République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المـــدرســـة الوطنيـــة العليـــا للأشغـال العموميـة
ونس_يس_جانس_ون
École Nationale Supérieure des Travaux Publics
Francis Jeanson

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

Etude APD de la nouvelle ligne électrifiée à voie unique entre SAIDA et EL BAYADH du PK 55+00 au PK 70+00 pour une exploitation de 220 Km/h avec aménagement de la gare de croisement 2 au PK 65+025

Présenté par :

GUEMMOUN Nour el houda

BOUREGA Kaoutar

Encadré par :

Mme BELHADJ Fatma el zohra

Promotion 2023/2024

© ENSTP-FJ _ Garidi _ Vieux Kouba

Remerciment

Nous tenons avant tous a remercié ALLAH le tous puissant qui nous a donné la force de continué et de réalisé ce travaille

Nous tenons à exprimer notre plus profonde gratitude envers nos familles pour leur soutien toute au long notre parcoure universitaire

Et aussi notre encadrante Mme BELHADJ pour ses conseils tout au long de ce projet. Son expertise et sa disponibilité ont été des éléments clés dans l'aboutissement de ce travail.

Nous remercions également toute l'équipe de INFRARAIL spécialement notre mètre de stage CHENAH Jugurta et l'ingénieur SMIRA Houssem pour leur collaboration et leur engagement,

Enfin, nous souhaitons adresser des remerciements particuliers à nos profs au sein de E.N.S.T.P dont la patience et la persévérance ont été une source d'inspiration constante.

Dedicasse

À mes chers parents,
Mes chers frères et ma chère tante,
Mes meilleurs amis et Tous mes amis de l'ENSTP

Et à toutes les personnes qui m'ont soutenue Tous au long de mon parcoure

Dédicace

"À ma mère, mon pilier, mon roc, celle qui m'a donné la vie et m'a guidé avec amour et bienveillance. Maman, tu as été mon premier enseignant, mon premier modèle, et je te dédie ce travail avec une profonde gratitude. Tes sacrifices, ta force et ta sagesse ont façonné la personne que je suis aujourd'hui.

À mon grand-père, que Dieu ait son âme, celui qui m'a transmis tant de valeurs et d'histoires. Grand-père, tu étais un homme de principes, un conteur passionné et un jardinier infatigable. Ton amour pour la famille, ta générosité et ta bienveillance resteront à jamais gravés dans nos cœurs.

"À ma grand-mère chérie, ton départ a créé un vide immense dans ma vie, mais ton amour et ta bienveillance demeurent gravés dans mon cœur. Tu étais un exemple de force et de douceur. Tu me manques tellement

"À mes oncles, ces hommes exceptionnels qui ont été des modèles de courage, de persévérance et de bienveillance. Vous m'avez inspiré par vos histoires, vos conseils et votre amour inconditionnel.

Ce PFE est le fruit de leur amour, de leurs encouragements et de leurs prières. Qu'ils reposent en paix, sachant que leur héritage continue à vivre à travers moi. Je vous aime, maman et grand-père."

Resumer :

Ce projet porte sur la conception et l'étude détaillée d'une ligne ferroviaire à voie unique reliant les villes de Saïda et El Bayadh. Le tronçon concerné s'étend du PK 55+000 au PK 70+000, soit sur 15 km. Il inclut l'aménagement d'une gare de croisement au PK 65 et une étude d'électrification avec un avant-projet de piquage. La conception suit les normes internationales de l'Union Internationale des Chemins de Fer (UIC) et les recommandations de la Société Nationale de Transport Ferroviaire (SNTF) algérienne, assurant ainsi la conformité et la sécurité de l'infrastructure.

ملخص

يتمحور هذا المشروع حول تصميم ودراسة مفصلة لمشروع خط سكة حديدية أحادي يربط بين مدينتي سعيدة والبيض. يمتد المقطع المعني من الكيلومتر 55إلى الكيلومتر70، أي على مسافة 15 كيلومترًا. يتضمن المشروع إنشاء محطة تقاطع عند الكيلومتر 65 وإجراء دراسة للتكهرب مع مشروع أولي للتركيبات الكهربائية. يتبع التصميم المعايير الدولية للاتحاد الدولي للسكك الحديدية (UIC) الجزائرية، مما يضمن الامتثال والسلامة للبنية التحتية (SNTF) وتوصيات الشركة الوطنية للنقل بالسكك الحديدية

Summarize

The project involves the design and detailed study of a single-track railway line connecting the cities of Saïda and El Bayadh. The section in question extends from PK 55+000 to PK 70+000, covering 15 km. It includes the development of a crossing station at PK 65 and an electrification study with a preliminary design for wiring. The design follows the international standards of the International Union of Railways (UIC) and the recommendations of the Algerian National Railway Transport Company (SNTF), ensuring the infrastructure's compliance and safety

SOMMAIR

INTRODUCTION GENERALEINTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBIOGRAPHIQUE : IMPACTS DE L'AUGMENTATION DE LA VITESSE FERROVIAIRE SUR L'ENVIRONNEMENT. 2

I.1Introduction 2
I.2Consommation d'energie 2
I.3. Émissions de gaz a effet de serre 2
I.5. Impact sur la biodiversite 3
I.6.Utilisation des terres et deforestation 3
I.7.Pollution de l'air et de l'eau 3
I.8. Solutions et mesures d'attenuation 4
I.9 Conclusion 4

CHAPITRE II : PRESENTATION DU PROJET 5

II.1. INTRODUCTION 5
II.2.Objectif du projet 5
II.3.CARACTÉRISTIQUES DE LA LIGNE PROJETÉE 6
II.4 .CONCLUSION 6

CHAPITRE III : ETUDE GEOMETRIQUE 8

III.1 TRACE EN PLAN 8
III.1.1Introduction : 8
III.1.2. LES PARAMETRES DE TRACE DE VOIE : 8
III.1.3. LES ELEMENTS DU TRACE : 8
III.1.4 LES PARAMETRES GEOMETRIQUES : 10
III.1.5 INSUFFISANCE DE DEVERS : 10
III.1.6.EXCE DE DEVERS MAXIMAL ADMISSIBLE : 11
III.1.7. VARIATION DE DEVERS EN FONCTION DE LA LONGUEUR : 11
III.1.8. VARIATION DE L'INSUFFISANCE DE DEVERS : 11
III.1.9. Example de calcule : 12
III.2. PROFILE EN LONGUE 13
III.2 .1 Introduction 13
III.2.2 ELEMENTS DE PROFIL EN LONG : 13
III.2.3DECLIVITES : 13
III.2.4.LA LONGUEUR MINIMALE DE DECLIVITE : 14
III.2.5. RACCORDEMENTS CIRCULAIRES DE DECLIVITES : 14
III.2.6. Coordination profil en long-trace en plan 14
III.3. CONCLISION : 15

CHAPITRE IV : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE 18

IV.1. ETUDE GEOLOGIQUE 18
IV.1.1. Introduction 18
IV.1.2. Situation topographique 18
IV.1.3.Cadre géologique de la région : 18
IV.1.4Cadre sismique 19
IV.2. ETUDE GEOTECHNIQUE 20
IV.2. 1.Introduction 20
IV.2.2.Essai in situ : 20
IV.2. Interprétation des essais de laboratoire ; 23
IV.3. CONCLUSION 27

CHAPITRE V : ETUDE HYDRAULYQUE ET HYDRAULOGIQUE 28

V.1.Introduction..... 28
V.2Description hydrologique de la zone d'etude : 28
V.3Contexte hydrologique general : 28
V.4Le climat :..... 28
V.5.Les precipitations : 28
V.6.Pluviometrie : 28
V.7.PLUIES MAXIMALES ANNUELLES: 29
V.8.PRECIPITATION JOURNALIERE MAXIMALE:..... 29
V.9.ANALYSE DES PROPRIETES PHYSIQUE DES BASSINS HYDROGRAPHIQUE :..... 30
V.10.PLUIE DE COURT DUREES: 32
V.11.LE COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT (Cr) : 33
V.12.ESTIMATION DES DEBITS DE CRUE:..... 34
V.13.Resultat du dimensionnement des ouvrages hydrauliques a projeter : Assainissement transversal : 37
V.14.DIMENSIONNEMENT DES DALOTS*:* 37
V.15. REMBLAI ZONE INONDABLE: 39
V.17.CONCLUSION :..... 40

CHAPITRES VI : DIMENSSIONNEMENT DE LA SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE..... 41

VI.1. SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE 41
VI.3. CLASSIFICATIO DE LA PLATE-FORME..... 45
VI.4. CLASSE DE QUALITE DU SOL 45
VI.5.CLASSE DE PORTANCE DE LA PLATE-FORME 46
VI.6. APLICATION AU PROJET..... 47
VI.7. SYNTHESE..... 48
VI.8.CONCLUSION 50

CHAPITRES VII : TERASSEMENT ET OUVRAGES D'ARTS 51

VII.1.TERASSEMENT 51
VII.1.1 Introduction..... 51
VII.1.2.Decapage 51
VII.1.3. Pente de talus..... 51
VII.1.4. DEBLAI 52
VII.1.5. REMBLAI..... 53
VII.1.6. CALCUL DES CUBATURE DES TERASSEMENT..... 58
VII.2.1. OUVRAGE D ARTE :..... 59
VII.2.2. CRITERES DE CHOIX ET DE CONCEPTION DES OUVRAGE D ARTE 59
VII.3.CONCLUSION 60

CHAPITRES VIII : AMENAGEMENT DE LA GARE DE CROISEMENT 2..... 60

VIII.1. INTRODUCTION..... 60
VIII.2. GARAGE FRANC..... 60
VIII.3.LA LONGUEUR D'UNE VOIE DE STATIONNEMENT 60
VIII.4.LES HEURTOIRES 61
VIII.5. LA MARGE DE GLISSEMENT..... 61
VIII.6. QUAI..... 61
VIII.7. APPAREILLE DE VOIE..... 62
VIII.8. APLICATION AU PROJET..... 63
VIII.9. ASSAINISSEMENT..... 65
VIII.10.CONCLUSION 65

CHAPITRES IX : ELECTRIFICATION ET SIGNALISATION 66

IX.1. ELECTRIFICATION 66

IX.1.1Introduction 66

IX.1.2. ÉTUDE GÉOMÉTRIQUE, AVANT-PROJET DE PIQUETAGE 67

IX.1.3. RÈGLES ET NORMES UTILISÉES 68

IX.1.4 LONGUEUR DU CANTON DE POSE 68

IX.1.5DÉTÈRMINATION DES PORTÉES 69

IX.1.6PRINCIPES D'EQUIPEMENT EN 25 KV 75

IX.1.7. PENDULAGE CATENAIRE 76

IX.1.8. MISE SUR PLAN DE L'AVANT-PROJET DE PIQUETAGE 76

IX.1.9 DIMENSSIONEMENT DES SUPPORT CATENAIRE 77

CHAPITRE X : ETUDE DE L4IMPACTE SUR L'ENVIRONNEMENT 88

X .1.Introduction : 88

X .2.Les etapes de l'etude d'impact sur l'environnement en Algerie : 88

X .3.Objectif General : 89

X .4.Description du site et son environnement : 89

X .4.Evaluation des impacts previsibles et les mesures a prendre pour chaque phase de projet 90

X .5 Conclusion : 93

CHAPITRE XI : DEVIS ESTIMATIF 94

CONCLUSION GENERALE 96

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 97

..... 98

ANNEXE A 98

ANNEXE A 101

ANNEXE B 105

ANNEXE C 119

ANNEXE D 137

LISTE DES FIGURE

Figure II 1 Zone du projet 5

Figure IV 1 : site de projet _____ 18

Figure IV 2:carte géologique de la région de Saïda _____ 19

Figure IV 3::repartions des zones sismiques en Algérie _____ 19

Figure IV 4 courbe granulometrique _____ 26

Figure V 1:Carte des stations proches de notre zone d'étude (Source ANRH) _____ 29

Figure V 2:délimitation des bassins versant _____ 31

Figure V 3:Courbe intensité durée fréquences _____ 32

Figure V 4:remblai zone inondable _____ 39

Figure V 5: Plate forme ferovierre _____ *49*

Figure VI 1:Travers bibloc _____ ***Erreur ! Signet non défini.***
*Figure VI 2:Attache*_____ *43*

*Figure VII 1 Fs calculer avec SLIDE 6.0*_____ *54*
*Figure VII 2 : valeur du FS par rapport au déplacement*_____ *58*

Figure VIII 1 : Haurtoire _____ *61*
*Figure VIII 2 :Appareille de voie*_____ *62*
*Figure VIII 3 : localisation de la gare*_____ *64*
Figure VIII 4 : schema de l aparele de voie _____ *64*
*Figure VIII 5:Schéma de la gare de croisement*_____ *64*

Figure IX 1 :Desaxement alignement droit _____ *70*
Figure IX 2:Desaxement en alignement en courbe _____ *70*
*Figure IX 3:Schema du pondulage*_____ *76*
Figure IX 4 Direction des charges _____ *79*
Figure IX 5 : Diagramme de la signalisation _____ *85*

*Figure A 1: Devers calculer avec le logiciel Civil 3D*_____ *104*

*Figure C 1 :Schéma explicatif de l'application de la tension radiale*_____ *122*
*Figure C 2:Section HE*_____ *125*
Figure C 3:Efforts appliqués sur les 02 consoles _____ *131*
Figure C 4 : Sollicitations calculé à l'ELS et l'ELU du support avec deux consoles _____ *134*
*Figure C 5:Tableau des efforts appliqué a l'ELS*_____ *135*
Figure C 6: Tableau des efforts appliqué à l'ELU _____ *135*

Figure D 1:Longueur des pendules et la distance entre eux en fonction de la portée _____ *137*
Figure D 2:Pendulage type en coupe longitudinale _____ *138*
Figure D 3;Rapports largeur-épaisseur maximaux pour les parois comprimées (classification d'âme) _____ *138*
Figure D 4:Figure C.2. Rapports largeur-épaisseur maximaux pour les parois comprimées (classification de semelle) _____ *139*
Figure D 5:Courbes de flambement (EC3) _____ *139*
Figure D 6:Choix de la courbe de flambement selon les sections transversales _____ *140*
Figure D 7:Organigramme de calcul du coefficient de réduction χ _____ *140*

LISTE DES TABLEAUX

Tableau III 1 /valeur des vitesses selon le référentielle SNTF..... 8
Tableau III 2longueur minimale des alignements selon le référentielle SNTF 8
Tableau III 3/valeurs max des devers ,l'excès et l'insuffisance selon le référentielle SNTF 9
Tableau III 4/valeurs max de dévers 10
Tableau III 5:valeurs max de l'insuffisance selon le référentielle SNTF..... 11
Tableau III 6:valeurs max de l'excès selon le référentielle SNTF 11
Tableau III 7:Valeur max de la variation du devers selon le référentielle SNTF 11
Tableau III 8:Valeur max de la variation de l'insuffisance selon le référentielle SNTF 11
Tableau III 9:récapitulative des valeurs normales et exceptionnelle 12
Tableau III 10:Valeur des paramètres de la voie pour chaque rayon 13
Tableau III 11:Valeur des longueur minimales de déclivité selon le référentielle SNTF 14
Tableau III 12:valeurs de raccordement circulaire de déclivité selon le référentielle SNTF 14
Tableau III 13:Paramètre cinématique de profile en long 15

Tableau IV 1 : Liste des sondages *20*
Tableau IV 2:nature lithologique du sol par sondage carotte *21*
Tableau IV 3:nature lithologique du sol par puis de reconnaissance *21*
Tableau IV 4:résultats de l'essai SPT *22*
Tableau IV 5:qualifications de compacité du sol à partir de l'essai SPT (NF P 94-011) *22*
Tableau IV 6:Caractéristiques mécaniques mesurées dans les forages *22*
Tableau IV 7:Qualification de compacité du sol à partir de l'essai SP (NF P 94-011) *23*
Tableau IV 8:Résultats de l'essai de pénétration dynamique lourd *23*
Tableau IV 9:Type d'essais de laboratoire réalisés *24*
Tableau IV 10 :Résultats de l'analyse granulométrique et observations *24*
Tableau IV 11:valeurs limite de liquidité Indice de plasticité, et la classification du sol *25*
Tableau IV 12 : résultats de la densité sèche, la teneur en eau et la caractérisation du sol *25*
Tableau IV 13:Les caractéristiques de résistance au cisaillement rectiligne non consolide, non draine *25*
Tableau IV 14:valeurs du coefficient de compressibilité et de gonflement *25*
Tableau IV 15:résultats des analyses chimiques *26*
Tableau IV 16:Résultats des essais de laboratoire par puits *26*
Tableau IV 17:Récapitulatif de la Classification des Sols *27*

Tableau V 1:Caractéristiques géographiques de la station pluviométrique utilisée *29*
Tableau V 2:ajustement a une loi racine normale des pluies annuelle *29*
Tableau V 3:Quantiles de Pjmax station de BOUGTOUB *30*
Tableau V 4:tableaux récapitulatifs de caractéristique des BV *31*
Tableau V 5:valeurs des paramètres de MONTANA *32*
Tableau V 6:Valeur des intensités obtenues en mm⁄h *32*
Tableau V 7:Coeeficient de ruissellement *34*
Tableau V 8:coefficient de ruissellement *34*
Tableau V 9:Le tableau présente les différents débits pluviaux des différentes périodes de retour *36*
Tableau V 10:Coefficient de MANNING-STRICKLER *37*
Tableau V 11dimensionnements des ouvrages de drainage par la méthode de Mann-Strickler *38*

Tableau VI 1:Caractéristique de la superstructure de la voie *41*
Tableau VI 2:Caractéristique du rail *42*
Tableau VI 3:Epaisseurs des couches de forme selon la classe du sol et de la plate-forme *46*
Tableau VI 4:Paramètres de dimensionnement et leurs valeurs *47*
Tableau VI 5:Valeur des paramètres de dimensionnement *48*
Tableau VI 6:Les épaisseurs des diffèrent couche selon ST590B *48*

Tableau VII 1 valeurs des ongles de frottement SRF et la cohésion *56*
Tableau VII 2 : Volume des terrassements *58*
Tableau VII 3Volume de la terre végétale *58*
Tableau VII 4:Volume des matériaux des couche d'assise *58*
Tableau VII 5:Listing des ouvrages d'art *59*

Tablau VIII 1:Les appareilles de voie utiliser dans le projet *63*
Tablau VIII 2 Installation de la gare *65*

Tableau IX 1 :Les prtées selon la norme *69*

Tableau IX 2 condition climatique 77
Tableau IX 3 Caracteristique des catenaire donné par le fournisseure 77
Tableau IX 4 : Effort appliqué sur le support HEA240 80
Tableau IX 5 : Effort appliqué sur le support HEB240 81
Tableau IX 6 :Parametre necessaire pour le calcul des effors 82
Tableau IX 7 :Efforts appliqué sur le support HEA260 82

Tableau XI 1 : Tableau de calcul du devis estimatif 94
Tableau XI 2 : Tableau recapitulatif 95
Tableau XI 3: Montant totale 96

Tableau A 1 : listing axe en plan 101
Tableau A 2: Listing profil en long 102

Tableau C 1: : Valeurs des poids des differents cables 121
Tableau C 2:Tableau des force radiale 122
Tableau C 3:Tableau des charges du vent 123
Tableau C 4:Flèche en tête de support dues aux charges permanentes 124
Tableau C 5:Flèche au niveau du fil de contact due aux charges de vent 125
Tableau C 6:Contre flèche appliquée au support (cm) 125
Tableau C 7:Flèches dues aux charges permanentes et aux charges de vent 129
Tableau C 8:Paramètres de vérification de flexion simple (support avec 02 consoles) 129
Tableau C 9:Paramètres de vérification de flambement (support avec 02 consoles) 130
Tableau C 10:Paramètres de vérification de déversement (support avec 02 consoles) 130
Tableau C 11:Valeurs des forces et moments de torsion (Support avec 02 consoles) 131
Tableau C 12:Flèches due aux charges permanentes et aux charges de vent 132
Tableau C 13:Paramètres de vérification de flexion simple (support d'ancrage) 133
Tableau C 14:Paramètres de vérification de flambement (support d'ancrage) 133
Tableau C 15:Paramètres de vérification de déversement (support d'ancrage) 133

Tableau D 1Valeurs du paramètres d'imperfection 139

Abréviations et annotation Tracé en plan

Symbole	Désignation	Unité
Vv	Vitesse des trains les plus rapides (voyageurs)	km/h
Vm	Vitesse des trains les plus lents (marchandises)	km/h
Ve	Vitesse de référence	km/h
Lmis	Longueur minimum de l'alignement	m
Rmin	Rayon minimum de courbe	m
d	Dévers	mm
deby	Dévers théorique (dévers d'équilibre) pour les trains voyageurs	mm
drhas	Dévers théorique (dévers d'équilibre) pour les trains marchandises	mm
d	Dévers prescrit (pratique, normal)	mm
C	Coefficient de dévers	-
L	Longueur du clotoïde	m
A	Paramètre du clotoïde	-
1	Insuffisance de dévers	mm
Imax	Insuffisance de dévers maximale	mm
E	Excés de dévers	mm
Emat	Excés de dévers maximal	mm
Ad	Variation du dévers en fonction de la longueur	mm/m
Ad	Variation de dévers par rapport au temps	mm/s
At	Variation de l'insuffisance de dévers	mm/s
ΔI	Variation de l'insuffisance de dévers par rapport à la longueur	mm/m

Abréviations et annotations Géotechnique

Symbole	Désignation	Unité
F	Sondage carottier	-
SPT	Essai de pénétration au carottier	-
NO	Le nombre de coups nécessaires à un enfoncement d'amorçage de 0 à 15 cm	coups
NI	Le nombre de coups nécessaires à un enfoncement d'essai de 15 à 30 cm	coups
N2	Le nombre de coups nécessaires à un enfoncement d'essai de 30 à 45 cm	coups
NSPT	Résistance à la pénétration	-
PU	Puits de reconnaissance	-
SP	Sondage pressiométrique	-
PDL	Pénétromètre dynamique lourd	-
< 80 µm	Pourcentage des tamisas qui ont un diamètre inférieur a 80µm	%
<2 mm	Pourcentage des tamisas qui ont un diamètre inférieur à 2mm	%
Dmax	Diamètre maximal des granulats	mm
VBS	Valeur de bleu de méthylène	mg/g
WP	Limite de plasticité	%
WL	Limite de liquidité	%

con	Teneur en eau naturel	%
IP	Indice de plasticité	%
IC	Indice de consistance	%
γ	Poids volumique du sol	kN/m3
γd	Poids volumique du sol sec	kN/m3
γs	Poids volumique des particules solides	kN/m3
γw	Poids volumique de l'eau	kN/m3
CBR	California Bearing Ratio	%
QS1	Classe du sol	-
P1	Classe de la plateforme	-

Abréviations et annotations Hydraulique

Symbole	Désignation	Unité
S	Superficie d'un bassin versant	m²
P	Périmètre d'un bassin versant	m
Ke	Indice de compacité	-
Liq	La longueur du rectangle équivalent	Km
Hmin	Altitude minimale d'un bassin versant	m
Hmax	Altitude maximale d'un bassin versant	m
Hmoy	Altitude moyenne d'un bassin versant	m
ΔH	Le dénivelé	m
Ir	Pente moyenne	m/m
Cr	Coefficient de ruissellement	-
Lw	Longueur du talweg principal	Km
Tc	Temps de concentration	Heure
T	Période de retour de l'averse	ans
Qa	Débit d'apport	m³/s
Qs	Débit de saturation	m³/s
I	Intensité de pluie	mm/h
Sm	Surface mouillée de l'ouvrage	m²
Pm	Périmètre mouillé de l'ouvrage	m
Rh	Rayon hydraulique	m
i	Pente de pose de l'ouvrage	%
Kst	Coefficient de rugosité (coefficient de MANNING-STRICKLER)	-
Qps	Débit à plein section	m³/s
V	Vitesse d'écoulement	m/s

Abréviations et annotations électrification

Abréviation	Définition
EN	Européen Norme (Norme Européenne)
ELS	État Limite de Service
ELU	État Limite Ultime
Iy,z	Moment d'inertie
It	Moment d'inertie de torsion
Iw	Facteur de gauchissement
Msd	Moment fléchissant sollicitant de calcul
M$pl,(y,z)$	Moment résistant plastique de la section
Mcr	Moment critique de déversement
Nsd	Effort normal sollicitant de calcul
Pk	Point Kilométrique
RNV	Règlement Neige et Vent
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition (Système de contrôle et d'acquisition des données)
UIC	Union Internationale des Chemins de fer
Vsd	Effort tranchant sollicitant de calcul
α	Facteur d'imperfection pour le flambement (alpha)
$\lambda y,z$	Élancement géométrique pour le mode de flambement (lambda)
$\lambda y,\bar{z}$	Élancement réduit pour le mode de flambement (lambda)
λcr	Élancement critique d'Euler (lambda)
$\chi y,z$	Coefficient de réduction pour le mode de flambement considéré (khi)

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le transport joue un rôle crucial dans le développement des sociétés modernes. Il permet la mobilité des personnes, des biens et des idées, éléments essentiels à la croissance économique et au progrès social. En Algérie, le secteur des transports connait un essor remarquable, porté par des investissements importants visant à améliorer son efficacité et à contribuer au développement national. Dans ce contexte, le secteur ferroviaire se distingue par sa croissance fulgurante ces dernières années.

Ce projet présente la conception détaillée et l'étude approfondie d'une ligne ferroviaire à voie unique reliant les villes de Saïda et El Bayadh. Le tronçon concerné s'étend sur 15 kilomètres, du point kilométrique (PK) 55+000 au PK 70+000.

Un élément clé du projet est l'aménagement d'une gare de croisement au PK 65. Cette gare permettra une circulation fluide des trains en facilitant les croisements dans les deux sens. En complément, une étude d'électrification incluant un avant-projet de piquage a été réalisée afin d'envisager l'alimentation électrique future de la ligne.

La conception du projet s'appuie sur les normes rigoureuses de l'Union Internationale des Chemins de fer (UIC) et les recommandations de la Société Nationale de Transport Ferroviaire (SNTF) algérienne. Ces directives garantissent la sécurité, l'efficacité et la fiabilité maximales de la ligne ferroviaire. Pour concrétiser ces principes, le projet a été minutieusement élaboré à l'aide du logiciel Civil 3D 2015, un outil réputé pour sa précision et sa polyvalence en matière de conception géométrique.

L'importance de ce projet réside dans sa capacité à favoriser une liaison fluide entre Saïda et El Bayadh, stimulant la croissance économique et le progrès social dans ces régions. La ligne ferroviaire servira d'artère vitale, facilitant le transport des marchandises et des passagers, dynamisant ainsi le commerce et améliorant la qualité de vie des riverains.

Points clés du projet :

- Ligne ferroviaire à voie unique de 15 kilomètres reliant Saïda et El Bayadh
- Gare de croisement au PK 65 pour une gestion efficace du trafic
- Étude d'électrification pour une future alimentation électrique
- Respect des normes UIC et SNTF pour la sécurité et la fiabilité
- Utilisation du logiciel Civil 3D 2015 pour une conception géométrique précise

Ce projet témoigne d'un engagement fort pour l'amélioration des infrastructures de transport et le développement régional. Une fois construite, la ligne ferroviaire servira de catalyseur de progrès, reliant les communautés, stimulant la croissance économique et ouvrant la voie à un avenir plus prospère pour les villes de Saïda et El Bayadh.

Dans le chapitre recherche bibliographie de ce rapport, nous nous pencherons sur les impacts environnementaux de l'augmentation de la vitesse ferroviaire. Nous analyserons les différents aspects de cette problématique, notamment la consommation d'énergie, les émissions de gaz à effet de serre, le bruit et la pollution du sol. Nous évaluerons également les solutions potentielles pour minimiser ces impacts et assurer une croissance durable du transport ferroviaire en Algérie.

CHAPITRE I RECHERCHE BIBIOGRAPHIQUE :

Impacts de l'augmentation de la vitesse ferroviaire sur l'environnement

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBIOGRAPHIQUE : Impacts de l'augmentation de la vitesse ferroviaire sur l'environnement

I.1Introduction

L'augmentation de la vitesse ferroviaire est souvent perçue comme une solution efficace pour améliorer la connectivité, réduire les temps de trajet et encourager l'utilisation des transports publics. Cependant, cette amélioration n'est pas sans conséquences sur l'environnement. Ce document explore les divers impacts environnementaux de l'augmentation de la vitesse ferroviaire, en examinant des aspects tels que la consommation d'énergie, les émissions de gaz à effet de serre, le bruit, la biodiversité, et d'autres facteurs environnementaux connexes.

I.2Consommation d'énergie

I.2.1. Augmentation de la demande énergétique

L'augmentation de la vitesse ferroviaire entraîne une augmentation significative de la consommation d'énergie. Les trains à grande vitesse nécessitent plus d'énergie pour atteindre et maintenir des vitesses élevées en raison de la résistance accrue de l'air et de la friction sur les rails.

I.2.2. Sources d'énergie et impacts environnementaux

La source de cette énergie joue un rôle crucial dans l'impact environnemental global. Si l'électricité utilisée provient de sources renouvelables, l'impact est moins sévère comparé à l'utilisation de combustibles fossiles. Cependant, la dépendance aux énergies fossiles reste prédominante dans de nombreux pays, contribuant ainsi à une augmentation des émissions de CO2.

I.3. Émissions de gaz à effet de serre

I.3.1. Comparaison avec d'autres modes de transport

Bien que les trains à grande vitesse émettent moins de CO2 par passager-kilomètre comparés aux avions et aux voitures, leur augmentation de vitesse peut rendre cette différence moins marquée. Les émissions indirectes, telles que celles provenant de la production d'électricité nécessaire pour alimenter les trains, doivent également être prises en compte.

I.3.2. Effets sur le changement climatique

Les émissions accrues de gaz à effet de serre, dues à une consommation énergétique plus élevée, contribuent directement au changement climatique. La réduction des émissions est donc un défi majeur pour les opérateurs ferroviaires cherchant à augmenter la vitesse de leurs trains.

I.4Pollution sonore

I.4.1. Sources de bruit

Les trains à grande vitesse génèrent un niveau de bruit significativement plus élevé que les trains conventionnels. Les principales sources de bruit incluent le bruit aérodynamique et le bruit de roulement.

I.4.2. Impact sur les communautés

Le bruit excessif a des effets néfastes sur les communautés situées à proximité des voies ferrées. Cela peut entraîner des problèmes de santé comme le stress, des troubles du sommeil et des maladies cardiovasculaires.

I.5. Impact sur la biodiversité

I.5.1. Fragmentation des habitats

La construction de nouvelles lignes à grande vitesse peut entraîner la fragmentation des habitats naturels, perturbant ainsi les écosystèmes locaux. La barrière physique créée par les voies ferrées empêche la libre circulation des espèces animales.

I.5.2. Collision avec la faune

Les trains à grande vitesse augmentent le risque de collisions avec la faune, ce qui peut entraîner des pertes significatives de biodiversité. Les espèces les plus affectées sont celles qui traversent fréquemment les voies ferrées.

I.6.Utilisation des terres et déforestation

I.6.1. Construction de nouvelles infrastructures

L'augmentation de la vitesse ferroviaire nécessite souvent la construction de nouvelles lignes, ce qui implique l'utilisation de grandes étendues de terre. La déforestation et la destruction de zones naturelles pour faire place aux voies ferrées ont des impacts environnementaux significatifs.

I.6.2. Perte de terres agricoles

Outre la déforestation, la construction de lignes à grande vitesse peut également entraîner la perte de terres agricoles, affectant ainsi la production alimentaire et la biodiversité des sols.

I.7.Pollution de l'air et de l'eau

I.7.1. Polluants atmosphériques

Les trains à grande vitesse peuvent contribuer à la pollution de l'air, non seulement par leurs émissions directes, mais aussi par celles générées lors de la construction et de l'entretien des infrastructures ferroviaires.

I.7.2. Contamination des eaux

Les activités de construction et d'entretien peuvent également entraîner la contamination des sources d'eau locales par des produits chimiques, des huiles et d'autres polluants.

I.8. Solutions et mesures d'atténuation

I.8.1. Utilisation d'énergies renouvelables

Pour atténuer l'impact environnemental, il est crucial de passer à des sources d'énergie renouvelables pour alimenter les trains à grande vitesse. Les énergies solaires, éoliennes et hydroélectriques peuvent réduire les émissions de CO2.

I.8.2. Technologies de réduction du bruit

L'adoption de technologies avancées pour réduire le bruit, telles que les barrières acoustiques et les améliorations aérodynamiques des trains, peut diminuer les impacts sonores sur les communautés locales.

I.8.3. Planification écologique

La planification des nouvelles lignes ferroviaires doit inclure des évaluations environnementales rigoureuses pour minimiser la fragmentation des habitats et les impacts sur la biodiversité. Des passages pour la faune et des corridors écologiques peuvent être intégrés pour permettre la libre circulation des animaux.

I.9 Conclusion

L'augmentation de la vitesse ferroviaire offre des avantages significatifs en termes de connectivité et de réduction des temps de trajet. Cependant, elle présente également des défis environnementaux importants. Une approche équilibrée, combinant des technologies innovantes et des pratiques durables, est essentielle pour minimiser les impacts négatifs sur l'environnement. La transition vers des sources d'énergie renouvelables, la mise en œuvre de mesures de réduction du bruit et la planification écologique sont des étapes cruciales pour assurer un avenir où les trains à grande vitesse peuvent coexister harmonieusement avec l'environnement.

CHAPITRE II
PRESENTATION DU PROJET

CHAPITRE II : PRESENTATION DU PROJET

II.1. INTRODUCTION

Dans le cadre de son programme de développement des transports ferroviaires, inscrit dans le plan quinquennal du secteur des transports en Algérie, l'ANESRIF entreprend la restructuration du réseau ferroviaire national en modernisant plusieurs lignes dans les wilayas de Saïda, El Bayadh et Naama. Les lignes concernées comprennent Saïda / Tiaret, Saïda / Mohammadia, Saïda / Moulay Slissen, El Bayadh / Mécheria, El Bayadh / Djelfa et Redem Demouche / Mécheria.

Ce plan de développement inclut également la construction d'une nouvelle ligne électrifiée mixte (pour voyageurs et marchandises) entre Saida et El Bayadh. Cette nouvelle ligne desservira les villes de Saida, Ain El Hadjar, Sidi Ahmed, El Kheither, Bougtob et/ou El Biodh, Kef El Ahmar, El Bayadh, sur une distance d'environ 200 km, avec une vitesse d'exploitation de 220 km/h

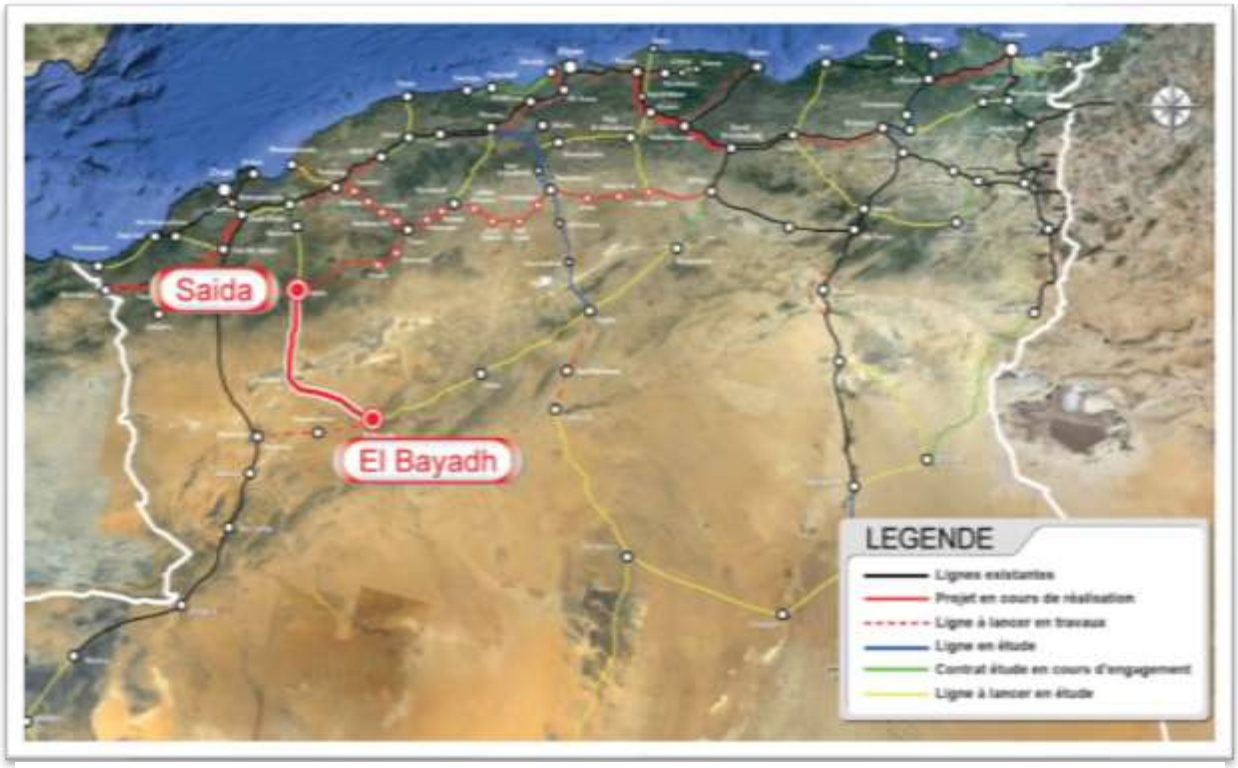


Figure II 1 Zone du projet

II.2.Objectif du projet

L'objectif de l'étude est d'améliorer les performances du chemin de fer, de désenclaver et de développer les régions du sud, de réduire les temps de trajet pour les usagers et de libérer des espaces pour les gestionnaires de la ville. De plus, elle vise à améliorer les conditions d'exploitation, à faciliter le transport de carburants et de marchandises, et à garantir un haut niveau de performance, de sécurité et de compétitivité pour le transport ferroviaire, en tenant

compte d'une vitesse significativement augmentée de 220 km/h et d'un profil adapté à l'électrification.

II.3.CARACTÉRISTIQUES DE LA LIGNE PROJETÉE

Voici les caractéristiques de conception de la ligne ferroviaire :

Vitesse prévue :

- Pour les trains de voyageurs : 220 km/h
- Pour les trains de marchandises : 100 km/h

Longueur maximale des trains de marchandises : 800 mètres

Ecartement standard des rails : 1435 mm en alignement

Entre axes des rails : 4,20 mètres

Charge admissible à l'essieu :

- Pour l'infrastructure : 22,5 tonnes
- Pour les ouvrages d'art : 25,0 tonnes

Profil de la voie (rampes et pentes) :

- En pleine voie : Souhaitable : 12 ‰ / Maximale : 16 ‰
- Au niveau des gares : 0 ‰

Longueur utile des voies : 1200 mètres

Concernant les ouvrages d'art et les tunnels, ils sont prévus pour une ligne à double voie.

II.4 .CONCLUSION

La création de liaisons ferroviaires entre les villes joue un rôle important dans le développement économique régional. La mise en place de la ligne ferroviaire reliant les wilayas de Saida à El Bayadh constitue un projet essentiel pour asumuler l'activité économique et résoudre les problèmes de transport dans la région.

Les prochains chapitres de l'étude aborderont en détail les aspects techniques, environnementaux et financiers, conformément aux normes en vigueur dans le domaine du transport ferroviaire. De plus, un devis estimatif des coûts du projet sera élaboré à l'intention du maître d'ouvrage.

