

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
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 MLN Wilaya de
Ouargla**

Présenté par :

REBIAI Abderrahmane

Encadré par :

**Mr. ADJLANE Arezki
Dr. BELABDELOUAHAB Farid**

Promotion 2018 /2019

Remerciements

Je tiens à adresser mes plus sincères remerciements à tous ceux qui de près ou de loin ont par leurs compétences et leurs conseils, contribués à la réalisation de ce travail.

J'exprime ma plus grande reconnaissance à mes encadrants Mr. ADJLANE AREZKI ingénieur chef de projets principal au service des infrastructures aéroportuaires de la SAETI, et Dr. BELABDELOUAHAB FARID pour leur disponibilité, conseils, orientations, explications, et de m'avoir motivé afin d'accomplir ce travail dans les délais impartis.

J'adresse également toute ma gratitude à Mr. Lefkir Abdelouahab et Mr. Benouchfoun Abdelhakim, pour m'avoir facilité la continuation de mon cursus à l'ENSTP.

J'exprime aussi ma reconnaissance à Mr. Mehel Rafik, Mr. Aroua Mohammed Bilal et Mr. Kebache Lotfi, commandants de bord et instructeurs à Air Algérie, Ainsi que, le Chef du secteur ATR, Mr. Diafat Abdelkader, pour leur support, compréhension et de m'avoir donné l'opportunité de poursuivre mes études universitaires.

Je tiens à remercier Mr. SID ALI FARID, chef de département des infrastructures aéroportuaires pour m'avoir proposé ce sujet enthousiasmant. Sans oublier l'ensemble du personnel des infrastructures aéroportuaires de la SAETI.

J'adresse également toute ma gratitude à tous mes enseignants qui ont contribué à ma formation durant ces 5 dernières années, ainsi que tout le personnel de l'école.

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

Dédicaces



Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents qui m'ont accompagné durant les moments les plus pénibles, mais également pour leur encouragement, soutien, et sacrifices tout au long de mon parcours.

En ce jour mémorable, pour moi ainsi que pour vous, recevez ce travail en signe de ma vive reconnaissance et ma profonde estime. Puisse le tout puissant vous donner santé, bonheur et longue vie afin que je puisse vous combler à mon tour.

A mon frère Hamza et ma sœur Djihad.

A mes Profs, Encadreurs et Jury.

Qui nous ont prodigues de conseils et de sagesse pour réussir notre parcours et consolider notre formation, Je vous remercie pour vos encouragements et votre entière disponibilité.

A tous mes amis : Mounya, Salah, Karim, Rachid, Redouane, Imad, Ayoub, et Ilyes.

A toute l'équipe CAE/AH, mes amis, frères et collègues de travail, spécialement : Walid, Fodil, Mohammed, Nafaa, Chouaib, Zakaria, Nassim et Hacene.

ملخص

تعتبر الصحراء منطقة من المناطق الداخلية الحاملة والناقلة للتنمية الاقتصادية بالجزائر لما تزخر بحقول النفط والمعادن وموارد المياه الجوفية، التي بجانب الاعتبارات الجيوسياسية الوطنية والدولية، أدت الى دمجها في الأراضي الوطنية .

اعتمدت سياسات التكامل الإقليمي في الجزائر على الانفتاح من خلال شبكات النقل، وخاصة عن طريق الجو وذلك بتوسيع شبكة البنية التحتية للمطارات في الصحراء.

يتمثل موضوع العمل الحالي في دراسة تصميم لمطار يقع في منطقة البرمة، في جنوب شرق الجزائر، لتلبية احتياجات النقل في مجمع MLN النفطي .

المعايير المستخدمة مفروضة من قبل منظمة الطيران المدني الدولي (O.A.C.I) .

الكلمات المفتاحية: معامل الاستخدام، المدرج، الإقلاع، الهبوط، الموافقات، ACN / PCN

Résumé

Le Sahara est l'arrière-pays porteur et vecteur de développement économique en Algérie. Champs pétroliers, ressources en minerais et hydriques souterrains sont autant d'éléments qui, combinés à des considérations géopolitiques nationales et internationales, ont justifié une intégration des vastes espaces saharien au territoire national.

Les politiques d'intégration territoriale en Algérie se sont alors appuyées sur le désenclavement par le biais des réseaux de transport, notamment par la voie aérienne, et ce par l'élargissement du réseau d'infrastructures aéroportuaires au Sahara,

Le présent sujet de mémoire fait l'objet d'une étude de conception d'un aérodrome situé à La région d'El Borma, dans le Sud-Est Algérien, afin de satisfaire les besoins en transport du complexe pétrolier MLN.

Les normes utilisées sont imposées par l'organisation de l'aviation civile internationale (OACI).

Mots-clés : Coefficient d'utilisation, piste, décollage, atterrissage, dégagements, ACN/PCN.

Summary

The Sahara represents for Algeria, hinterland carrier and vector of economic development. Oil fields, minerals and underground water resources are all elements that, combined with national and international geopolitical considerations, have justified the integration of the vast Saharan spaces into the national territory.

Territorial integration policies in Algeria then relied on opening up through the transport networks, particularly by air by expanding the airport infrastructure network in the Sahara.

The present work is the subject of a design study of an aerodrome located in the region of El Borma, in the South-East of Algeria, to meet the transport needs of the MLN oil complex.

The standards used are imposed by the International Civil Aviation Organization (ICAO).

Keywords: Coefficient of use, runway, take-off, landing, clearances, ACN / PCN.

Liste des abréviations

Chapitre Master

CRM : Caoutchouc modificateur (Crumb rubber modifier).

NR : Caoutchouc naturel (Natural Rubber).

PNUR : Pneumatiques usagés non rechapables.

RUMAC : Asphalte de caoutchouc modifié à chaud (Rubber modified hot-mix Asphalt).

SAM : Membrane à contrainte-absorbante (Stress Absorbing Membrane).

UV : Rayonnement ultraviolet.

PFE

ACN : Numéro de classification d'aéronef (Aircraft Classification Number).

AFM : Manuel de vol (Aircraft Flight Manual).

ASTM : Test standard pour CBR (Standard Test Method for CBR).

BB : Béton bitumineux.

C° : Degré celsius

CBR : Indice portant californien (California Bearing Ratio test).

CU : Coefficient d'utilisation d'une piste d'aérodrome.

CWY : Prolongement dégagé – Clearway.

ft : Pieds (Feet ; 1m = 3ft)

GC : Grave concassée.

kg : Kilogramme.

km : Kilomètre.

km/h : Kilomètre par heure.

Kts/h : Nœuds par heure (Knots per hour; 1 knots = 1.85 km).

LA : Résultat de l'essai Los Angeles.

lb : Livre (unité de masse – Pound ; 1 lb= 0,454 kg).

MDE : Résultat de l'essai Micro Deval.

mm : Millimètre.

m/s : Mètre par seconde.

Mpa : Méga pascal.

NF : Norme française.

O.A.C.I : L'Organisation de l'Aviation Civile Internationale.

OPM : Optimum proctor modifié.

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 (Runway End Safety Area).

RSI : Roue simple isolée.

SWY: Prolongement d'arrêt – Stopway.

Sommaire

<i>Introduction générale</i>	1
------------------------------------	----------

Chapitre Master - Poudrette et bitume caoutchouc

1. Introduction	3
2. Le caoutchouc	3
2.1. <i>Caoutchouc naturel (NR)</i>	3
2.2. <i>Caoutchouc synthétique</i>	4
2.3. <i>La vulcanisation du caoutchouc</i>	4
3. La poudrette de caoutchouc	5
3.1. <i>Fabrication de la poudrette de caoutchouc</i>	5
3.3. <i>Produits manufacturés à base de poudrettes caoutchouc</i>	6
4. Mode de fabrication d'asphalte caoutchouc	6
4.1. <i>Procédé sec (Dry method)</i>	7
4.2. <i>Le processus humide (Wet method)</i>	8
5. Types d'asphalte-caoutchouté	9
5.1. <i>Asphalte caoutchouc Chip-Seal (SAM)</i>	9
5.2. <i>Asphalte caoutchouc Hot-mix</i>	9
6. Interaction bitume-poudrette	10
6.1. <i>Performances du mastic bitume-poudrette</i>	10
6.2. <i>Facteurs influents les performances du mastic asphalte caoutchouc</i>	11
6.2.1. <i>Influence de la nature - granulométrie - quantité de la poudrette</i>	11
6.2.2. <i>Influence de la température du mélange</i>	11
6.2.3. <i>Influence des additifs et du temps de contact</i>	11
7. Performances mécaniques de l'asphalte caoutchouc	12
7.1. <i>Performances des chaussées en bitume-poudrette</i>	12
7.2. <i>Les limitations de l'asphalte caoutchouté</i>	13
7.3. <i>Considérations sur le coût d'asphalte caoutchouc</i>	14
8. Conclusion	14

