

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
فرنسيس جانسون

Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics

National School of Built and Ground Works Engineering

Francis Jeanson

Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de base

Thème

**Etude de création d'un nouvel
aérodrome à Tin Zaouatine
Wilaya de Tamanrasset**

Présenté par :

BOUHANNACHE Ayoub

Encadré par :

Mr A. ADJLANE

Mme S. CHIALI

Promotion 2017 / 2018

Remerciements

Tout d'abord je remercie Dieu de m'avoir donné la force d'accomplir ce travail.

Je tiens à adresser mes plus sincères remerciements à tous ceux qui de près ou de loin ont par leurs compétences et leurs commentaires, contribué à l'élaboration et à la bonne conduite de ce travail.

Ma sincère gratitude va à mes encadrants Mr ADJLANE et Mme CHIALI pour leurs conseils, orientations, disponibilité et de m'avoir motivé afin de conduire ce travail à terme dans les délais impartis.

Je tiens à remercier Mr F. SID ALI, chef de département des infrastructures aéroportuaires, pour m'avoir proposé ce sujet ambitieux, ainsi pour ses précieux conseils.

Je tiens à remercier Mme ABDELLI, ingénieur de géotechnique, sans oublier Mme KHALDI et l'ensemble du personnel des infrastructures aéroportuaires de la SAETI.

Je tiens à remercier les bibliothécaires pour leurs disponibilité et conseils pertinents durant ces 5 dernières années.

Merci à l'office national de météorologie de nous avoir fourni des données essentielles pour la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes parents, qui ont fait de moi l'homme que je suis aujourd'hui, qui se sont sacrifiés afin de me voir grandir, réussir dans mes études et pour que je ne manque de rien. Ils m'ont appris à avoir la foi en dieu et à discerner entre le mal et le bien.

A mon frère et mes sœurs.

A mon regretté grand-père BOUHANNACHE Salah.

A mes grands-parents.

A toute la famille BOUHANNACHE et GHERIES.

A tous mes amis : Yanis, Michael, Amel, Mohammed, Imad, Mehdi, Rachid, Hichem.



Hommage aux victimes du crash aérien de l'Ilyushin Il-76 7T-WIV
de l'armée de l'air Algérienne

11 avril 2018

aux 257 martyres du devoir

paix à leurs âmes

إِنَّا لِلَّهِ وَإِنَّا إِلَيْهِ رَاجِعُونَ

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 أديناه في إطار مشروع إنهاء الدراسة يهدف إلى تصميم ودراسة إنشاء مطار في منطقة تين زواوتين.

كلمات مفتاحية : معامل الإستخدام، إقلاع، هبوط، تخليصات، تين زواوتين.

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'un aérodrome à la région de Tin Zaouatine.

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

Abstract

The strategical status of Algeria makes necessary to develop an efficient aerial transport policy which begets a developed 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 is to design and study of the creation of an aerodrome in the region of Tin Zaouatine.

Keywords : Usage factor ; takeoff ; landing ; clearances ; Tin Zaouatine.

Liste des abréviations

- ACN** : Numéro de classification d'aéronef (Aircraft Classification Number).
- BB** : Béton bitumineux.
- CBR** : Indice portant californien (California Bearing Ratiotest).
- C_U** : Coefficient d'utilisation d'une piste d'aérodrome.
- CWY** : Prolongement dégagé – Clearway.
- GB** : Grave bitume.
- GNT** : Graves non traités.
- I_p** : Indice de plasticité.
- kg** : Kilogramme.
- km** : Kilomètre.
- km/h** : Kilomètre par heure.
- LA** : Résultat de l'essai Los Angeles.
- MDE** : Résultat de l'essai Micro Deval
- mm** : Millimètre.
- Mpa** : Méga pascal.
- NF** : Norme française.
- O.A.C.I** : l'Organisation de l'aviation civile internationale.
- PCN** : Numéro de classification de chaussée (Pavement Classification Number).
- P.O.R** : Prolongement occasionnellement roulant.
- R.E.S.A** : Aire de sécurité d'extrémité des pistes.
- RRTA** : Recueil de recommandations techniques sur les aérodromes.
- RSI** : Roue simple isolée.
- STAC** : Service technique de l'aviation civile.
- STBA** : Service technique des bases aériennes.
- SWY**: Prolongement d'arrêt – Stopway.
- W_L** : Limite de liquidité.
- W_P** : Limite de plasticité.

Sommaire

Introduction générale.....	1
CHAPITRE I. Généralités et présentation du projet	2
I.1. Introduction.....	2
I.2. Définitions.....	2
I.3. Données & Présentation de la zone du projet	2
I.3.1. Présentation De la ville	2
I.3.2. Localisation.....	3
I.3.3. Historique.....	3
I.3.4. Voies de communication.....	3
I.3.5. Climat.....	4
I.3.6. Démographie.....	4
I.3.7. Historique de l'aérodrome	4
I.3.8. Fiche de l'aérodrome	5
I.3.9. Aérodromes voisins	5
I.4. Conclusion	6
CHAPITRE II. Etude de l'aérodrome	7
II.1. Introduction	7
II.2. Classification de l'aérodrome	7
II.2.1. L'avion de référence	7
II.2.2. Code de référence de l'aérodrome	8
II.2.3. Etude de trafic.....	10
II.3. Caractéristiques géométriques de la piste.....	10
II.3.1. Longueur de la piste	10
II.3.2. Largeur de la piste	13
II.4. Détermination de l'orientation de la piste	13
II.4.1. Vents traversiers	13
II.4.2. Coefficient d'utilisation.....	14
II.4.2.1. Calcul du coefficient d'utilisation	15
II.4.2.2. Choix de l'orientation de la piste.....	18
II.5. Conclusion.....	18
CHAPITRE III. Surfaces de dégagement	18
III.1. Introduction	18

III.2. Les surfaces de dégagement	18
III.2.1. La surface horizontale intérieure	19
III.2.2. Surface conique	20
III.2.3. Surface d'approche.....	21
III.2.4. Surface de montée au décollage	22
III.2.5. Surface de transition.....	23
III.3. Conclusion.....	25
CHAPITRE IV. Etude géométrique.....	25
IV.1. Introduction	25
IV.2. Calcul des coordonnées.....	26
IV.2.1. Calcul du gisement.....	26
IV.3. Caractéristiques géométriques de la piste	28
IV.3.1. Profil en long.....	28
IV.3.1.1. Pente longitudinale.....	28
IV.3.1.2. Changement de pente longitudinale	28
IV.3.1.3. Distance de visibilité.....	29
IV.3.1.4. Distance minimale entre changements de pente	29
IV.3.2. Profil en travers	30
IV.3.3. Voie de circulation	31
IV.3.3.1. Largeur de la voie de circulation.....	31
IV.3.3.2. Pentes de la voie de circulation.....	31
IV.3.3.3. Accotements de la voie de circulation	32
IV.4. Aménagements complémentaires	32
IV.4.1. Accotement	32
IV.4.2. Bandes de piste.....	34
IV.4.2.1. Longueur des bandes de piste	34
IV.4.2.2. Largeur des bandes de piste	34
IV.4.2.3. Pentes des bandes de piste	34
IV.4.3. Prolongements occasionnellement roulables (P.O.R).....	35
IV.4.3.1. Prolongement d'arrêt.....	35
IV.4.3.2. Prolongement dégagé.....	36
IV.4.4. Aire de sécurité d'extrémité de piste (RESA).....	36
IV.4.5. Aires de demi-tour sur piste (raquettes de retournement).....	37
IV.5. Conclusion	39
CHAPITRE V. Etude géotechnique	39

V.1. Introduction	39
V.2. Moyens d'investigation	39
V.2.1. Creusement des puits de reconnaissance	39
V.2.2. Essais au laboratoire	40
V.2.2.1. Essais d'identification	40
V.2.2.2. Essais physiques	45
V.3. Prospection et étude d'emprunts	48
V.3.1. Gisement de Tadjertoudjet :	48
V.3.2. Gisement de Tin-El-Haoua :	48
V.3.3. Essais réalisés et résultats :	48
V.3.4. Estimation des réserves	49
V.4. Conclusion.....	49
CHAPITRE VI. Dimensionnement du corps de chaussée.....	50
VI.1. Introduction.....	50
VI.2. Type de chaussée	51
VI.2.1. Chaussée souple	51
VI.2.2. Chaussée rigide	52
VI.3. Choix du type de chaussée	52
VI.4. Durée de vie des chaussées	54
VI.5. Choix de la charge de calcul	54
VI.5.1. Masse de l'avion de référence.....	54
VI.5.2. Les atterrisseurs.....	55
VI.5.3. Répartition de la masse des atterrisseurs.....	55
VI.5.4. Charges de calcul	55
VI.6. Dimensionnement des chaussées souples	56
VI.7. Dimensionnement des chaussées rigides	62
VI.7.1. Calcul des charges.....	62
VI.7.2. Détermination de la couche de fondation	63
VI.7.3. Caractéristiques du sol support	64
VI.7.4. Correction de la contrainte admissible du béton	64
VI.7.5. Détermination de l'épaisseur de la dalle	65
VI.7.6. Joints de construction.....	65
VI.7.6.1. Caractérisation des goujons	66
VI.7.6.2. Caractérisation des fers de liaison.....	67
VI.7.6.3. Disposition des goujons et de fers de liaison	68

VI.7.7. Dalle de transition	69
VI.8. Conclusion	70
CHAPITRE VII. Charges admissibles	70
VII.1. Introduction.....	70
VII.2. La méthode ACN-PCN.....	70
VII.3. Publication des charges admissibles	71
VII.4. Détermination du PCN	71
VII.4.1. Détermination du PCN pour la chaussée souple.....	71
VII.4.2. Détermination du PCN pour la chaussée rigide.....	73
VII.5. Détermination de l'ACN.....	74
VII.6. Comparatif des charges appliquées et admissibles	75
VII.7. Conclusion	75
CHAPITRE VIII. Assainissement	76
VIII.1. Introduction	76
VIII.2. Dimensionnement des ouvrages d'évacuation	77
VIII.2.1. Estimation du débit d'apport Q_a	77
VIII.2.2. Détermination de l'intensité de pluie I_t	77
VIII.2.3. L'intensité horaire I	77
VIII.2.4. Pluie journalière maximale annuelle P_j	77
VIII.2.5. Coefficient de ruissellement.....	78
VIII.2.6. Débit de saturation.....	78
VIII.2.7. Dimensionnement de buses	79
VIII.2.8. Dimensionnement de fossés	80
VIII.2.8.1. Calcul de la surface mouillée	81
VIII.2.8.2. Calcul du périmètre mouillé	81
VIII.2.8.3. Calcul du rayon hydraulique	81
VIII.2.9. Calcul hydraulique	81
VIII.2.9.1. Pluie journalière maximale annuelle P_j	81
VIII.2.9.2. Intensité horaire I	82
VIII.2.10. Dimensionnement des fossés.....	82
VIII.2.11. Dimensionnement des buses	84
VIII.3. Conclusion.....	84
CHAPITRE IX. Balisage et signalisation.....	85
IX.1. Introduction	85
IX.2. Balisage et signalisation du jour	85

IX.2.1. Indicateur de la direction du vent (manche à air).....	86
IX.2.2. Marques d'identification de piste.....	86
IX.2.3. Marques de seuil	87
IX.2.4. Marques d'axe.....	88
IX.2.5. Marques latérales	88
IX.2.6. Marques axiales de la bretelle	89
IX.2.7. Marques d'aire de demi-tour sur piste	89
IX.3. Balisage lumineux.....	89
IX.3.1. Balisage lumineux de la piste.....	89
IX.3.1.1. Feux de bord de piste	89
IX.3.1.2. Feux d'extrémité de piste.....	90
IX.3.1.3. Feux de prolongement d'arrêt	90
IX.4. Conclusion	91
Conclusion générale	92
Annexes	

Liste des figures

CHAPITRE I. Généralités et présentation du projet	2
Figure I.1. Localisation de Tin Zaouatine	2
Figure I.2. Voies de communication	3
Figure I.3. La piste provisoire existante	4
Figure I.4. Carte réunissant les aérodromes de l'Algérie	5
CHAPITRE II. Etude de l'aérodrome	7
Figure II.1. Schéma représentant les dimensions et les perspectives de l'appareil.....	8
Figure II.2. Atterrissage d'un Ilyushin Il-76 sous l'effet de girouette	13
Figure II.3. Rose des vents annuels de Bordj Badji Mokhtar durant la période (2001-2016) .	14
Figure II.4. Calcul du Cu pour la direction N-S	16
Figure II.5. Courbe des coefficients d'utilisation en fonction des directions	17
CHAPITRE III. Surfaces de dégagement	18
Figure III.1. Perspective générale de plans de dégagements.....	18
Figure III.2. Vue en plan de la surface horizontale intérieure.....	19
Figure III.3. Coupe longitudinale montrant la surface conique	21
Figure III.4. Coupe transversale montrant la surface de transition	23
Figure III.5. Vue en perspective montrant la surface de transition	24
CHAPITRE IV. Etude géométrique.....	25
Figure IV.1. Gisement d'une droite AB	25
Figure IV.2. Les gisements	26
Figure IV.3. Distance entre les points d'intersection de deux courbes	29
Figure IV.4. Profil en travers en toit	29
Figure IV.5. Profil en travers à pente unique	30
Figure IV.6. Disposition des accotements dans la piste	31
Figure IV.7. Bandes d'une piste.....	33
Figure IV.8. Prolongements occasionnellement roulables.....	34
Figure IV.9. Configuration d'une aire de demi-tour sur piste.....	36
Figure IV.10. Etapes de retournement de l'aéronef	37
Figure IV.11. Aires de demi-tour sur la piste de Tin Zaouatine	38
CHAPITRE V. Etude géotechnique	39
Figure.V.1. Essai de granulométrie par tamisage.....	40
Figure V.2. Limites d'Atterberg.....	41
Figure V.3. Schéma de l'essai d'équivalent de sable	43
Figure V.4. L'essai de Proctor	45
Figure V.5. Répartition des zones climatiques selon la RTTA	47

CHAPITRE VI. Dimensionnement du corps de chaussée.....	50
Figure VI.1. Structure type du corps de chaussée souple.....	51
Figure VI.2. Structure type du corps de chaussée rigide.....	51
Figure VI.3. Atterrisseur principal de l'Ilyushin Il-76MD.....	55
Figure VI.4. Organigramme de dimensionnement.....	57
Figure VI.5. Schéma des joints longitudinaux et transversaux	64
Figure VI.6. Disposition des goujons et des fers de liaison	65
Figure VI.7. Espacement des goujons et des fers de liaison	68
Figure VI.8. Schématisation d'une dalle de transition	68
CHAPITRE VII. Charges admissibles	70
Figure VII.1. Valeurs du H(CBR) en fonction du CBR.....	72
Figure VII.2. Valeurs du G(K) en fonction du K	73
CHAPITRE VIII. Assainissement	76
Figure VIII.1. Schéma d'une buse	79
Figure VIII.2. Schéma d'un fossé trapézoïdal.....	80
CHAPITRE IX. Balisage et signalisation.....	85
Figure IX.1. Dimensions de la manche à air	85
Figure IX.2. Interprétation de la position de la manche à air.....	86
Figure IX.3. Forme et proportions des chiffres des marques d'identification de piste	86
Figure IX.4. Disposition des marques de seuil d'une piste de 45 m de largeur.....	87
Figure IX.5. Marques d'identification de piste, d'axe de piste et du seuil de piste	88
Figure IX.6. Disposition des marques de la bretelle	89
Figure IX.7. Disposition des feux	90

Liste des tableaux

CHAPITRE II. Etude de l'aérodrome	7
Tableau II.1. Caractéristiques principales de l'Ilyushin Il-76MD	7
Tableau II.2. Codes de référence de l'aérodrome	9
Tableau II.3. Largeurs des pistes selon leurs codes de référence	12
Tableau II.4. Valeurs limites du vent traversier	13
Tableau II.5. Répartition des vents à Bordj Badji Mokhtar	15
Tableau II.6. Résultats du calcul du Cu pour les différentes directions	16
CHAPITRE III. Surfaces de dégagement	18
Tableau III.1. Caractéristiques de la surface horizontale intérieure	19
Tableau III.2. Caractéristiques de la surface conique	20
Tableau III.3. Caractéristiques de la surface d'approche	22
Tableau III.4. Caractéristiques de la surface de montée au décollage	22
Tableau III.5. Pente de la surface de transition	23
Tableau III.6. Récapitulatif des surfaces de dégagements	24
CHAPITRE IV. Etude géométrique.....	25
Tableau IV.1. Caractéristiques de l'accotement.....	32
Tableau IV.2. Caractéristiques du prolongement d'arrêt	34
Tableau IV.3. Caractéristiques du prolongement dégagé	35
Tableau IV.4. Caractéristiques des aires de sécurité d'extrémité de piste	36
CHAPITRE V. Etude géotechnique	39
Tableau V.1. Limite de liquidité WL	41
Tableau V.2. Limite de plasticité WP	42
Tableau V.3. Indice de plasticité IP	42
Tableau V.4. Résultats de l'essai de l'équivalent de sable	44
Tableau V.5. Résultats de l'essai Proctor	46
Tableau V.6. Résultats des essais sur les gisements	48
CHAPITRE VI. Dimensionnement du corps de chaussée.....	50
Tableau VI.1. Avantages et inconvénients pour chaque type de chaussée	52
Tableau VI.2. Durée de vie des chaussées aéronautiques	53
Tableau VI.3. Coefficients de pondération de charge par rapport aux aires	55
Tableau VI.4. Données nécessaires pour le dimensionnement	57
Tableau VI.5. Charges après pondération selon les aires	58
Tableau VI.6. Charges normales de calcul P''	59
Tableau VI.7. Epaisseur équivalente totale	59
Tableau VI.8. Epaisseurs minimales des matériaux traités	59

Tableau VI.9. Epaisseur de la chaussée au niveau de la piste et la bretelle	60
Tableau VI.10. Epaisseur de la chaussée au niveau des accotements	61
Tableau VI.11. Pondération des charges réelles	62
Tableau VI.12. Charges normales de calcul.....	62
Tableau VI.13. Epaisseur de la couche de fondation	63
Tableau VI.14. Epaisseur équivalente de la dalle	65
Tableau VI.15. Caractéristiques des goujons	66
Tableau VI.16. Dimensions des fers de liaison	67

CHAPITRE VII. Charges admissibles **70**

Tableau VII.1. Valeurs de l'ACN pour l'Ilyushin Il-76MD	74
Tableau VII.2. Valeurs de l'ACN pour les deux types de chaussée	74

CHAPITRE VIII. Assainissement **76**

Tableau VIII.1. Variables de GAUSS	77
Tableau VIII.2. Coefficients de ruissellement	78

CHAPITRE IX. Balisage et signalisation..... **85**

Tableau IX.1. Caractéristiques des marques de seuil.....	87
Tableau IX.2. Caractéristiques des feux de bord de piste	89
Tableau IX.3. Caractéristiques des feux d'extrémité de piste.....	90
Tableau IX.4. Caractéristiques des feux de prolongement d'arrêt.....	90

Introduction générale

Introduction générale

La globalisation du monde au cours du dernier siècle, a intégré à pas furtifs, un nouveau mode de transport, plus efficace sur tous les plans, raccourcissant le temps et les distances et surpassant louablement tout moyen de locomotion, le transport aérien.

Devenant de plus en plus répandu, l'avion s'est imposé mondialement et son utilisation est devenue incontournable quel que soit la tendance commerciale ou militaire, cet outil nécessite une infrastructure aéronautique afin de se déplacer alias aéroport, ce dernier constitue un enjeu pour le développement économique d'une région, et surtout désenclaver celles lointaines.

Dans le cadre de l'élaboration du mémoire de fin d'étude à l'école Nationale Supérieure Des Travaux Publics (ENSTP), il a été traité « l'étude de création d'un nouvel aéroport à Tin Zaouatine – Wilaya de Tamanrasset », thème proposé par la Société Algérienne d'Etude des Infrastructures, il se propose de mener une étude où une variante adéquate sera retenue.

L'étude a pour objet de présenter une variante pour la réalisation d'un aéroport à la région de Tin Zaouatine, extrême sud de la wilaya de Tamanrasset et à des dizaines de kilomètres des frontières algéro-maliennes, afin de permettre l'évolution de la région classée isolée, ainsi que la situation politique et sécuritaire sensible de la région a fait naître la nécessité de la création et la réalisation de cette infrastructure.

On signalera toutefois que notre projet de fin d'études est composé de neuf chapitres,

Il est donné dans le chapitre I, des notions introductives générales sur les aéroports et directement une présentation de notre projet, suivi par le chapitre II où il a été question de la détermination des caractéristiques géométriques de la piste et de dégager le couloir d'orientation de la piste. Le chapitre III, est relatif aux surfaces de dégagement.

Le chapitre IV, traite de plus près les caractéristiques géométriques de la piste ainsi que les aménagements complémentaires assurant ainsi sécurité et économie pour les aéronefs sur les différentes aires de l'aéroport.

Dans le chapitre V, il est donné l'étude géotechnique du site, en enchaînant directement par le chapitre VI pour le dimensionnement du corps de chaussée souple et rigide. Dans le chapitre VII, il est exposé le calcul des charges admissibles, par utilisation de la méthode A.C.N. - P.C.N vérifiant l'éligibilité de desserte, suivi par le chapitre VIII qui comporte la conception d'un réseau d'assainissement.

Enfin, dans la dernière partie du projet, relative au chapitre IX, il a été traité le balisage et la signalisation. Ces dispositifs sont constitués principalement de marquages horizontaux, balises et des feux standardisés, afin de permettre au pilote d'avoir des repères fixes et fiables.

En fin de projet il est donné une conclusion générale englobant les différentes remarques et interprétations. Il est aussi joint une annexe, regroupant des cartes, et des documents supplémentaires utilisés lors de l'étude de notre projet.

CHAPITRE I.

Généralités et présentation du projet

CHAPITRE I. Généralités et présentation du projet

I.1. Introduction

L'immense étendue de la nature désertique du sud algérien, fait d'elle un important gain pour le pays, par les richesses pouvant être extraites des gisements qu'emmagent les sinus du Sahara, cette zone très stratégique du pays doit être parfaitement exploitée, désenclavée comme première étape, en facilitant l'accès aux différents coins de cette dernière et en augmentant le flux de déplacement du nord vers le sud ; pour ce, il a été convenu de développer le réseau des infrastructures de transport aérien dans cette région.

Dans ce chapitre, des notions et définitions inchoatives sur l'aérodrome seront soumises, et en suite, les données relatives à notre projet de l'aérodrome de Tin Zaouatine.

I.2. Définitions

Un aérodrome est une surface (sur terre ou sur l'eau) destinée à être utilisée (en totalité ou en partie) pour l'arrivée, le départ et les manœuvres des aéronefs.

Un aéroport est un aérodrome sur lequel il existe des bâtiments et des installations nécessaires au trafic aérien d'une ville ou d'une région. A cet effet, on donnera dans l'annexe les principales définitions en rapport avec les aérodromes.

I.3. Données & Présentation de la zone du projet

I.3.1. Présentation De la ville

A l'issue du découpage administratif qui a eu lieu en 1974, Tin Zaouatine a été désignée daïra de la wilaya de Tamanrasset. Avec une superficie de 41 313 km², Elle est située à l'extrême sud du pays, limitrophe avec deux pays sur environ 300 km de frontière avec Mali et le Niger.



Figure I.1. Localisation de Tin Zaouatine

I.3.2. Localisation

La ville de Tin Zaouatine est située à 550 km du chef-lieu de la wilaya de Tamanrasset, délimitée :

- Au nord par Abalessa, commune de la wilaya de Tamanrasset.
- À l'est par In Guezzam, commune de la wilaya de Tamanrasset.
- À l'ouest par Timiaouine, commune de la wilaya d'Adrar.
- Au sud-est par le Niger.
- Au sud par le Mali.

I.3.3. Historique

Tin Zaouatine est liée par sa ville jumelle Malienne Tinzawatène, par une piste qui représente un cordon vital entre le nord du Mali et l'Algérie, appelée piste Clauzel, inaugurée à l'époque coloniale.

Le mot Tin Zaouatine (Tifinagh : ⵜⴰⵣⴰⵓⴰⵜⵉⵏ) signifie "le lieu de l'izawan", ce dernier est un arbre qui se trouve dans la localité.

I.3.4. Voies de communication

Voie aérienne : la ville n'est desservie par aucun aéroport.

Voie routière : elle est desservie par la route nationale N55A alias route Silet – Tin Zaouatine, une piste liant la ville sur 367 km à Tamanrasset, passant par Silet et Abalessa, elle est également desservie par deux pistes de réseau secondaire qui la lient à In Guezzam vers l'est, et à Timiaouine vers l'ouest.

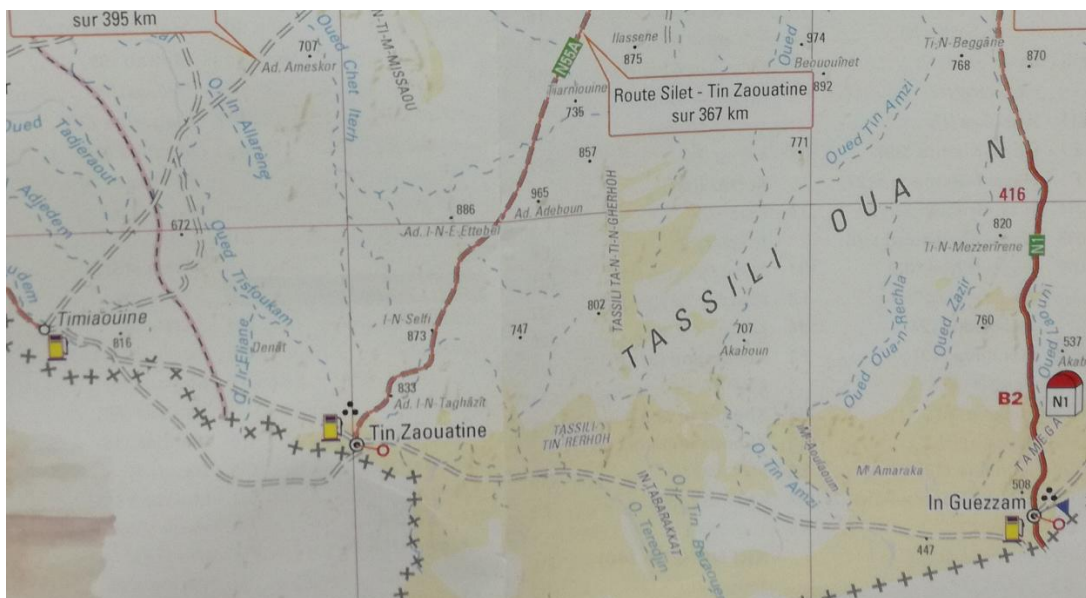


Figure I.2. Voies de communication

I.3.5. Climat

Tin Zaouatine possède un climat désertique chaud typique du Hoggar, avec des étés longs et très chauds et hivers courts et modérément chauds.

L'altitude élevée modère beaucoup les températures maximales moyennes rencontrées tout au long de l'année et est responsable de précipitations légèrement abondantes.

Le climat y est hyper aride et extrêmement sec toute l'année. En été, la chaleur, bien que très modérée, est très forte et prend un caractère persistant : les températures moyennes maximales tournent autour de 38 °C en juillet (le mois le plus chaud) mais peuvent dépasser les 43 °C entre juin et septembre. Les températures sont très agréables et élevées en hiver mais seulement la journée car dans les étendues désertiques, il n'y a rien pour retenir la chaleur et les températures minimales moyennes avoisinent 5 °C. [W1]

I.3.6. Démographie

La commune de Tin Zaouatine enregistre 4157 habitants en 2008, le nombre d'habitants le plus petit dans les dix communes de la wilaya de Tamanrasset, la ville regroupe 2,35 % de la population totale de la wilaya, avec une densité de 0,1 hab./km². [W2]

I.3.7. Historique de l'aérodrome

Se trouve sur le lieu de notre projet, une piste d'orientation 03/21 en terre battue datant de l'ère coloniale, délimitée par des pierres désignant les seuils de la piste, abandonnée depuis, cette piste a servi à cette époque en faveur de la colonisation française.

Après la prise d'otages de Tiguentourine menée en 2013, les autorités militaires ont dû avoir un moyen d'accès à une zone aussi sensible que Tin Zaouatine étant située aux frontières maliennes. A l'issue, ils ont réalisé en 2014 une piste d'atterrissage provisoire à environ 5 kilomètres de la zone de notre projet, qui n'est pas conforme aux normes mais qui a servi pour des atterrissages d'urgence aux moments d'alerte, le temps que le nouvel aérodrome sera servi.



Figure I.3. La piste provisoire existante

I.3.8. Fiche de l'aérodrome

Nom de l'aérodrome : Aérodrome de Tin Zaouatine.

Wilaya d'implantation : TAMANRASSET.

Altitude : 660,69 m

Statut : Mixte (Civil-Militaire).

Localisation : L'aérodrome est situé à la commune de Tin Zaouatine, à 7 km au nord de la frontière algéro-malienne, 550 Km au Sud-Ouest du chef-lieu de TAMANRASSET.

Début des travaux : 2016.

I.3.9. Aéroports voisins

Au sud du pays, la répartition des aéroports et beaucoup moins dense qu'au nord, et les distances entre les aéroports est beaucoup plus importante, la notion de distance constitue un grand contraste quand il s'agit des deux extrémités du pays.

Les aéroports avoisinants de la zone de notre projet d'aérodrome sont :

- Aérodrome international de Tamanrasset.
- Aérodrome régional d'In Guezzam.
- Aérodrome régional de Bordj Badji Mokhtar.

