République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية فرنسيس جانسون
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 de développement des infrastructures de l'aérodrome de Bou Saada AIN-EDDIS

Présenté par :

AIT ALLALA YANIS

SEFFAH LOTFI YOUCEF

Encadré par :

Mr HALES NACER

Promotion 2022/2023

© ENSTP-FJ – Garidi – Vieux Kouba

Remerciement

Nous tenons à adresser nos sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce projet.

En premier lieu, nos enseignants et professeurs ainsi que tout le personnel administratif qui nous ont accompagné le long de notre parcours universitaire qui grâce à leurs dévouements nous ont permis d'avoir une formation de qualité.

Une attention particulière à notre promoteur Mr Hales qui par ses conseils, sa disponibilité et ses orientations nous a grandement permis la réalisation de ce mémoire.

Nous tenons d'autre part à remercier nos chers parents, nos proches et amis pour leurs encouragements et leurs soutiens inconditionnels tout au long de la période de travail.

Résumé

La stature stratégique de l'Algérie rend nécessaire d'avoir une politique de transport aérien efficace qui engendre une économie développée, une solide tenue sécuritaire et revêt même un caractère social pour désenclaver les régions les plus isolées.

Cette politique se traduit sur le terrain par l'élargissement du réseau d'infrastructures Aéroportuaires sur tout le territoire national.

Le travail que nous avons entrepris dans le cadre de notre projet de fin d'études a pour objectif, de concevoir et d'étudier la création d'une nouvelle piste ainsi que ses instruments pour

L'aérodrome de Bou Saada

Mots-clés : Coefficient d'utilisation ; décollage ; atterrissage ; dégagements.

Abstract

The strategical status of Algeria makes necessary to develop an efficient aerial transport policy

which begets a developped economy, a strong holding of security and opens up on isolated regions.

This policy is reflected in the widening of the airport infrastructure network across the country.

The purpose of this work to design and study the creation of a new runway and its associated navigational aids and facilities for Bou Saada aerodrome.

Keywords: Usage factor; takeoff; landing; clearances.

ملخص

المكانة الإستراتيجية التي تحظى بها الجزائر توجب برنامجا فعالا للنقل الجوي، ما يرتب إقتصادا أكثر تطورا، سيطرة أقوى أمنيا وكذلك فك العزلة على المناطق النائية.

يتجسد هذا البرنامج على أرض الواقع في توسيع شبكة الهياكل الطيرانية على كافة ربوع التراب الوطني.

العمل الذي أدیناه في إطار مشروع إنهاء الدراسة يهدف إ لى تصميم ودراسة إنشاء مدرج جديد وأجهزته الملاحية لمطار بو سعادة

Sommaire

I Généralités sur les aérodromes : 1

I.1 Introduction : 1

I.2 Définition d'aérodrome : 1

I.3 Aire de mouvement : 1

I.3.1 L'aire de manœuvre : 1

I.3.1.1 La piste : 1

I.3.1.2 La voie de circulation : 2

I.3.2 L'aire de trafic : 2

I.3.2.1 Aires de stationnements : 3

I.3.2.2 Voie de desserte : 3

I.4 Zones d'installation : 3

I.4.1 Zones d'exploitation : 3

I.4.2 Zones d'activités industrielles : 3

I.4.3 Zones spécialisées : 3

I.4.4 Autres installations : 3

I.5 Normes applicables aux aérodromes : 4

I.6 Conclusion : 4

II Présentation de la région et du projet : 5

II.1 Introduction : 5

II.2 Situation géographique : 5

II.3 Sismicité de la zone : 5

II.4 Caractéristiques métrologiques de la zone : 6

II.5 Etude géologique : 6

II.6 Présentation de l'aérodrome de Bou Saad : 6

II.7 Historique de l'aérodrome : 6

II.8 But du projet : 7

II.9 Conclusion : 7

III Analyse des données de l'aérodrome : 9

III.1 Introduction : 9

III.2 Présentation de l'avion de référence « critique » : 9

III.3 Classification de l'aérodrome : 10

III.4 Etude de trafic : 10

III.5 Analyse des données climatiques : 11

III.5.1 Temperature et altitude : 11
III.5.2 Pluviométrie : 11
III.5.3 Les Vents : 11
III.6 Coefficient d'utilisation : 12
III.7 Etapes de calcule : 14
III.8 Application numérique et calcul du Cu : 15
III.9 Interprétation des résultats : 18
III.10 Conclusion : 19
IV Caractéristiques géométriques de la piste : 20
IV.1 Longueur de la piste : 20
IV.2 Largeur de la piste : 22
V Etude de dégagement : 23
V.1 Introduction : 23
V.2 Proposition de variantes : 23
V.2.1 Première variante : Etude de l'extension de la piste existante (04/22). 24
V.2.2 Deuxième variante : Création d'une nouvelle piste (15/33) oblique par rapport a la piste actuelle. 25
V.3 Détermination et étude des dégagements : 25
V.3.1 Surface horizontale intérieure : 26
V.3.2 Surface conique : 27
V.3.3 Surfaces de transition : 29
V.4 Surface d'approche : 30
V.5 Surface montée au décollage : 32
V.6 Recommandations de L'OACI concernant les dégagements : 34
V.7 Verifications des dégagements et choix des variantes : 35
V.7.1 Variante 1 : Extension de la piste du seuil 22 36
V.7.2 Variante 2 : Création d'une nouvelle piste. 36
V.7.3 Tableau comparatif des variantes avantages-inconvénient : 38
V.8 Conclusion : 39
VI ETUDE GEOMETRIQUE : 40
VI.1 Introduction : 40
VI.2 But de l'étude : 40
VI.3 Gisements : 40
VI.4 Profil en long : 41
VI.4.1 Pentes longitudinales : 41
VI.4.2 Changement de pente longitudinale : 41
VI.4.3 Distance de visibilité : 42
VI.4.4 Distance minimale entre changements de pente : 42

VI.5 Profil en travers : 43
VI.6 Accotement : 43
VI.7 Bandes de piste : 44
VI.7.1 Longueur de la bande de piste : 45
VI.7.2 Largeur de la bande de piste : 45
VI.7.3 Nivellement de la bande de piste : 45
VI.7.4 Resistance de la bande de piste : 46
VI.7.5 Pentes longitudinales de la bande de piste : 46
VI.7.6 Pentes transversales de la bande de piste : 46
VI.8 Prolongement occasionnellement roulable : 46
VI.9 Aire de sécurité d'extrémité de piste (RESA) : 48
VI.10 Voie de circulation : 49
VI.10.1 Largeur de la voie de circulation : 49
VI.10.2 Pentes longitudinales de la voie de circulation : 49
VI.10.3 Changements de pentes longitudinales : 49
VI.10.4 Pentes transversales : 49
VI.10.5 Distances minimales de séparation pour les voies de circulation : 49
VI.10.6 Accotement de voie de circulation : 50
VI.10.7 Bandes de voie de circulation : 50
VI.10.8 Resistance de la voie de circulation : 50
VI.10.9 Surface des voies de circulation : 50
VI.10.10 Jonction et intersections : 51
VI.10.11 Virages de voies de circulation : 51
VI.11 Voies de sortie rapide : 51
VI.12 Aire de trafic : 53
VI.13 AIRE DE STATIONEMENT : 54
VII Etude géotechnique : 54
VII.1 Introduction : 54
VII.2 But de l'étude géotechnique : 54
VII.3 Moyens d'investigation : 54
VII.3.1 Essais in-situ : 54
VII.3.1.1 Puits de reconnaissance : 54
VII.3.2 Essais au laboratoire : 54
VII.3.2.1 Essais physiques d'identifications : 54
VII.3.2.1.1 Analyse granulométrique par tamisage : 54
VII.3.2.1.2 Limites d'Atterberg : 55
VII.3.2.1.3 Teneur en Carbone : 57
VII.3.2.1.4 Equivalent de sable : 57
VII.3.2.2 Essais mécanique : 58
VII.3.2.2.1 Essai Proctor modifié : 58
VII.3.2.2.2 Essai CBR (California Bearing Ratio) : 59
VII.4 Interprétation des résultats : 62
VII.5 Conclusion : 62

VIII Dimensionnement du corps de chaussée : 63

VIII.1 Introduction : 63

VIII.2 Structures et type de chaussée aéronautique : 63

VIII.2.1 Les chaussées Rigides : 63

VIII.2.2 Les Chaussée souple : 63

VIII.3 Critères de choix du type de chaussée : 63

VIII.3.1 Choix final : 64

VIII.4 Durée de vie des chaussées : 64

VIII.5 Dimensionnement des chaussées : 65

VIII.5.1 Caractéristiques utiles pour le dimensionnement des chaussée : 65

VIII.5.1.1 Masse et caractéristiques de l'avion critique : 65

VIII.5.1.2 Le type des atterrisseurs : 65

VIII.5.1.3 Répartition de la masse des atterrisseurs : 65

VIII.5.1.4 Trafic (Nombre de mouvements) : 66

VIII.5.1.5 Charges utilisées dans les calculs : 66

VIII.5.2 Méthodes de dimensionnement des chaussées aéronautiques : 67

VIII.5.2.1 Méthode du dimensionnement forfaitaire : 67

VIII.5.2.2 67

VIII.5.2.3 Méthode du dimensionnement optimisé : 67

VIII.5.3 Dimensionnement par la méthode forfaitaire : 68

VIII.5.3.1 Determination des épaisseurs équivalentes: 68

VIII.5.3.2 Détermination des épaisseurs minimales des matériaux traités : 70

VIII.5.3.3 Les épaisseurs réelles des différentes couches et le choix de leurs structures : 71

VIII.6 Conclusion : 74

IX Calcul des charges admissibles : 75

IX.1 Introduction : 75

IX.2 La méthode ACN/PCN : 75

IX.3 Détermination du PCN (Pavement Classification Number) : 75

IX.4 Calcul approché du PCN pour une chaussée souple : 76

IX.5 Détermination de l'ACN (Aircraft Classification Number) : 78

IX.6 Calcul de l'ACN : 78

IX.6.1 Méthodologie de calcul : 78

IX.6.2 Application numérique du ACN: 79

IX.6.3 Comparaison et vérification des charges réelles et admissibles déduites : 80

IX.6.4 Conclusion : 80

X Assainissement 81

X.1 Introduction : 81

X.2 Etude d'un réseau d'assainissement : 81

X.3 Système de drainage pour le projet de Bou Saada : 83

X.3.1 Pour les eaux de ruissellement : 83

X.3.1.1 Hiérarchisation du réseau : 86
X.3.1.2 Rapport de confluence des bassins versants : 86
X.3.2 Pour les eaux souterraines : 87
X.4 Méthodologie de calcule d'ouvrage d'assainissement : 87
X.4.1 Calcul des précipitations maximales journalières de fréquence Pj donnée : 87
X.4.2 Calcul de l'intensité moyenne : 87
X.4.3 Calcul du temps de concentration : 87
X.4.4 Estimation des débits de crue : 88
X.4.5 Estimation des débits de saturation des ouvrages : 88
X.5 Application de la méthode au projet : 89
X.5.1 Données hydrauliques : 89
X.5.2 Dimensionnement des fossés pour une période de retour de 10ans : 89
X.5.2.1 Pour le cas remblai : 90
X.5.2.1.1 Calcul du débit de crue Q_a : 91
X.5.2.2 Pour le cas déblai (bande non aménagée inclue) : 92
X.5.2.3 Calcul du débit de saturation de fossé : 93
X.5.2.3.1 Calcul de la surface mouillée : 93
X.5.2.3.2 Calcul du périmètre mouillé : 94
X.5.2.3.3 Calcul de rayon hydraulique: 94
X.5.3 Dimensionnement des ouvrages transversal : 94
X.5.3.1 Calcul des temps de concentration des intensité horaire et des débit de crue pour chaque BV : 94
X.5.3.1.1 Pour le BV1 : 94
X.5.3.1.2 Pour le BV2 : 95
X.5.3.2 Dimensionnement des ouvrages : 95
X.6 Conclusion : 97
XI Signalisation et balisage : 97
XI.1 Introduction : 97
XI.2 Balisage et signalisation de jour : 97
XI.2.1 Identification de l'aérodrome : 97
XI.2.2 Indicateur de direction du vent : 97
XI.2.3 Indicateur de direction d'atterrissage : 98
XI.2.4 Marquage des pistes : 99
XI.2.4.1 Marques d'identification des pistes QFU : 99
XI.2.4.2 Marques des seuils de piste : 99
XI.2.4.3 Marques d'axe de piste : 100
XI.2.4.4 Marques latérales de piste : 100
XI.2.4.5 Marque de point cible : 100
XI.2.4.6 Marques de zone de toucher des roues : 101
XI.2.5 Marquage des voies de circulation : 101
XI.2.5.1 Marques axiales de voie de circulation : 101
XI.2.5.2 Marques de point d'attente de circulation : 102
XI.2.6 Marques de poste de stationnement : 103
XI.2.7 Marques de prolongement d'arrêt : 104
XI.3 Balisage et signalisation de nuit : 104
XI.3.1 Phare d'identification : 105
XI.3.2 Feux de piste : 105

XI.3.2.1 Feux de bords de piste 105
XI.3.2.2 Feux de seuil de piste 105
XI.3.2.3 Feux d'extrémité de piste 105
XI.3.2.4 Feux d'axe de piste 105
XI.3.2.5 Feux de zones de touchée des roues : 106
XI.3.2.6 Feux de prolongement d'arrêt : 107
XI.3.3 Feux de voie de circulation : 107
XI.3.3.1 Feux axiaux de voie de circulation : 107
XI.3.3.2 Feux de bords des voies de circulation : 107
XI.3.3.3 Les barres d'arrêt : 107
XI.3.3.4 Feux indicateurs de voie de sortie rapide : 108
XI.3.4 Feux des aires de stationnement : 109

XI.4 Conclusion : 110

XII Cubatures : 113

XII.1 Introduction : 113

XII.2 Méthode de calcul des cubatures : 113

XII.3 Résultats calcul des cubatures de terrassement : 113

XIII Métrés : 114

XIII.1 Introduction : 114

XIII.2 Calcul des surfaces : 114
XIII.2.1 Chaussée : 114
XIII.2.2 Accotement : 114
XIII.2.3 P.O.R : 114
XIII.2.4 RESA : 114
XIII.2.5 Bande : 114

XIII.3 Calcul des quantités : 114
XIII.3.1.1 Chaussée 115
XIII.3.1.2 Chaussée Piste principale+ voie de sortie rapide : 115
XIII.3.1.3 Parking 115
XIII.3.1.4 Voie de circulation 1et2 + bretelle 1et 2 : 115
XIII.3.1.5 Accotement : 116
XIII.3.1.6 P.O.R : 116
XIII.3.1.7 BANDE + RESA 116
XIII.3.1.8 Tableau récapitulatif de quantité 117
XIII.3.2 Signalisation : 117

XIII.4 Devis quantatif et estimatif 118

Liste des figures

Figure I.1 Piste ____ 2
Figure I.2 Piste dotée de voie de circulation. ____ 2
Figure II.1 Image satellitaire de la localisation de la ville de Bou Saâd. ____ 5
Figure II.2 Image satellitaire de localisation de la ville et de l'aérodrome ____ 6
Figure II.3 Photo aérienne de l'aérodrome de Bou Saada ____ 7
Figure III.1 Dimensions du Boeing 737-800 ____ 9
Figure III.2 Rose des vents annuelle « station météorologique de Bou Saâda »période 2000-2009 ____ 14
Figure III.3 CALCUL DU Cu POUR LA DIRECTION N-S ____ 15
Figure III.4 CALCUL DU Cu POUR LA DIRECTION NNE-SSW ____ 15
Figure III.5 CALCUL DU Cu POUR LA DIRECTION NE-SW ____ 16
Figure III.6 Figure III.4 Figure III.3 CALCUL DU Cu POUR LA DIRECTION NNE-SSW ____ 16
Figure III.7 CALCUL DU Cu POUR LA DIRECTION E-W ____ 16
Figure III.8 CALCUL DU Cu POUR LA DIRECTION ESE-WNW ____ 17
Figure III.9 CALCUL DU Cu POUR LA DIRECTION SE-NW ____ 17
Figure III.10 CALCUL DU Cu POUR LA DIRECTION SSE-NNW ____ 18
Figure III.11 Courbe de variation du coefficient d'utilisation en fonction de la direction ____ 19
Figure V.1 Vue en perspective des surfaces de dégagement. ____ 23
Figure V.2 Vue en perspective des surfaces de dégagement. ____ 26
Figure V.3 Vue en plan de la surface horizontale intérieure. ____ 27
Figure V.4 Coupe longitudinale de la surface conique ____ 29
Figure V.5 Coupe transversale : Surface horizontale intérieure et surface de transition. ____ 30
Figure V.6 Coupe longitudinale de la trouée d'atterrissage. ____ 32
Figure V.7 Vue en plan de la trouée d'atterrissage. ____ 32
Figure V.8 Vue en plan de la surface de montée au décollage. ____ 33
Figure V.9 : Surfaces de dégagement d'un aérodrome. ____ 35
Figure V.10 Plan de dégagement de la premiere variante. ____ 36
Figure V.11 Plan de dégagement de la deuxième variante . ____ 37
Figure V.12 Plan de dégagement des deux variantes. ____ 39
Figure VI.1 Les gisements. ____ 40
Figure VI.2 Calcul de D distance entre deux changements de pente. ____ 42
Figure VI.3 Dessin explicatif pour accotement. ____ 44
Figure VI.4 Figure VI.3 Dessin explicatif pour bande. ____ 45
Figure VI.5 : Piste et son P.O.R. ____ 47
Figure VI.6 Sortie a 90°. ____ 51
Figure VI.7 Voie de sortie rapide. ____ 52
Figure VII.1 Limites d'atterberg. ____ 56
Figure VII.2 Equivalent de sable. ____ 58
Figure VII.3 Equivalent de sable. ____ 58
Figure VII.4 Indice CBR après immersion puit 27. ____ 60
Figure VII.5 Indice CBR après immersion puit 23. ____ 60
Figure VII.6 Résultats essai CBR imbibé. ____ 61
Figure VII.7 Résultats essai CBR imbibé. ____ 61
Figure VIII.1 Structures types du corps de chaussée. ____ 63
Figure VIII.2 Ponderation des charges réelles selon la fonction des aires. ____ 67
Figure IX.1 2: Les valeurs du h(cbr) en fonction du cbr . ____ 77
Figure X.1 Abaisser le niveau de la nappe phréatique en réalisant des drains de défense . ____ 82
Figure X.2 Emplacement de la piste en utilisant le logiciel Global mapper ____ 84
Figure X.3 Basins versants de la zone de l'aerodrome. ____ 84

Figure X.4 Délimitation du bassin versant principale. _____ *85*
*Figure X.5 Bassin versant 1.*_____ *85*
*Figure X.6 Bassin versant 2.*_____ *86*
Figure X.7 Shéma délimitant le bassin versant sur la piste . _____ *89*
*Figure X.8 Fossé de forme trapézoïdale.*_____ *93*
*Figure XI.1 indicateur direction du vent.*_____ *97*
*Figure XI.2 indicateur direction du vent.*_____ *98*
*Figure XI.3 Dimensions de l'indicateur de direction d'atterrissage.*_____ *98*
Figure XI.4 : Formes et proportions des lettres et chiffres des marques d'identification de piste. _____ *99*
*Figure XI.5 Disposition des marques de seuil d'une piste de 45m (2x6 bandes).*_____ *100*
Figure XI.6 Marques d'identification de piste, d'axe de piste et de seuil de piste. _____ *100*
Figure XI.7 Marques axiales de voie de circulation. _____ *102*
*Figure XI.8 Marques de point d'attente de circulation .*_____ *103*
Figure XI.9 Marques de prolongement d'arrêt . _____ *104*
Figure XI.10 Exemple de balisage lumineux d'approche de piste a seuil décalé avec approche de précision. __ *106*
*Figure XI.11 Balisage de voie de circulation.*_____ *108*
Figure XI.12 Feux indicateurs de voie de sortie rapide . _____ *109*
Figure XI.13 Feux des aires de stationnement. _____ *109*

Liste des tableaux

Tableau III.1Caractéristiques du Boeing 737-800 9
Tableau III.2 le code de référence d'aérodrome 10
Tableau III.3 Les vitesses limites du vent traversier 12
Tableau III.4 Répartition fréquentielle des vents de l'aérodrome de Bou Saâda 13
Tableau III.5coefficients d'utilisation en fonction de la direction 18
Tableau IV.1 Les largueur des pistes 22
Tableau V.1 les caractéristiques de la surface horizontale intérieure 27
Tableau V.2 caractéristiques de la surface horizontale intérieure. 28
Tableau V.3 les caractéristiques de la surface de transition 30
Tableau V.4 les caractéristiques de la surface d'approche 31
Tableau V.5 Les caractéristiques de la surface montée au décollage 33
Tableau V.6 Obstacles à signaler 35
Tableau V.7 Comparaison des variantes 38
Tableau VI.1 dimensions bande de piste 46
Tableau VI.2 dimensions prolongment d'arrêt 47
Tableau VI.3 Longueur 47
Tableau VI.4 dimensions RESA 48
Tableau VI.5 Tableau récapitulatif sur la largeur de la chaussé et ses aménagements complémentaires 49
Tableau VII.1 Résultats des essais granulométriques 55
Tableau VII.2 Limite d'Atterberg 56
Tableau VII.3 Résultats des analyses chimiques 57
Tableau VII.4 Résultats de l'essai Proctor 59
Tableau VIII.1 Avantages et inconveniants chaussée souple 64
Tableau VIII.2 Avantages et inconveniants chaussée rigide 64
Tableau VIII.3 VIII.4.1.1 Masse et caractéristiques du Boeing 737-800 65
Tableau VIII.4 Coefficients d'équivalence des matériaux 66
Tableau VIII.5 Tableau recapitulatif des épaisseurs équivalentes 70
Tableau VIII.6 Tableau recapitulatif des épaisseurs minimales des matériaux traités 70
Tableau VIII.7 Epaisseurs de la chaussée au niveau de la piste et des voie de sortie rapide 71
Tableau VIII.8 Epaisseurs de la chaussée au niveau du parking 72
Tableau VIII.9 Epaisseurs de la chaussée au niveau des accotements 72
Tableau VIII.10 Epaisseurs de la chaussée au niveau des P.O.R 73
Tableau VIII.11 Epaisseurs de la chaussée au niveau des voies de circulations et bretelles 73
Tableau X.1: precipitations moyennes 1991-2020 83
Tableau X.2 Carecteristiques du BV 1. 85
Tableau X.3 Carecteristiques du BV 2. 86
Tableau X.4 Variables de Gauss 87
Tableau X.5 Coefficient de ruissellement. 88
Tableau X.6 Coefficient de Manning Strickler. 89
Tableau XII.1 Volume de terrassement. 113
Tableau XIII.1 Tableau récapitulatif de quantité 117
Tableau XIII.2 Devis quantitatif et estimatif. 118
Tableau XIII.3Devis quantitatif et estimatif. 119

Introduction générale

Le monde moderne est en constante évolution, le domaine du transport aérien n'échappe pas à cette dynamique. Au cours des dernières décennies, le transport aérien est devenu un pilier essentiel de la connectivité mondiale, jouant un rôle crucial dans le rapprochement des peuples, des marchés et des cultures. Dans ce contexte, les aérodromes et les infrastructures aéroportuaires occupent une vocation vitale en tant que portail d'entrée et de sortie vers un monde de possibilités.

Notre société est témoin d'une augmentation spectaculaire du nombre de voyageurs aériens, tant à l'échelle nationale qu'internationale. Cette croissance exponentielle du trafic aérien a entraîné des défis et des opportunités majeurs pour les ingénieurs spécialisés dans le domaine aéroportuaire. En effet, la planification, la conception et la gestion efficaces des aérodromes est indispensable pour répondre aux besoins croissants de l'industrie du transport aérien et garantir la sécurité et le confort des passagers.

L'Algérie dont la superficie est de 2 381 741 km² a besoin de renforcer ce type d'infrastructure en vue de faciliter les communications entre les plus importantes villes du nord, sud, d'est et de l'ouest.

Dans le cadre de notre projet de fin d'études intitulé « Le développement des infrastructures de l'aérodrome de Bou Saada ».

Nous nous sommes concentrés sur les solutions d'aménagement et de modernisation de l'infrastructure existante, en tenant compte des contraintes liées au relief environnant de l'aérodrome. Notre objectif principal était de proposer une approche novatrice en mettant en place un nouveau couloir pour l'implantation d'une piste, tout en assurant les dégagements nécessaires pour garantir la sécurité des opérations aériennes et permettre aux aéronefs d'évoluer dans l'espace aérien en toute sécurité.

En mettant en œuvre cette solution d'aménagement, nous sommes convaincus qu'elle contribuera à améliorer la capacité opérationnelle de l'aérodrome, tout en offrant des conditions de sécurité optimales pour les opérations aériennes. De plus, cette modernisation de l'infrastructure aéroportuaire favorisera le développement économique de la région, en renforçant la connectivité et en attirant de nouvelles opportunités commerciales.

Chapitre 01

Généralités sur les aérodromes

I Généralités sur les aérodromes :

I.1 Introduction :

Le Transport Aérien est le secteur économique qui regroupe toutes les activités de Transport en avion. Un aérodrome est un site, civil ou militaire, aménagé pour permettre aux avions de décoller et d'atterrir, et doté de l'infrastructure nécessaire pour les préparer à leurs missions.

I.2 Définition d'aérodrome :

L'organisation internationale de l'aviation civile définit les aérodromes comme étant une surface définie sur terre ou sur l'eau comprenant éventuellement bâtiments, installations et matériels, destinée à être utilisée, en totalité ou en partie, pour l'arrivée, le départ et les évolutions des aéronefs à la surface, il se compose principalement de deux parties : aire de mouvement et zones d'installation.

I.3 Aire de mouvement :

L'aire de mouvement comprend l'ensemble des parties aménagées de l'aérodrome destinées aux opérations d'atterrissage, de décollage et d'évolution des aéronefs lors de leurs mouvements au sol, elle comprend :

I.3.1 L'aire de manœuvre :

C'est la partie de surface destinée pour les décollages, les atterrissages et la circulation des aéronefs à la surface, à l'exclusion des aires de stationnement elle comprend les pistes et le voies de circulations.

I.3.1.1 La piste :

C'est une aire rectangulaire aménagée afin de servir sur sa longueur au roulement des aéronefs au décollage et à l'atterrissage, les dimensions et les revêtements sont en fonction des caractéristiques de l'aéronef le plus contraignant accueilli.

L'orientation à prévoir pour une piste d'un aérodrome donné, dépend principalement des facteurs climatiques (fréquence du vent, la visibilité) mais elle doit tenir compte aussi des paramètres suivants :

- Du respect des surfaces de limitations d'obstacles,
- De l'utilisation actuelle et future des terrains (choisir l'orientation et la disposition de façon à protéger le plus possible les zones particulièrement sensibles comme les habitations, hôpitaux, écoles),
- Des longueurs de piste actuelles et futures (extensions),
- De la possibilité d'implantation d'aides visuelles et non visuelles d'approche.

On distingue deux types de piste lorsqu'un aérodrome contient plus d'une seule piste :

- Les pistes principales ce sont les pistes aux plus grandes dimensions et aux meilleurs dégagements ;
- Les pistes secondaires elles sont de plus petites dimensions que la piste principale, elles ont comme but d'alléger le trafic sur la piste principale.

Dans certains cas la piste secondaire est de même dimension que la piste principale et donc elles sont de la même catégorie, dans ce cas la piste secondaire est utilisée lorsque la direction du vent ne permet pas l'utilisation de la piste principale ou dans des conditions particulaires ou cette dernière est fermée.



Figure I.1 Piste

I.3.1.2 La voie de circulation :

Voie définie, sur un aérodrome terrestre, aménagée pour la circulation à la surface des aéronefs et destinée à assurer la liaison entre deux parties de l'aérodrome, elle est dotée d'une chaussée, elle comprend notamment : les voies de sortie rapide, voie d'accès de poste de stationnement d'aéronef et voie de circulation d'aire de trafic.



Figure I.2 Piste dotée de voie de circulation.

I.3.2 L'aire de trafic :

C'est la partie d'un aérodrome terrestre, destinée à l'embarquement ou le débarquement des voyageurs, le chargement ou le déchargement de la poste ou du fret, l'avitaillement en carburant, le stationnement ou l'entretien des aéronefs. Elle comprend :

I.3.2.1 Aires de stationnements :

Elles diffèrent selon la fonction de chacune :

- Aire de trafic passagers et fret : destinée au stationnement des aéronefs pendant les opérations d'escale (embarquement/débarquement des pax et du fret) ;
- Aire de garage : stationnement des aéronefs en-dehors des opérations d'escale ;
- Aire d'entretien : opérations d'entretien et de réparation ne pouvant être faites sur les autres aires ;

I.3.2.2 Voie de desserte :

Ce sont des voies de relation qui bordent l'aire de stationnement.

I.4 Zones d'installation :

Elles sont situées à proximité des aires de trafic et sont, en général, regroupées par zones d'activités semblables.

I.4.1 Zones d'exploitation :

Ces zones comprennent les ouvrages destinés à l'exploitation de l'aérodrome :

- Exploitation commerciale : aérogare passagers, aérogare de fret, commissariat hôtelier, abri de matériel de piste, parcs à véhicules, dépôts de carburant, etc ;
- Exploitation technique : bloc technique et vigie, moyens généraux de l'aérodrome, service incendie, centrale électrique et parcs à véhicules correspondants.

I.4.2 Zones d'activités industrielles :

Les zones d'activités industrielles regroupent les ouvrages nécessaires à l'entretien et aux réparations d'aéronefs, éventuellement même à la construction aéronautique. Elles peuvent aussi abriter des industries qui fabriquent des matériels destinés à l'exportation et qui ont besoin d'un entrepôt sous douane.

I.4.3 Zones spécialisées :

Pour un des affectataires de l'aérodrome (organismes chargés de l'administration générale de l'aérodrome) ou pour une activité spécifique, par exemple :

- Zone militaire (armée de l'air, de terre ou aéronavale) ;
- Zone pour la sécurité civile (Canadair) ;
- Zone d'aviation générale (monomoteur, planeurs, etc.).

I.4.4 Autres installations :

Sont dispersées en divers endroits de l'aérodrome, en fonction de leur utilisation, notamment :

- Les installations de balisage ;
- Les postes de transformation ;
- Les émetteurs de radionavigation tels que ILS (instrument landing system), radiobornes, VOR (VHF omnidirectionnel radiorange), etc ;
- Les installations de mesures météorologiques ;
- Les réseaux divers (voirie, eaux usées, eau potable, câbles) .

I.5 Normes applicables aux aérodromes :

L'OACI (l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale) est une organisation internationale créée le 7 décembre 1947, c'est l'une des institutions spécialisées des Nations Unies.

Elle a pour objet la sécurité et la sureté du transport aérien international en proposant des normes et recommandations qui permet universalisation et la standardisation du transport aérien internationale.

L'OACI à travers le retour d'expérience a établi le cadre réglementaire mondial de la sécurité de l'aviation civile internationale à travers un manuel de conception nommée Annexe 14 qui contient des recommandations et des directives essentielles à la conception et l'étude des aérodromes.

I.6 Conclusion :

La présentation introductive des aérodromes donne une vision générale sur les différents compartiments de l'aérodrome, ce qui permet de réaliser une étude et une conception de l'aérodrome plus facilement.

Chapitre 02

Présentation de la région du projet

II Présentation de la région et du projet :

II.1 Introduction :

L'Algérie étant le plus grand pays d'Afrique en termes de superficie s'étendant sur 2.381.741 km^2 ce qui rend les déplacements des individus et des marchandises entre les différentes régions parfois problématiques, d'où la nécessité de s'orienter vers le transport aérien ce qui entraîne la création et le développement des infrastructures aéronautiques.

II.2 Situation géographique :

Bou Saada est une Daïra de la wilaya de M'Sila, située à 69 km au sud-ouest de M'Sila et à 241 km au sud-est de la capitale. La ville se situe au sud-ouest du Hodna dans les Hauts Plateaux, au pied des monts des Ouled Naïl de l'Atlas saharien, étant l'oasis la plus proche du littoral algérien la ville est surnommée la porte du désert.

Surnommée aussi la cité du bonheur Bou Saada s'étend sur une superficie de 249.34 km^2 avec une population dépassant 310 000 individus.

Le potentiel touristique de la ville de Bou Saada ainsi que son emplacement stratégique rendent le développement de son infrastructure aéroportuaire primordiale.



Figure II.1 Image satellitaire de la localisation de la ville de Bou Saâd.

II.3 Sismicité de la zone :

La daïra de Bou Saada se situe dans une zone à faible sismicité (zone I), mais cela n'empêche pas que des séismes se produisent parfois, pour cette raison les règles parasismiques doivent être respectées.

II.4 Caractéristiques métrologiques de la zone :

Le climat de Bou Saada est subtropical désertique, avec des hivers doux (durant lesquels il peut faire froid la nuit) et des étés très chauds et ensoleillés avec des températures moyennes avoisinants les 31.5 °C pour le mois le plus chaud de l'année et une pluviométrie de 160mm par an.

II.5 Etude géologique :

Selon une carte géologique de l'Algérie à l'échelle 1/500 000, les strates trouvées sur le site appartiennent à l'ère du Crétacé supérieur. Il s'agit en fait d'une puissante formation de plus de 100 mètres d'épaisseur, presque verticale, formée par des couches alternées d'argile et de gravier aux couleurs changeantes. Cette formation est plus ou moins recouverte d'alluvions quaternaires.

II.6 Présentation de l'aérodrome de Bou Saad :

L'aérodrome de Ain Eddis est situé à 13 km au nord de la daïra de Bou Saada et à 55 km du chef de lieu de la wilaya de Msila dans un plateau délimité par la RN 45 au Nord, la RN 08 et Oued Maiter au Sud-Est à 459 d'altitude au-dessus du niveau de la mer.

C'est un aérodrome national de classe C qui s'étale sur 174 ha comportant une piste d'envol, une voie de circulation et une aire de stationnement.

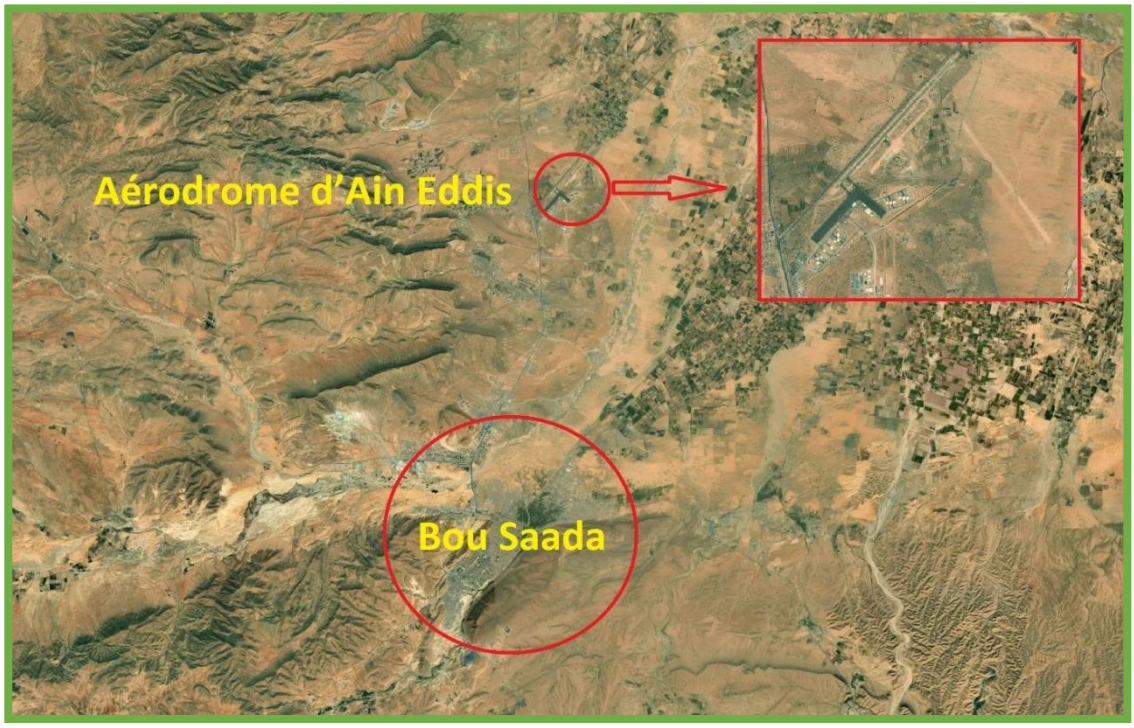


Figure II.2 Image satellitaire de localisation de la ville et de l'aérodrome

II.7 Historique de l'aérodrome :

Construit dans les années cinquante les différentes infrastructures de l'aérodrome ont subi plusieurs modifications au cours du temps d'abords il était constitué d'une voie principale et d'une bretelle en terre battue jusqu'en 1959 où la couche de base et la couche de fondation de la piste principale furent renforcées en TVO et Tuf en 0.3m d'épaisseur de sur une longueur de

1600 m et une largeur de 30 mètres, une année plus tard là un revêtement bicouche a été mis en place .Par la suite en 1974, cette même piste est renforcée à l'enrobé d'une épaisseur de 7 cm et prolongée sur 600 m soit la piste est d'une longueur totale de 2200 m. Quelques années plus tard des routes d'accès et un aérogard ont été réalisés.

En 1983, avec l'aide de l'EPTP/Bou Saada, la Direction des Infrastructures réalise une aire de stationnement d'une longueur de 120 mètres et d'une largeur d'environ 100 mètres ainsi qu'une voie de relation entre le parking et la piste.

Il a été mis en service par l'ENESA le 04/04/1984 avec deux vols réguliers pour la ligne Bou Saada-Alger avec un Fokker de 40 places.

Des années plus tard quelques équipements en plus ont été mis en place comme : une tour de contrôle (TWR), une station météo, un terminal passager, un bloc technique et un bloc SSIS.

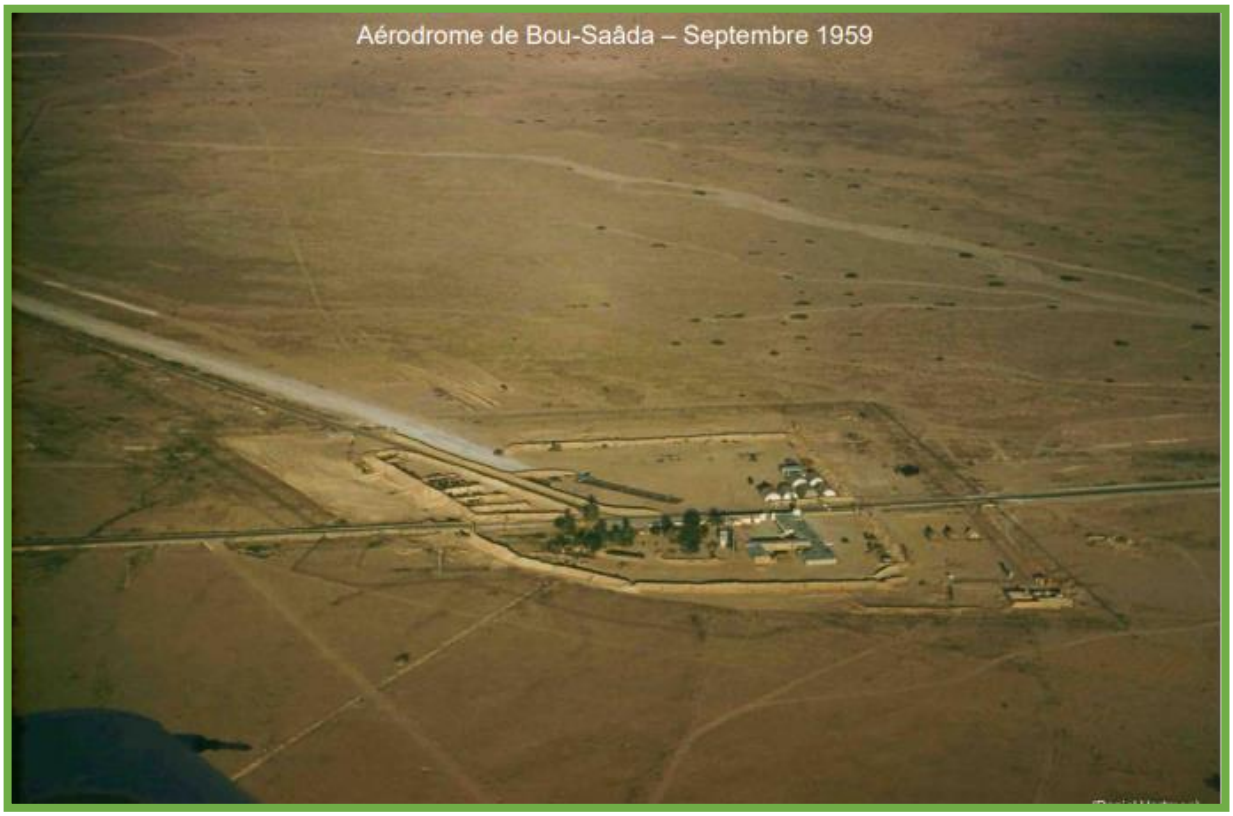


Figure II.3 Photo aérienne de l'aérodrome de Bou Saada

II.8 But du projet :

La croissance démographique de la ville de Bou Saada et le caractère touristique de la région ou le tourisme est considéré comme étant une filière économique principale ont rendu l'augmentation de la capacité de l'aérodrome à recevoir des avions plus contraignants nécessaire afin desservir à la demande actuelle et aux besoins futurs.

II.9 Conclusion :

Le présent chapitre donne une meilleure idée sur les caractéristiques climatiques, géologiques et géographiques du site ce qui permet de mieux localiser le projet et de connaître ses besoins et les objectifs de ce projet.

Chapitre 03

Analyse des données de l'aérodrome

III Analyse des données de l'aérodrome :

III.1 Introduction :

La conception d'un aérodrome nécessite d'abord une classification de ce dernier selon la réglementation. L'objectif de ce chapitre est de déterminer la classification de l'aérodrome de Bou Saada.

III.2 Présentation de l'avion de référence « critique » :

Depuis quelques années, les caractéristiques géométriques des aérodromes ne découlent plus de la possibilité de l'utilisation « tout temps », mais sont conditionnées par l'avion de référence.

L'avion de référence est l'avion le plus contraignant pouvant être reçu par l'aérodrome étudié.

L'avion le plus contraignant que peut recevoir l'aérodrome de Bou Saada est le **Boeing 737-800.**

Le Boeing 737-800 est un avion de ligne, biréacteur (deux moteurs de type CFM56-7b, un sous chaque aile), court ou moyen-courrier, construit par la société américaine Boeing Commercial Airplane Company.

Tableau III.1Caractéristiques du Boeing 737-800

Boeing 737-800	
Longueur	**39.47 m**
Envergure	**34.32 m**
Hauteur	**12.55 m**
Longueur hors train principal	**7.0 m**
Masse à vide	**41 500 kg**
Masse maximum au roulage	**79 500 kg**
Pression pneumatique	**1.41 Mpa**
Longueur de référence	**2090 m**

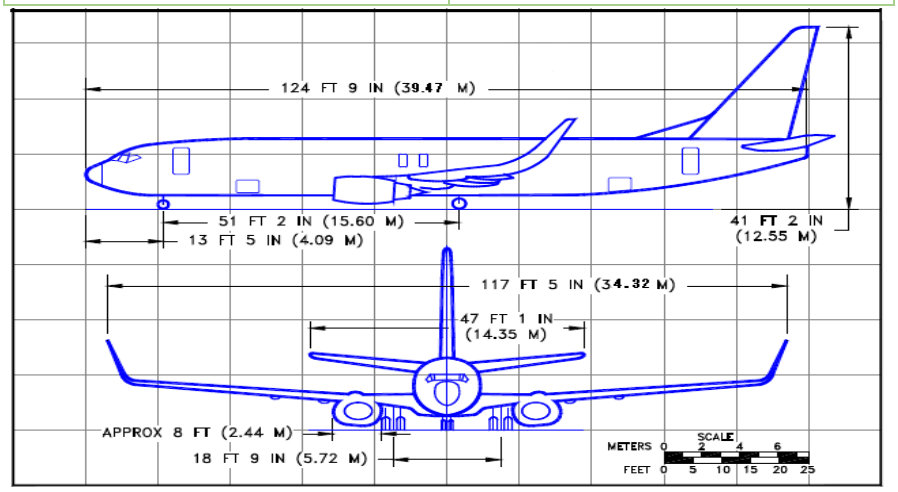


Figure III.1 Dimensions du Boeing 737-800

III.3 Classification de l'aérodrome :

L'O.A.C.I a adopté un système de classification basé sur deux caractéristiques :

- Une opérationnelle, qui est la longueur de la piste nécessaire au décollage,

  Qui se définit par un chiffre de 1 à 4 fondés sur la distance de référence de l'avion le plus pénalisant définie elle-même comme étant la longueur minimale, indiquée par son manuel de vol, nécessaire pour son décollage au niveau de la mer dans des conditions correspondant à l'atmosphère standard en air calme et avec une pente de piste nulle.

- L'autre dimensionnelle, qui est l'envergure et la voie du train principal selon les avions,

  Qui se définit par une lettre de A à F fondée sur les valeurs maximales des envergures et des largeurs hors tous des trains principaux des avions concernés.

Tableau III.2 le code de référence d'aérodrome

Elément de code 1	
Chiffre de code	**Distance de référence de l'avion**
1	Moins de 800m
2	De 800m à 1200m exclus
3	De 1200m à 1800m exclus
4	1800m et plus
Elément de code 2	
Lettre de code	**Envergure/OMGWS**
A	Moins de 15m / Moins 4.5m
B	De 15m à 24m exclus / 4.5m à 6m exclus
C	De 24m à 36m exclus / 6m à 9m exclus
D	De 36m à 52m exclus / 9m à 14m exclus
E	De 52m à 65m exclus / 9m à 14m exclus
F	De 65m à 80m exclus / 14m à 16 exclus

Selon les caractéristiques du Boeing 737-800 et des recommandations de L'OACI l'aérodrome de Bou Saâda est de classe **4C.**

III.4 Etude de trafic :

L'étude de trafic est primordiale dans toute conception aéroportuaire et plus précisément dans le dimensionnement des structures de chaussée et la détermination des caractéristiques géométriques d'un aérodrome, il est donc nécessaire de connaître l'évolution future de ce paramètre pour dimensionner et concevoir les infrastructures aéronautiques en termes de dimensions géométriques et structurelles.

L'aérodrome de Bou Saâda étant hors service depuis presque 10 ans, il est assez complexe de faire une étude détaillée et approfondie du trafic.

Le dimensionnement de l'aérodrome a été effectué pour desservir 10 mouvements par jour pendant 10 ans, soit 36.500 mouvements de l'avion le plus exigeant qui est le Boeing 737-800.

III.5 Analyse des données climatiques :

III.5.1 Temperature et altitude :

L'altitude et la température ambiante d'un aérodrome affectent les performances des aéronefs, donc par le fait même les distances de décollage et les performances de montée. Un décollage dans un aéroport situé au niveau de la mer nécessite moins de distance de décollage qu'un autre à 1500 pieds au-dessus du niveau de la mer. Cela est dû principalement à la densité de l'air qui est plus dense en basse altitude. Le phénomène est le même pour la température, l'air froid est beaucoup plus dense que l'air chaud.

L'OACI a établi que la température de référence d'un aérodrome est la moyenne des maximums quotidiens du mois le plus chaud de l'année.

Concernant les données retenues pour la température de Bou Saâda on a constaté que le mois le plus froid est le mois de Janvier et le plus chaud est le mois de Juillet. La température de référence retenue pour l'aérodrome de Bou Saâda est de 31,5° C.

III.5.2 Pluviométrie :

La connaissance des données pluviométriques d'une région est importante pour le calcul des réseaux d'assainissement.

La répartition des périodes pluvieuses dans la région de Bou Saada en négligeant l'irrégularité s'étend de septembre jusqu'à mai, avec un maximum en hiver et une période sèche estivale correspondant au minimum pluviométrique.

Une telle répartition saisonnière est caractéristique du climat méditerranéen, celui-ci étant plus ou moins atténué par l'influence saharienne.

Concernant l'aérodrome de Bou Saâda les précipitations annuelles sont de l'ordre de 160 mm et le nombre moyen de jours de pluie par an est de 94,2 jours.

III.5.3 Les Vents :

La répartition des vents joue un rôle primordial dans le choix de l'orientation de la piste. Les pistes sont normalement orientées dans le sens des vents dominants, de manière à faire profiter les avions des courants aériens, qui vont faciliter le décollage, réduire sa distance et améliorer le freinage lors de l'atterrissage, les avions se présentent toujours face au vent.

Le vent traversier est la composante des vents perpendiculairement à la piste.

Les manœuvres d'atterrissage et de décollage deviennent difficiles voir dangereuses, lorsque le vent traversier dépasse une certaine limite.

La limite admissible du vent traversier est fixée pour chaque avion. Consulter le manuel de vol. Pour chaque classe d'aérodrome on adopte une force de vent traversier admissible exprimée en m/s sous la forme :

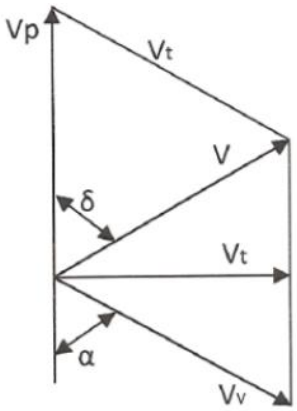
$$V_t = V_v . \sin\alpha$$

V_p : Vitesse Propre de l'aeronef.

V_v : Vitesse du vent.

V : Direction de déplacement de l'aéronef.

V_t : Force du vent traversier.



Le vent traversier critique est actuellement fixé par l'O.A.C.I aux valeurs suivantes :

Tableau III.3 Les vitesses limites du vent traversier

Code de chiffre	Lettre de référence	Vitesse limite du vent traversier
2	L≤1200m	5m/s
3	1200m ≤ L ≤ 1500m	6m/s
4	L≥ 1500m	10m/s

L'aérodrome de Bou Saâda étant de classe **4C**, les vents traversiers seront de l'ordre de **10 m/s**

Concernant les données retenues pour la région de Bou Saâda, les vents dominants sont ceux des quadras Nord-Ouest, le vent le plus fréquent souffle de l'Ouest, vient ensuite le vent du Nord-Ouest puis le vent du Nord. Le vent du sud est important.

En hiver les vents dominants sont du secteur Ouest à Nord-Ouest à cause notamment des hautes pressions qui règnent sur l'Atlas Saharien. En été dans l'ensemble, ces vents sont de force modérée et les plus forts sont ceux de la fin de l'hiver et du printemps tandis qu'en été (Juillet) un vent sec et chaud souffle. Ces vents ont une action très importante sur le climat, ceux du secteur Ouest apportent la pluie, ceux du secteur Sud au contraire sont desséchants au printemps et en été.

III.6 Coefficient d'utilisation :

Le coefficient d'utilisation Cu fait partie des facteurs déterminants pour l'orientation d'une piste, il représente pourcentage de temps pendant lequel 'utilisation d'une piste n'est pas restreinte du fait de la composante du vent traversier.

Il est recommandé que la piste soit orientée dans le sens où Cu dépasse le 95% dans le but d'augmenter la fréquence d'utilisation de la piste par les différents types d'aéronef.

Le calcul du coefficient est basé sur l'observation du régime des vents et sur leurs orientations réalisées par l'office nationale de la météorologie, ce dernier nous a fait parvenir les données appartenant à la station métrologique de la wilaya de BOU SAADA.

La répartition fréquentielle des vents sur les huit directions de la rose des vents est représenté dans le tableau suivant :

Tableau III.4 Répartition fréquentielle des vents de l'aérodrome de Bou Saâda

Mois	Annuel				
Directions	Classes de vitesse (m/s)				Total (%)
	01-05	05-10	10-15	≥15	
N	0.7	2.3	0.7	0.1	3.7
NNE	0.4	0.8	0.1	0	1.3
NE	0.3	0.6	0.1	0	1
ENE	0.3	0.3	0.1	0	0.7
E	0.4	0.6	0.1	0	1.1
ESE	0.2	0.5	0.1	0	0.8
SE	0.2	0.4	0.1	0	0.7
SSE	0.1	0.4	0.2	0	0.7
S	0.1	0.6	0.2	0	0.9
SSW	0.1	0.3	0.1	0	0.6
SW	0.1	0.5	0.2	0	0.8
WSW	0.2	0.8	0.3	0.1	1.5
W	0.7	3.6	1.7	0.5	**6.5**
WNW	0.4	2.7	1.4	0.3	**4.9**
NW	0.4	1.8	0.8	0.2	3.3
NNW	0.8	2.9	1.1	0.2	4.9
Calme					66.7
Total	5.5	19.3	7.3	1.4	33.3

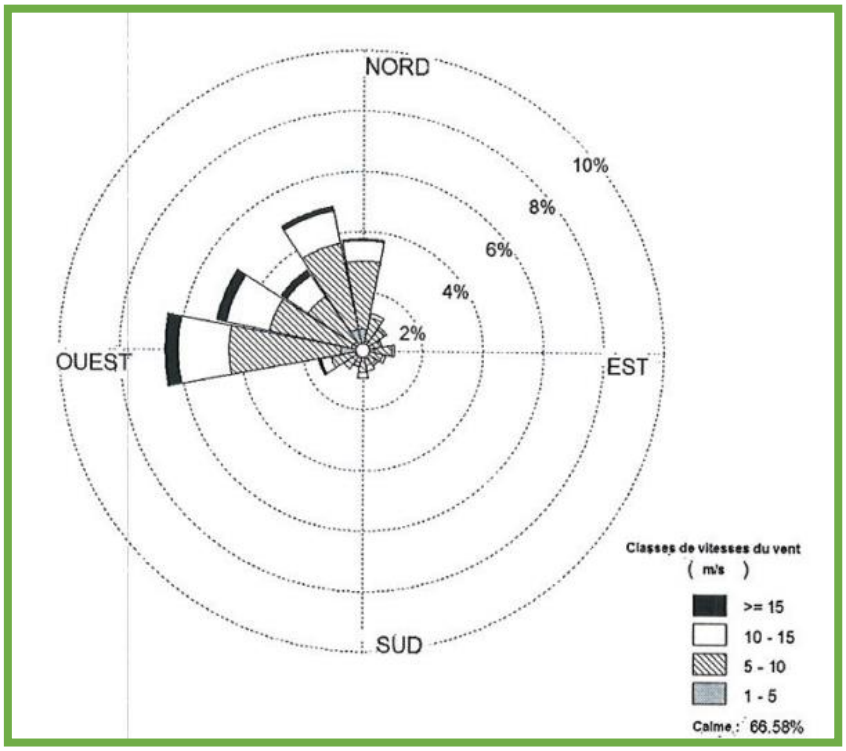


Figure III.2 Rose des vents annuelle « station météorologique de Bou Saâda »période 2000-2009

Nous calculons le coefficient d'utilisation pour chacune des huit directions puis nous représentons les résultats obtenus sur un graphe avec en abscisse les directions et en ordonnées les valeurs du coefficient d'utilisation.

Toutes les directions pour lesquelles la valeur de Cu sont au-dessus de l'asymptote horizontale à la valeur Cu = 95 % sont valables pour l'orientation de la piste.