Chapitre I. Les aérodromes - présentation du projet

<i>I.1. Introduction</i>	15
<i>I.2. Les aérodromes</i>	15
<i>I.3. Données & Présentation de la zone du projet</i>	15
<i>I.3.1. Situation géographique</i>	15
<i>I.3.2. Climat et pluviométrie de la région</i>	17
<i>I.3.3. Voies de communication</i>	17
<i>I.3.4. Les gisements</i>	18
<i>I.4. Présentation de la nouvelle piste :</i>	19
<i>I.4. Conclusion</i>	19

Chapitre II. Etude du nouvel aérodrome de MLN

<i>II.1. Introduction</i>	20
<i>II.2. Analyse des données de l'aérodrome</i>	20
<i>II.2.1. L'avion critique</i>	20
<i>II.2.2. Classification de l'aérodrome</i>	22
<i>II.2.3. Etude de Trafic</i>	23
<i>II.3. Caractéristiques géométriques de la piste</i>	23
<i>II.3.1. Détermination de la longueur de la piste</i>	23
<i>II.3.1.1. Facteurs influant sur la longueur des pistes</i>	23
<i>II.3.1.2. Pistes principales</i>	24
<i>II.3.1.3. Correction des longueurs de piste pour tenir compte de l'altitude, de la température et de la pente</i>	24
<i>II.3.2. Détermination de la largeur de la piste</i>	26
<i>II.4. Détermination de l'orientation de la piste</i>	27
<i>II.4.1. Vent traversier (Crosswind)</i>	27
<i>II.4.2. le Coefficient d'utilisation C_u</i>	28
<i>II.4.2.1. Méthodologie de calcul de coefficient d'utilisation (C_u)</i>	29
<i>II.4.2.2. Choix de l'orientation de la piste</i>	32
<i>II.5. Conclusion</i>	32

Chapitre III. Surfaces de dégagement « Limitation et suppression des obstacles »

III.1. Introduction.....	33
III.2. Spécifications en matière de limitation d'obstacles	33
III.2.2. Surface conique	36
III.2.3. Surface d'approche.....	37
III.2.4. Surface de transition.....	37
III.2.5. Surface de montée au décollage.....	38
III.3. Recommandations de L'OACI.....	39
III.4. Vérification des dégagements	40
III.5. Conclusion	41

Chapitre IV. Etude géométrique

IV.1. Introduction.....	42
IV.2. Caractéristiques géométriques de la piste	42
IV.2.1. Profil en long	42
VI.2.1.1. Pente longitudinale	42
IV.2.1.2. Changement de pente longitudinale	42
IV.2.1.3. Distance de visibilité.....	42
IV.2.1.4. Distance minimale entre changements de pente.....	43
IV.2.2. Profil en travers	44
IV.2.3. Voie de circulation.....	44
IV.2.3.1. Largeur des voies de circulation	45
IV.2.3.2. Pentes des voies de circulation	45
IV.2.3.3. Virages des voies de circulation.....	45
IV.2.3.4. Jonctions et intersections	45
IV.2.3.5. Distances minimales de séparation pour les voies de circulation	45
IV.2.3.6. Résistance des voies de circulation	46
IV.2.3.7. Surface des voies de circulation.....	46
IV.4. Aménagements complémentaires	46
IV.4.1. Accotement.....	46
IV.4.2. Bandes de piste	46
IV.4.2.1. Longueur.....	47
IV.4.2.2. Largeur	47
IV.4.2.3. Pentes des bandes de piste	47

IV.4.2.4. Nivellement	48
IV.4.2.5. Résistance	48
IV.4.2.6. Recommandations concernant les objets sur les bandes de piste	48
IV.4.3. Prolongements d'arrêt et prolongement dégagé	49
IV.4.3.1. Prolongements dégagés (Clearway CWY).....	50
IV.4.3.2. Prolongements d'arrêt (Stopway SWY)	50
IV.4.4. Aire de sécurité d'extrémité de la piste (RESA)	51
IV.4.5. Aires de demi-tour sur piste (raquettes de retournement)	52
IV.5. Conclusion.....	54

Chapitre V. Etude géotechnique du site

V.1. Introduction	55
V.2. But de l'étude géotechnique	55
V.3. Moyens d'investigation	55
V.3.1. Creusement des puits	56
V.4. Essais au laboratoire	58
V.4.1. Essais d'identification	58
V.4.1.1. Analyse granulométrique.....	58
V.4.1.2. Analyse chimique.....	60
V.4.2. Essais physiques	61
V.4.2.1. Essai Proctor modifié.....	61
V.4.2.2. Essai CBR (California Bearing Ratio)	62
V.5. Inventaire des carrières d'agrégats	63
V.6. Conclusions et recommandations :	64

Chapitre VI. Dimensionnement de corps de chaussée

VI.1. Introduction.....	65
VI.2. Structure et types des chaussées aéronautiques	65
VI.2.1. Chaussées rigides.....	65
VI.2.2. chaussées souples.....	65
VI.3. Critères de choix du type de chaussée.....	66
VI.4. Durée de vie des chaussées.....	67
VI.5. Charge de calcul et méthode de dimensionnement.....	67

VI.5.1. La masse de l'avion critique	67
VI.5.2. Les atterrisseurs.....	69
VI.5.3.Charges utilisées dans les calculs	69
VI.6. Dimensionnement des chaussées souples.....	70
VI.6.1. Dimensionnement de la piste, les bretelles, bandes de piste et le prolongement d'arrêt (SWY) .	72
VI.7. Résultats et recommandations	75
VI.8. Conclusion.....	75

Chapitre VII. Charges admissibles

VII.1. Introduction.....	76
VII.2. La méthode ACN-PCN.....	76
VII.3. Principe général, conditions d'application et Publication des charges admissibles.....	77
VII.4. Détermination du PCN (Pavement Classification Number).....	78
VII.4.1. Calcul approché du PCN pour une chaussée souple.....	78
VII.5. Détermination de l'ACN (Aircraft Classification Number).....	80
VII.6. Vérification des charges appliquées et admissibles	81
VII.7. Conclusion	81

Chapitre VIII : Balisage et signalisation

VIII.1. Introduction	82
VIII.2. Balisage diurne (signalisation horizontale).....	82
VIII.2.1. Identification de l'aérodrome	82
VIII.2.2. Indicateur de direction du vent (manche à air)	82
VIII.2.3. Marques d'identification de piste	83
VIII.2.4. Marques de seuil	84
VIII.2.5. Marques d'axe.....	84
VIII.2.6. Marques axiales de voie de circulation	85
VIII.2.7. Marques d'aire de demi-tour sur piste	86
VIII.2.8. Marque de poste de stationnement d'aéronef.....	87
VIII.3. Balisage nocturne (lumineux)	88
VIII.3.1. Feux de bord de piste	88
VIII.3.2. Feux d'extrémité de piste.....	88

VIII.3.3. Feux de prolongement d'arrêt.....	89
VIII.4. Conclusion.....	89

Chapitre IX. Assainissement

IX.1. Introduction.....	90
IX.2. Dimensionnement des ouvrages d'évacuation.....	91
IX.2.1. Estimation du débit d'apport Q_a	91
IX.2.2. Détermination de l'intensité de pluie I_t	91
IX.2.3. L'intensité horaire I	91
IX.2.4. Pluie journalière maximale annuelle P_j	91
IX.2.5. Coefficient de ruissellement.....	92
IX.2.6. Débit de saturation.....	92
IX.2.7. Dimensionnement des buses.....	93
IX.2.8. Dimensionnement de fossés.....	94
Principe de calcul :.....	94
- Calcul de la surface mouillée.....	94
- Calcul du périmètre mouillé.....	94
- Calcul du rayon hydraulique.....	95
IX.3. Interaction Climatologie – Sol - Système de drainage.....	95
IX.4. Conclusion.....	95
Conclusion Générale.....	96