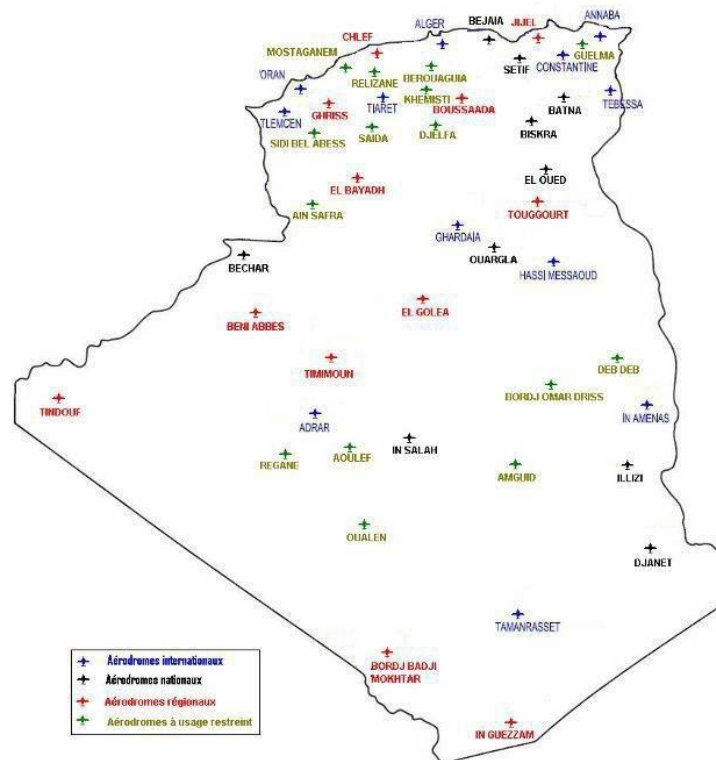


Figure I.4. Carte réunissant les aéroports de l'Algérie

I.4. Conclusion

Ce chapitre, nous a permis de situer notre projet, avec ses données, nous avons pu localiser le site ou l'implantation de l'aérodrome aura lieu. Ceci nous a aussi permis d'avoir une vision globale sur l'environnement et les alentours du site, ainsi que des informations pertinentes qui nous serviront de bases pour traiter notre étude. Ainsi, on notera que le chapitre suivant, aura pour but d'une étude complète en s'aidant par les recommandations de l'organisation de l'aviation civile internationale.

CHAPITRE II.

Etude de l'aérodrome

CHAPITRE II. Etude de l'aérodrome

II.1. Introduction

Pour concevoir un aérodrome, il est incontournable de se référer aux normes prescrites par l'organisation de l'aviation civile internationale (OACI).

L'objectif de ce chapitre est de déterminer les différents besoins exprimés par les activités à exercer sur l'aérodrome en question, tels que l'orientation et les caractéristiques géométriques de la piste.

II.2. Classification de l'aérodrome

II.2.1. L'avion de référence

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

Pour le présent cas d'étude, l'appareil **Ilyushin II-76MD** représente l'avion de référence pour l'aérodrome de Tin Zaouatine, c'est-à-dire, aucun appareil plus contraignant que l'Ilyushin II-76MD ne pourra se servir de cet aérodrome.

Le tableau II.1 récapitule les caractéristiques principales de l'Ilyushin II-76MD.

Tableau II.1. Caractéristiques principales de l'Ilyushin II-76MD

Longueur	46,60 m	Masse maximale au roulage	190 000 kg
Hauteur	14,76 m	Masse à vide opérationnelle	89 000 kg
Envergure	50,50 m	Centrage AR max	45,50 %
Largeur hors train principal	9,00 m	Distance franchissable	5000 km
Distance de référence	1870 m	Distance minimale d'atterrissage	930 m

Les dimensions de l'Ilyushin Il-76MD sont comme suit :

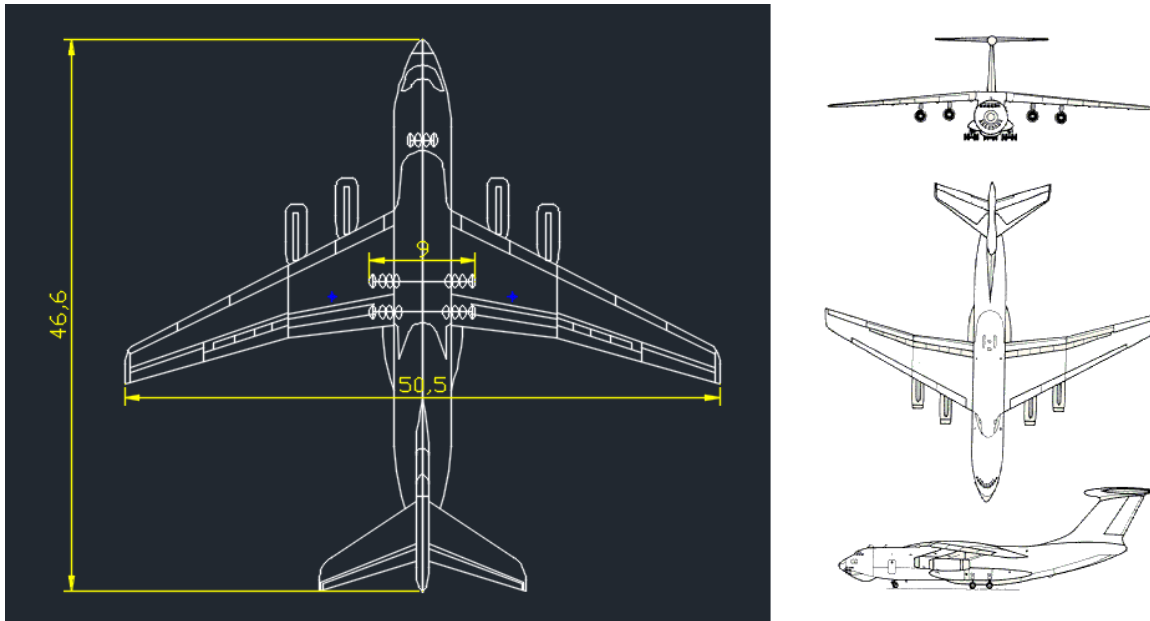


Figure II.1. Schéma représentant les dimensions et les perspectives de l'appareil

II.2.2. Code de référence de l'aérodrome

Le code de référence d'aérodrome comporte deux éléments liés aux caractéristiques de performances et aux dimensions des avions appelés à utiliser cet aérodrome : le chiffre de code et la lettre de code.

- Le chiffre de code, est un chiffre fondé sur la distance de référence de l'avion définie comme étant la longueur minimale (indiquée par le manuel du constructeur de l'avion) nécessaire pour son décollage à la masse maximale certifiée au décollage, au niveau de la mer, dans les conditions correspondant à l'atmosphère standard, en air calme et avec une pente de piste nulle.

Le chiffre de code est déterminé en fonction de la plus grande des distances de référence des avions à laquelle la piste est destinée, soit celui de l'avion de référence.

- La lettre de code, est une lettre fondée sur les valeurs maximales des envergures et des largeurs hors tout des trains principaux des avions auxquelles l'installation est destinée. La lettre de code relevant de deux critères. Lorsque l'envergure et la largeur hors tout du train principal de l'avion le plus exigeant attribuent à celui-ci deux lettres différentes, la lettre code à choisir sera celle correspondant aux caractéristiques les plus élevées.

Le tableau II.2, extrait de l'annexe 14 de l'OACI, donne les éléments constituant le code de référence d'un aérodrome en fonction des caractéristiques de performances et des dimensions des avions auxquelles l'installation est destinée.

Tableau II.2. Codes de référence de l'aérodrome

Chiffre de Code	Distance de référence de l'avion	Lettre de Code	Envergure	Largeur hors-tout du train principal
1	moins de 800 m	A	moins de 15 m	moins de 4,5 m
2	800 m à 1 200 m exclus	B	15 m à 24 m exclus	4,5 m à 6 m exclus
3	1 200 m à 1 800 m exclus	C	24 m à 36 m exclus	6 m à 9 m exclus
4	1 800 m et plus	D	36 m à 52 m exclus	9 m à 14 m exclus
		E	52 m à 65 m exclus	9 m à 14 m exclus
		F	65 m à 80 m exclus	9 m à 16 m exclus

L'aérodrome de Tin Zaouatine est d'après ce tableau de classe **4D**.

II.2.3. Etude de trafic

L'estimation du trafic, le nombre de mouvements d'avions sur une aire aéronautique de l'aérodrome lors de son exploitation, est essentielle afin d'effectuer une étude complète. Ce paramètre est déterminant dans le dimensionnement des structures du corps de chaussée aussi bien sur la piste, les bretelles, le Taxiway que sur le parking.

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 l'Ilyushin Il-76MD.

II.3. Caractéristiques géométriques de la piste

II.3.1. Longueur de la piste

La longueur de la piste sur l'aérodrome étudié est déterminée en fonction de différents paramètres, tels que la masse maximale de l'avion dimensionnant, l'altitude de l'aérodrome, la température de référence de l'aérodrome, la pente longitudinale de la piste et la présence d'obstacles à l'intérieur de la trouée de décollage ou d'atterrissage.

Il y aura toutefois lieu d'appliquer, successivement, à la longueur de référence de l'avion critique donnée par le constructeur, si valables, les différents coefficients de correction appelés par l'emplacement de l'aérodrome et par ses contraintes topographiques. Leur prise en compte se fait en multipliant la longueur de référence par ce dernier, comme suit :

$$L = L_{\text{ref}} \times N$$

avec :

$$N = \left(1 + \frac{N1}{100}\right) \left(1 + \frac{N2}{100}\right) \left(1 + \frac{N3}{100}\right)$$

tels que :

N1 : coefficient de correction de l'altitude.

N2 : coefficient de correction de la température.

N3 : coefficient de correction de la pente de la piste.

➤ **Correction de l'altitude :**

Le coefficient **N1** résume la formule suivante :

$$N1 = \frac{7 \times h}{300}$$

avec **h** est l'altitude de l'aérodrome exprimée en mètre.

ayant pour le présent cas **h = 660,69m** ;

d'où :

$$N1 = 15,416$$

➤ **Correction de la température :**

Le coefficient **N2** est donné par la formule suivante :

$$N2 = T - t$$

avec

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.

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

à l'altitude zéro (niveau de la mer), **t = t₀ = 15 °C**, diminuant de **0,0065 °C** à chaque mètre d'altitude de plus :

d'où :

$$t = t_0 - 0,0065 \times h$$

ayant pour le présent cas **h = 660.69 m** ;

d'où :

$$t = 10,705 \text{ } ^\circ\text{C}$$

ayant pour le présent cas $T = 38,2 \text{ } ^\circ\text{C}$;

d'où :

$$N2 = 27,495$$

➤ **Correction de la pente de la piste :**

Le coefficient de correction **N3** a pour valeur :

$$N3 = 10 \times P$$

avec :

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

ayant pour le présent cas $P = 1 \text{ } \%$;

d'où :

$$N3 = 0,1$$

➤ **Vérification de la validité des coefficients :**

On portera attention à ce que les coefficients de correction, qui viennent d'être calculés, ne soient valables que lorsque la correction cumulée d'altitude et de température ne dépasse pas **35 %** c'est-à-dire :

$$\left(1 + \frac{N1}{100}\right) \times \left(1 + \frac{N2}{100}\right) \leq 1,35$$

Ayant dans le présent cas :

$$\left(1 + \frac{15,416}{100}\right) \times \left(1 + \frac{27,495}{100}\right) = 1,47 > 1,35$$

Condition non vérifiée ! → Coefficients non valables !

Cette correction est supérieure à **35 %**. L'article 3.5.3 du manuel de conception des aérodromes de l'OACI préconise que les corrections à appliquer devront être déterminées au moyen d'une étude particulière. Cette étude n'étant pas de notre compétence, notamment eu égard aux délais impartis dans le cadre du présent mémoire.

Considérant que cette correction est égale à 1,35, compte tenu de la longueur de référence citée précédemment, on obtiendra :

$$1870 \times 1,35 = 2525 \text{ m}$$

Pour des raisons de sécurité et pour un côté pratique on optera pour une longueur de piste :

$$L = 3000 \text{ m}$$

II.3.2. Largeur de la piste

La largeur de la piste ne doit pas être inférieure à la dimension spécifiée dans le tableau donné par l'OACI et mentionné dans le tableau II.3.

Tableau II.3. Largeurs des pistes selon leurs codes de référence

Code chiffre	Code lettre					
	A	B	C	D	E	F
	Largeur de piste					
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

Pour rappel, l'aérodrome de Tin Zaouatine est de classe **4D**, donc la largeur de piste sera de **45 mètres**.

II.4. Détermination de l'orientation de la piste

II.4.1. Vents traversiers

Le vent traversier est la composante des vents perpendiculaires à la piste. L'atterrissage ou le décollage sous l'action du vent de travers est une opération assez délicate et qui peut courir au péril.

L'avion tend à s'orienter face au vent en déviant de la piste, c'est l'effet le plus courant du vent traversier (l'effet girouette). Afin d'éviter ce genre de risques, une valeur critique ne doit pas être dépassée selon les caractéristiques de l'aéronef.



Figure II.2. Atterrissage d'un Ilyushin Il-76 sous l'effet de girouette

Pour chaque classe d'aérodrome, on opte pour une force de vent traversier admissible exprimé en m/s sous la forme :

Tableau II.4. Valeurs limites du vent traversier

Chiffre de code	Largeur de référence	Vitesse limite du vent traversier en km/h	Vitesse limite du vent traversier en m/s
2	moins de 1.200 m	19 km/h	5,28 m/s
3	1.200 m à 1.500 m exclus	24 km/h	6,67 m/s
4	Plus de 1.500 m	37 km/h	10,28 m/s

L'avion de référence est l'Ilyushin Il-76MD, dont la longueur de référence est 1870 m. On notera donc que la valeur limite du vent traversier correspondante est de 10,28 m/s.

II.4.2. Coefficient d'utilisation

L'annexe 14 dans son article 2.1.2 préconise, que d'une manière générale, les pistes devraient préférentiellement être orientées dans la direction des vents dominants.

Préférentiellement, le décollage et l'atterrissage s'exercent face au vent, dans le cas échéant, il se peut qu'il existe une composante de vent traversier sollicitant perpendiculairement l'aéronef.

Pour interpréter les cas possibles de l'action du vent, on se réfère au coefficient théorique de l'utilisation de la piste C_u , une valeur exprimée en pourcentage traduisant le temps pendant lequel l'utilisation d'une piste n'est pas restreinte à cause de la composante du vent traversier.

II.4.2.1. Calcul du coefficient d'utilisation

Le calcul du C_u nous demande les données locales météorologiques relatives au vent par rapport à chacune des seize directions de la rose des vents de la région. Vu la non disponibilité d'une station météorologique dans la région de Tin Zaouatine, il a été convenu d'utiliser les données des stations des régions limitrophes et ayant des caractéristiques ressemblantes à la région où l'implantation de l'aérodrome aura lieu. Pour ce, l'Office National de la Météorologie nous a fait parvenir les données appartenant à la station de Bordj Badji Mokhtar, ces derniers représentent la répartition fréquentielle du vent sur 08 directions et 04 classes de vitesse et sont affichés dans le tableau II.3 :

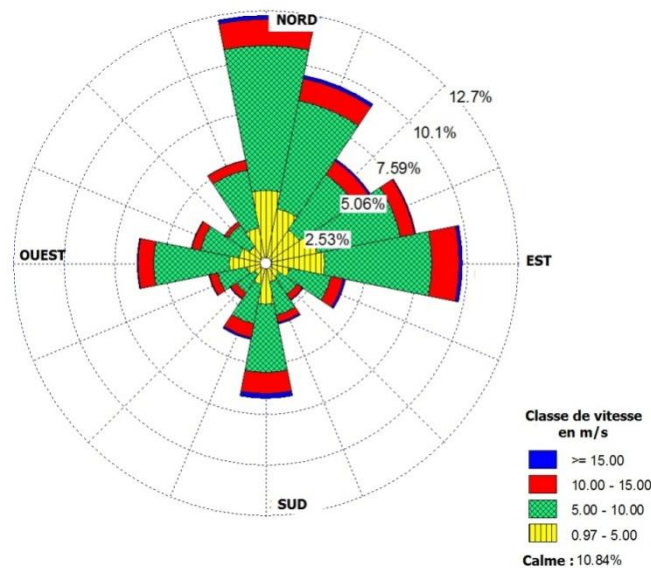


Figure II.3. Rose des vents annuels de Bordj Badji Mokhtar durant la période (2001-2016)

La répartition de vents annuels est interprétée dans le tableau II.5 :

Tableau II.5. Répartition des vents à Bordj Badji Mokhtar

Mois	Annuel				
Directions	Classes des vitesses (m/s)				Total
	01-05	05-10	10-15	>= 15	
N	4 %	7 %	1 %	0 %	12 %
NNE	3 %	5 %	1 %	0 %	10 %
NE	2 %	3 %	1 %	0 %	6 %
ENE	3 %	4 %	1 %	0 %	8 %
E	3 %	5 %	1 %	0 %	10 %
ESE	1 %	2 %	1 %	0 %	4 %
SE	1 %	1 %	0 %	0 %	2 %
SSE	1 %	2 %	0 %	0 %	3 %
S	2 %	3 %	1 %	0 %	7 %
SSW	1 %	2 %	1 %	0 %	4 %
SW	1 %	1 %	0 %	0 %	2 %
WSW	1 %	2 %	0 %	0 %	3 %
W	2 %	4 %	1 %	0 %	6 %
WNW	1 %	2 %	0 %	0 %	4 %
NW	1 %	1 %	0 %	0 %	3 %
NNW	2 %	3 %	0 %	0 %	5 %
Calme					11 %
Total	28 %	48 %	11 %	2 %	89 %

La rose des vents présentée sur le tableau II.5 nous permet de déduire que les vents qui dominant à la station de Bordj Badji Mokhtar proviennent principalement du secteur NORD avec 12 % du total des pourcentages des seize directions ; la majorité des vitesses de vent (9 %) qui ont caractérisé la direction NORD étaient comprises entre 05 et 10 m/s ; Les vents calmes représentent 11 % de l'ensemble des observations enregistrées durant la période d'étude (2001-2016).

Etapes de calcul du coefficient d'utilisation

- On esquisse les trois cercles correspondant aux classes des vitesses du vent, respectant une échelle choisie.
- Pour chacune des huit premières directions, on trace deux axes parallèles en les décalant des deux côtés depuis le centre, d'une valeur de la vitesse limite du vent traversier.
- On multiplie la surface **S** calculée par le coefficient du vent correspondant **K** et on divise par la surface **S'** d'une portion, obtenue la valeur **N**, on la soustrait de 100.

$$Cu = 100 - N$$

avec :

$$N = \frac{S}{S'} \times K$$

Calcul du C_u pour la direction N-S

$$C_u = 100 - \frac{1}{44,18} \times [(1 \times 4,66) + (2 \times 19,38) + (1 \times 23,16)] = 98,49 \%$$

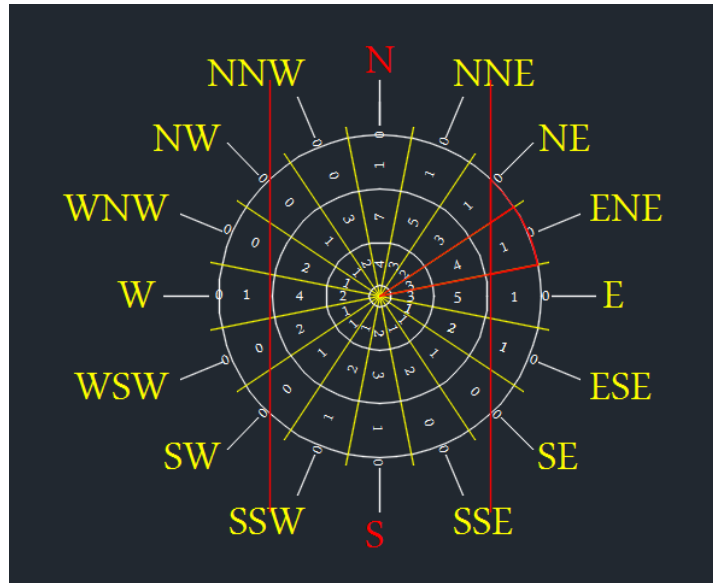


Figure II.4. Calcul du C_u pour la direction N-S

De la même manière, on calcule le C_u pour les sept directions restantes et on récapitule les résultats dans le tableau II.6 :

Tableau II.6. Résultats du calcul du C_u pour les différentes directions

Direction	N S	NNE SSW	NE SW	ENE WSW	E W	ESE WNW	SE NW	SSE NNW
	0°	22,5°	45°	67,5°	90°	112,5°	135°	157,5°
N	1,51 %	1,01 %	0,87 %	1,51 %	2,03 %	2,47 %	2,26 %	2,16 %
C_u	98,49%	98,99%	99,13%	98,49%	97,97%	97,53%	97,74%	97,84%

L'OACI préconise dans son article 2.1.6 de l'annexe 14 que le nombre et l'orientation des pistes d'un aérodrome devraient être tels que le coefficient d'utilisation de l'aérodrome ne soit pas inférieur à 95 % pour les avions à l'intention desquels l'aérodrome a été conçu.

Le graphe de la figure II.5 représente la variation du coefficient d'utilisation en fonction de la direction :

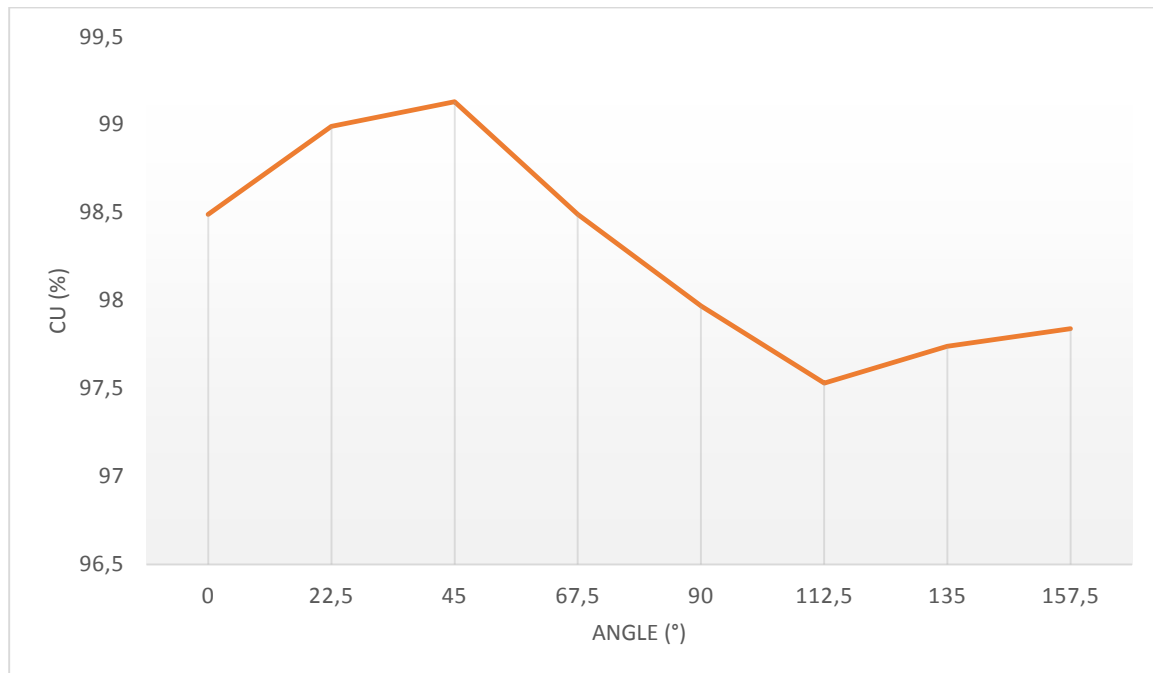


Figure II.5. Courbe des coefficients d'utilisation en fonction des directions

II.4.2.2. Choix de l'orientation de la piste

Pour toutes les directions, les C_u calculés dépassent largement 95 %, tandis que les deux directions NNE et NE possèdent les C_u les plus élevés.

Notre choix portera une préférence pour une orientation entre les directions NNE et NE soit entre $22,5^\circ$ et 45° , ce qui va coïncider avec l'orientation de la piste en terre battue abandonnée qui est d'orientation 03/21. Ce choix épargnera aussi, dans le cadre du présent projet, d'importants volumes de terrassements ce qui engendrera un gain en termes de coût et de durée de réalisation.

II.5. Conclusion

Le présent chapitre a permis de déterminer les caractéristiques géométriques de la piste de l'aérodrome de Tin Zaouatine, puis, par la suite, de mener une étude météorologique afin de dégager les orientations optimales pour le projet d'aérodrome.

Enfin, il a été convenu que l'aérodrome de Tin Zaouatine prendra une orientation entre NNE et NE, une étape qui nous permettra d'approfondir plus les éléments nécessaires à cette étude.

CHAPITRE III.
Surfaces de dégagement

CHAPITRE III. Surfaces de dégagement

III.1. Introduction

La prise en considération des surfaces de limitation d'obstacles est primordiale pour assurer la sécurité des approches et atterrissages desservis par l'aérodrome.

Un pourtour de l'aérodrome dégagé de tout obstacle nécessite un site d'implantation de projet dûment choisi, ce qui fait du dégagement un paramètre clé dans l'étude du projet.

III.2. Les surfaces de dégagement

Ces surfaces constituent une zone périphérique franche d'obstacles autour de l'aérodrome pour permettre aux avions de réaliser les manœuvres en sécurité et sans péril.

L'OACI stipule, pour une approche à vue, plusieurs surfaces dans l'annexe 14 comme suit :

- La surface horizontale intérieure.
- La surface conique.
- La surface d'approche (trouée d'atterrissage).
- La surface de montée au décollage (trouée de décollage).
- La surface de transition.

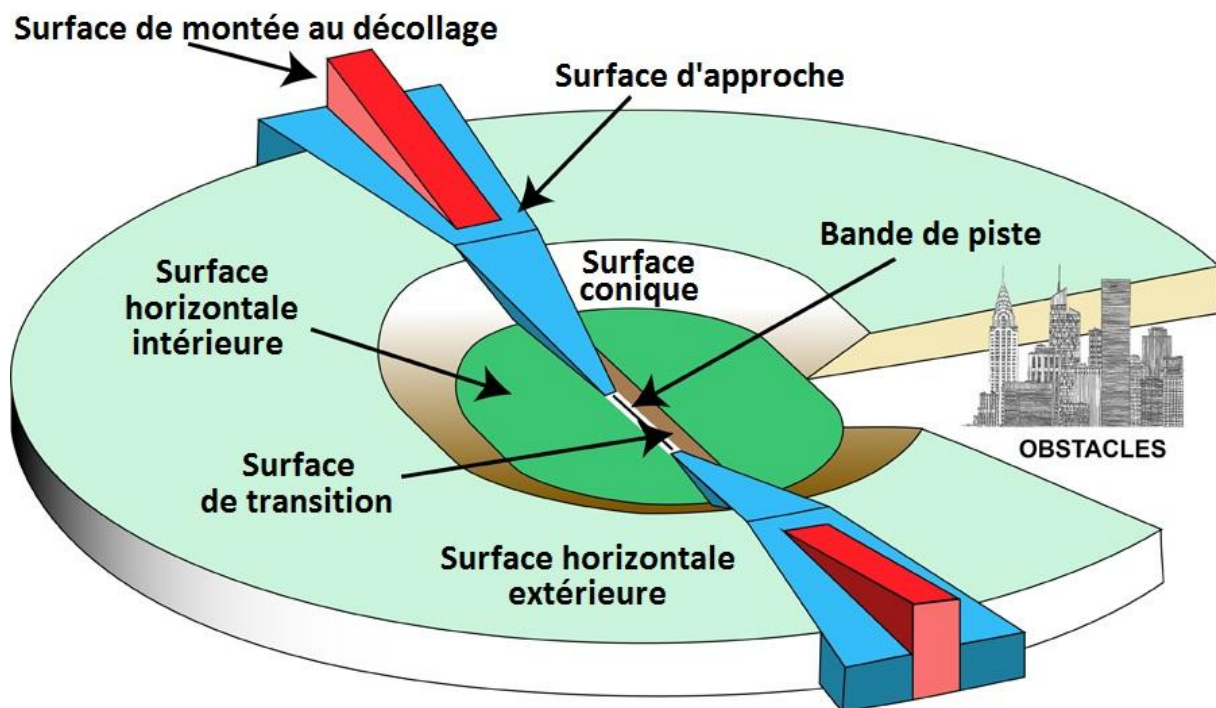


Figure III.1. Perspective générale de plans de dégagements

III.2.1. La surface horizontale intérieure

On définit la surface horizontale intérieure par la surface située dans un plan horizontal au-dessus de l'aérodrome et de ses abords.

Caractéristiques :

- Le rayon ou les limites extérieures de la surface horizontale intérieure seront mesurés à partir d'un ou de plusieurs points de référence établis à cet effet.
- La hauteur de la surface horizontale intérieure H_1 sera mesurée au-dessus d'un élément de référence d'altitude établi à cet effet.

Compte tenu du chiffre de code de l'aérodrome de Tin Zaouatine, résumés dans le tableau III.1 les caractéristiques de sa surface horizontale intérieure :

Tableau III.1. Caractéristiques de la surface horizontale intérieure

Surface horizontale intérieure	Chiffre de code 4 ; approche à vue
Hauteur	45 m
Rayon	4000 m

on a :

$$H1 = Z + 45$$

ayant pour le présent cas $Z = 661 \text{ m}$;

donc :

$$H1 = 706 \text{ m}$$

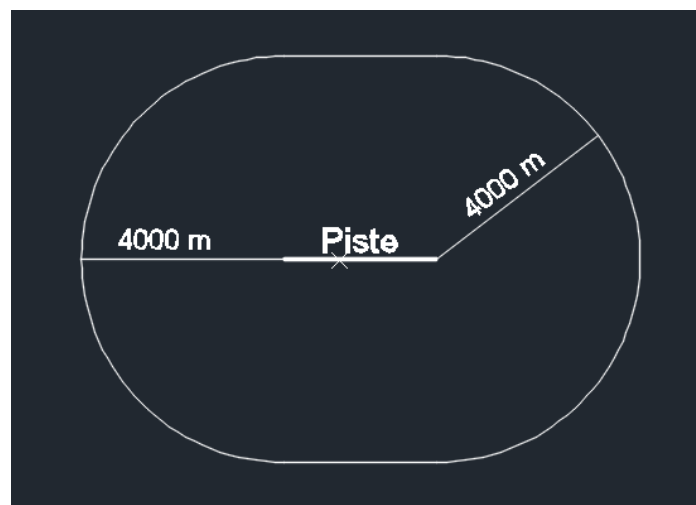


Figure III.2. Vue en plan de la surface horizontale intérieure

III.2.2. 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. La pente de la surface conique est mesurée dans un plan vertical perpendiculaire au contour de la surface horizontale intérieure. Elle est délimitée comme suit :

- le contour de la surface horizontale intérieure par sa partie inférieure.
- une limite supérieure située à une hauteur spécifiée au-dessus de la surface horizontale intérieure, par sa partie supérieure.

