

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

École Nationale Polytechnique



Département Génie Civil

Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'état en Génie Civil

Management de Projet – Calcul d'un tablier de pont et Optimisation des ressources de réalisation du projet M29 Lot 2 : Ain Naadja - Baraki

BEYBOUMEZRAG Mehdi

Sous la direction de :

Mme CHERID Djamila & Mr ZEMMOUR Fayçal

Présenté et soutenu publiquement le (29/06/2022)

Composition du Jury :

Présidente	Mme. H. DJABALI-MOHABEDDINE	MC A
Promoteurs	Mme. D.CHERID Mr. F. ZEMMOUR	MC A
Examineurs	M. S. LAKEHAL, M. A. SLIMANI,	MC B Ingénieur Expert
Invité	M. B. DJERIR,	Ingénieur Expert

ENP 2022



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

École Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



Département Génie Civil

Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'état en Génie Civil

Management de Projet – Calcul d'un tablier de
pont et Optimisation des ressources de réalisation
du projet M29 Lot 2 : Ain Naadja - Baraki

BEYBOUMEZRAG Mehdi

Sous la direction de :

Mme CHERID Djamila & Mr ZEMMOUR Fayçal

Présenté et soutenu publiquement le (29/06/2022)

Composition du Jury :

Présidentes	Mme. H. DJABALI-MOHABEDDINE	MC A
Promoteurs :	Mme. D.CHERID	MC A
	Mr. F. ZEMMOUR	
Examineurs	M. S. LAKEHAL	MC B
	M. A. SLIMANI,	Ingénieur Expert
Invité	M. B. DJERIR,	Ingénieur Expert

ENP 2022

Dédicaces

Je dédie ce travail

A mon défunt père, pilier et motivation de ma vie,

A ma défunte grand-mère, mima, rayon de soleil illuminant nos vies,

A ma très chère mère, pilier dans ma vie et soutien incomparable depuis ces 23 dernières années, une reconnaissance infinie envers elle, merci pour tout maman,

A ma chère grande sœur, soutien moral et la première à me donner les meilleurs conseils durant mon périple universitaire,

A ma deuxième maman, Tata, merci pour tout ce que t'as entrepris depuis toutes ces années et pour ton implication durant ces 23 années,

A mes amis de l'ENSTP, on a commencé ce périple ensemble, on le finit ensemble,

A mes amis de l'Ecole Nationale Polytechnique, une deuxième famille découverte durant ces 3 années,

A mes encadrants, pour leurs efforts tout le long du projet,

Merci pour tout !

Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mes chers encadrants : **Mme. Djamila CHERID** et **Mr. Fayçal ZEMMOUR**, pour leur suivi et pour leur énorme soutien, qu'ils n'ont cessé de me prodiguer tout au long de la période du travail.

Je tiens à remercier **Mr. AMINI Ali** pour sa confiance et pour son aide durant le stage, ainsi que les départements planification et génie civil au sein de **COSIDER TP**, tout particulièrement **Mr. Faysal ZEGHLOUL** pour son suivi, son implication et les précieux conseils tout le long du stage.

J'adresse aussi mes remerciements à la présidente du jury **Mme DJABALI-MOHABEDDINE Hafida**, et aux membres formant le jury : **Mr. S. LAKEHAL**, **Mr. A. SLIMANI** et **Mr. A. DJERIR** en tant qu'invité, pour avoir bien voulu examiner et juger ce travail.

Je saute sur l'occasion pour remercier l'ensemble des enseignants et personnel du département Génie Civil, pour la formation et les conseils apportés durant ces 3 années.

Je remercie tout particulièrement **Younes BOUKRID** pour son aide tout le long de mon projet de fin d'étude.

Je remercie ma famille, mes amis et chaque personne impliquée de près ou de loin dans mon projet.

ملخص

من أجل استكمال الدراسة الأكاديمية في مجال الهندسة المدنية، تم تنفيذ مشروع التخرج هذا بهدف تعريف المهندس المستقبلي بالمجال الذي ينتمي إليه. في هذا المشروع، يتم تسليط الضوء على جانبين رئيسيين يجب على كل خريج إتقانها: الدراسة التقنية، إضافة إلى الجانب الإداري لإنشاء مشروع. يرتبط كلا الجانبين ارتباطًا وثيقًا في مجال البناء.

تتمثل الدراسة الفنية في الحساب التقني لسطح جسر مشاة تابع لمحطة عين النعجة، مصنوع من الخرسانة مسبقة الإجهاد، يبلغ طوله 70م وعرضه 13م، تم إجراء الدراسة وفقًا للأنظمة المعمول بها. الأداة الرئيسية المستخدمة في النمذجة والتحليل هي برنامج AUTODESK .ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS.

أما بالنسبة للجانب الإداري، فإن هذا الأخير ينقسم إلى قسمين. الأول يتعلق بالمشروع الأولي، ويتضمن دعمًا تقنيًا لاختيار الحلول المناسبة المقترحة من مكتب الدراسات. لذلك تم إجراء تحليل للمخططات، دراسة مالية، وتحليل اقتصادي. الجزء الثاني يمثل مراحل التخطيط لإنجاز مشروع محطة عين النعجة، وذلك من خلال احترام مراحل المهام والمواعيد النهائية والموارد المتاحة، إضافة إلى دراسة المواعيد النهائية وتوفير الموارد بجميع أنواعها.

الكلمات المفتاحية: الدراسة الفنية، التحليل المالي، التحليل الاقتصادي، التخطيط، دراسة وتحسين الموارد، المواعيد النهائية، تحليل المخاطر.

Abstract

In this project, two main aspects are highlighted: the technical study, as well as a managerial vision on the realization of a project.

The technical study consists of the calculation of the SNTF pedestrian bridge's deck made of prestressed concrete, from the Aïn Naadja station, which is 70m long by 13m wide, and divided into three spans. The study is carried out in accordance with the regulations. The main tool used for modeling and calculations is the AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS software.

As for the managerial approach, it's divided into two parts. The first concerns the preliminary project, and includes decision support regarding the choice of variants proposed by the engineering office. The second part represents the planning of the realization of the Aïn Naadja station project, and this by respecting the phasing of the tasks, but also by optimizing deadlines and the resources of all types.

Key words: Technical survey, financial and economic analysis, planning, resource optimization, deadlines, risk analysis

Résumé

Dans ce projet, deux principaux aspects que doit maîtriser chaque diplômé sont mis en valeur : l'étude technique, ainsi qu'une vision managériale sur la réalisation d'un projet. Cela représente une opportunité de joindre les deux aspects qui sont étroitement liés.

L'étude technique se résume au calcul d'un tablier d'une passerelle du SNTF en béton précontraint, relative à la station Aïn Naadja Gare, de 70m de longueur par 13m de largeur, divisée en trois travées. L'étude est effectuée conformément à la réglementation en vigueur, elle se fera grâce au logiciel Autodesk ROBOT Structural Analysis.

Quant à l'approche managériale, cette dernière est divisée en deux parties. La première concerne l'avant-projet, et englobe une aide à la décision pour le choix des variantes proposées. Pour ce faire, une analyse des tracés, une financière et une économique ont été réalisées. La deuxième partie représente la planification de la réalisation du projet Aïn Naadja gare, et cela en respectant le phasage des tâches et les ressources disponibles, en optimisant les délais et les ressources de tous types.

Mots clés : Etude technique, analyse financière, économique, planification, optimisation des ressources, délais, analyse des risques.

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction Générale	14
I. Chapitre : Etude Préliminaire du Projet	16
1. Introduction.....	16
2. Présentation du Projet	16
3. Etude des Paramètres des Tracés	17
3.1. Description des alternatives des tracés.....	17
3.2. Les différentes méthodes de réalisation.....	19
3.3. Paramètres des tracés.....	20
3.4. Vérifications des paramètres des tracés	22
3.5. Vitesse et temps de parcours.....	24
3.6. Accélérations non compensées.....	24
3.7. Synthèse de l'étude des tracés.....	25
4. Analyse Financière.....	25
4.1. Paramètres de l'analyse financière	26
4.1.5. Recettes au long de la durée de vie du projet :	28
4.2. Synthèse de l'analyse financière	28
5. Analyse Economique	29
5.1. Procédures de l'Analyse économique :	29
5.2. Etude des coûts	29
5.3. Etude des Avantages du projet	29
5.4. Synthèse Analyse économique.....	31
6. Analyse Multicritères	31
6.1. Méthode Pattern	31
6.2. Procédure d'analyse :	32
6.3. Etablissement des indicateurs.....	33
6.4. Evaluation linéale des alternatives.....	33
6.5. Matrice Multicritère et de pondération des alternatives	36
6.6. Application de la méthode Pattern	40
7. Conclusion	42
II. Chapitre : Etude technique - Passerelle SNTF.....	44

1.	Introduction.....	44
1.1.	Informations Générales de l’Ouvrage	44
2.	Caractéristiques des matériaux du tablier	45
3.1.	Le béton.....	45
3.2.	Les Aciers.....	47
4.	Prédimensionnement.....	48
5.	Evaluation des charges.....	49
5.1.	Evaluation des charges CP+CCP.....	50
6.	Modélisation.....	54
6.1.	Combinaison de charges	54
6.2.	Résultats de la modélisation et calcul.....	54
7.	Etude de la précontrainte.....	56
7.1.	Dimensionnement de la précontrainte	56
7.2.	Disposition des câbles de précontrainte.....	61
7.3.	Calcul des pertes	65
7.4.	Vérification des contraintes normales à l’ELS	69
7.5.	Armatures de peau.....	74
7.6.	Justification du béton	74
8.	Etude de la dalle	75
8.1.	Flèche et contre flèche.....	75
8.2.	Etude du ferrailage	77
9.	Conclusion	80
III.	Chapitre : Projection Managériale sur le projet	82
1.	Introduction.....	82
2.	Analyse SWOT	82
2.1.	Définition	82
2.2.	Les 4 piliers de l’analyse SWOT	83
3.	Analyse des risques	85
3.1.	Risques et leurs impacts.....	85
3.2.	Matrice des risques	87
4.3.	Mesures de prévention	89
3.3.	Identification des impacts	91
3.4.	Maîtrise des risques	91
3.5.	Fiche d’Action Corrective et/ou Opportunité d’amélioration.....	91
4.	Identifications des ressources.....	92
4.1.	Ressources humaines mobilisées	92

4.2. Ressources matérielles utilisées.....	94
4.3. Ressources financières et estimation des coûts.....	95
5. Planification sur PRIMAVERA	95
6. Impact de l'optimisation	98
7. Bilan du projet	99
8. Conclusion	100
IV. Conclusion Générale.....	102
Bibliographie.....	104
Annexes	106

Liste des Figures

Figure I-1 Vue en élévation du projet	17
Figure I-2 Vue d'ensemble sur l'alternative de base pour le lot 2 - Ain Naadja – Baraki	18
Figure I-3 Tracé d'une alternative plus superficielle	19
Figure I-4 Tracé d'une alternative plus profonde.....	19
Figure I-5 Section par la méthode NATM	19
Figure I-6 Réalisation par tranchée ouverte.....	20
Figure I-7 Réalisation par tranchée couverte	20
Figure I-8 Vérification de l'accélération maximale variante 1 superficielle (1)	23
Figure I-9 Vérification de l'accélération maximale pour la variante 1 profonde	23
Figure I-10 Illustration de la ponctuation finale des alternatives	42
Figure II-1 Vue en plan de l'implantation de la passerelle.....	44
Figure II-2 Vue en plan du plan de la passerelle SNTF M29 Ain Naadja Gare	44
Figure II-3 Vue en élévation de la passerelle SNTF M29 Ain Naadja Gare	45
Figure II-4 coupe transversale de la toiture	45
Figure II-5 Coupe verticale de la disposition des poutres.....	50
Figure II-6 Coupe explicative des prédalles type.....	50
Figure II-7 Coupe d'une prédalle type pour une travée de la passerelle.....	51
Figure II-8 Vue en plan de la toiture de la passerelle SNTF	51
Figure II-9 Vue en élévation de la toiture de la passerelle SNTF.....	52
Figure II-10 Illustration des profilés HEB utilisés pour la toiture de la passerelle	52
Figure II-11 Résultats moment fléchissant à l'ELS	54
Figure II-12 Résultats moment fléchissant sous CP+CCP.....	55
Figure II-13 Résultats moment fléchissant à l'ELU	55
Figure II-14 Résultats efforts tranchants à l'ELU	55
Figure II-15 Résultats efforts tranchants à l'ELS.....	55
Figure II-16 Résultats efforts tranchants sous la combinaison CP+CCP.....	56
Figure II-17 Caractéristiques des plaques d'ancrages	62
Figure II-18 Illustration d'une plaque d'ancrage	62
Figure II-19 Dispositions des câbles - section d'about.....	63
Figure II-20 Disposition géométrique des câbles	63
Figure II-21 Disposition des câbles à mi travée.....	64
Figure II-22 Angles de relevage des câbles.....	64
Figure II-23 Illustration théorique de l'allure des câbles	65
Figure II-24 Allure des câbles de précontraintes	65
Figure II-25 Allure résultante des câbles de précontrainte.....	65
Figure II-26 Illustration des armatures de peau.....	74
Figure II-27 Flèche due aux charges permanentes CP	75
Figure II-28 Flèche due aux charges CCP.....	76

Figure II-29 Contre flèche de précontrainte	76
Figure II-30 Flèche maximale à l'ELS.....	77
Figure II-31 Section d'étude de ferrailage de la dalle.....	77
Figure II-32 Résultats moments fléchissant du tablier à l'ELS	78
Figure II-33 Cartographie des moments de la dalle <i>Myy</i>	78
Figure II-34 Cartographie des moments de la dalle <i>Mxx</i>	79
Figure II-35 Schéma de ferrailage de la poutre	80
Figure II-36 Schéma de ferrailage de la dalle	80
Figure III-1 Diagramme Analyse SWOT	85
Figure III-2 Matrice des risques	88
Figure III-3 Code couleur pour la matrice des risques.....	88
Figure III-4 Classification des risques selon la matrice des risques.....	89
Figure III-5 Code couleur pour la matrice RACI	92
Figure III-6 Matrice RACI.....	93
Figure III-7 Planning final Station Ain Naadja Gare - Projet M29 Lot 2.....	97
Figure III-8 Cumul des coûts Pré & Post Optimisation	99
Figure 0-1 Population Desservie pour chaque alternative	106
Figure 0-2 Illustration des cash flows.....	107
Figure 0-3 Bénéfice actualisé et TRI socioéconomique.....	107
Figure 0-4 Exemple de calcul du gain de temps en DA	107
Figure 0-5 Exemple calcul de la diminution de <i>CO2 Année 2022</i>	108
Figure 0-6 Calcul des coûts d'opération	108
Figure 0-7 Calcul des coûts d'opération et d'entretien.....	109
Figure 0-8 Certificat de non radioactivité	113
Figure 0-9 Paramètres introduits pour l'étude du vent	114
Figure 0-10 Résultats étude de vent	114

Liste des Tableaux

Tableau I-1 Paramètres des tracés en plan	21
Tableau I-2 Paramètres du tracé du profil en long	21
Tableau I-3 Paramètres fonctionnels de conception	22
Tableau I-4 Vérifications des paramètres des tracés	22
Tableau I-5 Tableau récapitulatif des paramètres de tracé	25
Tableau I-6 Récapitulatif des investissements primaires	26
Tableau I-7 Récapitulatif des investissements complémentaires	27
Tableau I-8 Dépenses d'entretien courant.....	27
Tableau I-9 Recettes de la mise en service 2022	28
Tableau I-10 Résultats VANF et TRIF - Analyse Financière.....	28
Tableau I-11 Valeurs en Dinar Algérien du gain de temps - estimation 2022	30
Tableau I-12 Résultats de la diminution de l'émission de CO2 traduits en valeurs monétaires selon les alternatives de tracé	30
Tableau I-13 Tableau récapitulatif de la matrice de pondération pour la méthode PATTERN	38
Tableau I-14 Récapitulatif Sous Totaux des indicateurs - analyse multicritère	39
Tableau I-15 Résultats Analyse de Robustesse	40
Tableau I-16 Résultats Analyse de Sensibilité	40
Tableau I-17 Poids pour l'analyse de préférences.....	41
Tableau I-18 Résultats Analyse de préférences	41
Tableau II-1 Caractéristiques des matériaux utilisés.....	48
Tableau II-2 Dimensions de la dalle.....	49
Tableau II-3 Récapitulatif et calcul du poids total du tablier	53
Tableau II-4 Récapitulatif des résultats des efforts tranchants et moments fléchissants sous les combinaisons de charges	56
Tableau II-5 Paramètres des éléments de précontrainte	56
Tableau II-6 Caractéristique géométrique de la poutre	57
Tableau II-7 Caractéristiques du béton.....	57
Tableau II-8 Moments et efforts tranchants résultants	57
Tableau II-9 Les phases de la précontrainte.....	61
Tableau II-10 Paramètres pour calculer les angles de relevage	65
Tableau II-11 Résultats des angles de relevage des câbles	65
Tableau II-12 Résultats de f, R et β	65
Tableau II-13 Tableau récapitulatif des pertes instantanées	67
Tableau II-14 Récapitulatif des pertes différées	69
Tableau II-15 Récapitulatif des Pertes Totales	69
Tableau II-16 Les caractéristiques des sections	69
Tableau II-19 Valeurs des efforts de précontraintes P1 et P2	71
Tableau II-20 Les valeurs de la contrainte normale à l'ELS	72

Tableau II-21 Paramètres de calcul des efforts de précontrainte relatifs aux angles d'ancrage.....	73
Tableau II-22 Paramètres de calcul des contraintes tangentielles	74
Tableau II-23 Choix des armatures transversales.....	79
Tableau II-24 Choix des armatures longitudinales	80
Tableau III-1 Identification et priorisation des risques	87
Tableau III-2 Evaluation de la probabilité d'occurrence	88
Tableau III-3 Evaluation du niveau de gravité	88
Tableau III-4 Mesures de prévention des risques	89
Tableau III-5 Ressources Financières et estimation des coups	95

Liste des Abréviations

- SETRA : Service d'études techniques des routes et autoroutes.
- DTR : Document technique Réglementaire.
- 12T15 : douze (12) torons de 15.3 mm de diamètre (chaque toron à 7 fils).
- AES : Aspects Environnementaux Significatifs.
- AT: Accident du Travail.
- BA : Bénéfice Actualisé.
- BAEL : Béton armé aux États limites.
- BPEL : Béton précontraint aux États limites.
- CCP : Complément des charges permanentes.
- E/I : Audits Externes ou Internes.
- ELA : États limites accidentelles.
- ELS : États limites en service.
- ELU : États limites ultime.
- E_p : Module d'Elasticité des câbles de Précontrainte.
- E_s : Module d'Elasticité de l'acier.
- f_{c28} : Résistance caractéristique de béton à la Compression à 28 jours.
- f_e : Limite d'Elasticité de l'acier.
- f_{peg} : Contrainte Elastique Garantie de Précontrainte.
- f_{prg} : Contrainte de Rupture Garantie de Précontrainte.
- f_{t28} : Résistance caractéristique de béton à la Traction à 28 jours.
- HA : Haute adhérence.
- HA : Haute Adhérence.
- PM : Pieux pour couloir Métro.
- PNC : Produit Non Conforme.
- PS : Pieux pour couloir SNTF.
- RCPR : Règles définissant les charges à appliquer pour le calcul et les épreuves des ponts routes.
- RPOA : Règles Parasismiques applicables au domaine des Ouvrages d'Art.
- SST : Santé et Sécurité au travail.
- SWOT : Strength, Weaknesses, Opportunities, Threats
- TRI : Taux de Rendement Interne.
- VAN : Valeur Actuelle Nette.
- VANF : Valeur Actuelle Nette Financière.
- σ_{bc} : Contrainte de Compression admissible de Béton.
- σ_{bt} : Contrainte de Traction admissible de Béton.
- σ_{Inf} : Contrainte dans la fibre Inférieure la plus éloignée du centre de gravité de la section.
- σ_s : Contrainte limite de l'acier.
- σ_{Sup} : Contrainte dans la fibre Supérieure la plus éloignée du centre de gravité de la section.

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

La wilaya d'Alger a connu durant les dernières décennies une croissance démographique très importante, voyant sa population multipliée. A cet effet, le problème de locomotion s'est vite fait ressentir. La solution d'instaurer un réseau de métro a vu le jour, réglant un manque énorme dans le besoin de transports en commun. Le réseau a continué son expansion touchant de plus en plus de zones urbaines. Dans le cadre de notre projet de fin d'étude, on s'intéresse au projet M29 Lot 2 - Ain Naadja - Baraki, projet de l'Entreprise Métro d'Alger (EMA) pour desservir cette zone.

L'étude se fera selon deux axes principaux, l'étude technique et la projection managériale, afin d'englober les divers rôles de l'Ingénieur en Génie Civil.

L'étude technique se focalisera sur un bloc de la station Ain Naadja Gare, la passerelle SNTF en l'occurrence.

Vu que le terme Ingénieur est relié à la résolution de problématiques, et que dans le projet M29 Ain Naadja Baraki l'aspect technique n'est pas le seul à prendre en compte, l'étude managériale s'impose.

L'étude managériale sera divisée en deux segments :

Le premier se penchera sur l'étude préliminaire du projet afin d'optimiser le processus du choix de la solution la plus adéquate aux exigences. Il se basera sur plusieurs analyses, d'abord une étude des variantes du tracé de chaque alternative proposée en fonction des paramètres relatifs à la zone, au matériel roulant et son utilisation. Une analyse financière relative aux investissements et au coût de réalisation du projet sera un point à ne pas négliger, tout comme l'analyse économique qui traduira l'impact du projet sur les zones desservies par le réseau de métro, sur le plan socio-économique et même environnemental. Tous ces paramètres auront un poids non négligeable dans le choix de l'alternative la plus attrayante pour le maître d'ouvrage.

Le deuxième segment concernera la planification et l'optimisation des délais et les ressources de réalisation (humaines, financières et matérielles) de la station de métro au niveau de Ain Naadja Gare. De plus, une étude des risques ainsi qu'une analyse SWOT ont été instaurées pour cerner la position de l'entreprise concernant le projet et détailler les problèmes rencontrés, leurs répercussions et les solutions à cela.

CHAPITRE I : Etude Préliminaire
du Projet

I. Chapitre : Etude Préliminaire du Projet

1. Introduction

Pour tout projet, une étude en amont de la réalisation se doit d'être faite. Pour le projet M29 Lot 2 Ain Naadja - Baraki, l'envergure des travaux à réaliser et des moyens à mettre en œuvre se présente comme un argument de choix pour procéder à une étude préliminaire sous différents axes.

L'étude présentée dans ce chapitre couvre les 3 axes essentiels qui sont l'étude technique des fonctionnalités du projet et ses tracés, l'analyse financière et l'analyse économique.

Pour ce étude, l'expertise des ingénieurs du bureau d'étude IDOM a établi une proposition englobant 4 variantes, avec deux manières de réalisation pour chacune. Cette proposition a abouti à un choix plus vaste pour l'entreprise du métro d'Alger EMA. Chaque alternative à ses propres caractéristiques, elles convergent dans quelques aspects mais divergent dans d'autres.

On comparera les alternatives selon les paramètres des tracés et les vitesses entre autres. Pour l'analyse financière, cela se fera suivant la comparaison des coûts d'exploitation et des montants d'investissements des différentes alternatives. Quant à l'analyse économique, on détaillera l'impact de chaque variante sur l'aspect économique, socio-économique et environnemental.

Pour finir cette étude, on traduira chaque critère et chaque paramètre en coefficients formant ainsi une matrice multicritères, afin d'optimiser et de faciliter le choix de la meilleure alternative possible.

2. Présentation du Projet

La demande de transport à Alger due à la surpopulation constitue une nécessité et un besoin, à ce jour insuffisant, surtout sur quelques zones où le transport en commun se résume aux bus, transports individuels (voitures etc...), cela cause un surrégime de véhicules et un trafic dense et lent.

En raison de la forte demande de transport existante, le Ministère des Transports a décidé de réaliser trois extensions du Métro d'Alger.

- Extension El Harrach Centre – Bab Ezzouar (lot 1).
- Extension Ain Naadja – Baraki (lot 2).
- Extension Place Des Martyrs – Bab El Oued – Chevalley (lot 3).

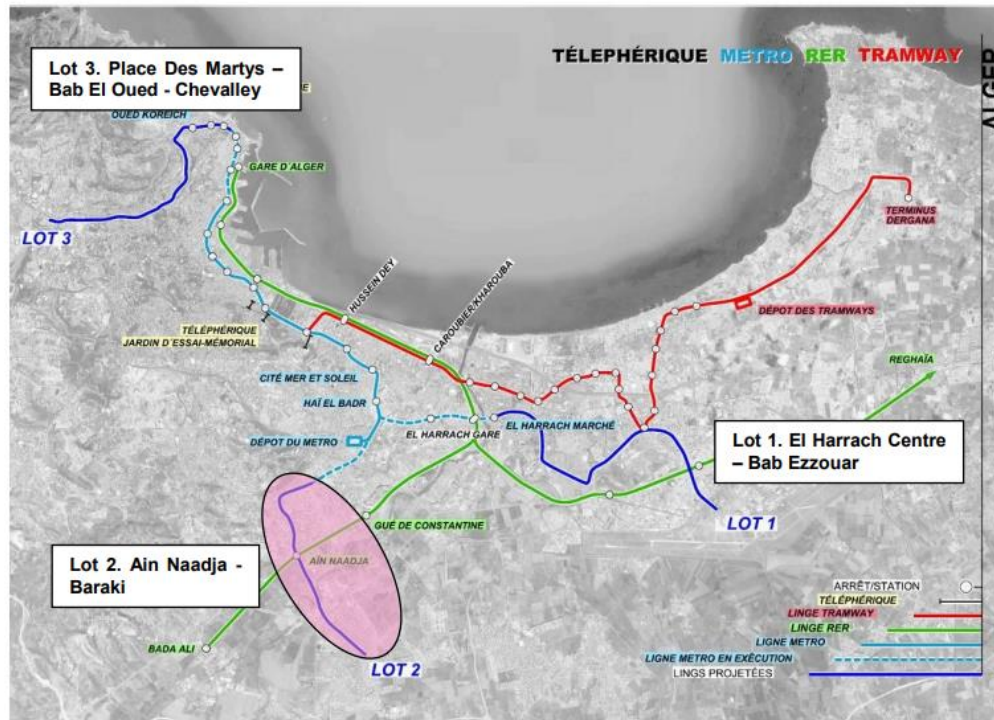


Figure I-1 Vue en élévation du projet

L'Entreprise du Métro d'Alger attribue au Groupement IDOM – SIDEM l'étude Préliminaire de l'extension du Métro d'Alger : Lot 2 : Ain Naadja – Baraki.

Dans cette dernière, d'après le Cahier de Prescriptions Techniques (CPT) l'entreprise a établi 4 alternatives de tracés qui permettront de desservir les zones plus urbanisées. Afin de localiser la plus forte demande.

Pour chaque variante, deux approches seront envisagées et étudiées, une incluant des tronçons souterrains dans les zones urbaines et des tronçons en surface, la deuxième étant entièrement souterraine.

Pour pouvoir effectuer une comparaison de toutes les alternatives, on considère un tracé d'une longueur de 6 km et de 6 stations. Afin de choisir l'alternative la plus optimale pour le projet.

3. Etude des Paramètres des Tracés

3.1. Description des alternatives des tracés

Pour la réalisation du réseau métro projet M29, d'abord un premier tracé a été défini dans le cahier de charges. (Voir la figure I-2).

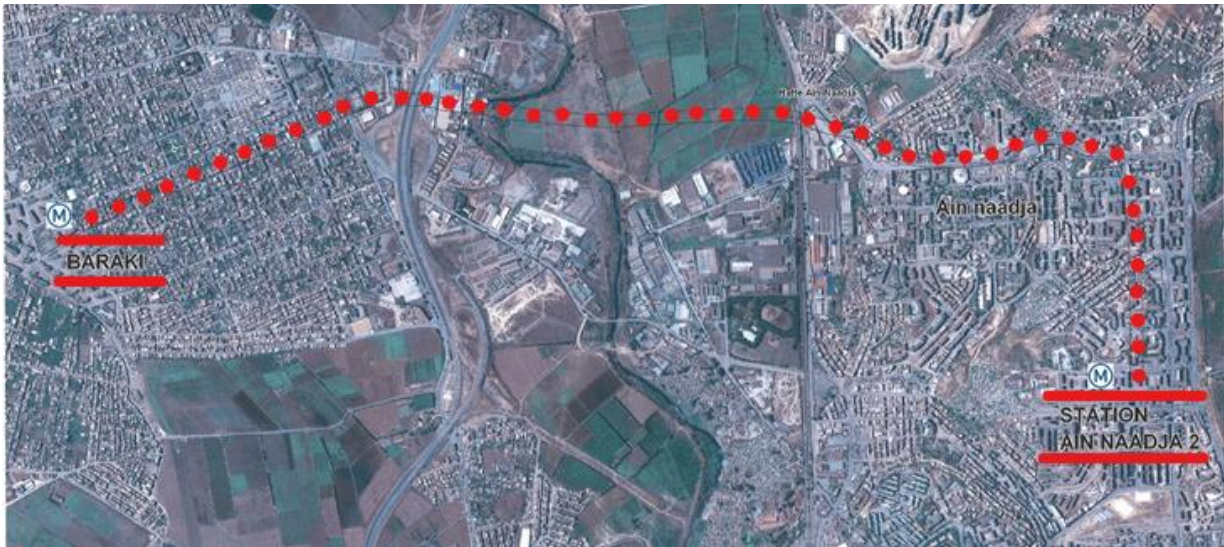


Figure I-2 Vue d'ensemble sur l'alternative de base pour le lot 2 - Ain Naadja – Baraki

L'alternative partira du puits de ventilation PV-6, en parcourant l'avenue Mohamed Boudiaf, au PK 1+000 est située à la Station Ain Naadja Marché. Deux stations additionnelles sont proposées dans le premier tracé : Baraki 2 (près de la Mosquée Ben Kassem (PK 4+500) et Baraki 3. La longueur totale de cette alternative est de 5.215 m.

Par conséquent, le Groupement IDOM/SIDEM a proposé la correction de cette variante de base afin de garantir sa viabilité technique. Le nouveau tracé proposé parcourt le long du Boulevard Mohamed Belarbi, parallèlement au tracé prévu et à une distance réduite par rapport au tracé initial.

Un total de 4 alternatives est proposé par le bureau d'études avec deux manières d'entreprendre la réalisation de chaque alternative, une variante profonde et une variante superficielle. Pour permettre au maître d'œuvre et maître d'ouvrage de faire le choix optimal pour le projet, un panel de 8 options avec leurs avantages et inconvénients est présenté. Le but de cette étude est d'apporter les arguments nécessaires.

Les alternatives superficielles et profondes seront illustrées ci-dessous à travers une vue d'ensemble de chacune d'entre elles, elles respecteront le tracé élaboré par la variante de base pour toucher les zones visées et y installer les stations de métro

Ce qui va différencier les alternatives entre elles mis à part la manière d'exécution (profonde / superficielle) ce sont les caractéristiques propres à chacune, qui vont influencer les vérifications et l'étude des paramètres de tracé analysés au préalable.

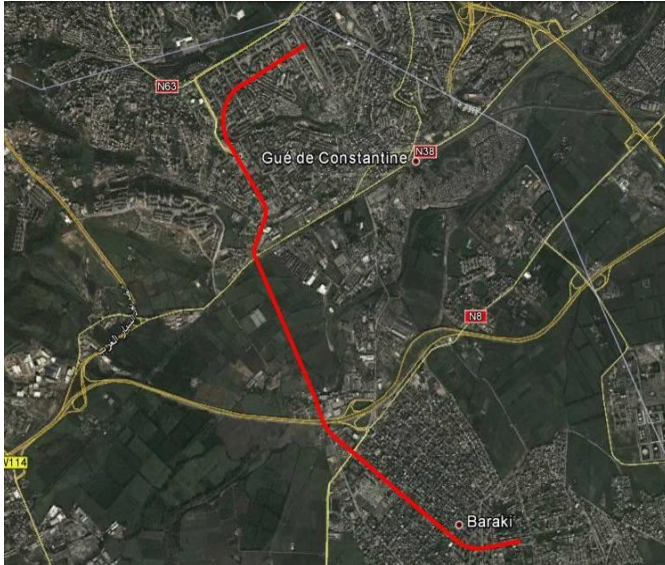


Figure I-3 Tracé d'une alternative plus superficielle

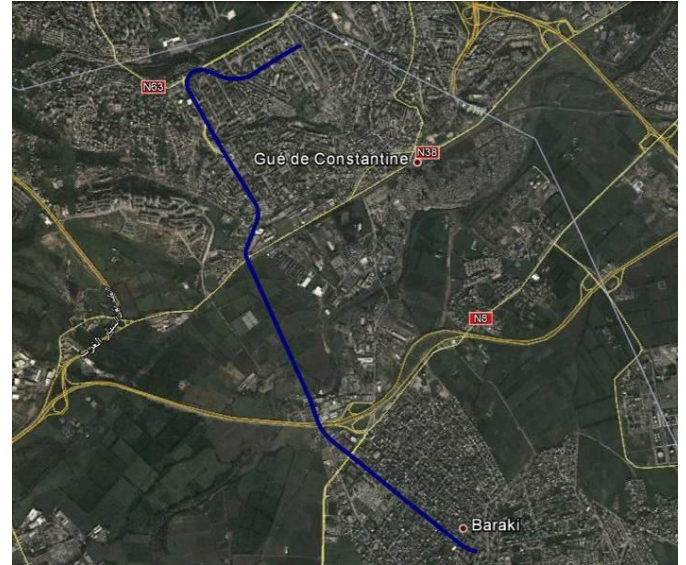


Figure I-4 Tracé d'une alternative plus profonde

3.2. Les différentes méthodes de réalisation

Dans ce projet de réalisation du réseau de métro, plusieurs sections types ont été utilisées dans le tracé de la ligne de métro.

- Réalisation au tunnelier.
- Réalisation à la méthode NATM.
- Réalisation d'une tranchée ouverte.
- Réalisation d'une tranchée couverte.

3.2.1. Méthode NATM

Cette méthode s'applique pour le creusement sur toutes les solutions à l'intérieur du noyau d'Ain Naadja.

Cette section est composée de 3 rayons supérieurs à 4,46 m. L'épaisseur du tunnel est variable de 0,40 à 0,65 m. L'ouvrage est creusé et soutenu de manière séquentielle, On présente par la suite un croquis de la solution choisie.

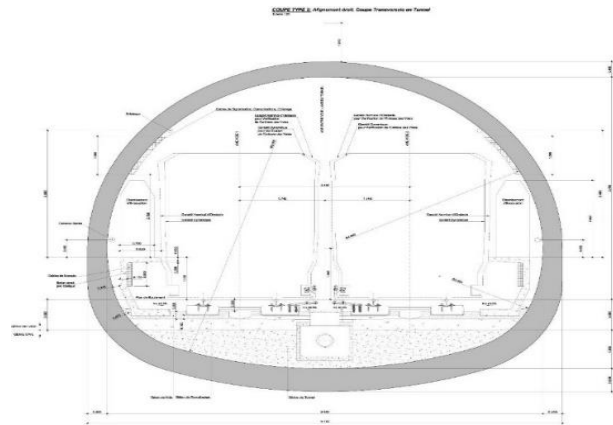


Figure I-5 Section par la méthode NATM

3.2.2. Réalisation d'une tranchée ouverte

Cette section s'applique aux solutions superficielles. Dans ce projet elle est utilisée dans la zone de Baraki.

Cette section est constituée de cadres de 1,00 m de large et gabarit horizontal intérieur de 9,00 mètres. Un croquis de la solution choisie est illustré ci-dessous.

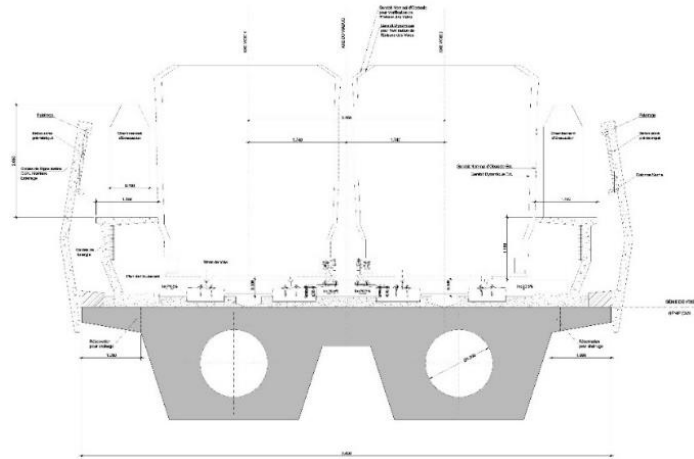


Figure I-6 Réalisation par tranchée ouverte

3.2.3. Réalisation d'une tranchée couverte

Cette section s'applique dans les solutions superficielles dans la zone urbaine entre Ain Naadja et Baraki.

Elle consiste en une structure précontrainte de 9,40 mètres de large, dont le croquis est montré par la suite.

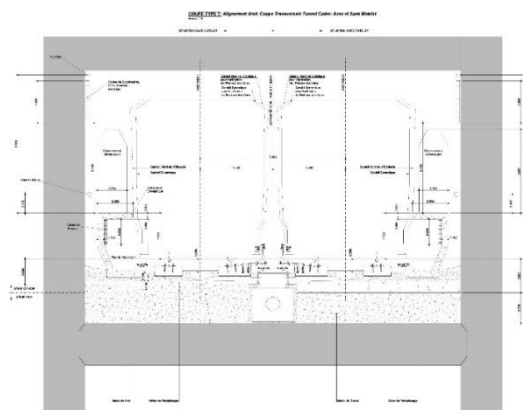


Figure I-7 Réalisation par tranchée couverte

3.3. Paramètres des tracés

Afin d'établir le tracé, plusieurs variantes ont été conçues et réfléchies par le bureau d'étude, ces dernières doivent respecter un panel de paramètres qui assureront leur bonne utilisation du matériel mobile et le confort des usagers. Les paramètres suivants

seront ceux à vérifier par la suite pour chaque variante selon les vérifications adaptées (1).

- Paramètres de tracé en plan :

Tableau I-1 Paramètres des tracés en plan

Paramètres de tracé en plan		Cahier	Extension C	IDOM - SIDEM
Rayon minimum	Normal	110 m	300 m	300 m
	Exceptionnel	60 / 80 m	200 m	110 m
	Aérien	400 m	-	-
	Souterrain	300 m	-	-
Rayon minimum en station	Normal	-	Droite	Droite
	Exceptionnel	-	R > 750 m	R > 750 m *
Longueur minimale de l'alignement droit		-	-	20 m ($V_{\max}/4$)
Longueur minimale du développement de la courbe		-	-	20 m ($V_{\max}/4$)
Longueur minimale de du développement de la clothoïde		-	-	20 m ($V_{\max}/4$)
Longueur minimale station		115 m	113 m	115 m
Dévers maximal		150 mm	150 mm	150 mm

- Paramètres du tracé du profil en long :

Tableau I-2 Paramètres du tracé du profil en long

Paramètres de tracé profil en long		Cahier	Extension C	IDOM - SIDEM
Pente longitudinale maximale en ligne	Normal	55 ‰	40 ‰	40 ‰
	Exceptionnel	55 ‰	55 ‰	55 ‰
Pente longitudinale minimale en ligne	Normal	-	5 ‰	5 ‰
	Exceptionnel	-	2 ‰	2 ‰
Pente en station	Maximale	-	5 ‰	20 ‰
	Minimale	-	2 ‰	0 ‰
Pente maximale en appareil de voie		-	-	40 ‰
Raccordement minimum	Normal	-	2.500 m	2.000 m
	Exceptionnel	-	1.250 m	1.250 m
Longueur minimale du raccordement vertical		-	-	20 m ($V_{\max}/4$)
Longueur minimale déclivité uniforme entre raccords		-	-	20 m ($V_{\max}/4$)

- Paramètres fonctionnels de conception :

Ces paramètres mesureront le confort des usagers

Tableau I-3 Paramètres fonctionnels de conception

Paramètres fonctionnels		Cahier	Extension C	IDOM - SIDEM
Vitesse maximale		70 km/h	70 - 72 km/h	72 km/h
Insuffisance maximale de dévers IMax (mm)		-	100 mm	100 mm
Accélération non compensée aq Max (m/s ²)	Normal	0.65 m/s ²	0.65 m/s ²	0.65 m/s ²
	Exceptionnel	0.65 m/s ²	0.98 m/s ²	0.65 m/s ²
Excès de dévers maximum EMax (mm)		-	-	100 mm
Variation maximale du dévers avec le temps [dD/dt] Max (mm/s)		-	-	40 mm/s
Variation maximale de l'angle de rotation de la voie [dθ/dt] Max (rad/s)		-	-	0.027 rad/s
Variation maximale de l'insuffisance avec le temps [dI/dt] Max (mm/s)		-	-	50 mm/s
Variation maximale de l'accélération non compensée avec le temps [daq/dt] Max (m/s ³)		-	0.40 - 0.67 m/s ³	0.40 m/s ³
Variation de dévers maximum [dD/dl] Max (mm/m)		-	2 mm/m	2 mm/m
Accélération maximale verticale av Max (m/s ²)		-	0,22 m/s ²	0,22 m/s ²

Le matériel utilisé doit respecter des prescriptions techniques.

3.4. Vérifications des paramètres des tracés

Les paramètres des tracés sont analysés selon leur disposition limitant les vitesses aux endroits où les rayons seraient insuffisants afin de maintenir le confort adéquat pour les usagers du métro (1).

Le tableau suivant résume les vérifications relatives aux paramètres des tracés.