Références bibliographiques

Annexes

Liste des figures

Chapitre Master – Poudrette et Bitume caoutchouc

Figure 1: Effet de la vulcanisation sur le comportement d'un élastomère.....	4
Figure 2: Poudrettes de caoutchouc.....	5
Figure 3: Procédés sec et humide dans la réalisation de l'enrobé caoutchouc.....	7
Figure 4: Etapes de fabrication d'asphalte caoutchouc dans le processus humide.....	8
Figure 5: Classes d'agrégats pour asphalte-caoutchouc.....	9

Chapitre I. les aérodromes - présentation du projet

Figure I.1. la localisation de la wilaya de ouargla.....	16
Figure I.2. les wilayas limitrophes de la wilaya de ouargla.....	16
Figure I.3. la localisation de la ville et commune de el borma.....	17
Figure I.4. les voies de communication de la wilaya de ouargla.....	18
Figure I.5. le complexe MLN, vue et localisation.....	18
Figure I.6. carte montrant les 2 pistes (ancienne + nouvelle) et la base de vie MLN.....	19

Chapitre II. Etude du nouvel aérodrome de MLN

Figure II.1. schéma représentant les dimensions et les perspectives du BEEHCRAFT 1900D.....	21
Figure II.2. cas d'atterrissage d'un avion avec un fort vent traversier.....	28
Figure II.3. l'effet girouette.....	28
Figure II.4. rose des vents annuels de ouargla durant la période 2008-2018.....	29
Figure II.5. calcul du « Cu » pour la direction NE-SW.....	31
Figure II.6. la courbe de la variation du coefficient d'utilisation en fonction de la direction.....	32

Chapitre III. Surfaces de dégagement

Figure III. 1. schema general representant les surfaces de limitation d'obstacles.....	34
Figure III.2. vue en perspective des surfaces de dégagement.....	34
Figure III.3. vue en plan de la surface horizontale interieure.....	35
Figure III.4. schéma représentatif des caractéristiques de la surface conique.....	36
Figure III.5. coupe transversale montrant les caractéristiques de la surface de transition.....	38
Figure III.6. vue en perspective de la surface de transition.....	38
Figure III.7. vue de la surface de transition.....	38
Figure III.9. plan de dégagement de la piste 04/22.....	41

Chapitre IV. Etude géométrique

Figure IV.1. la distance entre les points d'intersection de deux courbes.....	43
Figure IV.2. profil en travers en toit.....	44
Figure IV.3. prolongements occasionnellement rouables P.O.R.....	50

Figure IV.4. prolongement d'arrêt (stopway) et prolongement dégagé (clearway).....	51
Figure IV.5. les étapes de retournement d'un avion sur une aire de demi-tour.....	53
Figure IV.6. aire de demi-tour sur piste de l'aérodrome de MLN.....	54

Chapitre V. Etude géotechnique du site

Figure V.1. plan de situation de la piste d'atterrissage et l'implantation des puits de reconnaissances	56
Figure V.2. puits N°02	57
Figure V.3. puits N°01	57
Figure V.4. puits N°07	57
Figure V.5. puits N°03	57
Figure V.6. matériels utilisés dans l'analyse granulométrique par tamisage.....	58
Figure V.7. les courbes granulométriques des échantillons prélevés.....	59

Chapitre VI. Dimensionnement de corps de chaussée

Figure VI.1. les atterrisseurs du BEECHCRAFT 1900D	69
Figure VI.2. pondération des charges réelles selon la fonction des aires.....	70
Figure VI.3. organigramme du dimensionnement par la méthode forfaitaire.....	71

Chapitre VII. Charges admissibles

Figure VII.1. l'interaction atterrisseur-piste en phase d'atterrissage.....	76
Figure VII.2: Les valeurs du H(CBR) en fonction du CBR	79

Chapitre VIII. Balisage et signalisation

Figure VIII.1. la vitesse du vent selon la position de la manche à air	83
Figure VIII.2. les dimensions de l'indicateur de direction du vent	83
Figure VIII.3. forme et proportions des chiffres des marques d'identification de piste.....	84
Figure VIII.4. les marques d'identification, d'axe et de seuil de piste.....	85
Figure VIII.5. les marques de voie de circulation	85
Figure VIII.6. les marques d'aire de demi-tour sur piste	86
Figure VIII.7. les marques d'une aire de stationnement	87
Figure VIII.8. la disposition des feux d'extrémité de piste	88
Figure VIII.9. les différentes marques de la piste de MLN.....	89

Chapitre IX. Assainissement

Figure IX.1. la forme d'une buse.....	93
Figure IX.2. schéma d'un fossé trapézoïdal.....	94

Liste des tableaux

Chapitre II. Etude du nouvel aéroport de MLN

Tableau II.1. les caractéristiques du BEEHCRAFT 1900D.....	20
Tableau II.2. le code de référence d'aéroport.....	22
Tableau II.3. la largeurs des pistes.....	27
Tableau II.4. les valeurs limites du vent traversier.....	29
Tableau II. 5: La répartition des vents à Ouargla.....	30
Tableau II.6. les résultats du calcul du « Cu » pour les différentes directions	31

Chapitre III. Surfaces de dégagement

Tableau III.1. les caractéristiques de la surface horizontale intérieure.....	35
Tableau III.2. les caractéristiques de la surface conique.....	36
Tableau III.3. les caractéristiques de la surface d'approche	37
Tableau III.4. la pente de la surface de transition.....	38
Tableau III.5. les dimensions et pentes des surfaces de limitation d'obstacles.....	39
Tableau III.6. Les caractéristiques des obstacles qui percent la piste 04/22.....	40

Chapitre IV. Etude géométrique

Tableau IV.1. les distances minimales de séparation pour les voies de circulation.....	46
Tableau IV.2. tableau récapitulatif des caractéristiques de la bande de piste.....	49
Tableau IV.3. les caractéristiques du prolongement dégagé.....	50
Tableau IV.4. les caractéristiques du prolongement d'arrêt.....	51
Tableau IV.5. les caractéristiques des aires de sécurité de l'extrémité de la piste	52

Chapitre V. Etude géotechnique du site

Tableau V.1. les résultats de l'analyse granulométrique.....	59
Tableau V.2. les résultats de l'analyse chimique.....	60
Tableau V.3. les résultats de l'essai Proctor	61
Tableau V.4. les résultats de l'essai CBR.....	62
Tableau V.5. comparaison entre les caractéristiques des différents gisements.....	63

Chapitre VI. Dimensionnement de corps de chaussée

Tableau VI.1. structures types du corps de chaussée	66
Tableau VI.2. la durée de vie des chaussées aéronautiques	67
Tableau VI.3. les caractéristiques de l'avion critique.....	68
Tableau VI.4. les coefficients de pondération C de différentes aires.....	70
Tableau VI.5. les données de dimensionnement.....	72
Tableau VI.6. les résultats du calcul	73
Tableau VI.7. l'épaisseur équivalente et l'épaisseur minimale des matériaux traités	73
Tableau VI.8. dimensionnement de la piste, bretelles, parking	74
Tableau VI.9. dimensionnement des bandes.....	74
Tableau VI.10. dimensionnement du prolongement d'arrêt SWY	74

Chapitre VII. Charges admissibles

Tableau VII.1. les valeurs ACN pour le BEECHCRAFT 1900D	80
---	----

Chapitre VIII. Balisage et signalisation

Tableau VIII.1. les caractéristiques des marques de seuil	84
---	----

Chapitre IX. Assainissement

Tableau IX.1. les variables de gauss	92
Tableau IX.2. les coefficients de ruissellement	92

Introduction générale

*I*ntroduction générale

Le secteur aérien est celui qui a connu l'une des croissances les plus fortes et les plus régulières de l'histoire économique mondiale de plus 4 à 5% par an. L'essor du transport aérien est à la fois une conséquence de la mondialisation, mais aussi l'une de ses causes. Etant un facteur indispensable pour la croissance et le développement économique, il facilite l'intégration dans l'économie mondiale et fournit une connectivité vitale au niveau national, régional et international, comme il est le moyen de transport le plus sûr, rapide et efficace.

La conception des infrastructures aéroportuaires doit obéir à des règles qui s'appuient sur les normes et recommandations de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI). Cette conception, qu'elle soit destinée au transport de passagers et/ou à la pratique d'une autre activité doit permettre de répondre aux besoins exprimés par les activités (volume et typologie de trafic, régularité du service) tout en tenant compte des contraintes qui y sont liées (en premier lieu la sécurité de déplacement des aéronefs et des personnes, ensuite la prise en compte et la protection de l'environnement, etc.).