Résumés dans le tableau III.2, les caractéristiques de la surface conique sont :

Tableau III.2. Caractéristiques de la surface conique

Surface conique	Chiffre de code 4 ; approche à vue
Hauteur	100 m
Pente	5 %

on a H_2 la hauteur de la surface conique est :

$$H_2 = (Z + 45) + 100$$

ayant pour le présent cas $Z = 661 \text{ m}$;

donc :

$$H_2 = 806 \text{ m}$$

on a R_2 le rayon de la surface conique est :

$$R_2 = R_1 + \frac{H_2 - H_1}{5\%} = 4000 + \frac{806 - 706}{0,05}$$

donc :

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

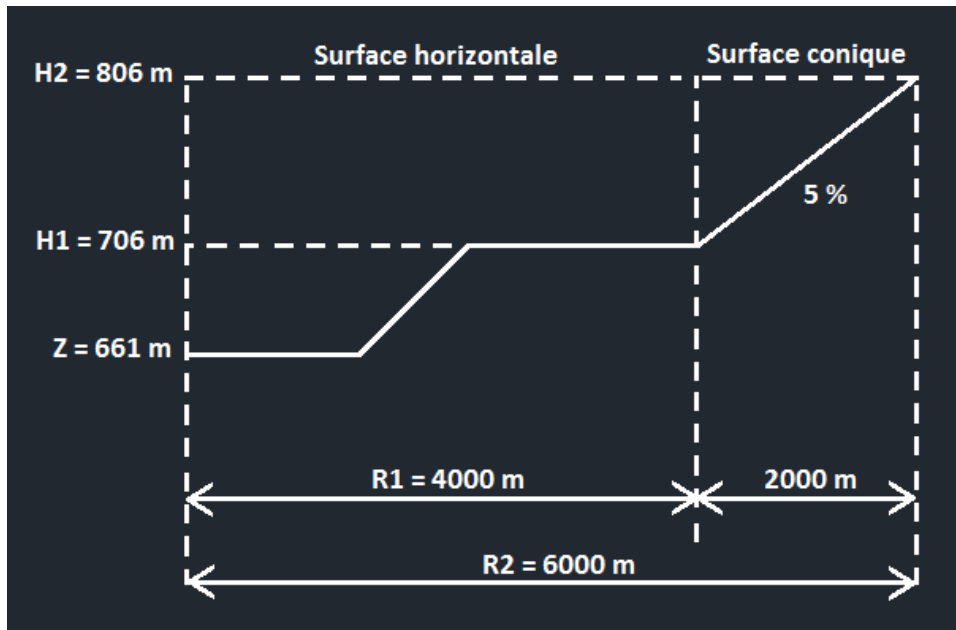


Figure III.3. Coupe longitudinale montrant la surface conique

III.2.3. Surface d'approche

La surface d'approche est un plan incliné ou la combinaison de plans précédant le seuil, pour le cas de l'aérodrome de Tin Zaouatine qui est de chiffre de code 4, la surface d'approche est constituée d'un seul plan.

Cette surface se caractérise par :

- Un bord intérieur de longueur spécifiée, horizontal et perpendiculaire au prolongement de l'axe de la piste et précédant le seuil d'une distance spécifiée.
- Deux lignes qui, partant des extrémités du bord intérieur, divergent uniformément sous un angle spécifié par rapport au prolongement de l'axe de la piste.
- Un bord extérieur parallèle au bord intérieur.
- La pente de la surface d'approche qui est mesurée dans le plan vertical passant par l'axe de la piste.

Résumés dans le tableau III.3, les caractéristiques de la surface d'approche sont comme suit :

Tableau III.3. Caractéristiques de la surface d'approche

Surface d'approche	Chiffre de code 4 ; approche à vue
Longueur du bord intérieur	150 m
Distance au seuil	60 m
Divergence	10 %
Première (et la seule) section	
Longueur	3000 m
Pente	2,5 %

III.2.4. Surface de 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 :

- Par 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.
- Par 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.
- Par un bord extérieur horizontal, perpendiculaire à la route de décollage spécifiée.

Résumés dans le tableau III.4, les caractéristiques de la surface de montée au décollage sont :

Tableau III.4. Caractéristiques de la surface de montée au décollage

Surface de montée au décollage	Chiffre de code 4 ; approche à vue
Longueur du bord intérieur	180 m
Distance par rapport à l'extrémité de piste	60 m
Divergence	12,5 %
Largeur finale	1200 m
Longueur	15000 m
Pente	2 %

III.2.5. Surface de transition

La surface de transition est une 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 intérieure.

Elle est délimitée par :

- Un bord inférieur 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.
- Un bord supérieur situé dans le plan de la surface horizontale intérieure.

Résumées dans le tableau III.5, les caractéristiques de la surface de transition :

Tableau III.5. Pente de la surface de transition

Surface de transition	Chiffre de code 4 ; approche à vue
Pente	14,3 %

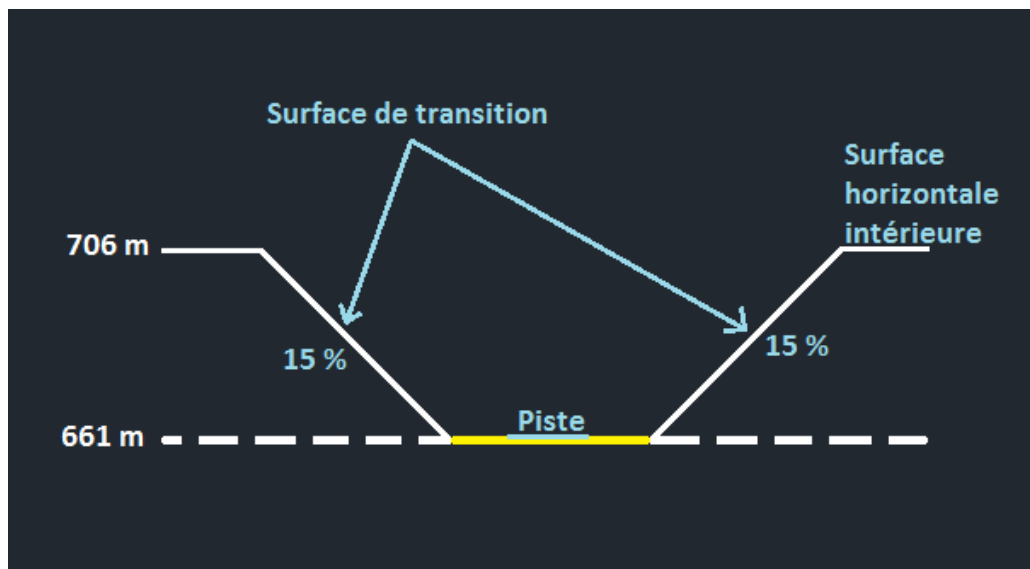


Figure III.4. Coupe transversale montrant la surface de transition

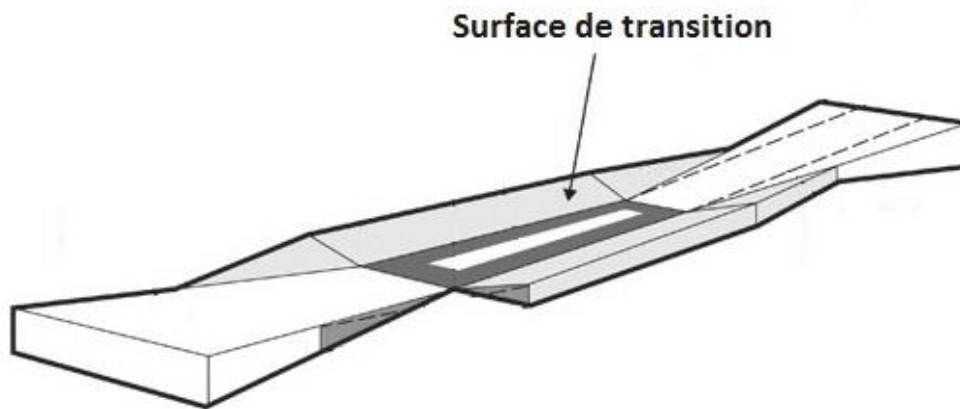


Figure III.5. Vue en perspective montrant la surface de transition

Le tableau III.6 donne un récapitulatif des surfaces de dégagements appropriés à l'aérodrome de Tin Zaouatine :

Tableau III.6. Récapitulatif des surfaces de dégagements

Surface	Rayon
Surface horizontale intérieure	4000 m
Surface conique	6000 m
	Longueur
Surface d'approche	3000 m
Surface de montée au décollage	15000 m
	Pente
Surface de transition	14,3 %

III.3. Conclusion

L'annexe 14 nous a permis d'énumérer et spécifier les divers caractéristiques des plans de dégagements à adopter à l'aérodrome de Tin Zaouatine. Tout en tenant compte de toutes les normes et mesures de sécurité, tant du point de vue en approche ou au décollage vis-à-vis l'espacement périphérique de l'aérodrome.

CHAPITRE IV.

Etude géométrique

CHAPITRE IV. Etude géométrique

IV.1. Introduction

Ce chapitre présente les différents aspects de la conception d'un aéroport d'un point de vue géométrique, tout en se référant aux instructions techniques établies par l'OACI.

Compte tenu des caractéristiques de l'aéroport de Tin Zaouatine déjà déterminées dans les parties précédentes, nous allons détailler la géométrie de la piste ainsi que des aménagements complémentaires.

IV.2. Calcul des coordonnées

Le calcul topographique nous permet d'élaborer les plans et d'identifier les informations sur le terrain.

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.

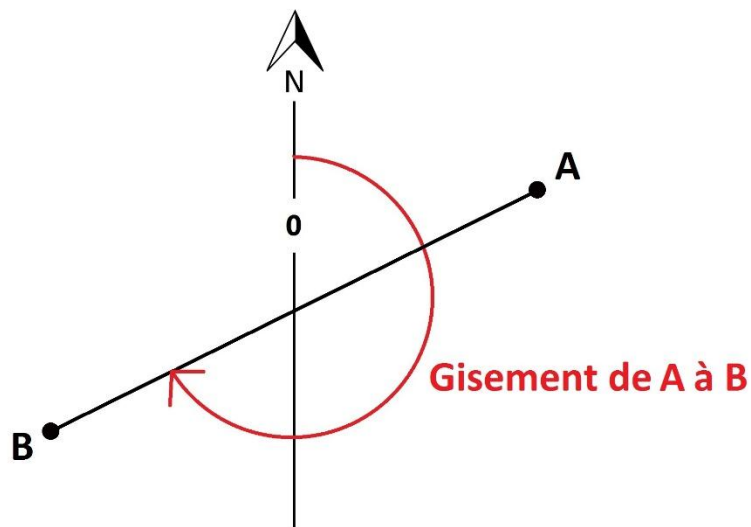


Figure IV.1. Gisement d'une droite AB

IV.2.1. Calcul du gisement

Pour calculer le gisement d'une droite AB, il faut soustraire les coordonnées du point A de celles du point B, c'est-à-dire :

$$\Delta X_{AB} = X_B - X_A$$

$$\Delta Y_{AB} = Y_B - Y_A$$

la tangente de l'angle x est égale à :

$$\frac{\Delta X_{AB}}{\Delta Y_{AB}}$$

ce qui donne le gisement de la direction AB.

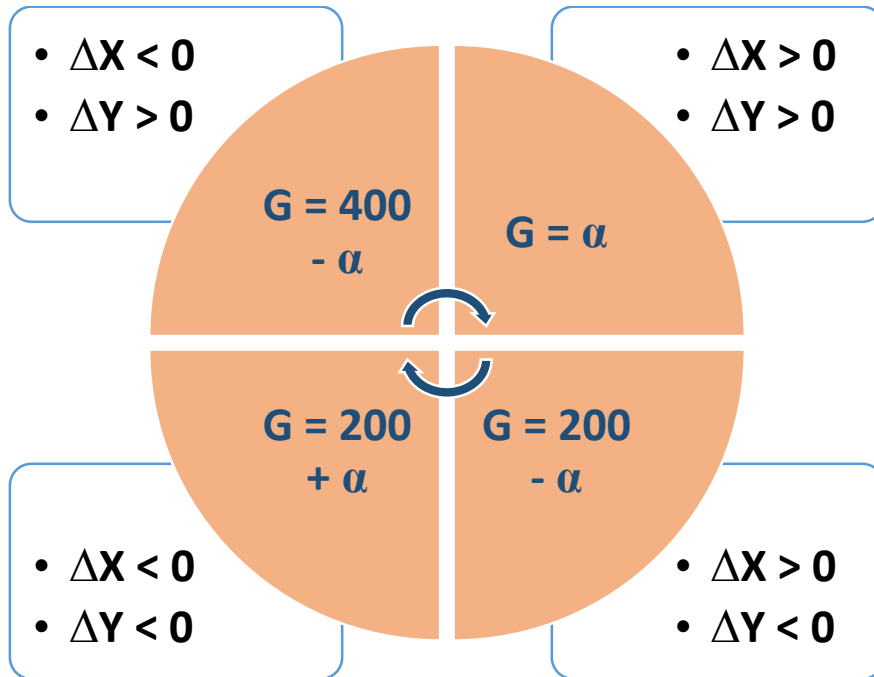


Figure IV.2. Les gisements

Pour le cas de l'aérodrome de Tin Zaouatine, les calculs topographiques ont donné :

- Coordonnées du point A :

$$XA = 503527,93 \text{ m}$$

$$YA = 2219054,08 \text{ m}$$

- Coordonnées du point B :

$$XB = 501990,05 \text{ m}$$

$$YB = 2216374,28 \text{ m}$$

d'où :

$$\Delta X_{AB} = 503527,93 - 501990,05 = 1537,88 \text{ m}$$

$$\Delta Y_{AB} = 2219054,08 - 2216374,28 = 2679,8 \text{ m}$$

on a :

$$\Delta X_{AB} > 0 \quad \text{et} \quad \Delta Y_{AB} > 0$$

donc

$$GAB = \alpha$$

$$\tan \alpha = 0,5738$$

d'où

$$\alpha = 33,16 \text{ gr} \quad ; \quad GAB = 33,16 \text{ gr} \quad ; \quad GAB = 29,85^\circ \approx 30^\circ$$

Compte tenu du gisement de la piste, les chiffres qui seront inscrits sur les bouts de la piste seront :

- Trois dizaines de degrés, donc sur le bout du point A, il sera inscrit le chiffre **03**.

$$GBA = GAB + 200 = 233,16 \text{ gr}$$

$$GBA = 209,84^\circ \approx 210^\circ$$

- Vingt et une dizaine de degrés, donc sur le bout du point B, il sera inscrit le chiffre **21**.

L'orientation de la piste sera donc définie par 03/21.

IV.3. Caractéristiques géométriques de la piste

IV.3.1. Profil en long

On désigne par le profil en long la coupe longitudinale du tracé montrant l'allure d'un terrain naturel et les caractéristiques des droites et les courbes de la ligne rouge d'un projet. Le profil en long de la piste suit dans toute la mesure du possible le terrain naturel, et ce, dans le but de réduire au maximum les volumes des cubatures et épargner des travaux de terrassement.

IV.3.1.1. Pente longitudinale

L'organisation d'aviation civile internationale a défini les valeurs pour les pentes longitudinales.

Il est recommandé dans l'article 3.1.13 de l'annexe 14 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**.

Ainsi dans l'article 3.1.14 de l'annexe 14, il est recommandé qu'aucune portion de piste ne présente une pente longitudinale dépassant **1,25 %** lorsque le chiffre de code est **4**. Toutefois, sur les premiers et derniers quarts de la longueur de la piste, la pente longitudinale ne devrait pas dépasser **0,8 %**.

IV.3.1.2. Changement de pente longitudinale

Dans l'article 3.1.15 de l'annexe 14, il est stipulé que lorsqu'il est impossible d'éviter les changements de pente longitudinale, il est recommandé qu'entre deux pentes consécutives, le changement de pente n'excède jamais : **1,5 %** lorsque le chiffre de code est **4**.

Nous retrouvons aussi dans l'article 3.1.16 de l'annexe 14, qu'il est recommandé de réaliser le passage d'une pente à une autre par des courbes de raccordement le long desquelles la pente ne varie pas de plus de : **0,1 %** par **30 m** (rayon de courbure minimal de 30.000 m) lorsque le chiffre de code est **4**.

IV.3.1.3. Distance de visibilité

Dans l'article 3.1.17 de l'annexe 14, il est recommandé que, lorsqu'ils sont inévitables, les changements de pente longitudinale soient tels que :

- Lorsque la lettre de code est **D**, 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.

ayant pour le cas présent : **L = 3000 m**

donc il est recommandé que :

$$D \geq \frac{3000}{2} = 1500 \text{ m}$$

IV.3.1.4. Distance minimale entre changements de pente

Les sinuosités et les changements de pente marqués et rapprochés le long d'une piste sont à éviter. Il est recommandé que la distance **D** entre les points d'intersection de deux courbes successives ne soit pas inférieure à la plus grande des valeurs suivantes :

- **D'** le produit de la somme des valeurs absolues des changements de pente correspondants par la longueur appropriée ci-après : **30.000 m** lorsque le chiffre de code est **4**.

$$D' = 30000 \times (|X - Y| + |Y - Z|)$$

- **45 m**.

donc

$$\left\{ \begin{array}{l} D > 30000 \times (|X - Y| + |Y - Z|) \\ \text{ou} \\ D > 45 \end{array} \right.$$

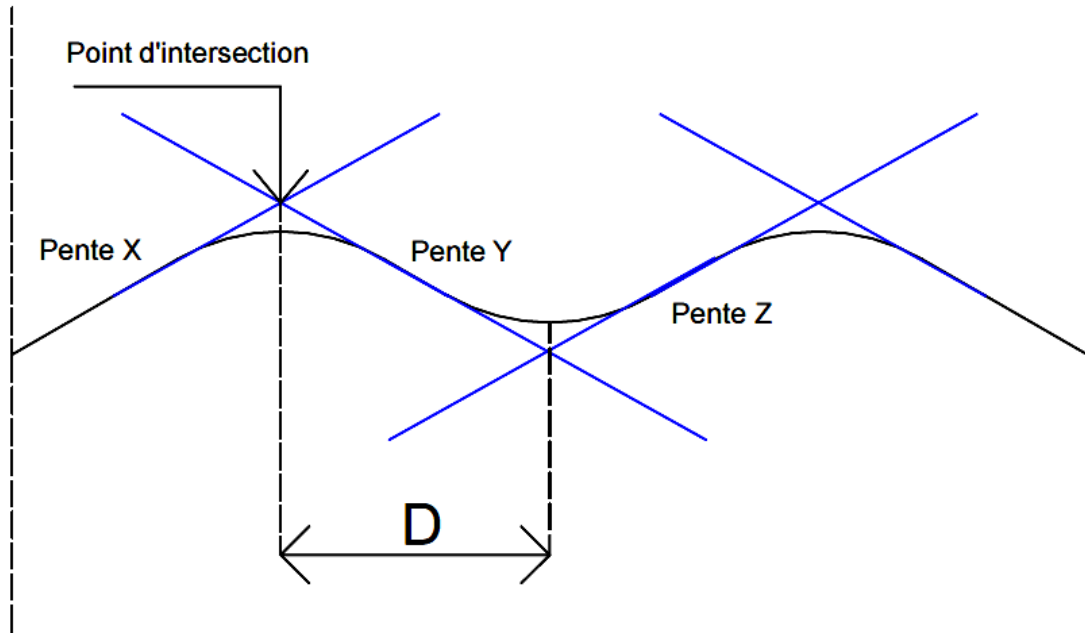


Figure IV.3. Distance entre les points d'intersection de deux courbes

IV.3.2. Profil en travers

Le profil en travers est la coupe perpendiculaire à l'axe de la piste. Il doit permettre une évacuation et un assèchement rapide de la piste afin que l'eau ne s'accumule pas créant ainsi un phénomène d'hydroplanage pour les avions.

Il est recommandé que le profil en travers soit en toit afin d'évacuer les eaux sauf dans le cas où les vents de pluie sont transversaux à l'axe de la piste, dans ce cas, il serait plus judicieux d'avoir un profil en travers à pente unique dans le sens des vents de pluie.

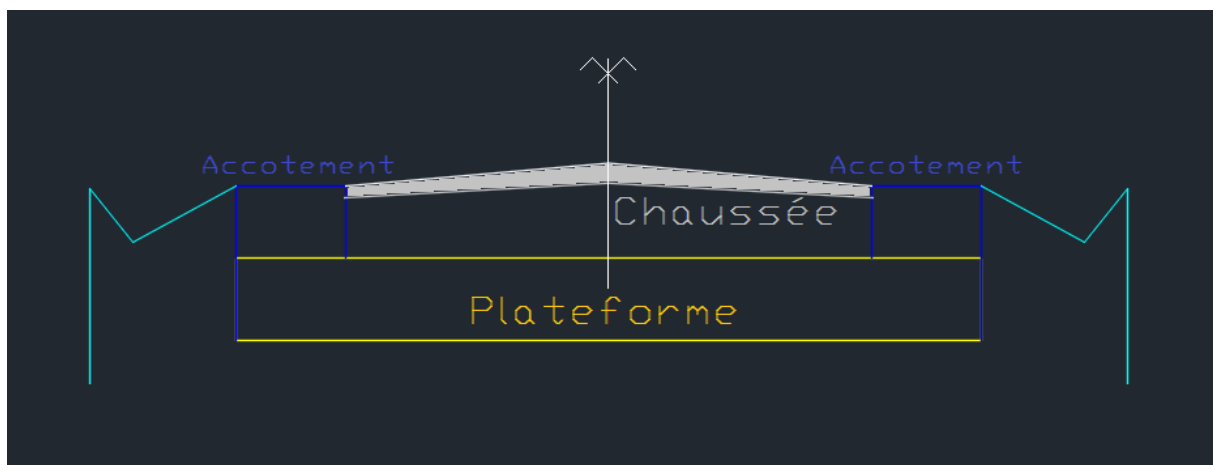


Figure IV.4. Profil en travers en toit

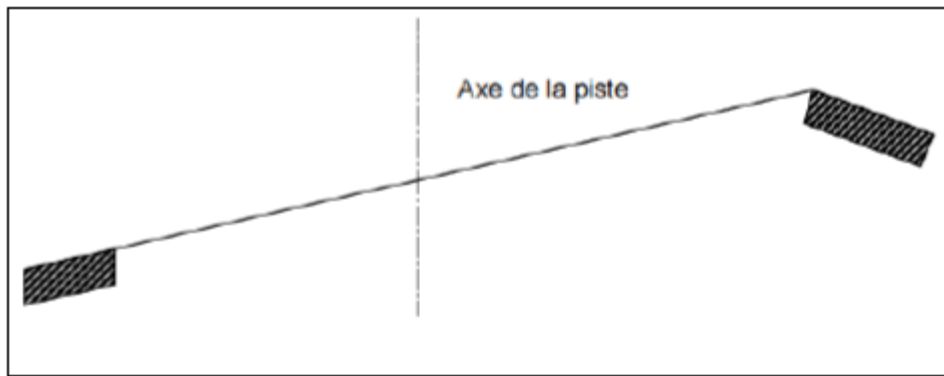


Figure IV.5. Profil en travers à pente unique

L'OACI recommande dans l'article 3.1.19 de l'annexe 14, pour un assèchement aussi rapide que possible, 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 **D**.

La pente transversale ne devrait en aucun cas être supérieure à la valeur mentionnée, ni inférieure à **1%** sauf aux intersections des pistes ou des voies de circulations, auxquelles des pentes moins prononcées peuvent être nécessaires.

IV.3.3. Voie de circulation

Afin de permettre aux aéronefs de se déplacer entre le poste de stationnement et la piste, il est nécessaire de prévoir un axe bretelle au **PK 1+200.00**.

IV.3.3.1. Largeur de la voie de circulation

L'OACI recommande, dans l'article 3.9.5 de l'annexe 14, une largeur de **23 m** si la voie de circulation est destinée aux avions dont la largeur hors tout du train principal est égale ou supérieure à **9 m**. On prend la largeur de bretelle du présent projet **25 m**.

IV.3.3.2. Pentes de la voie de circulation

L'OACI recommande dans l'article 3.9.9 de l'annexe 14 que la pente longitudinale d'une voie de circulation n'excède pas la valeur de **1,5 %** lorsque la lettre de code est **D**.

Ainsi, il est recommandé dans l'article 3.9.12 de l'annexe 14 que la pente transversale d'une voie de circulation n'excède pas la valeur de **1,5 %** lorsque la lettre de code est **D**.

IV.3.3.3. Accotements de la voie de circulation

L'OACI recommande dans l'article 3.10.1 de l'annexe 14 que les portions rectilignes d'une voie de circulation, lorsque la lettre de code est **D**, doivent être 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 **38 m** lorsque la lettre de code est **D**.

Prenant **44 m** de largeur totale avec **25 m** de la largeur de bretelle, on optera pour **9,5 m** d'accotement de part et d'autre.

IV.4. Aménagements complémentaires

IV.4.1. Accotement

L'accotement est une bande de terrain bordant la chaussée et traitée d'une façon à offrir une surface de raccordement entre elle et le terrain périphérique.

Les accotements de piste sont conçus de façon qu'ils puissent non seulement supporter le poids d'un aéronef qui sortirait accidentellement de la piste sans que cet aéronef ne subisse de dommages structurels mais aussi le poids des véhicules qui pourraient circuler dessus.

Ainsi, les accotements de piste doivent assurer une transition entre la chaussée pleinement résistante et la bande de piste sans revêtement. Les accotements de piste en dur protègent les extrémités latérales de la piste, contribuent à freiner l'érosion du sol par le souffle des réacteurs et atténuent les dommages occasionnés aux réacteurs par des débris. Lorsque le sol est sujet à l'érosion, la largeur des accotements peut être augmentée.

L'O.A.C.I recommande d'aménager des accotements de piste lorsque la lettre de code est D de façon que la largeur totale de la piste et de ces accotements de part et d'autre ne soit pas inférieure à **60 m**, valeur choisie pour le cas de l'aérodrome de Tin Zaouatine.

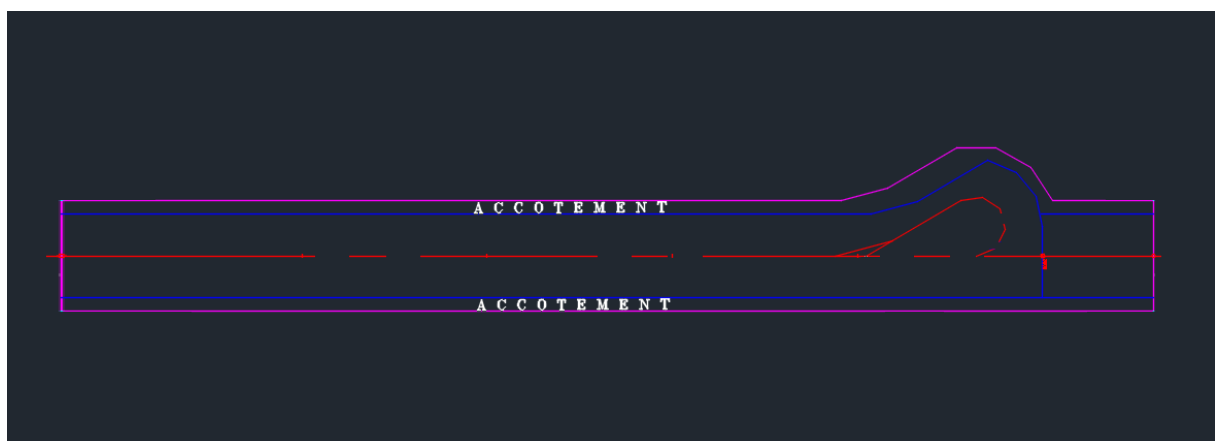


Figure IV.6. Disposition des accotements dans la piste

Ci-dessous, un ensemble de recommandations concernant l'accotement prises en vigueur pour l'aérodrome de Tin Zaouatine :

- 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 %**.

Pour le cas de l'aérodrome de Tin Zaouatine, il a été considéré une pente d'accotements de **1,5 %**.

- Il est recommandé que les accotements de piste soient traités ou construits de manière à pouvoir supporter le poids d'un avion qui sortirait de la piste sans que cet avion subisse de dommages structurels et à supporter le poids des véhicules terrestres qui pourraient circuler sur ces accotements.
- S'assurer que le type de surface prévu pour l'accotement pourra résister à l'érosion occasionnée par le souffle des réacteurs.
- Dans certains cas, le terrain naturel de la bande peut avoir une force portante suffisante pour servir d'accotement sans aménagement spécial. Lorsqu'un aménagement spécial est nécessaire, la méthode utilisée dépendra des conditions locales du terrain et de la masse des avions auxquels la piste est destinée.
- Lors de la conception des accotements, il est important de veiller à empêcher que des pierres ou d'autres objets soient aspirés par les turbomachines. Les dommages ainsi occasionnés aux moteurs sont considérables.
- Lorsque les accotements ont subi un traitement spécial, soit en vue d'obtenir la force portante requise, soit pour éviter la présence de pierres ou de résidus, des difficultés peuvent se produire par suite d'un manque de contraste entre l'aspect de la surface de piste et celui de la bande. Pour éliminer cette difficulté, on peut ou bien rétablir le contraste entre la surface de la piste et celle de la bande par traitement de la surface, ou bien apposer des marques latérales de piste.

Récapitulé dans le tableau IV.1, les caractéristiques retenues pour l'accotement de la piste de Tin Zaouatine :

Tableau IV.1. Caractéristiques de l'accotement

Largeur	7,5 m
Pente	1,5 %
Disposition	Le long des bords de la piste
Résistance	Supporter le poids de l'avion lors d'une sortie de piste

IV.4.2. Bandes de piste

Aire définie dans laquelle sont compris la piste ainsi que le prolongement d'arrêt et le prolongement dégagé.

Une bande de piste s'étend latéralement sur une distance spécifiée à partir de l'axe de piste, longitudinalement avant le seuil, et au-delà de l'extrémité de piste. C'est une zone libre de tout objet risquant de constituer un danger pour les avions.

La bande comprend une partie nivelée qui devrait être traitée de façon à assurer une certaine portance et ne pas occasionner l'affaissement de l'atterrisseur avant si un aéronef sort de la piste.



Figure IV.7. Bandes d'une piste

IV.4.2.1. Longueur des bandes de piste

La bande de piste s'étendra en amont du seuil et au-delà de l'extrémité de la piste ou du prolongement d'arrêt jusqu'à atteindre une distance d'au moins **60 m** lorsque le chiffre de code est **4**.

IV.4.2.2. Largeur des bandes de piste

Il est recommandé que toute bande à l'intérieur de laquelle s'inscrit une piste à vue s'étende latéralement, sur toute sa longueur, de part et d'autre de l'axe de la piste et du prolongement de cet axe, jusqu'à une distance, par rapport à cet axe, au moins égale à **75 m** lorsque le chiffre de code est **4**.

IV.4.2.3. Pentes des bandes de piste

La pente longitudinale, sur la partie d'une bande qui doit être nivelée, ne devrait pas dépasser **1.5 %** lorsque le chiffre du code est **4**.

Sur la partie d'une bande qui doit être nivelée, les changements de pentes devraient être aussi graduels que possible, tout changement brusque ou inversion soudaine devraient être évités.

