	5,74	A _{st} > A _{min}	A _{st}

✓ **Ferraillage à l'E.L.S :**

- La fissuration est considérée **préjudiciable**

Tableau 97 : Calcul du ferraillage à l'E.L.U Accidentel MDS TYPE-2-partie non couverte

Eléments	b (m)	h (m)	Ms (KN.m)	Ts (KN)	Ns (KN)	Ast (cm ² /ml)	σ_{bc} (MPa)	σ_{st} (MPa)	Ast adoptée (cm ² /ml)
Montant 35MPa	1,00	0,50	249.5371	125.794	-64.600	25.5	8.1 < 21	228.3 < 228.6	28.27 (9T20)
Patin.MDS 35MPa	1,00	0,50	249.5371	63.653	0	26.8	7.83 < 21	228.3 < 228.6	28.27 (9T20)
Radier coulé sur place 27MPa	1,0	0,45	-115.0102	39.424	0	14.95	5.38 < 16.2	207 < 207.3	15.71 (5T20)



✓ **Armatures de répartitions de la partie non couverte/M.D.S TYPE-2 :**

On peut déterminer les armatures de répartitions à partir de la formule :

✓ $A_{sr} = \frac{A_{st}}{4}$ (Règles BAEL 91 modifiées 99)

Tableau 98 : Calcul des armatures de répartitions MDS TYPE-2-Partie non couverte

Eléments	b (m)	h (m)	Ast (cm ² /ml)	Ast adoptée (cm ² /ml)	Asr Calculée (cm ² /ml)	Asr/ml adoptée (cm ² /ml)	Esp/éléme (cm)
Montant 35MPa	1,00	0,50	25.5	28.27 (9T20)	7,07	7.07 (9T10)	10
Patin.MDS 35MPa	1,00	0,50	26.8	28.27 (9T20)	7,07	7.07 (9T10)	10
Radier coulé sur place 27MPa	1,00	0,45	14.95	15.71 (5T20)	3,93	3.93 (5T10)	17

✓ **Ferraillage choisi de le partie non-couverte/M.D.S TYPE-2 :**

Tableau 99 : Ferraillage choisi pour MDS TYPE-2-partie non couverte

Eléments	Ast à l'E.L.U Fond. (cm ² /ml)	Ast à l'E.L.U Accid. (cm ² /ml)	Section retenue (cm ² /ml)	Ast à l'E.L.S (cm ² /ml)	Ast la plus défav. (cm ² /ml)	Ast/élé m (cm ²)	Ast/élé m Choisie (cm ²)	σ_{bc} (MPa)	σ_{st} (MPa)	Esp e (cm)
Montant 35MPa	20.68	17.47	A _{st} 20.68	25.5	25.5	51.00	54.00 (11T25)	7.82<21	207.2<228.6	15
Patin. MDS 35MPa	21.94	18.56	A _{st} 21.94	26.8	26.8	53.60	54.00 (11T25)	7.69<21	217<228.6	15
Radier coulé sur place 27MPa	11.13	2.22	A _{st} 11.13	14.95	14.95	29.90	34.56 (11T20)	5.28<16.2	197.4<207.3	15.5



9.6. Calcul du ferrailage de la Partie Non-Couverte : M.D.S TYPE-3 (SOCOTEC) :

✓ Ferrailage à l'E.L.U Fondamental :

Avec : $\gamma_s = 1.15$; $\gamma_b = 1.5$ d'après : (Règles BAEL 91 modifiées 99)

Tableau 100 : Calcul du ferrailage à l'E.L.U Fondamental MDS TYPE-3-partie non couverte

Eléments	b (m)	h (m)	Mu (KN.m)	Tu (KN)	Nu (KN)	Ast (cm ² /ml)	Ast adoptée (cm ² /ml)
Montant 35MPa	1,00	0.35	154.9707	101.717	-62.024	14.1	15.71 (5T20)
Patin.MDS 35MPa	1,00	0.35	54.9707	57.990	0	15.03	15.71 (5T20)
Radier coulé sur place 27MPa	1,00	0.35	-226.6884	67.837	0	23.02	24.54 (5T25)

✓ Ferrailage à l'E.L.U Accidentel :

Avec : $\gamma_s = 1$; $\gamma_b = 1.15$ d'après : (Règles BAEL 91 modifiées 99)

Tableau 101 : Calcul du ferrailage à l'E.L.U Accidentel MDS TYPE-3-partie non couverte

Eléments	b (m)	h (m)	Mu (KN.m)	Tu (KN)	Nu (KN)	Ast (cm ² /ml)	Ast adoptée (cm ² /ml)
Montant 35MPa	1,00	0.35	161.2401	97.866	-45.944	12.86	14.07 (7T16)
Patin.MDS 35MPa	1,00	0.35	161.2401	45.629	0	13.47	14.07 (7T16)
Radier coulé sur place 27MPa	1,00	0.35	-53.2480	19.170	0	4.36	5.50 (7T10)

✓ Condition de non-fragilité de la partie non-couverte/M.D.S TYPE 3 :

On rappelle que :

✓ $A_{min} \geq 0,23 \times b \times d \times \frac{f_{tj}}{f_e}$ (Règles BAEL 91 modifiées 99)

✓ Résistance du béton (Préfabrication) à la traction :

$$f_{tj} = 0,6 + 0,06 \times f_{cj} = 2,7 \text{ MPa}$$

✓ Résistance du béton (Bétonnage sur place) à la traction :

$$f_{tj} = 0,6 + 0,06 \times f_{cj} = 2,22 \text{ MPa}$$



Tableau 102 : Section retenue d'après la condition de non-fragilité-MDS TYPE-3-partie non couverte

Eléments	Hauteur d (m)	Largeur b (m)	Ast à l'E.L.U Fond. (cm ² /ml)	Ast à l'E.L.U Acc. (cm ² /ml)	Ast la plus défav. (cm ² /ml)	A _{min} Calculée (cm ² /ml)	Comparaison	Section retenue
Montant 35MPa	1,00	0.35	14.1	12.86	14.1	5.43	A _{st} > A _{min}	A _{st}
Patin.MDS 35MPa	1,00	0.35	15.03	13.47	15.03	5.43	A _{st} > A _{min}	A _{st}
Radier coulé sur place 27MPa	1,00	0.35	23.02	4.36	23.02	4.47	A _{st} > A _{min}	A _{st}

- ✓ **Ferraillage à l'E.L.S :**
- La fissuration est considérée **préjudiciable**

Tableau 103 : Calcul du ferraillage à l'E.L.S MDS TYPE-3-partie non couverte

Eléments	b (m)	h (m)	Ms (KN.m)	Ts (KN)	Ns (KN)	Ast (cm ² /ml)	σ _{bc} (MPa)	σ _{st} (MPa)	Ast adoptée (cm ² /ml)
Montant 35MPa	1,00	0.35	115.2128	75.549	-45.944	17.4	8.18<21	228.4<228.6	18.85 (6T20)
Patin.MDS 35MPa	1,00	0.35	115.2128	42.556	0	18.5	7.89<21	226.8<228.6	18.85 (6T20)
Radier coulé sur place 27MPa	1,0	0.35	-169.748	50.742	0	30.7	9.85<16.2	207.1<207.3	18.85+12.06 (6T20+6T16)

- ✓ **Armatures de répartitions de la partie non couverte/M.D.S TYPE-3 :**

On peut déterminer les armatures de répartitions à partir de la formule :

$$A_{sr} = \frac{A_{st}}{4} \quad (\text{Règles BAEL 91 modifiées 99})$$

Tableau 104 : Calcul des armatures de répartitions MDS TYPE-3-Partie non couverte

Eléments	b (m)	h (m)	Ast (cm ²)	Ast adoptée (cm ² /ml)	Asr Calculée (cm ² /ml)	Asr/ml adoptée (cm ² /ml)	Esp e (cm)
Montant 35MPa	1,00	0.35	17.4	18.85 (6T20)	4.71	4.71 (6T10)	15
Patin.MDS 35MPa	1,00	0.35	18.5	18.85 (6T20)	4.71	4.71 (6T10)	15
Radier coulé sur place 27MPa	1,00	0.35	30.7	18.85+12.06 (6T20+6T16)	7.73	7.92 (7T12)	12



✓ **Ferrailage choisi de la partie non-couverte/M.D.S TYPE-3 :**

Tableau 105 : Ferrailage choisi pour MDS TYPE-3-partie non couverte

Eléments	Ast à l'E.L.U Fond. (cm ² /ml)	Ast à l'E.L.U Accid. (cm ² /ml)	Section retenue (cm ² /ml)	Ast à l'E.L.S (cm ² /ml)	Ast la plus défav. (cm ² /ml)	Ast/élém (cm ²)	Ast/élém Choisie (cm ²)	σ_{bc} (MPa)	σ_{st} (MPa)	Esp e (cm)
Montant 35MPa	14.1	12.86	A_{st} 14.10	17.4	17.4	34.8	37.70 (12T20)	7.96<21	211.8<228.6	14
Patin. MDS 35MPa	15.03	13.47	A_{st} 15.03	18.5	18.5	37.0	37.70 (12T20)	7.84<<21	222.8<228.6	14
Radier coulé sur place 27MPa	23.02	4.36	A_{st} 23.02	30.7	30.7	61.4	37.70+24.13 (12T20 +12T16)	9.83<16.2	205.8<207.3	14

Important :

Les plans de coffrages et de ferrillages sont sur ***l'Annexe B***



9.7. Vérification du ferrailage choisi :

Le diamètre maximal des barres ne doit pas dépasser la valeur suivante :

$$\varnothing_{max} \leq \frac{h}{10}$$

(Règles BAEL 91 modifiées 99)

Avec : **h** : la hauteur de l'élément considéré

Tableau 106 : Vérification du ferrailage choisi des éléments de la trémie

Elément considéré	b (m)	h (m)	\varnothing_{max} (cm)	h/10 (cm)	Condition $\varnothing_{max} \leq \frac{h}{10}$
Partie Couverte					
Dalle (Mi-Travée) 35MPa	1,00	0,40	2.5	4.0	Condition vérifiée
Dalle (Extrémité) 35MPa	1,00	0,60	2.5	6.0	Condition vérifiée
Montant (Section supérieure) 35MPa	1,00	0,60	2.0	6.0	Condition vérifiée
Montant (Section inférieure) 35MPa	1,00	0,50	2.5	5.0	Condition vérifiée
Patin.Piédroit 35MPa	1,00	0,70	2.5	7.0	Condition vérifiée
Radier coulé sur place 27MPa	1,00	0,40	2.5	4.0	Condition vérifiée
Partie Non-Couverte (M.D.S TYPE-1)					
Montant 35MPa	1,00	0.35	2.5	3.5	Condition vérifiée
Patin.MDS 35MPa	1,00	0.35	2.5	3.5	Condition vérifiée
Radier coulé sur place 27MPa	1,00	0.35	1.4	3.5	Condition vérifiée
Partie Non-Couverte (M.D.S TYPE-2)					
Montant 35MPa	1,00	0.35	2.0	3.5	Condition vérifiée
Patin.MDS 35MPa	1,00	0.35	2.0	3.5	Condition vérifiée
Radier coulé sur place 27MPa	1,00	0.35	2.0	3.5	Condition vérifiée
Partie Non-Couverte (M.D.S TYPE-3)					
Montant 35MPa	1,00	0.35	2.0	3.5	Condition vérifiée
Patin.MDS 35MPa	1,00	0.35	2.0	3.5	Condition vérifiée
Radier coulé sur place 27MPa	1,00	0.35	2.0	3.5	Condition vérifiée



9.8. Espacements maximaux :

Les espacements maximaux des armatures principales sont déterminés d'après le règlement (*Règles BAEL 91 modifiées 99*) selon le type de fissuration adopté.