Dans le cadre de l'élaboration du mémoire de fin d'étude à l'école Nationale Supérieure Des Travaux Publics (ENSTP), un des chapitres du projet a été dédié dans le but de l'obtention du diplôme de master dont lequel nous effectuons une recherche bibliographique consacrée aux poudrettes et à l'asphalte caoutchouc, notamment dresser un état des lieux sur l'emploi des poudrettes de caoutchouc, ainsi que les procédés de fabrications existants et les produits manufacturés à base de poudrettes. De même, il met l'accent sur l'utilisation de la poudrette dans le domaine routier et aéroportuaire suite au mélange avec l'asphalte en revêtement selon le procédé sec (dry) ou humide (wet), et il aborde également les performances du nouveau composite tant sur le plan rhéologique que mécanique.

Ensuite, le PFE traité est sous le thème de « l'étude de création d'un nouvel aéroport à Menzel Lejmet Nord – Wilaya de Ouargla », un des importants champs pétroliers du Sud Est Algérien ; sujet proposé par la Société Algérienne d'Etude des Infrastructures. L'étude consiste à traiter une variante dans le but de la réalisation d'un aéroport à la région de MLN, à quelques kilomètres de l'ancienne piste qui est jugée difficile par les pilotes qui l'utilisent fréquemment à cause des pentes multiples et importantes.

Notre projet de fin d'études est composé de neuf chapitres, nous trouverons dans le chapitre I, des généralités sur les aéroports et une présentation de notre projet, suivi par le chapitre II, dans lequel nous avons déterminé les caractéristiques géométriques de la piste, tels que la longueur, la largeur et l'orientation ; ensuite nous avons élaboré les surfaces de dégagement dans le chapitre III.

Le chapitre IV, aborde une étude plus détaillée des caractéristiques géométriques des différentes aires et les aménagements complémentaires, qui assurent de leur part la sécurité des aéronefs et des passagers. Puis, le chapitre V, il a été traité l'aspect géotechnique du site MLN, qui nous mène vers le dimensionnement du corps de chaussée de l'aérodrome de MLN dans le chapitre VI.

Dans le chapitre VII, le calcul des charges admissibles est développé, par la méthode ACN/PCN qui assure l'éligibilité des aéronefs, suivi par le chapitre VIII qui consiste à déterminer le balisage et la signalisation adéquate afin de donner au pilote des repères visuels fixes.

Enfin, dans le chapitre IX, nous avons relaté la méthodologie de conception d'un réseau d'assainissement pratique et achevé notre projet par une conclusion générale contenant des remarques et interprétations, complété par une annexe, regroupant des documents supplémentaires utilisés lors de l'étude de notre projet.

Chapitre Master - POUDRETTE ET BITUME

CAOUTCHOUC

Chapitre Master – Poudrette et Bitume caoutchouc

1. Introduction

Les enrobés bitumineux modifiés par des poudrettes caoutchoutées en revêtement routier sont apparus aux Etats-Unis vers les années 50 lorsque C. H. Macdonald avait mis au point la première formulation de bitume additionné de poudrettes pour une éventuelle réparation des nids de poules. A partir de 1970, cette technique a commencé à se développer de manière significative dans plusieurs Etats comme la Floride et l'Arizona.

En France, la première application des revêtements routiers par adjonction de poudrettes issues de pneumatiques usagés date de 1965, mais l'idée avait été abandonnée. En 1980, l'utilisation du bitume caoutchouc a été reprise dans l'objectif d'améliorer les performances physico-mécaniques des asphaltes. De nombreuses recherches ont été menées dans le but d'améliorer la stabilité thermique et les caractéristiques des revêtements routiers et aéroportuaires.

Ce chapitre est réalisé dans le cadre du projet Master, qui est une initiation à la recherche, dans le but de valoriser l'utilisation de la poudrette de caoutchouc sur des pistes aéroportuaires en chaussées souples.

L'idée est d'utiliser la poudrette de caoutchouc provenant du broyage des pneumatiques usagés (PUNR) dans le cadre du développement durable et la protection de l'environnement. De nos jours, Elles sont de plus en plus incorporées dans le bitume pour doter la couche de roulement d'asphalte de propriétés bénéfiques supérieures et d'améliorer les performances intrinsèques notamment sur le plan rhéologique, thermique et mécanique.

2. Le caoutchouc

Le caoutchouc est un matériau qui peut être obtenu soit par la transformation du latex sécrété par certains végétaux (par exemple, l'hévéa), soit de façon synthétique à partir de monomères issus d'hydrocarbures fossiles. Il fait partie de la famille des élastomères.

2.1. Caoutchouc naturel (NR)

Le caoutchouc naturel provient de la coagulation du latex de plusieurs plantes, principalement de l'hévéa, *Hévéa brasiliensis*, originaire d'Amazonie. La collecte se fait par incision de l'écorce des troncs de manière à ce que le latex, issu des canaux laticifères, s'écoule dans des godets placés juste au-dessous. Le latex récolté est transféré dans des conteneurs. Filtré, il peut alors être stabilisé à l'ammoniaque (précipitation des flocons) puis pressé pour diminuer sa teneur en eau ou alors coagulé de façon contrôlée et séché par la fumée d'un feu (les goudrons empêchent la putréfaction) afin d'obtenir des balles de caoutchouc.

Les produits vulcanisés à partir du NR ont une bonne résistance mécanique et peuvent être agglomérés pour offrir une excellente élasticité. Le NR a une bonne résistance à l'abrasion, et des propriétés dynamiques intéressantes qui en font un matériau utilisé dans la fabrication des

pneus et des appareils d'amortissement de vibrations et de chocs. Il présente une température de résistance au vieillissement en service de 75°C et une bonne résistance aux acides et aux bases. Cependant, sa résistance aux huiles pétrolières est faible.

2.2. Caoutchouc synthétique

Les caoutchoucs synthétiques (ou artificiels) sont un type d'élastomère souvent issus d'un combustible fossile. Ils servent dans certains cas de substitut au caoutchouc naturel (NR), spécialement lorsque des propriétés mécaniques élevées sont requises. Nous distinguons plusieurs propriétés, à savoir les propriétés mécaniques statiques comme la traction, le déchirement, l'abrasion et la déformation rémanente à la compression, ainsi que des propriétés dynamiques (dans ce cas, le matériau est soumis à des efforts alternés) comme la résilience et la flexion. Les faiblesses du NR concernent sa tenue au vieillissement (il poisse avec apparition de craquelures sous l'action de l'ozone, des UV et de la chaleur), qui est la plus faible de tous les caoutchoucs.

2.3. La vulcanisation du caoutchouc

La vulcanisation (curage) est une opération chimique consistant à incorporer un agent vulcanisant (soufre, peroxyde, oxydes métalliques) à un élastomère brut, pour former des ponts entre les chaînes moléculaires. Elle augmente considérablement l'élasticité du matériau en verrouillant ces chaînes les unes par rapport aux autres. Nous disons que le polymère (caoutchouc) est «réticulé». Ce procédé permet d'obtenir une masse dimensionnellement stable, résistante à la chaleur. Elle rend le caoutchouc moins élastique, de durée de vie plus courte, et une fois moulé, il ne peut plus être modifié sans une destruction de ses propriétés chimiques.

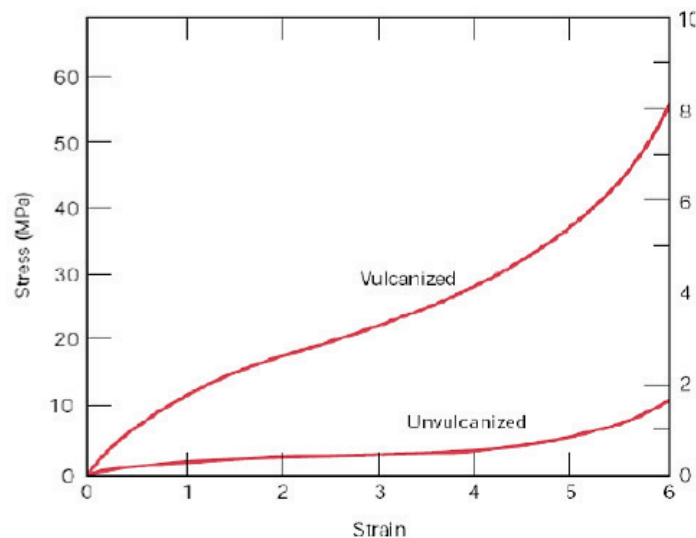


FIGURE 1: EFFET DE LA VULCANISATION SUR LE COMPORTEMENT D'UN ELASTOMERE

Le caoutchouc brut (non-vulcanisé) est une masse de longues chaînes polymériques enchevêtrée. La représentation la plus visuelle pour expliquer ce phénomène est le plat de spaghetti. L'étirement de cette masse provoque, le désenchevêtrement et le glissement des

chaînes les unes par rapport aux autres. La suppression de la sollicitation fait en sorte que le matériau se rétracte et que les chaînes s'enchevêtrent de nouveau.