Tableau I-4 Vérifications des paramètres des tracés

Paramètres de tracé	Formule de vérification	Condition
Insuffisance des dévers	$I(mm) = \left(11.85 * \frac{v^2}{R} \right) - D$	< 100 mm
Accélération Maximale non compensée	$a_{sc} \left(\frac{m}{s^2} \right) = \left(\frac{v^2}{12.96 * R} \right) - \frac{D}{153.62}$	< 0.65 m/s ²
Excès de dévers	$E(mm) = D - \left(\frac{11.8 * v^2}{R} \right)$	< 100 mm
Variation maximale de dévers	$\frac{dD}{dt} (mm/s) = \frac{D}{L_{cl}} * \frac{v}{3,6}$	< 40 mm/s

Variation maximale de l'angle de rotation de la voie	$\frac{d\theta}{dt} (rad/s) = \frac{\left(\frac{v}{3,6}\right) * \left(\frac{D}{1507}\right)}{L}$	< 0,027 rad/s
Variation de l'insuffisance de dévers	$\frac{dl}{dt} (mm/s) = \frac{l}{L_{Cl}} * \frac{v}{3,6}$	< 50m m/s
Variation de l'accélération non compensée	$\frac{da_{SC}}{dt} (m/s^3) = \left(\frac{a_{SC}}{L}\right) * \left(\frac{v}{3,6}\right)$	< 2 mm/m
Accélération verticale maximale	$a_{vMAX} (m/s^2) = \frac{v_{max}^2}{12,96 * R_v}$	< 0.22 m/s ²

v : vitesse de parcours de la courbe

R : rayon de courbure

D : dévers de la courbe

L_{Cl}: longueur de la clothoïde

a_{sc} : valeur de l'accélération non compensée dans la courbe

R_v: Paramètre de raccordement vertical (Kv)

- Voici à titre d'exemple les résultats de l'alternative 1 avec ses deux déclinaisons, profonde et superficielle (1).
- Alternative 1 superficielle :

N° COURBE	Largeur	Radio (m)	Vitesse pointe (km/h)	Vitesse minimale (km/h)	Dévers (mm)	Longeur de spirale (m)	Intervalle de variation							
							Insuffisance (mm)	Accélération non compensée (m/s ²)	Excès de dévers (mm)	Variation dévers (mm/s)	Variation de l'angle de rotation (rad/s)	Variation Insuffisance (mm/s)	Variation accélération non compensée (m/s ³)	Rampe dévers (mm/m)
1	UIC	390.00	72.00	0.00	100.00	50.00	56.85	0.37	100.00	40.00	0.03	22.74	0.15	2.00
2	UIC	160.00	49.00	0.00	80.00	40.00	97.07	0.64	80.00	27.22	0.02	33.03	0.22	2.00
3	UIC	130.00	41.00	0.00	60.00	30.00	92.58	0.61	60.00	22.78	0.02	35.15	0.23	2.00
4	UIC	950.00	72.00	0.00	60.00	30.00	4.39	0.03	60.00	40.00	0.03	2.93	0.02	2.00
5	UIC	450.00	72.00	0.00	100.00	50.00	35.94	0.24	100.00	40.00	0.03	14.37	0.10	2.00
6	UIC	3 000.00	72.00	0.00	20.00	30.00	0.39	0.00	20.00	13.33	0.01	0.26	0.00	0.67
7	UIC	5 500.00	72.00	0.00	10.00	40.00	1.12	0.01	10.00	5.00	0.00	0.56	0.00	0.25
8	UIC	350.00	72.00	0.00	80.00	40.00	94.77	0.62	80.00	40.00	0.03	47.39	0.31	2.00

Figure I-8 Vérification de l'accélération maximale variante 1 superficielle (1)

- Alternative 1 profonde (1):

N° COURBE	Largeur	Radio (m)	Vitesse pointe (km/h)	Vitesse minimale (km/h)	Dévers (mm)	Longeur de spirale (m)	Intervalle de variation							
							Insuffisance (mm)	Accélération non compensée (m/s ²)	Excès de dévers (mm)	Variation dévers (mm/s)	Variation de l'angle de rotation (rad/s)	Variation Insuffisance (mm/s)	Variation accélération non compensée (m/s ³)	Rampe dévers (mm/m)
1	UIC	390.00	72.00	0.00	100.00	50.00	56.85	0.37	100.00	40.00	0.03	22.74	0.15	2.00
2	UIC	500.00	72.00	0.00	80.00	40.00	42.34	0.28	80.00	40.00	0.03	21.17	0.14	2.00
3	UIC	500.00	72.00	0.00	80.00	40.00	42.34	0.28	80.00	40.00	0.03	21.17	0.14	2.00
4	UIC	950.00	72.00	0.00	60.00	30.00	4.39	0.03	60.00	40.00	0.03	2.93	0.02	2.00
5	UIC	450.00	72.00	0.00	100.00	50.00	35.94	0.24	100.00	40.00	0.03	14.37	0.10	2.00
6	UIC	3 000.00	72.00	0.00	20.00	30.00	0.39	0.00	20.00	13.33	0.01	0.26	0.00	0.67
7	UIC	5 500.00	72.00	0.00	10.00	40.00	1.12	0.01	10.00	5.00	0.00	0.56	0.00	0.25
8	UIC	350.00	72.00	0.00	80.00	40.00	94.77	0.62	80.00	40.00	0.03	47.39	0.31	2.00

Figure I-9 Vérification de l'accélération maximale pour la variante 1 profonde

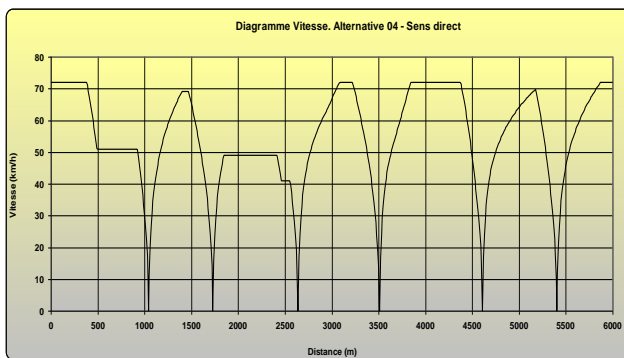
3.5. Vitesse et temps de parcours

L'étude a été faite pour les vitesses et les temps de parcours de chaque alternative, afin de les comparer entre elles, en tenant compte des caractéristiques du matériel mobile.

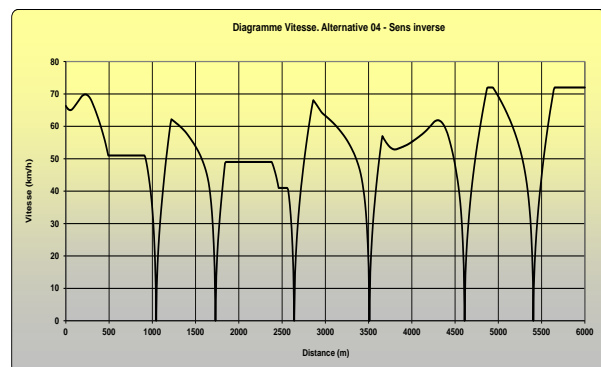
Pour chaque alternative, on établira 8 graphes, 4 pour l'alternative profonde et 4 pour l'alternative superficielle, en sens direct d'exploitation du matériel et en sens inverse.

Ces comparaisons se font pour tirer le meilleur chemin pour le projet en termes de vitesse et temps de parcours (1) (2).

Alternative Superficielle : Vitesses

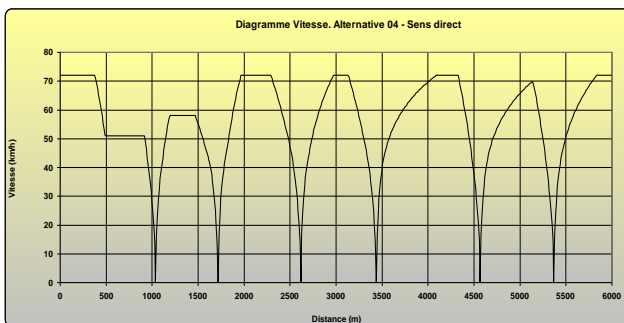


Vitesse commerciale, sens direct : 32,7 km/h

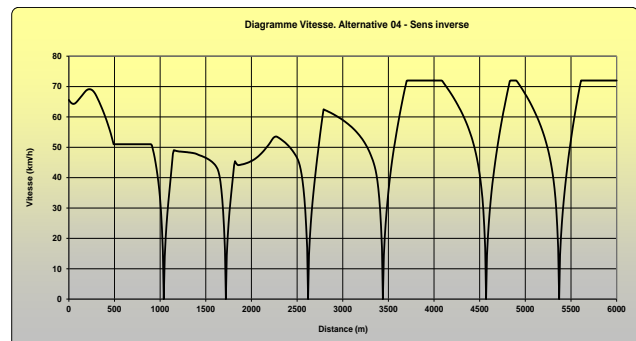


Vitesse Commerciale : sens inverse 32,0 km/h

Alternative Profonde : Vitesses



Vitesse commerciale, sens direct : 34,3 km/h



Vitesse commerciale, sens inverse : 33,2 km/h

3.6. Accélérations non compensées

Ayant une relation directe avec la vitesse et les caractéristiques du matériel mobile, une étude sur les accélérations est nécessaire. Cette analyse se base sur 3 accélérations, moyennes horizontales, verticales et latérales non compensées, le principal but de cette étude des accélérations est de minimiser l'effet induit de ces accélérations sur les usagers.

3.7. Synthèse de l'étude des tracés

A la lumière de ces vérifications et tests sur les alternatives de tracés, en ayant pour chacun des paramètres d'analyse des résultats caractérisant chacune des 4 alternatives, un tableau résume tout cela et prend en compte les paramètres suivants.

Dans ledit tableau, le vert indique l'option la plus favorable et le rouge la moins favorable.

Tableau I-5 Tableau récapitulatif des paramètres de tracé

Superficielle						
Valeurs	$V_{moyenne}$ Directe	T_{Route} Direct	Accélération Directe	$V_{moyenne}$ Inverse	T_{Route} Inverse	Accélération Inverse
Alternative 1	33,9 km/h	10'37''	0,956	33,3 km/h	10'49''	0,787
Alternative 2	33,0 km/h	10'55''	1,152	32,3 km/h	11'08''	1,019
Alternative 3	36,8 km/h	9'47''	0,955	35,9 km/h	10'01''	0,864
Alternative 4	32,7 km/h	11'01''	1,194	32,0 km/h	11'14''	1,023
Profonde						
Valeurs	$V_{moyenne}$ Directe	T_{Route} Direct	Accélération Directe	$V_{moyenne}$ Inverse	T_{Route} Inverse	Accélération Inverse
Alternative 1	36,7 km/h	9'49''	0,960	35,3 km/h	10'13''	0,674
Alternative 2	35,1 km/h	10'15''	1,342	33,8 km/h	10'40''	0,898
Alternative 3	36,4 km/h	9'53''	0,880	35,3 km/h	10'13''	0,594
Alternative 4	34,3 km/h	10'29''	1,470	33,2 km/h	10'50''	0,961

4. Analyse Financière

Le but de l'analyse financière est de donner une estimation des flux de dépenses (investissement et exploitation), des recettes associées au projet et de donner un schéma de financement des investissements requis pour la réalisation du projet.

Cette étude est affectée selon l'indice des prix et le taux d'actualisation, ces deux aspects sont détaillés par la suite.

- Indice des prix :

Conformément aux recommandations du « Guide de maturation des grands projets d'infrastructure économique et sociale », l'indice des prix des consommateurs choisi pour cette analyse est la moyenne des cinq dernières années (2).

- Taux d'Actualisation :

Pour le calcul de la Valeur Actuelle Nette Financière (VANF), le taux à prendre en compte est le Taux d'emprunt à l'État, 4% selon Guide CNED.

4.1. Paramètres de l'analyse financière

Les paramètres de l'analyse se résument en 5 axes primordiaux : le financement du projet (Impôts et Intérêts), la durée de l'analyse financière, les différents types d'investissements, les recettes à la mise en service du Lot 2 et les recettes tout au long de la durée de vie du projet.

4.1.1. Financement du projet : Intérêts & Impôts

Etant un projet de l'Etat, les intérêts et impôts sont couverts par le budget du ministère des Transports.

4.1.2. Durée de l'Analyse financière :

La durée de l'analyse financière est traduite comme le nombre d'années où il faudra examiner les différents flux financiers engendrés par le projet.

Le guide de la CNED recommande des analyses d'une quarantaine d'années (pour les équipements primaires lourds).

4.1.3. Investissements :

L'investissement total inclut les investissements primaires, le coût d'investissements complémentaires et les dépenses d'exploitation et d'entretien.

- Investissements Primaires :

Investissement requis pour la construction de l'infrastructure du projet, l'expropriation ainsi que le suivi des travaux, les coûts couverts par l'investissement sont :

- Coût de construction.
- Coût d'acquisition foncière.
- Coût du suivi des travaux.

Total investissements primaires : (3)

Tableau I-6 Récapitulatif des investissements primaires

Alternative	Coût Construction projet HT (Dzd)	Suivi des travaux HT (Dzd)	Investissement Foncier HT (Dzd)	Total Coût Investissements Primaires HT (Dzd) :
Alternative 1 PS	51.285.405.486,30	512.854.054,86	717.995.676,81	52.516.255.217,98
Alternative 2 PS	50.296.858.899,64	502.968.589,00	704.156.024,60	51.503.983.513,24
Alternative 3 PS	49.842.966.790,64	498.429.667,90	697.801.535,07	51.039.197.993,36
Alternative 4 PS	47.748.610.771,97	477.486.107,72	668.480.550,81	48.894.577.430,49
Alternative 1 PP	67.865.977.737,99	678.659.777,38	882.257.710,59	69.426.895.225,97
Alternative 2 PP	68.437.335.512,15	684.373.355,12	951.278.963,62	70.072.987.830,89
Alternative 3 PP	66.605.951.612,98	666.059.516,13	932.483.322,58	68.204.494.451,69
Alternative 4 PP	68.242.299.611,64	682.422.996,12	948.567.964,60	69.873.290.572,36

On remarque que l'alternative 4 avec la variante superficielle est celle qui a besoin de moins d'investissements primaires contrairement à l'alternative 2 profonde qui est la plus coûteuse.

- **Investissements Complémentaires :**

L'investissement secondaire du projet inclut l'achat du matériel roulant et son renouvellement, le coût total, hors taxe, et sans tenir compte de l'inflation

- Achat Matériel Roulant.
- Renouvellement Matériel Roulant.
- Matériel Roulant complémentaire.

Total investissements complémentaires (3) :

Tableau I-7 Récapitulatif des investissements complémentaires

Coût achat matériel roulant (Dzd)	Coût achat matériel roulant supplémentaire (Dzd)	Coût renouvellement matériel roulant (Dzd)	Total coût investissements complémentaires (Dzd)
8.000.000.000,00	2.000.000.000,00	2.400.000.000,00	12.400.000.000,00

- **Dépenses d'exploitation et d'entretien :**

Cela couvre les dépenses d'entretien courant et les dépenses de gros entretien ou renouvellement.

- Dépenses d'exploitation et d'entretien.

Le tableau suivant montre les estimations réalisées pour les coûts d'opération et d'entretien en 2022.

Tableau I-8 Dépenses d'entretien courant

Alternative	Total coûts d'opération et d'entretien par an (2022) HT en Dzd
Alternative 1 PS	486.085.900
Alternative 2 PS	485.762.157
Alternative 3 PS	484.035.529
Alternative 4 PS	487.601.698
Alternative 1 PP	502.046.411
Alternative 2 PP	501.706.482
Alternative 3 PP	534.134.334
Alternative 4 PP	535.710.604

Remarque : Une inspection générale de l'infrastructure devrait être réalisée avec une périodicité d'une dizaine d'année pour les dépenses de gros entretiens et ceci afin de détecter et réparer les possibles défaillances.

4.1.4. Recettes à la mise en service du lot 2 :

Elles comprennent la plupart des recettes du projet et représentent les paiements des titres de voyage par les voyageurs lors de l'utilisation du métro.

Le prix considéré pour la détermination des recettes de trafics serait de 50 Dzd (3).

Tableau I-9 Recettes de la mise en service 2022

	Recette à la mise en service (Dzd)
Alternatives	Année 2022
Alternative 1 PS	2.584.104.500
Alternative 2 PS	2.722.285.200
Alternative 3 PS	2.562.210.350
Alternative 4 PS	2.718.909.450
Alternative 1 PP	2.584.104.500
Alternative 2 PP	2.722.285.200
Alternative 3 PP	2.562.210.350
Alternative 4 PP	2.718.909.450

4.1.5. Recettes au long de la durée de vie du projet :

L'évolution de la clientèle, que ça soit le nombre de nouveaux clients utilisant les services apportés par le métro ou bien le prix du voyage, tout cela doit être pris en considération dans l'étude, elle doit prendre en compte la durée que couvre l'analyse (40ans).

4.2. Synthèse de l'analyse financière

L'alternative la plus rentable financièrement est l'Alternative 4 Plus Superficielle avec un VANF de 40.697.618.906 dinars, un TRIF de 6,02% et la période de récupération de l'investissement est de 33 ans, bien que leurs valeurs soient très similaires à ceux des Alternatives 2 PS et 3 PS.

Ces résultats montrent que l'investissement produira des gains au-dessus de la rentabilité exigée, et donc que le présent projet est parfaitement viable du point de vue strictement financier (3).

Tableau I-10 Résultats VANF et TRIF - Analyse Financière

Variante	VANF (Dzd)	TRIF	Période de Récupération de l'Investissement (ans)
Alternative 1 PS	31.746.233.512	5,34%	37 ans
Alternative 2 PS	38.738.716.417	5,80%	34 ans

Alternative 3 PS	32.180.929.605	5,42%	36 ans
Alternative 4 PS	40.697.618.906	6,02%	33 ans
Alternative 1 PP	17.152.462.090	4,15%	44 ans
Alternative 2 PP	22.757.514.012	4,44%	42 ans
Alternative 3 PP	16.159.697.431	4,11%	45 ans
Alternative 4 PP	21.589.128.385	4,38%	43 ans

5. Analyse Economique

L'objectif est de cette analyse est de comparer la viabilité économique préliminaire de chaque alternative proposée pour l'Extension du Métro d'Alger de Ain Naadja à Baraki (LOT 2).

Elle prend en compte les gains et les pertes. Elle tient compte des économies de temps et la diminution de la pollution, et cela se traduira en termes monétaires. Les résultats seront déterminés par les calculs du Bénéfice Actualisé (BA) et le Taux de Rendement Interne socio-économique (TRI) de chaque alternative.

5.1. Procédures de l'Analyse économique :

Cette analyse est réalisée sur la base de l'unification du prix du transport entre toutes les alternatives.

Le coût de transport généralisé tient compte de deux aspects : le temps et le prix de transport.

Toutefois, on ne doit pas oublier que le gain de temps est séparé du prix de transport. Le bénéfice du temps est ainsi étudié comme un avantage à part.

5.2. Etude des coûts

Les coûts à considérer dans l'analyse économique sont ceux relatifs à la réalisation du projet (explicités dans l'analyse financière précédemment) :

- Coûts de construction, matériel roulant et suivi des travaux.
- Réinvestissements du matériel roulant.
- Coûts d'opération et d'entretien.

5.3. Etude des Avantages du projet

Le gain de temps et la diminution d'émissions de CO₂ seront les deux avantages traités.

5.3.1. Gain de temps

Cela réfère au temps relatif au changement de moyen de transports de la part des usagers.

Le prix de l'heure en Algérie a été estimé à 180 dinars l'heure. Les calculs détaillés sont exprimés ci-dessous : (4)

Tableau I-11 Valeurs en Dinar Algérien du gain de temps - estimation 2022

Gain de temps en Dinar Dzd	
Alternatives	Année 2022
Alternative 1 PS	7.531.214.187
Alternative 2 PS	7.817.481.760
Alternative 3 PS	7.784.105.171
Alternative 4 PS	7.767.595.963
Alternative 1 PP	7.840.446.833
Alternative 2 PP	8.079.912.591
Alternative 3 PP	7.743.422.583
Alternative 4 PP	7.973.827.866

5.3.2. Diminution d'émission de CO₂

En tenant compte qu'une partie des utilisateurs de transports individuels (voiture, taxis...) vont opter pour un trajet en métro, logiquement le nombre de véhicules sur la route se verra à la baisse, cela va induire une diminution des gaz à effet de serre.

Selon l'International Energy Agency (IEA), en Algérie 1 kWh équivaut à 0,548 kg de CO₂, donnée nécessaire pour le calcul de l'équivalent monétaire de la diminution totale de CO₂ pour chaque alternative.

Après avoir calculé le total des émissions, le coût unitaire de 1 kg de CO₂ en dinars algériens, soit 2,53 DZD/kg est appliqué.

Dans le tableau suivant, on résumera les résultats suivants :

Tableau I-12 Résultats de la diminution de l'émission de CO₂ traduits en valeurs monétaires selon les alternatives de tracé

Diminution totale de CO₂ (en DZD)	
Alternatives	Année 2022
Alternative 1 PS	58.609.799
Alternative 2 PS	62.372.538
Alternative 3 PS	58.089.574
Alternative 4 PS	62.105.373
Alternative 1 PP	58.609.799
Alternative 2 PP	62.372.538
Alternative 3 PP	57.264.352

Alternative 4 PP	62.105.373
------------------	------------

5.4. Synthèse Analyse économique

A la lumière des résultats obtenus, on en déduit :

- L'analyse économique montre des bénéfices sociaux que le projet offre à la collectivité nationale (gain du temps, réduction des émissions polluantes, etc.), et conclut que toutes les alternatives sont viables et envisageables.
- L'alternative la plus rentable économiquement est l'Alternative 4 PS avec un bénéfice actualisé BA de 21.569.139.540 dinars et un TRI de 11,03%.

L'analyse des bénéfices sociaux et environnementaux montre que la réalisation de ce projet est viable. Sachant qu'il s'agit de l'un des principaux objectifs de ce genre de projets, le développement économique et social de la région d'implantation, la décision globale sera de Viabiliser le Projet.

6. Analyse Multicritères

L'analyse multicritère est un ensemble de techniques d'évaluation de projets qui permet de fonder une sélection en pondérant de multiples objectifs, la chronologie des étapes à suivre permet d'abord de faciliter le processus pour avoir les meilleurs résultats et faire un choix optimal du projet sont :

- Etablissement des indicateurs et définition d'objectifs (fonctionnalité et coût économique).
- Etablir des critères d'évaluation pour chaque objectif (évaluation linéale des alternatives).
- Une échelle d'évaluation doit être prédéfinie avec des valeurs entre 0 et 1.
- Poids et coefficients de pondération qui reflète l'importance du critère dans le choix de l'alternative
- La matrice d'évaluation est obtenue par les valeurs obtenues selon l'importance de chaque critère et son alternative
- Utiliser les méthodes d'analyse multicritère pour objectiver le processus – METHODE PATTERN dans ce cas.

6.1. Méthode Pattern

Parmi les méthodes multicritères usuelles, la méthode Pattern requière des évaluations très précises pour l'accomplissement de chaque critère et, pour certains objectifs. Si l'on veut évaluer 'n' alternatives moyennant 'm' critères, on devra construire la matrice alternatives-critères décrite ci-après, suivant le processus décrit. Les évaluations individuelles des critères seront les éléments ' a_{ij} ' et les ' β_j ' seront les poids assignés à chaque critère.

Métro Alternatives	Critères					Taux D'appartenance IP
	1	...	i	...	m	
Alternative 1	a_{11} a_{m1} a_{ij} a_{nj} a_{nm}					IP-1
...						...
Alternative i						IP-i
...						...
Alternative n						IP-n
Poids	β_1	...	β_j	...	β_n	

La méthode PATTERN ajoute les évaluations individuelles de chaque critère par un taux d'appartenance. Avant de le calculer il faudrait homogénéiser les valeurs 'a_{ij}'.
 Puis, le taux d'appartenance est déterminé par l'addition de valeurs obtenues par alternative pour chaque critère, pondéré par leurs poids :

$$IP = \sum_{j=1}^n A_{ij} \beta_j$$

6.2. Procédure d'analyse :

Par l'application de certains poids, la Méthode Pattern permet l'évaluation et comparaison des alternatives. Cette évaluation comportera l'analyse de robustesse, de sensibilité et de préférences.

6.2.1. Analyse de robustesse

Elle consiste en l'application de toutes les combinaisons possibles de poids aux critères précédents. La valeur des poids se trouve dans l'intervalle de 0,0 à 1,0 et l'écart est de

0,1. En respectant
$$\sum_{j=1}^n \beta_j = 1.$$

6.2.2. Analyse de préférence

Il s'agit d'appliquer toutes les combinaisons possibles de poids à chaque critère mais dans un intervalle de 0,1 (faible importance) à 0,3 (forte importance), avec un écart est de 0,1.

6.2.3. Analyse de sensibilité

Cette analyse consiste en l'application de poids à chaque critère selon un ordre de préférence relative en adéquation avec le projet.

6.3. Etablissement des indicateurs

L'analyse multicritère réalisée se base sur l'étude de certains paramètres, caractérisant le projet soit sur le plan technique, financier, économique et bien d'autres aspects. Elle se fera selon les indicateurs suivants :

- Objectifs Atteints
- Etude technique
- Analyse financière
- Identification des impacts.
- Etude de la clientèle
- Analyse financière
- Analyse économique

6.4. Evaluation linéale des alternatives

Le but de cette évaluation est de trouver les fonctions de chaque indicateur de la matrice multicritères pour les évaluer et les comparer sur un même pied d'égalité et que le choix soit fait sur une base équitable.

En faisant cela, les fonctions réelles vont aider à interpréter les différents résultats et les mettre sur une même échelle. Ces fonctions d'évaluation peuvent être de type linéaire, spécialement appropriés pour les critères de coût, ou bien de type non linéaire avec une pente croissante ou décroissante, ces dernières non linéaires sont beaucoup plus utiles pour bien recueillir les variations qui ne doivent pas être négligées car ils sont causes de changements notoires dans l'analyse.

À chaque fonction d'évaluation est associée une valeur seuil maximale qui correspond à la plus grande valeur de l'indicateur en question et toutes les valeurs annexes de cet indicateur seront dans un nuage approchant cette valeur.

Dans ce qui va suivre, les équations et formules caractérisant chaque indicateur pour la matrice de pondération pour l'analyse multicritère seront illustrées.

Les différentes équations des différents paramètres servant à réaliser l'étude économique sont basées sur l'étude comparative réalisée par le bureau d'étude IDOM engineering.

o Objectifs Atteints

- Cohérence avec le Plan d'Aménagement et d'Urbanisme de la Wilaya d'Alger (PDAU d'Alger)
- L'alternative la plus attractive aura une valeur transformée 1 et les autres alternatives auront une valeur transformée calculée selon la formule suivante :

$$\text{Valeur Transformée} = 1 - 0,001 * \text{Valeur originale}$$

- Connexion avec la Gare Ferroviaire Ain Naadja

Dans ce point, sont comparées des distances différentes de zéro, ou qui ont le moins de distance, le mieux pour l'alternative.

$$I = 1 - \frac{(D_i - D_{\min})}{D_{\min}}$$

○ Étude de clientèle

Dans les quatre indicateurs de ce groupe, plus la valeur est grande, plus l'alternative est attirante (plus d'utilisateurs transférés, plus de demande, plus de gains de temps, etc.). De ce fait, on considère la vitesse d'exploitation moyenne la plus grande (D_{\max}) comme ayant la valeur 1

$$I = 1 - \frac{(D_{\max} - D_i)}{D_{\max}}$$

○ Étude Technique - Fonctionnalités du Projet

- Vitesse d'exploitation

On considère la vitesse d'exploitation moyenne la plus grande comme ayant la valeur 1, les autres valeurs seront en fonction de cette dernière suivant la formule suivante :

$$I = 1 - \frac{(V_{\max} - V_i)}{V_{\max}}$$

- Temps de parcours

La valeur avec le moins de temps de parcours sera attribuée la valeur maximale de 1, les autres valeurs sont en fonction de la formule ci-dessous :

$$I = 1 - \frac{(T_i - T_{\min})}{T_{\min}}$$

- Distance moyenne inter-stations

Plus la distance calculée est grande, pire sont placées les stations. C'est-à-dire, on assignera la valeur 1 à l'alternative dont la distance est la plus faible, les autres alternatives auront la déviation correspondante par rapport à la formule :

$$I = 1 - \frac{(D_i - D_{\min})}{D_{\min}}$$

- Profondeur moyenne de stations

Suivant le même critère, l'alternative avec une profondeur moyenne plus faible aura une valeur transformée 1, et le reste suivra la formule :

$$I = 1 - \frac{(D_i - D_{\min})}{D_{\min}}$$

○ Études Techniques. Analyse des Risques Techniques

Plus la distance calculée est grande, plus négative est ladite alternative. On prend alors comme valeur 1 l'alternative avec la distance la plus petite (D_{\min}).

De ce fait, on utilise la formule linéale suivante : $I = \frac{D_{\min}}{D_i}$

○ Analyse Financière

- Coûts d'investissement (Infrastructures et matériel)

L'alternative la plus intéressante est l'alternative qui demande le moins d'investissement, caractérisé par la formule suivante pour l'analyse multicritère :

$$I = 1 - \frac{(C_i - C_{\min})}{C_{\min}}$$

- Coûts d'exploitation et d'entretien

La formule utilisée pour estimer cela est :

$$I = 1 - \frac{(C_i - C_{\min}(x))}{C_{\min}}$$

- VANF

Contrairement aux coûts d'investissement, la VANF de l'alternative, plus la VANF est grande plus l'alternative est intéressante. Caractérisée par la formule :

$$I = 1 - \frac{(VANF_{\max} - VANF_i)}{VANF_{\max}}$$

- TRIF

Afin de pouvoir comparer d'une manière correcte les Taux de Rendement Interne Financière, il faut tenir compte aussi du Taux d'actualisation considéré dans les calculs. La comparaison se fait par rapport au Taux d'actualisation considéré, soit $T = 4\%$, La valeur qui présente un TRIF supérieur prend alors la valeur 1.

$$I = 1 - \frac{(TRIF_{\max} - TRIF_i)}{TRIF_{\max} - T}$$

○ Analyse économique

- Bénéfice Actualisé

Même situation que pour la VANF.

$$I = 1 - \frac{(BA_{\max} - BA_i)}{BA_{\max}}$$

- Taux de rendement interne socioéconomique

Même situation que le TRIF sauf que le taux d'actualisation socioéconomique est de 8%.

$$I = 1 - \frac{(TRI_{\max} - TRI_i)}{TRI_{\max} - T}$$

- Bénéfice Actualisé par Dinar investi

Pour comparer le ratio, la formule suivante est utilisée :

$$I = 1 - \frac{(Ratio_{\max} - Ratio_i)}{Ratio_{\max}}$$

○ Identification des Impacts Environnementaux

- Bruit et Vibration

Avec les approches profondes qui sont les plus intéressantes vu leur impact nul sur le plan bruit et vibration donc la valeur de l'effet étant 0 donc la valeur transformée sera de 1 (le maximum)

Quant aux autres alternatives superficielles la valeur transformée est calculée avec :

Valeur transformée = $1 - 0.0001 * \text{Valeur Originale}$.

- Pollution Locale

L'alternative qui prend la valeur maximale de 1 est celle qui réduit le plus la quantité de CO₂. Pour cela, la formule envisagée de type linéal est la suivante :

$$I = 1 - \frac{(CO2_{\max} - CO2_i)}{CO2_{\max}}$$

o **Identification impacts sociaux**

- Impact sur les déplacements involontaires de populations

On considère la population desservie maximale et elle est considérée comme 1. Les déviations sont obtenues grâce à la formule :

$$I = 1 - \frac{(P_{\max} - P_i)}{P_{\max}}$$

- Impacts fonciers : Bâtiments affectés

Ici on préconise l'alternative avec l'impact le plus faible sur les bâtiments et ça sera celle-là qui prendra la valeur maximale, la formule pour calculer les autres alternatives sera :

$$I = \frac{D_{\min}}{D_i}$$

- Impact sur les riverains et les commerces avoisinants

L'élément principale qui influe sur cet impact est la longueur du tracé pendant les travaux. Avec des alternatives plus profondes avec un impact nul, ces dernières auront donc une valeur transformée de 1 qui sera le maximum. Quant aux autres valeurs plus superficielles dont l'impact ne sera pas nul auront une valeur transformée égale à :

Valeur Transformée = $1 - 0,0001 * \text{Valeur originale}$

6.5. Matrice Multicritère et de pondération des alternatives

MATRICE MULTICRITÈRE D'ALTERNATIVES	INDICATEURS							
<u>1. OBJECTIFS ATTEINTS</u>	A 1 PS	A 1 PP	A 2 PS	A 2 PP	A 3 PS	A 3 PP	A 4 PS	A 4 PP
1.1 Cohérence avec le PDAU de la Wilaya d'Alger	0,58	1,00	0,58	1,00	0,55	1,00	0,58	1,00
1.2 Connexion avec la Gare Ferroviaire Ain Naadja	0,88	0,77	0,88	0,76	1,00	0,79	0,88	0,76
<u>2. ETUDES DE CLIENTÈLE</u>	A 1 PS	A 1 PP	A 2 PS	A 2 PP	A 3 PS	A 3 PP	A 4 PS	A 4 PP
2.1 Trafics existants reportés sur le projet (BUS + T.I.)	0,95	0,95	1,00	1,00	0,94	0,94	1,00	1,00
2.2 Nouveaux usagers induits	0,95	0,95	1,00	1,00	0,94	0,94	1,00	1,00
2.3 Gains de temps	0,93	0,97	0,97	1,00	0,96	0,96	0,96	0,99

MATRICE MULTICRITÈRE D'ALTERNATIVES	INDICATEURS							
2.4 Demande du Métro	0,95	0,95	1,00	1,00	0,94	0,94	1,00	1,00
3. ETUDES TECHNIQUES. FONCTIONNALITÉS DU PROJET	A 1	A 1	A 2	A 2	A 3	A 3	A 4	A 4
	PS	PP	PS	PP	PS	PP	PS	PP
3.1 Vitesse d'exploitation	0,92	1,00	0,90	0,95	1,00	0,99	0,89	0,93
3.2 Temps de Parcours	0,91	1,00	0,88	0,95	1,00	0,99	0,87	0,93
3.3 Distance moyenne inter-stations	0,31	0,31	1,00	1,00	0,51	0,51	0,36	0,36
3.4 Profondeur moyenne de stations	0,97	0,18	0,93	0,20	0,98	0,13	1,00	0,28
4. ETUDES TECHNIQUES. ANALYSE DES RISQUES TECHNIQUES	A 1	A 1	A 2	A 2	A 3	A 3	A 4	A 4
	PS	PP	PS	PP	PS	PP	PS	PP
4.1 Contraintes géotechniques. Risque de subsidences	0,37	1,00	0,73	0,71	0,42	0,59	0,98	0,78
4.2 Contraintes topographiques	0,94	0,86	0,69	0,51	0,90	1,00	0,94	0,51
4.3 Impact sur les réseaux pendant l'exécution des travaux	0,17	1,00	0,17	1,00	0,17	1,00	0,17	1,00
5. ANALYSE FINANCIÈRE	A 1	A 1	A 2	A 2	A 3	A 3	A 4	A 4
	PS	PP	PS	PP	PS	PP	PS	PP
5.1 Coûts d'investissement HT (infrastructures et matériel)	0,93	0,58	0,95	0,57	0,96	0,61	1,00	0,57
5.2 Coûts d'exploitation et d'entretien	1,00	0,96	1,00	0,96	1,00	0,90	0,99	0,89
5.3 VANF	0,78	0,42	0,95	0,56	0,79	0,40	1,00	0,46
5.4 TRIF	0,67	0,07	0,89	0,22	0,70	0,05	1,00	0,19
6. ANALYSE ÉCONOMIQUE	A 1	A 1	A 2	A 2	A 3	A 3	A 4	A 4
	PS	PP	PS	PP	PS	PP	PS	PP
6.1 Bénéfice Actualisé	0,75	0,23	0,92	0,32	0,92	0,23	1,00	0,27
6.2 TRI socioéconomique	0,72	0,18	0,89	0,25	0,89	0,18	1,00	0,21
6.3 BA par DA investi	0,70	0,16	0,88	0,22	0,88	0,16	1,00	0,19
7. IDENTIFICATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	A 1	A 1	A 2	A 2	A 3	A 3	A 4	A 4
	PS	PP	PS	PP	PS	PP	PS	PP
7.1 Bruit et vibrations	0,80	1,00	0,80	1,00	0,81	1,00	0,93	1,00
7.2 Pollution locale	1,00	1,00	0,88	0,88	0,99	0,99	0,88	0,88
8. IDENTIFICATION DES IMPACTS SOCIAUX	A 1	A 1	A 2	A 2	A 3	A 3	A 4	A 4
	PS	PP	PS	PP	PS	PP	PS	PP
8.1 Impact sur les déplacements involontaires de populations (population desservie)	0,96	0,96	0,92	0,92	1,00	1,00	0,92	0,92
8.2 Impacts fonciers : Bâtiments affectés	0,43	1,00	0,43	1,00	0,43	1,00	0,38	0,75
8.3 Impact sur les riverains et commerces pendant l'exécution des travaux	0,84	1,00	0,85	1,00	0,84	1,00	0,85	1,00

Pour établir la matrice de pondérations qui va venir être la base de la méthode PATTERN utilisée pour l'analyse multicritère, des coefficients vont caractériser chaque indicateur, et cela pour homogénéiser le tableau précédent et avoir des ordres de grandeurs équivalents pour les poids de chaque indicateur. Les coefficients de

pondération fluctuent entre 0 et 10 en fonction de la valeur transformée à qui le coefficient y est assigné.

Tableau I-13 Tableau récapitulatif de la matrice de pondération pour la méthode PATTERN

MATRICE MULTICRITÈRE PONDÉRÉE D'ALTERNATIVES									
1. OBJECTIFS ATTEINTS	FACTEUR DE PONDÉRATION	INDICATEURS PONDÉRÉS							
		A 1 PS	A 1 PP	A 2 PS	A 2 PP	A 3 PS	A 3 PP	A 4 PS	A 4 PP
1.1 Cohérence avec le PDAU de la Wilaya d'Alger	2,00	1,17	2,00	1,17	2,00	1,09	2,00	1,17	2,00
1.2 Connexion avec la Gare Ferroviaire Ain Naadja	8,00	7,07	6,14	7,07	6,07	8,00	6,30	7,07	6,07
SOUSTOTAL	10,00	8,24	8,14	8,24	8,07	9,09	8,30	8,24	8,07
2. ETUDES DE CLIENTÈLE	FACTEUR DE PONDÉRATION	INDICATEURS PONDÉRÉS							
		A 1 PS	A 1 PP	A 2 PS	A 2 PP	A 3 PS	A 3 PP	A 4 PS	A 4 PP
2.1 Trafics existants reportés sur le projet (BUS + T.I.)	2,00	1,90	1,90	2,00	2,00	1,88	1,88	2,00	2,00
2.2 Nouveaux usagers induits	1,00	0,95	0,95	1,00	1,00	0,94	0,94	1,00	1,00
2.3 Gains de temps	5,00	4,66	4,85	4,84	5,00	4,82	4,79	4,81	4,93
2.4 Demande du Métro	2,00	1,90	1,90	2,00	2,00	1,88	1,88	2,00	2,00
SOUSTOTAL	10,00	9,41	9,60	9,84	10,00	9,52	9,50	9,80	9,93
3. ETUDES TECHNIQUES. FONCTIONNALITÉS DU PROJET	FACTEUR DE PONDÉRATION	INDICATEURS PONDÉRÉS							
		A 1 PS	A 1 PP	A 2 PS	A 2 PP	A 3 PS	A 3 PP	A 4 PS	A 4 PP
3.1 Vitesse d'exploitation	4,00	3,68	3,99	3,59	3,82	4,00	3,96	3,55	3,73
3.2 Temps de Parcours	4,00	3,66	3,99	3,54	3,81	4,00	3,96	3,50	3,72
3.3 Distance moyenne inter-stations	1,00	0,31	0,31	1,00	1,00	0,51	0,51	0,36	0,36
3.4 Profondeur moyenne de stations	1,00	0,97	0,18	0,93	0,20	0,98	0,13	1,00	0,28
SOUSTOTAL	10,00	8,62	8,46	9,06	8,82	9,48	8,55	8,41	8,08
4. ETUDES TECHNIQUES. ANALYSE DES RISQUES TECHNIQUES	FACTEUR DE PONDÉRATION	INDICATEURS PONDÉRÉS							
		A 1 PS	A 1 PP	A 2 PS	A 2 PP	A 3 PS	A 3 PP	A 4 PS	A 4 PP
4.1 Contraintes géotechniques. Risque de subsidences	2,00	0,74	2,00	1,47	1,43	0,84	1,18	1,95	1,57
4.2 Contraintes topographiques	3,00	2,81	2,58	2,07	1,54	2,70	3,00	2,82	1,52
4.3 Impact sur les réseaux pendant l'exécution des travaux	5,00	0,87	5,00	0,87	5,00	0,87	5,00	0,87	5,00
SOUSTOTAL	10,00	4,43	9,58	4,41	7,97	4,41	9,18	5,65	8,09
5. ANALYSE FINANCIÈRE	FACTEUR DE PONDÉRATION	INDICATEURS PONDÉRÉS							
		A 1 PS	A 1 PP	A 2 PS	A 2 PP	A 3 PS	A 3 PP	A 4 PS	A 4 PP

MATRICE MULTICRITÈRE PONDÉRÉE D'ALTERNATIVES									
5.1 Coûts d'investissement HT (infrastructures et matériel)	4,00	3,70	2,32	3,79	2,27	3,82	2,42	4,00	2,28
5.2 Coûts d'exploitation et d'entretien	4,00	3,98	3,85	3,99	3,85	4,00	3,59	3,97	3,57
5.3 VANF	1,00	0,78	0,42	0,95	0,56	0,79	0,40	1,00	0,46
5.4 TRIF	1,00	0,67	0,07	0,89	0,22	0,70	0,05	1,00	0,19
SOUSTOTAL	10,00	9,13	6,67	9,61	6,90	9,32	6,46	9,97	6,51
6. ANALYSE ÉCONOMIQUE	FACTEUR DE PONDERATION	INDICATEURS PONDERES							
		A 1 PS	A 1 PP	A 2 PS	A 2 PP	A 3 PS	A 3 PP	A 4 PS	A 4 PP
6.1 Bénéfice Actualisé	6,00	4,51	1,39	5,53	1,91	5,52	1,35	6,00	1,60
6.2 TRI socioéconomique	2,00	1,44	0,36	1,78	0,49	1,78	0,36	2,00	0,41
6.3 BA par DA investi	2,00	1,40	0,33	1,75	0,44	1,76	0,32	2,00	0,37
SOUSTOTAL	10,00	7,35	2,07	9,06	2,84	9,07	2,03	10,00	2,39
7. IDENTIFICATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	FACTEUR DE PONDERATION	INDICATEURS PONDERES							
		A 1 PS	A 1 PP	A 2 PS	A 2 PP	A 3 PS	A 3 PP	A 4 PS	A 4 PP
7.1 Bruit et vibrations	2,00	1,59	2,00	1,59	2,00	1,62	2,00	1,85	2,00
7.2 Pollution locale	8,00	8,00	8,00	7,04	7,04	7,93	7,93	7,03	7,03
SOUSTOTAL	10,00	9,59	10,00	8,63	9,04	9,55	9,93	8,88	9,03
8. IDENTIFICATION DES IMPACTS SOCIAUX	FACTEUR DE PONDERATION	INDICATEURS PONDERES							
		A 1 PS	A 1 PP	A 2 PS	A 2 PP	A 3 PS	A 3 PP	A 4 PS	A 4 PP
8.1 Impact sur les déplacements involontaires de populations (population desservie)	6,00	5,78	5,78	5,49	5,49	6,00	6,00	5,54	5,54
8.2 Impacts fonciers : Bâtiments affectés	3,00	1,29	3,00	1,29	3,00	1,29	3,00	1,13	2,25
8.3 Impact sur les riverains et commerces pendant l'exécution des travaux	1,00	0,84	1,00	0,85	1,00	0,84	1,00	0,85	1,00
SOUSTOTAL	10,00	7,91	9,78	7,63	9,49	8,13	10,00	7,52	8,79

Le tableau ci-dessous résume les sous-totaux de chaque étude des indicateurs après l'application des coefficients de pondération :

Tableau I-14 Récapitulatif Sous Totaux des indicateurs - analyse multicritère

	1. OBJECTIFS ATTEINTS	2. ETUDES DE CLIENTÈLE	3. ETUDE TECHNIQUE DES FONCTIONNALITÉS DU PROJET	4. ETUDE TECHNIQUE : ANALYSE DES RISQUES TECHNIQUES	5. ANALYSE FINANCIÈRE	6. ANALYSE ÉCONOMIQUE	7. IDENTIFICATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	8. IDENTIFICATION DES IMPACTS SOCIAUX
A 1 PS	8,24	9,41	8,62	4,43	9,13	7,35	9,59	7,91
A 1 PP	8,14	9,60	8,46	9,58	6,67	2,07	10,00	9,78

A 2 PS	8,24	9,84	9,06	4,41	9,61	9,06	8,63	7,63
A 2 PP	8,07	10,00	8,82	7,97	6,90	2,84	9,04	9,49
A 3 PS	9,09	9,52	9,48	4,41	9,32	9,07	9,55	8,13
A 3 PP	8,30	9,50	8,55	9,18	6,46	2,03	9,93	10,00
A 4 PS	8,24	9,80	8,41	5,65	9,97	10,00	8,88	7,52
A 4 PP	8,07	9,93	8,08	8,09	6,51	2,39	9,03	8,79

Après avoir défini la matrice de pondération, on procède à l'application de la méthode Pattern définie précédemment.