Donnée par la condition suivante :

$Esp \leq \text{Min}(2h, 25\text{cm})$ → Fissuration **préjudiciable**

Tableau 107 : Espacements maximaux des armatures principales des éléments de la trémie

Elément considéré	b (m)	h (m)	Esp calculé (cm)	Esp max= Min(2h,25cm)	Condition $Esp \leq \text{Min}(2h, 25\text{cm})$
Partie Couverte					
Dalle (Mi-Travée) 35MPa	1,00	0,40	13	25	Condition vérifiée
Dalle (Extrémité) 35MPa	1,00	0,60	13	25	Condition vérifiée
Montant (Section supérieure) 35MPa	1,00	0,60	13.5	25	Condition vérifiée
Montant (Section inférieure) 35MPa	1,00	0,50	13	25	Condition vérifiée
Patin. Piédroit 35MPa	1,00	0,70	13	25	Condition vérifiée
Radier coulé sur place 27MPa	1,00	0,40	13	25	Condition vérifiée
Partie Non-Couverte (M.D.S TYPE-1)					
Montant 35MPa	1,00	0.35	10.5	25	Condition vérifiée
Patin.MDS 35MPa	1,00	0.35	10.5	25	Condition vérifiée
Radier coulé sur place 27MPa	1,00	0.35	12	25	Condition vérifiée
Partie Non-Couverte (M.D.S TYPE-2)					
Montant 35MPa	1,00	0.35	8.5	25	Condition vérifiée
Patin.MDS 35MPa	1,00	0.35	8.5	25	Condition vérifiée
Radier coulé sur place 27MPa	1,00	0.35	16.5	25	Condition vérifiée
Partie Non-Couverte (M.D.S TYPE-3)					
Montant 35MPa	1,00	0.35	13.5	25	Condition vérifiée
Patin.MDS 35MPa	1,00	0.35	13.5	25	Condition vérifiée
Radier coulé sur place 27MPa	1,00	0.35	13.5	25	Condition vérifiée



9.9. Justification des armatures d'effort tranchant :

Aucune armature d'effort tranchant n'est requise si les conditions suivantes sont remplies :

- ❖ La pièce considérée est bétonnée sans reprise sur toute son épaisseur (C.V)
- ❖ La contrainte de cisaillement ne dépasse pas la limite suivante :

$$\tau_u = \frac{T_u}{b \times d} \leq 0.05 f_{cj}$$

(Règles BAEL 91 modifiées 99)

Tableau 108 : Justification des armatures d'effort tranchant

Elément considéré	Largeur b (m)	Hauteur d (m)	Effort Tu [KN]	τ_u (MPa)	$0.05 f_{c28}$	Condition $\tau_u = \frac{T_u}{b \times d} \leq 0.05 f_{cj}$
Partie Couverte						
Dalle (Mi-Travée) 35MPa	1,00	0,40	-81,0062	0.20	1.75	Condition vérifiée
Dalle (Extrémité) 35MPa	1,00	0,60	262,654	0.44	1.75	Condition vérifiée
Montant (Section supérieure) 35MPa	1,00	0,60	126,091	0.21	1.75	Condition vérifiée
Montant (Section inférieure) 35MPa	1,00	0,50	-596,569	1.19	1.75	Condition vérifiée
Patin Piédroit 35MPa	1,00	0,70	-326,324	0.47	1.75	Condition vérifiée
Radier coulé sur place (27MPa)	1,00	0,40	-86,514	0.22	1.35	Condition vérifiée
Partie Non-Couverte (M.D.S TYPE-1)						
Montant 35MPa	1,00	0.35	223,298	0.64	1.75	Condition vérifiée
Patin.MDS 35MPa	1,00	0.35	103,035	0.30	1.75	Condition vérifiée
Radier coulé sur place (27MPa)	1,00	0.35	55,906	0.16	1.35	Condition vérifiée
Partie Non-Couverte (M.D.S TYPE-2)						
Montant 35MPa	1,00	0.50	169.457	0.34	1.75	Condition vérifiée
Patin.MDS 35MPa	1,00	0.50	86.291	0.17	1.75	Condition vérifiée
Radier coulé sur place (27MPa)	1,00	0.45	52.721	0.12	1.35	Condition vérifiée
Partie Non-Couverte (M.D.S TYPE-3)						
Montant 35MPa	1,00	0.35	101.717	0.29	1.75	Condition vérifiée
Patin.MDS 35MPa	1,00	0.35	57.990	0.17	1.75	Condition vérifiée
Radier coulé sur place (27MPa)	1,00	0.35	67.837	0.19	1.35	Condition vérifiée

Remarque :

Les deux conditions sont vérifiées ce qui nous permet d'en déduire que les armatures d'effort tranchant ne sont pas nécessaires.



10. Etude comparative des aciers :

10.1. Notre étude :

Tableau 109 : Quantité d'acier des piédroits latéraux-(Notre étude)

∅	T6	T8	T10	T12	T14	T16	T20	T25	T32	Poids total (Kg)
Long (m)	48,480	47,750	95,090	27,220	15,280	0,000	0,000	109,200	0,000	-
Coeff.	0,222	0,395	0,617	0,888	1,208	1,578	2,466	3,854	6,313	-
Qu (Kg)	10,763	18,861	58,671	24,171	18,458	0,000	0,000	420,857	0,000	551,781
Nbres des piédroits = 56 unités.										30 899,72

Tableau 110 : Quantité d'acier des éléments supérieurs-(Notre étude)

∅	T6	T8	T10	T12	T14	T16	T20	T25	T32	Poids total (Kg)
Long (m)	128,640	0,000	187,090	52,120	310,990	50,640	0,000	214,080	0,000	-
Coeff.	0,222	0,395	0,617	0,888	1,208	1,578	2,466	3,854	6,313	-
Qu (Kg)	28,558	0,000	115,435	46,283	375,676	79,910	0,000	825,064	0,000	1470,925
Nbres des éléments sup = 28 unités.										41 185,91

Tableau 111 : Quantité d'acier des MDS Type-1-(Notre étude)

∅	T6	T8	T10	T12	T14	T16	T20	T25	T32	Poids total (Kg)
Long (m)	108,660	0,000	188,890	0,000	99,320	0,000	0,000	198,800	0,000	-
Coeff.	0,222	0,395	0,617	0,888	1,208	1,578	2,466	3,854	6,313	-
Qu (Kg)	24,123	0,000	116,545	0,000	119,979	0,000	0,000	766,175	0,000	1026,821
Nbres des MDS-T1 = 106 unités.										108 843,07

Tableau 112 : Quantité d'acier des MDS Type-2-(Notre étude)

∅	T6	T8	T10	T12	T14	T16	T20	T25	T32	Poids total (Kg)
Long (m)	77,720	106,960	193,53	0,000	0,000	0,000	0,000	150,360	0,000	-
Coeff.	0,222	0,395	0,617	0,888	1,208	1,578	2,466	3,854	6,313	-
Qu (Kg)	17,254	42,249	119,41	0,000	0,000	0,000	0,000	579,487	0,000	758,398
Nbres des MDS-T2 = 44 unités.										33 369,53

Tableau 113 : Quantité d'acier des MDS Type-3-(Notre étude)

∅	T6	T8	T10	T12	T14	T16	T20	T25	T32	Poids total (Kg)
Long (m)	82,08	116,51	162,600	23,160	0,000	0,000	110,400	0,000	0,000	-
Coeff.	0,222	0,395	0,617	0,888	1,208	1,578	2,466	3,854	6,313	-
Qu (Kg)	18,22	46,021	100,324	20,566	0,000	0,000	272,246	0,000	0,000	457,380
Nbres des MDS-T3 = 100 unités.										45 737,99

Nous avons trouvé que la quantité d'acier des éléments préfabriqués selon notre étude vaut : **260 036,23 Kg**



10.2. Etude réalisée par SEROR :

Tableau 114 : Quantité d'acier des piédroits latéraux-(Etude SEROR)

∅	T6	T8	T10	T12	T14	T16	T20	T25	T32	Poids total (Kg)
Long (m)	0,000	81,120	67,320	40,680	0,000	40,170	44,880	31,500	31,380	-
Coeff.	0,222	0,395	0,617	0,888	1,208	1,578	2,466	3,854	6,313	-
Qu (Kg)	0,000	32,042	41,536	36,124	0,000	63,388	110,674	121,401	198,102	603,268
Nbres des piédroits = 56 unités.										33 783,01

Tableau 115 : Quantité d'acier des éléments supérieurs-(Etude SEROR)

∅	T6	T8	T10	T12	T14	T16	T20	T25	T32	Poids total (Kg)
Long (m)	0,000	120,720	115,340	132,360	282,620	166,570	273,200	0,000	108,480	-
Coeff.	0,222	0,395	0,617	0,888	1,208	1,578	2,466	3,854	6,313	-
Qu (Kg)	0,000	47,684	71,165	117,536	341,405	262,847	673,711	0,000	684,834	2199,183
Nbres des Elements sup = 28 unités.										61 577,12

Tableau 116 : Quantité d'acier des MDS Type-1-(Etude SEROR)

∅	T6	T8	T10	T12	T14	T16	T20	T25	T32	Poids total (Kg)
Long (m)	0,000	0,000	198,450	0,000	30,740	204,180	34,380	92,400	0,000	-
Coeff.	0,222	0,395	0,617	0,888	1,208	1,578	2,466	3,854	6,313	-
Qu (Kg)	0,000	0,000	122,444	0,000	37,134	322,196	84,781	356,110	0,000	922,664
Nbres des MDS-T1 = 106 unités.										97 802,41

Tableau 117 : Quantité d'acier des MDS Type-2-(Etude SEROR)

∅	T6	T8	T10	T12	T14	T16	T20	T25	T32	Poids total (Kg)
Long (m)	0,000	0,000	174,530	23,650	171,180	79,530	0,000	0,000	0,000	-
Coeff.	0,222	0,395	0,617	0,888	1,208	1,578	2,466	3,854	6,313	-
Qu (Kg)	0,000	0,000	107,685	21,001	206,785	125,498	0,000	0,000	0,000	460,970
Nbres des MDS-T2 = 44 unités.										20 282,68

Tableau 118 : Quantité d'acier des MDS Type-3-(Etude SEROR)

∅	T6	T8	T10	T12	T14	T16	T20	T25	T32	Poids total (Kg)
Long (m)	0,000	95,040	128,640	136,320	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-
Coeff.	0,222	0,395	0,617	0,888	1,208	1,578	2,466	3,854	6,313	-
Qu (Kg)	0,000	37,541	79,371	121,052	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	237,964
Nbres des MDS-T3 = 100 unités.										23 796,38

Selon l'étude qui a été réalisée par la **SEROR**, la quantité d'acier du ferrailage des éléments préfabriqués est de : **237 241,60 Kg**



10.3. Interprétation des résultats :

L'étude qui a été faite au sein de la **SEROR** nécessite moins de quantité d'acier, par contre notre étude a prouvé une quantité plus élevée d'acier de préfabrication d'une différence de **22 794.63 Kg**, soit un pourcentage de **8.76 %** de la quantité calculée.

Conclusion :

Après modélisation du modèle géométrique de notre ouvrage, nous avons obtenus des résultats par la déformation de la structure, donnés par l'allure des diagrammes des moments fléchissants, des efforts tranchants et des efforts axiaux. Ces résultats injectés dans le logiciel de calcul de sections d'armatures « **SOCOTEC v1.02** » nous ont permis d'avoir un ferrailage qui répond aux normes et vérifie les conditions de contraintes soulevées, donc assurer une stabilité au niveau de la structure soumise aux charges et surcharges qui lui sont appliquées.