3. La poudrette de caoutchouc

La poudrette de caoutchouc se présente comme des particules de caoutchouc de dimensions inférieures à 2mm, dont les principales caractéristiques sont : l'origine chimique, la finesse de mouture et l'existence ou non de corps étrangers. La poudrette est obtenue après un broyage poussé pour avoir un matériau de granulométrie voulue s'adaptant avec le domaine d'utilisation prévu.

Avant leur utilisation, les poudrettes de caoutchouc subissent une série d'opérations qui visent à les préparer. L'ensemble des opérations sont synthétisées comme suite:

1. purification afin de retirer l'acier et le textile qui pourraient y subsister ;
2. calibrage à une taille soigneusement étudiée, pour incorporation dans le bitume, celle-ci est en général inférieure à 2 mm ;
3. séchage pour enlever toute trace d'humidité néfaste au procédé de fabrication ;
4. combinaison, parfois à un agent de vulcanisation, puis homogénéisation dans des malaxeurs.



FIGURE 2: POUDRETTES DE CAOUTCHOUC

3.1. Fabrication de la poudrette de caoutchouc

Les granules de caoutchouc sont produits mécaniquement par broyage «à température ambiante» ou par des procédés de surgélation cryogénique «à température cryogénique».

La poudrette pneumatique est obtenue au moyen de granulateurs ou de broyeurs à cylindres. Les copeaux de caoutchouc ou pneumatiques peuvent être transformés en granules, qui pourront ensuite servir à la fabrication de produits moulés ou être utilisés tels quels.

Le micro-broyage, également appelé broyage humide, est un processus breveté permettant d'effectuer un broyage ultrafin. Le micro-broyage réduit la taille des particules par broyage dans un liquide, habituellement de l'eau. Le broyage s'effectue entre deux meules très rapprochées.

3.2. Domaines d'utilisation de la poudrette caoutchoutée

La poudrette caoutchoutée de granulométrie appropriée, trouve son utilisation dans plusieurs domaines techniques et de construction. Par contre, les granulés sont agglomérés par des résines permettent de réaliser facilement les formes désirées par moulage.

Les produits de caoutchouc recyclé, notamment ceux issus des pneus hors d'usage, sont généralement utilisés dans les milieux industriels, commerciaux et agricoles. Ils sont principalement dédiés aux fonctions suivantes: étanchéité, isolation acoustique et vibratoire, accouplement élastique, calage, protection contre l'abrasion, ...etc.

Dans le domaine géotechnique, l'utilisation des poudrettes et granulés couvre un large éventail dont nous citons les plus couramment rencontrés ;

- Asphalte caoutchouté pour routes et chaussées aéroportuaires ;
- Construction, entretien et réparation de routes ;
- Drainage souterrain, conduites d'évacuation et tuyaux d'irrigation poreux ;
- Agents filtrants pour le mercure et les surfaces métalliques ;
- Produits de construction des voies de chemin de fer et de tramways ;
- Revêtements de surfaces intérieures (dalles, moquettes renforcées...etc.);
- Signalisation et accessoires routiers.

3.3. Produits manufacturés à base de poudrettes caoutchouc

L'usage que nous faisons de la poudrette nécessite que l'acier, matières textiles et autres impuretés soient séparés du caoutchouc. Les granules de caoutchouc propres se prêtent à des usages multiples et variés. Ces granules ne dépassent pas 6.5mm en taille mais peuvent avoir la finesse d'une poudre, ce qui permet alors la confection de produits moulés.

Les caractéristiques du mélange sont fonction de la nature des granulats de caoutchouc et de la nature et quantité du liant. La composition dépend des applications et des performances recherchées.

4. Mode de fabrication d'asphalte caoutchouc

L'asphalte ou l'enrobé bitumineux est un mélange dans des proportions variables de sable, granulat, de filler et de bitume. L'asphalte caoutchouté est un asphalte ordinaire auquel une proportion de poudrettes de caoutchouc est incorporée selon les deux procédés suivants:

- Par substitution d'une proportion de granulats par les poudrettes (procédé à froid),
- Par incorporation des poudrettes dans le bitume de base mélangés et mis à réagir mutuellement (procédé à chaud).

D'autres additifs tels que le caoutchouc normal, des polymères ou des huiles de traitement (huiles d'unité d'extension) sont éventuellement incorporés au bitume de base afin d'améliorer certaines caractéristiques notamment la susceptibilité thermique, l'isolation phonique, la résistance à l'orniérage, à la fatigue, au vieillissement, ...etc.

Dans les deux cas, le caoutchouc est parfois dénommé caoutchouc modificateur (CRM), car son utilisation modifie les propriétés résultant du mélange à chaud du béton bitumineux. Dans les deux procédés d'incorporation ci-dessous, le bitume est chauffé entre 180 et 200°C, l'élévation à cette température possède un double objectif ;

- Permettre une certaine fluidité afin de faciliter le mélange des différents constituants ;
- Maintenir une température adéquate du complexe bitumineux lors de son transport vers les chantiers et sa mise en œuvre.

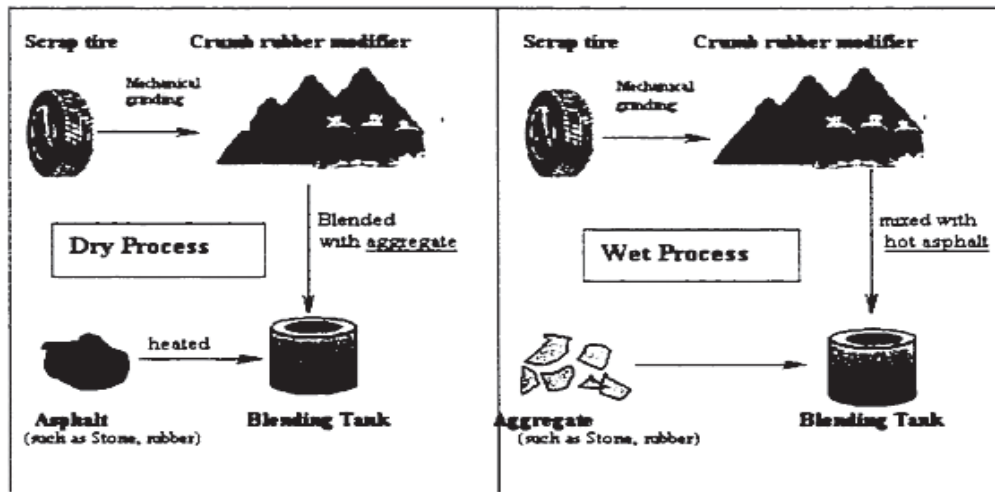


FIGURE 3: PROCEDES SEC ET HUMIDE DANS LA REALISATION DE L'ENROBE CAOUTCHOUC

4.1. Procédé sec (Dry method)

La technique «dry process» consiste à introduire des granulés caoutchouteux ou de la poudrette directement dans le mélange en substitution de la partie fine des granulats dans les enrobés à chaud. La granularité de la poudrette ne dépassant pas 2mm de diamètre, à raison de 10 à 12kg/tonne d'enrobé.

Le caoutchouc étant mis en contact du bitume à température et à durée plus faibles que dans le procédé «wet process», la réaction entre le bitume et le caoutchouc est moins poussée. Seules les particules fines et l'interface des particules grossières peuvent former des liaisons particulières (sorte de bitume caoutchouc). Deux principales techniques sont actuellement employées dans le processus sec:

- la technique de PlusRide ;
- la technique sèche générique.