6.6. Application de la méthode Pattern

L'application de la méthode se résume à la traduction des résultats et de la pondération de ces derniers à travers les analyses de robustesse, de sensibilité et de préférences. Ces analyses étant déjà définies au préalable, on illustrera ci-dessous les résultats de chacune.

- **Analyse de Robustesse**

Les résultats montrent une supériorité claire pour l'Alternative 3 PS.

Tableau I-15 Résultats Analyse de Robustesse

ANALYSE DE ROBUSTESSE		
	N° de comparaisons optimales	% résultats optimaux
A 1 PS	0,00	0,00
A 1 PP	513,00	19,14
A 2 PS	15,00	0,56
A 2 PP	99,00	3,69
A 3 PS	869,00	32,43
A 3 PP	357,00	13,32
A 4 PS	835,00	31,16
A 4 PP	0,00	0,00

- **Analyse de Sensibilité**

Le résultat est l'obtention du nombre de fois que chaque alternative est l'optimale. L'alternative 3 PS maintient son meilleur comportement.

Tableau I-16 Résultats Analyse de Sensibilité

ANALYSE DE SENSIBILITE		
	N° de comparaisons optimales	% résultats optimaux
A 1 PS	0,00	0,00
A 1 PP	5,00	7,81
A 2 PS	0,00	0,00
A 2 PP	0,00	0,00
A 3 PS	36,00	56,25

A 3 PP	0,00	0,00
A 4 PS	23,00	35,94
A 4 PP	0,00	0,00

- **Analyse de Préférences**

Après avoir appliqué ces poids, il en résulte que l'on doit envisager l'Alternative 3 PS, puisqu'elle obtient la valeur maximale (14,6), suivie des Alternatives 4 PS (14,5).

Le tableau suivant détaillera le poids de chaque indicateur :

Tableau I-17 Poids pour l'analyse de préférences

Critère	Poids
1. OBJECTIFS ATTEINTS	0,3
2. ÉTUDES DE CLIENTÈLE	0,1
3. ÉTUDES TECHNIQUES. FONCTIONNALITÉS DU PROJET	0,3
4. ÉTUDES TECHNIQUES. ANALYSE DES RISQUES TECHNIQUES	0,2
5. ANALYSE FINANCIÈRE	0,3
6. ANALYSE ÉCONOMIQUE	0,2
7. IDENTIFICATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	0,1
8. IDENTIFICATION DES IMPACTS SOCIAUX	0,2

Le tableau ci-dessous résumera les résultats des analyses réalisées :

Tableau I-18 Résultats Analyse de préférences

MATRICE FINALE	FACTEUR DE PONDERATION	GROUPES PONDERES							
		A 1 PS	A 1 PP	A 2 PS	A 2 PP	A 3 PS	A 3 PP	A 4 PS	A 4 PP
1. OBJECTIFS ATTEINTS	0,3	2,5	2,4	2,5	2,4	2,7	2,5	2,5	2,4
2. ETUDES DE CLIENTÈLE	0,1	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0
3. ETUDES TECHNIQUES. FONCTIONNALITÉS DU PROJET	0,3	2,6	2,5	2,7	2,6	2,8	2,6	2,5	2,4
4. ETUDES TECHNIQUES. ANALYSE DES RISQUES TECHNIQUES	0,2	0,9	1,9	0,9	1,6	0,9	1,8	1,1	1,6
5. ANALYSE FINANCIÈRE	0,3	2,7	2,0	2,9	2,1	2,8	1,9	3,0	2,0
6. ANALYSE ÉCONOMIQUE	0,2	1,5	0,4	1,8	0,6	1,8	0,4	2,0	0,5
7. IDENTIFICATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	0,1	1,0	1,0	0,9	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9
8. IDENTIFICATION DES IMPACTS SOCIAUX	0,2	1,6	2,0	1,5	1,9	1,6	2,0	1,5	1,8
TOTAL PONCTUATION		13,6	13,2	14,1	13,1	14,6	13,2	14,5	12,5

On peut illustrer la ponctuation grâce au graph suivant :

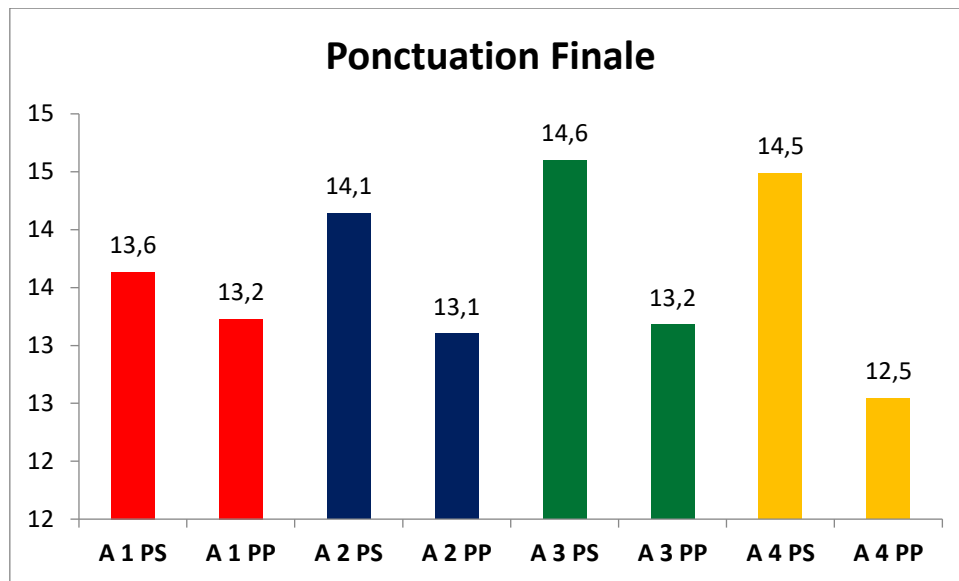


Figure I-10 Illustration de la ponctuation finale des alternatives

7. Conclusion

A partir des différentes étapes des analyses réalisées et aux résultats récoltés, on peut conclure :

- Aucun critère n'est négligeable dans le choix de la variante la plus adéquate au projet.
- L'importance des critères et indicateurs techniques, représente un gage de sécurité pour les usagers et les employés
- L'aspect financier est un facteur important dans l'étude réalisée, et souligne l'impact d'un projet bien encadré financièrement à court, moyen et long terme.
- L'aspect social et l'aspect environnemental viennent s'imbriquer avec la tendance actuelle, on ne crée plus de projet sans étudier les répercussions sur ces deux domaines, gage de qualité du projet et l'importance du développement durable pour le maître d'ouvrage.
- L'alternative 3 PS, selon l'analyse multicritère, semble la plus adéquate, la plus intéressante et la plus attrayante dans ce vaste panel de propositions. Elle suggère le meilleur équilibre dans la majorité des indicateurs.

A partir de cette étude préliminaire, la polyvalence de l'ingénieur a été mise en valeur. Les notions en finances et en économie sont complémentaires de l'approche technique propre à l'Ingénieur, pour la réussite de ce dernier dans tout domaine confondu.

CHAPITRE II : ETUDE DE
L'OUVRAGE

II. Chapitre : Etude technique - Passerelle SNTF

1. Introduction

Le réseau de métro traverse plusieurs stations tout le long de la ligne. La station Ain Naadja Gare, une station sera une liaison entre circulation routière, piétons, service SNTF et le métro. Parmi les éléments constituant cette dernière, une passerelle assure le déplacement des piétons depuis la gare SNTF vers le bâtiment échangeur. Ce chapitre traitera de la modélisation et de l'étude des charges et des surcharges appliquées sur le tablier de la passerelle. Les résultats obtenus des efforts internes permettront l'étude de la précontrainte et l'étude de la dalle.

1.1. Informations Générales de l'Ouvrage

La passerelle aussi surnommée Passerelle SNTF qui viendra surplomber les rails de train, présentera les caractéristiques suivantes :

- Longueur de la passerelle : 70m.
- Largeur de la passerelle : 13m
- Constituée de 3 travées avec des longueurs variables.

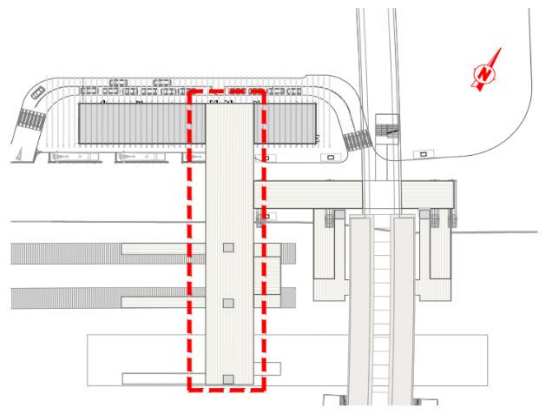


Figure II-1 Vue en plan de l'implantation de la passerelle

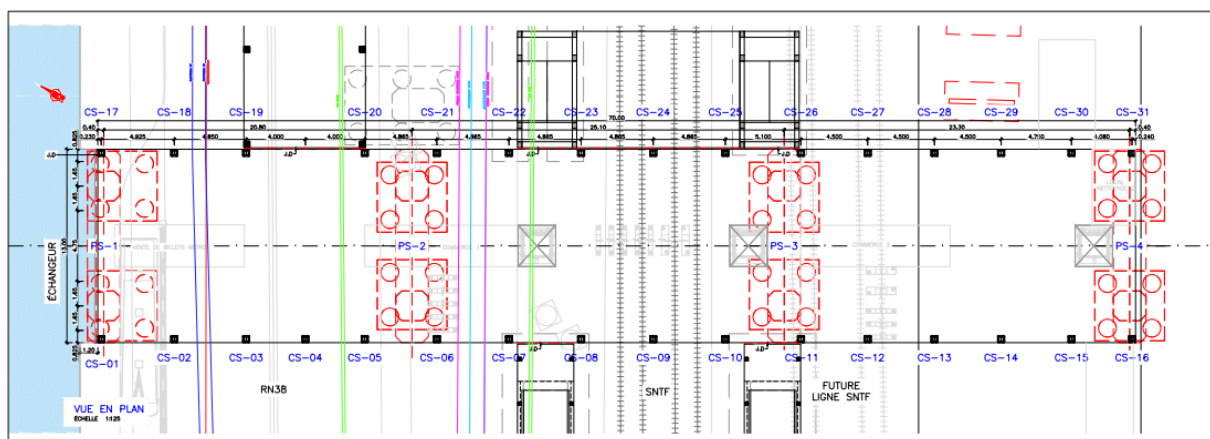


Figure II-2 Vue en plan du plan de la passerelle SNTF M29 Ain Naadja Gare

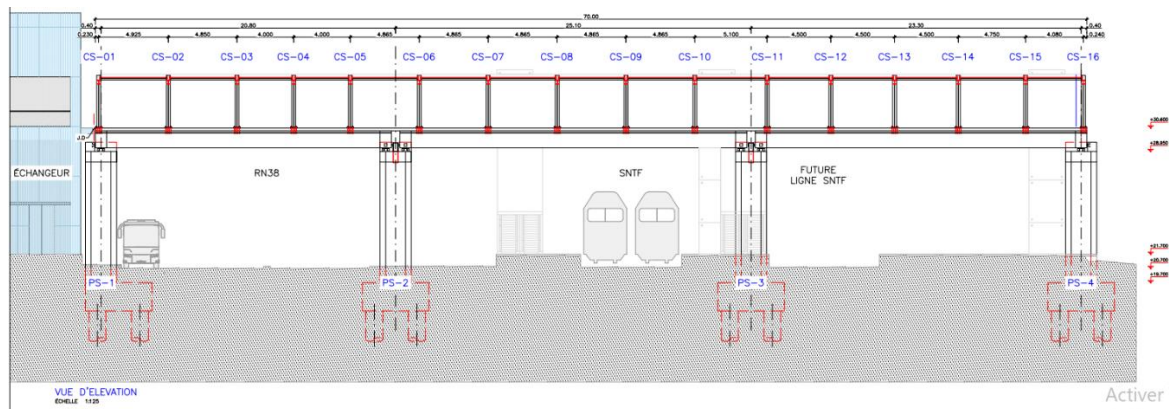


Figure II-3 Vue en élévation de la passerelle SNTF M29 Ain Naadja Gare

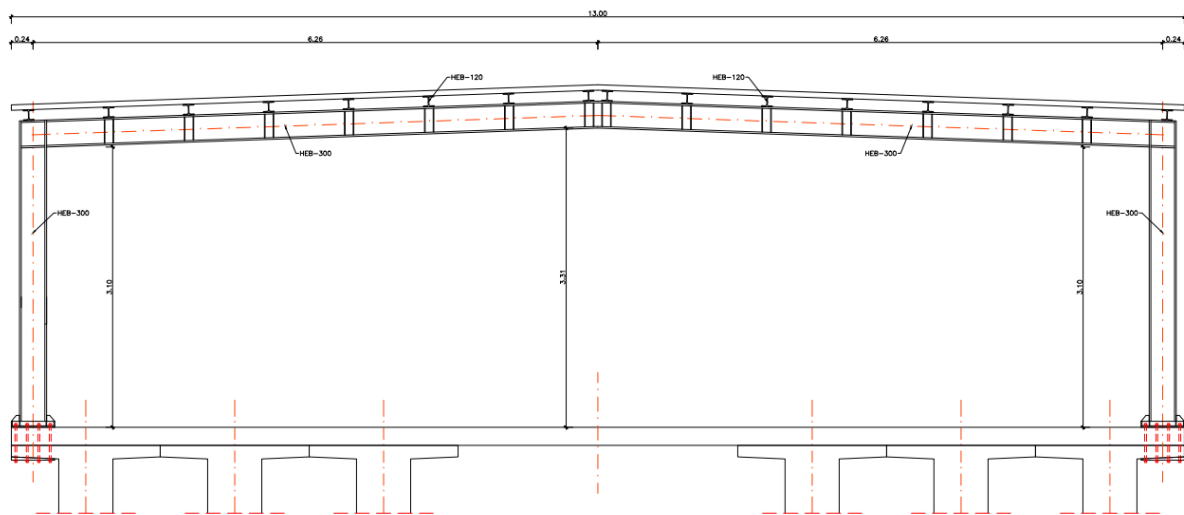


Figure II-4 coupe transversale de la toiture

2. Caractéristiques des matériaux du tablier

Etablir les caractéristiques des matériaux d'un ouvrage est un point essentiel dans toute étude, que cela soit à propos de la qualité des matériaux utilisés, leur conformité et leur utilisation certifiée.

3.1. Le béton

3.1.1. Résistance à la compression

Le béton est défini par sa résistance à la compression, âgé de 28 jours de solidification et de maturation, appelée résistance caractéristique spécifique noté f_{c28} (5).

$$f_{cj} = \frac{j}{4.76 + 0.83 * j} * f_{c28} \quad \text{si } j < 28 \text{ jours}$$

Avec : $f_{c28} = 35 \text{ MPa}$ pour le tablier.

3.1.2. Résistance à la traction

Cette résistance à la résistance à la compression, elle est donnée par la formule suivante :

$$f_{tj} = 0.6 + 0.06 * f_{c28}$$

Avec : $f_{t28} = 2.7 \text{ MPa}$.

« Cette formule est valable pour les valeurs de f_{cj} inférieures ou égales à 60 MPa. » (5).

3.1.3. Contraintes admissibles

➤ Contrainte admissible à la compression : selon le B.A.E.L 91 (5) :

- À l'ELU :

$$\text{On a: } f_{bu} = \frac{0.85 * f_{c28}}{\theta * \gamma_b} \text{ avec } \begin{cases} \theta = 1 & \text{si } t > 24\text{h} \\ \theta = 0.9 & \text{si } 1 \leq t \leq 24\text{h} \\ \theta = 0.85 & \text{si } t < 1\text{h} \end{cases}$$

Avec : ; $\gamma_b = 1.5$; $f_{c28} = 35 \text{ MPa}$

$$\Rightarrow f_{bu} = 19.83 \text{ MPa}$$

- À l'ELS :

On a:

$$\sigma_{bc} = 0.5 * f_{c28} : \text{en service}$$

$$\sigma_{bc} = 0.6 * f_{c28} : \text{en construction}$$

On aura donc comme valeurs de σ_{bc} :

$$\begin{aligned} \sigma_{bc}(\text{en service}) &= 17.5 \text{ MPa} \\ \sigma_{bc}(\text{en construction}) &= 21 \text{ MPa} \end{aligned}$$

➤ Contrainte admissible à la traction

Le règlement BAEL limite les contraintes de traction dans le béton par les valeurs suivantes et stipule (5):

{En situation d'exploitation, sous l'effet des combinaisons rares, aussi bien qu'en situation de construction : f_{tj} dans la section d'enrobage, $1.5 * f_{tj}$ ailleurs.

En situation d'exploitation, sous l'effet des combinaisons fréquentes : $f_{tj} = 0$ dans la section d'enrobage, $1.5 * f_{tj}$ ailleurs.}

3.1.4. Déformations

➤ Déformation Longitudinale

Selon le BAEL :

- Module de déformation instantanée du béton (courte durée < 24h) :

$$E_{ij} = 11000 * (f_{cj})^{\frac{1}{3}}$$

- Module de déformation différée (longue durée > 24h) :

$$E_{vj} = \frac{E_{ij}}{3} = 3700 * (f_{cj})^{\frac{1}{3}}$$

- Déformation transversale

Selon la loi de Hooke :

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

Avec :

ν : Coefficient de poisson (= 0.2 pour un béton non fissuré à l'ELS ; = 0 pour un béton fissuré à l'ELU).

3.2. Les Aciers

Les aciers avant même leur utilisation et mise en place des tests sont faits pour s'assurer de leurs qualités et conformité. Un autre organisme en dehors du maître d'ouvrage et du maître d'œuvre s'assure d'effectuer les tests. Ces derniers sont en général les tests de conformité, les tests de non-radioactivité pour qu'il n'y ait pas création de lésions sur le béton et vérifier sa santé, le test de pliage ainsi que d'autres essais au laboratoire.

Les aciers utilisés sont de deux catégories, les aciers passifs et les aciers actifs.

3.2.1. Les aciers passifs

- Limite d'élasticité

Les armatures passives sont des aciers courants à haute adhérence de classe Fe500, avec une limite d'élasticité $f_e = 500 \text{ MPa}$.

- Module d'élasticité

Le module d'élasticité des aciers passifs $E_s = 190000 \text{ MPa}$.

- Contraintes limites de traction

- A l'ELS :

Fissurations peu préjudiciables : $\sigma_s \leq \frac{f_e}{\gamma_s}$

Fissurations préjudiciables : $\sigma_s = \max(0.5 * f_e ; 110\sqrt{\eta * f_{tj}})$ (5)

Fissurations très préjudiciables : $\sigma_s = \max(0.4 * f_e ; 88 * \sqrt{\eta * f_{tj}})$ (5)

Avec :

$\eta = 1.6$ Pour les aciers à haute adhérence HA.

- A l'ELU :

$$\sigma_{su} = \frac{f_e}{\gamma_s}$$

Avec :

γ_s : égale 1 pour les situations accidentelles, et égale 1.5 pour situation durable.

3.2.2. Les Aciers actifs

Ce sont des armatures en acier à haute résistance principalement conçus pour les constructions en béton précontraint par pré ou post tension, les détails sur ces aciers, seront détaillés dans l'étude de la précontrainte.

➤ Tableau récapitulatif des matériaux utilisés (6):

Tableau II-1 Caractéristiques des matériaux utilisés

CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX	
Résistance du béton	C 30/37
Résistance du béton pour les structures enterrées	C 30/37 pour la résistance aux agressions notamment aux sulfates
Résistance du béton précontraint	C 40/50
Poutrelle en Acier	S 275 ($f_y > 275 \text{ MPa}$)
Plaque en Acier	S 355 ($f_y > 355 \text{ MPa}$)
Acier précontraint	A416-85 1670-1860
Acier des armatures	Fe E500

4. Prédimensionnement

Le prédimensionnement de la poutre se fait sur la base du règlement spécialisé SETRA en suivant les différentes consignes et indications (7).

➤ La poutre :

- Epaisseur de la dalle h_0 :

$$18 \leq h_0 \leq 20 \text{ cm}$$

On prend $h_0 = 20 \text{ cm}$.

- Hauteur de la poutre :

$$L = 25.1 \text{ m}$$

$$\frac{L}{20} \leq h_t \leq \frac{L}{17} \Rightarrow 1.255 \leq h_t \leq 1.47$$

On prend : $h_t = 1.4 \text{ m}$.

$$\Rightarrow h_p = h_t - h_0 = 1.4 - 0.2 = 1.2 \text{ m}$$

- Largeur de la dalle de compression :

$$b > 0.6 * h_p \Rightarrow b > 0.6 * 1.2 : \quad b > 0.72 \text{ m}$$

On prend $b = 1 \text{ m}$

- Epaisseur de la table de compression :

$e > 10 \text{ cm}$ Alors on fixe $e = 15 \text{ cm}$.

- Nombre de poutres :

λ : L'antraxe entre les poutres avec $1.5 \leq \lambda \leq 2.5$ on prendra $\lambda = 2.03$
 et L_a : largeur du tablier ; $L_a = 13m$

donc : **$N = 6$ poutres.**

- Largeur du talon :

$$L_t = \frac{B_t}{N} \quad \text{Avec :} \quad B_t = \frac{l \cdot L^2}{H_t \cdot K}$$

Sachant que :

l : Largeur du tablier L : Portée de la travée. H_t : Hauteur totale du tablier.

$$1100 \leq K \leq 1300$$

N : Nombre de poutres

$$0.54 < L_t < 0.64m$$

On fixera donc **$L_t = 0.60 m$.**

- Epaisseur du talon : $10 < e_t < 20cm$ on fixera donc **$e_t = 15 cm$.**
- Epaisseur de l'âme : **$b = 0.6m$.**
- La dalle :

Tableau II-2 Dimensions de la dalle

Dimensions de la dalle	
Longueur de la dalle du tablier	70m
Longueur de la dalle de la travée étudiée	25.1m
Largeur de la dalle	13m
Epaisseur de la dalle	0.2m

➤ Les équipements :

Vu l'utilisation de la passerelle, les équipements utilisés sont :

- Les garde-corps : placés sur les côtés pour sécuriser l'ouvrage en empêchant une quelconque chute accidentelle dans le vide, et un rôle secondaire qui est esthétique.
- La toiture : pour protéger les passants et usagers de la passerelle des désagréments climatiques, une toiture en charpente métallique a été réalisée.

5. Evaluation des charges

L'ouvrage est soumis à plusieurs chargements, dont l'origine est diverse, cela peut aller du simple poids propre de la dalle du tablier jusqu'aux surcharges des piétons. Le but de ce chapitre est de définir tous types de chargement par le RCPR qui peuvent se présenter sur le tablier de la passerelle et de calculer leurs charges appliquées.

5.1. Evaluation des charges CP+CCP

5.1.1. Calcul des charges permanentes CP

Les charges permanentes se résument aux poids de la dalle, de la prédalle, du revêtement, des gardes corps ainsi que le poids appliqué par la toiture.

(Le poids volumique du béton utilisé $\gamma_b = 25 \text{ KN/m}^3$)

➤ La poutre :

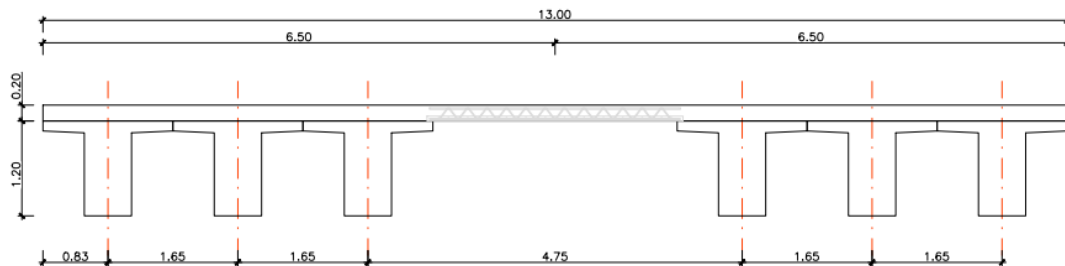


Figure II-5 Coupe verticale de la disposition des poutres

On a un seul type de poutres sur toute la longueur du tablier, avec une surface de section de 0.867m^2 , avec un total de 6 poutres on aura :

Pour la masse des poutres (transversalement) :

$$P_{poutres} = 0.867 * 70 * 25 * 6 = 1517.25 * 6 = 9103.5 \text{ KN}$$

➤ La dalle :

Une dalle pleine continue sans nervures de 20cm d'épaisseur, de 70m de longueur et des 13m de largeur.

$$P_{dalle} = 0.20 * 13 * 70 * 25 = 4550 \text{ KN}$$

➤ Donc la charge permanente CP sera :

$$CP = P_{poutres} + P_{dalle} = 9103.5 + 4550 = 13653.5 \text{ KN}$$

• **Calcul des compléments des charges permanentes CCP**

Pour les charges CCP on prend en compte ces éléments ci-dessous :

➤ La prédalle :

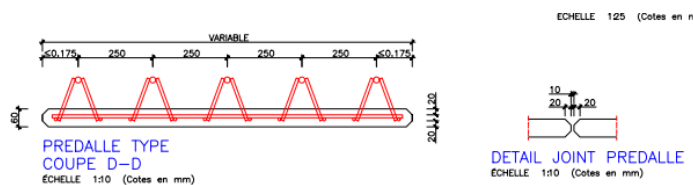


Figure II-6 Coupe explicative des prédalles type

Six types de prédalles sont utilisés (type 1, 2, 3, 4, 5 et 6) avec des largeurs différentes mais une épaisseur unique de 60mm. Pour calculer le poids de ces dernières et la charge induites cela ce fait comme suit :

$$S_{prédalle} = S - S_{vides}$$

Avec :

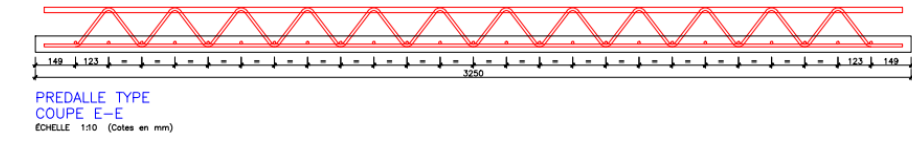


Figure II-7 Coupe d'une prédalle type pour une travée de la passerelle

$S_{prédalle}$: la surface que couvre les prédalles

S_{vides} : se sont les espaces qui ne seront pas comblés pas des prédalles

Donc :

$$S_{prédalle} = (3.1 * 70) - (13.394 * 3.1) = 175.48 \text{ m}^2$$

On aura :

$$P_{prédalle} = 25 * 175.48 * 0.06$$

$$P_{prédalle} = 263.22 \text{ KN}$$

➤ Revêtement :

Avec $Y'_{bb} = 24 \text{ KN/m}^3$, une épaisseur de 5cm et que le revêtement s'étale sur toute la surface du tablier on aura :

$$P_{revet} = 0.05 * 70 * 13 * 24 = 1092 \text{ KN}$$

➤ Garde corps :

On prendra 1KN/ml, donc pour un coté de la passerelle cela donnera

$$P_{garde-corps} = 1 * 70 = 70 \text{ KN}$$

➤ Toiture :

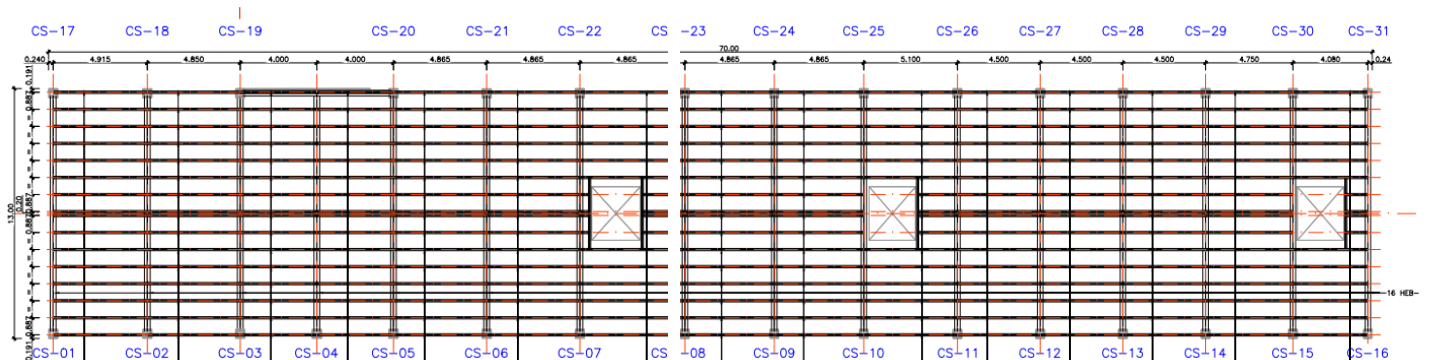


Figure II-8 Vue en plan de la toiture de la passerelle SNTF

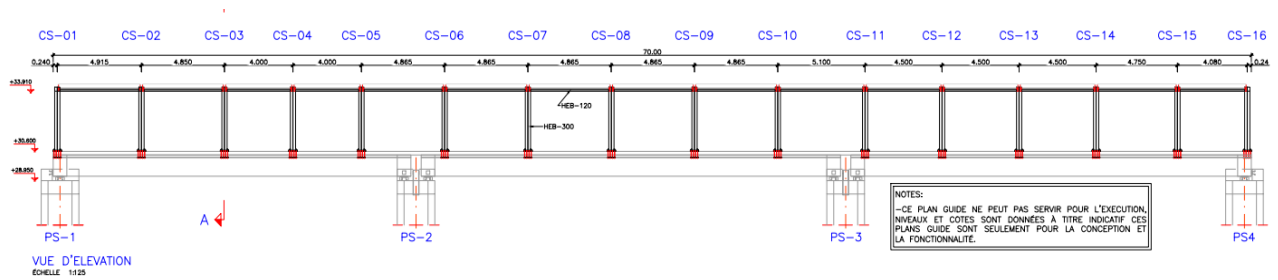


Figure II-9 Vue en élévation de la toiture de la passerelle SNTF

L'étude au vent de la toiture a été réalisée, la note de calcul sera en annexe (8).

Deux types de profilés sont utilisés, les HEB-120 et les HEB-300, avec des poids respectivement de 27.3 kg/m et 119.3 kg/m, ces valeurs proviennent du règlement **ArcelorMittal V2018** qui précise cela (9)

➤ Pour les HEB 300 :

Deux longueurs sont remarquées : 3.10m pour celle figurants comme poteaux métalliques et sont au nombres de 31 et 6.27m pour ceux inclinés dans le toit en lui-même et sont au nombre de 32

➤ Pour les HEB 120 :

Un total de 244 barres, de longueurs différentes en fonction des travées de la toiture.

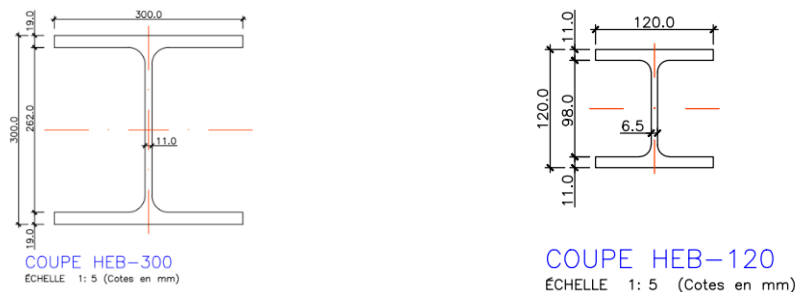


Figure II-10 Illustration des profilés HEB utilisés pour la toiture de la passerelle

- Pour le poids des HEB et leurs caractéristiques voici la source utilisée :

$$P_{HEB120} = 27.3 * (16 * (4.915 + 4.850 + 2 * 4 + 4 * 4.865 + 4.5 + 4.5 + 4.5 + 4.75) + 18 * 4.850 + 17 * (5.1 + 4.08))$$

$$P_{HEB120} = 308.752 \text{ KN}$$

$$P_{HEB300} = 119.3 * (6.274 * 32 + 3.1 * 31) = 23951.62 + 11464.73 = 354.163 \text{ KN}$$

$$P_{toiture} = P_{HEB300} + P_{HEB120} = 662.915 \text{ KN}$$

➤ La charge due aux **Compléments des Charges Permanentes CCP** sera :

$$CCP = P_{toiture} + P_{gardecorps} + P_{revetement} + P_{prédalle}$$

$$CCP = 662.915 + 70 + 1092 + 263.22$$

$$CCP = 2088.135 \text{ KN}$$

➤ Poids total du tablier

$$G = CP + CCP = 13653.5 + 2088.135 = 15741.635 \text{ KN}$$

Les valeurs des charges permanentes sont résumées sur le tableau suivant :

Tableau II-3 Récapitulatif et calcul du poids total du tablier

	Elément	Poids (KN)
CP	Poutre	9103.5
	Dalle	4550
CCP	Prédalle	263.22
	Revêtement	1092
	Garde-corps	70
	Toiture	662.915
CP+CCP	TOTAL	15741.635

La réglementation divise les surcharges sur les passerelles en deux catégories distinctes, les charges locales et les charges générales.

- ✓ Les charges locales sont utilisées dans la justification des éléments du tablier.
- ✓ Les charges générales qui servent à la justification des fermes maîtresses.

Ces charges ne sont pas caractérisées par des majorations en ce qui concerne les effets dynamiques.

5.1.2. Charges locales

On en déduit que pour la charge des piétons utilisant la passerelle est de 4.5 KN/m^2 ce qui donnera : $q_{\text{piétons}} = 4.5 * 70 * 13 = 4095 \text{ KN.}$ (10)

5.1.3. Charges générales

Le RCPR et le Fascicule 61 stipulent :

- Il y a lieu d'appliquer sur les trottoirs une charge uniforme de $1,50 \text{ KN/m}^2$

On aura donc $1.5 * 70 * 13 = 1365 \text{ KN.}$

- Pour la justification des poutres maîtresses, on aura :

$$a(l) = 2.00 + \frac{150}{l+50} \quad (10)$$

Avec $l=70\text{m}$ on aura donc :

$$a(70) = 2 + \frac{150}{70 + 50} = 2 + \frac{150}{120} = 2 + 1.25 \Rightarrow a(l) = 3.25 \text{KN/m}^2$$

➤ On peut ajouter aux charges générales et aux charges locales une charge verticale non accidentelles, cette charge est divisible et est caractérisé par les conditions suivantes (11) :

- Pour $L \leq 10 \text{ m}$ $q = 5 \text{ KN/m}^2$
 - Pour $L \geq 10 \text{ m}$ $q = 2 + \frac{120}{L+30}$ et $q \geq 2.5 \text{KN/m}^2$
- Donc $L=70\text{m}$ on aura : $q = 2 + \frac{120}{70+30} \Rightarrow q = 3.2 \text{ KN/m}^2$

6. Modélisation

Modéliser une structure consiste à l'idéaliser en un système d'éléments appropriés qui permettent d'analyser le comportement avec une précision suffisante et un volume de calcul raisonnable.

Pour concrétiser les résultats, une étude numérique à l'aide du logiciel Autodesk Robot a été réalisée, suivant les étapes de modélisation usuelles.

6.1. Combinaison de charges

Pour les combinaisons de charges en termes d'état limite ultime ou état limite de service les coefficients restent usuels, les combinaisons rares ne sont pas prises en compte dans nos calculs.

Pour l'ELU on aura : $1.35 * G + 1.5 * Q$.

Pour l'ELS on aura : $G + Q$.

Pour avoir les moments minimums M_{min} ainsi que le moment de la poutre seule M_{gp} , qui seront utilisés dans le calcul de la précontrainte, on utilise la combinaison $CP + CCP$ équivalente au poids des charges permanentes G .

6.2. Résultats de la modélisation et calcul

- Les résultats du moment fléchissant sous la combinaison ELS :

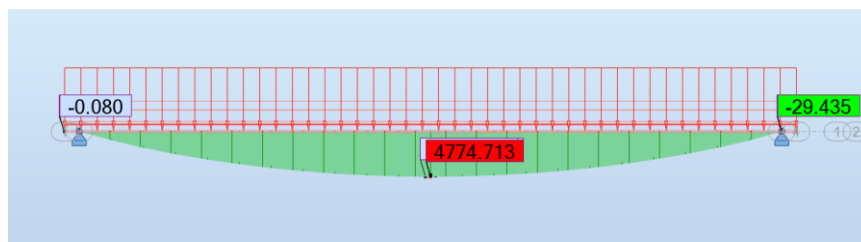


Figure II-11 Résultats moment fléchissant à l'ELS

- Les résultats du moment fléchissant sous la combinaison CP+CCP :

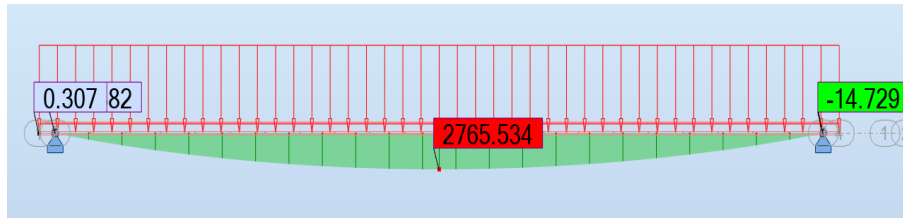


Figure II-12 Résultats moment fléchissant sous CP+CCP

- Les résultats du moment fléchissant sous la combinaison ELU :

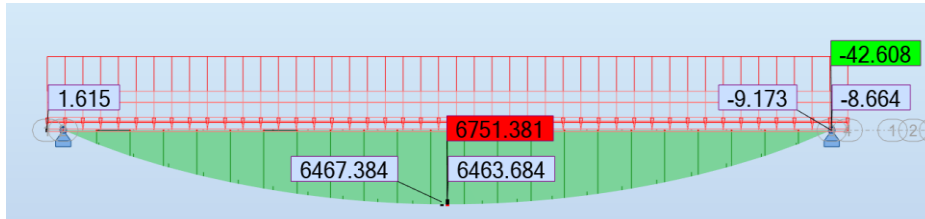


Figure II-13 Résultats moment fléchissant à l'ELU

- Pour avoir les valeurs de l'effort tranchant on utilise la même procédure :

- L'effort tranchant à l'ELU :

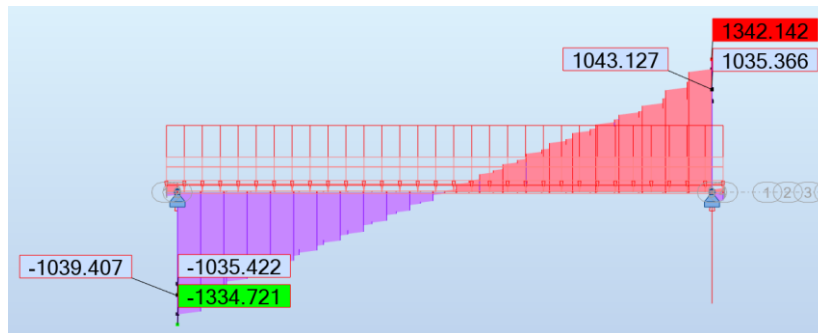


Figure II-14 Résultats efforts tranchants à l'ELU

- L'effort tranchant à l'ELS :

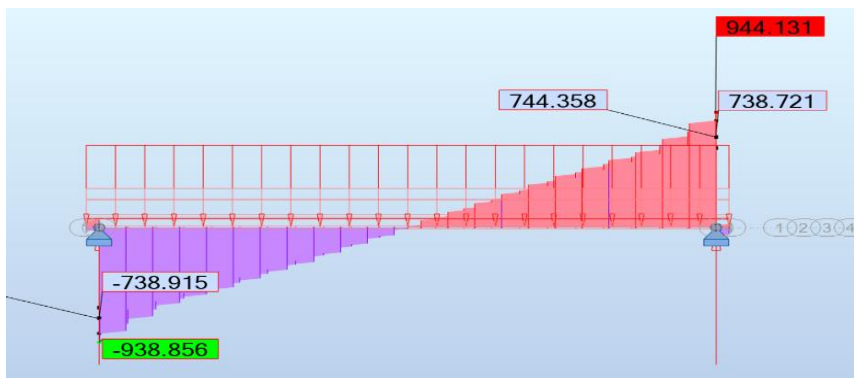


Figure II-15 Résultats efforts tranchants à l'ELS

- L'effort tranchant sous la combinaison CP+CCP :

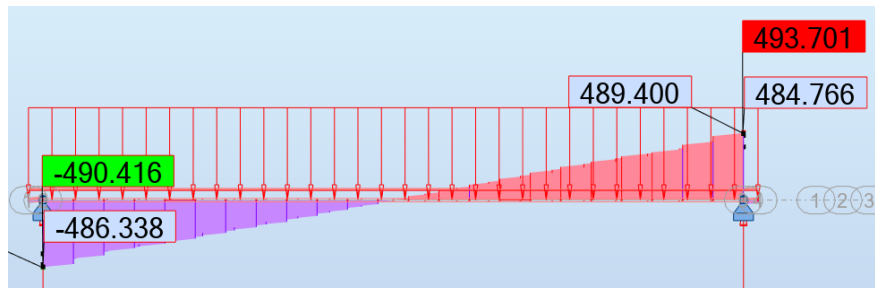


Figure II-16 Résultats efforts tranchants sous la combinaison CP+CCP

➤ Récapitulatif des moments fléchissants et des efforts tranchants résultants :

Tableau II-4 Récapitulatif des résultats des efforts tranchants et moments fléchissants sous les combinaisons de charges

	Moment fléchissant (kN.m)	Effort tranchant (kN)
ELS	4774.713 kN.m	944.131 kN
ELU	6751.381 kN.m	1342.142 kN
CP+CCP	2765.534 kN.m	493.701 kN

7. Etude de la précontrainte

7.1. Dimensionnement de la précontrainte

Le dimensionnement de la précontrainte revient à calculer le couple P effort de précontrainte et e l'excentricité pour pouvoir déduire le nombre de câbles nécessaire.