Le ferrailage est calculé de telle façon à ce que la structure soit stable, les usagés soient en sécurité, et la dépense soit technico-économique, donc répondre aux exigences fondamentales :

- ✓ Qualité
- ✓ Coût
- ✓ Sécurité
- ✓ Confort



Chapitre 4
Management de projet
(Variante retenue)





Contenu (Chapitre 04)

Management de projet (Variante retenue)

INTRODUCTION :	- 129 -
1. Qu'est-ce qu'un projet ? :	- 130 -
2. Les caractéristiques d'un projet :	- 130 -
3. Définition du management de projet :	- 130 -
4. Cycle de vie d'un projet :	- 131 -
4.1. Définition :	- 131 -
4.2. Cas pratique :	- 132 -
5. Les parties prenantes :	- 132 -
5.1. Définition :	- 132 -
5.2. Cas pratique :	- 132 -
6. Planification du projet :	- 133 -
6.1. Définition :	- 133 -
6.2. Management du contenu du projet :	- 134 -
6.2.1. Définitions utiles :	- 134 -
6.3. Le management des délais du projet :	- 135 -
6.3.1. Qu'est-ce qu'un diagramme de Gantt ?	- 135 -
6.3.2. Cas pratique :	- 136 -
6.4. Management des coûts du projet :	- 136 -
6.4.1. Définition du management des coûts du projet :	- 136 -
6.4.2. Cas pratique :	- 136 -
7. Management des risques :	- 140 -
7.1.1. Qu'est-ce qu'un Aléa ?	- 140 -
7.1.2. Qu'est-ce qu'une vulnérabilité ?	- 140 -
7.1.3. Qu'est-ce qu'un risque ?	- 140 -
7.1.4. Quels sont les types de risques ?	- 141 -
7.1.5. Définition du management des risques :	- 141 -
7.1.6. Processus du management de risque :	- 141 -
7.1.7. Appréciation du risque :	- 142 -
7.1.8. Identification des risques :	- 142 -
7.1.9. Analyse des risques :	- 143 -
7.1.10. Evaluation des risques :	- 145 -
7.1.11. Traitement des risques :	- 149 -
Conclusion :	- 150 -





INTRODUCTION :

Les projets font face à des changements plus rapides, et plus complexes que jamais.

Etre capable de produire des résultats sur de multiples changements, permet de prospérer dans le paysage instable. Alors comment peut-on réussir à atteindre les objectifs de notre projet tout en respectant les exigences du triangle d'or (Coût, Délai et performance) ?

C'est pourquoi, nous nous concentrons sur l'application de deux aspects de management, le management de projet et son processus appliqué sur la variante retenue à travers l'analyse multicritères, et le management de risque qui se penche principalement sur les risques qui peuvent affectés nos objectifs.

Nous présentons dans ce chapitre le processus de planification de projet qui se résume à manager le contenu du projet, ses délais et coûts.

Par la suite, les notions élémentaires concernant les risques sont définies, après nous passons au processus de management du risque en se basant principalement sur **04** étapes, l'identification, l'analyse, l'évaluation et le traitement, et enfin nous appliquons ce processus sur la variante retenue par l'analyse multicritère.



1. Qu'est-ce qu'un projet ? :

Le terme de «projet» a été employé pour la première fois au 16^{ème} siècle et vient du latin 'projicere', qui veut dire «jeter en avant». Sa racine latine évoque un mouvement, une trajectoire et un rapport à l'espace et au temps. Le processus impliqué est le suivant

- Un point de départ.
- sur lequel on se base.
- pour se lancer en avant.
- vers un but.

Un projet est un effort unique, non répétitif, exercé dans le but d'assurer des besoins spécifiques des clients. Il a des exigences en matière de temps et de coût.

(Guillotte et Charbonneau, 2014)

'Un projet est une entreprise temporaire décidée dans le but de créer un résultat unique, produit ou service.'

(PMI-PMBOK)

Un projet est un ensemble d'activités coordonnées et maîtrisées comportant des dates des dates de début et de fin, entrepris dans le but d'atteindre un objectif conforme à des exigences spécifiques.

(Afnor X50-11)

2. Les caractéristiques d'un projet :

Les projets sont :

- Réalistes
- Limités dans le temps et dans l'espace.
- Complexes (faire appel à plusieurs diverses compétences).
- Collectifs
- Uniques
- Peuvent être évalués
- Constitués de plusieurs phases.

(Bekkouche, A, Engineering Management)

3. Définition du management de projet :

Le management de projet est un processus qui utilise les ressources nécessaires (humaines, matériels) afin d'atteindre les objectifs d'une entreprise.

Le management de projet est l'application de connaissances, de compétence, d'outils et de techniques aux activités d'un projet afin d'en satisfaire les exigences.

(Project management institute, 2008)



4. Cycle de vie d'un projet :

4.1. Définition :

Le cycle de vie d'un projet est la période qui s'écoule de la naissance d'une idée jusqu'à sa concrétisation. En général la structure du cycle de vie de tous les projets qu'ils soient de grande ou de petite taille, simples ou complexes, elles contiennent **04** étapes :

- La définition du projet ou dite aussi : phase de conception
- la planification
- L'exécution
- la clôture

La figure 1 présentée ci-dessous illustre un cycle de vie typique d'un projet.

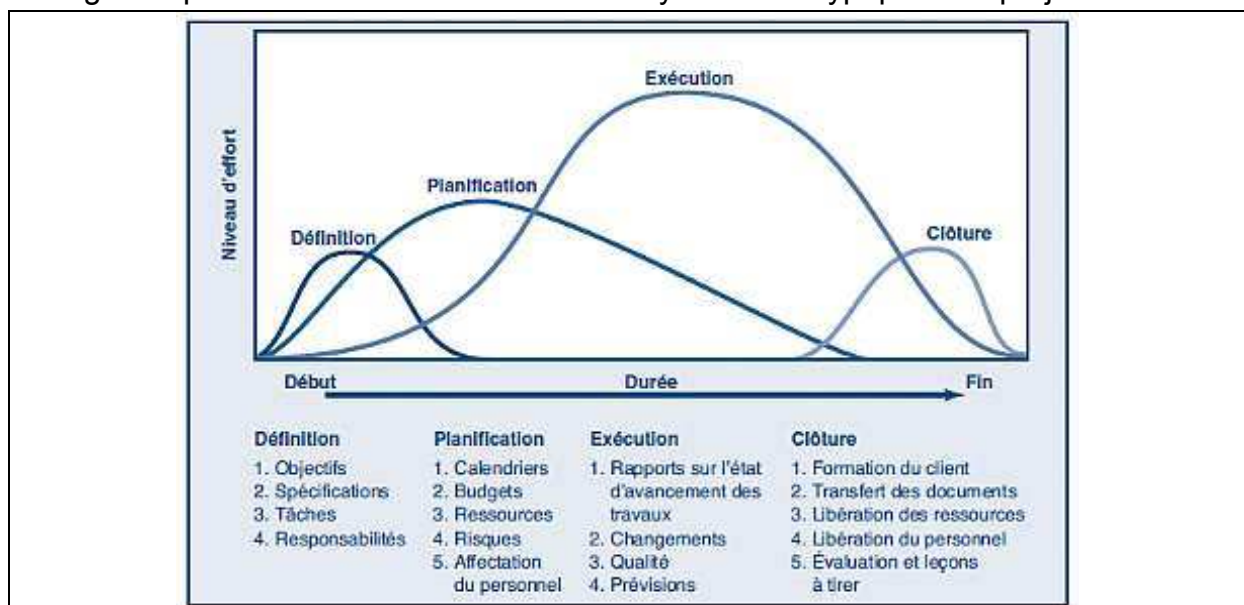


Figure 1 : cycle de vie d'un projet

- ✓ **1^{ère} étape (définition ou phase de conception)** : cette étape consiste à définir le but et les spécifications du projet, et à estimer les ressources, coûts et délais.
- ✓ **2^{ème} étape (Planification)** : Au cours de cette étape, on doit planifier les tâches, les ressources personnelles, équipements et matériels nécessaires. Tous les types de plans (Risque, Qualité, Approvisionnement...) doivent être prêt durant cette étape.
- ✓ **3^{ème} étape (Exécutions)** : Une importante partie du travail physique du projet à lieu à cette étape, chaque plan est exécuté, pilotage des coûts, délais et spécifications. Une fois les livrables sont produits, le projet est prêt pour la clôture.
- ✓ **4^{ème} étape (Clôture)** : Cette étape comprend deux activités, la première consiste à livrer les livrables finaux au client, mettre à sa disposition la documentation.



La deuxième étape, qui est le redéploiement, de son côté, consiste à libérer les ressources et réaffecter le personnel. Au final on peut quantifier le niveau de succès du projet et identifier les leçons à retenir pour les futurs projets.

4.2. Cas pratique :

Le cycle de vie d'un projet d'une trémie est bien similaire au cycle de vie typique de tous projets de construction. Ce cycle contient plusieurs phases, ces dernières sont schématisées sur la figure suivante :

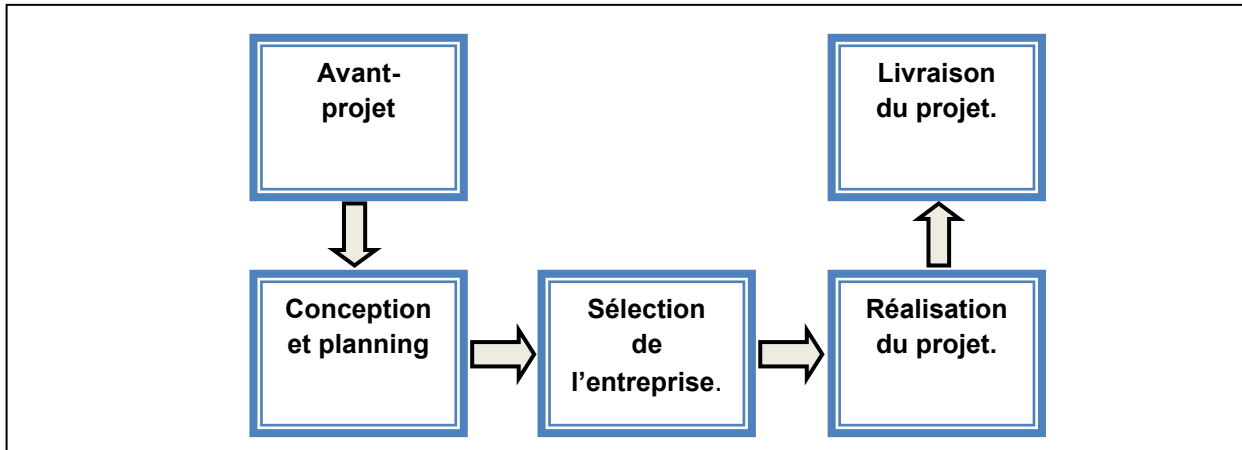


Figure 2 : cycle de vie d'un projet de construction (Trémie Ain Youcef)

5. Les parties prenantes :

5.1. Définition :

Pour cadrer son projet, il faut identifier les parties prenantes. Le terme 'PARTIE PRENANTE' désigne des personnes ou des organisations privées ou publics qui impactent ou sont impactées directement ou indirectement par le projet, et qui ont la capacité d'influencer positivement ou négativement le résultat.

Nous avons d'une part les parties prenantes internes c'est-à-dire les employés et les dirigeants, et d'autre part les parties prenantes externes.

5.2. Cas pratique :

La réussite de notre projet 'Construction d'un échangeur à Ain Youcef sur la RN22/22A' se définit comme la satisfaction des parties prenantes. Le Tableau ci-dessous présente toutes les entreprises et membres qui ont contribué à la réalisation de ce projet.