III.7 Etapes de calcule :

Le calcul du coefficient d'utilisation passe par les étapes suivantes :

1. Nous choisissons une échelle puis nous dessinons quatre cercles tel que le premier correspond à la vitesse 5 m/s, le deuxième correspond à 10 m/s, le troisième correspond a 15m/s, et un dernier qui correspond à 20 m/s.
2. Pour une direction donnée on trace deux axes parallèles en les décalant des deux côtés depuis le centre des cercles, d'une valeur de la vitesse limite du vent traversier qui est de 10 m/s pour le cas de l'aérodrome étudié.
3. On calcul la surface S_i délimitée par la droite et le cercle 20m/s.
4. Pour chaque direction, on multiplie la surface calculée par le coefficient des vents K correspondant puis on divise par la surface d'une portion S, ce calcule nous mène a obtenir la valeur N :

   $$N=\sum \frac{Si}{S} \times K$$

5. On déduit Le coefficient d'utilisation en soustrayant cette valeur N à 100 :

   $$Cu=100-N$$

III.8 Application numérique et calcul du Cu :

- Direction nord/sud :

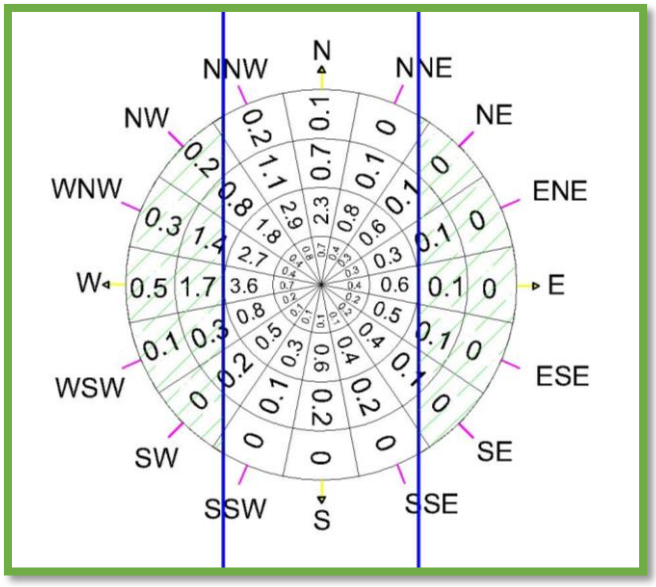


Figure III.3 CALCUL DU Cu POUR LA DIRECTION N-S

➢ Cu= 100 - $[\frac{1.3177}{34.3612} \times (0+0+0+0.2) + \frac{31.2510}{34.3612} \times (0+0+0+0.2) + \frac{5.8595}{24.5432} \times$ (0.1+0.1+0.2+0.8)+ $\frac{20.7153}{24.5432}$×(0.1+0.1+1.4+0.3)+$\frac{24.2837}{24.5432}$(0.1+1.7) +0+0+0+0.3+0.5+0.1]

Cu= 95.4539 %

- Direction nord nord est/sud sud west :

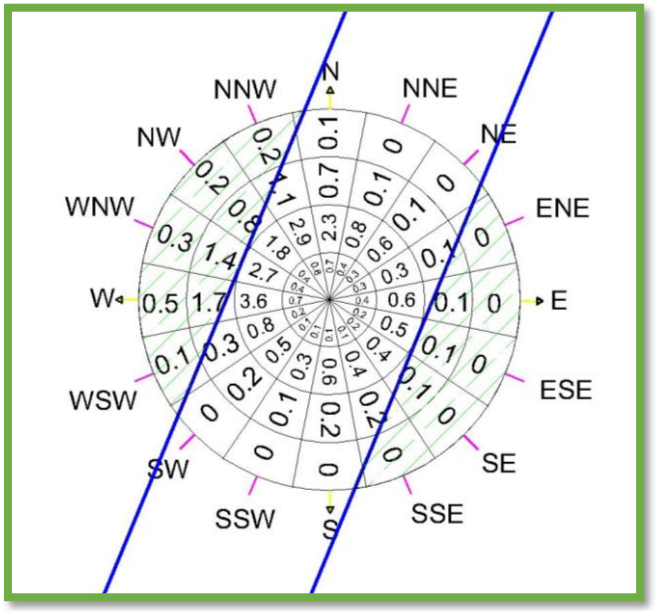


Figure III.4 CALCUL DU Cu POUR LA DIRECTION NNE-SSW

➢ Cu= 100 - $[\frac{1.3177}{34.3612} \times (0+0+0+0.1) + \frac{31.2510}{34.3612} \times (0+0+0.1+0.2) + \frac{5.8595}{24.5432} \times$ (0.1+0.2+0.3+1.1) + $\frac{20.7153}{24.5432} \times (0.1+0.1+1.7+0.8) + \frac{24.2837}{24.5432} (0.1+1.4) +0.3+0.5+0.2]$

Cu= 94.4698 %

- Direction nord est/sud west :

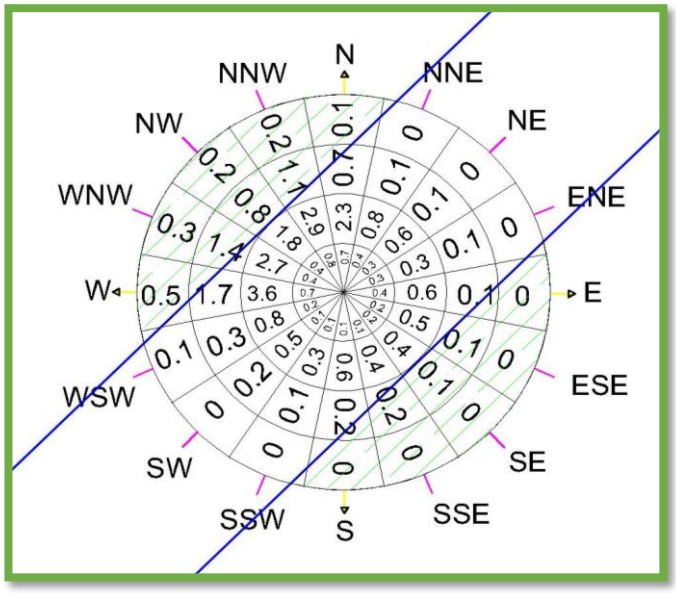


Figure III.5 CALCUL DU Cu POUR LA DIRECTION NE-SW

Figure III.6 Figure III.4 Figure III.3 CALCUL DU Cu POUR LA DIRECTION NNE-SSW

➢ Cu= 100 - $[\frac{1.3177}{34.3612} \times (0+0+0+0.1) + \frac{31.2510}{34.3612} \times (0.1+0+0+0.5) + \frac{5.8595}{24.5432} \times (0.7+0.1+0.2+1.7) + \frac{20.7153}{24.5432} \times (0.1+0.2+1.4+1.1) + \frac{24.2837}{24.5432} (0.1+0.8) +0+0+0+0.2+0.2+0.3]$

Cu= 94.8518 %

- Est/west :

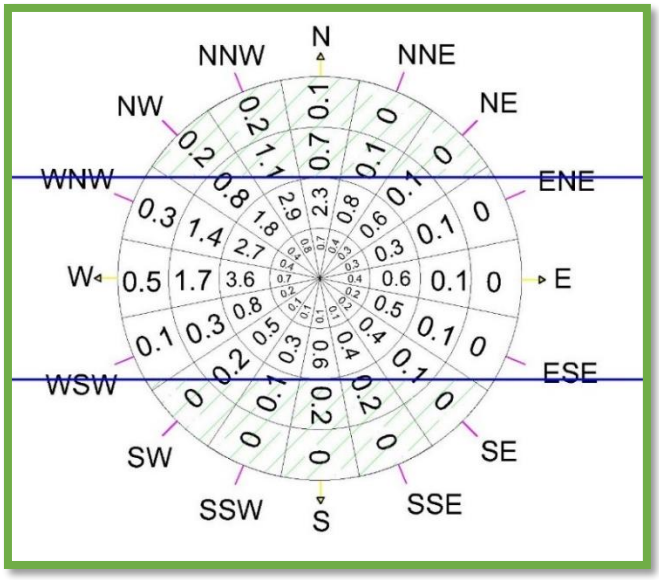


Figure III.7 CALCUL DU Cu POUR LA DIRECTION E-W

➢ Cu= 100 - $[\frac{1.3177}{34.3612} \times (0+0+0.3+0.1) + \frac{31.2510}{34.3612} \times (0+0+0+0.2) + \frac{5.8595}{24.5432} \times (0.1+0.1+0.2+0.8) + \frac{20.7153}{24.5432} \times (0.1+0.1+0.2+1.1) + \frac{24.2837}{24.5432} (0.7+0.2) +0.1+0.2+0+0+0+0]$

Cu= 97.0561 %

- Est sud est/west nord west:

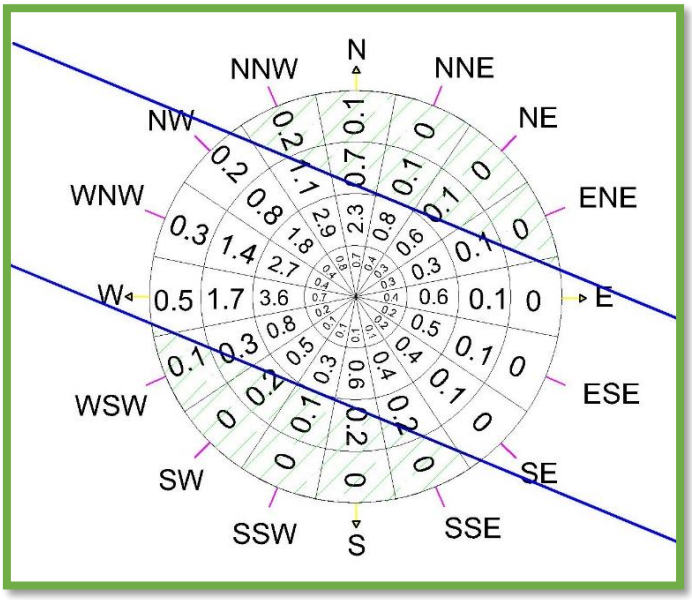


Figure III.8 CALCUL DU Cu POUR LA DIRECTION ESE-WNW

➢ Cu= 100 - $[\frac{1.3177}{34.3612} \times (0.5+0+0.2+0) + \frac{31.2510}{34.3612} \times (0+0+0.2+0.1) + \frac{5.8595}{24.5432} \times (0.1+1.1+0.2+0.3) + \frac{20.7153}{24.5432} \times (0.7+0.2+0.1+0.2) + \frac{24.2837}{24.5432} (0.1+0.1) +0.1+0+0+0+0+0]$

Cu= 97.9836 %

- Sud-est/nord west :

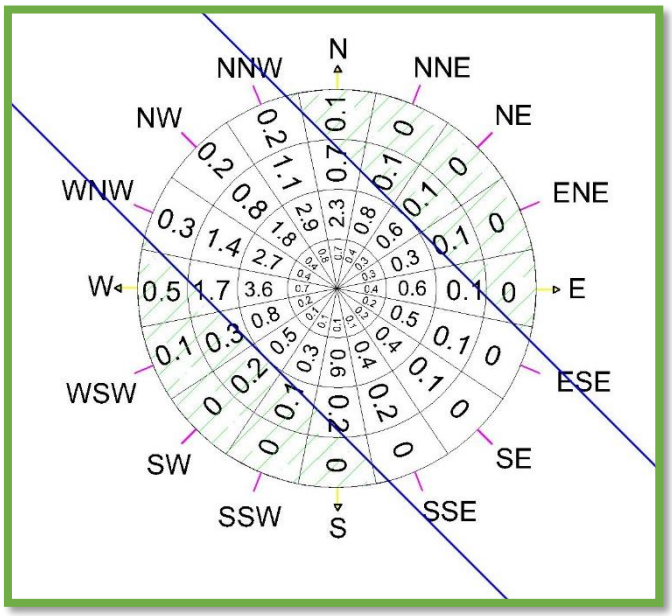


Figure III.9 CALCUL DU Cu POUR LA DIRECTION SE-NW

➢ Cu= 100 - $[\frac{1.3177}{34.3612} \times (0+0+0.3+0.2) + \frac{31.2510}{34.3612} \times (0.1+0.5+0+0) + \frac{5.8595}{24.5432} \times (0.7+0.1+0.2+1.7) + \frac{20.7153}{24.5432} \times (0.3+0.1+0.1+0.1) + \frac{24.2837}{24.5432} (0.2+0.1) +0.1+0+0+0+0+0]$

Cu= 97.8871 %

- Sud sud est/nord nord West :

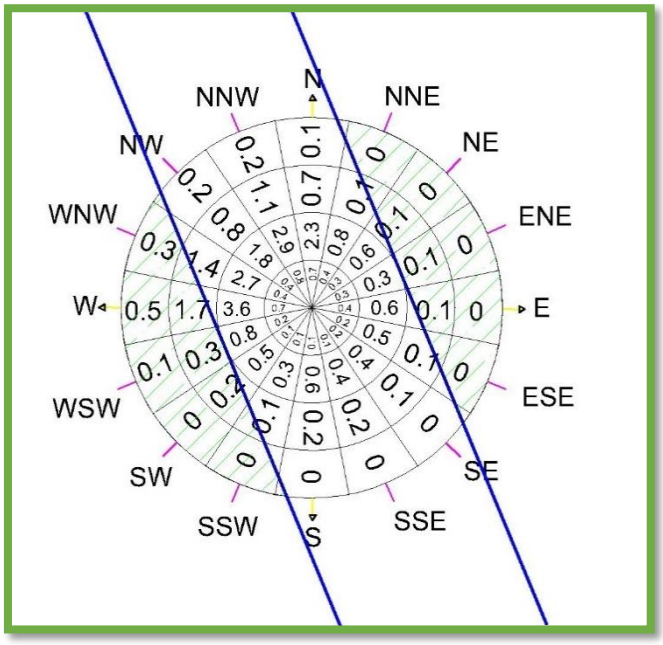


Figure III.10 CALCUL DU Cu POUR LA DIRECTION SSE-NNW

➢ Cu= 100 - $[\frac{1.3177}{34.3612} \times (0+0+0.1+0.2) + \frac{31.2510}{34.3612} \times (0.3+0+0+0) + \frac{5.8595}{24.5432} \times$ (0.1+0.1+0.1+1.4) + $\frac{20.7153}{24.5432} \times$ (0.1+0.1+0.2+1.7) + $\frac{24.2837}{24.5432}$ (0.1+0.3) +0.5+0.1+0+0+0+0]

Cu= 96.5414 %

III.9 Interprétation des résultats :

Tableau III.5coefficients d'utilisation en fonction de la direction

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
N	4.5461	5.5302	5.1482	4.0036	2.9439	2.0164	2.1129	3.4586
Cu %	95.4539	94.4698	94.8518	95.9964	97.0561	97.9836	97.8871	96.5414

Les résultats du tableau représenter graphiquement sur le graphe suivant :

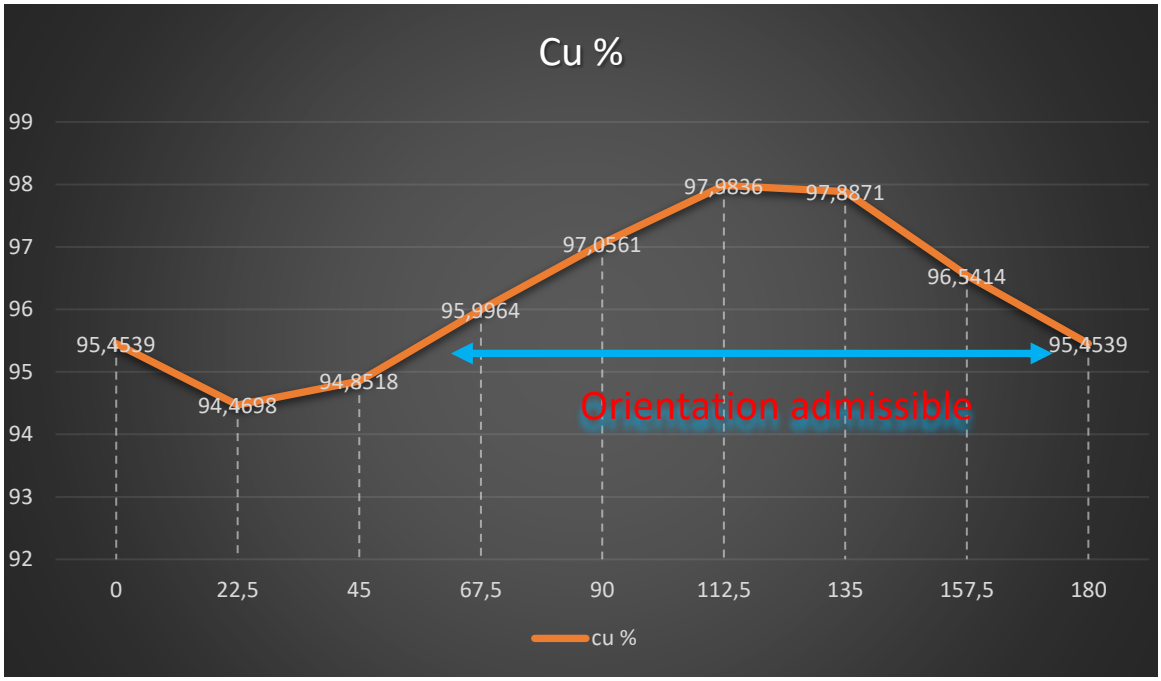


Figure III.11 Courbe de variation du coefficient d'utilisation en fonction de la direction

A partir de la courbe de l'évolution des coefficients d'utilisation en fonction de la direction on déduit que le meilleur intervalle d'implantation d'une piste se situe entre 270°Ouest 0°Nord.

La direction exacte de l'implantation de la piste sera déterminée à partir du calcul du gisement.

III.10 Conclusion :

Le présent chapitre permet de déterminer le couloir d'orientation de la piste en première phase, tandis que la direction exacte de l'implantation de la piste sera déterminée à partir du calcul du gisement

Chapitre 04

Caractéristiques géométriques de la piste

IV Caractéristiques géométriques de la piste :

IV.1 Longueur de la piste :

La longueur totale d'une piste est influencée par plusieurs facteurs dont :

- Les caractéristiques de performances et les masses opérationnelles des avions auxquels la piste est destinée,
- Les conditions météorologiques, particulièrement le vent et la température,
- Les caractéristiques de la piste telles que la pente et l'état de la surface,
- Les facteurs relatifs à l'emplacement de l'aéroport, tels que l'altitude de l'aéroport et les contraintes topographiques.

Le calcul de la longueur de la piste revient à appliquer à la longueur de référence déterminé par le constructeur pour une piste située au niveau de la mer en atmosphère-type des coefficients de corrections par rapport à l'altitude, a la température et la pente tel que :

$$\mathbf{L_{piste}=L_{reference}\times C_1\times C_2\times C_3}$$

Avec :

C_1 : Coefficient de correction d'altitude.

C_2 : Coefficient de correction de température.

C_3 : Coefficient de correction de pente.

Calcul des coefficients correcteur :

a) Coefficient de correction d'altitude :

$$C_1=1+\frac{N1}{100} \quad \text{avec} \quad N_1=\frac{7h}{300}$$

Avec : h (m) : Altimétrie au-dessus du niveau de la mer du point le plus élevé de la piste.

Pour l'aérodrome de BOU SAADA on a h=459 m

$$C_1=1+\frac{7\times\frac{459}{300}}{100}=1.1071$$

b) Coefficient de correction de température :

$$C_2=1+\frac{N2}{100} \quad \text{avec} \quad N_1=T-t$$

T : température de référence de l'aérodrome, étant la moyenne mensuelle des températures maximales quotidiennes, exprimées en degrés Celsius, du mois le plus chaud de l'année.

D'après les résultats enregistrés dans la ville de Boussaâda T=31.5°C

t : température de référence en atmosphère standard à l'altitude de l'aérodrome.

Au niveau de la mère cette température de référence est égale à 15°C, cette dernière diminue de 0.0065°C à chaque fois que l'altitude augmente d'un mètre.

Et donc la température de référence de notre aérodrome est :

t= 15-(0.0065×459) = 12.0165°C .

N_2= 31.5-12.0165=19.4835

D'où on trouve : $C_2=1+\frac{19.4835}{100}=1.1948$

Afin de valider les coefficients de correction précédente une condition doit être vérifié :

$$(1+\frac{N1}{100})\times(1+\frac{N2}{100})\leq 1.35$$

$$1.1071\times 1.1948=1.32\leq 1.35$$

La condition est vérifiée et les deux coefficients calculés précédemment sont validés.

c) Coefficient de correction de pente :

$C_3=1+\frac{N3}{100}$ avec $N_3=10\ P$

Avec : P : pente moyenne de la piste exprimée en %, étant obtenue en divisant la différence d'altitude entre le point le plus haut et le point le plus bas de la piste par la longueur totale.

Afin d'aboutir à un dimensionnement optimal et rationnel des itérations sont mis en place, on commence par supposer une pente de 1% afin d'obtenir une longueur approximative qui nous permet de choisir l'emplacement exact de la piste.

Une fois l'emplacement choisie on calcule la pente moyenne de la piste et on recalcule la longueur corrigée exacte de la piste.

D'après le profil en long :

Altitude max= 459.27m Altitude min=447.97m

$$P=\frac{459.27-447.97}{2090}\times 100=0.54\%$$

Dans notre cas la pente est égale 0.54% et pour des raisons de sécurité la pente sera majorée a **0.6%.**

$$C_3=1+\frac{10\times 0.6}{100}=1.06$$

Donc la longueur totale de la piste est :

$$L_{piste}=2090\times 1.1071\times 1.1948\times 1.06$$

$$L_{piste}=2931\ m$$

Pour des raisons de sécurité on prend une longueur totale arrondie de **3000m**

IV.2 Largeur de la piste :

L'OACI recommande dans l'annexe 14 que la largeur de la piste ne soit pas inférieure à la dimension spécifiée dans le tableau suivant :

Tableau IV.1 Les largueur des pistes

Chiffre de code	Lettre de code					
	A	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**
1	18 m	18 m	23 m	-	-	-
2	23 m	23 m	30 m	-	-	-
3	30 m	30 m	30 m	45 m	-	-
4	-	-	45 m	45 m	45 m	60 m

L'aérodrome de BOU SAADA est de classe **4C** avec un avion critique d'une largeur hors tout du train principale égale à 7 m, donc la largeur de la piste doit être **45m.**

Chapitre 05

Etude de dégagement

V Etude de dégagement :

V.1 Introduction :

L'utilisation efficace d'un aérodrome peut être considérablement influencée par les caractéristiques de son site d'implantation comme par les obstacles de toute natures contenus dans son environnement.

Les surfaces aéronautiques de dégagement permettent d'obtenir de meilleurs dégagements ou de préserver ceux qui existent. Elles sont définies par un plan de servitudes aéronautiques de dégagement et résultent d'une estimation de ce qu'il faut écarter ou supprimer comme obstacles pour que les aéronefs puissent évoluer dans des conditions acceptables.

On définit les obstacles en 4 catégories :

- Les obstacles massifs (colline, construction de grande surface, accident de terrain, etc.)
- Les obstacles filiformes (ligne électrique ou téléphonique, câble, etc.)
- Les obstacles minces (pylône, cheminée, etc.)
- Les obstacles mobiles (voitures, camions, trains, bateaux).

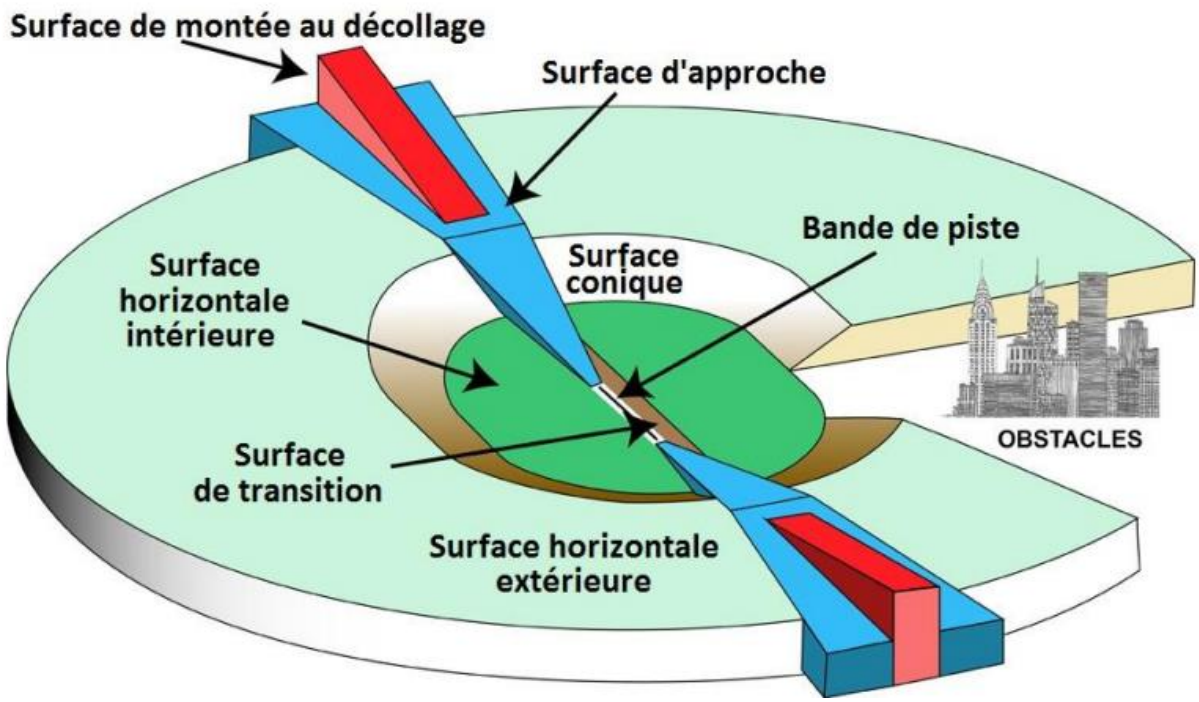


Figure V.1 Vue en perspective des surfaces de dégagement.

V.2 Proposition de variantes :

La Direction des Travaux Publics de la wilaya de M'Sila a exprimé le souhait de réhabiliter l'aérodrome de Bou Saada – Ain Eddis afin de le rendre de nouveau opérationnel après quelques années d'inactivité.

Deux variantes ont été présentées lors de l'établissement du dossier de l'étude de faisabilité :

- **Variante 1 :** Extension de la piste existante du côté du seuil 22 et réhabilitation de ses annexes.
- **Variante 2** : Création d'une nouvelle piste, deux taxiways, d'une bretelle, d'une voie de sortie a grande vitesse, l'extension du parking civil existant et l'élargissement de la bretelle 2.

V.2.1 Première variante : Etude de l'extension de la piste existante (04/22).

Les nouvelles dimensions doivent répondre à :

- La classification de l'aérodrome.
- L'avion de référence le plus contraignant destiné pour cet aérodrome.

Peu satisfaisante à l'époque, cette infrastructure à laquelle n'était affectée jusque-là que des avions de faibles capacités (ATR 42), l'est encore aujourd'hui compte tenu notamment de la mise en service prochaine des avions gros porteurs de type Boeingn737-800. Les servitudes aéronautiques de la piste actuellement existante sont greffées par la présence d'obstacles naturels situés dans l'axe de la piste à moins de 5km du seuil 04, condamnant toute éventualité d'extension de la piste de ce côté, ajouté à cela, l'implantation de la route départementale N°45 reliant le chef-lieu de la wilaya de M'sila à la ville de Bou Saâda qui est située sur la bande gauche à 85m de l'axe de la piste ; Donc vue la proximité des monticules Djebel Gorehor 1029m et Djebel Araat 898m au droit du seuil 04, la seule alternative est de procéder à l'extension de cette piste vers le côté Nord/Ouest (seuil22).Malheureusement le terrain situé dans le prolongement de l'axe de la piste vers le Nord est complètement occupé par les riverains, le nombre d'habitations rurales sur les 1000m est considérable. Les caractéristiques géotechniques de la première variante, se résument comme suit :

- Extension de la piste existante sur un linéaire de 800m x 45m ;
- Création d'un taxiway parallèle de dimension 3000m x 25m ;
- Elargissement de la chaussée existante de la piste pour la porter à 45m (7,5m de chaque côté)
- Création de bouts bétonnés de 300mx45m du coté de chaque seuil ;
- Elargissement de la bretelle existante d'une largeur de 15m à 25m ;
- Création d'une nouvelle bretelle située à 800m du nouveau seuil 22 ;
- Extension du parking civil de 100m x 110m, dont les dimensions finales seront de 300m x 110m, avec renforcement du parking existant ;
- Création de P.O.R et aire de sécurité respectivement de 60et 90m ;
- Implantation d'une nouvelle clôture de 5870 ml et démontage de l'existante ;
- Déviation de la route nationale N° 45 sur un linéaire de 5,5 km avec la scarification de la chaussée existante ;
- Création d'une nouvelle route de desserte de 3,5km ;
- Travaux de démolition d'habitations situées au droit de la zone d'extension côté seuil 22 ;
- Expropriation des terrains dont la superficie est estimée à environ 125 ha ;
- Travaux de réalisation d'ouvrages de drainage.

V.2.2 Deuxième variante : Création d'une nouvelle piste (15/33) oblique par rapport a la piste actuelle.

Compte tenu de la présence de nombreuses contraintes le long du couloir de la piste existante on a choisi d'étudier un autre couloir susceptible de satisfaire les besoins pour la création d'une nouvelle piste de 3000mx45m. Un couloir d'orientation 150°/330°, offrant de très bons dégagements au droit des deux trouées d'envol. Cette variante a pour avantage le maintien de la piste existante comme piste secondaire ainsi que l'écartement de toute actions de démolition d'habitations en grande masse, et la préservation les terres agricoles avoisinantes qui ont été mises en valeur ces dernières années. Les caractéristiques géométriques de la deuxième variante se résument comme suit :

- Création d'une nouvelle piste de 3000mx45m ;
- Création d'un taxiway parallèle à cette piste de dimensions 3289x25m ;
- Création de deux bretelles reliant la piste au taxiway de 185mx25m et 350mx25m ;
- Extension du parking avions civil de 100mx110m avec renforcement du parking existant dimensions finales 300mx110m ;
- Création d'une voie de roulement reliant la nouvelle piste aux infrastructures militaires ;
- Création d'une nouvelle route de service de longueur 3300ml ;
- Réalisation d'ouvrages de drainage et protection contre les crues ;
- Création d'une nouvelle clôture d'une longueur de 12500ml ;
- Réalisation d'ouvrages tels que la déviation de l'Oued situé dans l'emprise de l'actuelle piste.

V.3 Détermination et étude des dégagements :

On définit les obstacles en 4 catégories :

- Les obstacles massifs (colline, construction de grande surface, accident de terrain, etc.)
- Les obstacles filiformes (ligne électrique ou téléphonique, câble, etc.)
- Les obstacles minces (pylône, cheminée, etc.)
- Les obstacles mobiles (voitures, camions, trains, bateaux).

Vu que l'aérodrome de Bou Saâda possède une piste avec approche classique l'O.A.C.I recommande que les surfaces de limitation d'obstacles soient établies comme suit :

- Surface horizontale intérieure ;
- Surface conique ;
- Surfaces de transition ;
- Surface d'approche (la trouée d'atterrissage) ;
- Surface de montée au décollage (trouée de décollage).

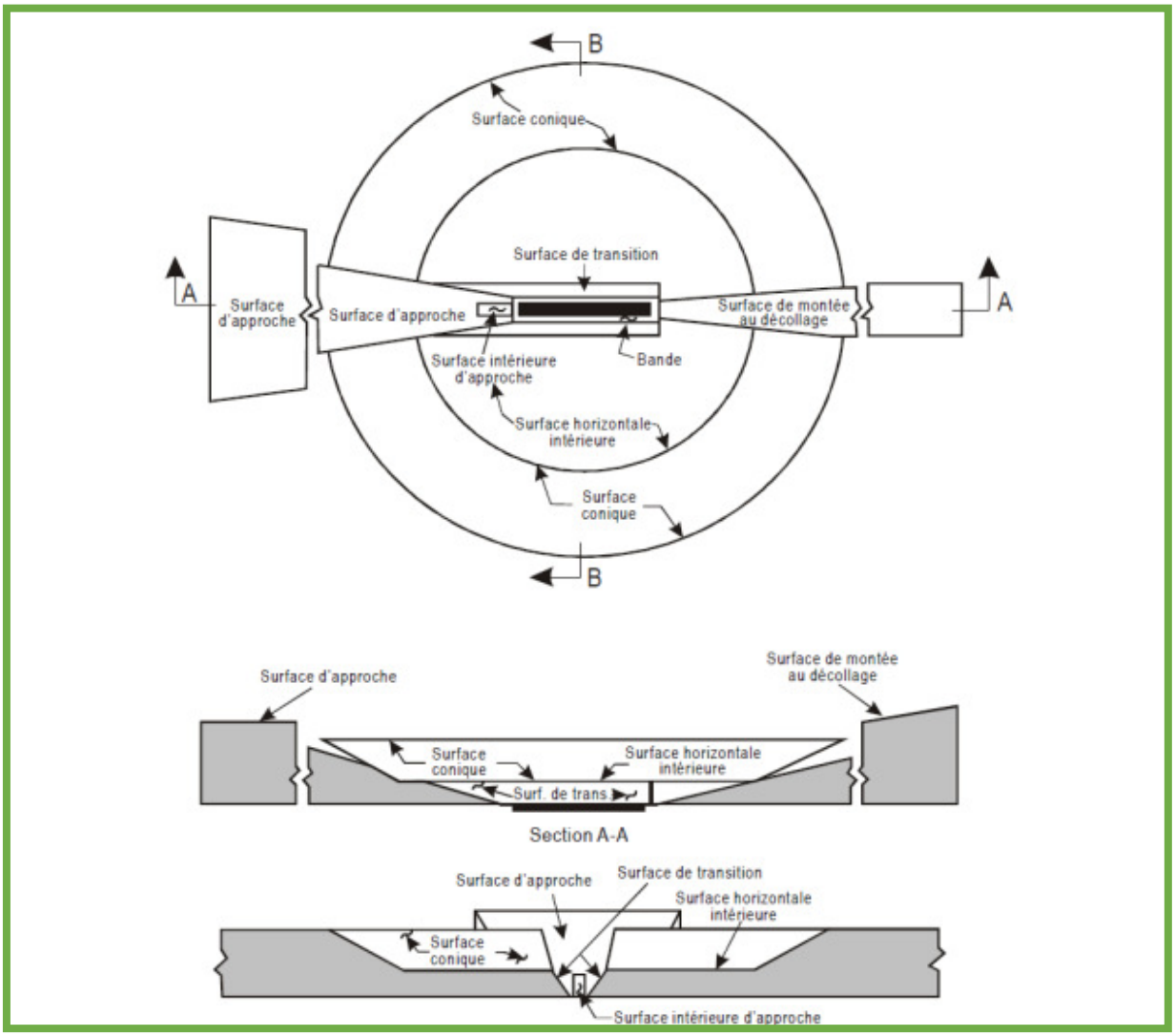


Figure V.2 Vue en perspective des surfaces de dégagement.

V.3.1 Surface horizontale intérieure :

La surface horizontale intérieure est une surface située dans un plan horizontal au-dessus d'un aérodrome et de ses abords à 45m au-dessus de l'altitude de référence de ce dernier.

Sa limite extérieure se constitue de :

- Deux droites parallèles à l'axe de la piste et distantes l'une de l'autre d'une longueur correspondant au rayon de virage de l'avion-type de la catégorie considérée,
- Les deux segments formés par les intersections avec les plans de trouée,
- Quatre raccordements en quart de cercle.

Tableau V.1 les caractéristiques de la surface horizontale intérieure

	Piste exploitée a vue			Piste exploitée au instruments					
				Approche classique			Approche de précision		
							Catégorie I		Catégorie II ou III
	Chiffre de code			Chiffre de code			Chiffre de code		Chiffre de code
	1	2	3 ou 4	1 ou 2	3	4	1 ou 2	3 ou 4	3 ou 4
Rayon	2000	2500	4000	3500	4000	4000	3500	4000	4000

Détermination des caractéristiques géométrique de surface horizontale intérieure :

- La hauteur H1 de la surface horizontale intérieure

$$H_1 = Z+45 = 459+45 = 504 \text{ m}$$

$$\mathbf{H_1 = 504\ m}$$

Avec : Z : Altitude de l'aérodrome

- Le rayon R_1 de la surface horizontale intérieure

$$\mathbf{R_1 = 4000m}$$

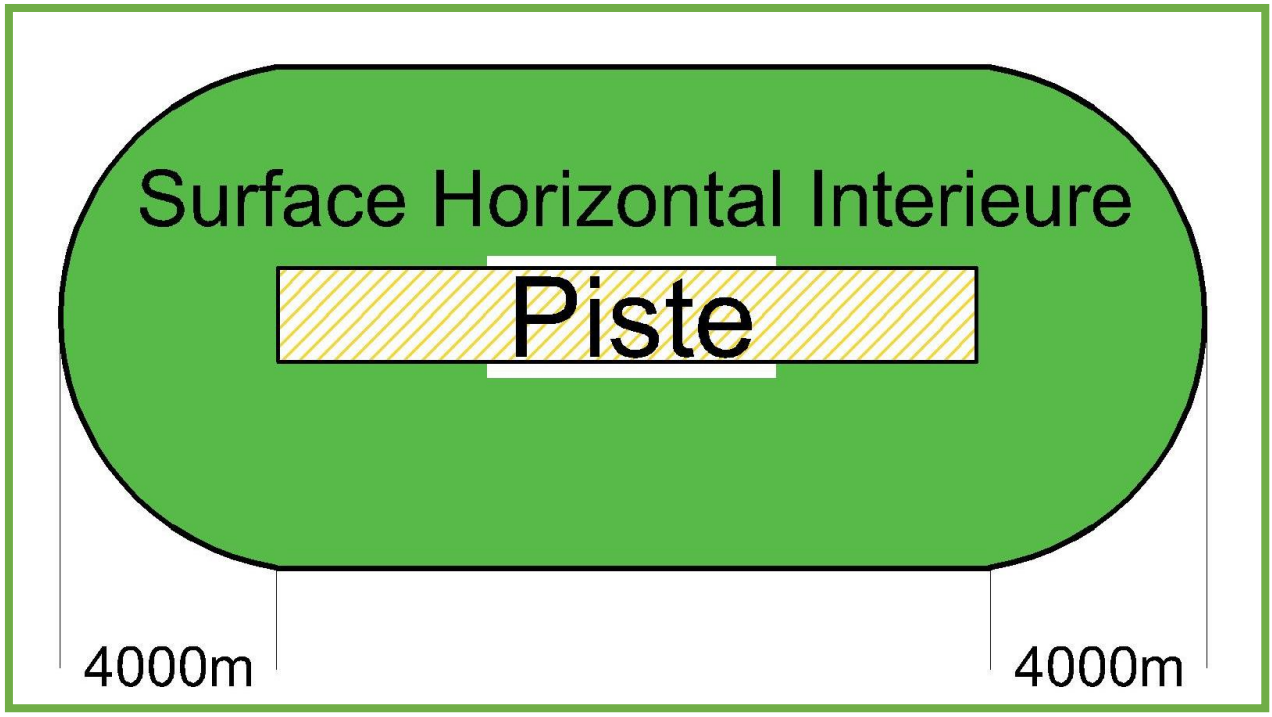


Figure V.3 Vue en plan de la surface horizontale intérieure.

V.3.2 Surface conique :

La surface conique est une surface inclinée vers le haut et vers l'extérieur à partir du contour de la surface horizontale intérieure.

Les limites de la surface conique comprendront :

- Une limite intérieure coïncidant avec le contour de la surface horizontale intérieure ;
- Une limite supérieure située à une hauteur spécifiée au-dessus de la surface horizontale intérieure.

La pente de la surface conique sera mesurée dans un plan vertical perpendiculaire au contour de la surface horizontale intérieure

Tableau V.2 caractéristiques de la surface horizontale intérieure.

	Piste exploitée a vue				**Piste exploitée au instruments**						
					Approche classique				**Approche de précision**		
									Catégorie I		**Catégorie II ou III**
	Chiffre de code				**Chiffre de code**				**Chiffre de code**		**Chiffre de code**
	1	**2**	**3**	**4**	**1**	**2**	**3**	**4**	**1 ou 2**	**3 ou 4**	**3 ou 4**
Puente %	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Hauteur (m)	35	55	75	100	60	60	75	100	60	100	100

Détermination des caractéristiques géométrique de surface conique :

- La hauteur H_2 de la surface conique

$$H_2 = H_1 + 100 = 504 + 100$$

$$\mathbf{H_2 = 604\ m}$$

- La pente de la surface conique qui égale à **5%**
- Le rayon R_2 de la surface conique

$$R_2 = R_1 + r$$

Avec : $r = \frac{H2-H1}{0.05} = \frac{604-504}{0.05} = 2000$

$$R_2 = 4000 + 2000$$

$$\mathbf{R_2 = 6000\ m}$$

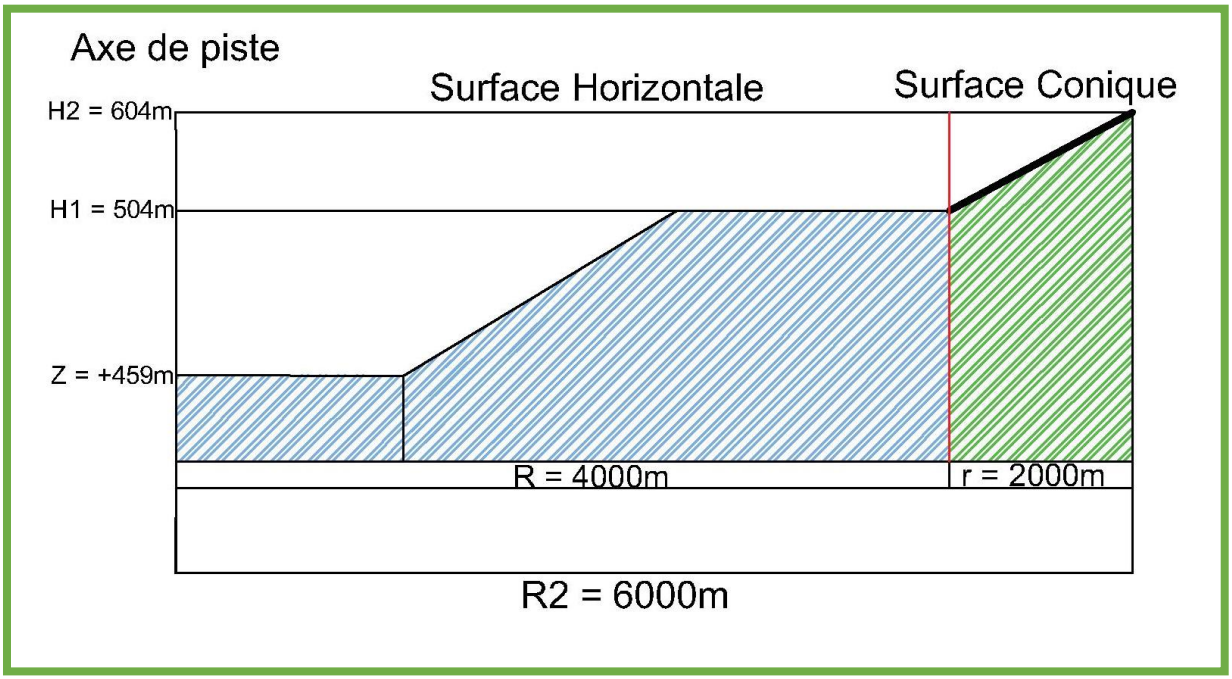


Figure V.4 Coupe longitudinale de la surface conique

V.3.3 Surfaces de transition :

Surface complexe qui s'étend sur le côté de la bande et sur une partie du côté de la surface d'approche et qui s'incline vers le haut et vers l'extérieur jusqu'à la surface horizontale.

Cette surface est délimitée par :

- Par un bord inferieur commençant à l'intersection du côté de la surface d'approche avec la surface horizontale intérieure et s'étendant sur le côté de la surface d'approche jusqu'au bord intérieur de cette dernière et, de là, le long de la bande, parallèlement à l'axe de la piste.
- Par un bord supérieur situé dans le plan de la surface horizontale intérieure.
- L'altitude d'un point situé sur le bord inférieur sera :
- Le long du côté de la surface d'approche, égale à l'altitude de la surface d'approche en ce point.
- Le long de la bande, égale à l'altitude du point le plus rapproché sur l'axe de la piste ou sur son prolongement.

Il résulte de la limitation de cette surface par le bord supérieure que la surface de transition le long de la bande sera incurvée si le profil de la piste est incurvé ou sera plane si le profil de la piste est rectiligne. L'intersection de la surface de transition avec la surface horizontale intérieure sera également une ligne courbe ou une ligne droite, selon le profil de la piste.

La pente de la surface de transition sera mesurée dans un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la piste.

Tableau V.3 les caractéristiques de la surface de transition

	Piste exploitée a vue				Piste exploitée au instruments						
					Approche classique				Approche de précision		
									Catégorie I		Catégorie II ou III
	Chiffre de code				Chiffre de code				Chiffre de code		Chiffre de code
	1	2	3	4	1	2	3	4	1 ou 2	3 ou 4	3 ou 4
Pente (%)	20	20	14.3	14.3	20	20	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3

Donc Pente de la surface de transition sera **14.3%**

Surface horizontal interieure

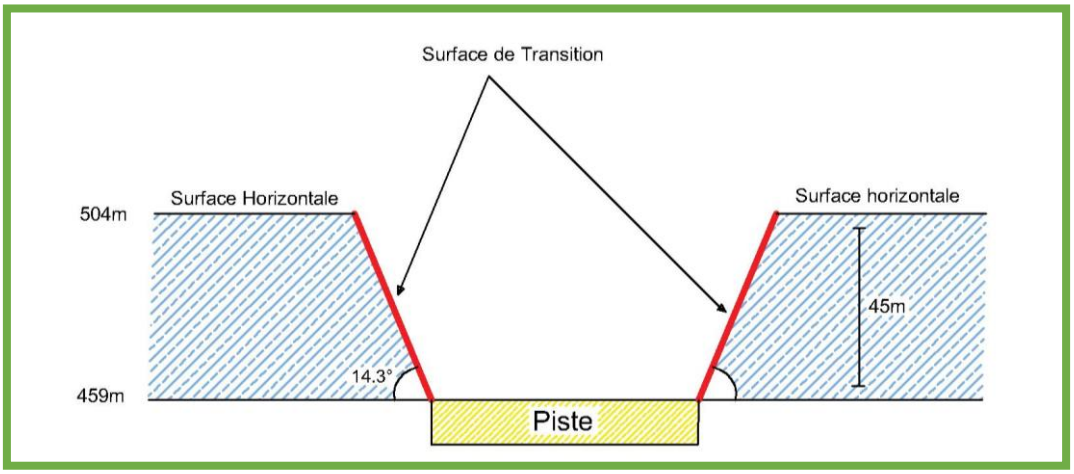


Figure V.5 Coupe transversale : Surface horizontale intérieure et surface de transition.

V.4 Surface d'approche :

La surface d'approche est un plan incliné ou une combinaison de plans précédents le seuil de la piste.

Elle sera délimitée par :

- Un bord intérieur de longueur spécifiée, horizontale et perpendiculaire au prolongement de l'axe de la piste et précédent le seuil d'une distance spécifiée, et qu'il sera situé à la même altitude que le milieu du seuil.
- Deux lignes qui partant des extrémités du bord intérieure divergent uniformément sous

- un angle spécifié par rapport au prolongement de l'axe de la piste.
- Un bord extérieur parallèle au bord intérieur.
- Le bord intérieur sera situé à la même altitude que le milieu du seuil.

La pente de la surface d'approche sera mesurée dans le plan vertical passant par l'axe de la piste.

	Piste exploitée a vue				Piste exploitée au instruments					
					Approche Classique			Approche de précision		
								Catégorie I		Catégorie II ou III
	Chiffre de code				Chiffre de code			Chiffre de code		Chiffre de code
	1	2	3	4	1 ou 2	3	4	1 ou 2	3ou 4	3 ou 4
Longueur du bord intérieure (m)	60	80	150	150	150	300	300	150	300	300
Distance au seuil (m)	30	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Divergence (%)	10	10	10	10	15	15	15	15	15	15
Première section										
Longueur (m)	1600	2500	3000	3000	2500	3000	3000	3000	3000	3000
Pente (%)	5	4	3.33	2.5	3.33	2	2	2.5	2	2
Deuxième section										
Longueur (m)	-	-	-	-	-	3600	3600	12000	3600	3600
Pente (%)	-	-	-	-	-	2.5	2.5	3	2.5	2.5
Section horizontale										
Longueur (m)	-	-	-	-	-	8400	8400	-	8400	8400
Longueur totale (m)	-	-	-	-	-	15000	15000	15000	15000	15000

Les caractéristiques géométriques de la surface d'approche sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau V.4 les caractéristiques de la surface d'approche

A partir du tableau et pour l'aérodrome étudié (de classe 4C) exploité aux instruments on aura une surface d'approche de **15000 m** de longueur, répartie en trois sections comme le montre les figures suivantes :

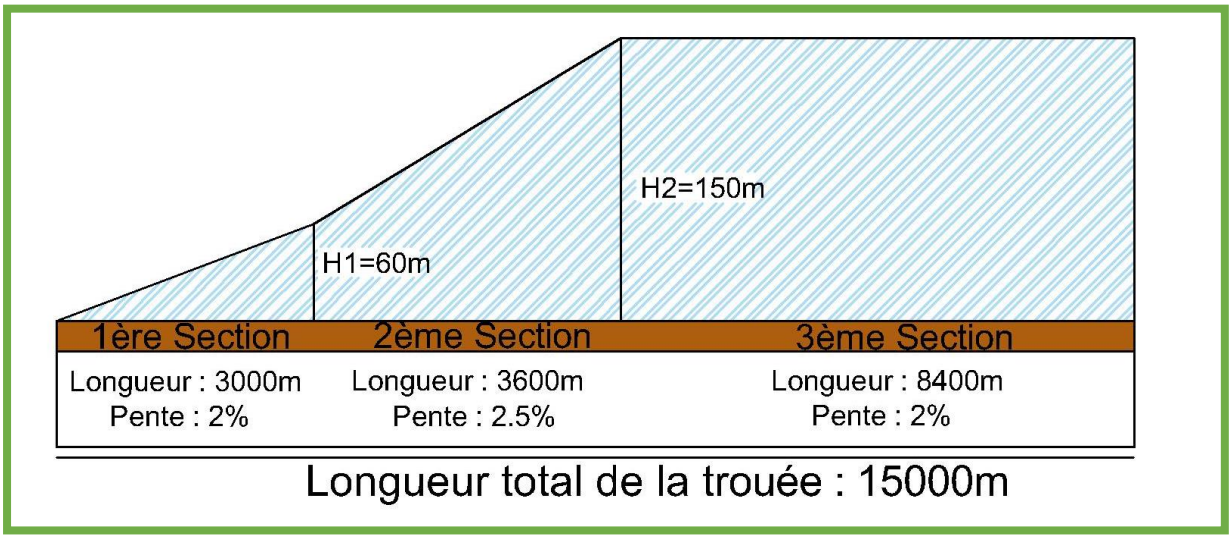


Figure V.6 Coupe longitudinale de la trouée d'atterrissage.

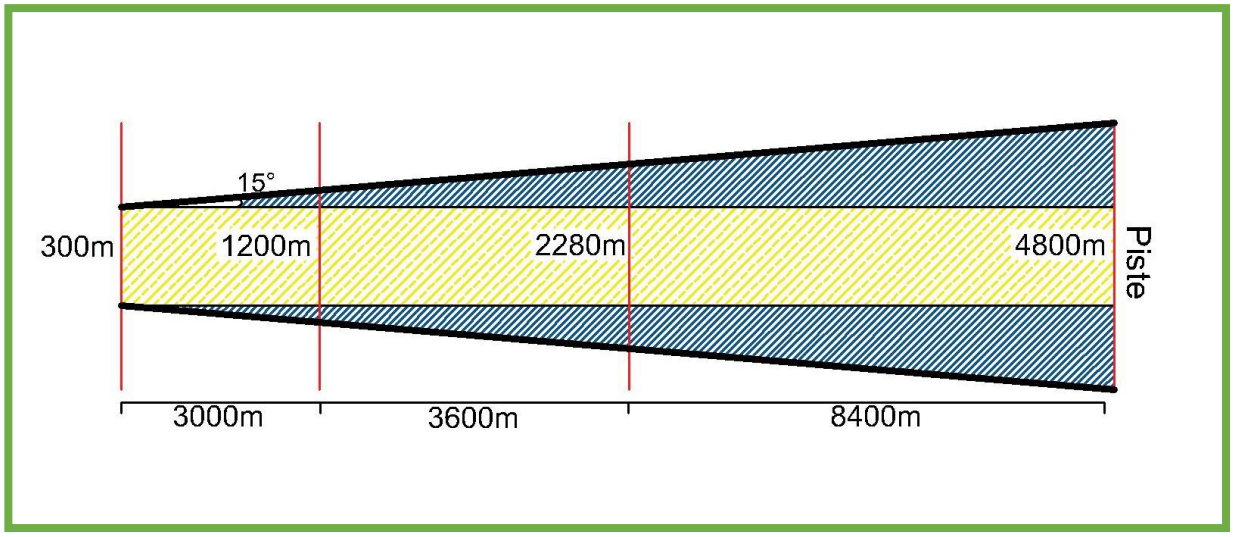


Figure V.7 Vue en plan de la trouée d'atterrissage.

V.5 Surface montée au décollage :

La surface de montée au décollage est un plan incliné ou toute autre surface spécifiée située au-delà de l'extrémité d'une piste ou d'un prolongement dégagé. Elle a pour délimitation:

- Un bord intérieur horizontal, perpendiculaire à l'axe de la piste et situé, soit à une distance spécifiée au-delà de l'extrémité de la piste, soit à l'extrémité du prolongement dégagé, lorsqu'il y en a un et que sa longueur dépasse la distance spécifiée.
- Deux côtés qui, partant des extrémités du bord intérieur divergent uniformément sous un angle spécifié par rapport à la route de décollage, pour atteindre une largeur définitive spécifiée, puis deviennent parallèles et le demeurent sur la longueur restante de la surface de montée au décollage.
- Un bord extérieur horizontal, perpendiculaire à la route de décollage spécifiée.

Le bord intérieur sera situé à la même altitude que le point le plus élevé du prolongement de l'axe de la piste entre l'extrémité de la piste et le bord intérieur ; toutefois, s'il y a un

prolongement dégagé, l'altitude du bord intérieur sera celle du point le plus élevé au sol sur l'axe du prolongement dégagé.

Dans le cas d'une trajectoire d'envol rectiligne, la pente de la surface de montée au décollage sera mesurée dans le plan vertical passant par l'axe de la piste.

Dans le cas d'une trajectoire d'envol avec virage, la surface de montée au décollage sera une surface complexe contenant les horizontales normales à sa ligne médiane, et la pente de cette ligne médiane sera la même que dans le cas d'une trajectoire d'envol rectiligne.

Les caractéristiques géométriques de la surface montée au décollage sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau V.5 Les caractéristiques de la surface montée au décollage

	Chiffre de code		
	1	2	3 ou 4
Longueur du bord intérieur (m)	**60**	**80**	**180**
Distance par rapport a l'extrémité de la piste (m)	**30**	**60**	**60**
Divergence (de part et d'autre) (%)	**10**	**10**	**12.5**
Largeur finale (m)	**380**	**580**	**1200**
Longueur (m)	**1600**	**2500**	**15000**
Pente (%)	**5**	**4**	**2**

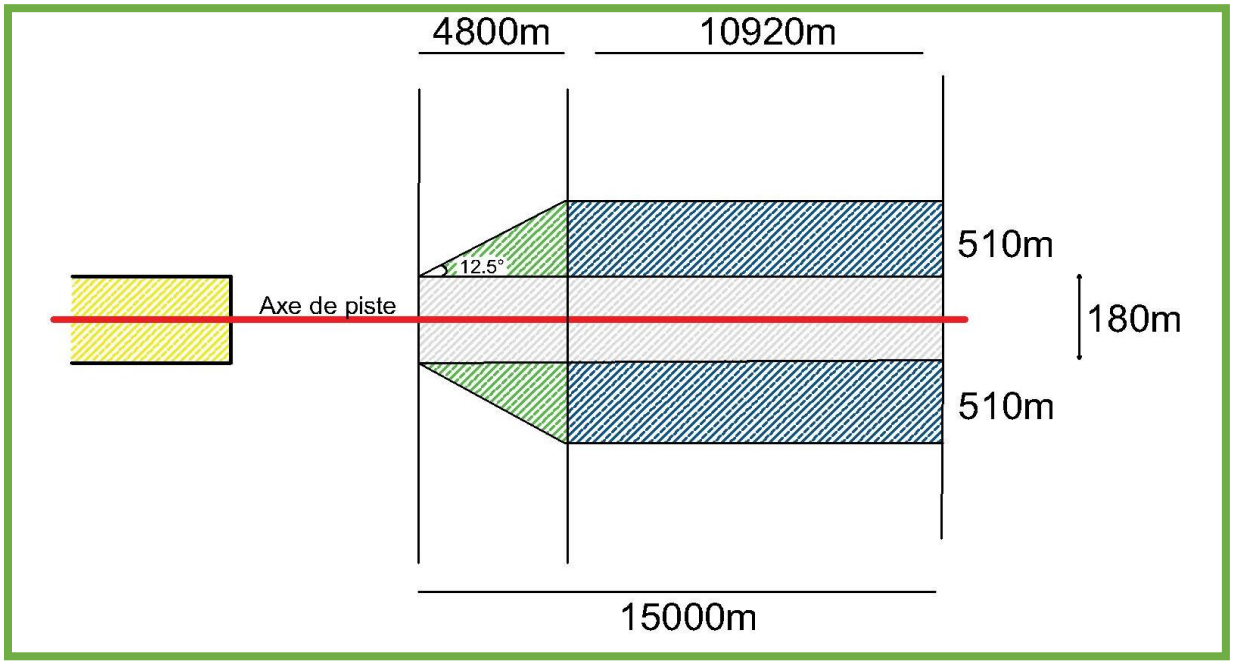


Figure V.8 Vue en plan de la surface de montée au décollage.

V.6 Recommandations de L'OACI concernant les dégagements :

- Les hauteurs et les pentes de ces surfaces ne seront pas supérieures à celles qui sont spécifiées au précédemment et leurs autres dimensions seront au moins égales à celles indiquées dans ce même tableau.
- La présence de nouveaux objets ou la surélévation d'objets existants ne sera pas autorisée au-dessus d'une surface d'approche, ou d'une surface de transition, à moins que, de l'avis de l'autorité compétente, le nouvel objet ou l'objet surélevé ne se trouve défilé par un objet inamovible existant.
- Il est recommandé de ne pas autoriser la présence d'un nouvel objet ou la surélévation d'un objet existant au-dessus de la surface conique ou de la surface horizontale intérieure, à moins que, de l'avis de l'autorité compétente, l'objet ne se trouve défilé par un objet inamovible existant ou à moins qu'il ne soit établi, à la suite d'une étude aéronautique, que cet objet ne compromettrait pas la sécurité de l'exploitation des avions ou qu'il ne nuirait pas sensiblement à la régularité de cette exploitation.
- Il est recommandé de supprimer dans la mesure du possible les objets existants qui font saillie au-dessus de l'une quelconque des surfaces suivante :conique, horizontale intérieure, approche et de transition à moins que, de l'avis de l'autorité compétente, l'objet ne se trouve défilé par un objet inamovible existant ou à moins qu'il ne soit établi, à la suite d'une étude aéronautique, que cet objet ne compromettrait pas la sécurité de l'exploitation des avions ou qu'il ne nuirait pas sensiblement à la régularité de cette exploitation.
- Dans l'examen de tout projet de construction, il est recommandé de tenir compte de la conversion éventuelle d'une piste à vue en piste aux instruments et de la nécessité de prévoir en conséquence des surfaces de limitation d'obstacles plus restrictives.

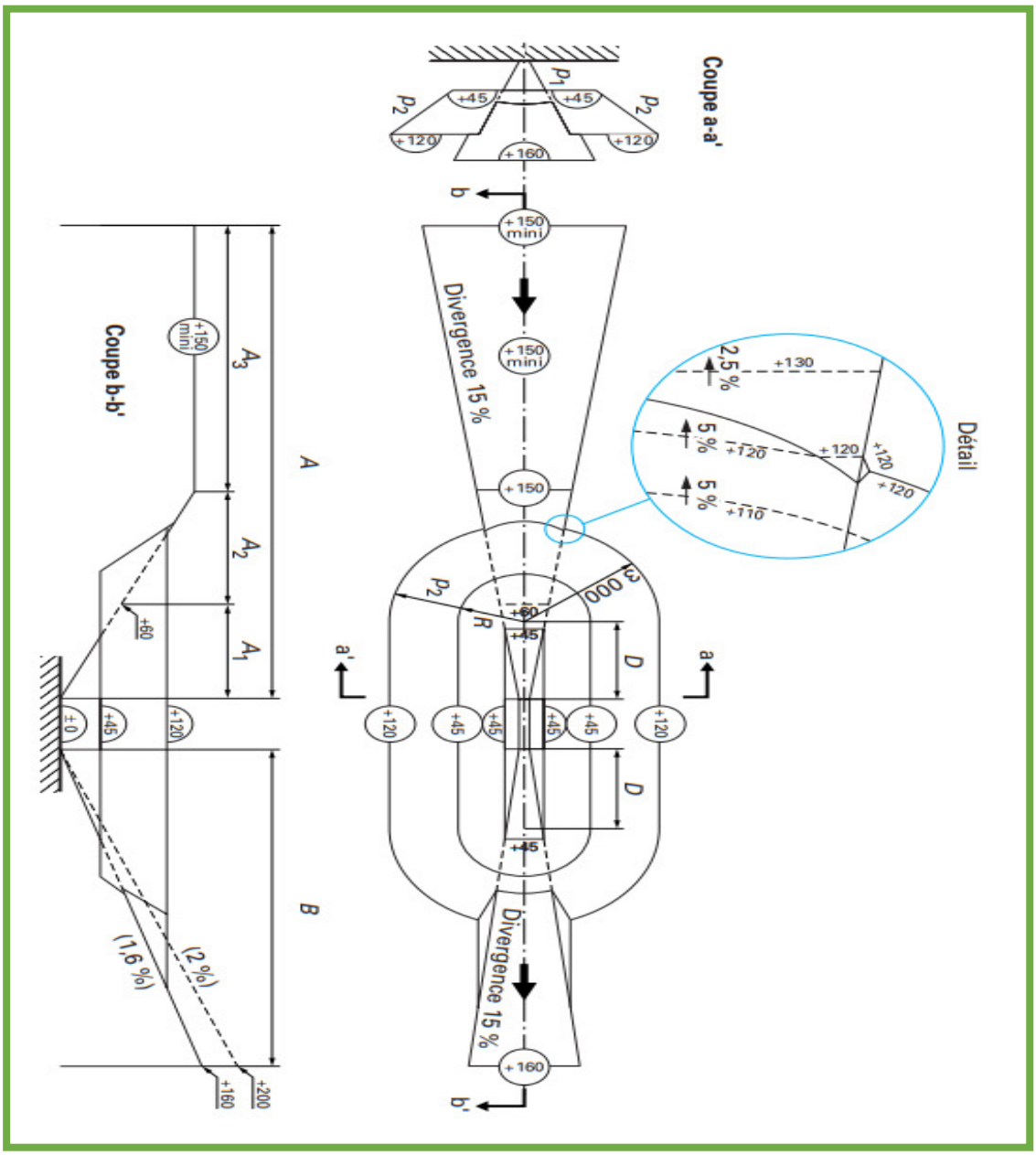


Figure V.9 : Surfaces de dégagement d'un aérodrome.