Pour notre ouvrage, on va considérer une précontrainte de classe II caractérisée par ses contraintes limites qu'il faut respecter l'or du calcul de la contrainte de précontrainte (12).

$$\text{En phase d'exécution (phase 01 et 02) : } \bar{\sigma}_{bt} = -0.7 * f_{tj} \text{ et } \bar{\sigma}_{bc} = 0.6 * f_{cj}$$

$$\text{En phase service (phase 03 et 04) : } \bar{\sigma}_{bt} = -f_{tj} \text{ et } \bar{\sigma}_{bc} = 0.6 * f_{cj}$$

➤ **Caractéristiques et données**

Les caractéristiques pris en considération sont présentées dans les tableaux suivants :

➤ Pour les câbles :

Tableau II-5 Paramètres des éléments de précontrainte

Type de câble	T15S
Nombre de câbles	12
Diamètre d'un toron (Φ_t)	15.7 mm

Aire d'un toron (A_t)	150 mm ²
Aire de tous les torons (A_p)	1800 mm ² = 0.0018 m ²
Diamètre de la gaine (Φ_g)	0.08 m
Tension minimale de rupture (f_{prg})	1770 MPa
Contrainte élastique de garantie (f_{peg})	1593 MPa
Module d'élasticité (E_p)	190 000 MPa
Relaxation à 1000 heures (ρ_{1000h})	2.5%

➤ Pour la poutre :

Les caractéristiques géométriques sont celles de la poutre en premier lieu et de la poutre ajoutée à une partie de la dalle

Tableau II-6 Caractéristique géométrique de la poutre

	<i>Poutre seul</i>	<i>Poutre + dalle (hourdis)</i>
$B(m^2)$	0,867	1,198
$v'(m)$	0,534	1,093
$v(m)$	0,666	0,307
$I_G(m^4)$	0,121	0,211
$i^2(m^2)$	0,140	0,176
ρ	0,392	0,525

Avec :

– ρ : le rendement géométrique $\rho = \frac{I}{B \cdot v \cdot v'}$

– v et v' : les distances entre les fibres extrêmes et le centre de gravité.

avec $V' + V = h$

– I_G : le moment d'inertie.

– B : l'aire de la section.

➤ Les caractéristiques du béton :

Tableau II-7 Caractéristiques du béton

F_{c-sup}	35 MPa
F_{c-inf}	27 MPa
F_{t28}	2.7 MPa
σ_{bc}	21 MPa
σ_{bt}	-4.05 MPa

➤ Les sollicitations utilisées pour le calcul de la précontrainte :

Tableau II-8 Moments et efforts tranchants résultants

Moment et efforts tranchants résultants	
M_{gp} : Moment fléchissant max de la poutre seule	1.522 MN.m

M_{Max} : Moment fléchissant max à l'ELS	4.774 MN.m
M_{Min} : Moment fléchissant max sous CP + CCP (charges permanentes)	2.767 MN.m
V_{Max} : effort tranchant max à l'ELS	0.944 MN.m
V_{Min} : effort tranchant max sous CP + CCP	0.493 MN.m

7.1.1. Calcul du nombre de câbles

On définit par « n » le nombre de câbles utilisés pour la précontrainte du béton. Les paramètres de calcul sont les caractéristiques de la poutre et la poutre + hourdis, les différents moments et efforts tranchants ainsi que la notion de pertes (13).

On aura :

$$n \geq \frac{P_{Min}}{P_0 \cdot (1 - \Delta P_0)}$$

➤ Calcul de la valeur minimale de la précontrainte

$$P_{Min} = \max[P_1; P_2]$$

Avec :

$$P_1 = \frac{M_{Max} - M_{Min}}{\rho \cdot h} \quad P_2 = \frac{M_{Max}}{c + v' - d'} \quad (13)$$

$$\Delta M = M_{Max} - M_{Min}$$

On a aussi :

$$P_1 = \frac{\Delta M + \frac{1}{v'} \cdot \bar{\sigma}_{bt1} + \frac{1}{v} \cdot \bar{\sigma}_{bt2}}{\rho \cdot h} \quad P_2 = \frac{M_{Max} + \frac{1}{v'} \cdot \bar{\sigma}_{bt2}}{v' + \rho \cdot v - d'} \quad (13)$$

On prendra ces valeurs ci-dessous pour les calculs :

$$\bar{\sigma}_{bt1} = -1.5 \cdot f_{t28} = -4.02 \text{ MPa}$$

$$\bar{\sigma}_{bt2} = -f_{t28} = -2.07 \text{ MPa}$$

$$d' = 0.1 \cdot h_{(poutre+dalle)} = 0.1 \cdot 1.4 = 0.14 \text{ m}$$

$$M_{Max} = 4.774 \text{ MN.m}$$

$$M_{Min} = 2.767 \text{ MN.m}$$

$$\rho_{poutre} = 0.392$$

$$\rho_{poutre+dalle} = 0.525$$

⇒ Les valeurs de P_1 et P_2 :

$$P_1 = 2.73 \text{ MN} \quad \text{et} \quad P_2 = 4.28 \text{ MN}$$

On remarque que $P_2 > P_1 \Rightarrow$ C'est ce qui caractérise une section dite surcritique.

Donc :

$$P_{Min} = \max [2.73 ; 4.28] = 4.28 \text{ MN}$$

➤ Les différents inputs pour le calcul du nombre de câbles :

ΔP_0 : *perte initiale évaluée à 25%*

$$P_0 = \min\{(0.8 * f_{prg} * A_p) ; (0.9 * f_{peg} * A_p)\} \quad (13)$$

On aura donc :

$$P_0 = \min\{(0.8 * 1770 * 0.0018) ; (0.9 * 1593 * 0.0018)\} = \min\{2.55 ; 2.58\}$$

$$P_0 = 2.55 \text{ MN}$$

→ Type de câbles utilisés : **12T15s** classe **1770** TBR type Freyssinet.

On pourra calculer le nombre de câbles :

$$n \geq \frac{P_{Min}}{P_0(1 - \Delta P_0)} \Rightarrow n \geq 2.44$$

Donc :

$$n = 3 \text{ cables}$$

7.1.2. Vérifications des contraintes

La vérification des contraintes de la précontrainte se fait en 4 phases, après 7 jours, 28 jours, la 3^{ème} phase après le coulage de la dalle, pour finir la 4^{ème} et dernière phase c'est la phase de service.

La vérification se fait pour la poutre seule et la section 'poutre +dalle'.

➤ **1^{ère} Phase : après 7 jours :**

La mise en tension est à 50% et les pertes de l'ordre de 5%

On a selon le BAEL et BPEL la résistance caractéristique du béton :

$$\text{- Pour } f_{c28} < 40 \text{ MPa} \rightarrow f_c(j) = \frac{j}{4.76+0.83*j} * f_{c28}$$

$$\text{- Pour } f_{c28} > 40 \text{ MPa} \rightarrow f_c(j) = \frac{j}{1.40+0.95*j} * f_{c28}$$

- f_{c28} est exprimé en MPa

$$\text{- } f_{c28} = 35 \text{ MPa}$$

On aura donc :

$$\text{- } f_c(7) = \frac{7}{4.76+0.83*7} * 35 = 23.18 \text{ MPa}$$

$$\text{- } f_{t7} = 0.6 + 0.06 * f_{c7} = 1.99 \text{ MPa}$$

$$\text{- } \bar{\sigma}_{bt1} = -1.5 * f_{t7} = -1.5 * 1.99 = -2.99 \text{ MPa}$$

$$\text{- } \bar{\sigma}_{bt2} = -0.7 * f_{t7} = -0.7 * 1.99 = -1.39 \text{ MPa}$$

$$-\bar{\sigma}_{bc} = 0.6 * f_{c7} = 0.6 * 23.18 = 13.91 \text{ MPa}$$

$$-\Delta P = 5\%$$

➤ **2^{ème} Phase : après 28 jours :**

La mise en tension est 100% et les pertes de l'ordre de 10%

$$-f_{c28} = 35 \text{ MPa} \text{ et } f_{t28} = 2.7 \text{ MPa.}$$

$$-\bar{\sigma}_{bt1} = -1.5 * f_{t28} = -1.5 * 2.7 = -4.05 \text{ MPa}$$

$$-\bar{\sigma}_{bt2} = -0.7 * f_{t28} = -0.7 * 2.7 = -1.89 \text{ MPa}$$

$$-\bar{\sigma}_{bc} = 0.6 * f_{c28} = 0.6 * 35 = 21 \text{ MPa}$$

$$-\Delta P = 10\%$$

➤ **3^{ème} Phase : après le coulage de la dalle :**

Après le collage de la dalle, la mise en tension est faite à 100%, et les pertes sont de l'ordre de 15%.

$$-f_{c28} = 35 \text{ MPa} \text{ et } f_{t28} = 2.7 \text{ MPa.}$$

$$-\bar{\sigma}_{bt1} = -1.5 * f_{t28} = -1.5 * 2.7 = -4.05 \text{ MPa}$$

$$-\bar{\sigma}_{bt2} = -0.7 * f_{t28} = -0.7 * 2.7 = -1.89 \text{ MPa}$$

$$-\bar{\sigma}_{bc} = 0.6 * f_{c28} = 0.6 * 35 = 21 \text{ MPa}$$

Cela diffère de la deuxième phase seulement au niveau des pertes où $\Delta P_0 = 15\%$.

➤ **4^{ème} Phase : en phase de service :**

La mise en tension est faite à 100% et les pertes sont de l'ordre de 25%.

$$-f_{c28} = 35 \text{ MPa} \text{ et } f_{t28} = 2.7 \text{ MPa.}$$

$$-\bar{\sigma}_{bt1} = -1.5 * f_{t28} = -1.5 * 2.7 = -4.05 \text{ MPa}$$

$$-\bar{\sigma}_{bt2} = -f_{t28} = -2.7 \text{ MPa}$$

$$-\bar{\sigma}_{bc} = 0.6 * f_{c28} = 0.6 * 35 = 21 \text{ MPa}$$

$$-\Delta P = 25\%$$

On doit trouver :

$$\bar{\sigma}_{bt1} \leq \sigma_{Sup} = \frac{P}{B} - (P * e_0 - M) * \left(\frac{v'}{I}\right) \leq \bar{\sigma}_{bc}$$

$$\bar{\sigma}_{bt2} \leq \sigma_{Inf} = \frac{P}{B} + (P * e_0 - M) * \left(\frac{v'}{I}\right) \leq \bar{\sigma}_{bc}$$

Avec comme inputs :

$$P = \%MT * P_0 * n * (1 - \%DP)$$

$\%DP$: le pourcentage des pertes

$\%MT$: pourcentage de mise en tension de câble

$$e_0 = v' - d' \quad d' = 0.1 * h_t = 0.18 \text{ m}$$

Tableau II-9 Les phases de la précontrainte

Phase	e0	M	P	σ_{sup}	σ_{inf}	Observation
	(m)	(MN.m)	(MN)	(MPa)	(MPa)	
Phase 1	0,39	1,54	3,63	4,79	3,70	Vérifié
Phase 2	0,39	1,54	6,88	1,50	13,10	Vérifié
Phase 3	0,95	4,77	6,50	3,35	12,80	Vérifié
Phase 4	0,95	4,77	5,73	1,82	8,37	Vérifié

7.2. Disposition des câbles de précontrainte

Pour la disposition des câbles de précontrainte on aura besoin de deux dispositions différentes, une qu'on appellera disposition section d'about et une autre disposition section médiane qui viendra se positionner au milieu de la poutre.

Le but de cette disposition est de créer des forces extérieures de précontrainte où le besoin survient, en d'autres termes où la poutre en a grandement besoin pour pallier aux défaillances du béton armé (14).

7.2.1. Section d'about

On dispose les câbles afin d'obtenir des forces de précontrainte qui coïncident avec le centre de gravité de la section d'about.

Ayant deux centres de gravité, un de la section de la poutre seule et un autre de la section poutre + dalle, pour avoir une interpolation du centre de gravité utilisé pour le calcul des coordonnées des câbles, une moyenne des deux centres de gravité est faite. Après avoir positionner le premier câble, un espacement entre ce dernier et les deux autres câbles, un espacement noté « x », les caractéristiques des torons et câbles choisis ainsi que des plaques d'ancrages influent sur l'espacement « x ».

- **Caractéristiques des plaques d'ancrages :**

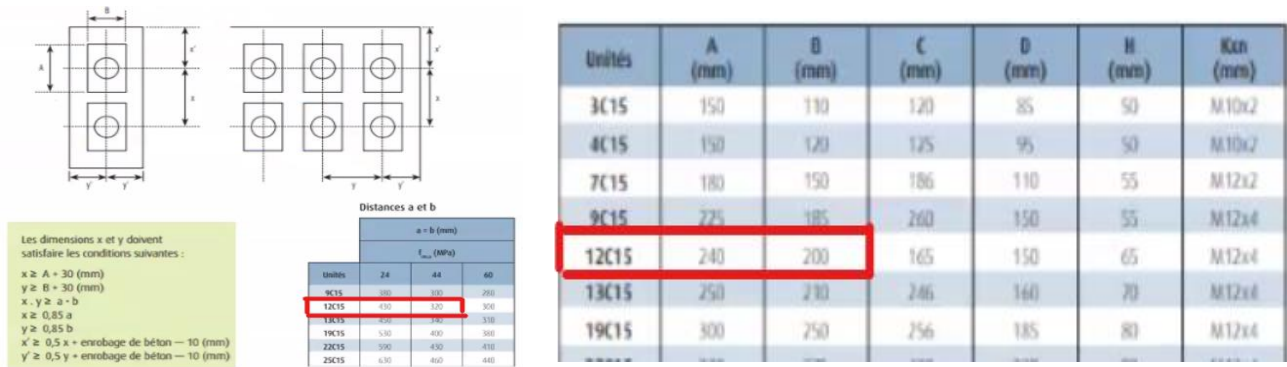


Figure II-17 Caractéristiques des plaques d'ancrages

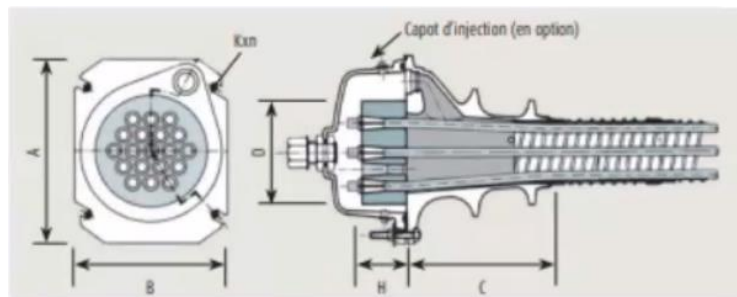


Figure II-18 Illustration d'une plaque d'ancrage

A partir des tableaux précédents, on a tiré les données nécessaires (Encadrées en rouge) pour le calcul de l'espacement. Les câbles sont du type 12T15s.

- A=240mm et B=200mm
- $x \geq A + 30 (mm)$
- $x \geq 0.85 * a$
- Avec une "a" dépendant de la résistance du béton donnant des paliers de résistance à 24 MPa, 44MPa et 60MPa, en faisant une interpolation on aura :

$$320mm \leq a \leq 430mm \quad \text{On prendra donc : } a = \frac{320+430}{2} = 375 mm$$

Il en résultera :

- $x \geq 240 + 30 = 270 mm$
- $x \geq 0.85 * 375 = 318.75 mm$

On approchera la valeur de x à 32 cm

$$x = 0.32 m$$

Avec un centre de gravité qui sera la moyenne des deux centres de gravité des deux sections poutre et poutre + dalle et un espacement de 0.32m entre le câble central et les deux autres de part et d'autre, on aura le schéma suivant :

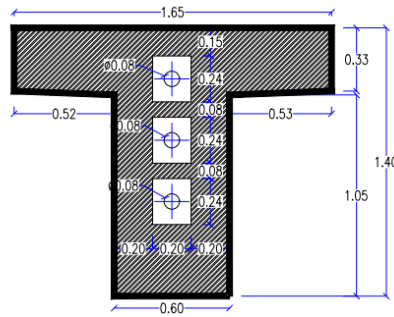


Figure II-19 Dispositions des câbles - section d'about

La coordonnée du centre de gravité Y_{ci} est égale à :

$$Y_{c1} = 0.814$$

$$Y_{c2} = 0.814 + 0.32 = 1.134$$

$$Y_{c3} = 0.814 - 0.32 = 0.494$$

7.2.2. Section médiane

Pour la section médiane, étant la section la plus sollicitée en flexion, les câbles se regroupent dans la partie inférieure ou moitié basse de la poutre appelée « Talon ».

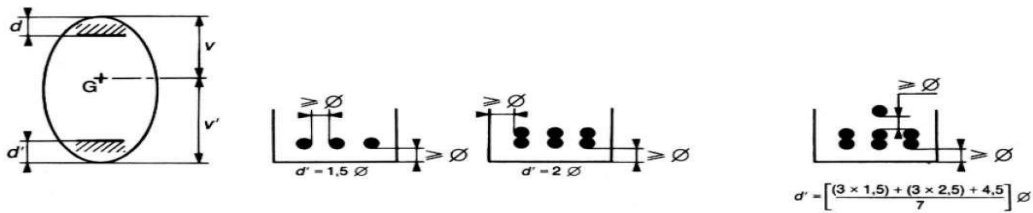


Figure II-20 Disposition géométrique des câbles

Le choix du positionnement des câbles dans ce cas est influencé par le diamètre de ces mêmes câbles.

On a choisi des câbles d'un diamètre de 8cm donc on aura :

Soit : $\phi = 0.08m$.

$$Y_{c1} = \phi + \frac{\phi}{2} = 0.08 + 0.04 = 0.12$$

$$Y_{c2} = Y_{c1} + \phi = 0.2$$

$$Y_{c3} = Y_{c2} + 2 * \phi = 0.36$$

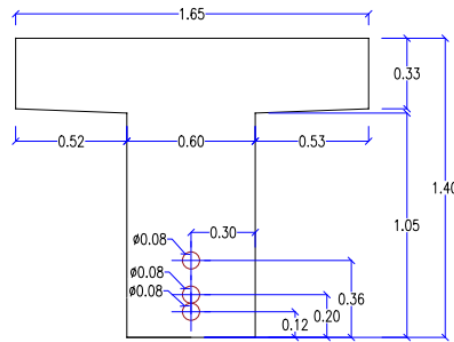


Figure II-21 Disposition des câbles à mi travée

7.2.3. Détermination des angles de relevage

Sur les sections d'appuis, les contraintes de cisaillement sont importantes, un tracé minimisant l'intensité de ces dernières est réalisé en fonction de l'angle de relevage donné par l'expression suivante :

$$\text{Arcsin} \left(\frac{V_{Max} - \bar{v}}{P} \right) \leq \alpha \leq \text{Arcsin} \left(\frac{V_{Min} - \bar{v}}{P} \right) \quad (13)$$

Avec :

V_{Max} et V_{Min} : Les efforts tranchants maximal et minimal obtenus

\bar{v} : Effort tranchant limite que peut supporter la section d'about donné par l'expression : $\bar{v} = \bar{T} * b_n * 0.8 * h$.

\bar{T} : Contrainte tangentielle limite à l'ELS donnée par l'expression :

$$\bar{T} = \sqrt{0.4 * f_{tj} * (f_{tj} + \sigma_x)} \quad (13)$$

σ_x : Contrainte normale au niveau de la fibre neutre donnée par l'expression suivante :

$$\sigma_x = \frac{P}{B_n} \text{ avec } P = \frac{1-25}{100} * n_{cable} * P_0 \text{ et } B_n = B - \left(n_{cable} * 3.14 * \left(\frac{\phi}{2} \right)^2 \right) \quad (13)$$

b_n : La largeur nette de la section d'about+hourdis.

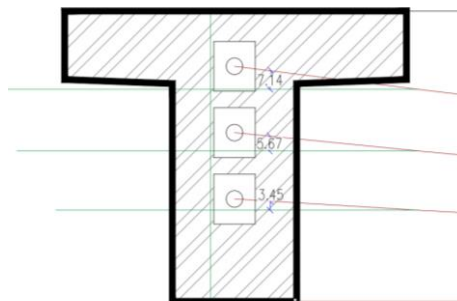


Figure II-22 Angles de relevage des câbles

➤ Résultats angles de relevage

Tableau II-10 Paramètres pour calculer les angles de relevage

b_n	B_n	P	σ_x	\bar{T}	\bar{v}	V_{Min}	V_{Max}	α_{Inf}	α_{Sup}
0.52 m	1.18 m ²	5.73 MN	4.85 MPa	2.86 MPa	1.66 MPa	0.493 MN	0.944 MN	-7.20°	22.08°

Avec : $\alpha_{Inf} = \text{Arcsin} \left(\frac{V_{Max} - \bar{v}}{P} \right)$ et $\alpha_{Sup} = \text{Arcsin} \left(\frac{V_{Min} - \bar{v}}{P} \right)$.

- On obtient les 3 angles de relevage des câbles de précontrainte :

Tableau II-11 Résultats des angles de relevage des câbles

α_{c1}	α_{c2}	α_{c3}
7.14°	5.67°	3.45°

7.2.4. Allure des câbles

Figure II-23 Illustration théorique de l'allure des câbles

N° câble	l (m)	$\alpha_{rel}(\text{°})$	$Y_i (m)$			f (m)	R (m)	β (rad)
			x=0,12	1	12,55			
C1	22,1	7,14	0,494	0,38	0,12	0,26	232,79	0,047
C2	22,1	5,67	0,814	0,73	0,2	0,53	116,19	0,095
C3	22,1	3,45	1,134	1,08	0,36	0,72	84,77	0,130

Tableau II-12 Résultats de f, R et β

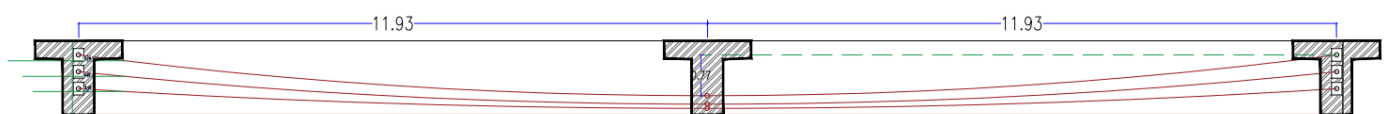


Figure II-25 Allure résultante des câbles de précontrainte

7.3. Calcul des pertes

Les pertes de précontraintes sont rangées dans deux catégories, instantanées et différées :

- Les pertes de tension instantanées : se produisent lors de la mise en tension des câbles de précontrainte.

- Les pertes de tension différées : se produisant dans un temps plus au moins long après la mise en tension.

Remarque : les pertes sont calculées à mi travée ($x=l/2$) (14).

7.3.1. Pertes instantanées

Généralement présentes lors de la mise en tension des câbles de précontraintes, elles ont comme sources principales :

- Pertes dues au frottement des câbles $\Delta\sigma_\varphi$.
- Pertes dues au recul d'ancrage $\Delta\sigma_g$.
- Pertes dues aux déformations du béton $\Delta\sigma_e$.

➤ Pertes dues au frottement

Ces pertes sont caractérisées par la formule suivante :

$$\Delta\sigma_\varphi = \sigma_{p0} * (1 - e^{-(f*\beta+\varphi*x)}) \quad (13)$$

Avec :

- φ : Coefficient de perte en ligne = 0.002 m^{-1} .
- f : Coefficient de frottement d'un câble sur son conduit = 0.18.
- σ_{p0} : Contrainte à l'origine correspondant à F_0 , = 1416 MPa .

Les détails des résultats seront dans l'annexe 19.

➤ Pertes dues au recul d'ancrage

Données par la formule : $\Delta\sigma_g = 2 * \sigma_{p0} * k(d - x)$ (13)

Avec :

- k : constant $k = f * \frac{\beta}{l} + \varphi$, en prenant : $f = 0.18$ et $\varphi = 0.002 \text{ m}^{-1}$
- d : Longueur sur laquelle s'effectue le recul d'ancrage. $d = \sqrt{\frac{(E_p * g)}{\sigma_{p0} * K}}$.
- E_p : Module d'élasticité de précontrainte $E_p = 190000 \text{ MPa}$.
- g : Intensité du recule d'ancrage (2 à 6 mm), on prend le cas maximum $g = 6 \text{ mm}$.
- σ_{p0} : contrainte maximale aux niveaux de la poutre d'about $\sigma_{p0} = 1416 \text{ MPa}$.

Donc on aura :

$$\Delta\sigma_g = 0 \text{ MPa} \text{ et } \Delta\sigma_{Moy}(\%) = 0\%$$

Les détails des résultats seront dans l'annexe 19.

➤ **Pertes dues aux déformations du béton (Raccourcissement)**

Définies par la formule suivante : $\Delta\sigma_e = \frac{1}{2} * \frac{E_p * \sigma_{bi}}{E_{ij}}$ (13)

Avec :

- E_{ij} : Module de déformation instantanée du béton $E_{ij} = 11000 * (f_{cj})^2$.
- σ_{bi} : Valeur de la contrainte au niveau du câble moyen $\sigma_{bi} = \frac{P}{B} + \frac{P * e^2}{I_g} - \frac{M_p * e}{I_g}$.

On calculera les pertes à 7 et à 28 jours en modifiant la valeur de E_{ij} qui sera influencée automatiquement par la valeur de f_{cj} .

On a qu'une seule famille de câbles de précontrainte, vu que tous nos câbles sont à l'intérieur de notre section d'about. Les détails des résultats seront dans l'annexe 19.

➤ **Total des pertes instantanées :**

Tableau II-13 Tableau récapitulatif des pertes instantanées

	Par frottement (MPa)	Par recul d'ancrage (MPa)	Par raccourcissement (MPa)	Total (MPa)	$\Delta\sigma_{inst}/\sigma_{p0}$
Résultats	57.50	0	56.68	114.18	8%

7.3.2. Les pertes de tension différées

Ces pertes surviennent contrairement aux pertes instantanées après une durée plus ou moins longue. Cela résulte des changements des caractéristiques des matériaux en service.

Ces pertes ont 3 sources principales :

- Pertes dues à la relaxation des aciers $\Delta\sigma_{rel}$.
- Pertes dues au retrait du béton $\Delta\sigma_r$.
- Pertes dues au fluage du béton $\Delta\sigma_{fl}$.

Etant un phénomène qui apparaît après un certain temps de service, ces pertes influent grandement sur le comportement structurel de l'ouvrage à l'état de service.

➤ **Pertes par retrait du béton**

Donnée par la formule suivante : $\Delta\sigma_r = E_p * \varepsilon_r (1 - r(j))$ (13)

Avec :

- ε_r : coefficient climatique qui est égale à :

- $2 * 10^{-4}$ en climat humide Zone A de la carte de zonage climatique de l'Algérie.

- $3 * 10^{-4}$ en climat tempéré sec Zone B.
- $4 * 10^{-4}$ en climat chaud et sec Zones B', C et D1.
- $5 * 10^{-4}$ en climat très sec ou désertique Zones D2 et D3.

On prendra pour nos calculs $\varepsilon_r = 2 * 10^{-4}$

- $r(j)$: Fonction traduisant l'évolution du retrait en fonction du temps ; $r(j) = \frac{j}{j+9*r_m}$

- $r(m) = \frac{B_n}{p}$; B_n : la section nette et p : Le périmètre de la section.

Avec : $B_n = 11970cm^2$ et $p = 606,1cm$

Alors : $r(m) = 19.75 \Rightarrow$ on aura à 28jours : $r(j) = \frac{28}{28+9*19.75} = 0.14$

On aura donc : $\Delta\sigma_r = 19000 * 0.0002(1 - 0.14) = 32.68 MPa$

Donc : $\frac{\Delta\sigma_r}{\sigma_{p0}} = \frac{32.68}{1416} = 2.31\%$

➤ Pertes par fluage du béton

Donnée par la formule : $\Delta\sigma_{fl} = (\sigma_m + \sigma_b) * \frac{E_p}{E_{ij}}$ (13)

En ayant : $(\sigma_m + \sigma_b) = K_{flu} * \sigma_{bi} \Rightarrow \Delta\sigma_{fl} = K_{flu} * \sigma_{bi} * \frac{E_p}{E_{ij}}$

- K_{flu} : Coefficient de fluage = 2.

- Après 7 jours on a une dissipation de l'ordre de 15% du fluage du béton donc cela résultera à : $K_{flu} = (1 - 0.15) * 2 = 1.7 \Rightarrow \Delta\sigma_{flu} = 1.7 * \sigma_{bi} * \frac{E_p}{E_{ij}}$

- σ_{bi} : Valeur de la contrainte au niveau du câble moyen : $\sigma_{bi} = \frac{P}{B} + \frac{P*e^2}{I_g} - \frac{M_p*e}{I_g}$

- M_p : Moment maximale des charges permanentes.

- B : Aire de la section « Poutre+Dalle ».

- I_g : Moment d'inertie de la section « Poutre+Dalle ».

Cela donne : $\sigma_{bi} = 10.37 MPa$.

➤ Pertes par relaxation des aciers

Elles sont définies par la formule suivante :

$$\Delta\sigma_{relax} = \frac{6}{100} * \rho_{1000h} * \left(\frac{\sigma_i}{f_{prg}} - \mu_0 \right) * \sigma_i \quad (13)$$

- σ_i : Contrainte après les pertes instantanées avec : $\sigma_i = \sigma_0(1 - \Delta\sigma_i)$

- μ_0 : Coefficient valant 0.43 pour les armatures à très basse relaxation.

➤ **Total des pertes différées :** On applique la loi suivante :

$$\Delta\sigma_{diff} = \Delta\sigma_r + \Delta\sigma_{flu} + \left(\frac{5}{6}\right) * \Delta\sigma_{relax}$$

Tableau II-14 Récapitulatif des pertes différées

	Pertes par Retrait (MPa)	Pertes par Fluage (MPa)	Pertes par Relaxation (MPa)	Total	$\Delta\sigma_{diff}/\sigma_{p0}$
Résultats	32.68	93.11	59.65	175.50	12.39%

7.3.3. Les Pertes Totales

Cela représente la somme des différentes pertes instantanées et différées causées par différents paramètres étudiés précédemment. Donc la perte totale est illustrée par la formule :

$$\Delta\sigma_{totale} = \Delta\sigma_{inst} + \Delta\sigma_{diff}$$

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau II-15 Récapitulatif des Pertes Totales

	Pertes instantanées (MPa)	Pertes différées (MPa)	Total (MPa)	$\Delta\sigma_{totale}/\sigma_{p0}$	$\% \Delta\sigma_{totale}$
Résultats	114.20	175.50	289.70	0.20459	20.46%

7.4. Vérification des contraintes normales à l'ELS

La vérification de la précontrainte s'effectue phase par phase et selon la section que ce soit la poutre seule ou la poutre en rajoutant un hourdis (dalle).

Tableau II-16 Les caractéristiques des sections

	X = 0.5		X = L/4		X = 3L/8		X = L/2	
	Poutre seule	Poutre + Dalle	Poutre seule	Poutre + Dalle	Poutre seule	Poutre + Dalle	Poutre seule	Poutre + Dalle
H (m)	1,200	1,400	1,200	1,400	1,200	1,400	1,200	1,400
B _{nette} (m ²)	0,867	1,198	0,867	1,195	0,867	1,195	0,867	1,195
v _n (m)	0,666	0,307	0,667	0,307	0,666	0,307	0,666	0,307
v' _n (m)	0,534	1,093	0,534	1,093	0,534	1,093	0,534	1,093
I _{nG} (m ⁴)	0,121	0,211	0,121	0,211	0,121	0,211	0,121	0,211
ρ (%)	0,392	0,525	0,392	0,525	0,392	0,525	0,392	0,525

Pour les phases 1 et 2 on utilise la section poutre seule, pour les phases 3 et 4 on utilise la section poutre + dalle.

7.4.1. Contraintes Admissibles :

▪ A 7 jours :

$$-f_c(7) = \frac{7}{4.76+0.83*7} * 35 = 23.18 \text{ MPa} \quad / \quad f_{t7} = 0.6 + 0.06 * f_{c7} = 1.99 \text{ MPa}$$

$$-\bar{\sigma}_{bt1} = -1.5 * f_{t7} = -1.5 * 1.99 = -2.99 \text{ MPa}$$

$$-\bar{\sigma}_{bt2} = -0.7 * f_{t7} = -0.7 * 1.99 = -1.39 \text{ MPa}$$

$$-\bar{\sigma}_{bc} = 0.6 * f_{c7} = 0.6 * 23.18 = 13.91 \text{ MPa}$$

▪ A 28 jours :

$$-f_{c28} = 35 \text{ MPa} \text{ et } f_{t28} = 2.7 \text{ MPa.}$$

$$-\bar{\sigma}_{bt1} = -1.5 * f_{t28} = -1.5 * 2.7 = -4.05 \text{ MPa}$$

$$-\bar{\sigma}_{bt2} = -0.7 * f_{t28} = -0.7 * 2.7 = -1.89 \text{ MPa}$$

$$-\bar{\sigma}_{bc} = 0.6 * f_{c28} = 0.6 * 35 = 21 \text{ MPa}$$

Donc on remarque que les cas sont vérifiés pour les contraintes appliquées.

7.4.2. Interprétation des résultats du logiciel

On présentera ci-dessous les résultats utilisés pour la vérification des contraintes, les moments maximaux à l'ELS ainsi que l'excentricité e(m) seront explicités dans les tableaux suivants :

	Phase 1				Phase 2			
		x=0.5	x=L/4	x=3L/8	x=L/2	x=0	x=L/4	x=3L/8
e (m)	-0,50	0,10	0,25	0,31	-0,50	0,10	0,25	0,31
MEls	0,00	1,12	1,44	1,54	0,00	1,12	1,44	1,54

7.4.3. Justification des Poutres à l'ELS

Pour les justifications à l'ELS, on doit calculer les valeurs caractéristiques P_1 et P_2 comme suit :

$$P_1 = 1.02 * P_0 - 0.8 * \Delta P$$

$$P_2 = 0.98 * P_0 - 1.2 * \Delta P$$

Avec : ΔP : Les pertes de tension de chaque phase. Et $P_0 = 2.55 \text{ MN}$.

Dans le tableau suivant on présentera les valeurs de l'excentricité des câbles pour chaque phase, avec une formule ($e = V' - Y_{Moy}$), on aura les résultats suivants :

	CY1	CY2	CY3	Ymoy
x=0.5	0,679	1,017	1,405	1,034
x=L/4	0,268	0,416	0,624	0,436
x=3L/8	0,166	0,254	0,426	0,282
x=L/2	0,120	0,200	0,360	0,227

Pour le calcul des valeurs de P_1 et P_2 , les valeurs des pourcentages de mise en tension des câbles sont nécessaires. Pour la première phase à 7 jours, on aura une tension de 50%, puis dans la deuxième phase à 28 jours et les deux autres phases la tension sera de 100%.

Les valeurs de P_1 et P_2 sont aussi affectées par les valeurs des pertes (instantanées et différées).

Cela ainsi que les résultats seront détaillés dans le tableau suivant :

Tableau II-17 Valeurs des efforts de précontraintes P1 et P2

	% Mise en tension	ΔP	P1	P2
Phase 1	50	4,032	3,778	3,563
Phase 2	100	8,065	7,309	6,757
Phase 3	100	11,163	7,120	6,472
Phase 4	100	20,459	6,551	5,619

	N cables	% Mt	Δ P	P1	P2
Phase 1	3	50	4,032	3,778	3,563
Phase 2	3	100	8,065	7,309	6,757
Phase 3	3	100	11,163	7,120	6,472
Phase 4	3	100	20,459	6,551	5,619

7.4.4. Justifications des contraintes normales

Pour la vérification des contraintes résultantes de la précontrainte, on procède à une majoration par une valeur maximale et d'une autre minimale définies par :

$$\sigma_{Sup} = \frac{P}{B} - (P_0 * e_0 - M) * \frac{V}{I}$$

$$\sigma_{Inf} = \frac{P}{B} + (P_0 - M) * \frac{V'}{I}$$

On adopte les notations suivantes :

$$\sigma_P = \left\{ \sigma_{Sup} = \frac{M*V}{I} ; \sigma_{Inf} = -\frac{M*V'}{I} \right\}.$$

$$\sigma_{P1} = \left\{ \sigma_{Sup} = \frac{P_1}{B} - \frac{P_1 * e_0 * V}{I} ; \sigma_{Inf} = \frac{P_1}{B} + \frac{P_1 * e_0 * V'}{I} \right\} .$$

$$\sigma_{P2} = \left\{ \sigma_{Sup} = \frac{P_2}{B} - \frac{P_2 * e_0 * V'}{I} ; \sigma_{Inf} = \frac{P_2}{B} + \frac{P_2 * e_0 * V}{I} \right\} .$$

$$\sigma_{Max} = \{ \sigma_{Sup} = \sigma_{Sup}(P_1) + \sigma_{Sup}(P_2) ; \sigma_{Inf} = \sigma_{Inf}(P_1) + \sigma_{Inf}(P_2) \} .$$

$$\sigma_{Inf} = \{ \sigma_{Sup} = \sigma_{Sup}(P_1) + \sigma_{Sup}(P_2) ; \sigma_{Inf} = \sigma_{Inf}(P_1) + \sigma_{Inf}(P_2) \} .$$

Le tableau suivant résumera les étapes précédentes et les valeurs calculées des contraintes introduites pour les vérifications :

Tableau II-18 Les valeurs de la contrainte normale à l'ELS

		Phase 1				Phase 2			
		x=0.5	x=L/4	x=3L/8	x=L/2	x=0	x=L/4	x=3L/8	x=L/2
e (m)		-0,50	0,10	0,25	0,31	-0,50	0,10	0,25	0,31
M_{ELS}		0,00	1,12	1,44	1,54	0,00	1,12	1,44	1,54
P1 (MN)		3,78	3,78	3,78	3,78	7,31	7,31	7,31	7,31
P2 (MN)		3,56	3,56	3,56	3,56	6,76	6,76	6,76	6,76
σ_p (MPa)	σ_{sup}	0,00	6,19	7,91	8,48	0,00	6,19	7,91	8,48
	σ_{inf}	0,00	-4,95	-7,44	-6,80	0,00	-4,95	-6,34	-6,80
σ_{P1} (MPa)	σ_{sup}	14,75	2,32	-0,88	-2,03	28,53	24,49	-1,71	-3,93
	σ_{inf}	-3,97	5,99	8,56	9,48	-7,68	11,59	16,56	18,34
σ_{P2} (MPa)	σ_{sup}	13,91	2,19	-0,83	-1,92	26,37	4,15	-1,58	-3,64
	σ_{inf}	-3,75	5,65	8,07	8,94	-7,10	10,71	15,31	16,96
σ_{Max} (MPa)	σ_{sup}	14,75	8,51	7,02	6,45	28,53	10,68	6,20	4,55
	σ_{inf}	-3,97	1,04	1,12	2,68	-7,68	6,63	10,22	11,54
σ_{Min} (MPa)	σ_{sup}	13,91	8,38	7,07	6,57	26,37	10,34	6,33	4,85
	σ_{inf}	-3,75	0,69	0,63	2,14	-7,10	5,76	8,97	10,16
		Phase 3				Phase 4			
e (m)		0,06	0,66	0,81	0,87	0,06	0,66	0,81	0,87
M_{ELS}		0,00	1,70	2,17	2,32	0	3,56	4,471	4,77
P1 (MN)		7,12	7,12	7,12	7,12	6,55	6,55	6,55	6,55
P2 (MN)		6,47	6,47	6,47	6,47	5,62	5,62	5,62	5,62
σ_p (MPa)	σ_{inf}	0,00	2,47	3,16	3,38	0,00	5,18	6,51	6,95
	σ_{sup}	0,00	-8,81	-11,24	-12,02	0,00	-18,44	-23,16	-24,73
σ_{P1} (MPa)	σ_{inf}	5,33	-0,85	-2,44	-3,02	4,90	-0,78	-2,25	-2,78
	σ_{sup}	8,14	30,18	35,87	37,91	7,49	27,77	33,00	34,88
σ_{P2} (MPa)	σ_{inf}	4,84	2,47	1,68	-2,74	10,55	4,69	3,18	-2,38
	σ_{sup}	7,40	27,44	32,61	34,46	6,42	23,82	28,31	29,92
σ_{Max} (MPa)	σ_{inf}	5,33	1,63	0,71	0,36	4,90	4,40	4,26	4,17
	σ_{sup}	8,14	21,38	24,63	25,89	7,49	9,33	9,84	10,15

σ_{Min} (MPa)	σ_{inf}	4,84	4,95	4,83	0,63	10,55	9,87	9,68	4,57
	σ_{sup}	7,40	18,63	21,37	22,44	6,42	5,38	5,15	5,19

7.4.5. Justification des contraintes tangentielles

Le but de cette vérification est de montrer que les effets d'un effort tranchant cumulés aux effets du moment fléchissant et de l'effort normal ne compromettent pas la sécurité de l'ouvrage. La vérification des contraintes tangentielles sera calculer pour la phase 4, qui présente un effort tranchant maximale, on doit vérifier pour cela les inégalités suivantes :

$$\tau^2 \leq 0,4.f_{tj} [f_{tj} + \sigma_x] = \bar{\tau}_1^{-2}$$

$$\tau^2 \leq 2 \cdot \frac{f_{tj}}{f_{cj}} [0,6.f_{cj} - \sigma_x] \times [f_{tj} + \sigma_x] = \bar{\tau}_2^{-2}$$

Si : $\sigma_x < 0,4 * f_{cj}$ on a : $\bar{\tau}_1 < \bar{\tau}_2 \Rightarrow$ on vérifie que : $\tau < \bar{\tau}_1$

yant :

$\sigma_x = P/B_n$ avec : $P = \sum P_i * \cos(\alpha_i)$; $i = 1, 2, 3$.

$$\tau = \frac{V_{red} * S_n}{I_n * b_n} ; S_n = v' * B_n$$

$$V_{red} = V_{ser} - \sum P_i * \sin(\alpha_i)$$

V_{red} : Effort tranchant réduit.