Tableau 1 : Les acteurs principaux du projet et leurs missions

Les acteurs.	Leurs missions.
Maitre d'ouvrage.	Direction des travaux publics. (DTP-Tlemcen)
Maitre d'œuvre.	Contrôle technique des travaux publics (CTTP).
Entreprise réalisatrice 01.	Société d'études et de réalisation d'ouvrages d'art de l'ouest. (SEROR)
Laboratoire géotechnique.	Laboratoire des travaux publics de l'Ouest. (LTPO)
Entreprise réalisatrice 02 (Partenaire).	Société de terrassement, d'aménagement et de revêtement routier. (STARR) : Terrassement.
Sous-traitants.	Société de panneaux de signalisation routière et de sérigraphie (SPRS) : panneaux de signalisation.
	(HABRI) Entreprise de peinture et de vitrerie : Peinture.
	SATPCO : Système de drainage de caniveau à grille.
	Entreprise Mouley Khaled : Embellissement.

6. Planification du projet :

6.1. Définition :

La planification est essentiellement un instrument de gestion, qui vise à prévoir des ressources et des services requis pour atteindre des objectifs bien précis.

Le terme ' Planification' désigne le procédé de l'identification et de la proposition des solutions ayant le potentiel de la meilleure réalisation des objectifs.

Le processus de la planification s'appuie sur quatre dimensions de management :

- Management du contenu du projet.
- Management des délais du projet.
- Management des coûts.
- L'ordonnancement des ressources (humaine ou matériel).



6.2. Management du contenu du projet :

Ce type de management, comprend les processus qui portent essentiellement sur la définition et la maîtrise de tout le travail requis pour l'achèvement du projet avec succès. Ces processus sont :

- Recueillir les exigences.
- Définir le contenu
- Créer la structure de découpage de projet.
- Vérifier le contenu
- Maîtriser le contenu.

6.2.1. Définitions utiles :

6.2.1.1. Qu'est ce-qu'une structure de découpage de projet ?

Appelé aussi Work breakdown structure, par abréviation (WBS) est un plan hiérarchique détaillé des travaux de projet à effectuer (**Voir annexe C**). Elle se présente sous forme d'organigramme, montré sur la figure ci-dessous.

(Guillotte et Charbonneau, 2014)

Le premier niveau de la WBS représente le projet entier, le second niveau présente les livrables*. Les niveaux inférieurs de la WBS sont nommés lots de travaux*.

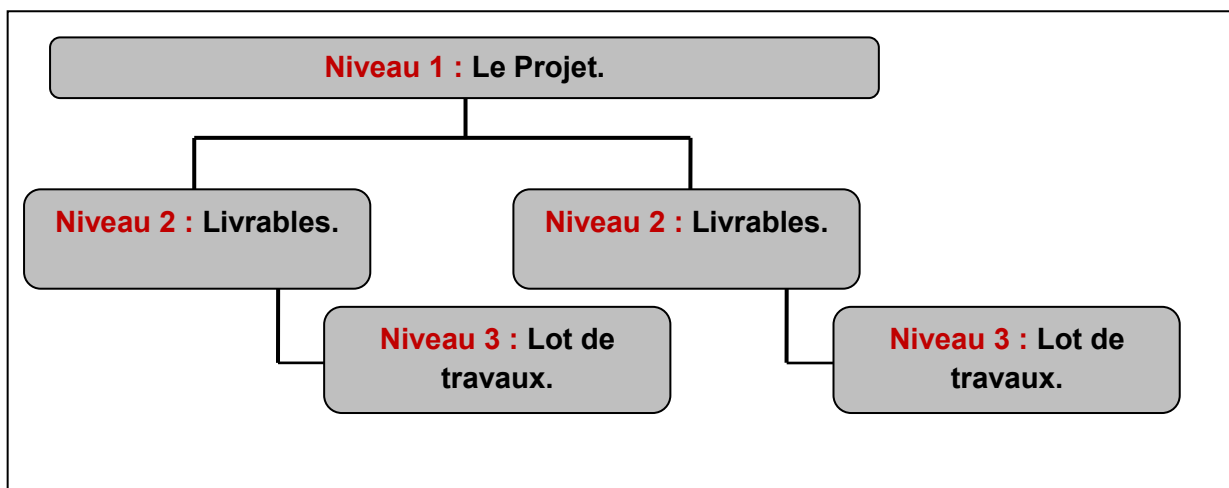


Figure 3 : Exemple d'une structure de découpage de projet

Un livrable : Tout résultat, qui résulte de l'achèvement d'une partie de projet ou du projet.

Lot de travaux : C'est un ensemble de tâches qui ont une date de début et une date de fin, et qui exigent des ressources et représentent des coûts.



6.2.1.2. Qu'est-ce qu'une matrice RACI ?

La matrice **RACI** définit les rôles et responsabilités dans un projet, cet acronyme RACI signifie :

R(Réalise) : C'est la ressource qui réalise le travail.

A(Autorité) : l'autorité pour approuver le travail de R.

C(Consulté) : Est consulté par R.

I(Informé) : Est uniquement informé par les travaux de R.

Cette matrice présente des activités en ligne et des rôles en colonne.

6.2.1.3. Cas pratique :

Le projet 'Etude technique et managériale d'une trémie sur **RN22/22A (Ain-Youcef)**' se décompose en Neuf livrables principaux. (**Voir annexe C**).

Nous avons ensuite établi une matrice de responsabilité (**Voir Matrice RACI**).

6.3. Le management des délais du projet :

Le management des délais du projet comprend les processus permettant de gérer l'achèvement du projet dans les délais prévu. Ces processus sont :

- Définir les activités
- Organiser les activités en séquences.
- Estimer les ressources nécessaires aux activités.
- Elaborer l'échéancier.
- Maîtriser l'échéancier.

6.3.1. Qu'est-ce qu'un diagramme de Gantt ?

Ce diagramme est utilisé dans le management de projet, il représente l'état d'avancement des activités qui constituent un projet. Chaque activité est matérialisée par une barre horizontale dont la longueur et la position représentent la date de début et de fin ainsi que la durée totale de cette activité. Ce diagramme nous permet de visualiser :

- Les différentes tâches du projet.
- Le début et la fin de fin de chaque tâche.
- La durée du projet dans son ensemble.
- Le chevauchement des tâches, ainsi que sa durée.



6.3.2. Cas pratique :

Nous avons établi un diagramme de Gantt grâce à l'outil MS PROJECT, qui nous a permis d'estimer un délai de **318 Jours**. (Voir annexe C).

6.4. Management des coûts du projet :

6.4.1. Définition du management des coûts du projet :

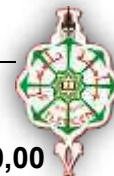
Le management des coûts comprend tous le processus relatifs à l'estimation du budget et à la maîtrise des coûts, afin d'assurer l'achèvement du projet en restant dans le budget approuvé. Ces processus sont :

- Estimer les coûts.
- Déterminer le budget.
- Maîtriser les coûts.

6.4.2. Cas pratique :

Après calcul d'une approximation des ressources monétaires nécessaires à l'accomplissement des activités du projet (Trémie sur la RN22/RN22A, Ain Youcef), nous avons établis un devis quantitatif et estimatif de l'ouvrage à l'aide de l'outil EXCEL.

Devis estimatif d'un échangeur (Trémie) sur la RN22/RN22A (Ain-Youcef)					
N°	Désignation des articles	U	Qu	P.U	Montant
1.	SECTION 1: FORFAIT				
1.1.	Amenée du matériel et installation du chantier	F	01	2 500 000,00	2 500 000,00
1.2.	Rempli du matériel et des installations du chantier	F	01	2 000 000,00	2 000 000,00
1.3.	Etude d'exécution	F	01	2 500 000,00	2 500 000,00
Sous total 1					7 000 000,00
2.	SECTION 2: OUVRAGE D'ART				
2.1.	Scarification et décapage des revêtements des chaussées existantes	M3	5 225	216,00	1 128 600,00
2.2.	Déblai en terrain meuble y/c réglage des fouilles	M3	45 000	720,00	32 400 000,00
2.3.	Déblai en terrain rocheux	M3	3 000	2 500,00	7 500 000,00
2.4.	Remblais derrière les murs de soutènements en matériaux sélectionnés	M3	3 616	1 020,00	3 688 320,00



2.5.	Assainissement axe diam 600mm y/c regards (1,5x1,5x2,5) y/c regards tous les 30m	ML	305	15 000,00	4 575 000,00
2.6.	Gros béton	M3	1 059	9 002,00	9 533 118,00
2.7.	Béton dosé à 350Kg/m3 pour clavetage et éléments de la partie couverte (U renversé , piédroits et radier) et non-couverte (MDS et Radier) y/c coffrage	M3	4 880	14 500,00	70 760 000,00
2.8.	Acier H.A en FeE400 et ronds lisses FeE24	T	642,00	117 000,00	75 114 000,00
2.9.	Corniches préfabriquées y/c coffrage et ferrailage	ML	525	9 700,00	5 092 500,00
2.10.	Enduits en flinkot	M2	4 305	450,00	1 937 250,00
2.11.	Fourniture et pose de garde-corps	ML	490	15 500,00	7 595 000,00
2.12.	Chape en béton pour dalle dosée à 250Kg/m3	M2	995	3 500,00	3 482 500,00
2.13.	Béton de profilage	M3	1 065	13 500,00	14 377 500,00
2.14.	Bordure de trottoirs	ML	720	1 500,00	1 080 000,00
2.15.	Béton de trottoir	M3	55	1 500,00	82 500,00
2.16.	Etanchéité des murs	M2	3 425	1 700,00	5 822 500,00
2.17.	Grille d'assainissement	U	12	42 400,00	508 800,00
2.18.	Béton dosé à 350Kg/m3 pour terre-plein	M3	90	13 500,00	1 215 000,00
2.19.	Traitement des joints	ML	1 515	1 114,00	1 687 710,00
Sous total 2					247 580 298,00
3	SECTION 3: CHAUSSEES				
3.1.	Décaissement des voies latérales	M3	1 300	720,00	936 000,00
3.2.	Remblais des voies latérales et autres	M3	195	1 020,00	198 900,00
3.3.	Couche de base (ép.=25cm) en grave concassée	M3	1 000	2 400,00	2 400 000,00
3.4.	Couche d'imprégnation en cut-back 0/1	M2	3 300	144,00	475 200,00
3.5.	Couche en grave bitume 0/20	T	1 200	5 400,00	6 480 000,00
3.6.	Couche de roulement en béton bitumineux 0/14 (ép.=8cm)	T	1980	6 000,00	11 880 000,00
Sous total 3					22 370 100,00
4.	SECTION 4: PEINTURE; EMBELISSEMENT DES TREMIES				
4.1.	Peinture des trémies	M2	4 640	850,00	3 944 000,00
4.2.	Eclairage de la trémie				
4.2.1.	Eclairage intérieur de la trémie				