Sur la partie de la bande à niveler, les pentes transversales devraient être suffisantes pour empêcher l'accumulation de l'eau sur la surface des bandes mais elles ne devraient pas dépasser **2.5%** lorsque le chiffre du code est **4**, dans le cas présent, on a opté pour une pente transversale de **1.5%**.

IV.4.3. Prolongements occasionnellement roulables (P.O.R)

Le prolongement dégagé ainsi que le prolongement d'arrêt forment ce qu'on appelle le P.O.R. Les limites d'emploi relatives aux performances des avions nécessitent d'aménager une longueur suffisante pour permettre, une fois le décollage commencé, soit d'immobiliser l'avion, soit de poursuivre le décollage, avec sécurité.



Figure IV.8. Prolongements occasionnellement roulables

IV.4.3.1. Prolongement d'arrêt

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 au 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 sur l'aéronef.

Occasionnellement rouable, le prolongement d'arrêt ne doit pas être confondu avec le tiroir, qui est lui, par contre, normalement utilisable par les aéronefs en fin d'atterrissage ou en début de décollage.

Le tableau IV.2 récapitule les caractéristiques retenues pour le prolongement d'arrêt de l'aérodrome de Tin Zaouatine :

Tableau IV.2. Caractéristiques du prolongement d'arrêt

Longueur	60 m
Largeur	45 m
Pente	Même pour la piste

IV.4.3.2. Prolongement dégagé

Le prolongement dégagé est une partie du terrain coaxial à la piste, adjacent aux extrémités de la piste, incorporant le prolongement d'arrêt, et ne présente aucun obstacle pouvant constituer un danger pour un avion volant à faible hauteur en fin de manœuvre de décollage.

Le tableau IV.3 récapitule les caractéristiques retenues pour le prolongement dégagé de l'aérodrome de Tin Zaouatine :

Tableau IV.3. Caractéristiques du prolongement dégagé

Longueur	60 m
Largeur	150m (75m de part et d'autre de l'axe de piste)
Emplacement	L'extrémité de la longueur de roulement utilisable au décollage.

IV.4.4. Aire de sécurité d'extrémité de piste (RESA)

Les rapports d'accident/incident de l'OACI montrent que les aéronefs qui atterrissent trop court ou trop long subissent d'importants dommages. Pour réduire ces dommages au minimum, 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, 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.

Ci-dessous, un ensemble de recommandations concernant l'aire de sécurité d'extrémité de piste, prises en vigueur pour l'aérodrome de Tin Zaouatine :

- Une aire de sécurité d'extrémité de piste doit être aménagée à chaque extrémité de bande de piste, lorsque le chiffre de code est **4**.
- Une aire de sécurité d'extrémité de piste doit s'étendre à partir de l'extrémité d'une bande de piste sur une distance aussi grande que possible, mais au moins sur **90 m**.
- La largeur d'une aire de sécurité d'extrémité de piste doit être au moins égale au double de la largeur de la piste correspondante.
- Une aire de sécurité d'extrémité de piste devrait présenter 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.

- Les pentes longitudinales d'une aire de sécurité d'extrémité de piste ne devraient pas dépasser une valeur négative de **5 %**.
- Les pentes transversales d'une aire de sécurité d'extrémité de piste ne devraient pas dépasser une valeur positive ou négative de **5 %**.

Le tableau IV.4 récapitule les caractéristiques retenues pour les aires de sécurité d'extrémité de piste de l'aérodrome de Tin Zaouatine :

Tableau IV.4. Caractéristiques des aires de sécurité d'extrémité de piste

Longueur	100 m
Largeur	90 m (45m de part et d'autre de l'axe de piste)
Pente	Ne pas dépasser une valeur négative de 5 %
Emplacement	L'extrémité de la longueur de roulement utilisable au décollage

IV.4.5. Aires de demi-tour sur piste (raquettes de retournement)

Des aires définies sur un aérodrome terrestre, de façon qu'elles soient aménagées contiguës aux pistes qui ne sont pas desservies par une voie de circulation ou par une voie de demi-tour.

Elles servent aux aéronefs à effectuer un demi-tour de 180 ° sur la largeur de la piste et de se retrouver alignés sur l'axe de celle-ci, en perdant le minimum possible de longueur de piste, si ce retournement précède un décollage. Il est nécessaire de mettre en place une sur largeur de chaussée de forme particulière constituant une raquette de retournement.

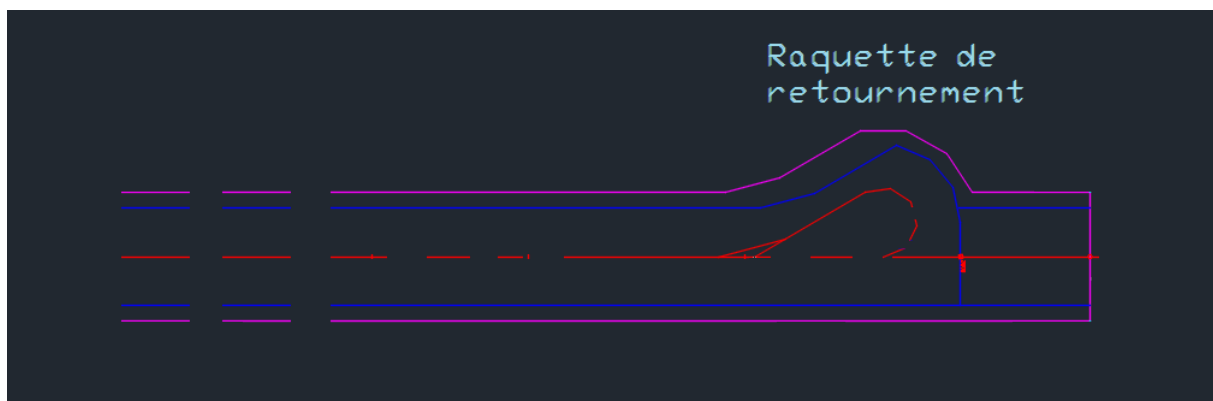


Figure IV.9. Configuration d'une aire de demi-tour sur piste

Le virage serait plus facile à amorcer si l'aire de demi-tour est située du côté gauche du pilote, étant donné que ce dernier se place dans le côté gauche de la cabine de pilotage.

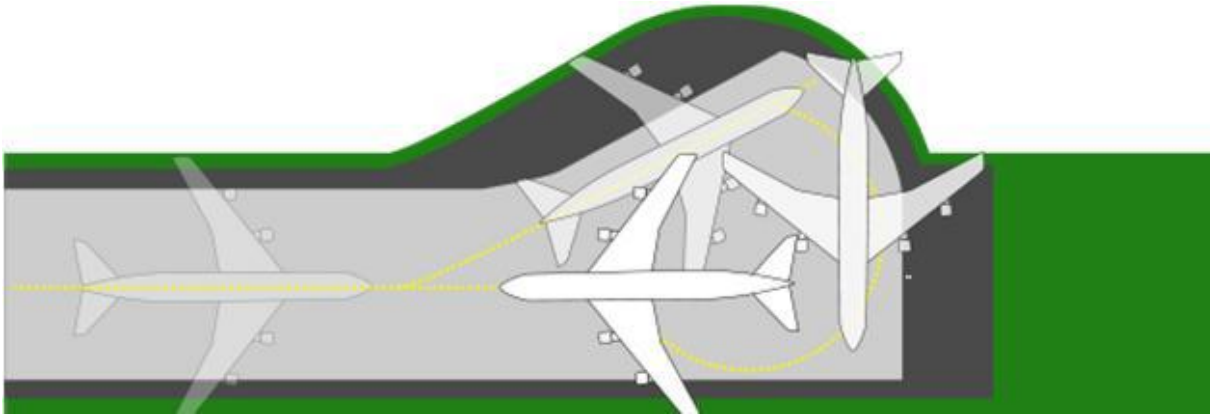


Figure IV.10. Etapes de retournement de l'aéronef

L'aire de demi-tour sur piste sera conçue de telle manière que lorsque le poste de pilotage de l'avion auquel elle est destinée reste à la verticale des marques de l'aire, la marge entre les roues extérieures de l'atterrisseur principal de l'avion et le bord de l'aire de demi-tour ne sera pas inférieure à la valeur **4,5 m** lorsque la lettre de code est **D**.

Ci-dessous, un ensemble de recommandations concernant l'aire de demi-tour sur piste, prises en vigueur pour l'aérodrome de Tin Zaouatine :

- Il est recommandé que les pentes longitudinale et transversale des aires de demi-tour sur piste soient suffisantes pour empêcher l'accumulation d'eau sur la surface et permettre l'écoulement rapide de l'eau de surface.
- Il est également recommandé que les pentes soient les mêmes que celles des surfaces des chaussées des pistes adjacentes.
- Il est recommandé que la résistance des aires de demi-tour sur piste soit au moins égale à celle des pistes qu'elles desservent, compte tenu du fait que des avions effectuant un virage serré à faible vitesse exercent sur la chaussée des contraintes plus élevées.
- Il est recommandé que la surface des aires de demi-tour sur piste soit construite de manière à offrir des caractéristiques de frottement au moins égales à celles de la piste correspondante.
- Il est recommandé de doter les aires de demi-tour sur piste d'accotements d'une largeur suffisante permettant d'éviter l'érosion superficielle due au souffle des réacteurs des avions les plus exigeants auxquels l'aire de demi-tour est destinée, ainsi que toute possibilité d'endommagement des moteurs d'avion par l'impact de corps étrangers.

- Il est recommandé que les accotements d'une aire de demi-tour sur piste soient capables de résister au passage occasionnel de l'avion pour lequel l'aire a été prévue sans que cet avion subisse de dommages structurels et qu'ils soient aussi capables de supporter le poids des véhicules terrestres qui pourraient circuler dessus.

Pour le cas de l'aérodrome de Tin Zaouatine, on propose d'aménager trois aires de demi-tour, deux contiguës aux extrémités de la piste d'envol, respectivement aux **PK 0+000** et **PK 3+000**, la troisième sera adjacente au point **PK 2+100**.

Le choix d'aménager une aire de demi-tour sur environ les deux tiers de la piste est dû à la longueur importante de la piste. Un aéronef ayant besoin de distances de référence et d'arrêt moins importantes que celles de l'avion critique, peut ne pas parcourir toute la piste pour faire demi-tour et utiliser cette raquette et effectuer le décollage à l'extrémité **03** ou rejoindre le parking avions après une approche par le seuil **03**, épargnant le temps et le carburant de parcourir environ 2 km.

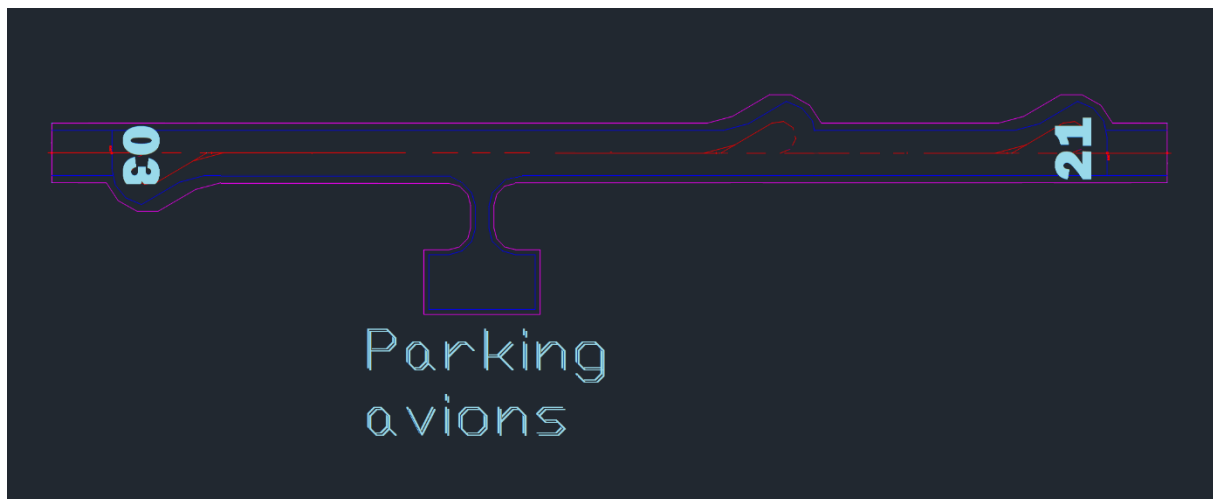


Figure IV.11. Aires de demi-tour sur la piste de Tin Zaouatine

IV.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons effectué une étude géométrique détaillée incorporant les distances, les pentes, les aménagements complémentaires ainsi qu'une conception d'un profil en travers assurant les conditions de sécurité aux aéronefs selon les recommandations de l'OACI.

CHAPITRE V.

Etude géotechnique

CHAPITRE V. Etude géotechnique

V.1. Introduction

Tous les ouvrages de génie civil fondés sur un sol connaissent, avant leur réalisation, une étude géotechnique afin de connaître la nature du sol. A l'issue de cette étude, nous choisirons un corps de chaussée adéquat au sol support en garantissant sécurité, durabilité et économie.

Cette étude aboutira à une reconnaissance géologique et géotechnique du sol support, afin de dimensionner le corps de chaussée et rechercher les matériaux constitutifs du corps de chaussée.

V.2. Moyens d'investigation

La démarche de reconnaissance du sol a porté sur :

- Essais in situ : Creusement des puits de reconnaissance.
- Essais au laboratoire :
 - Essais d'identification physique.
 - Essais mécaniques.
 - Analyse chimique.

V.2.1. Creusement des puits de reconnaissance

L'opération de creusement des puits avait pour objet la reconnaissance géotechnique du sol support en vue de déterminer les caractéristiques physico-mécaniques des couches rencontrées. En totalité, sept puits ont été réalisés dans la zone étudiée.

V.2.2. Essais au laboratoire

Les échantillons prélevés des 6 puits ont été soumis aux tests mécaniques et aux essais d'identification.

V.2.2.1. Essais d'identification

- **Analyse granulométrique**

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant les échantillons. Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale inférieure ou égale à 63 mm.

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par vibration de la colonne de tamis.



Figure.V.1. Essai de granulométrie par tamisage

Tous les matériaux d'emprunts ont moins de 20 % de fines. Il s'agit donc de matériaux grenus représentés par 64,6 % de sables et 35,4 % de graves. On trouve des argiles dans 15,2 % des cas et des limons dans 2,2 % des cas. Les échantillons bien gradués sont de 48,5 % dont 31,3 % de sables et 17,2 % de graves. Les échantillons mal gradués sont de 27,3 % dont 15,2 % en sables et 12,1 % en graves.

- **Limites d'Atterberg**

Les limites d'ATTERBERG sont déterminées uniquement pour les éléments fins d'un sol (fraction passant au tamis de 0,4 mm), car ce sont les seuls éléments sur lesquels l'eau agit en modifiant la consistance du sol. L'essai consiste donc à faire varier la teneur en eau de cette fraction de sol et en observer sa consistance.

Selon la teneur en eau, le sol se comportera comme un solide, un matériau plastique (capable de se déformer beaucoup sans casser), ou un liquide. Les limites d'Atterberg sont déterminées à l'aide d'un appareil appelé CASAGRANDE, l'essai détermine les valeurs suivantes :

- **Limite de liquidité ($L_L = W_L$)** : C'est la teneur en eau au-dessus de laquelle le sol se comporte comme un liquide et s'écoule sous son propre poids.
- **Limite de plasticité ($L_p = W_p$)** : C'est la teneur en eau au-dessus de laquelle le sol perd sa plasticité, c'est-à-dire qu'il a perdu sa plasticité et se fissure en se déformant lorsqu'il est soumis à de faibles charges.
- **Indice de plasticité I_p** : La différence entre la limite de liquidité et la limite de plasticité donne un indice appelé indice de plasticité I_p qui mesure l'étendue du domaine de plasticité du sol. Il s'exprime donc par la relation :

$$I_p = W_L - W_p$$

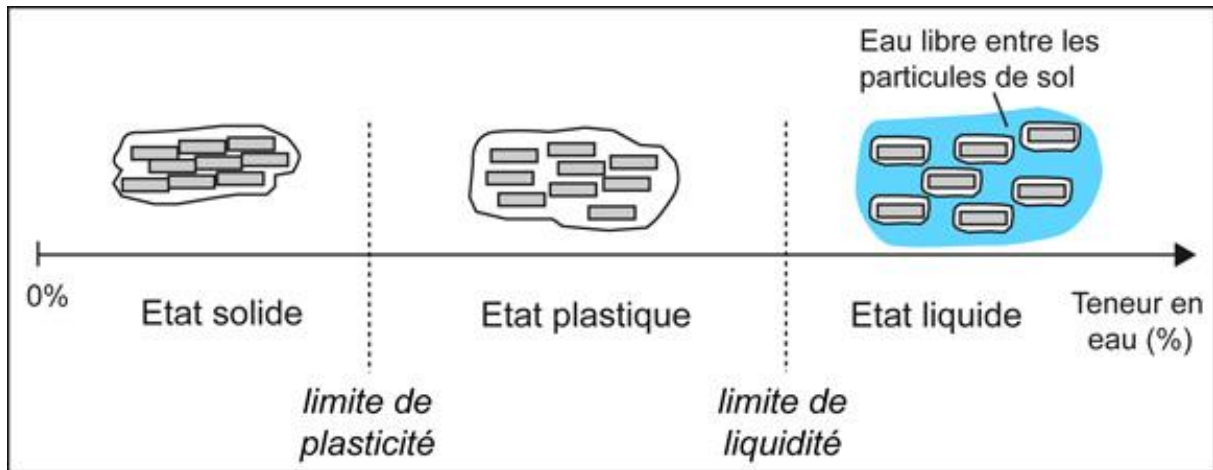


Figure V.2. Limites d'Atterberg

Les résultats obtenus des limites d'Atterberg sont récapitulés dans les tableaux V.1, V.2 et V.3 :

Tableau V.1. Limite de liquidité W_L

Emprunt	min	max	Moyenne
A	21	26	24,08
B	22	31	27,66
C	19,5	36	25,43
D	21	29	23,30
E	21,5	34	26,33
F	20,5	32,5	24,50
G	19	26	21,50

Tableau V.2. Limite de plasticité W_p

Emprunt	Min	max	Moyenne
A	17,5	16,5	17,33
B	18	18	18,24
C	15	22,5	16,15
D	18	22,5	18,60
E	16,5	17	16,16
F	13	23	17,17
G	12,5	18,5	14,60

Tableau V.3. Indice de plasticité I_p

Emprunt	min	max	moyenne
A	3,5	9,5	6,75
B	4	13	9,42
C	4,5	13,5	9,28
D	3	6,5	4,70
E	5	17	10,17
F	7,5	9,5	7,33
G	6,5	7,5	6,90

La limite de liquidité (W_L) varie de 19 à 36 % avec une moyenne de 24,7 % et un écart type de 4,01 %. L'indice de plasticité (I_p) varie de 3 à 17 % avec une moyenne de 7,75 % et un écart type de 2,97 %.

Les résultats attestent que le sol est de faible à moyenne plasticité.

- Equivalent de sable

L'essai d'équivalent de sable permet de mesurer 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).

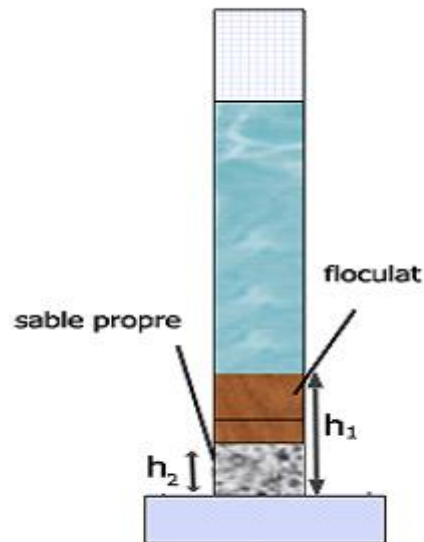


Figure V.3. Schéma de l'essai d'équivalent de sable

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

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

Le but de cet essai est de mettre en suspension les fines (particules <0.063 mm soit 63µm) 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.

Nous avons repris les résultats de l'essai dans le tableau V.4 :

Tableau V.4. Résultats de l'essai de l'équivalent de sable

Emprunt	min	max	moyenne
A	24,5 %	50 %	32,93 %
B	23 %	54,5 %	37,80 %
C	29,5 %	65 %	45,59 %
D	23,5 %	55,5 %	40,67 %
E	23 %	59,5 %	37,71 %
F	23 %	47,5 %	32,77 %
G	26,5 %	57,5 %	37,43 %

Il s'étale de 27 à 65 % avec, par emprunt, une moyenne de 32,77 à 45,59 % et un écart type de 7,15 à 10,78.

- **Analyse chimique**

L'analyse chimique consiste à déterminer la nature minéralogique et de mesurer la teneur en carbonates « CaCO_3 ». La teneur en carbonates (CaCO_3) varie selon la nature du sol à l'origine et le processus de formation. On conçoit donc que cette caractéristique aura une influence très importante sur les propriétés des matériaux.

Les insolubles (77,1 à 90,5 %) confirment le caractère sablo-argileux des éléments, la proportion sableuse étant prépondérante. Les carbonates (CaCO_3) sont de l'ordre de 2 à 4 %, les sulfates (SO_4Ca , $2\text{H}_2\text{O}$) sont inexistantes et le chlorure de sodium (NaCl) est au plus égal à 0,35 %.

Ces résultats nous permettent de conclure que c'est un sol faiblement organique.

V.2.2.2. Essais physiques

- **Essai Proctor modifié**

L'essai Proctor a pour but de déterminer la teneur en eau optimale pour un sol donné et des conditions de compactage fixées, qui conduit au meilleur compactage possible ou encore capacité portante maximale.

L'essai consiste à compacter dans un moule normalisé, à l'aide d'une dame normalisée, selon un processus bien défini, l'échantillon de sol à étudier et à mesurer sa teneur en eau et son poids spécifique sec après compactage.

L'essai est répété plusieurs fois de suite sur des échantillons portés à différentes teneurs en eau. On définit ainsi plusieurs points d'une courbe ($\gamma_d/\gamma_w ; \omega$) ; on trace cette courbe qui représente un maximum dont l'abscisse est la teneur en eau optimale et l'ordonnée la densité sèche optimale.

Le principe de cet essai consiste à humidifier un matériau à plusieurs teneurs en eau et à le compacter à chacune des teneurs en eau, selon un procédé et une énergie conventionnels.

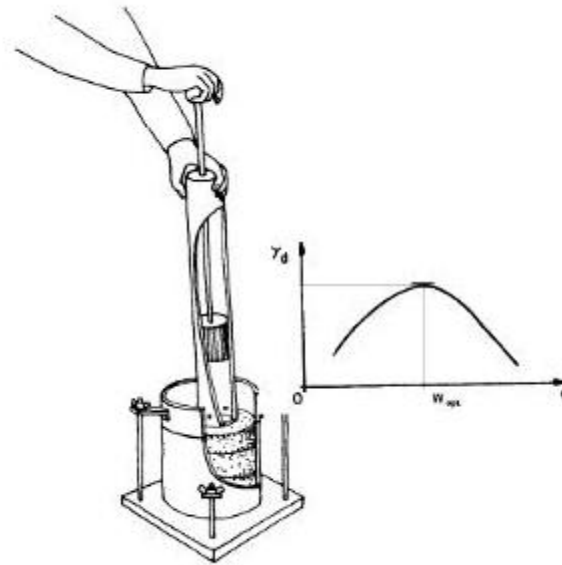


Figure V.4. L'essai de Proctor

Le choix de l'intensité de compactage se fait en fonction de la surcharge que va subir l'ouvrage au cours de sa durée de vie :

- Essai Proctor normal : résistance souhaitée faible, du type remblai non ou peu chargé.
- Essai Proctor modifié : correspond à un compactage maximum que l'on peut obtenir sur chantier pour le corps de chaussées des routes et des pistes d'aérodromes.

Ce type de compactage se fait en 5 couches successives d'environ 2.5cm d'épaisseur :

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

Le tableau V.5 donne les résultats de l'essai :

Tableau V.5. Résultats de l'essai Proctor

Emprunt	A	B	C	D	E	F	G
Teneur en eau	6,62 %	7,32 %	7,32 %	7,32 %	8,08 %	7,44 %	7,24 %
Densité sèche	2,116 %	2,084 %	2,048 %	2,064 %	2,018 %	2,084 %	2,046 %

La densité sèche maximale fluctue entre 1,915 et 2,172 t/m³ avec, par emprunt, une moyenne de 2,018 à 2,116 et un écart type de 0,040 à 0,079.

La teneur en eau correspondante varie de 5,64 à 9,31 % avec, par emprunt, une moyenne de 6,62 à 8,08 % et un écart type de 0,67 à 1,15 %.

- **Essai CBR (California Bearing Ratio)**

L'essai a pour but de déterminer un indice de portance, c'est-à-dire l'aptitude du matériau à subir des charges, sa détermination nous permettra de :

- Evaluer la traficabilité des engins de terrassement (IPI),
- Déterminer l'épaisseur équivalente d'une chaussée ; nécessaire afin de supporter les charges qui lui sont appliquées

Le matériau à étudier est placé dans un moule dans un état donné de densité et de teneur en eau. Il est ensuite poinçonné par un piston, enfoncé à une vitesse constante.

Le pouvoir portant d'un sol est d'autant meilleur que le CBR est grand.

Il existe deux types d'essais CBR en fonction des buts fixés :

- L'essai CBR immédiat : 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.
- L'essai CBR imbibé : Il caractérise l'évolution de la portance d'un sol support (ou constituant de chaussée) compacté à différents teneurs en eau.

D'après les recommandations du recueil des recommandations techniques des aérodromes (R.R.T.A) dans l'article 1.2.2 page (1-21), l'essai à prendre en compte dépend de la zone climatique du projet, ainsi pour :

- Un CBR imbibé à 4 jours correspondant à 95% de la densité de l'OPM pour les zones climatiques I et II.
- Un CBR immédiat déterminé à 95% de l'OPM pour les zones climatiques III et IV.

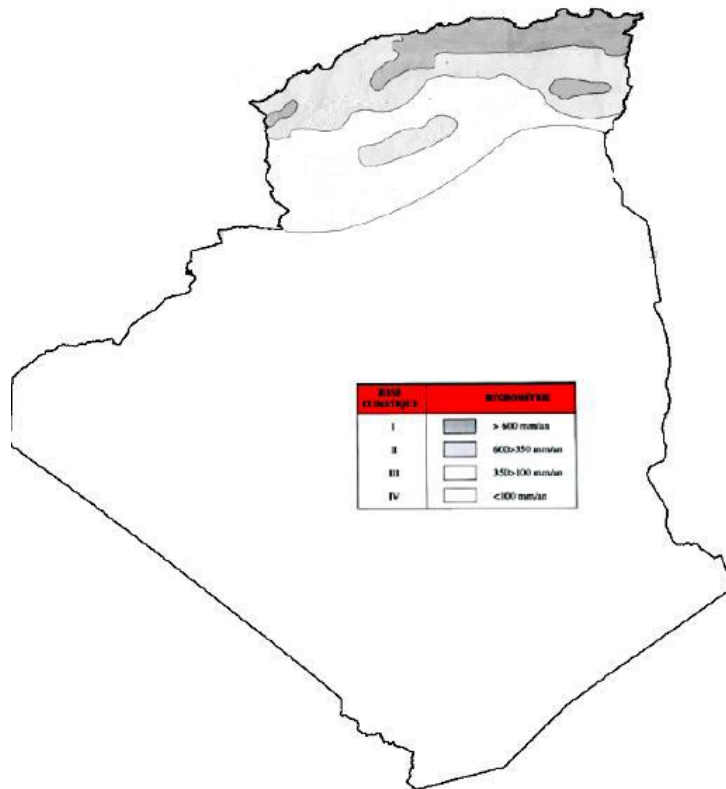


Figure V.5. Répartition des zones climatiques selon la RTTA

Selon la figure V.5, la zone de projet se situe dans la zone **IV**, ce qui fait que nous optons pour un essai CBR immédiat.

D'après les résultats de l'essai au laboratoire, la valeur du CBR à prendre est égale à **10**.

V.3. Prospection et étude d'emprunts

Pour un gain maximal de coûts, il est judicieux de concevoir un corps de chaussée constitué de matériaux locaux. Une prospection a été faite par le laboratoire qui a permis de trouver plusieurs carrières. Le critère de choix se fait selon les résultats des essais MDE et LA, les limites des valeurs à ne pas dépasser et les spécificités sont donnés dans la norme **NF P 18 545**.

Les deux gisements de concassés choisis sont dénommés Tadjertoudjet et Tin-El-Haoua, et se situent comme suit :

- Le gisement de Tadjertoudjet est à 25 km environ à l'ouest du projet.
- Le gisement de Tin-El-Haoua se trouve au Sud-Est et à 17 km environ du projet. (Il est à droite et à proximité de la borne PK 25 de la route reliant Tin-Zaouatine à In-Guezzam).

Lors des reconnaissances géologiques menées dans la région du projet comprenant plusieurs sortes de terrains d'âge pharusien, nous avons rencontré d'importantes formations géologiques de roches intrusives et effusives qui affleurent respectivement aux lieux dits Tadjertoudjet et Tin-El-Haoua où nous avons sélectionné les gisements.

V.3.1. Gisement de Tadjertoudjet :

Ce gisement est constitué par une succession de monticules qui présentent une roche intrusive qui est la diorite. C'est une roche très dure, massive, de couleur verdâtre et à grains fins. Elle se présente sous forme de blocs de dimensions décimétriques et symétriques. La direction de cette succession est sensiblement Nord-Sud.

V.3.2. Gisement de Tin-El-Haoua :

Il est constitué par un ensemble de coupes très fissurées superficiellement. Elles renferment une roche effusive qui est l'andésite. C'est une roche massive, très dure, difficile à casser, compacte et de couleur gris-verdâtre. Cet ensemble, homogène, d'orientation générale Est-Ouest, s'étale au nord de la route reliant Tin Zaouatine à In Guezzam.

V.3.3. Essais réalisés et résultats :

Les essais effectués au laboratoire ont porté sur la détermination de :

- La résistance à la fragmentation Los Angeles
- La résistance à l'usure Micro-Deval.
- L'analyse chimique sommaire.