Les dimensions de la particule de caoutchouc et le temps de réaction limité permettent une réaction partielle avec le ciment d'asphalte mais pas le temps suffisant de pénétrer la masse entière de caoutchouc, ceci crée une interface d'asphalte/caoutchouc qui joue le rôle de colle. Mais, le processus sec doit employer des teneurs plus élevées de liant dans le mélange d'agrégats

avec une composition granulométrique discontinue, qui a par conséquence quelques difficultés technologiques durant le processus. Ce processus n'est pas typiquement utilisé car il produit des chaussées de moindre qualité que le processus humide.

4.2. Le processus humide (Wet method)

Le procédé humide consiste en un mélange et une réaction partielle de la poudrette de caoutchouc avec le bitume à très haute température, avec ajout éventuel d'huiles émoullientes, aromatiques ou de polymères avant l'addition des agrégats. Le résultat est un liant souvent référencé par le terme «bitume caoutchouc» ou «asphalte caoutchouté».

Dans ce processus, la poudrette de caoutchouc agit en tant que modificateur de ciment d'asphalte, Elle est mélangée préalablement avec le bitume, formant un mastic bitume-caoutchouc avant de procéder au mélange avec les granulats. Les propriétés du produit dépendent énormément de la nature du caoutchouc, de sa finesse et de son dosage, du type de diluant et sa concentration, du temps de réaction et sa température, et enfin de l'énergie de malaxage.

Deux technologies sont actuellement employées dans le processus humide, Elles diffèrent dans la façon de mélange et la réaction des CRM avec le ciment d'asphalte.

- la technologie de McDonald ;
- la technologie du mélange continu.

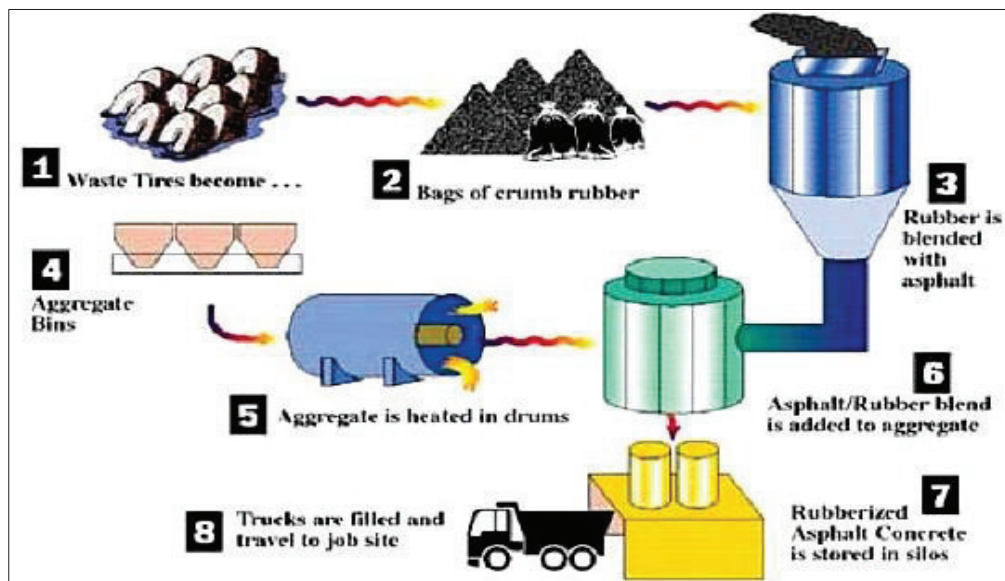


FIGURE 4: ETAPES DE FABRICATION D'ASPHALTE CAOUTCHOUC DANS LE PROCESSUS HUMIDE

5. Types d'asphalte-caoutchouté

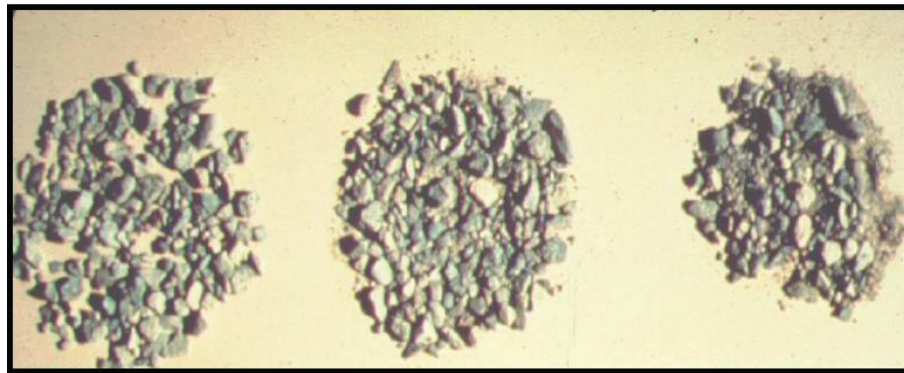
5.1. Asphalte caoutchouc Chip-Seal (SAM)

Un SAM -Stress Absorbing Membrane- ou membrane à contrainte-absorbante est employé principalement pour atténuer la remonté de fissures d'un revêtement asphaltique existant affligé ou rigide. C'est un traitement de surface en utilisant une application d'asphalte caoutchouc de jet et d'agrégats de couverture. Il comporte un mélange d'asphalte-caoutchouc pulvérisé sur la surface existante de chaussée suivie immédiatement d'une application d'agrégats uniforme qui est alors roulé et enfoncé dans la couche de liant. Son épaisseur nominale s'étend généralement entre 9 et 12 millimètres.

5.2. Asphalte caoutchouc Hot-mix

Le mélange d'asphalte caoutchouc chaud peut réparer les chaussées existantes en leurs réduisant la détérioration provoquée par le climat. Il fournit également à la surface dégradée une surface améliorée de bonnes caractéristiques extérieures de frottements. Comme il peut également être employé sur les revêtements bétonnés de ciment de Portland ou les plateformes de pont. Dans ce cas, le mélange est employé pour réduire au minimum la remontée de fissure, pour améliorer le frottement extérieur et réduire le bruit. Selon les classes d'agrégats nous distinguons :

- **Gap-graded** : mélange continu bien gradué avec une ou deux tailles plus fines manquant, utilisés dans des applications de mélanges à chaud.
- **Open-graded**: classes d'agrégats entre 2 et 3 tailles avec peu de fines.
- **Dense-graded** : mélange sans discontinuité, bien gradué utilisé dans les applications de mélanges chauds.



Open graded

Gap graded

Dense graded

FIGURE 5: CLASSES D'AGREGATS POUR ASPHALTE-CAOUTCHOU

Selon les classes d'agrégats, nous distinguons différentes applications d'asphalte caoutchouc Hot-mix :

- **Asphalt-rubber concrete** : mélange d'asphalte-caoutchouc (liant) avec agrégats dense-graded dans les applications de mélanges à chaud ;
- **Asphalt-rubber friction course** : mélange d'asphalte-caoutchouc (liant) avec agrégats open-graded dans les applications de mélanges à chaud ;
- **Chip seals** : Asphalte caoutchouté pouvant être appliqué aux chaussées existantes comme joint d'étanchéité de surface. Il fournit une bonne résistance au dérapage, améliore la durabilité des chaussées et empêche la remontée de fissures.

6. Interaction bitume-poudrette

L'utilisation de rebut du caoutchouc dans le matériau d'asphalte de chaussée est étudiée depuis 1960. Le mastic asphaltique caoutchouté, ou liant d'asphalte caoutchouc, est utilisé dans des applications de mélange à chaud et dans des applications de jet, tel que l'asphalte de caoutchouc modifié à chaud (RUBber-Modified hot-mix Asphalt -RUMAC-), et le membrane absorbant d'effort (Stress Absorbing Membrane –SAM-), ainsi que le mastic de crack/joint.

6.1. Performances du mastic bitume-poudrette

Les complexes bitumineux incorporant des poudrettes de caoutchouc présentent un double intérêt environnemental et technique, et constituent un mode de valorisation potentiel des produits usagés. Plusieurs autres avantages sont offerts par la substitution d'un enrobé classique par le complexe bitume-poudrette, ceux-ci se traduisent notamment par:

1. **Diminution du point de ramollissement** : L'asphalte modifié, comme montré par plusieurs auteurs, a un point de ramollissement bien plus haut que l'asphalte ordinaire, ceci reflète une plus grande stabilité à hautes températures ce qui mène à une plus grande résistance à la déformation et à la fissuration.

2. **Diminution de la température de rupture** : Le mastic bitume-caoutchouc présente une température de rupture inférieure à celle de l'asphalte conventionnel, celle-ci est de $-5,5^{\circ}\text{C}$ et $-8,3^{\circ}\text{C}$. Ceci montre que les bitumes modifiés sont moins fragiles et plus résistants à la fissuration à basses températures.