V.7 Verifications des dégagements et choix des variantes :

Tableau V.6 Obstacles à signaler

Type d'obstacle	Surface de dégagement	Altitude limite	Altitude d'obstacle	Hauteur de perception
Point culminant de la région de Aroudja	**Surface d'approche**	**609**	**630**	**21**
Point culminant de djebel Arar	**Surface conique**	**609**	**640**	**31**

V.7.1 Variante 1 : Extension de la piste du seuil 22

A travers la mission d'investigation effectuée sur site il ressort que les dégagements du côté du seuil (04) sont compromis.

On signale la présence du relief du Djebel Gorehor comme obstacles majeurs situé à 4500m du seuil (04) et dans l'aire de dégagement de la trouée ainsi qu'au droit des deux surfaces, horizontale intérieure et conique, des dénivellations importantes du relief sont à signaler, relief dépassant les 400m à 450m au-dessus du fond de la trouée d'approche et de décollage.

Ses obstacles sont suffisants pour que cette variante soit éliminée définitivement.

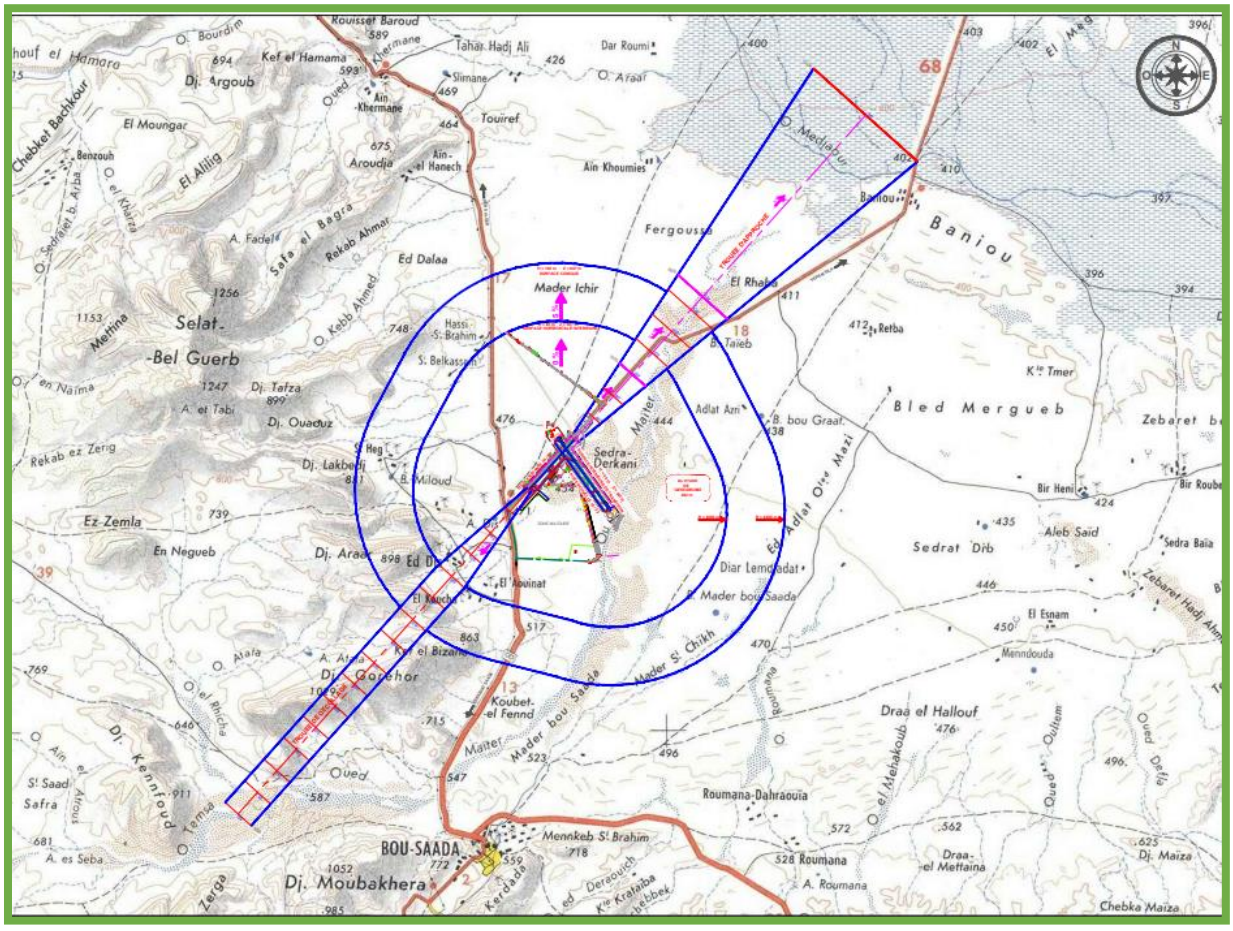


Figure V.10 Plan de dégagement de la premiere variante.

V.7.2 Variante 2 : Création d'une nouvelle piste.

Cette variante offre le meilleur couloir identifié sur le site de l'aéroport, il présente de bonnes caractéristiques de dégagements pour l'implantation d'une piste, qui sera exploitée sans contraintes aux instruments, au vu des conditions de visibilité généralement très bonnes.

Le couloir identifié présente des surfaces d'approche et de montée entièrement libres d'obstacles à chacune des seuils de la piste sur une distance allant jusqu'à 15 a 20Km.

Le plan de dégagement ci-dessous illustre l'implantation de cette piste avec les différentes servitudes.

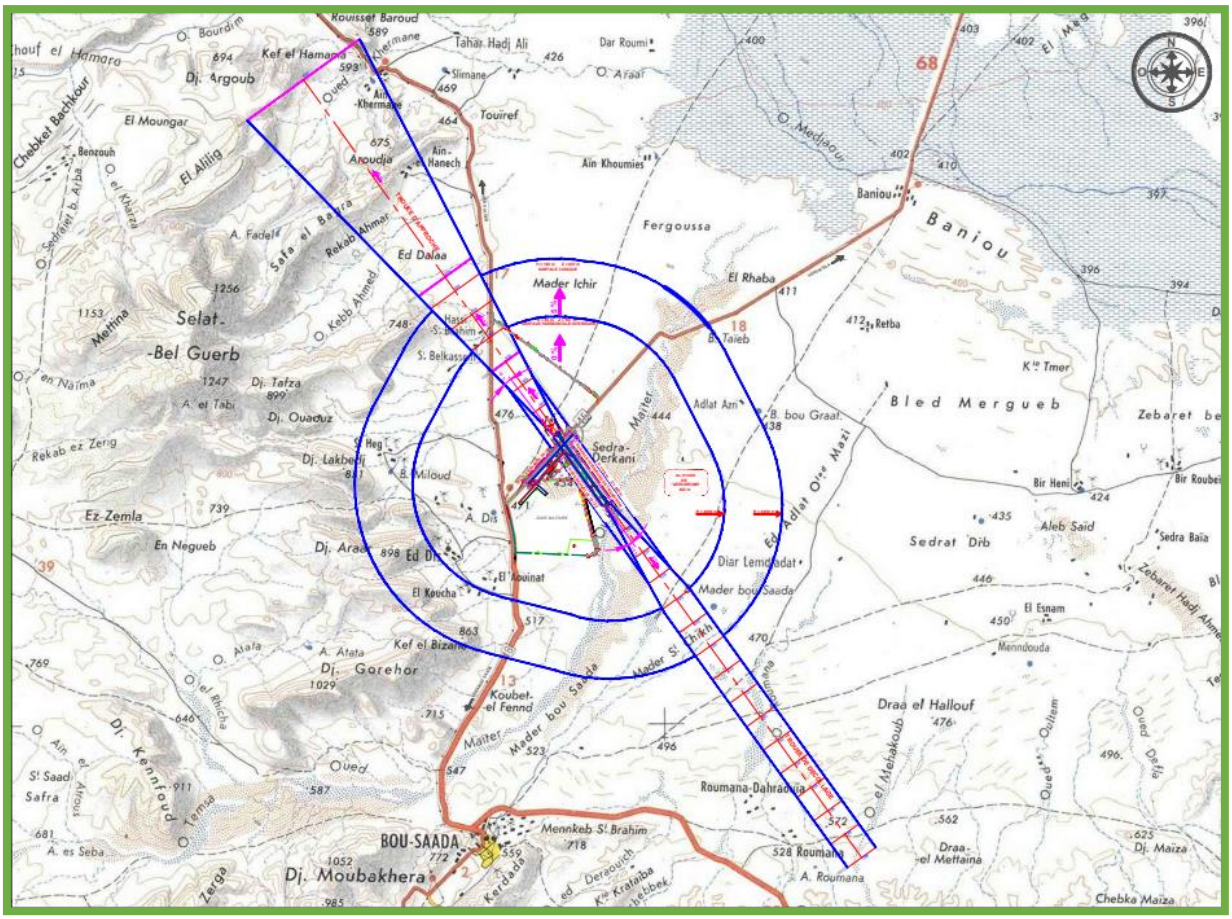
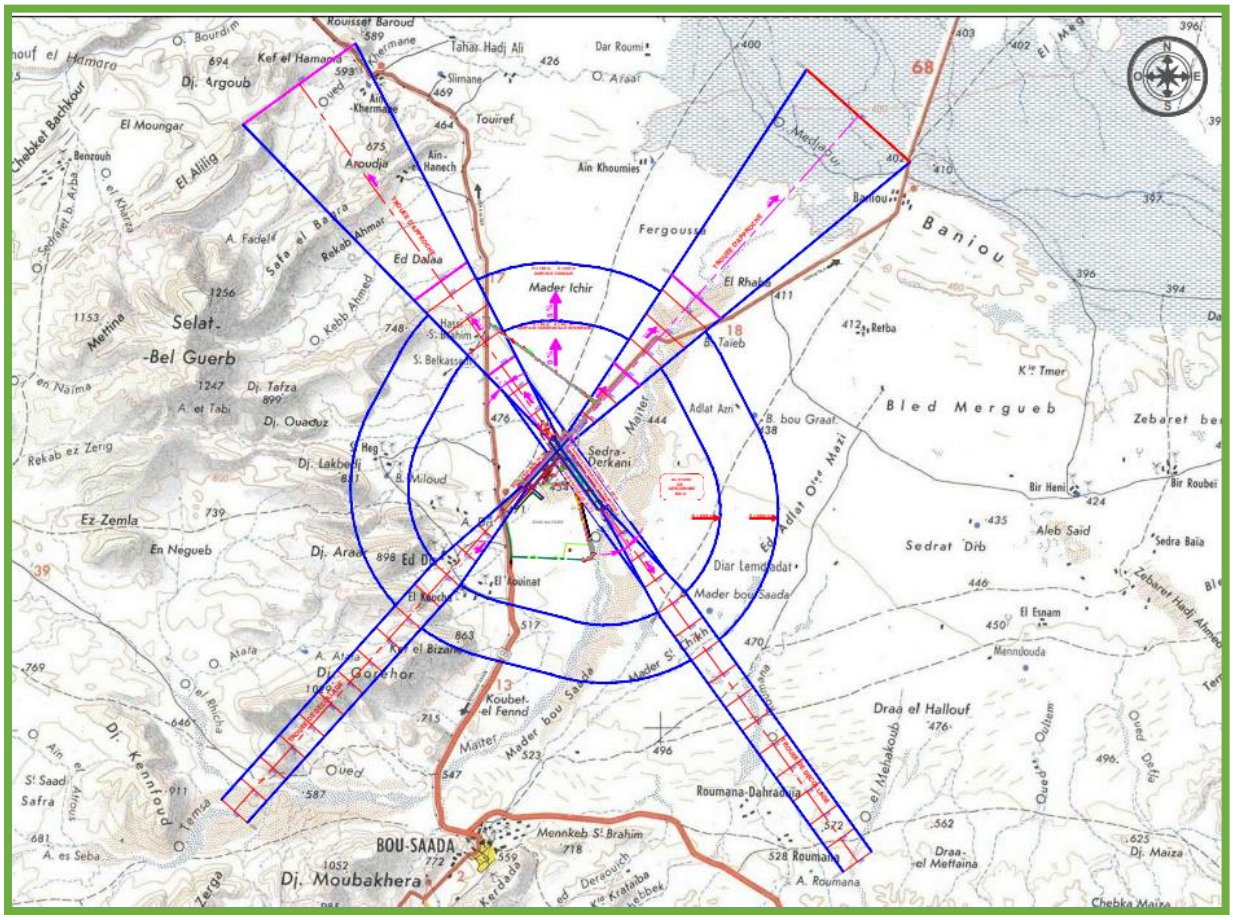


Figure V.11 Plan de dégagement de la deuxième variante .

V.7.3 Tableau comparatif des variantes avantages-inconvénient :

Tableau V.7 Comparaison des variantes

	Variante 1 : Extension piste existante	Variante 2 : Création d'une piste nouvelle
• **Surface de la nouvelle chaussée (m^2)**	• Piste : 69 000 m^2 • Taxiway : 75 000 m^2 • Parking : 11 000 m^2 • Bretelle : 6 775 m^2 } 161 775 m^2	• Piste : 135 000 m^2 • Taxiway : 118228,5 m^2 • Parking : 11 000 m^2 • Bretelle : 13 7500m^2 } 277 730 m^2
• **Surface nouvelle A Intégrer dans l'emprise aéroportuaire.**	125 hectares	185 hectares
• **Dégagement (trouées)**	Trouée (seuil 04), greffée par le relief du djebel Gorehor (1029m), djebel arar (898m). -trouée (seuil 22) : habitations, château d'eau	-trouées dégagées dans les deux sens -aucun obstacle majeur n'est à signaler
• **Dégagements latéraux**	-trouée (seuil 04) , greffée par le relief du djebel Gorehor (1029 m) et djebel Araar (898 m)	Présence d'obstacles au droit de la surface conique
• **Contraintes de demolition d'habitations**	Zone urbanisée à délocaliser	Contraintes mineures
• **Surface des terrains agricoles**	20ha	18ha
• **Flexibilité opérationnelle**	Une Seule trouée dégagée (seuil 22), moyennant la démolition d'habitation et balisage d'un château d'eau	Aucune contrainte n'est à signaler dans les deux trouées.


BOU-SAADA
Dj. Moubakhera
Mader Ichir
Sedra-Derkani
Selat-Bel Guerb
Baniou
Bled Merguеb
Draa el Hallouf
Roumana-Dahradha
Mennkeb St Brahim
Koubet-el Fennd
Dj. Argoub
Dj. Gorchor
Dj. Araar
Dj. Ouaouz
Dj. Tafza
Dj. Lakbeli
Touiref
Fergousse
Ain Khoumies
Ed Dalaa
El Rhaba
Adlat Azri
Sedrat Dib
Aleb Said
Sedra Baia
Bir Roubei
Bir Henni
El Esnam
Menndouda
Diar Lemdadat
Mader bou Saada
Draa-el Meffaina
Dj. Maiza
Chebka Maiza
Ez-Zemla
En Negueb
Rekab ez Zerig
Rekab Ahmar
Safa el Bara
Oued Kebb Ahmed
Oued Djedia
Oued Oulhem
Oued Dheia
Maiter
Mader bou Saada
Mader S. Chikh
Retba
B. Taieb
B. bou Graat
B. Miloud
Kef el Hamara
Tahar Hadj Ali
Dar Roumi
Ain Hanech
Ain Khermane
Aroudja
Kheiranne
Slimane
Oued Khermane
Chebket Bachkour
El Moungar
El Alilig
Mettina
Ain es Safra
Ain es Seba
Draa el Mehakoub
Draa el Kennfoud
Oued Zerga
Oued Temsa
Oued Ain es Sinoun
Oued el Rhicha
Oued el Khaiza
Oued Alata
Oued Ain el Hamara
Oued Bouradim
Oued Benzouh
Oued Sedrate b. Arba
Oued Ain en Naima
Oued Ain el Khermane
Oued Ain el Hanech
Oued Ain el Khoumies
Oued Ain el Bizarre
Oued Ain el Khenchla
Oued Ain el Kouinat
Oued Ain el Rhicha
Oued Ain el Mehakoub
Oued Ain el Oulhem
Oued Ain el Dheia
Oued Ain el Maiter
Oued Ain el Mader bou Saada
Oued Ain el Mader S. Chikh
Oued Ain el Draa el Hallouf
Oued Ain el Draa el Meffaina
Oued Ain el Dj. Maiza
Oued Ain el Chebka Maiza
Oued Ain el Zerga
Oued Ain el Temsa
Oued Ain el Sinoun
Oued Ain el Rhicha
Oued Ain el Khaiza
Oued Ain el Alata
Oued Ain el Hamara
Oued Ain el Bouradim
Oued Ain el Benzouh
Oued Ain el Sedrate b. Arba
Oued Ain el Ain en Naima
Oued Ain el Ain el Khermane
Oued Ain el Ain el Hanech
Oued Ain el Ain el Khoumies
Oued Ain el Ain el Bizarre
Oued Ain el Ain el Khenchla
Oued Ain el Ain el Kouinat
Oued Ain el Ain el Rhicha
Oued Ain el Ain el Mehakoub
Oued Ain el Ain el Oulhem
Oued Ain el Ain el Dheia
Oued Ain el Ain el Maiter
Oued Ain el Ain el Mader bou Saada
Oued Ain el Ain el Mader S. Chikh
Oued Ain el Ain el Draa el Hallouf
Oued Ain el Ain el Draa el Meffaina
Oued Ain el Ain el Dj. Maiza
Oued Ain el Ain el Chebka Maiza
Oued Ain el Ain el Zerga
Oued Ain el Ain el Temsa
Oued Ain el Ain el Sinoun
Oued Ain el Ain el Rhicha
Oued Ain el Ain el Khaiza
Oued Ain el Ain el Alata
Oued Ain el Ain el Hamara
Oued Ain el Ain el Bouradim
Oued Ain el Ain el Benzouh
Oued Ain el

Chapitre 06

Etude Géométrique

VI ETUDE GEOMETRIQUE :

VI.1 Introduction :

L'étude géométrique de l'aérodrome revêt une importance capitale dans la conception et le développement des infrastructures aéroportuaires. Cette phase du projet se concentre sur la configuration spatiale de la piste, des voies de circulation et des aires de stationnement des aéronefs. L'objectif principal est d'assurer des conditions de sécurité optimales pour les opérations aériennes tout en répondant aux normes et réglementations internationales. L'étude géométrique implique la détermination précise des dimensions, des pentes, des rayons de courbure et des dégagements nécessaires pour garantir les mouvements sûrs et efficaces des aéronefs.

VI.2 But de l'étude :

L'objectif de cette étude est d'exposer le fondement des principales caractéristiques géométriques de la piste. la conception géométrique des pistes doit être conforme aux normes de l'O.A.C.I dans le but d'assurer la sécurité et le confort des pilotes et des passagers.

VI.3 Gisements :

Le gisement est l'angle formé par la direction orientée AB avec la direction du nord. Il est compté positivement de 0 à 400 grades dans le sens des aiguilles d'une montre à partir de son origine l'axe des Y.

Pour déterminer le gisement d'une direction donnée, on fait la différence entre les coordonnées en X et Y des points A et B.

$\Delta X_{AB}=X_B-X_A$ et $\Delta Y_{AB}=Y_B-Y_A$, ce qui nous donne le gisement de AB.

La tangente de l'angle x est égale à $\Delta X_{AB}/\Delta Y_{AB}$, ce qui donne le gisement de la direction AB

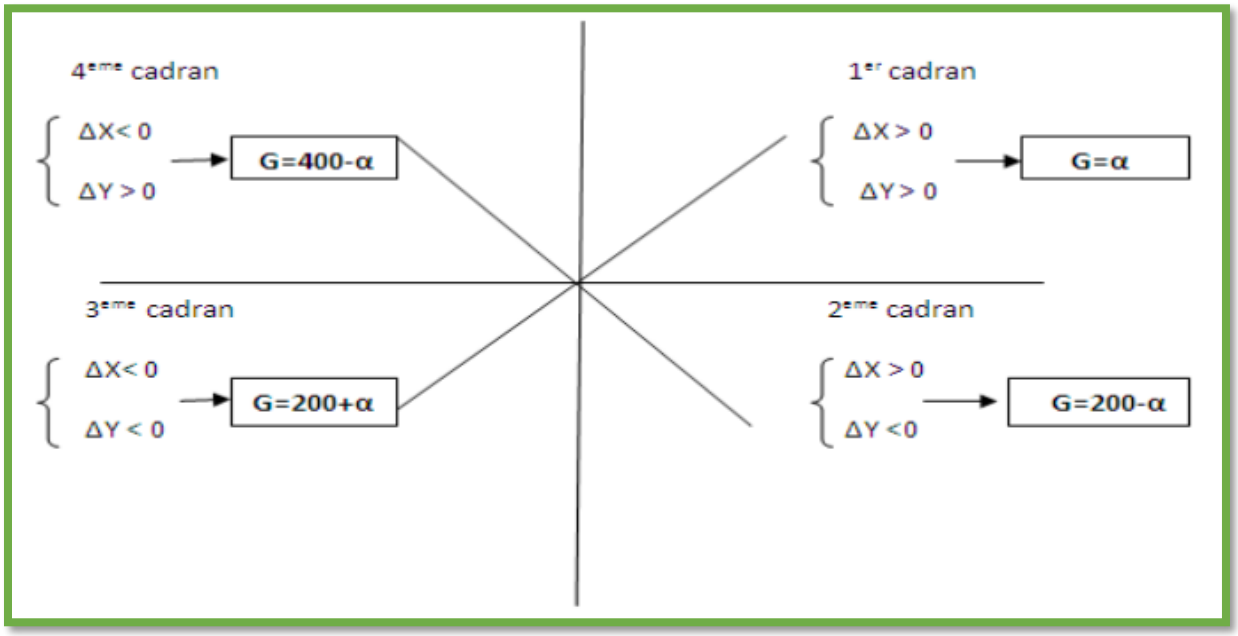


Figure VI.1 Les gisements.

Pour le cas de l'aérodrome de Bou Saada, les calculs topographiques ont donné :

X_A=611502.8802

Y_A=3909228.9113

X_B=609740.6866

Y_B=3911625.8475

ΔX_{AB} = -1762.1936 < 0

ΔY_{AB} = 2396.9362> 0

$\Longrightarrow$C'est le quatrième cadran : G_{AB}= 400 – α.

Donc : tan α = ΔX_{AB}/ ΔY_{AB} = 0.73518 $\Longrightarrow$ α=40.35 gr

Soit G_{AB}=400-40.62= 359.65 gr = 323.685°

Soient 33 dizaines de degrés, donc le nombre associé au point A est 33.

G_{BA} = G_{AB} - 180°= 323.685-180=143.685.

Soit 15 dizaines de degrés, donc le nombre associé au point B est 15.

Finalement, la piste de l'aérodrome de Bou Saada est identifiée et définie par : **15/33**.

VI.4 Profil en long :

Le profil en long est une coupe longitudinale suivant l'axe de la chaussée qui se présente par une succession de déclivités liées par des raccordements circulaires.

Le profil en long doit être aussi plat que possible tout en suivant dans toutes les mesures possibles la forme du terrain naturel. Ainsi Pour assurer les raccordements et une visibilité longitudinale convenable, les pentes en chaque point ne doivent être supérieures à celles fixées par l'OACI.

VI.4.1 Pentes longitudinales :

L'annexe 14 de l'OACI préconise que la pente obtenue en divisant la différence entre les niveaux maximal et minimal le long de l'axe de piste par la longueur de la piste ne dépasse pas **1 %** lorsque le chiffre de code est 4 ; Et qu'aucune portion de piste ne présente une pente longitudinale dépassant **1,25 %** pour le même chiffre de code.

Toutefois, l'OACI recommande que la pente longitudinale ne devrait pas dépasser **0,8 %** sur les premier et dernier quarts de la longueur de la piste lorsque le chiffre de code est 4.

VI.4.2 Changement de pente longitudinale :

Lorsqu'il est impossible d'éviter les changements de pente longitudinale entre deux pentes consécutives, l'OACI recommande que les changements de pente ne doivent jamais dépasser **1,5%** lorsque le chiffre de code est 4 ; Quant au passage d'une pente à une autre l'annexe 14 préconise de le réaliser par des courbes de raccordement le long desquelles la pente ne varie pas de plus de **0,1% par 30m** (rayon de courbure minimale de **30000m**) pour le même chiffre de code.

VI.4.3 Distance de visibilité :

Il est recommandé selon l'annexe 14, lorsque les changements de pente longitudinale sont inévitables que ces derniers pour une lettre de code C, soient tels que :

Tout point situé à 3 m au-dessus d'une piste soit visible de tout autre point situé également à 3 m au-dessus de la piste jusqu'à une distance au moins égale à la moitié de la longueur de la piste.

VI.4.4 Distance minimale entre changements de pente :

L'OACI recommande d'éviter les ondulations et les changements de pente marqués et rapprochés le long d'une piste, ainsi que la distance entre les points d'intersection de deux courbes successives ne soit pas inférieure à la plus grande des valeurs suivantes :

- Produit de la somme des valeurs absolues des changements de pente correspondants par la longueur appropriée (30000 m) lorsque le chiffre de code est 4.
- 45 m.

$$\mathbf{D \geq Max\ [30000\ x\ (\ |X-Y|+|Y-Z|\ )\ ;\ 45]}$$

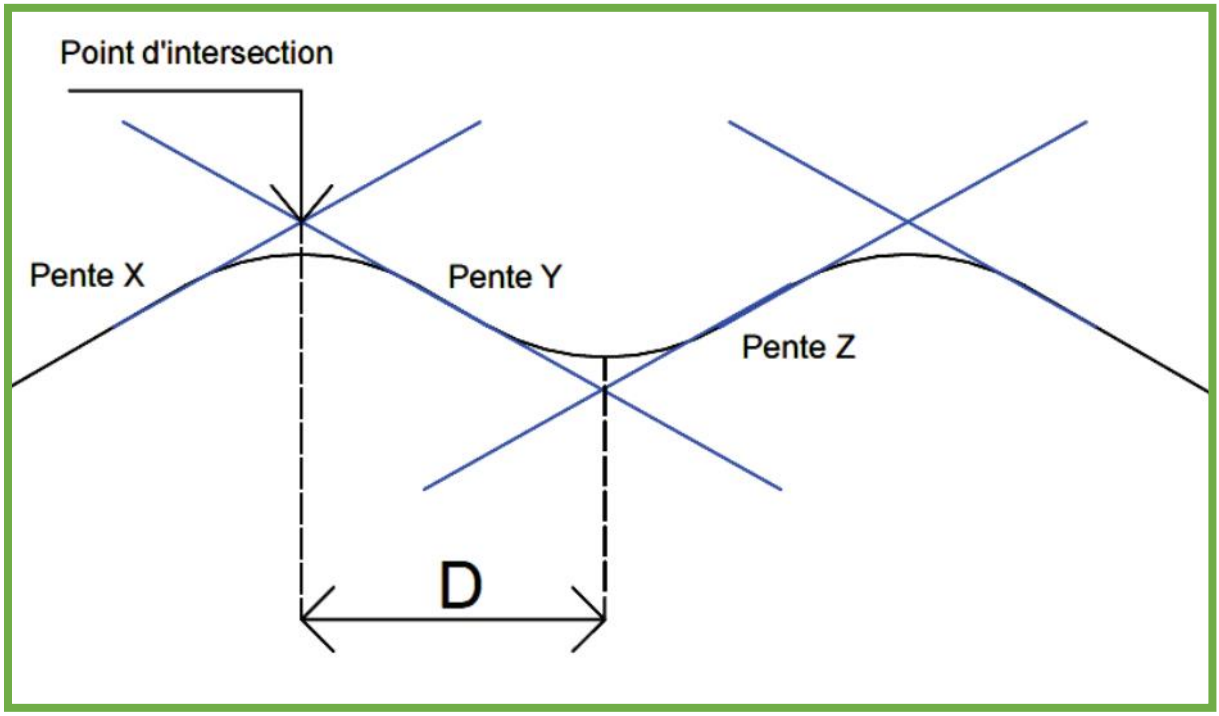


Figure VI.2 Calcul de D distance entre deux changements de pente.

Dans le cas étudié on a :

X=-0.41%

Y=-0.63%

Z=0.00%

30000 x (| X-Y | + | Y-Z |) = 30000 x (| -0.41+0.63 | + | -0.63+0.00 |) /100= 369m

D ≥ 255m

Et donc les distances entre les changements de pente de l'aérodrome de Bou Saâda répondent aux recommandations de l'O.A.C.I

VI.5 Profil en travers :

Le Profil en travers est une coupe transversale menée selon un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la piste projetée.

Le profil en travers doit présenter une forme permettant d'assurer une évacuation et un assèchement rapide de la piste afin d'éviter l'hydroplanage des avions causé par l'accumulation des eaux sur la piste.

Afin d'assurer un assèchement aussi rapide que possible l'OACI recommande que la surface de la piste soit si possible bombée, sauf dans le cas où les vents de pluie les plus fréquents souffleraient transversalement et où une pente uniforme descendante dans le sens du vent permettrait un assèchement rapide. L'idéal serait que la pente transversale soit de **1.5%** lorsque la lettre de code de la piste est C.

Mais elle ne devrait en aucun cas être supérieure à **1,5 %**, ni inférieure à **1 %**, sauf aux intersections des pistes ou des voies de circulation.

Dans le cas d'une surface bombée, les pentes transversales devraient être symétriques de part et d'autre de l'axe de la piste.

Pour la piste de l'aérodrome de Bou Saâda un profil en toit sera mis en place, avec une pente transversale de **1%** tout au long de la piste.

VI.6 Accotement :

C'est une bande de terrain bordant la chaussée et traitée d'une façon à offrir une surface de raccordement entre cette chaussée et le terrain environnant et de manière à ce qu'un aéronef sortant accidentellement de cette chaussée ne subisse pas de dommages structurels.

Les accotements de piste en dur protègent les extrémités latérales de la piste et contribuent a freiner l'érosion du sol par le souffle des réacteurs et atténuent les dommages occasionnés aux réacteurs par des débris.

L'OACI recommande dans l'annexe 14 que les accotements doivent être traitée ou construite de manière à pouvoir supporter le poids d'un avion sortant de la piste et à supporter le poids des véhicules terrestres qui peuvent circuler sur ces accotements.

Ainsi, les accotements de piste doivent assurer une transition entre la chaussée pleinement résistante et la bande de piste sans revêtement.

L'OACI ne recommande d'aménager des accotements de piste que lorsque la lettre de code est D, E ou F mais la réglementation algérienne recommande l'aménagement d'accotements même pour une piste de lettre de code C, de manière à ce que ces accotements

s'étendent symétriquement de part et d'autre de la piste de telle sorte que la largeur totale de la piste et de ses accotements ne soient pas inferieurs à 60m.

Donc dans le cas de l'aérodrome étudié dont la lettre de code est C et une largeur est de 45m, un accotement de **7,5m** sera mis en place de chaque côté de la piste.

Concernant la pente de l'accotement il est recommandé qu'au raccordement d'un accotement et de la piste, la surface de l'accotement soit de niveau avec la surface de la piste et que la pente transversale de l'accotement ne dépasse pas 2,5 %.

Dans le présent cas une pente de **1,5%** est prévue.

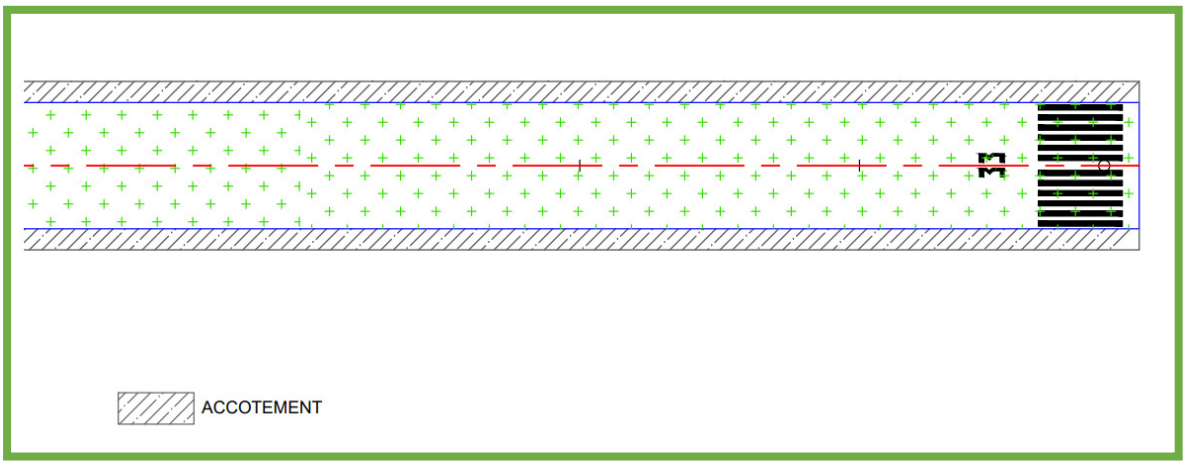


Figure VI.3 Dessin explicatif pour accotement.

VI.7 Bandes de piste :

Une piste ainsi que son prolongement d'arrêt sera placé à l'intérieur d'une bande, cette dernière est une aire destinée à réduire les risques de dommages matériels au cas où un avion sortirait de la piste, en offrant une aire dégagée et nivelée qui correspond aux pentes longitudinale et transversale spécifiques, et aux exigences de force portante ainsi a assurer la protection d'un avion qui survole cette aire lors des opérations de décollage ou d'atterrissage en offrant une aire dégagée d'obstacles .

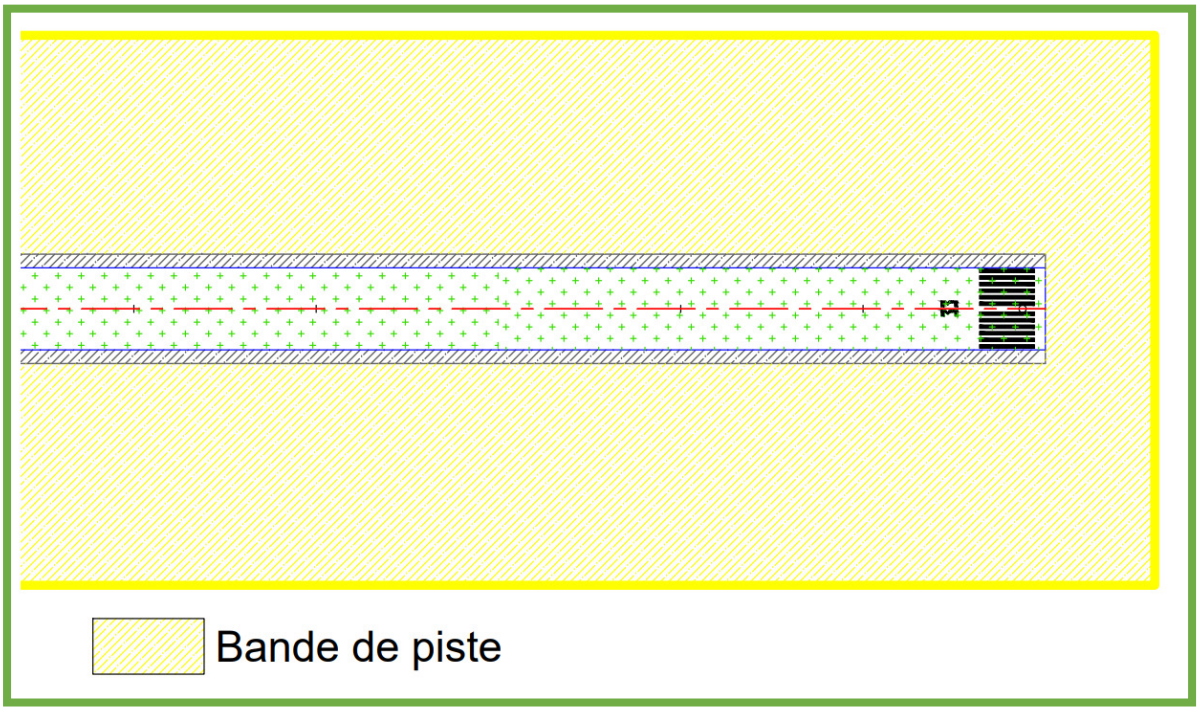


Figure VI.4 Figure VI.3 Dessin explicatif pour bande.

VI.7.1 Longueur de la bande de piste :

L'OACI recommande que la bande de piste s'étende en amont du seuil et au-delà de l'extrémité de la piste ou du prolongement d'arrêt jusqu'à une distance d'au moins **60 m** pour le chiffre de code 4.

VI.7.2 Largeur de la bande de piste :

L'OACI recommande que la bande de piste à l'intérieur de laquelle s'inscrit une piste avec **approche classique** (cas de l'aérodrome de Bou Saada) s'étende latéralement, sur toute sa longueur jusqu'à au moins **140 m** de part et d'autre de l'axe de la piste et du prolongement de cet axe pour un aérodrome de **chiffre de code** 4.

Tout objet situé sur une bande de piste qui peut constituer un danger pour les avions est considéré comme obstacle et il est recommandé dans toute la mesure du possible de le supprimer.

VI.7.3 Nivellement de la bande de piste :

Ainsi pour chiffre de code 4 la partie d'une bande à l'intérieur de laquelle s'inscrit une piste aux instruments devrait présenter, sur une distance par rapport à l'axe et à son prolongement d'au moins **75m**, une aire nivelée à l'intention des avions auxquels la piste est destinée, pour le cas où un avion sortirait de la piste.

La surface de la partie d'une bande attenante à une piste, un accotement ou un prolongement d'arrêt sera de niveau avec la surface de la piste, de l'accotement ou du prolongement d'arrêt.

Ainsi Il est recommandé, pour protéger les avions qui atterrissent contre le danger de formation d'une dénivellation abrupte à l'extrémité de la piste, que la surface de la bande située en amont du seuil, sur une distance d'au moins **30m** soit traitée contre l'érosion due au souffle des moteurs

VI.7.4 Resistance de la bande de piste :

L'OACI recommande que la partie d'une bande à l'intérieur de laquelle se trouve une piste aux instruments soit aménagée ou construite, sur une distance par rapport à l'axe ou à son prolongement d'au moins **75 m** lorsque le chiffre de code 4, de manière à réduire au minimum le danger que constituent les différences de force portante pour les avions auxquels la piste est destinée, dans le cas où un avion sortirait de la piste.

VI.7.5 Pentes longitudinales de la bande de piste :

Il est recommandé d'après l'OACI que pente longitudinale sur la partie de bande qui doit être nivelée ne dépasse pas 1,5 % lorsque le chiffre de code est 4.

Ainsi Il est recommandé que sur la partie d'une bande qui doit être nivelée d'éviter tout changement brusque ou inversion soudaine de la pente, et d'opter pour des changements de pente aussi graduels que possible.

VI.7.6 Pentes transversales de la bande de piste :

Sur la partie nivelée de la bande les pentes transversales devaient être suffisantes pour empêcher l'accumulation d'eau sur la surface mais sans dépasser 2,5 % lorsque le chiffre de code est 4 selon l'OACI.

Toutefois, pour faciliter l'écoulement des eaux, la pente sur les trois premiers mètres à l'extérieur du bord de la piste, des accotements ou du prolongement d'arrêt devrait être négative, lorsqu'elle est mesurée en s'écartant de la piste, et peut atteindre 5 %.

Concernant la partie de la bande située au-delà de la portion qui doit être nivelée, les pentes transversales ne dépassent pas une valeur positive de 5 % mesurée en s'écartant de la piste.

Les dimensions pour lesquelles on a opté sont résumé dans le tableau suivant :

Tableau VI.1 dimensions bande de piste

Longueur	Largeur	Nivellement	Pentes
60 m s'étendent en amont du seuil et au-delà de l'extrémité du prolongement d'arrêt	150 m de part et d'autre de l'axe de la piste et du prolongement de cet axe	75m à partir de l'axe nivelés et aménagés (couche de 30 cm de tuf compactée)	Portion nivelée aménagée -2% Portion dégagée 5%

VI.8 Prolongement occasionnellement roulable :

Le prolongement occasionnellement rouable (P.O.R) est une aire de sécurité, qui est destinée principalement à réduire les risques de dommages matériels au cas où un avion atterrirait trop court ou dépasserait l'extrémité de la piste, il est composé par Le prolongement dégagé et le prolongement d'arrêt.

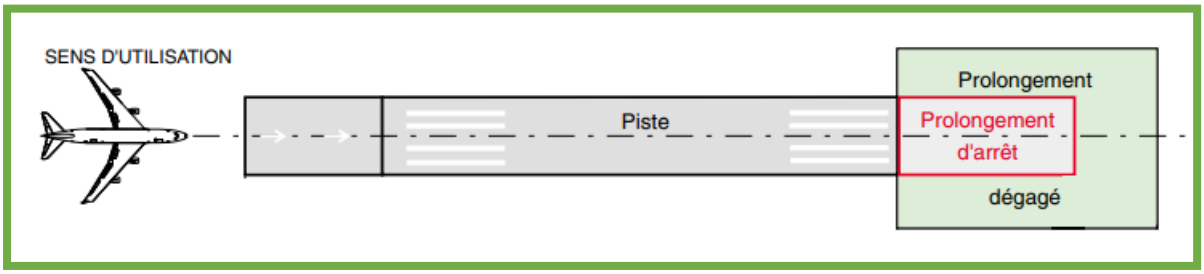


Figure VI.5 : Piste et son P.O.R.

❖ Prolongements d'arrêt (Stopway SWY) :

Une partie de terrain coaxiale à la piste d'envol, adjacente à l'une de ses extrémités, de même largeur que celle de la piste, est aménagée de façon à permettre à un aéronef roulant a sol et venant à dépasser occasionnellement l'extrémité de la piste en fin d'une manœuvre de décollage interrompu, dite accélération-arrêt, de pouvoir le faire sans subir de dommages.

Pour des raisons de sécurité on opte pour la réalisation d'un prolongement d'arrêt a chaque une des extrémités de la piste, les dimensions de ce prolongement sont indiquées dans le tableau suivant :

Tableau VI.2 dimensions prolongment d'arrêt

Tableau VI.3 Longueur	Largeur	Pentes
60 m	45 m (même largeur que la piste)	Conforme aux spécifications applicables à la piste.

L'application des limitations de pentes de 0,8% sur le premier et dernier quart de la longueur n'est pas nécessaire, le changement de pente maximal peut atteindre 0,3% par 30m (rayon de courbure minimal en profil en long sera de 10000m) pour le chiffre de code 4.

Les Prolongements d'arrêt comprendront des accotements et des bandes similaires à ceux de la piste.

❖ Prolongements dégagés (Clearway CWY) :

C'est une partie du terrain coaxiale à la piste, adjacente à l'une de ses extrémités, incorporant le prolongement d'arrêt et ne présentant aucun obstacle pouvant constituer un danger pour un aéronef volant à faible hauteur en fin de manouvre de décollage.

D'après l'O.A.C.I il est recommandé que :

- Le prolongement dégagé commence à l'extrémité de la longueur de roulement utilisable au décollage,
- Que le prolongement dégagé s'étende latéralement sur une largeur de 75 m au moins de part et d'autre du prolongement de l'axe de la piste,
- Dans les prolongements dégagés, aucun point du sol ne fasse saillie au-dessus d'un plan incliné ayant une pente de 1,25 %.

VI.9 Aire de sécurité d'extrémité de piste (RESA) :

Les comptes rendus d'accident/incident de l'OACI montrent que les aéronefs qui atterrissent trop court ou trop long subissent d'importants dommages. Afin de les réduire, il est jugé nécessaire d'aménager une aire supplémentaire au-delà des extrémités de la bande de piste. Ces aires, appelées aires de sécurité d'extrémité de piste RESA, devraient pouvoir résister de façon appropriée à tout aéronef qui atterrirait trop court ou trop long ; elles devraient être libres de tout équipement et de toute installation non frangible.

Selon L'OACI une aire de sécurité d'extrémité de piste doit être aménagée à chaque extrémité de la bande de piste sur une distance d'au moins **90 m** lorsque le chiffre de code est 4.

Pour des raisons de sécurité et suivant les recommandations de l'OACI on opte pour une aire de sécurité d'extrémité de piste **de longueur 90 m**.

L'aire de sécurité d'extrémité de piste doit avoir au moins deux fois plus large que la piste correspondante, ainsi il est recommandé que la largeur de l'aire de sécurité d'extrémité de piste soit dans la mesure du possible égale à celle de la partie nivelée de la bande de piste correspondante ;

Suivant les recommandations on opte pour une aire de sécurité d'extrémité de piste **de largeur de 90 m**.

D'une part Il est recommandé qu'une aire de sécurité d'extrémité de piste présente une surface dégagée et nivelée pour les avions auxquels la piste est destinée, en prévision du cas où un avion atterrirait trop court ou dépasserait la piste.

D'autre part Il est recommandé que l'aire de sécurité d'extrémité de piste soit aménagée ou construite de manière à réduire les risques de dommages pour un avion qui atterrirait trop court ou dépasserait la piste, à améliorer la décélération de l'avion et à faciliter les déplacements des véhicules de sauvetage et d'incendie

Concernant les pentes longitudinales et transversales d'extrémité de piste Il est recommandé que ces dernières ne dépassent pas une valeur négative de 5 %. De plus Il est recommandé que les changements de pente soient aussi progressifs que cela est pratiquement possible et qu'il n'y ait ni changements brusques ni inversions soudaines.

On opte pour une pente de **-5%**

Les dimensions pour lesquelles on a opté sont résumé dans le tableau suivant :

Tableau VI.4 dimensions RESA

Longueur	Largeur	Pente	Emplacement
90m.	**90 m**	**-5%**	**À chacune extrémité de la bande de piste**

Tableau VI.5 Tableau récapitulatif sur la largeur de la chaussé et ses aménagements complémentaires

Elément	Chaussée	Accotement	Bande nivelée et compactée	Bande dégagée	SWY	RESA
Largeur de part et d'autre de l'axe de piste (m)	**22.5**	**7.5**	**75**	**75**	**22.5**	**150**
Pente transversale (%)	**-1**	**-1.5**	**-2**	**5**	**-1**	**-5**

VI.10 Voie de circulation :

Les voies de circulation permettent aux avions de se déplacer entre le poste de stationnement et la piste rapidement et en toute sécurité.

L'OACI recommande que voie de circulation soit conçue de manière que lorsque le poste de pilotage de l'avion auquel elle est destinée reste à la verticale des marques axiales, la marge entre les roues extérieures de l'atterrisseur principal de l'avion et le bord de la voie de circulation ne sera pas inférieure à **3 m** si la voie de circulation est destinée à des avions dont l'empattement est inférieur à 18m, lorsque la lettre de code est C.

VI.10.1 Largeur de la voie de circulation :

Il est recommandé par l'OACI que la largeur d'une partie rectiligne de voie de circulation ne soit pas inférieure à **15 m** lorsque la lettre de code est C.

Pour des raisons de sécurité l'aérodrome de Bou Saada sera doté d'une voie de circulation de **25 m** de largeur.

VI.10.2 Pentes longitudinales de la voie de circulation :

Il est recommandé que la pente longitudinale d'une voie de circulation n'excède pas **1,5 %** lorsque la lettre de code est **C**.

VI.10.3 Changements de pentes longitudinales :

Il est recommandé lorsqu'il est impossible d'éviter les changements de pente d'une voie de circulation de réaliser le passage d'une pente à une autre par des surfaces curvilignes le long desquelles la pente ne varie pas de plus de **1 % par 30 m** (rayon de courbure minimal de 3 000 m) lorsque la lettre de code est **C**.

VI.10.4 Pentes transversales :

Il est recommandé que les pentes transversales d'une voie de circulation soient suffisantes pour éviter l'accumulation des eaux sur la chaussée mais n'excèdent pas **1.5%** lorsque la lettre de code est **C**.

VI.10.5 Distances minimales de séparation pour les voies de circulation :

Il est recommandé que distance entre l'axe d'une voie de circulation et l'axe d'une piste ne soit pas inférieure à 158 m pour une piste de code **4C exploitée aux instruments.**

VI.10.6 Accotement de voie de circulation :

L'OACI recommande que les portions rectilignes d'une voie de circulation, lorsque la lettre de code est C, soient dotées d'accotements qui s'étendent symétriquement de part et d'autre de la voie de telle manière que la largeur totale des portions rectilignes de la voie de circulation et de ses accotements ne soit pas inférieure à 25 m lorsque la lettre de code est C.

Donc dans le cas de l'aérodrome étudier la largeur envisager pour les accotements est 7.**5m** de part et d'autre de la piste, puisque l'avion de référence est un avion a turbomachines ces accotements devrait être traitée de manière à résister à l'érosion et à éviter l'ingestion des matériaux de surface par les moteurs des avions.

VI.10.7 Bandes de voie de circulation :

D'après l'OACI une voie de circulation sera comprise dans une bande, sauf s'il s'agit d'une voie d'accès de poste de stationnement d'aéronef.

L'OACI recommande que :

- La bande de voie de circulation s'étende symétriquement de part et d'autre de l'axe de celle-ci, sur toute la longueur de cette voie, jusqu'à une distance de l'axe au moins égale à **26 m** lorsque la lettre de code est C.
- La bande de voie de circulation présente une aire exempte d'objets susceptibles de constituer un danger pour les avions qui l'empruntent.
- La partie centrale d'une bande de voie de circulation présente une aire nivelée jusqu'à une distance de l'axe de la voie de circulation qui n'est pas inférieure à **12,5m** lorsque la lettre de code est C.
- La surface de la bande soit de niveau avec les bords des accotements et que la pente transversale montante supérieure de sa partie nivelée ne dépasse pas **2,5 %** lorsque la lettre de code est C.
- La pente transversale montante ou descendante de toute partie d'une bande de voie de circulation située au-delà de la partie qui doit être nivelée ne dépasse pas **5 %** dans la direction perpendiculaire à la voie de circulation.

On opte pour une bande de **6m** de largeur de chaque coté de la voie de circulation.

VI.10.8 Resistance de la voie de circulation :

Il est recommandé d'après l'OACI que la résistance d'une voie de circulation soit au moins égale à celle de la piste qu'elle dessert, compte tenu du fait que la densité de la circulation est plus grande sur une voie de circulation que sur une piste et de ce que les avions immobiles ou animés d'un mouvement lent créent sur cette voie des contraintes plus élevées que sur la piste desservie.

VI.10.9 Surface des voies de circulation :

L'OACI recommande que :

- La surface des voies de circulation ne présente pas d'irrégularités de nature à endommager la structure des avions.
- Construire ou de refaire la surface des voies de circulation en dur de manière à ce qu'elle offre des caractéristiques de frottement appropriées.

VI.10.10 Jonction et intersections :

Selon l'OACI il est recommandé d'aménager des congés de raccordement aux jonctions et intersections des voies de circulation avec des pistes, des aires de trafic et d'autres voies de circulation. La conception doit se faire tout en respectant les marges minimales entre les roues et le bord de la voie de circulation qui est de 3m lorsque la lettre de code est C.

Pour des raisons de sécurité on opte pour un rayon de **50 m** dans le cas de l'aérodrome de Bou Saada.

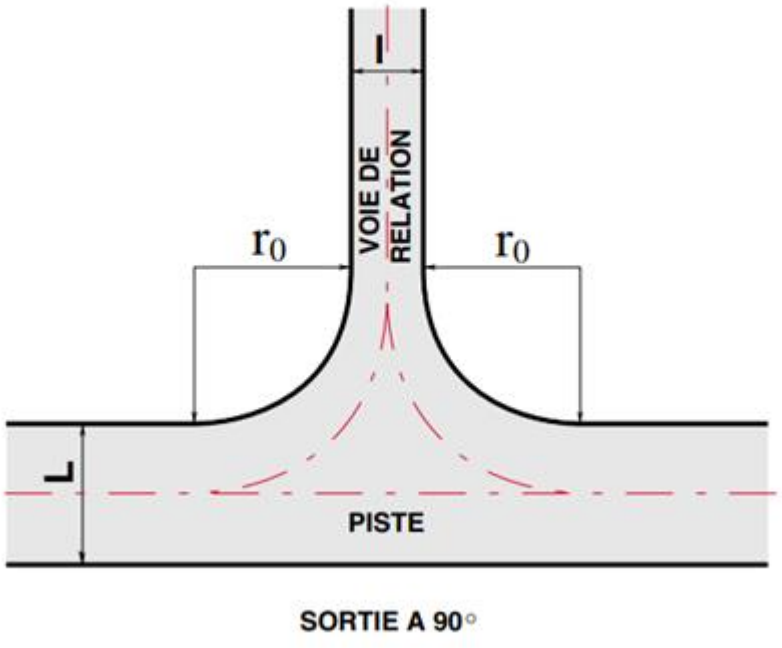


Figure VI.6 Sortie a 90°.

VI.10.11 Virages de voies de circulation :

L'OACI recommande de minimiser au maximum les changements de direction sur les voies de circulation. Les rayons de virage devraient être compatibles avec les possibilités de manœuvre et les vitesses normales de circulation des avions auxquels la voie de circulation est destinée.

Les virages devraient être conçus de telle façon que, lorsque le poste de pilotage des avions reste à la verticale des marques axiales de la voie de circulation, la marge minimale entre les roues extérieures de l'atterrisseur principal de l'avion et le bord de la voie de circulation ne soit pas inférieure 3m pour des avions dont l'empattement est inférieur à 18 m et dont la lettre de code est C ce qui est le cas pour le Boeing 737-800.

On opte pour un rayon extérieur de **62.5m**.

VI.11 Voies de sortie rapide :

L'OACI recommande lorsque le chiffre de code est 4 que la voie de sortie rapide soit conçue avec une courbe de dégagement de rayon au moins égal à 550 m pour permettre des vitesses de sortie sur chaussée mouillée de 93 km/h.

Ainsi l'OACI recommande que :

- Le rayon de la courbe de raccordement intérieur d'une voie de sortie rapide soit suffisant pour assurer un évasement de la voie de sortie qui permette de reconnaître plus facilement l'entrée et le point de dégagement vers la voie de circulation.
- Une voie de sortie rapide comporte, après la courbe de dégagement, une section rectiligne d'une longueur suffisante pour permettre aux avions qui dégagent la piste de s'immobiliser complètement avant toute intersection avec une autre voie de circulation.
- L'angle d'intersection d'une voie de sortie rapide avec la piste ne soit pas supérieur à 45°, ni inférieur à 25°, et qu'il soit, de préférence, de 30°.

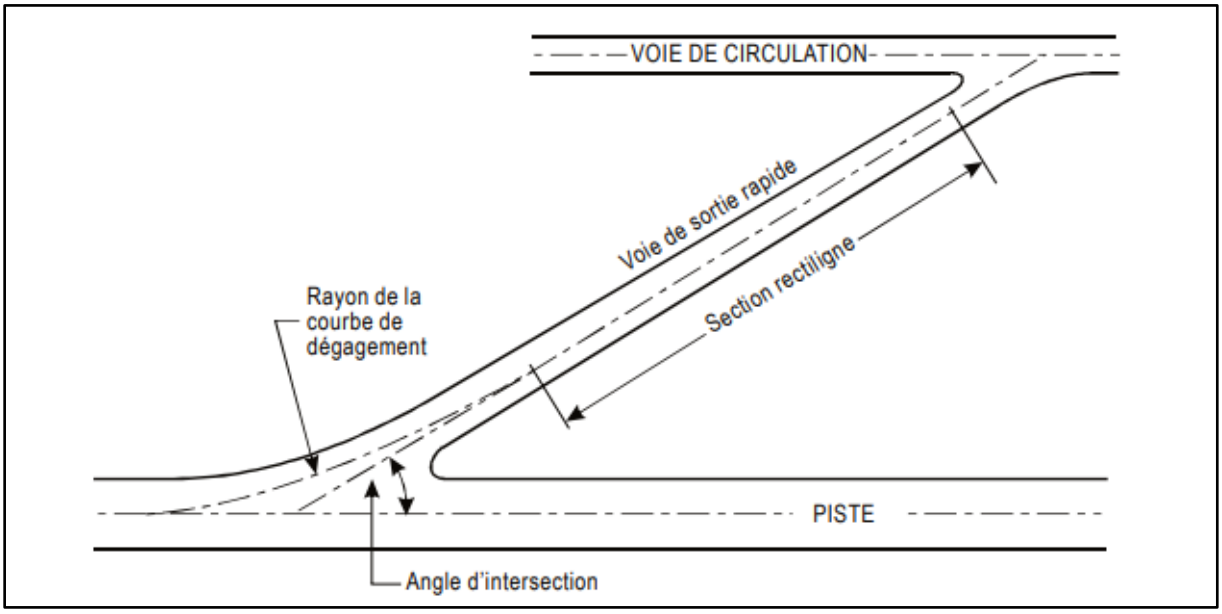


Figure VI.7 Voie de sortie rapide.

Calcule de l'emplacement de la voie de sortie rapide :

La détermination de l'emplacement optimal de la voie de sortie rapide est une tâche complexe vu la multitude des critères à prendre en considération. Cet emplacement est lié à plusieurs facteurs :

- La distance du seuil de la piste au point de toucher des roues, cette distance est évaluée que de façon statique ;
- La distance de roulement à l'atterrissage, nécessaire à la réduction de la vitesse à une valeur résiduelle compatible avec le début de virage, elle peut être calculé à partir de : La vitesse au toucher des roues et la vitesse de sortie requise ;
- La distance entre le début du virage sur l'axe de la piste et l'axe de sortie, elle est calculée en fonction du rayon de virage adopté.

Ces distances dépendent également des conditions locales tel que la pente de la piste, la température et l'altitude de l'aérodrome ainsi que du type d'avion, la vitesse d'approche, le mode de pilotage, la vitesse et la direction du vent.

Pour simplifier la détermination de l'emplacement de la sortie rapide, il est possible de faire un certain nombre d'hypothèses.