Ces essais ont donné les résultats prescrits dans le Tableau V.6 :

Tableau V.6. Résultats des essais sur les gisements

Essais Echantillon		Tadjertoudjet	Tin-El-Haoua	
		E1	E2	E3
Los Angeles		14,1	12	8,16
Micro-Deval	Sec (MD)	2	2	1,6
	Humide (MDE)	8,6	11,2	8,6
Analyse chimique sommaire	Insolubles (SiO ₂ +Silic)	76,97	81,61	79,62
	Carbonates (CaCO ₃)	0,85	3,32	1,70
	Chlorures (NaCl)	0,23	0,17	0,17
	Sulfates (SO ₄ Ca, 2H ₂ O)	0,23	0,17	0,17

V.3.4. Estimation des réserves

Les sites de Tadjertoudjet et Tin-El-Haoua se présentent sous forme d’affleurement rocheux, de forme rectangulaire, de direction générale respective Nord-Sud et Est-Ouest, d’une longueur de plus de 3km et d’une largeur de plus de 500m pour chaque site. Ces affleurements sont entrecoupés par de nombreux affluents d’oueds et quelques dépôts sableux. Les épaisseurs des affleurements dépassent les 3 mètres.

Pour tenir compte de la surface occupée par les oueds et leurs affluents ainsi que les dépôts sableux, il a été jugé préférable de ramener les sites aux dimensions suivantes :

- Site de Tadjertoudjet :

Longueur = 1000 m.

Largeur = 100 m.

Epaisseur = 2 m.

- Site de Tin-El-Haoua :

Longueur = 1000 m.

Largeur = 200 m.

Epaisseur = 3 m.

Nota-Bene : Les conditions technico-économiques du gisement de Tin-El-Haoua sont plus économiques que celles du gisement de Tadjertoudjet.

V.4. Conclusion

Le but de ce chapitre est de recommander la meilleure source de matériaux pour la constitution du corps de chaussée qui sera détaillé dans le chapitre suivant.

D’après les résultats obtenus, nous pouvons dire que les sites de Tadjertoudjet et de Tin-El-Haoua offrent de bonnes perspectives d’exploitations, les caractéristiques mécaniques des matériaux sont bonnes et les réserves que recèlent ces sites sont importantes.

Ainsi, de par la situation géographique de l’ouvrage et du fait que l’assiette en elle-même n’est autre qu’un manteau de sable de quelques mètres d’épaisseur, un tel matériau pourrait être utilisé sans prendre de précautions spéciales.

L’étude géotechnique a été établie de telle sorte à noter toute variation dans la nature du sol support. Les essais in-situ et au laboratoire nous ont permis de déterminer les caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques des matériaux constituant les sols prélevés du sol support de l’aérodrome de Tin Zaouatine.

CHAPITRE VI.

Dimensionnement du corps de chaussée

CHAPITRE VI. Dimensionnement du corps de chaussée

VI.1. Introduction

Les principes d'étude et de construction des chaussées aéronautiques sont les mêmes que ceux appliqués pour les chaussées routières, tandis que l'aérodrome est conçu pour recevoir des charges de trafic nettement plus importantes. En effet, les caractéristiques du corps de chaussée aéronautique sont spécifiques.

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

VI.2. Type de chaussée

Nous proposons les différentes chaussées aéronautiques de l'aérodrome de Tin Zaouatine en structure souple comme en structure rigide.

Pour la piste d'envol, un linéaire de **2400 m** sera aménagé en chaussée souple, tandis que deux bouts bétonnés de **300m** chacun seront mis en œuvre sur les extrémités de la piste pour une utilisation militaire. En effet, l'aérodrome de Tin Zaouatine sera exploité à utilisation mixte (civile et militaire), donc sera objet d'une potentielle exploitation par les avions de chasse ayant des réacteurs obliques, détail qui court un risque de détérioration sur les chaussées souples d'où il est jugé préférable de réaliser en béton de ciment les tronçons de piste où les réacteurs sont en pleine action.

Les hypothèses retenues pour le calcul de dimensionnement considèrent un avion de référence de type Ilyushin Il-76MD.

VI.2.1. Chaussée souple

La chaussée souple aéronautique est caractérisée par ses couches de matériaux traités aux liants hydrocarbonés (matériaux bitumineux) qui reposent sur des couches de matériaux non traités. Ces derniers comprennent : une couche de base en matériaux bitumineux et une couche de fondation constituée d'une grave non traitée, ainsi, une couche de forme peut avoir lieu au-dessous de la couche de fondation.

Le dimensionnement de ce type de chaussées est basé sur l'hypothèse que l'endommagement de la chaussée proviendrait de la rupture du sol support.

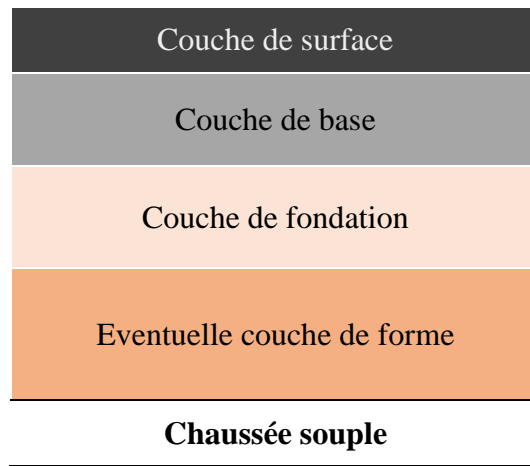


Figure VI.1. Structure type du corps de chaussée souple

VI.2.2. Chaussée rigide

Les chaussées rigides sont des chaussées comportant en couche supérieure des matériaux traités au liant hydraulique (béton de ciment essentiellement), suivie d'une couche de fondation en grave ciment et une éventuelle couche de forme.

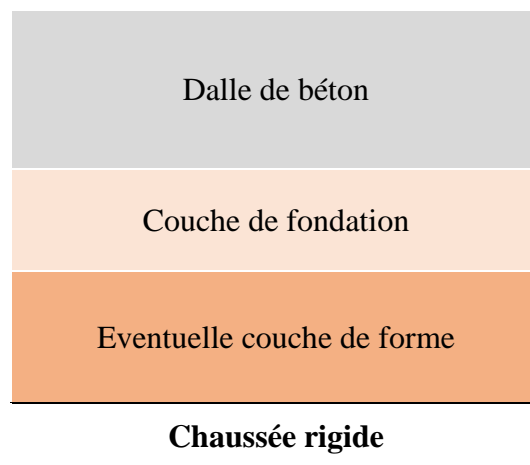


Figure VI.2. Structure type du corps de chaussée rigide

La nature du béton hydraulique fait que la rigidité des dalles qui constituent la partie supérieure de la chaussée protège le sol support des sollicitations mécaniques. La rupture de la chaussée s'amorce en premier lieu dans la dalle par excès de contraintes.

Etant donné que le climat du Sud algérien est caractérisé par ses températures très élevées, il est jugé nécessaire que l'ouverture des joints transversaux soit importante sous l'action conjuguée du retrait thermique et hydraulique et le transfert de charges entre dalles de béton au droit de ces joints, une fois ouverts, ne sera plus efficace. A cet effet, il est recommandé

de goujonner l'ensemble des joints. Pour ce, nous optons pour des dalles courtes non armées goujonnées.

VI.3. Choix du type de chaussée

Lors du choix du type de chaussée il faut prendre en compte les aspects technico-économiques et étudier les contraintes, qui vont concerner :

- Les dépenses consenties pour la construction de l'infrastructure.
- Les budgets d'entretien ultérieur.
- Les répercussions économiques que pourront avoir ces opérations d'entretien sur la qualité de service de l'infrastructure.

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).
- Les aéroports à fort trafic ou/et une grande partie du trafic est représenté par de gros porteurs.
- Certains types d'avions militaires qui risquent de brûler les chaussées souples.

Les chaussées souples sont plus économiques et sont préconisées pour les aéroports à faible ou moyen trafic.

Le tableau VI.1 englobe les avantages et les inconvénients de chacun de types de chaussée :

Tableau VI.1. Avantages et inconvénients pour chaque type de chaussée

	Avantages	Inconvénients
Chaussée souple	<p>Renforcement et répartitions très faciles</p> <p>Absence des joints</p>	<p>Entretien plus onéreux</p> <p>Mauvaise résistance aux carburants et souffle des propulseurs</p> <p>Fondation très importante</p>

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

VI.4. Durée de vie des chaussées

La durée de vie est définie dans l'article 1.1.5 du RRTA comme étant la période à la fin de laquelle la portance du revêtement est insuffisante pour supporter sans dommage le trafic de l'année suivante et impose le recours à un renforcement général.

Pour une chaussée neuve, la durée de vie structurelle est, par convention et hors toute considération économique, choisie égale à 10 ans, soit 3 650 jours. Adaptée aux chaussées souples d'aérodromes, cette période de 10 ans peut, de manière plus réaliste, se voir prolonger jusqu'à 20 ans pour les chaussées rigides qui vieillissent moins rapidement que les chaussées souples sous réserve d'un entretien constant des joints.

Tableau VI.2. Durée de vie des chaussées aéronautiques

Structure	Durée de vie	
	Aérodrome à faible trafic Prévision du trafic non fiable	Aérodrome à fort trafic Prévision du trafic fiable
Souple	10 ans	10 ans
Rigide	Déconseillée	Jusqu'à 20 ans

VI.5. Choix de la charge de calcul

VI.5.1. Masse de l'avion de référence

La masse de l'avion est une donnée fournie par le manufacturier, sa connaissance est essentielle pour la détermination de la charge appliquée sur le corps de chaussée par l'avion critique l'Ilyushin Il-76MD. À défaut d'abaque relatif à cet appareil, nous considérons les caractéristiques de l'Ilyushin 62 comme référence, avec pondération de charge.

- La masse maximale pour les évolutions au sol (M)

Masse maximale de l'avion acceptable pendant les manœuvres au sol sur les aires de trafic (masse maximale au roulage) elle est de **167 000 Kg**.

- La masse à vide en ordre d'exploitation (m)

Masse de l'avion à vide avec ses équipements permanents, un aménagement de cabine et un équipage de référence, elle est de **89 000 Kg**.

- La masse maximale au décollage

Masse maximale de l'avion acceptable au décollage. Ce paramètre est couramment confondu avec la masse maximale pour les évolutions au sol dont elle ne diffère que de la quantité de carburant consommée en parcourant entre l'aire de stationnement et l'extrémité de piste.

VI.5.2. Les atterrisseurs

L'atterrisseur représente l'ensemble des roues montées sur une même jambe. L'ensemble des atterrisseurs constitue le train d'atterrissage. L'atterrisseur principal est l'ensemble composé en général des atterrisseurs principaux gauche et droit.

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

VI.5.3. 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 de l'Ilyushin Il-76MD nous avons un **centrage AR MAX de 45,50%**.

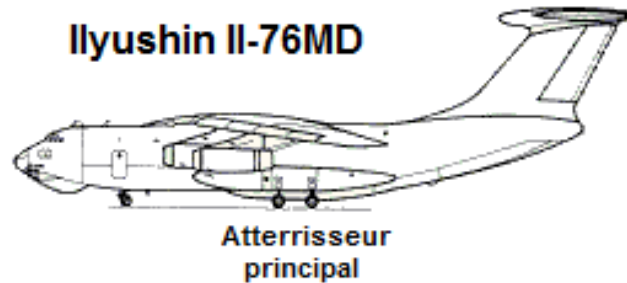


Figure VI.3. Atterrisseur principal de l'Ilyushin Il-76MD

VI.5.4. Charges de calcul

Un coefficient de pondération de la charge dépend de l'aire étudiée (piste, accotements, parking etc..), ainsi chaque aire doit être dimensionnée séparément pour tenir compte des sollicitations.

Par exemple les sollicitations statiques produites par l'avion sur le corps de chaussée durant le décollage seront nettement inférieures à celles produites par le même avion sur l'aire de stationnement (circulation lente et concentrée) d'où l'introduction du coefficient de pondération afin de prendre en compte ces cas de charges.

Tableau VI.3. Coefficients de pondération de charge par rapport aux aires

Aire	Coefficient
Piste et bretelle	1
Accotement	0,5
Prolongement d'arrêt	0,7
Parking avions	1,2

VI.6. Dimensionnement des chaussées souples

Le dimensionnement consiste à déterminer les épaisseurs des couches, à choisir les matériaux nécessaires afin de reprendre les sollicitations du trafic et des charges.

Cette étape se fait en se basant sur plusieurs méthodes tels que :

- La méthode de dimensionnement optimisé

Le dimensionnement optimisé prend en compte, pour la part qu'ils sont destinés à occuper dans le trafic envisagé, tous les avions susceptibles d'avoir une action significative sur la fatigue de la chaussée.

Le calcul se fait en convertissant les mouvements réels de chaque type d'avions en mouvement équivalent d'une charge de référence. Des prévisions de trafic détaillées par type d'avions servent de base au dimensionnement. Cette méthode est utilisée dans le cas où l'aérodrome est visité par plusieurs type d'avions qui sont aussi contraignants les uns que les autres, le cas qui n'est pas pour l'aérodrome de Tin Zaouatine.

- La méthode de 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 jour pendant une période de dix ans de la charge de calcul.

Pour le cas de l'aérodrome de Tin Zaouatine on optera pour la méthode de dimensionnement forfaitaire pour le dimensionnement du corps de chaussée.

En connaissant la charge de calcul et le CBR du sol support il est possible de déterminer l'épaisseur équivalente du corps de chaussée.

Une fois l'épaisseur équivalente déterminée on choisira une constitution des matériaux du corps de chaussée. Chaque couche de matériau est caractérisée par son coefficient d'équivalence et son épaisseur, leur produit donne l'épaisseur équivalente propre à chaque couche.

Données nécessaires pour le dimensionnement

- La charge normale de calcul P'' (charge appliquée 10 fois par jour pendant une durée de 10 ans).
- Le CBR du sol support (pour le dimensionnement des chaussées souples).
- La masse de l'avion critique.

Tableau VI.4. Données nécessaires pour le dimensionnement

Aéronef	Centrage AR max	Pression de gonflage	CBR	Trafic estimé
Ilyushin Il-76MD	45,50 %	1,41 Mpa	10	10 movts./j

Les étapes de dimensionnement sont résumées dans la figure VI.4 :

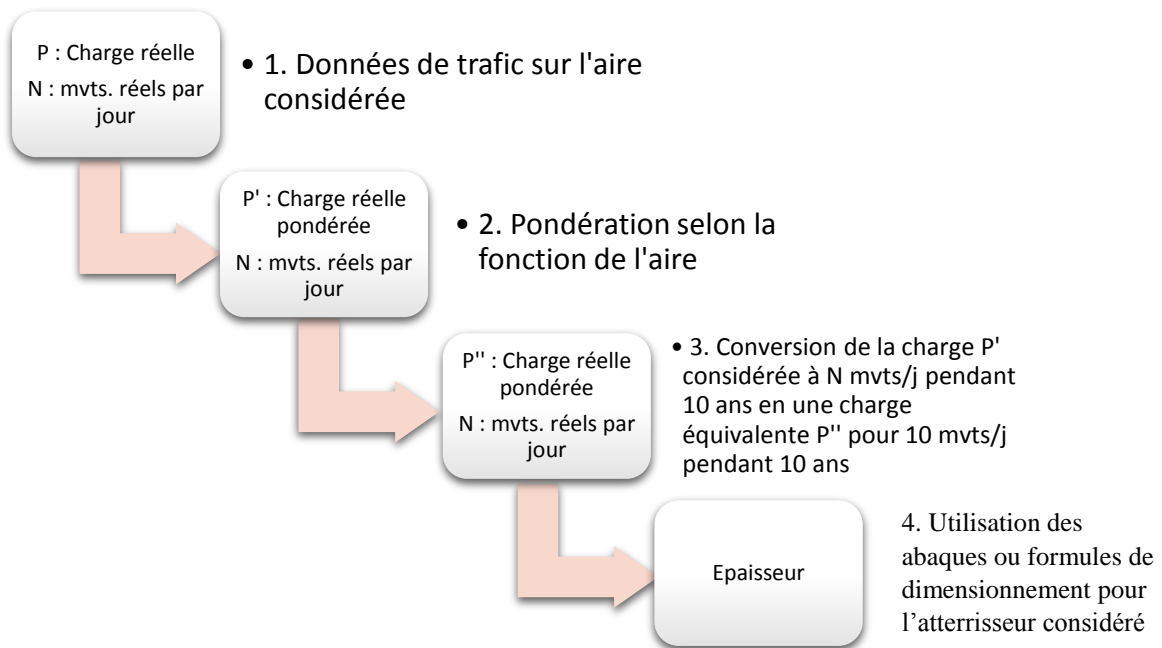


Figure VI.4. Organigramme de dimensionnement

Etape 1. Pondération des charges

L'Ilyushin Il-76MD est un avion de même série que l'Ilyushin Il-62M, nous allons faire une extrapolation entre leurs charges pour pouvoir utiliser l'abaque de l'Ilyushin-62M :

$$Il\ 62M \rightarrow 167\ tonnes$$

$$Il\ 76MD \rightarrow 190\ tonnes$$

avec $C = 45,50\ %$

Charge réelle :

$$P_0 = P \times C = 167 \times 0,455 = 75,98\ t$$

Coefficient d'extrapolation :

$$C' = \frac{190}{167} = 1,138$$

Charge réelle :

$$P = P_0 \times C' = 75,98 \times 1,138 = 86,47 \text{ t}$$

Pondération des charges selon la fonction des aires : $P''=P \times C_p$.

$$P' = P \times C_p$$

Les charges réelles pondérées pour chaque aire sont données dans le Tableau VI.5 :

Tableau VI.5. Charges après pondération selon les aires

Aire	Coefficient de pondération	Charges réelles pondérées
Piste et bretelle	1	86,47 t
Accotements	0,5	43,235 t

Les charges normales de calcul P'' : après la 1^{ère} pondération, il faudra maintenant corriger la charge P' par un coefficient qui est en fonction du nombre de mouvements par jour N .

$$P'' = \frac{P'}{C_t}$$

avec

P'' : charge normale de calcul ; P' : charge réelle pondérée ; C_t : coefficient de correction du trafic

$$C_t = 1,2 - 0,2 \times \log N$$

ayant pour le présent cas $N = 10 \text{mvts/j}$

donc

$$C_t = 1$$

Tableau VI.6. Charges normales de calcul P''

Aire	Ct	Charges normales de calcul P''
Piste et bretelle	1	86,47 t
Accotements	1	43,235 t

Etape 2. Détermination de l'épaisseur équivalente

Connaissant la charge normale de calcul et le CBR du sol support, on peut donc déterminer à partir de l'abaque de dimensionnement de la chaussée souple de l'Il-76MD donné en annexe.

De l'abaque nous avons les épaisseurs équivalentes dans le tableau VI.7 :

Tableau VI.7. Epaisseur équivalente totale

Aire	Charges normales de calcul P''	Epaisseur équivalente totale
Piste et bretelle	86,47 t	75 cm
Accotements	43,235 t	44 cm

Etape 3. Détermination de l'épaisseur minimale des matériaux traités

Une épaisseur suffisante de matériaux traités est nécessaire pour assurer un bon comportement des couches supérieures de la chaussée.

Ainsi 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 VI.8. Epaisseurs minimales des matériaux traités

Aire	Epaisseur équivalente totale	Epaisseur minimale des matériaux traités
Piste et bretelle	75 cm	38 cm
Accotements	44 cm	22 cm

Etape 4. Choix des matériaux

La couche de surface d'une chaussée souple à usage aéronautique est généralement réalisée en béton bitumineux respectant la norme **NF P 98 131** [3] sur une épaisseur qui ne soit pas inférieure à 5 cm.

Recommandée pour la couche de base, la grave bitume est d'un coût trop élevé pour être également utilisée en couche de fondation pour laquelle on lui préfère généralement des matériaux non traités. Sans être pour autant exclue, l'utilisation de matériaux traités aux liants hydrauliques n'est pas recommandée pour les chaussées aéronautiques eues égard aux phénomènes de retrait dont ils sont le siège.

Pour une protection de l'accotement contre l'érosion et le soulèvement des débris on utilise pour la couche supérieure du micro béton bitumineux.

- **Piste et bretelle**

Epaisseur équivalente totale $e_{et} = 75 \text{ cm}$

Epaisseur minimale des matériaux traités $e_{mt} = 38 \text{ cm}$

Tableau VI.9. Epaisseur de la chaussée au niveau de la piste et la bretelle

Matériaux	Epaisseur réelle	Coefficient d'équivalence	Epaisseur équivalente	
Béton bitumineux BB 0/14	8	2	16	Vérification $16+22,5=38,5 > 38 \text{ cm}$ ✓ Vérifié
Grave bitume GB 0/20	15	1,5	22,5	
Grave non traitée 0/31.5	20	1	20	
Arène granitique	25	0,7	17,5	
Total			76	

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 de fondation en grave non traitée.
- Couche de fond de forme en arène granitique.

- **Accotements**

Épaisseur équivalente totale $e_{et} = 44 \text{ cm}$

Épaisseur minimale des matériaux traités $e_{mt} = 22 \text{ cm}$

Tableau VI.10. Épaisseur de la chaussée au niveau des accotements

Matériaux	Épaisseur réelle	Coefficient d'équivalence	Épaisseur équivalente	
Micro-béton bitumineux BB 0/10	5	2	10	Vérification 10+15=25 > 22 cm
Grave bitume GB 0/20	10	1,5	15	
Grave non traitée	22	1	22	✓ Vérifié
Total			47	

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

- Couche de roulement en micro-béton bitumineux 0/10.
- Couche d'accrochage en émulsion cationique.
- Couche de base en grave bitume 0/20.
- Couche d'imprégnation en cutback 0/1.
- Couche de fondation en grave non traitée.

VI.7. Dimensionnement des chaussées rigides

Le dimensionnement d'une chaussée rigide par la méthode forfaitaire passe par les étapes suivantes :

- Supposition d'une épaisseur de fondation en grave ciment variant entre 15 et 20 cm.
- Calcul de l'épaisseur équivalente de la couche de fondation en multipliant son épaisseur réelle par le coefficient d'équivalence du matériau considéré.
- Correction du module de réaction du sol support qui est appliquée en fonction l'épaisseur équivalente de la couche de fondation en utilisant l'abaque.
- Correction de la contrainte admissible de traction par flexion du béton de ciment.
- Détermination de l'épaisseur de la dalle.

VI.7.1. Calcul des charges

- **Charges réelles pondérées**

Tableau VI.11. Pondération des charges réelles

Aire	Coefficient de pondération	Charges réelles pondérées
Bouts bétonnés de la piste	1	86,47 t
Parking avions	1,2	103,764 t

- **Charges normales de calcul**

Tableau VI.12. Charges normales de calcul

Aire	Coefficient de correction	Charge pondérée corrigée
Bouts bétonnés de la piste	1	86,47 t
Parking avions	1	103,764 t

VI.7.2. Détermination de la couche de fondation

Dans le but d'assurer correctement les rôles de la couche de fondation et qui sont :

- Assurer la continuité de l'appui des dalles au niveau des joints.
- S'opposer au gonflement éventuel du terrain naturel.
- S'opposer à la remontée des fines par pompage au droit des joints.

La couche de fondation doit être traitée :

- L'emploi de la grave ciment est recommandé
- Le béton maigre est peu recommandé (plus cher et son utilité n'a pas été démontrée)
- L'épaisseur de la couche de fondation doit être entre 15 et 20 cm, trop épaisse le mode de fonctionnement de la structure de chaussée serait modifié.

Tableau VI.13. Epaisseur de la couche de fondation

	Epaisseur réelle	Coefficient d'équivalence	Epaisseur équivalente
Couche de fondation en grave ciment	20 cm	1,5	30 cm

VI.7.3. Caractéristiques du sol support

Un module de réaction K_0 caractérise le sol portant, ce module est mesuré sur le terrain naturel, et évalué à l'aide d'un essai de plaque effectué in situ, la valeur retenue pour notre sol support est de $K_0 = 60 \text{ MN/m}^3$. Dans les calculs on corrigera le module de réaction du sol, cette correction dépendra de l'épaisseur de la couche de fondation.

La correction est en fonction de l'épaisseur équivalente de la couche de fondation, la correction se fait grâce à l'abaque.

Ayant une épaisseur équivalente de **30 cm** de la couche de fondation en grave ciment et un module $K_0 = 60 \text{ MN/m}^3$, d'après l'abaque donné en annexe le module de réaction du sol corrigé sera $K_c = 85 \text{ MN/m}^3$.

VI.7.4. Correction de la contrainte admissible du béton

La résistance de traction par flexion est mesurée sur des éprouvettes à 90 jours, au cas où ces résultats ne sont pas disponibles, l'essai à 28 jours prendra place en supposant une augmentation de 10% de la résistance du béton entre 28 et 90 jours. Elle est mesurée par la formule :

$$\sigma'_{bt} = \frac{f_{t90}}{C_s}$$

avec

f_{t90} : Contrainte de traction par flexion à la rupture du béton de ciment à 90 jours = **5.6 Mpa**.

C_s : Coefficient de sécurité qui change en fonction du type de la chaussée rigide.

L'expérience a montré que dans le sud algérien l'ouverture des joints transversaux risque d'être importante sous l'action du retrait thermique et hydraulique et le transfert de charges entre dalles de béton au droit de ces joints. A cet effet le **RTTA recommande** de gousonner l'ensemble des joints transversaux. Donc C_s prend la valeur de **1,8**. Le calcul sera donc :

$$\sigma'_{bt} = \frac{5,6}{1,8} = 3,1 \text{ Mpa}$$

Ci-dessous, un schéma montrant la configuration des types de joints dans la dalle :

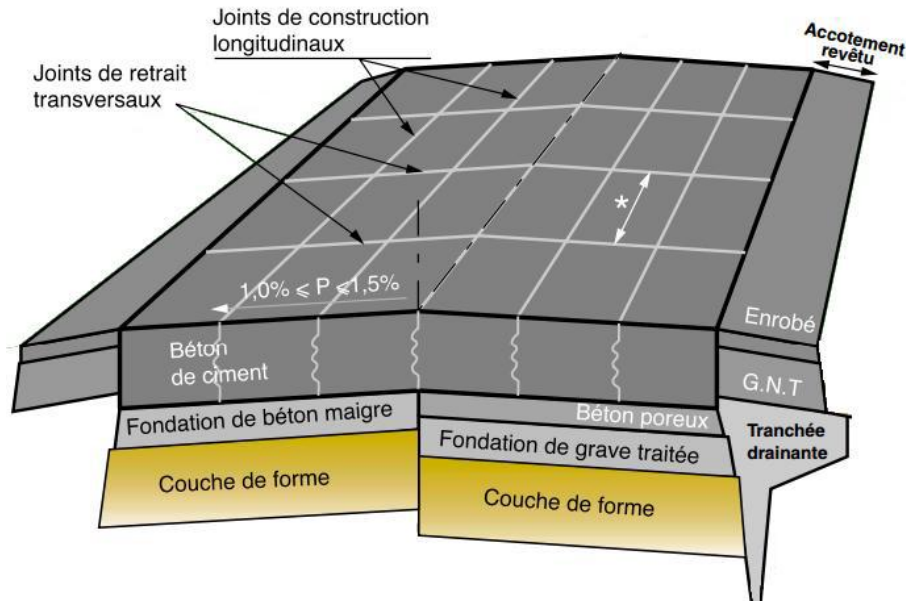


Figure VI.5. Schéma des joints longitudinaux et transversaux

VI.7.5. Détermination de l'épaisseur de la dalle

L'épaisseur de la dalle se détermine en fonction de la charge normale de calcul P'' calculée précédemment, du module de réaction corrigé du sol support et de la contrainte admissible de traction par flexion, en utilisant l'abaque de dimensionnement des chaussées rigides qui diffère d'un aéronef à un autre.

Ce qui fait qu'avec une contrainte admissible de 3,1 Mpa et à partir de l'abaque du dimensionnement des chaussées rigides propre à l'avion considéré Ilyushin Il-62M montrée dans l'annexe on obtient :

Tableau VI.14. Epaisseur équivalente de la dalle

Aire	Charge pondérée P''	Epaisseur de grave ciment	K_c	Epaisseur équivalente de la dalle
Bouts bétonnés de la piste	86,47 t	20 cm	85 Mpa	32 cm
Parking avions	103,764 t	20 cm	85 Mpa	35 cm

VI.7.6. Joints de construction

Ce type de chaussée nous exige de mettre en place des goujons dans les joints transversaux, ces goujons seront parallèles à l'axe de la chaussée, pour les joints longitudinaux il y a lieu d'alterner entre goujons et fer de liaison selon le schéma dans la figure VI.6 afin de permettre un certain déplacement des dalles lors des effets thermiques.

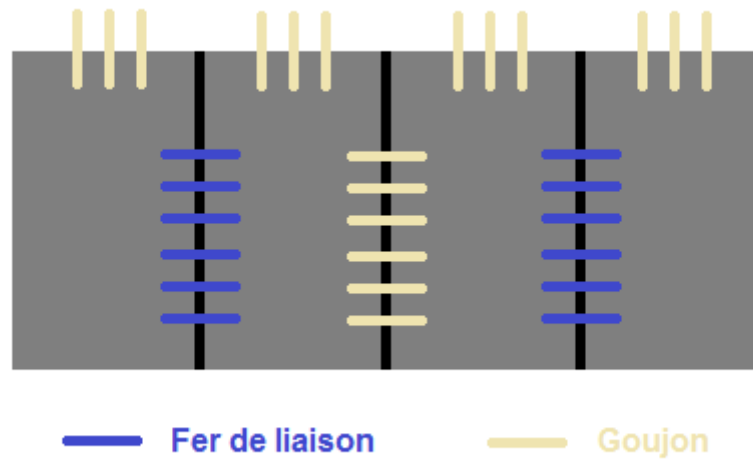


Figure VI.6. Disposition des goujons et des fers de liaison

VI.7.6.1. Caractérisation des goujons

Les goujons assurent le transfert d'effort tranchant aux joints, d'abord en combinaison avec les plus gros granulats du béton et ensuite seuls dès que l'engrènement par les gros granulats devient insuffisant du fait du retrait du béton et de l'usure de ces granulats dans le temps.

Ces goujons ne doivent pas induire d'efforts mécaniques de traction dans le béton lors des mouvements des dalles liés aux phénomènes de contraction ou d'allongement par effets thermiques ou hydriques. Ils doivent donc pouvoir glisser librement dans leur logement. Pour garantir cette possibilité de glissement du goujon dans le béton, les goujons sont lisses, rectilignes, sans aspérités aux extrémités et enduits d'une fine couche de produit bitumineux ou plastique (une couche trop épaisse annule le rôle du goujon).

Les goujons sont en acier de nuance supérieure ou égale à **Fe E 235**, et sont disposés au droit des joints, à mi-épaisseur des dalles, parallèlement ou perpendiculairement à l'axe de la voie.