CHAPITRE III

ETUDE GEOMETRIQUE

CHAPITRE III : ETUDE GEOMETRIQUE

III.1 TRACE EN PLAN

III.1.1Introduction :

Le plan de la voie ferrée représente une projection orthogonale de l'ensemble des points sur un plan horizontal. Ce plan est habituellement composé d'une succession de segments droits et de courbes circulaires, qui sont connectés par des courbes de transition progressives. La conception de tout plan de voie ferrée doit être conforme aux directives établies par les normes de la SNTF

III.1.2. LES PARAMETRES DE TRACE DE VOIE :

Pour un trafic mixte on distingue

✓ Vv= vitesse des trains rapides (voyageurs).

✓ Vm= vitesse des trains lents (marchandises).

➔ Dans ce projet on choisit :

Tableau III 1 /valeur des vitesses selon le référentielle SNTF

Vitesse de train rapides (VOYAGEUR)	**220km/h**
Vitesse des trains lents (MARCHANDISES)	**100 km/h**

III.1.3. LES ELEMENTS DU TRACE :

L'axe du tracé en plan est constitué d'une succession des alignements droits, des liaisons (courbes de raccordements) et des arcs de cercles.

- **ALIGNEMENT :**

Pour garantir le confort et la sécurité des usagers, on a le longueur minimale selon le référentielle SNTF montré dans le tableau suivant

Tableau III 2. Longueur minimale des alignements selon le référentielle SNTF

Valeur normale	**V/2 =110m**
Valeur exceptionnelle	**V/3 =73,33 m**

Lmin=$\frac{Vv}{2} = \frac{220}{2} = 110\ m$ donc Lmin= 110 m

- **L'ARC DE CERCLE :**

La laissions entres ces alignements droits de fait avec des raccordements circulaires

- ✓ *Le rayon minimum*

Selon le référentielle de la SNTF, le rayon minimum doit satisfaire à la condition suivante

$$\frac{11.8 \times Vmin^2}{dmax-E} \geq \text{Rmin} \geq \frac{11.8 \times \text{Vmax}^2}{Dmax+I}$$

- R : rayon de courbe(m).
- V : vitesse (Km/h).
- I : insuffisance de dévers (mm).
- E : Excès de dévers (mm).
- D max : Devers maximum (mm).

Tableau III 3.Valeurs max des devers, l'excès et l'insuffisance selon le référentielle SNTF

La valeur maximale de divers	**160mm**
Valeur maximale d'insuffisance	**150mm**
Valeur maximale d'excès	**110mm**

$$\text{R min} \geq \frac{11,8 \times 220^2}{160+150} = 1843\text{m} \qquad 1843\text{mm} \leq \text{Rmin}$$

$$\text{R min} \leq \frac{11,8 \times 100^2}{160-110} = 2360\text{m}$$

- **COURBE DE RACCORDEMENT :**

- ✓ La longueur de raccordement :

C'est la longueur du clothoïde qui permettre le raccordement d'alignement avec la courbe circulaire en respectant les conditions sur le déverse :

$$L \geq \max\left(\frac{dp}{\left(\frac{dd}{dl}\right)max} ; \frac{dp*V}{3.6*\left(\frac{dd}{dt}\right)max} ; \frac{I*V}{3.6*\left(\frac{dI}{dt}\right)max}\right)$$

L en (m)

$$^{dd}/_{\Delta t} = \text{variation de dévers en (mm) est recommandé}$$

L'expression mathématique de clothoïde :

$$A^2 = \text{LRP} \times \text{R}$$

Avec • A : paramètre de clothoïde.

• LRP: Longueur de clothoïde(m).

• R : rayon de courbe (m).

La longueur de la clothoïde doit être déterminée à partir des valeurs limites imposées par la

Variation de dévers $\frac{\Delta d}{\Delta l}$ selon la formule : $L \geq \frac{dp}{(\Delta d / \Delta l)}$

III.1.4 LES PARAMETRES GEOMETRIQUES :

- **Le Dévers :**

Le dévers compense la force centrifuge en courbe, assurant la stabilité et le confort des trains, nul en alignement droit

- **Le devers théorique :**

$$dth = \frac{11,8V^2}{R} \text{ (mm)}$$

- **Le devers pratique :**

Son role est

✓ Assurer le confort des usagers

✓ Eviter la fatigue excessive de la voie

$$dp = \frac{1000 * C}{R}$$

• R : Rayon de la courbe(m).

• C : coefficient de dévers. C= 0.006V²

• V : la vitesse de voyageurs maximale (Km/h)

POUR notre projet on a :

$C = 0.006 \times Vmax^2 = 290,40$ avec 285/15 =19

Et on vérifier que $0,5 \leq \frac{c}{0,0118 * Vmax^2} \leq 0,7$ les conditions sont vérifiées

Tableau III 4.Valeurs max de dévers

La valeur maximale de divers	160 mm

III.1.5 INSUFFISANCE DE DEVERS :

On limite l'insuffisance de dévers afin d'assurer la sécurité des circulations, le confort de voyageurs et un cout raisonnable de l'entretien de la voie.

Tableau III 5:valeurs max de l'insuffisance selon le référentielle SNTF

Valeur maximale normale	150 mm
Valeur maximale exceptionnelle	160 mm

III.1.6.EXCE DE DEVERS MAXIMAL ADMISSIBLE :

D'après le référentielle SNTF on a le tableau suivant

Tableau III 6:valeurs max de l'excès selon le référentielle SNTF

Valeur maximale normal	**110 mm**
Valeur maximale exceptionnelle	**130 mm**

Dans les zones de variation du devers, on doit limiter la pente relative ou profile en long du rail déversé par rapport de l'axe de la voie :

$$E = dp - \frac{11{,}8 * v^2}{R}$$

III.1.7. VARIATION DE DEVERS EN FONCTION DE LA LONGUEUR :

Exprimé en [mm/m], il nous donne la variation du devers par rapport à la longueur, la formule est : $\frac{Dd}{Dl} = \frac{dp}{L}$

Tableau III 7:Valeur max de la variation du devers selon le référentielle SNTF

Valeur maximale normale	**180/v = 0,82**
Valeur maximale exceptionnelle	**216/v = 0,98**

III.1.8. VARIATION DE L'INSUFFISANCE DE DEVERS :

On détermine cette variation à partir de la formule suivante :

- $\frac{dI}{dt} = \frac{I * V}{3.6 * L}$ Entre alignement et courbe

Tableau III 8:Valeur max de la variation de l'insuffisance selon le référentielle SNTF

Valeur maximale normale	**75 mm/s**
Valeur maximale exceptionnelle	90mm/S

III.1.9. Example de calcule :

Pour les vitesses.

- Vitesse des trains rapides 220 km/k
- Vitesse des trains lents 100 km/h

Le tableau suivant résume les valeurs normale et maximale recommandés pour les différents paramètres

Tableau III 9:récapitulative des valeurs normales et exceptionnelle

Paramètre	Valeur maximale normale	Valeur maximale exceptionnelle
d (mm)	160	180
E (mm)	110	130
I (mm)	150	160
$\boldsymbol{dd/_{dl}}$ $\boldsymbol{(mm/m)}$	$180/V = 0{,}82$	216/V=0,98
$\boldsymbol{dd/_{dt}}$ $\boldsymbol{(mm/s)}$	50	60
$\boldsymbol{dd/dt(mm/s)}$	75	90

<u>Pour le rayon 2000 :</u>

Comme exemple on a R= 2000m

1. On calcule le devers théorique : dth= $\frac{11{,}8*v^2}{R} = \frac{11{,}8*220^2}{2000}$ = 285,56=286mm

2. On calcule le devers pratique :dp=$\frac{1000*C}{R} = \frac{1000*285}{2000} = 143mm$ < 160mm → vérifier
3. L´insuffisances :I=: dth – dp =286-143=143mm <150 mm → vérifier
4. L'excès : E= $dp - \frac{11{,}8*Vm^2}{R}$=$143 - \frac{11{,}8*100^2}{2000}$ =84mm <110mm → vérifier
5. Calcule de la longueur de clothoïde (L) et paramètre de clothoïde (A)

$L \geq \frac{dp*Vmax}{3{,}6*\frac{dd}{dt}} = \frac{143*220}{3{,}6*50} = 174{,}78m$ donc en prend L= 178 m

A=$\sqrt{L*R}$ =$\sqrt{2000*178}$ = 596,66m

6. Vérification du déverse : $\frac{dd}{dl} = \frac{143}{178} = 0{,}80mm/m < 0{,}82mm/m$
7. Vérification de variation de l'insuffisance :

$\frac{dl}{dt} = \frac{I*V}{3{,}6*l} = \frac{143*220}{3{,}6*178} = 49mm/s < 75mm/s$

Tableau III 10:Valeur des paramètres de la voie pour chaque rayon

LES RAYON (m)	c	dp retenu (m)	E (m)	I (m)	L retenu (m)	A	$\frac{dd}{dl}$ (mm/m)	$\frac{dl}{dt}$ (mm/s)
3500	285	82	48	82	100	591,61	0,81	50
2400	285	119	70	119	146	591,95	0,81	50
2000	285	143	84	143	187	596,66	0,80	49

III.2. PROFILE EN LONGUE

III.2 .1 Introduction

Le profil en long, illustration de la pente d'une voie ferrée, est essentiel pour un projet ferroviaire réussi. Il optimise les terrassements, assure la sécurité et le confort des usagers, tout en contribuant à l'équilibre économique et à la viabilité du projet.

III.2.2 ELEMENTS DE PROFIL EN LONG :

Le profil en long d'une voie ferrée se compose d'éléments géométriques essentiels à sa conception :

- **Points Kilométriques (PK):** Repères indiquant la distance le long de la voie.
- **Altitude:** Hauteur de la voie par rapport à un niveau de référence (niveau de la mer).
- **Déclivités:** Pentes ou rampes exprimant l'inclinaison de la voie (en % ou ‰).
- **Paliers:** Sections horizontales ou quasi-horizontales de la voie.
- **Courbes de raccordement:** Relient les sections droites aux courbes pour faciliter le passage d'une pente à l'autre.
- **Courbes circulaires:** Arcs de cercle permettant de changer la direction de la voie.
- **Rayons de courbure:** Déterminent la courbure de la voie pour la sécurité et le confort des passagers.
- **Paraboles de raccordement:** Adoucissent le passage d'une pente à l'autre, souvent entre une section droite et une courbe.

III.2.3DECLIVITES :

La déclivité, ou pente d'une voie ferrée, est réglementée selon sa longueur :

Moins de 3000 mètres:

- Déclivité standard : 16 ‰ (maximum)
- Exceptionnellement : 18 ‰ (maximum)

Entre 3000 et 15000 mètres:

- Déclivité admissible : de 16 ‰ à 13 ‰
- Exceptionnellement : de 18 ‰ à 15 ‰

Plus de 15000 mètres:

- Déclivité standard : 13 ‰ (maximum)
- Exceptionnellement : 15 ‰ (maximum)

III.2.4.LA LONGUEUR MINIMALE DE DECLIVITE :

Pour minimiser les oscillations des trains, la SNTF impose une longueur minimale de déclivité constante. La formule dépend de la vitesse de conception (V) en km/h:

Tableau III 11:Valeur des longueur minimales de déclivité selon le référentielle SNTF

Valeur minimale normal	V/2 =110m
Valeur minimal exceptionnelle	V/2,5= 88m

III.2.5. RACCORDEMENTS CIRCULAIRES DE DECLIVITES :

Les courbes relient les pentes du profil en long, assurant une transition douce.

Le rayon minimum de ces courbes est crucial pour limiter l'accélération ressentie par les passagers et garantir leur confort et leur sécurité.

Le tableau ci-dessous indique les valeurs minimales à respecter.

Tableau III 12:valeurs de raccordement circulaire de déclivité selon le référentielle SNTF

	Valeur de rayon verticale
Valeur normal	$\mathbf{0,35V^2}$
Valeur exceptionnelle	$\mathbf{0,25V^2}$
Point particulier à des vitesses inférieures à 140km/h	$\mathbf{0,15\ V^2}$

• V : vitesse des trains de voyageurs.

➔ Pour notre projet :

Rmin= 0.35× V^2 = 0.35 × 220^2 =16940 m

III.2.6. Coordination profil en long-trace en plan

Éviter les coïncidences:

- Ne pas superposer les changements de déclivité et de rayon.
- Privilégier les alignements droits ou courbes continues pour les changements de déclivité.

Gestion des points singuliers:

- Éviter les points singuliers du tracé (intersections, etc.) après un point haut du terrain.

Gares:

- Prévoir un palier de 800 à 1200 mètres pour les gares, facilitant l'accès et l'exploitation des trains.

Tableau III 13:Paramètre cinématique de profile en long

	Valeur normale	**Valeur exceptionnelle**
Vitesse (km/h)	220	/
Rayon de raccordement en profile minimum (m)	17000	12100
Longueurs minimales des pentes /rampes (m)	110	88
Déclivité maximum des pentes/rampes en pleine voie (‰)	16‰	18‰
Déclivité maximum des pentes/rampes en gare et évitement (‰)	0‰	/

III.3. CONCLISION :

La géométrie de la voie ferrée est cruciale pour la sécurité des trains, permettant des vitesses élevées tout en minimisant les risques de déraillement. Elle influence également le confort des passagers, avec des trajets plus doux et moins de vibrations. Une conception et une maintenance optimales de la géométrie réduisent les coûts et la fréquence de l'entretien. En somme, elle est essentielle pour l'efficacité et la durabilité du réseau ferroviaire

CHAPITRE IV

ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

CHAPITRE IV : ETUDE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE

IV.1. ETUDE GEOLOGIQUE

IV.1.1. Introduction

Une étude géologique est étroitement liée à une étude géotechnique, mais elle a une portée un peu plus large. Elle se concentre sur la composition générale du sol et des roches sous-jacentes d'une zone particulière, et pas seulement sur le site d'un projet de construction spécifique.

Voici les objectifs d'une étude géologique :

- Comprendre la formation géologique
- Identifier les ressources naturelles
- Evaluation des risques géologiques

IV.1.2. Situation topographique

Notre zone d'étude se situe dans le sud de la wilaya de Saïda, le long du tracé reliant cette dernière à la wilaya d'El Bayadh. Ce tracé passe par Oued Lahdjar, Masbah, El Khitar, Bouktab et Kef Lahmar.



Figure IV 1 : site de projet

IV.1.3.Cadre géologique de la région :

Le tracé du nouveau projet de ligne ferroviaire reliant les wilayas de Saida et d'El Bayadh, d'une longueur approximative de 200 km, traverse un environnement géologique marqué par la présence de l'Atlas tellien plissé et de l'Atlas saharien. D'un point de vue structural, le projet se situe entre deux unités tectoniques majeures, séparées par l'accident sud-atlasique et l'accident nord-atlasique. La zone d'étude de notre projet se trouve principalement dans le domaine des Hauts Plateaux, à l'exception d'une petite section qui s'étend dans le domaine de l'Atlas Saharien

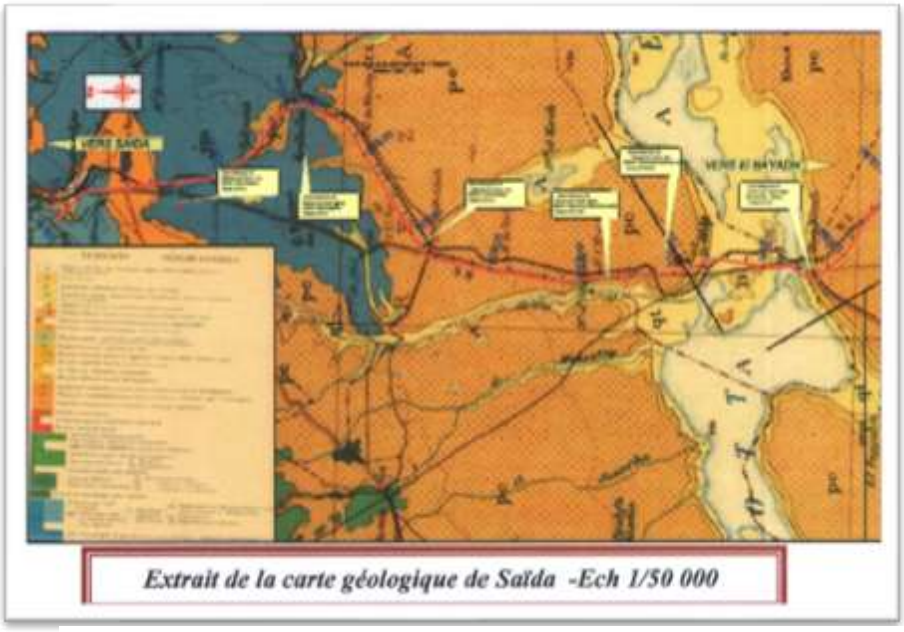


Figure IV 2:carte géologique de la région de Saïda

IV.1.4Cadre sismique

Règlement Parasismique Algérien (RPA 99/version 2003), document technique réglementaire (B.C2.48), définit un système détaillé de classification des zones sismiques, présenté en annexe. Ce système divise le territoire national en cinq (05) zones de sismicité croissante, à savoir :

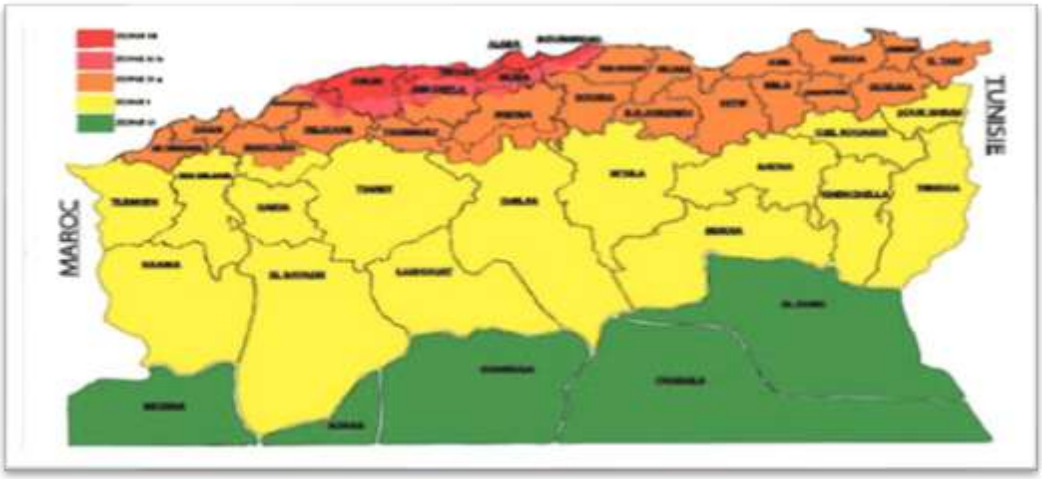


Figure IV 3::repartions des zones sismiques en Algérie

- Zone 0 : sismicité négligeable.
- Zone Ila et Ilb : sismicité moyenne.
- Zone I : sismicité faible.
- Zone III : sismicité élevée.

Ces zones sont réparties elles même par wilaya et par des groupes de commune.

La wilaya de Saïda compote un seul groupe classé en zone I (sismicité Faible).

IV.2. ETUDE GEOTECHNIQUE

IV.2. 1.Introduction

Une étude géotechnique est une investigation détaillée des propriétés du sol et du sous-sol sur un site de construction. Elle joue un rôle crucial dans la conception et la réalisation de projets d'infrastructure durables et sûrs, comme la construction d'une nouvelle ligne ferroviaire.

Voici les principaux objectifs d'une étude géotechnique dans le cadre de votre projet de ligne ferroviaire :

- Caractérisation du sol
- Évaluation des risques
- Conception des fondations
- Optimisation des coûts de construction

IV.2.2.Essai in situ :

L'objectif de cette campagne est d'insérer des instruments à des points spécifiques de forages afin de mesurer les caractéristiques des sols ou des roches. Les essais in-situ consistent en des mesures physiques réalisées directement sur le terrain. Ils comprennent principalement l'essai pressiométrique, effectué dans un sondage, et l'essai pénétrométrique, qui mesure la résistivité du sol par enfoncement d'une pointe.

Tableau IV 1 : Liste des sondages

Travaux et le nombre de sondage	sondage	**PK**
Sondage carotté	F01 bis	65 + 800
Sondage pressiométrique	SP07	52 + 460
Essais de pénétration dynamiques lourd	PDL16 PDL17	44 + 038 47 + 690
Puis de reconnaissance	PU18 PU19 PU20	54 + 600 65 + 000 74 + 000

En outre, des essais de vérification de la compacité du terrain ont été effectués, notamment des essais de plaque et l'utilisation d'un pénétromètre léger de type Panda.

En résumé, la campagne de reconnaissance géotechnique in-situ a inclus des sondages carottés avec essais SPT, des sondages pressiométriques, des essais au pénétromètre dynamique lourd jusqu'au refus, ainsi que des puits de reconnaissance.

1. Interprétation de la reconnaissance In-Situ:

a. Nature géologique du terrain:

- **Par sondages carottés :**

Les coupes lithologiques établies lors de l'exécution des sondages carottés, montrent ce qui suit

Tableau IV 2:nature lithologique du sol par sondage carotte

N du sondage	Profondeur m)	Nature
F01-bis	0.00 -3.50 3.50 - 5.50 5.50 - 5.80	Tuf blanchâtre Tuf sableux limoneux blanchâtre à rougeâtre Calcaire blanchâtre
F12-SB	0.00 -0.30 0.30 -3.00 3.00 -15.00	Terre végétale. Tuf beige à blanchâtre consolidé grésifié entre (0.7 et 1.2) m récupéré sous forme de fragments. Argile limoneuse brunâtre compacte, ferme vers la base, carbonatée, parfois cailloux consolidés.

- **Par Puits de reconnaissance :**

Les coupes lithologiques établies lors de l'exécution des prélèvements par puits, montrent ce qui suit

Tableau IV 3:nature lithologique du sol par puis de reconnaissance

N du puis	Profondeur en m	Nature
PU18	0.00 -3.90	Argile sablo-limoneuse brunâtre, ferme avec concrétions carbonaté et cailloux consolidés.
PU19	0.0 -0.20 0.20 -0.70 0.70	Terre végétale Tuf grésifié blanchâtre dure. Refus à 0,7m.
PU20	0.0 -0.20 0.20 -3.90	Terre végétale Argile limoneuse marron à blanchâtre, compacte, carbonaté avec cailloux consolidé.

- **Pénétration dynamique :**

Les essais effectués sur le site du projet (trois au total) indiquent que le terrain se caractérise par des résistances dynamiques de pointe variables, qui augmentent rapidement avec la profondeur jusqu'à atteindre un refus entre 0,80 mètre et 1,00 mètre (avec une résistance maximale de 908,33 bars).

- **Essai de pénétration standard SPT**

Tableau IV 4:résultats de l'essai SPT

N de sondage	PK	Profondeur (m)	N0	N1	N2	N1+N2
F01	65+800	3.00-3.45 6.00-6.45 12.00-12.45	11 13 R	18 20 -	25 28 -	43 48 Refus

- **Interprétation des résultats :**

Tableau IV 5:qualifications de compacité du sol à partir de l'essai SPT (NF P 94-011)

Etat du sol	Nspt
Très lâche	**< 4**
Lâche	**4 à 10**
Moyennement dense	**10 à 30**
Dense	**30 à 50**
Très dense	**> 50**

D'après les précédents résultats et la norme NF P 94-011 l'état de notre sol est dense

- **Essais pressiométriques:**

Les tableaux suivants donnent les caractéristiques mécaniques mesurées dans les forage

Tableau IV 6:Caractéristiques mécaniques mesurées dans les forages

Profondeur (m)	Module de déformation E en (Bars)	Pression limite /PL en (Bars)	Pression de fluage Pf En (Bars)	E/PL
2,0	328,88	22.15	14.12	14,85
4,0	372,47	29.64	21.08	12,57
6,0	1142,06	49,37	49,37	23,13
8,0	1248,54	49,57	49,57	25,18
10,0	1232,62	49,77	49,77	24,77
12,0	1458,79	46,02	46,02	31,70
14,0	1328,05	30,29	30,29	42,48

- **Interprétation des résultats**

Tableau IV 7:Qualification de compacité du sol à partir de l'essai SP (NF P 94-011)

Etat du sol	Pl (MPA)
Très lâche	< 0.2
Lâche	0.2 à 0.5
Moyennement dense	0.5 à 1
Dense	1 à 2
Très dense	> 2

D'après les précédents résultats et la norme NF P 94-011 l'état de notre sol est dense

- **Essai de pénétration dynamique lourd PDL**

Tableau IV 8:Résultats de l'essai de pénétration dynamique lourd

Essai	Niveau d'eau	Profondeur (m)	Resistance du point Rp (bar)	
PDL 16	-	0 – 1 Refus à 1 m	40	800
PDL 17	-	0.0 – 0.4 Refus à 0.4 m	50	800

- **Interprétation des résultats :**

Les résultats de l'étude géotechnique révèlent des conditions de sol favorables pour le projet de construction envisagé. La résistance à la pénétration (Qd) du sol présente une tendance à la hausse dans la couche superficielle comprise entre 0,00 et 1 mètre. De plus, aucune présence d'eau n'a été constatée lors des sondages

IV.2. Interprétation des essais de laboratoire ;

Lors de l'étude géotechnique, une stratégie d'échantillonnage rigoureuse a été mise en œuvre afin de prélever un maximum d'échantillons intacts et remaniés pour chaque unité lithologique rencontrée. Le nombre d'échantillons collectés par unité a été déterminé en fonction de l'homogénéité observée des couches de sol.

Tous les échantillons de sol prélevés lors de la campagne de sondages ont été soigneusement transportés au laboratoire pour un examen plus approfondi. Après une inspection visuelle minutieuse, des échantillons jugés représentatifs ont été sélectionnés pour une série d'essais physiques, mécaniques et chimiques. Ces essais ont été réalisés conformément aux normes indiquées dans le tableau suivant

Tableau IV 9:Type d'essais de laboratoire réalisés

Type	Norme
Densités sol et roc	NF P94-053/ NF P94-064
Teneur en eau naturelle	NF P94-050
Analyse granulométrique moyenne	NF P94-041
Analyse sédiment métrique	NF P94-057
Limite d'Atterberg	NF P94-051.
Essai (VBS) valeur de bleu méthylène	NF P94-068
Proctor normal et modifié	NF P94-093
Portance CBR (3 énergies)	NF P94-078
Essai de cisaillement rectiligne UU	Mode opératoire MS-L3- LCPC
Essai de cisaillement rectiligne CD	NF P94-071-1
Essai œdométrique	NF P94-090-1
Essai de compression uni axial (sol et roc)	NF P94-077 / NF P94-420
Matières organiques	NF P 94-055, P 94-058 et XP P 94-047
Teneur en sulfates	NF ISO 11048
Teneur en carbonate	NF P94-048
Teneur en chlorures	NF EN 196-2

1.Interprétation des essais de laboratoire par sondages carottées ;

➢ Granulométrique & Sédimentation :

Les résultats de 1'analyse granulométrique des échantillons sont donnes par le tableau suivant :

Tableau IV 10 : Résultats de l'analyse granulométrique et observations

SC N°	Profondeur (m)	<80µ %	Observation
F01-bis	3.40-3.70	49	Granulométries étalées constitues de sable argileux Graveleux caillouteux
	9.70-10.00	13	Granulométries étalées constitues de sable légèrement argileux graveleux caillouteux

➢ Plasticité :

Les couples de valeurs limite de liquidité Indice de plasticité, et la classification du sol sont montres dans le tableau suivant

Tableau IV 11:valeurs limite de liquidité Indice de plasticité, et la classification du sol

Sondage	Profondeur (m)	WL (%)	WP (%)	IP (%)	Observation
F01	3.40-3.70	39.01	19.30	19.71	Argile peu plastique

- **Densité sèche & Teneur en eau :**

Les résultats de la densité sèche, la teneur en eau et la caractérisation du sol sont montres dans le tableau suivant

Tableau IV 12 : résultats de la densité sèche, la teneur en eau et la caractérisation du sol

SC N°	Profondeur	W (%)	ɣd (t/m3)	ɣh (t/m3)	Sr (%)	Observation
F01bis	3.40-3.70 9.70-10.00	12,11 7,89	1,82 2,06	2,05 2,22	67,50 68,37	Sol dense, légèrement humide

2.Caractéristiques intrinsèques :

Les caractéristiques de résistance au cisaillement rectiligne non consolide, non draine et consolide, draine sont

Tableau IV 13:Les caractéristiques de résistance au cisaillement rectiligne non consolide, non draine

SNC°	Profondeur (m)	Type D'essai	Angle de Frottement (φ°)	Cohésion (Bars)
F01	3.40-3.70	CD	23°	0.48

- **Caractéristiques Œdométriques :**

Les valeurs du coefficient de compressibilité et de gonflement sont données par le tableau suivant:

Tableau IV 14:valeurs du coefficient de compressibilité et de gonflement

Sondage	Profondeur (m)	Pc (bars°	Cc (%)	Cg (%)	Observation
F01	9.7 – 10.00	1.19	12.66	1.76	Sol moyennement compressible

- **Analyse chimique :**

Les résultats des analyses chimiques sommaires sont donnes par le tableau suivant

Tableau IV 15:résultats des analyses chimiques

	Résultats exprimes en % et en poids				
Sondage	Profondeur (m)	Sulfates SO 4	Carbonates CaCo3	Chlorures Cl – Solubles dans l'eau »	MO
F01	3.40 – 3.70	Traces	-	-	-

3.nterprétation des essais de laboratoire par puits;

Tableau IV 16:Résultats des essais de laboratoire par puits

Puis	Profondeur (m)		Analyse granulométrique (%)			Wn	Limite d'Atterberg (%)			VBS	Proctor normal		Indice CBR		
		Dmax (mm)	<2mm	<80 µm	<2 µm		WL	Wp	Ip		ɣd max (t/m³)	Wopt (%)	Imbibé à 4 jours		
PU18	0.00-3.90	20	75.18	41.22	10.58	27.5	47.6	23.6	24	/	1.69	16.7	2.3	9.3	19.8
PU20	0.20-3.20	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM

Légende : Vd : Densité sèche (t/m3) ; WOPM: Teneur en eau optimale (%) VBS : valeur de bleu de00+ méthylène ; Dmax : diamètre maximale (mm) ; < 2 mm (%) : Pourcentage des passants inférieure à 2 mm ; < 80pm (%) : Pourcentage des passants inférieurs à 80 pm

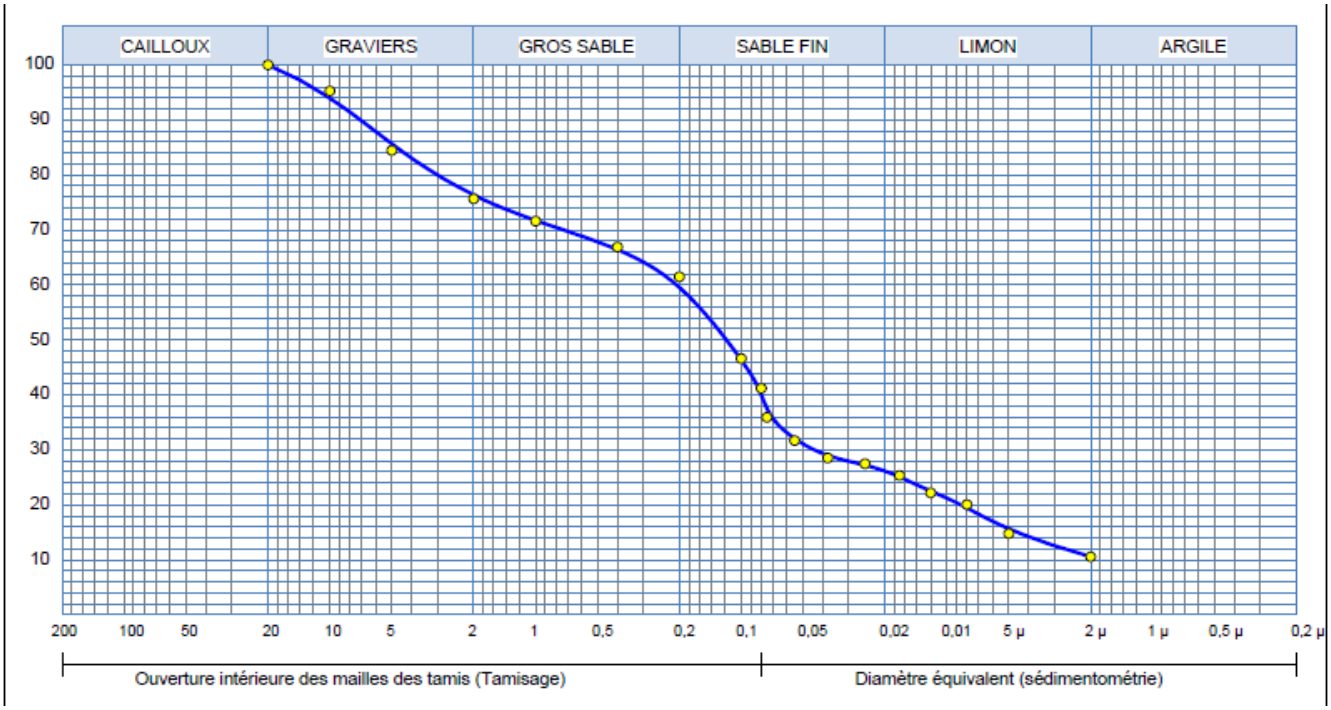


Figure IV 4 courbe granulometrique

2. Classification GTR

- **Classe de Sol :** D'après la granulométrie maximale (D max) de 20 mm, le sol appartient à la classe A ou B. Le pourcentage passant au tamis de 80 µm (VBS) est de 41%, ce qui classe le sol en A. Et 12 < Ip < 25 ce qui classe le sol en classe A2
- **Classification selon l'État Hydrique:**
    - **Teneur en Eau (W):** 11,8%
    - **Indice de Plasticité (IP):** 24%
    - **Teneur en Eau Optimale (WOPN):** 16.7

En utilisant la méthode WOPN, la teneur en eau ajustée (W ajustée) est calculée comme suit :
W ajustée = 1.3*W opn = 1.3*16.7 = 21.71 %

Étant donné que W ajustée (21.71%) est supérieur à WOPN*1.3 le sol est classé A2th selon le GTR.

1. Classification UIC (719 R):

En fonction du pourcentage de fines (41%), le sol appartient à la catégorie « Sols comportant plus de 40 % de fines » (sauf sols 0.2) doc à la classe Qs1

Tableau IV 17:Récapitulatif de la Classification des Sols

Paramètre	Valeur	Classification
Granulométrie maximale (D max)	20 mm	Classe A
Pourcentage passant au tamis de 80 µm (VBS)	41.22%	A2
Teneur en eau ajustée (W ajustée)	21.71%	A2th (GTR)
Pourcentage de fines	41%	Qs1 (Sols médiocres) (UIC)

IV.3. CONCLUSION

Suite à l'investigation géotechnique menée à l'aide de divers essais in situ tels que SC, SP et les puits de reconnaissance, la lithologie du site étudié révèle la présence de formations sédimentaires, parmi lesquelles on peut également distinguer :

- Une formation carbonatée, comprenant des couches de tuf, de calcaire et de marnes.
- Un dépôt alluvionnaire.

CHAPITRE V ETUDE HYDRAULIQUE

CHAPITRE V : ETUDE HYDRAULYQUE ET HYDRAULOGIQUE

V.1.Introduction

L'étude hydraulique et hydrologique d'une nouvelle infrastructure, telle qu'une route ou une voie ferrée, est essentielle pour assurer la sécurité, la durabilité et une gestion optimale des ressources en eau. Cette étude comprend l'évaluation des débits de crue pour prévenir les risques d'inondation, en s'appuyant sur des données topographiques précises, obtenues via des cartes satellitaires et des levées topographiques par Google Earth, ainsi que sur des données pluviométriques, notamment les précipitations maximales journalières. De plus, elle vise à identifier les bassins versants affectés par le tracé et à caractériser les crues pour différentes périodes de retour. Ces informations sont pour dimensionner adéquatement les dispositifs de drainage et les ouvrages nécessaires à l'évacuation des eaux pluviales le long de l'infrastructure projetée.

V.2Description hydrologique de la zone d'étude :

La région hydraulique d'Oranie, spécifiquement au niveau du Chott El Chergui, présente une hydrologie caractérisée par des écoulements endoréiques. Les ruissellements se déplacent des zones amont vers les zones aval à travers un réseau de drainage non hiérarchisé. Les oueds convergent vers des dépressions après une certaine distance, et les pentes, généralement faibles, influencent les écoulements superficiels, les rendant dispersés et intermittents

V.3Contexte hydrologique général :

Le segment en question traverse le bassin versant du Chott Chergui, qui porte le numéro 08 d'après la classification de l'ANRH. Ce bassin versant, situé dans les hautes plaines algériennes, se compose de 15 sous-bassins et se distingue par un relief modéré. Il couvre une superficie de **36,290 km²** et a un périmètre de **1,111 km**.

V.4Le climat :

La région de Saïda, qui est influencée par un climat de type méditerranéen, présente en effet des caractéristiques climatiques distinctes. Le climat méditerranéen est généralement caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides. Ce type de climat se trouve typiquement entre les latitudes de 30º et 45º

V.5.Les précipitations :

Les précipitations sont plus fréquentes au printemps et à l'automne, et il peut y avoir des orages et de fortes pluies pendant ces saisons. En été, la sécheresse peut durer car il n'y a pas de précipitations significatives pendant plusieurs mois, ce qui coïncide avec la saison estivale

V.6.Pluviométrie :

Pour déterminer les précipitations maximales journalière et annuel on a exploité les données pluviométriques de la station 081502 enregistré par l' ANRH sur une période de 47 ans.

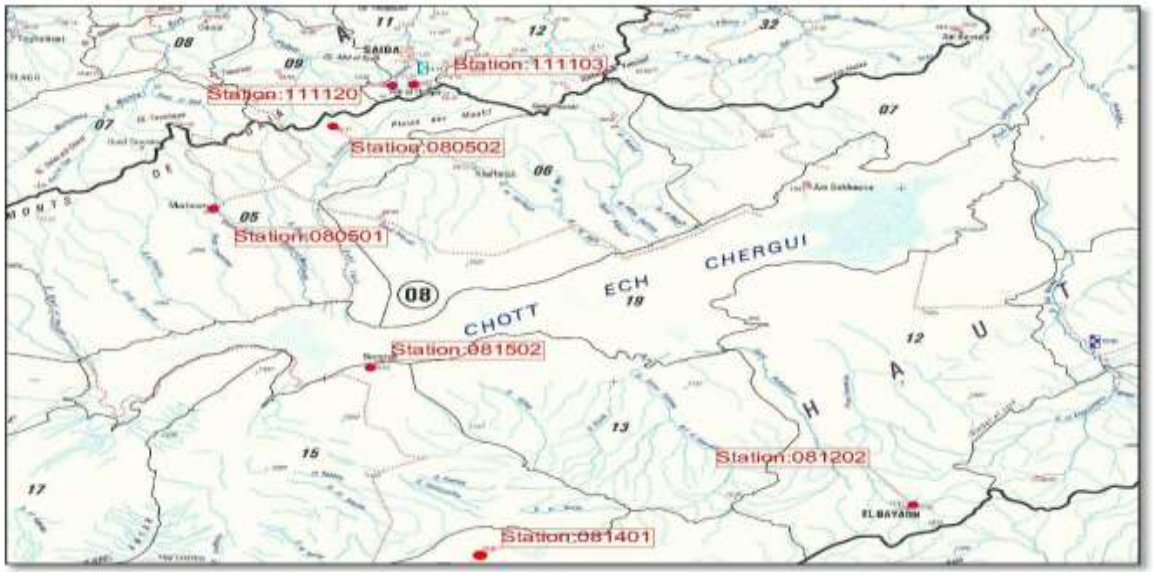


Figure V 1:Carte des stations proches de notre zone d'étude (Source ANRH)

Tableau V 1:Caractéristiques géographiques de la station pluviométrique utilisée

Nom de station	Code (ANRH)	coordonnées (m)			Periodic
		X	Y	Z	
BOUGTOUB	081502	259.10	384.90	1018	47 ans

V.7.PLUIES MAXIMALES ANNUELLES:

L' ajustement à une loi racine-normale des pluies annuelles de la région nous donne les pluies annuelles pour des fréquences allant de = 0,9 à 0,99 qui correspondent aux périodes de retour de 10 à 100 ans.