B_n : Surface nette de la section considérée. b_n : Largeur nette de la section.

τ : Contrainte tangentielle.

σ_x : Contrainte normale longitudinale au centre de gravité.

Le tableau suivant résume les sommes de $P_i * \cos(\alpha_i)$ et $P_i * \sin(\alpha_i)$ selon les angles d'ancrage :

Tableau II-19 Paramètres de calcul des efforts de précontrainte relatifs aux angles d'ancrage

	α_i (°)	$P_i * \cos(\alpha_i)$	$P_i * \sin(\alpha_i)$
P1	2,03	7,14	2,01
P2	2,03	5,67	2,02
P3	2,03	3,45	2,02
Somme		6,06	0,57

Le tableau qui va suivre récapitulera les résultats du calcul des autres paramètres intervenants dans le calcul et la justification des contraintes tangentielles :

Tableau II-20 Paramètres de calcul des contraintes tangentielles

$B_n (m^2)$	1,20 m²	$V_{ser} (MPa)$	0,94 MPa
$\sigma_x (MPa)$	5,05 MPa	$V_{red} (MPa)$	0,37 MPa
$\tau_1 (MPa)$	2,56 MPa	$S_n (MPa)$	0,49 m³
$I_n (m^4)$	0,21 m⁴	$b_n (m)$	0,52 m

la valeur de la contrainte tangentielle est :

$$\tau = 1.65 \text{ MPa}$$

$$\tau < \tau_1 \Rightarrow \text{Vérifié.}$$

7.5. Armatures de peau

Ces armatures ont comme rôle de reprendre les efforts induits par un hypothétique retrait du béton, habituellement avec un faible diamètre et disposées vers les faces extérieures de la poutre dans notre cas, mais cela peut se généraliser et calculer pour tous les autres éléments de l'ouvrage.

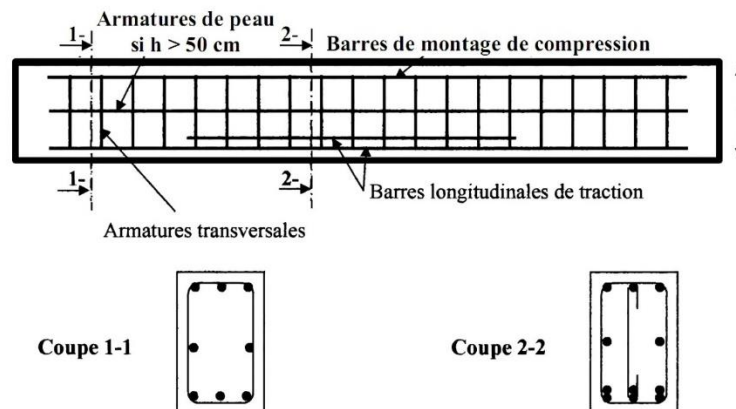


Figure II-26 Illustration des armatures de peau

Pour calculer la section du ferrailage, on adopte la formule ci-dessous :

$$A_{Min} \geq 0.23 * b * d * \frac{f_t}{f_e}$$

Ce qui nous donnera un résultat de : $A_{sMin} = 17.39 \text{ cm}^2$.

7.6. Justification du béton

La justification concernant le béton consiste à vérifier que la contrainte de compression des bielles de béton demeure inférieure à la contrainte ultime du béton. Cette vérification se traduit par :

$$\tau_u \leq f_{c28}/6 \quad (5)$$

$$- \tau_u = 1.65 \text{ MPa}$$

$$- f_{c28} = 35 \text{ MPa}$$

$$\tau_u = 1.65 \leq \frac{f_{c28}}{6} = 5.83 \Rightarrow \text{Vérifié.}$$

Une fois que les vérifications relatives à la précontrainte, l'étape qui suivra concernera l'étude de la dalle, son comportement à l'application des charges et surcharges, les flèches induites et subites ainsi que l'étude du ferrailage le plus adéquat à la dalle et à la poutre.

8. Etude de la dalle

La dalle d'un pont à poutre est un élément qui travaille en flexion simple sous un chargement perpendiculaire à son plan, l'étude de la dalle du pont consiste à calculer le moment de flexion, flexion locale et flexion globale, en chaque point de la dalle pour déterminer le ferrailage nécessaire. (15)

8.1. Flèche et contre flèche

Les flèches sont dues aux différentes charges appliquées sur la structure, pour les flèches vers le bas un signe positif et celles vers le haut aussi appelées contre flèches sont de signe négatif.

- **Flèche due au poids propre**

Les flèches résultantes des charges permanentes et des compléments des charges permanentes, leur somme représente la flèche créée par l'effet du poids propre de la structure.

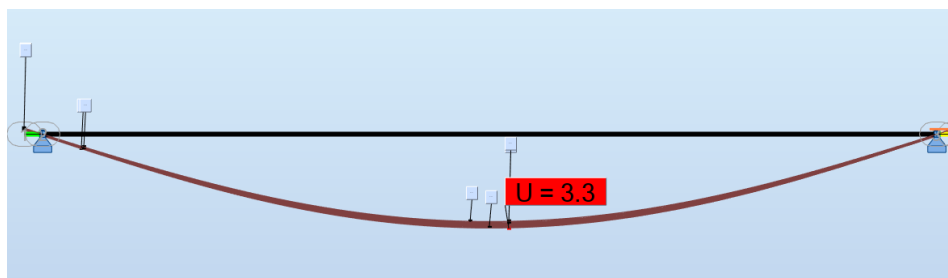
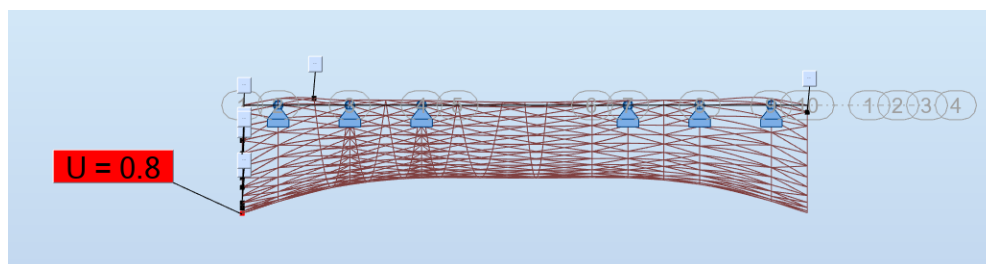


Figure II-27 Flèche due aux charges permanentes CP



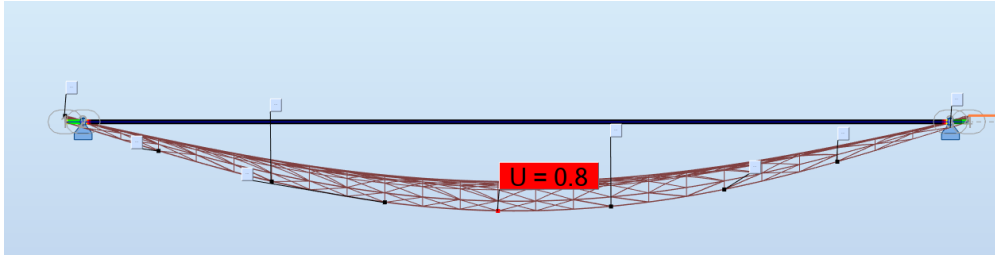


Figure II-28 Flèche due aux charges CCP

f_G : Flèche due au poids propre.

$$f_G = f_{CP} + f_{CCP} = 3.3 + 0.8 = 4.1 \text{ cm.}$$

$$f_G = 4.1 \text{ cm}$$

- **Contre flèche de précontrainte**

Grâce aux câbles de précontraintes, ces derniers vont palier à la flèche résultante avec une contre flèche vers le haut, avec un effort moyen de précontrainte de 6.34 MN dans la phase finale de tension (mise en tension à 100%).

On opte pour un effort de précontrainte de 6340 kN et des espacements de $e_1 = e_3 = 0.088\text{m}$ et $e_2 = -0.73\text{m}$.

On constate que la contre flèche maximale de la poutre due à la mise en tension des câbles de précontrainte est égale à 8.9cm.

$$f_p = 8.9 \text{ cm}$$

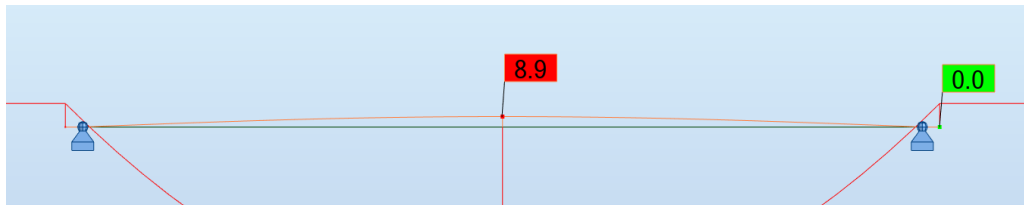


Figure II-29 Contre flèche de précontrainte

- **Flèche de construction**

Cette flèche est calculée et non pas constatée directement, elle est donnée par l'expression suivante :

$$f_c = \frac{3}{4} * (f_p - f_G) = \frac{3}{4} * (8.9 - 4.1)$$

$$f_c = 3.6 \text{ cm}$$

- **Flèche maximale à l'ELS**

Sous la combinaison ELS (G+Q), une flèche en sera générée, présentée par la figure suivante :

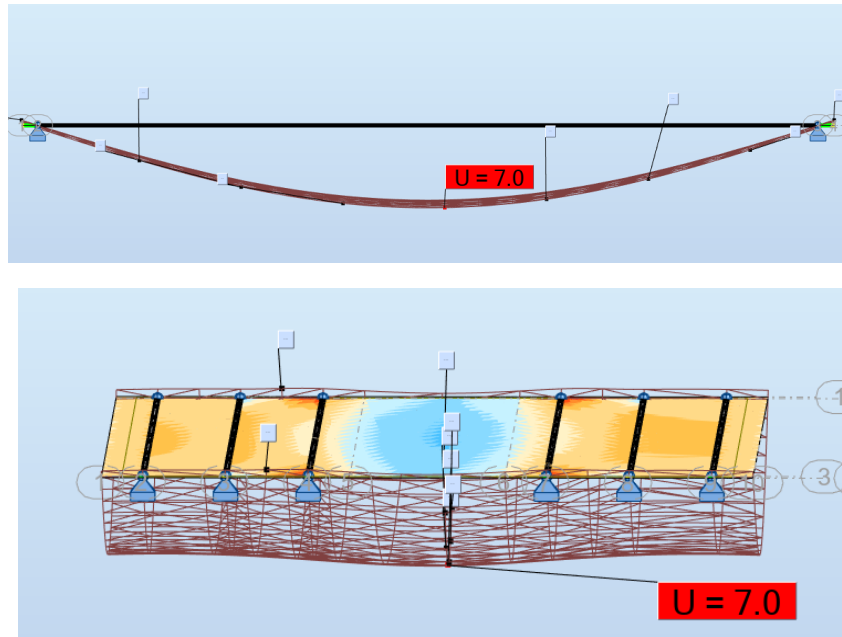


Figure II-30 Flèche maximale à l'ELS

On aura donc :

$$f_{ELS} = 7 \text{ cm}$$

- **Flèche totale**

La flèche totale est la somme des différentes flèches introduites précédemment, on comparera cette somme avec la flèche admissible.

$$f_{tot} = f_{ELS} + f_p + f_c = 7 - 8.9 + 3.6 = 1.7 \text{ cm} \Rightarrow f_{tot} = 1.7 \text{ cm}$$

La flèche admissible est caractérisée par le rapport de $L/700$.

$$f_{adm} = \frac{L}{500} = \frac{25.1}{500} \approx 0.05 \text{ m} = 5 \text{ cm} > f_{tot}$$

Donc $f_{adm} > f_{tot} \Rightarrow 5 \text{ cm} > 1.7 \text{ cm} \Rightarrow$ **Condition vérifiée.**

8.2. Etude du ferrailage

Pour cette étude on considère la dalle comme une section rectangulaire d'un mètre de largeur par 20 cm de hauteur.

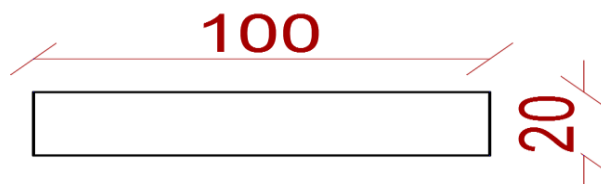


Figure II-31 Section d'étude di ferrailage de la dalle.

8.2.1. Dispositifs constructifs

Pour que les liaisons des armatures et le béton de la dalle soient correctes, les armatures utilisées doivent avoir un diamètre : $\phi \leq \frac{h}{10}$

Donc on aura : $\phi \leq 20mm$

8.2.2. Espacement des armatures

Les espacements maximaux à ne pas dépasser sont :

- Dans le sens xx' : $S_t \leq \min(3h ; 33cm) = 33 cm.$
- Dans le sens yy' : $S_t \leq \min(2h ; 25cm) = 25cm.$

8.2.3. Calcul du ferrailage

➤ Ferrailage de la dalle du tablier

Le calcul du ferrailage de la dalle se fera selon les moments maximum et minimum, ces moments sont choisis à l'ELS pour une option plus économique et plus proche de la réalité contrairement à l'ELU.

Pour les moments max et min, on utilise l'option cartographie sur Robot Autodesk afin de déterminer les moments traversants la dalle.

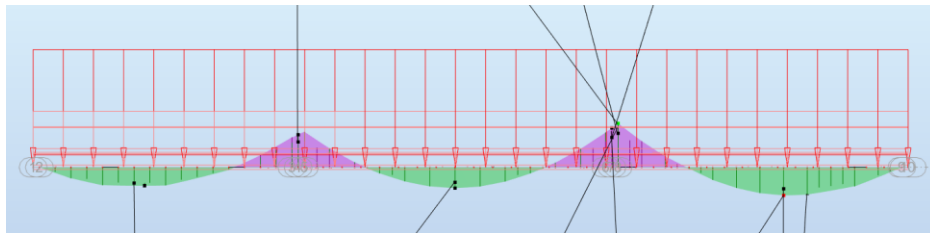


Figure II-32 Résultats moments fléchissant du tablier à l'ELS

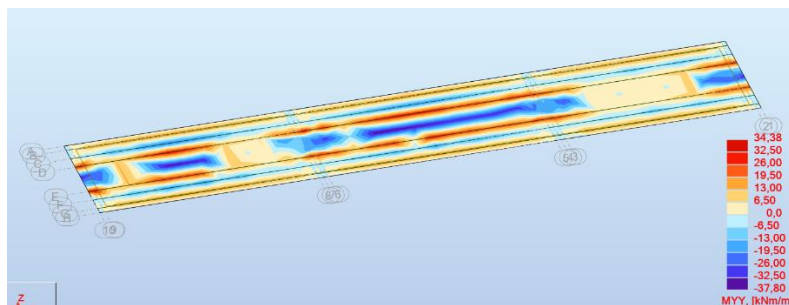


Figure II-33 Cartographie des moments de la dalle M_{yy}

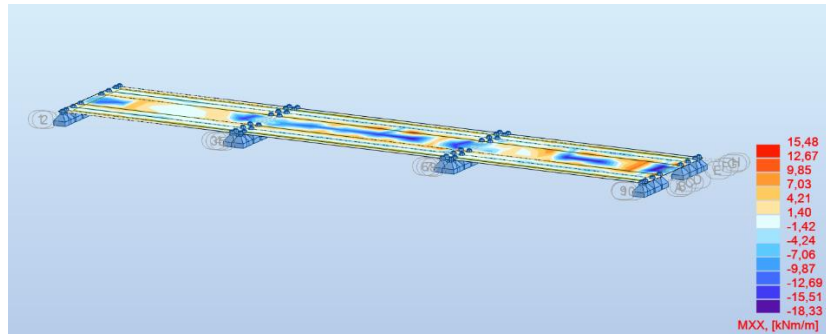


Figure II-34 Cartographie des moments de la dalle M_{xx}

Le choix des aciers se fait grâce au logiciel Robot Expert 2010. On procède au ferrailage de la nappe supérieure de la section rectangulaire caractérisant la dalle, puis la nappe inférieure.

Les notes de calcul des différents ferrailages sont en annexe pour les détails de calcul.

- **La nappe inférieure :**

- Les armatures transversales :

Le moment pris pour les calculs est : $M_{y_{inf}} = -37.80 \text{ KN.m}$

Le calcul a donné : $A_s \geq 11.5 \text{ cm}^2$. En prenant un ferrailage de 7HA16, on aura une section d'armature de 14.07 cm^2 , avec un enrobage de 5cm et un espacement de 15cm.

- Les armatures longitudinales de construction :

On a un moment de 18.33 KN.m, on aura une section $A_s = 4.9 \text{ cm}^2$.

Pour cela on opte pour un choix d'armatures de 5HA12 qui donnera une section de 5.65 cm^2 .

- **La nappe supérieure :**

- Les armatures transversales :

Le moment pris pour les calculs est : $M_{y_{sup}} = 34.38 \text{ KN.m}$

On a trouvé $A_s = 10.4 \text{ cm}^2$, on opte pour un ferrailage avec 7HA14 qui donnera une section d'armatures de 10.78 cm^2 , avec un espacement de 15cm et un enrobage de 5cm.

- Les armatures longitudinales de construction :

Le moment pris sera de 15.48 cm^2 qui donnera une section de 4.5 cm^2 .

Pour cela on opte pour un choix d'armatures de 5HA12 qui donnera une section de 5.65 cm^2 .

Tableau II-21 Choix des armatures transversales

	Section d'acier (cm^2)	Barres d'armatures
Nappe Inférieure	11.5 cm^2	7 HA16 (14.07 cm^2)
Nappe Supérieure	10.4 cm^2	7 HA14 (10.78 cm^2)

Tableau II-22 Choix des armatures longitudinales

	Section d'acier (Cm ²)	Barres d'armatures
Nappe Inférieure	4.9 cm ²	5 HA12 (5.65 cm ²)
Nappe Supérieure	4.5 cm ²	5 HA12 (5.65 cm ²)

- Diverses nuances d'armatures ont été choisies (HA12 – HA14 – HA16) pour le ferrailage de peau des poutres, cela est illustré dans le schéma de ferrailage de la poutre ci-dessous.

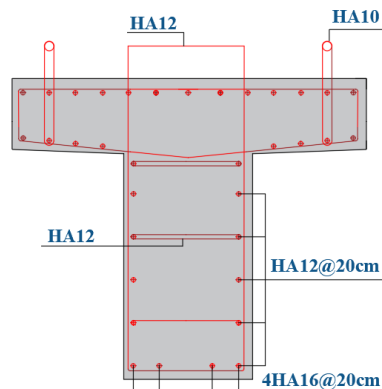


Figure II-35 Schéma de ferrailage de la poutre

- Schémas du ferrailage de la dalle

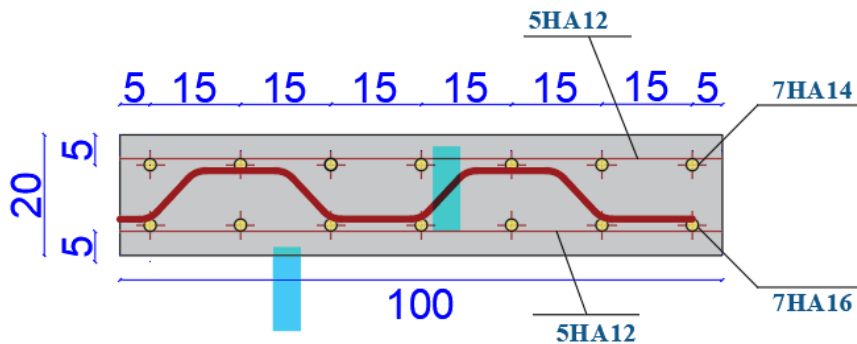


Figure II-36 Schéma de ferrailage de la dalle

9. Conclusion

A travers ce chapitre, l'étude numérique du tablier a été réalisée. Le calcul de la précontrainte donne 3 câbles de nuance 12T15s pour les poutres, la dalle est ferrailée avec 3 nuances (HA12, HA14 et HA16). Pour finir, les vérifications relatives à la poutre et la dalle sont réalisées et s'avèrent satisfaites.

CHAPITRE III : PROJECTION
MANAGERIALE SUR LE PROJET
M29 AIN NAADJA GARE

III. Chapitre : Projection Managériale sur le projet

1. Introduction

Le projet a commencé en 2016 et sa réalisation en 2020, entre 2016 et 2020 un choix entre les différentes alternatives pour réaliser un réseau de métro a été fait, et cela grâce aux différentes analyses et études vues dans les chapitres précédents.

L'objectif de ce chapitre sera de refaire le planning en optimisant ses différentes phases en gérant les différentes ressources (délais, temps de réalisation, coûts, main d'œuvre, matériel...) pour obtenir un maximum de profit et bénéfices, tout en évitant un maximum de risques.

Pour se faire on dispose d'un calendrier prédéfini du 24 janvier 2021 au 05 juillet 2023 pour la station Ain Naadja Gare.

Aucun planning ne se fait sans les ressources et sans les dépenses, pour cela un budget de 700 527 476,20 Dinars Algériens (Dzd) a été prévu, ce budget et sa prévision budgétaire sont annuels. Pour illustrer cela (3) :

- Pour 2021 : 111 160 660,6Dzd.
- Pour 2022 : 357 859 151,96 Dzd.
- Pour 2023 : budget estimé : 231 507 663,64Dzd.

Dans la démarche d'optimisation du planning on aura les objectifs suivants :

- Date de fin des travaux.
- Revoir les plannings et la juxtaposition des tâches.
- Revoir les estimations budgétaires (changements des prix avec les fluctuations du marché).

La réussite d'un projet est en fonction de chaînons essentiels pour le projet. Ce sont toute personne physique ou morale qui participe dans la démarche de réalisation du projet ou dans un rôle opérationnel ou simple conseillé(16).

Les différentes parties prenantes qui ont une relation ou un intérêt dans le projet Ain Naadja Gare M29 sont :

- Entreprise métro d'Alger.
- Ministère des transports.
- Les sous-traitants.
- Les différentes filiales de COSIDER.

2. Analyse SWOT

2.1. Définition

L'analyse SWOT est une technique développée à Stanford dans les années 1970, fréquemment utilisée dans la planification stratégique. Il s'agit d'une méthode de planification structurée qui évalue ces quatre éléments d'une organisation, d'un projet

ou d'une entreprise. L'analyse SWOT permet de s'appuyer sur les forces de l'entreprise, d'améliorer ses faiblesses, de minimiser les menaces et de tirer le meilleur parti possible des opportunités (18).

L'analyse SWOT aide à comprendre la position de l'entreprise, ce qui favorisera les idées et la prise de décision sur la façon de procéder durant l'organisation du projet. Les avantages de l'utilisation d'une analyse SWOT résident dans :

- L'identification des compétences de base.
- L'identification des faiblesses.
- L'exploration des opportunités pour en tirer parti.
- Reconnaître les menaces potentielles.

2.2. Les 4 piliers de l'analyse SWOT

Au sein même de Cosider TP, le département d'audit interne veille sur le bon encadrement du projet, sur les objectifs de l'entreprise et de s'assurer de la viabilité des stratégies proposées pour concrétiser les efforts, cela est bâti sur les quatre piliers de l'analyse SWOT introduits ci-dessous.

2.2.1. Les forces

- Capital expérience.
- Engagement afin d'assurer les exigences en matière de santé sécurité et environnement
- Sensibilisation des travailleurs sur les risques et dangers au niveau des ateliers par des Safety Meetings.
- Expérience et qualification du personnel de réalisation.
- Gestion des contrats de sous-traitance avec des entreprises étrangères (bureau d'étude, entreprise de réalisation de fondation spéciale, la topographie).
- Entreprise certifiée aux normes ISO 9001, 14001 et 18001.
- Existence de laboratoire propre au projet possédant leur propre centrale à béton.
- Mise en place d'une procédure pour la prévention contre le Covid19.

2.2.2. Les faiblesses

- Manque de partenaire dans certains domaines spécifiques (dans le domaine de la sous-traitance : la non disponibilité de certains matériaux spécifiques : tirants d'ancrage, complexe d'étanchéité...etc.)
- Projet en milieu urbain.
- Les procédures ne sont pas adaptées à une organisation dynamique.
- Les différentes activités des sites opérationnelles génèrent du bruit.
- Les activités d'excavation et la circulation des engins génératrices de poussière à l'intérieur des sites, provoquant des réclamations des riverains (chantier en milieu urbain).

- Des quantités importantes de la poussière générée lors des travaux d'excavation des tunnels (espaces confinés), cette situation pourra provoquer des maladies professionnelles pour le personnel activant à l'intérieur des tunnels.

2.2.3. Les opportunités

- Pluridisciplinaire : travaux de tunnel, de station (excavation à ciel ouvert...).
- Retour d'expérience par rapport aux collaborations avec des entreprises étrangères par rapport aux projets précédents.
- Opportunités de travailler en collaboration avec les autres services de la direction du projet et les autres filiales du groupe.

2.2.4. Les menaces

- Installation du projet en site urbains engendre des désagréments à l'égard des riverains.
- Pénurie des produits stratégique tel que les aciers, les ciments... etc.
- Défaillance et manquements des sous-traitants.
- Travaux sous trafic.
- Indisponibilité des plans de réseaux cadastrés avant d'entamer les travaux (risque d'augmentation de délai de réalisation et du cout).
- Contamination du sol par les huiles usagées en provenance de la station de service de NAFTAL.

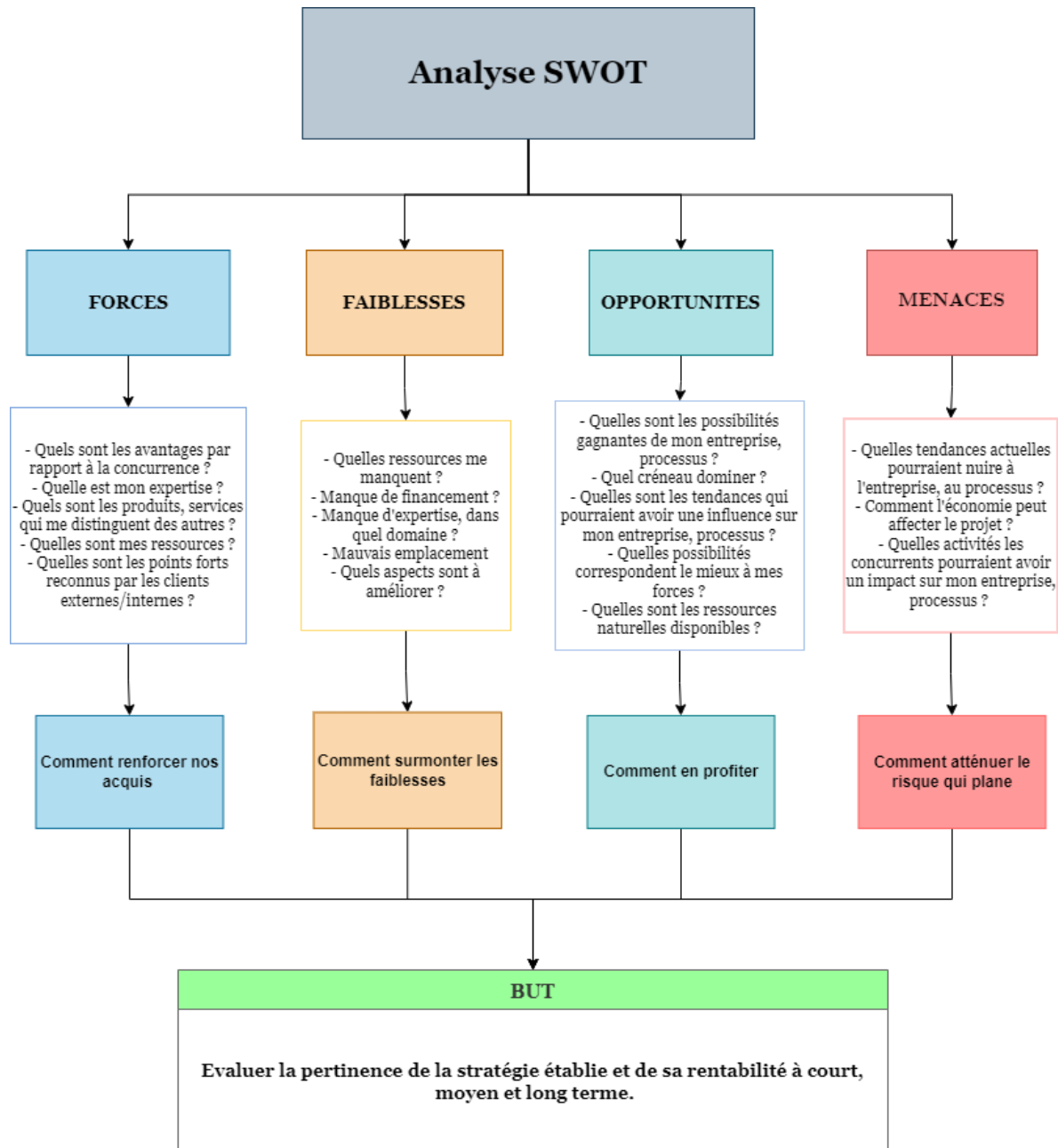


Figure III-1 Diagramme Analyse SWOT

3. Analyse des risques

3.1. Risques et leurs impacts

Par définition, un risque est l'incertitude qui caractérise un événement où un résultat de se réaliser avec des conséquences positives ou négatives qui auront des répercussions sur le projet et ses objectifs (16).

Le manque d'informations ou l'imprédictibilité d'un risque influent grandement sur l'incertitude du risque, et de ce fait de ce qui va en être engendré.

Tout projet qu'importe son échelle, son ampleur, les moyens mis à disposition rencontre un certain nombre de problèmes. Ces problèmes ont comme source des risques, dans la réalisation du projet Ain Naadja Gare ont été analysés et classés ces mêmes risques selon 3 paramètres. Les paramètres des risques potentiels sont :

- L'impact : sur une échelle de 10.
- La probabilité que le risque se produise, sur une échelle de 10.
- La possibilité de détection du risque, sur une échelle de 10.

Le produit de ces 3 paramètres donne la criticité caractéristique de chaque risque, elle est définie comme suit :

$$\mathbf{La\ criticité = impact * probabilité * détection\ (16)}$$

Dans le tableau suivant, sont présentés les risques rencontrés, une classification de ces risques selon leurs degrés de criticité a été établie selon les données récoltées au courant du stage chez Cosider TP.

Liste des risques	Effet sur les objectifs	Impact	Probabilité	Détection	Criticité
Déviations réseaux	Retard sur l'avancement du projet et réalisation des travaux.	9	9	8	648
Retard sous-traitance	Retard sur l'avancement des travaux	9	7	5	315
Implantation du projet (proximité SNTF)	Retard sur l'avancée du projet / à chaque fois il faut dévier et demander des autorisations auprès de la compagnie SNTF et ministère des transports	6	6	8	288
Ségrégation des Piles	Retard sur l'avancement des travaux pour cause de réparation et étude de correction et réhabilitation	8	4	8	256
Crise sanitaire	Absence de l'effectif - diminution du rendement - retard sur l'avancée – risque constant de contamination pour les employés.	8	4	6	192
Déviations circulation routière	Retard sur les travaux bloc échangeur	8	4	5	160
Changement des fondations	Revoir les calculs et les choix du bureau d'étude causera un certain retard	7	4	5	140
Manque des profilés spécifiques	Retard sur les travaux	4	7	6	168
Déviations réseaux SNTF (pas de sous-traitants)	Les travaux se retrouvent figés donc un retard cumulé	6	4	6	144
Les pannes du matériel	Retarder l'avancement des travaux	8	3	5	120
Manque de matériel à disposition	Retard sur l'avancement des travaux	4	6	7	168
Difficulté mise à disposition de l'emprise	Retard du début des travaux	3	6	6	108
Instabilité des prix et du marché	Revoir les estimations et le devis estimatif quantitatif	9	2	4	72
Actualisation du phasage des travaux	À cause de certains problèmes, le planning a été revu et retravaillé, grâce à cela un gain de temps a été constaté donc un impact positif sur les objectifs en minimisant les délais	8	2	8	128

Tableau III-1 Identification et priorisation des risques

3.2. Matrice des risques

La matrice des risques préconise de se focaliser sur deux paramètres caractérisant les risques, en l'occurrence la gravité de l'impact et la probabilité d'occurrence. (16)

Pour la gravité de l'impact, 5 niveaux de gravité pour la classer, de gravité mineure à majeure, avec des cotations de 2 à 10.

Pour la probabilité d'occurrence, elle aussi est classée en 5 catégories, d'une très forte récurrence à très faible, avec des cotations allant de 10 pour la très forte récurrence à 2 pour celle très faible.

Les tableaux suivants détailleront les deux paramètres.

Tableau III-2 Evaluation de la probabilité d'occurrence

Réurrence	Occurrence	Cotation
Très forte	De tous les jours à une fois par mois	10
Forte	De une fois par mois à une fois par trimestre	8
Moyenne	De une fois par trimestre à une fois tous les 6 mois	6
Faible	De une fois tous les 6 mois à une fois par an	4
Très faible	Moins d'une fois par an	2

Tableau III-3 Evaluation du niveau de gravité

Niveau de gravité	Cotation
Mineure	2
Significative	4
Moyenne	6
Importante	8
Majeure	10

La matrice des risques est obtenue à travers le produit des cotations de la gravité de l'impact et les cotations de la probabilité d'occurrence. Ce qui donne la matrice suivante :

		Gravité				
Réurrence	20	40	60	80	100	
	16	32	48	64	80	
	12	24	36	48	60	
	8	16	24	32	40	
	4	8	12	16	20	

Figure III-2 Matrice des risques

La matrice risque est caractérisé par un code couleur relatif au produit précédemment cité, ce code peut être résumé comme ceci :

L'intervalle	Code couleur
0-20	
21-40	
41-60	
61-80	
80-100	

Figure III-3 Code couleur pour la matrice des risques

Grâce à cette matrice on peut dorénavant trier les risques cela le code couleur défini par cette dernière, ce qui donnera la représentation suivante :

Risque	Impact	Proba	Impact*Probabilité
Crise sanitaire	9	9	81
Déviations réseaux	9	7	63
Déviations circulation routière	6	6	36
Retard sous-traitance	8	4	32
Ségrégation des Piles	8	4	32
Changement des fondations	8	4	32
Implantation du projet (proximité SNTF)	7	4	28
Les pannes du matériel	4	7	28
Manque des profilés spécifiques	6	4	24
Déviations réseaux SNTF (pas de sous-traitants)	8	3	24
Instabilité des prix et du marché	4	6	24
Manque de matériel à disposition	3	6	18
Difficulté mise à disposition de l'emprise	9	2	18

Figure III-4 Classification des risques selon la matrice des risques

4.3. Mesures de prévention

Pour les mesures de prévention, un tableau a été établi à partir des documents et rapports mis à ma disposition, pour illustrer chaque risque et les mesures préventives adaptées à cela,

Tableau III-4 Mesures de prévention des risques

Liste des risques	Mesures préventives
Déviations réseaux	Etablir une détection du réseau en amont du début des travaux
Retard sous-traitance	Etablir des clauses de budget et de délais avec les différents collaborateurs et instaurer une relation de confiance parmi les acteurs du projet
Implantation du projet (proximité SNTF)	Il est difficile de mettre en place des mesures préventives sur cela car on subit l'implantation du projet et on doit faire avec cela.

Ségrégation des Piles	Mettre en place des contrôles de qualité, de conformité et des révisions régulières avant la mise en place ainsi que les essais soniques et carottage pour s'assurer de la qualité du béton utilisé.
Crise sanitaire	Augmenter les mesures sanitaires, les contrôles santé, la sensibilisation régulières et ne pas hésiter à mettre les cas contact en quarantaine.
Perturbation du trafic aérien pour les collaborateurs et trafic maritime pour les marchandises	Cela dépassant du pouvoir de l'entreprise, mais des réunions en Visio conférence ont palier à cela, ainsi que des choix sur des alternatives de marchandises qui étaient déjà en stock ont bien aider à surmonter ce problème.
Déviations circulation routière	Étudier et dévier intelligemment pour ne pas impacter et handicaper la circulation
Changement des fondations	Vérifier les résultats et travailler en coordination avec le bureau d'étude afin de refaire l'étude et éviter d'autres erreurs
Manque des profilés spécifiques	Faire un état des lieux des stocks et de la disponibilité des différents besoins
Déviations réseaux SNTF (pas de sous-traitants)	Prévoir les travaux en amont et chercher des sous-traitants qualifiés
Les pannes du matériel	Vérifier l'état du matériel et faire des révisions régulières avec des techniciens qualifiés
Manque de matériel à disposition	Faire un état des lieux des stocks et de la disponibilité des différents besoins
Difficulté mise à disposition de l'emprise	Commencer la procédure en amont et prévoir les différents documents
Instabilité des prix et du marché	Suivre les consignes réglementaires

Remarque :

Pour le risque « Actualisation du phasage des travaux », on remarque son absence dans le tableau des mesures préventives, cela est dû à sa répercussion positive sur le

projet, une révision du phasage a été nécessaire, il en résultera un effet positif sur le phasage et amélioration de ce dernier.

3.3. Identification des impacts

Chaque action positive ou négative soit elle, amène avec elle un lot de répercussions, les impacts peuvent être classés par catégories :

- Impact financier
- Impact qualité
- Impact humain
- Impact règlementaire
- Impact performance
- Impact social
- Impact environnemental

3.4. Maîtrise des risques

Tout risque doit être maîtrisé et le problème que peut engendrer ce risque doit être résolu. Les moyens entrepris et les solutions proposées sont en fonction du degré de maîtrise des risques rencontrés. On a 3 types de maîtrise :

NM1 : Bonne maîtrise du risque : Disponibilité des moyens en ressource, déclinaison claire des objectifs à tous les niveaux, exigences réglementaires respectées et sans contraintes.

NM2 : Maîtrise moyenne du risque : Disponibilité des moyens en ressource pas en continu, budget alloué en hors plan, procédures en cours de validation, exigences réglementaires identifiées mais difficilement

NM3 : Risque non maîtrisé : Non Disponibilité des moyens que ça soit les ressources, le budget non alloué, planification de l'activité non réalisée et non optimisée.

3.5. Fiche d'Action Corrective et/ou Opportunité d'amélioration

Cette fiche comme son nom l'indique a comme but de reporter les risques ou un état des lieux de la situation sur chantier, elle sert à bien définir les problèmes, leurs sources, leur détection et les moyens de corriger cela.

Cette fiche se divise en plusieurs segments détaillés ci-dessous :

- Sources : Audits (E/I) / Evènement indésirable (AT/Incident) / Règlementation / Réclamations et Plaintes / PNC / Surveillance et mesure / Inspection HSE.
- Origines : Qualité / Environnement / SST santé et sécurité des travailleurs.
- Nature du dysfonctionnement
- Nature du traitement : Correction / Action Corrective / Opportunité d'amélioration / Isolement / Dérogation.

- Analyse des Causes : connus comme les 5 M on site : la Main d'œuvre / la Méthode / le Milieu / la Matière / le Matériel.
- Plan d'actions
- Evaluation de l'action avant sa mise en œuvre : Risque et Impact SST / Impact AES / Modification à apporter et moyen de maîtrise.
- Evaluation de l'efficacité

Avec :

- PNC : Produit Non Conforme.
- AT : Accident du Travail.
- AES : Aspects Environnementaux Significatifs.
- E/I : Audits Externes ou Internes.
- SST : Santé et Sécurité au travail.

4. Identifications des ressources

La gestion des ressources implique la gestion des ressources humaines, l'évaluation des compétences et potentiels des membres de l'équipe, les faire évoluer et les assigner aux tâches, de plus, connaître les besoins du projet, les solutions et les ressources nécessaires pour combler ces besoins.

Cette étape d'identification des ressources est la base de la planification et du phasage du projet. Elle se fait en fonction des tâches et étapes du projet, du budget prédéfini pour le projet et des délais de réalisation.

4.1. Ressources humaines mobilisées

Pour un projet d'une telle échelle, deux catégories de corps de métier voient le jour. La première catégorie est celle des responsables de l'étude, de la partie organisationnelle et de la planification. Cette catégorie est illustrée au sein d'une matrice RACI (Responsable, Accountable, Consulted, Informed) pour mettre en évidence leurs rôles lors de chaque tâche. La deuxième catégorie est celle de la main d'œuvre principalement nécessaire sur chantier pour les travaux rudes.