Le manuel de conception des aérodromes a regroupé les avions en quatre groupes en fonction de leurs vitesses au toucher des roues, ou le Boeing 737 figure dans le groupe c avec vitesse comprise entre 224 km/h (121noeuds) et 259 km/h (140noeuds)

La vitesse de sortie des avions a été fixée à 93 km/h (25.83 m/s) pour notre projet.

Données statistiques :

Il a été constaté que la distance moyenne entre le seuil et le point de toucher des roues est de 500 m pour les avions du groupe c.

La distance entre le point de toucher des roues et le point ou la vitesse de sorties est atteinte peut être calculé à la formule suivante :

$$D= \frac{(S1^2-S2^2)}{2a}$$

S1 : vitesse de toucher des roues en m/s

S2 : vitesse de sortie en m/s

a : décélération (1.5m/s)

Application numérique :

La vitesse au toucher des roues sera de 250 km/h=69.44m/s

$$D= \frac{(69.44^2-25.83^2)}{2x1.5}=1385 \text{ m}$$

Donc la distance finale est 1385m.

Pour des raisons de sécurité on opte pour un emplacement de **2000m.**

VI.12 Aire de trafic :

Afin d'éviter que les opérations d'embarquement et de débarquement des passagers, des marchandises et de la poste ainsi que les opérations de petit entretien ne gênent la circulation d'aérodrome Il est recommandé d'après l'OACI que les aérodromes soient dotés d'aires de trafic.

IL est conseillé que l'aire de trafic soit dimensionnée d'une manière qui permet l'acheminement rapide de la circulation d'aérodrome aux périodes de densité maximale prévue.

Ainsi qu'il recommandé que la surface de l'aire de trafic soit capable de supporter la circulation des aéronefs pour lesquels elle a été prévue, compte tenu du fait que certaines parties de l'aire de trafic seront soumises à une plus forte densité de circulation et de ce que des aéronefs immobiles ou animés d'un mouvement lent créent des contraintes plus élevées que sur une piste.

Concernant les pentes de l'aire de trafic l'OACI préconise que, les pentes soient suffisantes pour empêcher l'accumulation d'eau à la surface de l'aire mais que l'aire reste aussi voisine de l'horizontale, tandis que pour les postes de stationnement d'aéronef la pente n'excède pas le 1%.

Il est recommandé qu'un poste de stationnement d'aéronef assure un dégagement minimal de 4.5m entre un aéronef qui entre dans le poste ou qui en sort et toute construction voisine ou tout aéronef stationné sur un autre poste et tout autre objet lorsque la lettre de code est C.

VI.13 AIRE DE STATIONEMENT :

Extension du parking avions civil de 100m x 110m avec renforcement du parking existant dimensions finale 300 x 110m

Chapitre 07

Etude géotechnique

VII Etude géotechnique :

VII.1 Introduction :

La bonne connaissance des caractéristiques physique et mécaniques du sol concerné par la réalisation fait partie des facteurs clés du bon déroulement des différentes partie de la vie du projet, en permettant un dimensionnement optimisé et une meilleure sélection de matériaux en phase d'étude ainsi qu'un déroulement des travaux avec des risques minimalisés pendant la réalisation.

VII.2 But de l'étude géotechnique :

L'étude géotechnique a pour but de participer à la résolution des différents problèmes dans différentes étapes du projet il s'agit des problèmes liés :

- Au terrassement (l'exécution réutilisation des matériaux) ;
- A la stabilité des ouvrages (talus de déblais, remblais de grande hauteur) ;
- Aux emprunts de matériaux (source de matériaux).

Elle permet aussi de fournir des renseignements sur différentes couches du sols en termes de composition et localisation, ainsi que les caractéristiques mécaniques et physiques du sol support.

VII.3 Moyens d'investigation :

Le programme de reconnaissance géotechnique est élaboré par la Société Algérienne d'Etude d'Infrastructure (SAETI) et il est réalisé par un laboratoire des travaux publics ce programme comporte des essais in-situ et des essais au laboratoire.

VII.3.1 Essais in-situ :

VII.3.1.1 Puits de reconnaissance :

Des puits de reconnaissance d'une profondeur qui varie entre 0.2m et 3.30 m ont été réalisés sur site en utilisant la pelle mécanique. Le programme géotechnique prévoit la réalisation de 30 puits, les résultats de l'essai sont représentés en annexe.

VII.3.2 Essais au laboratoire :

VII.3.2.1 Essais physiques d'identifications :

VII.3.2.1.1 Analyse granulométrique par tamisage :

Définition :

C'est l'ensemble des opérations aboutissant à la séparation selon leur grosseur des éléments constituant un échantillon, en employant des tamis a maille carrée afin d'obtenir une représentation de la repartions de la masse des particules à l'état sec en fonction de leur dimension.

On distingue par le mot granulats les grains minéraux de dimensions comprise entre 0 et 125mm.

L'essai contribue à apprécier les qualités drainantes et la sensibilité à l'eau des matériaux ainsi que leur aptitude au compactage.

La séparation est réalisée par le billet d'une série de tamis de diamètre différent, la masse des refus est représentée en pourcentage par rapport à la masse initiale. Ces pourcentages sont représentés dans une courbe a échelle logarithmique en abscisse dite courbe granulométrique.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau VII.1 Résultats des essais granulométriques

Puits N°	Profondeur(m)	P % < 2 mm	% < 80 µ	% < 4 µ
01	1.50-2.50	76.00	42.00	**19**
03	1.00-2.50	49.00	/	/
04	0.80-2.80	32.00	5.00	/
06	0.20-2.80	33.00	5.00	/
08	0.50-3.00	26.00	2.00	/
10	2.10-2.90	32.00	7.00	/
12	1.20-2.50	27.00	3.00	/
14	0.50-2.60	25.00	2.00	/
16	0.50-2.60	21.00	1.00	/
19	0.60-1.20	40.00	3.00	/
21	1.20-2.10	48.00	5.00	/
23	0.00-3.20	99.00	28.00	/
27	1.10-2.60	99.00	38.00	/
28	0.80-2.60	99.00	40.00	/
30	**0.60-2.50**	**84.00**	**21.00**	/

VII.3.2.1.2 Limites d'Atterberg :

La consistance d'un sol peut varier en fonction de sa teneur en eau, lorsque cette dernière change l'état physiques du sol change, l'augmentation de la teneur en eau d'un sol engendre que ce sol passe successivement de l'état solide à l'état plastique puis à l'état liquide.

Les seuils de passage entre les précédents états sont des consistantes physiques conventionnelles (teneur en eau pondérale) appelées les limites d'Atterberg tels que :

-Le seuil de passage d'un sol de l'état liquide à l'état plastique est appelé limite de liquidité W_L.

- Le seuil de passage d'un sol de l'état plastique à l'état solide est appelé limite de plasticité W_p.

Les limites d'ATTERBERG sont utilisées afin de déterminer la classification des sols (déterminer l'argilosité du sol), elles sont déterminées uniquement pour les éléments fins d'un sol (fraction passant au tamis de 400 µm), car ce sont les seuls éléments sur lesquels l'eau agit en modifiant la consistance du sol.

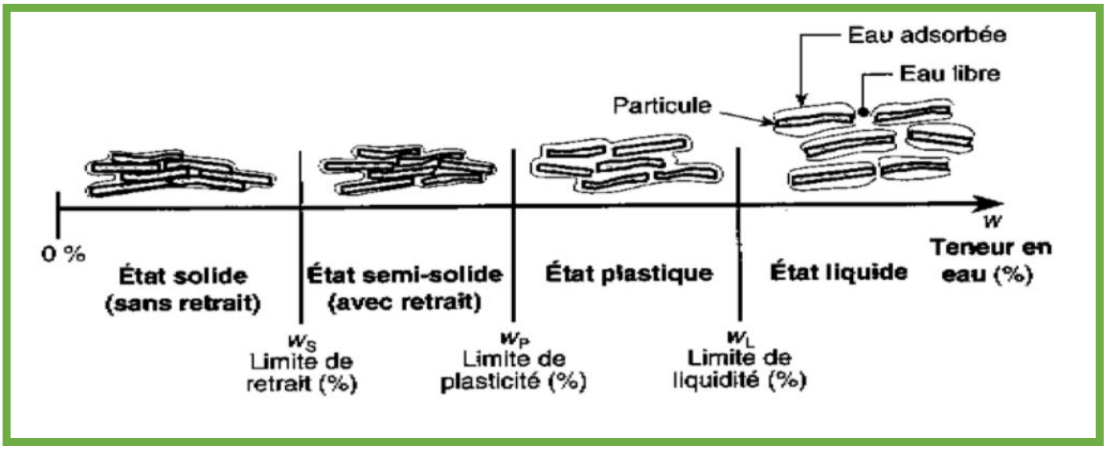


Figure VII.1 Limites d'atterberg.

L'indice de plasticité I_P est un élément qui définit l'étendue du domaine plastique, il correspond à la différence entre la limite de liquidité et la limite de plasticité :

$$I_p = W_L - W_P$$

La valeur de l'indice de plasticité est proportionnelle à la sensibilité du sol a l'eau.

Les résultats sont éxprimés dans le tableau ci-dessous

Tableau VII.2 Limite d'Atterberg

Puits N°	Profondeur	W_L	W_P	I_P	Interprétation des résultats
01	1.50-2.50	22.00	12.40	9.60	Sol faiblement argileux, peu plastique
03	1.00-2.50	22.00	12.49	9.51	Sol faiblement argileux, peu plastique
04	0.80-2.80	18.50	NM	NM	NM : non mesurable
23	0.00-3.20	29.00	11.74	17.26	Sol moyennement argileux, peu plastique
27	1.10-2.60	23.00	13.66	9.34	Sol faiblement argileux, peu plastique
28	0.80-2.60	26.00	12.74	13.26	Sol moyennement argileux, peu plastique

VII.3.2.1.3 Teneur en Carbone :

L'analyse chimique en teneur en carbone consiste à déterminer la nature minéralogique et de mesurer la teneur en carbonates « CaCo3 », en silices « SiO2 », en sulfates « sol », chlorures « Cl » et matières organiques. Les analyses chimiques sommaires ont donné les résultats suivants :

Tableau VII.3 Résultats des analyses chimiques

Puits N°	Profondeur	Les insolubles	Les carbonates	Les sulfates	Observations
1	1.50-2.50	75.88	18.92	Traces	Le sol étudié est **carbonaté non agressif.**
3	1.00-2.50	75.87	18.02	Traces	
4	0.80-2.80	75.87	18.02	Traces	
6	0.20-2.20	73.85	19.82	Traces	
8	0.50-3.00	64.12	29.73	Traces	
10	2.10-2.90	74.01	19.82	Traces	
12	1.20-2.50	73.89	19.82	Traces	
²	0.50-2.60	68.06	24.32	Traces	
16	0.50-2.60	50.26	44.19	Traces	
19	0.60-1.20	60.55	34.23	Traces	
21	1.20-2.10	57.33	36.04	Traces	
23	0.00-3.20	71.13	18.92	Traces	
27	1.10-2.60	65.63	23.42	Traces	
28	0.80-2.60	72.51	20.72	Traces	
30	0.60-2.50	66.22	27.03	Traces	

VII.3.2.1.4 Equivalent de sable :

L'équivalent de sable est un indicateur, utilisé en géotechnique, caractérisant la propreté d'un sable ou d'une grave. Il indique la teneur en éléments fins, d'origine essentiellement argileuse, végétale ou organique à la surface des grains.

Il permet de mesure la propreté dans un sol c'est-à-dire la proportion relative de sol fin et de sol grenu. Cet essai est important, car la présence d'éléments fins peut modifier le comportement de ces sols. Il est effectué sur les éléments de dimensions inférieures à 5 mm (fraction 0/5 mm du sol).

But de l'essai :

Le but de cet essai est de mettre en suspension les fines (particules <0.063 mm soit 63 µm) puis de les laisser se déposer au fond d'un tube transparent. La proportion de fines par rapport au reste de l'échantillon est alors mesurée puis calculée.

Le résultat est noté ES (équivalent de sable) et est proportionnel au sable propre : plus il est propre, plus ES s'approche de 100, à l'inverse plus il est sale, plus ES se rapproche de 0.

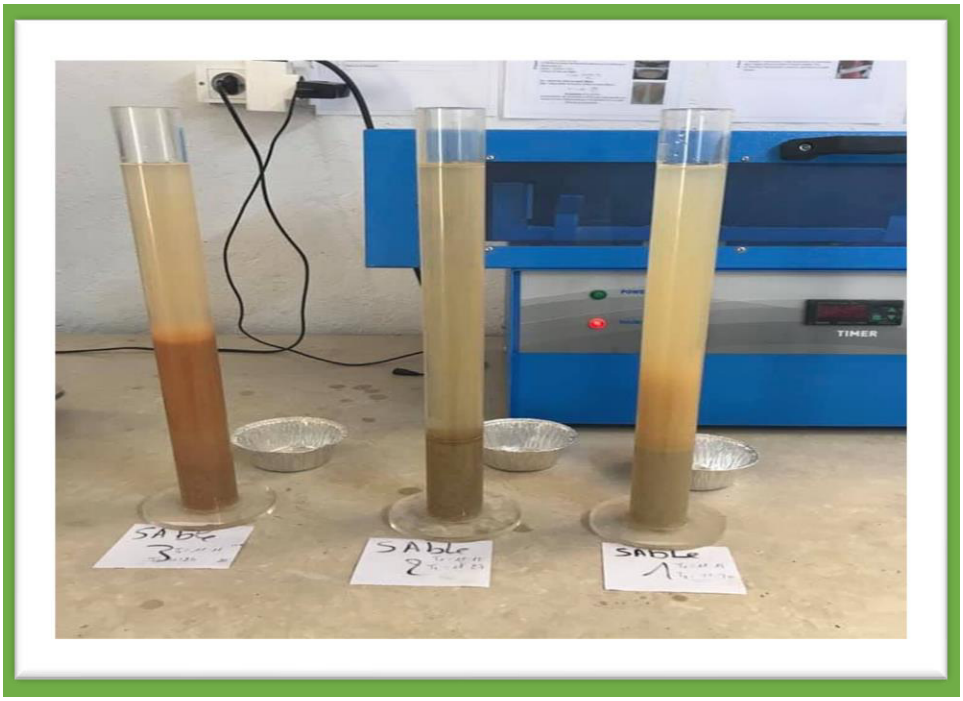


Figure VII.2 Equivalent de sable.

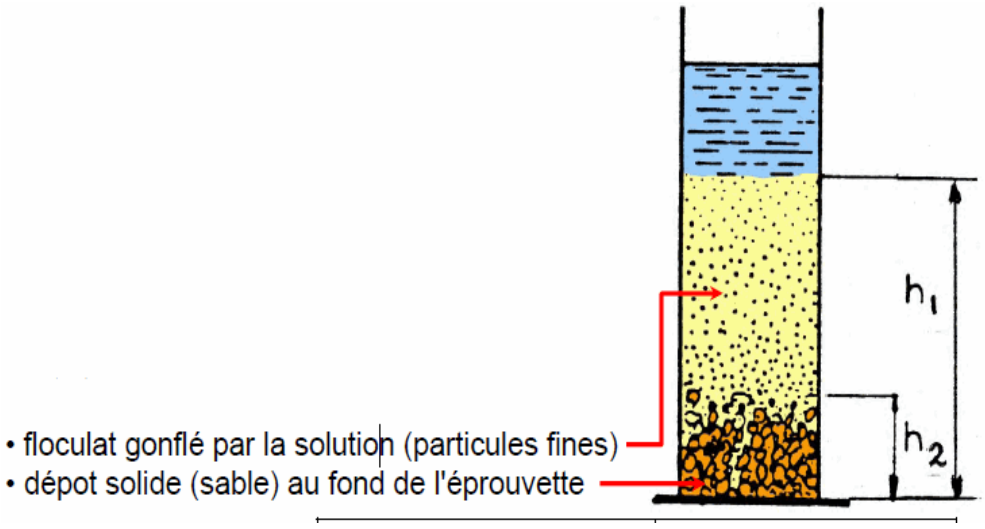


Figure VII.3 Equivalent de sable.

Tel que la formule de calcul de l'équivalent de sable est comme suit :

$$ES = \frac{h_1}{h_2 - h_1} \times 100$$

VII.3.2.2 Essais mécanique :

VII.3.2.2.1 Essai Proctor modifié :

L'essai Proctor a pour but de déterminer les conditions particulières en termes de teneur en eau et densité sèche pour lesquelles la compacité du sol est maximale et donc sa capacité de portance et elle aussi maximale.

Le principe de l'essai consiste à humidifier un sol à plusieurs teneurs en eau et à le compacter pour chacune des teneurs en eau selon un procédé et une énergie conventionnelle. Pour chacune des valeurs de teneur en eau considérée, on détermine la masse volumique sèche du sol ainsi on obtient les points de la courbe représentative des densités sèches en fonction des teneurs en eau (γd/γw ; ω), on trace alors la courbe en interpolant entre les points expérimentaux.

D'une manière générale, cette courbe appelée courbe Proctor présente une valeur maximale de la masse volumique sèche qui est obtenue pour une valeur particulière de la teneur en eau. Ce sont ces 2 valeurs qui sont appelées caractéristiques de compactage Proctor Modifié.

Le compactage dans l'essai Proctor modifie est effectué 5 couches successives d'environs 2.5 com d'épaisseur compactées avec une Dame modifiée, le nombre de coup sera tel que :

- 55 coups par couche pour le moule CBR,
- 25 coups par couche pour le moule Proctor.

Essai Proctor modifié correspond à un compactage maximum que l'on peut obtenir sur chantier pour le corps de chaussées des pistes d'aérodromes.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivants :

Tableau VII.4 Résultats de l'essai Proctor

Puits	01	03	04	06	08	10	12	14	16	19	21	23	27	28	30
ω_{opt}(%)	7.7	5.85	5	4.4	4.8	6.4	5.9	7.1	6	6.1	9.5	10.4	10.4	9.8	17.48
γ_{dopt}(t/m^3)	2.15	2.17	2.23	2.18	2.23	2.17	2.23	2.18	2.18	2.2	2.03	2.12	2.10	2.13	7.40

La courbe Proctor sera mis en annexe .

VII.3.2.2.2 Essai CBR (California Bearing Ratio) :

L'essai permet de déterminer la capacité de portance d'un sol compacté, en estimant sa résistance au poinçonnement, en fonction de son état, sa densité et son humidité, ainsi que les charges appliquées. Il mesure la résistance à l'effort tranchant d'un sol sous conditions d'humidité et de densité contrôlées et du niveau de compactage variable, en permettant d'obtenir un pourcentage du rapport de portance. Cet essai CBR est utilisé pour le dimensionnement des structures des chaussées et l'orientation des travaux de terrassements.

Cet essai est utilisé partout dans le monde pour :

- Déterminer l'épaisseur des couches de fondation.
- Établir une classification des sols.
- Permettre d'étudier la traficabilité.

Par définition cet indice est pris égal à la plus grande des deux valeurs suivantes :

$$\frac{Pression\ a\ 2.50mm\ d'enfoncement\ (en\ Mpa)}{0.7}$$

$$\frac{Pression\ a\ 5mm\ d'enfoncement\ (en\ Mpa)}{1.05}$$

On distingue deux types d'essais CBR en fonction des buts fixés :

- L'essai CBR immédiat : mesure de la résistance au poinçonnement d'un sol compacté à sa teneur en eau naturelle. Il caractérise l'aptitude du sol à permettre la circulation des engins de chantier directement sur sa surface lors des travaux dans les régions peu humides

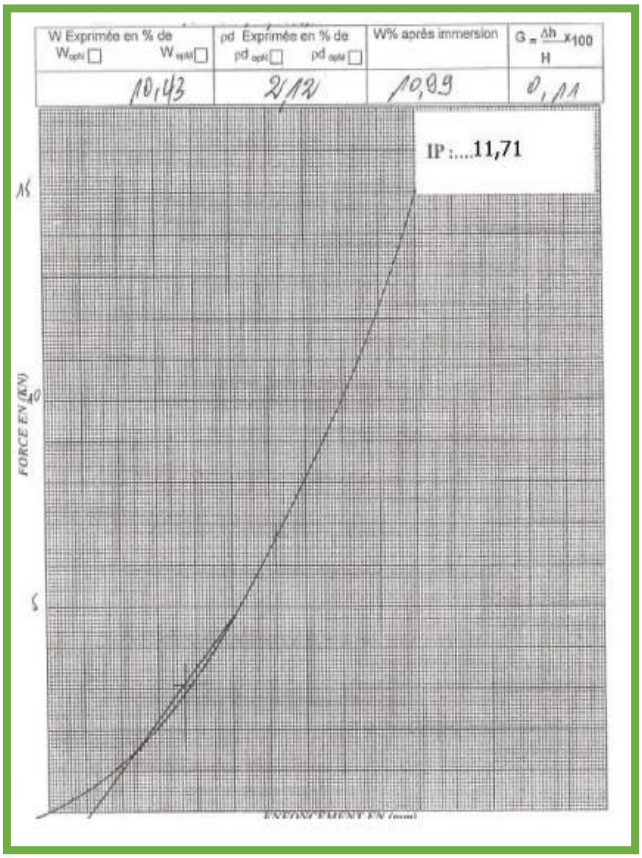


Figure VII.5 Indice CBR après immersion puit 23.

Courbe	Puit N°	Profondeur
7	23	0.00-320

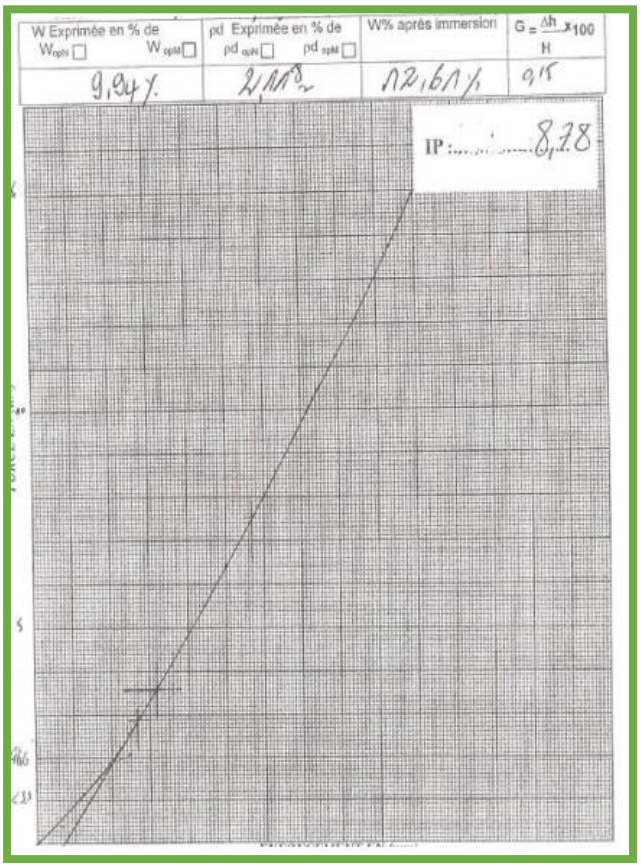


Figure VII.4 Indice CBR après immersion puit 27.

Courbe	Puit N°	Profondeur
8	27	1.10-2.60

- L'essai CBR imbibé : Mesure de la résistance au poinçonnement et caractérise l'évolution de la portance d'un sol compacté à différentes teneurs en eau puis immergé durant plusieurs jours (4 en général)

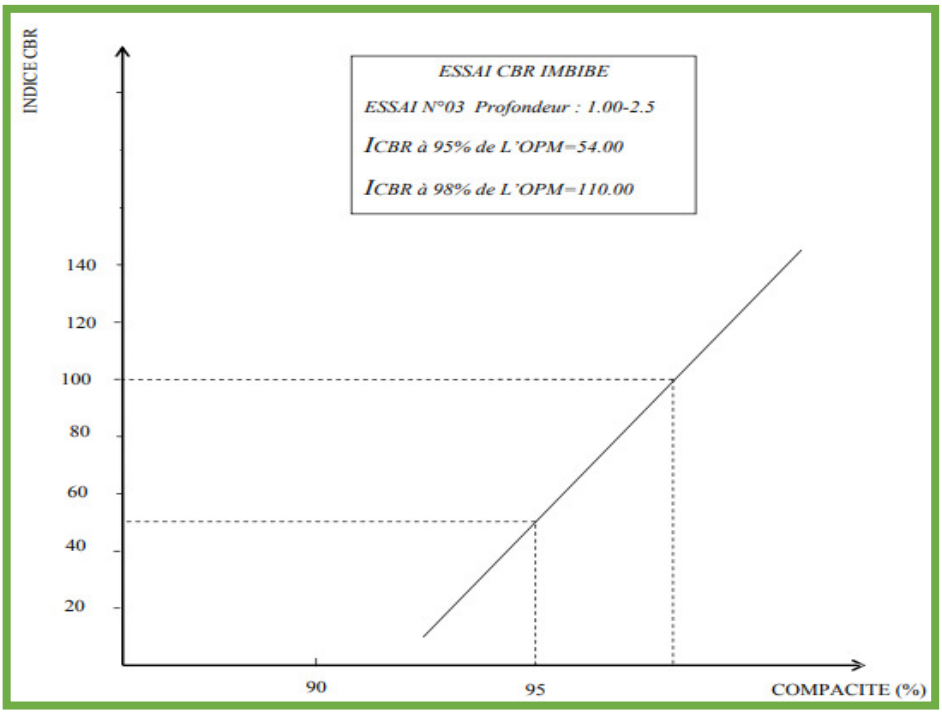


Figure VII.6 Résultats essai CBR imbibé.

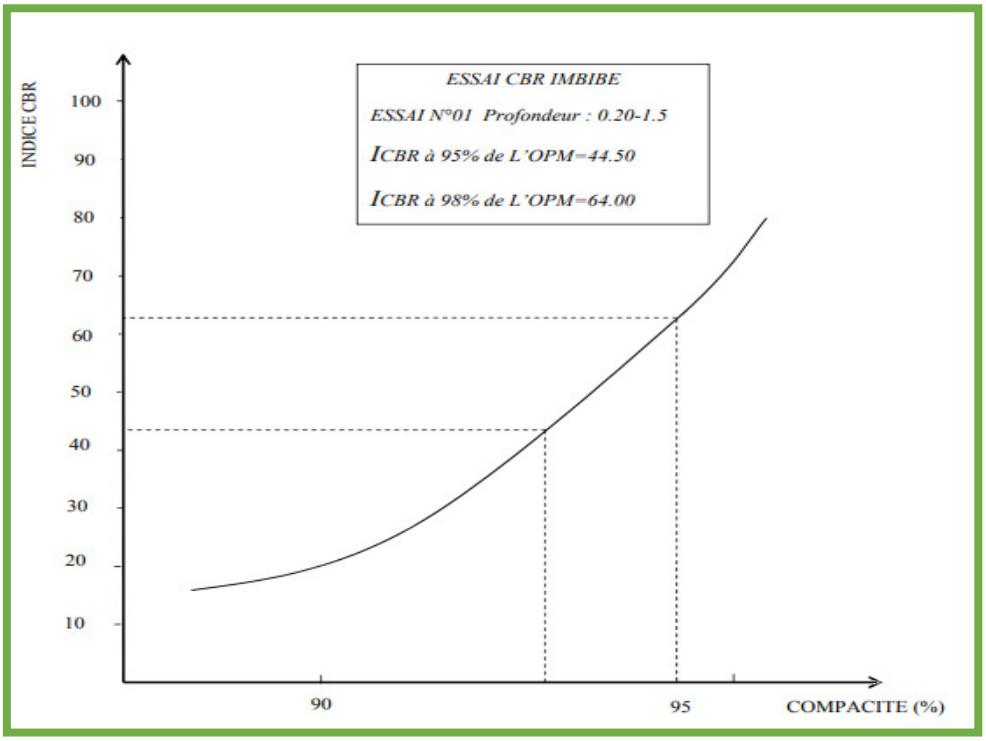


Figure VII.7 Résultats essai CBR imbibé.

VII.4 Interprétation des résultats :

En observant les coupes lithologiques des puits de reconnaissance on constate que le sol support se compose essentiellement d'alluvions gravelo-sableuses avec des gros galets qui reposent généralement sur une couche de sable fin, les tout est surmonté par une couche de terre végétale à la surface.

Le sol support présente une granulométrie étalée avec plus de 50 % de refus au tamis 80µ on peut le définir comme étant un sol grenu, avec 30 % à 90 % des éléments inférieure a 2mm.

Selon les résultats des limites d'Atterberg, les indices de plasticité (IP) varient entre 9% et 17%, tandis que les limites de liquidité (WL) varient entre 18% et 29%. Ces valeurs indiquent un sol peu plastique.

D'après les résultats précédents et selon le guide GTR on constate que le sol est classé B_4 (grave argileuse) avec quelque passage classé B_2 (sables argileux).

Par manque de données on n'a pas pu déterminer plus de détails sur les sous classes mais on Prend en hypothèse que le sol est valable pour les remblais.

L'analyse chimique montre un sol siliceux, moyennement carbonaté et non gypseux.

L'équivalent de sable nous informe de la présence de particules fines avec des résultats de ES variants entre 17% et 2%, mais qui ne représente pas de problème en termes de sensibilité du sol a l'eau vu les résultats des courbes Proctor présentent une forme aplatie avec densités sèches de l'ordre de 2.17 t/m3 a 2.23 t/m3 pour de teneurs en eau minimales de 4.4% à 6 % qui montre que c'est un sol dense insensible à l'eau.

Tandis que pour l'indice CBR, les essais ont donné de résultats généralement supérieurs à 20, à 95% et 98% de l'OMP, ce qui caractérise un sol de bonne portance.

VII.5 Conclusion :

Le rapport présent expose les résultats des essais en laboratoire et in-situ effectués sur le terrain du projet de la base aérienne située dans la région de Bou Saâda. Les investigations in-situ ont permis d'identifier un sol de type alluvionnaire sablo-graveleux. Ce sol étudié est grenu, faiblement argileux, peu plastique et non agressif. Cependant, les formations rencontrées ont été analysées et soumises à des essais en laboratoire.

Ce rapport présente les principales caractéristiques géotechniques nécessaires à l'étude et au dimensionnement de la nouvelle piste et de ses annexes.

Chapitre 08

Dimensionnement du corps de chaussée

VIII Dimensionnement du corps de chaussée :

VIII.1 Introduction :

Le présent chapitre a pour objet de dimensionner le corps de chaussée de l'aérodrome de Bou-Saada et d'aborder les différents types de chaussées aéronautiques, ainsi que les différentes méthodes de dimensionnement.

Les principes d'étude de chaussée d'aérodrome et de chaussée routière sont les mêmes. Cependant il existe quelques différences dans les caractéristiques des chaussées, puisque l'aérodrome constitue une grande chaussée par rapport à la route et aussi devant recevoir une charge plus importante ce qui implique une épaisseur plus importante.

VIII.2 Structures et type de chaussée aéronautique :

VIII.2.1 Les chaussées Rigides :

Les chaussées d'aérodrome utilisent des dalles de béton flexibles pour répartir les charges sur une grande surface du sol support. La rigidité des dalles protège le sol des contraintes mécaniques.

La dégradation de la chaussée se produit généralement au niveau des dalles, lorsque leur fatigue entraîne une perte de résistance à la déformation due au trafic.

VIII.2.2 Les Chaussée souple :

Elles sont composées généralement de couches de matériaux traités aux liants hydrocarbonés (matériaux bitumineux) qui reposent sur des couches de matériaux non traités.

Vulnérables là où les qualités mécaniques sont les plus faibles, ces chaussées sont destinées à périr non par usure de leurs constituants mais par rupture de leurs sols supports.

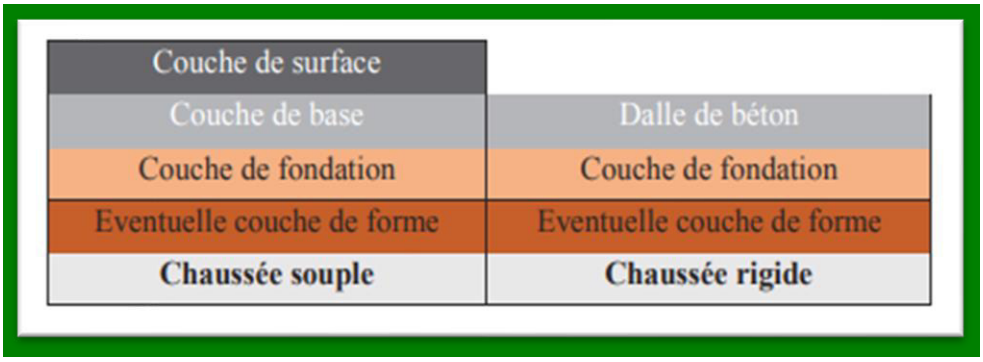


Figure VIII.1 Structures types du corps de chaussée.

VIII.3 Critères de choix du type de chaussée :

Le choix entre chaussée souple et chaussée rigide doit tenir compte :

- Des couts de construction et d'entretien.
- Des objectifs de gestion des chaussées.
- Des conditions locales d'approvisionnement en matériaux.
- Des délais de mise en œuvre.
- Des possibilités de phasage des travaux, de renforcement ultérieur.
- Du climat et des conditions météorologiques de la zone.

Tout en prenant en compte l'aspect technique qui nous préconisera de choisir une chaussée rigide où :

- Les risques de poinçonnement sont élevés (parking avions).
- Certains types d'avions militaires qui risquent de bruler les chaussées souples.

Tableau VIII.1 Avantages et inconveniants chaussée souple

	Avantages	Inconvenants
Chaussée souple	• Renforcement et répartitions très faciles. • Absence des joints.	• Entretien plus onéreux. • Mauvaise résistance aux carburants et souffle des propulseurs. • Fondation très importante.

Tableau VIII.2 Avantages et inconveniants chaussée rigide

	Avantages	Inconvenants
Chaussée rigide	• Dureté importante. • Bonne répartition des charges sur le sous-sol. • Imperméabilité et séchage rapide. • Moins de matériaux. • Entretien moins fréquent. • Bonne résistance aux carburants et souffle des propulseurs. • Meilleure visibilité due au teint clair.	• Faible élasticité. • Risque de fissuration. • Points faibles structurels au niveau des joints. • Entretien des joints relativement onéreux. • Répartition et renforcement difficiles.

VIII.3.1 Choix final :

Dans le cas de l'aérodrome de Bou Saada nous avons opté pour une chaussée souple pour la piste d'atterrissage et les différents instruments de l'aérodrome.

Ainsi que pour des raisons de fiabilité et de longévité les deux extrémités de piste aux niveaux du seuil 15 et 33 seront dimensionnés en chaussées rigide (300m x 45m pour chaque seuils).

VIII.4 Durée de vie des chaussées :

La durée de vie est définie comme étant la période pour laquelle la portance du revêtement est insuffisante pour supporter le trafic de l'année suivante sans dommage.

Pour l'aérodrome de Bou Saada la durée de vie des revêtements et de 10ans pour la partie souple et de 20ans pour les extrémités en rigide.

VIII.5 Dimensionnement des chaussées :

VIII.5.1 Caractéristiques utiles pour le dimensionnement des chaussée :

VIII.5.1.1 Masse et caractéristiques de l'avion critique :

Tableau VIII.3 VIII.4.1.1 Masse et caractéristiques du Boeing 737-800

Boeing 737-800	
Longueur	39.47 m
Envergure	34.32 m
Hauteur	12.55 m
Longueur hors train principal	7.0 m
Masse à vide	41 500 kg
Masse maximum au roulage	79 500 kg
Pression pneumatique	1.41 Mpa
Longueur de référence	2090 m
Centrage AR max (%)	46.77 (%)



VIII.5.1.2 Le type des atterrisseurs :

Le train d'atterrissage d'un avion est constitué d'un ensemble d'atterrisseurs, lui-même constitué d'un certain nombre de roues montées sur une jambe. Les atterrisseurs-types les plus répandus sont :

- Roue simple.
- Jumelage.
- Tandem.
- Boggie.

Les différentes configurations des trains d'atterrissage principaux sont données en annexe.

Le Boeing 737-800 adopte une répartition de type Jumelage se caractérisant par :

- Une distance (V) entre deux roues d'un même essieu 50 à 90cm.
- D'une masse supportée (M) de 5 à 40t.
- D'une pression de gonflage des pneumatiques de 0.6 à 1.2Mpa.

VIII.5.1.3 Répartition de la masse des atterrisseurs :

La transmission des charges dues au poids de l'avion vers la chaussée est assurée par les points de contact de l'avion avec la chaussée et qui sont les atterrisseurs avant et principaux. Cependant, les charges transmises par les atterrisseurs diffèrent entre l'atterrisseur avant et principal ce qui est dû à la position du centre de gravité.

Les atterrisseurs principaux reprennent une grande majorité des charges, pour le cas du Boeing 737-800 nous avons un centrage AR MAX de 46,77%.

La charge réelle à considérer dans les calculs est définit par la formule suivante :

$$P = M \times V$$

Avec :

M : Masse au roulage de l'avion.

V : Pourcentage de la masse supportée par chaque atterrisseur du train

VIII.5.1.4Trafic (Nombre de mouvements) :

Le trafic d'un aéroport est caractérisé par le nombre des mouvements d'avions qui le fréquentent. Un mouvement étant constitué par un décollage ou un atterrissage, un avion en escale engendre donc deux mouvements (deux passages sur l'infrastructure).

Dans les méthodes de dimensionnement, on considère que le nombre de mouvements lourds ne dépasse pas une dizaine par jour, soit :

N=10Mvt/Jour.

VIII.5.1.5Charges utilisées dans les calculs :

La masse des avions intervient dans les calculs sous forme d'une charge par atterrisseur. Avec les trains d'atterrissage des avions connus.

Les avions sollicitent les matériaux de chaussée avec des fréquences et des vitesses différentes suivant les aires. Lorsque l'avion est à l'arrêt (Parking), la sollicitation est plus forte que lorsqu'il circule à faible vitesse.

Chaque type d'Aire (pistes, voies de circulation, aire de stationnement, aires d'entretien, etc.) doit être dimensionné séparément pour tenir compte des conditions différentes de sollicitations. Pour cela, on utilise Un coefficient de pondération pour prendre en considération les différents cas de charges.

Tableau VIII.4 Coefficients d'équivalence des matériaux

Aire	Coefficient de pondération α
Piste et voie de sortie rapide	0.8
Parking	1.2
Bretelle et Taxiway	1
Prolongment d'arrêt	0.5
Accotement	0.7

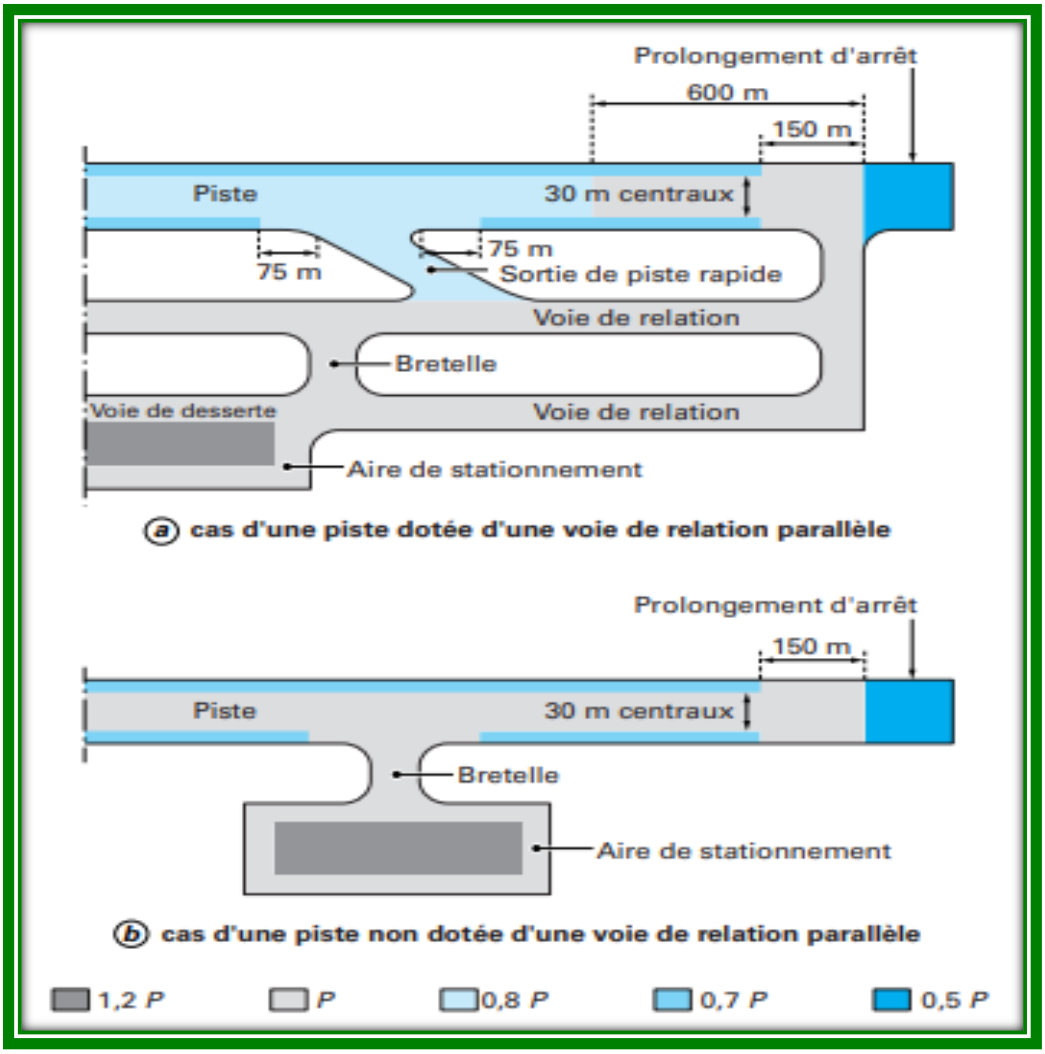


Figure VIII.2 Ponderation des charges réelles selon la fonction des aires.

VIII.5.2 Méthodes de dimensionnement des chaussées aéronautiques :

Il existe de différentes méthodes de dimensionnement des chaussées souple. Dans ce chapitre, nous nous réfèrerons à deux d'entre elles, à savoir :

VIII.5.2.1Méthode du dimensionnement forfaitaire :

Le dimensionnement forfaitaire d'une chaussée ne prend en compte que la charge de référence correspondant à la charge maximale de l'avion le plus contraignant destiné à fréquenter l'aérodrome.

Le dimensionnement est calculé dans des conditions de trafic normal, soit dix mouvements par jours pendant une période de dix ans de la charge de calcul.

VIII.5.2.2

VIII.5.2.3Méthode du dimensionnement optimisé :

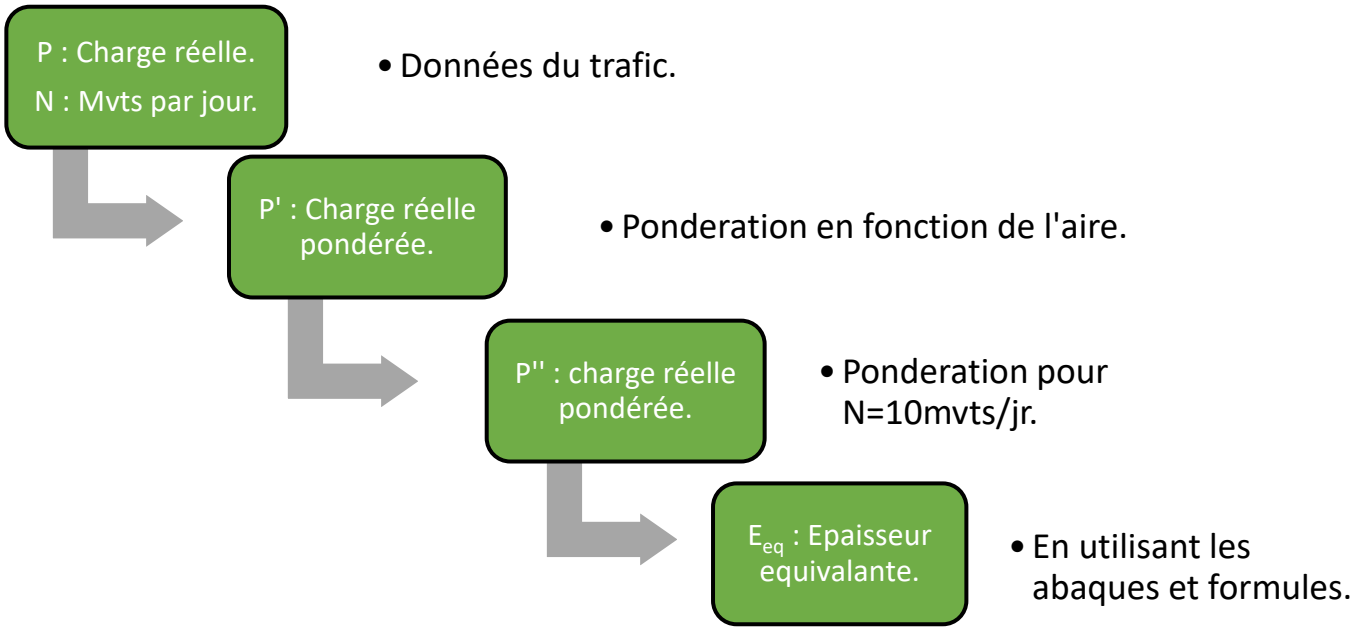
Le dimensionnement optimisé d'une chaussé prend en compte tous type d'avion devant produire un effet significatif sur la chaussée durant sa durée de vie.

Le dimensionnement optimisé se fait en fonction du nombre exact de mouvements réels de chaque avion pour la durée de vie envisagée.

Note :

Vu qu'on ne dispose pas de prévisions de trafic très fiable pour l'aérodrome de Bou Saâda et pour des raisons de simplicité et de commodité le dimensionnement de la chaussée n'est présenté dans ce chapitre qu'avec la méthode forfaitaire.

Cette méthode se résume par l'organigramme suivant :



VIII.5.3 Dimensionnement par la méthode forfaitaire :

Pour la détermination de l'épaisseur du corps de chaussée de la piste, nous avons utilisé la méthode empirique de dimensionnement dite « CBR ».

Le sol support est caractérisé par un CBR de 10.

- Avion critique Boeing 737-800
- Masse maximale au roulage M = 79500 kg
- Pression pneumatique q = 1.41 MPa
- Traffic n = 10 mouvements par jour pendant 10
- Centrage AR max V=46.77%.

$$P = M \times V = 37182.15\ Kg$$

VIII.5.3.1 Determination des épaisseurs équivalentes:

1) On doit d'abord déterminer des charges de calcul :

$$P' = P \times \alpha$$

Avec α: coefficient de pondération en fonction de l'aire considérée

- Piste et voie de sortie rapide : **α=0.8**

  P'= 29745.72 Kg

- Parking: **α= 1.2**

  P'= 44618,58 Kg

- Accotement: **α=0.7**

  P'=26027.505 Kg

- POR: **α=0.**

  P'= 18591.075 Kg

- Bretelle et Taxiway: **α=1**

  P'= 37182.15 Kg

2) Charge normale de calcul P'' :

$$P'' = \frac{P'}{1.2 - 0.2\ log\ (n)}$$

Dans notre cas n=10 implique que $P'' = P'$; Pour toutes les aires.

3) Épaisseurs équivalentes :

- Dans le cas de l'aérodrome de Bou Saada nous avons utilisé l'abaque des épaisseurs équivalentes (en annexe) pour le dimensionnement du corps de chaussée.

  Car selon … pour les avions de type moyen-long courrier comme dans notre cas (Boeing 737-800) il est recommandé d'utiliser les abaques pour le dimensionnement, contrairement aux petits avions de type (ATR ; BEECHCRAFT..etc) qui eux adoptent la loi ci-dessous pour calculer les épaisseur équivalentes du corps de chaussée.

$$E_{éq} = \sqrt{P'' \times (\frac{1}{0.57\ CBR} - \frac{1}{32\ q})}$$

❖ Piste et voie de sortie rapide :

$$E_{éq} = \mathbf{54\ cm}$$

❖ Parking :

$$E_{éq} = \mathbf{75\ cm}$$

❖ Accotement :

$$E_{éq} = \mathbf{47cm}$$

❖ Prolongement occasionnel d'arrêt:

$$E_{éq} = \mathbf{38cm}$$

❖ Bretelles et Taxiways:

$$E_{éq} = 60\mathbf{cm}$$

Tableau VIII.5 Tableau recapitulatif des épaisseurs équivalentes

Aires	**Charges normales de calcul P'' (kg)**	**Epaisseurs équivalentes totales (cm)**
Piste et voie de sortie rapide	29745.72	54
Parking	44618,58	75
Accotement	26027.505	47
Por	18591.075	38
Bretelles et Taxiways	37182.15	60

VIII.5.3.2Détermination des épaisseurs minimales des matériaux traités :

Une épaisseur suffisante de matériaux traités est nécessaire pour assurer un bon comportement des couches supérieures de la chaussée. L'abaque donné en annexe, permet de déterminer l'épaisseur équivalente minimale recommandée de matériaux traités en fonction de l'épaisseur équivalente totale e de la chaussée et de l'indice C.B.R. du sol support.

Tableau VIII.6 Tableau recapitulatif des épaisseurs minimales des matériaux traités

Aires	**Epaisseurs équivalentes totales (cm)**	**Epaisseurs minimales des matériaux traités (cm)**
Piste et voie de sortie rapide	54	28
Parking	75	38
Accotement	47	24
Por	38	19
Bretelles et Taxiways	60	31

VIII.5.3.3Les épaisseurs réelles des différentes couches et le choix de leurs structures :

Dans cette étape, on détermine les épaisseurs équivalentes des couches, les épaisseurs réelles des couches et en déduire l'épaisseur réelle de la chaussée considérée, à l'aide des coefficients d'équivalence.

❖ **Piste et voie de sortie rapide :**

On a E_{eq}=54cm avec E_t=28cm

Tableau VIII.7 Epaisseurs de la chaussée au niveau de la piste et des voie de sortie rapide

Piste + VSR			
Matériaux	Epaisseur réelle (cm)	Coefficient d'équivalence	Epaisseur équivalente (cm)
Béton bitumineux	6	2	12
Grave bitumineux	12	1.5	18
Grave Concassé	16	1	16
TUF	20	0.5	10
Total	54	-	56

6BB+12GB+16GC+20TUF

D'où la structure de chaussée de la piste et bretelle est constituée comme suit :

- Couche de roulement en béton bitumineux 0/14.
- Couche d'accrochage en émulsion cationique.
- Couche de base en grave bitume 0/20.
- Couche d'imprégnation en cutback 0/1.
- Couche Grave concassée bien graduée.
- Couche de Tuf.

Note : Pour améliorer la longévité de la chaussée en évitant les cisaillements entre les couches, une couche d'accrochage est prévue. Cette dernière est exécutée par l'épandage d'émulsion dosé à 0.3 kg/m3 de bitume résiduel pour empêcher et éliminer l'eau, et pour avoir une bonne adhésion entre la G.C et G.B, une couche d'imprégnation sera réalisée en bitume fluidifié 0/1 dosé à 1kg/m3.

❖ **Parking :**

On a E_{eq}=75cm avec E_t=38cm.

Tableau VIII.8 Epaisseurs de la chaussée au niveau du parking

Parking			
Matériaux	Epaisseur réelle (cm)	Coefficient d'équivalence	Epaisseur équivalente (cm)
Béton bitumineux	8	2	16
Grave bitumineux	15	1.5	22.5
Grave Concassé	20	1	20
TUF	35	0.5	17.5
Total	78	-	76

8BB+15GB+20GC+35TUF

D'où la structure de chaussée du parking est constituée comme suit :

- Couche de roulement en béton bitumineux 0/14.
- Couche d'accrochage en émulsion cationique.
- Couche de base en grave bitume 0/20.
- Couche d'imprégnation en cutback 0/1.
- Couche Grave concassée bien graduée.
- Couche de Tuf.

❖ **Accotement :**

On a E_{eq}=47cm avec E_t=24cm.

Tableau VIII.9 Epaisseurs de la chaussée au niveau des accotements

Accotement			
Matériaux	Epaisseur réelle (cm)	Coefficient d'équivalence	Epaisseur équivalente (cm)
Béton bitumineux	5	2	10
Grave bitumineux	12	1.5	18
Grave Concassé	15	1	15
TUF	20	0.5	10
Total	52	-	53

5BB+12GB+15GC+20TUF

D'où la structure de chaussée des accotements est constituée comme suit :

- Couche de roulement en béton bitumineux 0/14.
- Couche d'accrochage en émulsion cationique.
- Couche de base en grave bitume 0/20.
- Couche d'imprégnation en cutback 0/1.
- Couche Grave concassée bien graduée.
- Couche de Tuf.

❖ **POR :**

On a E_{eq}=38cm avec E_t=16cm.

Tableau VIII.10 Epaisseurs de la chaussée au niveau des P.O.R

POR			
Matériaux	Epaisseur réelle (cm)	Coefficient d'équivalence	Epaisseur équivalente (cm)
Béton bitumineux	8	2	16
Grave Concassée	15	1	15
TUF	20	0.5	10
Total	43	-	41

8BB+15GC+20TUF

D'où la structure de chaussée du POR est constituée comme suit :

- Couche de roulement en béton bitumineux 0/14.
- Couche d'imprégnation en cutback 0/1.
- Couche Grave concassée bien graduée.
- Couche de Tuf.

❖ **Bretelles et taxiways :**

On a E_{eq}=60cm avec E_t=31cm.

Tableau VIII.11 Epaisseurs de la chaussée au niveau des voies de circulations et bretelles

Bretelles + Taxiways			
Matériaux	Epaisseur réelle (cm)	Coefficient d'équivalence	Epaisseur équivalente (cm)
Béton bitumineux	7	2	14
Grave bitumineux	12	1.5	18
Grave Concassée	15	1	15
TUF	28	0.5	14
Total	62	-	61

7BB+12GB+15GC+28TUF

D'où la structure de chaussée des bretelles et taxiways est constituée comme suit :

- Couche de roulement en béton bitumineux 0/14.
- Couche d'accrochage en émulsion cationique.
- Couche de base en grave bitume 0/20.
- Couche d'imprégnation en cutback 0/1.
- Couche Grave concassée bien graduée.
- Couche de Tuf.

VIII.6 Conclusion :

Le dimensionnement de la chaussée de l'aérodrome de Bou Saada implique de calculer l'épaisseur totale équivalente du corps de la chaussée, puis de la convertir en épaisseurs réelles en utilisant des coefficients d'équivalence. Ces épaisseurs réelles constituent la chaussée elle-même, dont le rôle est de supporter les diverses contraintes auxquelles elle sera exposée pendant toute sa durée de vie.

Chapitre 09

Calcul des charges admissibles

IX Calcul des charges admissibles :

IX.1 Introduction :

La détermination des charges admissibles pour les chaussées existantes constitue le problème réciproque de dimensionnement. De ce fait, trois types de questions se regroupent sous ce titre :

- Pour une chaussée considérée, comment publier des renseignements sur sa portance en fonction de ses caractéristiques ?
- Inversement, à partir de ces renseignements comment en déduire la charge admissible pour tout avion ?
- Sous quelles conditions accorder les dérogations lorsque les charges réelles dépassent les charges admissibles ?

Le système de publication de renseignements sur la résistance des chaussées actuel utilise la méthode ACN/PCN. Cette méthode est applicable depuis 1983 par l'ensemble des états membres de l'OACI.

Le présent chapitre a donc pour but de traiter la méthode ACN/PCN et ses conditions d'utilisation pour le cas de l'aérodrome Bou Saada.

IX.2 La méthode ACN/PCN :

La méthode consiste en la détermination des deux numéros ACN et PCN et leur comparaison telle qu'un avion dont l'ACN est inférieur ou égale au PCN de la chaussée peut utiliser sans restriction cette chaussée sous réserve de limitation due à la pression des pneumatiques.

Afin de permettre une détermination facile et rapide de l'admissibilité des avions sur les chaussées d'aérodromes les charges admissibles exprimées par la méthode ACN-PCN sont publiées dans les manuels d'informations aéronautiques.

De manière plus explicite, un avion peut utiliser sans restriction une chaussée si les deux conditions suivantes sont simultanément vérifiées :

- L'ACN de l'avion, déterminé pour le type de chaussée et la catégorie du sol support publié pour la chaussée, est inférieur ou égal au PCN de celle-ci.
- La pression des pneumatiques de l'avion n'excède pas la pression maximale admissible publiée pour la chaussée.

IX.3 Détermination du PCN (Pavement Classification Number) :

C'est un nombre exprimant la force portante de la chaussée pour une exploitation sans restriction. Le calcul du PCN peut être effectué pour les deux types de chaussée souples et rigides de deux manières :

❖ Calcul approché :

Le PCN est déterminé sur la base des caractéristiques de la chaussée sans référence au trafic

❖ Calcul optimisé :

La détermination du PCN prend en compte à la fois les caractéristiques de la chaussée et le trafic pour lequel la chaussée est destinée.

NOTE :

Cette méthode ne va pas être utilisée dans ce chapitre compte tenu des incertitudes sur les données du trafic pour l'aérodrome de Bou Saâda

IX.4 Calcul approché du PCN pour une chaussée souple :

La portance d'une chaussée d'aérodrome est définie par son PCN sous forme de quatre lettres de code en fonction des paramètres suivants :

- Le type de chaussée considérée.
- La résistance du terrain de fondation.
- La pression maximale admissible des pneumatiques.
- La base d'évaluation.

Les valeurs types utilisées et les explications des termes sont données dans l'annexe.

Connaissant le CBR du sol support et l'épaisseur équivalente de la chaussée souple on peut utiliser la formule suivante pour le calcul de la RSI :

$$RSI = \frac{e^2}{1000} \times \frac{6.12}{\left[4.231 - 5.013 \times \log\left(\frac{CBR}{0.6}\right) + 2.426 \times \left(\log\left(\frac{CBR}{0.6}\right)\right)^2 - 0.473 \times \left(\log\left(\frac{CBR}{0.6}\right)\right)^3\right]^2}$$

Avec :

e : Epaisseur équivalente totale de la chaussée (cm).

CBR : CBR du sol support (CBR=10).

RSI : Roue simple isolée (en tonnes).

Log : Logarithme décimal.