Tableau V 2:ajustement a une loi racine normale des pluies annuelle

Période de retour (ans)	0,9 (10)	0,95 (20)	0,98 (50)	0,99 (100)
U .Gauss	1,282	1,645	2,054	2,327
Pluie max annuelle	461	556	687	791

V.8.PRECIPITATION JOURNALIERE MAXIMALE:

L'ajustement à la loi de Gumbel nous donne les pluies journalières maximales qui correspondent aux périodes de retour de 10 à 100 ans

Tableau V 3:Quantiles de Pjmax station de BOUGTOUB

Période de retour (ans)	10 ans	20 ans	50 ans	60 ans
U .Gauss	2,3	3,0	3,9	4,6
Précipitation max journalière	57,8	68,7	82,9	93,1

- Ces résultats de pluies sont des pluies ajuster à la loi de Gumbel elles correspondent aux pluies journalières maximales

V.9.ANALYSE DES PROPRIETES PHYSIQUE DES BASSINS HYDROGRAPHIQUE :

L'objectif principal de l'analyse des bassins hydrographiques est de prévoir les débits de pointe lors des inondations. Cette analyse s'effectue en utilisant des cartes topographiques détaillées ainsi que des outils de conception assistée par ordinateur, tels qu'AutoCAD.

- Superficie totale : Elle représente la taille du bassin versant.
- Longueur du cours d'eau principal : C'est la distance depuis la source jusqu'à l'exutoire du cours d'eau.
- Altitude maximale : Le point le plus élevé du bassin versant.
- Altitude minimale : Le point le plus bas du bassin versant.
- Altitude moyenne : La hauteur moyenne du terrain dans le bassin versant.
- Indice de pente : Une mesure qui indique la pente moyenne du terrain.

- **L'Indice de compacité de Gravelius Kc** :est un indicateur qui mesure l'effet de la forme d'un bassin versant sur le débit d'eau. Il est défini comme le quotient du **périmètre réel (P)** du bassin par la **circonférence d'un cercle (Pc)** dont la surface est équivalente à celle du bassin. Formule:

$$kc = \frac{p}{pc} \Longrightarrow kc = 0{,}282\frac{p}{\sqrt{s}}$$

- Kc: Indice de forme.
- S: Surface du bassin versant (Km^2).

P: Périmètre du bassin versant (Km)

- **Le rectangle équivalent** :La notion de **rectangle équivalent** fait référence à une conversion strictement géométrique où la silhouette du bassin versant est transformée en un rectangle ayant le même périmètre et la même aire que le bassin original

$$Leq = Ieq = Kc\frac{\sqrt{s}}{1{,}128}.\left[1 \pm \sqrt{1 - \left(\frac{1{,}128}{Kc}\right)^2}\right]$$

Avec :Leq : longueur de rectangle équivalent en (km) et leq : largeur de rectangle équivalent (km)

- **Le temps de concentration d'eau (Tc) :** est la durée nécessaire pour que l'eau, qui ne s'est ni évaporée ni infiltrée dans le sol, s'écoule depuis le point le plus éloigné du bassin versant jusqu'à son exutoire. Pour calculer le temps de concentration des bassins versants, on emploie des formules spécifiques qui prennent en compte divers facteurs tels que la topographie, la taille du bassin, la rugosité du sol, et les conditions météorologiques

- Formule de Ventura (B.V inférieur à $5Km^2$). $\Longrightarrow Tc = 0{,}127\left(\frac{S}{I}\right)^{O,5}$
- Formule de Passini (B.V entre $5Km^2$ et$25Km^2$)$\Rightarrow Tc = \frac{0{,}11(s\times l)^{\frac{1}{3}}}{I^{0,5}}$
- Formule de Giandotti (B.V supérieur à $25Km^2$) $\Longrightarrow Tc = \frac{4\left(s^{0,5}+1{,}5L\right)}{0{,}8(Hmoy-Hmin)^{0,5}}$

- Tc = temps de concentration (heure)
- S = surface (Km^2)
- I : pente moyenne du BV (m/m)
- L : longueur du bassin (km)
- Hmoy : altitude moyenne (en m)
- Hmin : altitude minimale (en m)

- **La vitesse de ruissellement** : Elle est déterminée par la formule suivante :

Vruiss = L/Tc

- Vruiss: Vitesse de ruissellement en Km/h
- L : Longueur du talweg principal en Km
- Tc : Temps de concentration en heure.

- **Les caractéristiques des bassins versant** :

Entre les points kilométriques 55 et 70, il existe uniquement un seul bassin versant.

On a utilisé **Civil 3D** et une carte graphique pour délimiter votre bassin versant.



Figure V 2:délimitation des bassins versant

Tableau V 4:tableaux récapitulatifs de caractéristique des BV

N°BV	pk	S(km^2)	P(km)	Lw (km)	Kc	Leq (km)	Hmax (m)	Hmin (m)	Hmoy (m)	Δh(m)	pente talweg (m/m)	Tc (h)	Vruiss (Km/m)
1	54+688	0,180	1,730	0,356	1,15	0,52	1060	1056	1058	4	0,08	1,39	0,26

V.10.PLUIE DE COURT DUREES:

La relation Intensité - Durée - Fréquence recherchée est de la forme: $I(t,T) = \frac{a(T)}{t^b}$

- I(t,T)) est l'intensité de la pluie en mm/h pour une durée (t) et une période de retour (T).
- a(T)) est un paramètre qui dépend de la période de retour (T) paramètre de montana
- (t) est la durée de la pluie en heures.
- (b) est un paramètre de montana

On prend b= 0,72

Tableau V 5:valeurs des paramètres de MONTANA

T	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100ans
a(T)	14,1	20,9	25,4	29,8	35,4	39,6

Tableau V 6:Valeur des intensités obtenues en mm/h

I(t,T)	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
1	14,1	20,9	25,4	29,8	35,4	39,6
2	8,6	12,7	15,4	18,1	21,5	24,1
3	6,4	9,5	11,5	13,5	16,1	18,0
6	3,9	5,8	7	8,2	9,7	10,9
12	2,4	3,5	4,3	5,0	5,9	6,6
24	1,4	2,12	2,6	3,0	3,6	4,0

On obtient les courbe intensité durée fréquences :

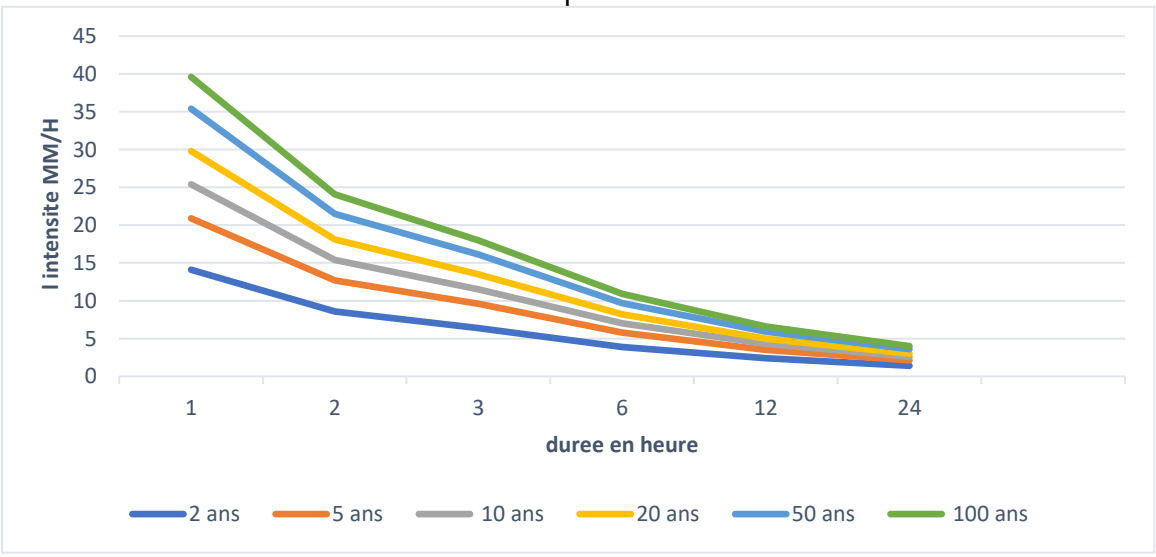


Figure V 3:Courbe intensité durée fréquences

- Ces résultats permettent d'une part de synthétiser l'information pluviométrique de la station de Boulgou, d'estimer les débits de crue, et de déterminer les pluies de projet de chaque période de retour.

V.11.LE COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT (Cr) :

est un indicateur clé en hydrologie urbaine et rurale. Il est utilisé pour estimer la quantité d'eau de pluie qui ne sera pas absorbée par le sol et qui va ruisseler à la surface

plusieurs facteurs influencent le coefficient de ruissellement, notamment :

- **La nature du sol** : Les sols argileux ou compactés ont tendance à avoir un Cr plus élevé car ils absorbent moins d'eau.
- **La végétation** : Les zones avec une couverture végétale dense ont généralement un Cr plus faible, car les plantes et leur système racinaire aident à absorber l'eau.
- **La pente** : Les surfaces avec des pentes raides favorisent un ruissellement plus rapide et donc un Cr plus élevé.
- **L'urbanisation** : Les surfaces imperméables comme le béton ou l'asphalte augmentent le Cr car elles ne permettent pas l'infiltration de l'eau.

Le Cr est souvent utilisé pour concevoir des systèmes de drainage et pour la gestion des eaux pluviales, afin de réduire les risques d'inondation et de pollution.

Tableau V 7:Coeeficient de ruissellement

Type de surface	Coefficient de ruissellement (Cr) compris entre
Zone d'activités tertiaires Centres villes	0,70 / 0,95
Zone d'activités tertiaires Autres	0,50 / 0,70
Zone résidentielle Pour 1 pavillon	0,30 / 0,50
Zone résidentielle Ensemble de pavillons détachés	0,40 / 0,60
Zone résidentielle Ensemble de pavillons attachés	0,60 / 0,75
Zone industrielle	0,50 / 0,90
Cimetières Parcs	0,10 / 0,25
Zone de jeux Asphalte	0,95
Rue et trottoirs Béton	0,85
Pelouse (sol sablonneux) Béton	0,95
Pelouse (sol sablonneux) Pave	0,85
Pelouse (sol terreux) Pente < 2%	0,05 / 0,10
Pelouse (sol terreux) 2% < Pente < 7%	0,10 / 0,15
Pelouse (sol terreux) Pente > 7%	0,15 / 0,25

Tableau V 8:coefficient de ruissellement

T (ans)	20	50	100
CT	0,45	0,50	0,55

V.12.ESTIMATION DES DEBITS DE CRUE:

Pour estimer les débits de crue des bassins versants, plusieurs facteurs sont pris en compte, tels que la topographie, la climatologie, et la géologie. Les méthodes de calcul varient et les résultats ne sont pas toujours précis. Cependant, le guide de l'assainissement de Sétra recommande des formules spécifiques basées sur la surface des bassins versants, qui sont couramment utilisées dans les projets de drainage ferroviaire en Algérie. Ces formules permettent d'adapter les estimations aux conditions locales et sont choisies pour leur fiabilité malgré l'incertitude inhérente aux prévisions hydrologiques. En résumé, pour estimer les débits de crue, on utilise des formules spécifiques qui prennent en compte la taille des bassins versants :

- **Bassins < 10 km²** :

- Utilisation de la **formule rationnelle**.
- Application de la **formule de SOGREAH-ARNH (1989)**.
- Emploi de la **formule de TURAZA**.

- **Bassins entre 10 et 50 km²** :
  - Mise en œuvre de la **formule de transition**.
- **Bassins > 50 km²** :
  - Utilisation de la **formule CRUPEDIX**.

Ces formules sont choisies pour leur adaptabilité aux conditions locales et leur utilisation fréquente dans les projets de drainage ferroviaire en Algérie.

Dans notre situation, nous avons un bassin versant unique avec une superficie de moins de 5 km². Pour cette raison, nous allons appliquer les trois formules suivantes pour estimer les débits de crue :

a. **La formule rationnelle** : Elle est utilisée pour calculer le débit de pointe en fonction de l'intensité de la pluie, de la durée de l'événement pluvieux, et du coefficient de ruissellement.

$$Qmax = \frac{C.I.A}{3,6}$$

- Qmax : débit de crue de période de retour voulue (en m3/s).
- I : intensité de pluie (en mm) pour le temps de concentration du B.V et la récurrence souhaitée.
- C : Coefficient de ruissellement.
- A : surface de bassin versant en (km2)

b. **La formule de SOGREAH-ARNH (1989)** : Cette méthode prend en compte les caractéristiques spécifiques du bassin versant pour affiner l'estimation du débit de crue.

$$Qt = Cq(Pt - P1)$$

Avec : P1=20mm

- Cq : Coef du ruissèlement. $Cq = \left(\frac{S}{6}\right) \times Tb^{-0,77}$
- Qt : débit de pointe (en m^3 / s) de période de retour t
- Pt : Pluie journalière max de période de retour t

$$Tb = Tb0 + \left(L^{1,7(Pa*Vi)\frac{0,57}{1000}}\right)$$

- Tb : temps de base en heures
- Tb0 = 2.33 pour les stations du Nord Algérie
- L : longueur du talweg principal en km
- Pa : pluie annuelle en mm
- S : superficie du BV en Km²
- Vi : pente brute du bassin en %
- Vi = (Hmax-Hmin)/Lr
- Hmax , Hmin : altitudes max. et min
- Leq : longueur du rectangle équivalent

c. **La formule de TURAZA** : Elle est également adaptée aux petits bassins versants et permet de déterminer le débit de crue en se basant sur des paramètres locaux.

$$Qmax\% = (Ptc\% \times S \times C) \times \frac{1}{3{,}6 \times Tc}$$

- Qmax % : débit de crue de période de retour voulue (en m3/s)

- tc : temps de concentration du bassin
- ptc % : pluie de durée tc et de période de retour voulue
- C : coefficient de ruissellement du bassin.

Nous adoptons les coefficients généralement admis en Algérie en supposant que l'averse est généralisée sur l'ensemble du bassin versant et que l'intensité est constante.
Pour l'application pratique aux bassins versants ;La formule Rationnelle est fréquemment utilisée en Algérie et tend à donner des résultats supérieurs par rapport à d'autres méthodes. Les formules de SOGREAH-ANRH (1989) et de TURAZA donnent des résultats assez proches, sans grandes disparités entre elles. Pour des raisons de prudence et dans le cadre de cette étude, il est suggéré de privilégier les résultats obtenus pour les débits maximaux selon la formule Rationnelle.

- **Calcule des débits par la méthode rationnelle *:***

1. *Calcule de l'intensité de pluie* $I(tc,T) = \frac{a(T)}{tc^{-b}}$

ON calcule l'intensité de pluie pour diffèrent période de retour

- $I(tc,10) = \frac{25,4}{1,39^{0,72}}$=20,04 mm/h
- $I(tc,50) = \frac{35,4}{1,39^{0,72}} = 28mm/h$
- $I(tc,T) = \frac{39,6}{1,39^{0,72}}$=31,2mm/h

2. *Estimation des débit*s :

Nous avons appliqué la méthode rationnelle pour calculer les débits pluviaux.

- $Q(10\ ans\ ) = \frac{C*I*A}{3,6} = \frac{0,45*20,04*0,18}{3,6}$ =0,45m^3/h
- $Q(50\ ans\ ) = \frac{C*I*A}{3,6} = \frac{0,50*28*0,18}{3,6}$ =0,7m^3/h
- $Q(100\ ans\ ) = \frac{C*I*A}{3,6} = \frac{0,55*31,2*0,18}{3,6}$ =0,858m^3/h

Tableau 36. VII..7: Le tableau présente les différents débits pluviaux des différentes périodes de retour

Tableau V 9:Le tableau présente les différents débits pluviaux des différentes périodes de retour

N°BV	$Q(10\ ans\ )$	$Q(50\ ans\ )$	$Q(100\ ans\ )$
01	0,45m^3/h	0,7m^3/h	0,85m^3/h

V.13.Résultat du dimensionnement des ouvrages hydrauliques à projeter : Assainissement transversal :

Pour les ouvrages hydrauliques, le débit admissible est calculé avec la formule de

Manning-Strickler, assurant un écoulement uniforme et prévenant l'érosion

$$Qs = K.S.Rh^{\frac{2}{3}}.I^{\frac{1}{2}}$$

- I : Pente de pose de l'ouvrage (m.p.m)
- S : Section mouillée (m^2)
- Rh : Rayon hydraulique moyen avec : $Rh = \frac{section\ \text{mouillée}}{\text{périmétre mouillée}}$

Tableau V 10:Coefficient de MANNING-STRICKLER

Nature d'ouvrage	**EN TERRE**	**Buse métallique**	**Maçonnerie**	**Béton et béton préfabrique**
K	30	40	50	70

V.14.DIMENSIONNEMENT DES DALOTS*:*

Pour dimensionner un dalot rectangulaire, déterminez la section nécessaire pour un écoulement à hauteur (0,75h), où (h) est la hauteur utile d'eau. Les dimensions des dalots sont obtenues en écrivant l'égalité du débit des crues et le débit de saturation

$$Qs = Qmax \implies Qmax = ks \times Sm \times Rh^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}$$

$$=70\times (0{,}75H.B)\left(\frac{0{,}75.H.B}{2B+1{,}5H}\right)^{\frac{2}{3}} \times I^{0{,}5} \quad \text{avec I=0,002}$$

Pour résoudre cette équation, on applique une méthode itérative. :

$$Hi+1 = \left[\frac{Qmax}{ks\times I^{\frac{1}{2}}}\right]^{\frac{3}{5}} \times \frac{(B+1{,}5Hi)^{\frac{2}{5}}}{0{,}75B} \quad \text{avec } H0 = \left[\frac{Qmax}{ks\times I^{0{,}5}}\right]^{3/5}$$

Tableau V 11dimensionnements des ouvrages de drainage par la méthode de Mann-Strickler

N° BV	**01**
PK	54+ 677
Q projet (m3 /s)	0,85
Nbrs Cellules	1
KS	70
Pent (m/m)	0,002
b(m)	1,5
H(m)	1,5
Hu(m)	1,1
Su(m)	1,65
P(m)	5,2
Vps (m/s)	1,456
Qps (m^3/s)	2,403
Rq=Q/Qps	0,354
1m/s< V<4m/s **V=rvVps**	1,329
V>0,3m/s **V=0,32Vps**	0,466
V>0,6m/s **V=0,64Vps**	0,931
Vérification	Vérifier

- Pour la section située entre le point kilométrique 58+236 et le point kilométrique 60+035, nous allons installer des buses de **1500 mm** de diamètre à intervalles réguliers de **50 mètres**, accompagnées d'un matériau drainant.

V.15. REMBLAI ZONE INONDABLE:

Pour les remblais en zones inondables, il est important de suivre les spécifications techniques pour garantir leur stabilité et durabilité.

Selon les Spécifications Techniques ST 590 B, les matériaux granulaires doivent répondre aux critères suivants :

- La somme des indices **Los Angeles (LA)** et **Micro Deval (MDE)** doit être inférieure ou égale à **80**.
- La dimension des granulats (**D**) doit être comprise entre **63 mm** et **500 mm**.
- Le pourcentage tamisât à la dimension **D** doit être compris entre **85%** et **99%**.
- Le pourcentage passant à **80µm** doit être inférieur ou égal à **5%**.

Ces critères assurent que les matériaux utilisés sont suffisamment résistants et durables pour les conditions d'une zone inondable

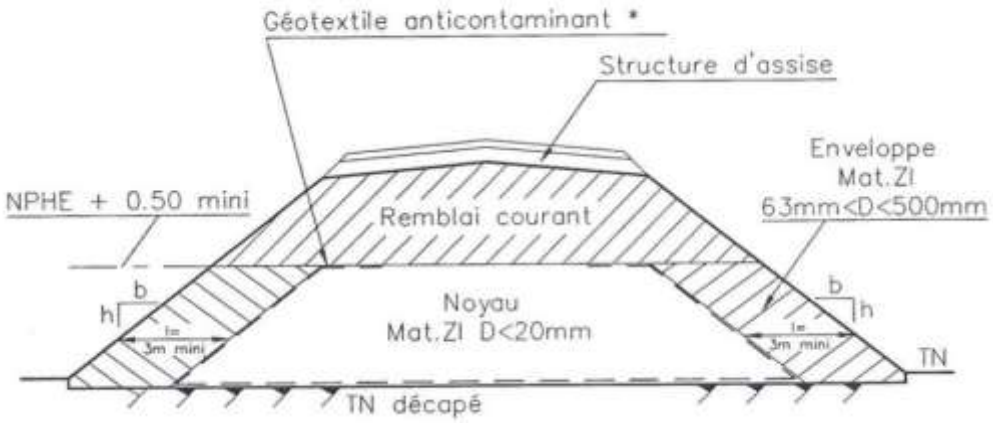


Figure V 4:remblai zone inondable

Les matériaux à utiliser devrait être composé par sols des classes CiB3, D3, R21, R22, R41, R42, R61, et R62, et R42 de la classification GTR, et conformes à la fiche N°7 du document intitulé : Spécification Technique (ST 590Indice B).

- Durant la phase de construction, dans l'éventualité où l'on découvre des eaux souterraines ou d'autres milieux humides, il est crucial d'empêcher les remontées capillaires qui pourraient compromettre la structure du remblai. À cet effet, un filtre géotextile accompagné d'une couche de drainage composée de matériaux granulaires, conformément à la Spécification Technique (ST 590Indice B) mentionnée dans la fiche N°6, sera installé. Cette couche, d'une épaisseur minimale de 30 cm, sera déployée sur l'intégralité de la base du remblai afin de préserver sa capacité portante en neutralisant les effets de la capillarité.

V.16.L'assainissement longitudinal :

fait référence à l'ensemble des systèmes et méthodes utilisés pour collecter et évacuer les eaux de ruissellement le long des chaussées routières et de leurs ouvrages annexes. Cela inclut les réseaux de canalisations et les ouvrages comme les buses, les dalots ou les caniveaux, qui sont disposés le long de la route pour assurer un drainage efficace et prévenir les dommages causés par l'eau.

➢ Fossés en pied de déblai :

Pour prévenir les risques d'inondation de la plateforme, il a été suggéré d'installer des fossés au pied des déblais. Ces fossés sont destinés à recueillir les eaux provenant du ruissellement des pentes en déblai et de la plateforme, et à les diriger soit vers des structures de drainage transversal, soit vers d'autres dispositifs de drainage longitudinal.

Calcul du débit d'apport :

Le débit d'apport de ruissellement de la plate-forme de la voie et talus sera calculé à partir de la formule rationnelle : Qapp= $\frac{C*I*A}{3,6}$;

- Qapp = Débit d'apport décennal en m3/s
- Cr = Coefficient de ruissellement pondéré→ $\begin{cases} C = 0.95 \text{ pour la chaussée,} \\ C = 0.70 \text{ pour les talus,} \end{cases}$
- I10 = Intensité de pluie décennale (en mm/h)
- A = Surface active de la plate-forme de la voie ou talus en km²

Pour dimensionner les fossés, la formule de Manning-Strickler est utilisée pour estimer la vitesse de l'eau. Dans les zones de déblai, les fossés suivent la pente du profil routier pour canaliser l'eau. Cependant, dans notre région, aucun fossé supplémentaire n'est nécessaire en raison des caractéristiques topographiques favorables.

V.17.CONCLUSION :

L'analyse hydrologique indique que le tracé inclut un unique ouvrage hydraulique aux dimensions de **1,5 m x 1,5 m**, situé au point kilométrique **54**. En raison de la proximité d'une zone inondable, il est prévu d'installer des buses de drainage de diamètre approprié tous les **50 mètres** pour assurer une gestion efficace des eaux.

CHAPITRES VI

DIMENSSIONNEMENT DE LA SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

CHAPITRES VI : DIMENSSIONNEMENT DE LA SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

VI.1. SUPERSTRUCTURE DE LA VOIE

1) APERÇU

Voici un résumé des spécifications applicables pour la conception de la voie ferrée :

- Pour une voie en double voie, la largeur de la plate-forme est de 13,60 m avec un espacement de 4,20 m entre les rails.
- Pour une voie simple, la largeur de la plate-forme est de 8 m.
- Une bande de 700 mm est réservée pour l'installation des équipements de signalisation, de télécommunications et d'électrification. Les poteaux caténaires doivent être situés à un minimum de 3250 mm de l'axe de la voie.
- Un cheminement de 700 mm est également prévu pour la circulation des piétons du personnel de maintenance de la voie, uniquement pour les voies à l'air libre.
- Sur la ligne Saïda/El Bayadh, la voie principale est conçue pour une vitesse de 220 km/h.
- Elle est composée de longs rails soudés (LRS) en barres continues, fixés avec des attaches élastiques sur des traverses en béton précontraint.

Les spécifications détaillées des différents composants de la voie sont répertoriées dans le tableau ci-dessous.

Tableau VI 1:Caractéristique de la superstructure de la voie

Désignation	Spécifications
Ecartement des rails	1.435
Rails	UIC60 E1
Attaches	Type « ressort à lame »
Type de voie	Voie ballastée en LRS
Traverses	Bi-bloc en Béton VAX U31 avec travelage de 1 667 P/km (sauf pour les appareils de voie) L= 2.24
Epaisseur de ballast	0,3 m en sections de voie courante / 0,35 m pour OA et Tunnel

2) PROFIL EN TRAVERS TYPE DE LA SUPERSTRUCTURE

Les deux figures suivantes représentent respectivement un schéma type de la

plate-forme et de la superstructure de :

– une voie simple

– une double voie

3) RAIL

Type de rail sélectionné est le 60 E1, pesant 60,21 kg/m. Sa fabrication et sa fourniture doivent être conformes à la norme EN 13674-1 pour les rails Vignol d'une masse minimale de 46 kg/m. La longueur minimale des barres élémentaires est de 36 mètres.

En ce qui concerne la fabrication en atelier, les barres élémentaires seront soudées électriquement pour former une barre continue d'une longueur égale ou supérieure à 288 mètres.

Pour les soudures sur site, la méthode utilisée sera la soudure aluminothermique.

Les caractéristiques de rails du type UIC 60 E1 sont comme suit :

Tableau VI 2:Caractéristique du rail

Caractéristiques	Valeur
Masse par mètre	60,21 kg/m
Surface de la section	76,70cm²
Hauteur du rail	172 mm
Largeur du champignon	72 mm
Largeur du patin	150 mm
Moment d'inertie (Axe X – X)	3038,3 cm4
Moment d'inertie (Axe- Y-Y)	512,3cm4
Résistance à la traction	R ≥ 880 N/mm²
Allongement	A ≥ 10%
Dureté au milieu de la table de roulement	260 ~ 300 HBW

4) TRAVERSES

La traverse, un composant essentiel des chemins de fer, assure la fixation solide des rails selon une disposition spécifique. Elle est placée transversalement sous les rails pour maintenir leur espacement et leur inclinaison, tout en transférant les charges des véhicules circulant sur les rals au ballast. Les traverses bi-blocs en béton précontraint pour les rails 60-E1 sont utilisées sur l'ensemble des tronçons de voie standard. Elles sont disposées à une fréquence de 1666 unités par kilomètre (soit un espacement de 0,60 m entre les axes des traverses).



Figure IV 5: Travers bi bloc

5) ATTACHE DE RAIL ET SEMELLE DE RAIL

L'attache de rail joue un rôle crucial dans l'assurance de la fixation des deux rails sur la traverse, puis au sol. Elle est chargée de réguler les mouvements des rails causés par les charges ou les vibrations des véhicules circulant sur les voies, en transmettant ces forces aux traverses, au ballast et à la plateforme. Pour assurer cette fonction, des attaches élastiques sont utilisées pour créer un amortisseur entre le rail et la traverse. Le système recommandé consiste en des attaches élastiques vissées de type « ressort à lame » (composé d'un ressort à lame et d'un boulon d'attache).

Pour les traverses en béton précontraint intégrées dans le ballast, il est recommandé d'utiliser des semelles de rail en EVA (éthylène-acétate de vinyle) et TPU (polyuréthane thermoplastique) qui offrent des performances améliorées. Les semelles en caoutchouc sont également préconisées pour les traverses en béton précontraint UIC 60

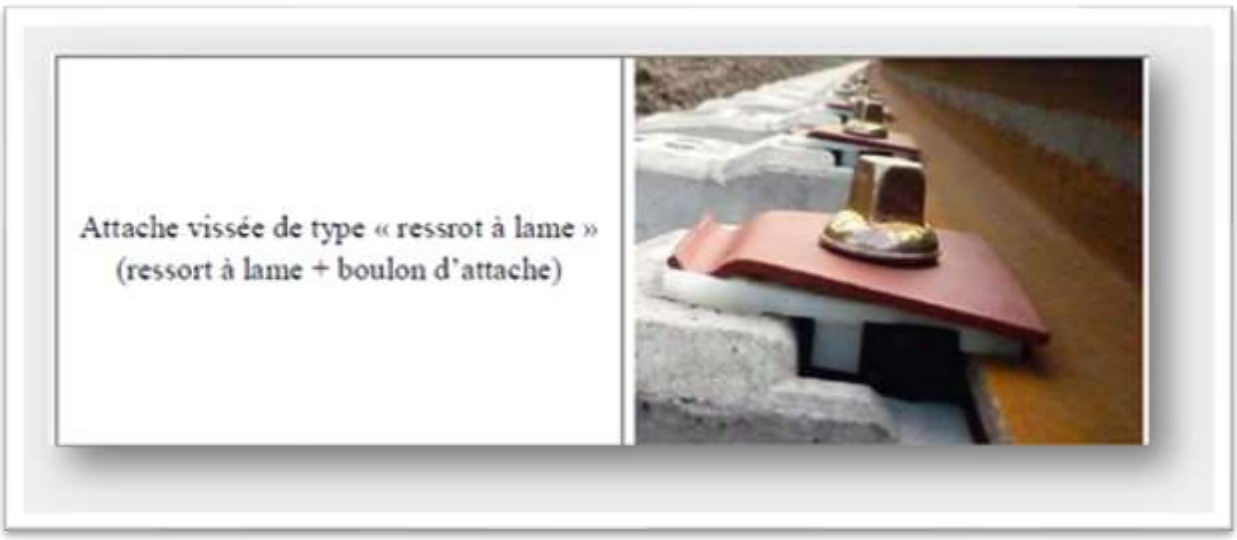


Figure VI 1:Attache

6) COUCHE DE BALLAST

La couche de ballast, placée sous les traverses, a une épaisseur de 300 mm sous le rail principal. Son inclinaison de talus, définie comme la pente entre le bas et le haut de la couche de ballast, est d'environ 33,7° (ou 2 pour 3).

Le ballast est une méthode éprouvée dans la construction ferroviaire, avec les caractéristiques suivantes :

- Son granulat spécifique permet un drainage rapide des eaux de pluie.
- Il agit comme un amortisseur efficace des vibrations grâce à ses propriétés rhéologiques.
- Il facilite le nivellement et le réalignement de la voie grâce au compactage mécanisé.
- Il transmet les charges des trains au sol tout en minimisant le tassement.
- Il maintient les traverses en place, en particulier pour les voies avec des rails longs soudés.
- Il permet des ajustements simples du tracé de la voie.
- Il offre un coût de construction relativement bas.

Cependant, quelques inconvénients doivent être pris en compte :

- Risque d'endommagement des rails et des roues par le poinçonnement des grains de ballast.
- Diminution de la perméabilité due à la contamination des granulats et au phénomène de remontée des particules fines (phénomène de pompage).

Le ballast est constitué de concassés de pierres dures de calibre 25/50 provenant de carrières spécifiques, et doit être exempt de débris, de poussière et de sable fin. Si nécessaire, il doit être lavé et dépoussiéré avant d'être utilisé.

7) COUCHE DE SOUS-BALLAST

Sous la couche de ballast, différentes couches constituant la sous-couche peuvent être utilisées, telles que la couche de sous-ballast, la couche de fondation, la couche anti-contaminant et une feuille géotextile (géomembrane), selon la qualité des sols de la couche de formation et de support.

Les fonctions de la sous-couche sont les suivantes :

- Protéger la partie supérieure de la plateforme contre l'érosion causée par le poinçonnement du ballast ou par l'action des eaux de pluie.
- Préserver les plateformes contre les effets du gel.
- Répartir de manière plus uniforme les charges transmises, permettant ainsi d'obtenir des sollicitations admissibles sur la partie supérieure de la plateforme, en fonction de l'indice de portance du sol.
- Améliorer la portance du sol.

- Contribuer à l'amélioration des propriétés vibratoires.
- Empêcher la contamination entre la plateforme et la couche de ballast.

La couche de sous-ballast est généralement composée de gravier propre bien gradué, contenant au moins 30 % de pierres concassées de granulométrie variée (0/31,5 mm)

8) COUCHE DE FONDATION (FOUNDATION LAYER

La couche de fondation est située sous la couche de sous-ballast et est réalisée à partir de gravier propre bien gradué. Les matériaux utilisés proviennent soit des sous-produits des carrières de ballast, soit des alluvions des rivières.

Il est essentiel que la granulométrie des matériaux de la couche de fondation réponde à la condition de non-contamination par rapport à la couche de formation et à la couche de sous-ballast

VI.3. CLASSIFICATIO DE LA PLATE-FORME

Pour classer les plateformes, il est nécessaire de prendre en considération deux aspects principaux :

Évaluer la qualité de chaque type de sol constituant la plateforme.

Ensuite, évaluer la capacité portante globale de la plateforme dans son ensemble, en tenant compte à la fois de la couche de formation et du sol sous-jacent.

VI.4. CLASSE DE QUALITE DU SOL

La qualité d'un sol dépend de deux principaux paramètres :

La nature géotechnique du sol, évaluée en utilisant l'identification géotechnique

Les conditions hydrogéologiques et hydrologiques locales, qui influencent la portance des sols. Ces conditions sont considérées comme bonnes si :

- La couche supérieure du sol n'est pas influencée par une nappe phréatique naturelle (mesurée avant tout rabattement complémentaire et en période climatique défavorable).
- La plate-forme n'est pas affectée par des percolations naturelles nuisibles, que ce soit transversalement, longitudinalement ou verticalement.
- Les eaux de pluie sont correctement évacuées de la plate-forme, avec des dispositifs de drainage longitudinaux ou transversaux en bon état de fonctionnement. Si au moins l'une de ces conditions n'est pas remplie, les conditions hydrogéologiques et hydrologiques sont considérées comme mauvaises.

En fonction de ces critères et des modalités présentées dans le tableau 3 - page 15, les sols sont classés en quatre classes de qualité (QS) :

- QS0 : Sols "impropres" nécessitant des mesures spécifiques pour être utilisés dans la construction de la plate-forme. Ces sols ne sont pas pris en compte lors de la conception des couches d'assise et de la couche de formation.
- QS1 : Sols "médiocres" acceptables mais nécessitant une attention particulière au drainage. Ils peuvent être améliorés par un traitement approprié, tel que l'utilisation de liants.
- QS2 : Sols "moyens".
- QS3 : Sols "bons"

Suite à la réalisation d'essais d'identification et de tests mécaniques en laboratoire sur des échantillons de sol prélevés à différentes profondeurs, nous avons pu établir deux classifications du sol

Selon la classification GTR, le sol est généralement classé comme sable limoneux, incluant des variations telles que sable limoneux graveleux et sable argileux.

Selon la classification UIC719R, les classes de qualité des sols supportées sont les suivantes : de PK 55+000 à PK 70+000, QS1 (sol médiocre). La classe de qualité du sol support le plus fréquemment rencontrée le long du tracé est principalement QS1 (sols médiocres).

VI.5.CLASSE DE PORTANCE DE LA PLATE-FORME

La capacité portante d'une plate-forme dépend de deux facteurs principaux :

1. La qualité du sol utilisé pour le remblai ou le sol en place au fond du déblai.
2. La qualité et l'épaisseur de la couche de formation, lorsque celle-ci est présente.

En fonction de ces paramètres, les plateformes peuvent être classées en trois catégories de portance :

- P1 : Plate-forme de qualité médiocre.
- P2 : Plate-forme de qualité moyenne.
- P3 : Plate-forme de qualité bonne.

Différents réseaux utilisent des méthodes variées pour effectuer ce classement. Une de ces méthodes est présentée dans le tableau

Tableau VI 3:Epaisseurs des couches de forme selon la classe du sol et de la plate-forme

Classe de qualité du sol	**Classe de portance envisagée pour la plate-forme**	**Couche de forme à mettre en œuvre pour obtenir cette classe de porteuse**	
		Qualité	**Epaisseur minimale : "e_f" (en mètres)**
QS1	P1	QS1	-
	P2	QS2	0,50
	P2	QS3	0,35
	P3	QS3	0,50
QS2	P2	QS2	-
	P3	QS3	0,35
QS3	P3	QS3	-

Selon la norme UIC 719R, l'épaisseur de la couche d'assise (e) est déterminée par la formule suivante : e (en mètres) = E + a + b + c + d + f + g.

Tableau VI 4:Paramètres de dimensionnement et leurs valeurs

Paramètres de Dimensionnement	**Valeurs**
E	E =0.70m pour les plateformes de classe de portance Pl. E = 0.55m pour les plateformes de classe de portance P2. E = 0.45m pour les plateformes de classe de portance P3.
A	a= 0 pour les groupes UIC 1 et 2 (ou V> 160 km/h quel que soit le groupe UIC). a = -0.5m pour les groupes UIC 3 et 4. a= -0.10 m pour les groupes UIC 5 et 6 groupes ainsi que 7.8 et 9 avec voyageurs. a= -0.15 m pour les groupes 7.8 et 9 sans voyageurs
B	b=0 pour les traverses bois de longueur 2.60m. b= (2.5-L)/2 pour les traverses béton de longueur L.
C	c=0 pour un dimensionnement normal. c=0. 1m à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC autre que 7.8 et 9 avec voyageurs. c= 0.05m à titre exceptionnel pour des opérations difficiles sur les lignes existantes de groupe UIC 7,8 et 9 sans voyageurs.
D	d= 0 lorsque la charge maximale d'essieu des vehicules remorques ne dépasse pas 200 KN. d= +0.05m lorsque la charge maximale d' essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 KN. d= +0. IOm lorsque la charge maximale d' essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 250KN.
F	f=0 pour toutes les lignes parcourues à V < 160 km/h et pour les plates-formes de portance P3, des lignes parcourues à grande vitesse. f=0.05m pour les plates-formes de classe de portance P2 des lignes parcourues à grande vitesse. f= 0.10m pour les plates-formes de classe de portance P I des lignes parcourues à grande vitesse.
G	g= + géotextile lorsque la couche de forme est en sol QSI ou QS2. g=0 (pas de géotextile) lorsque la couche de forme est en sol QS3

VI.6. APLICATION AU PROJET

VI.6.1Classification du sol de la plate-forme :

Selon les conclusions de l'étude géotechnique, le sol est classé QS1 (sol médiocre). La classe de portance visée pour le projet est la classe P3. Par conséquent, il est nécessaire d'installer une couche de forme pour améliorer la portance

VI.6.2Détermination de l'épaisseur de la couche d'assise :

Selon les données de la fiche UIC 719, nous identifions les paramètres spécifiques à notre projet qui nous permettent de calculer l'épaisseur de la couche d'assise (ballast + couche de forme). Le tableau ci-dessous récapitule les valeurs correspondantes :

Tableau VI 5:Valeur des paramètres de dimensionnement

Paramètres	Valeur (m)	Description
E	0.45	pour les plateformes de classe de portance P3
A	0	Pour les groupes UIC1 et 2 (V≥160km/h)
B	0.13	Traverses béton de longueur L = 2.24 m
C	0	Pour un dimensionnement normal
D	0.05	Essieu des véhicules remorqués ne dépasse pas 225 KN.
F	0.05	Classe de portance P2 des lignes parcourues à grande vitesse.
G	0	Lorsque la couche de forme est en sol QS3

La structure de la voie est la suivante, basée sur les paramètres donnés :

e= E + a + b + c + d + f + g = 0.45+0+0.13+0+0.05+0.05+0 = 0.68 m

On pend **e = 0.65 m**

- L'épaisseur totale de la couche d'assise (ballast et sous-couche) est de 0,65 m.
- La couche de ballast a une épaisseur de 30 cm.
- Pour une qualité QS3 de couche de forme, la couche de forme de classe de portance P2, réalisée sur un sol de classe QS1, nécessite une épaisseur de 50 cm.