3. **Augmentation de la résilience** : les caractéristiques élastiques (résilience) de l'asphalte caoutchouc sont habituellement augmentées de 40 à 50% par rapport à l'asphalte conventionnel. Les procédures d'évaluation indiqueront le pourcentage du rebond du matériel asphaltique à 25°C .

4. **Augmentation de la force cohésive** : c'est la force nécessaire pour arracher un granulat de l'enrobé, celle-ci est de 25 à 50 fois plus grande dans le cas de l'asphalte modifié, ceci témoigne de l'amélioration de la résistance à la déformation et à la fissuration.

5. **Augmentation de la viscosité** : Un accroissement de viscosité significatif est obtenu après ajout de caoutchouc au ciment bitumineux. Un supplément en viscosité de l'asphalte-caoutchouc reflète une diminution de la susceptibilité aux températures, de même une amélioration des capacités d'adhésion entre l'ensemble des particules dans le mélange.

6. **Augmentation de la durabilité** : L'asphalte caoutchouté-modifié montre non seulement plus d'élasticité que l'asphalte classique, mais également une plus grande résistance au vieillissement due aux antioxydants contenus parfois dans la poudrette. Des données de

laboratoires indiquent que le taux d'oxydation d'asphalte-caoutchouc s'est avéré sensiblement inférieur à l'asphalte conventionnel.

En résumé, l'asphalte-caoutchouc est plus élastique que l'asphalte ordinaire et reste élastique à basses températures ce qui amène à dire : quand une plus grande amélioration de flexibilité à basse température est désirée, les ciments d'asphalte plus mous sont recommandés pour réaliser les propriétés améliorées sans crainte des problèmes d'instabilité ou du rinçage lié à d'autres types de matériaux asphaltiques (modifiés ou non modifiés).

6.2. Facteurs influents les performances du mastic asphalte caoutchouc

6.2.1. Influence de la nature - granulométrie - quantité de la poudrette

Le dosage en poudrettes de caoutchouc est généralement lié à la granulométrie utilisée et l'objectif ciblé, cependant les formulations habituellement recommandées dans le domaine routier requièrent des dosages compris entre 15 à 25% (cas des mélanges secs). Il est recommandé aussi d'utiliser dans l'asphalte des poudrettes composées de 75% de poudrettes issues des pneumatiques et de 25% de caoutchouc naturel, des huiles aromatiques pour le contrôle de la viscosité sont éventuellement rajoutées.

Nous remarquons que, plus le contenu en caoutchouc est élevé plus les propriétés froides de rigidité et de résistance à la fatigue sont meilleures, et plus le taux de vieillissement est inférieur. Selon certaines recherches, il a été généralisé que la résistance à la déformation est en augmentation avec la quantité du caoutchouc.

L'étude de la granulométrie de la poudrette caoutchoutée est également très importante dans la formulation de l'enrobé bitumineux. Les différentes fractions granulaires actuellement commercialisables sont : 0/0,5 mm, 0,5/2 mm, 2/7 mm et 7/15 mm. Dans le domaine des revêtements routiers, la granularité généralement utilisée est inférieure à 2 mm.

6.2.2. Influence de la température du mélange

Le mélange d'asphalte caoutchouté devient plus compatible peu de temps après le mélange de même composition préparé à 150°C. La modification d'asphalte caoutchouté à la température de durcissement plus haute à 220°C mène à l'affaiblissement de la qualité du produit. D'autre part, un problème d'émission d'asphalte se produit si la température de durcissement dépasse 200°C.

6.2.3. Influence des additifs et du temps de contact

Le temps de mélange (asphalte+caoutchouc) influe sur le degré d'interaction asphalte-caoutchouc. Les nouvelles performances du liant peuvent être atteintes généralement après une période de 45 à 60 minutes.

Il a été constaté que l'ajout de 0,5% de poudrettes du poids du liant influe de manière significative sur les propriétés du ciment d'asphalte aux températures supérieures notamment par l'augmentation de niveau de la catégorie du liant.

7. Performances mécaniques de l'asphalte caoutchouc

7.1. Performances des chaussées en bitume-poudrette

Plusieurs améliorations ont été apportées au niveau des chaussées construites en bitume-caoutchouc et ce sur plusieurs plans, nous citons ci-après les plus importantes :

7.1.1. Fissuration : L'asphalte caoutchouté réduit considérablement la fréquence d'apparition des fissures dues aux mouvements verticaux et/ou horizontaux de la chaussée, en raison de ses propriétés élastiques. De même, la présence de caoutchouc dans les bitumes améliore la résistance à la fissuration thermique de ceux-ci. De ce fait, les bitumes caoutchouc peuvent être très utiles comme anti-remontée de fissures.

7.1.2. Résistance à l'orniérage : Du fait de leur consistance plus raide, les chaussées en asphalte caoutchouté résistent mieux à l'orniérage que les chaussées traditionnelles.

7.1.3. Vieillessement : l'asphalte caoutchouté modifié se caractérise par une grande résistance au vieillissement. Cette propriété est le résultat des antioxydants contenus dans les poudrettes et intégrés dans l'asphalte. A cet effet, les chaussées en bitume modifié résistent mieux sous l'effet des contraintes cycliques répétées.

7.1.4. Durabilité et entretien : les produits d'asphalte caoutchouté sont également utilisés pour remettre en état les chaussées qui sont superficiellement détériorées et dont l'intégrité structurale est gardée. Dans beaucoup de cas, l'épaisseur réduite des recouvrements en asphalte caoutchouté (presque la moitié d'épaisseur de l'asphalte ordinaire) compense une grande partie la hausse en coût initial. De même, la fréquence d'intervention pour entretien pourra être largement atténuée dans le cas des chaussées en asphalte caoutchouc.

7.1.5. Drainage et sécurité : Les poudrettes caoutchoutées entrent également dans la fabrication des enrobés drainants. De plus, les revêtements caoutchoutés offrent une plus grande sécurité, leur aspect de surface plus mat diminue l'éblouissement par temps de pluie tout en assurant un meilleur drainage limitant ainsi les risques d'aquaplaning.

7.1.6. Aspect sonore : l'asphalte caoutchouté mélangé à chaud a démontré une réduction importante du niveau de bruit de l'ordre de 5 décibels.

7.1.7. Rapidité et économie : La facilité de mise en œuvre des chaussées d'asphalte caoutchouté en raison qu'elles peuvent être usiné, placé et mises en service immédiatement (retard intolérable risque le durcissement de la chaussée) permet de réduire la durée des travaux ce qui les rend plus pratiques et rapides.

Les chaussées d'asphalte caoutchouté sont rentables du fait de:

- Réduction du coût d'entretien grâce à ses hautes performances permettant une longévité de vie des chaussées ;
- Facilite de mise en œuvre permettant une économie de coût-délai ;
- Gain en épaisseurs des couches et de produits réutilisées (déchet pneumatique) ;
- Capacité de recyclage et de réutilisation des agrégats et du liant d'asphalte caoutchouc qui garde beaucoup de ses propriétés de cimentage.

7.2. Les limitations de l'asphalte caoutchouté

Les asphaltes à base de poudrettes caoutchoutées constituent une alternative très intéressante, mais ils doivent être correctement choisis, conçus, et construits pour fournir les améliorations désirées. Les limitations sur l'utilisation d'asphalte caoutchouté portent sur :

- les coûts de mobilisation pour l'équipement de production de l'asphalte caoutchouté pour de grands projets peuvent être répartis sur le tonnage de sorte que le prix unitaire puisse être compensé par le prolongement de la durée de vie, coûts d'entretien minime, et épaisseur réduite des chaussées, cependant, Pour de petits projets, le coût de mobilisation est le même, ayant pour résultat une augmentation du prix unitaire pour une petite amélioration ce qui n'est pas la solution optimale ;

- les prix de revient unitaire des produits en asphalte caoutchouté sont plus chers que ceux des produits conventionnels. Le coût initial est l'une des raisons que l'utilisation des mélanges d'asphalte caoutchouté chauds est limitée aux couches minces ;

- Difficulté de recyclage des matériaux en asphalte caoutchouté en raison de la rigidification du liant après emploi. De même, un retard notable entre le mélange et la mise en œuvre peut ne pas donner satisfaction du fait de la digestion complète de la poudrette ;

- Pour les petits chantiers dans des sites éloignés, l'agrégat chaud et/ou pré enduit peut ne pas être disponible parce qu'il peut ne pas y avoir d'usines sur une distance raisonnable ;

- La fabrication de l'asphalte caoutchouté au niveau de la centrale d'enrobage requière plus d'énergie que les enrobés classiques, étant donné que la poudrette rend le liant plus rigide à températures élevées ;

- les liants caoutchoutés et les bitumes modifiés, présentent une certaine sensibilité aux conditions météorologiques lors de la mise en œuvre, ce qui rend leur utilisation délicate sous certaines conditions. Leur utilisation n'est pas recommandée dans les conditions suivantes :

- temps pluvieux ;
- temps froid avec température ambiante de surface inférieure à 13° C ;
- Chaussées accidentées et fortement fissurées ;
- sur de longues distances avant sa mise en œuvre (refroidissement).