Donc :

$$RSI = \frac{67^2}{1000} \times \frac{6.12}{\left[4.231 - 5.013 \times \log\left(\frac{10}{0.6}\right) + 2.426 \times \left(\log\left(\frac{10}{0.6}\right)\right)^2 - 0.473 \times \left(\log\left(\frac{10}{0.6}\right)\right)^3\right]^2}$$

RSI =36.727t

Le PCN se définit comme le produit de la RSI par un coefficient fonction du CBR et la catégorie du sol support associée.

$$PCN = H(CBR) \times RSI$$

L'abaque suivant donne les valeurs du coefficient H(CBR) adéquats :

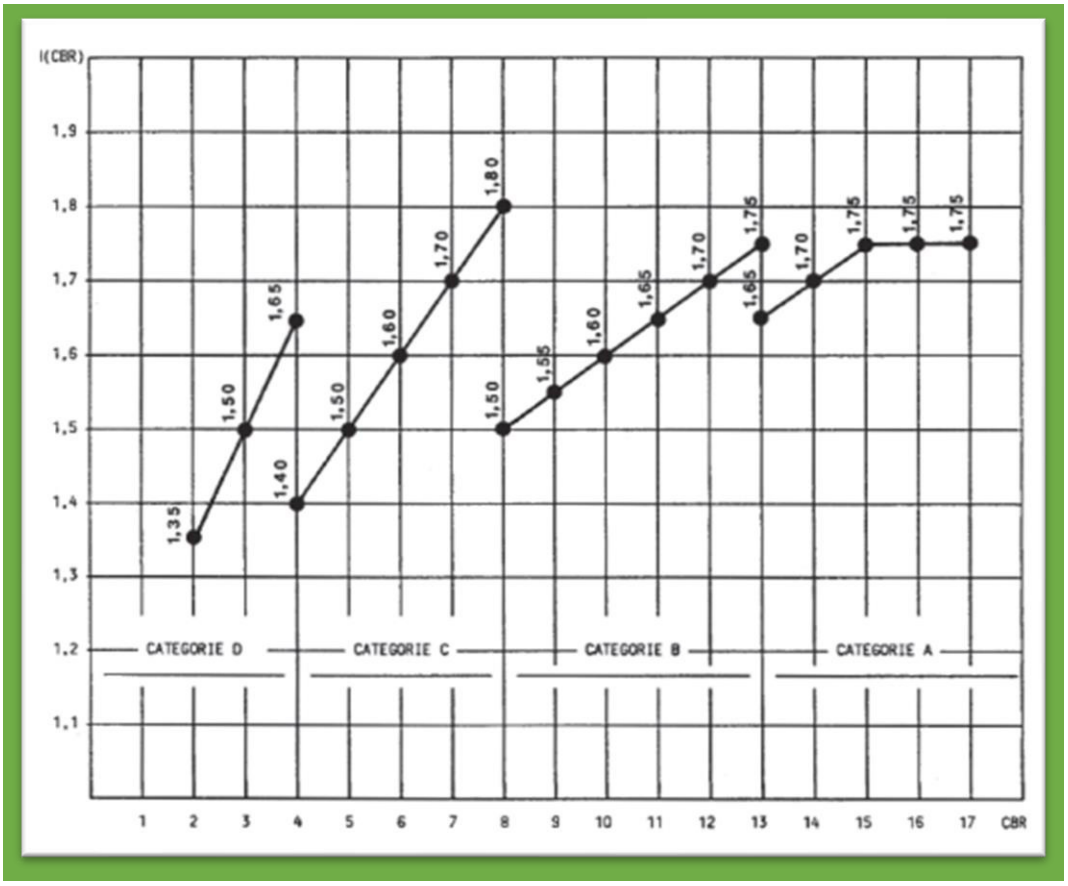


Figure IX.1 2: Les valeurs du h(cbr) en fonction du cbr .

D'après l'abaque on à :

$$\mathbf{H(CBR) = 1{,}6}$$

$$PCN = H(CBR) \times RSI$$

D'où :

$$PCN = 1.6 \times 36.727$$

Donc :

$$\boldsymbol{PCN = 58.764}$$

D'après le tableau (voir annexe) le futur aérodrome de Bou Saâda sera caractérisé par :

1- Une chaussée souple **F.**
2- Le sol support est de résistance moyenne **B.**
3- Une pression des pneumatiques moyenne du Boeing 737-800 égale 0 1.41 MPa correspond à la lettre de code **X.**
4- Une base d'évaluation correspondant à la lettre **T.**

Donc le PCN publiable sera :

PCN 58/ F / B / X / T

IX.5 Détermination de l'ACN (Aircraft Classification Number) :

L'ACN est le nombre exprimant l'effet relatif d'un avion sur une chaussée pour une catégorie spécifiée de sol support. La détermination des ACN obéit à un calcul normalisé imposé par l'O.A.C.I

IX.6 Calcul de l'ACN :

IX.6.1 Méthodologie de calcul :

Soit un avion de masse réelle totale Pta et de pression des pneumatiques q' fréquentant une chaussée pour laquelle un PCN est publié.
Le tableau des ACN « caractéristiques » fournit pour l'avion, selon le type de chaussée et la catégorie de sol support indiquée dans la publication du PCN, les données suivantes :

- ACNmax : ACN correspondant à la masse maximale au roulage Mmax.
- ACNmin : ACN correspondant à la masse à vide en ordre d'exploitation Mmin.
- q : pression standard de gonflage des pneumatiques.

Comme c'est le cas du Boeing 737-800 dans le tableau suivant :

Aéronef	Poids (Kn) MAX M / MIN m	Pression standard des pneumatiques q(MPa)	ACN							
			Chaussée souple				Chaussée rigide			
			A	B	C	D	A	B	C	D
Boeing 737-800	79500	1.47	44	**46**	51	56	51	53	56	57
	41500		21	**21**	23	26	24	25	26	27

Le calcul du PCN procède alors d'une simple interpolation :

$$ACN = ACN_{min} + (ACN_{max} - ACN_{min}) \times \frac{Pta - m}{M - m}$$

Et le calcul de la charge admissible Pta se fait à partir de la formule suivante :

$$Pta = M_{min} + (M_{max} - M_{min}) \times \frac{PCN - ACN_{min}}{ACN_{max} - ACN_{min}}$$

IX.6.2 Application numérique du ACN:

D'après le tableau :

ACNmin=21 correspondant à Mmin=41500 Kg.

ACNmax=46 correspondant à Mmax=79500 Kg.

D'où :

$$Pta = 41500 + (79500 - 41500) \times \frac{58 - 21}{46 - 21}$$

Donc :

$$\boldsymbol{Pta = 97740Kg}$$

Implique que :

$$ACN = 21 + (46 - 21) \times \frac{97740 - 41500}{79500 - 41500}$$

$$\boldsymbol{ACN = 58}$$

Remarque :

Toutefois si la pression effective de gonflage des pneumatiques q' diffère sensiblement de la pression standard q(q' – q > 0.1 MPa), une correction doit être réalisée .

Dans notre cas on à :

- q=1.47

$$\Longrightarrow \textbf{ q'-q=0.06 < 0.1Mpa}$$

- q'=1.41

Donc notre cas ne nécessite pas une correction.

IX.6.3 Comparaison et vérification des charges réelles et admissibles déduites :

- Si l'ACN est inférieur ou égale au PCN, l'avion considéré peut-être admis sans restriction.
- Si l'ACN est supérieur au PCN, une étude particulière doit être menée.

Pour le cas de l'aérodrome de Bou Saada on à :

$$ACN \leq PCN \Longrightarrow 5 \leq 58$$ **Vérifiée.**

IX.6.4 Conclusion :

La méthode ACN-PCN permet de mieux organiser le trafic reçu par un certain aérodrome afin d'assurer la sécurité de l'avion contre l'endommagement possible et de l'infrastructure contre la détérioration, en publiant les charges admissibles

En ce qui concerne l'aérodrome de Bou Saâda on a un PCN de chaussée égale à l'ACN de cet l'avion, donc le Boeing 737-800 peut fréquenter l'aérodrome de Bou Saâda et manœuvrer sur sa nouvelle chaussée sans restriction.

Chapitre 10

Assainissement

X Assainissement

X.1 Introduction :

L'assainissement des aérodromes contribue d'une manière considérable à la sécurité de la circulation des avions sur les aires de manœuvre et de trafic. Un réseau d'assainissement aéroportuaire doit satisfaire les objectifs suivants :

• Protection des infrastructures des dégradations dues à l'eau

• Assurer la sécurité des avions lors des différentes manœuvres (décollage, atterrissage ,circulation)

• Préserver l'environnement La mauvaise conception d'un tel réseau peut engendrer l'arrêt du trafic aérien en cas d'accumulation excessive d'eau sur les chaussées et la dégradation rapide des chaussées ou du sol support.

Les possibilités d'extension d'un aérodrome peuvent d'autre part être compromises si son réseau d'assainissement et de drainage n'a pas été conçu en conséquence. Un réseau d'assainissement est constitué d'un assemblage d'ouvrages élémentaires, linéaires ou ponctuels superficiels ou enterrés. Son rôle est de collecter les eaux superficielles ou internes et de les canaliser vers un exutoire, point de rejet hors de l'emprise aérodrome.

X.2 Etude d'un réseau d'assainissement :

La conception du réseau d'assainissement doit résulter d'une étude globale des eaux superficielles et Souterraines sur l'ensemble de l'aérodrome. Pour cela, il faut examiner avec soins, les différents bassins versants qui alimentent le réseau et les possibilités d'évacuation des eaux hors de l'emprise. Cette étude doit comporter :

- Pour les eaux superficielles :

• Une étude des cours d'eaux et exutoires naturels aux abords de l'aérodrome.

• La délimitation des différents bassins versants hors et sur l'emprise de l'aérodrome dont les eaux devront être, soit évacuées dans le réseau, soit déviée sur les cours d'eau existent.

- Pour les eaux souterraines :

• Sondage aux emplacements choisis de façon à déterminer la cote moyenne de la nappe phréatique.

• Implantation des divers ouvrages de drainage sur l'emprise de l'aérodrome et à l'extérieure s'ils sont nécessaires.

L'évacuation des eaux constitue un problème important pour les aérodromes, du fait des larges dimensions des infrastructures et de leur faible pente. Lorsque les revêtements ne sont pas étanches, les inconvénients sont en effet beaucoup plus graves. Dans l'étude de l'assainissement d'un aérodrome, on distingue deux plans selon la nature des eaux à évacuer :

❖ Les eaux souterraines :

Les eaux souterraines comprennent d'une part, les eaux de nappe phréatique et d'autre part, les eaux d'infiltration. Leurs effets sont nocifs si ces eaux détrempent la plateforme, ce qui peut entraîner une baisse considérable de la portance du sol support et donc mettre en péril les chaussées. En général, lorsqu'il existe une nappe phréatique en dessous de la piste on réalise une couche anti-contaminant et anticapillaire avec des matériaux drainant pour supposer à la remonté des eaux.

Si la nappe est très proche de la couche supérieure du terrain naturel soit :

• Abaisser le niveau de la nappe phréatique en réalisant des drains de défense contre les eaux, qui seront placés parallèlement à la piste, afin que la piste et ses dépendances ne baignent pas dans l'eau. Cela est facile lorsqu'on dispose d'un point d'évacuation des eaux suffisamment bas.

• Relever le niveau de la piste et ses dépendances par rapport au terrain naturel par apport de matériaux (remblais), de manière à faciliter l'écoulement. Cela quand on dispose d'une zone d'évacuation dont le niveau est peu inférieur à celui du terrain naturel.

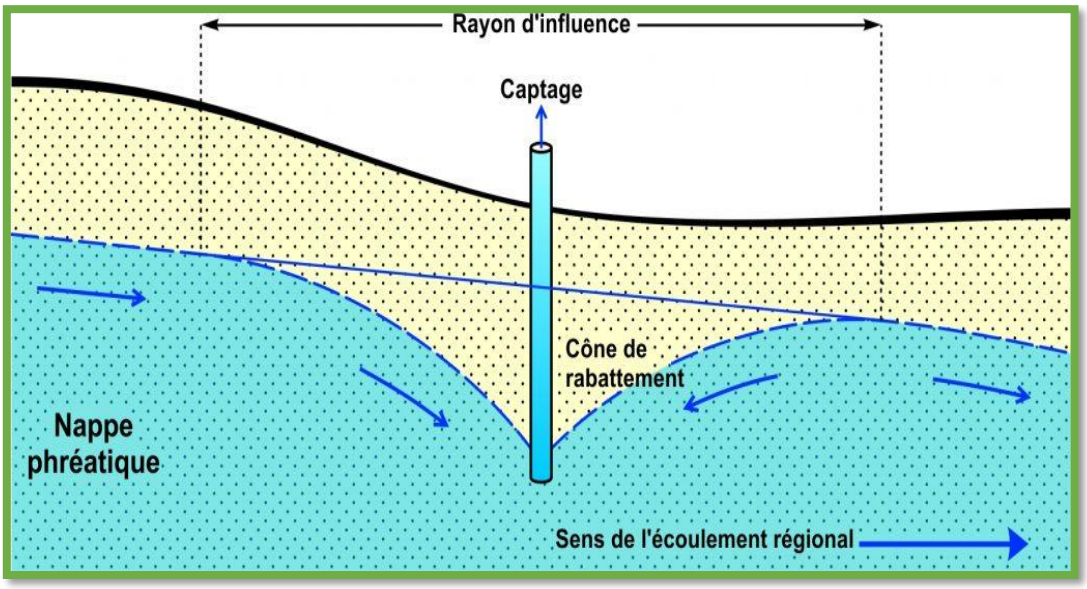


Figure X.1 Abaisser le niveau de la nappe phréatique en réalisant des drains de défense .

❖ Les eaux de surface (ruissellement) :

Le problème des eaux de surface peut se poser soit à la surface proprement dite des chaussées ou soit autour de l'aérodrome. Pour évacuer ces eaux, soit :

• On réalise des réseaux d'assainissements différents en fonction de la pluviométrie :

- Soit des drains profonds ou des drains superficiels,

- Soit uniquement des faussées ou bien des cunettes. Pour les eaux qui tombent sur les chaussées.

- On établit un drainage type agricole composé de drain ou tranchée drainant parallèle et légèrement oblique par rapport à la courbe de niveau. Ces drains se jettent dans un collecteur principal. Pour les eaux qui tombent sur les bandes (autour de l'aérodrome).

X.3 Système de drainage pour le projet de Bou Saada :

L'aérodrome de Bou Saâda se situe dans une zone **subtropical désertique**, avec des hivers doux (durant lesquels il peut faire froid la nuit) et des étés très chauds et ensoleillés.

Les précipitations totalisent 160 millimètres par an : elles sont donc au niveau désertique. Dans les mois les moins pluvieux (juin, juillet) elles s'élèvent à 6 mm, dans les mois les plus pluvieux (avril, septembre) elles s'élèvent à 25 mm. Voici la moyenne des précipitations :

Tableau X.1: precipitations moyennes 1991-2020

Mois	Quantité	Jour
Janvier	10	3
Février	8	2
Mars	13	3
Avril	25	2
Mai	20	2
Juin	6	1
Juillet	6	1
Aout	8	1
Septembre	25	2
Octobre	20	2
Novembre	11	2
Décembre	11	3
An	160	25

X.3.1 Pour les eaux de ruissellement :

Au vu de la quantité d'eau que reçois la région de Bou Saada, ceci nous mène à choisir un système de drainage économique qui consiste à faire rejeter les eaux tombées sur la chaussée de la piste et de la voie de circulation loin de ces dernières, en les laissant ruisseler sur le sol, on donne alors aux bandes d'envol une pente descendante depuis l'ouvrage, ensuite, des fossés trapézoïdaux en béton tout au long de la piste, bretelle et le parking seront placés pour l'évacuation des eaux.

En revanche, les figures ci-dessous montrent qu'un écoulement de surface traverse la piste au Pk 1+720, donc le rétablissement de ces cours d'eaux est nécessaire afin d'assurer la continuité des écoulements.

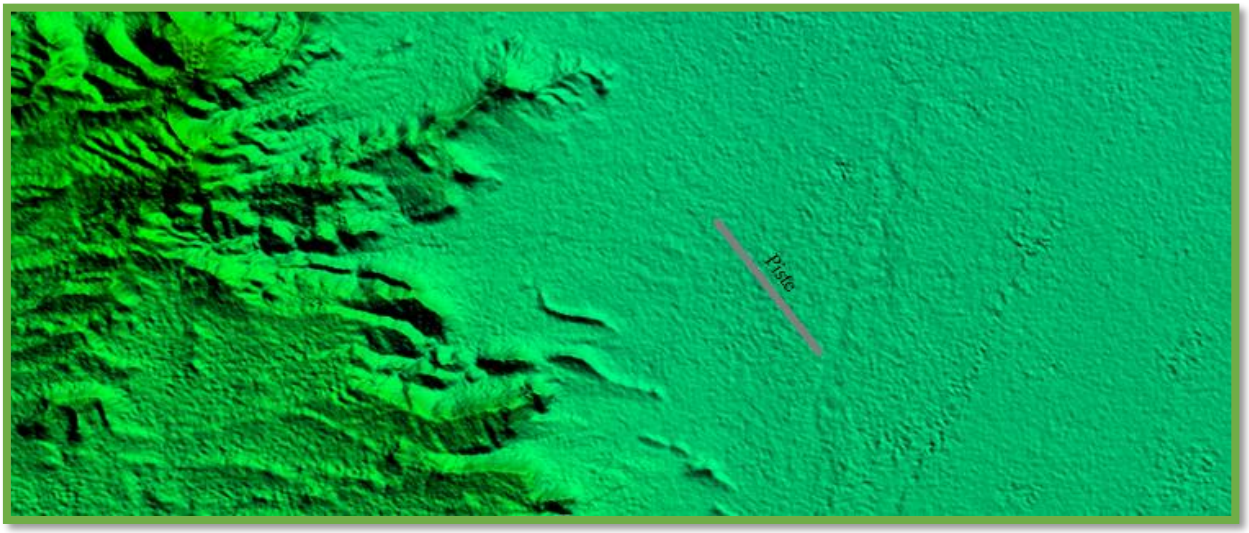


Figure X.2 Emplacement de la piste en utilisant le logiciel Global mapper

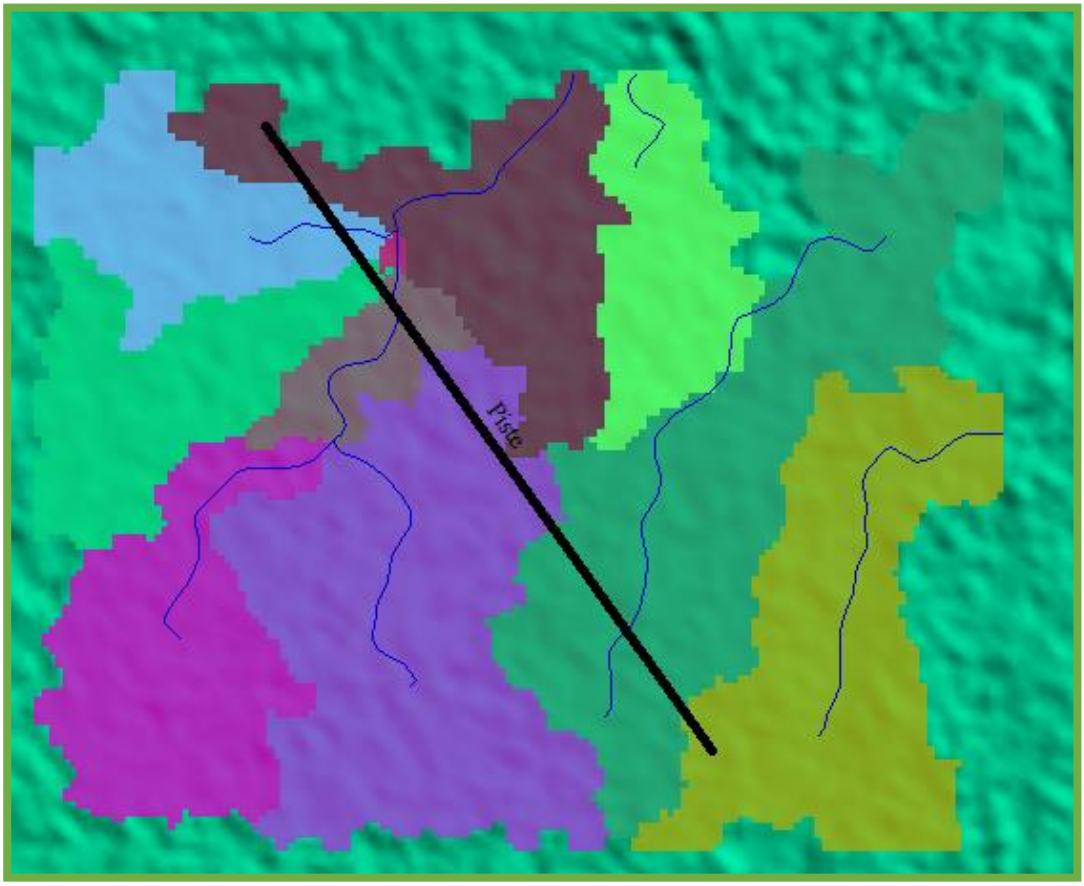


Figure X.3 Basins versants de la zone de l'aerodrome.

Apres avoir déterminé tous les bassins versants de la zone de l'aérodrome on constate la présence de trois courts d'eau qui traverse la piste ainsi on devra délimiter les bassins versants principaux (équivalents) de chaque écoulement traversier.

Les images ci-dessous indique les délimitations des bassins versants :

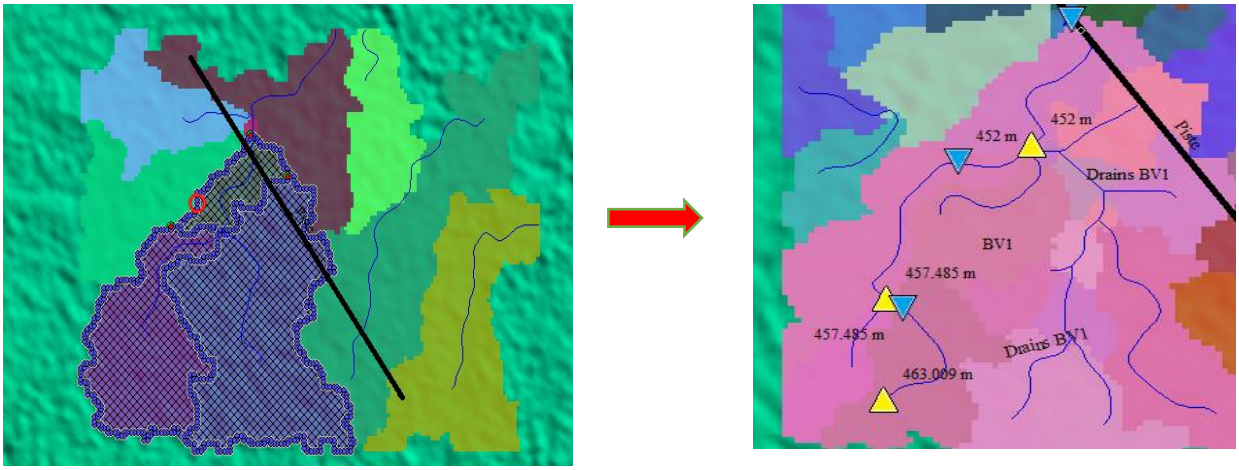


Figure X.4 Délimitation du bassin versant principale.

Tableau X.2 Carecteristiques du BV 1.

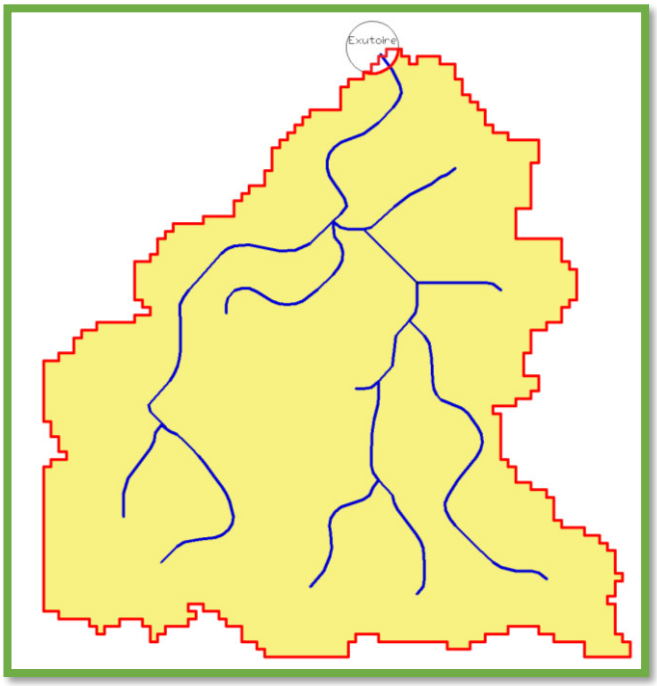


Figure X.5 Bassin versant 1.

BV 1	
Surface (km^2)	3.94
Périmètre (km)	12.16
Altitude max (m)	462
Altitude min (m)	448
Pente (%)	0.43
Longueur du talweg principal (km)	3.23

Tableau X.3 Carecteristiques du BV 2.

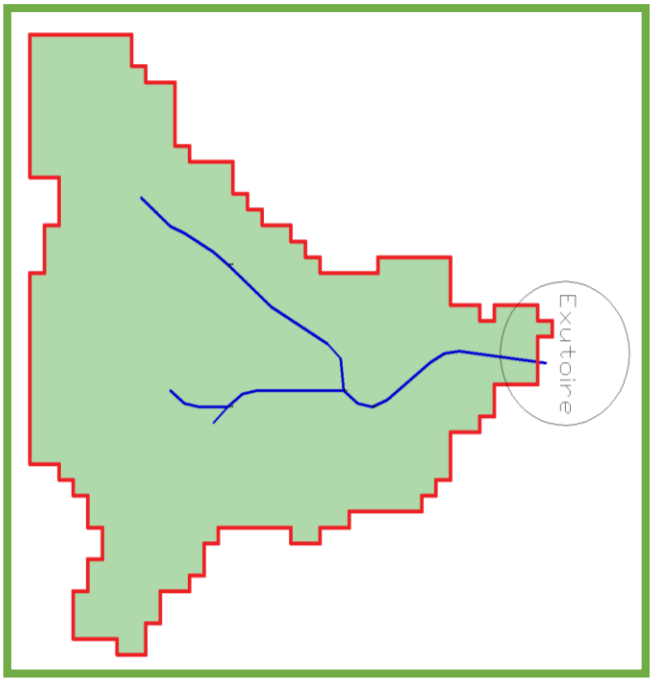


Figure X.6 Bassin versant 2.

BV 2	
Surface (km^2)	0.69
Périmètre(km)	5.10
Altitude max (m)	451
Altitude min (m)	449
Pente (%)	0.16
Longueur du talweg principal (km)	1.18

Toutes les caractéristiques physiques du bassin versant qui influent sur le tracé ont été calculées à l'aide d'un logiciel d'information géographique (Global Mapper 23).

X.3.1.1 Hiérarchisation du réseau :

Pour une analyse quantitative du réseau de drainage, du bassin versant, chaque cours d'eau reçoit un numéro en fonction de son importance et de sa position relative dans le réseau .Cette numérotation, appelée ordre du cours d'eau,

diffère selon les auteurs, celle de Strahler-Schumm :

- Les cours d'eau de tête sont d'ordre 1.
- La confluence de deux ordres identiques crée un ordre supérieur N & N => ordre (N +1)
- La confluence de deux ordres différents conserve l'ordre le plus élevé N & (N +1) => ordre (N + 1)
- L'ordre le plus élevé est celui du cours d'eau principal du bassin versant

X.3.1.2 Rapport de confluence des bassins versants :

C'est le rapport du nombre de cours d'eau d'ordre n au rapport du nombre de cours d'eau d'ordre n+1.

Dans le cas de nos basson versants on a Rc est faible=2 donc : réseaux dendritiques

X.3.2 Pour les eaux souterraines :

L'absence de nappes phréatiques et des foggaras dans la zone d'étude de l'aérodrome de Bou Saada, préconise qu'il n'y a pas de risque de remontée d'eaux souterraines qui proviennent des foggaras, pour cela il est inutilité d'adopter un système de drainage des eaux souterraines.

X.4 Méthodologie de calcule d'ouvrage d'assainissement :

Dans ce travail on dimensionnera les systèmes de drainage longitudinaux qui sont les fossés de part et d'autre de la piste ainsi que les systèmes transversales.

X.4.1 Calcul des précipitations maximales journalières de fréquence Pj donnée :

La hauteur de pluie journalière maximale de fréquence (f%) est déterminée en utilisant la formule suivante :

$$P_j = \frac{P_j\ moy}{\sqrt[2]{{c_v}^2 + 1}} \times e^{u\sqrt{\ln ({c_v}^2+1}}$$

- Pj(f%) : Hauteur de pluie journalière maximale de fréquence "f" donnée.
- Pjmoy: Pluie journalière moyenne (mm).
- Cv : Coefficient de variation climatique.
- u : Variable de GAUSS.

Tableau X.4 Variables de Gauss

Frequence	Periode de retour	Variable de gauss U
0.1	10	1.282
0.2	50	2.057
0.01	100	2.327

X.4.2 Calcul de l'intensité moyenne :

L'intensité à l'averse est donnée par la relation suivante :

$$I_t = I \times (\frac{t_c}{24})^B$$

Avec : B = b -1

Et I : l'intensité de l'averse horaire, donnée par :

$$I = (\frac{P_j}{24})$$

X.4.3 Calcul du temps de concentration :

Le temps de concentration est donné par :

$$T_c = 0.127 \times \sqrt[2]{\frac{A}{P}}$$

- Tc : Temps de concentration en heure,

- A : Surface du bassin versant en km²,
- P : Pente moyenne (en m/m)

X.4.4 Estimation des débits de crue :

Le calcul du débit maximum limite, de fréquence donnée, à l'intensité moyenne I de La pluie, et de durée « t » égal au temps de concentration, est effectué au moyen d'une formule donnant un débit approché par excès, celle-ci se dérive de la méthode dite rationnelle et elle est donnée par :

$$Q = K \times C \times I \times A$$

Tel que :

- Q : Débit maximum d'eau pluviale (m3 /s),
- C : Coefficient de ruissellement,
- I : Intensité de la pluie (mm/h),
- K : Coefficient de conversion des unités,
- A : Aire du bassin d'apport (km²).

Le coefficient de ruissellement dépend de l'étendue relative des surfaces imperméabilisées par rapport à la surface drainée. Sa valeur est obtenue en tenant compte des trois paramètres suivants :

- La couverture végétale,
- La forme, la pente,
- La nature du terrain.

Tableau X.5 Coefficient de ruissellement.

Type de chaussée	Coefficient de ruissellement
Chaussée revetement en enrobés	0.80 à 0.95
Accotement (sol légèrement perméable)	0.15 à 0.4
Talus	0.10 à 0.30
Terrain naturel	0.05 à 0.20

X.4.5 Estimation des débits de saturation des ouvrages :

$$Q_s = K \times S \times (R_h)^{\frac{2}{3}} \times \sqrt[2]{i}$$

Tel que : K : Coefficient de Manning Strickler,
i : Pente de pose de l'ouvrage (m/m),

S : Section mouillée (m²),

Rh : Rayon hydraulique moyen (m) avec : Rh = Section mouillée / Périmètre mouillé.

Tableau X.6 Coefficient de Manning Strickler.

Type de cours d'eau	Valeur de K
Canal bétonné, très lisse	75 à 100
Canal bétonné, état moyen	50 à 75
Canal en terre	30 à 50
Cours d'eau régulier, bien entretenu	40 à 50
Cours d'eau ordinaire	30 à 40
Cours d'eau avec embâcles	20 à 30

X.5 Application de la méthode au projet :

X.5.1 Données hydrauliques :

Les données nécessaires aux calculs concernant :

- Les précipitations moyennes de 24H : P (24h) =PJ=21.4mm,
- Le coefficient de variation de la région considérée Cv=0.63,
- L'exposant climatique de la région b=0.25
- La variable de gauss u=1.28.

X.5.2 Dimensionnement des fossés pour une période de retour de 10ans :

$$Q_s = Q_{Platforme} + Q_{Talus}$$

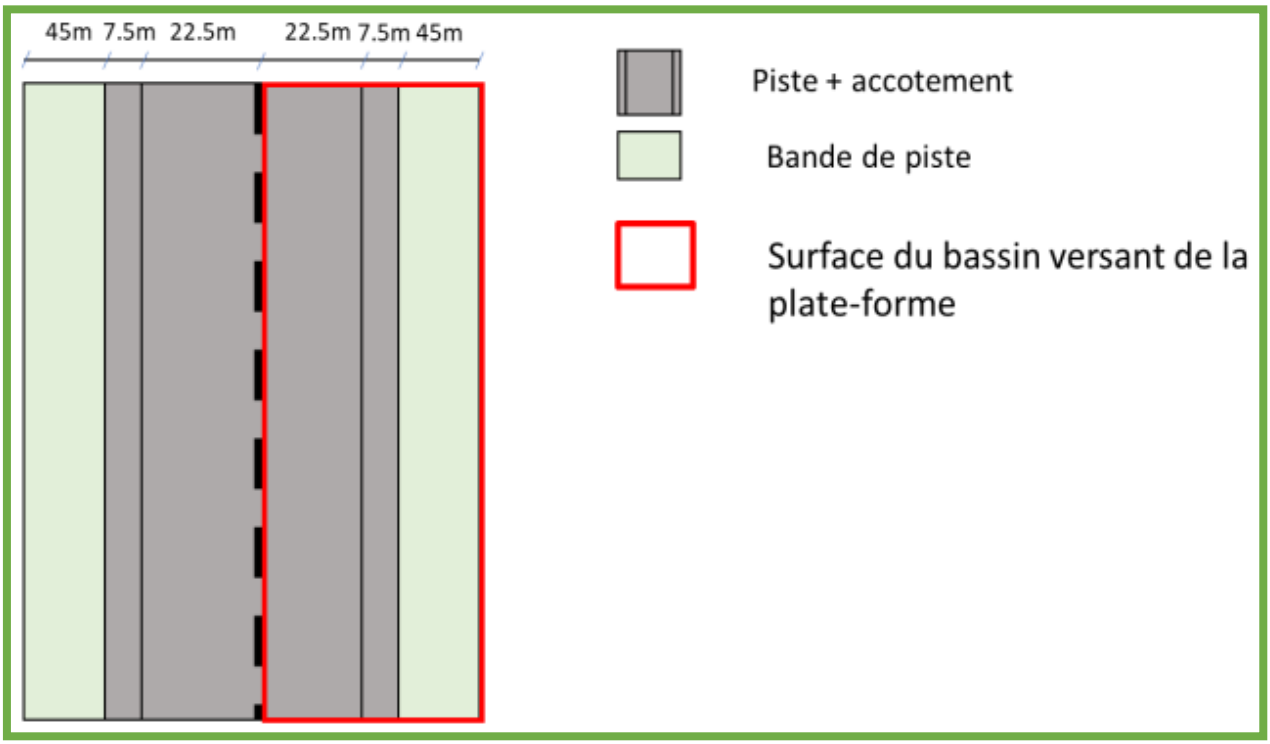


Figure X.7 Shéma délimitant le bassin versant sur la piste .

- Pentes des ouvrages :

- 1.5% pour l'accotement,
- 1% pour plateforme droit et gauche,
- 2% pour la bande,
- 5%/20% pour les talus de part et d'autre.

- Largeurs des ouvrages

- 7.5 m pour l'accotement (droite et gauche),
- 22.5m pour la piste (droite et gauche),
- 45m pour la bande (droite et gauche).

X.5.2.1 Pour le cas remblai :

Le profil en long indique que la piste est en remblai et que la présence d'un point bas (oued) donc les fossés longitudinaux seront dimensionnés en deux compartiments :

Remblai	Pk début	Pk Fin	Longeur (m)
1	0	1+780	1780
2	1+780	3+000	1220

- Calcul de P_j :

$$P_j = \frac{P_j\ moy}{\sqrt[2]{{c_v}^2 + 1}} \times e^{\sqrt[u]{\ln ({c_v}^2+1}}$$

$$P_j = \frac{21.4}{\sqrt[2]{0.63^2 + 1}} \times e^{\sqrt[1.28]{\ln (0.63^2+1}}$$

$$P_j = 27.6898$$

- Calcul de l'intensité de l'averse horaire, donnée par :

$$I = (\frac{P_j}{24})$$

$$I = (\frac{27.6898}{24})$$

$$I = 1.1537\ mm/h$$

X.5.2.1.1 Calcul du débit de crue Q_a :

Remblai 1 :

- **Pour la piste :**
  - Calcul de la surface :

$$A = 0.04\ km^2$$

  - Calcul du temps de concentration :

$$T_c = 0.127 \times \sqrt[2]{\frac{A}{P}}$$

$$T_c = 0.127 \times \sqrt[2]{\frac{0.04}{0.01}}$$

$$T_c = 0.25\ h$$

  - Calcul de l'intensité moyenne:

$$I_t = I \times (\frac{t_c}{24})^B$$

$$I_t = 1.1537 \times (\frac{0.25}{24})^{0.25-1}$$

$$I_t = 35.38\ mm/h$$

  - Calcul du débit de la piste :

$$Q = K \times C \times I \times A$$

$$Q = 0.85 \times 35.38 \times 4 \times 0.00278$$

$$\boldsymbol{Q = 0.33\ m^3/s}$$

- **Pour les accotements :**

$$\begin{cases} A = 0.0133\ km^2 \\ T_c = 0.11\ h \\ I_t = 65.49\ mm/h \end{cases}$$

$$\boldsymbol{Q = 0.20\ m^3/s}$$

- **Pour la bande :**

$$\begin{cases} A = 0.0801\ km^2 \\ T_c = 0.25h \\ I_t = 35.38\ mm/h \end{cases}$$

$$\boldsymbol{Q = 0.19\ /s}$$

- **Calcul du Q_a :**

$$Q_s = 0.33 + 0.20 + 0.19$$

$$\boldsymbol{Q_{remblai1} = 0.72\ m^3/s}$$

Remblai 2 :

- **Pour la piste :**

$$\boldsymbol{Q = 0.26\ m^3/s}$$

- **Pour les accotements :**

$$\boldsymbol{Q = 0.16\ m^3/s}$$

- **Pour la bande :**

$$\boldsymbol{Q = 0.15\ m^3/s}$$

- **Total :**

$$\boldsymbol{Q_{remblai2} = 0.57\ m^3/s}$$

Note :

On constate que la différence entre les deux débits des différents tronçons n'est pas très conséquente, de ce fait le dimensionnement se par rapport au débit le plus élevé Q=0.72.

X.5.2.2 Pour le cas déblai (bande non aménagée inclue) :

Déblai 1 :

$$\begin{cases} A = 0.0915\ km^2 \\ T_c = 0.085\ h \\ I_t = 79.46\ mm/h \end{cases}$$

$$\boldsymbol{Q_a = 0.46\ m^3/s}$$

$$Q_{deblai1} = 1.18\ m^3/s$$

Déblai 2 :

$$Q_{a2\ Deblai1} = 0.87 m^3/s$$

Note :

On constate que la différence entre les deux débits des différents tronçons n'est pas très conséquente, de ce fait le dimensionnement se par rapport au débit le plus élevé Q=1.18.

X.5.2.3 Calcul du débit de saturation de fossé :

Le fossé adopté au tracé est un fossé de forme trapézoïdale tel qu'il est illustré dans la Figure

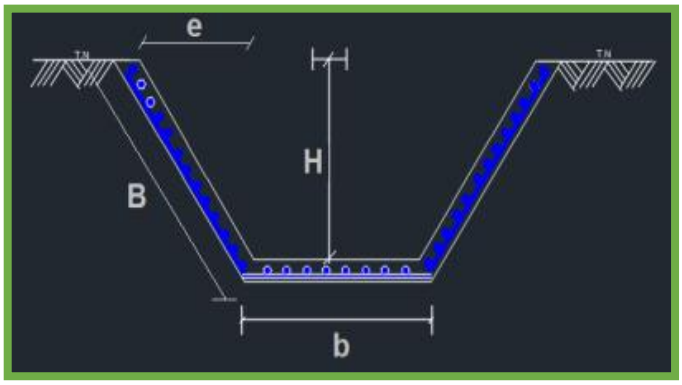


Figure X.8 Fossé de forme trapézoïdale.

Les pentes de ces fossés sont choisies de telle sorte à éviter à stagnation des eaux, et la limitation de vitesse d'écoulement pour éviter d'autre part l'érosion. Tous les fossés dimensionnés ici, ont presque la même pente que la ligne rouge du profil en long.

Le débit de saturation est donné par la formule de Manning-Strickler :

$$Q_s = K \times S \times (R_h)^{\frac{2}{3}} \times \sqrt[2]{i}$$

- K = 50 (fossé en béton).
- Pente de talus 5% ce qui donne n=5.

X.5.2.3.1 Calcul de la surface mouillée :

$$S_m = bh + eh = h(b + nh) \qquad \text{Avec} \quad Tan\alpha = \frac{1}{n} \rightarrow e = nh$$

X.5.2.3.2 Calcul du périmètre mouillé :

$$P_m = b + 2B = b + 2h\sqrt{(\frac{1}{n^2})} \quad \text{Avec} \quad B = \sqrt{h^2 + b^2} = \sqrt{h^2 + n^2h^2} = h\sqrt{(\frac{1}{n^2})}$$

X.5.2.3.3 Calcul de rayon hydraulique:

On a Rh= Sm/Pm ⟶ $R_h = \frac{h(b+nh)}{b+2h\sqrt{(\frac{1}{n^2})}}$

Pour bien dimensionner ces fossés, on fait varier la hauteur « h » et la largeur « b » jusqu'à ce que Qs soit supérieur au débit de crue Qa.

Le travail est fait à l'aide de logiciel Excel, les résultats trouvés pour le drainage droit et gauche sont comme ci-dessous :

- Côté gauche (bande aménagée non inclue) :
  B=50cm et h=60cm Avec une pente de 2/3 et une ouverture de 2.30m.
- Côté droit (bande aménagée inclue) :
  B=70cm et h 70cm avec une pente de 2/3 et une ouverture de 2.70m.

X.5.3 Dimensionnement des ouvrages transversal :

Pour ce faire, la formule de Manning-Strickler est utilisée.

X.5.3.1 Calcul des temps de concentration des intensité horaire et des débit de crue pour chaque BV :

Le bassin versant a une surface supérieure à 5km2 donc on utilise la formule des petits bassins :

X.5.3.1.1 Pour le BV1 :

- Pour une période de retour de 100ans on à :

$$P_j = 33.80\ mm$$

$$I = 1.40\ mm/h$$

$$T_c = 0.38\ h$$

$$I_t = 31.36\ mm/h$$

$$\boldsymbol{Q_{BV1} = 8.56\ m^3/s}$$

X.5.3.1.2 Pour le BV2 :

- Pour une période de retour de 100ans on à :

$$P_j = 32.56\ mm$$

$$I = 1.35\ mm/h$$

$$T_c = 0.26\ h$$

$$I_t = 40.20\ mm/h$$

$$\boldsymbol{Q_{BV2} = 2.08\ m^3/s}$$

X.5.3.2 Dimensionnement des ouvrages :

Pour le Bv1 :

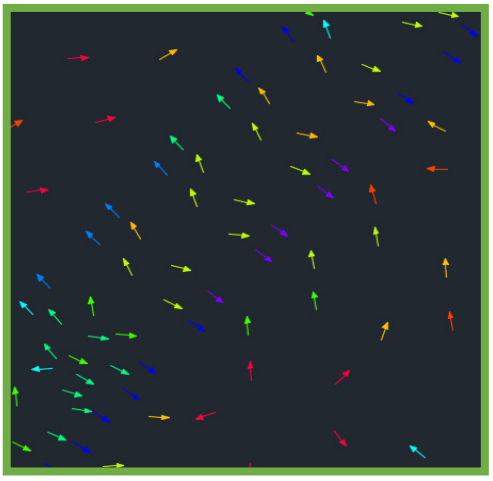


Figure 10 sens d'écoulement inversée indique la présence d'une crête

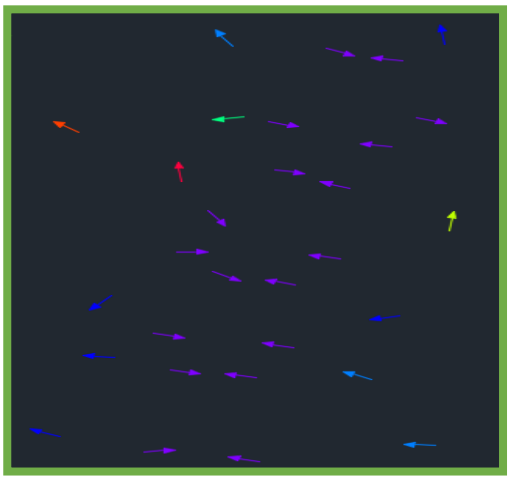


Figure 54 même sens découlement indique la présence d'un oued

Note : l'ouvrage hydraulique de type DALOT n'a pas été traité sur cette partie vu le manque de données mais néanmoins nous avons pu estimer ses dimensions approximativement d'après le débit d'oued qu'on a calculé.

- Un dalot multicellulaires (5 cellules)

Pour le Bv2 :

le diamètre final est donné après la manipulation mathématique de la formule de Manning-Strickler par :

$$D = \sqrt[\frac{8}{3}]{\frac{Q\ 4^{\frac{5}{3}}}{Ks\ \pi\ \mathrm{I}^{0.5}}}$$

Le Ks des buses est fixé à 80 (béton armé), la pente I =0.5 %

- Pour une hauteur de remplissage de **100%** :

$$D = \sqrt[\frac{8}{3}]{\frac{2.08 \times 4^{\frac{5}{3}}}{80\ \pi\ 0.5^{0.5}}}$$

$$D = 1.13\ m$$

On prend un diamètre de 1.2m donc une buse de **ϕ 1200 mm.**

- Pour une hauteur de remplissage de **80%** :

D'après l'instruction technique de 1977 canalisations circulaires partiellement remplies à 80% de remplissage (h/D=0.80) on a Q_s/Q_a=0.977

Donc on a :

$$Q_{s=}\frac{Q_a}{0.977}$$

$$\boldsymbol{Q_{s=}2.12\ m^3/s}$$

Implique que :

$$D = 1.15\ m$$

On prend un diamètre de 1.2m donc une buse de **ϕ 1200 mm.**

Les conditions d'auto-curage pour les buses :

Les ouvrages de drainage transversaux des eaux pluviales sont dimensionnés en Respectant les conditions d'auto-curage, et la vitesse maximale qu'est de 5m/s afin de les protégés. Les conditions sont :

- La vitesse doit être inférieure à 5m/s pour Q/Qps donné.
- Pour Qa/Qps=0.1, 64% de Vps ne doit pas être inférieur à 0.6m/s
- Pour Qa/Qps=0.01, 32% de Vps ne doit pas être inférieur à 0.3m/s Qps : le débit à pleine section ; Qa : débit de crue ; Vps : vitesse à pleine section.

On a :

$$S = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$S = 2.010 m^2$$

Vps=Qa/S Vps=2.09/2.010 ⟶ Vps=1.03 m/s.

- Pour Qa/Qps=0.1 on a V/Vps=0.64 ⟶ V=0.64Vps ⟶ V=0.66m/s≥0.6m/s Vérifié.
- Pour Qa/Qps=0.01 on a V/Vps=0.32 ⟶ V=0.32Vps ⟶ V=0.35m/s≥0.3m/s Vérifié.

X.6 Conclusion :

Il est essentiel d'assurer un système d'assainissement fiable et économique pour le type d'aérodrome étudié, et ce selon plusieurs caractéristiques, notamment la pluviométrie du site et le type du sol support.

L'aérodrome de Bou Saada respecte les normes en vigueur, d'une manière générale, il est essentiel d'assurer des mesures assainissement fiable et économique, vue la climatologie du site qui est moyennement sollicité par la pluie, pour cela des fossés en béton sont prévus tout au long de la piste et de ses annexe (bretelle, aire de stationnement), et un dalot au niveau du Pk 1+800, une buse au niveau du PK 0+300 et une autre au PK 2+550 afin d'assurer la continuité de l'écoulement d'eau.

Chapitre 11

Signalisation et balisage

XI Signalisation et balisage :

XI.1 Introduction :

Afin d'assurer la sécurité et maximiser l'efficacité des mouvements des aéronefs et des véhicules ainsi que pour aider les pilotes dans les déplacements à proximité de l'aérodrome ou sur le sol, l'OACI préconise l'utilisation de marques ou de balises standardisés et universels qui fournissent aux pilotes des repères fixe et fiables.

Il est essentiel qu'elles soient bien entretenues pour faire en sorte que les repères qu'elles fournissent soient disponibles dans toutes les circonstances sur l'ensemble des composantes de l'aérodrome.

Le balisage est constitué par l'ensemble des repères visuels artificiels fixes.

La signalisation est constituée par l'ensemble des signaux utilisés pour donner aux pilotes des informations et des consignes

Ils sont groupés sous le terme de balisage. On distingue :

Le balisage de jour (signalisation horizontale)

Le balisage de nuit (lumineux).

XI.2 Balisage et signalisation de jour :

XI.2.1 Identification de l'aérodrome :

On peut faciliter l'identification de l'aérodrome en inscrivant son nom en lettre de 3 m de haut en principe blanche ou bien en utilisant un code d'identification au lieu du non de l'aérodrome. Cette inscription doit être placée dans un endroit choisi par les autorités exploitantes de l'aérodrome, généralement sur une voie de circulation ou le toit d'un hangar, elle est peu souvent éclairée pour être visible la nuit.

XI.2.2 Indicateur de direction du vent :

L'OACI préconise de doter l'aérodrome d'au moins d'un indicateur de vent, son rôle est de donner une indication générale visuelle sur la direction et la vitesse du vent à la surface de l'aérodrome. Ce dernier se présente sous forme d'un tronc de cône en tissu, d'une longueur au moins égale à 3.6 m et de diamètre égale à 0.9 m, monté sur une girouette. Cet indicateur doit être de couleur choisie de manière à le rendre nettement visible à une hauteur de 300 m au-dessus de l'aérodrome, on utilise une combinaison de deux couleurs de préférence le blanc et le rouge, il est recommandé de les disposer en cinq bandes de couleurs alternées dont la première et la dernière seraient de la couleur la plus sombre.

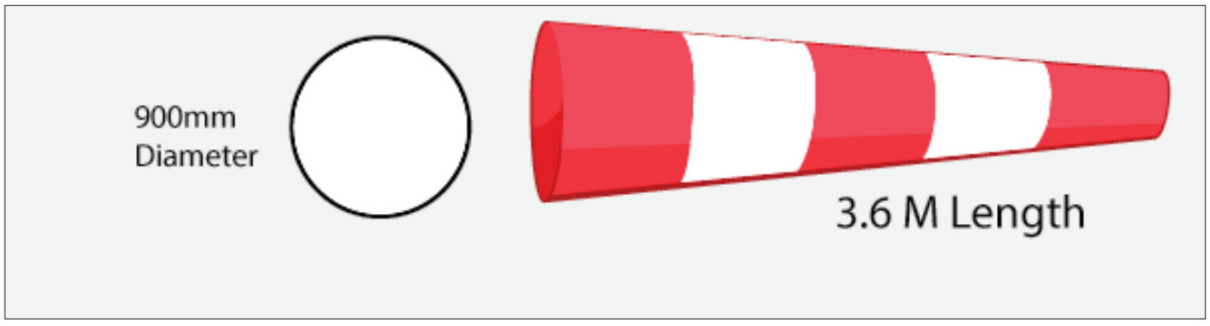


Figure XI.1 indicateur direction du vent.

L'indicateur de direction du vent sera placé de façon à être visible d'un aéronef en vol ou sur l'aire de mouvement, et de manière à échapper aux perturbations de l'air causées par des objets environnants.

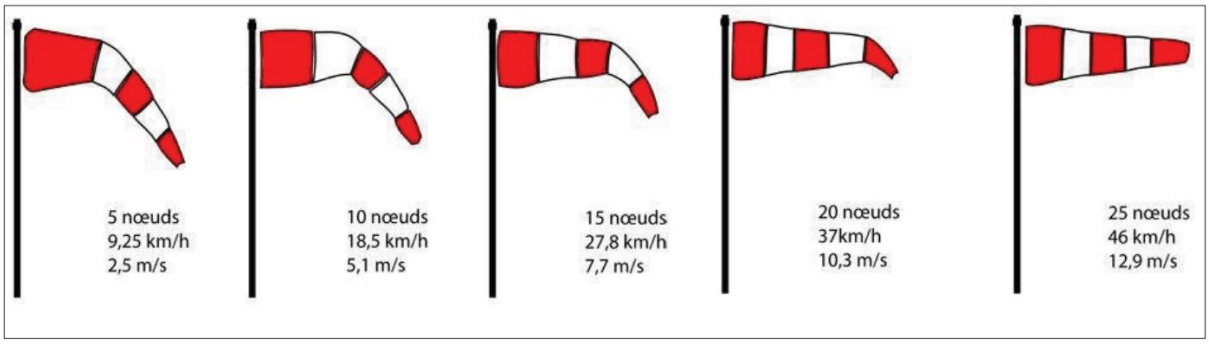


Figure XI.2 indicateur direction du vent.

Il est recommandé que l'emplacement d'un indicateur de direction du vent au moins soit signalé par une bande circulaire de 15 m de diamètre et de 1,2 m de largeur. La bande devrait être centrée sur l'axe du support de l'indicateur et de couleur blanche de préférence. Ainsi d'éclairer au moins un indicateur de direction du vent sur un aérodrome destiné à être utilisé de nuit.

XI.2.3 Indicateur de direction d'atterrissage :

L'OACI recommande que l'indicateur de direction d'atterrissage se présente sous la forme d'un T suivant les dimensions de la figure ci-dessous d'une couleur blanche ou orangée. Il sera placé bien en évidence sur l'aérodrome et sera éclairé ou son contour sera délimité par des feux blancs s'il est utilisé la nuit.

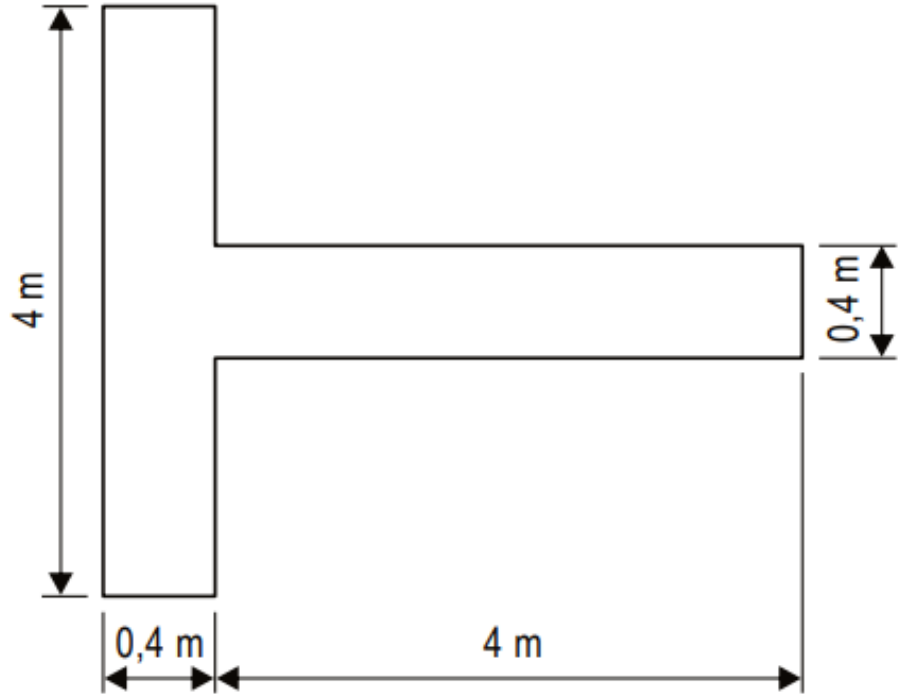


Figure XI.3 Dimensions de l'indicateur de direction d'atterrissage.

XI.2.4 Marquage des pistes :

XI.2.4.1 Marques d'identification des pistes QFU :

Les marques d'identification de piste (dénommées QFU) doivent être apposées aux seuils des pistes revêtues, elles seront composées d'un numéro de deux chiffres qui sera le nombre entier de 01 à 36 le plus proche du dixième de l'azimut magnétique de l'axe de piste mesuré à partir du Nord magnétique dans le sens des aiguilles d'une montre pour un observateur regardant dans le sens de l'approche. Dans les cas où le nombre obtenu par l'application de la règle précédente donne un nombre inférieur à dix, ce nombre sera précédé d'un zéro. On désigne une piste par deux QFU, un sur chaque extrémité.

La piste de l'aérodrome de Bou Saada est orientée 15/33, les marques de piste auront les dimensions suivantes :

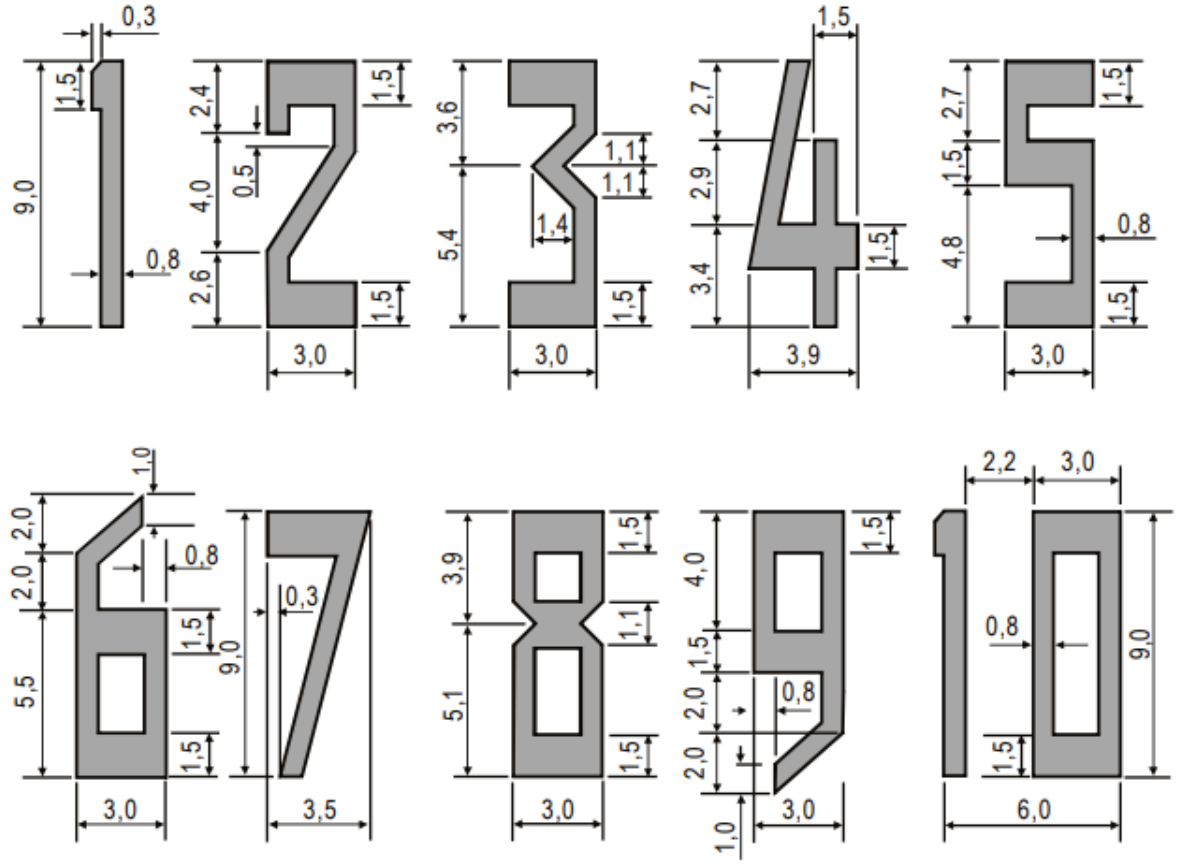


Figure XI.4 : Formes et proportions des lettres et chiffres des marques d'identification de piste.