Cela se traduit par une configuration où la couche d'assise comprend une couche de ballast de 30 cm d'épaisseur et une couche de forme de 50 cm d'épaisseur, pour un total de 115 cm d'épaisseur.

Tableau VI 6:Les épaisseurs des diffèrent couche selon ST590B

Couche	Epaisseur (m)	Matériaux
Ballast	0.30	Ballast 25/50 mm
Sous-ballast	0.20	Grave bien gradué 0/31.5 mm
Couche de fondation	0.15	Grave concassée0/50 mm
Couche de forme	0.50	GNT

VI.7. SYNTHESE

À travers le processus de dimensionnement, nous avons déterminé les épaisseurs et la composition des différentes couches nécessaires pour supporter et répartir la charge imposée

par le matériel roulant, garantir un bon drainage des eaux, et préserver l'intégrité du sol sous-jacent.

VI.7.1Profil en travers :

Le profil en travers d'une voie ferrée représente une coupe transversale de celle-ci selon un plan vertical perpendiculaire à son axe. L'échelle la plus couramment employée est celle de 1:100

Il existe deux types de profil en travers qui sont :

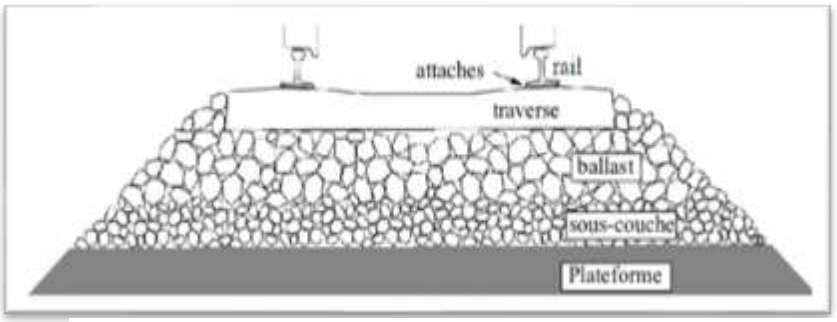


Figure V 5: Plate forme ferovierre

- **Profil en travers type**

Le profil en travers d'une voie ferroviaire englobe toutes les dimensions et spécifications de construction, incluant les largeurs de voie, les inclinaisons des surfaces et des talus, les dimensions de l'infrastructure et de la superstructure, ainsi que les systèmes d'évacuation des eaux, entre autres détails.

- **Profil en travers courant**

Un profil en travers courant de voie ferrée est une représentation graphique de la section transversale d'une voie ferrée à un point donné. Il montre la forme et les dimensions de la voie, y compris la plate-forme, les talus, les fossés, les voies et les caténaires. Les profils en travers courants sont utilisés pour la conception, la construction et l'entretien des voies ferrées.

VI.7.2La plate-forme:

C'est la surface sur laquelle reposent les voies. La plate-forme est généralement constituée d'une couche de ballast, qui est un matériau granulaire perméable qui permet de drainer l'eau

VI.7.3L'Emprise

L'emprise d'une voie ferrée est la bande de terrain réservée à l'exploitation d'une voie ferrée. Elle comprend la plate-forme, les talus, les fossés, les voies, les caténaires et les autres éléments nécessaires à l'exploitation de la voie ferrée.

VI.7.4Assiette :

L'assiette d'une voie ferrée est la surface horizontale sur laquelle repose la plate-forme de la voie. Elle est généralement constituée d'une couche de terre compactée ou de remblai. L'assiette doit être plane et stable pour assurer une répartition uniforme des charges sur la plate-forme.

VI.7.5La voie

est un chemin de roulement constitué de deux files de rails parallèles fixés sur des traverses et sur lequel circulent les trains.

VI.7.6.La brème :

est un remblai surélevé qui longe les rails. Elle joue plusieurs rôles importants :

drainage , accès pour la maintenance, zone de sécurité, atténuation du bruit, prévention des glissements de terrain, esthétique

VI.7.7.Le fossé :

Est un canal creusé de part et d'autre de la plate-forme, le long des voies ferrées. Il sert à collecter et évacuer les eaux pluviales et le ruissellement provenant des talus et de la plate-forme, empêchant ainsi l'engorgement et l'érosion de la voie ferrée.

VI.7.8.Les profils en travers affectés au projet :

Pour notre projet, les profils en travers sont caractérisés comme suit :

- Type de ligne : Voie unique mixte électrifiée.
- Écartement de la voie : 1.435 m (standard).
- Largeur de la plate-forme : 8 m.
- Pente latérale de la plate-forme : 4%.
- Largeur de la berme : (à compléter) m.
- Pente latérale de la berme : 4%.
- Entraxe : 4.2 m.
- Pente latérale de la couche de ballast : 3/2 (3H et 2V).
- Épaisseur du ballast : 30 cm.
- Épaisseur du sous-ballast : 20 cm.
- Épaisseur de la couche de fondation : 15 cm.
- Épaisseur de la couche de forme : 50 cm.
- Pente (déblai : 3H / 2V et remblai : 3H / 2V).

VI.8.CONCLUSION

Nous optons pour une pente de 3H/2V en déblai et en remblai en raison de l'absence de hauteurs importantes. En cas de raccordement, notamment en pleine courbe, les épaisseurs de toutes les couches, à l'exception du ballast, seront fixes. C'est l'épaisseur de ballast qui sera augmentée afin de créer le dévers requis

CHAPITRE VII
TERASSEMENT ET OUVRAGES D'ARTS

CHAPITRES VII : TERASSEMENT ET OUVRAGES D'ARTS

VII.1.TERASSEMENT

VII.1.1 Introduction

Dans cette section, nous aborderons les différentes stratégies visant à assurer la stabilité des talus, élément crucial de l'infrastructure ferroviaire. La qualité de la fondation joue un rôle déterminant dans la performance globale de la ligne, nécessitant ainsi des aménagements spécifiques du terrain tels que les déblais, les remblais et les talus conçus de manière appropriée pour supporter les charges de trafic prévues ainsi que les diverses charges dynamiques.

La construction des déblais et des remblais implique des hauteurs considérables, pouvant dépasser 8 mètres pour les remblais et 12 mètres pour les déblais

VII.1.2.Decapage

Le décapage de la terre végétale consiste à retirer la couche superficielle du sol, riche en matière organique et en éléments nutritifs, appelée terre végétale. Cette opération est généralement réalisée avant des travaux de construction ou d'aménagement paysager, afin de préparer le terrain pour les étapes suivantes.

- Objectifs:

Le décapage de la terre végétale vise plusieurs objectifs:

- Préparation du terrain:
- Amélioration du drainage:.
- Contrôle de la végétation:
- Récupération de terre fertile:

VII.1.3. Pente de talus

Le référentiel technique de la SNTF, chapitre 7.2.2 « Ouvrages en terre », définit les pentes des talus principalement utilisées comme le rapport entre la base « H » et la hauteur « V ». Ces pentes se déclinent comme suit :

- **Déblais (excavations) :** 1/2, 2/3, 1/1, 3/2, 2/1, 2,5/1, 3/1
- **Remblais :** 3/2, 2/1

Le choix de la pente appropriée est crucial pour garantir la stabilité et la pérennité globale de l'ouvrage. Cette décision se base sur une évaluation minutieuse de plusieurs facteurs :

- **Caractéristiques géotechniques du terrain déblayé ou du sol support**.
- **Matériaux de remblai**
- **Hauteur de l'ouvrage et topographie du site**
- **Risques naturels**

Dans certains cas, des dispositions supplémentaires peuvent être mises en œuvre pour améliorer la stabilité des talus :

- **Bermes intermédiaires en déblai**
- **Banquettes latérales en remblai**.
- **Systèmes de drainage**

En tenant compte scrupuleusement de ces facteurs et en mettant en œuvre des mesures appropriées, la SNTF garantit la stabilité et la durabilité de ses pentes de talus, préservant ainsi l'intégrité de son infrastructure et la sécurité de ses opérations.

VII.1.4. DEBLAI

La conception des talus en déblais doit tenir compte de plusieurs facteurs clés pour assurer la stabilité et la longévité de l'ouvrage ferroviaire :

- **Géométrie de la plateforme ferroviaire :**

La forme et la dimension de la plateforme ferroviaire influencent directement la conception des talus. Il est crucial de définir la largeur de la plateforme, l'inclinaison des talus et la hauteur du déblai en fonction des contraintes du site et des exigences du projet.

- **Type de structure d'assise :**

Le type de structure d'assise, qu'il s'agisse d'une plateforme en remblai ou d'une fondation superficielle, joue un rôle important dans la stabilité des talus. Les propriétés géomécaniques du sol et les caractéristiques de la structure d'assise doivent être prises en compte lors du dimensionnement des talus.

- **Type de drainage :**

Un système de drainage adéquat est essentiel pour évacuer efficacement les eaux de ruissellement et les eaux souterraines des talus. Cela permet de limiter les risques d'érosion et d'infiltration d'eau, qui peuvent fragiliser la structure des talus. Des dispositifs tels que des fossés de crête, des fossés en pied de talus et des descentes d'eau peuvent être mis en œuvre pour assurer un drainage efficace.

- **Stabilité :**

La stabilité des talus est primordiale pour la sécurité de l'ouvrage ferroviaire. Les talus doivent être conçus pour résister aux glissements de terrain et autres défaillances, en tenant compte des coefficients de sécurité globaux suivants :

- $F > 1,5$ pour la stabilité à court terme
- $F > 1,3$ pour la stabilité à long terme
- $F > 1$ pour la stabilité sous sollicitation sismique

Ces coefficients de sécurité garantissent que les talus peuvent supporter les charges et les contraintes auxquelles ils seront soumis tout au long de leur durée de vie.

VII.1.5. REMBLAI

Avant la mise en place des remblais, il est crucial d'effectuer une préparation adéquate du terrain afin d'assurer une liaison efficace entre le sol en place et les matériaux de remblai**.** Cette étape consiste à :

- **Débarrasser le sol de tout élément susceptible de nuire à la liaison :**
  - Racines
  - Souches
  - Débris de toute nature
  - Terre végétale sur une épaisseur suffisante (à déterminer selon les caractéristiques du sol)

- **La largeur de la partie supérieure du remblai (arase des terrassements) dépend de plusieurs facteurs :**

- **Géométrie de la plateforme ferroviaire :** La forme et les dimensions de la plateforme influencent directement la largeur de l'arase.
- **Type de structure d'assise choisi :** Qu'il s'agisse d'une plateforme en remblai ou d'une fondation superficielle, les caractéristiques de la structure d'assise influencent la conception de l'arase.

- **Mise en place des remblais :**

- **Remblaiement par couches successives :** Il est recommandé de mettre en place les remblais par couches successives de 20 cm d'épaisseur.
- **Compactage progressif :** Chaque couche doit être compactée rigoureusement avant la mise en place de la suivante.
- **Objectifs du compactage :**
  - Améliorer la densité et la résistance des remblais
  - Réduire les tassements et les risques de déformation
  - Favoriser une liaison adéquate entre les couches de remblai

En suivant ces principes, on garantit une préparation adéquate du terrain et une mise en œuvre des remblais conforme aux exigences techniques. Cela permet d'assurer la stabilité et la durabilité de la plateforme ferroviaire sur le long terme

- **Vérification de la stabilité des talus en remblais**

Lors de la construction de remblais, il est crucial de prendre en compte la stabilité des talus, car au-delà d'une certaine hauteur limite, des ruptures peuvent survenir, se manifestant généralement par des glissements de terrain. Les méthodes d'études de stabilité des pentes permettent de déterminer cette hauteur limite pour un coefficient de sécurité donné.

Les facteurs de sécurité globaux à prendre en considération sont les suivants :

- **FS > 1,5 :** Analyse en conditions statiques (situations courantes)
- **FS > 1,0 :** Analyse en conditions sismiques (risque de tremblement de terre)

Dans notre cas nous avons un remblai de 8 mètres D de PK 57+900 au PK 58+600 qui nécessite une étude de stabilité que nous avons effectué avec le logiciel SLIDE 6.0

Caractéristique du talus

- Hauteur : 6 mètres
- Breme : 2 mètres
- Pente 2h ;1v

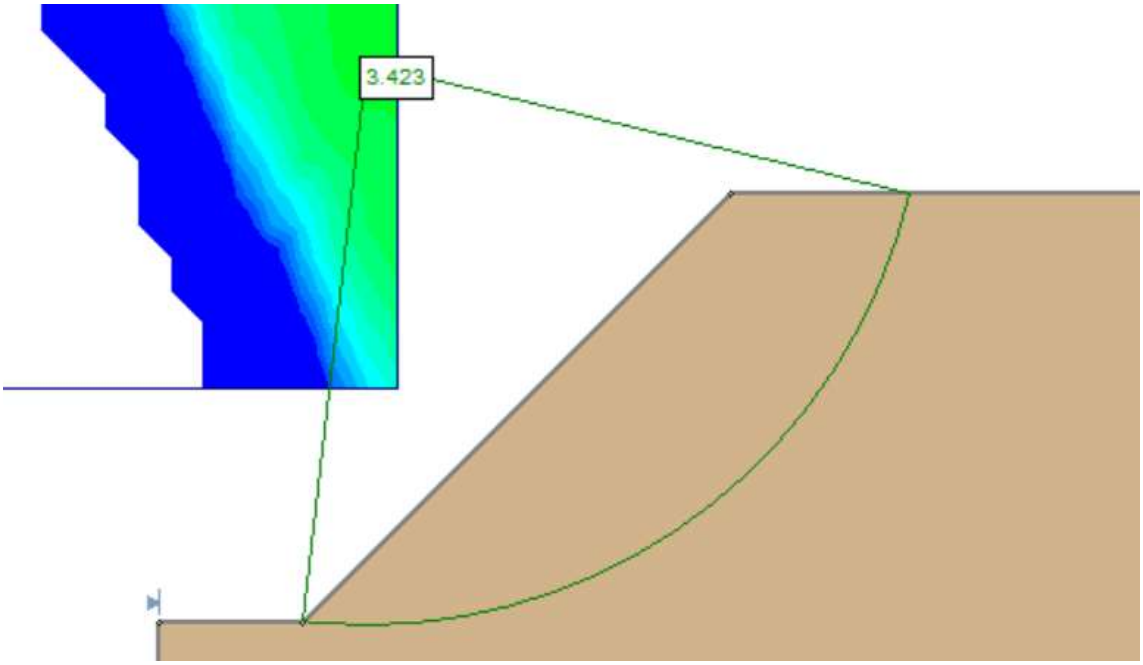


Figure VII 1 Fs calculer avec SLIDE 6.0

Comme le montre la figure le facteur de sécurité calculer est de 3.423 soit une valeur supérieure de 1.5 qui veut dire que notre talus est stable

➢ **Calcule comparative par la méthode des éléments fini avec Abaqus**

L'analyse par éléments finis (EF) est une méthode puissante pour simuler le comportement des sols dans les problèmes géotechniques, notamment l'analyse de la stabilité des pentes. Cette méthode permet de prendre en compte les déformations élastiques (récupérables) et plastiques (permanentes) du sol. Malgré ses avantages, son utilisation en pratique courante reste limitée. Ce chapitre présente une comparaison des calculs du facteur de sécurité (FOS) réalisés avec le logiciel ABAQUS par la méthode des éléments finis de réduction de résistance (SRFEM) et ceux obtenus avec le logiciel SLIDE 6.0.

- **Méthode des Éléments Finis de Réduction de Force**
  - **Facteur de Sécurité (FOS)**

Le FOS est une valeur numérique indiquant la marge de stabilité d'une pente. Un FOS plus élevé signifie une pente plus sûre.

- **Paramètres de Résistance au Cisaillement Initiaux**

Les paramètres initiaux incluent l'angle de frottement interne (φ) et la cohésion (C) du sol constituant la pente.

- **Facteur de Réduction de Résistance (SRF)**

Le SRF est un coefficient par lequel on diminue les paramètres de résistance au cisaillement initiaux dans le modèle EF.

- **Paramètres de Résistance au Cisaillement Réduits (C', φ')**

Les valeurs réduites de la cohésion (C') et de l'angle de frottement (φ') sont obtenues en divisant les valeurs initiales par le SRF ($C' = C/SRF$ et $\varphi' = \arctan(\tan\varphi/SRF)$).

- **Recherche du SRF Critique**

La SRFEM consiste à réduire progressivement les paramètres de résistance au cisaillement dans le modèle EF jusqu'à atteindre une valeur critique. Ce SRF critique correspond au point de rupture de la pente.

1. **FOS égal à SRF Critique** : Le FOS est directement considéré comme le SRF critique identifié.
2. **Avantages de la SRFEM** :
   - **Calcul direct du FOS** : Permet un calcul direct du FOS via la valeur critique du SRF.
   - **Prise en compte des complexités** : Peut intégrer des géométries complexes, le comportement des matériaux et les conditions de charge.
3. **Limites de la SRFEM** :
   - **Coût de calcul** : Les simulations EF avec des SRF variables sont gourmandes en calcul.
   - **Problèmes de convergence** : Les simulations peuvent ne pas converger pour certaines valeurs de SRF.

• Application au Projet

Caractéristiques du Talus nécessaire pour l'application sur ABAQUS

- Hauteur : 6 mètres
- Breme : 2 mètres
- Pente : 2H:1V
- Angle de la pente : 23°
- Cohésion du sol : 0.48 bars
- Masse volumique humide : 2050 kg/m³
- Perméabilité : 10^{-6} m/s
- Module de Young : 100 MPa
- Indice des vides : 0.6

Paramètres nécessaires pour l'application sur ABAQUS

Un tableau des valeurs des angles de frottement SRF et de la cohésion est utilisé.

Tableau VII 1 valeurs des ongles de frottement SRF et la cohésion

Angle	SRF(Fos théorique)	Cohésion C (Pa)
36.0523	0.5	96000.0000
25.8870	0.75	64000.0000
20.0000	1.0	48000.0000
16.2343	1.25	38400.0000
13.6390	1.5	32000.0000
11.7490	1.75	27428.5714
10.3141	2.0	24000.0000
9.1888	2.25	21333.3333
8.2833	2.5	19200.0000
7.5394	2.75	17454.5454
6.9175	3.0	16000.0000
6.3899	3.25	14769.2307

- **Application sur ABAQUS**

1. **Géométrie du Talus**

Les caractéristiques géométriques du talus doivent être définies en 3D et en 2D.

2. **Caractéristique du Matériau**

Les propriétés des matériaux dans Abaqus incluent :

- **Propriétés mécaniques** : Module de Young, coefficient de Poisson, limites d'élasticité et de rupture, comportement plastique.
- **Propriétés thermiques** : Conductivité thermique, capacité calorifique, coefficient de dilatation thermique.

Dans ce cas, on suppose que l'angle de dilatation est égal à l'angle de frottement.

3. **Conditions aux Limites**

Les conditions aux limites (CA) dans Abaqus définissent le comportement physique du modèle et incluent des conditions de déplacement, de contrainte, de charge, thermiques et de contact.

4. **Maillage dans Abaqus**

Le maillage divise le modèle en éléments simples (tétraèdres, hexaèdres, prismes, triangles), crucial pour la précision des résultats.

5. Abaqus Jobs

Un job Abaqus est la tâche d'exécution permettant de réaliser l'analyse par éléments finis, calculant et stockant les résultats à partir du modèle.

- ## Visualisation des Résultats dans Abaqus

1.Visualisation du Facteur de Sécurité (FOS)

Abaqus ne calcule pas directement le FOS mais permet de visualiser les contraintes ou les déformations pour estimer le FOS. La procédure inclut :

- Exécution du calcul et obtention des résultats.
- Visualisation de la contrainte ou de la déformation.
- Estimation du FOS basée sur la visualisation.

Une valeur de FOS supérieure à 1 indique un état stable, tandis qu'une valeur inférieure à 1 indique une défaillance potentielle. Les résultats peuvent nécessiter des ajustements du modèle ou des critères de rupture.

Résultats Comparatifs

Le FOS calculé avec Abaqus est de 3, et celui calculé avec Slide 6.0 est de 3.4. Cette légère différence peut être due à :

- **Différences de modélisation** : Variations dans les géométries, propriétés des matériaux, conditions aux limites, sollicitations appliquées.
- **Différences de méthodes de calcul** : Abaqus et Slide 6.0 utilisent des méthodes de calcul différentes avec des approximations et des précisions variées.
- **Convergence numérique** : La convergence incomplète dans l'un des logiciels peut expliquer la différence de FOS

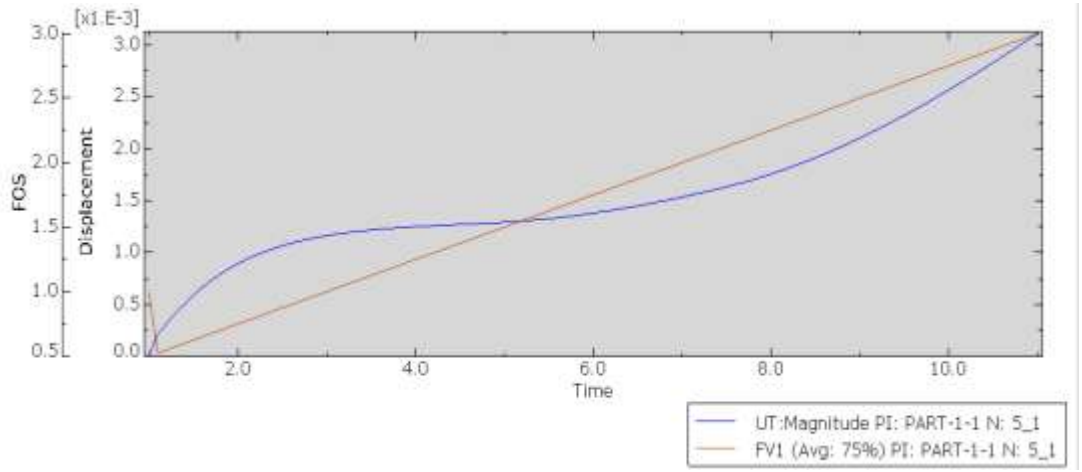


Figure VII 2 : valeur du FS par rapport au déplacement

VII.1.6. CALCUL DES CUBATURE DES TERASSEMENT

Le calcul des volumes de terrassement est réalisé après la définition du terrain naturel et du projet à l'aide de plusieurs éléments : le tracé en plan, le profil en long et le profil en travers.

Le calcul des cubatures de terrassement a été effectué à l'aide du logiciel « CIVIL 3D ». Les tableaux présentés ci-après synthétisent les résultats obtenus

Tableau VII 2 : Volume des terrassements

Terrassement	Volume (m^3)
Déblai	22992
Remblai	657709

Tableau VII 3Volume de la terre végétale

PK	Epaisseur	Volume (m^3)
55+00 jusqu'à 70+00	0.3	67500

Tableau VII 4:Volume des matériaux des couche d'assise

Matériau	Volume (m^3)
Ballast	14189.06
Sous ballaste (grave bien graduée)	25050.54
Couche de fondation (grave concassé)	20356.22
Couche de forme (GNT)	75469.91

VII.2.1. OUVRAGE D ARTE :

Les ouvrages d'art sont des constructions dont l'objectif est de permettre le franchissement d'un obstacle par une voie de circulation.

Pour concevoir un tracé ferroviaire répondant aux exigences techniques et économiques tout en assurant la perméabilité transversale et le franchissement d'obstacles, il est essentiel de prévoir des **ouvrages d'art** spécifiques. Voici quelques-uns de ces ouvrages :

- Ponts et viaducs
- Tunnels
- Passages à niveau
- Écluses et passages pour les voies navigables
- Murs de soutènement
- Passages pour la faune.

VII.2.2. CRITERES DE CHOIX ET DE CONCEPTION DES OUVRAGE D ARTE

- Pour concevoir des **ouvrages d'art** répondant aux exigences techniques et économiques, il est essentiel de prendre en compte plusieurs critères. Voici quelques éléments à considérer lors de la conception de ces structures :
    - L'obstacle à franchir
    - La situation de l'ouvrage
    - Gabarit à respecter
    - Contrainte économique
    - La topographie du site et la morphologie
    - Hauteur de franchissement :
- Pour garantir la sécurité de la circulation ferroviaire, la conception d'un ouvrage d'art doit respecter le gabarit du matériel roulant et la hauteur de franchissement
    - Route :5,25m minimum (RN ; CW ; CC)
    - Piste : 3,5 minimum
    - Chemin de fer (contact catenaire) :7.00m au-dessus de la surface supérieure du rail
    - Les ouvrages qui se trouve dans notre tracée :

Entre les PK 55 et 70, nous rencontrons un seul obstacle qui se trouve dans le point kilométrique PK 57+256, (une caserne militaire). De plus, des passages pour la faune ont été aménagés aux PK 61 et 65

Tableau VII 5:Listing des ouvrages d'art

PK	Désignation	Angle de biais	Portée (m)	Largeur (m)	Type	Fonction d'usage
57+256	Passage supérieur en portique	90°	15	12 m	Portique	Passage supérieur route
61+258,483	Passage supérieur en portique	0°	15	8	Portique	Piste passage a faune
65+788,621	Passage supérieur en portique	0°	15	8	Portique	Piste passage a faune

VII.3.CONCLUSION

En conclusion, le terrassement et les ouvrages d'art sont des éléments essentiels de l'ingénierie civile et jouent un rôle crucial dans la construction et l'entretien d'infrastructures durables et sécuritaires. Leur conception et leur réalisation nécessitent une expertise technique pointue et une prise en compte minutieuse des enjeux environnementaux et architecturaux.

CHAPITRE VIII
AMENAGEMENT DE LA GARE DE COISEMENT 2

CHAPITRES VIII : AMENAGEMENT DE LA GARE DE CROISEMENT 2

VIII.1. INTRODUCTION

Une gare ferroviaire est un lieu d'arrêt pour les trains et peut également être utilisée pour des opérations telles que le changement de locomotives.

Elle a plusieurs rôles essentiels tel que :

elle facilite l'embarquement et le débarquement des passagers, ainsi que le chargement et le déchargement des marchandises, tout en constituant un carrefour vital reliant la ville à son réseau de transports en commun. Ce chapitre vise à décrire les éléments composant une gare destinée aux voyageurs ainsi qu'une gare de croisement,

Il existe plusieurs types des gares tel que :

- Gare de voyageurs.
- Gare de marchandises Ferroviaire.
- Gare mixte.
- Gare de triage.

Les installations d'une gare pour les voyageurs comprennent :

- **Le hall de la gare** : C'est l'espace principal dédié à l'accueil des passagers, équipé d'un espace de vente de billets et de salles d'attente pour le confort des voyageurs avant leur départ.
- **Les installations pour le personnel ferroviaire (B.U.D)** : Ces espaces sont spécialement conçus pour le personnel des chemins de fer, offrant des bureaux et des zones de service nécessaires à la gestion de la gare.
- **Les quais** : Ce sont des plates-formes alignées le long des voies ferrées, permettant un accès sécurisé et pratique aux trains pour les passagers.
- **Les abris de quai** : Des structures couvertes situées sur les quais pour offrir une protection contre les éléments naturels comme la pluie ou le soleil.
- **Les passages souterrains et les passerelles** : Des infrastructures construites pour assurer une traversée sécurisée des passagers d'un quai à l'autre, évitant ainsi le croisement des voies ferrées.

VIII.2. GARAGE FRANC

La borne de garage franc, qui marque la limite autorisée pour le stationnement des trains sur une voie de croisement, est généralement installée à 3,57 mètres de distance entre les deux voies. Toutefois, pour des raisons de sécurité, il est recommandé de la placer à un mètre supplémentaire de la position théorique GF= 3.57*n+1 (Im pour sécurité) ; n : varie selon l'ouverture

VIII.3.LA LONGUEUR D'UNE VOIE DE STATIONNEMENT

C' est la longueur nécessaire permettant au train de se stationner sur la voie de dépassement sans gêner la circulation sur la voie principale ou les autres voies de dépassement voisines.

La longueur utile est la distance séparant deux garages francs. Selon la SNTF La longueur utile minimale est de :

- 426 m : pour les trains voyageurs.

- 870 m pour les trams de marchandise (pour la voie principale et la voie de service).

VIII.4.LES HEURTOIRES



Figure VIII 1 : Haurtoire

Les heurtoirs, aussi connus sous le nom de butoirs ou tampons de voie, sont des dispositifs de sécurité ferroviaires essentiels. Ils sont généralement situés à l'extrémité des voies ferrées dans les gares, les dépôts ou les terminus pour empêcher les wagons ou les locomotives de dérailler. Et aussi pour absorber l'énergie cinétique des véhicules ferroviaires,

VIII.5. LA MARGE DE GLISSEMENT

C'est une mesure de sécurité critique qui permet d'assurer qu'il y ait un espace suffisant pour un train pour s'arrêter en toute sécurité en cas d'urgence, sans empiéter sur une autre section de voie où un autre train pourrait circuler.

une marge de glissement est une zone tampon qui permet de gérer les risques associés au non-respect des signaux par les conducteurs de train, en fournissant un espace supplémentaire pour arrêter le train avant qu'il n'entre en collision avec un autre train

VIII.6. QUAI

Est une plateforme située le long d'une voie ferrée dans une gare, permettant aux passagers d'accéder facilement aux trains. Les quais sont conçus pour faciliter l'embarquement et le débarquement des voyageurs, ainsi que pour améliorer la sécurité et l'efficacité des opérations ferroviaires.

Les caractéristiques d'un quai ferroviaire sont :

- La hauteur : plus nominale du bord du quai devra être 550 mm ou 76o mm
- Plus grand que 760 mm : quais : hauts
- Plus petits que 550 mm quai : bas
- Distance par rapport a l'axe de la voie :

Pour les quais dont les bordures sont établies à une hauteur standard de 550 mm et 760 mm, la distance standard par rapport à l'axe central de la voie ferrée est déterminée comme suit :

$$L(mm)=1650+S$$

La valeur de S est donnée par : $$S=\frac{3750}{R}+\frac{(1-1435)}{2}$$

R : le rayon de la voie et I est l'écartement

Entre axe entre les quais :

Selon la SNTF : Entraxe normal > 11.3 m.

Entraxe minimal > 9.3 m

VIII.7. APPAREILLE DE VOIE

L'appareil de voie, souvent appelé aiguillage, Il permet de diriger les trains d'une voie à une autre et de gérer les intersections de voies



Figure VIII 2 :Appareille de voie

Le type d'appareil ferroviaire est déterminé par la valeur de la tangente d'implantation, qui est indiquée en notation décimale. Un appareil de voie est constitué de trois éléments principaux : l'aiguillage, la section intermédiaire et le cœur de croisement. En ce qui concerne les catégories d'appareils de voie, on en distingue trois types :

Les branchements : Ce sont des dispositifs permettant de diriger les trains d'une voie à une autre.

Les traversées : Elles permettent aux trains de passer d'une voie parallèle à une autre sans changement de direction.

Les traversées jonctions : Ce sont des combinaisons de branchements et de traversées qui facilitent le passage des trains d'une voie à une autre à un carrefour de voies.

APPAREILS DE VOIE : Les spécifications et dimensions des appareils de voie adoptés (type UIC 60E1) dans le projet de la nouvelle ligne Saïda / El-Bayadh sont présentées dans le tableau suivant :

Tablau VIII 1:Les appareilles de voie utiliser dans le projet

Appareil de voie	**Type de rail**	**R(m)**	**LQ(m)**	**A(m)**	**B(m)**	**Vitesse en voie directe** **Vitesse en voie déviée**
1/18,5	UI 60 EI	1200	66,711	39,9242	33,787	160 Km/h(100km/h)
1 /12	UIC 60 EI	500	43,418	20,797	22.684	160 Km/h(65km/h)
1/9	UIC 60 EI	300	34,538	16,616	17,922	160 Km/h(50km/h)
	UIC60 EI	190	28,328	10,523	17,805	160 Km/h(40km/h)

Des diagrammes (skeleton en anglais) d'appareils de voie de type UIC 60E1 sont présentés ci-dessous :

Figure VII.3. Des diagrammes d'appareils de voie de type UIC 60E1

Implantation des appareils de voie

Dans un cas normal sans contraintes, les spécifications pour l'implantation des appareils de voie sont les suivantes :

La distance entre la fin du quai et le garage franc doit être supérieure à 130 mètres.

L'emplacement doit être en alignement droit, suivant la courbure de l'alignement horizontal.

Pour les appareils de type UIC60 ,R 500, 1/12 la vitesse de branchement autorisée est de 60 km/h.

Dans un cas avec contraintes, les ajustements sont les suivants :

Il doit y avoir un appareil de protection avec une distance entre la fin du quai et l'appareil de plus de 80 mètres.

Les appareils de type UIC60 ,R 500,1/12 maintiennent une vitesse de branchement de 60 km/h.

La distance entre l'appareil de voie et la courbe doit être de 6 mètres ; des rampes de dévers droites sont prévues sans doucine.

VIII.8. APLICATION AU PROJET

1.Localisation de la gare :

La gare de croisement 02 se trouve entre pk65+025 et pk66+225



Figure VIII 3 : localisation de la gare

2.Appareils de voies :

- 03 Appareils de voies : 2 UIC60 El 1/12 500 et UIC60 E1 1/9 190)
- Garage franc GF = 44m
- Longueur utile LU = 1200m

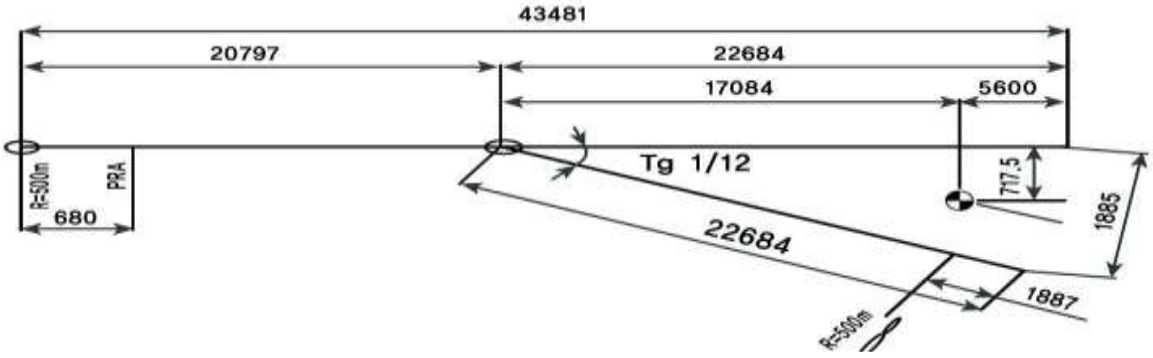


Figure VIII 4 : schéma de l'appareille de voie

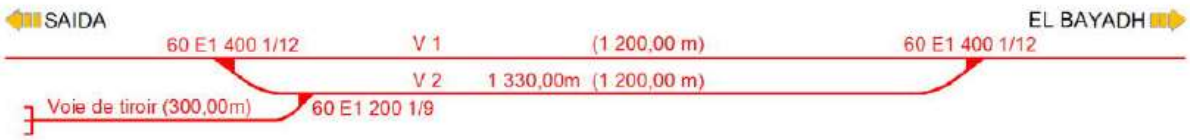


Figure VIII 5:Schéma de la gare de croisement

3.Installation de la gare :

Tablau VIII 2 Installation de la gare

Type de trafic	Bâtiment	Voies principale	Voies de service (siding)	Longueur utile de voie	Appareil de voie
Croisement et évitement des trains	Construit au sol	2voies (V1,V 2)	1 voie de tiroir	1200,00m	UIC60 EI 1/12 :2 unités UIC60 EI 1/9 :1 unités

VIII.9. ASSAINISSEMENT

1.Assainissement transversal :

Les quais doivent avoir une pente de 2% en forme de toit ou en V pour diriger les eaux pluviales vers les voies.

Les eaux sont ensuite évacuées par les pentes transversales des plates-formes.

2.Assainissement longitudinal :

Des drains longitudinaux avec des pentes de 4% recueillent les eaux qui s'infiltrent dans le ballast et la plate-forme.

Ces eaux sont acheminées vers le réseau d'assainissement via les regards de visite.

Ces mesures assurent que l'eau ne stagne pas et ne compromet pas la structure ou la sécurité des installations ferroviaires

VIII.10.CONCLUSION

L'aménagement d'une gare ferroviaire réussie doit répondre aux besoins des usagers tout en s'intégrant harmonieusement à l'environnement urbain. Il doit également être esthétique, fonctionnel et sécurisé

CHAPITRE IX
ELECTRIFICATION ET SIGNALISATION

CHAPITRES IX : ELECTRIFICATION ET SIGNALISATION

IX.1. ELECTRIFICATION

IX.1.1Introduction

L'électrification ferroviaire gagne en popularité en raison de ses avantages environnementaux et économiques. Ce chapitre présente une vue d'ensemble des systèmes d'électrification ferroviaire.

1.Système d'électrification ferroviaire

Un système d'électrification ferroviaire fournit l'énergie électrique aux trains. L'alimentation est généralement en courant alternative haute tension (CA) ou en courant continu (CC) et passe par une caténaire ou un troisième rail. Le retour de courant se fait par les rails ou un quatrième rail dédié.

- **Sous-systèmes**

Un système d'électrification ferroviaire comprend trois sous-systèmes principaux :

- **Sous-station**

La sous-station abaisse la tension du réseau électrique haute tension à une valeur utilisable par les trains. Les sous-stations peuvent être équipées de plusieurs transformateurs et de systèmes de protection.

- **Caténaire**

La caténaire est un ensemble de câbles suspendus au-dessus des voies qui fournit l'énergie électrique aux trains. Elle est composée de plusieurs éléments, dont un fil de contact, un câble porteur et des supports.

SCADA

Le système SCADA (Superviser Control and Data Acquisition) permet de surveiller et de contrôler à distance les installations d'électrification ferroviaire. Il recueille des données en temps réel et permet à l'opérateur de commander les différents composants du système.