4.1.1. Matrice RACI

Outil primordiale dans le management de projet, cette matrice caractérise les principales tâches du projet « Station Ain Naadja Gare » et les acteurs qui se chargent de ces tâches (16). Le panel des couleurs utilisé :

R : Réalisateur	A : Approbateur
C : Consulté	I : Informé

Figure III-5 Code couleur pour la matrice RACI

	Equipe Projet											
	chef de projet	chef de chantier	DRH	Responsable financier	ingénieur planning	ingénieur gestion des couts	Ingénieur Génie Civil	ingénieur qualité	dessinateur projeteur	ingénieur travaux publics	Ingénieur Matériaux	Ingénieur HSE
Etude de marché	A	I		R	I	C	C					
Etude Géotechnique	A	C			I		R	I				I
Etude et vérification des matériaux	A	I		I		C	C	C		I	R	I
Conception du modèle réduit	A	C			I		R		C	I		I
L'implantation du projet	A	C	C		C	C	R		I	C		I
Conception et réalisation du modèle physique	I	C			I	I	A	I	R	C		I
Prédimensionnement des ouvrages	C	C					R	I		C		
Vérification de la stabilité des ouvrages	C	I					R	I		C		I
Etude Sismique	C	I					R	I		C		I
Vérification de la conformité des matériaux utilisés (aciers, granulats, béton.etc.)	I	I					A	R			C	I
L'avant-projet sommaire	R	I	I	C	I	C	C	C				C
L'avant-projet détaillé	R	I	I	C	I	C	C	C				C
Le plan de chantier	A	R	C	I	C	C	R	I		I		C
Mise en place d'un contrôle qualité	A	C	C		I		I	R	I	I	I	C
Mise en place d'un contrôle HSE	A	C	C		I		I	C	I	I	I	R
L'organisation du chantier	A	R	C		C		C	C				C
La planification du projet	A	C	C	C	R	C	C	I		I		C
L'étude des coûts	A	I	I	C	C	R	C					
Etude et gestion des ressources humaines	A	C	R	C	R	C	I					
Suivi de chantier	A	R	C		C	C	C	I		C		I

Figure III-6 Matrice RACI

- | | | | |
|----------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| • Conducteur travaux génie civil | • Conducteur travaux coffrage | • Conducteur travaux ferrailage | • Conducteurs matériel mobile |
| • Maçon | • Ferrailleurs | • Coffreurs | • Chef d'équipe soudure |
| • Animateur HSE | • Conducteur VL | • Secrétaire de chantier | • Magasinier |
| • Soudeurs | • Chef de poste mine | • Agents de sécurité | • Topographe |
| • Représentant maître d'ouvrage | | | |

4.2. Ressources matérielles utilisées

Des moyens matériels sont réquisitionnés afin d'assurer le bon déroulement des missions affectées aux employés sur les différents fronts et étapes lors de la réalisation de la station Ain Naadja Gare.

Ces moyens matériels sont divisés en 4 catégories :

- Matériel fixe.
- Matériel d'installation du chantier.
- Matériel pour réalisation des fondations spéciales et excavation.
- Matériel pour réalisation de la structure génie civil.

Matériel Fixe

- Groupes électrogènes
- Pick-ups
- Grue à tour
- Mini pelle / Retro-chargeur
- Compresseurs
- Camions de servitude +2.5t
- Grue mobile et chariot élévateur

Matériel d'installation de chantier

- Pelle hydraulique 30t
- Chargeur pneumatique

Matériel pour réalisation des fondations spéciales et excavation

- Retro-chargeur
- Chargeur pneumatique
- Pelle hydraulique 30t
- Machine de béton projeté à voie sèche

Matériel pour réalisation de la structure génie civil

- Chargeur pneumatique
- Grue mobile (gros tonnage)
- Pompe à béton mobile

4.3. Ressources financières et estimation des coûts

Pour la planification du projet station Ain Naadja Gare, l'étude des quantités et des coûts est un aspect nécessaire, un budget annuel est prévu, puis un budget tâche par tâche sera calculé en prévision des phases de réalisation.

De plus, vu la durée et le chevauchement des activités, un budget mensuel est calculé selon les besoins et ressources utilisés.

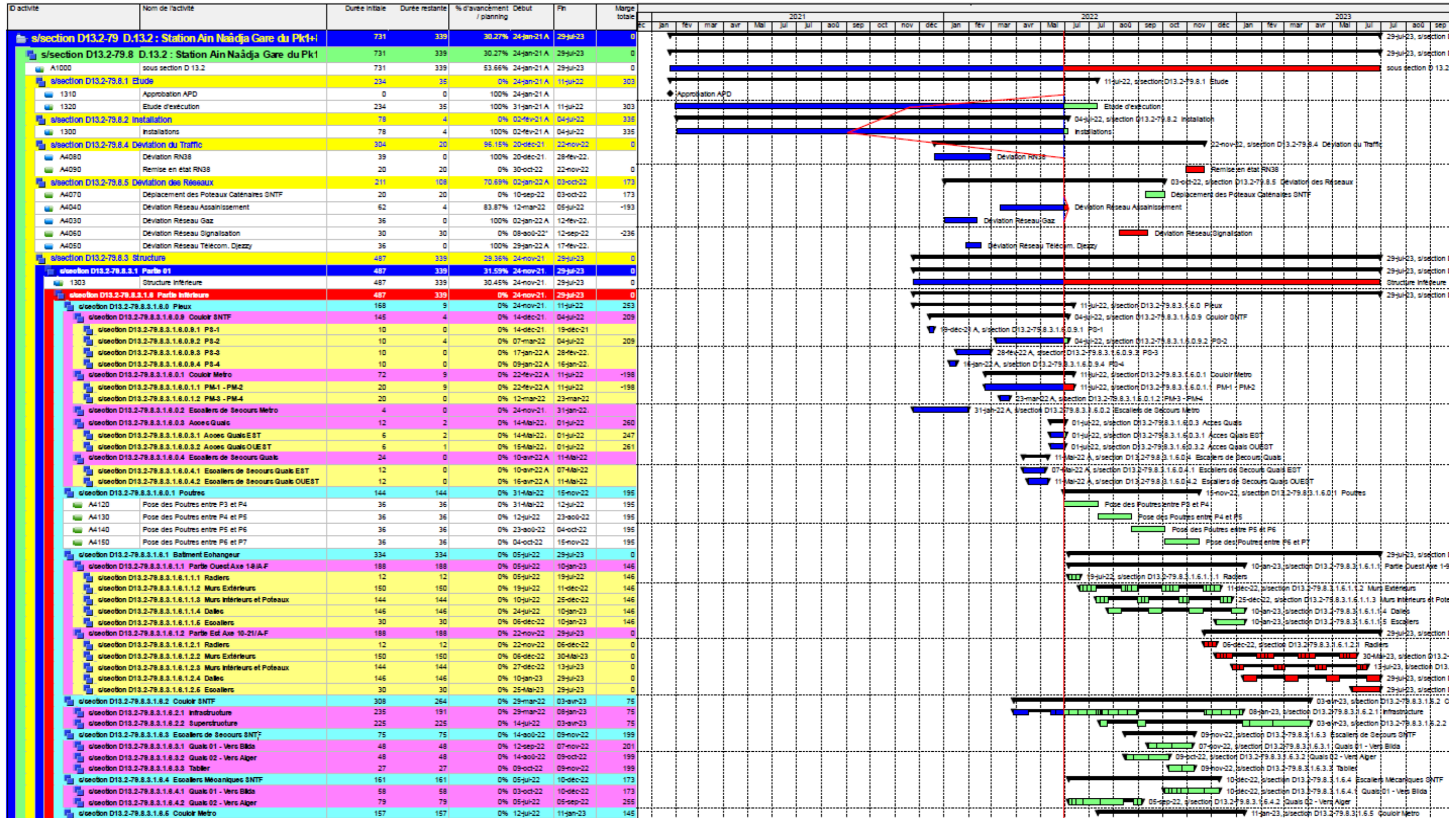
Le tableau qui va suivre résumera les montants et quantités qui caractérisent chaque étape sur l'année 2022 d'Avril à Décembre et sur l'année 2023 de Janvier à Juin :

Tableau III-5 Ressources Financières et estimation des coups

		2022 (Avril-Décembre)	2023 (Janvier-Juin)	Total 2022+2023
Terrassement et démolitions	Quantité	-	-	-
	Montant (DZD)	3 530 607,230	2 327 342,46	5857949,69
Soutènements et étayement	Quantité	-	-	-
	Montant (DZD)	414 913 517,380	269398824,09	684312341,47
Béton, mortier et coulis	Quantité	-	-	-
	Montant (DZD)	67 748 548,000	-	67748548,00
Coffrage	Quantité	-	-	-
	Montant (DZD)	52 324 377,300	35832217,96	88156595,26
Aciers et profilés	Montant (DZD)	79 205 062,440	69876561,32	149081623,76
Joints et appareils d'appuis	Quantité	19	44	63
	Montant (DZD)	3 831 613,880	9 160 936,730	12992550,61
Étanchéité des structures	Quantité	1 525	991	2516,00
	Montant (DZD)	457 883,940	297 299,040	755182,98
Traitement de terrains	Quantité	1 215	788	2003,00
	Montant (DZD)	36 308 413,690	23574657,23	59883070,92
Voiries et réseaux divers	Quantité	-	-	-
	Montant (DZD)	1 983 342,100	-	1983342,10
Maillage équilatéral	Quantité	499	326	825,00
	Montant (DZD)	3 244 030,370	2 106 313,550	5350343,92

5. Planification sur PRIMAVERA

Le planning final réalisé pour le projet « M29 Lot 2 - Station Ain Naadja Gare » est illustré dans la figure qui suit, un deuxième planning plus détaillé qui explicite chaque tâche, chaque durée ainsi que les ressources précises pour chacune d'entre elles est mis à disposition en annexe, pour éclaircir et rajouter les spécificités de la planification.



6. Impact de l'optimisation

Pour la planification d'un projet, de nombreux paramètres sont à prendre en compte, ces enjeux sont reliés aux délais, aux ressources et à la rentabilité du projet. En mobilisant trop de ressources pour éviter les problèmes de délais cela engendre une perte en rentabilité, et pour le cas contraire si les ressources sont revues à la baisse, le risque est de ne pas correspondre aux exigences du client.

Pour le projet "M29 station Ain Naadja Gare", un premier planning global (macro planning) a été mis en place durant le deuxième semestre de 2021. Le phasage de ce dernier ne représente que les niveaux WBS, sans détailler les tâches ni l'affectation de leurs ressources. Cela est dû au faible avancement du projet, étant uniquement en cours d'étude sur la période citée ci-dessus. Un deuxième planning pour la station "Ain Naadja Gare", réalisé en 2022, détaillant le phasage a été élaboré.

L'optimisation suscite un changement dans le processus organisationnel pour s'aligner sur la proposition technique sur chantier, caractérisée par une réorganisation en terme de chronologie des tâches, l'arrangement méthodique et changement dans l'enchaînement de la réalisation des piles de la passerelle SNTF et le couloir métro pour des soucis techniques, on peut citer la solution d'inverser la mise en œuvre des pieux PS3 et PS4, PS1 et PS2, PS5 et PS6, la pose des poutres qui a vu sa succession changée, la pose des poutres allait être réalisée bloc par bloc dans la station.

A partir du planning que on a réalisé, la démarche d'optimisation a induit à un gain de temps, cela est le résultat des changements proposés précédemment, un délai initial de 786 jours, après optimisation le projet se retrouve avec une durée d'exploitation de 731 jours, un écart d'exactement 55 jours, cela s'accompagnera d'un effet sur les coûts, car ce sont des services tarifés par périodes d'exploitation.

Le tableau suivant récapitule les profits engendrés grâce notre optimisation :

Taches	Coûts de la taches (Dzd)
Terrassement et démolitions	435051,13
soutènements et etayement	51126784,1
béton, mortier et coulis	12671794
coffrage	6705069,18
aciers et profilés	12944671,2
joints et appareils d'appuis	1624068,83
étanchéité des structures	56421,72
traitement de terrains	4474022,54
voiries et reseaux divers	7728
maillage equipotentiel	399738,34
Total Profits	90445349

On peut illustrer les résultats de l'optimisation en termes de coûts grâce à un graphe, illustrant la durée du projet ainsi que le cumul des montants à payer.

On remarque que la courbe (en orange) caractérisant l'avant optimisation va plus loin dans le temps et à un coût plus important, de ce fait on peut dire que l'optimisation a permis la réduction des délais et du coût.

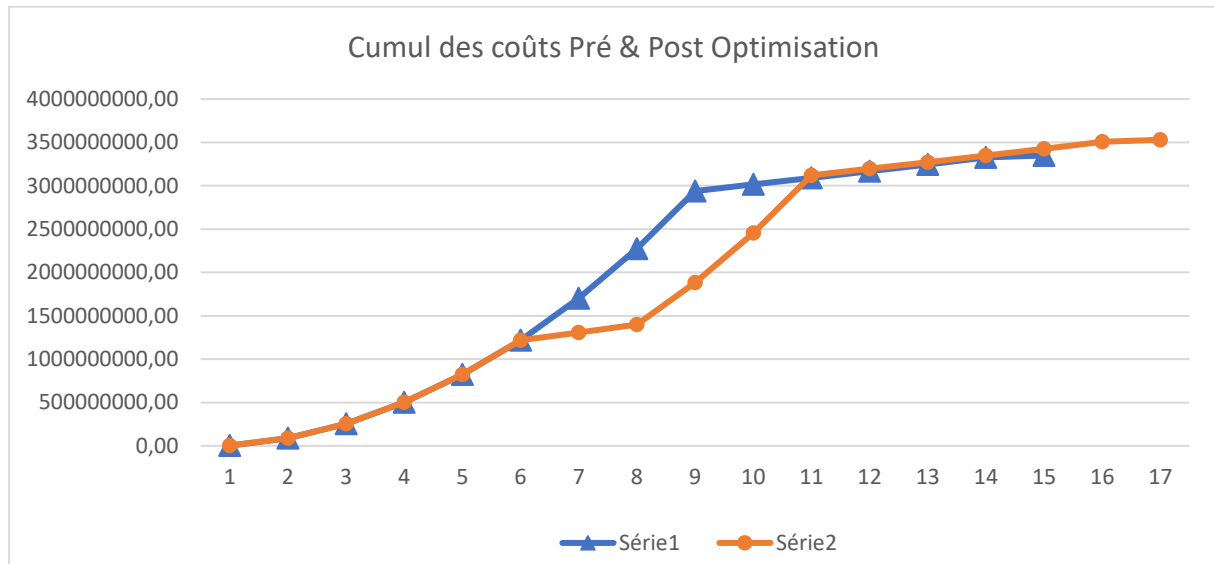


Figure III-8 Cumul des coûts Pré & Post Optimisation

Malgré les changements apportés au projet et sa planification, néanmoins les objectifs du projet n'ont point été affectés, cependant ces mêmes changements ont permis d'améliorer la performance opérationnelle du projet, cela malgré les circonstances de l'environnement externe (crise sanitaire COVID-19) en plus des problèmes et des risques rencontrés. L'étude a d'abord permis de rester dans les normes des exigences et contraintes du projet, ainsi que d'améliorer les prévisions de l'entreprise tout en assurant la pérennité du projet et le bon déroulement sur chantier.

7. Bilan du projet

Un bilan est une synthèse des éléments qui ont caractérisé un événement durant une période bien précise. Pour le bilan du projet, on divise notre analyse sur deux phases distinctes : l'Organisation du projet et sa Réalisation.

L'organisation du projet

L'analyse de cette phase se divisera elle-même en deux points les côtés positifs et ceux à améliorer.

- Les points positifs : étude d'exécution : régime et rendement assez appréciable / le travail avec le bureau d'étude espagnol IDOM / la communication tout le long de l'organisation, le travail d'équipe et l'organisation interne / le degré d'avancement de l'organisation était positif / la régularité des réunions qui

constitue un avantage de taille pour la partie management du projet / l'aspect financier : tout ce qui concerne la ponctualité des facturations et absence de retard.

- Les points à améliorer : les différentes procédures administratives :
- expropriation - l'emprise - les autorisations de déviation pour les différents réseaux

Réalisation du projet

Comme vu dans le point précédent, on récapitulera ce qui a bien marché et moins bien marché à l'état actuel d'avancement des travaux.

- Les points positifs : Bon rendement sur la réalisation des fondations spéciales / toutes les tâches de coffrage, ferrailage et bétonnage et le respect de leurs délais jusqu'à présent ont été respectés / l'étude avant pieux (renforcement de la voie ferrée avec la mise en œuvre de micro pieux et la modification des quais de la station SNTF).
- Les points à améliorer : Le matériel, que ça soit sa disponibilité, sa modernité, sa diversité et la rapidité de livraison, ainsi que l'état des différentes machines à réviser et l'emplacement des pieux à proximité de la voie ferrée qui a posé problème lors de la réalisation malgré les modifications apportées.

8. Conclusion

Dans ce chapitre, des notions d'organisation d'une équipe, de la prévision, de la gestion des risques et de la planification des tâches ont été passées en revue. Grâce à l'optimisation établie, des profits en termes de délais de réalisation et des coûts ont été déterminés, tout en respectant les exigences du cahier de charges.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

IV. Conclusion Générale

L'ingénieur par définition est celui qui trouve solution à toute problématique rencontrée, caractérisé par sa polyvalence et son esprit d'analyse, il construit sa réussite sur les connaissances acquises au fil des années. Le Génie Civil domaine où le rôle de l'Ingénieur est prépondérant, il peut avoir une multitude de missions telles qu'Ingénieur de bureau d'études, responsable du suivi des travaux sur chantier ou gestionnaire.

L'objet de ce mémoire est l'étude technique et managériale du projet M29 Lot 2 Ain Naadja – Baraki. L'étude technique m'a permis de dimensionner le tablier de la passerelle SNTF. La démarche managériale m'a conduit à mettre en exergue l'importance du management de projet, à quel point cela impacte le déroulement de ce dernier. A partir des différents aspects introduits et étudiés, de par l'analyse des risques et leurs répercutions, la planification et la gestion des ressources humaines et matériels ainsi que la maîtrise des délais, tout cela couplé à l'aide à la décision AMD faite sur les alternatives de réalisations de projet, nous offre l'opportunité d'analyser les critères et de les exploiter pour donner les arguments nécessaires aux maitres d'œuvre et d'ouvrage du choix le plus judicieux. Tout cela m'a fait réaliser l'étendue du domaine du Génie Civil et du management de projet.

Je finis par une constatation, le monde évolue constamment, notre domaine aussi, en s'adaptant, en se développant et élargissant nos panels de compétences, c'est comme cela que l'Ingénieur en génie civil évolue.

Bibliographie

Bibliographie

Bibliographie

1. Cosider TP – IDOM Group. Etude des variantes de tracés – Projet M29 Lot 2 Ain Naadja-Baraki. 2020.
2. CNED. Guide de maturation des grands projets d'infrastructure économique et sociale. 2008.
3. Cosider TP – IDOM Group,. Etude financière des alternatives de réalisation du projet M29 Lot 2 Ain Naadja-Baraki. 2020.
4. Cosider TP – IDOM Group. Etude économique des alternatives de réalisation du projet M29 Lot 2 Ain Naadja-Baraki. 2020.
5. Règles BAEL 91 révisées 99, Février 2000, DTU P 18-702, Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites Fascicule 62. 2000.
6. Cosider TP. Rapport récapitulatif des matériaux utilisés P. M29 Lot2. 2021.
7. SETRA. SETRA (VIPP) Pont à poutres préfabriqués par post-tension 1996. 1996.
8. R.N.V. 2013, règlement neige et vent. 2013.
9. Arcelor Mittal. ArcelorMittal Europe Long Products, New Standard Same Sections EN 10365 : 2017.
10. Groupe Technique Spécialisé G.T.S. Règles définissant les charges à appliquer pour le calcul et les épreuves des ponts à poutres RCPR. 2009.
11. Eurocode. Charges sur les ponts routiers selon l'EUROCODE 1 Partie 3.
12. THONIER, Henry. Henry THONIER, Le béton précontraint aux états limites.
13. CCTG. Fascicule 62, titre 1er du CCTG - Travaux, section 2 : béton précontraint.
14. Règles BPEL 91, Avril 1992, règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton précontraint suivant la méthode des états limites. 1992.
15. Mougin, J.P. Abaques pour le calcul des dalles rectangulaires articulées sur leurs contours.
16. Fayçal, ZEMMOUR. Management de projet.
17. Appvizer. Cap vers la réussite de votre projet grâce au cahier des charges.
18. Visual Paradigm. Visual Paradigm, What is SWOT Analysis? [En ligne].
19. Springer . Project portfolio selection and scheduling optimization based on risk measure.
20. Cosider TP, Audit Interne. Rapport 2022 - Audit Interne - Risques Rencontrés. Avril 2022.

Annexes

Annexes

Annexes

Annexe 1 : Zones d'impact des alternatives : La population desservie au niveau des stations de chaque alternative

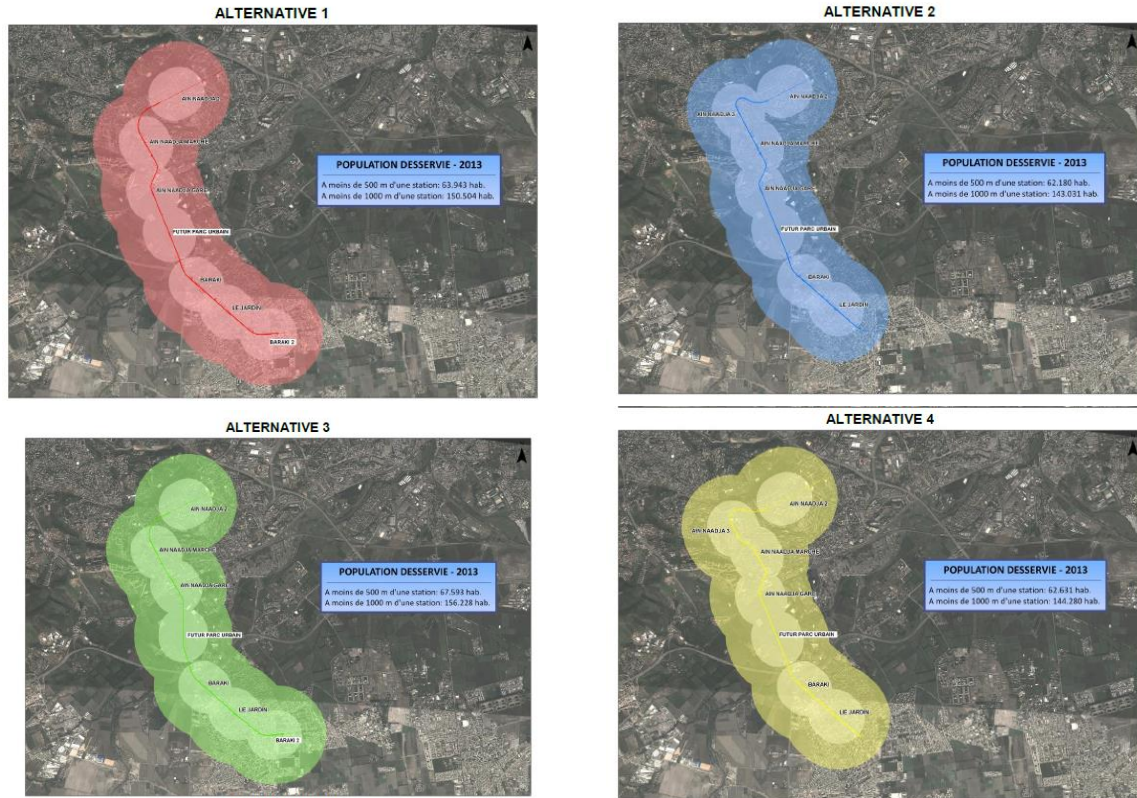


Figure 0-1 Population Desservie pour chaque alternative

Annexe 2 : Analyse économique : Calcul Bénéfice actualisé

Alternative 1 PS												
Année	Coûts				Averages				Cash Flow Bénéfices	Cash Flow actualisé	Cash Flow actualisé cumulé	
	Coûts Construction + MR + Suivi + Fonciers	Re-investissement M.R.	Coûts opération et entretien	Investissements totaux DA constants	Gains de temps	Diminution de CO2	Valeur résiduelle	Bénéfices totaux DA constants				
2016	8.752.709.203			8.752.709.203					-8.752.709.203	-8.752.709.203	-8.752.709.203	
1 2017	8.752.709.203			8.752.709.203					-8.752.709.203	-8.104.360.379	-16.857.069.576	
2 2018	8.752.709.203			8.752.709.203					-8.752.709.203	-7.504.037.983	-24.361.106.959	
3 2019	8.752.709.203			8.752.709.203					-8.752.709.203	-6.948.182.762	-31.309.289.720	
4 2020	14.752.709.203		202.489.692	14.955.198.895	539.085.175	9.380.571		548.465.746	-14.406.733.149	-10.589.378.946	-41.898.668.666	
5 2021	8.752.709.203		202.489.692	8.955.198.895	544.476.026	9.474.377		553.950.403	-8.401.248.492	-5.177.748.558	-47.616.417.224	
6 2022	8.752.709.203		486.085.900	2.486.085.900	7.531.214.187	58.609.799		7.589.823.986	5.103.738.085	3.216.220.725	-44.400.196.499	
7 2023		2.000.000.000	486.085.900	486.085.900	7.606.526.329	59.195.897		7.665.722.225	7.177.636.325	4.189.248.837	-40.210.947.663	
8 2024			486.085.900	486.085.900	7.682.591.592	59.787.856		7.742.379.448	7.256.293.547	3.920.349.621	-36.290.598.041	
9 2025			486.085.900	486.085.900	7.759.417.508	60.385.734		7.819.803.242	7.333.717.342	3.668.684.526	-32.621.913.516	
10 2026			486.085.900	486.085.900	7.837.011.683	60.989.592		7.898.001.275	7.411.915.374	3.433.150.936	-29.188.762.580	
11 2027			486.085.900	486.085.900	7.915.381.800	61.599.488		7.976.981.287	7.490.895.387	3.212.716.639	-25.976.045.947	
12 2028			486.085.900	486.085.900	7.994.535.618	62.215.482		8.056.751.100	7.570.665.200	3.006.415.313	-22.969.630.634	
13 2029			486.085.900	486.085.900	8.074.480.974	62.837.637		8.137.318.611	7.651.232.711	2.813.342.389	-20.156.288.245	
14 2030			486.085.900	486.085.900	8.155.225.784	63.466.014		8.218.691.797	7.732.605.897	2.632.651.056	-17.523.637.189	
15 2031			486.085.900	486.085.900	8.236.778.041	64.100.674		8.300.878.715	7.814.792.815	2.463.548.611	-15.060.088.578	
16 2032			486.085.900	486.085.900	8.319.145.822	64.741.680		8.383.887.502	7.897.801.602	2.305.293.002	-12.754.795.576	
17 2033			486.085.900	486.085.900	8.402.337.280	65.389.097		8.467.726.377	7.981.640.477	2.157.189.603	-10.597.605.973	
18 2034			486.085.900	486.085.900	8.486.360.653	66.042.988		8.552.403.641	8.066.317.741	2.018.588.183	-8.579.017.790	
19 2035			486.085.900	486.085.900	8.571.224.259	66.703.418		8.637.927.678	8.151.841.777	1.888.880.084	-6.690.137.706	
20 2036			499.374.076	499.374.076	8.656.936.502	67.370.452		8.724.306.954	8.224.932.878	1.764.644.605	-4.925.493.101	
21 2037			499.374.076	499.374.076	8.743.505.867	68.044.157		8.811.550.024	8.312.175.948	1.651.261.527	-3.274.231.574	
22 2038			499.374.076	499.374.076	8.830.940.926	68.722.558		8.899.665.534	8.400.291.448	1.545.153.868	-1.729.077.706	
23 2039			499.374.076	499.374.076	8.919.250.335	69.411.844		8.988.662.179	8.489.288.108	1.445.855.517	-83.222.189	
24 2040			499.374.076	499.374.076	9.008.442.838	70.105.963		9.078.548.801	8.579.174.725	1.352.930.169	1.069.707.980	
25 2041		2.400.000.000	499.374.076	2.899.374.076	9.098.527.267	70.807.022		9.169.334.289	6.269.960.213	915.526.454	1.985.234.434	
26 2042			499.374.076	499.374.076	9.189.512.539	71.515.093		9.261.027.632	8.761.653.556	1.184.391.015	3.169.625.448	
27 2043			499.374.076	499.374.076	9.281.407.665	72.230.244		9.353.637.968	8.854.263.832	1.106.437.118	4.278.062.566	
28 2044			499.374.076	499.374.076	9.374.221.741	72.952.546		9.447.174.287	8.947.800.212	1.037.172.814	5.315.435.381	
29 2045			499.374.076	499.374.076	9.467.963.959	73.682.072		9.541.646.030	9.042.271.954	970.484.616	6.285.919.997	
30 2046			499.374.076	499.374.076	9.562.643.598	74.418.892		9.637.062.491	9.137.688.415	908.079.100	7.193.999.098	
31 2047			499.374.076	499.374.076	9.658.270.034	75.163.081		9.733.435.116	9.234.059.040	845.681.626	8.043.680.724	
32 2048			499.374.076	499.374.076	9.754.852.755	75.917.712		9.830.767.447	9.331.293.371	795.085.136	8.838.715.859	
33 2049			499.374.076	499.374.076	9.852.401.262	76.673.859		9.929.075.121	9.429.701.045	743.899.031	9.582.614.891	
34 2050			499.374.076	499.374.076	9.950.925.275	77.440.598		10.028.365.872	9.528.991.796	696.048.123	10.278.663.013	
35 2051			499.374.076	499.374.076	10.050.434.527	78.215.004		10.128.649.531	9.629.275.455	651.277.642	10.929.934.655	
36 2052			499.374.076	499.374.076	10.150.938.873	78.997.154		10.229.936.026	9.730.561.951	605.372.322	11.539.306.977	
37 2053			499.374.076	499.374.076	10.252.448.261	79.787.125		10.332.235.387	9.832.861.311	570.165.533	12.109.472.511	
38 2054			499.374.076	499.374.076	10.354.972.744	80.584.996		10.435.557.741	9.936.183.665	533.478.476	12.642.950.987	
39 2055			499.374.076	499.374.076	10.458.522.472	81.390.846		10.539.913.318	10.040.539.242	499.149.424	13.142.100.410	
40 2056			499.374.076	499.374.076	10.563.107.696	82.204.755		10.645.312.451	10.145.938.375	467.027.013	13.609.127.423	
41 2057			499.374.076	499.374.076	10.668.738.773	83.026.802		10.751.765.576	10.252.391.500	436.969.589	14.046.097.006	
42 2058			499.374.076	499.374.076	10.775.476.161	83.857.070		10.859.282.311	10.359.909.156	408.844.554	14.454.941.559	
43 2059			499.374.076	499.374.076	10.883.180.423	84.695.641		10.967.876.064	10.468.501.988	382.527.845	14.837.469.404	
44 2060			499.374.076	499.374.076	10.992.012.227	85.542.598		11.077.554.824	10.578.180.748	357.903.332	15.195.372.737	
45 2061			499.374.076	499.374.076	11.101.932.349	86.398.024		11.188.330.373	10.688.956.297	334.862.337	15.530.235.074	
46 2062			499.374.076	499.374.076	11.212.951.679	87.262.004	13.088.018.038	24.388.231.715	23.888.857.639	692.951.160	16.223.186.240	

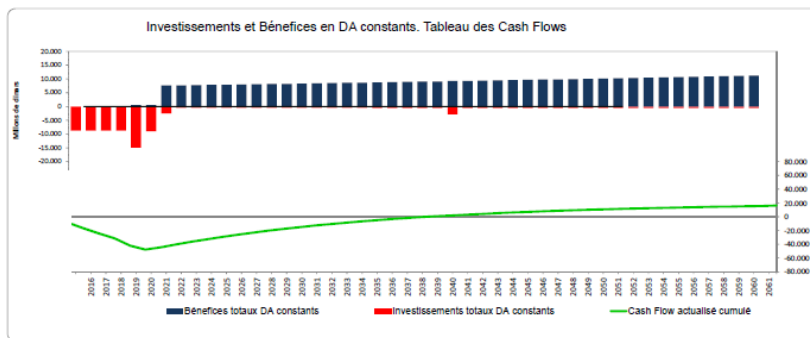


Figure 0-2 Illustration des cash flows

Annexe 3
Analyse Economique EXTENSION METRO ALGER
LOT 2 : AIN NAADIA – BARAKI

Hypothèses	Donnée	2016
Année début construction		2016
Année début exploitation partielle		2020
Année début exploitation tronçon complet		2022
Vie utile (ans)		40
Valeur résiduelle (% coûts construction)		25,00%
Taux d'actualisation		8,00%
Croissance Demande		1,00%
Coûts		
Coûts Construction + Suivi + Fondateurs		52.516.255.218
Coûts matériel roulant (8 rames)		1.000.000.000
Re-investissement matériel roulant (après 20 ans)		30,00%
Coûts d'opération et d'entretien par an (2020)		202.489.692,21
Coûts d'opération et d'entretien par an (2022)		486.085.900,14
km parcourus par la flotte		554.950
Avantages		
Bénéfices de temps		
Transferts Bus au Métro		voir feuille
Transferts Transports Individuels (T.I.) au Métro		"Gains de temps"
Nouveaux usagers du métro		
Usagers restant sur la route		
Total heures en DA an 2022		7.531.214,187
Total heures en DA an 2020		539.085,175
Bénéfices de la diminution des émissions de CO2		
Augmentation d'émissions équivalentes CO2 Métro		voir feuille
Diminution d'émissions CO2 Bus		
Diminution d'émissions CO2 T.I.		
Total CO2 économisé en DA an 2022		58.609.791
Total CO2 économisé en DA an 2020		9.380.571
Bénéfice Actualisé (DA)		
		16.223.186,340
TRI socioéconomique		
		39,18%

Figure 0-3 Bénéfice actualisé et TRI socioéconomique

Annexe 3 : Calcul Gain de temps

Alternative 1 PS		
Gains de Temps Année 2022		
TRANSFERTS	Ratio	Usagers totaux
Métro		51.682.090
Transferts du Bus	25,00%	12.920.523
Transferts du Transport Individuel	22,70%	11.731.834
Nouveaux usagers	15,00%	7.752.314
T.I. restant sur route	50,00%	11.731.834
Epargne du temps Bus -> Métro		
Parcours moyen BUS	10 km	
Vitesse moyenne	14 km/h	
Temps moyen de parcours BUS	43 min	
Pénalisation pour embouteillages	1,1	
Temps réel de parcours BUS	47,1 min	
Temps moyen d'attente	12,0 min	
Temps total de parcours BUS	59,1 min	
Temps épargné par voyage	36,44 min	
Usagers transférés par an	12.920.523 usagers	
Temps total économisé BUS -> Métro	7.847.870 heures	
Epargne du temps Transport Individuel (Voiture, Taxi et Vélo) -> Métro		
Parcours moyen	10 km	
Vitesse moyenne	20 km/h	
Temps moyen de parcours T.I.	30,0 min	
Pénalisation pour embouteillages	1,1	
Temps réel de parcours T.I.	33,0 min	
Temps épargné par voyage	10,30 min	
Usagers transférés par an	11.731.834 usagers	
Temps total économisé T.I. -> Métro	2.014.138 heures	
Gains de Temps Année 2020		
TRANSFERTS	Ratio	Usagers totaux
Métro		10.211.805
Transferts du Bus	25,00%	2.552.951
Transferts du Transport Individuel	22,70%	2.318.080
Nouveaux usagers	15,00%	1.531.771
T.I. restant sur route	50,00%	2.318.080
Epargne du temps Bus -> Métro		
Temps épargné par voyage	36,44 min	
Usagers transférés par an	2.552.951 usagers	
Temps total économisé BUS -> Métro	1.550.652 heures	
Epargne du temps Transport Individuel (Voiture, Taxi et Vélo) -> Métro		
Temps épargné par voyage	10,30 min	
Usagers transférés par an	2.318.080 usagers	
Temps total économisé T.I. -> Métro	397.971 heures	
Epargne du temps Nouveaux usagers du Métro		
Gain de temps par voyage	36 min	
Nouveaux usagers du Métro	1.531.771 usagers	
Temps total économisé nouveaux usagers	930.391 heures	
Epargne du temps Usagers restant sur la route		
Temps réel de parcours T.I. avant	33,0 min	
Temps réel de parcours T.I. après	30,0 min	
Temps épargné par voyage	3,00 min	
Usagers restant sur la route	11.731.834 usagers	
Temps total économisé usagers restant sur la route	586.592 heures	
Résumé Bénéfices du temps Année 2022		
Temps total économisé BUS -> Métro	7.847.870 heures	
Temps total économisé T.I. -> Métro	2.014.138 heures	
Temps total économisé nouveaux usagers	31.391.479 heures	
Temps total économisé usagers restant sur la route	586.592 heures	
Temps total économisé	41.840.079 heures	
Prix de l'heure en Algérie	180 DA/h	
Economies du temps en DA par an	7.531.214,187 DA	
Epargne du temps Nouveaux usagers du Métro		
Gain de temps par voyage	36 min	
Nouveaux usagers du Métro	1.531.771 usagers	
Temps total économisé nouveaux usagers	930.391 heures	
Epargne du temps Usagers restant sur la route		
Temps épargné par voyage	3,00 min	
Usagers restant sur la route	2.318.080 usagers	
Temps total économisé usagers restant sur la route	115.904 heures	
Résumé Bénéfices du temps Année 2020		
Temps total économisé BUS -> Métro	1.550.652 heures	
Temps total économisé T.I. -> Métro	397.971 heures	
Temps total économisé nouveaux usagers	930.391 heures	
Temps total économisé usagers restant sur la route	115.904 heures	
Temps total économisé	2.994.918 heures	
Economies du temps en DA par an	539.085,175 DA	
Conclusion		
Gains de temps en DA	Année 2022	Année 2020
Alternative 1 PS	7.531.214,187	539.085,175

Figure 0-4 Exemple de calcul du gain de temps en DA

Annexe 4 : Diminution de CO₂

Alternative 1 PS		
Diminution de CO2 Année 2022		
Emissions Métro (énergie électrique -> CO2)		
Consommation totale kWh/train.km	15,00	kWh/train.km
Trains.km parcourus dans un an	554.950	trains.km
Consommation kWh par an	8.324.256	kWh
Emission CO2/kWh en Algérie*	0,548	kg CO2/kWh
kg CO2 équivalents	4.560.479	kg CO2
Valeur kg CO2 en DA	11.538.013	DA
*Source : International Energy Agency (IEA)		
Emissions CO2 Bus		
Véhicules à Diesel/Essence	20,00%	
Véhicules à Gaz	80,00%	
Usagers transférés par an	12.920.523	usagers
Parcours moyen BUS	10	km
Emission de CO2 par usager et km en Bus Diesel/Essence	0,110	kgCO2/us.km
Emission de CO2 par usager et km en Bus Gaz	0,100	kgCO2/us.km
Total CO2 usagers Bus Diesel/Essence	2.842.515	kg CO2
Total CO2 usagers Bus Gaz	10.336.418	kg CO2
Total CO2 économisé	13.178.933	kg CO2
Valeur kg CO2 en DA	33.342.700	DA
Emissions CO2 Transport Individuel		
Véhicules à Diesel/Essence	20,00%	
Véhicules à Gaz	80,00%	
Usagers transférés par an	11.731.834	usagers
Parcours moyen T.I.	10	km
Emission de CO2 par usager et km en T.I Diesel/Essence	0,140	kgCO2/us.km
Emission de CO2 par usager et km en T.I. Gaz	0,120	kgCO2/us.km
Total CO2 usagers T.I. Diesel/Essence	3.284.914	kg CO2
Total CO2 usagers T.I. Bus Gaz	11.262.561	kg CO2
Total CO2 économisé	14.547.475	kg CO2
Valeur kg CO2 en DA	36.805.111	DA
Coût DA / kg CO2 en Algérie* 2,53 DA/kgCO2		
*Source : PE International Experts in Sustainability		
Résumé Diminution des Emissions CO2 Année 2022		
Emissions Métro (énergie électrique -> CO2)	-	11.538.013 DA
Emissions CO2 Bus	-	33.342.700 DA
Emissions CO2 Transport Individuel	-	36.805.111 DA
Diminution totale de CO2 (en DA)		58.609.799 DA
Diminution de CO2 Année 2020		
Emissions Métro (énergie électrique -> CO2)		
Trains.km parcourus dans un an	215.470	trains.km
Consommation kWh par an	3.232.051	kWh
kg CO2 équivalents	1.770.693	kg CO2
Valeur kg CO2 en DA	4.479.854	DA
Emissions CO2 Bus		
Usagers transférés par an	2.552.951	usagers
Total CO2 usagers Bus Diesel/Essence	561.649	kg CO2
Total CO2 usagers Bus Gaz	2.042.361	kg CO2
Total CO2 économisé	2.604.010	kg CO2
Valeur kg CO2 en DA	6.588.146	DA
Emissions CO2 Transport Individuel		
Usagers transférés par an	2.318.080	usagers
Total CO2 usagers T.I. Diesel/Essence	649.062	kg CO2
Total CO2 usagers T.I. Bus Gaz	2.225.356	kg CO2
Total CO2 économisé	2.874.419	kg CO2
Valeur kg CO2 en DA	7.272.279	DA
Résumé Diminution des Emissions CO2 Année 2020		
Emissions Métro (énergie électrique -> CO2)	-	4.479.854 DA
Emissions CO2 Bus	-	6.588.146 DA
Emissions CO2 Transport Individuel	-	7.272.279 DA
Diminution totale de CO2 (en DA)		9.380.571 DA
Conclusion		
Diminution totale de CO2 (en DA)	Année 2022	Année 2020
Alternative 1 PS	58.609.799	9.380.571