En se référant à la norme **NF P 98-170** « Chaussée en béton de ciment » [4], nous tirons la géométrie des goujons du tableau VI.15 :

Tableau VI.15. Caractéristiques des goujons

Epaisseur de la dalle	Diamètre des goujons	Longueur minimale des goujons	Espacement théorique des goujons
16 à 20 cm	25 cm	45 cm	30 cm
21 à 28 cm	30 cm	45 cm	30 cm
29 à 40 cm	40 cm	50 cm	40 cm

Se basant sur l'épaisseur de notre dalle, nous optons pour des goujons de diamètre de 40 mm, avec une longueur de 50 cm et un espacement de 40 cm.

VI.7.6.2. Caractérisation des fers de liaison

Le rôle des fers de liaison est de maintenir les joints de chaussée fermés afin que le transfert de charge soit assuré par l'engrènement des profils latéraux des deux dalles adjacentes. Ils sont constitués de barres en acier haute adhérence avec une nuance d'au moins de Fe E 400. Le diamètre est fonction de l'épaisseur de la dalle de béton. Les fers de liaison sont placés latéralement.

LA détermination de la section des fers de liaison se fait selon la formule suivante donnée par la norme **NF P 98 170** :

$$S = \frac{f \times l \times p}{Ls}$$

avec

f : coefficient de frottement du revêtement sur support.

l : la largeur séparant le joint liaisonné au bord libre le plus proche.

p : poids du revêtement au mètre carré.

Ls : contrainte admissible de l'acier, 75% de la limite élastique. (Fe E 400).

- Bouts bétonnés de la piste

$$S = \frac{1,5 \times 2,5 \times (2,5 \times 32)}{(300 \times 100)} = 100 \text{ mm}^2$$

$$\phi = \sqrt{\frac{4 \times S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 100}{\pi}} = 11,28 \text{ mm}$$

La norme **NF P 98 170** stipule que le diamètre des fers de liaison est compris entre **10 et 14 mm**. Nous optons pour les fers de liaison $\varnothing = 12 \text{ mm}$.

- **Parking avions**

$$S = \frac{1,5 \times 2,5 \times (2,5 \times 35)}{(300 \times 100)} = 109,375 \text{ mm}^2$$

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4 \times S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 109,375}{\pi}} = 11,80 \text{ mm}$$

Donc nous opterons pour des fers de liaison de $\varnothing = 12 \text{ mm}$.

Récapitulons, dans le tableau VI.16, les dimensions des fers de liaison :

Tableau VI.16. Dimensions des fers de liaison

Diamètre des fers de liaison	Longueur minimale des fers de liaison	Espacement théorique des fers de liaison
Bouts bétonnés de la piste	50	40
Parking avions	50	40

n.b : la longueur minimale des goujons ainsi que l'espacement théoriques sont applicable aux fers de liaison.

VI.7.6.3. Disposition des goujons et de fers de liaison

Nous avons déterminé précédemment l'espacement des goujons et des fers de liaison, reste à prendre en considération que la disposition des aciers doit permettre une distance minimale supérieure de 30cm entre les extrémités de 2 barres perpendiculaire et ceci selon le « fascicule 28 -exécution des chaussées en béton- positionnement des goujons ».

Pour la disposition nous proposons le schéma dans la figure VI.7 avec **55 cm** d'espacement au coin de la dalle afin de respecter l'espacement minimum décrit précédemment, **35 cm** pour la barre qui la suit afin d'avoir **40 cm** sur les autres barres.

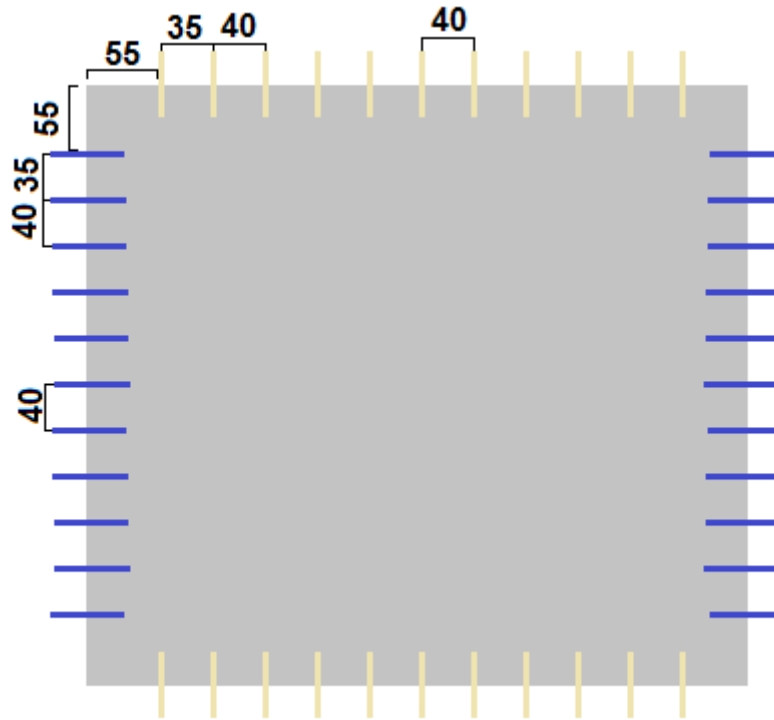


Figure VI.7. Espacement des goujons et des fers de liaison

VI.7.7. Dalle de transition

Entre une chaussée en béton une structure en enrobés, il faut prévoir une dalle de transition sur une longueur comprise entre **1,3** et **2 m**.

Un joint de dilatation transversal et goujonné sera réalisé entre la dernière dalle et la dalle de transition.

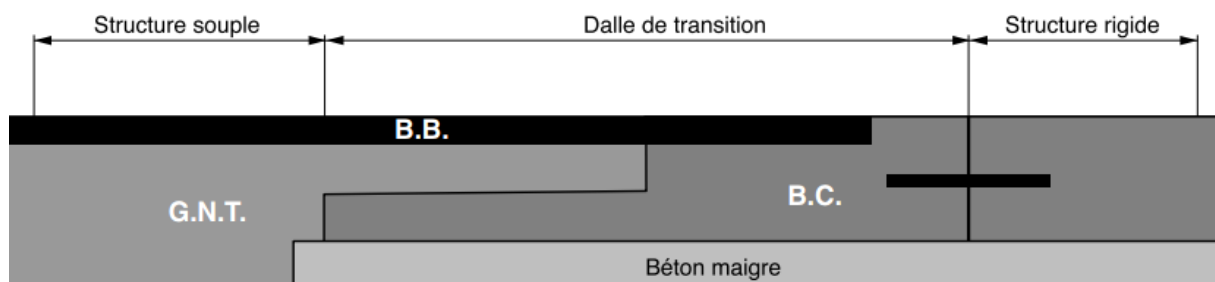


Figure VI.8. Schématisation d'une dalle de transition

VI.8. Conclusion

La philosophie du dimensionnement d'une chaussée à structure souple et rigide est la même, ils ont en commun une étape clé qui est la détermination de la charge de calcul, le résultat obtenu en premier est une épaisseur équivalente.

Afin de traduire cette épaisseur équivalente lors de la réalisation, on détermine les épaisseurs réelles qui constituent la chaussée afin que cette dernière résiste face aux diverses sollicitations auxquelles elle sera soumise tout au long de sa durée de vie.

CHAPITRE VII.

Charges admissibles

CHAPITRE VII. Charges admissibles

VII.1. Introduction

L'éligibilité d'un aéronef de se desservir d'un aéroport par rapport à la portance de sa chaussée se détermine à travers une méthode élaborée par l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale, appelée la méthode ACN – PCN.

Cette méthode est imposée aux fabricants d'avions, applicable depuis 1983, par l'ensemble des états membres pour la gestion de leurs aéroports. A cet effet, il sera traité dans cette partie le calcul des charges admissibles.

VII.2. La méthode ACN-PCN

La méthode ACN - PCN, dont les conditions d'application sont développées par la suite, peut se résumer par le principe général suivant : Le PCN d'une chaussée indique qu'un avion dont l'ACN est inférieur ou égal à ce PCN peut utiliser cette chaussée sans autre restriction que celle pouvant être liée à la pression des pneumatiques. Ainsi, un avion peut utiliser sans restriction une chaussée si deux conditions sont simultanément vérifiées, à savoir que :

L'ACN de l'avion - déterminé pour le type de chaussée (souple ou rigide) et la catégorie de son sol support - soit inférieur ou égal au P.C.N. de cette chaussée.

La pression des pneumatiques de l'avion n'excède pas la pression maximale admissible publiée pour la chaussée.

Si l'une au moins de ces conditions n'est pas respectée, l'admissibilité de l'avion est soumise aux règles de la procédure de dérogation.

VII.3. Publication des charges admissibles

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

Cette publication doit tenir compte des éléments suivants :

- Lorsqu'une piste est composée de deux types de chaussées différentes, une publication doit être faite pour chacun des types.
- Lorsque la piste ou une partie de piste est d'un type unique mais comporte différentes zones non homogènes en portance (différents PCN), les charges admissibles de la zone la plus faible sont retenues pour caractériser l'ensemble de la piste ou de la partie de la piste.

La portance d'une chaussée d'aéroport est communiquée en indiquant le PCN de la chaussée suivie par quatre lettres de code, relatifs aux renseignements suivants :

- Le type de chaussée considérée. La catégorie du sol support.
- La pression maximale admissible des pneumatiques.
- La base d'évaluation.

VII.4. Détermination du PCN

VII.4.1. Détermination du PCN pour la 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 :

$$RSI = \frac{e^2}{1000} \times \frac{6,12}{\left[4,231 - 5,013 \times \log\left(\frac{CBR}{0,6}\right) + 2,426 \times \left(\log\left(\frac{CBR}{0,6}\right)\right)^2 - 0,473 \times \left(\log\left(\frac{CBR}{0,6}\right)\right)^3 \right]^2}$$

a.n. :

$$RSI = 46,015$$

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

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

La figure VII.1 représente l'abaque qui fournit les valeurs du coefficient H(CBR) appropriées.

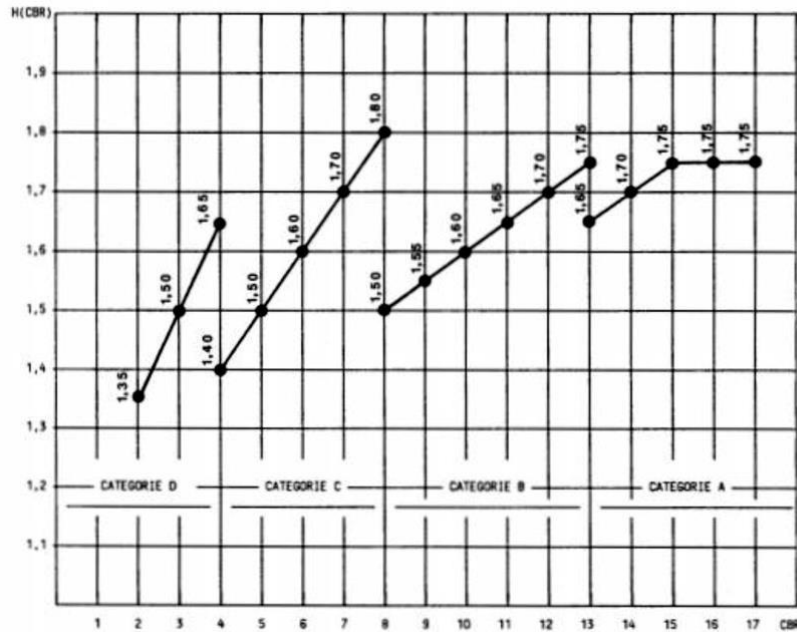


Figure VII.1. Valeurs du H(CBR) en fonction du CBR

Depuis l'abaque on tire : $H(CBR) = 1.6$.

$$PCN = 1,6 \times 46,015$$

$$PCN = 73$$

Selon le tableau de l'annexe. La nouvelle piste sera :

- Une chaussée souple **F**.
- Le sol support est de catégorie **B** (CBR=10).
- La pression des pneumatiques de l'Ilyushin Il-76MD est élevée, donc pas de limite de pression, donc la lettre est **W**.
- Base d'évaluation est de code **T**.

D'où le PCN publiable pour la chaussée souple est :

PCN 73/F/B/W/T.

VII.4.2. Détermination du PCN pour la chaussée rigide

Pour la détermination du PCN nous allons calculer dans un premier temps la RSI (roue simple isolée) qui est fondé sur la méthode de la Portland Cement Association et ce grâce à des abaques édités par le STAC, ensuite la valeur du PCN est obtenue en multipliant la RSI par un coefficient qui dépend du module de réaction du sol $K_{\text{corrigé}}$.

En prenant une épaisseur de la dalle de **32 cm**, $K_{\text{corrigé}} = 85 \text{ MN/m}^3$ et une contrainte admissible du béton de **3.1 MPA**, et en projetant sur l'abaque jointe dans l'annexe nous obtenons une valeur de la RSI de :

$$RSI = 40 t$$

Le PCN se définit comme le produit de la RSI par un coefficient fonction du module de réaction du sol $K_{\text{corrigé}}$ et la catégorie du sol support associée.

$$PCN = G(K) \times RSI$$

La figure VII.2 représente l'abaque qui fournit les valeurs du coefficient $G(K)$ appropriées :

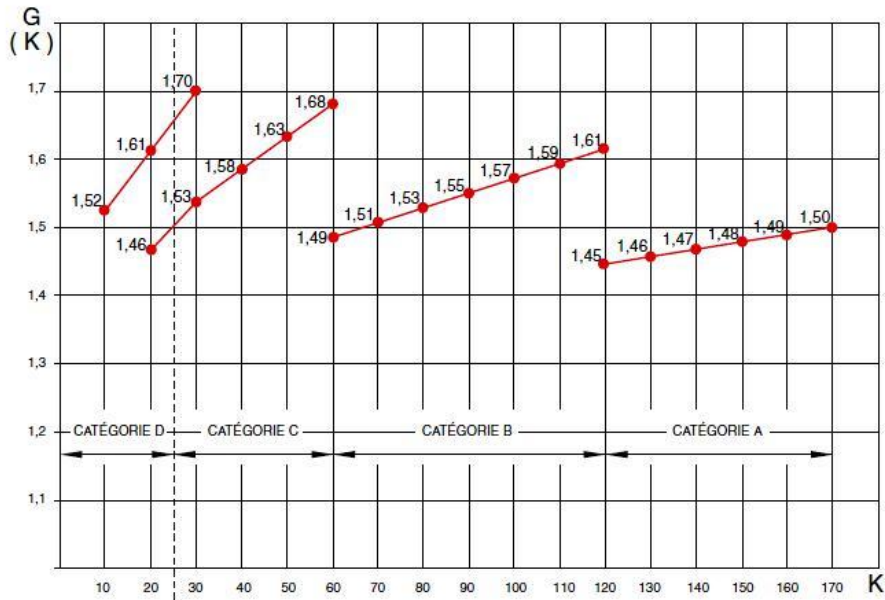


Figure VII.2. Valeurs du $G(K)$ en fonction du K

Avec un $K_{\text{corrigé}} = 85 \text{ MN/m}^3$ nous obtenons une valeur pour $G(K)$ de **1.54**

$$PCN = 1,54 \times 40 = 61,6$$

D'où le PCN publiable pour les bouts bétonnés est :

$$PCN \text{ 61/R/B/W/T.}$$

VII.5. Détermination de l'ACN

Il existe des méthodes numériques afin de calculer l'ACN pour les chaussées souples et rigides mais il est rarement nécessaire de devoir le calculer, en effet les ACN des différents aéronefs sont publiés par l'OACI et les manufacturiers à l'aide d'outils informatiques. Les valeurs des ACN ont été calculées pour les 4 types de sol et les 2 types de chaussées en fonction du poids minimal et maximal. Ces ACN sont publiés sous la forme des tableaux VII.1 et VII.2 :

Tableau VII.1. Valeurs de l'ACN pour l'Ilyushin Il-76MD

		Chaussées souples				Chaussées rigides			
		A	B	C	D	A	B	C	D
Masse max au roulage	190 000 kg	52	58	68	83	51	59	68	77
Masse à vide opérationnelle	89 000 kg	16	17	19	24	18	18	20	22

A partir du tableau précédent, et des caractéristiques du sol support, il est possible de déterminer l'ACN à partir de la formule suivante :

$$ACN = ACN_{min} + (ACN_{max} - ACN_{min}) \times \frac{(Mt - M_{min})}{(M_{max} - M_{min})}$$

avec

M_{max} : La masse maximale au roulage.

M_{min} : La masse à vide opérationnelle

Mt : La masse réelle de l'avion.

Tableau VII.2. Valeurs de l'ACN pour les deux types de chaussée

	Chaussée souple	Chaussée rigide
ACN	58	59

VII.6. Comparatif des charges appliquées et admissibles

Si l'ACN \leq PCN, l'aéronef considéré est admis sans restriction.

Si l'ACN \geq PCN, une procédure de dérogation peut être étudiée, elle est détaillée dans le RRTA.

Pour le cas de l'aérodrome de Tin Zaouatine :

- **Chaussée souple**

$$58 < 73 \rightarrow ACN < PCN$$

✓ vérifié

- **Chaussée rigide**

$$59 < 61 \rightarrow ACN < PCN$$

✓ vérifié

VII.7. Conclusion

La méthode ACN-PCN est un outil de sécurité et de gestion d'infrastructures aéroportuaires, se permettant de refuser des appareils qui pourraient détériorer la chaussée et ainsi réduire sa durée de vie.

A travers ce chapitre nous avons vérifié que le PCN dépasse l'ACN que ça soit pour la chaussée souple ou bien rigide. A l'issue, on déduit l'Ilyushin Il-76MD peut manœuvrer sans restriction sur l'aire de l'aérodrome de Tin Zaouatine.

CHAPITRE VIII.

Assainissement

CHAPITRE VIII. Assainissement

VIII.1. Introduction

Les structures aéroportuaires nécessitent une étude précise de l'évacuation des eaux vu les larges superficies des ouvrages et les faibles pentes qui ne permettent pas d'écouler les eaux stagnées lorsque les revêtements ne sont pas étanches.

Pour s'opposer contre les menaces de l'eau sur les chaussées d'aérodromes, un réseau de drainage est jugé nécessaire.

L'assainissement des chaussées doit se soumettre à assurer l'évacuation des eaux s'écoulant directement sur le revêtement de la chaussée (danger d'hydroplaning), ainsi que l'évacuation des eaux d'infiltration à travers le corps de chaussée (danger de ramollissement du terrain sous-jacent et effet de gel) et les terrains en amont de la plate-forme.

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.

VIII.2. Dimensionnement des ouvrages d'évacuation

Le dimensionnement de différents types d'ouvrages d'assainissement résulte de la comparaison du débit d'apport et le début de saturation de chaque type d'ouvrage.

VIII.2.1. Estimation du débit d'apport Q_a

Le débit d'apport est donné par la formule suivante :

$$Q_a = K \times C \times I_t \times A$$

avec

K = 0,2778 : coefficient permettant la conversion des unités (les mm/h en l/s).

I_t : intensité moyenne de la pluie de fréquence déterminée pour une durée égale au temps de concentration (mm/h).

C : coefficient de ruissellement.

VIII.2.2. Détermination de l'intensité de pluie I_t

L'intensité de pluie est donnée par la formule suivante :

$$I_t = I \times \left(\frac{t_c}{24}\right)^\beta$$

avec

$\beta = b - 1$

I : Intensité de la pluie (mm/h).

t_c : temps de concentration (h).

VIII.2.3. L'intensité horaire I

L'intensité horaire est donnée par la formule suivante :

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

VIII.2.4. Pluie journalière maximale annuelle P_j

La pluie journalière maximale annuelle P_j est donnée par la formule de GALTON suivante :

$$P_j = \frac{P_{j \text{ moy}}}{\sqrt{Cv^2 + 1}} \times e^{u \sqrt{\ln(Cv^2 + 1)}}$$

avec

P_{j moy} : pluie journalière moyenne.

Cv : coefficient de variation climatique.

U : Variation de GAUSS, donnée par le tableau VIII.1 :

Tableau VIII.1. Variables de GAUSS

Fréquence	50	20	10	5	2	1
Période de retour	2	5	10	20	50	100
Variable de GAUSS	0,00	0,841	1,282	1,645	2,057	2,327

VIII.2.5. Coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement présente le rapport de volume d'eau qui ruisselle sur cette surface au volume d'eau reçu sur elle. Il peut être choisi suivant le tableau VIII.2 :

Tableau VIII.2. Coefficients de ruissellement

Type de chaussée	Coefficient de ruissellement
Chaussée revêtement en enrobés	0,80 à 0,95
Accotement	0,15 à 0,40
Talus	0,10 à 0,30
Terrain naturel	0,05 à 0,20

VIII.2.6. Débit de saturation

Le débit de saturation est donné par la formule de MANNING - STRICKLER suivante :

$$Q_s = S_m \times K_{st} \times R_h^{\frac{2}{3}} \times j^{\frac{1}{2}}$$

avec

S_m : section mouillée.

K_{st} : coefficient de STRICKLER, **70** pour les dalots et **80** pour les buses.

R_h : rayon hydraulique (m). $R_h = S/P$.

J : la pente moyenne de l'ouvrage.

VIII.2.7. Dimensionnement de buses

Le dimensionnement d'une buse résulte de la comparaison entre le débit d'apport et le débit de saturation de cette buse, c'est-à-dire il faut que Q_a ne doive pas dépasser Q_s . Donc le principe consiste à déterminer le rayon de la buse qui vérifie cette condition.

$$Q_s = \frac{S_m \times K_{st} \times R_h^{\frac{2}{3}} \times j^{\frac{1}{2}}}{2 \times Q_a} = K \times C \times I_t \times A$$

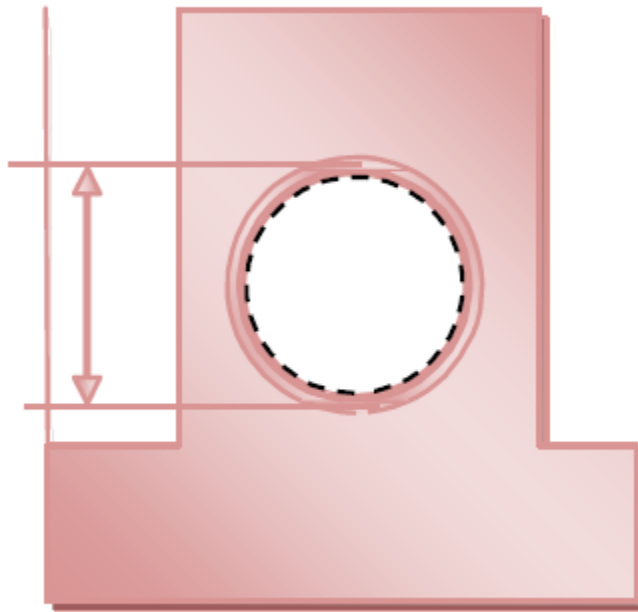


Figure VIII.1. Schéma d'une buse

$$S_m = \frac{1}{2} \times \pi \times R^2$$

avec

S_m : section mouillée.

R_h : rayon hydraulique $R_h = R/2$.

$K_{st} = 80$ pour les buses en béton.

J : la pente de pose égale la pente de profil en travers.

$$Q_s = 80 \times \left(\frac{R}{2}\right)^{\frac{2}{3}} \times \frac{\pi}{2} \times R^2 \times J^{\frac{1}{2}}$$

$$Q_s = Q_a \rightarrow R = \sqrt{\frac{\frac{5}{2^{\frac{5}{3}}} \times Q_a}{80 \times \pi \times \sqrt{J}}}$$

Une fois le rayon R est déterminé on prend le diamètre de la buse $\varnothing = 2R$.

VIII.2.8. Dimensionnement de fossés

Les fossés récoltent les eaux de ruissellement venant de la chaussée et de l'accotement. Pour notre étude on adopte des fossés en béton, ceci est fonction des pentes du fossé et la nature des matériaux du sol support. Le profil en travers hypothétique de fossé est donné dans la figure VIII.2 :

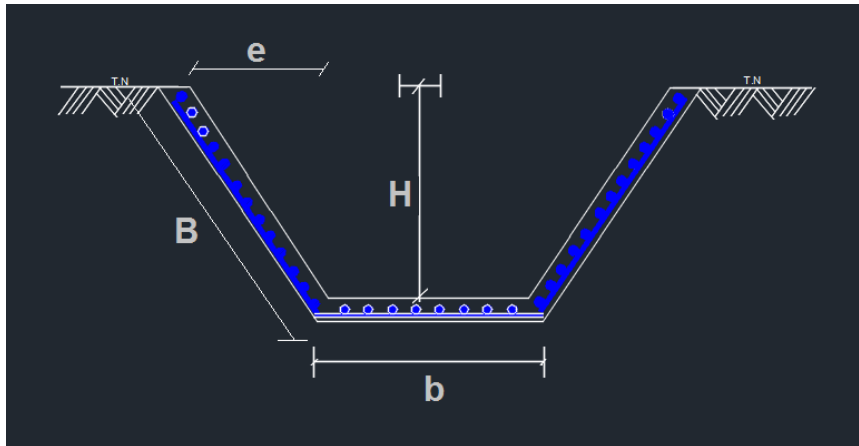


Figure VIII.2. Schéma d'un fossé trapézoïdal

On fixe la base du fossé à ($b = 50 \text{ cm}$) et la pente du talus à ($1/n = 1/1=1$) d'où la possibilité de calcul le rayon hydraulique en fonction de la hauteur h .

VIII.2.8.1. Calcul de la surface mouillée

$$S_m = b \times H + 2 \times \frac{e \times h}{2}$$

$$\tan \alpha = \frac{h}{e} = \frac{1}{n}$$

d'où

$$e = n \times h$$

$$S_m = b \times h + n \times h^2 = h \times (b + n \times h)$$

VIII.2.8.2. Calcul du périmètre mouillé

$$P_m = b + 2 \times B$$

avec

$$B = \sqrt{h^2 + e^2} = \sqrt{h^2 + e^2 \times h^2} = h \times \sqrt{1 + n^2}$$

$$P_m = b + 2 \times h \times \sqrt{1 + n^2}$$

VIII.2.8.3. Calcul du rayon hydraulique

$$R_h = \frac{S_m}{P_m} = \frac{h \times (b + n \times h)}{b + 2 \times h \times \sqrt{1 + n^2}}$$

Les dimensions des fossés sont obtenues en établissant l'égalité du débit d'apport et débit d'écoulement au point de saturation. La hauteur (h) d'eau dans le fossé sera obtenue en établissant l'égalité suivante :

$$Qa = Qs \Leftrightarrow K \times C \times I_t \times A = S_m \times K_{st} \times R_h^{\frac{2}{3}} \times J^{\frac{1}{2}}$$

$$Qa = K_{st} \times h \times (b + n \times h) \times \left[\frac{h \times (b + n \times h)}{b + 2 \times h \times \sqrt{1 + n^2}} \right]^{\frac{2}{3}} \times J^{\frac{1}{2}}$$

VIII.2.9. Calcul hydraulique

VIII.2.9.1. Pluie journalière maximale annuelle P_j

$$P_j = \frac{P_{j \text{ moy}}}{\sqrt{Cv^2 + 1}} \times e^{u \sqrt{\ln(Cv^2 + 1)}}$$

Nous avons les données pluviométriques de notre projet comme suit :

- Pluie moyenne journalière maximale $P_j = 15,22 \text{ mm}$.
- Exposant climatique $b = 0,27$
- Coefficient de variation climatique $Cv = 0,2$.
- Variable de GAUSS $u = 1,282$.

$$P_j = 19,24$$

VIII.2.9.2. Intensité horaire I

$$I = \frac{19,24}{24} = 0,80 \text{ mm/h}$$

VIII.2.10. Dimensionnement des fossés

Surfaces

On prend la longueur du fossé $L = 300 \text{ m}$

- Surface revêtue

$$S1 = 22,5 \times 300 = 13500 \text{ m}^2 = 0,0135 \text{ km}^2$$

- Surface de la bande

$$S2 = 22,5 \times 300 = 13500 \text{ m}^2 = 0,0135 \text{ km}^2$$

- Surface totale

$$S = 0,0135 + 0,0135 = 0,02925 \text{ km}^2$$

Coefficient de ruissellement

$$C = \frac{0,8 \times 1,35 + 0,15 \times 1,575}{2,925} = 0,45$$

Débit de crue

Nous avons les débits pour chaque surface :

- Piste

$$t_c = 0,127 \times \sqrt{\frac{0,0135}{0,01}} = 0,14 \text{ h}$$

$$I_t = 0,8 \times \left(\frac{0,14}{24}\right)^{0,32-1} = 26,44 \text{ mm/h}$$

d'où

$$Qa = 0,2778 \times 0,45 \times 26,44 \times 0,0135 = 0,0367 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Bandes

$$t_c = 0,127 \times \sqrt{\frac{0,0135}{0,0175}} = 0,11 \text{ h}$$

$$I_t = 0,8 \times \left(\frac{0,11}{24}\right)^{0,32-1} = 31,15 \text{ mm/h}$$

d'où

$$Qa = 0,2778 \times 0,45 \times 31,15 \times 0,0135 = 0,0443 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Accotements

$$t_c = 0,127 \times \sqrt{\frac{0,0135}{0,015}} = 0,12 \text{ h}$$

$$I_t = 0,8 \times \left(\frac{0,12}{24}\right)^{0,32-1} = 29,36 \text{ mm/h}$$

d'où

$$Qa = 0,2778 \times 0,45 \times 29,36 \times 0,0135 = 0,0406 \text{ m}^3/\text{s}$$

Le débit total généré par toutes les surfaces est donc :

$$Qa = 0,0367 + 0,0443 + 0,0406 = 0,1216 \text{ m}^3/\text{s}$$

Débit de saturation du fossé

Le débit de saturation est donné par la formule de MANNING-STRICKLER :

$$Qs = S_m \times K_{st} \times R_h^{\frac{2}{3}} \times j^{\frac{1}{2}}$$

- Caractéristiques du fossé

Pente de talus 2/10 = 1/0.2 (1/n) ce qui donne **n = 5**.

K = 50 fossé en béton.

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

On prend donc **b=50 cm** et **h=30 cm**.

VIII.2.11. Dimensionnement des buses

Pour dimensionner les buses, deux paramètres à déterminer : Q et I.

Pour le débit Q il est calculé par la formule : **Q= k.C.I.A**

Tandis que I est la pente de radier qui est imposé par la pente du profil en travers qui prend au maximum une valeur de 0.5% et ceci pour éviter les glissements des conduites sous l'effet des fortes charges.

Avec un rapport de remplissage ($\rho=0,5$).

Selon la formule de MANNING-STICKLER on a :

$$D = 2 \times \left(\frac{2^{\frac{2}{3}} \times Q}{\pi \times K_{st} \times I^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{8}}$$

avec

I = 1 ‰ : Pente de radier.