2.Étapes de l'électrification ferroviaire

Un projet d'électrification ferroviaire comprend plusieurs étapes :

1. Étude de planification et de faisabilité
2. Simulation de traction
3. Conception préliminaire de la caténaire
4. Avant-projet détaillé (APD)
5. Etude d'exécution
6. Essais de vérification

IX.1.2. ÉTUDE GÉOMÉTRIQUE, AVANT-PROJET DE PIQUETAGE

1.DEFINITION

Le projet de piquetage préliminaire est un élément crucial de l'étude d'électrification ferroviaire. Il consiste à établir un plan de piquetage qui comprend les supports caténaires et leur emplacement le long de la ligne ferroviaire et de la gare

2.CRITÈRES DU PROJET

Toutes les études sont réalisées dans le respect de plusieurs critères imposés par le projet. A cet égard, il convient de noter que l'étude du projet de piquetage préliminaire doit tenir compte des points suivants :

- Le schéma d'alimentation et de sectionnement (SAS).
- Les travaux de génie civil.
- Les zones spéciales.
- Le diagramme de signalisation.

a. Schéma d'Alimentation et de Sectionnement (SAS)

Il consiste à diviser électriquement la caténaire en sections et sous-sections (cantons) au moyen de dispositifs de sectionnement. Ce schéma servira à déterminer :

- L'emplacement des points de sectionnement (dispositifs de coupure).
- La répartition : des sections, des zones neutres, de la mise en parallèle, des équipements de tension et de l'anti déraillement.

b. Travaux de Génie Civil

Les caractéristiques des ouvrages d'art qui enjambent la ligne ferroviaire conditionnent l'étude du piquetage à proximité des ouvrages. Pour cela, il faut tenir compte des caractéristiques suivantes :

- La nature de l'ouvrage.
- La forme de l'intrados.
- Le gabarit (courant et projeté).
- La marge d'entretien des voies.
- Le type d'équipement envisagé (passage libre, suspension sur les faces, support d'ancrage).

➢ **Zones Spéciales**

Il s'agit de zones où la portée entre les supports caténaires doit être limitée, telles que :

- Les zones venteuses : où la portée doit être limitée à 54 m au maximum.
- Les zones sur structures élevées : où il faut tenir compte d'un vent plus fort et réduire les portées.
- Les zones à forte foudre : où des installations peuvent être nécessaires.

➢ Diagramme de Signalisation

Chaque infrastructure ferroviaire dispose d'un diagramme de signalisation pour assurer la fluidité du trafic des trains. Les signaux présents le long de la ligne sont considérés comme des contraintes pour l'installation de la caténaire, c'est pourquoi les portées doivent être adaptées en fonction de l'emplacement de ces signaux.

IX.1.3. RÈGLES ET NORMES UTILISÉES

L'étude du projet de piquetage préliminaire suit des règles de placement des supports caténaires selon des normes spécifiques.

1.Règles de Piquetage

Pour un meilleur choix du plan de piquetage, il est recommandé de suivre les règles suivantes :

- Pour une ligne à deux voies, la caténaire doit être supportée par des supports indépendants, situés en vis-à-vis de part et d'autre des voies dans le plan perpendiculaire à celles-ci, sauf cas très exceptionnels, comme des obstacles importants d'un côté de la plateforme ou un terrain très accidenté.
- Pour les zones à voie unique, les supports doivent être installés de manière à ne pas gêner le futur doublement de la voie.
- Pour les zones à plus de trois voies :
    - Si l'espacement entre les voies le permet, il est possible d'installer des supports indépendants ou des supports " parapluie ".
    - Si l'espacement entre les voies ne le permet pas, il faut utiliser des portiques (rigides si la caténaire est régularisée ou souples sinon).
- Adapter autant que possible l'alignement de la caténaire au schéma d'alimentation et de sectionnement ainsi qu'au diagramme de signalisation.
- Respecter les portées maximales et minimales en alignement et en courbe.

2.Normes Utilisées

Dans cette partie de l'étude, nous avons utilisé les normes SNTF ainsi que celles mentionnées ci-dessous :

EN 50119 : Applications ferroviaires, installations fixes, lignes aériennes de contact pour la traction électrique.
EN 50163 : Applications ferroviaires tensions d'alimentation des réseaux de traction.
UIC 606-2 : Installations des lignes de contact 25 Kv, 50 ou 60 Hz.
UIC 608 : Conditions à respecter pour les pantographes des engins moteurs utilisés en service international.

IX.1.4 LONGUEUR DU CANTON DE POSE

La longueur maximale d'un canton de pose pour la caténaire est de 1400 mètres. Cette valeur est déterminée par deux critères principaux :

1.Critère de déplacement des contrepoids

Les contrepoids utilisés dans les appareils tendeurs pour maintenir la tension de la caténaire ont une course limitée. La longueur maximale du canton est définie en fonction de la course maximale admissible des contrepoids, afin qu'ils puissent maintenir la tension adéquate tout au long du canton.

2.Critère de perte due à la rotation des consoles

Les consoles, qui supportent les supports caténaires, peuvent subir une légère rotation sous l'effet du vent et des charges. Cette rotation entraîne une perte de tension de la caténaire. La longueur maximale du canton est définie en tenant compte de cette perte de tension admissible.

En plus de ces deux critères principaux, d'autres facteurs peuvent influencer la longueur des cantons de pose, tels que :

- Le type de terrain
- La présence d'obstacles
- Les contraintes de la signalisation ferroviaire

3.Choix de la longueur des cantons

La longueur finale des cantons de pose est choisie en tenant compte de tous ces facteurs et en optimisant l'équilibre entre les performances techniques et les coûts d'installation et de maintenance.

En résumé, la longueur maximale de 1400 mètres pour les cantons de pose garantit un compromis optimal entre les exigences techniques et économiques du projet d'électrification ferroviaire

IX.1.5DÉTÈRMINATION DES PORTÉES

La portée désigne la distance horizontale entre deux points d'appui successifs de la caténaire, c'est-à-dire les supports ou les points de suspension. Cette valeur varie en fonction de la configuration de la voie, et se distingue entre les sections en alignement et en courbe.

Tableau IX 1 :Les portées selon la norme

Portée maximale	**En alignement**	**En courbe**	**En zon ventée**
	63 m	En fonction des rayons de courbe	54 m
Portée min	Ne pourra pas être inférieure à 22.5 m		

1.Paramètres nécessaires pour la détermination des portées

- **Désaxement**

Le désaxement de la caténaire est un élément crucial de la conception d'une ligne ferroviaire électrifiée. Il consiste en un décalage horizontal des fils de contact par rapport à l'axe de la

voie, créant un mouvement en zigzag. Ce décalage vise à répartir uniformément l'usure sur les bandes de frottement des pantographes, évitant ainsi une usure localisée et prématurée.

- **Valeurs nominales du désaxement**

Les valeurs nominales du désaxement sont définies par les normes en vigueur et varient en fonction de la configuration de la voie :

- **En alignement: Voie principale:**
  - ± 200 mm, ce qui signifie que les fils de contact oscillent de 200 mm d'un côté et de l'autre de l'axe de la voie.

- **Voie de service:**

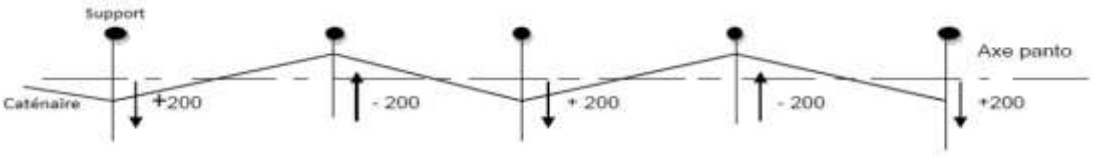


Figure IX 1 :Desaxement alignement droit

Le désaxement varie progressivement sur cinq portées consécutives, passant de -200 mm à +200 mm en passant par -100 mm, 0 mm et +100 mm.

- **En courbe:**

  - Le désaxement ne dépasse jamais 240 mm et se situe généralement du côté extérieur de la courbe.

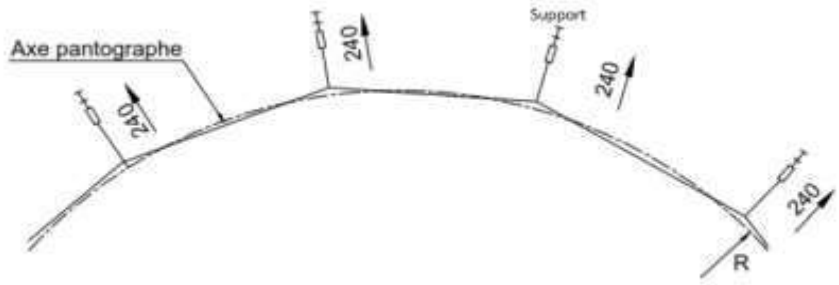


Figure IX 2:Desaxement en alignement en courbe

- **Objectifs du désaxement**

Le désaxement de la caténaire présente plusieurs avantages :

- **Répartition uniforme de l'usure:** En répartissant l'usure sur l'ensemble des bandes de frottement des pantographes, le désaxement prolonge la durée de vie de la caténaire et des pantographes.
- **Réduction des vibrations:** Le mouvement de zigzag du désaxement permet de limiter les vibrations de la caténaire, améliorant ainsi la stabilité et la performance du système d'électrification.
- **Amélioration du captage du courant:** Un désaxement adéquat assure un meilleur contact entre les pantographes et les fils de contact, optimisant la captation du courant électrique.

➢ Convention de signe

Pour simplifier la communication, une convention de signe est utilisée pour indiquer le sens du désaxement :

- **Moins (-)** : Le désaxement est dans la direction du support caténaire.
- **Plus (+)** : Le désaxement est dans la direction opposée au support caténaire.

➢ Mise en œuvre du désaxement

Le désaxement est mis en œuvre lors du montage de la caténaire. Les fils de contact sont positionnés à des distances spécifiques par rapport à l'axe de la voie, en suivant les valeurs nominales définies pour chaque type de voie et de courbe

2.Balancement latéral théorique du pantographe

Le balancement latéral du pantographe est crucial pour la conception et l'exploitation des lignes ferroviaires électrifiées.

Il représente la déviation latérale du pantographe par rapport à l'axe de la caténaire.

➢ Facteurs influençant le balancement latéral:

- Force de pression du pantographe
- Vitesse du train
- Type de caténaire
- État de la caténaire

➢ Calcul du balancement latéral théorique:

- Modèles mathématiques complexes
- Simulation du comportement du pantographe

➢ Importance du balancement latéral théorique:

- Compatibilité pantographe-caténaire
- Évaluation de la stabilité du système
- Définition de limites de vitesse

Le balancement latéral est essentiel pour la sécurité et la performance des lignes ferroviaires électrifiées**.**

3.Flèche de la courbe en milieu de portée

La flèche de la courbe ($F = a^2/8R$) est un paramètre crucial dans la conception et l'installation de la caténaire des lignes ferroviaires électrifiées.

Elle influence :

- Positionnement des supports: Hauteur et espacement pour maintenir la distance caténaire-rails adéquate.
- Tension des fils de contact: Une flèche importante nécessite des contrepoids pour réguler la tension.
- Désaxement de la caténaire: Décalage horizontal des fils par rapport à l'axe de la voie pour un contact uniforme avec les pantographes.

Lors de la conception, il faut :

- Choisir des supports adaptés: Type et hauteur en fonction de la flèche et de la distance caténaire-rails.
- Calculer la tension des fils: En fonction de la flèche, de la longueur des portées et des propriétés des fils.
- Ajuster le désaxement: En fonction de la flèche pour garantir un contact pantographe-fils uniforme.

L'analyse de la flèche de la courbe est essentielle pour une infrastructure ferroviaire performante et sûre, garantissant un positionnement adéquat des supports, une tension appropriée des fils et un désaxement optimal de la caténaire.

4.Désaxement du fil de contact en milieu de portée

Le désaxement du fil de contact est crucial pour un contact optimal entre les pantographes et les fils de contact dans les lignes ferroviaires électrifiées.

- **Un désaxement adéquat évite:**

- Usure excessive des composants
- Vibrations et oscillations
- Captages de courant irréguliers

- **Le désaxement dépend de:**

- Flèche de la courbe
- Positionnement des supports caténaires
- Tension des fils de contact
- Température

Contrôle et maintenance réguliers sont essentiels pour garantir un désaxement correct et une performance optimale du système d'électrification ferroviaire.

5.Déplacement du fil de contact

Le déplacement du fil de contact est un mouvement crucial dans les lignes ferroviaires électrifiées, influençant la performance et la sécurité du système.

➢ Types de déplacements:

- **Verticaux:** Variation de la hauteur des fils par rapport au rail (flexion sous la charge, variations de température, vent).
- **Horizontaux:** Décalage latéral des fils par rapport à l'axe de la voie (balancement du pantographe, irrégularités de la voie, vent).

➢ Conséquences:

- Mauvais contact pantographe-caténaire (captages irréguliers, arcs électriques, baisses de tension).
- Usure accélérée des composants (frottement excessif).
- Vibrations et oscillations (instabilité du système, altération de la qualité de l'alimentation).
- Défaillances du système (débranchements de fils, ruptures de caténaire).

➢ Contrôle et maintenance:

- Surveillance du système (détection de déplacements anormaux).
- Maintenance préventive (inspections et réglages réguliers).
- Corrections en cas de besoin (ramener les fils à leur position nominale).

Le déplacement du fil de contact doit être surveillé et contrôlé pour garantir une performance optimale, un contact fiable et une sécurité des circulations ferroviaires.

6.Détermination de la portée maximale

➢ Détermination de la portée maximale dans les lignes ferroviaires électrifiées

La **portée maximale** dans les lignes ferroviaires électrifiées est la **distance maximale** entre deux supports caténaires consécutifs qui permet de maintenir le **fil de contact** à la **hauteur adéquate** au-dessus des rails, tout en garantissant sa **stabilité** et sa **performance électrique**. La détermination précise de cette portée dépend de plusieurs facteurs clés:

1. **Type de caténaire:**
   - **Caténaire simple:**

La portée maximale est généralement plus courte pour les caténaires simples, car elles offrent une rigidité structurelle moindre. Des portées typiques pour les caténaires simples se situent entre 30 et 40 mètres.

- **Caténaire complexe:**

Les caténaires complexes, avec leur structure renforcée par des porteurs transversaux, permettent des portées plus importantes, pouvant atteindre 60 à 80 mètres.

2. Tension des fils de contact:

Une tension élevée des fils de contact permet d'augmenter la portée maximale, car elle contribue à rigidifier la caténaire et à réduire sa flèche.

Des valeurs de tension typiques se situent entre 15 et 25 kilonewtons.

3. Vitesse maximale des trains:

Sur les lignes à grande vitesse, des portées plus courtes sont nécessaires pour limiter les vibrations et les oscillations de la caténaire dues aux trains circulant à des vitesses élevées.

Des portées typiques sur les lignes à grande vitesse se situent entre 20 et 30 mètres.

4. Conditions climatiques :

Dans les régions enneigées ou soumises à des charges de vent importantes, des portées plus courtes peuvent être nécessaires pour garantir la stabilité de la caténaire et éviter les ruptures de fils.

- **Calcul de la portée maximale:**

La portée maximale entre pylônes, déterminée par des études techniques approfondies, optimise la sécurité, la performance et la rentabilité d'une ligne ferroviaire électrifiée.

- **Portée en raccordement parabolique ou clothoïde**

La portée est définie par sa longueur et sa position dans le raccordement. La longueur (l) est calculée en fonction du rayon de la courbe (R) et de la distance (X) entre l'ORP et le point le plus éloigné de la portée.

Formule: R' = R * l / X (où R' est le rayon à l'extrémité de la portée)

6.Raccordement en pentes

La hauteur du fil de contact varie en fonction des obstacles (ponts, tunnels) ou des points singuliers (passages à niveau).

- Hauteur maximale: 6.20 m
- Hauteur minimale: 4.65 m
- Un raccordement progressif en pente est nécessaire pour passer de la hauteur nominale (5.50 m) à la hauteur sous ou sur l'obstacle.
- La pente dépend de la vitesse de la ligne et du type de caténaire

7.Portées et position des supports aux abords des points singuliers du projet

- **Passage supérieur:** Portée maximale sous l'ouvrage, franchissement avec suspension, distance au mur de retour.
- **Branchement sur voie principale:** Appareil Tangentiel, support proche du centre, distance "P", portée égale sur les deux voies.
- **Voies de canalisations:** Pas de support sur la voie, distance de 3 mètres de part et d'autre.
- **Traversées électriques aériennes:** Support généralement pas sous la traversée, distance réglementaire aux agents d'entretien.
- **Bâtiments voyageurs et gares:** Encadrement des bâtiments, pas de supports face aux passages, accès, joints de pointe, entrevoies des têtes de faisceaux.
- **Isolateur de section:** Portées inférieures ou égales à 54 mètres, distance entre le support et l'isolateur de 13,50 mètres.

➢ Objectifs:

- Garantir la sécurité
- Optimiser la performance
- Faciliter l'accès et la maintenance

Respect des règles et principes de positionnement des supports caténaires aux points singuliers pour un système d'électrification ferroviaire performant et sûr

IX.1.6PRINCIPES D'EQUIPEMENT EN 25 KV

Une fois l'implantation des poteaux caténaires définie le long du tracé ferroviaire, l'étape suivante consiste à déterminer la position précise des équipements électriques qui alimentent et sectionnent la caténaire. Cette étape cruciale garantit une alimentation fiable et sécurisée de la caténaire, en tenant compte du schéma d'alimentation et de sectionnement choisi.

1.Équipements nécessaires pour assurer la tension et le sectionnement de la caténaire:

- **Tendeur:** Placé à chaque extrémité d'un canton de 700 à 1400 mètres.
- **Dispositif d'anti-cheminement:** Empêche le frottement du pantographe sur deux cantons simultanément.
- **Sectionnement à lame d'air:** Assure la continuité électrique et du contact entre deux cantons.
- **Isolateur de section:** Fonction similaire au sectionnement à lame d'air, mais encombrement moindre.

2. Détails techniques:

- Tendeur sur quatre portées (54m à 22.5m).
- Relèvement de la caténaire selon la portée.
- Sectionnements en 4 portées pour des portées de relèvement supérieures à 31.50m.
- Plans de détails disponibles en annexe.

Ces équipements garantissent le bon fonctionnement et la sécurité de la caténaire.

IX.1.7. PENDULAGE CATENAIRE

Le pendulage est un élément crucial de la caténaire ferroviaire, assurant la qualité du contact dynamique entre le fil de contact et le pantographe et la fiabilité de l'alimentation en courant.

1.Fonctionnement

- Des pendules, suspendus au câble porteur, supportent le fil de contact.
- La longueur des pendules est calculée pour donner au fil de contact une forme parabolique, garantissant un contact optimal avec le pantographe.
- Cette forme permet également de limiter l'encombrement de la caténaire au niveau des supports.

2.Paramètres clés

- **Flèche du fil de contact:** 1/1000 de la portée, mesurée en milieu de portée par rapport à la droite reliant les points bas des pendules A et B.
- **Encombrement de la caténaire:** 1,25 m au droit du support.
- **Longueur minimale des pendules:** 300 mm.
- **Distance entre les pendules:** 10 m maximum.

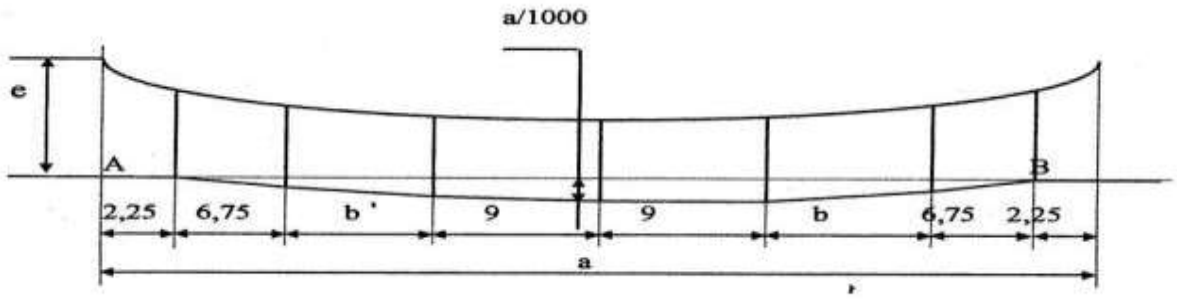


Figure IX 3:Schema du pondulage

IX.1.8. MISE SUR PLAN DE L'AVANT-PROJET DE PIQUETAGE

Après implantation des supports, leur position est reportée sur plan 1/1000ème.

- **Numérotation:**
  - Kilomètre + numéro d'ordre
  - Lettres pour voies dédoublées ou de service
- **Portée et zones de raccordement:**
  - Valeur de la portée entre parenthèses (f pour zones de raccordement)
- **Objectif:**
  - Documenter le projet d'électrification ferroviaire
  - Faciliter la mise en œuvre

- Visualiser l'implantation des supports
- Garantir une exécution réussie des travaux

IX.1.9 DIMENSSIONEMENT DES SUPPORT CATENAIRE

1. NORMES ET RÈGLES DE CALCUL

- Eurocode 3 : Calcul des structures en aciers ;
- Eurocode 1 : Bases de calcul et actions sur les structures – Actions du vent ;
- Eurocode 8 : Conception et dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes ;
- DTR RNV2013 : Règlement neige et vent (version 2013) ;
- RPA 99 version 2003 : Règles parasismiques Algériennes.

➢ **Conditions climatiques**

Tableau VIII Condition climatique

Tableau IX 2 condition climatique

Température	**Maximale**	**+ 80°C**
	Ambiante	+50°C
	Minimale	- 10°C
	Moyenne	+ 35°C
Vent	Vitesse normale	29 m/sec.

➢ **Caractéristiques des caténaires**

Tableau IX 3 Caracteristique des catenaire donné par le fournisseure

	Porteur	**Fil de Contact**	**Câble de retour**	**Feeder**	**Anticheminement**
Quantité	1	1	2	1 (facultatif)	1 (facultatif)
Tension (daN) à 35° sans vent	1200	1200	900 x 2	900	1000
Diamêtre (mm)	10,50	12,25	21.90 x 2	21.90	10,50
Poids linéaire (daN/m)	0,605	0,951	0.987 x 2	0.987	0,605

Paramètres sismiques

Les paramètres sismiques sont basés sur les Règles Parasismiques Algériennes RPA 99 qui exigent la prévention du risque sismique. Le dimensionnement de la structure doit donc tenir compte des efforts sismiques définis selon le type de structure et la zone sismique considérée. La wilaya de SAIDA ET EL BAYADH est classée zone sismique I

➢ **Caractéristiques de l'acier S275 JR pour les supports de caténaire**

L'acier S275 JR est un alliage ferreux couramment utilisé dans la construction métallique, notamment pour les supports de caténaire. Il se caractérise par ses propriétés mécaniques et sa résistance à la rupture fragile. Voici un résumé des caractéristiques de l'acier S275 JR :

➢ **Composition:**

- Alliage ferreux (fer et carbone)

- Teneur en carbone comprise entre 0,05% et 2%
- **Désignation:**
- S : Acier de construction
- 275 : Limite d'élasticité minimale (en MPa)
- JR : Résistance à la rupture fragile à 20°C (énergie minimale de rupture de 27 joules)

➢ **Propriétés mécaniques:**

- Module d'élasticité longitudinale (E): 210 000 MPa
- Module d'élasticité transversale (G): 81 000 MPa
- Coefficient de Poisson (ν): 0,3
- Masse volumique (ρ): 7800 kg/m

*2.*Définition des charges pour les supports de caténaire

Les charges appliquées aux supports de caténaire se divisent en trois catégories principales :

➢ **Charges permanentes (G)**

Les charges permanentes sont des charges constantes qui agissent sur la structure de manière permanente. Elles comprennent :

Poids propre: Le poids de chaque élément de la structure, y compris les supports, les consoles, la caténaire, etc.

Effort axial de compression: L'effort axial de compression sur le support dû à un ancrage avec hauban.

➢ **Charges variables climatiques (Q)**

Les charges variables climatiques sont des charges qui varient dans le temps en fonction des conditions climatiques. Dans le cas des supports de caténaire, les charges climatiques considérées sont les charges de vent.

- Tension radiale sur les câbles: La tension radiale sur les câbles due au désaxement et à la courbe de la voie.
- Ancrage des câbles transversaux: Les forces exercées par les câbles transversaux sur leurs points d'ancrage.
- Ancrage d'un câble sans hauban: Les forces exercées par un câble sans hauban sur son point d'ancrage.

Remarque: La charge de la neige (glace) sur les conducteurs n'est pas prise en compte dans le cadre de ce projet.

➢ **Charges sismiques (S)**

Les charges sismiques sont des charges dues aux mouvements du sol lors d'un tremblement de terre. Elles sont définies par le Règlement Parasismique Algérien (RPA)

3.Etapes de Dimensionnement des supports de caténaire

Le dimensionnement des supports de caténaire garantit leur capacité à résister aux charges permanentes (poids propre, ancrages), climatiques (vent) et sismiques. Il implique:

- **Sélection d'un profil HE adapté** (HEA, HEB ou HEM) aux sollicitations et aux propriétés mécaniques requises. Dans notre cas HEA 240
- **Vérification des contraintes** dans le profil sélectionné par rapport aux limites admissibles du matériau (acier S275 JR).
- **Contrôle des déplacements** en tête du support et au niveau du fil de contact pour s'assurer qu'ils restent dans les limites admissibles.
- **Vérification du flambement** (perte de stabilité latérale) et dimensionnement des éléments de contreventement si nécessaire.
- **Vérification du vrillage** (pour supports avec armements multiples) et renforcement des éléments du support si nécessaire.
- **Choix des assemblages** (soudures, boulons) et **vérifications complémentaires** (fatigue, corrosion).

4.Dimensionnement d'un support indépendant avec une seule console

➢ Détermination des sollicitations:

- **Charges permanentes (G):**
  - Poids propre du support et de la console
  - Effort axial de compression dû à l'ancrage
- **Charges variables**

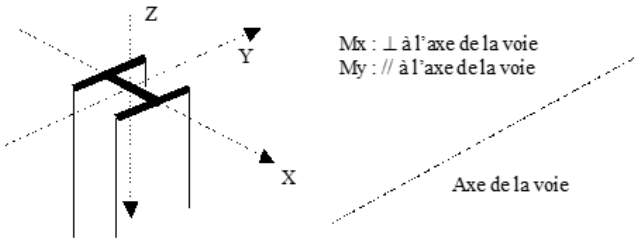


Figure IX 4 Direction des charges

- **climatiques (Q):**
  - Charges de vent horizontales et verticales sur le support et la caténaire
  - Tension radiale sur les câbles due au désaxement et à la courbe de la voie
- **Charges sismiques (S):**
  - Force sismique équivalente totale (V0) appliquée selon les deux axes principaux x et y

➢ Sélection du profil porteur:

- Choix d'un profil HE (HEA, HEB ou HEM) adapté aux sollicitations et aux propriétés mécaniques requises (acier S275 JR dans ce cas)
- Vérification des contraintes (normales et de cisaillement) dans le profil sélectionné par rapport aux limites admissibles du matéria

➢ Contrôle des déplacements:

- Analyse des déflexions verticales et horizontales en tête du support et au niveau du fil de contact
- Vérification que les déplacements restent dans les limites admissibles en termes de fonctionnalité et d'esthétique

➢ **Vérification du flambement:**

- Évaluation du risque de flambement (perte de stabilité latérale) sous l'action des charges compressives
- Dimensionnement des éléments de contreventement (entretoises, diagonales) si nécessaire pour assurer la stabilité latérale du support

➢ **Vérification du vrillage:**

- Analyse des contraintes de torsion dans le support avec console
- Renforcement des éléments du support si nécessaire pour augmenter sa résistance au vrillage et garantir une répartition uniforme des charges

➢ **Choix des assemblages et vérifications complémentaires:**

- Dimensionnement des soudures, boulons ou autres types de fixations pour assurer la transmission des efforts entre les éléments du support
- Analyse des sollicitations cycliques (vent, vibrations) et évaluation de la résistance à la fatigue des assemblages et des éléments porteurs
- Application de traitements anticorrosion adaptés aux conditions environnementales pour assurer la durabilité de la structure

Tableau IX 4 : Effort appliqué sur le support HEA240

Élément	**Hauteur H (m)**	**Portée a (m)**		**Poids**		**Tension radiale**		**Vent** $\perp$	
			Distance horizontale d (m)	P (daN)	M_p (daN.m)	F_r (daN)	M_r (daN.m)	F_v (daN)	M_v (daN.m)
Support	8.00	63.00	-	497	-	-	-	220.4	881.6
Fil de contact	5.50	63.00	2.80	59.91	167.74	15.24	89.92	50	295
Câble porteur	6.75	63.00	2.80	38.2	106.96	15.24	108.96	41	293.15
Câble de retour traction	6.75	63.00	-0.11	62.18*2	-6.82*2	0.1*2	0.7*2	71*2	507.65
Armement	6.13	63.00	1.40	60	84	-	-	-	-
Total		-		717.29	345.04	15.42	100.86	460.71	2025.98

A L'ELU : Msd = 3532.21 daN **A l'ELS : Msd = 2340.33 daN**

Nsd = 1052.28 daN **Nsd = 779.47.7 daN**

Vsd = 721.52 daN **Vsd = 484.08 daN**

5.Dimensionnement d'un support indépendant avec deux console

Un support avec deux consoles est utilisé pour la caténaire dédoublée et le sectionnement à lame à air. Le profilé HEB est choisi pour sa résistance à la torsion. Le vrillage est vérifié à l'aide d'un programme Excel et d'une note de calcul.

Points clés:

- Support avec consoles pour caténaire dédoublée et sectionnement à lame à air
- Profilé HEB240 pour la résistance à la torsion
- Vérification du vrillage par éléments finis ou formules analytiques
- Programme Excel pour automatiser les calculs et générer des notes de calcul
- Note de calcul incluant description, schéma, calculs, vérifications et conclusion

La différence entre le support avec une seule console et celui avec deux consoles se présente dans les désaxements et la hauteur de la caténaire (b= 0.65 m)

Tableau IX 5 : Effort appliqué sur le support HEB240

	Élément	Hauteur H (m)		Poids		Tension radiale		Vent ⊥	
			Distance horizontale d (m)	P (daN)	M_P (daN.m)	F_r (daN)	M_r (daN.m)	F_v (daN)	M_v (daN.m)
	Support HEB 240	8.00	-	686	-	-	-	220.4	881.6
Caténaire 01	Fil de contact	5.50	2.80	59.91	167.74	24	141.6	50	295
	Câble porteur	6.75	2.80	38.2	106.96	24	171.6	41	293.15
Caténaire 02	Fil de contact	6.00	2.80	59.91	167.96	24	153.6	50	320
	Câble porteur	7.65	2.80	38.2	106.96	24	193.2	41	330.05
	C. retour traction× 2	6.75	-0.11	62.18	6.84	0.1	0.7	71	507.65
	Armement × 2	6.13	1.40	60	84	-	-	-	-
	Total		-	1066.58	646.84	96.2	660.7	544.4	3135.1

A ELU : Msd =4758.94 daN.m **A ELS : Msd=3176.76 daN.m**

Nsd =1439.88 dan **Nsd=1066.5 daN**

V sd= 946.47daN **Vsd = 640.6 daN**

6.Support d'ancrage

- **Fonctionnement:**

- Permet de limiter le fléchissement du support lorsqu'une extrémité de caténaire y est fixée.
- Utilisé pour les appareils tendeurs, ancrages fixes, anti-cheminement, fins de caténaire, etc.

- **Particularités:**

- Présence de câbles d'ancrage (fil de contact et câble porteur), d'appareils tendeurs et de contrepoids.
- Profilé HEA 260 utilisé pour la section du support, car le risque de vrillage est faible.

- **Avantages:**

- Maintien de la stabilité du support et de la caténaire.
- Réduction des contraintes sur le support.
- Amélioration de la performance et de la sécurité du système d'électrification ferroviaire.

Tableau IX 6 : Paramètre nécessaire pour le calcul des efforts

Elément	L (m)	H (m)	$\Sigma\, d/a_{\perp}$	d'(m)
Fil de contact	$\frac{a1+a2}{2}=63$	5.50	0.013	2.80
Câble porteur	63	6.75	0.013	2.80
Ensemble armement	-	6.13	-	1.40
Câble retour traction × 2	63	6.75	0	-0.11
Ancrage fil de contact	$\frac{a1}{2}=31.5$	6.00	0.040	0
Ancrage câble porteur	31.5	7.25	0.040	0
Contrepoids 240daN × 2	-	4.00	-	0
Appareil tendeur × 2	-	6.25	-	0

Tableau IX 7 :Efforts appliqué sur le support HEA260

Élément	Hauteur H (m)		Poids		Tension radiale		Vent ⊥	
		Distance horizontale d (m)	P (daN)	M_P (daN.m)	F_r (daN)	M_r (daN.m)	F_v (daN)	M_v (daN.m)
Support HEA 260	8.00	-	562	-	-	-	220.4	881.6
Fil de contact	5.50	2.80	59 .91	353.46	28,8	169	50	295
Câble porteur	6.75	2.80	38.2	273.13	28,8	205.92	41	293.15
Armement	6.13	1.40	60	84	-	-	-	-
Câble de retour traction× 2	6.75	-0.11	60.18	-4	0.1	0.7	71	507
Ancrage FC	6.00	-	1231	-	84	537.6	13	83
Ancrage CP	7.25	-	1225	-	84	626	11	85
Contrepoids × 2	4.00	-	480	-	-	-	30	132
Appareil tendeur × 2	6.25	-	80	-	-	-	60	399
Total		-	3796	714.59	225.7	1539	567.4	2911.75

A ELU : Msd =5877.12 daN.m **A ELS : Msd=4037.64 daN.m**

Nsd =5211.63 daN **Nsd=3860 daN**

V sd= 1155 daN **Vsd = 793.2 daN**

Après calcul est verification nous avons conclu que les profilé HEA 240, HEB240 et HEA 260 convient omme support d'ancrage, support a deux console et support a une seul consol

Les detaille de calcul se trouve dans l'ANNEXE

IX.2. Signalisation ferroviaire :

IX2.1 Introduction

La signalisation ferroviaire, régissant la circulation des trains, vise à assurer la sécurité des voyageurs et des biens. Elle maintient des distances sécurisées, sécurise les intersections, évite les rencontres frontales, contrôle la vitesse et fournit des indications aux conducteurs via divers postes d'aiguillage sur le réseau ferré.

IX.2.2 Principe de base :

La signalisation ferroviaire assure la sécurité et la fluidité du trafic en guidant les trains sur les voies appropriées, évitant ainsi les conflits et les collisions. Elle garantit l'efficacité, la ponctualité, et minimise les risques de déraillement ou d'incidents, assurant un trajet sécurisé vers la destination prévue.

IX.2.3 Type de signalisation

. La signalisation ferroviaire comprend plusieurs types : mécanique avec ailes ou cocardes colorées, et lumineuse avec feux colorés sur panneaux noirs. Les signaux sont majoritairement permanents, offrant une guidance constante, tandis que les temporaires régulent la circulation dans des situations spécifiques comme les zones de travaux

IX.2.4Diffèrent fonction des soigneux :

- Signalisation d'arrêt.
- Signalisation de limitation de vitesse.
- Signalisation de direction.

IX.2 .5.Implantation latérale :

Les signaux lumineux le long de la voie sont essentiels en mode dégradé ou pour les trains sans ETCS Niveau I sur la ligne Saïda / El-Bayadh. Placés en zones de gare, ils assurent la sécurité avec des signaux d'entrée et de sortie, transmettant autorisations et avertissements, et utilisant des diodes électroluminescentes pour une visibilité optimale.

IX.2 .6.Systèmes de détection des trains

Le système de détection des trains inclut les circuits de voie, capteurs d'essieux et contacts de rail, signalant la présence d'un train sur le réseau. Les circuits de voie et capteurs d'essieux détectent les véhicules sur des tronçons spécifiques, tandis que les contacts de rail, en variantes mécanique, pneumatique, magnétique et électromagnétique, détectent le passage des trains.

IX.2 .7.visibilité des signaux :

La visibilité des signaux est "normale" lorsqu'ils sont visibles depuis la cabine de conduite en conditions claires et sans obstruction. Les signaux hauts (2,42 m de l'axe et 2,8 à 6,3 m de hauteur) doivent être visibles à plus de 10 m, et les signaux bas (1,75 m de l'axe et 0,24 m de hauteur) à au moins 1 m.

IX.2 .8.Système de contrôle de signalisation :

Le système ERTMS/ETCS Niveau I est choisi pour contrôler et sécuriser la circulation des trains sur la nouvelle ligne Saida/El Bayadh. Ce système européen harmonise les signalisations ferroviaires et vise à faciliter le trafic transfrontalier.

Il se compose de deux sous-systèmes : ETCS à bord des trains et ERTMS au sol. Le système surveille la vitesse et transmet des informations de signalisation, permettant des freinages d'urgence en cas de danger.

L'ERTMS/ETCS Niveau I présente plusieurs avantages :

- Sécurité accrue
- Augmentation de la capacité des lignes
- Réduction des coûts d'exploitation
- Facilitation du trafic international

Ce choix contribue à la modernisation et à la sécurisation du réseau ferroviaire algérien

IX.2.9.Application à notre projet :

Le système ETCS Niveau 1 renforce la sécurité et l'efficacité de la ligne Saida-El Bayadh.

- Informations de signalisation précises aux conducteurs de train grâce aux balises.
- Respect des normes de sécurité ferroviaires les plus strictes.
- Gestion efficace du trafic ferroviaire et minimisation des risques d'incidents.
- Voyages sûrs, fiables et confortables pour les passagers.
- Optimisation des performances opérationnelles du réseau ferroviaire.

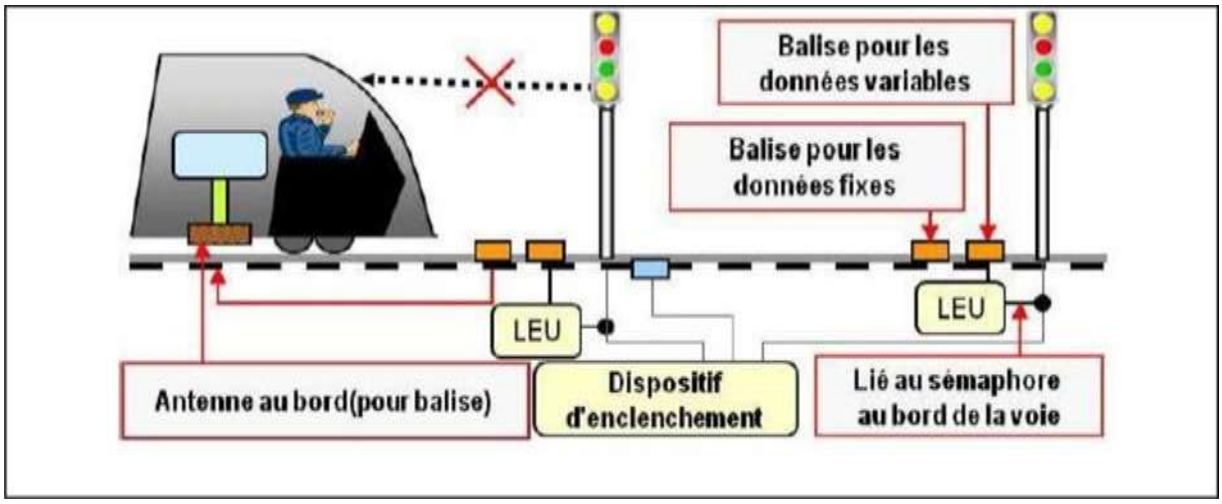


Figure IX 5 : Diagramme de la signalisation

L'ETCS Niveau 1 utilise une transmission ponctuelle via des balises (euro-balises) pour communiquer les informations de signalisation aux trains.

Composants clés:

- **Balises:** Transmettent des télégrammes précis aux trains, fournissant des informations sur la vitesse, les limitations de vitesse et les signaux à venir.
- **Codeur (LEU):** Gère la communication entre les balises et le système de contrôle central, assurant la transmission et la réception des données.
- **Euroloop:** Fournit des informations de signalisation anticipées au conducteur, permettant une meilleure anticipation et une conduite plus fluide.

Ce système garantit une transmission fiable des informations de signalisation, contribuant à la sécurité et à l'efficacité du trafic ferroviaire**.**

IX.3. CONCLUSION

En conclusion, la signalisation et l'électrification ferroviaires sont des investissements essentiels pour un réseau ferroviaire moderne, performant, sûr et durable. Elles contribuent à améliorer la sécurité des passagers et des trains, à augmenter la capacité du réseau, à réduire les impacts environnementaux et à optimiser les coûts d'exploitation. Ces investissements sont particulièrement importants pour les pays en développement qui cherchent à moderniser leur infrastructure ferroviaire et à promouvoir un mode de transport plus écologique et durable.