XI.2.4.2 Marques des seuils de piste :

Toutes les pistes revêtues doivent être dotées de marques de seuil, Les marques de seuil de piste seront constituées par un ensemble de bandes longitudinales de mêmes dimensions qui commencent à 6 m en aval du seuil et s'étendent sur une longueur de 30m, ces dernières sont disposées symétriquement par rapport à l'axe de piste.

Le nombre des bandes ainsi que leur largeur et l'espacement entre deux bandes consécutives varieront en fonction de la largeur de la piste, selon l'OACI pour une piste de 45m de largeur le nombre de bandes sera de 12 bandes, d'environ 1,8m de largeur chacune et un écartement d'environ 1,8.

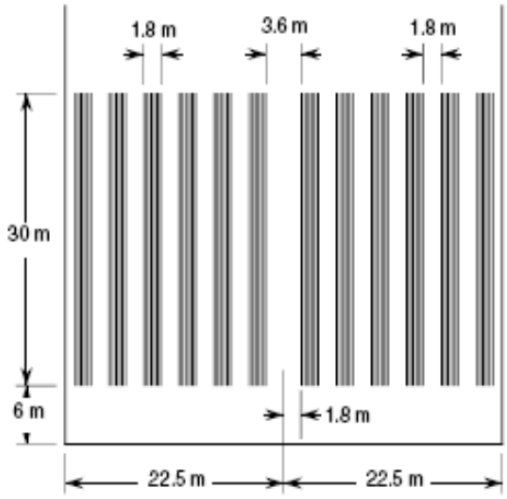


Figure XI.5 Disposition des marques de seuil d'une piste de 45m (2x6 bandes).

XI.2.4.3 Marques d'axe de piste :

Toutes les pistes revêtues doivent être dotées de marques d'axe Ces marques sont constituées par une ligne discontinue de traits de 30 m de longueur et espacés de 20 m ; elles seront disposées le long de l'axe de chaque piste, entre les marques d'identification. D'âpres l'OACI la largeur du trait sera de 0,45m sur une piste avec approche classique dont le chiffre de code est 4.

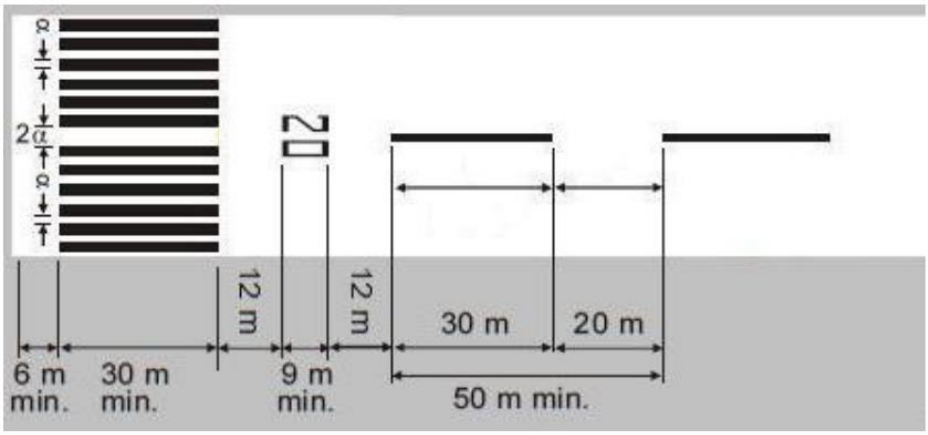


Figure XI.6 Marques d'identification de piste, d'axe de piste et de seuil de piste.

XI.2.4.4 Marques latérales de piste :

Des marques latérales de piste seront disposées entre les deux seuils de chaque piste (avec revêtement), lorsque le contraste entre les bords de la piste et les accotements n'est pas suffisant.

L'OACI recommande que les marques latérales de piste soient constituées par deux bandes disposées le long des deux bords de la piste, le bord extérieur de chaque bande coïncidant approximativement avec le bord de la piste. Ainsi les marques latérales de piste auront une largeur totale d'au moins 0,9 sur une piste de 45m de largeur.

XI.2.4.5 Marque de point cible :

Utilisées à l'atterrissage en liaison avec les marques de seuil, les marques de point cible ont pour objet d'aider le pilote à suivre une trajectoire normale de descente.

Disposées aux deux extrémités de chaque piste et symétriquement par rapport à l'axe de la piste, ces marques sont constituées d'une paire de marques rectangulaires disposées longitudinalement de 45m de longueur et une largeur dépendante de celle de la piste, qui est de 6m pour une piste de 45m de largeur.

Pour une piste de 3000m de longueur La distance longitudinale entre le seuil de piste et la limite amont de la marque de point cible est égale à 400m.

L'écartement entre cotés intérieurs de ces deux rectangles est de 18m.

XI.2.4.6 Marques de zone de toucher des roues :

Les marques de zone de toucher des roues fournissent au pilote des éléments de guidage pour la prise de contact avec la surface de la piste et des indications de distance par rapport au seuil elles sont constituées de paires de marques rectangulaires de 22,50 m de longueur et 3m de largeur, disposées parallèlement à l'axe de la piste, symétriquement par rapport à cet axe et à une distance de 18 m entre côtés intérieurs des marques d'une même paire.

Ces paires de marques sont disposées à intervalles longitudinaux de 150 m à partir du seuil de piste, le début de la marque étant pris comme référence de position. Cependant les paires qui coïncident avec une marque de point cible ou en sont éloignées de moins de 50 m ne seront pas mis en place. Dans ces deux derniers cas, la distance entre les deux marques de toucher des roues encadrant la marque de point cible sera de 300 m.

Le nombre de ces paires de marques de zone de toucher des roues variera en fonction de la distance utilisable à l'atterrissage, pour une piste utilisée dans les deux sens aux approches et dont la distance utilisable à l'atterrissage est supérieure 2400 m le nombre de ces paires de marques sera 6.

XI.2.5 Marquage des voies de circulation :

XI.2.5.1 Marques axiales de voie de circulation :

Afin d'assurer un guidage continu entre l'axe de la piste et les postes de stationnement d'aéronef Des marques axiales seront disposées sur les voies de circulation, postes de dégivrage/antigivrage et aires de trafic avec revêtement lorsque le chiffre de code est 4.

Les marques axiales de voie de circulation auront au moins 15 cm de largeur et seront ininterrompues, sauf lorsqu'elles coupent des marques de point d'attente avant piste ou des marques de point d'attente intermédiaire.

La marque axiale est apposée le long de l'axe de la voie de relation dans ses parties rectilignes. Dans les courbes, la marque axiale prolonge la ligne tracée en partie rectiligne, en demeurant à une distance constante du bord extérieur du virage.

À l'intersection d'une voie de relation et d'une piste, la marque axiale de la voie de relation est raccordée à celle de la piste et est prolongée parallèlement à celle-ci sur une distance de 60 m au-delà du point de tangence lorsque le chiffre de code est 4, la distance entre axes des deux marques étant de 0,90 m.

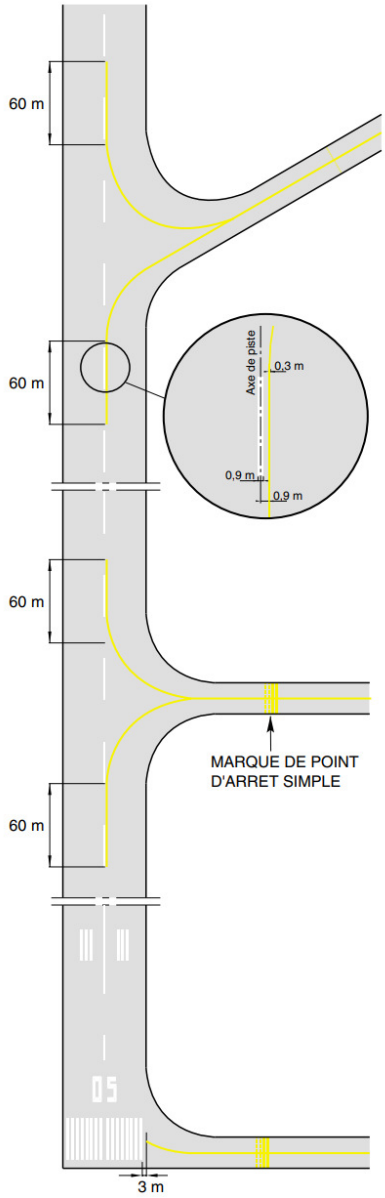


Figure XI.7 Marques axiales de voie de circulation.

XI.2.5.2 Marques de point d'attente de circulation :

Des marques de point d'attente doivent être apposées sur les intersections entre la piste et le voies de circulation, au-delà desquels un aéronef ou un véhicule ne doit pas passer sauf à en avoir reçu l'autorisation de l'organisme de contrôle.

La marque de point d'attente de circulation se compose de quatre bandes disposées perpendiculairement à l'axe de la voie de circulation de 0,15m de largeur et espacées de 0,15m (espacement valables Jusqu'au 25 novembre 2026 a partir cette date l'espacement entre les bandes sera 0,3m) , deux de ces quatre bandes sont continués et les deux autres sont constituées d'éléments de 0,9m de longueur espacée de 0,9m placées sur la voie de circulation à une distance de 75m de l'axe de la piste lorsque la piste est utilisée pour les approches classiques.

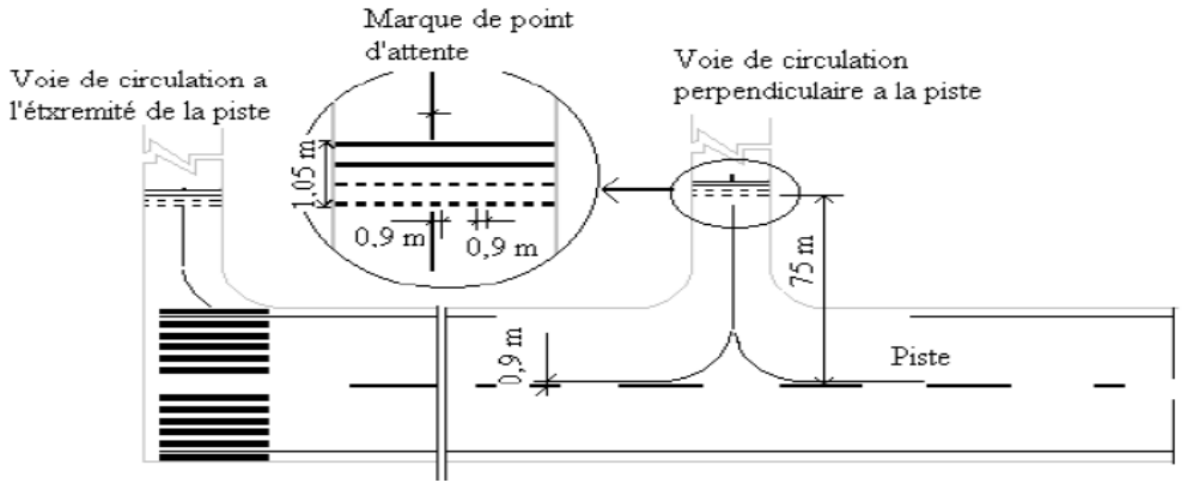


Figure XI.8 Marques de point d'attente de circulation .

XI.2.6 Marques de poste de stationnement :

Les marques des postes de stationnement ou ligne de guidage, se sont révélées très utiles aux manœuvres des avions dans les aires de stationnement. L'objectif étant de mettre à la disposition du pilote un système de marquage au sol permettant d'effectuer les manœuvres sans l'aide du personnel au sol.

Il est recommandé d'après l'OACI que les marques de poste de stationnement d'aéronef comprennent notamment, selon la configuration de stationnement et en complément des autres Aides De Stationnement, Les éléments suivants :

- Une marque d'identification de poste de stationnement :

Lettre et/ou chiffre incorporée à la ligne d'entrée à une faible distance après le début de celle-ci. La hauteur de la marque d'identification devrait être suffisante pour qu'elle puisse être lue du poste de pilotage.

- Une ligne d'entrée :

Est une ligne droite raccordée par un cercle à la ligne d'axe de la voie de circulation d'une largeur de 15 cm au minimum, les rayons de raccordement sont déterminés en fonction du gabarit des avions.

- Une barre de virage :

Barre d'une longueur au moins égale à 6 m et une largeur au moins égale à 15 cm placée perpendiculairement à la ligne d'entrée, au droit du pilote occupant le siège de gauche, au point où doit être amorcé un virage. Cette barre doit comporter une pointe de flèche indiquant le sens du virage.

Les distances qui doivent être maintenues entre la barre de virage et la ligne d'entrée peuvent varier en fonction du type d'aéronef.

- Une ligne de virage.

❖ Une barre d'alignement :

Placée de manière à coïncider avec le prolongement de l'axe de l'aéronef, ce dernier étant dans la position de stationnement spécifiée, et de manière à être visible pour le pilote au cours de la phase finale de la manœuvre de stationnement. Cette barre devrait avoir une largeur d'au moins 15cm.

❖ Une ligne d'arrêt :

Placée perpendiculairement à la barre d'alignement, au droit du pilote occupant le siège de gauche, au point d'arrêt prévu. Cette barre devrait avoir une longueur au moins égale à 6 m et une largeur au moins égale à 15 cm.

XI.2.7 Marques de prolongement d'arrêt :

Les prolongements d'arrêt d'une longueur de 100m sont balisés aux moyens de chevrons de couleur jaune dont les dimensions et la disposition sont données par un plan de signalisation.

Ces chevrons de couleur jaune dont la pointe est dirigée vers le seuil de piste. Sont centrés sur l'axe de la piste, ils ont 0,9 m d'épaisseur de trait, 15 m d'empattement longitudinal et sont séparés de 30 m entre pointes.

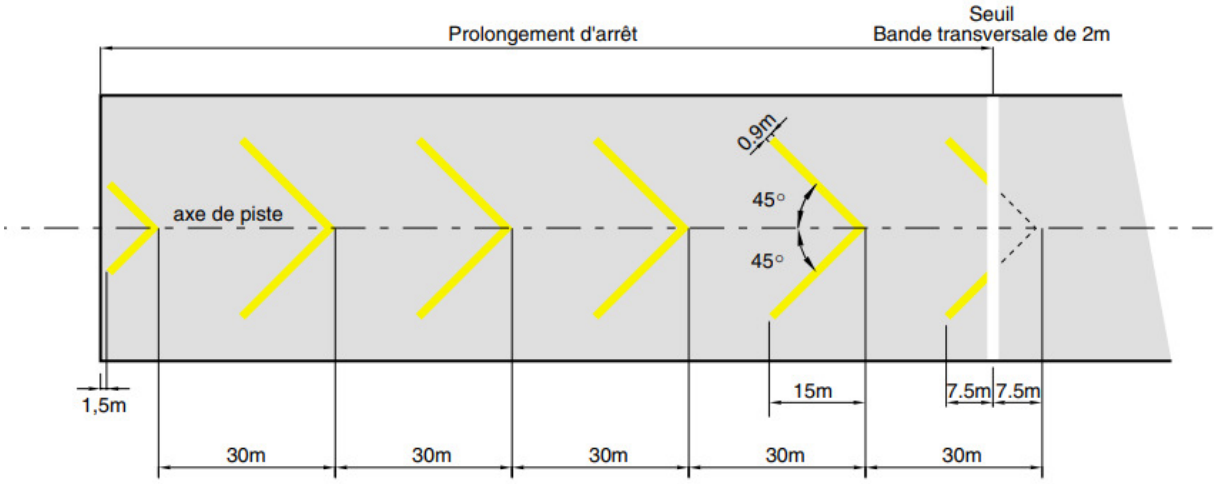


Figure XI.9 Marques de prolongement d'arrêt .

Le premier chevron est disposé de manière telle que sa pointe dépasse de 7,5 m le seuil de piste, cependant seule la partie située en amont du seuil étant dessinée. Les autres chevrons se succédant ensuite tous les 30 m, le marquage du prolongement d'arrêt s'arrête, dans tous les cas, 1,5 m avant l'extrémité de ce dernier comme indiqué sur la figure suivante

XI.3 Balisage et signalisation de nuit :

Le balisage lumineux permet de reconstituer artificiellement les références visuelles minimales nécessaires aux manœuvres d'approche, d'atterrissage, de circulation au sol et de décollage.

Afin d'éviter le moindre risque de confusion ce balisage lumineux est strictement réglementé par l'OACI.

Le dispositif de balisage lumineux comporte :

XI.3.1 Phare d'identification :

C'est un phare ayant pour rôle principal de faciliter l'identification de l'aérodrome en vol il est placé sur le site de l'aérodrome émettant sur 360° en azimut un feu vert de haute intensité.

XI.3.2 Feux de piste :

XI.3.2.1 Feux de bords de piste

Ces feux matérialisent les bords latéraux de chaque piste ils sont nécessaires pour le guidage lors de l'atterrissage ou le décollage.

Ils sont disposés sur toute la longueur de la piste en deux rangés parallèle distancé de 3m des bords de la piste, équidistante de l'axe de la piste. Dans chaque rangée, les feux seront disposés à intervalles réguliers de 60 m au plus et seront symétriques deux à deux par rapport à l'axe de la piste.

Les feux sont de couleur blanche et pouvant être remplacés par des feux de couleur jaune sur les 600 derniers mètres.

XI.3.2.2 Feux de seuil de piste

Des feux de seuil de piste seront disposés sur une piste dotée de feux de bords

Les feux de seuil seront disposés sur une rangé perpendiculaire à l'axe de la piste, aussi près que possible de l'extrémité (de préférence à l'extérieur de la piste à 3 m de ses extrémités) dans le cas ou le seuil coïncide avec l'extrémité de la piste.

Lorsque le seuil est décalé, les feux de seuil seront disposés sur une rangée perpendiculaire à l'axe de la piste au seuil décalé.

Les feux de seuil se compose de six feux au moins pour une piste avec approche classique, ils sont des feux fixes de couleur verte unidirectionnels orientés vers la direction d'approche.

XI.3.2.3 Feux d'extrémité de piste

Les feux d'extrémité de piste seront constitués d'au moins six feux, disposés sur une ligne perpendiculaire à l'axe de la piste, aussi près que possible de l'extrémité de la piste et, en tout cas, à 3 m au plus de cette extrémité, à l'extérieur de la piste. Ces feux devraient soit être uniformément espacés entre les rangées des feux de bord de piste, ou être disposés symétriquement par rapport à l'axe de la piste en deux groupes.

Les feux d'extrémité de piste seront des feux fixes unidirectionnels émettant un faisceau rouge en direction de la piste.

XI.3.2.4 Feux d'axe de piste

Les feux d'axe de piste sont utilisés pour la matérialisation nocturne de l'axe de la piste, ils seront disposés le long de l'axe de la piste, depuis le seuil jusqu'aux extrémités à intervalles uniformes de 15m

Les feux d'axe de piste seront des feux fixes, de couleur blanc variable entre le seuil et un point situé à 900 m de l'extrémité aval de la piste, de couleurs alternées rouge et blanc variable entre 900 m et 300 m de l'extrémité aval de la piste, et de couleur rouge entre 300 m et l'extrémité aval de la piste

XI.3.2.5 Feux de zones de touchée des roues :

Les feux de zones de touchée des roues sont utilisés pour la matérialisation des zones de touchée des roues, ils seront constitués d'une paire de feux situés de chaque côté de l'axe de la piste à 0,3 m en amont de la marque finale de zone de toucher des roues. L'espacement entre les feux d'une même paire ne sera pas supérieur à 1,5 m.

Les feux de zone de toucher des roues seront des feux fixes unidirectionnels blanc variable alignés dans la direction de l'approche vers la piste, de façon à être visibles au pilote d'un avion qui atterrit.

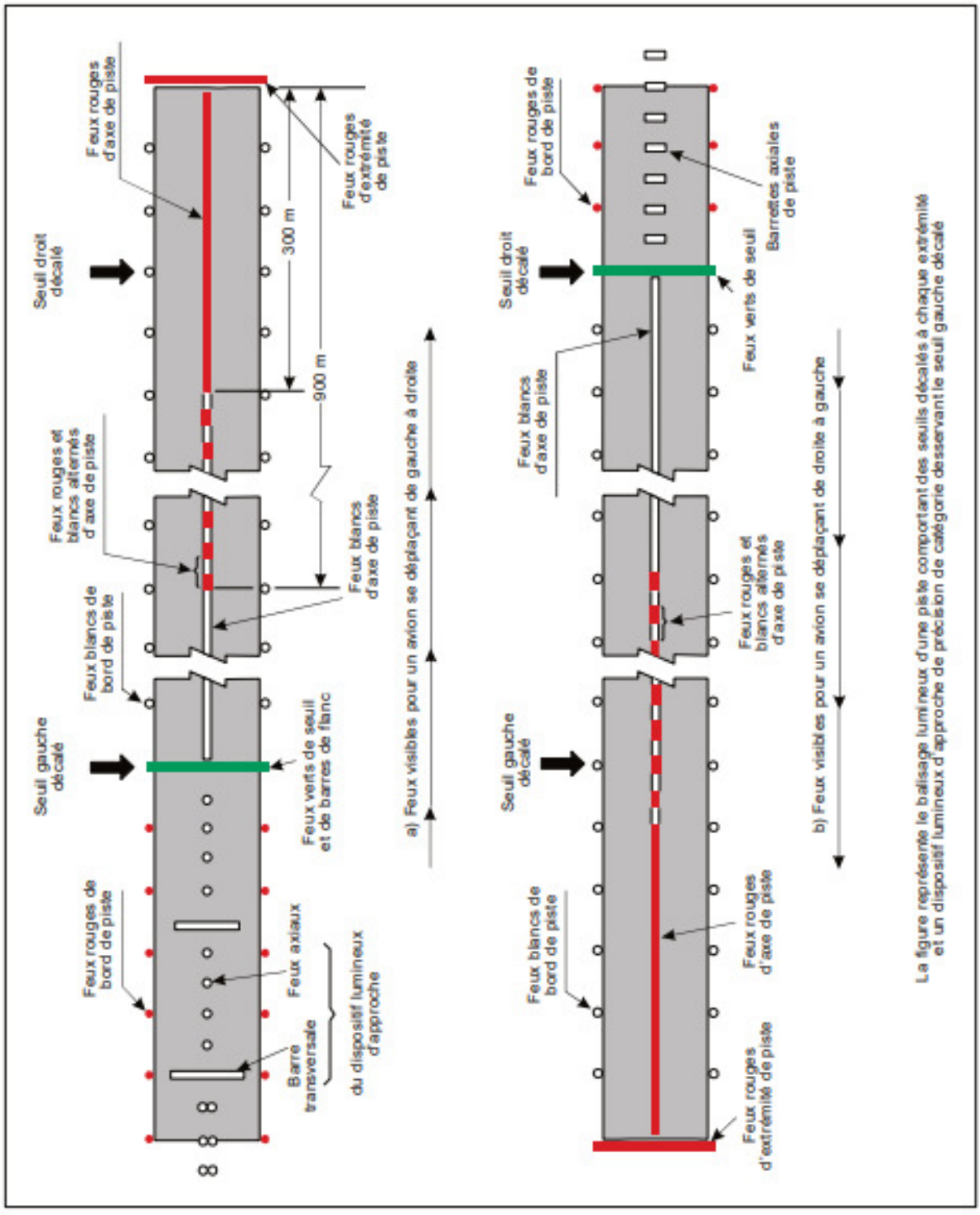


Figure XI.10 Exemple de balisage lumineux d'approche de piste a seuil décalé avec approche de précision.

XI.3.2.6 Feux de prolongement d'arrêt :

Les feux de prolongement d'arrêt seront des feux unidirectionnels fixes visibles en rouge dans la direction de la piste.

Ils seront disposés sur toute la longueur du prolongement d'arrêt en deux rangées parallèles équidistantes de l'axe et dans le prolongement des rangées de feux de bord de piste.

Des feux transversaux de prolongement d'arrêt seront également disposés à l'extrémité du prolongement, perpendiculairement à son axe, aussi près que possible de la fin du prolongement d'arrêt et en aucun cas à plus de 3 m au-delà de cette extrémité.

XI.3.3 Feux de voie de circulation :

XI.3.3.1 Feux axiaux de voie de circulation :

Les feux axiaux de voie de circulation seront installés sur les voies de circulation et sorties de piste, de manière à assurer un guidage continu depuis l'axe de la piste jusqu'au point de l'aire de stationnement ou les aéronefs entament les manœuvres finales de stationnement.

Les feux axiaux installés sur des voies de circulation autres que des voies de sortie de piste seront des feux fixes de couleur verte et l'ouverture du faisceau sera telle qu'ils seront visibles seulement pour un avion qui se trouve sur la voie de circulation ou à proximité de celle-ci, la distance recommandée entre deux feux successifs est de 30 m au maximum

Les feux axiaux de voie de sortie de piste seront des feux fixes de couleur alternativement verts et jaunes, depuis l'emplacement où ils commencent, à proximité de l'axe de la piste, jusqu'à la limite inférieure de la surface intérieure de transition, Il est recommandé que les feux soient espacés au maximum de 7,5 m.

XI.3.3.2 Feux de bords des voies de circulation :

Des feux de bords de voies de circulation seront installés pour la matérialisation bords des voies de circulation ces feux sont constitués par des feux fixes de couleur bleue, visibles jusqu'à 30 degrés au moins au-dessus de l'horizon, dans toutes les directions.

Dans les parties rectilignes d'une voie de circulation les feux de bords seront installés à intervalle uniforme de 60 m, au niveau des virages, l'espacement entre les feux serait inférieur à 60 m de manière à ce que les limites du virage soit nettement visibles.

XI.3.3.3 Les barres d'arrêt :

Les barres d'arrêt sont destinées à être commandées manuellement ou automatiquement par les services de la circulation aérienne. Elles seront installées au point d'attente de circulation.

Les barres d'arrêt seront placées en travers de la voie de circulation au point où l'on désire que la circulation s'arrête (ou d'attente d'autorisation d'accès à la piste). Les feux seront au moins à 3 m du bord de la voie de circulation.

Les barres d'arrêt seront composées de feux de couleur rouge, espacés uniformément d'au plus 3 m, placés transversalement à la voie de circulation et visibles dans la ou les directions prises pour s'approcher de l'intersection ou du point d'attente avant piste.

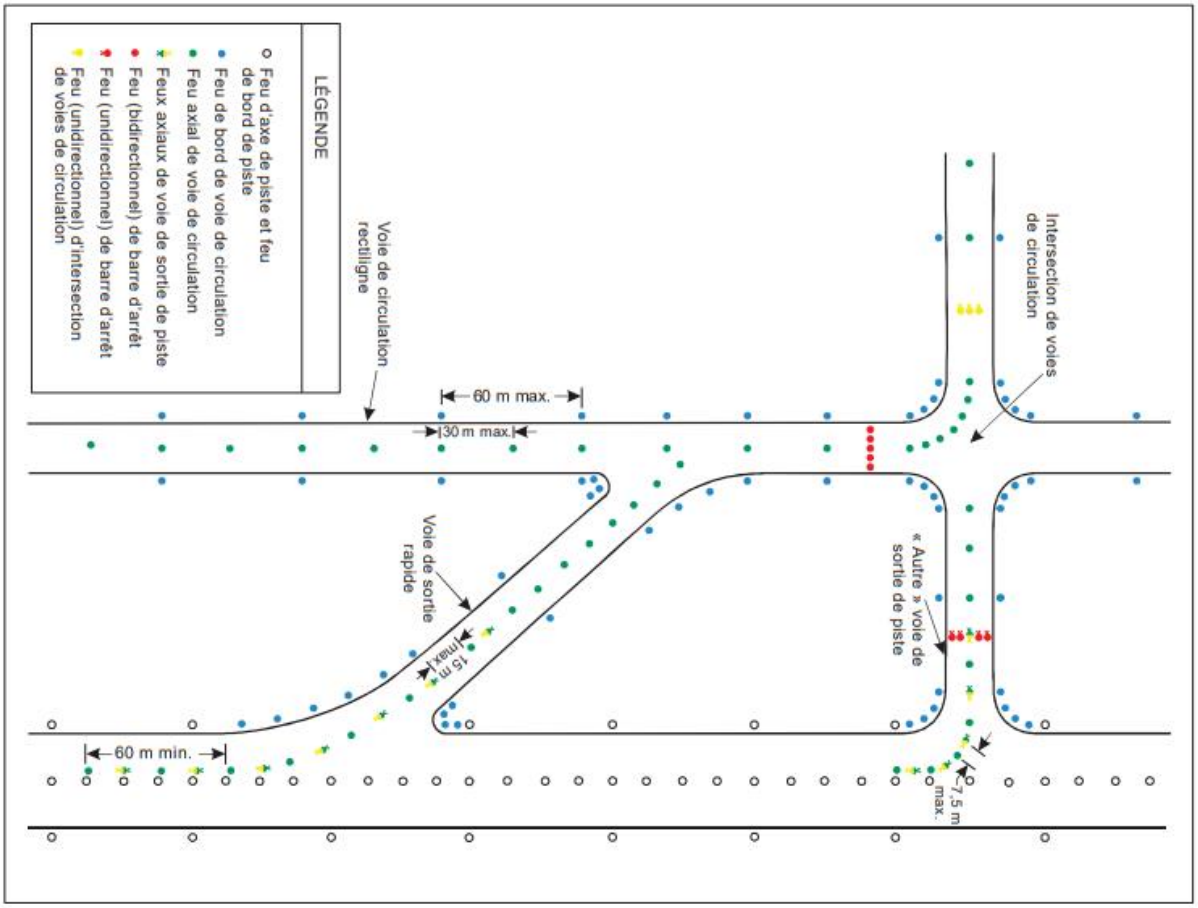


Figure XI.11 Balisage de voie de circulation.

XI.3.3.4 Feux indicateurs de voie de sortie rapide :

Les feux indicateurs de voie de sortie rapide (RETIL) servent à fournir aux pilotes des renseignements sur la distance restante avant la voie de sortie rapide la plus proche sur la piste, pour qu'ils puissent mieux se situer par mauvaise visibilité et régler leur freinage afin de maintenir des vitesses plus efficaces de course au sol et de sortie de piste.

Un ensemble de feux indicateurs de voie de sortie rapide sera implanté sur la piste du même côté de l'axe de piste que la voie de sortie rapide correspondante, selon la configuration indiquée dans la figure ci-dessous. Pour chaque ensemble, les feux seront implantés à intervalles de 2 m et le feu le plus proche de l'axe de piste sera décalé de 2 m par rapport à cet axe

Les feux indicateurs de voie de sortie rapide seront des feux jaunes unidirectionnels fixes, alignés de façon à être visibles au pilote d'un avion qui atterrit, dans la direction de l'approche vers la piste.

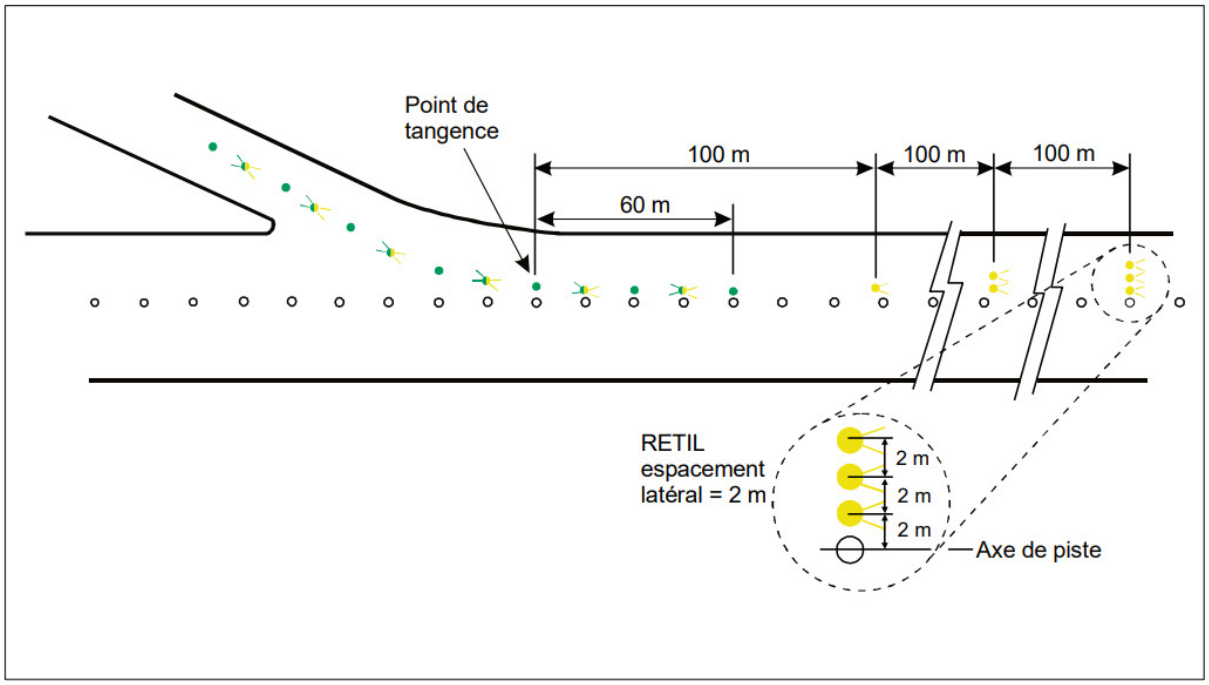


Figure XI.12 Feux indicateurs de voie de sortie rapide .

XI.3.4 Feux des aires de stationnement :

Les feux de guidages pour les manœuvres sur le poste de stationnement seront installés à 0,3 m vers l'intérieur de la marque de point d'attente intermédiaire, disposée à la limite de sortie d'un poste éloigné.

Ils seront constitués de feux unidirectionnels fixes encastrés de couleur jaune, espacés de 6 m et visibles seulement pour les avions qui approchent de la limite de sortie, avec une disposition des feux semblable à celle des feux axiaux de voie de circulation.

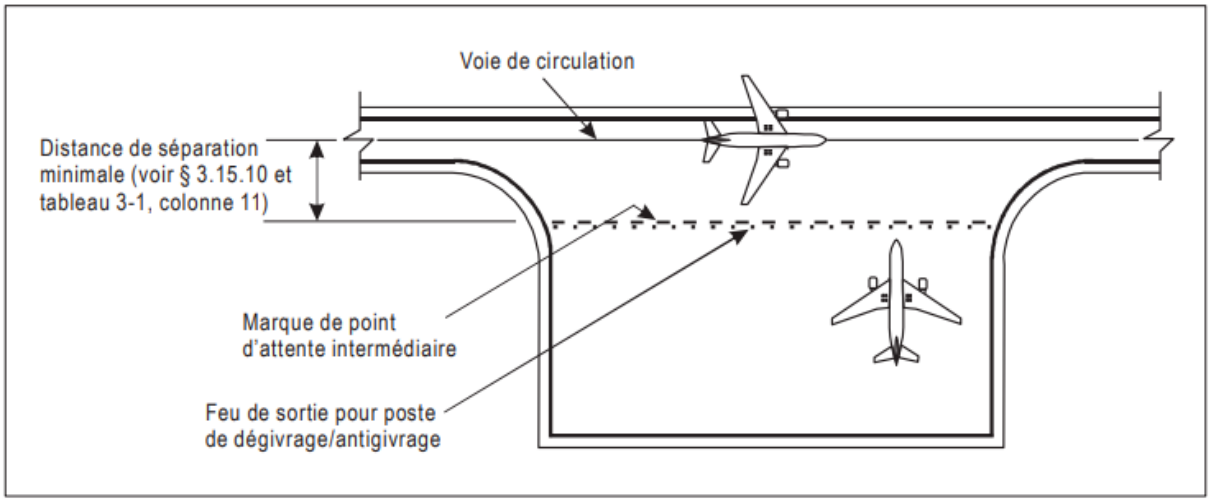


Figure XI.13 Feux des aires de stationnement.

XI.4 Conclusion :

Les différents marquages de piste doivent être réalisés selon les normes et spécification recommandées par l'O.A.C.I afin répondent à tous les besoins opérationnels des pilotes et éviter les problèmes de visibilité.

Dans ce chapitre nous avons traité le balisage et la signalisation normalisés de l'aérodrome Bou Saada afin de permettre une meilleure organisation du trafic aérien et d'assurer la sécurité des aéronefs pendant les manœuvres d'atterrissage.

Chapitre 12

Cubatures

XII Cubatures :

XII.1 Introduction :

Afin de compatible du terrain naturel aux besoins de notre projet, des modifications sur la forme de la surface du terrain sont nécessaires.

La modification de la configuration naturelle du terrain se divise en deux actions distinctes : l'ajout de terre (remblai) et l'enlèvement de terre (déblai) le tout est regroupés dans le mot terrassement, la quantification des volumes de déblais et de remblais est connue sous le nom de cubature des terrassements.

Les cubatures se réfèrent au nombre de cubes de déblais et de remblais nécessaires pour obtenir une surface uniforme, approximativement proche et adjacente à la ligne rouge de notre projet.

XII.2 Méthode de calcul des cubatures :

Le calcul des cubatures se base sur les profils en travers en utilisant la méthode moyenne des aires, c'est une méthode qui consiste à évaluer approximativement les volumes de terres compris entre deux profils, en faisant le produit de la moyenne des surfaces de chacun d'eux par la distance partielle les séparant, la formule de calcul des cubatures est la suivante :

$$V= S_1(L_1/2)+S_2(L_1+L_2)/2+\ldots\ldots\ldots\ldots+ S_{n-1}(L_{n-1}+L_n)/2+S_n(L_n)/2$$

Avec :

S : aire de profil en travers.

n : numéro de profil.

L : distance entre profil.

XII.3 Résultats calcul des cubatures de terrassement :

Les résultats de calcule ont été obtenu directement a partir du logiciel Civil 3D qui utilise la méthode moyenne des aires, ils sont exprimés dans le tableau suivant :

Tableau XII.1 Volume de terrassement.

	Déblais	Remblais
Piste principal	8849530,03	21422,92
Voie de circulation 1	131006,93	17747,14
Voie de circulation 2	36988,16	0
Bretelle 1 et 2	17896.24	0
Parking	49563,16	0
Voie de sortie rapide	13792,00	47,66
Totale (m^3)	1134199,52	39217,72

Chapitre 13

Métrés

XIII Métrés :

XIII.1 Introduction :

Toute étude d'un projet d'infrastructure se termine par le calcul des quantités applicables à chaque opération réellement exécutée, cette étape s'appelle le métré. Ceci servira à avoir une idée générale sur l'aspect financier du projet.

XIII.2 Calcul des surfaces :

XIII.2.1 Chaussée :

1. Piste 15/33 : ……..S=3000 x 45 = 135000.
2. Voie de circulation N° 01 : ……..……..S=3280.26 x 25 = 82006,5.
3. Voie de circulation N° 02 : ……..…….S=709.24 x 25 =17731.
4. Parking avions : ……..……. S= 300 x 110= 33 000,00.
5. Bretelles 1 : ……..……. S= 185 x 25 = 4625.
6. Bretelles 2 : ……..……. S= 182.5 x 25=4562,5.
7. Voie de sortie rapide : ……..……..……. S= 370 x 25=9250.

XIII.2.2 Accotement :

1. Piste 15/33 : ……..…….S=3000 x 15 = 45000.
2. Voie de circulation N° 01 : ……..……..S=3280.26 x 15 = 49203,9.
3. Voie de circulation N° 02 : ……..……..S=709.24 x 15=10638,6.
4. Bretelles 1 : ……..……. S= 185 x 15 = 2775.
5. Bretelles 2 : ……..……. S= 182.5 x 15=2737.5.
6. Voie de sortie rapide : ……..……. S= 370 x 15=5550.

XIII.2.3 P.O.R :

1. Piste 15/33 : ……..……..…….S=60 x 60 = 3600.

XIII.2.4 RESA :

1. Piste 15/33 : ……..……..…….S=90 x 90 x 2 = 16200.

XIII.2.5 Bande :

1. Piste 15/33 : ……..……..…….S=298800.
2. Voie de circulation N° 01 : ……..……..S=3280.26 x 12 = 39363,12.
3. Voie de circulation N° 02 : ……..……..S=709.24 x 12 =8510,88

XIII.3 Calcul des quantités :

Les masses volumiques des différents matériaux :

- La masse volumique du béton bitumineux est de 2.4 t/ m 3
- La masse volumique du béton butimineux a module élevé est de 2.65 t/ m 3
- La masse volumique du grave bitume est de 2.3 t/ m 3
- Les couches d'accrochage en émulsion cationique sont dosées a 1.15 kg/ m 2
- Les couches d'imprégnation en cut-back 0/1 sont dosées a 1.25kg/ m 2

XIII.3.1.1 Chaussée

XIII.3.1.2 Chaussée Piste principale+ voie de sortie rapide :

Surface totale =135000+9250 =144250m^2

1. Couche de roulement en béton bitumineux 0/14 ep : 0,06m
   144250 x 0.06 x 2,4 t/m3 ……...……...= 20772 t
2. Couche d'accrochage en émulsion cationique
   144250 x 1,15 x 10^{-3} ……...……...= 165.89 t
3. Couche de base en grave bitume 0/20 ep : 0,12 m
   144250 x 0.12x 2,3 t/m^3 ……...……...= 39813 t
4. Couche d'imprégnation au cut-bak 0/1 :
   144250 x 1,25 x 10^{-3} t/m^2 ……...……...= 180,3125t
5. Couche de fondation en grave concassée 0/31,5 ep : 0,16 m
   144250 x 0.16……...……...= 23080m^3
6. Couche en tuf : ep = 0,2 m
   144250 x 0.2……...……...= 28850 m^3

XIII.3.1.3 Parking

Surface totale 33000 m^2

1. Couche de roulement en béton bitumineux 0/14 ep : 0,08m
   33000 x 0.08 x 2,4 t/m3 ……...……...= 6336 t
2. Couche d'accrochage en émulsion cationique
   33000 x 1,15 x 10^{-3} ……...……...= 37,95 t
3. Couche de base en grave bitume 0/20 ep : 0,15 m
   33000 x 0.15x 2,3 t/m^3 ……...……...= 11385 t
4. Couche d'imprégnation au cut-bak 0/1 :
   33000 x 1,25 x 10^{-3} t/m^2 ……...……...= 41,250 t
5. Couche de fondation en grave concassée 0/31,5 ep : 0,20 m
   33000 x 0.2……...……...= 6600m^3
6. Couche en tuf : ep = 0,35 m
   33000 x 0.35……...……...= 11550 m^3

XIII.3.1.4 Voie de circulation 1et2 + bretelle 1et 2 :

Surface totale=82006.5+17731+4625+4562.5=108925 m^2

1. Couche de roulement en béton bitumineux 0/14 ep : 0,07m
   108925 x 0,07 x 2,4 t/m3 ……...……...= 18299,4 t
2. Couche d'accrochage en émulsion cationique
   108925 x 1,15 x 10^{-3} ……...……...= 125,26 t
3. Couche de base en grave bitume 0/20 ep : 0,12 m
   108925 x 0,12x 2,3 t/m^3 ……...……...= 30063,3 t
4. Couche d'imprégnation au cut-bak 0/1 :
   108925 x 1,25 x 10^{-3} t/m^2 ……...……...= 136 ,15625 t

5. Couche de fondation en grave concassée 0/31,5 ep : 0,15 m
   108925 x 0,15……...……...= 16338,75m^3
6. Couche en tuf : ep = 0,28 m
   108925 x 0,28……...……...= 304999 m^3

XIII.3.1.5Accotement :

Surface totale=45000+49203,9+10638,6+2775+2737,5+5550= 115905m^2

1. Couche de roulement en béton bitumineux 0/14 ep : 0,05m
   115905 x 0,05 x 2,4 t/m3 ……...……...= 13908,6 t
2. Couche d'accrochage en émulsion cationique
   115905 x 1,15 x 10^{-3} ……...……...= 133,29 t
3. Couche de base en grave bitume 0/20 ep : 0,12 m
   115905 x 0,12x 2,3 t/m^3 ……...……...= 31989,78t
4. Couche d'imprégnation au cut-bak 0/1 :
   115905 x 1,25 x 10^{-3} t/m^2 ……...……...= 144,88125 t
5. Couche de fondation en grave concassée 0/31,5 ep : 0,15 m
   115905 x 0,15……...……...= 17385,75m^3
6. Couche en tuf : ep = 0,20 m
   115905 x 0,20……...……...= 23181 m^3

XIII.3.1.6P.O.R :

Surface totale= 3600 m^2

1. Couche de roulement en béton bitumineux 0/14 ep : 0,08m
   3600 x 0,05 x 2,4 t/m3 ……...……...= 432 t
2. Couche d'accrochage en émulsion cationique
   3600x 1,15 x 10^{-3} ……...……...= 4,14 t
3. Couche de base en grave bitume 0/20 ep : 0,0 m
   /
4. Couche d'imprégnation au cut-bak 0/1 :
   3600 x 1,25 x 10^{-3} t/m^2 ……...……...= 4,5 t
5. Couche de fondation en grave concassée 0/31,5 ep : 0,15 m
   3600 x 0, 15……...……...= 540 m^3
6. Couche en tuf : ep = 0,20 m
   3600 x 0,20……...……...= 720 m^3

XIII.3.1.7BANDE + RESA

Surface totale = 16200+298800 +39363,12+8510,88= 362874m^2

1. Couche en tuf : ep = 0,30 m
   362874x 0, 30……...……...= 108 862,2m^3

XIII.3.1.8Tableau récapitulatif de quantité

Tableau XIII.1 Tableau récapitulatif de quantité

Materiaux	Quantité
Béton Bitumineux 0/14	**59748 t**
émulsion cationique	**466.53 t**
grave bitume 0/20	**113251.08 t**
Cut-bak 0/1	**507,100 t**
grave concassée 0/31,5	**63944.5 m3**
tuf	**478162.2 m3**

XIII.3.2 Signalisation :

1. Peinture pour balisage

L=.....……...= **600** mL

XIII.4 Devis quantatif et estimatif

Tableau XIII.2 Devis quantitatif et estimatif.

N°	DESIGNATION	U	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	MONTANT TOTAL EN HORS TAXES
1	**SECTION 1 : INSTALLATION DE CHANTIER ET REPLI DE MATERIEL**				
1,1	Amenée du matériel et installation de chantier		1	15.000.000,00	15.000.000
1.2	Démontage et repli des installations de chantier		**1**	5 000 000,00	5.000.000
				SOUS TOTAL:	20000000
2	**SECTION 2: TRAVAUX PREPARATOIRES ET TERRASSEMENTS:**				
2.1	Remblais d'empreint		39217,72	600	23.530.632
2.3	Déblais mis en dépôts		9098776,5	300	2.729.632.950
2.4	Réglage et compactage de la forme		768554	85	65.327.090
				SOUS TOTAL :	2.818.490.672
3	**SECTION 3: CHAUSSEES ET ACCOTEMENTS**				
3.1	Couche de forme en tuf pour chaussées et accotements		478162,2	750	358.621.650
3.2	Couche de fondation en grave concassée		63944,5	2 800,00	179.044.600
3.3	Couche d'imprégnation au Cut-Back 0/1		597,1	70 000,00	41.797.000
3.4	Couche d'accrochage en émulsion cationique		466,53	75 000,00	34.989.750
3.5	Couche de base en grave bitume 0/20 pour chaussées		113251,08	6 800,00	770.107.344
3.6	Couche de roulement en béton bitumineux 0/14		59748	7 500,00	448.110.000
3.7	Décapage terre végétale		230566,2	250,00	57.641.550
3.8	Buse		150	18 000,00	2.700.000
3.9	Produit anti-kérozène		2513.28	500.00	1.256.640
3.10	Faussé		6000	7500	45000000
				SOUS TOTAL :	129.468.534
4	**SECTION 4 : SIGNALISATION**				
4.1	Peinture pour balisage		**600**	400	240.000
				SOUS TOTAL :	240.000

Tableau XIII.3Devis quantitatif et estimatif.

		MONTANT EN DA
SECTION 1	**Installation de chantier et repli de matériel**	**20.000.000**
SECTION 2	**Travaux préparatoires et terrassements**	**2.818.490.672**
SECTION 3	**Chaussées et accotements**	**129.468.534**
SECTION 4	**Signalisation**	**240.000**
TOTAL GENERAL EN HORS TAXES		2.968.199.206
TVA (19 %)		563.957.849,1
TOTAL GENERAL EN TTC		3.532.157.055

Conclusion générale

En conclusion, notre projet de fin d'études intitulé "Le développement des infrastructures de l'aéroport de Bou Saada" a abordé plusieurs chapitres clés liés à l'aménagement et à la modernisation de l'infrastructure aéroportuaire existante. À travers ces chapitres, nous avons examiné des aspects essentiels tels que le choix entre l'extension ou la création d'une nouvelle piste, l'étude des dégagements, l'étude géométrique, la partie géotechnique, le dimensionnement du corps de chaussée, la signalisation et l'étude d'assainissement.

Dans le chapitre concernant le choix entre l'extension ou la création d'une nouvelle piste, nous avons analysé les avantages et les inconvénients de chaque option, en tenant compte des contraintes topographiques et géographiques de l'aérodrome de Bou Saada. Après une évaluation approfondie, nous avons opté pour la création d'une nouvelle piste afin de répondre aux besoins croissants du trafic aérien et de garantir une meilleure capacité opérationnelle.

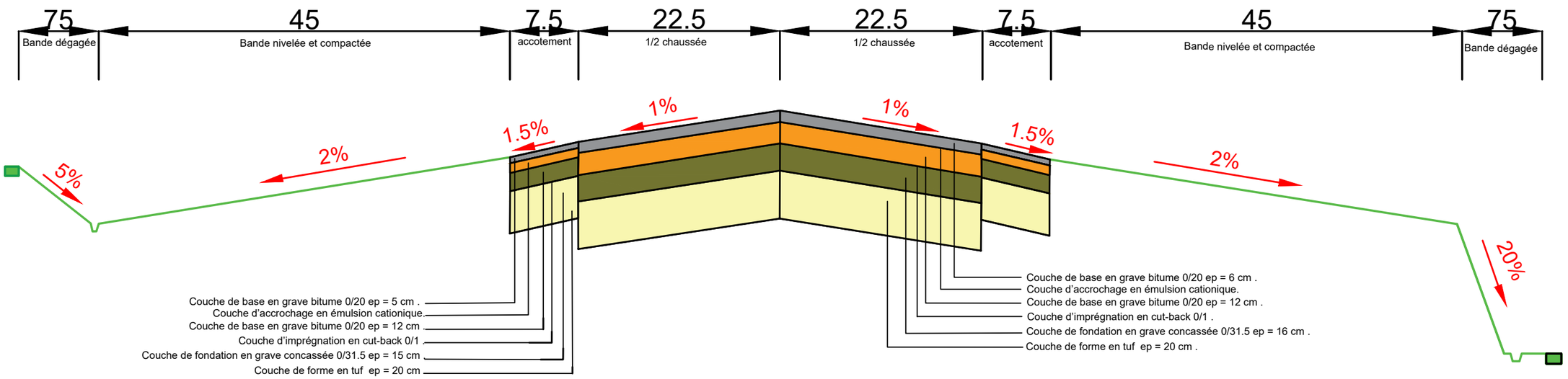
L'étude géométrique et l'étude des dégagements a été une étape cruciale dans notre projet, car elle vise à assurer la sécurité des opérations aériennes. Nous avons pris en compte les exigences réglementaires en matière de dégagements et avons proposé des solutions qui garantissent un espace aérien sécurisé pour les aéronefs, minimisant les risques d'accidents et de retards.

La partie géotechnique a également joué un rôle fondamental dans notre projet. Nous avons réalisé des études approfondies du sol et des fondations pour déterminer les caractéristiques géotechniques de la zone de l'aérodrome de Bou Saada. Ces études nous ont permis de concevoir des solutions adaptées pour le dimensionnement du corps de chaussée, en assurant sa stabilité et sa durabilité dans le temps.

La signalisation aéroportuaire a été prise en compte pour garantir une navigation sûre et efficace sur l'aérodrome. Nous avons proposé un système de signalisation clair et précis, conforme aux normes internationales, afin de guider les pilotes et le personnel au sol dans leurs opérations quotidiennes.

Enfin, l'étude d'assainissement a été réalisée pour assurer une gestion efficace des eaux pluviales et des eaux de ruissellement sur l'aérodrome de Bou Saada. Nous avons identifié les besoins en matière d'assainissement et proposé des solutions pour minimiser les risques d'inondation et assurer une gestion durable des eaux.

Dans l'ensemble, Nous sommes convaincus que la mise en œuvre de ces recommandations contribuera à l'amélioration de la capacité opérationnelle de l'aérodrome, renforcera la connectivité régionale, favorisera le développement économique et commercial.