4.2.1.1.	Fourniture et pose câbles 4x16mm ² pour alimentation projecteurs	ML	350	2 600,00	910 000,00
4.2.1.2.	Fourniture et pose de projecteurs SHP 250 W	U	50	39 000,00	1 950 000,00
4.2.1.3.	Fourniture et pose de projecteurs IM 150 W	U	40	32 500,00	1 300 000,00
4.2.2.	Eclairage extérieur de la trémie				
4.2.2.1.	Fouille en tranchée de dimension (0,40x60m) y compris mise en œuvre d'un lit de sable, grillage avertisseur et toutes sujétions de bonne exécution	M3	360	1 500,00	540 000,00
4.2.2.2.	Réalisation de traversées sur chaussées y compris mise en œuvre d'un lit de sable, grillage avertisseur et PVC de diam100=mm et toutes sujétions de bonne exécution	ML	60	2 600,00	156 000,00
4.2.2.3.	Fourniture et pose câbles pour candélabres				
	4x16mm	ML	450	1 950,00	877 500,00
	4x25mm ²	ML	600	2 600,00	1 560 000,00
	4x35mm ²	ML	300	3 250,00	975 000,00
	4x50mm ²	ML	150	3 900,00	585 000,00
4.2.2.4	Fourniture et pose câbles 4x70mm ² pour raccordement au poste d'alimentation	ML	50	6 500,00	325 000,00
4.2.2.5	Fourniture et pose cuivre nu 1x28mm ²	ML	1 500	1 040,00	1 560 000,00
4.2.2.6	Réalisation de socle en béton de dimensions (0,60x0,60x0,80m) y compris toutes sujétions de bonne exécution	U	64	10 400,00	665 600,00
4.2.2.7	Fourniture et pose candélabres cylindro-conique H=10m à crosses quadriple et 4 luminaires 250W	U	01	156 000,00	156 000,00
4.2.2.8	Fourniture et pose candélabres cylindro-conique H=10m à crosses double et luminaire 250W	U	13	125 000,00	1 625 000,00
4.2.2.9	Fourniture et pose candélabres cylindro-conique H=10m à crosses simple et luminaire 250W	U	25	97 500,00	2 437 500,00
4.2.2.10	Construction d'une niche y compris toutes sujétions de bonne exécution	U	01	65 000,00	65 000,00
4.2.2.11	Fourniture et mise en place d'une armoire d'éclairage y compris	U	01	91 000,00	91 000,00



	toutes sujétions de bonne exécution				
4.3	Embellissement des trémies				
4.3.1	Bacs à fleurs	U	95	20 000,00	1 900 000,00
4.3.2	Grilles bacs à fleurs	ML	210	20 000,00	4 200 000,00
4.3.3	Apport et mise en place de la terre végétale	M3	145	1 485,00	215 325,00
4.3.4	Fourniture et plantation en plants ornementales	U	350	1 625,00	568 750,00
4.3.5	Fourniture et plantation des palmiers Washingtoniens	U	10	12 350,00	123 500,00
Sous total 4					26 730 175,00
5	SECTION 5: SIGNALISATION ET EQUIPEMENT ROUTIER				
5.1	Marquage de la chaussée par hachures	M2	26	455,00	11 830,00
5.2	Marquage de la chaussée en ligne continue (l=12cm)	ML	470	55,00	25 850,00
5.3	Marquage de la chaussée en ligne discontinue (largeur=12cm)	ML	900	56,00	50 400,00
5.4	Flèches de directions marquées sur chaussée	U	26	507,00	13 182,00
5.5	Fourniture et pose de potences tubulaires à double crosses	U	2	689 000,00	1 378 000,00
5.6	Fourniture et pose de panneaux de signalisation verticale	U	15	9 750,00	146 250,00
5.7	Glissière de sécurité	ML	490	4 160,00	2 038 400,00
Sous total 5					3 670 200,00
					Total en Hors taxes
					307 350 773,00
					Taxe 17%
					54 039 731,41
					Total T.T.C
					361 390 504,41
<p>Arrêté le présent devis à la somme de: Trois Cent Soixante Et Un Millions Trois Cent Quatre-vingt-dix Mille Cinq Cent Quatre Dinars Et Quarante Et Un Centimes en Toutes Taxes Comprises. (361 390 504,41 DA TTC)</p>					



7. Management des risques :

7.1.1. Qu'est-ce qu'un Aléa ?

Est la probabilité qu'un phénomène se produise, conduisant à une situation dangereuse. Comme un séisme, inondation...etc.

D'une autre manière un Aléa peut être définis comme étant les inconvénients possibles et les risques éventuels que peuvent prendre les évènements.

7.1.2. Qu'est-ce qu'une vulnérabilité ?

La norme **ISO guide 73/ 2009** définit la vulnérabilité comme une propriété intrinsèques de quelque chose entraînant une sensibilité à une source de risque pouvant induire une conséquence.

7.1.3. Qu'est-ce qu'un risque ?

D'après la norme **ISO 31000**, le risque est défini comme l'effet d'incertitude (défaut d'information concernant la compréhension d'un évènement) sur l'atteinte des objectifs d'aspects et de niveaux différents.

La norme **ISO 9001**, définit le risque comme étant une combinaison entre la probabilité d'un dommage et sa gravité.

D'une façon plus générale, le risque est un évènement potentiel indésirable.

D'une manière plus précise, le risque est tout évènement ou action d'origine interne ou externe dont l'apparition n'est pas certaine, et dont la manifestation est susceptible d'affecter la capacité de l'entreprise à atteindre ses objectifs ou à assurer sa pérennité.

Le risque est une grandeur de deux dimensions (**P**, **G**), où :

P : est la probabilité de l'évènement.

G : est la gravité de l'évènement en termes de quantité de dommages.

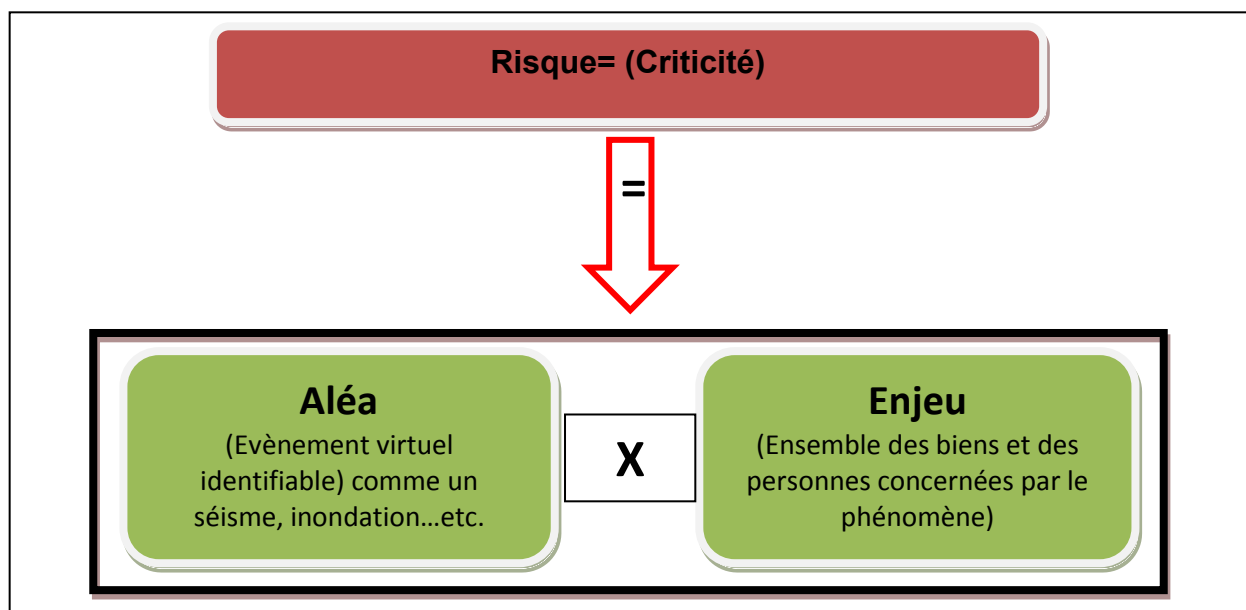


Figure 4 : Equation de la criticité (Risque)



7.1.4. Quels sont les types de risques ?

Il existe plusieurs types de risques auxquels le projet de construction est confronté, les principaux types sont mentionnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2 : Typologie des risques

Type du risque	Définition
Risque technologique	Généralement lié à l'action humaine, comme le stockage de matières dangereuses pour la santé et l'environnement.
Risque Naturel	Peut être défini comme l'ensemble des menaces que certains phénomènes naturels font peser sur des ouvrages. Exemple : mouvement de terrain, inondation...
Risque professionnel	Ce type de risque se traduit par une maladie ou un accident, qui affecte la santé des salariés durant leurs activités professionnelles.
Risque financier	Il existe plusieurs risques financiers. Toutefois tous ces risques correspondent à une perte d'argent suite à une action financière.

7.1.5. Définition du management des risques :

La gestion des risques est une activité qui s'intègre totalement dans le processus général du management de projet, elle consiste à identifier et traiter les événements de toutes sortes susceptibles d'affecter les objectifs du projet.

D'après la norme **ISO/Guide 73 :2009** le management du risque est défini comme suit : ' Activités coordonnées dans le but de diriger et piloter un organisme vis-à-vis du risque'

7.1.6. Processus du management de risque :

La norme **ISO 31000 :2009** a établi un processus du management du risque représenté sur la figure suivante.

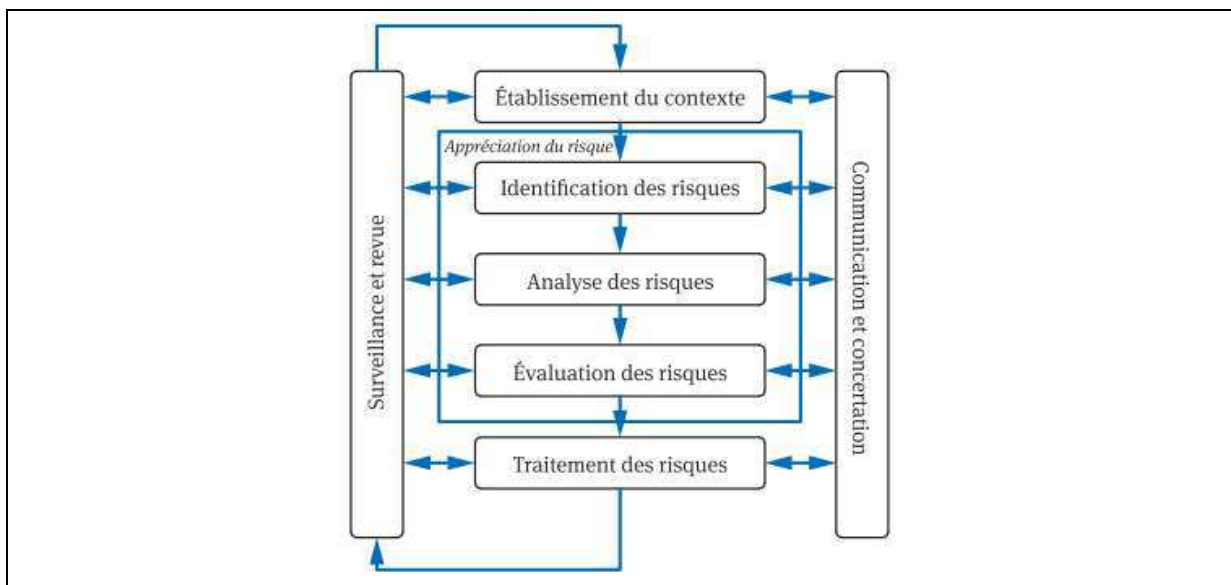


Figure 5 : Processus de management du risque (Norme ISO31000 : 2009)



La figure démontre que le processus de management des risques, est décomposé en plusieurs activités :

1. Etablissement du contexte.
2. **Appréciation du risque.**
 - a) **Identification des risques**
 - b) **Analyse des risques**
 - c) **Evaluation des risques.**
3. **Traitement des risques**
4. Surveillance et revue
5. Communication et concentration.

Dans cette partie, on se concentre sur les quatre parties principales à la mise en place du processus du management du risque.

7.1.7. Appréciation du risque :

Est un enchainement de trois activités, Il s'agit d'identifier, analyser et évaluer les risques.

7.1.8. Identification des risques :

Cette étape comprend l'identification de tous les éléments, évènement et leurs conséquences potentielles, qui peuvent déstabiliser le projet. Ce processus utilise plusieurs approches :

- Identification par expérience.
- Identification systémique.