CHAPITRE X :

IMPACTE SUR L'ENVIRONNEMENT

CHAPITRE X : ETUDE DE L4IMPACTE SUR L'ENVIRONNEMENT

X .1.Introduction :

Une étude d'impact environnemental est essentielle pour évaluer les effets du projet ferroviaire sur l'environnement et les communautés.

L'analyse vise à identifier:

- Impacts potentiels sur l'écologie, la qualité de vie et l'environnement des communautés locales.
- Mesures pour éliminer, réduire ou compenser les impacts négatifs.
- Actions pour renforcer les bénéfices environnementaux du projet.

Cette démarche garantit un développement ferroviaire durable et responsable**.**

- **Contexte juridique :**

le cadre juridique algérien relatif à l'évaluation environnementale et à la protection de l'environnement:

- **Loi 03-10 du 19 juillet 2003** : Cette loi concerne la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable en Algérie.
- **Décret exécutif no 06-198 du 31 Mai 2006** : Ce décret définit la réglementation applicable aux établissements classés pour la protection de l'environnement.
- **Décret exécutif no 07-144 du 19 mai 2007** : Il établit la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement.
- **Décret exécutif no 07-145 du 19 mai 2007** : Ce décret détermine le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement.
- **Loi no 2002-02 du 5 février 2002** : Elle est relative à la protection et à la valorisation du littoral.
- **Décret exécutif du 17 février 2009** : Ce décret est relatif au classement des zones critiques du littoral.

X .2.Les étapes de l'étude d'impact sur l'environnement en Algérie :

L'EIE garantit une évaluation complète des impacts environnementaux d'un projet.

Étapes clés:

- **Préparation de l'EIE:** Description du projet, analyse des alternatives et état initial de l'environnement.
- **Identification et évaluation des impacts:** Détermination de la gravité et de la durée des impacts potentiels.
- **Élaboration de mesures d'atténuation:** Stratégies pour minimiser les impacts négatifs.
- **Consultation publique:** Recueil des avis et préoccupations des parties prenantes.

- **Examen par les autorités:** Analyse et approbation de l'EIE par les autorités compétentes.
- **Suivi et évaluation:** Contrôle de la mise en œuvre des mesures d'atténuation et des impacts réels

X .3.Objectif Général :

- Moderniser l'axe ferroviaire actuel.
- Améliorer les services pour les trains de voyageurs et de marchandises.

X .4.Description du site et son environnement :

➢ **Environnement physique :**

Température	**T max($°C$): 29° T min($°C$):6,7°**
Climat	La zone d'étude appartient à la zone climatique C
Sismologie	La région étudiée 8t classée dans la zone sismique 1 (sismicité faible)
Relief	Notre traçons traverse un relief plat
Insolation	La moyenne annuelle est de 8 heures par jours

➢ **Environnement biologique :**

La faune	**la zone que nous avons examinée se distingue par la diversité de ses habitats naturels. L'objectif de notre recherche est également de sauvegarder l'environnement des espèces animales indigènes présentes. Parmi les espèces les plus notables, on trouve :** • **Le fuligule nyroca,** • **La sarcelle marbrée, deux espèces considérées comme vulnérables selon la liste rouge de l'UICN,** • **La glaréole à collier,** • **L'échasse blanche,** • **L'œdicnème criard**
La Flor	La région que nous avons étudiée se distingue par ses multiples écosystèmes. Notre recherche contribue également à la préservation de l'habitat des espèces fauniques locales. Les espèces les plus exceptionnelles comprennent Trois associations végétales sont présentes dans cette région, en plus de la flore typique des milieux humides (typha, roselières, scirpes, ainsi que divers potamots, ceratophyllum et myriophyllum) : les associations des hautes plaines, des daïas, et du littoral chottien.

➢ **Population et habitat :**

La population totale de la wilaya de Saida est estimée à 350 766 habitants, soit une densité de 200 habitants par Km^2.La population ayant un âge inférieur à 15ans représentant 25 % du total de la population, constitue dans les années à venir une importante ressource humaine.

X .4.Evaluation des impacts prévisibles et les mesures à prendre pour chaque phase de projet

- **Impacts sonores :**

Impact	Mesure
le bruit est l'une des principales nuisances associées aux chantiers. Il peut provenir de l'utilisation de machines lourdes de la démolition, du transport de matériaux La présence des engines de terrassement et le trafic des camions transportant les matériaux et les équipements de construction	▪ Regrouper les zones de travail bruyantes pour faciliter leur traitement acoustique et planifier les travaux les plus bruyants aux heures où ils dérangeront le moins possible ▪ Choisir des équipements et des machines moins bruyants, et maintenir le matériel en bon état pour réduire les émissions sonores ▪ Installer des barrières acoustiques ou des écrans anti-bruit autour du chantier pour atténuer la propagation des ondes sonores ▪

- **Impacte sur la faune :**

Impact	Type de passage et localisation	Mesure
L'implantation d'une infrastructure étrangère dans une zone de colonisation faunistique peut entraîner divers risques pour l'environnement local, en particulier pour les espèces animales qui y résident. Les perturbations liées au bruit et aux vibrations sont parmi les plus préoccupantes. Risque de perturbation liée au bruit : tel que Perturbation des comportements et Effet de masquage Risque de perturbation liée aux vibrations : Dérangement du sol et des habitats souterrains et Interférence avec les signaux vibratoires	PK61+285 Pk65+788	La pose des barrières pour la faune le long des passages des forêts ou des zones de colonisation faunistiques. Impact de vibration sera modéré dans le temps. Création des passages pour animaux

- **Impacte sur la flore :**

Impacte	Mesure
Opérations de défrichement : L'élimination de la végétation est nécessaire pour préparer le site à la construction. Transit des véhicules de construction : Le déplacement des machines et des équipements lourds se fait tout au long du projet en cours de réalisation. Stockage intermédiaire des matériaux : Des zones sont désignées pour entreposer temporairement les matériaux issus des opérations de terrassement ou ceux requis pour la construction de l'ouvrage	• **Transplantation des arbres de la ceinture verte** : Il est nécessaire de transplanter les arbres de la ceinture verte plutôt que de les abattre, car ils jouent un rôle essentiel dans la protection contre l'érosion éolienne, bénéfique tant pour les zones habitées que pour la future ligne ferroviaire. • **Interdiction de stockage dans les zones humides** : Il faut éviter de placer des matériaux dans les zones humides afin de préserver leur intégrité écologique. • **Contrôle de la poussière** : Pour limiter la dispersion de la poussière, les voies de circulation du chantier seront arrosées en période de sécheresse.

Risque d'accident :

Impacte	Mesure
L'activité des véhicules et des équipements de construction augmente la probabilité d'incidents, affectant la sécurité des ouvriers ainsi que celle des résidents vivant près des routes menant au site de construction.	Porter un Équipement de Protection Individuelle (EPI) : Cela inclut le casque, les gants, les chaussures de sécurité, les lunettes de protection, Respecter la signalisation mise en place pour prévenir les dangers. Assurer que tous les travailleurs comprennent les procédures et les consignes de sécurité. Garder le chantier en ordre Organiser et ranger correctement les outils S'assurer que les machines et outils utilisés sont adaptés au travail à effectuer Disposer d'un plan d'intervention d'urgence claires en cas d'accident ou d'incident sur le chantier Mettre en place des mesures de protection collectives : Comme les garde-corps, les filets de sécurité, les plateformes de travail sécurisées,

Impact	Mesure
L'émission de poussière et de particules de taille variable lors de travaux de terrassement Dépendage et le malaxage	• Procéder à l'humidification des voies, surtout en cas de vent fort et de sécheresse, afin de réduire la dispersion des poussières. • S'abstenir de charger ou décharger des matériaux lorsque le vent est puissant. • Imposer une vitesse maximale de 30 km/h pour les véhicules dans les zones où la poussière est un enjeu. • Assurer la couverture ou la mise à l'abri des matériaux en poudre stockés temporairement pour les protéger du vent • Garantir l'étanchéité des épandeurs pour prévenir toute perte de produit durant le transport

- **Impacts sur les eaux superficielle et les eaux souterraine**

Impact	Mesure
impacts sur la qualité des eaux souterraines durant les travaux de construction : **Pollution par rejets directs : Les eaux de lavage et usées peuvent contenir des polluants qui se déversent dans les nappes phréatiques.** **Gestion des déchets : Une mauvaise gestion peut entraîner la contamination des eaux souterraines par des substances nocives.** **impacts sur les eaux superficielles durant la construction :** **Dérivations des écoulements : La construction peut changer le cours naturel des eaux, affectant ainsi l'écologie locale.** **Pollution des eaux : Les activités de chantier peuvent libérer des polluants dans les eaux superficielles.** **Érosion des talus : La création de nouveaux talus peut entraîner l'érosion, contribuant à la turbidité et à la dégradation de la qualité de l'eau.**	impacts sur les eaux superficielles durant la construction : Dérivations des écoulements : La construction peut changer le cours naturel des eaux, affectant ainsi l'écologie locale. Pollution des eaux : Les activités de chantier peuvent libérer des polluants dans les eaux superficielles. Érosion des talus : La création de nouveaux talus peut entraîner l'érosion, contribuant à la turbidité et à la dégradation de la qualité de l'eau.

X .5 Conclusion :

Ce projet ferroviaire améliorera l'efficacité socio-économique et allégera le réseau routier en transférant une part significative du trafic de marchandises et de passagers sur les rails. Il réduira le temps de trajet, les accidents, la pollution et le bruit. L'analyse environnementale a permis d'identifier et de proposer des mesures pour atténuer les impacts sur les terres agricoles et les zones reboisées.

CHAPITRE XI
DEVIS ESTIMATIF

CHAPITRE XI : DEVIS ESTIMATIF

Tableau XI 1 : Tableau de calcul du devis estimatif

N°	Désignations des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire HT (DA)	Montant HT (DA)
1-INSTALLATION DE CHANTIER ET ETUDES D'EXECUTION					
1,1	Amenée du matériel et installation général du chantier	F	1,00	100 000 000,00	100 000 000,00
1,2	Fourniture et installation d'un laboratoire de chantier	F	1,00	30 000 000,00	30 000 000,00
1,3	Étude d'exécution	F	1,00	150 000 000,00	150 000 000,00
TOTAL 1					280 000 000,00
2-TERRASSEMENTS GENERAUX					
2,1	Décapage de terre végétale epaisseur de 0,40 m	M3	67 500,00	300,00	20 250 000,00
2,2	Déblai mis en remblai	M3	22 992,00	350,00	8 047 200,00
2,3	Remblais d'apport en matériaux sélectionné	M3	657 709,00	900,00	591 938 100,00
2,4	Fourniture et mise en œuvre de la couche de forme de 0,50 m ep	M3	75 469,22	1 200,00	90 563 064,00
2,5	Fourniture et mise en œuvre de la couche de s/ballast de 0,20 m ep	M3	25 050,54	3 200,00	80 161 728,00
TOTAL 2					790 960 092,00
3-OUVRAGE D'ART					
3,1	passage superieur PK57+00	U	1,00	15 000 000,00	15 000 000,00
3,2	passage superieur PK61+259	U	1,00	15 000 000,00	15 000 000,00
3,3	passage superieur PK65+789	U	1,00	15 000 000,00	15 000 000,00
TOTAL 3					45 000 000,00
4-OUVRAGES HYDRAULIQUE					
4,3	Buses en Béton Armé Ø 1500	ML	40,00	50 000,00	2 000 000,00
4,4	DALOT TYPE 1 (1,5 1,5)	M3	30,15	47 000,00	1 417 050,00
TOTAL 4					3 417 050,00
5-TRAVAUX DE VOIE					
N°	**Désignations des travaux**	**U**	**Quantités**	**Prix unitaire DA**	**Montant Total DA**
5,1	Fourniture et pose ballast sur épaisseur de 0,30 m	M3	14 189,06	7 000,00	99 323 420,00
5,2	Pose de voie UIC 60	ML	31 600,00	6 500,00	205 400 000,00
5,3	Soudage Aluminiothermique	U	1 588,00	9 500,00	15 086 000,00
5,4	Soudage électrique	U	1 956,00	9 500,00	18 582 000,00
TOTAL 5					338 391 420,00
6-FOURNITURE DE MATERIEL ET MATERIAUX DE VOIE					
6,1	Fourniture des rails Neufs UIC 60 (60,34 kg/m)	T	3 861,76	125 000,00	482 720 000,00
6,2	Fourniture des traverses en béton armé (VAX U31).	U	53 312,00	5 700,00	303 878 400,00

6,3	**Attache Nabla**	**U**	**213 248,00**	**850,00**	**181 260 800,00**
6,4	**Pose d'un appareil de voie simple type**				
	a) UIC 60-500-1/12 DD	**U**	**4,00**	**620 000,00**	**2 480 000,00**
	b) UIC 60-500-1/12 DG	**U**	**4,00**	**620 000,00**	**2 480 000,00**
6,5	**Fourniture d'un branchement simple type**				
	a) UIC 60-500-1/12 DD	**U**	**4,00**	**14 200 000,00**	**56 800 000,00**
	b) UIC 60-500-1/12 DG	**U**	**4,00**	**14 200 000,00**	**56 800 000,00**
TOTAL 6					**113 600 000,00**
7-BATIMENTS, QUAIS, VOIRIE ET PARKING					
7,1	**voiries + parking**	**m^2**	**9 645,00**	**5 000,00**	**48 225 000,00**
TOTAL 7					**48 225 000,00**
8-SIGNALISATION ET TÉLÉCOMMUNICATION					
SIGNALISATION FERROVIAIRE				**TOTAL 8**	**4 454 620,00**

Tableau XI 2 : Tableau récapitulatif

Récapitulation		
N° Lot	**Désignations des lots**	**Montants(DA)**
Lot N°01	INSTALLATION DE CHANTIER ET ETUDES D'EXECUTION	**280 000 000,00**
Lot N°02	TERRASSEMENTS GENERAUX	**790 960 092,00**
Lot N°03	OUVRAGE D'ART	**45 000 000,00**
Lot N°04	OUVRAGES HYDRAULIQUE	**3 417 050,00**

Lot N°05	TRAVAUX DE VOIE	**338 391 420,00**
Lot N°06	FORNITURE DE MATERIEL ET MATERIAUX DE VOIE	**113 600 000,00**
Lot N°07	BATIMENTS, QUAIS, VOIRIE ET PARKING	**48 225 000,00**
Lot N°08	SIGNALISATION ET TÉLÉCOMMUNICATION	**4 454 620,00**

Tableau XI 3: Montant totale

TOTAL	
MONTANT DU PROJET H T	1 624 048 182,00
MONTANT DE LA T. V. A (19 %)	308 569 154,58
MONTANT DU PROJET EN T T C	1 932 617 336,58

CONCLUSION GENERALE

Conclusion Générale

L'aménagement du territoire, qui vise à organiser l'espace géographique en fonction des ressources naturelles et humaines, repose en grande partie sur la mise en place d'infrastructures de transport performantes. En effet, un réseau de transport efficace est indispensable pour assurer la mobilité des personnes et des biens, stimuler l'activité économique et favoriser le développement harmonieux des territoires.

Dans le cadre de sa stratégie de relance économique et de développement durable, l'Algérie a engagé des investissements considérables dans la modernisation et l'extension de ses infrastructures de transport. Parmi les projets emblématiques figurent l'autoroute Est-Ouest reliant les principales villes du pays, le développement du réseau ferroviaire national, la construction de tramways dans les grandes agglomérations et la réalisation du métro d'Alger.

Le tronçon de 15 km étudié dans ce mémoire s'inscrit dans le cadre du projet de nouvelle ligne ferroviaire SAIDA-EL-BAYEDH. Ce projet d'envergure vise à renforcer la connectivité entre les régions du sud et du nord du pays, en contribuant à l'amélioration des échanges commerciaux et à la promotion du développement local.

La réalisation de ce mémoire de fin d'études a constitué une expérience enrichissante et formatrice pour les étudiants-ingénieurs. Elle leur a permis d'approfondir leurs connaissances en matière de conception et de réalisation de projets ferroviaires, de mettre en pratique les compétences acquises au cours de leur formation et de se familiariser avec les outils informatiques de pointe utilisés dans le domaine.

En menant cette étude, les étudiants ont accordé une attention particulière au respect des normes et des exigences de sécurité en vigueur, conformément aux recommandations de l'UIC (Union Internationale des Chemins de fer), de la SNCF (Société Nationale des Chemins de Fer Français) et de la SNTF (Société Nationale des Transports Ferroviaires Algériens).

L'étude a également pris en compte les aspects environnementaux du projet, en veillant à minimiser son impact sur les milieux naturels et en proposant des solutions durables pour l'aménagement du territoire.

Ce mémoire de fin d'études a permis de contribuer à l'avancement des connaissances dans le domaine de l'ingénierie ferroviaire, en proposant des solutions techniques innovantes et en partageant les expériences acquises lors de la réalisation du projet.

Le développement des infrastructures de transport est un enjeu majeur pour l'Algérie, tant sur le plan économique que social. Les projets comme la ligne ferroviaire SAIDA-EL-BAYEDH illustrent la volonté du pays de se doter d'un réseau de transport moderne et performant, contribuant ainsi à son développement durable et à l'amélioration du bien-être de ses citoyens.

Références bibliographiques

Livres

1. **Leboeuf, Michel.** *High Speed Rail*. Paris: UIC: INTERNATIONAL UNION OF RAILWAYS, 2018. https://uic.org/passenger/highspeed/
2. **Budhu, Muni.** *Soil Mechanics Fundamentals*. https://archive.org/details/geotechnical-engineering-principles-and-practices-of-soil-mechanics-and-foundati
3. **Janssoone, D.** *Manuel d'exploitation ferroviaire*. Paris: Dunod, 2018.
4. **Ouakli, Ahmed.** *Cours Charpente Métallique*. Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics, 2018.

Articles de revue

5. **Chapas, P.** "Voie ferrée, composant, construction et maintenance." *Technique de l'ingénieur*, 10 novembre 2012. https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/ingenierie-des-transports-th14/infrastructure-ferroviaire-exploitation-et-securite-42576210/voie-ferree-trp3050/

Documents électroniques

6. *HANDBOOK-TOUT SAVOIR SUR LA CATENAIRE 25KV POUR LIGNE GRANDE VITESSE*. https://escholarship.org/content/qt1v94q43x/qt1v94q43x_noSplash_edd6b142cbc169a40df3680b3f042402.pdf
7. *Rapport APD approuvé de : groupement SAMAN et SETIRAIL*.
8. *Norme AFNOR (Association Française de Normalisation)*. https://www.boutique.afnor.org/
9. *GTR (Guide des terrassements routiers)*.
10. *Caténaire 25 kV SNCF – Partie 1 : les dispositions réelles*. Par Rémy Fauvet.

ANNEXE A

ANNEXE A

Alignment Name: 1sb
Description:
Station Range: Start: 0+000.00, End: 1502+488.00

Tableau A 1 : listing axe en plan

1 Tangent			
	Start Station:	55+000.00	
	End Station:	57+278.13	
	Length:	2,278.128m	
	Design Speed:	100	
	Design Checks:		
2 Circular Curve			
	Start Station:	57+278.13	
	End Station:	57+745.17	
	Radius:	3,500.000m	
	Design Speed:	100	
	Design Criteria:		
	Minimum Radius:	-1.00	Cleared
	Design Checks:		
3 Tangent			
	Start Station:	57+745.17	
	End Station:	58+880.83	
	Length:	1,135.656m	
	Design Speed:	100	
	Design Checks:		
4 Circular Curve			
	Start Station:	58+880.83	
	End Station:	59+270.75	
	Radius:	2,400.000m	
	Design Speed:	100	
	Design Criteria:		
	Minimum Radius:	-1.00	Cleared
	Design Checks:		
5 Tangent			
	Start Station:	59+270.75	
	End Station:	67+980.70	
	Length:	8,709.956m	
	Design Speed:	100	
	Design Checks:		
6 Circular Curve			

	Start Station:	67+980.70	
	End Station:	68+460.27	
	Radius:	2,000.000m	
	Design Speed:	100	
	Design Criteria:		
	Minimum Radius:	-1.00	Cleared
	Design Checks:		
7 Tangent			
	Start Station:	68+460.27	
	End Station:	70+024.88	
	Length:	1,564.610m	
	Design Speed:	100	
	Design Checks:		

ertical Alignment: LR saida
Description:
Station Range: Start:55+000.00, End: 70+025

Tableau A 2: Listing profil en long

PVI	Station	Grade Out	Curve Length
0.00	55+000.00	-0.04%	
1.00	58+500.09	0.00%	11.578m
	Vertical Curve Information:(sag curve)		
	PVC Station: 3+494.30 Elevation: 1,059.002m PVI Station: 3+500.09 Elevation: 1,059.000m PVT Station: 3+505.88 Elevation: 1,059.000m Low Point: 3+505.88 Elevation: 1,059.000m Grade in: -0.04% Grade out: 0.00% Change: 0.04% K: 301.067029936684 Curve Length: 11.578m Headlight Distance:		
2.00	59+600.00	-0.19%	31.776m
	Vertical Curve Information:(crest curve)		
	PVC Station: 4+584.11 Elevation: 1,059.000m PVI Station: 4+600.00 Elevation: 1,059.000m PVT Station: 4+615.89 Elevation: 1,058.970m High Point: 4+584.11 Elevation: 1,059.000m Grade in: 0.00% Grade out: -0.19% Change: 0.19% K: 169.999999999344		

	Curve Length: 31.776m Passing Distance: 8,288.927m Stopping Distance: 3,571.365m		
3.00	60+670.00	-0.06%	21.245m
	Vertical Curve Information:(sag curve) PVC Station: 5+659.38 Elevation: 1,057.020m PVI Station: 5+670.00 Elevation: 1,057.000m PVT Station: 5+680.62 Elevation: 1,056.993m Low Point: 5+680.62 Elevation: 1,056.993m Grade in: -0.19% Grade out: -0.06% Change: 0.12% K: 169.999999998273 Curve Length: 21.245m Headlight Distance:		
4.00	61+800.00	0.09%	41.695m
	Vertical Curve Information:(sag curve) PVC Station: 6+779.15 Elevation: 1,056.313m PVI Station: 6+800.00 Elevation: 1,056.300m PVT Station: 6+820.85 Elevation: 1,056.319m Low Point: 6+796.22 Elevation: 1,056.308m Grade in: -0.06% Grade out: 0.09% Change: 0.15% K: 275.564324330736 Curve Length: 41.695m Headlight Distance:		
5.00	62+583.34	-0.21%	150.670m
	Vertical Curve Information:(crest curve) PVC Station: 7+508.00 Elevation: 1,056.933m PVI Station: 7+583.34 Elevation: 1,057.000m PVT Station: 7+658.67 Elevation: 1,056.838m High Point: 7+552.32 Elevation: 1,056.952m Grade in: 0.09% Grade out: -0.21% Change: 0.30% K: 495.984644375432 Curve Length: 150.670m Passing Distance: 5,165.761m Stopping Distance: 2,263.031m		
6.00	63+282.91	0.00%	3.216m
	Vertical Curve Information:(sag curve) PVC Station: 8+281.30 Elevation: 1,055.503m PVI Station: 8+282.91 Elevation: 1,055.500m PVT Station: 8+284.51 Elevation: 1,055.500m		

	Low Point: 8+284.51 Elevation: 1,055.500m Grade in: -0.21% Grade out: 0.00% Change: 0.21% K: 14.9999999942887 Curve Length: 3.216m Headlight Distance:		
7.00	70+025.00		

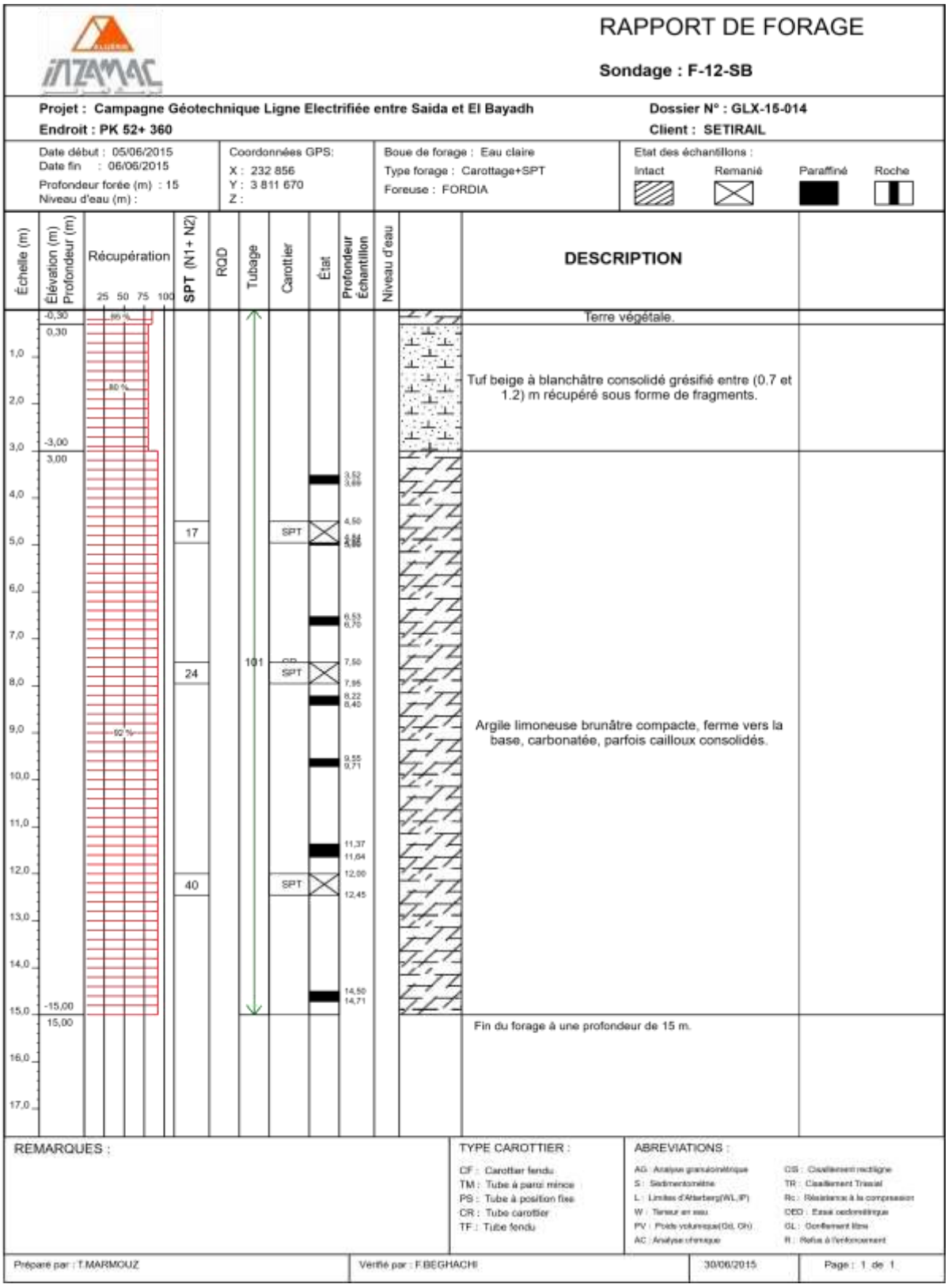


Cant Curve	Start Stat..	End Stati..	Length	Overl..	Applied Cant	Equilibrium Cant	Cant Deficiency	Cant Gradient	Vertical Speed	Lateral Accelera..
Curve.1										
Transition In Region	2+270...	2+286...	16.000..							
End Level Rail	2+270...				0.000mm	0.000mm	0.000mm	0.00%	0.000 m/s	0.000 m/s^2
Begin Curve	2+278...					33.714mm				
Begin Full Cant	2+286...				20.000mm	33.714mm	13.714mm	0.12%	0.035 m/s	0.094 m/s^2
Transition Out Region	2+737...	2+753...	16.000..							
End Full Cant	2+737...				20.000mm	33.714mm	13.714mm	0.00%	0.000 m/s	0.094 m/s^2
End Curve	2+745...					33.714mm				
Begin Level Rail	2+753...				0.000mm	0.000mm	0.000mm	-0.12%	-0.035 m/s	0.000 m/s^2
Curve.3										
Transition In Region	3+869...	3+892...	23.000..							
End Level Rail	3+869...				0.000mm	0.000mm	0.000mm	0.00%	0.000 m/s	0.000 m/s^2
Begin Curve	3+880...					49.167mm				
Begin Full Cant	3+892...				30.000mm	49.167mm	19.167mm	0.13%	0.036 m/s	0.131 m/s^2
Transition Out Region	4+259...	4+282...	23.000..							
End Full Cant	4+259...				30.000mm	49.167mm	19.167mm	0.00%	0.000 m/s	0.131 m/s^2
End Curve	4+270...					49.167mm				
Begin Level Rail	4+282...				0.000mm	0.000mm	0.000mm	-0.13%	-0.036 m/s	0.000 m/s^2
Curve.2										
Transition In Region	12+966...	12+99...	29.000..							
End Level Rail	12+966...				0.000mm	0.000mm	0.000mm	0.00%	0.000 m/s	0.000 m/s^2
Begin Curve	12+980...					59.000mm				
Begin Full Cant	12+995...				35.000mm	59.000mm	24.000mm	0.12%	0.034 m/s	0.164 m/s^2
Transition Out Region	13+445...	13+47...	29.000..							
End Full Cant	13+445...				35.000mm	59.000mm	24.000mm	0.00%	0.000 m/s	0.164 m/s^2
End Curve	13+460...					59.000mm				
Begin Level Rail	13+474...				0.000mm	0.000mm	0.000mm	-0.12%	-0.034 m/s	0.000 m/s^2

Figure A 1: Devers calculer avec le logiciel Civil 3D

ANNEXE B

ANNEXE B


RAPPORT DE FORAGE
Sondage : F-12-SB
Projet : Campagne Géotechnique Ligne Electrifiée entre Saida et El Bayadh
Dossier N° : GLX-15-014
Endroit : PK 52+ 360
Client : SETIRAIL
Date début : 05/06/2015
Date fin : 06/06/2015
Profondeur forée (m) : 15
Niveau d'eau (m) :
Coordonnées GPS:
X : 232 856
Y : 3 811 670
Z :
Boue de forage : Eau claire
Type forage : Carottage+SPT
Foreuse : FORDIA
Etat des échantillons :
Intact
Remanié
Paraffiné
Roche
Échelle (m)
Élévation (m) Profondeur (m)
Récupération
25 50 75 100
SPT (N1+ N2)
ROD
Tubage
Carottier
État
Profondeur Échantillon
Niveau d'eau
DESCRIPTION
Terre végétale.
Tuf beige à blanchâtre consolidé grésifié entre (0.7 et 1.2) m récupéré sous forme de fragments.
Argile limoneuse brunâtre compacte, ferme vers la base, carbonatée, parfois cailloux consolidés.
Fin du forage à une profondeur de 15 m.
-0,30
0,30
-3,00
3,00
-15,00
15,00
85 %
80 %
92 %
17
24
40
SPT
101
REMARQUES :
TYPE CAROTTIER :
CF : Carottier fendu
TM : Tube à paroi mince
PS : Tube à position fixe
CR : Tube carottier
TF : Tube fendu
ABREVIATIONS :
AG : Analyse granulométrique
S : Sédimentométrie
L : Limites d'Atterberg(WL,IP)
W : Teneur en eau
PV : Poids volumique(Od, Oh)
AC : Analyse chimique
CS : Cisaillement rectiligne
TR : Cisaillement Triaxial
Rc : Résistance à la compression
OED : Essai oedométrique
GL : Gonflement libre
R : Refus à l'enfoncement
Préparé par : T.MARMOUZ
Vérifié par : F.BEGHACHI
30/06/2015
Page : 1 de 1
© SolTests 2013



Client : SETIRAIL

Projet : Étude APD DCE de la nouvelle ligne (200 Km)

Sondage : F-12-SB - Caisse n° : 1/3

Profondeur : 0,00 à 5,00 m



Client : SETIRAIL

Projet : Étude APD DCE de la nouvelle ligne (200 Km)

Sondage : F-12-SB - Caisse n° : 2/3

Profondeur : 5,00 à 10,00 m



Client : SETIRAIL

Projet : Étude APD DCE de la nouvelle ligne (200 Km)

Sondage : F-12-SB - Caisse n° : 3/3

Profondeur : 10,00 à 15,00 m

Étude APD et DCE de la nouvelle ligne électrifiée Saida – El Bayadh pour une exploitation à 220 Km/H

Étude APD et DCE de la nouvelle ligne électrifiée Saida – El Bayadh pour une exploitation à 220 Km/H

F 01 AU PK 65+800 - (0.00m -6.00m)



Étude APD et DCE de la nouvelle ligne électrifiée Saida – El Bayadh pour une exploitation à 220 Km/H

F 01 AU PK 65+800 - (6.00m -11.00m)



Étude APD et DCE de la nouvelle ligne électrifiée Saida – El Bayadh pour une exploitation à 220 Km/H

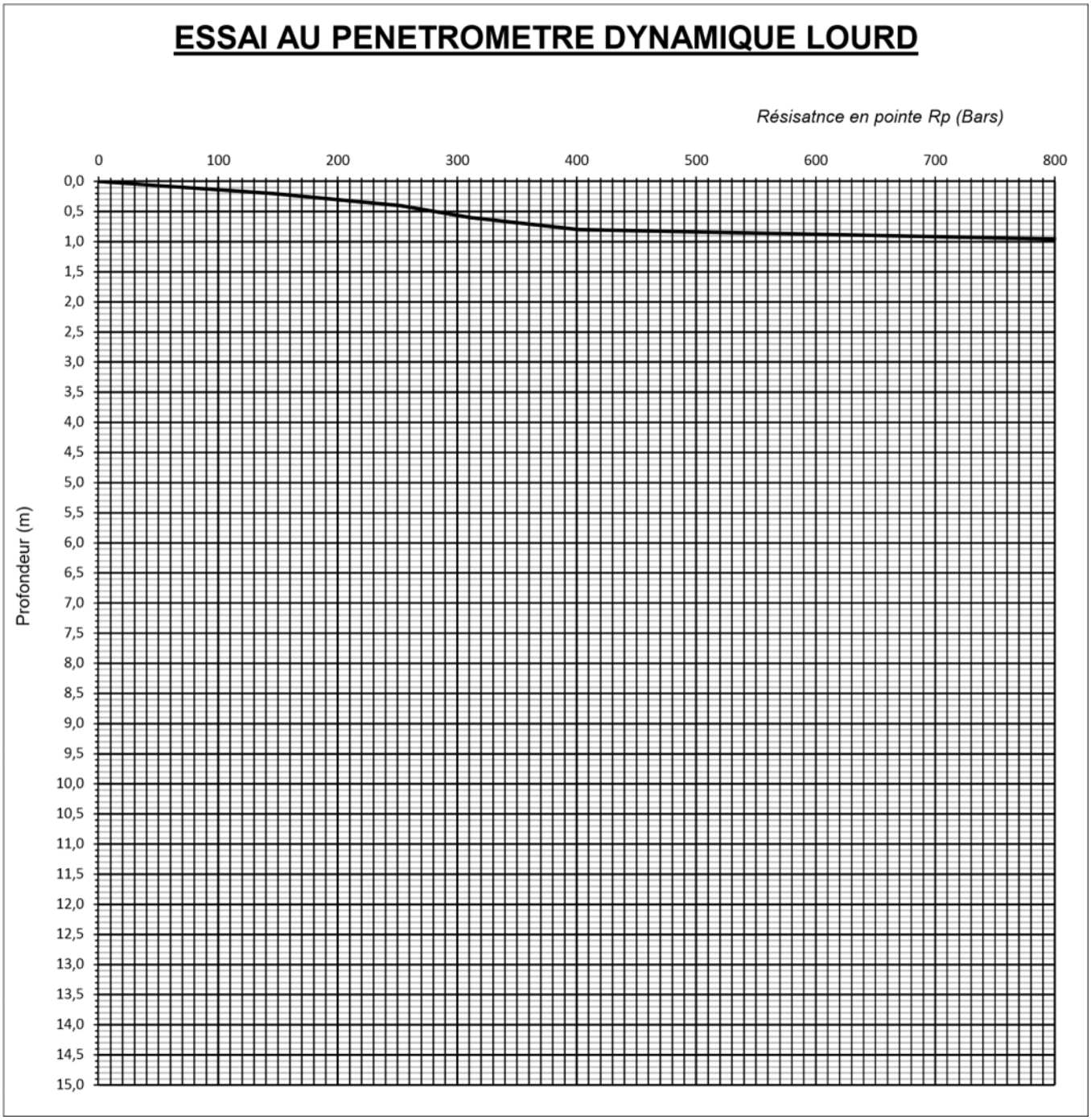
F 01 AU PK 65+800 - (11.00m -12.00m)



Résultats des Essai de pénétration standard « SPT » : (XP P94-116)

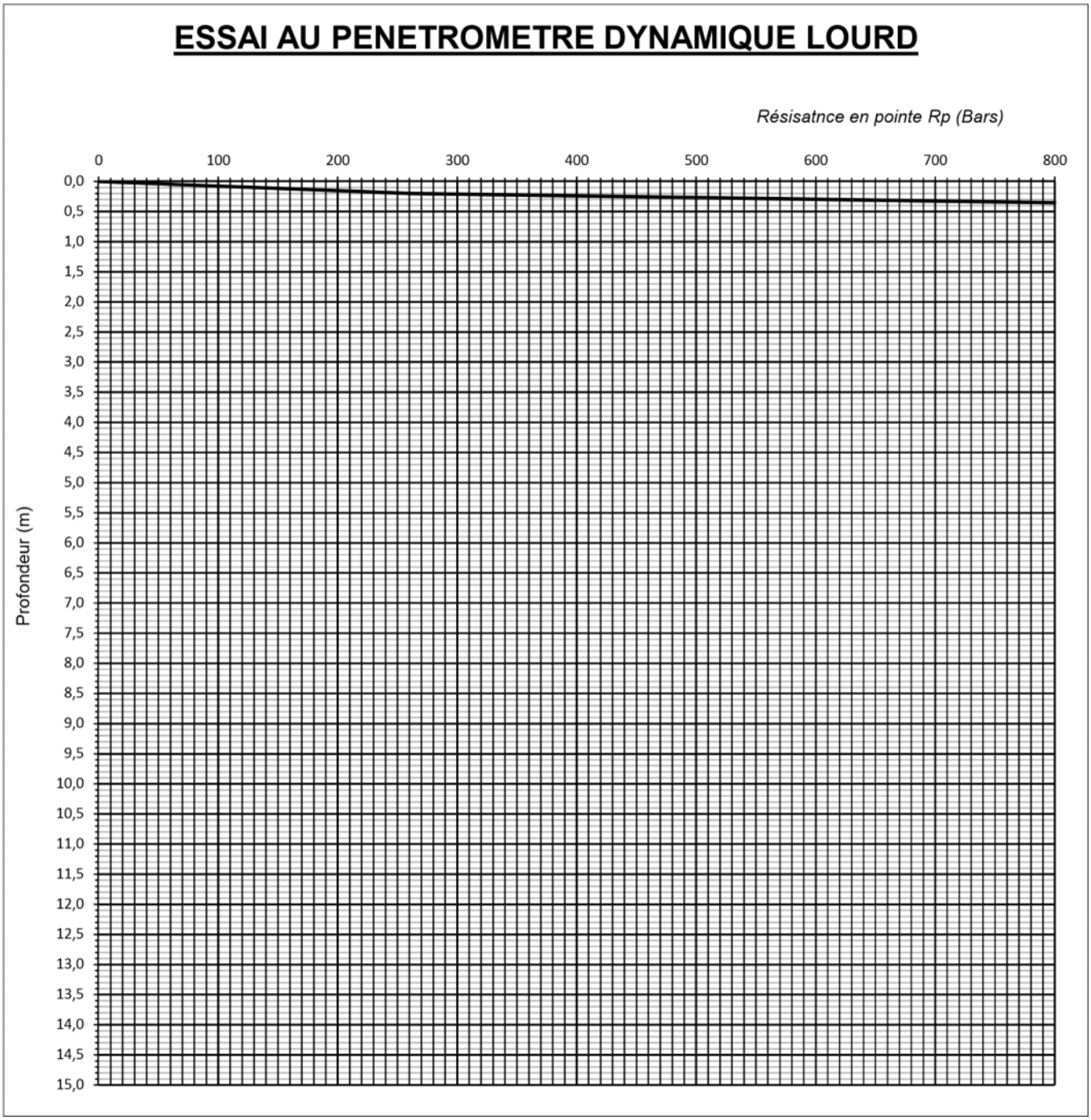
N° Sondages	*PK*	*Profondeur (m)*	*N0*	*N1*	*N2*	*N=N1+N2*
F 01	65+800	3.00-3.45	11	18	25	43
		6.00-6.45	13	20	28	48
		12.00-12.45	R	-	-	Refus