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

PROJET : ETUDE DE DEVELOPPEMENT DES INFRASTRUCTURES AEROPORTUAIRESDE L'AERODROME DE BOUSAADA (AIN-EDDIS)

PROFIL EN TRAVERS TYPE DE LA PISTE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES TRAVAUX PUBLICS

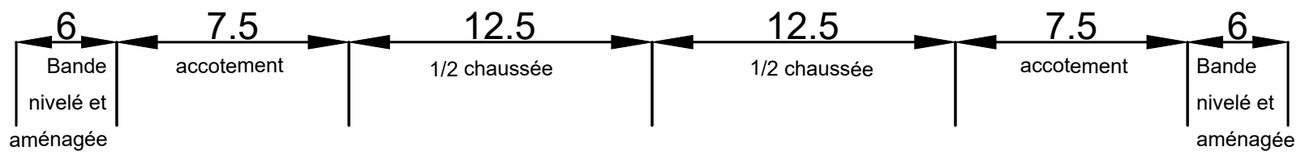
ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Built and Ground Works Engineering

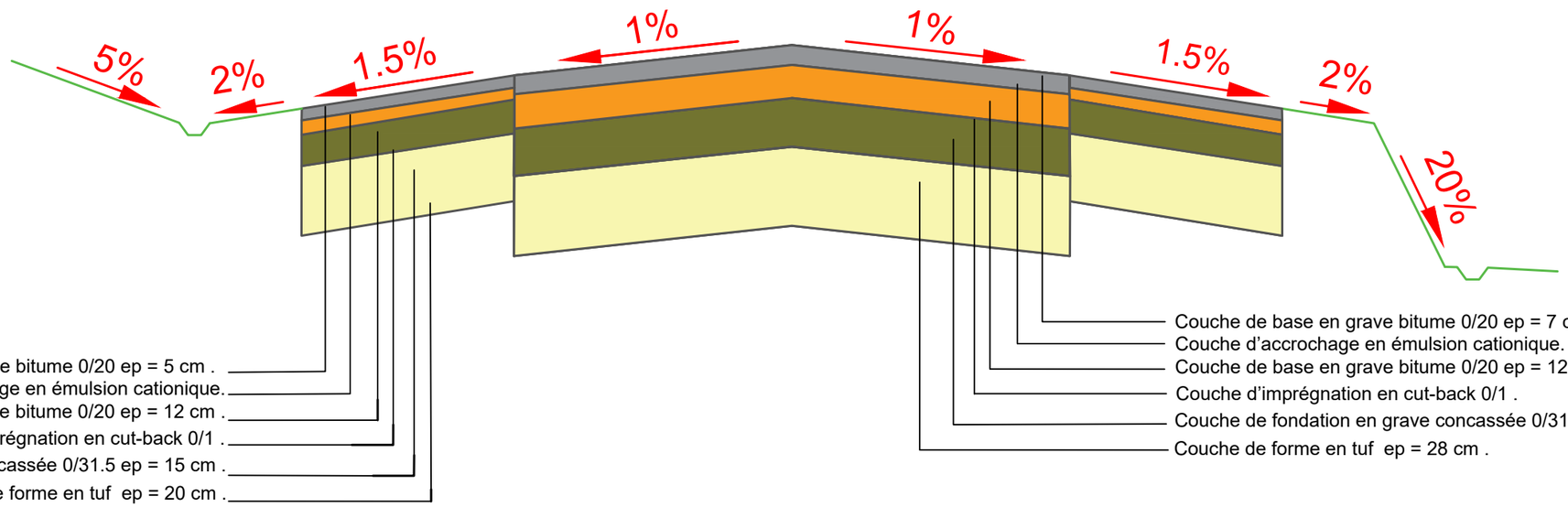
ECHELLE : 1/250/25

ETABLIE PAR : AIT ALALLA / SEFFAH

VERIFIE ET VALIDE PAR : Mr HALES

DATE : JUIN 2023





REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

PROJET : ETUDE DE DEVELOPPEMENT DES INFRASTRUCTURES AEROPORTUAIRESDE L'AERODROME DE BOUSAADA (AIN-EDDIS)

PROFIL EN TRAVERS TYPE BRETELLE ET VOIE DE CIRCULATION

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES TRAVAUX PUBLICS

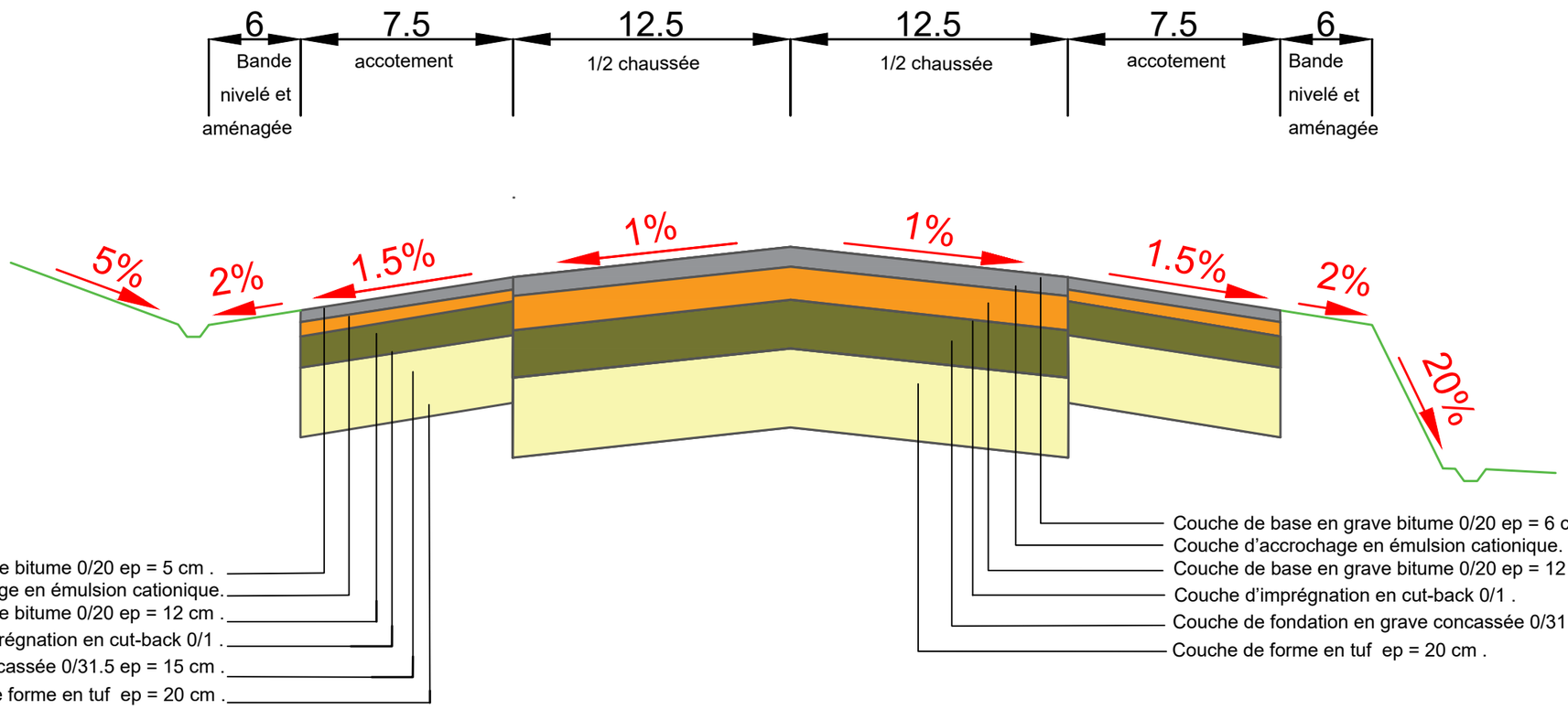
ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Built and Ground Works Engineering

ECHELLE : 1/250/25

ETABLIE PAR : AIT ALALLA / SEFFAH

VERIFIE ET VALIDE PAR : Mr HALES

DATE : JUIN 2023



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

PROJET : ETUDE DE DEVELOPPEMENT DES INFRASTRUCTURES AEROPORTUAIRESDE L'AERODROME DE BOUSAADA (AIN-EDDIS)

PROFIL EN TRAVERS TYPE VOIE DE SORTIE RAPIDE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES TRAVAUX PUBLICS

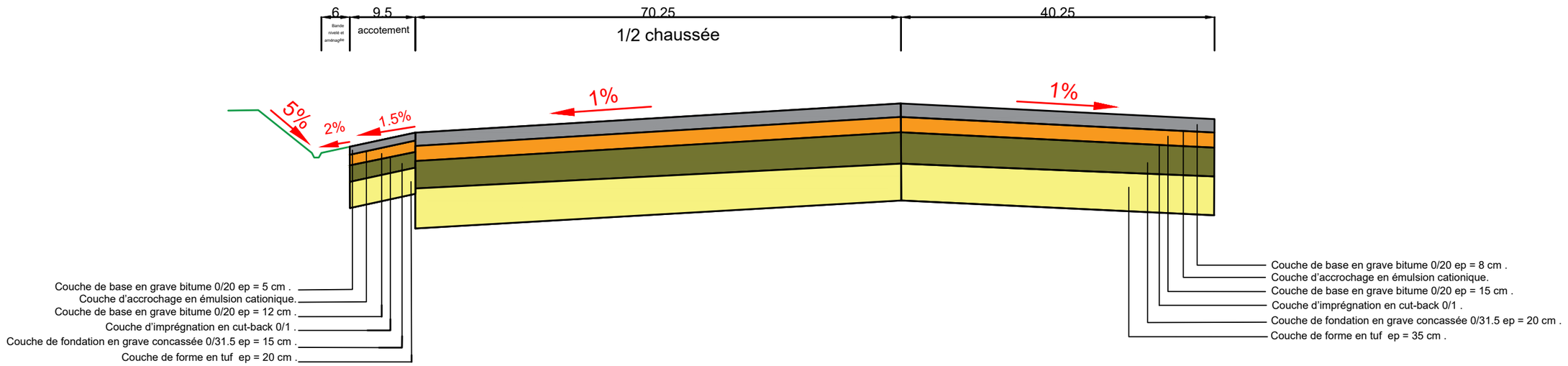
ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Built and Ground Works Engineering

ECHELLE : 1/250/25

ETABLIE PAR : AIT ALALLA / SEFFAH

VERIFIE ET VALIDE PAR : Mr HALES

DATE : JUIN 2023



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

PROJET : ETUDE DE DEVELOPPEMENT DES INFRASTRUCTURES AEROPORTUAIRES DE L'AERODROME DE BOUSAADA (AIN-EDDIS)

PROFIL EN TRAVERS TYPE PARKING

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES TRAVAUX PUBLICS

ENSTP
المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Built and Ground Works Engineering

ECHELLE : 1/250/25

ETABLIE PAR : AIT ALALLA / SEFFAH

VERIFIE ET VALIDE PAR : Mr HALES

DATE : JUIN 2023

Annexes

&

Bibliographie

Annexe 1 : étude géotechnique

Résultat essais puits de reconnaissance :

Tableau 0.1 Description géologique des puits de reconnaissanc

Puits N°	Lithologie	Profondeur en m	Nature du terrain
1		0.00- 0.20	Terre végétale sableuse
		0.20- 1.50	Passage alluvionnaire gravelo-sableux
		1.50- 2.50	Tuf sablo-argileux
2		0.00- 0.40	Terre végétale sableuse
		0.40- 0.60	Passage alluvionnaire gravelo-sableux
		0.60- 1.00	Passage sablo-graveleux
		1.00- 2.40	Alluvions gravelo-sableuses
		2.40- 3.20	Tuf sablo-argileux
3		0.00- 1.00	Sable fin
		1.00- 2.50	Alluvions gravelo-sableuses avec de gros galets
			Sable fin

4		0.00-0.80	Sable fin
		0.80- 2.80	Alluvions gravelo-sableuses
5		0.00- 0.20	Terre végétale
		0.20- 2.20	Passage alluvionnaire gravelo-sableux
		2.20- 2.80	Passage de sable
6		0.00- 0.20	Terre Végétale
		0.20- 2.20	Passage alluvionnaire gravelo-sableux
		2.20- 2.80	Passage de sable
7		0.00- 0.20	Terre Végétale
		0.20- 2.30	Passage alluvionnaire gravelo-sableux
		2.30- 2.60	Sable fin
8		0.00- 1.35	Sable fin
		1.35- 3.00	Alluvions gravelo-sableuses
9		0.00- 1.70	Sable fin
		1.70- 2.90	Alluvions gravelo-sableuses avec de gros galets
10		0.00- 2.10	Sable fin
		2.10- 2.90	Alluvions gravelo-sableuses avec de gros galets
11		0.00- 2.90	Sable fin
		2.90- 3.20	Alluvions gravelo-sableuses
		3.20- 3.50	Sable
12		0.00- 1.20	Sable fin

13		0.00- 0.70	Sable fin
		0.70- 2.70	Alluvions gravelo-sableuses avec des gros galets et cailloux
14		0.00- 0.50	Terre végétale sableuse
		0.50- 2.50	Alluvions gravelo-sableuses avec des gros galets
15		0.00- 0.20	Terre végétale sableuse
		0.20- 1.30	Alluvions gravelo-sableuses avec des gros galets
		1.30- 1.80	Sable fin
		1.80- 2.60	Alluvions gravelo-sableuses avec des gros galets
16		0.00- 0.50	Terre végétale sableuse
		0.50- 2.60	Alluvions gravelo-sableuses avec des gros galets
17		0.00- 0.70	Terre végétale sableuse
		0.70- 1.30	Alluvions gravelo-sableuses
		1.30- 2.90	Sable fin
18		0.00- 1.10	Terre végétale sableuse
		1.10- 1.70	Alluvions gravelo-sableuses avec des gros galets
		1.70- 2.60	Sable fin
19		0.00- 0.60	Terre végétale sableuse
		0.60- 1.80	Alluvions gravelo-sableuses avec des gros galets
		1.80- 2.60	Sable fin

20		0.00- 0.30	Sable fin
		0.30- 3.30	Tuf sableux
21		0.00- 1.20	Sable fin
		1.20- 2.10	Tuf sableux
		2.10- 2.08	Sable fin
22		0.00- 0.20	Terre végétale sableuse
		0.20- 3.20	Tuf sableux
23		0.00- 3.20	Sable fin
24		0.00- 3.10	Sable fin
25		0.00- 0.70	Terre végétale sableuse
		0.70- 1.20	Alluvions gravelo-sableuses
		1.20- 2.60	Sable fin
26		0.00- 0.60	Sable fin
27		0.00- 1.10	Sable fin
		1.10- 2.60	Tuf sablo-argileux
28		0.00- 0.80	Terre végétale sableuse
		0.80- 2.50	Tuf sablo-argileux avec quelques cailloux roulés
29		0.00- 3.20	Sable fin
30		0.00- 0.80	Terre végétale sableuse
		0.80- 2.50	Tuf sablo-argileux

Courbe granulométrique :

Courbe N°	Puits N°	Profondeur
1	1	1.50-2.50

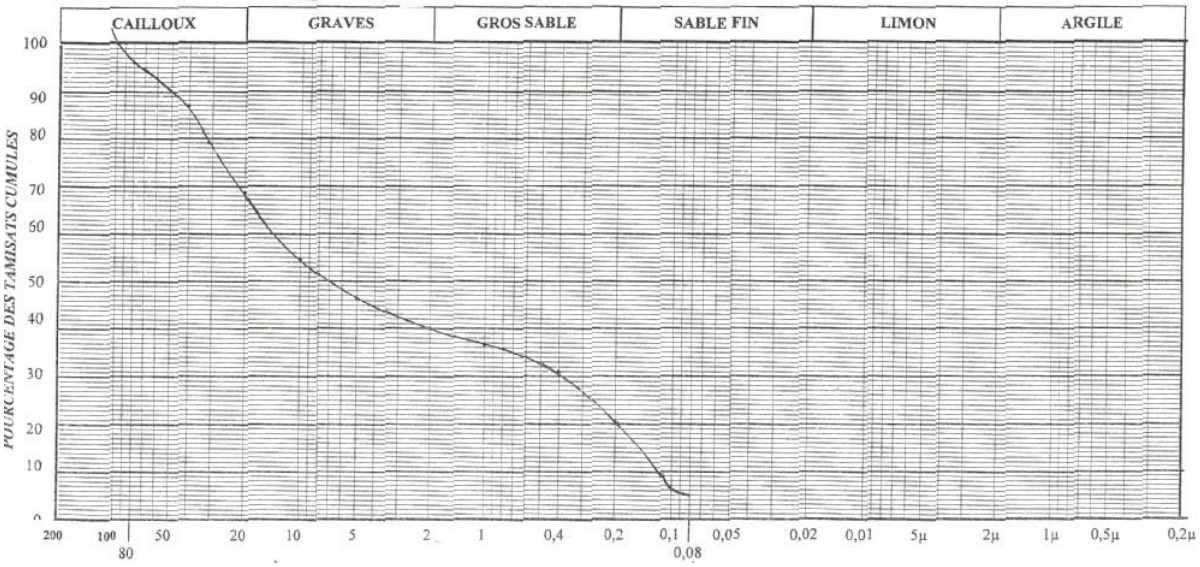


Figure 1.0.1 Courbe granulométrique du puits N° 1

Courbe N°	Puits N°	Profondeur
2	2	1.50-2.50

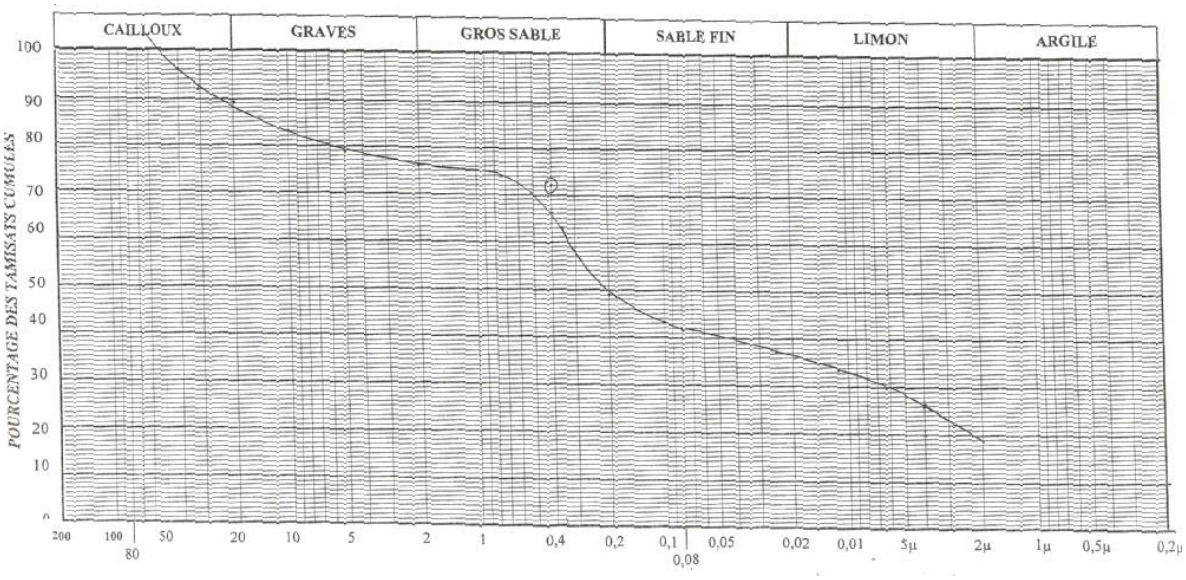


Figure 0.2 Courbe granulométrique du puits N° 2

Courbe N°	Puits N°	Profondeur
3	3	1.50-2.50

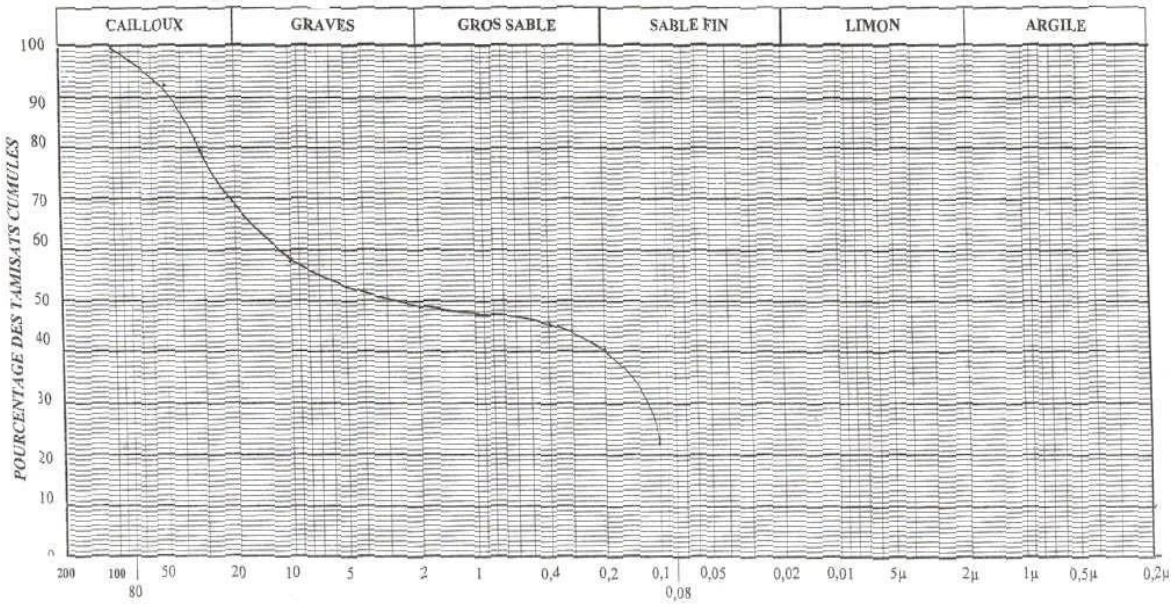
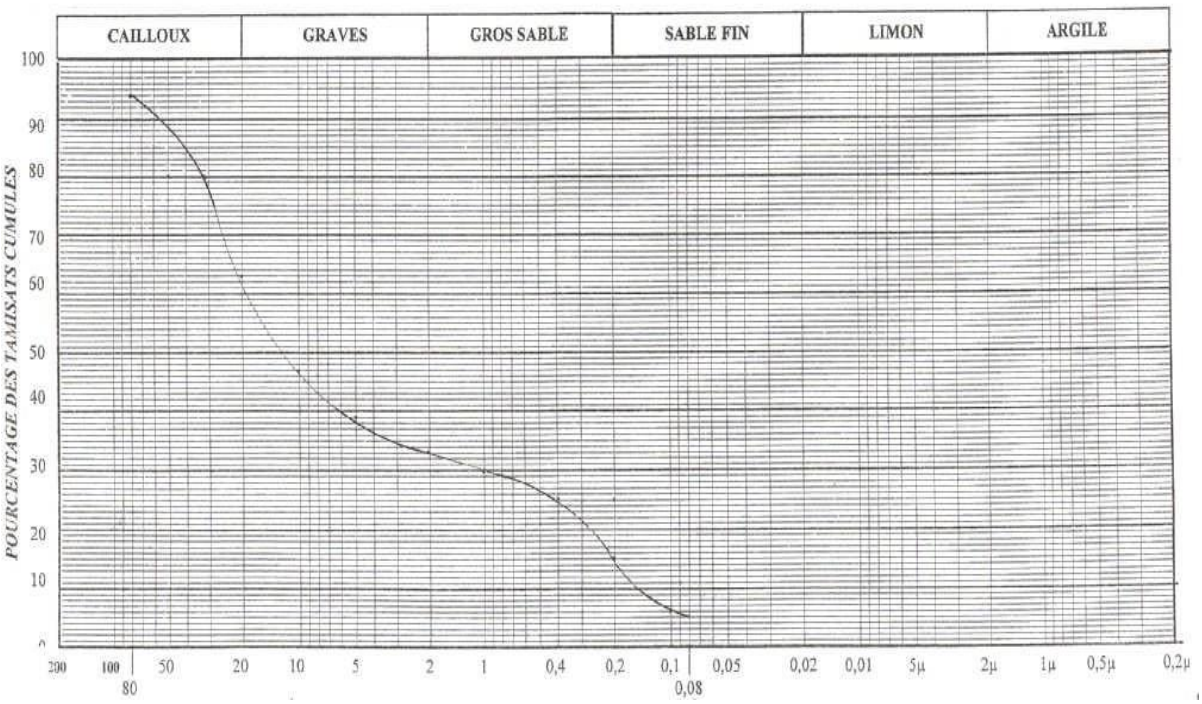


Figure 0.3 Courbe granulométrique du puits N° 3.

Courbe N°	Puits N°	Profondeur
4	4	1.50-2.50



LABORATOIRE CENTRAL DES TRAVAUX PUBLICS

RAPPORT D'ESSAI ANALYSE GRANULOMETRIQUE
METHODE PAR TAMISAGE NF P94-056
METHODE PAR SEDIMRNTOMETRIE NF P94-057

DOSSIER N° : 31-04-0091	**SONDAGE :** Puit 12	**ECH N°** 120	**PROF :**2,50
INTITULE DE L'ETUDE : Base aérienne	**DATE :** 15-03-2005	**ECH N°**	**PROF :**
PROVENANCE : Boussaâda	**OPERATEUR :** EFFENDI	**ECH N°**	**PROF :**

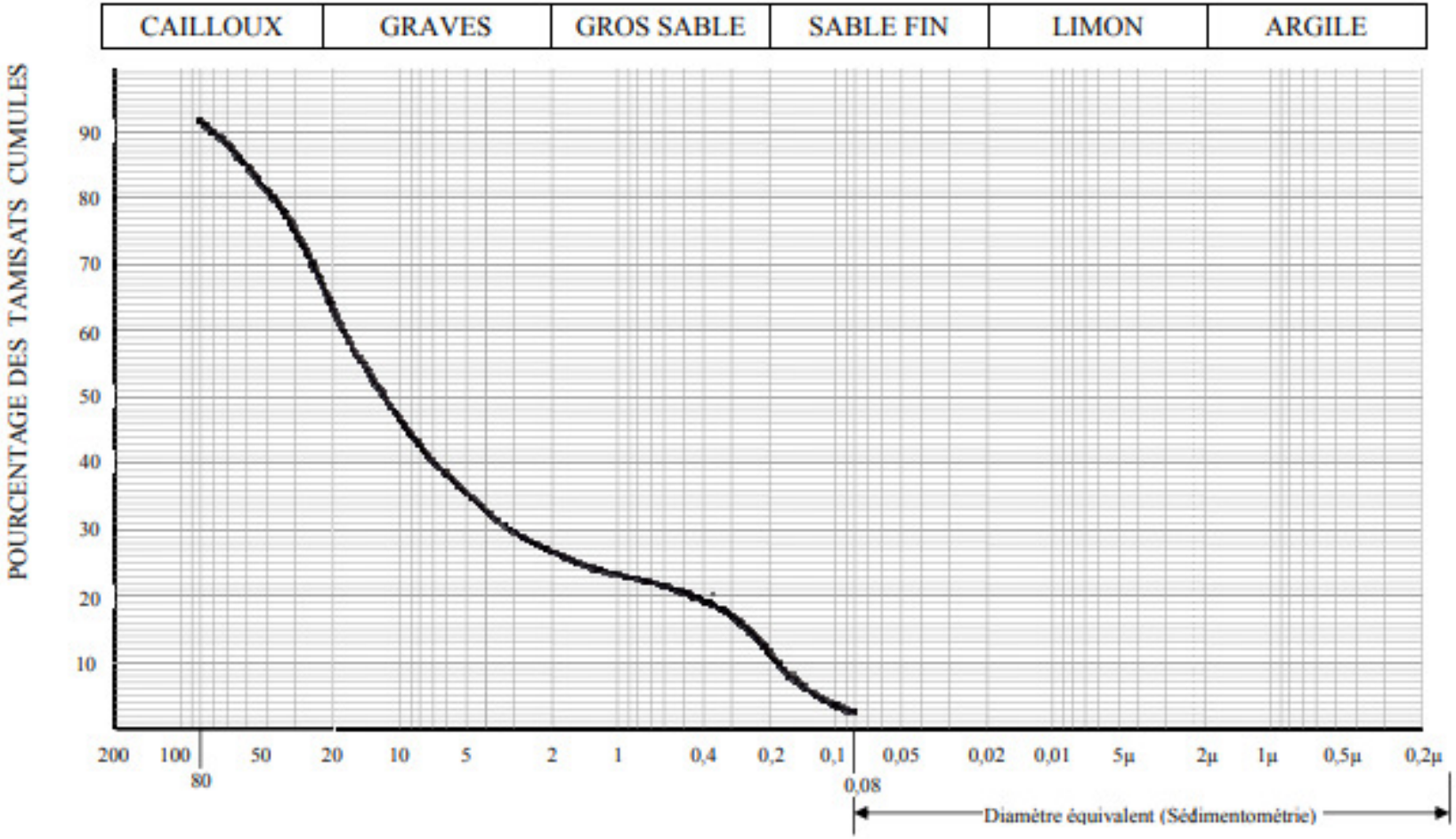


Figure 0.4 Courbe granulométrique du puits N° 12.

LABORATOIRE CENTRAL DES TRAVAUX PUBLICS

RAPPORT D'ESSAI ANALYSE GRANULOMETRIQUE
METHODE PAR TAMISAGE NF P94-056
METHODE PAR SEDIMRNTOMETRIE NF P94-057

DOSSIER N° : 31-04-0091	**SONDAGE :** Puit 14 16 21	**ECH N°** 14	**PROF :**0.5/2.60
INTITULE DE L'ETUDE : Base aérienne	**DATE :** 07-03-2005	**ECH N°** 16	**PROF :** 0.5/2.60
PROVENANCE : Boussaâda	**OPERATEUR :** EQUIPE	**ECH N°** 21	**PROF :** 1.20/2.1

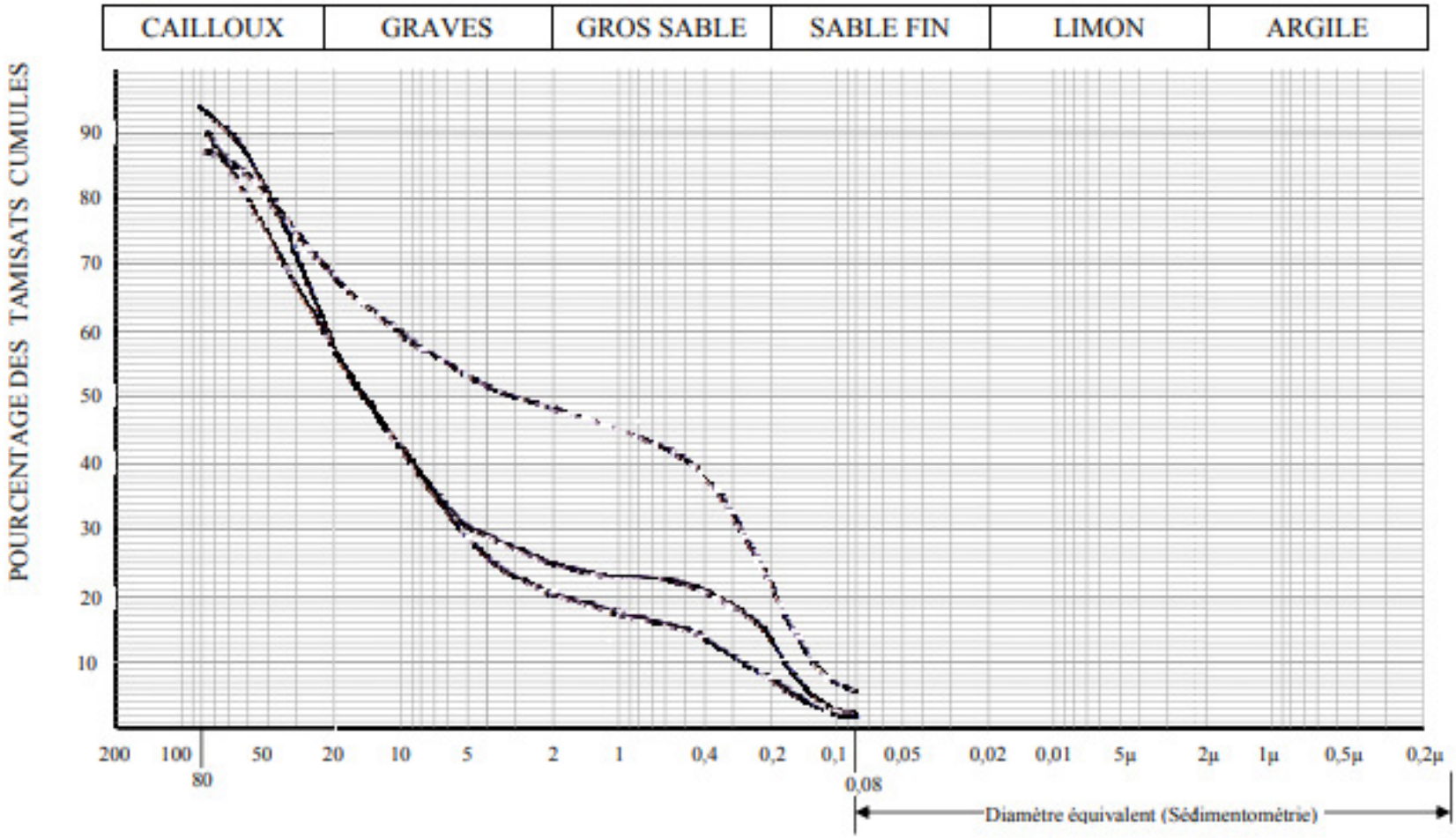


Figure 0.5 Courbe granulométrique du puits N° 14,16,12.

Essai Proctor modifié :

Courbe N°	Puits N°	Profondeur
2	**2**	**1.50-2.50**

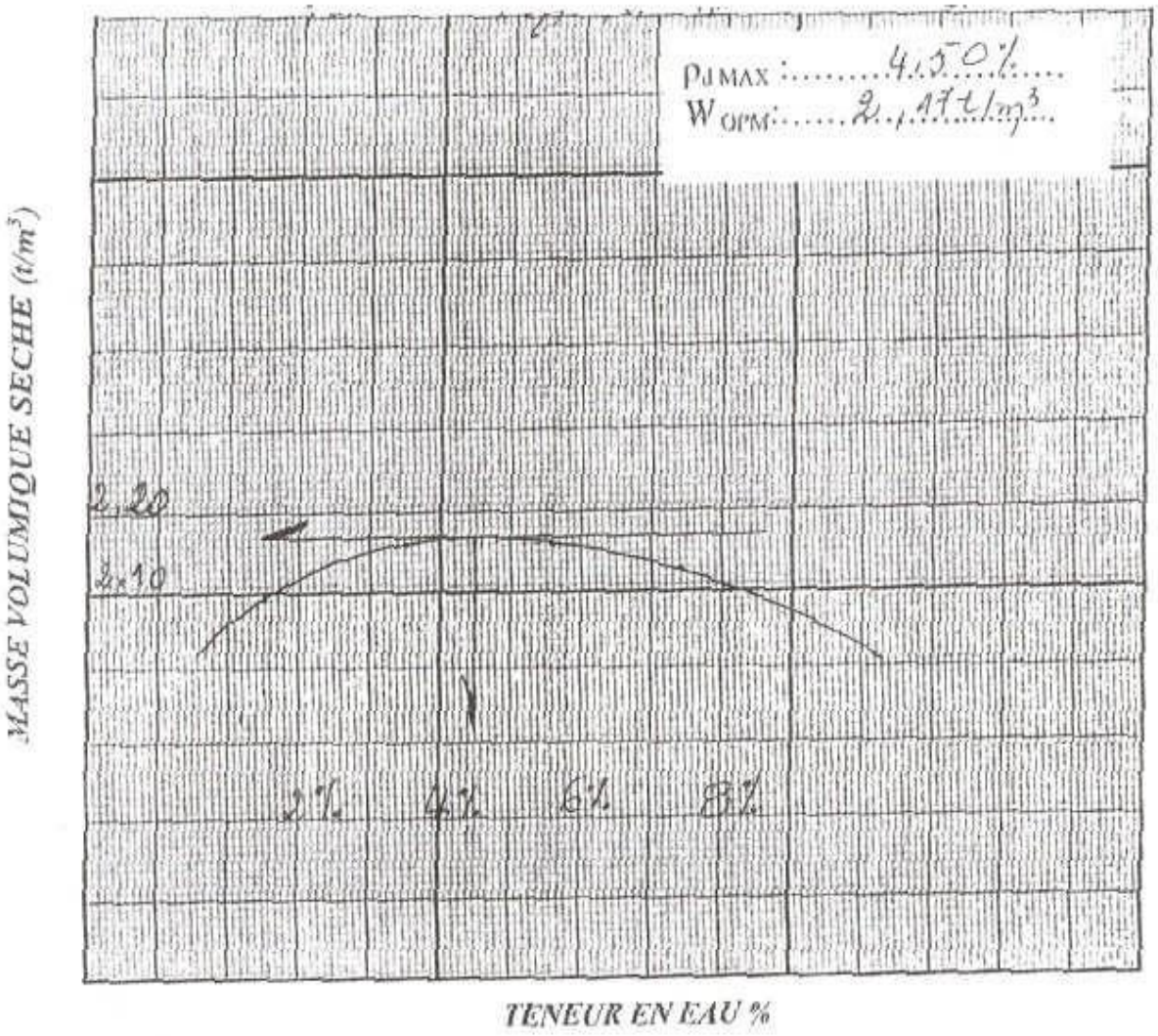


Figure 0.6 Courbe Proctor puits N°2.

LABORATOIRE CENTRAL DES TRAVAUX PUBLICS

RAPPORT D'ESSAI
PROCTOR MODIFIE
NORME NF P94-093
Réf :E.G.G.F/1

DOSSIER N° : 31-04-0091 **PROVENANCE :** Boussaâda
INTITULE DE L'ETUDE : Base aérienne **DATE :** 07-03-2005
NATURE DU MATERIAU : Sable caillanteux **OPERATEUR :** EFFENDI-LAOUFI-HAMOUCHE
PUIT : 04 **PROF :** 0.80 – 2.80

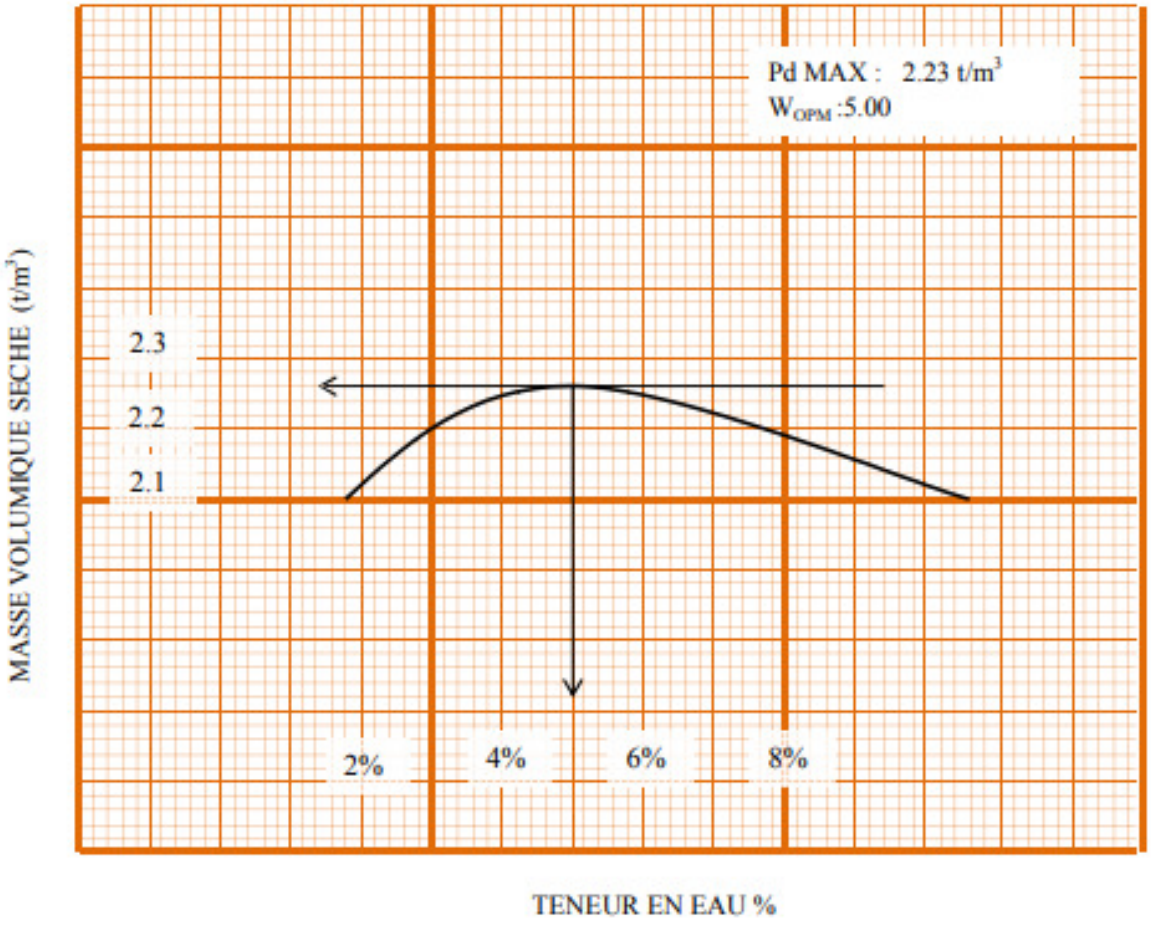


Figure 0.7 Courbe Proctor puits N°4.

Indice CBR après immersion :

Courbe N°	Puits N°	Profondeur
9	28	0.80-2.60

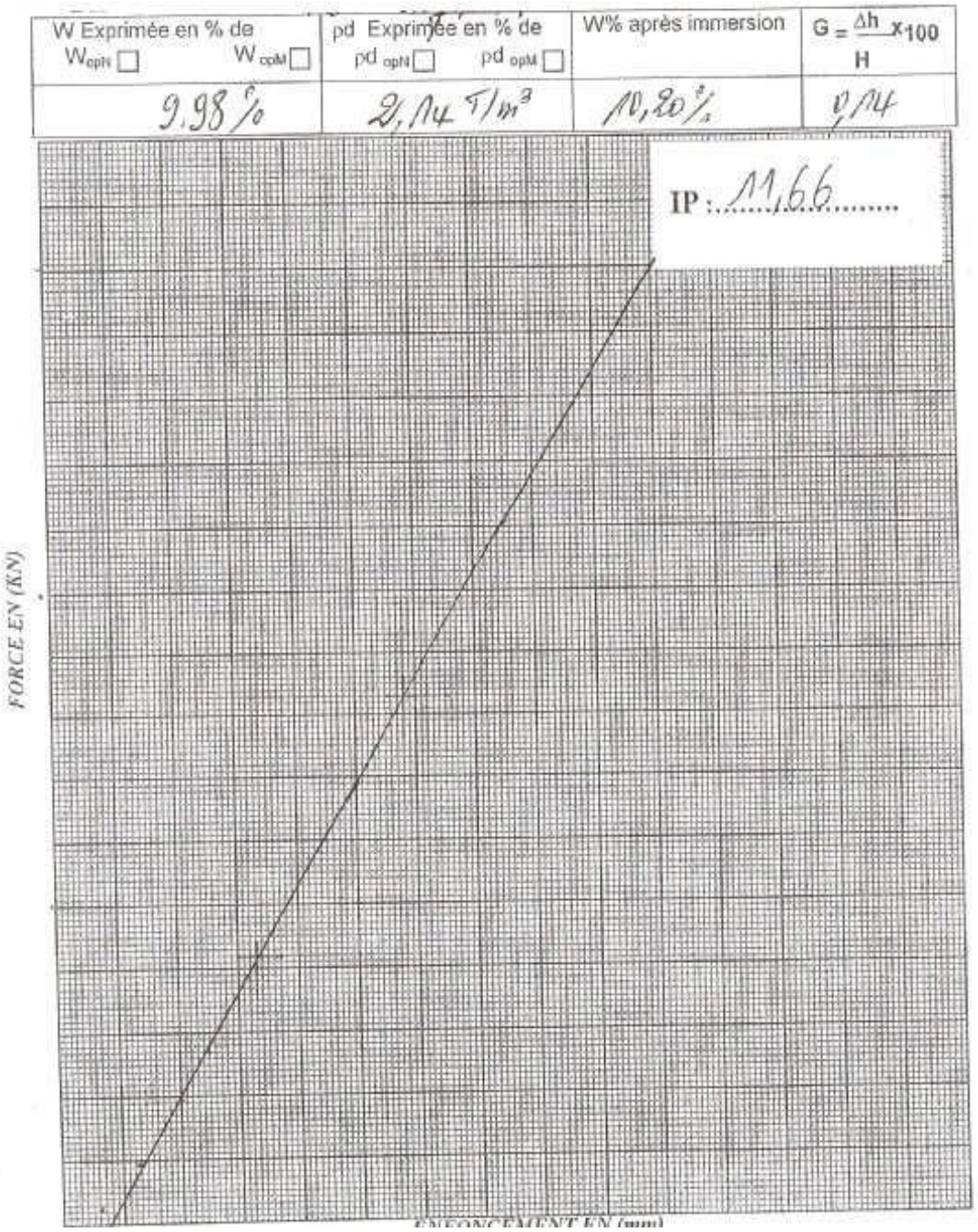


Figure 0.8 Resultats indice CBR apres imerssion puits N°9 .

Tableau récapitulatif des essais géotechnique :

Puits N°			01	01	03	04	06
Profondeur			02.0-1.50	1.50-2.50	1.00-2.50	0.80-2.80	**0.20-2.20**
Classe en fonction de la nature du sol			B	A	B	B	**B**
Sous-classe en fonction de la nature du sol			B4	A1	B3	B3	**B3**
Classification L.C.P.C			/	/	/	/	**/**
Classification G.T.R			B4	A1	B3	B3	**B3**
Teneur en eau naturelle			/	/	/	/	**/**
Densité sèche in-situ			/	/	/	/	**/**
Compacitè (%)			/	/	/	/	**/**
Granulométrie	**% des passants à 5 mm**		4.00	79.00	53.00	43.00	**38.00**
	% des passants à 2 mm		40.00	76.00	49.00	32.00	**33.00**
	% des passants à 0.40 mm		30.00	66.00	45.00	25.00	**25.00**
	% des passants à 80 µ		5.00	42.00	/	5.00	**5.00**
	% des passants à 2 µ		/	19.00	/	/	**/**
Fraction des cailloux en %			22.00	12.00	31.00	25.00	**33.00**
Fraction des graves en %			38.00	12.00	20.00	43.00	**28.00**
Fraction des sables en %			35.00	39.00	27.00	27.00	**28.00**
Fraction fines en %			5.00	42.00	/	5.00	**5.00**
Limites d'ATTERGERG	**Limite de liquidité L_L**		/	22.00	22.00	18.50	**/**
	Indice de plasticité I_P		/	9.60	9.51	Non mesurablee	**/**
	Indice de consistance I_C		/	/	/	/	**/**
Equivalent de sable (E.S) en %			/	/	29.13	26.08	**17.61**
Proctor modifié	**ω_{opm} (%)**		4.50	7.70	5.85	5.00	**4.40**
	γ_{dopm} (t/m^3)		2.17	2.15	2.17	2.23	**2.18**
Proctor normal	**ω_{opm} (%)**		/	/	/	/	
C.B.R imbibé à 4jours	**55 coups**	**γ_d (t/m^3)**	2.17	2.13	2.16	2.21	**2.18**
		I_{CBR}	79.30	41.14	130.40	258.40	**136.40**
		% gonflement	0.79	8.66	0.79	0.79	**1.60**
	25 coups	**γ_d (t/m3)**	2.09	2.02	2.09	2.12	**2.12**
		I_{CBR}	75.30	22.08	72.70	155.54	**87.80**
		% gonflement	**0.79**	**8.66**	**1.57**	**0.79**	**1.60**

ANNEXE

	10 coups	γ_d (t/m3)	**2.03**	**1.96**	**2.02**	**2.06**	**2.11**
		I_{CBR}	35.12	18.06	25.10	55.20	**45.65**
		% gonflement	0.79	10.24	3.15	2.36	**1.60**
I_{CBR}	à 95 % de l'opm		44.50	24.10	54.00	120.00	**14.00**
	A98 % de l'opm		64.00	32.80	110.00	230.00	**72.00**
Analyses chimiques sommaires	Chlorures		/	/	/	/	**/**
	Carbonates		/	18.92	13.51	18.02	**19.82**
	Sulfate		/	Traces	Traces	Traces	**Traces**
	Insolubles		/	75.88	82.25	75.87	**7.93**
	Anhydride carbonique(co_2)		/	8.32	5.95	7.93	**8.72**
Puits N°			08	10	12	14	**16**
Profondeur			0.50-3.00	2.10-2.90	1.20-2.50	0.50-2.60	**0.50-2.60**
Classe en fonction de la nature du sol			B	B	B	B	**B**
Sous-classe en fonction de la nature du sol			B3	B3	B3	B4	**B3**
Classification L.C.P.C			/	/	/	/	**/**
Classification G.T.R			B3	B3	B3	B4	**B3**
Teneur en eau naturelle			/	/	/	/	**/**
Densité sèche in-situ			/	/	/	/	**/**
Compacitè (%)			/	/	/	/	**/**
Granulométrie	% des passants à 5 mm		39.00	39.00	36.00	31.00	**29.00**
	% des passants à 2 mm		26.00	32.00	27.00	25.00	**21.00**
	% des passants à 0.40 mm		19.00	28.00	20.00	21.00	**15.00**
	% des passants à 80 µ		3.00	7.00	3.00	1.00	**5.00**
	% des passants à 2 µ		/	/	/	/	**/**
Fraction des cailloux en %			40.00	27.00	28.00	35.00	**33.00**
Fraction des graves en %			34.00	33.00	37.00	34.00	**37.00**
Fraction des sables en %			24.00	25.00	24.00	23.00	**20.00**
Fraction fines en %			2.00	7.00	3.00	2.00	**1.00**
Limites d'ATTER GERG	Limite de liquidité L_L		/	/	/	/	**/**
	Indice de plasticité I_P		/	/	/	/	**/**
	Indice de consistance I_C		/	/	/	/	**/**
Equivalent de sable (E.S) en %			39.04	30.83	31.62	22.62	**25.80**
Proctor modifié	ω_{opm} (%)		4.80	6.40	5.90	7.10	**6.00**
	γ_{dopm} (t/m^3)		2.23	2.17	2.23	2.18	**2.18**
Proctor	ω_{opm} (%)		/	/	/	/	/

normal		**γ_{dopm} (t/m^3)**	/	/	/	/	/
C.B.R imbibé à 4 jours	**55 coups**	**γ_d (t/m^3)**	2.19	2.17	2.23	2.18	**2.18**
		I_{CBR}	100.35	145.50	107.40	100.35	**173.10**
		% gonflement	/	1.57	1.57	/	/
	25 coups	**γ_d (t/m3)**	2.17	2.03	2.20	2.08	**2.13**
		I_{CBR}	59.20	85.30	85.30	128.95	**130.45**
		% gonflement	/	1.57	1.57	/	/
	10 coups	**γ_d (t/m3)**	2.04	2.09	2.13	1.95	**2.08**
		I_{CBR}	44.66	51.70	60.70	60.21	**103.86**
		% gonflement	/	1.57	1.57	/	**0.79**
I_{CBR}	**à 95 % de l'opm**		58.00	32.00	58.00	67.00	**101.00**
	A98 % de l'opm		86.00	87.00	87.00	84.00	**135.00**
Analyses chimiques sommaires	**Chlorures**		/	/	/	/	/
	Carbonates		29.73	19.82	19.82	24.32	**44.19**
	Sulfate		Traces	Traces	Traces	Traces	**Traces**
	Insolubles		64.12	74.01	73.89	68.08	**50.26**
	Anhydride carbonique (co_2)		13.08	8.72	7.72	10.70	**19.42**
Puits N°			19	21	23	27	**28**
Profondeur			0.60-1.20	1.20-2.10	0.00-3.20	1.10-2.60	**0.80-2.60**
Classe en fonction de la nature du sol			B	B	B	A	**A**
Sous-classe en fonction de la nature du sol			B3	B3	B6	A1	**A2**
Classification L.C.P.C							
Classification G.T.R			B3	B3	B6	A1	**A2**
Teneur en eau naturelle			/	/	/	/	/
Densité sèche in-situ			/	/	/	/	/
Compacité (%)			/	/	/	/	/
Granulométrie	**% des passants à 5 mm**		46.00	53.00	99.00	99.00	**92.00**
	% des passants à 2 mm		40.00	48.00	99.00	99.00	**90.00**
	% des passants à 0.40 mm		31.00	40.00	99.00	98.00	**87.00**
	% des passants à 80 µ		3.00	5.00	28.00	38.00	**40.00**
	% des passants à 2 µ		/	/	/	/	/
Fraction des cailloux en %			24.00	20.00	/	/	**2.00**
Fraction des graves en %			30.00	19.00	1.00	/	**6.00**
Fraction des sables en %			37.00	44.00	75.00	66.00	**53.00**
Fraction fines en %			3.00	5.00	28.00	38.00	**40.00**
	Limite de liquidité L_L		/	/	**29.00**	**23.00**	**26.00**

ANNEXE							
Limites d'ATTERGERG	**Indice de plasticité I_P**		**/**	**/**	**17.26**	**9.34**	**13.26**
	Indice de consistance I_C		/	/	/	/	**/**
Equivalent de sable (E.S) en %			28.21	25.85	8.50	3.66	**5.13**
Proctor modifié	**ω_{opm} (%)**		6.10	9.50	10.40	10.40	**9.80**
	γ_{dopm} (t/m³)		2.20	2.03	2.12	2.10	**2.13**
Proctor normal	**ω_{opm} (%)**		/	/	/	/	**/**
	γ_{dopm} (t/m³)		/	/	/	/	**/**
C.B.R imbibé à 4 jours	**55 coups**	**γ_d (t/m³)**	/	2.04	2.12	2.10	**2.13**
		I_{CBR}	/	23.33	11.71	8.78	**11.66**
		% gonflement	/	/	11.81	15.95	**14.17**
	25 coups	**γ_d (t/m3)**		1.96	2.02	1.99	**2.03**
		I_{CBR}	/	29.85	29.62	23.74	**23.41**
		% gonflement		/	3.15	44.09	**25.20**
	10 coups	**γ_d (t/m3)**	/	1.84	1.90	1.89	**1.92**
		I_{CBR}	/	16.05	11.42	13.10	**10.28**
		% gonflement	/	/	8.67	51.97	**14.17**
I_{CBR}	**à 95 % de l'opm**		/	18.70	28.50	/	**/**
	A98 % de l'opm		/	21.00	44.00	/	**/**
Analyses chimiques sommaires	**Chlorures**		/				
	Carbonates		34.23	36.04	18.92	23.42	**20.72**
	Sulfate		Traces	Traces	Traces	Traces	**Traces**
	Insolubles		60.55	57.33	71.53	65.63	**72.51**
	Anhydride carbonique (co_2)		15.06	15.86	8.32	10.31	**9.11**
Puits N°			30				
Profondeur			0.60-2.50	/	/	/	**/**
Classe en fonction de la nature du sol			B	/	/	/	**/**
Sous-classe en fonction de la nature du sol			B5à B6 selon I_P	/	/	/	**/**
Classification L.C.P.C				/	/	/	**/**
Classification G.T.R			B5 à B6 selon I_P	/	/	/	**/**
Teneur en eau naturelle			/	/	/	/	**/**
Densité sèche in-situ			/	/	/	/	**/**
Compacitè (%)			/	/	/	/	**/**
Granulométrie	**% des passants à 5 mm**		86.00	/	/	/	**/**
	% des passants à 2 mm		84.00	/	/	/	**/**
	% des passants à 0.40 mm		**76.00**	**/**	**/**	**/**	**/**

	% des passants à 80 µ	**21.00**	**/**	**/**	**/**	**/**
	% des passants à 2 µ	/	/	/	/	/
Fraction des cailloux en %		7.00	/	/	/	/
Fraction des graves en		7.00	/	/	/	/
Fraction des sables en %		63.00	/	/	/	/
Fraction fines en %		21.00	/	/	/	/
Limites d'Atterberg	**Limite de liquidité L_L**	/	/	/	/	/
	Indice de plasticité I_P	/	/	/	/	/
	Indice de consistance I_C	/	/	/	/	/
Equivalent de sable (E.S) en %		17.48	/	/	/	/
Proctor modifié	**ω_{opm} (%)**	7.40	/	/	/	/
	γ_{dopm} (t/m^3)	2.13	/	/	/	/
Proctor normal	**ω_{opm} (%)**	/	/	/	/	/
	γ_{dopm} (t/m^3)	/	/	/	/	/
C.B.R imbibé à 4 jours	**55 coups** — **γ_d (t/m^3)**	/	/	/	/	/
	55 coups — **I_{CBR}**	/	/	/	/	/
	55 coups — **% gonflement**	/	/	/	/	/
	25 coups — **γ_d (t/m3)**	/	/	/	/	/
	25 coups — **I_{CBR}**	/	/	/	/	/
	25 coups — **% gonflement**	/	/	/	/	/
	10 coups — **γ_d (t/m3)**	/	/	/	/	/
	10 coups — **I_{CBR}**	/	/	/		
	10 coups — **% gonflement**	/	/	/	/	/
I_{CBR}	**à 95 % de l'opm**	/	/	/	/	/
	A98 % de l'opm	/	/	/	/	/
Analyses chimiques sommaires	**Chlorures**		/	/	/	/
	Carbonates	27.03	/	/	/	/
	Sulfate	Traces	/	/	/	/
	Insolubles	66.22	/	/	/	/
	Anhydride carbonique (co_2)	**11.89**	/	/	/	/

ANNEXE

Puits N°			**01**	**01**	**03**	**04**	**06**
Profondeur			02.0-1.50	1.50-2.50	1.00-2.50	0.80-2.80	0.20-2.20
Classe en fonction de la nature du sol			B	A	B	B	B
Sous-classe en fonction de la nature du sol			B4	A1	B3	B3	B3
Classification L.C.P.C			/	/	/	/	/
Classification G.T.R			B4	A1	B3	B3	B3
Teneur en eau naturelle			/	/	/	/	/
Densité sèche in-situ			/	/	/	/	/
Compacitè (%)			/	/	/	/	/
Granulométrie	**% des passants à 5 mm**		4,00	79,00	53,00	43,00	38,00
	% des passants à 2 mm		40,00	76,00	49,00	32,00	33,00
	% des passants à 0.40 mm		30,00	66,00	45,00	25,00	25,00
	% des passants à 80 µ		5,00	42,00	/	5,00	5,00
	% des passants à 2 µ		/	19,00	/	/	/
Fraction des cailloux en %			22,00	12,00	31,00	25,00	33,00
Fraction des graves en %			38,00	12,00	20,00	43,00	28,00
Fraction des sables en %			35,00	39,00	27,00	27,00	28,00
Fraction fines en %			5,00	42,00	/	5,00	5,00
Limites d'ATTERGERG	**Limite de liquidité L_L**		/	22,00	22,00	18,50	/
	Indice de plasticité I_P		/	9,60	9,51	Non mesurable	/
	Indice de consistance I_C		/	/	/	/	/
Equivalent de sable (E.S) en %			/	/	29,13	26,08	17,61
Proctor modifié	**ω_{opm} (%)**		4,50	7,70	5,85	5,00	4,40
	γ_{dopm} (t/m3)		2,17	2,15	2,17	2,23	2,18
Proctor normal	**ω_{opm} (%)**		/	/	/	/	
C.B.R imbibé à 4 jours	**55 coups**	**γ_d (t/m3)**	2,17	2,13	2,16	2,21	2,18
		I_{CBR}	79,30	41,14	130,40	258,40	136,40
		% gonflement	0,79	8,66	0,79	0,79	1,60
	25 coups	**γ_d (t/m3)**	2,09	2,02	2,09	2,12	2,12
		I_{CBR}	75,30	22,08	72,70	155,54	87,80
		% gonflement	0,79	8,66	1,57	0,79	1,60
		γ_d (t/m3)	2,03	1,96	2,02	2,06	2,11

	10 coups	**I_{CBR}**	35,12	18,06	25,10	55,20	45,65
		% gonflement	0,79	10,24	3,15	2,36	1,60
I_{CBR}	**à 95 % de l'opm**		44,50	24,10	54,00	120,00	14,00
	A98 % de l'opm		64,00	32,80	110,00	230,00	72,00
Analyses chimiques sommaires	**Chlorures**		/	/	/	/	/
	Carbonates		/	18,92	13,51	18,02	19,82
	Sulfate		/	Traces	Traces	Traces	Traces
	Insolubles		/	75,88	82,25	75,87	7,93
	Anhydride carbonique (co_2)		/	8,32	5,95	7,93	8,72
Puits N°			08	10	12	14	16
Profondeur			0.50-3.00	2.10-2.90	1.20-2.50	0.50-2.60	0.50-2.60
Classe en fonction de la nature du sol			B	B	B	B	B
Sous-classe en fonction de la nature du sol			B3	B3	B3	B4	B3
Classification L.C.P.C			/	/	/	/	/
Classification G.T.R			B3	B3	B3	B4	B3
Teneur en eau naturelle			/	/	/	/	/
Densité sèche in-situ			/	/	/	/	/
Compacitè (%)			/	/	/	/	/
Granulométrie	**% des passants à 5 mm**		39,00	39,00	36,00	31,00	29,00
	% des passants à 2 mm		26,00	32,00	27,00	25,00	21,00
	% des passants à 0.40 mm		19,00	28,00	20,00	21,00	15,00
	% des passants à 80 µ		3,00	7,00	3,00	1,00	5,00
	% des passants à 2 µ		/	/	/	/	/
Fraction des cailloux en %			40,00	27,00	28,00	35,00	33,00
Fraction des graves en %			34,00	33,00	37,00	34,00	37,00
Fraction des sables en %			24,00	25,00	24,00	23,00	20,00
Fraction fines en %			2,00	7,00	3,00	2,00	1,00
Limites d'ATTERGERG	**Limite de liquidité L_L**		/	/	/	/	/
	Indice de plasticité I_P		/	/	/	/	/
	Indice de consistance I_C		/	/	/	/	/
Equivalent de sable (E.S) en %			39,04	30,83	31,62	22,62	25,80
Proctor modifié	**ω_{opm} (%)**		4,80	6,40	5,90	7,10	6,00
	γ_{dopm} (t/m3)		2,23	2,17	2,23	2,18	2,18

ANNEXE

Proctor	ω_{opm} (%)		/	/	/	/	/
normal	γ_{dopm} (t/m3)		/	/	/	/	/
C.B.R imbibé à 4 jours	**55 coups**	γ_d (t/m3)	2,19	2,17	2,23	2,18	2,18
		I_{CBR}	100,35	145,50	107,40	100,35	173,10
		% gonflement	/	1,57	1,57	/	/
	25 coups	γ_d (t/m3)	2,17	2,03	2,20	2,08	2,13
		I_{CBR}	59,20	85,30	85,30	128,95	130,45
		% gonflement	/	1,57	1,57	/	/
	10 coups	γ_d (t/m3)	2,04	2,09	2,13	1,95	2,08
		I_{CBR}	44,66	51,70	60,70	60,21	103,86
		% gonflement	/	1,57	1,57	/	0,79
I_{CBR}	**à 95 % de l'opm**		58,00	32,00	58,00	67,00	101,00
	A98 % de l'opm		86,00	87,00	87,00	84,00	135,00
Analyses chimiques sommaires	**Chlorures**		/	/	/	/	/
	Carbonates		29,73	19,82	19,82	24,32	44,19
	Sulfate		Traces	Traces	Traces	Traces	Traces
	Insolubles		64,12	74,01	73,89	68,08	50,26
	Anhydride carbonique (co_2)		13,08	8,72	7,72	10,70	19,42
Puits N°			19	21	23	27	28
Profondeur			0.60-1.20	1.20-2.10	0.00-3.20	1.10-2.60	0.80-2.60
Classe en fonction de la nature du sol			B	B	B	A	A
Sous-classe en fonction de la nature du sol			B3	B3	B6	A1	A2
Classification L.C.P.C							
Classification G.T.R			B3	B3	B6	A1	A2
Teneur en eau naturelle			/	/	/	/	/
Densité sèche in-situ			/	/	/	/	/
Compacité (%)			/	/	/	/	/
Granulométrie	**% des passants à 5 mm**		46,00	53,00	99,00	99,00	92,00
	% des passants à 2 mm		40,00	48,00	99,00	99,00	90,00
	% des passants à 0.40 mm		31,00	40,00	99,00	98,00	87,00
	% des passants à 80 µ		3,00	5,00	28,00	38,00	40,00
	% des passants à 2 µ		/	/	/	/	/
Fraction des cailloux en %			24,00	20,00	/	/	2,00
Fraction des graves en %			30,00	19,00	1,00	/	6,00
Fraction des sables en %			37,00	44,00	75,00	66,00	53,00