7.1.8.1. Cas pratique :

L'identification des risques peut être faite par plusieurs méthodes, pour notre cas (*Trémie Ain-Youcef*) nous avons procédé à une identification à partir d'un Brainstorming. Les résultats sont mentionnés sur les deux tableaux suivants :

Tableau 3 : Risque interne

Nature du risque		Risque	
Risques internes	Risques liés au projet	Risque conceptuel	Conception technique défailante
		Risques de planification	Délais insuffisants
			Budgets insuffisants
		Risques de réalisation	Manque matériel ou technique
			Accident du travail
			Inadéquation entre conception et réalisation
	Risques liés aux parties prenantes	Absence du suivi	
		Risques contractuels	
		Mauvaise communication	
		Mauvaise résolution de conflits	
	Risques liés aux fournisseurs	Informations tardives	
		Indisponibilité des matériaux	
		Faible qualité des produits	
	Risques liés aux ressources	Retard de livraison	
Inaptitude du personnel			
	Expériences insuffisantes		



Tableau 4 : Risque externe

Nature de risque		Risque
Risques externes	Risques naturels	Inondation
		Séisme
		Mouvement de terrain
	Risques technologiques	Manque de technologie
		Mauvaise manipulation des matériels
	Risques politiques	Instabilité politique
	Risques économiques	Inflation
		Crise économique

7.1.9. Analyse des risques :

Processus pour comprendre la nature du risque et pour déterminer le niveau de risque. Autrement dit on doit déterminer la vraisemblance* (probabilité) et la gravité du risque.

La vraisemblance : Utiliser pour indiquer la possibilité que quelque chose se produise
(ISO/GUIDE 73 : 2009)

Deux méthodes peuvent être utilisées, la méthode traditionnelle et la méthode probabiliste.

Tableau 5 : Exemple de modèle de cotation de la probabilité (vraisemblance)

Degré	Probabilité	Probabilité d'occurrence
E	Maximale	Se produira avec certitude (plus de 50%)
D	Elevée	Se produira fréquemment (de 20% à 50%)
C	Moyenne	Se produira quelques fois (de 5% à 20%)
B	Faible	Se produira rarement (de 2% à 5%)
A	Minimale	Ne se produira presque jamais (1%)



Tableau 6 : Exemple de modèle de la gravité

Degré	Gravité	Gravité des conséquences
5	Catastrophique	Dégradation inacceptable (Perte totale).
4	Critique	Performances fortement dégradées.
3	Majeure	Performances dégradées.
2	Significative	Légères conséquences.
1	Négligeable	Impact négligeable.

En utilisant ces deux paramètres (Probabilité, Gravité) on définit la matrice des risques, représentée ci-dessous :

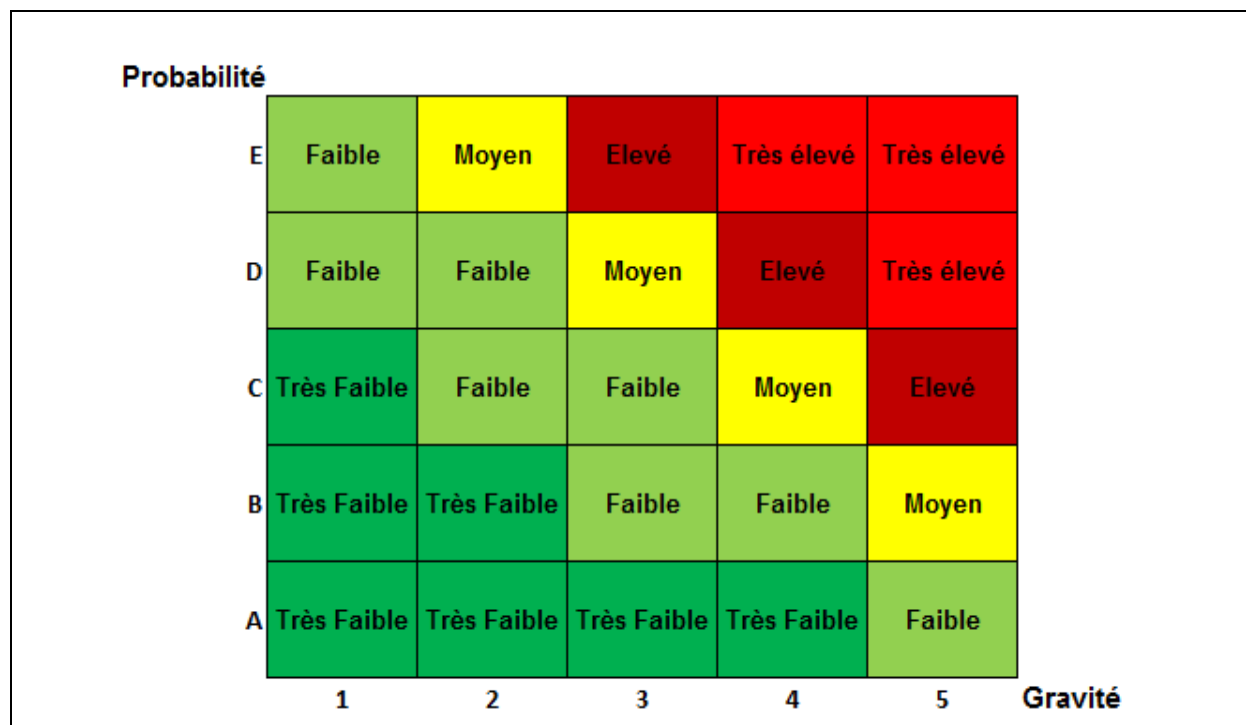


Figure 6 : Matrice des risques

7.1.9.1. Cas pratique :

Les risques préalablement identifiés, doivent être quantifiés afin de mieux estimer leur impact sur le déroulement du projet. Après négociation par des jugements d'experts, nous avons affectés des valeurs de probabilité et de gravité à chaque type de risque, les résultats sont mentionnés ci-dessous :



Tableau 7 : valeurs des (vraisemblances, Gravités), pour risque interne

Nature du risque		Risque	P	G	C	
Risques internes	Risques liés au projet	Risque conceptuel	Conception technique défailante	2	3	6
		Risques de planification	Délais insuffisants	2	2	4
			Budgets insuffisants	2	2	4
		Risques de réalisation	Manque matériel ou technique	2	3	6
			Accident du travail	3	5	15
			Inadéquation entre conception et réalisation	1	1	1
	Absence du suivi		3	4	12	
	Risques liés aux parties prenantes	Risques contractuels		2	3	6
		Mauvaise communication		2	3	6
		Mauvaise résolution de conflits		2	1	2
		Informations tardives		2	1	2
	Risques liés aux fournisseurs	Indisponibilité des matériaux		3	3	9
		Faible qualité des produits		3	4	12
		Retard de livraison		2	2	4
	Risques liés aux ressources	Inaptitude du personnel		3	4	12
		Expériences insuffisantes		2	2	4

Tableau 8 : valeurs des (vraisemblances, Gravités), pour risque externe

Nature de risque		Risque	P	G	C
Risques externes	Risques naturels	Inondation	2	2	4
		Séisme	1	5	5
		Mouvement de terrain	1	2	2
	Risques technologiques	Manque de technologie	1	1	1
		Mauvaise manipulation des matériels	1	1	1
	Risques politiques	Instabilité politique	1	1	1
	Risques économiques	Inflation	2	2	4
		Crise économique	3	3	9

7.1.10. Evaluation des risques :

Au cours de cette étape, on compare les résultats de l'analyse du risque en vue de déterminer l'importance du risque, et de prendre une décision. Par exemple si le niveau de risque ne satisfait pas les critères d'acceptabilité, ce risque fera l'objet d'une réduction.

7.1.10.1. Cas pratique :

Après l'obtention des valeurs de criticités, on doit hiérarchiser les risques afin de pouvoir distinguer entre les différents niveaux d'acceptabilités des risques (Risque faible, risque acceptable, risque non acceptable).

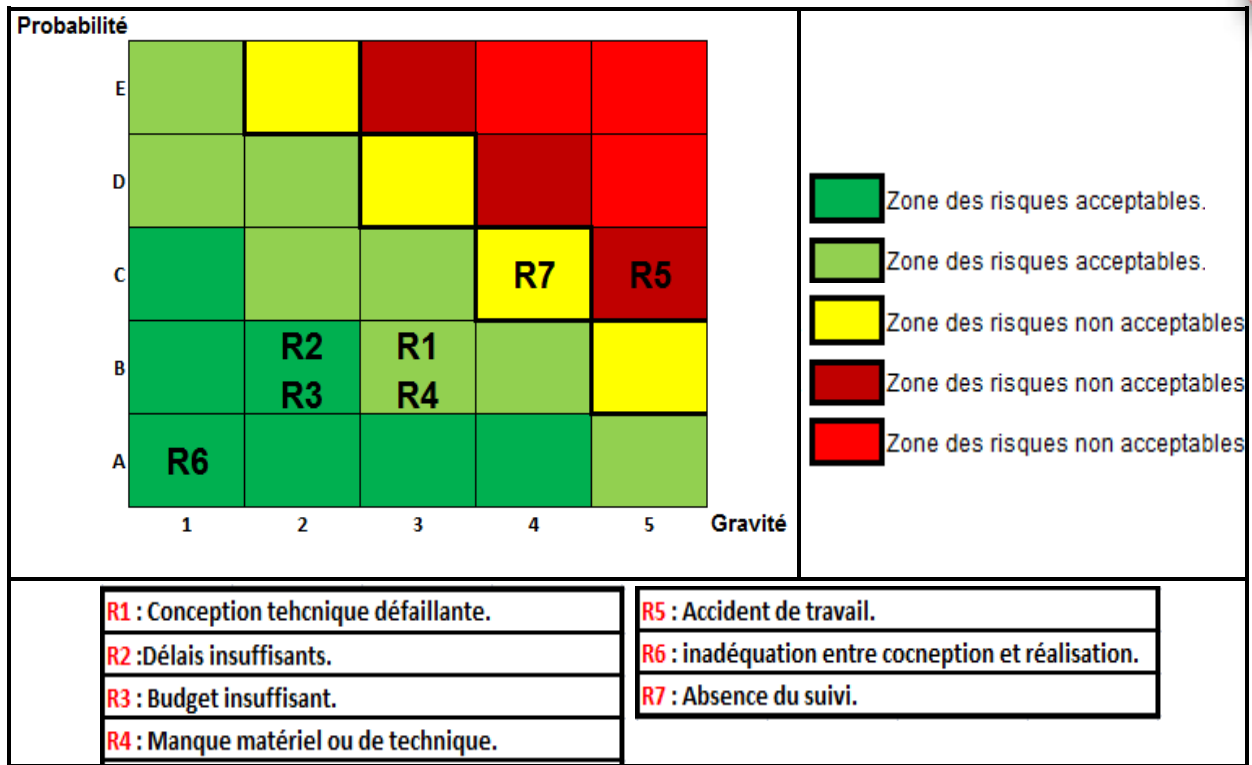


Figure 7 : Matrice de gravité des risques internes (Risques liés au projet)