K_{st} = 80 buse en béton armé.

$$Q_{max} = K \times C \times I \times A = 0,1206 \text{ m}^3/\text{s}$$

D'où

$$D = 0,196 \approx 200 \text{ mm}$$

On optera donc pour le diamètre adéquat des diamètres normalisés commerciaux : **Ø200 ; Ø400 ; Ø500 ; Ø800 ; Ø1000 ; Ø1200 ; Ø1500.**

Donc **Ø = 200 mm.**

VIII.3. Plan du système de drainage

Le présent projet se situe dans une zone désertique ayant un climat aride (sec et chaud), possédant une pluviométrie presque nulle, d'où on déduit une faible quantité d'eau qui est absorbée rapidement par le sol.

Ceci nous mène à choisir un système de drainage économique qui consiste à faire rejeter les eaux tombées sur la chaussée de la piste en les laissant ruisseler sur le sol, on donne alors aux bandes d'envol une pente descendante depuis l'ouvrage. Ensuite, on réalise des fossés trapézoïdaux en béton tout le long de la piste, de la bretelle et du parking avions afin d'évacuer les eaux zénithales.

Joint dans les pièces graphiques, la disposition du système de drainage conçu par le logiciel CIVIL 3D.

VIII.4. Conclusion

L'aérodrome de Tin Zaouatine respecte avec ce dimensionnement les normes en vigueur. D'une manière générale, il est essentiel d'assurer un système d'assainissement fiable et économique, vue la pluviométrie du site qui est très faible, pour cela des fossés en béton sont prévus tout le long de la piste et de ses aménagements (bretelle, aire de stationnement), et des buses afin d'assurer la continuité de l'écoulement d'eau.

CHAPITRE IX.

Balisage et signalisation

CHAPITRE IX. Balisage et signalisation

IX.1. Introduction

Afin de faciliter et rendre plus sûr l'utilisation de la piste et de ses dépendances, la mise en place d'une série de dispositifs est essentielle.

Ces dispositifs sont constitués principalement de marquages horizontaux, balises et des feux standardisés, afin de permettre au pilote d'avoir des repères fixes et fiables.

On notera qu'il y a le balisage et la signalisation (signalisation de jour et signalisation lumineuse).

IX.2. Balisage et signalisation du jour

Le balisage : peut être réalisé soit par des marques, soit par des balises et marques suivant qu'il s'agit de parties revêtues ou non revêtues. Les marques ne font pas saillies sur la surface qui les porte et sont visibles en vol. Les balises font saillie au-dessus du sol, émergent de la végétation éventuelle et sont visibles pendant le roulement.

La signalisation : des feux et signaux dans le but de contrôler la circulation aérienne et de reconstituer artificiellement les références visuelles minimales nécessaires aux manœuvres d'approche, d'atterrissage, de circulation au sol et de décollage.

IX.2.1. Indicateur de la direction du vent (manche à air)

L'article 5.1.1.3 donne les dimensions de chaque partie du manche à vent, la figure IX.1 résume les dimensions minimales de chaque élément.

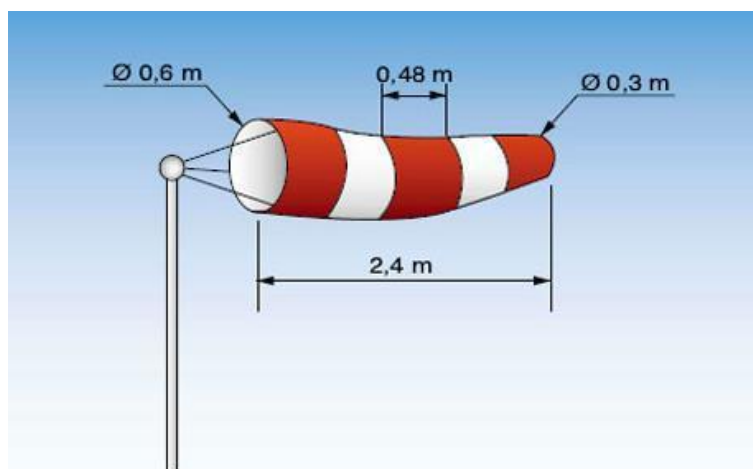


Figure IX.1. Dimensions de la manche à air

D'après l'article 5.1.1.4 de l'annexe 14 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 sa couleur être choisie de manière à la rendre suffisamment visible, la préférence ira au blanc.

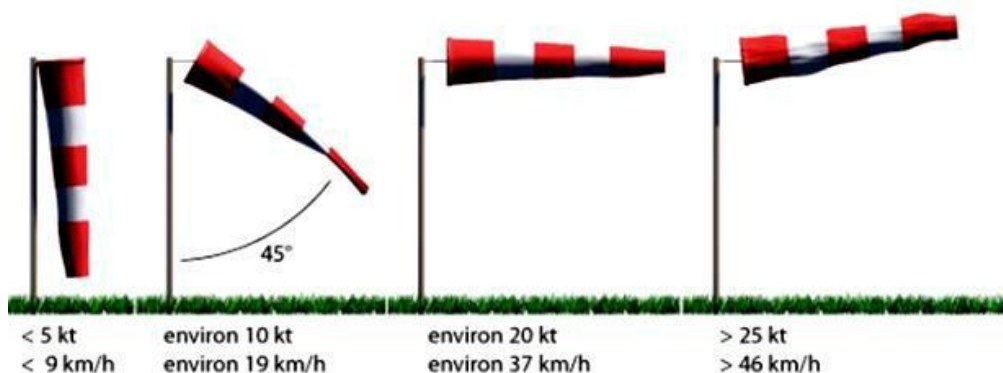


Figure IX.2. Interprétation de la position de la manche à air

IX.2.2. Marques d'identification de piste

Les marques d'identification de piste doivent être apposées aux seuils des pistes revêtues. Les marques d'identification de piste sont constituées sur chaque seuil par un nombre à deux chiffres, fixé par l'autorité aéronautique, ce nombre de deux chiffres est le nombre entier de 01 à 36 le plus proche du dixième de l'azimut magnétique de l'axe de la piste mesuré à partir du nord magnétique.

Notre piste est orientée 03/21, ce qui fait que les marques de piste auront les dimensions montrées dans la figure IX.3 :

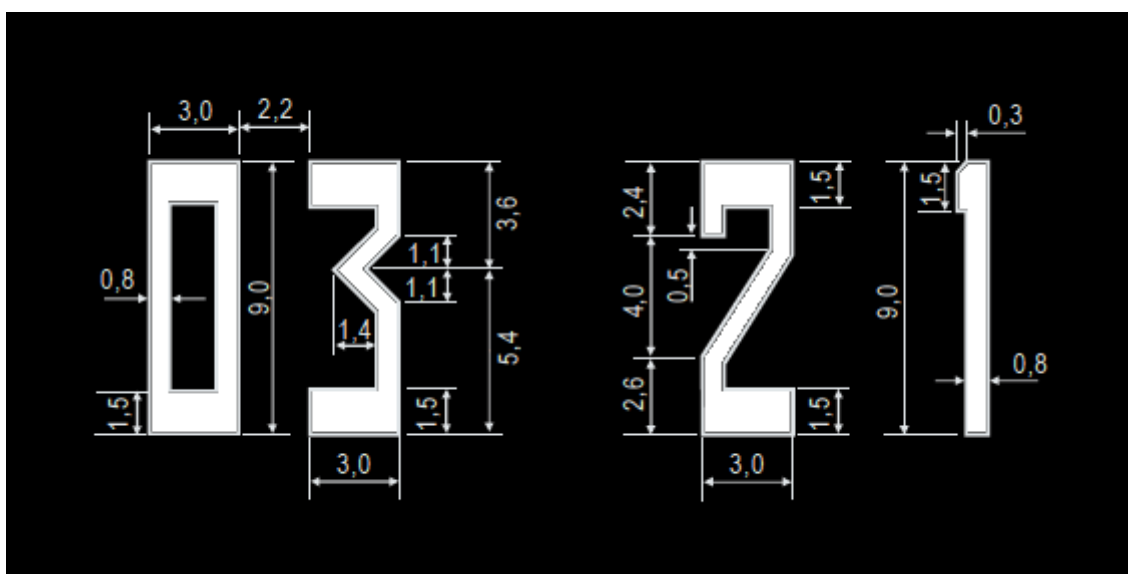


Figure IX.3. Forme et proportions des chiffres des marques d'identification de piste

IX.2.3. Marques de seuil

Toutes les pistes revêtues doivent être dotées de marques de seuil. D'après les recommandations de l'annexe 14 nous avons pu dresser le tableau IX.1 :

Tableau IX.1. Caractéristiques des marques de seuil

Emplacement	Longueur	Nombre de bandes	Largeur d'une bande	Espacement entre bandes	Espacement après la dernière bande
6 m en aval du seuil	30 m	12	1,7 m	1,7 m	2,1 m

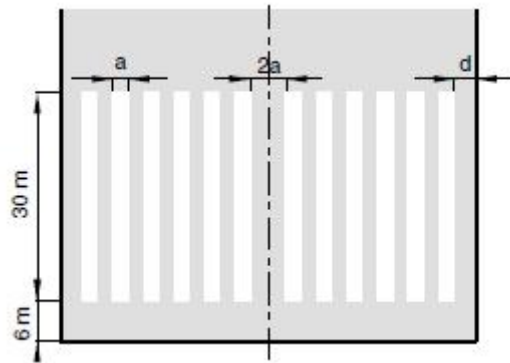


Figure IX.4. Disposition des marques de seuil d'une piste de 45 m de largeur

IX.2.4. Marques d'axe

D'après l'article 5.2.3.3 les marques d'axe de piste seront constituées par une ligne de traits uniformément espacés de couleur blanche. La longueur d'un trait et de l'intervalle qui le sépare du trait suivant ne sera pas inférieure à 50 m ni supérieure à 75 m. La longueur de chaque trait sera au moins égale à la longueur de l'intervalle ou à 30 m si la longueur de l'intervalle est inférieure à 30 m.

La largeur des traits est fonction de la catégorie d'exploitation de la piste :

0,30 m pour les pistes à vue. Le schéma dans la figure IX.5 est un récapitulatif :

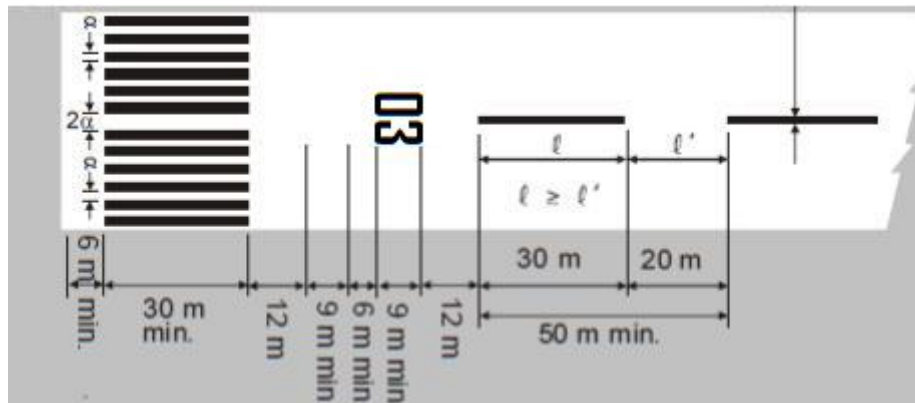


Figure IX.5. Marques d'identification de piste, d'axe de piste et du seuil de piste

IX.2.5. Marques latérales

Entre les deux seuils de chaque piste revêtue, on disposera de marques latérales de piste afin d'accentuer le contraste entre les bords de la piste et les accotements.

Les marques latérales de piste se présentent sous la forme d'une ligne continue tracée entre les deux seuils le long du bord de piste avec comme limite extérieure le bord de la piste.

La largeur des marques latérales est de **0.9 m**.

IX.2.6. Marques axiales de la bretelle

L'article 5.2.8.1 stipule l'obligation de disposer de marques axiales sur les voies de circulation, postes de dégivrage/antigivrage et aires de trafic avec revêtement lorsque le chiffre de code est 4 de manière à assurer un guidage continu entre l'axe de la piste et les postes de stationnement d'aéronef.

A l'intersection d'une voie de circulation et d'une piste, lorsque la voie de circulation est utilisée comme sortie de piste, il est recommandé que les marques axiales de voie de circulation soient raccordées aux marques d'axe de piste sur une certaine longueur comme il est indiqué sur la figure IX.6 .

Les marques axiales de voie de circulation auront au moins 15 cm de largeur et seront ininterrompues.

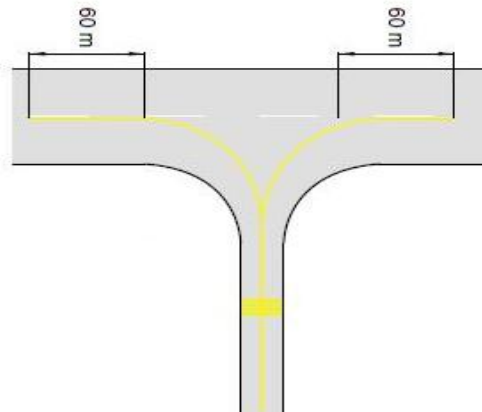


Figure IX.6. Disposition des marques de la bretelle

IX.2.7. Marques d'aire de demi-tour sur piste

D'après l'article 5.2.9.1 Lorsqu'une aire de demi-tour sur piste est prévue, une marque d'aire de demi-tour sur piste sera disposée de manière à assurer un guidage continu afin de permettre aux avions d'effectuer un virage de 180° et de s'aligner sur l'axe de piste.

IX.3. Balisage lumineux

IX.3.1. Balisage lumineux de la piste

Les dispositifs de balisage lumineux de la piste comportent :

IX.3.1.1. Feux de bord de piste

Dans l'article 5.3.9.1 il est stipulé que des feux de bord de piste seront disposés sur les pistes destinées à être utilisées de nuit.

Tableau IX.2. Caractéristiques des feux de bord de piste

Emplacement	Intervalles	Couleur
Sur toute la longueur de la piste, en deux rangées parallèles équidistantes de l'axe de la piste	100 m entre chaque rangée	Blanche

IX.3.1.2. Feux d'extrémité de piste

Des feux d'extrémité de piste sont obligatoires sur les pistes dotées de feux de bord de piste et ce d'après l'article 5.3.11.1.

Dans le cas du projet le seuil est confondu avec l'extrémité de la piste, les feux de seuil peuvent être utilisés comme feux d'extrémité de piste. Donc nous opterons pour des feux bidirectionnels.

Tableau IX.3. Caractéristiques des feux d'extrémité de piste

Emplacement	Nombre de feux	Couleur
En rangée, perpendiculaire à l'axe de piste, à 3 m de l'extrémité, à l'extérieur de la piste	6	Rouge le sens de décollage Vert dans le sens d'approche

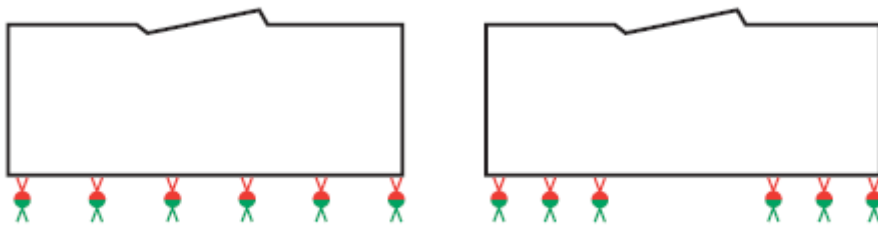


Figure IX.7. Disposition des feux

IX.3.1.3. Feux de prolongement d'arrêt

L'article 5.3.16.1 nous oblige à doter le prolongement d'arrêt de feux lorsque ce dernier est destiné à être utilisé de nuit.

Tableau IX.4. Caractéristiques des feux de prolongement d'arrêt

Emplacement longitudinal	Emplacement transversal	Couleur
Sur toute la longueur du prolongement d'arrêt en 2 rangées parallèles équidistantes de l'axe et dans le prolongement des rangées de feux de bord de piste.	A 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	Rouge

IX.4. Conclusion

Ce chapitre a été traité selon les recommandations de l'annexe 14, le balisage et la signalisation sont normalisés et ce afin de faciliter l'utilisation des infrastructures aéroportuaires aux pilotes, faciliter la gestion aux contrôleurs aériens et éviter tout malentendu entre le pilote et le service de gestion pouvant porter atteinte à la sécurité des passagers et aux aéronefs.

Conclusion générale

Conclusion générale

A travers les différentes parties et chapitres du projet étudiant et concevant les infrastructures aéroportuaires de l'aérodrome de Tin Zaouatine, on notera les conclusions suivantes :

L'acquisition des données et la situation de notre projet, nous a permis d'avoir une vision globale sur l'environnement et les alentours de l'aérodrome de Tin Zaouatine, ainsi que des informations pertinentes qui nous servent de bases pour traiter notre étude.

La région n'est desservie d'aucun aérodrome, étant sous le seuil d'alarme, il a été décidé la création d'une nouvelle piste et ce afin de désenclaver une région complète et de maintenir la sécurité.

Il a été déterminé le code de l'aérodrome ainsi que les dimensions de la piste. Nous avons également calculé le coefficient d'utilisation pour les différentes orientations et nous avons dégagé des possibilités d'orientation suivant les vents dominants.

Il a été mis en exergue les différents plans de dégagement à adopter. Tout en tenant compte de toutes les mesures de sécurité, tant du point de vue en approche ou au décollage.

Il a été retenu la variante de la piste accordante à la piste abandonnée, du fait qu'elle présente le moins de contraintes en ce qui concerne le côté sécuritaire et technique.

Dans le cadre de ce projet nous allons utiliser deux types de chaussées, une chaussée souple d'un linéaire de 2400 m et 300 m de chaque extrémité de piste en chaussée rigide pour une utilisation militaire, en effet cet aérodrome est à vocation mixte (civile et militaire).

Il a été démontré que $ACN \leq PCN$ que ça soit pour la chaussée souple ou bien rigide, ainsi l'Ilyushin Il-76MD peut manœuvrer librement sur les infrastructures aéroportuaires de l'aérodrome.

Il a été traité selon les recommandations de l'annexe 14, le balisage et la signalisation et ce afin de faciliter l'utilisation des infrastructures aéroportuaires aux pilotes et faciliter la gestion aux contrôleurs aériens.

Ce stage, où j'ai occupé le poste d'ingénieur stagiaire chargé de l'étude d'une infrastructure aéroportuaire, m'a permis de bien comprendre les étapes d'un projet d'étude d'aérodrome que ça soit durant la phase de reconnaissance, la conception jusqu'au dimensionnement.

Ce travail m'a permis aussi de comprendre le vrai rôle de l'ingénieur au sein de l'entreprise et qui est de résoudre des problèmes techniques complexes rapidement et intelligemment, que l'ingénieur est tenu de prendre en compte tous les cas défavorables et ne négliger aucun cas. La sensibilité de la sécurité du transport aérien implique que l'ingénieur devra suivre dans sa conception une série de normes strictes et recommandations données par l'O.A.C.I dans son annexe 14.

Ce projet de fin d'études a été une opportunité pour moi afin d'approfondir et enrichir mes connaissances dans le domaine aéroportuaire, synthétiser et mettre en application des connaissances acquises durant mon cursus d'ingénieur.

Bibliographie

- [1] **Annexe 14 Conception et exploitation technique des aérodromes**, Juillet 2013. Organisation de l'aviation civile internationale.
- [2] **Chaussées aéronautiques en béton hydraulique guide technique**, Février 2000. Service technique des bases aériennes.
- [3] **NF P 98 131 Enrobés hydrocarbonés - Bétons bitumineux pour chaussées aéronautiques**, Novembre 1999 AFNOR.
- [4] **NFP 98-170 Chaussée en béton de ciment**, Avril 2006 AFNOR.
- [5] **Doc 9157 Manuel de conception des aérodromes**, 2006. Organisation de l'aviation civile internationale.

Webographie

- [W1] <http://www.kidal.climatemps.com/index.php> visité le 07/03/2018.
- [W2] <http://www.ons.dz> visité le 07/03/2018.
- [W3] <https://www.airforce-technology.com/projects/ilyushin-il-76md-90a-il-476-aircraft-russia/> visité le 29/03/2018.

Annexes

Annexe 0 : Définitions principales en rapport avec l'aérodrome

Accotement : Bande de terrain bordant une chaussée et traitée de façon à offrir une surface de raccordement entre cette chaussée et le terrain environnant.

Aire d'atterrissage : Partie d'une aire de mouvement destinée à l'atterrissage et au décollage des aéronefs.

Aire de demi-tour sur piste : Aire définie sur un aérodrome terrestre, contiguë à une piste, pour permettre aux avions d'effectuer un virage à 180° sur la piste.

Aire de manœuvre : Partie d'un aérodrome à utiliser pour les décollages, les atterrissages et la circulation des aéronefs à la surface, à l'exclusion des aires de trafic.

Aire de mouvement : Partie d'un aérodrome à utiliser pour les décollages, les atterrissages et la circulation des aéronefs à la surface, et qui comprend l'aire de manœuvre et les aires de trafic.

Aire de sécurité d'extrémité de piste (RESA) : Aire symétrique par rapport au prolongement de l'axe de la piste et adjacente à l'extrémité de la bande, qui est destinée principalement à réduire les risques de dommages matériels au cas où un avion atterrirait trop court ou dépasserait l'extrémité de piste.

Aire de trafic : Aire définie, sur un aérodrome terrestre, destinée aux aéronefs pendant l'embarquement ou le débarquement des voyageurs, le chargement ou le déchargement de la poste ou du fret, l'avitaillement ou la reprise de carburant, le stationnement ou l'entretien.

Altitude d'un aérodrome : Altitude du point le plus élevé de l'aire d'atterrissage.

Bande de piste : Aire définie dans laquelle sont compris la piste ainsi que le prolongement d'arrêt, si un tel prolongement est aménagé, et qui est destinée à :

- Réduire les risques de dommages matériels au cas où un avion sortirait de la piste
- Assurer la protection des avions qui survolent cette aire au cours des opérations de décollage ou d'atterrissage.

Coefficient d'utilisation : Pourcentage de temps pendant lequel l'utilisation d'une piste ou d'un réseau de pistes n'est pas restreinte du fait de la composante de vent traversier.

Vent traversier : La composante du vent à la surface qui est perpendiculaire à l'axe de la piste.

Distance de référence de l'avion : Longueur minimale nécessaire pour le décollage à la masse maximale certifiée au décollage, au niveau de la mer, dans les conditions correspondant à l'atmosphère type, en air calme, et avec une pente de piste nulle, comme l'indiquent le manuel de vol de l'avion prescrit par les services chargés de la certification ou les renseignements correspondants fournis par le constructeur de l'avion.

Empattement : Distance entre l'atterrisseur avant et le centre géométrique de l'atterrisseur principal.

Objet frangible : Objet de faible masse conçu pour casser, se déformer ou céder sous l'effet d'un impact de manière à présenter le moins de risques possibles pour les aéronefs.

Piste aux instruments : Piste destinée aux aéronefs qui utilisent des procédures d'approche aux instruments.

Piste à vue : Piste destinée aux aéronefs effectuant une approche à vue.

Piste(s) principale(s): Piste(s) utilisée(s) de préférence aux autres toutes les fois que les conditions le permettent.

Pistes quasi parallèles : Pistes sans intersection dont les prolongements d'axe présentent un angle de convergence ou de divergence inférieur ou égal à 15°.

Plate-forme d'attente de circulation : Aire définie où les aéronefs peuvent être mis en attente, ou dépassés, pour faciliter la circulation à la surface.

Poste de stationnement d'aéronef : Emplacement désigné sur une aire de trafic, destiné à être utilisé pour le stationnement d'un aéronef.

Prolongement d'arrêt : Aire rectangulaire définie au sol à l'extrémité de la distance de roulement utilisable au décollage, aménagée de telle sorte qu'elle constitue une surface convenable sur laquelle un aéronef puisse s'arrêter lorsque le décollage est interrompu.

Prolongement dégagé. Aire rectangulaire définie, au sol ou sur l'eau, placée sous le contrôle de l'autorité compétente et choisie ou aménagée de manière à constituer une aire convenable au-dessus de laquelle un avion peut exécuter une partie de la montée initiale jusqu'à une hauteur spécifiée.

Seuil. Début de la partie de la piste utilisable pour l'atterrissage.

Seuil décalé. Seuil qui n'est pas situé à l'extrémité de la piste.

Zone de toucher des roues. Partie de la piste, située au-delà du seuil, où il est prévu que les avions qui atterrissent entrent en contact avec la piste.

Les voies de circulation (Taxiway): Ce sont des voies délimitées qui permettent aux appareils de se déplacer entre les parkings et les pistes.

Types de pistes :

Pistes parallèles :

Les doublets de pistes parallèles sont caractérisés, d'une part par l'écartement de l'axe de pistes (doublet rapproché ou éloigné), d'autre part par l'utilisation prévue des pistes (doublet spécialisé, banalisé, doublet de pistes de catégories différentes).

- Doublet de pistes banalisées : les atterrissages et les décollages s'effectuent indifféremment sur l'une ou l'autre piste.
- Doublet de pistes spécialisées : l'une des pistes est réservée exclusivement aux atterrissages tandis que l'autre n'est utilisée que pour les décollages.
- Système de pistes parallèles de catégories différentes : la piste principale est destinée à une certaine catégorie d'aéronefs (commerciaux, rapides, réacteurs, etc...). La piste secondaire est destinée aux autres catégories. Cette disposition

de pistes est fréquemment adoptée sur les aérodromes où l'aviation légère est importante.



Pistes sécantes : ces systèmes de pistes constituent le croisement de plusieurs pistes.



Trafic : Un mouvement réel d'avion qui représente :

- Pour l'exploitant, un décollage ou un atterrissage
- Pour le dimensionnement, un passage d'avion sur une chaussée par l'intermédiaire d'un atterrisseur réel lors d'une manœuvre (décollage, atterrissage, roulage)

Durée de vie d'une chaussée : Période à la fin de laquelle la portance de la chaussée devient insuffisante pour que la chaussée puisse continuer à supporter sans risque le trafic. Un renforcement général ou une réduction du trafic s'impose.

Charge réelle P : la charge effectivement appliquée par un atterrisseur d'avion

Charge réelle pondérée P' : Charge réelle P pondérée selon la fonction de la chaussée étudiée.

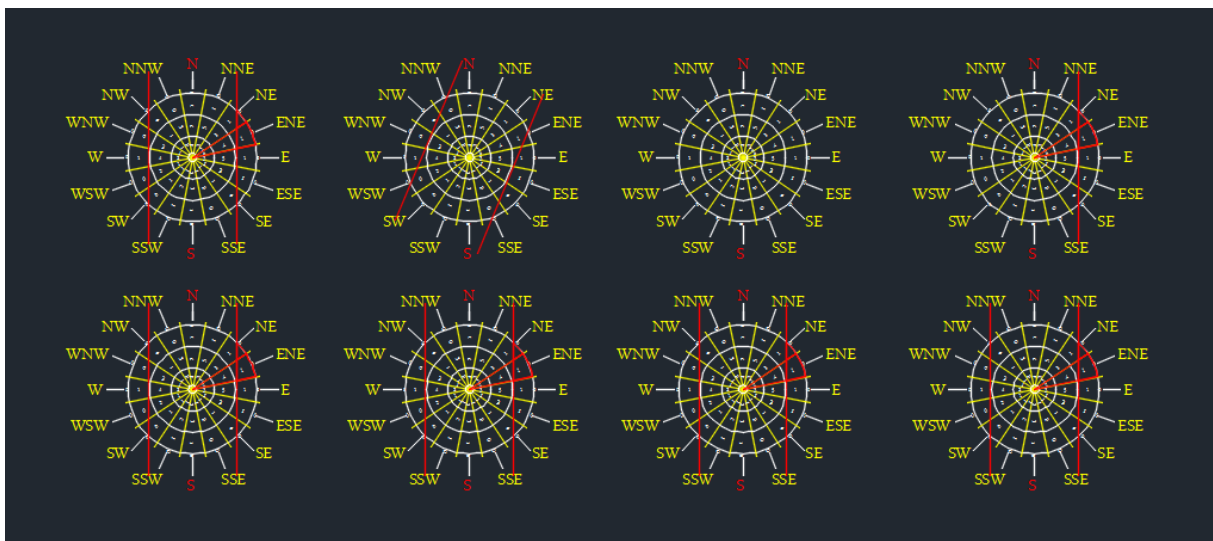
Charge normale de calcul P'' : Charge utilisée dans les formules ou les abaques pour le calcul de dimensionnement des chaussées.

Trafic normal : Le trafic constitué par 10 mouvements par jour de l'avion produisant la charge normale de calcul pour une durée de vie normale (10 ans pour chaussée souple/ 20 ans pour chaussée rigide)

ACN : (aircraft classification number) nombre qui exprime l'effet relatif d'un avion sur une chaussée pour une catégorie type spécifiée du terrain de fondation

PCN : (pavement classification number) nombre qui exprime la force portante d'une chaussée pour une exploitation sans restriction.