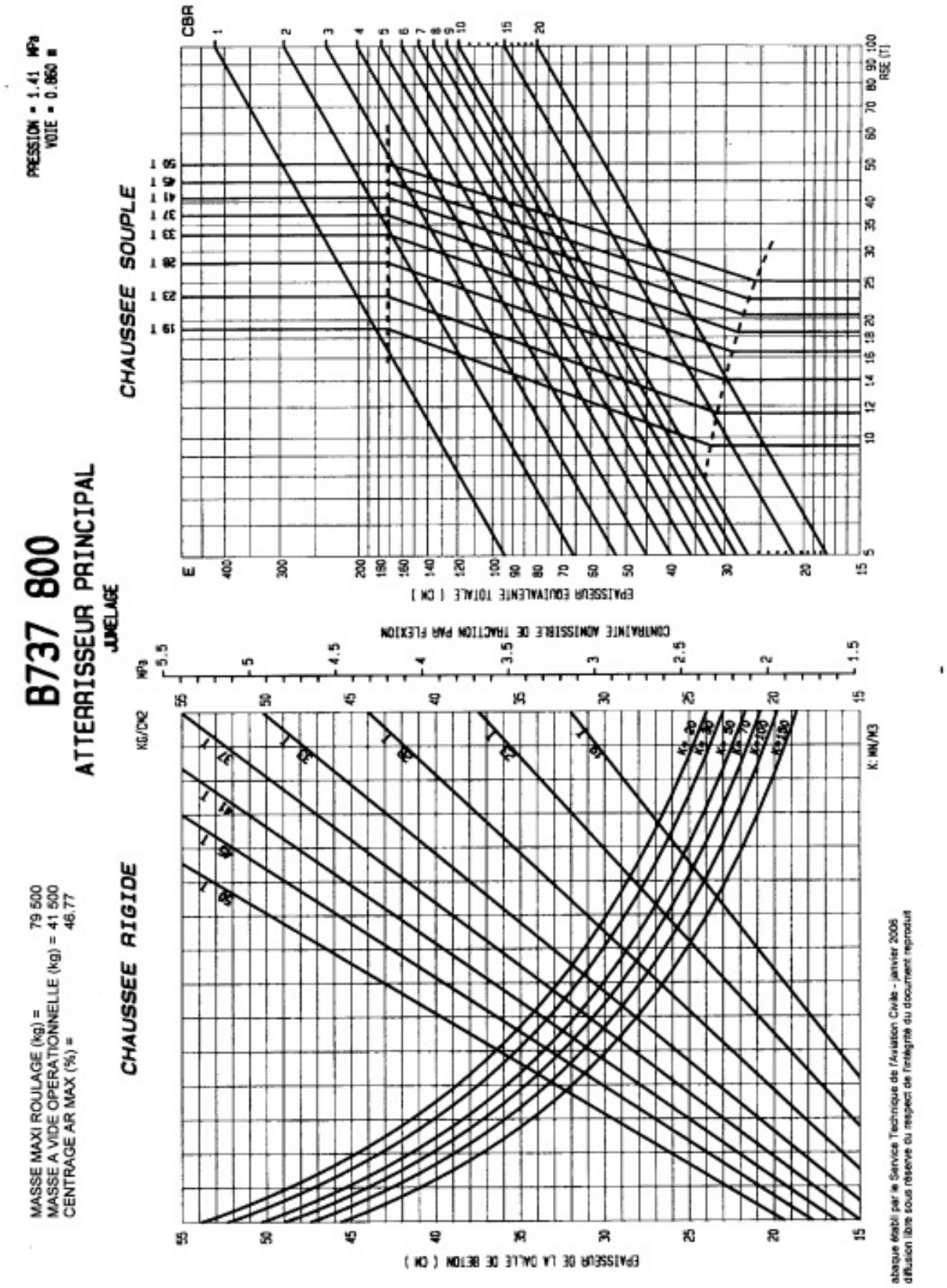
ANNEXE

Fraction fines en %			3,00	5,00	28,00	38,00	40,00
	Limite de liquidité L_L		/	/	29,00	23,00	26,00
Limites d'ATTERGERG	**Indice de plasticité I_P**		/	/	17,26	9,34	13,26
	Indice de consistance I_C		/	/	/	/	/
Equivalent de sable (E.S) en %			28,21	25,85	8,50	3,66	5,13
Proctor modifié	**ω_{opm} (%)**		6,10	9,50	10,40	10,40	9,80
	γ_{dopm} (t/m3)		2,20	2,03	2,12	2,10	2,13
Proctor normal	**ω_{opm} (%)**		/	/	/	/	/
	γ_{dopm} (t/m3)		/	/	/	/	/
C.B.R imbibé à 4 jours	**55 coups**	**γ_d (t/m3)**	/	2,04	2,12	2,10	2,13
		I_{CBR}	/	23,33	11,71	8,78	11,66
		% gonflement	/	/	11,81	15,95	14,17
	25 coups	**γ_d (t/m3)**		1,96	2,02	1,99	2,03
		I_{CBR}	/	29,85	29,62	23,74	23,41
		% gonflement		/	3,15	44,09	25,20
	10 coups	**γ_d (t/m3)**	/	1,84	1,90	1,89	1,92
		I_{CBR}	/	16,05	11,42	13,10	10,28
		% gonflement	/	/	8,67	51,97	14,17
I_{CBR}	**à 95 % de l'opm**		/	18,70	28,50	/	/
	A98 % de l'opm		/	21,00	44,00	/	/
Analyses chimiques sommaires	**Chlorures**		/				
	Carbonates		34,23	36,04	18,92	23,42	20,72
	Sulfate		Traces	Traces	Traces	Traces	Traces
	Insolubles		60,55	57,33	71,53	65,63	72,51
	Anhydride carbonique (co_2)		15,06	15,86	8,32	10,31	9,11
Puits N°			30				
Profondeur			0.60-2.50	/	/	/	/
Classe en fonction de la nature du sol			B	/	/	/	/
Sous-classe en fonction de la nature du sol			B5à B6 selon I_P	/	/	/	/
Classification L.C.P.C				/	/	/	/
Classification G.T.R			B5 à B6 selon I_P	/	/	/	/
Teneur en eau naturelle			/	/	/	/	/
Densité sèche in-situ			/	/	/	/	/
Compacitè (%)			/	/	/	/	/

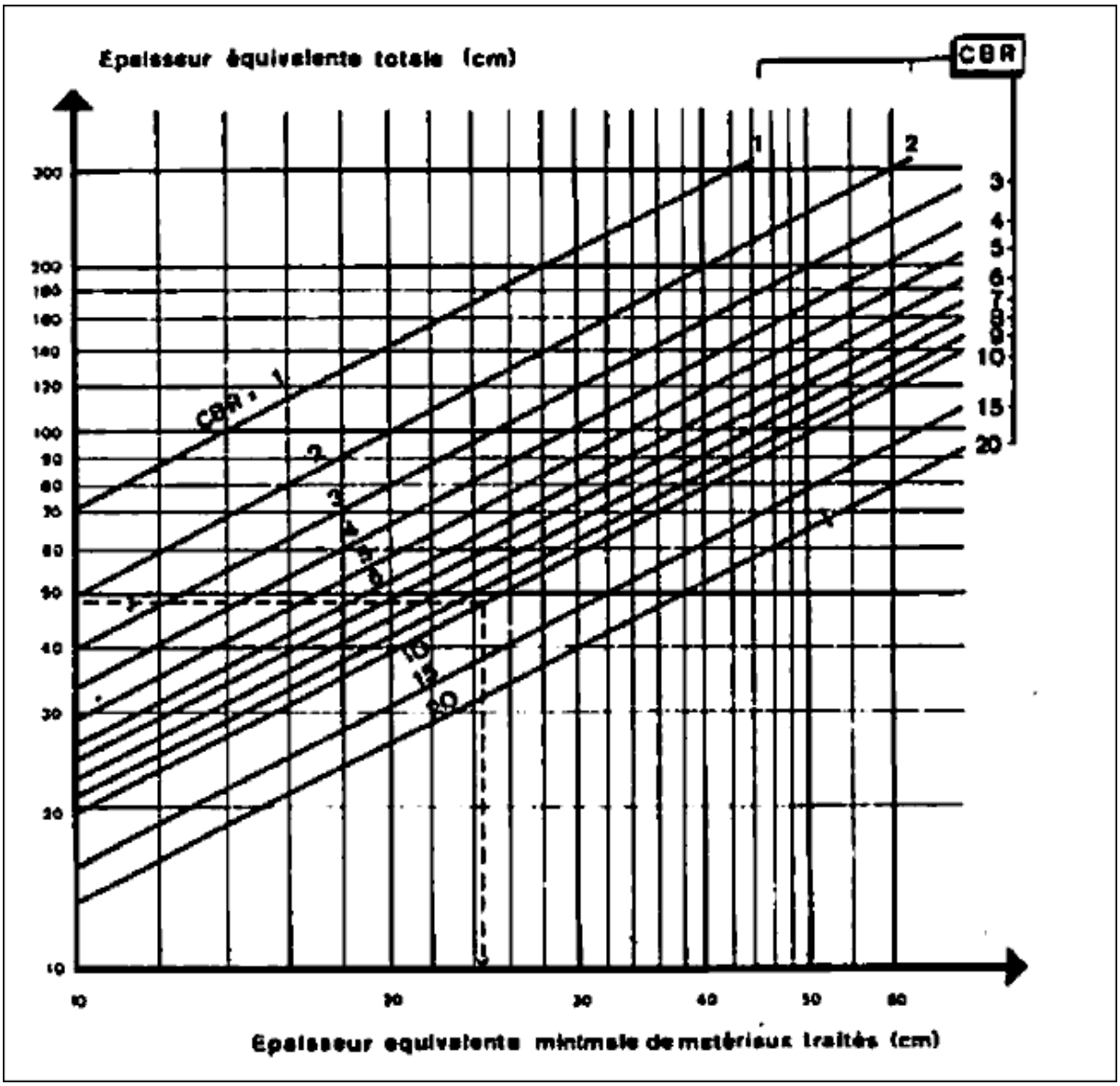
Granulo métrie	**% des passants à 5 mm**	86,00	/	/	/	/
	% des passants à 2 mm	84,00	/	/	/	/
	% des passants à 0.40 mm	76,00	/	/	/	/

Annexe 2 : Dimensionnement des chaussées

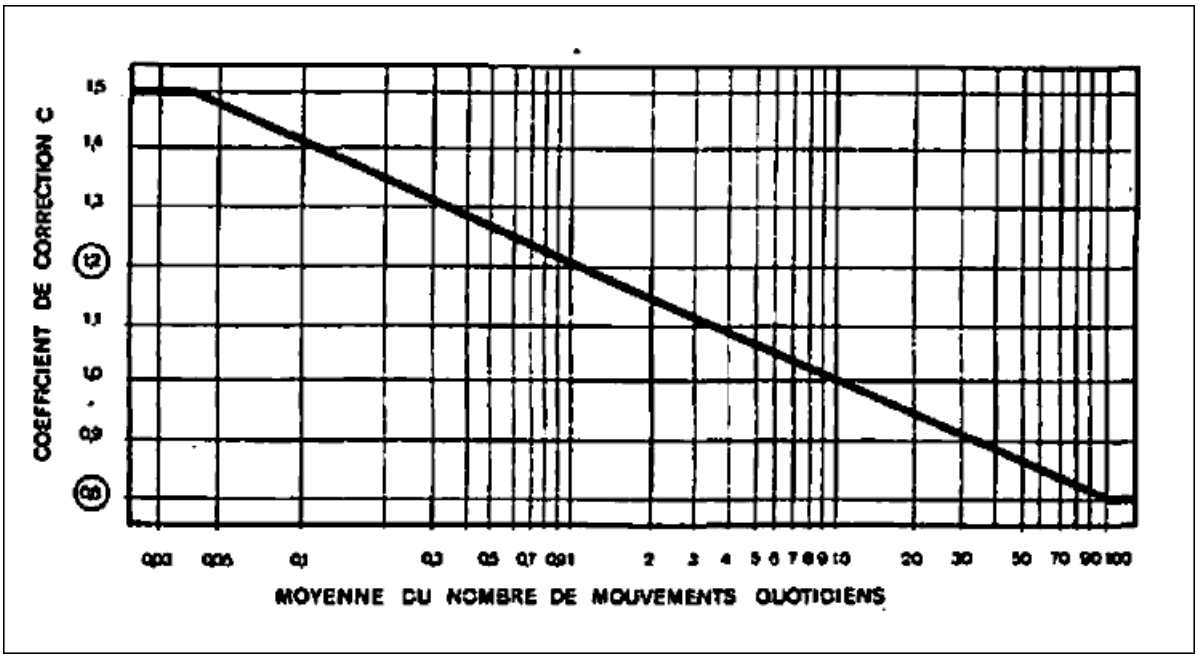
Abaques de dimensionnement caractérisant le Boeing 737-800 :

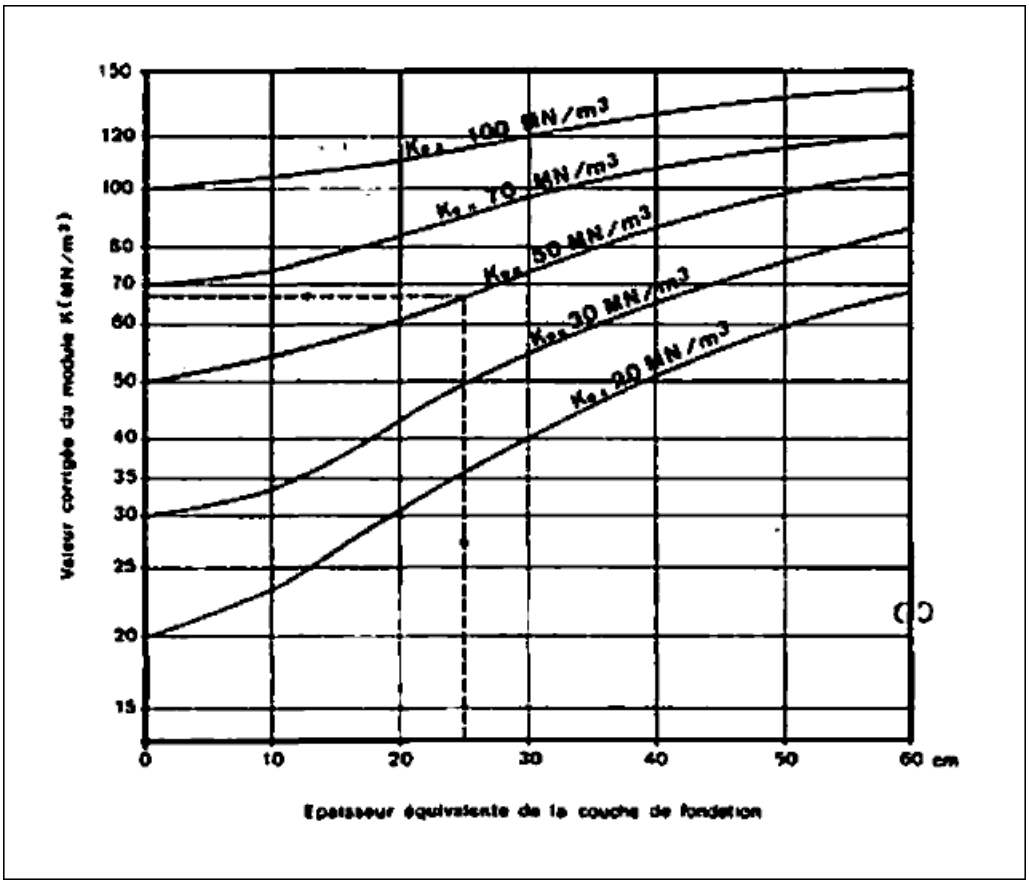


ANNEXE


Epaisseur équivalente totale (cm)
CBR
Epaisseur equivalente minimale de matériaux traités (cm)

ANNEXE


COEFFICIENT DE CORRECTION C
MOYENNE DU NOMBRE DE MOUVEMENTS QUOTIDIENS


Valeur corrigée du module K (MN/m³)
Kc = 100 MN/m³
Kc = 70 MN/m³
Kc = 50 MN/m³
Kc = 30 MN/m³
Kc = 20 MN/m³
Epaisseur équivalente de la couche de fondation

Annexe 3 : Charges admissibles

Catégorie d'indications	lettre de code
1 - TYPE DE CHAUSSEE souple rigide * si la construction est composite ou non normalisée, une note le précisant est ajoutée.	 F R
2 - CATEGORIE DE RESISTANCE DU SOL SUPPORT Résistance élevée caractérisée par K = 150 MN/m^3 et représentant toutes les valeurs K supérieures à 120 MN/m^3 pour les chaussées rigides, ou par CBR = 15 et représentant toutes les valeurs CBR supérieures à 13 pour les chaussées souples.	A
Résistance moyenne caractérisée par K = 80 MN/m^3 et représentant une gamme de valeurs K de 60 à 120 MN/m^3 pour les chaussées rigides, ou par CBR = 10 et représentant une gamme de valeurs CBR de 8 à 13 pour les chaussées souples.	B
Résistance faible caractérisée par K = 40 MN/m^3 et représentant une gamme de valeurs de K de 25 à 60 MN/m^3 pour les chaussées rigides, ou par CBR = 6 et représentant une gamme de valeurs de CBR 4 à 8 pour les chaussées souples.	C
Résistance ultra-faible caractérisée par K = 20 MN/m^3 et représentant toutes les valeurs de K inférieures à 25 MN/m^3 pour les chaussées rigides, ou par CBR = 3 et représentant toutes les valeurs de CBR inférieures à 4 pour les chaussées souples.	D
3 - PRESSION MAXIMALE ADMISSIBLE DES PNEUMATIQUES Catégorie de pression des pneumatiques Elevée (pas de limite de pression) Moyenne (pression limitée à 1,50 MPa) Faible (pression limitée à 1,00 Mpa) Très faible (pression limitée à 0,50 MPa)	 W X Y Z
4 - BASE D'EVALUATION Evaluation technique : Etude spécifique des caractéristiques de la chaussée et utilisation de techniques d'études du comportement des chaussées.	T
Evaluation faisant appel à l'expérience acquise sur les avions: Connaissance du type et de la masse spécifique des avions utilisés régulièrement et que la chaussée supporte de façon satisfaisante.	U

Annexe 4 : Listing des points

Profil : Abscisse Sommets et Raccordements

Profil en long : LR Bretelle2
Description :
Plage d'abscisse : Début: 0000.00, Fin: 0182.50
LONGUEUR DE L'AXE : 182.500m

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			0000.00	452.013
D1	PENTE= 0.27%	182.495		
			0182.50	452.504

Profil en long : LR Bretelle1
Description :
Plage d'abscisse : Début: 0000.00, Fin: 0185.00
LONGUEUR DE L'AXE : 185.000m

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			0000.00	456.048
D1	PENTE= 0.53%	185.000		
			0185.00	457.023

Profil en long : LR Parking
Description :
Plage d'abscisse : Début: 0000.00, Fin: 0300.00
LONGUEUR DE L'AXE : 300.000m

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			0000.00	451.750
D1	PENTE= 0.57%	300.000		

			0300.00	453.461

Profil en long : LR Piste
Description:
Plage d'abscisse : Début: -0060.00, Fin: 3060.00
LONGUEUR DE L'AXE : 3120.000m

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			-0060.00	459.511
D1	PENTE= -0.41%	1695.502		
			1635.50	452.609
ARC1	S= 1669.14 Z=452.472			
	R= -30000.000	67.275		
			1702.78	452.260
D2	PENTE= -0.63%	584.368		
			2287.15	448.570
ARC2	S= 2381.91 Z=447.972			
	R= -30000.000	189.531		
			2476.68	447.972
D3	PENTE= 0.00%	583.324		
			3060.00	447.975

Profil en long : LR SGV
Description:
Plage d'abscisse : Début: 0000.00, Fin: 0369.99
LONGUEUR DE L'AXE : 369.990m

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			0000.00	450.033

D1	PENTE= -0.54%	369.988		
			0369.99	448.041

Profil en long : LR VC2
Description:
Plage d'abscisse : Début: 0000.04, Fin: 0709.24
LONGUEUR DE L'AXE : 709.200m

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			0000.04	448.111
D1	PENTE= 0.63%	709.196		
			0709.24	452.545

Profil en long : LR VC
Description:
Plage d'abscisse : Début: 0000.00, Fin: 3280.52
LONGUEUR DE L'AXE : 3280.520m

Elément	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			0000.00	459.509
D1	PENTE= 0.09%	452.710		
			0452.71	459.934
ARC1	S= 0462.94 Z=459.944			
	R= -3000.000	20.469		
			0473.18	459.884
D2	PENTE= -0.59%	1972.014		
			2445.19	448.280
ARC2	S= 2454.02 Z=448.228			
	R= -3000.000	17.652		

			2462.85	448.228
D3	PENTE= -0.00%	817.679		
			3280.52	448.228

Profilé : Tabulations

Axe en plan: Axe BRETELLE 2
Description:
Plage d'abscisse : Début 0000.00 - Fin 0182.50

N°	PK	Z TN	Z PR	X	Y	Dev G	Dev D
Axe BR 2 - 0+00.00	0000.00	452.545		609508.5185	3910459.9606	1.2%	1.2%
Axe BR 2 - 0+25.00	0025.00	452.874	452.080	609489.7255	3910476.4477	1.2%	1.2%
Axe BR 2 - 0+50.00	0050.00	452.739	452.147	609470.9325	3910492.9347	1.2%	1.2%
Axe BR 2 - 0+75.00	0075.00	452.442	452.215	609452.1395	3910509.4218	1.2%	1.2%
Axe BR 2 - 1+00.00	0100.00	452.483	452.282	609433.3465	3910525.9089	1.2%	1.2%
Axe BR 2 - 1+25.00	0125.00	452.822	452.349	609414.5535	3910542.3959	1.2%	1.2%
Axe BR 2 - 1+50.00	0150.00	452.680	452.417	609395.7605	3910558.8830	1.2%	1.2%
Axe BR 2 - 1+75.00	0175.00	452.537	452.484	609376.9675	3910575.3700	1.2%	1.2%
Axe BR 2 - 1+82.50	0182.50	452.504	452.504	609371.3296	3910580.3162	1.2%	1.2%

Axe en plan: AXE BRETELLE 1
Description:
Plage d'abscisse : Début 0000.00 - Fin 0185.00

N°	PK	Z TN	Z PR	X	Y	Dev G	Dev D
AXE BRETELLE 1 - 0+00.00	0000.00	456.466	456.048	611036.4170	3909863.3947	1.2%	1.2%
AXE BRETELLE 1 - 0+25.00	0025.00	457.010	456.180	611016.2746	3909848.5864	1.2%	1.2%
AXE BRETELLE 1 - 0+50.00	0050.00	456.830	456.311	610996.1323	3909833.7780	1.2%	1.2%

AXE BRETELLE 1 - 0+75.00	0075.00	456.784	456.443	610975.9900	3909818.9696	1.2%	1.2%
AXE BRETELLE 1 - 1+00.00	0100.00	456.825	456.575	610955.8477	3909804.1613	1.2%	1.2%
AXE BRETELLE 1 - 1+25.00	0125.00	456.828	456.707	610935.7054	3909789.3529	1.2%	1.2%
AXE BRETELLE 1 - 1+50.00	0150.00	456.957	456.838	610915.5631	3909774.5446	1.2%	1.2%
AXE BRETELLE 1 - 1+75.00	0175.00	457.027	456.970	610895.4208	3909759.7362	1.2%	1.2%
AXE BRETELLE 1 - 1+85.00	0185.00	457.023	457.023	610887.3639	3909753.8129	1.2%	1.2%

Axe en plan: AXE Parking
Description:
Plage d'abscisse : Début 0000.00 - Fin 0300.00

N°	PK	Z TN	Z PR	X	Y	Dev G	Dev D
AXE Parking - 0+00.00	0000.00	451.750	451.750	609609.8242	3910486.9799	1.1%	1.2%
AXE Parking - 0+25.00	0025.00	452.048	451.892	609593.9224	3910467.6892	1.1%	1.2%
AXE Parking - 0+50.00	0050.00	452.070	452.035	609578.0206	3910448.3984	1.1%	1.2%
AXE Parking - 0+75.00	0075.00	452.134	452.177	609562.1188	3910429.1077	1.1%	1.2%
AXE Parking - 1+00.00	0100.00	452.393	452.320	609546.2169	3910409.8170	1.1%	1.2%
AXE Parking - 1+25.00	0125.00	453.218	452.463	609530.3151	3910390.5262	1.1%	1.2%
AXE Parking - 1+50.00	0150.00	452.955	452.605	609514.4133	3910371.2355	1.1%	1.2%
AXE Parking - 1+75.00	0175.00	452.918	452.748	609498.5115	3910351.9448	1.1%	1.2%
AXE Parking - 2+00.00	0200.00	452.957	452.891	609482.6097	3910332.6540	1.1%	1.2%
AXE Parking - 2+25.00	0225.00	453.034	453.033	609466.7079	3910313.3633	1.1%	1.2%
AXE Parking - 2+50.00	0250.00	453.171	453.176	609450.8061	3910294.0725	1.1%	1.2%
AXE Parking - 2+75.00	0275.00	453.236	453.319	609434.9043	3910274.7818	1.1%	1.2%
AXE Parking - 3+00.00	0300.00	453.462	453.461	609419.0025	3910255.4911	1.1%	1.2%

ANNEXE

Axe en plan: AXE PISTE
Description:
Plage d'abscisse : Début -0210.00 - Fin 3210.00

N°	PK	Z TN	Z PR	X	Y	Dev G	Dev D
AXE PISTE - -2+00.00	-0200.00			611628.7509	3909057.7019	vertical	vertical
AXE PISTE - -1+75.00	-0175.00			611613.9425	3909077.8442	vertical	vertical
AXE PISTE - -1+50.00	-0150.00			611599.1342	3909097.9866	vertical	vertical
AXE PISTE - -1+25.00	-0125.00			611584.3259	3909118.1289	vertical	vertical
AXE PISTE - -1+00.00	-0100.00			611569.5175	3909138.2712	vertical	vertical
AXE PISTE - -0+75.00	-0075.00			611554.7092	3909158.4135	vertical	vertical
AXE PISTE - -0+50.00	-0050.00	460.988	459.470	611539.9008	3909178.5558	1.1%	1.1%
AXE PISTE - -0+25.00	-0025.00	460.875	459.369	611525.0925	3909198.6981	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 0+00.00	0000.00	460.290	459.267	611510.2841	3909218.8405	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 0+25.00	0025.00	460.116	459.165	611495.4758	3909238.9828	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 0+50.00	0050.00	459.600	459.063	611480.6674	3909259.1251	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 0+75.00	0075.00	459.036	458.961	611465.8591	3909279.2674	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 1+00.00	0100.00	458.379	458.860	611451.0507	3909299.4097	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 1+25.00	0125.00	458.215	458.758	611436.2424	3909319.5520	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 1+50.00	0150.00	458.856	458.656	611421.4340	3909339.6944	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 1+75.00	0175.00	459.183	458.554	611406.6257	3909359.8367	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 2+00.00	0200.00	459.438	458.453	611391.8174	3909379.9790	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 2+25.00	0225.00	459.433	458.351	611377.0090	3909400.1213	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 2+50.00	0250.00	459.206	458.249	611362.2007	3909420.2636	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 2+75.00	0275.00	459.358	458.147	611347.3923	3909440.4059	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 3+00.00	0300.00	459.695	458.046	611332.5840	3909460.5483	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 3+25.00	0325.00	458.934	457.944	611317.7756	3909480.6906	1.1%	1.1%

AXE PISTE - 3+50.00	0350.00	458.430	457.842	611302.9673	3909500.8329	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 3+75.00	0375.00	457.943	457.740	611288.1589	3909520.9752	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 4+00.00	0400.00	458.092	457.638	611273.3506	3909541.1175	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 4+25.00	0425.00	457.618	457.537	611258.5422	3909561.2598	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 4+50.00	0450.00	457.763	457.435	611243.7339	3909581.4021	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 4+75.00	0475.00	457.573	457.333	611228.9255	3909601.5445	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 5+00.00	0500.00	457.331	457.231	611214.1172	3909621.6868	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 5+25.00	0525.00	457.135	457.130	611199.3089	3909641.8291	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 5+50.00	0550.00	456.836	457.028	611184.5005	3909661.9714	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 5+75.00	0575.00	457.164	456.926	611169.6922	3909682.1137	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 6+00.00	0600.00	457.109	456.824	611154.8838	3909702.2560	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 6+25.00	0625.00	457.042	456.722	611140.0755	3909722.3984	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 6+50.00	0650.00	456.731	456.621	611125.2671	3909742.5407	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 6+75.00	0675.00	456.702	456.519	611110.4588	3909762.6830	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 7+00.00	0700.00	456.813	456.417	611095.6504	3909782.8253	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 7+25.00	0725.00	456.689	456.315	611080.8421	3909802.9676	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 7+50.00	0750.00	456.924	456.214	611066.0337	3909823.1099	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 7+75.00	0775.00	456.644	456.112	611051.2254	3909843.2523	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 8+00.00	0800.00	456.466	456.010	611036.4171	3909863.3946	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 8+25.00	0825.00	456.312	455.908	611021.6087	3909883.5369	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 8+50.00	0850.00	456.453	455.807	611006.8004	3909903.6792	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 8+75.00	0875.00	456.464	455.705	610991.9920	3909923.8215	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 9+00.00	0900.00	455.804	455.603	610977.1837	3909943.9638	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 9+25.00	0925.00	456.250	455.501	610962.3753	3909964.1062	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 9+50.00	0950.00	455.396	455.399	610947.5670	3909984.2485	1.1%	1.1%

AXE PISTE - 9+75.00	0975.00	455.196	455.298	610932.7586	3910004.3908	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 10+00.00	1000.00	455.134	455.196	610917.9503	3910024.5331	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 10+25.00	1025.00	455.071	455.094	610903.1419	3910044.6754	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 10+50.00	1050.00	455.075	454.992	610888.3336	3910064.8177	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 10+75.00	1075.00	455.072	454.891	610873.5252	3910084.9600	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 11+00.00	1100.00	455.350	454.789	610858.7169	3910105.1024	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 11+25.00	1125.00	454.884	454.687	610843.9086	3910125.2447	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 11+50.00	1150.00	454.603	454.585	610829.1002	3910145.3870	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 11+75.00	1175.00	453.965	454.484	610814.2919	3910165.5293	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 12+00.00	1200.00	453.689	454.382	610799.4835	3910185.6716	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 12+25.00	1225.00	454.122	454.280	610784.6752	3910205.8139	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 12+50.00	1250.00	454.803	454.178	610769.8668	3910225.9563	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 12+75.00	1275.00	454.918	454.076	610755.0585	3910246.0986	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 13+00.00	1300.00	455.483	453.975	610740.2501	3910266.2409	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 13+25.00	1325.00	455.536	453.873	610725.4418	3910286.3832	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 13+50.00	1350.00	454.672	453.771	610710.6334	3910306.5255	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 13+75.00	1375.00	455.230	453.669	610695.8251	3910326.6678	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 14+00.00	1400.00	454.031	453.568	610681.0168	3910346.8102	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 14+25.00	1425.00	453.268	453.466	610666.2084	3910366.9525	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 14+50.00	1450.00	452.944	453.364	610651.4001	3910387.0948	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 14+75.00	1475.00	453.004	453.262	610636.5917	3910407.2371	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 15+00.00	1500.00	452.998	453.161	610621.7834	3910427.3794	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 15+25.00	1525.00	454.475	453.059	610606.9750	3910447.5217	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 15+50.00	1550.00	454.313	452.957	610592.1667	3910467.6640	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 15+75.00	1575.00	453.779	452.855	610577.3583	3910487.8064	1.1%	1.1%

AXE PISTE - 16+00.00	1600.00	451.763	452.753	610562.5500	3910507.9487	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 16+25.00	1625.00	452.656	452.652	610547.7416	3910528.0910	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 16+50.00	1650.00	452.307	452.546	610532.9333	3910548.2333	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 16+75.00	1675.00	452.380	452.422	610518.1249	3910568.3756	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 17+00.00	1700.00	452.490	452.277	610503.3166	3910588.5179	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 17+25.00	1725.00	452.808	452.119	610488.5083	3910608.6603	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 17+50.00	1750.00	452.319	451.961	610473.6999	3910628.8026	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 17+75.00	1775.00	451.870	451.804	610458.8916	3910648.9449	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 18+00.00	1800.00	451.017	451.646	610444.0832	3910669.0872	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 18+25.00	1825.00	450.838	451.488	610429.2749	3910689.2295	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 18+50.00	1850.00	450.857	451.330	610414.4665	3910709.3718	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 18+75.00	1875.00	450.845	451.172	610399.6582	3910729.5142	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 19+00.00	1900.00	450.293	451.014	610384.8498	3910749.6565	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 19+25.00	1925.00	450.204	450.857	610370.0415	3910769.7988	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 19+50.00	1950.00	450.081	450.699	610355.2331	3910789.9411	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 19+75.00	1975.00	449.892	450.541	610340.4248	3910810.0834	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 20+00.00	2000.00	449.771	450.383	610325.6165	3910830.2257	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 20+25.00	2025.00	449.626	450.225	610310.8081	3910850.3681	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 20+50.00	2050.00	449.428	450.067	610295.9998	3910870.5104	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 20+75.00	2075.00	449.164	449.910	610281.1914	3910890.6527	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 21+00.00	2100.00	449.068	449.752	610266.3831	3910910.7950	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 21+25.00	2125.00	449.062	449.594	610251.5747	3910930.9373	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 21+50.00	2150.00	449.096	449.436	610236.7664	3910951.0796	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 21+75.00	2175.00	449.129	449.278	610221.9580	3910971.2219	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 22+00.00	2200.00	449.117	449.120	610207.1497	3910991.3643	1.1%	1.1%

AXE PISTE - 22+25.00	2225.00	448.910	448.963	610192.3413	3911011.5066	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 22+50.00	2250.00	447.877	448.805	610177.5330	3911031.6489	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 22+75.00	2275.00	447.631	448.647	610162.7246	3911051.7912	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 23+00.00	2300.00	447.919	448.492	610147.9163	3911071.9335	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 23+25.00	2325.00	448.026	448.355	610133.1080	3911092.0758	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 23+50.00	2350.00	448.056	448.239	610118.2996	3911112.2182	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 23+75.00	2375.00	448.167	448.144	610103.4913	3911132.3605	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 24+00.00	2400.00	448.542	448.070	610088.6829	3911152.5028	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 24+25.00	2425.00	448.549	448.017	610073.8746	3911172.6451	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 24+50.00	2450.00	448.164	447.984	610059.0662	3911192.7874	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 24+75.00	2475.00	447.882	447.972	610044.2579	3911212.9297	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 25+00.00	2500.00	448.586	447.973	610029.4495	3911233.0721	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 25+25.00	2525.00	446.500	447.973	610014.6412	3911253.2144	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 25+50.00	2550.00	446.103	447.973	609999.8328	3911273.3567	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 25+75.00	2575.00	447.953	447.973	609985.0245	3911293.4990	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 26+00.00	2600.00	446.997	447.973	609970.2162	3911313.6413	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 26+25.00	2625.00	446.018	447.973	609955.4078	3911333.7836	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 26+50.00	2650.00	446.062	447.973	609940.5995	3911353.9260	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 26+75.00	2675.00	447.944	447.973	609925.7911	3911374.0683	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 27+00.00	2700.00	448.073	447.973	609910.9828	3911394.2106	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 27+25.00	2725.00	447.937	447.974	609896.1744	3911414.3529	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 27+50.00	2750.00	447.887	447.974	609881.3661	3911434.4952	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 27+75.00	2775.00	448.055	447.974	609866.5577	3911454.6375	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 28+00.00	2800.00	448.182	447.974	609851.7494	3911474.7798	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 28+25.00	2825.00	448.215	447.974	609836.9410	3911494.9222	1.1%	1.1%

AXE PISTE - 28+50.00	2850.00	448.298	447.974	609822.1327	3911515.0645	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 28+75.00	2875.00	448.312	447.974	609807.3243	3911535.2068	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 29+00.00	2900.00	448.373	447.974	609792.5160	3911555.3491	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 29+25.00	2925.00	448.451	447.974	609777.7077	3911575.4914	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 29+50.00	2950.00	448.611	447.975	609762.8993	3911595.6337	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 29+75.00	2975.00	448.659	447.975	609748.0910	3911615.7761	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 30+00.00	3000.00	448.623	447.975	609733.2826	3911635.9184	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 30+25.00	3025.00	448.686	447.975	609718.4743	3911656.0607	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 30+50.00	3050.00	448.797	447.975	609703.6659	3911676.2030	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 30+75.00	3075.00			609688.8576	3911696.3453	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 31+00.00	3100.00			609674.0492	3911716.4876	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 31+25.00	3125.00			609659.2409	3911736.6300	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 31+50.00	3150.00			609644.4325	3911756.7723	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 31+75.00	3175.00			609629.6242	3911776.9146	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 32+00.00	3200.00			609614.8159	3911797.0569	1.1%	1.1%
AXE PISTE - 32+10.00	3210.00			609608.8923	3911805.1141	1.1%	1.1%

Axe en plan: AXE S.G.V
Description:
Plage d'abscisse : Début 0000.00 - Fin 0370.00

N°	PK	Z TN	Z PR	X	Y	Dev G	Dev D
AXE S.G.V - 0+00.00	0000.00	449.670	450.033	610315.1044	3910844.5243	1.2%	1.2%
AXE S.G.V - 0+25.00	0025.00	449.442	449.898	610292.2088	3910854.5639	1.2%	1.2%
AXE S.G.V - 0+50.00	0050.00	449.332	449.764	610269.3133	3910864.6035	1.2%	1.2%
AXE S.G.V - 0+75.00	0075.00	449.302	449.629	610246.4177	3910874.6430	1.2%	1.2%
AXE S.G.V - 1+00.00	0100.00	449.352	449.494	610223.5222	3910884.6826	1.2%	1.2%

AXE S.G.V - 1+25.00	0125.00	449.529	449.360	610200.6266	3910894.7222	1.2%	1.2%
AXE S.G.V - 1+50.00	0150.00	450.042	449.225	610177.7310	3910904.7618	1.2%	1.2%
AXE S.G.V - 1+75.00	0175.00	449.556	449.091	610154.8355	3910914.8014	1.2%	1.2%
AXE S.G.V - 2+00.00	0200.00	449.546	448.956	610131.9399	3910924.8410	1.2%	1.2%
AXE S.G.V - 2+25.00	0225.00	449.346	448.822	610109.0444	3910934.8806	1.2%	1.2%
AXE S.G.V - 2+50.00	0250.00	449.228	448.687	610086.1488	3910944.9202	1.2%	1.2%
AXE S.G.V - 2+75.00	0275.00	449.190	448.552	610063.2533	3910954.9598	1.2%	1.2%
AXE S.G.V - 3+00.00	0300.00	449.185	448.418	610040.3577	3910964.9994	1.2%	1.2%
AXE S.G.V - 3+25.00	0325.00	449.173	448.283	610017.4621	3910975.0390	1.2%	1.2%
AXE S.G.V - 3+50.00	0350.00	449.158	448.149	609994.5666	3910985.0786	1.2%	1.2%
AXE S.G.V - 3+70.00	0370.00	449.274		609976.2509	3910993.1100	1.2%	1.2%

Axe en plan: AXE VOIE DE CIRCULATION
Description:
Plage d'abscisse : Début 0000.00 - Fin 3280.62

N°	PK	Z TN	Z PR	X	Y	Dev G	Dev D
AXE VC - 0+00.00	0000.00	460.203	459.509	611502.8802	3909228.9113	1.2%	1.2%
AXE VC - 0+25.00	0025.00	460.726	459.532	611482.7378	3909214.1030	1.2%	1.2%
AXE VC - 0+50.00	0050.00	461.008	459.556	611462.5955	3909199.2947	1.2%	1.2%
AXE VC - 0+75.00	0075.00	461.056	459.579	611442.4531	3909184.4864	1.2%	1.2%
AXE VC - 1+00.00	0100.00	460.783	459.603	611422.3107	3909169.6782	1.2%	1.2%
AXE VC - 1+25.00	0125.00	460.422	459.626	611401.3633	3909156.1335	1.2%	1.2%
AXE VC - 1+50.00	0150.00	460.139	459.650	611377.3625	3909149.5611	1.2%	1.2%
AXE VC - 1+75.00	0175.00	460.096	459.673	611352.5323	3909151.2035	1.2%	1.2%
AXE VC - 2+00.00	0200.00	460.675	459.697	611329.6062	3909160.8797	1.2%	1.2%
AXE VC - 2+25.00	0225.00	460.859	459.720	611311.1081	3909177.5247	1.2%	1.2%

AXE VC - 2+50.00	0250.00	460.568	459.744	611296.2578	3909197.6353	1.2%	1.2%
AXE VC - 2+75.00	0275.00	460.093	459.767	611281.4494	3909217.7776	1.2%	1.2%
AXE VC - 3+00.00	0300.00	459.681	459.791	611266.6411	3909237.9199	1.2%	1.2%
AXE VC - 3+25.00	0325.00	459.200	459.814	611251.8327	3909258.0622	1.2%	1.2%
AXE VC - 3+50.00	0350.00	459.411	459.838	611237.0244	3909278.2045	1.2%	1.2%
AXE VC - 3+75.00	0375.00	459.192	459.861	611222.2160	3909298.3469	1.2%	1.2%
AXE VC - 4+00.00	0400.00	459.275	459.885	611207.4077	3909318.4892	1.2%	1.2%
AXE VC - 4+25.00	0425.00	459.467	459.908	611192.5994	3909338.6315	1.2%	1.2%
AXE VC - 4+50.00	0450.00	459.693	459.932	611177.7910	3909358.7738	1.2%	1.2%
AXE VC - 4+75.00	0475.00	459.720	459.873	611162.9827	3909378.9161	1.2%	1.2%
AXE VC - 5+00.00	0500.00	459.378	459.726	611148.1743	3909399.0584	1.2%	1.2%
AXE VC - 5+25.00	0525.00	459.507	459.579	611133.3660	3909419.2008	1.2%	1.2%
AXE VC - 5+50.00	0550.00	459.317	459.432	611118.5576	3909439.3431	1.2%	1.2%
AXE VC - 5+75.00	0575.00	459.081	459.284	611103.7493	3909459.4854	1.2%	1.2%
AXE VC - 6+00.00	0600.00	459.878	459.137	611088.9409	3909479.6277	1.2%	1.2%
AXE VC - 6+25.00	0625.00	459.706	458.990	611074.1326	3909499.7700	1.2%	1.2%
AXE VC - 6+50.00	0650.00	459.145	458.843	611059.3242	3909519.9123	1.2%	1.2%
AXE VC - 6+75.00	0675.00	458.588	458.696	611044.5159	3909540.0547	1.2%	1.2%
AXE VC - 7+00.00	0700.00	458.289	458.549	611029.7076	3909560.1970	1.2%	1.2%
AXE VC - 7+25.00	0725.00	458.023	458.402	611014.8992	3909580.3393	1.2%	1.2%
AXE VC - 7+50.00	0750.00	457.847	458.255	611000.0909	3909600.4816	1.2%	1.2%
AXE VC - 7+75.00	0775.00	457.416	458.108	610985.2825	3909620.6239	1.2%	1.2%
AXE VC - 8+00.00	0800.00	457.495	457.961	610970.4742	3909640.7662	1.2%	1.2%
AXE VC - 8+25.00	0825.00	457.600	457.813	610955.6658	3909660.9086	1.2%	1.2%
AXE VC - 8+50.00	0850.00	457.323	457.666	610940.8575	3909681.0509	1.2%	1.2%

AXE VC - 8+75.00	0875.00	457.035	457.519	610926.0491	3909701.1932	1.2%	1.2%
AXE VC - 9+00.00	0900.00	456.957	457.372	610911.2408	3909721.3355	1.2%	1.2%
AXE VC - 9+25.00	0925.00	457.072	457.225	610896.4324	3909741.4778	1.2%	1.2%
AXE VC - 9+50.00	0950.00	456.883	457.078	610881.6241	3909761.6201	1.2%	1.2%
AXE VC - 9+75.00	0975.00	457.238	456.931	610866.8158	3909781.7625	1.2%	1.2%
AXE VC - 10+00.00	1000.00	456.899	456.784	610852.0074	3909801.9048	1.2%	1.2%
AXE VC - 10+25.00	1025.00	456.770	456.637	610837.1991	3909822.0471	1.2%	1.2%
AXE VC - 10+50.00	1050.00	456.504	456.490	610822.3907	3909842.1894	1.2%	1.2%
AXE VC - 10+75.00	1075.00	456.540	456.342	610807.5824	3909862.3317	1.2%	1.2%
AXE VC - 11+00.00	1100.00	456.036	456.195	610792.7740	3909882.4740	1.2%	1.2%
AXE VC - 11+25.00	1125.00	455.436	456.048	610777.9657	3909902.6164	1.2%	1.2%
AXE VC - 11+50.00	1150.00	454.661	455.901	610763.1573	3909922.7587	1.2%	1.2%
AXE VC - 11+75.00	1175.00	454.429	455.754	610748.3490	3909942.9010	1.2%	1.2%
AXE VC - 12+00.00	1200.00	454.233	455.607	610733.5406	3909963.0433	1.2%	1.2%
AXE VC - 12+25.00	1225.00	454.020	455.460	610718.7323	3909983.1856	1.2%	1.2%
AXE VC - 12+50.00	1250.00	454.126	455.313	610703.9240	3910003.3279	1.2%	1.2%
AXE VC - 12+75.00	1275.00	454.211	455.166	610689.1156	3910023.4702	1.2%	1.2%
AXE VC - 13+00.00	1300.00	454.247	455.019	610674.3073	3910043.6126	1.2%	1.2%
AXE VC - 13+25.00	1325.00	454.240	454.871	610659.4989	3910063.7549	1.2%	1.2%
AXE VC - 13+50.00	1350.00	454.135	454.724	610644.6906	3910083.8972	1.2%	1.2%
AXE VC - 13+75.00	1375.00	453.938	454.577	610629.8822	3910104.0395	1.2%	1.2%
AXE VC - 14+00.00	1400.00	453.803	454.430	610615.0739	3910124.1818	1.2%	1.2%
AXE VC - 14+25.00	1425.00	453.533	454.283	610600.2655	3910144.3241	1.2%	1.2%
AXE VC - 14+50.00	1450.00	453.464	454.136	610585.4572	3910164.4665	1.2%	1.2%
AXE VC - 14+75.00	1475.00	453.346	453.989	610570.6488	3910184.6088	1.2%	1.2%

AXE VC - 15+00.00	1500.00	453.137	453.842	610555.8405	3910204.7511	1.2%	1.2%
AXE VC - 15+25.00	1525.00	453.246	453.695	610541.0321	3910224.8934	1.2%	1.2%
AXE VC - 15+50.00	1550.00	453.684	453.548	610526.2238	3910245.0357	1.2%	1.2%
AXE VC - 15+75.00	1575.00	453.429	453.400	610511.4155	3910265.1780	1.2%	1.2%
AXE VC - 16+00.00	1600.00	453.452	453.253	610496.6071	3910285.3204	1.2%	1.2%
AXE VC - 16+25.00	1625.00	453.148	453.106	610481.7988	3910305.4627	1.2%	1.2%
AXE VC - 16+50.00	1650.00	452.925	452.959	610466.9904	3910325.6050	1.2%	1.2%
AXE VC - 16+75.00	1675.00	453.211	452.812	610452.1821	3910345.7473	1.2%	1.2%
AXE VC - 17+00.00	1700.00	453.583	452.665	610437.3737	3910365.8896	1.2%	1.2%
AXE VC - 17+25.00	1725.00	453.412	452.518	610422.5654	3910386.0319	1.2%	1.2%
AXE VC - 17+50.00	1750.00	452.753	452.371	610407.7570	3910406.1743	1.2%	1.2%
AXE VC - 17+75.00	1775.00	451.403	452.224	610392.9487	3910426.3166	1.2%	1.2%
AXE VC - 18+00.00	1800.00	450.211	452.077	610378.1403	3910446.4589	1.2%	1.2%
AXE VC - 18+25.00	1825.00	450.059	451.930	610363.3320	3910466.6012	1.2%	1.2%
AXE VC - 18+50.00	1850.00	450.079	451.782	610348.5237	3910486.7435	1.2%	1.2%
AXE VC - 18+75.00	1875.00	450.179	451.635	610333.7153	3910506.8858	1.2%	1.2%
AXE VC - 19+00.00	1900.00	450.122	451.488	610318.9070	3910527.0282	1.2%	1.2%
AXE VC - 19+25.00	1925.00	450.057	451.341	610304.0986	3910547.1705	1.2%	1.2%
AXE VC - 19+50.00	1950.00	449.854	451.194	610289.2903	3910567.3128	1.2%	1.2%
AXE VC - 19+75.00	1975.00	449.637	451.047	610274.4819	3910587.4551	1.2%	1.2%
AXE VC - 20+00.00	2000.00	449.718	450.900	610259.6736	3910607.5974	1.2%	1.2%
AXE VC - 20+25.00	2025.00	449.780	450.753	610244.8652	3910627.7397	1.2%	1.2%
AXE VC - 20+50.00	2050.00	449.707	450.606	610230.0569	3910647.8821	1.2%	1.2%
AXE VC - 20+75.00	2075.00	449.701	450.459	610215.2485	3910668.0244	1.2%	1.2%
AXE VC - 21+00.00	2100.00	449.175	450.311	610200.4402	3910688.1667	1.2%	1.2%

AXE VC - 21+25.00	2125.00	449.501	450.164	610185.6319	3910708.3090	1.2%	1.2%
AXE VC - 21+50.00	2150.00	448.828	450.017	610170.8235	3910728.4513	1.2%	1.2%
AXE VC - 21+75.00	2175.00	449.880	449.870	610156.0152	3910748.5936	1.2%	1.2%
AXE VC - 22+00.00	2200.00	450.231	449.723	610141.2068	3910768.7359	1.2%	1.2%
AXE VC - 22+25.00	2225.00	450.411	449.576	610126.3985	3910788.8783	1.2%	1.2%
AXE VC - 22+50.00	2250.00	450.181	449.429	610111.5901	3910809.0206	1.2%	1.2%
AXE VC - 22+75.00	2275.00	449.927	449.282	610096.7818	3910829.1629	1.2%	1.2%
AXE VC - 23+00.00	2300.00	449.806	449.135	610081.9734	3910849.3052	1.2%	1.2%
AXE VC - 23+25.00	2325.00	449.676	448.988	610067.1651	3910869.4475	1.2%	1.2%
AXE VC - 23+50.00	2350.00	449.562	448.840	610052.3567	3910889.5898	1.2%	1.2%
AXE VC - 23+75.00	2375.00	449.550	448.693	610037.5484	3910909.7322	1.2%	1.2%
AXE VC - 24+00.00	2400.00	449.461	448.546	610022.7401	3910929.8745	1.2%	1.2%
AXE VC - 24+25.00	2425.00	449.394	448.399	610007.9317	3910950.0168	1.2%	1.2%
AXE VC - 24+50.00	2450.00	449.289	448.256	609993.1234	3910970.1591	1.2%	1.2%
AXE VC - 24+75.00	2475.00	449.251	448.228	609978.3150	3910990.3014	1.2%	1.2%
AXE VC - 25+00.00	2500.00	449.533	448.228	609963.5067	3911010.4437	1.2%	1.2%
AXE VC - 25+25.00	2525.00	449.507	448.228	609948.6983	3911030.5861	1.2%	1.2%
AXE VC - 25+50.00	2550.00	449.223	448.228	609933.8900	3911050.7284	1.2%	1.2%
AXE VC - 25+75.00	2575.00	449.008	448.228	609919.0816	3911070.8707	1.2%	1.2%
AXE VC - 26+00.00	2600.00	449.104	448.228	609904.2733	3911091.0130	1.2%	1.2%
AXE VC - 26+25.00	2625.00	448.264	448.228	609889.4649	3911111.1553	1.2%	1.2%
AXE VC - 26+50.00	2650.00	448.463	448.228	609874.6566	3911131.2976	1.2%	1.2%
AXE VC - 26+75.00	2675.00	448.652	448.228	609859.8483	3911151.4400	1.2%	1.2%
AXE VC - 27+00.00	2700.00	448.630	448.228	609845.0399	3911171.5823	1.2%	1.2%
AXE VC - 27+25.00	2725.00	448.650	448.228	609830.2316	3911191.7246	1.2%	1.2%

AXE VC - 27+50.00	2750.00	448.634	448.228	609815.4232	3911211.8669	1.2%	1.2%
AXE VC - 27+75.00	2775.00	448.497	448.228	609800.6149	3911232.0092	1.2%	1.2%
AXE VC - 28+00.00	2800.00	448.496	448.228	609785.8065	3911252.1515	1.2%	1.2%
AXE VC - 28+25.00	2825.00	448.590	448.228	609770.9982	3911272.2939	1.2%	1.2%
AXE VC - 28+50.00	2850.00	448.705	448.228	609756.1898	3911292.4362	1.2%	1.2%
AXE VC - 28+75.00	2875.00	448.688	448.228	609741.3815	3911312.5785	1.2%	1.2%
AXE VC - 29+00.00	2900.00	448.689	448.228	609726.5731	3911332.7208	1.2%	1.2%
AXE VC - 29+25.00	2925.00	448.762	448.228	609711.7648	3911352.8631	1.2%	1.2%
AXE VC - 29+50.00	2950.00	448.909	448.228	609696.9565	3911373.0054	1.2%	1.2%
AXE VC - 29+75.00	2975.00	448.759	448.228	609682.1481	3911393.1478	1.2%	1.2%
AXE VC - 30+00.00	3000.00	448.843	448.228	609667.3398	3911413.2901	1.2%	1.2%
AXE VC - 30+25.00	3025.00	448.935	448.228	609652.5314	3911433.4324	1.2%	1.2%
AXE VC - 30+50.00	3050.00	449.037	448.228	609637.7231	3911453.5747	1.2%	1.2%
AXE VC - 30+75.00	3075.00	449.071	448.228	609625.7312	3911475.3876	1.2%	1.2%
AXE VC - 31+00.00	3100.00	449.083	448.228	609621.4864	3911499.9073	1.2%	1.2%
AXE VC - 31+25.00	3125.00	449.203	448.228	609625.4979	3911524.4662	1.2%	1.2%
AXE VC - 31+50.00	3150.00	449.183	448.228	609637.3242	3911546.3608	1.2%	1.2%
AXE VC - 31+75.00	3175.00	449.068	448.228	609655.5895	3911563.2853	1.2%	1.2%
AXE VC - 32+00.00	3200.00	449.008	448.228	609675.7319	3911578.0937	1.2%	1.2%
AXE VC - 32+25.00	3225.00	448.888	448.228	609695.8742	3911592.9020	1.2%	1.2%
AXE VC - 32+50.00	3250.00	448.800	448.228	609716.0165	3911607.7104	1.2%	1.2%
AXE VC - 32+75.00	3275.00	448.680	448.228	609736.1588	3911622.5187	1.2%	1.2%
AXE VC - 32+80.62	3280.62	448.637		609740.6866	3911625.8475	1.2%	1.2%

ANNEXE

Axe en plan: Axe VOIE DE CIRCULATION 2
Description:
Plage d'abscisse : Début 0000.00 - Fin 0709.24

N°	PK	Z TN	Z PR	X	Y	Dev G	Dev D
Axe VC2 - 0+00.00	0000.00	449.274		609976.2499	3910993.1104	1.2%	1.2%
Axe VC2 - 0+25.00	0025.00	449.471	448.267	609959.7628	3910974.3174	1.2%	1.2%
Axe VC2 - 0+50.00	0050.00	449.569	448.423	609943.2758	3910955.5244	1.2%	1.2%
Axe VC2 - 0+75.00	0075.00	449.576	448.579	609926.7887	3910936.7314	1.2%	1.2%
Axe VC2 - 1+00.00	0100.00	449.716	448.736	609910.3016	3910917.9384	1.2%	1.2%
Axe VC2 - 1+25.00	0125.00	449.794	448.892	609893.8146	3910899.1454	1.2%	1.2%
Axe VC2 - 1+50.00	0150.00	449.900	449.048	609877.3275	3910880.3524	1.2%	1.2%
Axe VC2 - 1+75.00	0175.00	449.990	449.205	609860.8405	3910861.5594	1.2%	1.2%
Axe VC2 - 2+00.00	0200.00	450.133	449.361	609844.3534	3910842.7664	1.2%	1.2%
Axe VC2 - 2+25.00	0225.00	450.251	449.517	609827.8663	3910823.9734	1.2%	1.2%
Axe VC2 - 2+50.00	0250.00	450.341	449.673	609811.3793	3910805.1804	1.2%	1.2%
Axe VC2 - 2+75.00	0275.00	450.383	449.830	609794.8922	3910786.3874	1.2%	1.2%
Axe VC2 - 3+00.00	0300.00	450.421	449.986	609778.4051	3910767.5944	1.2%	1.2%
Axe VC2 - 3+25.00	0325.00	450.442	450.142	609761.9181	3910748.8014	1.2%	1.2%
Axe VC2 - 3+50.00	0350.00	450.541	450.299	609745.4310	3910730.0084	1.2%	1.2%
Axe VC2 - 3+75.00	0375.00	450.637	450.455	609728.9439	3910711.2155	1.2%	1.2%
Axe VC2 - 4+00.00	0400.00	450.661	450.611	609712.4569	3910692.4225	1.2%	1.2%
Axe VC2 - 4+25.00	0425.00	450.672	450.768	609695.9698	3910673.6295	1.2%	1.2%
Axe VC2 - 4+50.00	0450.00	450.810	450.924	609679.4827	3910654.8365	1.2%	1.2%
Axe VC2 - 4+75.00	0475.00	450.857	451.080	609662.9957	3910636.0435	1.2%	1.2%
Axe VC2 - 5+00.00	0500.00	451.052	451.237	609646.5086	3910617.2505	1.2%	1.2%
Axe VC2 - 5+25.00	0525.00	451.182	451.393	609630.0215	3910598.4575	1.2%	1.2%

Axe VC2 - 5+50.00	0550.00	451.339	451.549	609613.5345	3910579.6645	1.2%	1.2%
Axe VC2 - 5+75.00	0575.00	451.568	451.705	609597.0474	3910560.8715	1.2%	1.2%
Axe VC2 - 6+00.00	0600.00	451.751	451.862	609580.5604	3910542.0785	1.2%	1.2%
Axe VC2 - 6+25.00	0625.00	451.965	452.018	609564.0733	3910523.2855	1.2%	1.2%
Axe VC2 - 6+50.00	0650.00	452.099	452.174	609547.5862	3910504.4925	1.2%	1.2%
Axe VC2 - 6+75.00	0675.00	452.316	452.331	609531.0992	3910485.6995	1.2%	1.2%
Axe VC2 - 7+00.00	0700.00	452.478	452.487	609514.6121	3910466.9065	1.2%	1.2%
Axe VC2 - 7+09.24	0709.24	452.545	452.545	609508.5185	3910459.9606	1.2%	1.2%