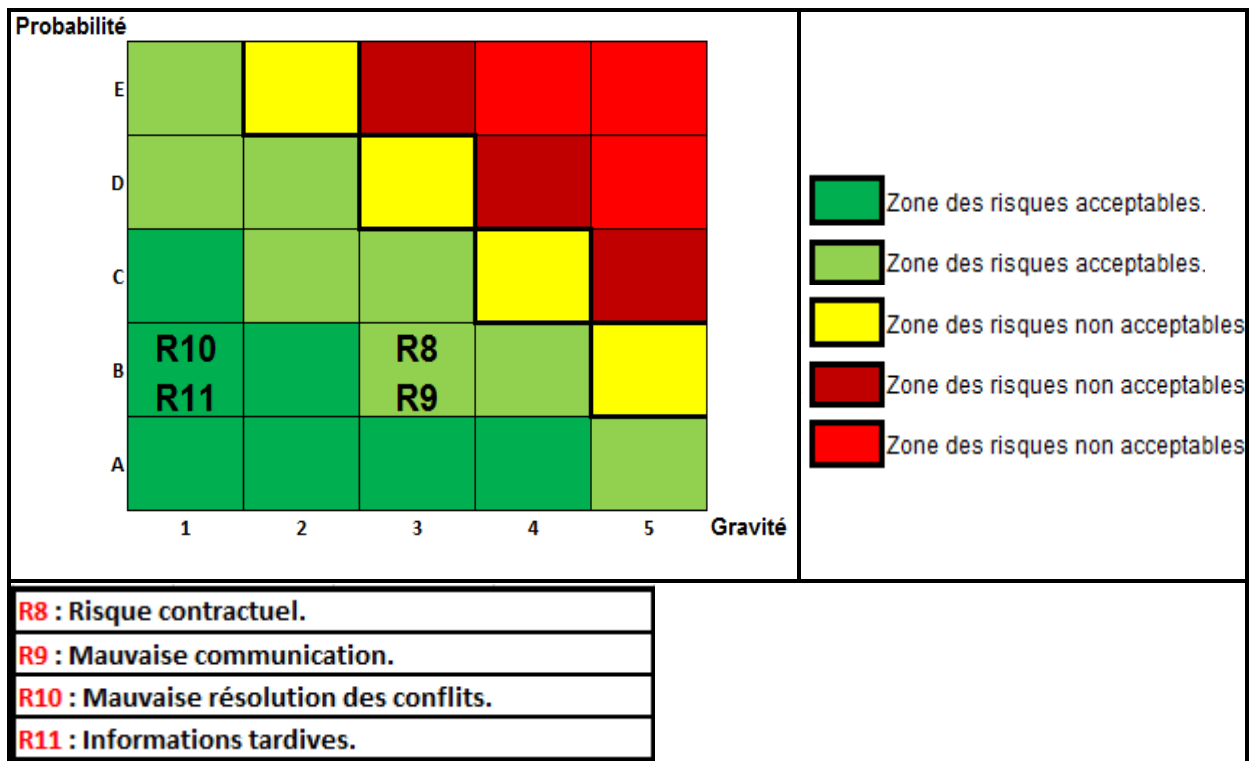


Figure 8 : Matrice de gravité des risques internes (Risques liés aux parties prenantes)

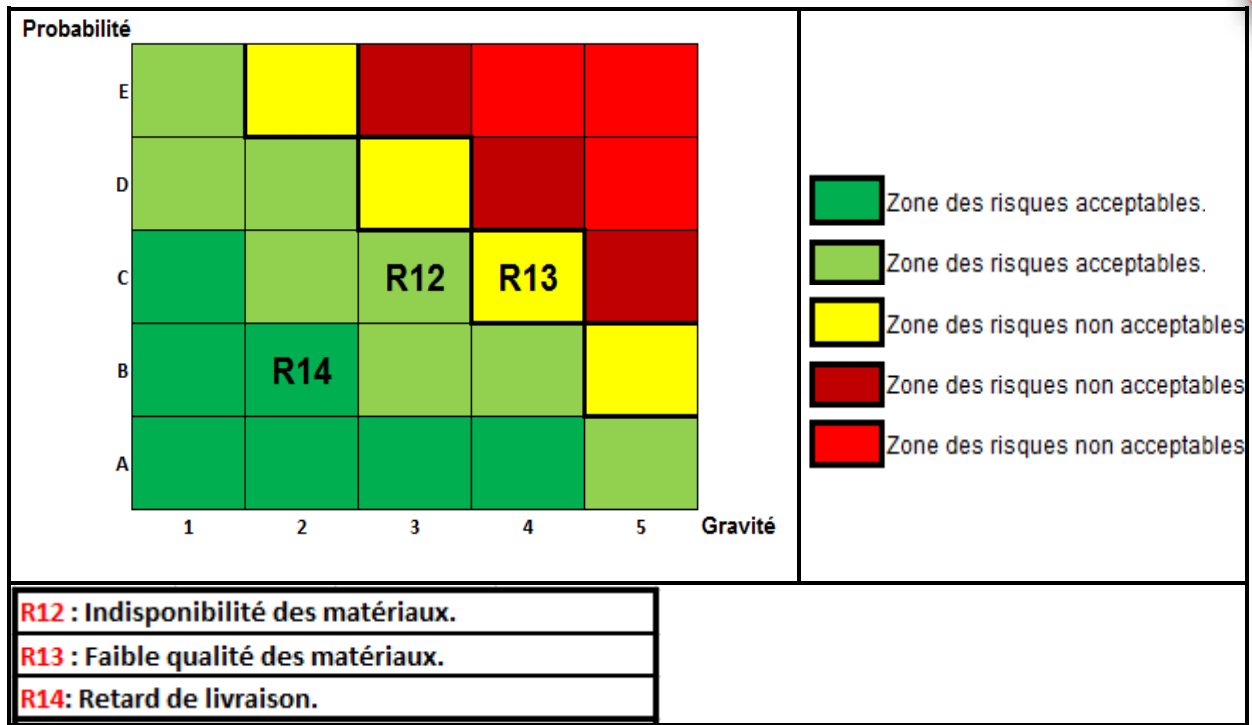


Figure 9 : Matrice de gravité des risques internes (Risques liés aux fournisseurs)

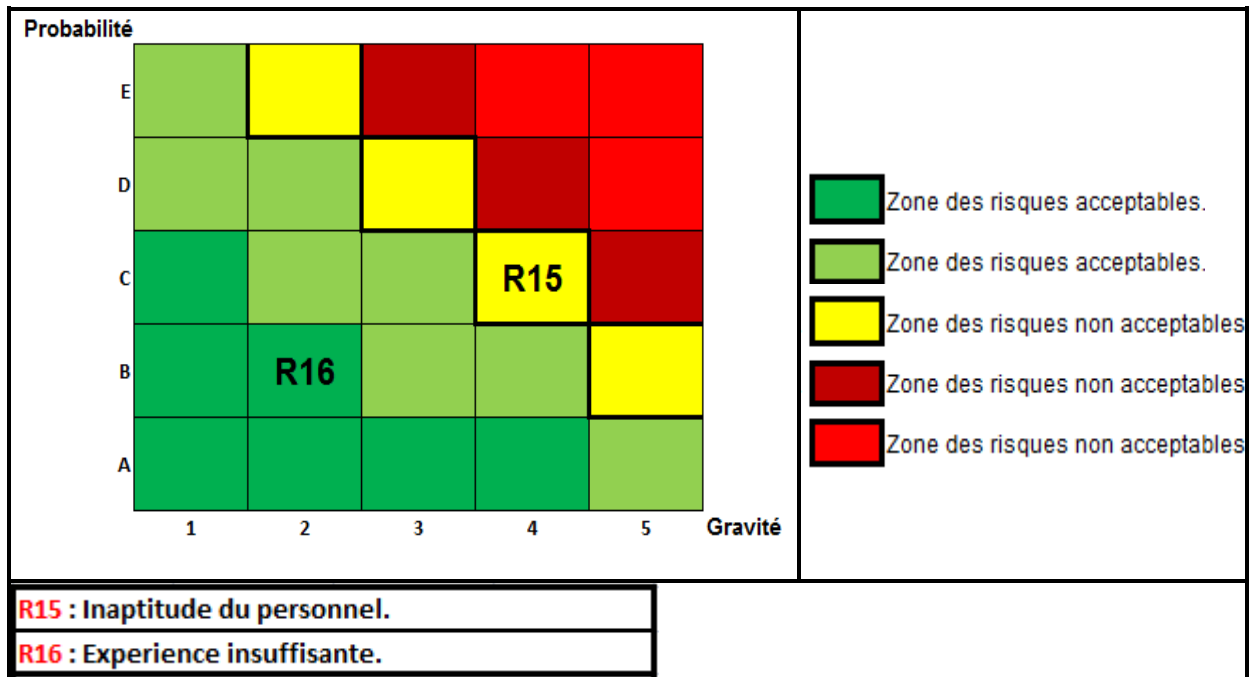


Figure 10 : Matrice de gravité des risques internes (Risques liés aux ressources)

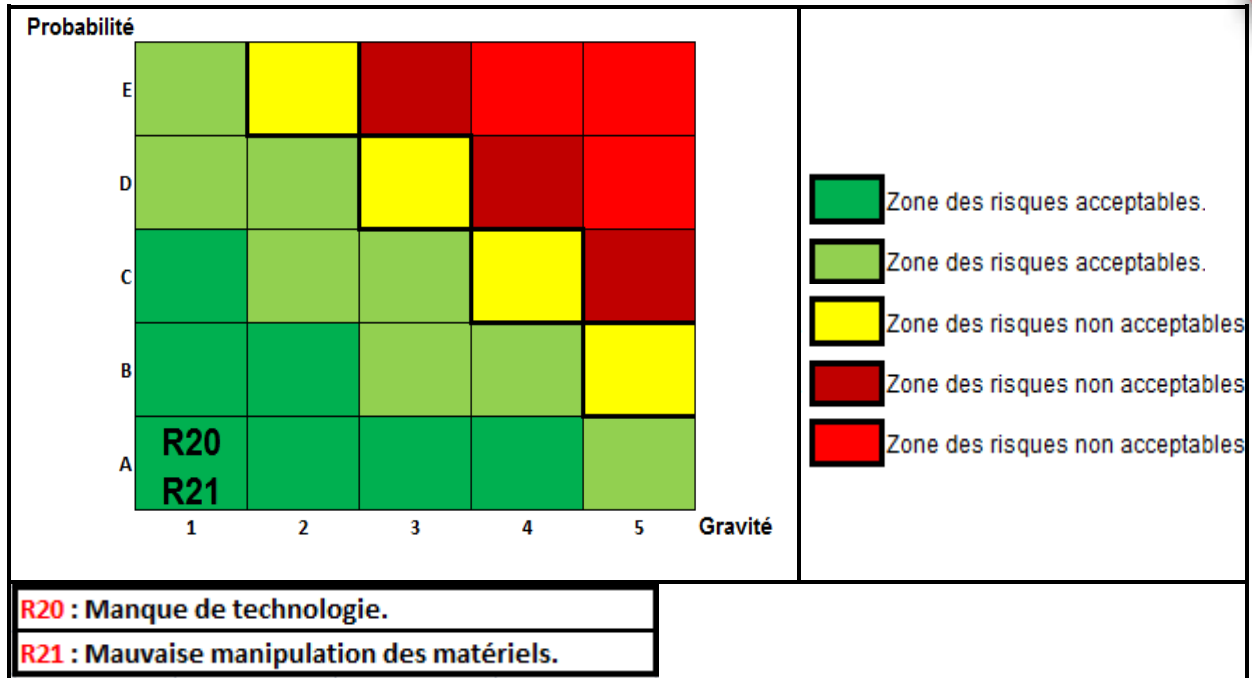


Figure 11 : Matrice de gravité des risques externes (Risques Technologiques)