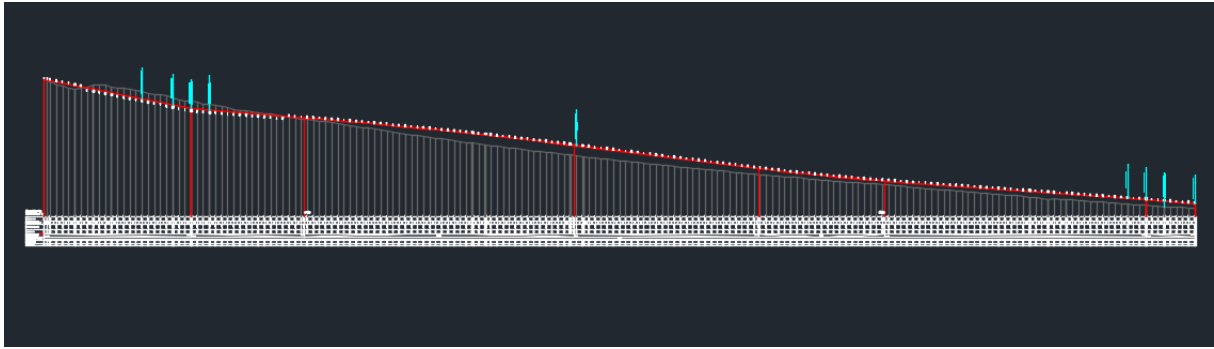
Annexe 1 : Roses des vents utilisées pour le calcul des C_u



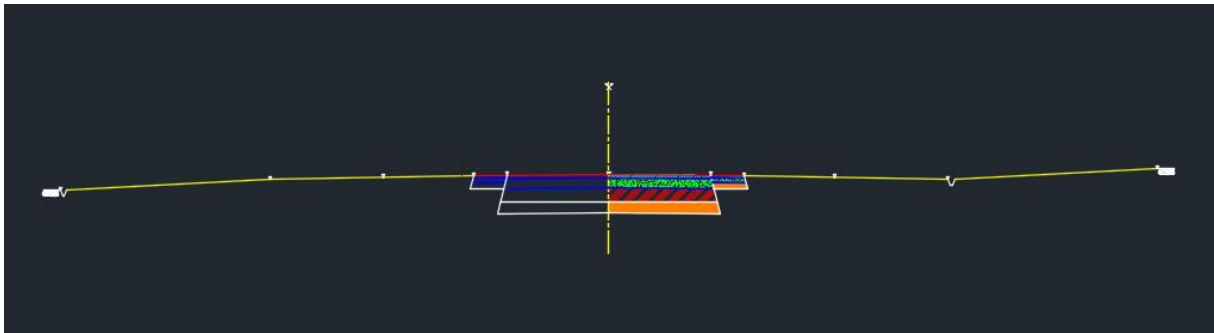
Annexe 2 : Plan général de l'aérodrome



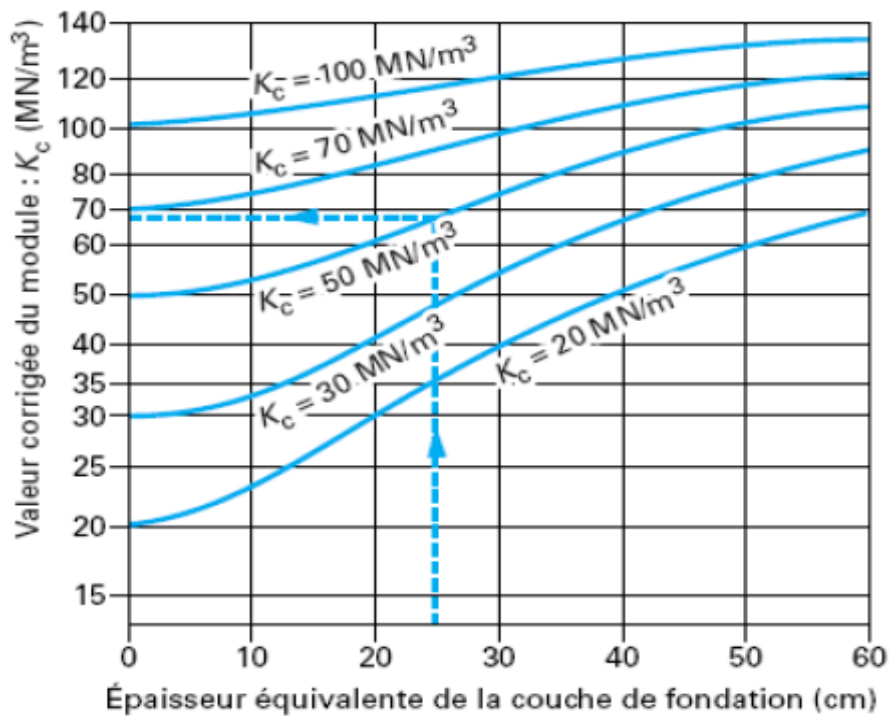
Annexe 3 : Profil en long




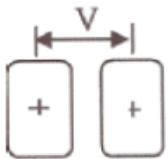
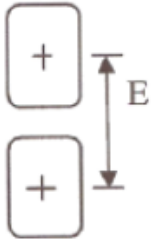
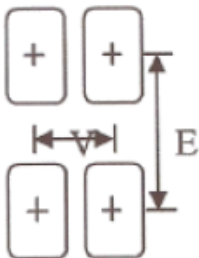
Annexe 4 : Profil en travers type



Annexe 5 : Abaque de la correction du module de réaction du sol K_c



Annexe 6 : Caractéristiques des atterrisseurs

Géométrie	Type d'atterrisseur	exemples	V	E	Masse supportée	Pression de gonflage des pneumatiques
	ROUE SIMPLE	Avion légers	/	/	Jusqu'à 5 t	0.3 à 0.6
	JUMELAGE (ou diabolo)	Avion légers court et moyen courrier	50 à 90 cm	/	5 à 40 t	0.6 à 1 MPa
	TANDEM	Avion militaire (configuration rare)	/	130 à 170 cm	10 à 20 t	0.4 à 0.8 MPa
	BOGGIE	Tous types sauf avion légers. principalement long courrier	40 à 140 cm	100 à 180 cm	20 à 90 t	1 à 1.6 MPa

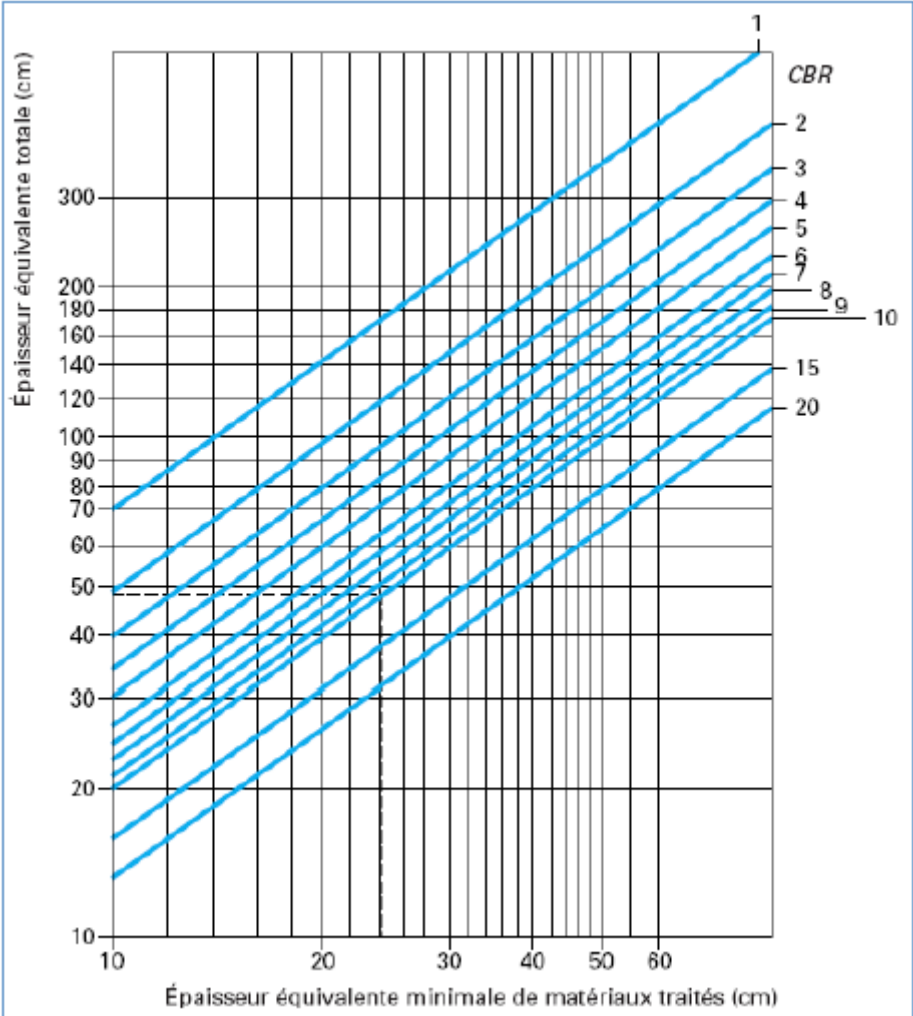
V : voie ; distance entre deux roues d'un même essieu.

E : empattement ; distance entre l'essieu avant et l'essieu arrière.

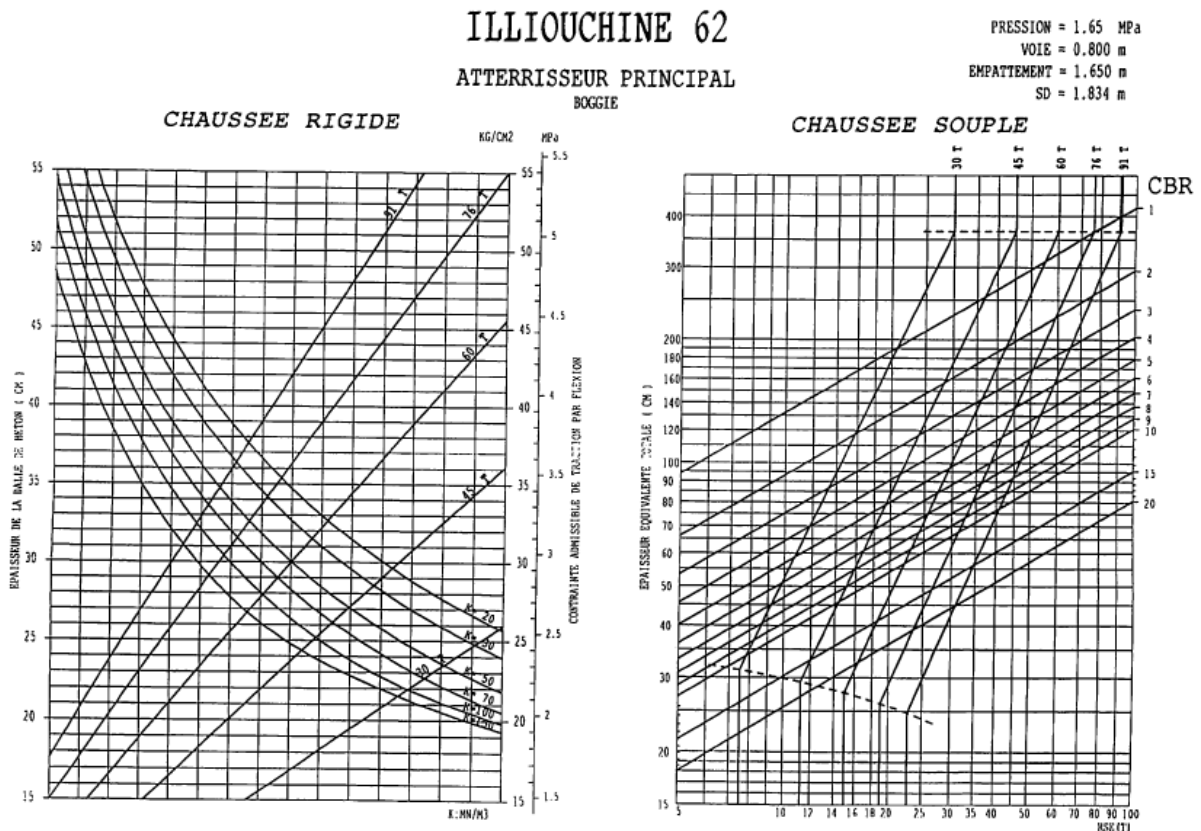
Annexe 7 : Caractéristiques de la méthode PCN

Catégorie d'indication	Lettre de code
<p>Type de chaussée :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Souple • rigide 	<p>F</p> <p>R</p>
<p>Catégorie de résistance du sol support :</p> <ul style="list-style-type: none"> • résistance élevée : caractérisée par $K = 150 \text{ MN/m}^3$ représentant toutes les valeurs de $K > 120 \text{ MN/m}^3$ pour les chaussées rigides ou par un $\text{CBR} = 15$ et représentant toutes les valeurs $\text{CBR} > 13$ pour les chaussées souples. • résistance moyenne : caractérisée par $K = 80 \text{ MN/m}^3$ représentant toutes les valeurs de $60 \text{ MN/m}^3 < K < 120 \text{ MN/m}^3$ pour les chaussées rigides ou par un $\text{CBR} = 10$ et représentant toutes les valeurs CBR de 8 à 13 pour les chaussées souples. • résistance faible : caractérisée par $K = 40 \text{ MN/m}^3$ représentant toutes les valeurs de $25 \text{ MN/m}^3 < K < 60 \text{ MN/m}^3$ pour les chaussées rigides ou par un $\text{CBR} = 6$ et représentant toutes les valeurs CBR de 4 à 8 pour les chaussées souples. • résistance ultra faible : caractérisée par $K = 20 \text{ MN/m}^3$ représentant toutes les valeurs de $K < 25 \text{ MN/m}^3$ pour les chaussées rigides ou par un $\text{CBR} = 3$ et représentant toutes les valeurs $\text{CBR} < 4$ pour les chaussées souples. 	<p>A</p> <p>B</p> <p>C</p> <p>D</p>
<p>Pression des pneumatiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elevée : pas de limite de pression. • Moyenne : pression limitée à 1,75 MPa. • Faible : pression limitée à 1,25 MPa. • Très faible : pression limitée à 0,5 MPa. 	<p>W</p> <p>X</p> <p>Y</p> <p>Z</p>
<p>Base d'évaluation :</p> <p>Etude spécifique des caractéristiques de la chaussée et utilisant des techniques d'études du comportement des chaussées. Ce code est le plus généralement retenu.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluation faisant appel à l'expérience acquise sur les avions. Ce code ne peut s'appliquer que pour une publication provisoire de PCN d'une chaussée pour laquelle on ne dispose pas de résultats fiables d'auscultation et dont on ne peut juger le comportement qu'à son aptitude à recevoir un trafic existant. 	<p>T</p> <p>U₁</p>

Annexe 8 : Abaque d'épaisseur minimale des matériaux traités



Annexe 9 : Abaque de dimensionnement de l'Ilyushin II-62



Annexe 10 : Surfaces, volumes et listings

Calcul des surfaces :

Piste (souple) : $2400 \times 45 = 108\ 000\ m^2$

Piste (rigide) : $600 \times 45 = 27\ 000\ m^2$

Raquettes : $5400\ m^2$

Bretelle : $4230\ m^2$

Accotement : $3000 \times 7.5 \times 2 = 45000\ m^2$

Calcul des volumes :

Grave concassée (0/31.5)

Piste = $0.20 \times 108\ 000 = 21600\ m^3$

Raquette : $0.20 \times 5400 = 1080\ m^3$

Bretelle : $0.20 \times 4230 = 846\ m^3$

Accotement : $0.20 \times 45000 = 9000\ m^3$

Volume Total = 32526 m³

Micro béton bitumineux

45000 x 0.05= 2250 m³

Grave Bitume

Piste : 108 000 x 0.15= 16200m³

Raquette : 5400 x 0.15= 810 m³

Bretelle : 4230 x 0.15 = 634.5 m³

Volume total = 17644,5 m³

Béton Bitumineux : 108 000 x 0.08= 8640 m³

Béton de ciment : 0.32 x 2700= 864 m³

Grave ciment : 0.20 x 27 000= 5400 m³

Volumes de terrassement

Parking avions

VOLUMES N° PROF	TERRASSEMENT ABSCISSE CURVILIGN	REMBLAI VOLUME	DEBLAI VOLUME	DECAPAGE VOLUME	PURGE VOLUME
1	-13.500	0.0	238.5	0.0	0.0
2	-9.500	0.0	763.4	0.0	0.0
3	-3.500	0.0	555.3	0.0	0.0
4	0.000	0.9	656.4	0.0	0.0
5	6.500	4.4	973.8	0.0	0.0
6	16.500	0.0	1092.2	0.0	0.0
7	26.500	0.0	894.3	0.0	0.0
8	36.500	2.7	678.2	0.0	0.0
9	46.500	21.5	493.7	0.0	0.0
10	56.500	57.1	345.6	0.0	0.0
11	66.500	137.2	290.1	0.0	0.0
12	76.500	152.3	257.7	0.0	0.0
13	86.500	72.1	130.2	0.0	0.0
14	87.490	6.4	11.8	0.0	0.0
15	87.500				
16	87.510	24.5	60.0	0.0	0.0
17	96.500	32.2	82.2	0.0	0.0
18	100.000	28.8	65.3	0.0	0.0
19	106.500	38.7	78.6	0.0	0.0
20	112.490	20.0	33.2	0.0	0.0
21	112.500				
22	112.510	43.1	22.1	0.0	0.0
23	116.500	146.7	70.0	0.0	0.0
24	126.500	219.1	95.4	0.0	0.0
25	136.500	257.0	102.8	0.0	0.0
26	146.500	293.1	79.6	0.0	0.0
27	156.500	308.4	55.1	0.0	0.0
28	166.500	302.5	63.1	0.0	0.0
29	176.500	306.1	63.8	0.0	0.0
30	186.500	326.7	56.8	0.0	0.0
31	196.500	281.2	31.3	0.0	0.0
32	200.000	450.6	1.8	0.0	0.0
33	206.500	419.5	1.3	0.0	0.0
34	209.500	438.3	0.0	0.0	0.0
35	213.500	246.6	0.0	0.0	0.0
		4638	8344	0	0

Piste

N° PROF	ABSCISSE CURVILIGN	REBLAI VOLUME	DEBLAI VOLUME	DECAPAGE VOLUME	PURGE VOLUME
1	-540.000	522.1	567.5	0.0	0.0
2	-530.000	1088.6	1345.7	0.0	0.0
3	-520.000	1697.8	1821.0	0.0	0.0
4	-500.000	2325.0	1960.0	0.0	0.0
5	-480.000	2039.0	1775.1	0.0	0.0
6	-460.000	1849.9	2052.6	0.0	0.0
7	-440.010	765.5	1078.3	0.0	0.0
8	-440.000	0.8	1.1	0.0	0.0
9	-439.990	765.1	1078.3	0.0	0.0
10	-420.000	405.6	2677.7	0.0	0.0
11	-400.000	0.0	5369.7	0.0	0.0
12	-380.010	0.0	3616.1	0.0	0.0
13	-380.000	0.0	3.6	0.0	0.0
14	-379.990	0.0	3616.9	0.0	0.0
15	-360.000	0.0	8218.8	0.0	0.0
16	-340.000	0.0	8349.6	0.0	0.0
17	-320.010	0.0	4090.7	0.0	0.0
18	-320.000	0.0	4.1	0.0	0.0
19	-319.990	0.0	4090.7	0.0	0.0
20	-300.000	0.0	8485.0	0.0	0.0
21	-280.000	0.0	9801.8	0.0	0.0
22	-260.000	0.0	11662.1	0.0	0.0
23	-240.000	0.0	12293.4	0.0	0.0
24	-220.000	0.0	12645.0	0.0	0.0
25	-200.000	0.0	12104.7	0.0	0.0
26	-180.000	0.0	11579.1	0.0	0.0
27	-160.000	0.0	12650.4	0.0	0.0
28	-140.000	0.0	13816.4	0.0	0.0
29	-120.010	0.0	7268.8	0.0	0.0
30	-120.000				
31	-119.990	0.0	7029.2	0.0	0.0
32	-100.000	0.0	14793.7	0.0	0.0
33	-80.000	0.0	15757.9	0.0	0.0
34	-60.010	0.0	8734.0	0.0	0.0
35	-60.000				
36	-59.990	0.0	9486.3	0.0	0.0
37	-40.000	0.0	17911.1	0.0	0.0
38	-20.000	0.0	16535.2	0.0	0.0
39	-0.010	0.0	7556.0	0.0	0.0
40	0.000				
41	0.010	0.0	7703.8	0.0	0.0
42	20.000	0.0	13949.8	0.0	0.0
43	40.000	0.0	12565.7	0.0	0.0
44	60.000	0.0	11355.1	0.0	0.0
45	80.000	0.0	10483.5	0.0	0.0
46	100.000	0.0	9747.8	0.0	0.0
47	120.000	0.0	8628.5	0.0	0.0
48	140.000	0.0	7640.1	0.0	0.0
49	160.000	0.0	7366.2	0.0	0.0
50	180.000	0.0	7441.8	0.0	0.0
51	200.000	0.0	7251.4	0.0	0.0
52	220.000	0.0	6633.1	0.0	0.0
53	240.000	0.0	6041.4	0.0	0.0
54	260.000	0.0	5822.8	0.0	0.0
55	280.000	0.0	5081.0	0.0	0.0
56	300.000	0.0	4703.3	0.0	0.0
57	320.000	0.3	4252.2	0.0	0.0
58	340.000	0.2	2138.2	0.0	0.0
59	360.000	52.0	1026.3	0.0	0.0
60	380.000	213.6	348.6	0.0	0.0
61	400.000	639.0	194.6	0.0	0.0
62	420.000	945.4	31.6	0.0	0.0
63	440.000	1315.2	0.0	0.0	0.0
64	460.000	1739.8	0.0	0.0	0.0
65	480.000	2092.6	0.0	0.0	0.0
66	500.000	2458.8	0.0	0.0	0.0
67	520.000	2816.7	0.0	0.0	0.0
68	540.000	3337.3	0.0	0.0	0.0
69	560.000	3868.8	0.0	0.0	0.0
70	580.000	4231.5	0.0	0.0	0.0
71	600.000	4573.7	0.0	0.0	0.0
72	620.000	4877.0	0.0	0.0	0.0
73	640.000	5111.1	0.0	0.0	0.0
74	660.000	5298.7	0.0	0.0	0.0
75	680.000	5564.6	0.0	0.0	0.0
76	700.000	5814.6	0.0	0.0	0.0
77	720.000	6037.4	0.0	0.0	0.0
78	740.000	6238.5	0.0	0.0	0.0
79	760.000	6458.6	0.0	0.0	0.0
80	780.000	6751.2	0.0	0.0	0.0

81	800.000	6981.8	0.0	0.0	0.0
82	820.000	7188.2	0.0	0.0	0.0
83	840.000	7034.4	0.0	0.0	0.0
84	857.990	3414.3	0.0	0.0	0.0
85	858.010	381.1	0.0	0.0	0.0
86	860.000	4175.6	0.0	0.0	0.0
87	880.000	7728.0	0.0	0.0	0.0
88	900.000	4306.7	0.0	0.0	0.0
89	901.990	394.1	0.0	0.0	0.0
90	902.010	3531.4	0.0	0.0	0.0
91	920.000	7526.0	0.0	0.0	0.0
92	940.000	7993.3	0.0	0.0	0.0
93	960.000	8036.1	0.0	0.0	0.0
94	980.000	8061.0	0.0	0.0	0.0
95	1000.000	8084.0	0.0	0.0	0.0
96	1020.000	8100.6	0.0	0.0	0.0
97	1040.000	8096.4	0.0	0.0	0.0
98	1060.000	8080.6	0.0	0.0	0.0
99	1080.000	8052.9	0.0	0.0	0.0
100	1100.000	8031.9	0.0	0.0	0.0
101	1120.000	8003.9	0.0	0.0	0.0
102	1140.000	7993.9	0.0	0.0	0.0
103	1160.000	7600.3	0.0	0.0	0.0
104	1177.990	3605.9	0.0	0.0	0.0
105	1178.000				
106	1178.010	259.7	0.0	0.0	0.0
107	1180.000	2857.2	0.0	0.0	0.0
108	1200.000	5207.2	0.0	0.0	0.0
109	1220.000	2859.6	0.0	0.0	0.0
110	1221.990	260.0	0.0	0.0	0.0
111	1222.000				
112	1222.010	3496.5	0.0	0.0	0.0
113	1240.000	7282.6	0.0	0.0	0.0
114	1260.000	7575.4	0.0	0.0	0.0
115	1280.000	7434.6	0.0	0.0	0.0
116	1300.000	7296.1	0.0	0.0	0.0
117	1320.000	7262.6	0.0	0.0	0.0
118	1340.000	6887.0	0.0	0.0	0.0
119	1360.000	7015.6	0.0	0.0	0.0
120	1380.000	6983.2	0.0	0.0	0.0
121	1400.000	7008.4	0.0	0.0	0.0
122	1420.000	6851.3	0.0	0.0	0.0
123	1440.000	6783.2	0.0	0.0	0.0
124	1460.000	6544.5	0.0	0.0	0.0
125	1480.000	6350.6	0.0	0.0	0.0
126	1500.000	6387.5	0.0	0.0	0.0
127	1520.000	6255.0	0.0	0.0	0.0
128	1540.000	6096.1	0.0	0.0	0.0
129	1560.000	5852.2	0.0	0.0	0.0
130	1580.000	5624.0	0.0	0.0	0.0
131	1600.000	5442.5	0.0	0.0	0.0
132	1620.000	5299.1	0.0	0.0	0.0
133	1640.000	5158.1	0.0	0.0	0.0
134	1660.000	5007.3	0.0	0.0	0.0
135	1680.000	4792.0	0.0	0.0	0.0
136	1700.000	4682.9	0.0	0.0	0.0
137	1720.000	4582.5	0.0	0.0	0.0
138	1740.000	4326.4	0.0	0.0	0.0
139	1760.000	4015.9	0.0	0.0	0.0
140	1780.000	3651.4	0.0	0.0	0.0
141	1800.000	3280.2	0.0	0.0	0.0
142	1820.000	2952.8	0.0	0.0	0.0
143	1840.000	2756.9	0.0	0.0	0.0
144	1860.000	2636.8	0.0	0.0	0.0
145	1880.000	2593.0	0.0	0.0	0.0
146	1900.000	2500.2	0.0	0.0	0.0
147	1920.000	2333.1	0.0	0.0	0.0
148	1940.000	2193.3	0.0	0.0	0.0
149	1960.000	2153.5	0.0	0.0	0.0
150	1980.000	2138.0	0.0	0.0	0.0
151	2000.000	1872.7	0.0	0.0	0.0
152	2020.000	1711.1	0.0	0.0	0.0
153	2040.000	1672.7	0.0	0.0	0.0
154	2060.000	1688.9	0.0	0.0	0.0
155	2080.000	1665.6	0.0	0.0	0.0
156	2100.000	1615.3	0.0	0.0	0.0
157	2120.000	1585.8	0.0	0.0	0.0
158	2140.000	1640.5	0.0	0.0	0.0
159	2160.000	1707.2	0.0	0.0	0.0
160	2180.000	1846.4	0.0	0.0	0.0

161	2200.000	1981.6	0.0	0.0	0.0
162	2220.000	2065.5	0.0	0.0	0.0
163	2240.000	2055.5	0.0	0.0	0.0
164	2260.000	1983.3	0.0	0.0	0.0
165	2280.000	2001.6	0.0	0.0	0.0
166	2300.000	2152.9	0.0	0.0	0.0
167	2320.000	2135.0	0.0	0.0	0.0
168	2340.000	2108.2	0.0	0.0	0.0
169	2360.000	2173.9	0.0	0.0	0.0
170	2380.000	2240.9	0.0	0.0	0.0
171	2400.000	2281.9	0.0	0.0	0.0
172	2420.000	2328.3	0.0	0.0	0.0
173	2440.000	2446.3	0.0	0.0	0.0
174	2460.000	2575.8	0.0	0.0	0.0
175	2480.000	2633.3	0.0	0.0	0.0
176	2500.000	2643.3	0.0	0.0	0.0
177	2520.000	2663.5	0.0	0.0	0.0
178	2540.000	2655.0	0.0	0.0	0.0
179	2560.000	2669.0	0.0	0.0	0.0
180	2580.000	2635.2	0.0	0.0	0.0
181	2600.000	2611.5	0.0	0.0	0.0
182	2620.000	2669.3	0.0	0.0	0.0
183	2640.000	2836.3	0.0	0.0	0.0
184	2660.000	3048.2	0.0	0.0	0.0
185	2679.990	1597.0	0.0	0.0	0.0
186	2680.000	1.6	0.0	0.0	0.0
187	2680.010	1597.0	0.0	0.0	0.0
188	2700.000	3283.3	0.0	0.0	0.0
189	2720.000	3579.5	0.0	0.0	0.0
190	2739.990	1868.8	0.0	0.0	0.0
191	2740.000	1.9	0.0	0.0	0.0
192	2740.010	1868.7	0.0	0.0	0.0
193	2760.000	3513.1	0.0	0.0	0.0
194	2780.000	3311.9	0.0	0.0	0.0
195	2799.990	1605.7	0.0	0.0	0.0
196	2800.000	1.6	0.0	0.0	0.0
197	2800.010	1605.7	0.0	0.0	0.0
198	2820.000	3136.3	0.0	0.0	0.0
199	2840.000	3115.5	0.0	0.0	0.0
200	2860.000	3099.5	0.0	0.0	0.0
201	2880.000	3074.8	0.0	0.0	0.0
202	2900.000	3094.6	0.0	0.0	0.0
203	2920.000	3138.4	0.0	0.0	0.0
204	2940.000	3181.1	0.0	0.0	0.0
205	2960.000	3165.1	0.0	0.0	0.0
206	2980.000	3223.2	0.0	0.0	0.0
207	2999.990	1632.1	0.0	0.0	0.0
208	3000.000				
209	3000.010	1780.6	0.0	0.0	0.0
210	3020.000	3563.4	0.0	0.0	0.0
211	3040.000	3551.9	0.0	0.0	0.0
212	3059.990	1760.0	0.0	0.0	0.0
213	3060.000				
214	3060.010	2131.9	0.0	0.0	0.0
215	3080.000	4251.0	0.0	0.0	0.0
216	3100.000	4197.4	0.0	0.0	0.0
217	3119.990	2076.9	0.0	0.0	0.0
218	3120.000				
219	3120.010	2019.9	0.0	0.0	0.0
220	3140.000	3911.7	0.0	0.0	0.0
221	3160.000	3662.9	0.0	0.0	0.0
222	3180.000	3359.5	0.0	0.0	0.0
223	3200.000	3184.7	0.0	0.0	0.0
224	3220.002	1534.1	0.0	0.0	0.0
		622509	402235	0	0

Bretelle

VOLUMES N° PROF	TERRASSEMENT ABSCISSE CURVILIGN	REMBLAI VOLUME	DEBLAI VOLUME	DECAPAGE VOLUME	PURGE VOLUME
1	0.000	282.7	0.0	0.0	0.0
2	10.000	536.4	0.0	0.0	0.0
3	20.000	509.1	0.0	0.0	0.0
4	30.000	484.1	0.0	0.0	0.0
5	40.000	394.5	0.0	0.0	0.0
6	47.990	156.9	0.0	0.0	0.0
7	48.000				
8	48.010	84.2	9.2	0.0	0.0
9	50.000	489.4	64.4	0.0	0.0
10	60.000	692.1	0.0	0.0	0.0
11	70.000	575.5	0.0	0.0	0.0
12	80.000	496.7	0.0	0.0	0.0
13	90.000	173.8	62.7	0.0	0.0
14	90.990	14.8	5.4	0.0	0.0
15	91.000				
16	91.010	47.6	0.0	0.0	0.0
17	100.000	35.4	0.0	0.0	0.0
18	110.000	15.9	0.1	0.0	0.0
19	120.000	16.0	7.6	0.0	0.0
20	130.000	37.2	10.2	0.0	0.0
21	140.000	77.4	2.3	0.0	0.0
22	150.000	60.4	0.0	0.0	0.0
23	153.500	15.5	0.0	0.0	0.0
		5196	162	0	0