Figure 0-5 Exemple calcul de la diminution de CO₂ Année 2022

ANALYSE FINANCIERE

Annexe 5 : Calcul des coûts d'opération

2. Main d'œuvre d'entretien par an (2022)					
Nous estimons le ratio de ces coûts par km construit.					
Ratio: Main d'œuvre d'entretien / km ligne métro existante	-	10.796.071	Dz/d.km		
Notre tronçon est 5.916 km de long, le montant total d'entretien est donc:	-	63.869.554	Dzd		
3. Biens et services par an (2022)					
Les données obtenues ne tiennent pas compte des biens. Nous estimons ce coût en 15% du total des services.					
Biens et services (hors biens)	316.985.800,00				
Biens	15%				
3 Biens et services	364.533.670,00				
Pour appliquer ces coûts à notre tronçon, nous estimons le ratio de ces coûts par km construit.					
Ratio: Biens et services / km ligne métro existante	-	37.972.257	Dzd/km		
Avec 5.916 km de longueur, le montant total de biens et services est de:	-	224.643.874	Dzd		
4. Energie par an (2022)					
Nous estimons le ratio de ces coûts par km parcouru par la flotte					
Ratio: Energie / km parcouru par la flotte	-	55	Dzd/km parcouru		
En considérant les kms parcourus, le montant total d'énergie est de:	-	30.696.812	Dzd		
5. Administration (2022)					
Les coûts d'administration sont à considérer uniquement une fois pour tout le réseau de métro.					
De ce fait, les coûts applicables pour le nouveau tronçon sont zéro					
	-	0	Dzd		
Total coûts d'opération et d'entretien par an (2022) des Alternatives Plus Superficielles		486.085.900			
2. Main d'œuvre d'entretien par an (2020)					
Ratio: Main d'œuvre d'entretien / km ligne métro existante					
	-	10.796.071	Dzd/km		
Notre tronçon est 2.297 km de longueur, le montant total d'entretien est donc:					
	-	24.786.574	Dzd		
3. Biens et services par an (2020)					
Pareil que pour l'année 2020 mais avec une longueur de tracé inférieure.					
Ratio: Biens et services / km ligne métro existante					
	-	37.972.257	Dzd/km		
Avec 2.297 km de longueur, le montant total de biens et services est de:					
	-	87.222.275	Dzd		
4. Energie par an (2020)					
Nous estimons le ratio de ces coûts par km parcouru par la flotte					
Ratio: Energie / km parcouru par la flotte	-	55	Dzd/km parcouru		
En considérant les kms parcourus, le montant total d'énergie est de:	-	11.918.623	Dzd		
5. Administration (2020)					
Les coûts applicables sont zéro					
	-	0	Dzd		
Total coûts d'opération et d'entretien par an (2020) des Alternatives Plus Superficielles		202.489.692			
Croissance du coût du à l'utilisation d'une rame de métro additionnelle (pour tenir compte du croissance de la demande)					
Main d'œuvre d'opération	N° Postes	RATIO	Personnel nécessaire	Coût/Personne	Coûts totaux
Conducteurs des rames	1		3	2.292.500	6.877.500
Energie	Consommation kWh/km	km parcourus	Totale consommation	Prix kWh en Dzd	Coûts totaux
Une rame	15	138.738	2.081.064	2,5	5.202.660
Recte de coûts (entretiens, biens...)				10,00%	1.208.016
TOTAL (Dzd)					13.288.176

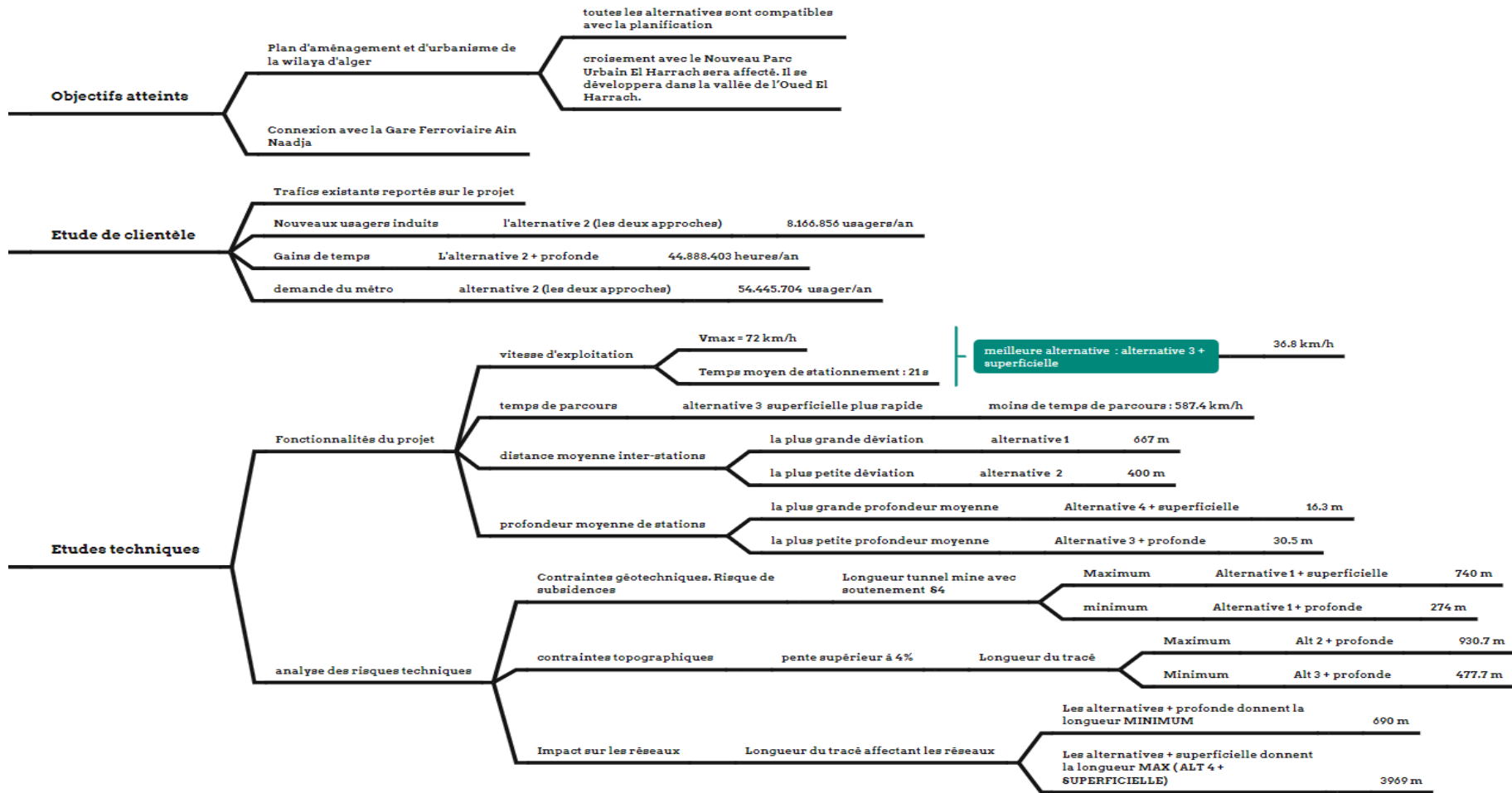
Figure 0-6 Calcul des coûts d'opération

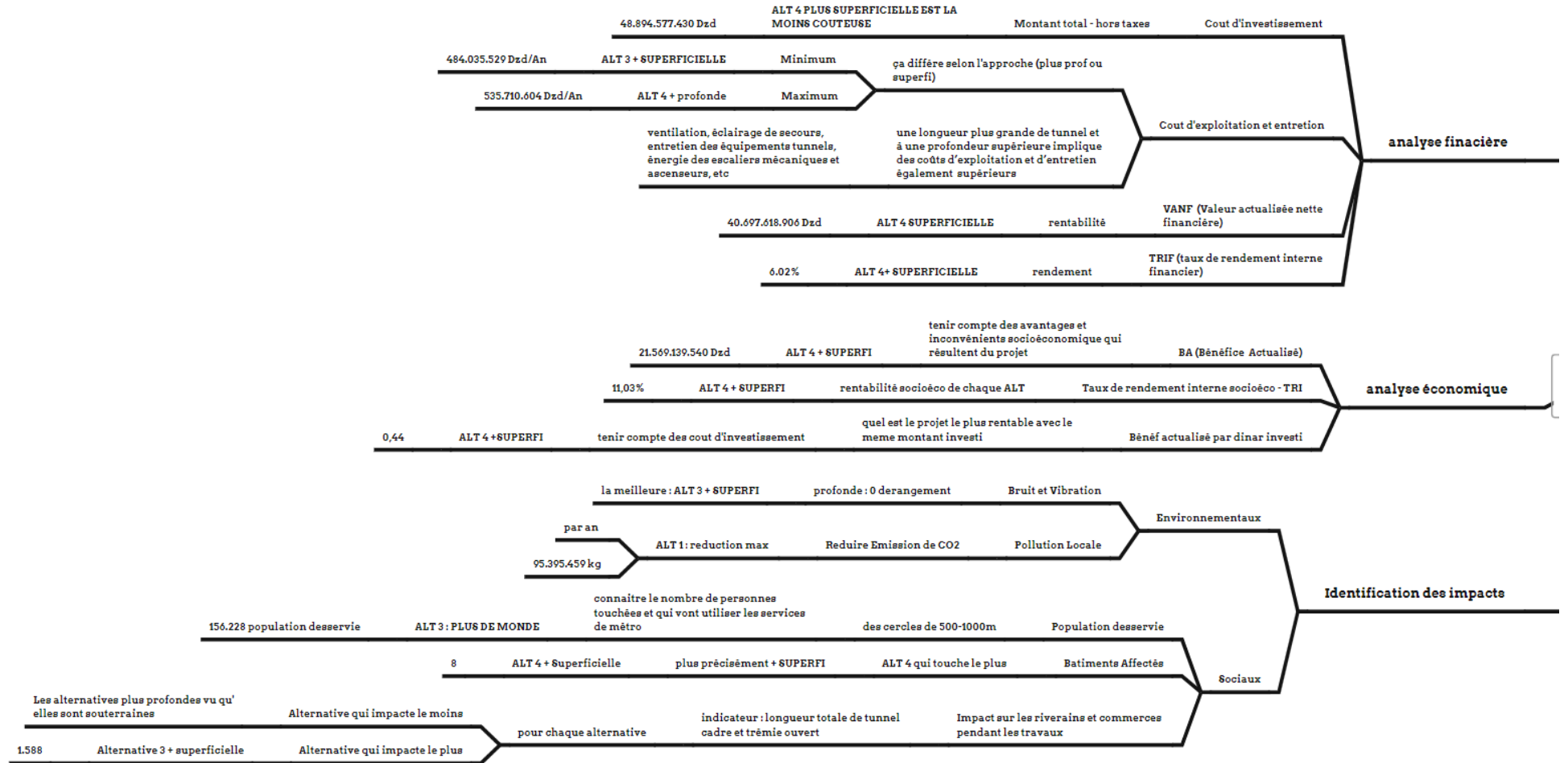
Annexe 6 : Calcul des coûts d'opération et d'entretien

Annexe 2. Calcul des coûts d'opération et d'entretien					
Données Ligne existante					
Longueur (km)	9,6	Alternative 1 Plus Superficielle			
Stations	9				
Rames	14				
Coûts Ligne existante					
1. Main-d'œuvre opération	311.154.698,00				
2. Main-d'œuvre entretien	103.642.277,00				
3. Biens et services	316.985.800,00	Hors biens			
4. Energie	80.000.000,00				
5. Administration	45.406.240,00				
TOTAUX	857.189.015,00	Hors biens			
Variables d'ordre					
Heures d'opération annuelles	58.125,00	Trains-train	(18heures/jour) (6570 heures/an)		
Kilomètres de roulage annuelles	1.446.275,00	Trains-km/an			
Méthodologie					
En partant des données du métro en Alger et notre expérience, nous estimons les coûts pour notre lot en considérant les mêmes points que pour le métro existant.					
Données Futur tronçon en 2022					
Longueur (km)	5,916	Données Futur tronçon en 2020			
Stations	6	Longueur (km)	2,297		
Rames	9	Stations	2		
Km parcourus 2022 (trains km/an)	554.950	Rames en exploitation	4		
		Km parcourus 2020 (trains km/an)	215.470		
Calcul					
Coûts d'opération et d'entretien pour exploitation en 2022			Coûts d'opération et d'entretien pour exploitation en 2020		
1. Main d'œuvre d'opération par an (2022)					
PERSONNEL	N° Postes	RATO (Personnes/poste)	Personnel nécessaire	Coût/Personne	Coûts totaux
Conducteurs des rames	6	3	24	2.292.500	55.020.000
Personnel de vente de billets	12	3	36	1.179.000	38.370.000
Chefs de station	6	1	6	1.637.500	9.825.000
Techniciens station	6	3	18	1.310.000	23.580.000
Personnel de sécurité	6	3	18	1.733.130	31.196.340
Personnel de nettoyage	6	2	12	990.360	11.884.320
TOTAL Coûts					166.875.660
Cette valeur est raisonnable sachant que la ligne actuelle a beaucoup plus de stations et de rames, et que nous ne devons pas tenir compte du personnel des postes centraux (déjà compté dans la ligne existante)					
1. Main d'œuvre d'opération par an (2020)					
PERSONNEL	N° Postes	RATO (Personnes/poste)	Personnel nécessaire	Coût/Personne	Coûts totaux
Conducteurs des rames	6	3	18	2.292.500	41.265.000
Personnel de vente de bil	4	3	12	1.179.000	11.750.000
Chefs de station	2	1	2	1.637.500	3.275.000
Techniciens station	2	3	6	1.310.000	7.860.000
Personnel de sécurité	2	3	6	1.733.130	10.398.780
Personnel de nettoyage	2	2	4	990.360	3.961.440
TOTAL Coûts					78.550.220
Pareil que pour l'année 2022 mais avec moins de stations et rames.					

Figure 0-7 Calcul des coûts d'opération et d'entretien



Annexe 7 : Analyse des indicateurs et attribution des alternatives les plus intéressantes à chaque indicateur





Annexes pour les Matériaux :

Annexe 8 : Certificat de conformité MILL TEST pour les aciers

 SIDER ELHADJAR / SPA Direction Métallurgie Qualité Environnement	 ISO9001:2015	ENREGISTREMENT SMQ										Réf: ENR/MEQ/8.2/05						
		CERTIFICAT DE CONFORMITE										Indice: 00						
												Date de création: 28/05/2013						
												Page: 1/1						
CLIENT: COSIDER TRAVAUX PUBLICS														N°202-24-10-2021				
MATERIAL : ROND A BETON RAH														Date: 24/10/2021				
N° FACTURE:																		
Serie	IDENTIFICATION					ANALYSES CHIMIQUES							CARACTERISTIQUES MECANQUES					
N°	COULEE	Ø (mm)	FARDEAUX	GRADE NFA	GRADE NA / ISO	C %	Mn %	Si %	P %	S %	N2 (ppm)	Céqu.	PLIAGE	Masse Lin	Re N/mm²	Rm N/mm²	A%	Rm/Re
1	404EB	N25	_77_78	Fe E500	B500CWR	0,18	0,77	0,19	0,012	0,007	0	0,32	BON	3,87	539,0	632,0	18,8	1,17
2	5287A	N25	_79_80_81_82_83	Fe E500	B500CWR	0,20	0,85	0,22	0,027	0,008	0	0,35	BON	3,88	527,0	624,0	17,6	1,18
3	5287B	N25	_85_86_87_88	Fe E500	B500CWR	0,20	0,85	0,22	0,027	0,008	0	0,35	BON	3,83	522,0	616,0	20,0	1,18
4	401EA	N25	_42	Fe E500	B500CWR	0,18	0,76	0,23	0,011	0,009	0	0,32	BON	3,86	566,0	657,0	17,6	1,16
5	436EB	N25	_65	Fe E500	B500CWR	0,19	0,75	0,23	0,007	0,005	0	0,33	BON	3,89	565,0	677,0	18,4	1,20
6	439EA	N25	_40	Fe E500	B500CWR	0,19	0,70	0,22	0,003	0,004	0	0,32	BON	3,88	582,0	693,0	16,8	1,19

Conformément à l'article 9 de la norme NA8634 :2015/ISO 6935-2 L'essai de pliage doit être réaliser conformément à L'ISO 15630-1

Le diamètre de mandrin à utiliser pour l'essai de pliage:

-pour une barre de diamètre ≤16mm, le diamètre de mandrin de façonnage doit être ≥ à (3) fois le diamètre de la barre.

-pour une barre de diamètre 16< d ≤32 mm, le diamètre de mandrin de façonnage doit être ≥ à (6) fois le diamètre de la barre.

Avertissement : les valeurs des caractéristiques motionnées ci-dessous sont résumées.

Pour une information complète, il convient de consulter les textes de référence,et notamment la norme algérienne.

Conformément à l'article 9 de la norme NA 8634 : 2015 / ISO 6935-2

Essai de pliage

L'essai de pliage doit être réalisé conformément a l'ISO 15630-1

l'éprouvette doit être pliée jusqu'à un angle compris entre 160° et 180°

CHARGEE DES CERTIFICATIONS DE QUALITE

L.OUCEIF



Annexe 9 : Certificat de non radioactivité



SIDER El-Hadjar/SPA
DIRECTION METALLURGIE QUALITE ENVIRONNEMENT

EL-HADJAR LE 24 OCTOBRE 2021

CERTIFICAT DE NON RADIOACTIVITE

N°097/2021

Nous certifions que le rond à béton pour armatures passives barres nervurées, produit par l'usine SIDER El-Hadjar(*) et livré au client COSIDER TRAVAUX PUBLICS en diamètre 25mm en quantités respectives 0050T018 grade, 500CWR (FeE500) n'est pas radioactif. Le présent certificat est délivré pour servir et valoir ce que de droit.

(*) Ce certificat n'est valable que pour le rond haute adhérence local fabriqué par l'usine SIDER EL HADJAR.

CHARGÉE DES CERTIFICATIONS DE QUALITE
L. OUCEIF



Figure 0-8 Certificat de non radioactivité

Annexe 10 : Etude de vent toiture passerelle - Paramètres du vent et Résultats

Paramètres NV65 02/09

Département: Département quelconque
Canton: Région: vent 1 - Neige A1

Vent

Surpression Dépression

Région: 1
Pression: 0.535 (kPa)
Altitude de la construction: 3.31 (m)
Position du sol: 8.9 (m)
Site: Exposé
Type: Normal
 Bord du littoral

Neige

Région: A1
Pression: 0 (kPa)
Pression accidentelle: 0.000 (kPa)
Altitude géographique: 0.00 (m)

Direction du vent

135° 90° 45°
180° 0°
225° 270° 315°

Appliquer Fermer Aide

Figure 0-9 Paramètres introduits pour l'étude du vent

Charges de neige et vent NV65 02/09

Cas de charge: Vent 0 deg sur.(+)

	Numéro	Nom	Couleur	Ce	Ci	Ce - Ci	Delta	ks	qH	qr(z)	local/global
	331	Deux directi		-0.500	0.300	-0.800	1.000	1.350	0.608	-0.486	local
	332	Deux directi		-0.500	0.300	-0.800	1.000	1.350	0.608	-0.486	local

Note de calcul Fermer Annuler Aide Générer

Figure 0-10 Résultats étude de vent

Annexe 11 : Note de calcul pour l'étude de Vent

CALCULS DES CHARGES NEIGE ET VENT
Selon NV65 02/09

DIMENSIONS DU BATIMENT

Hauteur :	0,210 m
Largeur :	70,000 m
Profondeur :	13,000 m
Position du sol:	8,900 m
Altitude de la construction:	3,310 m

DONNEES VENT

Région:	1
Type de vent :	normal
Site :	exposé ks= 1,350 bord du littoral
Pression de base:	0,535 kPa

RESULTATS VENT

Cas de charge: Vent 0 deg sur.(+)

Gamma : 1,000

Coefficients de chargement

surface: 331 $C_e : -0,500$ $C_i : 0,300$ $C_e - C_i = -0,800$
 $qH : 0,608$ kPa $\Delta : 1,000$
 $qr(z) = -0,486$ kPa local

surface: 332 $C_e : -0,500$ $C_i : 0,300$ $C_e - C_i = -0,800$
 $qH : 0,608$ kPa $\Delta : 1,000$
 $qr(z) = -0,486$ kPa local

Cas de charge: Vent 0 deg dép.(-)

Gamma : 1,000

Coefficients de chargement

surface: 331 $C_e : -0,500$ $C_i : -0,300$ $C_e - C_i = -0,200$
 $qH : 0,608$ kPa $\Delta : 1,000$
 $qr(z) = -0,122$ kPa local

surface: 332 $C_e : -0,500$ $C_i : -0,300$ $C_e - C_i = -0,200$

Annexes

$$qH : 0,608 \text{ kPa } \Delta : 1,000$$
$$qr(z) = -0,122 \text{ kPa local}$$

Cas de charge: Vent 90 deg sur.(+)

$$\Gamma : 1,000$$

Coefficients de chargement

surface: 331

$$C_e : -0,459 \quad C_i : 0,300 \quad C_e - C_i = -0,759$$
$$qH : 0,608 \text{ kPa } \Delta : 1,000$$
$$qr(z) = -0,461 \text{ kPa local}$$

surface: 332

$$C_e : -0,544 \quad C_i : 0,300 \quad C_e - C_i = -0,844$$
$$qH : 0,608 \text{ kPa } \Delta : 1,000$$
$$qr(z) = -0,513 \text{ kPa local}$$

Cas de charge: Vent 90 deg dép.(-)

$$\Gamma : 1,000$$

Coefficients de chargement

surface: 331

$$C_e : -0,459 \quad C_i : -0,300 \quad C_e - C_i = -0,159$$
$$qH : 0,608 \text{ kPa } \Delta : 1,000$$
$$qr(z) = -0,097 \text{ kPa local}$$

surface: 332

$$C_e : -0,544 \quad C_i : -0,300 \quad C_e - C_i = -0,244$$
$$qH : 0,608 \text{ kPa } \Delta : 1,000$$
$$qr(z) = -0,149 \text{ kPa local}$$

Cas de charge: Vent 180 deg sur.(+)

$$\Gamma : 1,000$$

Coefficients de chargement

surface: 331

$$C_e : -0,500 \quad C_i : 0,300 \quad C_e - C_i = -0,800$$
$$qH : 0,608 \text{ kPa } \Delta : 1,000$$
$$qr(z) = -0,486 \text{ kPa local}$$

surface: 332

$$C_e : -0,500 \quad C_i : 0,300 \quad C_e - C_i = -0,800$$
$$qH : 0,608 \text{ kPa } \Delta : 1,000$$
$$qr(z) = -0,486 \text{ kPa local}$$

Cas de charge: Vent 180 deg dép.(-)

$$\Gamma : 1,000$$

Coefficients de chargement

surface: 331

$$C_e : -0,500 \quad C_i : -0,300 \quad C_e - C_i = -0,200$$
$$qH : 0,608 \text{ kPa } \Delta : 1,000$$
$$qr(z) = -0,122 \text{ kPa local}$$

surface: 332

$$C_e : -0,500 \quad C_i : -0,300 \quad C_e - C_i = -0,200$$

Annexes

$$qH : 0,608 \text{ kPa} \quad \text{Delta} : 1,000$$

$$qr(z) = -0,122 \text{ kPa local}$$

Cas de charge: Vent 270 deg sur.(+)

Γ : 1,000

Coefficients de chargement

surface: 331

$$C_e : -0,544 \quad C_i : 0,300 \quad C_e \cdot C_i = -0,844$$

$$qH : 0,608 \text{ kPa} \quad \text{Delta} : 1,000$$

$$qr(z) = -0,513 \text{ kPa local}$$

surface: 332

$$C_e : -0,459 \quad C_i : 0,300 \quad C_e \cdot C_i = -0,759$$

$$qH : 0,608 \text{ kPa} \quad \text{Delta} : 1,000$$

$$qr(z) = -0,461 \text{ kPa local}$$

Cas de charge: Vent 270 deg dép.(-)

Γ : 1,000

Coefficients de chargement

surface: 331

$$C_e : -0,544 \quad C_i : -0,300 \quad C_e \cdot C_i = -0,244$$

$$qH : 0,608 \text{ kPa} \quad \text{Delta} : 1,000$$

$$qr(z) = -0,149 \text{ kPa local}$$

surface: 332

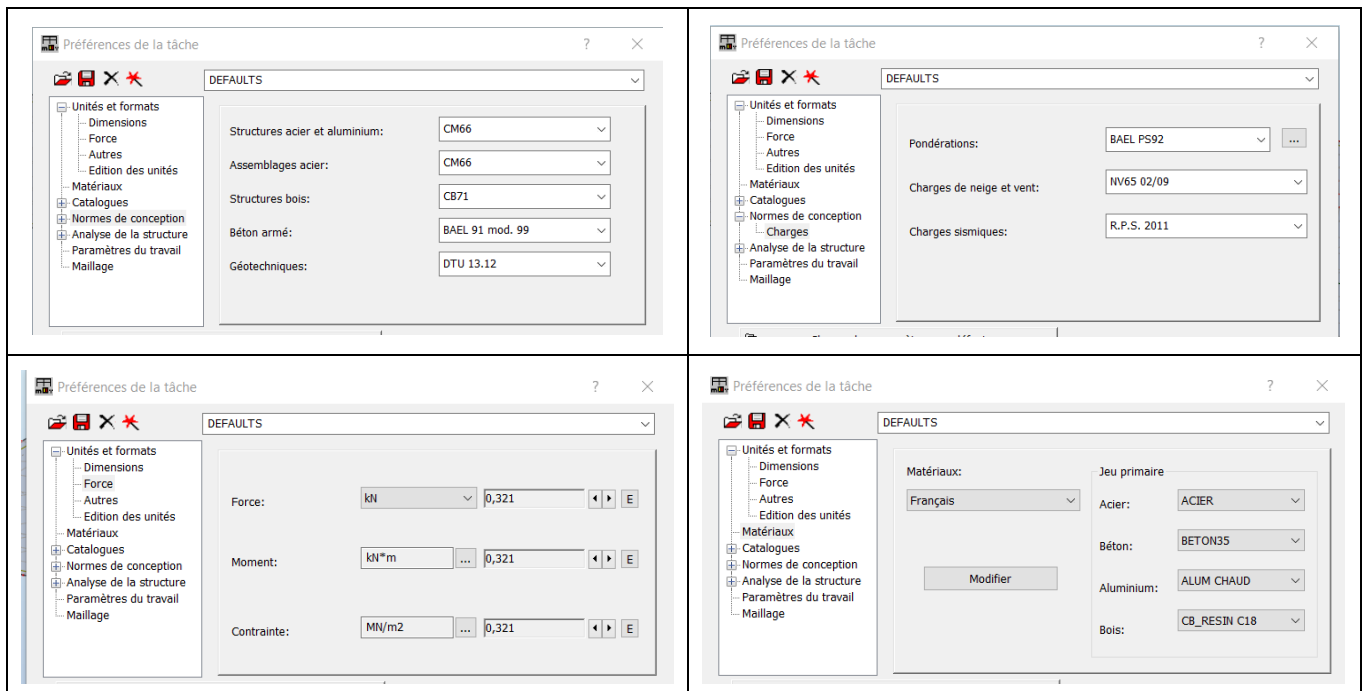
$$C_e : -0,459 \quad C_i : -0,300 \quad C_e \cdot C_i = -0,159$$

$$qH : 0,608 \text{ kPa} \quad \text{Delta} : 1,000$$

$$qr(z) = -0,097 \text{ kPa local}$$

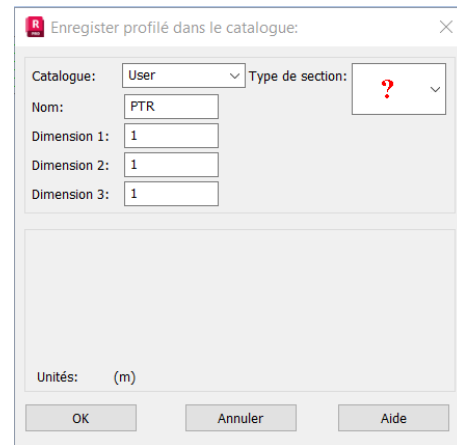
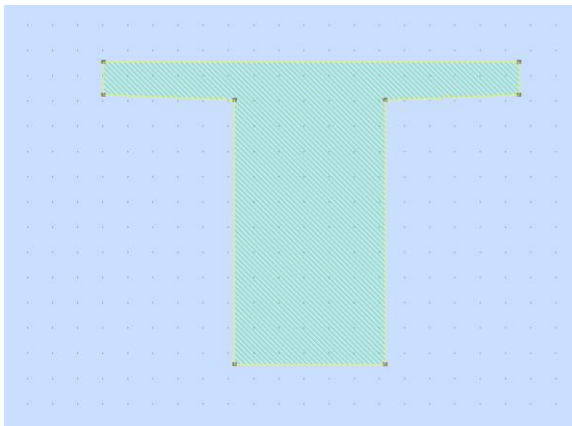
Annexe 12 Etapes de Modélisation sur le logiciel AutoDesk ROBOT

- Règlements et normes utilisés pour les calculs via le logiciel Robot Autodesk

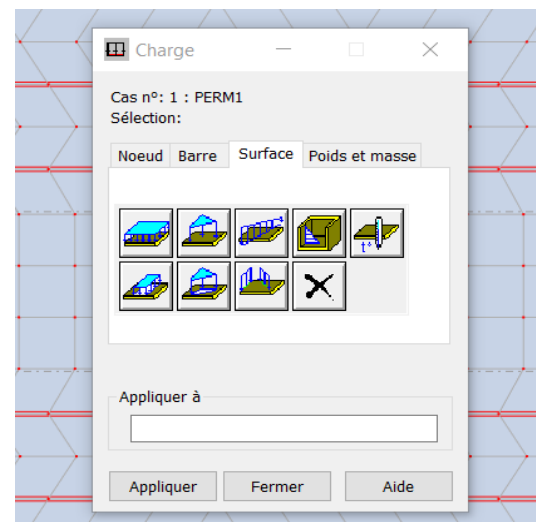
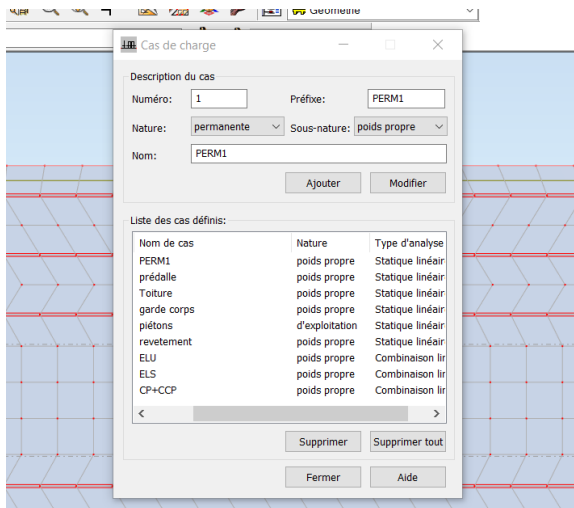


Annexes

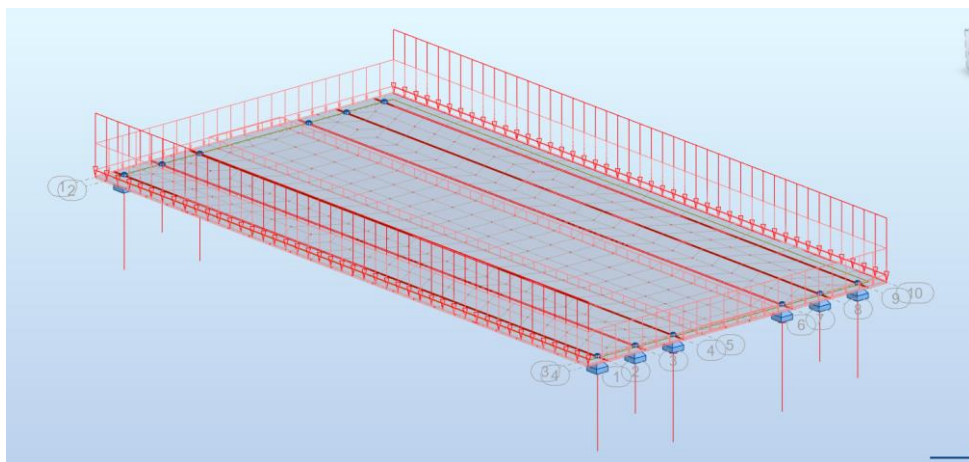
- Implantation de la poutre sous format DXF depuis le logiciel de dessin AutoCad, dans le catalogue du logiciel Robot Autodesk



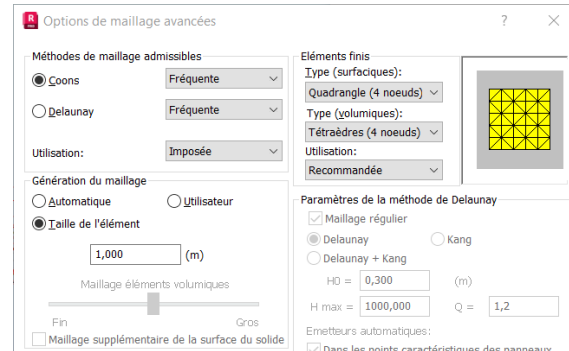
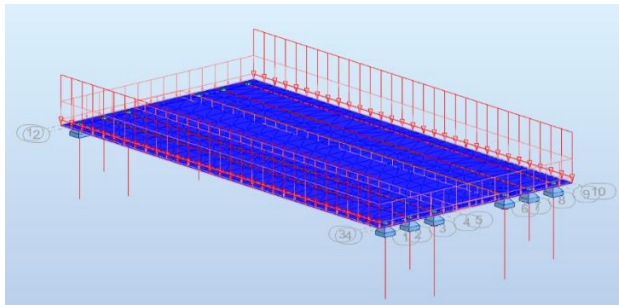
- Implantation des charges et surcharges



- Représentation des charges et surcharges

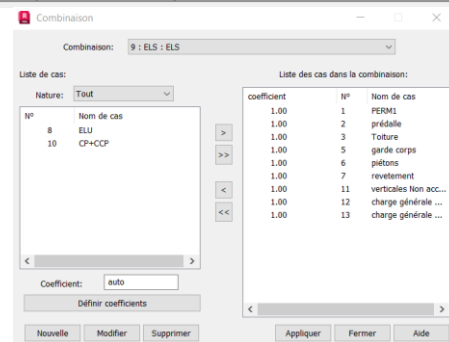
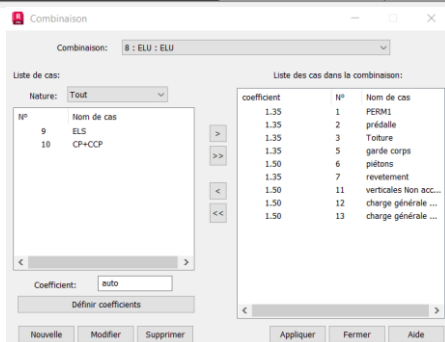


- Etablir du maillage du tablier de la passerelle SNTF



- Etablir les Combinaison de charges nécessaires pour le calcul des moments de la structure

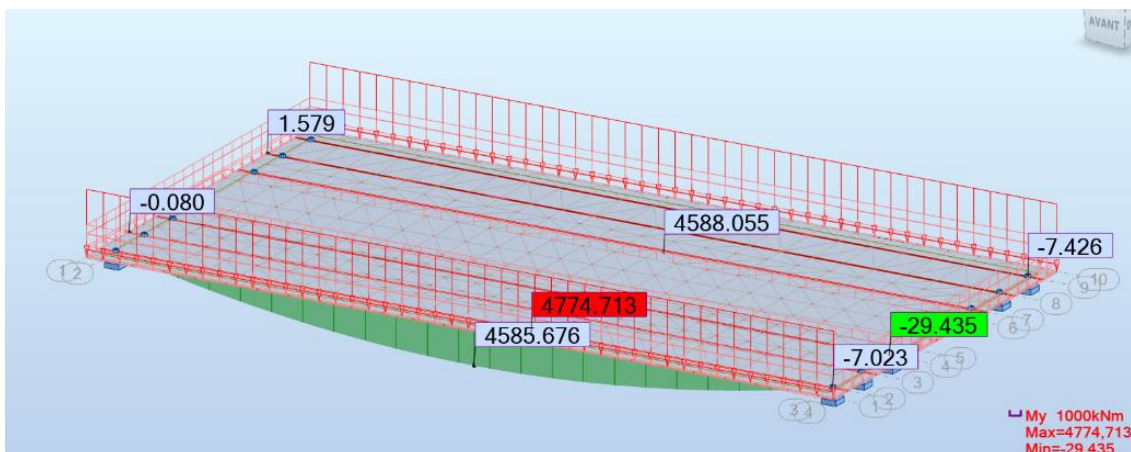
Combinaison	Nom	Type d'analyse	Type de la	Nature du cas	Définition
8 (C)	ELU	Combinaison liné	ELU	poids propre	$(1+2+5+7+3)*1.35+(6+11+$
9 (C)	ELS	Combinaison liné	ELS	poids propre	$(1+2+5+6+7+3+11+$
10 (C)	CP+CCP	Combinaison liné	ELS	poids propre	$(1+2+$



- Etape finale : Lancer le calcul grâce à la commande dédiée à cela

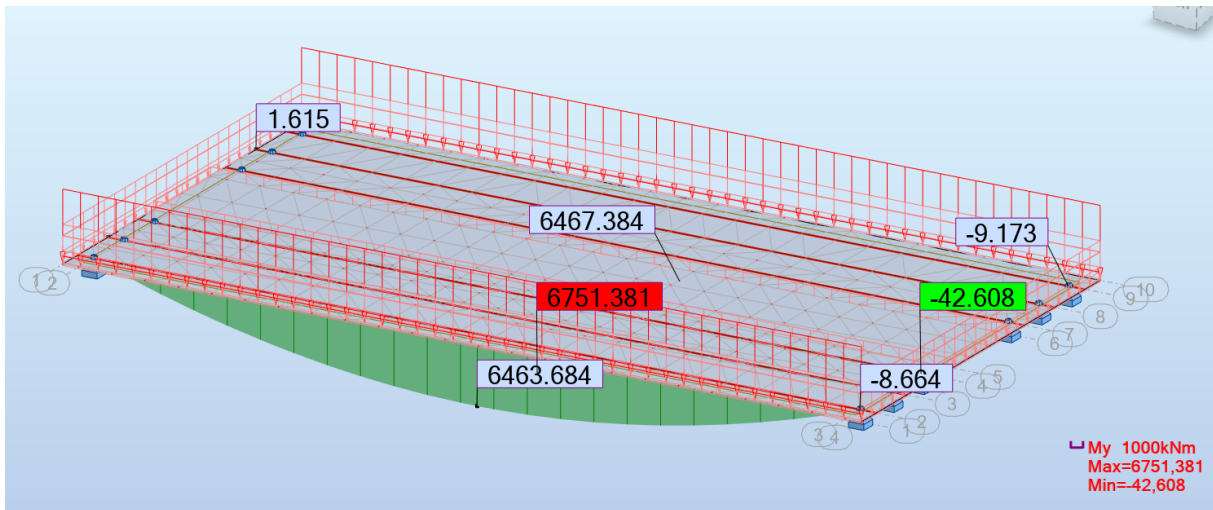
Diagramme des Moments :

Annexe 13 : Diagramme des moments à l'ELS :

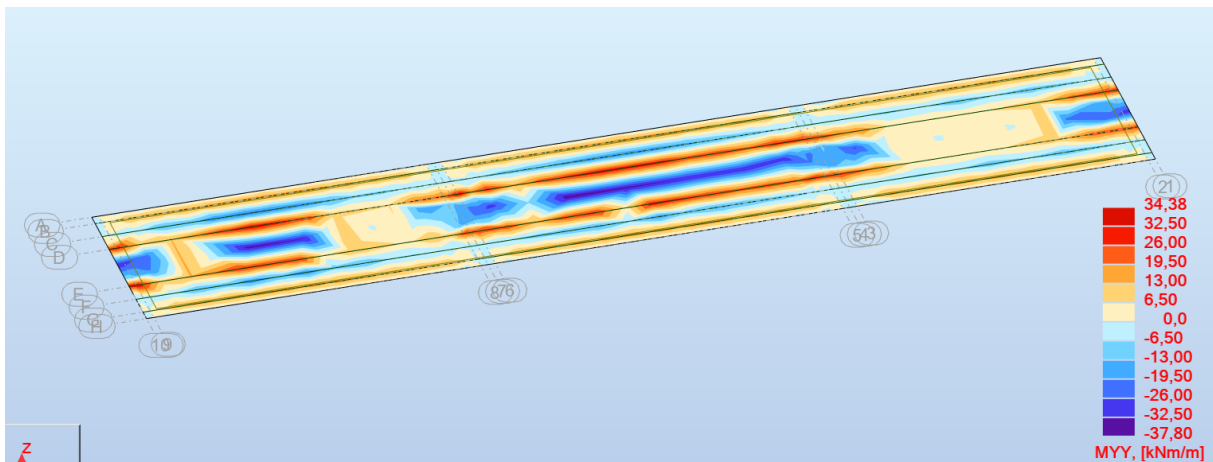


Annexes

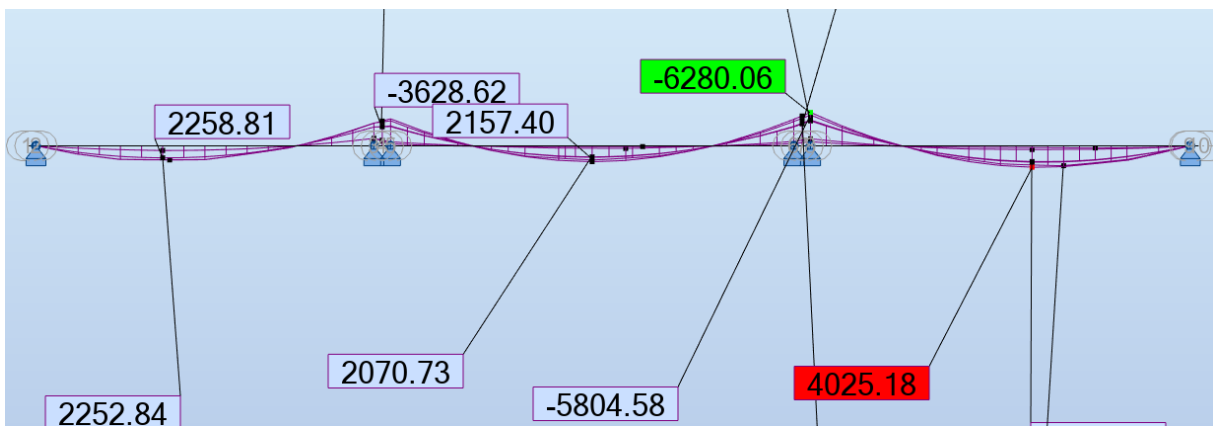
Annexe 14 : Diagramme des moments à l'ELU :



Annexe 16 : Cartographie de la distribution des moments sur la Passerelle :



Annexe 17 : Diagramme des moments appliqués à la Passerelle :



Calcul de la précontrainte :

Annexe 18 : Récapitulatif du calcul des pertes :

➤ Perte par frottement :

N° câble	x=l/2 (m)	β (rad)	$f\beta + \varphi x$	$\Delta \sigma_\varphi$ (MPa)	$\Delta \sigma_\varphi$ Moy (MPa)	$\Delta \sigma_\varphi$ Moy (%)
C1	12,55	0,047	0,034	46,85	57,50	4,06%
C2	12,55	0,095	0,042	58,54		
C3	12,55	0,130	0,049	67,12		

➤ Pertes par recul d'ancrage

Nombre de câbles	X=l/2 (m)	β (rad ⁻¹)	k (m ⁻¹)	d (m)	$\Delta \sigma_{p(l/2)}$	$\Delta \sigma_{p(0)}$
C1	12,55	0,047	0,0027	17,33	0	131,57
C2	12,55	0,095	0,0034	15,47	0	147,38
C3	12,55	0,130	0,0039	14,42	0	158,07