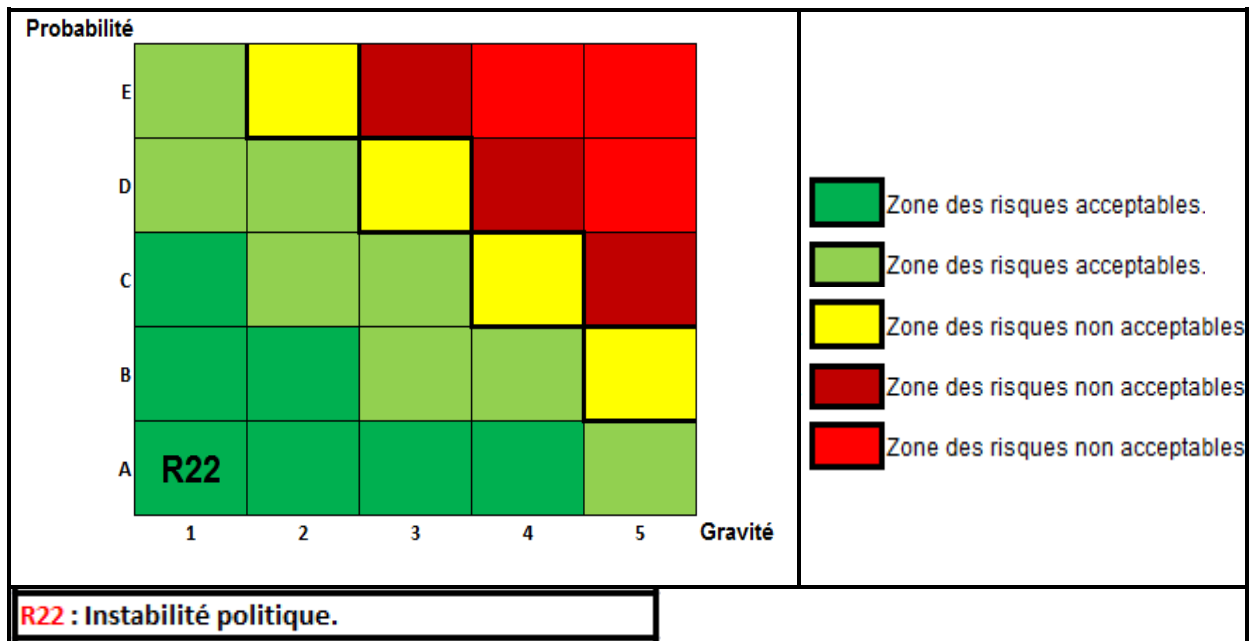


Figure 12 : Matrice de gravité des risques externes (Risque politique)

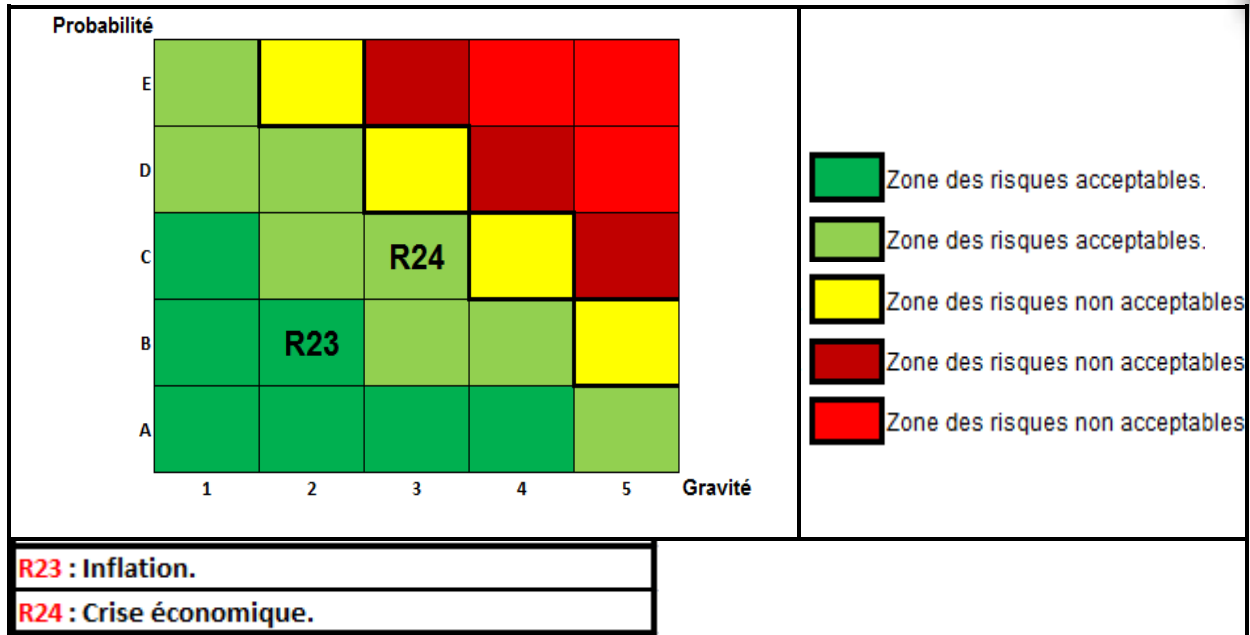


Figure 13 : Matrice de gravité des risques externes (Risque économique)

7.1.11. Traitement des risques :

Selon la norme (ISO/GUIDE 73, 2009) le traitement des risques est ' un processus destiné à modifier le risque' c'est-à-dire préparation d'un plan de traitement, défini comme suit :

Acceptation du risque : le risque ne présente pas de danger, et il n'est pas susceptible d'affecter les objectifs de projet.

Réduire le risque :

- On supprime les sources du risque.
- Mettre les risques sous surveillance.

Financer le risque : par un transfert (principe de l'assurance).

7.1.11.1. Cas pratique :

MATRICE D'EVALUATION DES RISQUES.				
Projet: Etude technique et étude managériale d'un projet de Génie Civil (Etude de cas' Trémie sur la RN22/RN22A à Ain Youcef, Wilaya de Tlemcen')				
Nature du risque.	Description.	Probabilité.	Gravité.	Actions préventives.
Interne	R5: Accident de travail.	3	5	- Mise en place des équipements de protection individuelle. (EPI) -Disponibilité d'une ambulance.
Interne	R7: Absence du suivi.	3	4	-Assurer la disponibilité des contrôleurs. Faire des vérifications quotidiennes.

Figure 14 : Traitement des risques internes liés au projet



MATRICE D'EVALUATION DES RISQUES.				
Projet: Etude technique et étude managériale d'un projet de Génie Civil (Etude de cas' Trémie sur la RN22/RN22A à Ain Youcef, Wilaya de Tlemcen')				
Nature du risque.	Description.	Probabilité.	Gravité.	Actions préventives.
Interne	R13: Faible qualité des matériaux.	3	4	-Contrôle des produits. - Effectuer des analyses au niveau du laboratoire.

Figure 15 : Traitement des risques internes liés aux fournisseurs

MATRICE D'EVALUATION DES RISQUES.				
Projet: Etude technique et étude managériale d'un projet de Génie Civil (Etude de cas' Trémie sur la RN22/RN22A à Ain Youcef, Wilaya de Tlemcen')				
Nature du risque.	Description.	Probabilité.	Gravité.	Actions préventives.
Interne	R15: Inaptitude du personnel.	3	4	- Redistribution des rôles. - Formation, motivation . - Renforcement de l'encadrement

Figure 16 : Traitement des risques liés aux ressources

Conclusion :

Le management est d'une importance capitale dans un projet, permet de gagner beaucoup sur le plan économique.

Une raison pour laquelle une bonne planification est recommandée, tenant compte du contenu du projet, là où nous avons pu déterminé les différentes activités à inclure et celles qui sont à exclure, par conséquent nous avons estimé le délai et le coût de chacune.

L'application du processus de management de risque sur notre variante retenue 'Trémie' nécessite en première phase une identification des risques. Nous avons procédé avec nos encadrants à un brainstorming pour ressortir le maximum et les différents types de risques. Nous avons effectué par la suite une matrice de risque à l'aide de (Probabilité d'occurrence et la gravité) pour hiérarchiser les risques préalablement identifiés. Cette approche nous a permis de maîtriser et traiter les risques de façon à accepter certains et de faire une réduction à d'autres dans le cas où ils ne répondent pas aux critères d'acceptabilité. Pour conclure la prise en compte du management de projet et de risque est un facteur clé pour la réussite de projet.



Conclusion générale

Le carrefour de la route nationale RN22/RN22A près d'Aïn-Youcef de la wilaya de Tlemcen est d'une importance capitale comme il relie les deux wilayas Tlemcen et Oran, donc un bon aménagement est nécessaire pour une meilleure fluidité de la circulation et aussi une bonne étude nous fait gagner économiquement.

Après avoir refait l'étude de l'aménagement du carrefour, nous concluons qu'une trémie s'avère la solution optimale selon une analyse multicritère.

Une fois la variante choisie et justifiée, nous avons procédé au dimensionnement des éléments préfabriqués constituant notre structure, et nous avons évalué les charges et surcharges pour vérifier dans un premier temps, les contraintes du sol support.

Par la suite, nous avons eu recours à l'outil **SAP2000v14** pour modéliser notre ouvrage et les charges qui lui sont appliquées, en tenant compte des combinaisons aux états limites. L'allure des efforts internes a donné des résultats importants, car le programme de surcharges appliquées présente des valeurs considérables.

Les résultats trouvés sont traduits par calculs en ferrailage adéquat à l'aide de l'outil **SOCOTEC**. Pour ce qui suit, nous avons établi des plans de ferrailage en utilisant le logiciel **AUTOCADv2009**, et il s'est avéré que la quantité d'acier que nous avons trouvé, est un peu plus importante que celle qu'a trouvé **SEROR**.

La partie managériale nous a permis de faire une étude détaillée de la façon dont on procède intelligemment et économiquement pour être efficient, et réaliser des délais de réalisation plus intéressants, d'identifier les risques qui peuvent affecter l'avancement de notre projet et savoir s'y faire.

Cette étude nous a permis d'englober certains problèmes techniques et managériaux qui peuvent surgir dans une construction pareille. La recherche des informations et de la documentation nous a permis de tirer profit de l'expérience des personnes du domaine et d'établir des contacts qui nous seront utiles dans la vie professionnelle d'une part, et d'autre part nous avons appris une méthodologie rationnelle à suivre pour élaborer un projet dans le domaine des travaux publics.

De plus ce travail a poussé nos limites à aller plus loin, surtout en qualité de maîtrise de outils informatisés de notre domaine : **SAP2000v14 ; SOCOTEC ; AUTOCADv2009 ; MS. Project ... etc.**



Références bibliographiques

- Bureau d'étude de la SEROR
- CII : Construction industry institute
- Cours Mr.Hamzaoui Fethi : Administration et contrôle de construction
- Cours Mr.Bekkouche Abdelmalek : Engineering Management
- COSTET, J., SANGLERAT, G. cours pratique de mécanique des sols Tome 2: Calcul des ouvrages, Dunod.1983, Paris, France
- FD X50-115 : Management de projet-Présentation générale
- Guillotte. C, Charbonneau. J, Management de projet. Dunod. 2^{ème} édition. 2014. ISBN 978-2-10-058935-7
- ISO guide 73/ 2009 : Management du risque —Vocabulaire
- ISO 31000 : Management du risque
- ISO 9001 : Systèmes de management de la qualité
- Jean Armand CALGARO, Projet et construction des ponts, Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, 2000, Paris, France
- Project management institute, Guide du corpus des connaissances en management de projet (Guide PMBOK), Quatrième édition, USA, 2008, ISBN : 978-1-933890-65-4
- Rapport géotechnique LTPO- Unité de Tlemcen. 2013



- Règles BAEL 91: Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites, modifiée 99
- Règles parasismiques applicables au domaine des ouvrages d'art RPOA 2008, Document technique réglementaire DTR
- (<https://fr.scribd.com/doc/25904295/Dimensionnement-Des-Sections-en-flexion-Simple>) consulté le 03/04/2017
- (<http://www.editions-eyrolles.com/Dico-BTP.com>, consulté le 10/04/2017