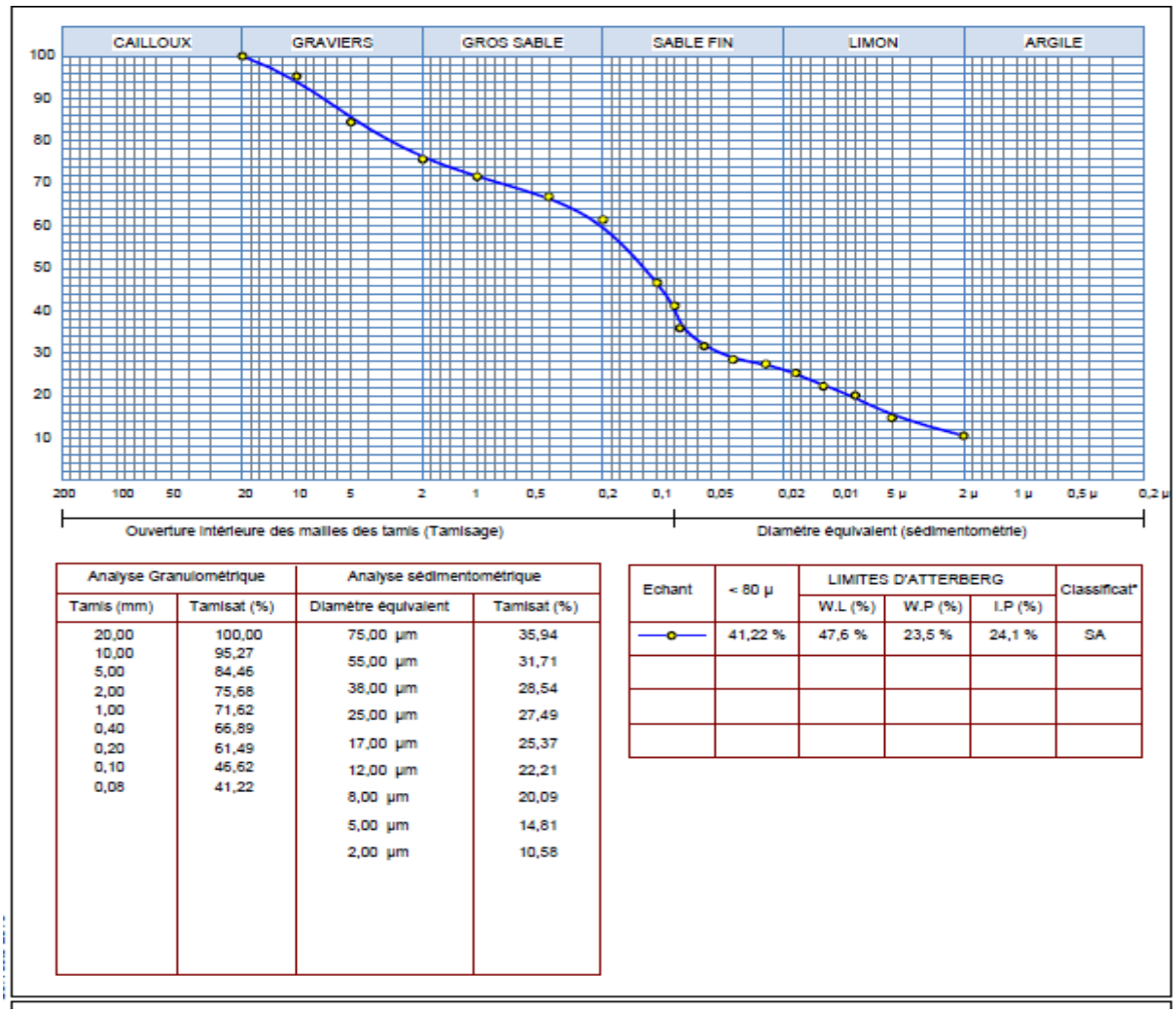
Date d'essai : *13/06/2015*	**Réf. point :** *PDL-16*		**REFERENCES MATERIEL**
Client : *SETIRAIL*	**Profondeur refus :** *1,0 m*		**Poids du mouton :** *63 Kg.* **Hauteur de chute :** *75 Cm.* **Section de la pointe :** *19,63 cm².* **Longueur de la tige :** *1 m.*
Lieu : *SAIDA-EL BAYADH*	**Opérateur :** *Amara*		
Projet : *Etude APD et DCE la nouvelle ligne électrifiée entre SAIDA/EL BAYADH*	**Coordonnées :**	*- X = 231 734* *- Y = 3 809 800*	


ESSAI AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD
Résisatnce en pointe Rp (Bars)
0
100
200
300
400
500
600
700
800
Profondeur (m)
0,0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
3,0
3,5
4,0
4,5
5,0
5,5
6,0
6,5
7,0
7,5
8,0
8,5
9,0
9,5
10,0
10,5
11,0
11,5
12,0
12,5
13,0
13,5
14,0
14,5
15,0

Date d'essai : *14/06/2015*	**Réf. point :** *PDL-17*		**REFERENCES MATERIEL**
Client : *SETIRAIL*	**Profondeur refus :** *0,4 m*		**Poids du mouton :** *63 Kg.*
Lieu : *SAIDA-EL BAYADH*	**Opérateur :** *Amara*		**Hauteur de chute :** *75 Cm.*
Projet : *Etude APD et DCE la nouvelle ligne électrifiée entre SAIDA/EL BAYADH*	**Coordonnées :**	*- X = 230 553* *- Y = 3 803 226*	**Section de la pointe :** *19,63 cm².* **Longueur de la tige :** *1 m.*

ESSAI AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD





Analyse Granulométrique		Analyse sédimentométrique	
Tamis (mm)	Tamisat (%)	Diamètre équivalent	Tamisat (%)
20,00	100,00	75,00 µm	35,94
10,00	95,27	55,00 µm	31,71
5,00	84,46	38,00 µm	28,54
2,00	75,68	25,00 µm	27,49
1,00	71,62	17,00 µm	25,37
0,40	66,89	12,00 µm	22,21
0,20	61,49	8,00 µm	20,09
0,10	45,62	5,00 µm	14,81
0,08	41,22	2,00 µm	10,58

Echant	< 80 µ	LIMITES D'ATTERBERG			Classificat°
		W.L (%)	W.P (%)	I.P (%)	
—o—	41,22 %	47,6 %	23,5 %	24,1 %	SA

Limite de plasticité W_P = 23.5 %

Limite de Liquidité à la coupelle de casagrande

	1er Essai		2ème Essai		3ème Essai		4ème Essai		5ème Essai	
Nombre de choc			17		24		29		33	
N° Tare			A 2	A 3	30	70	60	80	I 09	I 10
Poids total humide			18.015	19.649	17.226	18.219	17.702	17.338	16.909	18.238
Poids total sec			16.089	17.130	15.483	16.106	15.897	15.531	15.400	16.151
Poids de la tare			12.212	12.066	11.864	11.628	12.082	11.715	12.151	11.757
Poids de l'eau			1.926	2.519	1.743	2.113	1.805	1.807	1.509	2.087
Poids du sol sec			3.877	5.064	3.619	4.478	3.815	3.816	3.249	4.394
Teneur en eau (%)			49.677	49.743	48.162	47.186	47.313	47.353	46.445	47.496
Moyenne			49.7 %		47.7 %		47.3 %		47.0 %	

DETERMINATION D'INDICE DE PLASTICITE

Limite de Plasticité W_P = 23.5 %	Indice de Plasticité IP = 24
Limite de Liquidité W_L = 47.6 %	
Teneur en eau du sol W_N = 27.5 %	Indice de consistance I_C = 0.8

Limite de Plasticité

	1er Essai		2ème Essai		3ème Essai	
N° Tare	C 6	C 7	C 1	C 11	C 5	C 17
Poids total humide	11.513	11.546	10.708	11.290	11.145	11.213
Poids total sec	11.042	11.127	10.340	10.897	10.786	10.795
Poids de la tare	9.014	9.373	8.739	9.237	9.257	9.012
Poids de l'eau	0.471	0.419	0.368	0.393	0.359	0.418
Poids du sol sec	2.028	1.754	1.601	1.660	1.529	1.783
Teneur en eau (%)	23.224	23.888	22.986	23.674	23.479	23.443
Moyenne	23.5 %		23.3 %		23.5 %	

Limite de plasticité W_P = 23.5 %

Densité apparente sèche :					
Echantillon n° :	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Eau ajoutée (%)	**12 %**	**14 %**	**16 %**	**18 %**	**20 %**
Poids total humide (Pth)	**5023**	**5125**	**5182**	**5254**	**5176**
Poids moule vide (PM)	**3319**	**3319**	**3319**	**3374**	**3319**
Poids sol humide (Ph)	**1704**	**1806**	**1863**	**1880**	**1857**
Poids sol sec [Ps = Ph/(1-w)]	**1493**	**1564**	**1596**	**1577**	**1522**
Volume du moule (V)	**942**	**942**	**942**	**942**	**942**
Masse volumique sec (γd = Ms/V)	**1.58**	**1.66**	**1.69**	**1.67**	**1.61**

Teneur en eau										
Numéro de la tare										
Poids total humide (Pth)	318	311	536	533	310	287	305	316	361	341
Poids total sec (Pts)	306	300	514	513	298	278	292	301	337	320
Poids de la tare (Po)	223	221	368	387	228	223	225	222	228	225
Poids de l'eau [Pw = Pth - Pts)	12	11	22	20	12	9	13	15	24	21
Poids du sol sec (Ps = Pts – Po)	83	79	146	126	70	55	67	79	109	95
Teneur en eau (%) (w = Pw/Ps)	14.4	13.9	15.1	15.9	17.1	16.4	19.4	19.0	22.0	22.1
Moyenne (%) :	14.1 %		15.5 %		16.7 %		19.2 %		22.0 %	

- Densité sèche maximale : 1.69 - Teneur en eau optimal : 16.7 %

I- Etat initial de l'échantillon étudié

N° de la tare :	1	2
P. total humide :	414	429
P. total sec :	386	400
P. de la tare :	221	228
P. de l'eau :	28	29
P. du sol sec :	165	172
Teneur en eau :	16.97 %	16.86. %
Moyenne :	16.9 %	

DENSITE SECHE :

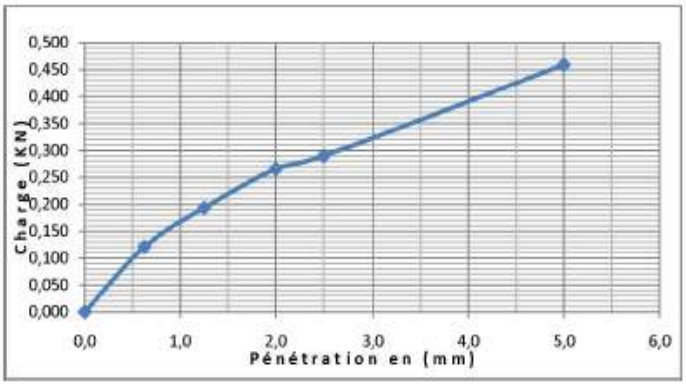
P. total humide :	14339
P. du moule	10897
P. du sol humide :	3442
Teneur en eau (%) :	16.9 %
P. sec calculé :	2944
Volume du moule :	2104

Densité sèche ρs : 1.40

Lecture Initiale du cadran de la presse :

Temps	Enfon-cement	Force totale		Pression en KG/cm²
		Lecture	Valeur	
30''	0,625	5	0.1207	
1'	1,25	8	0.1932	
1'40''	2	11	0.2657	
2'	**2,5**	12	0.2898	
4'	**5**	19	0.4589	

COURBE DE POINCONNEMENT



CALCUL DE L'INDICE PORTANT

à 2,5 mm : $\frac{F(2,5)}{13.35} \times 100 = 2.2$

à 5 mm : $\frac{F(5)}{19.93} \times 100 = 2.3$ D'où ICBR =2.3

Chef de Département Laboratoire :
S.ZEGGAGH

II- Etat final de l'échantillon après imbibition

TENEUR EN EAU APRES IMBIBITION (%) :			POIDS APPROXIMATIF DU SOL IMBIBE :	
N° de la tare :	1	2	P. total humide après imbibition :	14658
P. total humide :	384			
P. total sec :	342		P. total avant imbibition :	14339
P. de la tare :	183		P. de l'eau absorbée :	319
P. de l'eau :	42		Différence de teneur en eau :	9.5 %
P. du sol sec :	159		P. app. de sol imbibé :	3761
Teneur en eau :	26.4 %		Profondeur conventionnelle d'imbibition :	
Moyenne :				

	Temps	1er jour	2ème jour	3ème jour	4ème jour	Gonflement relatif
Gonflement :	Lecture du comparateur en 1/100 mm	0.26	0.46	0.48	0.57	0.5
	Valeur du gonflement					

I- Etat initial de l'échantillon étudié

N° de la tare :	1	2
P. total humide :	408	424
P. total sec :	380	395
P. de la tare :	224	228
P. de l'eau :	28	29
P. du sol sec :	156	167
Teneur en eau :	17.95 %	17.37 %
Moyenne :	17.7 %	

DENSITE SECHE :

P. total humide :	14753
P. du moule	10898
P. du sol humide :	3855
Teneur en eau (%) :	17.7
P. sec calculé :	3275
Volume du moule :	2104

Densité sèche ρs : 1.56

II- Etat final de l'échantillon après imbibition

TENEUR EN EAU APRES IMBIBITION (%) :

N° de la tare :	1	2
P. total humide :	455	
P. total sec :	420	
P. de la tare :	259	
P. de l'eau :	25	
P. du sol sec :	161	
Teneur en eau :	15.5 %	
Moyenne :		

POIDS APPROXIMATIF DU SOL IMBIBE :

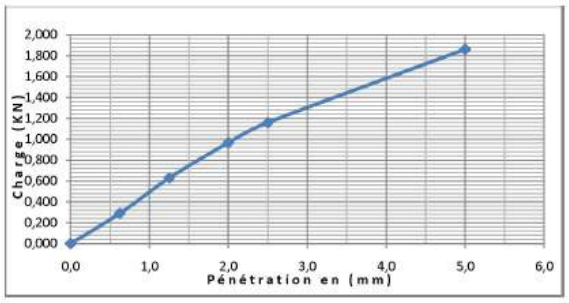
P. total humide après imbibition :	14937
P. total avant imbibition :	14753
P. de l'eau absorbée :	184
Différence de teneur en eau :	0
P. app. de sol imbibé :	4039
Profondeur conventionnelle d'imbibition :	

Gonflement :	Temps	1er jour	2ème jour	3ème jour	4ème jour	Gonflement relatif
	Lecture du comparateur en 1/100 mm	0.85	0.86	0.86	0.86	0.7
	Valeur du gonflement					

Lecture Initiale du cadran de la presse :

Temps	Enfon-cement	Force totale		Pression en KG/cm²
		Lecture	Valeur	
30''	0,625	12	0.2898	
1'	1,25	26	0.6280	
1'40''	2	40	0.9661	
2'	**2,5**	48	1.1594	
4'	**5**	77	1.8599	

COURBE DE POINCONNEMENT



CALCUL DE L'INDICE PORTANT

à 2,5 mm : $\frac{F(2,5)}{13.35} \times 100 = 8.7$

à 5 mm : $\frac{F(5)}{19.93} \times 100 = 9.3$ D'où ICBR=9.3

Chef de Département Laboratoire :
S.ZEGGAGH

I- Etat initial de l'échantillon étudié

N° de la tare :	1	2
P. total humide :	1062	1029
P. total sec :	981	954
P. de la tare :	528	531
P. de l'eau :	76	72
P. du sol sec :	453	426
Teneur en eau :	16.77 %	16.9 %
Moyenne :	16.8 %	

DENSITE SECHE :

P. total humide :	15011
P. du moule	10874
P. du sol humide :	4137
Teneur en eau (%) :	16.8
P. sec calculé :	3542
Volume du moule :	2104

Densité sèche ρs : 1.68

II- Etat final de l'échantillon après imbibition

TENEUR EN EAU APRES IMBIBITION (%) :

N° de la tare :	1	2
P. total humide :	547	
P. total sec :	485	
P. de la tare :	222	
P. de l'eau :	62	
P. du sol sec :	263	
Teneur en eau :	23.6 %	
Moyenne :		

POIDS APPROXIMATIF DU SOL IMBIBE :

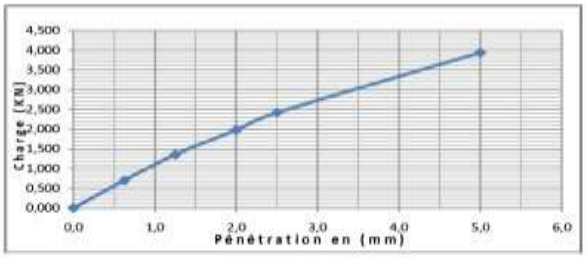
P. total humide après imbibition :	15093
P. total avant imbibition :	15011
P. de l'eau absorbée :	82
Différence de teneur en eau :	7
P. app. de sol imbibé :	4219
Profondeur conventionnelle d'imbibition :	

	Temps	1er jour	2ème jour	3ème jour	4ème jour	Gonflement relatif
Gonflement :	Lecture du comparateur en 1/100 mm	0.40	0.51	0.61	0.67	
	Valeur du gonflement					0.6

Lecture Initiale du cadran de la presse :

Temps	Enfon-cement	Force totale		Pression en KG/cm²
		Lecture	Valeur	
30''	0,625	29	0.7004	
1'	1,25	56	1.3526	
1'40''	2	82	1.9806	
2'	2,5	100	2.4154	
4'	5	163	3.9371	

COURBE DE POINCONNEMENT



CALCUL DE L'INDICE PORTANT

à 2,5 mm : $\frac{F(2.5)}{13.35} \times 100 = 18$

à 5 mm : $\frac{F(5)}{19.93} \times 100 = 19.8$ D'où ICBR =19.8

Chef de Département Laboratoire :
S.ZEGGAGH

ANNEXE C

ANNEXE C

- **Introduction**

Dans cette annexe nous allons détaillés les calculs de l'avant-projet de piquetage et le dimensionnement des diffèrents supports catenaires du PK 55 + 00 au 57 + 00 (alignement droit)

- **Balancement latéral théorique du pantographe**
- **En alignement et en courbe avec dévers ≤ 66mm**

Le balancement du pantographe dans ce cas est donné par la formule suivante :

$$B = 0.110 + (H - 5) + \frac{L - 1.435}{2} + 0.025 + \frac{H \times 0.01}{1.5}$$

B = 0.192 m = 192 mm

Avec :

- B : Balancement latéral théorique du pantographe
- L = 1.435 m : Écartement de la voie
- H = 5.5 m : Hauteur du fil de contact.

- **En alignement et en courbe avec dévers > 66mm**

Dans ce cas, le balancement du pantographe est donné par la formule suivante :

$$B = 0.110 + (H - 5) \times 0.04 + \frac{L - 1.435}{2} + 0.025 + \frac{0.01 \times H}{1.5} + \frac{2.5}{R} + 0.15 \times (D - 0.066) \times (H - 0.5)$$

B = 0.200 m = 200 mm

Avec :

- B : Balancement latéral théorique du pantographe ;
- L = 1.435 m : Écartement de la voie ;
- H = 5.5 m : Hauteur du fil de contact ;
- R =150 m : Rayon minimum de la voie ;
- D = 0.16 m : Dévers maximum de la voie.

- **Flèche de la courbe en milieu de portée**

La flèche de la courbe en milieu de portée est donnée par la formule suivante :

$$F = \frac{a^2}{8 \times R}$$

R = 3000 m a = 63m alors F = 0.165 m = 165 mm

Avec :

- F : Flèche de la courbe en milieu de portée ;
- R : Rayon de la courbe ;
- a : Portée.

- **Désaxement du fil de contact en milieu de portée**

Ce désaxement est donné par la formule suivante :

$$f' = F - \left|\frac{b1 + b2}{2}\right|$$

R = 3000m alors on prend f ' = 0 mm

Avec :

- f' : Désaxement du fil de contact par rapport à l'axe du pantographe en milieu de portée ;
- b_1 : Désaxement au niveau du premier support de la portée ;
- b_2 : Désaxement au niveau du second support de la portée.

- **Déplacement du fil de contact**
- **Pression dynamique du vent sur le fil**

Cette pression peut être calculée à travers la formule que préconise le RNV 2013 :

$$q_w = \frac{\gamma \times V_2}{2 \times g}$$

Avec :

- q_w : Pression dynamique du vent sur un fil ;
- V = 29 m/s : Vitesse maximale du vent ;
- g = 9.81 m/s² : Accélération de la pesanteur ;
- $\gamma = 1.2$ kg/m3 : Masse volumique de l'aire donnée par le RNV2013.

$$\boldsymbol{q_w = 514.37\ N/m^2}$$

- **Déplacement maximum du fil de contact sous l'action du vent**

Ce déplacement en fonction de la portée maximale est donné par la formule suivante :

$$U_d = \frac{q_w \times C_x \times (D1 + D2) \times a^2}{8 \times (T1 + T2)}$$

Avec :

- U_d : Déplacement maximum du fil de contact sous l'action du vent ;
- C_x= 1.25 : Coefficient de traînée des fils ;
- $a = 63$m : Portée maximale donnée par la norme ;
- q_w= 514.37 N/m² : Pression dynamique du vent sur un fil ;
- D_1= 0.01224 m : Diamètre du fil de contact ;
- D_2= 0.0105 m : Diamètre du câble porteur ;
- $T_1 = T_2$= 12 000 N : Tension du fil de contact et câble porteur successif.

$$\boldsymbol{U_d = 0.302\ m \rightarrow U_d = 302\ mm}$$

- **Déplacement maximum du fil de contact en tenant compte du désaxement aux supports encadrant (en alignement)**

Ce déplacement est donné par la formule suivante :

$$U_{d'} = U_d + \frac{(|b_1| + |b_2|)^2}{16 \times U_d} + \frac{(|b_1| - |b_2|)}{2}$$

Avec :

- $U_{d'}$: Déplacement maximal du fil de contact en fonction du désaxement des supports ;
- U_d = 0.302 m : Déplacement maximum du fil de contact sous l'action du vent ;
- b_1= +0.2 m : Désaxement au niveau du premier support de la portée ;
- b_2= -0.2 m : Désaxement au niveau du second support de la portée.

$$\boldsymbol{U_{d'} = 0.335\ m \rightarrow U_{d'} = 335\ mm}$$

- **Détermination de la portée maximale**
- **En alignement**

La méthode de calcul de la portée maximale en alignement consiste à vérifier que le fil de contact reste sur la largeur résiduelle suffisante de l'archet, dans le cas le plus défavorable du :

- Balancement latéral théorique du pantographe ;
- Déplacement du fil de contact sous l'action du vent (en tenant compte des désaxements aux supports caténaires).

Autrement dit :

$$\boldsymbol{B + U_{d'} < 535\ mm}$$

Avec :

- B = 192 mm : Balancement latéral théorique du pantographe ;
- $U_{d'} = 335$ mm : Déplacement maximal du fil de contact en fonction du désaxement des supports ;
- 535 mm : Largeur résiduelle suffisante de l'archet de 1450 mm.

Donc, pour une portée de 63 m et un désaxement de 200 mm, nous avons :

$$B + U_{d'} = 192 + 335 = 527mm < 535\ mm$$ C' est vérifié

Alors, la portée maximale en alignement pour ce projet égale à **63 m**.

➢ Évaluation des charges

Le support choisi comme exemple d'application est un poteau en alignement droit, non haubané et supporte deux portées de caténaire $a_1 = a_2 = 63m$, avec un désaxement $b_1 = +0.2m\ et\ b_2 = -0.2m$.

Les charges sont calculées avec la valeur la plus défavorable de la température **T =$-10°C$**.

Charges permanentes

a. Poids du support

Pour commencer, le profilé HE supposé pour le support à mettre en place est le **HEA 240**, par la suite, nous allons vérifier si ce profilé est le meilleur pour notre support vis-à-vis la stabilité et la résistance.

Le poids d'un profilé, aussi défini par unité de longueur, est calculé par la formule suivante :

$$W_S = P \times H$$

Avec :

- W_S: Poids du support en daN ;
- $P = 62.109\ daN/m$: Surface du profilé HEA 240 (d'après le catalogue) ; $H = 8.00m$: Hauteur du support.

$$\boldsymbol{W_S = 497\ daN}$$

b. Poids des câbles

Le poids d'un câble, normalement défini par unité de longueur, est exprimé en daN/m. Il est calculé par la formule suivante :

$$W_c = P \times L$$

Avec :

- W_c: Poids du câble en daN ;
- P: Poids du câble donné par le fournisseur en daN/m (Cf. Tableau V.2) ;
- L = $\frac{a_1+a_2}{2} = 63m$: Longueur de câble supportée par le support ;

Tableau C 1: : Valeurs des poids des differents cables

Élément	Poids (daN/m)	Poids (daN)
Fil de contact	0.951× 63	59.91
Câble porteur	0.605× 63	38.2
Câble de retour traction	0.987× 2 × 63	62.18× 2

c. Poids des accessoires

Le poids des pièces diverses utilisées pour un montage donné est une des informations données dans les spécifications du fournisseur.

Pour l'ensemble armement (bras de console + isolateurs + bras de rappel + pièces de fixation des câbles), regroupant des pièces de matières différentes, on prend en compte un poids estimatif de **60 daN**.

d. Tensions radiales

La tension radiale est l'effort causé par la tension du câble sous l'effet d'un changement d'orientation. Cette force s'applique au point d'attache du câble.

La tension radiale causée par le désaxement ainsi que la courbe est donnée par la formule suivante :

$$T_{rad} = (\sum \left(\frac{d}{a}\right) + \sum \left(\frac{a}{2R}\right)) \times T$$

Avec :

- $\sum \left(\frac{d}{a}\right) \times T$: Tension radiale causée par le désaxement seulement ;
- $\sum \left(\frac{a}{2R}\right) \times T$: Tension radiale causée par le rayon de la courbe ;
- T_{rad}: Tension radiale ;
- T: Tension de calcul de câble considéré ;
- a: Portée de câble considéré ;
- $d = 0.4m$: Distance entre deux désaxements ; R: Rayon de la courbe.

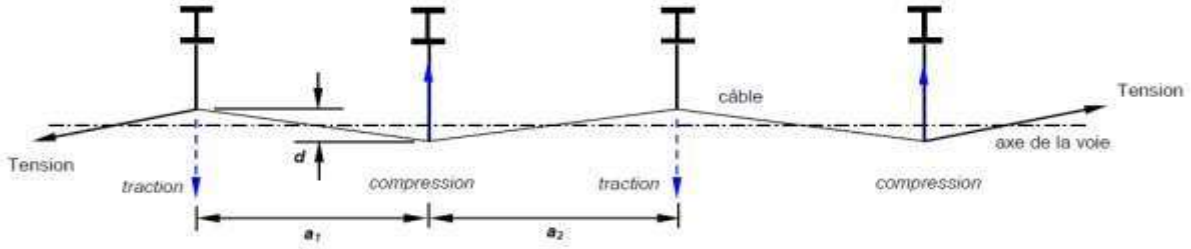


Figure C 1 :Schéma explicatif de l'application de la tension radiale

- Nous avons choisi un exemple de calcul en alignement, pour cela, la tension radiale causée par le rayon de la courbe est négligée devant celle causée par le désaxement.
- Les câbles de retour électrique n'ont pas un désaxement mais ils peuvent changer leurs orientations s'ils rencontrent un obstacle ou un signal ; Pour cela, nous allons supposer que leur tension radiale égale à 0.1 daN.

Tableau C 2:Tableau des force radiale

Élément	**Trad (formule)**	T_{rad} **(daN)**
Fil de contact	$\frac{0.4}{63} \times 1200$	15.24
Câble porteur	$\frac{0.4}{63} \times 1200$	15.24
Câble de retour traction	-	0.1×2

- **Charges climatiques**

a. Charge de vent perpendiculaire

L'effet du vent sur le support et les câbles, est assez prépondérant et a une grande influence sur la stabilité de celui-ci. Pour cela, les actions du vent seront calculées dans toutes les directions possibles. Dans le cadre de ce projet, nous avons une vitesse de vent de **29 m/s**, ce que nous donne une pression dynamique $q_w = 51.43\ daN/m^2$ **(**calculée en chapitre IV
(§6.1.5.1)). Alors, la charge de vent sur un élément se calcule par la formule suivante :

$$V_{\perp} = q_w \times d \times L \times C_t$$

Avec :

- V : Charge de vent ;
- $q_w = 51.43\ daN/m^2$: Pression dynamique du vent ;
- d: Diamètre d'un câble ou la largeur d'un élément pris perpendiculairement à la direction du vent ;
- L: Portée du câble ou la hauteur d'un élément ;
- C_t: Coefficient de traînée dépendant de la forme de la surface d'application de l'effort de vent.

 Pour un profilé HE : $C_t = \gamma \times C_x$

Avec :

- γ: Coefficient aérodynamique dépendant du rapport longueur / largeur de la surface d'application et qui vaut 1.55 pour les poteaux caténaire en profilé **HE ;**
- C_x: Coefficient aérodynamique dépendant de la direction du vent et qui vaut

1.44 dans la direction à plus forte inertie du profilé → H

0.93 Dans la direction à plus faible inertie du profilé → I

25 le fil de

 Pour les câbles : $C_t = \begin{cases} 1. \text{ pour contact} \\ 1.20 \text{ pour le cable porteur} \\ 1.00 \text{ pour les cables de retour électrique} \end{cases}$

Tableau C 3:Tableau des charges du vent

Élément	$V_{\perp}$ (formule)	$V_{\perp}$(daN)
Support	$51.43 \times (1.55 \times 1.44) \times 0.24 \times 8$	220.40
Fil de contact	$51.43 \times 0.01225 \times 63 \times 1.25$	50
Câble porteur	$51.43 \times 0.01050 \times 63 \times 1.20$	41
Câble de retour traction	$(51.43 \times 0.02190 \times 63 \times 1) \times 2$	71

b. Charge de vent parallèle

La charge de vent parallèle se calcule selon la même méthode citée plus haut. L'effet du vent parallèle sur les câbles est considéré négligeable.

- **Vérification des déplacements**

La vérification des déplacements s'effectue à l'ELS (avec les charges non pondérées).

- **Flèches en tête de support dues aux charges permanentes**

Avec le profilé supposé au départ, nous allons vérifier si les flèches en tête de support due aux charges permanentes restent inférieures à la flèche maximale admissible, c'est-à-dire :

$$\delta_H^{tot} < \delta_{adm}$$

Avec :

- $\delta_{adm} = 10.5\ cm$: Flèche maximale admissible en tête de support ;
- δ_H^{tot}: Flèche horizontale totale calculée en fonction des charges permanentes.

La flèche horizontale est donnée par la formule suivante : $\delta_H = \sum(\delta_H^M + \delta_H^F)$; tel que :

- La flèche due au moment M appliqué à une hauteur x : $\delta_H^M = \frac{10000 \times M \times x \times (2H - x)}{2E \times I}$
- La flèche due à la charge F appliqué à une hauteur x : $\delta_H^F = \frac{10000 \times F \times x^2 \times (3H - x)}{6E \times I}$

Avec :

- H : Hauteur totale du support ;
- x : Hauteur d'application de l'effort ou du moment ;
- $E = 21\ 000\ daN/mm^2$: Module d'élasticité longitudinale de l'acier ;
- $I = 7763\ cm^4$: Moment d'inertie perpendiculaire (suivant l'axe fort).

Tableau C 4:Flèche en tête de support dues aux charges permanentes

Élément	Fil de contact	Câble porteur	Armement	Câble de retour traction
Flèche δ_H (cm)	0.41	0.36	0.15	0.00

Alors : $\delta_{H\,tot} = \Sigma\,\delta_H = 0.89\ cm < \delta_{adm} = 10.5\ cm$ **la condition est vérifiée.**

- **Flèche au niveau du fil de contact dû aux charges de vent**

La flèche au niveau du fil de contact ne doit pas dépasser la flèche admissible donnée par la norme et est égale à 5.5 cm. Autrement dit :

$$\delta_h^{tot} = \sum \delta_h < \delta_{adm}$$

La flèche due aux charges de vent est donnée par les formules suivantes :

- Pour une charge répartie q : $\delta_h = \frac{10000 \times q \times H^2}{24EI} \times (6H^2 - 4H \times h + h^2)$
- Pour une charge F appliquée à une hauteur x<h : $\delta_h = \frac{10000 \times F \times h^2}{6EI} \times (3h - x)$

Avec :

 h : Hauteur du fil de contact.

Tableau C 5:Flèche au niveau du fil de contact due aux charges de vent

Élément	Support	Fil de contact	Câble porteur	Armement	Câble de retour traction
Flèche δ_h (cm)	0.98	0.2	0.22	-	$\times 2$ 0.39

Alors : $\delta_{H\,tot} = \Sigma\,\delta_H = 1.79\ cm < \delta_{adm} = 5.5\ cm$ **la condition est vérifiée.**

- **Contre flèche**

Les poteaux seront montés avec une contre-flèche calculée sur la base de la flèche au sommet du poteau sans vent, dans le but de compenser celle-ci et d'assurer une parfaite verticalité des mâts. Cette contre-flèche sera faite à côté de la voie ou à l'extérieure de celle-ci ; La contreflèche est considérée comme positive lorsqu'elle est réalisée à l'extérieur de la voie et négative dans le cas contraire. Les valeurs de la contre-flèche sont données dans le tableau V.10 :

Tableau C 6:Contre flèche appliquée au support (cm)

Flèche calculée en tête de support (cm)	Contre flèche appliquée au support (cm)
$\mathbf{0 \le \delta_H \le 1.5}$	$C_f = 0$
$\mathbf{1.5 < \delta_H \le 4.5}$	$C_f = 3$
$\mathbf{4.5 < \delta_H \le 7.5}$	$C_f = 6$
$\mathbf{7.5 < \delta_H \le 10.5}$	$C_f = 9$

Pour le support considéré, nous avons une flèche $\delta_H^{tot} = 0.92\ cm < 1.5 \rightarrow \mathbf{C_f = 0}$.

- **Classification de la section**

Avant d'entamer la partie vérification, il faut classer la section **HEA 240**, avec les caractéristiques suivantes :

$$\textbf{HEA 240}: \begin{cases} b = 240mm \\ t_w = 7.5mm \\ t_f = 12mm \\ d = 164mm \\ r = 21mm \\ \varepsilon = \sqrt{\dfrac{235}{f_y}} = 0.92 \end{cases}$$

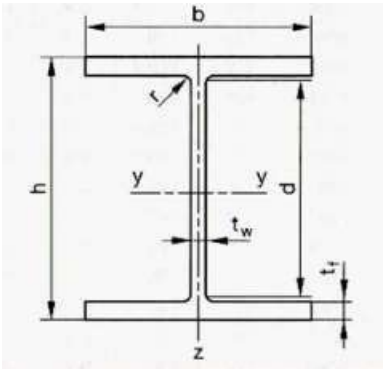


Figure C 2:Section HE

- Classification de l'âme

Nous avons : $\frac{d}{t_w} = \frac{164}{7.5} = 21.87 < 33\varepsilon \rightarrow$ l'âme est de classe I.

- Classification de la semelle

Nous avons : $\frac{c}{t_f} = \frac{\frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r}{t_f} = \frac{95.25}{12} = 7.98 < 9\varepsilon \rightarrow$ la semelle est de classe I.

$\Longrightarrow$ La section est de classe **I**.

- **Vérification de la résistance du support**

Le support travaille en flexion composée, il faut donc vérifier :

$$M_{sd} \leq M_{N,Rd}$$

Avec :

- Msd =3532.21 : Moment sollicitant à l'ELU ;
- $M_{N,Rd}$: Moment de résistance plastique réduit par la prise en compte de l'effort axial :

$$M_{N,Rd} = \frac{M_{pl,Rd}(1-n)}{1-0.5a} = \frac{w_{ply} \times f_y}{\gamma_{M0}} \times \frac{1-n}{1-0.5a}$$

Tel que :

- $w_{ply} = 744.6\ cm^3$: Module d'inertie plastique de la section HEA 240 ;
- $\gamma_{M0} = 1.1$: Coefficient de sécurité partiel ;
- $n = \frac{N_{sd}}{N_{pl,Rd}} = \frac{N_{sd} \times \gamma_{M0}}{A \times f_y}$: Rapport entre l'effort normal sollicitant de calcul et l'effort normal plastique ;
  - $N_{sd} = 1052.28\ daN = 10.52\ KN$: Effort normal sollicitant de calcul ;
  - $A = 76.8\ cm^2$: Aire de la section HEA 240 ;

$$\text{n} = \frac{10.52\ \times\ 1.1}{76.8\ \times\ 27.5} = 0.0054$$

- $a = \min(\frac{A_w}{A}; 0.5)$, tel que : $A_w = A - 2b \times t_f = 19.2\ cm^2 \rightarrow a = \min(\frac{19.2}{76.8}; 0.5)$

$$\rightarrow\ a = \min(0.25; 0.5) \rightarrow\ \boldsymbol{a = 0.25}$$

Alors : $M_{N,\,Rd} = \frac{744.6 \times 275 \times 10^{-3}}{1.1} \times \frac{1-0.0054}{1-0.5 \times 0.25} = 211.59 KN.m = 21159.4 dan.m$

Msd =3532.21daN.m < $MN, Rd = 21159.4\ daN.m$ $\Longrightarrow$ **Condition vérifiée**.