➤ Perte déformations du béton

- 7jrs

B (m ²)	I_g (m ⁴)	e (m)	M_p (MN * m)	P (MN)	σ_{bi} (MPa)	E_{ij} (MPa)	E_p (MPa)	$\Delta \sigma_e$ (MPa)	$\Delta \sigma_e / \sigma_{p0}$	$\Delta \sigma_e$ (%)
0.76	0.36	0.87	1.54	2.55	21.47	3133.93	190000	650.76	0.459	46%

- 28jrs

B (m ²)	I_g (m ⁴)	e (m)	M_p (MN * m)	P (MN)	σ_{bi} (MPa)	E_{ij} (MPa)	E_p (MPa)	$\Delta \sigma_e$ (MPa)	$\Delta \sigma_e / \sigma_{p0}$	$\Delta \sigma_e$ (%)
0.76	0.36	0.87	1.54	2.55	21.47	35981.73	190000	56.68	0.040028	4%

➤ Pertes par retrait du béton

- 7jrs

Annexes

E_p (MPa)	ϵ_r	$r(j)$	$\Delta\sigma_r$ (MPa)	$\Delta\sigma_r/\sigma_{p0}$	$\Delta\sigma_r$ (%)
190000	0.0002	0.14	37.85	0.0267	2.67

- 28jrs

E_p (MPa)	ϵ_r	$r(j)$	$\Delta\sigma_r$ (MPa)	$\Delta\sigma_r/\sigma_{p0}$	$\Delta\sigma_r$ (%)
190000	0.0002	0.037	32.68	0.0231	2.31

➤ Pertes par fluage

M_p (MN.m)	I_g (m ⁴)	B (m ²)	e (m)	P (MN)	E_p (MPa)	E_{ij} (MPa)	σ_{bi} (MPa)	$\Delta\sigma_{flu}$ (MPa)	$\Delta\sigma_{fl}/\sigma_{p0}$	$\Delta\sigma_{fl}$ (%)
2.77	0.64	1.198	0.87	7.03	190000	35981.73	10.37	93.11	0.06576	6.58%

➤ Pertes par relaxation

μ_0	ρ_{1000h}	f_{prg} (MPa)	σ_i (MPa)	$\Delta\sigma_{relax}$ (MPa)	$\Delta\sigma_{relax}/\sigma_{p0}$	% $\Delta\sigma_{relax}$
0.43	2.5	1770	1301.80	59.65	0.0421	4.21 %

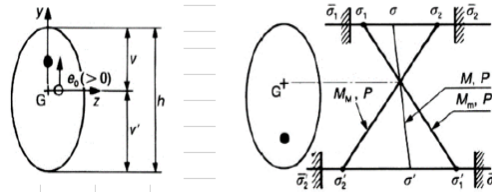
Annexe 19 : Valeur minimale de la précontrainte

Valeur minimale de la précontrainte		
$P_{MIN} = \sup (P_I, P_{II})$		
$P \geq P_I = \frac{Ac \times V \times V'}{I \times (V + V')} \times (M_{max} - M_{min})$		$P \geq P_2 = \frac{M_{max}}{\frac{I}{Ac \times V'} + V' - d'}$
Détermination de P_{MIN}		Nombre des cables
σ_{bt2}	-2,70	MPa
σ_{bt1}	-4,05	MPa
d'	0,14	m
P_I	2,73	MN
P_{II}	4,28	MN
P_{MIN}	4,28	MN
$P_0 = \min \{ (0,8 \times f_{prg} \times A_p) ; (0,9 \times f_{peg} \times A_p) \}$		$n \geq \frac{P_{MIN}}{P_0}$
ΔP_0	25	%
T_0	1416	Mpa
P_0	2,55	MN
$n \geq$	2,24	Cables
n =	3	Cables

Annexe 20 : Caractéristique des sections, moments fléchissants et efforts tranchants utilisés pour le calcul de la précontrainte

sigma S	434,783	MPa			
About		Médiane			
	Poutre seul	Poutre+dalle	Poutre seul	Poutre+dalle	
B (m ²)	0,867	1,198	0,867	1,198	$\rho = \frac{I}{B \cdot v \cdot v'}$ <p>Caractéristiques du béton</p> <p>F_{c28} = 35 MPa</p> <p>F_{ct28} = 27 MPa</p> <p>F_{c28} = 2,7 MPa</p> <p>σ_{bc} = 21 MPa</p> <p>σ_{bt} = -4,05 MPa</p>
u' (m)	0,534	1,093	0,534	1,093	
u (m)	0,666	0,307	0,666	0,307	
I _G (m ⁴)	0,121	0,211	0,121	0,211	
i ² (m ²)	0,140	0,176	0,140	0,176	
ρ	0,392	0,525	0,392	0,525	
Résultats Logiciel					
M _{gp}	1,541	MN.m	poutre		
M _{max}	4,774	MN.m	combinaison		
M _{min}	2,767	MN.m	sous charge G		
V _M	0,944	MN			
V _m	0,493	MN			

Article		BPEL 83	BPEL 91
10.2.2.3	Couverture	Distance minimale c entre un conduit ou un paquet de conduits d'armatures de précontrainte et un parement.	$c \geq \begin{cases} \frac{3}{4} a \\ \frac{3}{4} \phi \\ \phi \text{ limité à } 80 \text{ mm} \end{cases}$
10.4.2	Enrobage	Enrobage des armatures passives : - locaux clos sans condensation - aux intempéries, condensation, liquides - action agressive sur paroi non coffrée - à la mer et atmosphère très agressive	1 cm 3 cm (2 cm si f _{ca} > 40 MPa) 5 cm (3 cm si béton ou aciers protégés)



Annexe 21 : Vérification des contraintes

Vérification des contraintes	
Première phase : Après 7 jours	Deuxième phase : Après 28 jours
f _{ct} = 23,18 MPa	f _{c28} = 35,00 MPa
f _{ct'} = 1,99 MPa	f _{c28'} = 2,70 MPa
σ _{bt2} = -1,39 MPa	σ _{bt2} = -1,89 MPa
σ _{bt1} = -2,99 MPa	σ _{bt1} = -4,05 MPa
σ _{bc} = 13,91 MPa	σ _{bc} = 21,00 MPa
ΔP = 5 %	ΔP = 10 %
n cable = 3	n cable = 3
3ème phase : Après coulage de la dalle	Quatrième phase : En service
f _{c28} = 35,00 MPa	f _{c28} = 35,00 MPa
f _{c28'} = 2,70 MPa	f _{c28'} = 2,70 MPa
σ _{bt2} = -1,39 MPa	σ _{bt2} = -2,70 MPa
σ _{bt1} = -4,05 MPa	σ _{bt1} = -4,05 MPa
σ _{bc} = 21,00 MPa	σ _{bc} = 21,00 MPa
ΔP = 15 %	ΔP = 25 %
n cable = 3	n cable = 3

Phase	e ₀ (m)	M (MN.m)	P (MN)	σ _{sup} (MPa)	σ _{inf} (MPa)	Obs
Phase 1	0,39	1,54	1,82	6,64	-1,55	C.V
Phase 2	0,39	1,54	6,89	1,49	13,11	C.V
Phase 3	0,95	4,77	6,50	3,35	12,82	C.V
Phase 4	0,95	4,77	5,74	1,81	8,38	C.V

$$\sigma_{inf} = \frac{P}{B} + (P \times e_0 - M) \times \frac{v'}{I}$$

$$\sigma_{sup} = \frac{P}{B} - (P \times e_0 - M) \times \frac{v}{I}$$

Classe I (la plus pénalisante)
Elle n'admet pas les contraintes de traction. Elle concerne les pièces soumises à la traction simple (tirants, parois de réservoir contenant des fluides) et les pièces sollicitées à la fatigue.

Classe II (la plus courante)
Elle admet les contraintes de traction dans le béton, mais pas la formation des fissures. Elle concerne le cas des éléments exposés à des ambiances agressives.

Classe III (la moins pénalisante)
Elle admet une ouverture limitée des fissures sous les sollicitations extrêmes. Elle concerne les pièces en atmosphère peu agressive.

Ig (m ⁴)	B (m ²)	v (m)	v' (m)
0,121	0,867	0,666	0,534
0,121	0,867	0,666	0,534
0,211	1,198	0,307	1,093
0,2110	1,1980	0,907	1,0930

Annexe 22 : Tracé des câbles de précontrainte

Tracé des câbles de précontrainte

$\frac{1}{R} = 8 \times \frac{f}{l^2}$

$\beta(l) = 4 \times \frac{f}{l}$

$\beta(0) = 4 \times \frac{f}{l}$

Yi (m)	X = 0,12	X = L/2
C1	0,494	0,12
C2	0,814	0,2
C3	1,134	0,36

x = 0,32 m

n_{ir} = 1 1

σ = 1,5 σ_{ct} σ = 2 σ_{ct} σ = [0,15 + 0,85 × 2,9 + 4,5] σ_{ct}

Annexe 23 : Détermination des angles de relevage

Détermination de l'angle de relevage :

L'angle de relevage α à $x=0$ est donné par la formule suivante :

$$\text{Arcsin}\left(\frac{V_m - \bar{V}}{P}\right) \leq \alpha \leq \text{Arcsin}\left(\frac{V_m + \bar{V}}{P}\right)$$

$$\bar{V} = \bar{\tau} \times b_n \times 0.8h \quad \bar{\tau} = [0.4 \times f_{tq} \times (f_{tq} + \sigma_x)]^{\frac{1}{2}} \quad \sigma_x = \frac{P}{B_n}$$

$b_n =$	0,52	m	$L_{\text{cable}} =$	23,87	m
$B_n =$	1,18	m ²	$L_{\text{rel}} =$	0,892	m
$P =$	5,74	MN	$l_{pb} =$	22,086	m
$\sigma_x =$	4,85	MPa			
$\bar{\tau} =$	2,86	MPa			
$\bar{V} =$	1,66	MPa			

$$-7,20 \leq \alpha \leq 22,073 \quad (^{\circ})$$

L'angle de relevage est appliqué sur le câble sur une distance de 1 à 1.20 m partir de son ancrage

$$\alpha_{c1} = 7,14 \quad \alpha_{c2} = 5,67 \quad \alpha_{c3} = 3,45 \quad \alpha_{c4} = \quad (^{\circ})$$

N° câble	l (m)	$\alpha_{\text{rel}} (^{\circ})$	Yi (m)			f (m)	R (m)	$\beta(i)$ rad
			x=0,12	1	12,55			
C1	22,086	7,14	0,494	0,38	0,12	0,26	232,49	0,047
C2	22,086	5,67	0,814	0,73	0,2	0,53	116,04	0,095
C3	22,086	3,45	1,134	1,08	0,36	0,72	84,66	0,130

$$\text{Arcsin}\left(\frac{V_m - \bar{V}}{P}\right) \leq \alpha_{\text{opt}} \leq \text{Arcsin}\left(\frac{V_m + \bar{V}}{P}\right)$$

avec :

- α_{opt} : L'optimum théorique de l'angle de relevage; $\alpha_{\text{opt}} = \left(\frac{\text{arc sin}(V_m + V_n)}{2P}\right)$
- V_m : Effort tanchant à vide sous (G); $V_m = 0,3957MN$
- V_n : Effort tanchant en charge sous (G+D240); $V_n = 0,7322MN$
- \bar{V} : Effort tanchant limite que peut supporter la section d'about; $\bar{V} = \bar{\tau} \times b_n \times 0.8 \times h$
- $\bar{\tau}$: Contraint tangentielle limitée en état limite de service; $\bar{\tau} = \sqrt{(0.4 \times f_{tq}) \times (f_{tq} + \frac{2\sigma_x}{3})}$
- σ_x : Contraint normale au niveau de la fibre neutre; $\sigma_x = \frac{P}{B_n(p-d)}$
- $B_n = B_{(p-d)} - n \times (\pi \times \frac{\phi^2}{4})$
- $b_n = b_n - (n \times K \times \phi)$

Annexe 24 : Pertes instantanées

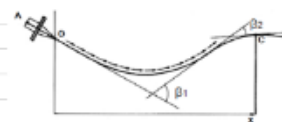
1. Pertes par frottement :

$$\sigma_x(x) = \sigma_{p0} \times (1 - e^{-(f \times \beta + \varphi \times x)})$$

$$\varphi = 0,002 \quad (\text{m}^{-1})$$

$$f = 0,18$$

$$\sigma_{p0} = 1416 \quad \text{MPa}$$



N° câble	$x=l/2$ (m)	β (rad)	$f + \varphi x$	$\Delta\sigma_f$ (MPa)	$\Delta\sigma_f$ Moy (MPa)	$\Delta\sigma_f$ Moy (%)
C1	12,55	0,047	0,034	46,86		
C2	12,55	0,095	0,042	58,55	57,52	4,062%
C3	12,55	0,130	0,049	67,14		

2. Pertes dues au recul à l'ancrage :

$$\Delta\sigma_a(x) = 2 \times \sigma_{ps} \times k \times (d - x), \text{ avec } k = f \times \frac{\beta}{\ell} + \varphi \quad \text{et } d = \sqrt{\frac{E_r \times g}{\sigma_{p0} \times k}}$$

N° câble	l (m)	k (m ⁻¹)	d (m)	$\Delta\sigma_{p(l/2)}$	$\Delta\sigma_{p(l)}$
C1	12,55	0,0027	17,33	0	131,58 (MPa)
C2	12,55	0,0034	15,47	0	147,40 (MPa)
C3	12,55	0,0039	14,42	0	158,09 (MPa)

3. Pertes par déformation instantanée du béton :

$$\sigma_e = \frac{1 \times E_p}{2 \times E_b} \times \sigma_{bi} \quad \sigma_{bi} = \frac{P}{B} + \frac{P \times e^2}{I_b} - \frac{M_g \times e}{I_b}$$

$$\sigma_{ap}(0) \text{ Moyenne} = 145,69 \quad 0,10288$$

$M_g =$	1,54	MN	$\sigma_{bi} =$	21,47	MPa
$E_{ij} =$	35981,73	MPa	$\sigma_e =$	56,68	MPa
$e =$	0,87	m	$\sigma_e =$	4,0%	%
$B =$	0,76	m ²			
$I_b =$	0,36	m ⁴			
$n_{\text{cable}} =$	3				

Cas	Nature des armatures	f		φ (m ⁻¹)
		3 < R < 6 (m)	R > 6 (m)	
I Câbles ne traversant pas de joints ou surfaces de reprise	Fils tréfilés ronds et lisses	$\frac{22 - R}{100}$	0,16	0,002
	Torons	$\frac{24 - R}{100}$	0,18	
II Câbles traversant de nombreux joints ou reprises de bétonnage	Fils tréfilés ronds et lisses	$\frac{24 - R}{100}$	0,18	0,003
	Torons	$\frac{26 - R}{100}$	0,20	

Annexe 25 : Pertes différées

4. Pertes par retrait :		$\Delta\sigma_r \approx E_p \times \xi_r$	$\xi_r = 2 \times 10^{-4}$
$\Delta\sigma_r =$	32,68	MPa	
$\Delta\sigma_r =$	2,31%	%	
5. Perte par fluage :			
$\Delta\sigma_n = 2,5 \alpha (x) \frac{E_p}{E_d}$	$\sigma_{bi} = \frac{P}{B} + \frac{P \times e^2}{I_G} - \frac{M_p \times e}{I_G}$		0,0806
$M_p =$	2,77	MN.m	
Inette	0,6400		
B	1,1980		$\sigma_b = 10,37$ MPa
v	1,0930		
$e_0 =$	0,87	m	(Poutre + Dalle)
P=	7,03	MN	
$\Delta\sigma_n =$	93,11	MPa	
$\Delta\sigma_n =$	6,58%	%	
6. Perte par relaxation :			
$\Delta\sigma_p = \frac{6}{100} \times \rho_{1000} \left(\frac{\sigma_i}{f_{pre}} - \mu_0 \right) \times \sigma_i$			
$\rho_{1000} =$	2,50	%	sigma i = 1301,80
$\mu_0 =$	0,43		
$\Delta\sigma_p =$	59,65	MPa	
$\Delta\sigma_p =$	4,21%	%	
		MPa	%
	$\Delta\sigma_{inst}$	114,20	8,06
	$\Delta\sigma_{diff}$	175,50	12,39
	$\Delta\sigma_{rel}$	289,70	20,46
			$\Delta\sigma_d = \Delta\sigma_r + \Delta\sigma_f + \frac{5}{6} \Delta\sigma_{rel}$

Annexe 26 : Les efforts de précontrainte

Effort de précontrainte P :									
			$P_0 = 2,55$	MN					
			$P_1 = 1,02 P_0 - 0,8 \Delta P$					$P_2 = 0,98 P_0 - 1,2 \Delta P$	
	N cables	% Mt	ΔP	P1	P2	d _{x=0.5}	d _{x=L/4}	d _{x=3L/8}	d _{x=L/2}
Phase 1	3	50	4,032	3,778	3,563	1,034	0,436	0,282	0,227
Phase 2	3	100	8,065	7,309	6,757	1,034	0,436	0,282	0,227
Phase 3	3	100	11,163	7,120	6,472	1,034	0,436	0,282	0,227
Phase 4	3	100	20,459	6,551	5,619	1,034	0,436	0,282	0,227

	CY1	CY2	CY3	Ymoy
x=0.5	0,679	1,017	1,405	1,034
x=L/4	0,268	0,416	0,624	0,436
x=3L/8	0,166	0,254	0,426	0,282
x=L/2	0,120	0,200	0,360	0,227

Annexe 27 : Justification des contraintes tangentielles

Justification des contraintes tangentielles :

$$\tau^2 - \sigma_x \sigma_t \leq 0,4 f_{tj} \left[f_{tj} + \frac{2}{3} (\sigma_x + \sigma_t) \right]$$

$$\tau^2 - \sigma_x \sigma_t \leq 2 \frac{f_{tj}}{f_{cj}} \left[0,6 f_{cj} - \sigma_x - \sigma_t \right] \left[f_{tj} + \frac{2}{3} (\sigma_x + \sigma_t) \right]$$

Si $\sigma_x < 0,4 f_{cj}$ on a $\bar{\tau}_1 < \bar{\tau}_2$, donc on vérifie juste que $\tau < \bar{\tau}_1$

$$\sigma_x = \frac{P}{B_n}, \text{ avec } P = \sum_{i=1}^4 P_i \cos \alpha_i$$

$$\tau = \frac{V_{red} \cdot S_n(y)}{I_n \cdot b_n}, \text{ Avec } V_{red} = V_{ser} - \sum P_i \sin \alpha_i$$

		Pcos α	Psin α
α1 =	7,14 (°)	P1	2,03
α2 =	5,67 (°)	P2	2,03
α3 =	3,45 (°)	P3	2,03
		Somme	6,06
			0,57

B _n =	1,20	m ²
σ _x =	5,05	MPa
τ ₁ =	2,56	MPa

V _{ser} =	0,94	MPa
V _{red} =	0,37	MPa
S _n =	0,49	m ³
I _n =	0,21	m ⁴
b _n =	0,52	m

τ =	1,65	MPa	Vérifié
-----	------	-----	---------

Annexe 28 : Justification de la poutre à l'ELU

Justifications de la poutre à l'ELU :

$$\text{tg } 2\beta_u = \frac{2\tau_u}{\sigma_x - \sigma_y}, \text{ avec } \beta_u \geq 30^\circ$$

σ_x, σ_y : représentent les contraintes normales au niveau de G ; σ_x = P/B_n

τ_u : Contrainte tangentielle ultime. $\tau_u = \frac{V_{u,red} \cdot S_u(y)}{I_n \cdot b_n}$

On prend : β_u = 30 °

La deuxième étape consiste à déterminer la section des armatures transversale A_t, donnée par :

$$\frac{A_t \times f_e}{b_n \times S_t \times \gamma} \geq \left[\tau_u - \frac{f_u}{3} \right] \times \text{tg } \beta_u$$

V _{ult} =	0,94	MPa
V _{red} =	0,37	MPa
S _n =	0,49	m ³
I _n =	0,21	m ⁴
b _n =	0,52	m

B _n =	1,20	m ²
σ _x =	5,05	MPa
τ _u =	1,65	MPa
β _u =	16,59	°

τ _u =	1,65	MPa
f _e =	500,00	MPa
f _{t28} =	2,70	MPa
b _n =	0,52	m
V _s =	1,15	

		5,12	
$\frac{A_t}{S_t} \geq$	5,184	cm	0,3456
	2,85		28,35

Annexe 29 : Justification du béton

Justifications du béton :

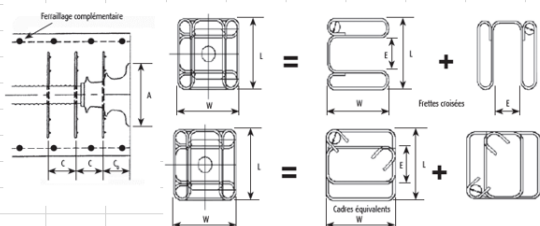
La justification concernant le béton consiste à vérifier que la contrainte de compression des bielles de béton demeure inférieure la contrainte ultime du béton . Cette vérification se traduit par le fait que la contrainte de cisaillement :

$$\tau_u \leq \frac{f_{c28}}{6}$$

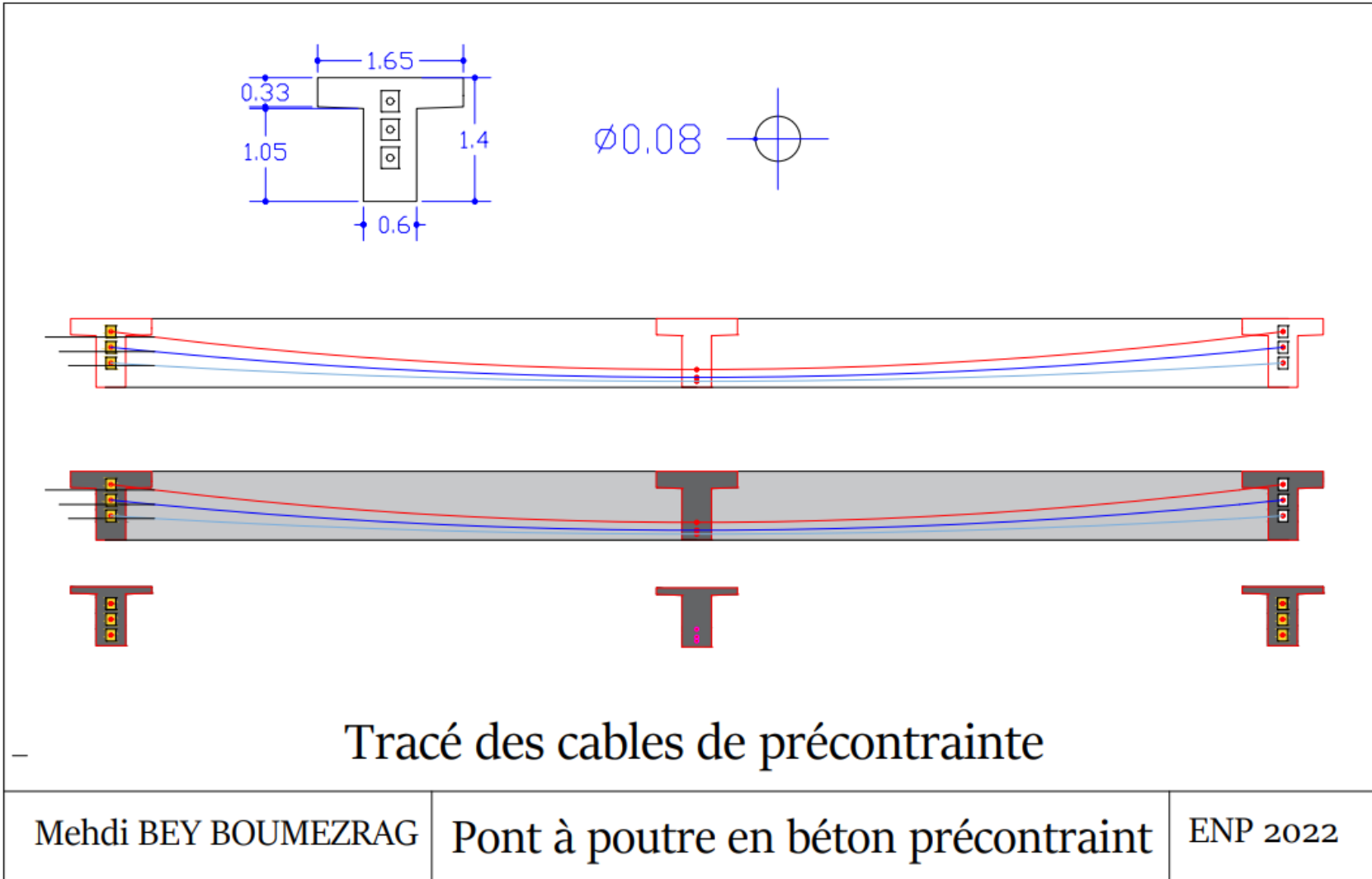
τ _u =	1,65	MPa
f _{c28} =	35,00	MPa

1,65 < 5,83 C.V

Unités	Nombre de couches	Frettes croisées ou cadres équivalents (FeE 235)							(B500) Aciers complémentaires (cables)		
		Ca (mm)	C (mm)	Diamètre d (mm)	Mandrin diamètre D (mm)	min (caisse distance E (mm)	Dim. hors tout LD (mm)	Pas (mm)	Diamètre d (mm)	Nombre	
3C15	3	100	75	8	31	90	200	110	8	3	
4C15	3	100	75	8	46	90	230	115	12	3	
7C15	3	120	90	12	74	130	310	120	12	4	
9C15	3	120	110	12	74	140	360	125	14	4	
12C15	3	120	120	14	83	160	410	140	16	4	
13C15	3	140	125	14	88	170	430	130	16	4	
19C15	3	160	125	16	117	200	520	180	20	4	



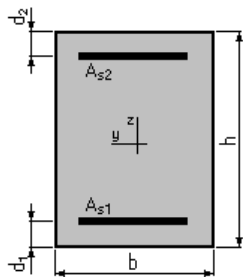
Annexe 30 : Tracé final de la poutre en précontrainte



Annexe 31 : NOTE DE CALCUL FERRAILLAGE DALLE**➤ Calcul de Section en Flexion Simple – Nappe Inférieure****1. Hypothèses :**

Béton : $f_{c28} = 35,0$ (MPa) Acier : $F_e = 500,0$ (MPa)

- Fissuration préjudiciable
- Pas de prise en compte des armatures comprimées
- Prise en compte des dispositions sismiques
- Calcul suivant BAEL 91 mod. 99

2. Section :

$$b = 100,0 \text{ (cm)}$$

$$h = 20,0 \text{ (cm)}$$

$$d_1 = 5,0 \text{ (cm)}$$

$$d_2 = 5,0 \text{ (cm)}$$

3. Moments appliqués :

	M_{max} (kN*m)	M_{min} (kN*m)
Etat Limite Ultime (fondamental)	0,00	0,00
Etat Limite de Service	34,38	0,00
Etat Limite Ultime (Accidentel)	0,00	0,00

4. Résultats :**Sections d'Acier :**

Section théorique $A_{s1} = 10,4$ (cm²)

Section théorique $A_{s2} = 0,0$ (cm²)

Section minimum $A_{s \min} = 4,2$ (cm²)

Section maximum $A_{s \max} = 37,5$ (cm²)

Théorique $r = 0,70$ (%)

Minimum $r_{\min} = 0,28$ (%) maximum $r_{\max} = 1,88$ (%)

Annexes

Analyse par cas :

Cas ELS $M_{\max} = 34,38$ (kN*m) $M_{\min} = 0,00$ (kN*m)

Coefficient de sécurité : 0,01

Position de l'axe neutre : $y = 0,2$ (cm)

Bras de levier : $Z = 14,9$ (cm)

Contrainte maxi du béton : $s_b = 32,5$ (MPa)

Contrainte limite : $0,6 f_{cj} = 21,0$ (MPa)

Contrainte de l'acier :

Contrainte limite de l'acier :

$$Ss_{\lim} = 250,0 \text{ (MPa)}$$

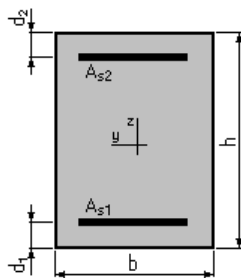
➤ Calcul de Section en Flexion Simple – Nappe Supérieure

1. Hypothèses :

Béton : $f_{c28} = 35,0$ (MPa) Acier : $f_e = 500,0$ (MPa)

- Fissuration préjudiciable
- Pas de prise en compte des armatures comprimées
- Prise en compte des dispositions sismiques
- Calcul suivant BAEL 91 mod. 99

2. Section :



$$b = 100,0 \text{ (cm)}$$

$$h = 20,0 \text{ (cm)}$$

$$d_1 = 5,0 \text{ (cm)}$$

$$d_2 = 5,0 \text{ (cm)}$$

3. Moments appliqués :

	M_{\max} (kN*m)	M_{\min} (kN*m)
Etat Limite Ultime (fondamental)	0,00	0,00
Etat Limite de Service	-37,80	0,00
Etat Limite Ultime (Accidentel)	0,00	0,00

4. Résultats :

Sections d'Acier :

Section théorique $A_{s1} = 0,0$ (cm²) Section théorique $A_{s2} = 11,5$ (cm²)
Section minimum $A_{s \min} = 0,0$ (cm²) Section maximum $A_{s \max} = 37,5$ (cm²)
Théorique $r = 0,77$ (%)
Minimum $r_{\min} = 0,28$ (%) maximum $r_{\max} = 1,88$ (%)

Analyse par cas :

Cas ELS $M_{\max} = -37,80$ (kN*m) $M_{\min} = 0,00$ (kN*m)

Coefficient de sécurité : 0,00

Position de l'axe neutre : $y = 0,1$ (cm)

Bras de levier : $Z = 15,0$ (cm)

Contrainte maxi du béton : $s_b = 62,6$ (MPa)

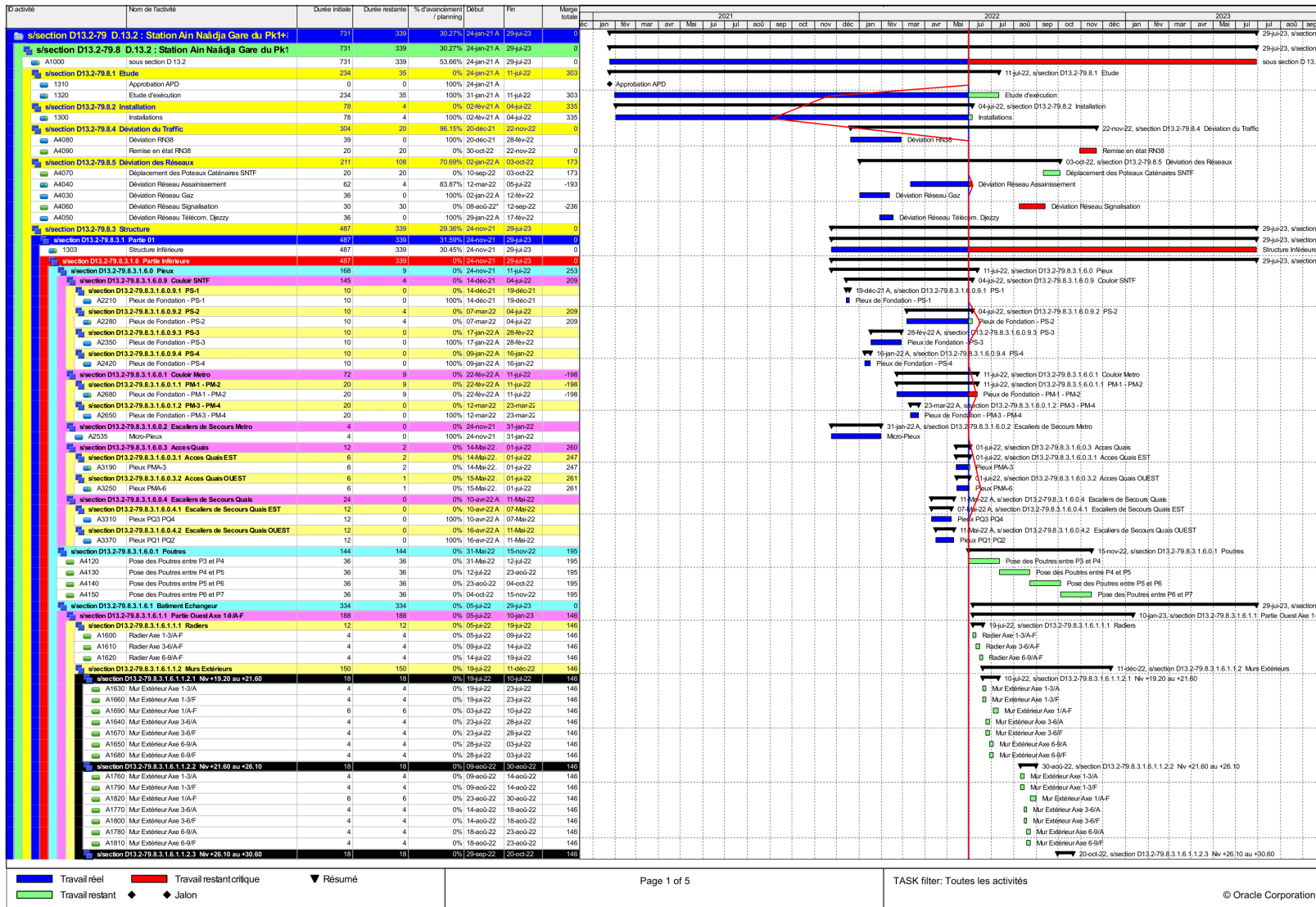
Contrainte limite : $0,6 f_{cj} = 21,0$ (MPa)

Contrainte de l'acier :

Contrainte limite de l'acier :

$Ss_{\lim} = 250,0$ (MPa)

Annexe 32 : PLANNING final pour la station Ain Naadja Gare



Annexe 33 : Détails des ressources nécessaires pour la réalisation du projet Ain Naadja Gare.

		2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2023	2023	2023	2023	2023	2023
		avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre		janvier	février	mars	avril	mai	juin
Matériels	Quantité	292	6931	6562	6562	6815	6310	7375	8122	8122		8435	7498	8122	8122	8435	4605
Matériel fixe	Quantité	190	5139	4949	4949	5139	4758	5139	4949	4949		5 139	4 568	4 949	4 949	5 139	3 171
Matériel Installation du chantier	Quantité	40	116	-	-	-	-	560	1560	1560		1 620	1 440	1 560	1 560	1 620	1 000
Fondations spéciales et excavation	Quantité	62	1676	1614	1614	1676	1552	1 676	1614	1614		1676	1490	1614	1614	1676	434

		2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2023	2023	2023	2023	2023	2023
		avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre		janvier	février	mars	avril	mai	juin
STATION AIN NAADJA GARE	Quantité	1023	26648	25549	25549	26532	24567	32323	41669	41669		43272	38464	41669	41669	43272	24451
MAIN D'ŒUVRE	Quantité	730	19717	18987	18987	19717	18257	24948	33547	33547		34837	30966	33547	33547	34837	19846
Structure	Quantité	730	19717	18987	18987	19717	18257	24948	33547	33547		34837	30966	33547	33547	34837	19846
Conducteur travaux génie civil	Quantité	16	419	403	403	419	388	606	923	923		959	852	923	923	959	442
Conducteur travaux coffrage	Quantité	16	419	403	403	419	388	606	923	923		959	852	923	923	959	442
conducteur travaux ferrailage	Quantité	16	419	403	403	419	388	606	923	923		959	852	923	923	959	442
chef d'équipe soudure	Quantité	16	419	403	403	419	388	606	923	923		959	852	923	923	959	442
Maçon	Quantité	-	-	-	-	-	-	374	1 040	1 040		1 080	960	1 040	1 040	1 080	666
Ferrailleur	Quantité	-	-	-	-	-	-	1 495	4 160	4 160		4 320	3 840	4 160	4 160	4 320	2 665
Coffreurs	Quantité	-	-	-	-	-	-	1 495	4 160	4 160		4 320	3 840	4 160	4 160	4 320	2 665
Conducteur chariot élévateur	Quantité	16	419	403	403	419	388	606	923	923		959	852	923	923	959	442
Conducteur grue mobile	Quantité	16	419	403	403	419	388	606	923	923		959	852	923	923	959	442
conducteur grue a tour	Quantité	16	419	403	403	419	388	606	923	923		959	852	923	923	959	442
conducteur d'engins	Quantité	31	838	807	807	838	776	1 025	1 327	1 327		1 378	1 225	1 327	1 327	1 378	550
chef d'équipe ferrailage	Quantité	16	419	403	403	419	388	606	923	923		959	852	923	923	959	442
chef d'équipe coffrage	Quantité	16	419	403	403	419	388	606	923	923		959	852	923	923	959	442
chef d'équipe coffrage	Quantité	23	617	594	594	617	571	617	594	594		617	548	594	594	617	380
chef d'équipe soudeurs	Quantité	19	514	495	495	514	476	514	495	495		514	457	495	495	514	317
Coffreurs	Quantité	95	2 570	2 474	2 474	2 379	2 570	2 474	2 570	2 474		2 570	2 284	2 474	2 474	2 570	1 585
ferrailleur	Quantité	38	1 028	990	990	952	1 028	990	1 028	990		1 028	914	990	990	1 028	634
Maçon	Quantité	57	1 542	1 485	1 485	1 428	1 542	1 485	1 542	1 485		1 542	1 370	1 485	1 485	1 542	951
conducteur d'engins	Quantité	57	1542	1485	1485	1428	1542	1485	1542	1485		1 542	1370	1485	1485	1542	951
electricien	Quantité	19	514	495	495	476	514	514	514	495		514	457	495	495	514	317
plombien	Quantité	19	514	495	495	476	514	514	514	495		514	457	495	495	514	317
animateur HSE	Quantité	19	514	495	495	476	514	514	514	495		514	457	495	495	514	317
conducteur VL	Quantité	19	514	495	514	476	514	514	495	495		514	457	495	495	514	317
secrétaire de chantier	Quantité	19	514	495	514	476	514	514	495	495		514	457	495	495	514	317
magasinier	Quantité	19	514	495	514	476	514	514	495	495		514	457	495	495	514	317
soudeur	Quantité	19	514	495	514	476	514	514	495	495		514	457	495	495	514	317
chef de poste mine	Quantité	23	617	594	617	571	617	594	594	594		617	548	594	594	617	380
ingénieur	Quantité	19	514	495	514	476	514	514	495	495		514	457	495	495	514	317
manœuvre	Quantité	95	2570	2474	2570	2379	2570	2570	2 474	2470		2 570	2284	2474	2474	2570	1585

		2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2023	2023	2023	2023	2023	2023
		avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre		janvier	février	mars	avril	mai	juin
ACIERS	Quantité	210	220	220	210	230	220	210	220	170		-	-	-	-	-	-
	Montant	26250	27500	27500	26250	28750	27500	26250	27500	21250		-	-	-	-	-	-

Annexes

		2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2022	2023	2023	2023	2023	2023	2023
		avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre		janvier	février	mars	avril	mai	juin
Matière baraki interne		1133186,88	83637968,48	79457243,15	79139200,66	82183016,07	76095385,25	86389011,09	90445349,85	90437621,85		93915991,92	83480881,71	90437621,85	90437621,85	93915991,92	28947699,14
Terrassement et démolitions	Quantité	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-
	Montant Dzd	16 732,740	451 783,860	435 051,130	435 051,130	451 783,860	418 318,390	451 783,860	435 051,130	435 051,130		451 783,860	401 585,650	435 051,130	435 051,130	451 783,860	152 086,830
soutènements et etayement	Quantité	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-
	Montant Dzd	1966414,77	53093198,91	51126784,13	51126784,13	53093198,91	49160369,36	53093198,91	51126784,13	51126784,13		53093198,91	47193954,59	51126784,13	51126784,13	53093198,91	13764903,42
béton, mortier et coulis	Quantité	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-
	Montant Dzd	301 948,000	8 152 622,000	7 850 673,000	7 850 674,000	815 622,000	7 548 724,000	9 884 697,000	12 671 794,000	12 671 794,000		-	-	-	-	-	-
coffrage	Quantité	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-
	Montant Dzd	243 923,280	6 585 928,580	6 342 005,300	6 342 005,300	6 585 928,580	6 098 082,020	6 716 365,880	6 705 069,180	6 705 069,180		6 962 956,460	6 189 294,630	6 705 069,180	6 705 069,180	6 962 956,460	2 306 872,050
aciers et profilés	Quantité	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-
	Montant Dzd	325 173,250	8 779 677,650	8 454 504,400	8 454 504,400	8 779 677,650	8 129 331,160	10 392 851,610	12 944 671,160	12 944 671,160		13 442 543,130	11 948 927,220	12 944 671,160	12 944 671,160	13 442 543,130	5 153 205,520
joints et appareils d'appuis	Quantité	-	-	-	-	-	-	3	8	8		8	7	8	8	8	5
	Montant Dzd	-	-	-	-	-	-	583 476,220	1 624 068,830	1 624 068,830		1 686 533,010	1 499 140,450	1 624 068,830	1 624 068,830	1 686 533,010	1 040 592,600
étanchéité des structures	Quantité	7	195	188	188	195	181	195	188	188		195	174	188	188	195	51
	Montant Dzd	2 170,070	58 591,780	56 421,720	56 421,720	58 591,780	54 251,650	58 591,780	56 421,720	56 421,720		58 591,780	52 081,580	56 421,720	56 421,720	58 591,780	15 190,460
traitement de terrains	Quantité	6	155	150	150	155	144	155	150	150		155	138	150	150	155	40
	Montant Dzd	172 077,790	4 646 100,330	4 474 022,540	4 474 022,540	4 646 100,330	4 301 944,750	4 646 100,330	4 474 022,540	4 474 022,540		4 646 100,330	4 129 866,960	4 474 022,540	4 474 022,540	4 646 100,330	1 204 544,530
voiries et reseaux divers	Quantité	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-
	Montant Dzd	55 787,200	1 454 952,410	318 042,490	-	-	-	146 832,000	7 728,000	-	-		-	-	-	-	-
maillage equipotentiel	Quantité	-	64	62	62	64	59	64	62	62		64	57	62	62	64	17
	Montant Dzd	15 374,550	415 112,890	399 738,340	399 738,340	415 112,890	384 363,790	415 112,890	399 738,340	399 738,340		415 112,890	368 989,230	399 738,340	399 738,340	415 112,890	107 621,860