- **Vérification de la résistance du support vis-à-vis du flambement**

Tant que le support est soumis à un effort normal de compression, il faut donc vérifier sa résistance au flambement. Le risque du flambement est considéré si l'élancement réduit $\bar{\lambda}$ est supérieur à 0.2 ; Dans ce cas, il faut vérifier :

$$N_{sd} \leq N_{b,Rd}$$

Tel que :

- $N_{b,Rd} = \frac{\chi_{min} \times \beta_A \times A \times f_y}{\gamma_{M1}}$: Effort résistant au flambement ;
- $\beta_A = 1$: Pour les sections de classe 1, 2 et 3 ;
- $\gamma_{M1} = 1.1$: Coefficient de sécurité partiel ;
- $\chi_{min} = \frac{1}{\varphi + \sqrt{\varphi^2 - \bar{\lambda}^2}}$: Coefficient de réduction dépend de l'élancement réduit $\bar{\lambda}$;
- $\varphi = 0.5\left[1 + \alpha \times (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2\right]$;

- α: Facteur d'imperfection dépend de la courbe de flambement ;

$\bar{\lambda} = \left(\frac{\lambda}{\lambda_1}\right)\sqrt{\beta_A} = \frac{\lambda}{93.9\varepsilon}$: Élancement réduit ;

- λ: Élancement calculé à la base des caractéristiques de la section brute :

$$\begin{cases} \frac{h}{b} = \frac{230}{240} = 0.96 < 1.2 \\ t_f = 12mm < 100mm \end{cases} \rightarrow \begin{cases} Axe\ de\ flambement \rightarrow \begin{cases} (y-y) \\ (z-z) \end{cases} \\ Courbe\ de\ flambement \rightarrow \begin{cases} b \\ c \end{cases} \end{cases}$$

- Sur le plan (y-y) :

Avec la courbe (b), nous avons : $\alpha = 0.34$

$$\lambda_y = \frac{f}{i_y} = \frac{\times}{\sqrt{\frac{I_y}{A}}} = \frac{\times}{\sqrt{\frac{7763}{76.8}}} = 159.2 \rightarrow \overline{\lambda_y} = \frac{y}{93.9\varepsilon} = \frac{\cdot}{86.34} = 1.84$$

- Sur le plan (z-z) :

Avec la courbe (c), nous avons : $\alpha = 0.49$

$$\lambda_z = \frac{l_f}{i_z} = \frac{2 \times H}{\sqrt{\frac{I_z}{A}}} = \frac{2 \times 800}{\sqrt{\frac{2769}{76.8}}} = 266.5 \rightarrow \overline{\lambda_z} = \frac{\lambda_z}{93.9\varepsilon} = \frac{266.5}{86.34} = 3.09$$

Alors : $\bar{\lambda} = \max(\overline{\lambda_y}; \overline{\lambda_z}) = 3.09 \Longrightarrow \chi_{min} = 0.0952$

Donc : $N_{b,Rd} = \frac{0.0952 \times 1 \times 7680 \times 275 \times 10^{-3}}{1.1} = 182.78\ KN = 18278\ daN$

$N_{sd} = 1052.28\ daN < N_{b,Rd} = 18278\ daN \Longrightarrow$ **Condition vérifiée**.

- **Vérification de la résistance du support au déversement**

Le déversement est un phénomène d'instabilité susceptible d'intervenir dans les barres fléchies par rapport à leur axe de forte inertie ; sous l'effet de la flexion, une partie de la section est comprimée et l'autre tendue. La zone comprimée tend à flamber latéralement, et la zone tendue tend à s'opposer à ce déplacement latéral ; le déversement est aussi accompagné d'une rotation des sections, cette rotation fait intervenir les caractéristiques de rigidité à la torsion de la barre.

Il faut vérifier que : $M_{sd} \leq M_{b,Rd}$

Avec :

- $M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \times \beta_w \times w_{ply} \times f_y}{\gamma_{M1}}$: Moment résistant au déversement ;
- $\beta_w = 1$ pour les sections de classe 1, 2 et 3 ;
- $\chi_{LT} = \frac{1}{\emptyset_{LT} + \sqrt{\emptyset_{LT}^2 - \overline{\lambda_{LT}}^2}} \leq 1$: Facteur de réduction pour le déversement ;
- $\emptyset_{LT} = 0.5\left[1 + \alpha_{LT}\left(\overline{\lambda_{LT}} - 0.2\right) + \overline{\lambda_{LT}}^2\right]$: Courbe de flambement ;
- $\alpha_{I.T} = 0.21$(pour un profilé laminé) : Facteur d'imperfection ;

- $\overline{\lambda_{LT}} = \sqrt{\frac{\beta_w \times w_{ply} \times f_y}{M_{cr}}}$: Élancement réduit du déversement ;
- M_{cr}: Moment critique de déversement donné par la formule suivante

$$M_{cr} = C_1 \times \frac{\pi^2 \times EI_z}{L^2} \times \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 \times G \times I_t}{\pi^2 \times EI_z}}$$

- $C_1 = 1.132$: Coefficient dépend de la charge répartie ;
- $G = 8.1 \times 10^6\ N/cm^2$: Module d'élasticité transversale ;
- $I_t = 41.55\ cm^4$: Moment d'inertie de torsion ;
- $I_w = 328.5 \times 10^3 cm^6$: Moment d'inertie de gauchissement ;
- $I_z = 2769\ cm^4$: Moment d'inertie de flexion suivant l'axe de faible inertie ;

$$M_{cr} = 1.132 \times \frac{\pi^2 \times 21 \times 10^6 \times 2769}{800^2} \times \sqrt{\frac{328.5 \times 10^3}{2769} + \frac{800^2 \times 8.1 \times 10^6 \times 41.55}{\pi^2 \times 21 \times 10^6 \times 2769}}$$

$$\boldsymbol{M_{cr} = 22546341.25\ N.cm}$$

$$\begin{cases} \overline{\lambda_{LT}} = \sqrt{\dfrac{1 \times 744.6 \times 275 \times 10^2}{22546341.25}} = 0.95 \\ \emptyset_{LT} = 0.5[1 + 0.21(0.95 - 0.2) + 0.95^2] = 1.03 \end{cases} \rightarrow \chi_{LT} = \frac{1}{1.03 + \sqrt{1.03^2 - 0.95^2}} = 0.70$$

Alors :

$$M_{b,Rd} = \frac{0.70 \times 1 \times 744.6 \times 10^{-6} \times 275 \times 10^3}{1.1}$$

$$\boldsymbol{M_{b,Rd} = 130.305\ KN.m = 13030.5\ daN.m}$$

Donc :

$M_{sd} = 3532.21\ daN.m < M_{b,Rd} = 13030.5\ daN.m$ ⟹ **Condition vérifiée.**

- **Vérification de la résistance du support au voilement par cisaillement**

Le voilement est une instabilité qui se produit au niveau des parois d'une section par compression ou par cisaillement.

La présence de l'effort tranchant au niveau de la section, provoque le voilement de l'âme par cisaillement ; Pour cela, il faut vérifier l'inégalité suivante :

$$\frac{d}{t_w} \leq 69\varepsilon \rightarrow \frac{164}{7.5} = 21.86 < 69 \times 0.92 = 63.48$$

⟹ Donc, il n'y a pas lieu de vérifier le voilement par cisaillement avec cette section.

- **Taux de travail du support**

Le taux de travail d'un support est un paramètre décisif dans le choix de la section de celuici vis-à-vis de la durabilité ; Il est donné par la formule suivante :

$$\tau = \frac{\sigma_{ser}}{\sigma_{adm}} \times 100$$

Avec :

- $\sigma_{adm} = \frac{\sigma_e}{\gamma} = \frac{275}{1.8} = 152.8\ N/mm^2$: Contrainte admissible de l'acier ;

  σ_{ser}: Contrainte de service calculée avec les efforts internes.

Le taux de travail pour le support HEA 240 égale à **43%**.

N.B : Quel que soit le type du support, le taux de travail ne doit pas dépasser 70%.

Après toutes ces vérifications, nous avons conclu que le profilé choisi **HEA 240**, convient comme support en alignement avec une seule console.

- **Support avec deux console**
  - **Vérification des déplacements**

Tableau C 7:Flèches dues aux charges permanentes et aux charges de vent

Caténaire 01 Caténaire 02

	Support	FC 1	CP 1	FC 2	CP 2	Armement× 2	CRT × 2	Total
δ_H (cm)	-	0.4	0.34	0.36	0.42	0.11	0.00	**1.66**
δ_h (cm)	0.31	0.08	0.09	0.09	0.10	-	0.15	**0.97**

Vérification de la flèche en tête de support due aux charges permanentes

$\delta_{H\,tot} = \Sigma\,\delta_H = 1.66\ cm < \delta_{adm} = 10.5\ cm \rightarrow$ **La condition est vérifiée.**

• Vérification de la flèche au niveau du fil de contact due aux charges de vent

$\delta_{h\,tot} = \Sigma\,\delta_h = 0.97\ cm < \delta_{adm} = 5.5\ cm \rightarrow$ **La condition est vérifiée.**

• Contre flèche

Nous avons : $1.5 < \delta_H$ $_{tot} = 1.66\ cm < 4.5 \rightarrow \boldsymbol{C_f =}$ **3cm.**

V.6.2.3. Vérification de la résistance du support

La section **HEB 240** est de classe **I** avec les caractéristiques suivantes :

$$\boldsymbol{HEB\ 240}: \begin{cases} b = 240mm \\ t_w = 10mm \\ t_f = 17mm \\ d = 164mm \\ r = 21mm \\ \varepsilon = \sqrt{\dfrac{275}{f_y}} = 0.92 \end{cases}$$

N.B : Les étapes de vérification sont identiques à celles du support avec une seule console.

N.B : Les étapes de vérification sont identiques à celles du support avec une seule console.

Tableau C 8:Paramètres de vérification de flexion simple (support avec 02 consoles)

Paramètre	$w_{ply}\,(cm^3)$	γ_{M0}	**A (cm²)**	A_w **(cm²)**	n	α
Valeur	**1053**	**1.1**	**106**	**24.4**	**0.05**	**0.23**

Alors, nous avons :

- $Msd = 4758.94\ daN.m$
- $MN,Rd = 29597.1\ daN.m$ $\rightarrow Msd < MN,Rd$ la condition est vérifiée

- **Vérification de la résistance du support vis-à-vis du flambement**

Tableau C 9:Paramètres de vérification de flambement (support avec 02 consoles)

Paramètre	β_A	γ_{M1}	λ	$\bar{\lambda}$	χ_{min}
Valeur	1	1.1	$\begin{cases}\text{Plan (y}-\text{y)} : \lambda_y = 155.24 \\ \text{Plan (z}-\text{z)} : \lambda_z = 263\end{cases}$	$\bar{\lambda} = max\begin{cases}\overline{\lambda_y} = 1.78 \\ \overline{\lambda_z} = 3.03\end{cases} = 3.03$	0.0976

Alors, nous avons :

- $N_{sd} = 1439.88\ daN$
- $N_{b,Rd} = 25863.8\ daN \rightarrow N_{sd} < N_{b,Rd}$ **la condition est vérifiée.**

- **. Vérification de la résistance du support au déversement**

Tableau C 10:Paramètres de vérification de déversement (support avec 02 consoles)

Paramètre β_w	γ_{M1}	*Moment d'inertie I*	C_1	*Moment critique* M_{cr} *(N.cm)*	$\overline{\lambda_{LT}}$	$\emptyset_{LT}$	χ_{LT}
Valeur	1	1.1	$\begin{cases} I_t = 102.7cm^4 \\ I_w = 486.9 \times 10^3 cm^6 \\ I_z = 3923cm^4 \end{cases}$	1.132	40113342.4	0.85	0.93	0.76

Alors, nous avons :

- $Msd = 4758.94\ daN.m$
- $M_{b,Rd} = 20007\ daN.m$ $\rightarrow Msd < M_{b,Rd}$ la condition est vérifiée

- **Vérification de la résistance du support au voilement par cisaillement**

Il faut vérifier la condition suivante :

$$\frac{d}{t_w} \leq 69\varepsilon \rightarrow \frac{164}{10} = 16.4 < 69 \times 0.92 = 63.48$$

⟹ Donc, il n'y a pas lieu de vérifier le voilement par cisaillement avec cette section.

- **Vérification du risque de vrillage des supports**

Cette vérification supplémentaire concerne uniquement les supports équipés de plusieurs armatures. Afin de limiter les déformations permanentes, lors de la phase de montage au déroulement et à la mise en tension des câbles ainsi qu'en phase finale lors de l'ajustement des câbles dans les pinces de fixation, l'angle de torsion φ ne doit pas dépasser les valeurs suivantes :

- **En phase travaux :** $\varphi < 0{,}2\ rad$
- **En phase finale :** $\varphi < 0{,}1\ rad$

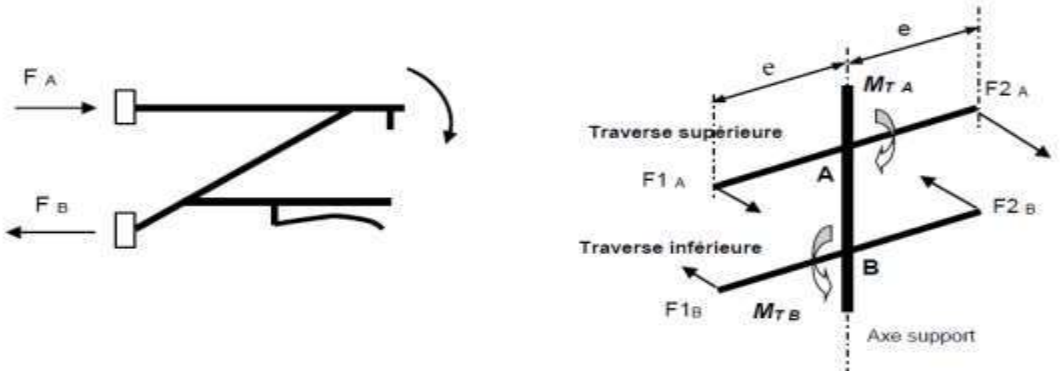


Figure C 3:Efforts appliqués sur les 02 consoles

Chaque armature sera assimilée à un système triangulaire, de sorte que les charges permanentes (poids et tension radiale des câbles) qui s'y exercent se traduisent au niveau des appuis sur les traverses supérieure et inférieure par des efforts horizontaux perpendiculaires à la voie

L'excentricité "e" par rapport à l'axe du support (égale à 0.5m pour les supports intermédiaires) crée un moment de torsion distinct à chaque hauteur de traverse sur la section du profil.

Les moments de torsion seront calculés en appliquant les formules suivantes :

$$\begin{cases} M_{T/A} = \sum F_A \times e \\ M_{T/B} = \sum F_B \times e \end{cases}$$

Tableau C 11:Valeurs des forces et moments de torsion (Support avec 02 consoles)

	F_A (daN)	F_B (daN)	e (m)	$M_{T/A}$ (daN.m)	$M_{T/B}$ (daN.m)
Caténaire 01	**-248**	**157**	**0.50**	**-241**	**150**
Caténaire 02	-234	143	0.50		

- L'angle de torsion au niveau de la traverse supérieure se calcule par la formule :

$$\omega_A = \frac{M_{T/A} \times H_A + M_{T/B} \times H_B}{G \times I_t}$$

- L'angle de torsion au niveau de la traverse inférieure se calcule par la formule :

Avec :

- $\omega_A \; et \; \omega_B$: Angles de torsion en radian, respectivement aux points A et B ;
- $M_T \; (daN.m)$: Moment de torsion ;
- $H_A = 7m$: Hauteur de la traverse supérieure ;
- $H_B = 5.69m$: Hauteur de la traverse inférieure ;
- $G = 8.1 \times 10^9 \; daN/m^2$: Module d'élasticité transversale ;
- $I_t = 102.7 \times 10^{-8} m^4$: Moment d'inertie de torsion.

Nous avons : $\begin{cases} \omega_A = -0.001 \; rad \\ \omega_B = 0.0001 \; rad \end{cases} < \begin{cases} \varphi = 0.2 \; rad \; (en \; phase \; travaux) \\ \varphi = 0.1 \; rad \; (en \; phase \; finale) \end{cases}$

→ Il n'y a pas de risque de vrillage pour le support HEB 240 à 02 consoles

.

- **Taux de travail du support**

Le support à 02 consoles avec la section HEB 240 a un taux de travail égal à **51%**.

Après toutes ces vérifications, nous avons conclu que le profilé choisi **HEB 240**, convient comme support en alignement avec deux consoles.

➢ **Support d'ancrage**

- **Vérification des déplacements**

Tableau C 12:Flèches due aux charges permanentes et aux charges de vent

	Support HEA 260	**FC**	**FP**	**Armement**	**CRT × 2**	**Ancrage FC**	**Ancrage CP**	**Contrepoids × 2**	**Appareil tendeur**
δ^H **(cm)**	-	0.4	0.35	0.12	0.00	0.45	0.59	-	-
δ^h **(cm)**	0.358	0.08	0.09	-	0.15	0.05	0.05	0.06	0.22

- **Vérification de la flèche en tête de support due aux charges permanentes**

$\delta_{H\,tot} = \Sigma \; \delta_H = 1.91 \; cm < \delta_{adm} = 10.5 \; cm$ → **La condition est vérifiée.**

- **Vérification de la flèche au niveau du fil de contact due aux charges de vent**

$\delta_{h\,tot} = \Sigma \; \delta_h = 1.21 \; cm < \delta_{adm} = 5.5 \; cm$ → **La condition est vérifiée.**

- **Contre flèche**

Nous avons : $1.5 < \delta_{H\,tot} = \omega_B = \dfrac{(M_{T/A} + M_{T/B}) \times H_B}{G \times I_t}$ $1.69 \; cm < 4.5 \rightarrow \boldsymbol{C_f = 3cm}$.

- **Vérification de la résistance du support**

La section **HEA 260** est de classe **I** avec les caractéristiques suivantes :

$$\boldsymbol{HEA\ 260}: \begin{cases} b = 260mm \\ t_w = 7.5mm \\ t_f = 12.5mm \\ d = 177mm \\ r = 24mm \\ \varepsilon = \sqrt{\dfrac{275}{f_y}} = 0.92 \end{cases}$$

N.B : Les étapes de vérification pour les supports précédents ont également été utilisées pour le support d'ancrage**.**

Tableau C 13:Paramètres de vérification de flexion simple (support d'ancrage)

Paramètre	$w_{ply}\,(cm^3)$	γ_{M0}	**A (cm²)**	A_w **(cm²)**	n	α
Valeur	**919.8**	**1.1**	**86.82**	**21.82**	**0.023**	**0.25**

Alors, nous avons :

- Msd = 5877.12 daN.m
- MN,Rd = 25676.1 $daN.m \rightarrow Msd < MN,Rd$ la condition est vérifiée

o Vérification de la résistance du support vis-à-vis du flambement

Tableau C 14:Paramètres de vérification de flambement (support d'ancrage)

Paramètre	β_A	γ_{M1}	λ	$\bar{\lambda}$	χ_{min}
Valeur	1	1.1	$\begin{cases} \text{Plan (y – y)} : \lambda_y = 145.8 \\ \text{Plan (z – z)} : \lambda_z = 75.38 \end{cases}$	$\bar{\lambda} = max \begin{cases} \overline{\lambda_y} = 1.68 \\ \overline{\lambda_z} = 0.87 \end{cases} = 1.68$	**1.26**

Alors, nous avons :

- N_{sd} = 5211.63 daN
- $N_{b,Rd} = 56433.1\ daN \rightarrow N_{sd} < N_{b,Rd}$ **la condition est vérifiée.**

o Vérification de la résistance du support au déversement

Tableau C 15:Paramètres de vérification de déversement (support d'ancrage)

Paramètre	β_w	γ_{M1}	**Moment d'inertie I**	C_1	**Moment critique** M_{cr} **(N.cm)**	$\overline{\lambda_{LT}}$	$\emptyset_{LT}$	χ_{LT}
Valeur	1	1.1	$\begin{cases} I_t = 52.37cm^4 \\ I_w = 516.4cm^6 \\ I_z = 3668cm^4 \end{cases}$	1.132	29984740.5	0.92	1	0.72

Alors, nous avons :

- Msd = 5877.12 daN.m

- $M_{b,Rd} = 16556.11\ daN.m \rightarrow Msd < MN,Rd$ la condition est vérifiée

- **Vérification de la résistance du support au voilement par cisaillement**

Il faut vérifier la condition suivante :

$$\frac{d}{t_w} \leq 69\varepsilon \rightarrow \frac{177}{7.5} = 23.6 < 69 \times 0.92 = 63.48$$

⟹ Donc, il n'y a pas lieu de vérifier le voilement par cisaillement avec cette section.

- **Taux de travail du support**

Le support d'ancrage avec la section HEA 260 a un taux de travail égal à **41%**.

Après ces vérifications, nous avons conclu que le profilé **HEA 260**, convient comme support d'ancrage.

- **Application sur le logiciel robot**

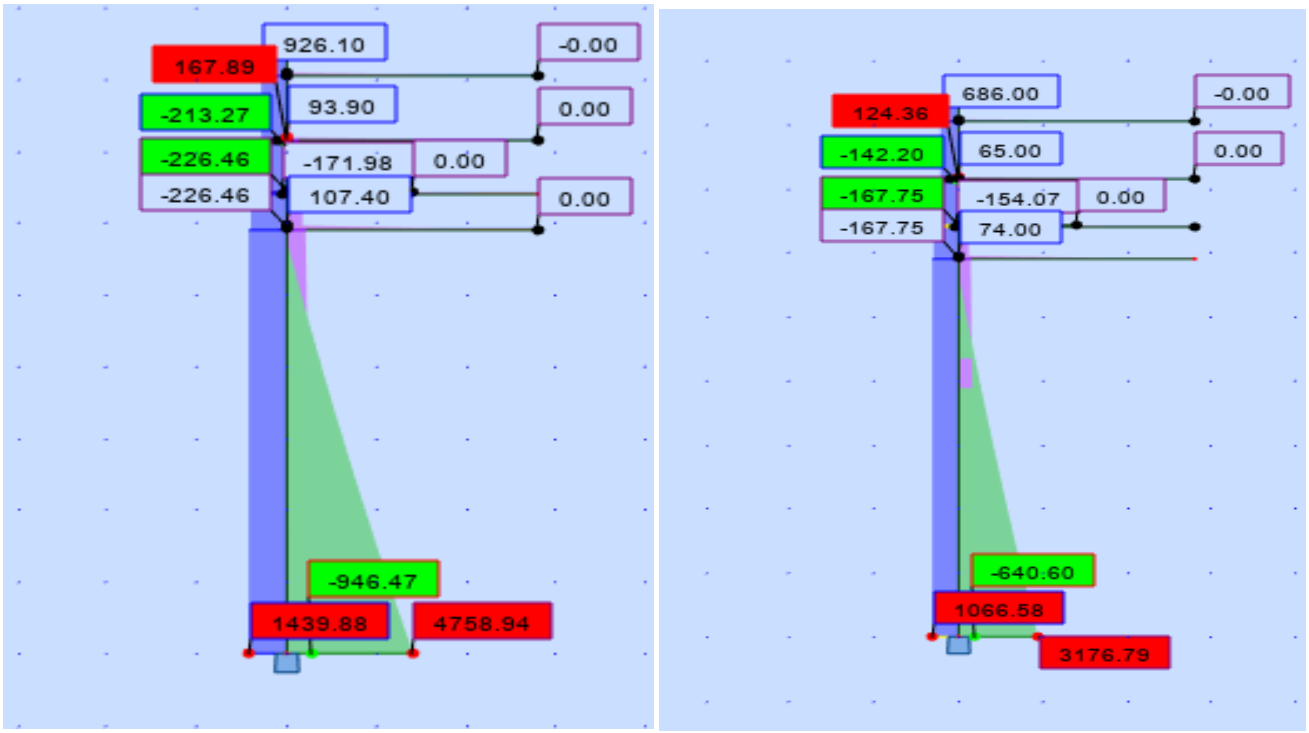


Figure C 4 : Sollicitations calculé à l'ELS et l'ELU du support avec deux consoles

Barre/Noeud/Cas	FX [daN]	FZ [daN]	MY [daNm]
1/ 1/ 18 (C)	1066,58	-640,60	3176,79
1/ 2/ 18 (C)	686,00	-0,00	-0,00
2/ 3/ 18 (C)	74,00	59,91	-167,75
2/ 4/ 18 (C)	74,00	59,91	0,00
3/ 5/ 18 (C)	65,00	38,20	-106,96
3/ 6/ 18 (C)	65,00	38,20	0,00
4/ 5/ 18 (C)	-142,20	124,36	-13,68
4/ 7/ 18 (C)	-142,20	124,36	0,00
5/ 8/ 18 (C)	-0,00	60,00	-84,00
5/ 9/ 18 (C)	-0,00	60,00	0,00
6/ 10/ 18 (C)	74,00	59,91	-167,75
6/ 11/ 18 (C)	74,00	59,91	0,00
7/ 12/ 18 (C)	65,00	38,20	-106,96
7/ 13/ 18 (C)	65,00	38,20	-0,00

Figure C 5:Tableau des efforts appliqué a l'ELS

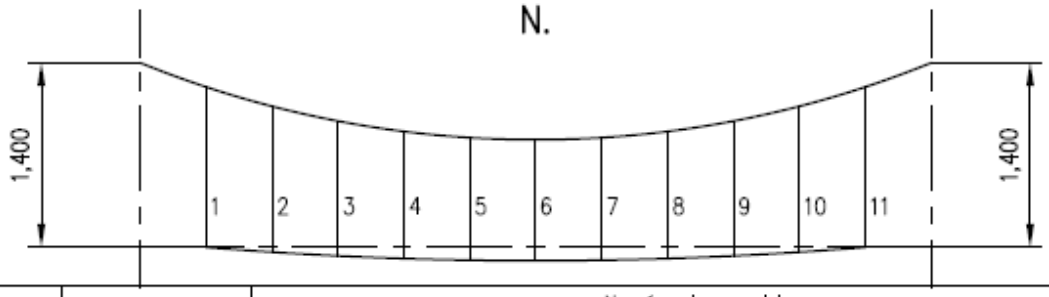
Barre/Noeud/Cas	FX [daN]	FZ [daN]	MY [daNm]
1/ 1/ 17 (C)	1439,88	-946,47	4758,94
1/ 2/ 17 (C)	926,10	-0,00	-0,00
2/ 3/ 17 (C)	107,40	80,88	-226,46
2/ 4/ 17 (C)	107,40	80,88	-0,00
3/ 5/ 17 (C)	93,90	51,57	-144,40
3/ 6/ 17 (C)	93,90	51,57	0,00
4/ 5/ 17 (C)	-213,27	167,89	-18,47
4/ 7/ 17 (C)	-213,27	167,89	0,00
5/ 8/ 17 (C)	-0,00	81,00	-113,40
5/ 9/ 17 (C)	-0,00	81,00	0,00
6/ 10/ 17 (C)	107,40	80,88	-226,46
6/ 11/ 17 (C)	107,40	80,88	0,00
7/ 12/ 17 (C)	93,90	51,57	-144,40
7/ 13/ 17 (C)	93,90	51,57	-0,00

Figure C 6: Tableau des efforts appliqué à l'ELU

ANNEXE D

ANNEXE D

D.1. PENDULAGE



Repère de pendulage			Numéro des pendules										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
N1 (63,00m)	Distance entre pendules (m)		4,50	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	4,50	
	Longueur des pendules (m)	L	1,232	1,068	0,951	0,881	0,858	0,881	0,951	1,068	1,232		
		ℓ	1,16	1,00	0,88	0,81	0,79	0,81	0,88	1,00	1,16		
N2 (58,50m)	Distance entre pendules (m)		4,50	6,75	6,75	6,75	4,50	4,50	6,75	6,75	6,75	4,50	
	Longueur des pendules (m)	L	1,244	1,098	0,998	0,945	0,934	0,945	0,998	1,098	1,244		
		ℓ	1,17	1,03	0,93	0,87	0,86	0,87	0,93	1,03	1,17		
N3 (54,00m)	Distance entre pendules (m)		4,50	6,75	6,75	6,75	4,50	6,75	6,75	6,75	4,50		
	Longueur des pendules (m)	L	1,256	1,130	1,048	1,010	1,010	1,048	1,130	1,256			
		ℓ	1,19	1,06	0,98	0,94	0,94	0,98	1,06	1,19			
N4 (49,50m)	Distance entre pendules (m)		4,50	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	6,75	4,50			
	Longueur des pendules (m)	L	1,269	1,161	1,096	1,075	1,096	1,161	1,269				
		ℓ	1,20	1,09	1,03	1,00	1,03	1,09	1,20				
N5 (45,00m)	Distance entre pendules (m)		4,50	6,75	6,75	4,50	4,50	6,75	6,75	4,50			
	Longueur des pendules (m)	L	1,281	1,191	1,142	1,133	1,142	1,191	1,281				
		ℓ	1,21	1,12	1,07	1,06	1,07	1,12	1,21				
N6 (40,50m)	Distance entre pendules (m)		4,50	6,75	6,75	4,50	6,75	6,75	4,50				
	Longueur des pendules (m)	L	1,294	1,222	1,190	1,190	1,222	1,294					
		ℓ	1,22	1,15	1,12	1,12	1,15	1,22					
N7 (36,00m)	Distance entre pendules (m)		4,50	6,75	6,75	6,75	6,75	4,50					
	Longueur des pendules (m)	L	1,306	1,254	1,236	1,254	1,306						
		ℓ	1,24	1,18	1,17	1,18	1,24						
N8 (31,50m)	Distance entre pendules (m)		4,50	6,75	4,50	4,50	6,75	4,50					
	Longueur des pendules (m)	L	1,318	1,283	1,276	1,283	1,318						
		ℓ	1,25	1,21	1,21	1,21	1,25						
N9 (27,00m)	Distance entre pendules (m)		4,50	6,75	4,50	6,75	4,50						
	Longueur des pendules (m)	L	1,331	1,313	1,313	1,331							
		ℓ	1,26	1,24	1,24	1,26							

Figure D 1:Longueur des pendules et la distance entre eux en fonction de la portée

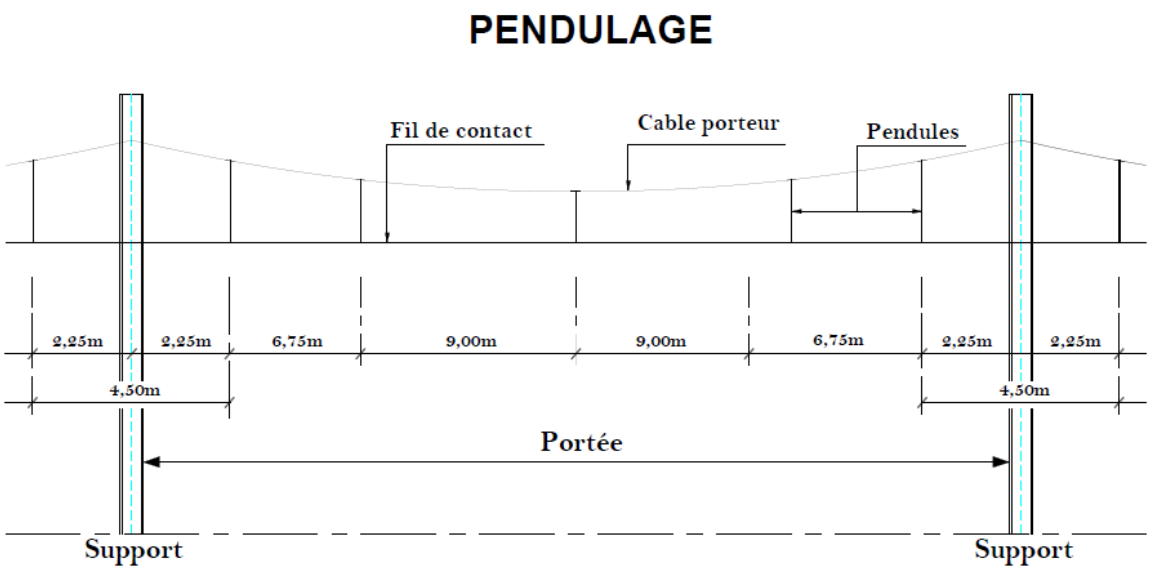
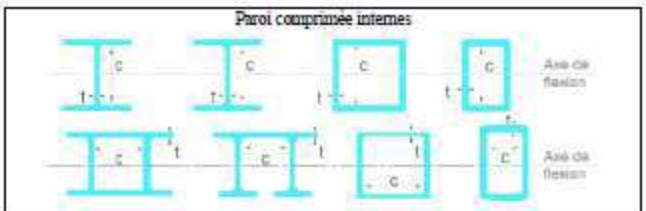
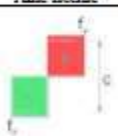
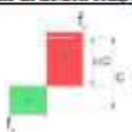
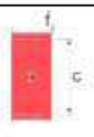
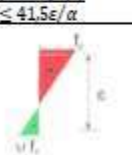


Figure D 2:Pendulage type en coupe longitudinale

D.2.CLASSIFICATION DE LA SECTION DES SUPPORT CATENAIRE

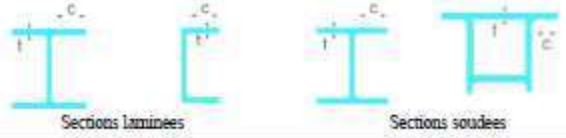


Classe	Ame fléchie	Ame comprimée	Ame en flexion composé
Distribution de contraintes dans la paroi (compression positive)			
1	$c/t \leq 72\varepsilon$	$c/t \leq 33\varepsilon$	lorsque $\alpha > 0,5$: $c/t \leq 396\varepsilon/(13\alpha - 1)$ lorsque $\alpha < 0,5$: $c/t \leq 36\varepsilon/\alpha$
2	$c/t \leq 83\varepsilon$	$c/t \leq 38\varepsilon$	lorsque $\alpha > 0,5$: $c/t \leq 456\varepsilon/(13\alpha - 1)$ lorsque $\alpha < 0,5$: $c/t \leq 41,5\varepsilon/\alpha$
Distribution de contraintes dans la paroi (compression positive)			
3	$c/t \leq 124\varepsilon$	$c/t \leq 42\varepsilon$	lorsque $\Psi > -1$: $c/t \leq 42\varepsilon/(0,67 + 0,33\Psi)$ lorsque $\Psi < -1$: $c/t \leq 62\varepsilon(1 - \Psi)\sqrt{(-\Psi)}$

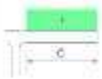
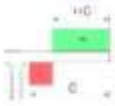
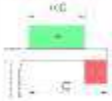
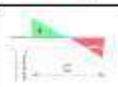
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y (N/mm²)	235	275	355	420	460
	ε	1.00	0.92	0.81	0.75	0.71

Figure D 3;Rapports largeur-épaisseur maximaux pour les parois comprimées (classification d'âme)

semelles en console :



Sections laminees Sections soudees

Classe	Type de classe	Paroi comprimée	Paroi en flexion composée	
			Bord comprimé	Bord tendu
Distribution de contraintes dans la paroi (compression positive)				
1	Laminées	$c/t \le 10\varepsilon$	$c/t \le \frac{10\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \le \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
	Soudées	$c/t \le 9\varepsilon$	$c/t \le \frac{9}{\alpha}$	$c/t \le \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
2	Laminées	$c/t \le 11\varepsilon$	$c/t \le \frac{11\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \le \frac{11\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
	Soudées	$c/t \le 10\varepsilon$	$c/t \le \frac{10\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \le \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
Distribution de contraintes dans la paroi (compression positive)				
3	Laminées	$c/t_f \le 15\varepsilon$	$c/t_f \le 23\varepsilon\sqrt{K_\sigma}$	
	Soudées	$c/t_f \le 14\varepsilon$	$c/t_f \le 21\varepsilon\sqrt{K_\sigma}$	
			Pour K_σ voir tableau 5.3.3	

$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y(N/mm²)	235	275	350	420	460
	ε	1	0,92	0,81	0,75	0,71

Figure D 4:Figure C.2. Rapports largeur-épaisseur maximaux pour les parois comprimées (classification de semelle)

D.3.PARAMÈTRES DU FLAMBEMENT

➢ Facteur d'imperfection α

Tableau D 1Valeurs du paramètres d'imperfection

Courbe de flambement	a_0	a	b	c	d
Facteur d'imperfection α	0.13	0.21	0.34	0.49	0.76

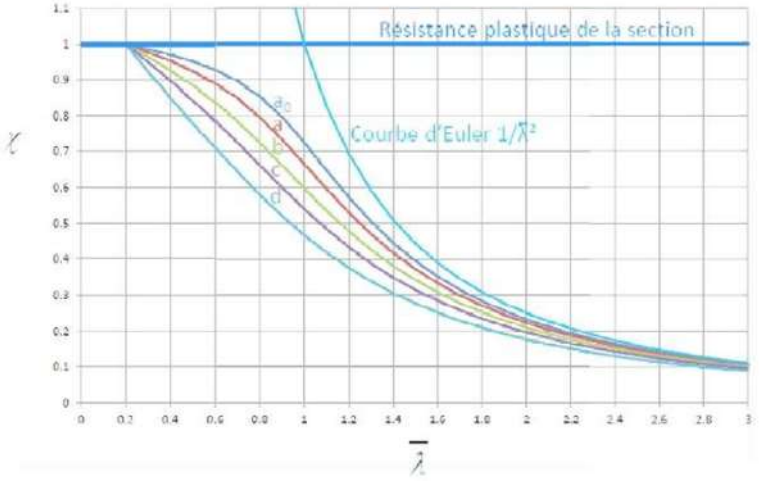


Figure D 5:Courbes de flambement (EC3)

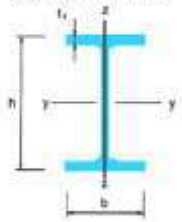
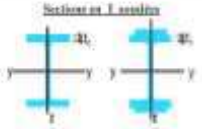
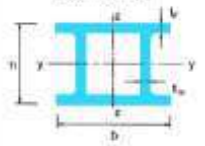
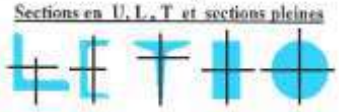
Type de section	limites	Axe de flambement	Courbe de flambement
Sections en I laminées 	$\frac{h}{b} > 1{,}2$: $t_f \leq 40\ mm$	y-y z-z	a b
	$40\ mm < t_f \leq 100\ mm$	y-y z-z	b c
	$\frac{h}{b} \leq 1{,}2$ $t_f \leq 100\ mm$	y-y z-z	b c
	$t_f > 100\ mm$	y-y z-z	d d
Sections en I soudées 	$t_f \leq 40\ mm$	y-y z-z	b c
	$t_f > 40\ mm$	y-y z-z	c d
Sections creuses 	Laminees a chaud	Quel qu'il soit	a
	Formées à froid -en utilisant f_{yb}	Quel qu'il soit	b
	Formees a froid -en utilisant f_{ya}	Quel qu'il soit	c
Caissons soudés 	D'une manière générale (sauf ci - dessous)	Quel qu'il soit	b
	Soudures épaisses et : $\frac{b}{t_f} < 30$ $\frac{h}{t_w} < 30$	y-y z-z	c c
Sections en U, L, T et sections pleines 		Quel qu'il soit	c
L'axe de flambement est perpendiculaire au plan de flexion (plan de déformation)			

Figure D 6:Choix de la courbe de flambement selon les sections transversales

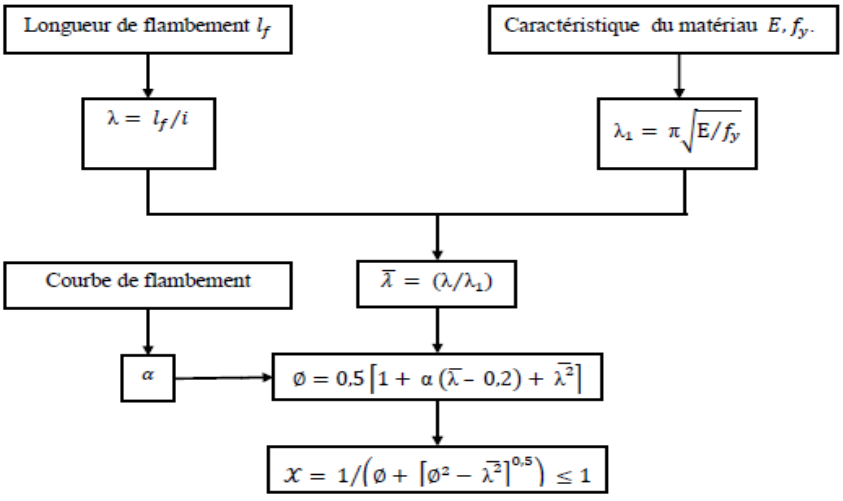


Figure D 7:Organigramme de calcul du coefficient de réduction χ