7.3. Considérations sur le coût d'asphalte caoutchouc

L'utilisation de poudrettes sur les chantiers entraîne un surcoût de 10% par rapport à l'emploi d'un bitume non modifié. Cette différence de coût peut être compensée par;

- l'augmentation de la durée de vie du bitume traité ;
- l'augmentation des performances physico-mécaniques ;
- la diminution de la fréquence des opérations d'entretien.

8. Conclusion

Les asphaltes incorporant des poudrettes caoutchoutées offrent de meilleures performances mécaniques, thermiques, et durables. Ils peuvent être employés partout et de la même façon que les enrobés conventionnels comme il est montré à travers le présent chapitre. Les diverses qualités attribuées au bitume amélioré par les poudrettes permettent une utilisation large de ce produit dans différents domaines liés aux utilisations aéroportuaires ou le mélange permet de :

- réduire le processus de vieillissement de la couche de surface sous l'effet des contraintes météorologiques ;
- limiter les nuisances sonores par une limitation du bruit engendré par le contact pneu-surface ;
- améliorer la sécurité des pistes mouillées en minimisant le phénomène d'aquaplaning ;
- offrir une qualité de souplesse et de résistance à l'usure ;
- augmenter la durée de service de la couche de surface par amélioration de ses caractéristiques mécaniques.

La réutilisation de la poudrette de caoutchouc dans l'industrie ne relève guère seulement des actions écologiques qui vise à préserver notre environnement, mais bien plus par l'enjeu socio-économique et l'obligation de s'aligner au diapason de l'économie mondiale.

Chapitre I. Les aérodromes - présentation du projet

Chapitre I. les aérodromes - présentation du projet

I.1. Introduction

L'Algérie est un pays amplement occupé par un territoire vierge et désertique que nous avons depuis longtemps appelé le Sahara, ce territoire qui représente une immensité désertique près de 90% de la surface globale du pays, soit 2 millions de kilomètres carrés, regorge de richesses minières et énergétiques. Le Sahara algérien est donc un vaste territoire exotique, avec un sous-sol généreux, qui a toujours fait figure de « coffre-fort » pour le reste du pays.

L'exploitation de ces richesses nécessite un développement des moyens de transport, notamment le transport aérien, y compris les infrastructures aéroportuaires, ce qui nous ramène à notre chapitre, qui révélera une vision globale sur les aérodromes, et plus précisément l'aérodrome de MLN (Menzel Lejmet Nord).

I.2. Les aérodromes

Nous parlons souvent d'aérodrome, d'aérogare et d'aéroport, la différence est comme suit :

Un aérodrome possède une infrastructure et des moyens qui permettent de faire atterrir et décoller les avions. L'aéroport exige en plus, des infrastructures pour gérer les passagers et le fret. L'aérogare est encore en usage mais avec un sens plus restreint que l'aéroport, il s'applique plus spécialement à toutes les installations qui accueillent les passagers.

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

Un aéroport est un aérodrome sur lequel il existe des bâtiments et des installations qui servent au trafic aérien, aérogares, aires de transit.

À ce propos, les définitions générales des aérodromes seront exposées dans l'annexe.

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

I.3.1. Situation géographique

La wilaya de Ouargla (en arabe: ولاية ورقلة, en berbère: Ouargla) est située au Sud-Est du pays couvrant une superficie de 211 980 km². Elle est le cœur économique et poumon de l'Algérie grâce au pétrole de Hassi Messaoud.



FIGURE I.1. LA LOCALISATION DE LA WILAYA DE OUARGLA

La wilaya de Ouargla est délimitée comme suit :

- Au Nord, par les wilayas de Djelfa, Biskra et El Oued
- Au Sud, par les wilayas d'Illizi et Tamanrasset
- À l'Est, par la Tunisie
- À l'Ouest, par la wilaya de Ghardaïa



FIGURE I.2. LES WILAYAS LIMITOPHES DE LA WILAYA DE OUARGLA

Notre projet se situe à El Borma, Commune et Daïra de la wilaya de Ouargla. Avec une superficie de 47 261 km² et une population de 3 205 habitants. Elle constitue un poste frontière avec la Tunisie dont la frontière est distante de 500 mètres, et les deux Partagent une frontière de 180km.

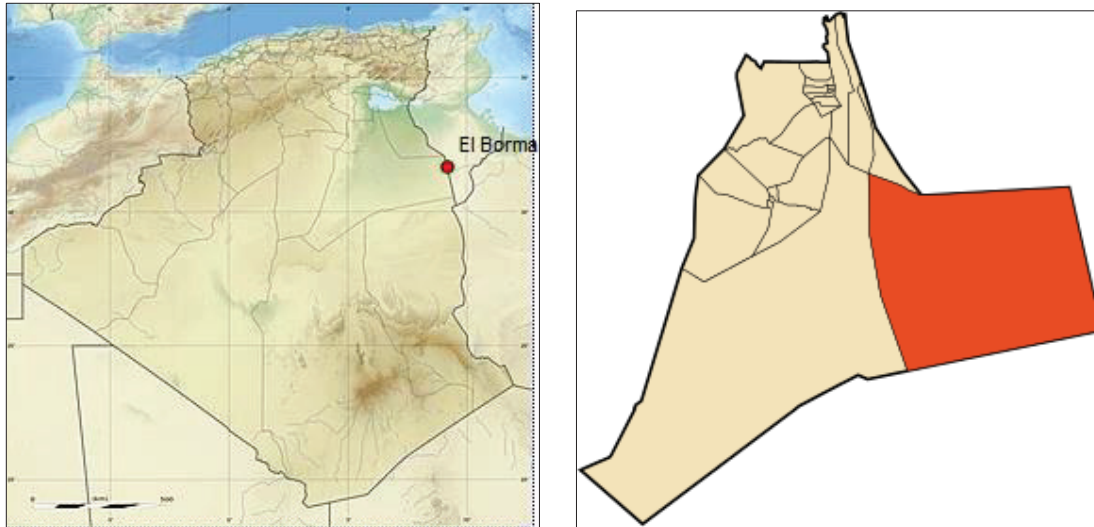


FIGURE I.3. LA LOCALISATION DE LA VILLE ET COMMUNE DE EL BORMA

I.3.2. Climat et pluviométrie de la région

La région est située dans un contexte désertique caractérisé par un climat aride, chaud et sec en été (38 à 47°C). En hiver la température diurne est tempérée et les nuits sont froides atteignant souvent des températures au-dessous de 0°C.

L'ensoleillement est intense, il couvre la majeure partie de l'année. L'écart thermique est conséquent pouvant atteindre les 18°C. Les précipitations sont rares, et se présentent sous forme d'orages courts et violents. La pluviométrie atteint 20 à 50-mm/an. Le vent a une vitesse modérée durant l'année (16 à 20 nœuds), et devient fort à très fort durant les mois de février, mars et avril provoquant de violentes tempêtes de sable avec des vitesses dépassant parfois 100 km/h. la direction des vents dominants est Sud - Ouest de Janvier à Aout, et Est à Nord - Est durant la période de septembre à novembre.

I.3.3. Voies de communication

Nous distinguons deux voies de communication, à savoir :

- Voie routière : El Borma est desservie principalement par les routes nationales RN03 et la RN53.
- Voie aérienne : la wilaya de Ouargla est desservie par 3 aéroports : l'aéroport de Ouargla, Touggourt et Hassi Messoud. Sur la surface de la commune d'El Borma, nous retrouvons plusieurs petits aérodromes, un pour chaque complexe pétrolier ou de gaz, comme c'est le cas pour l'aérodrome de MLN.

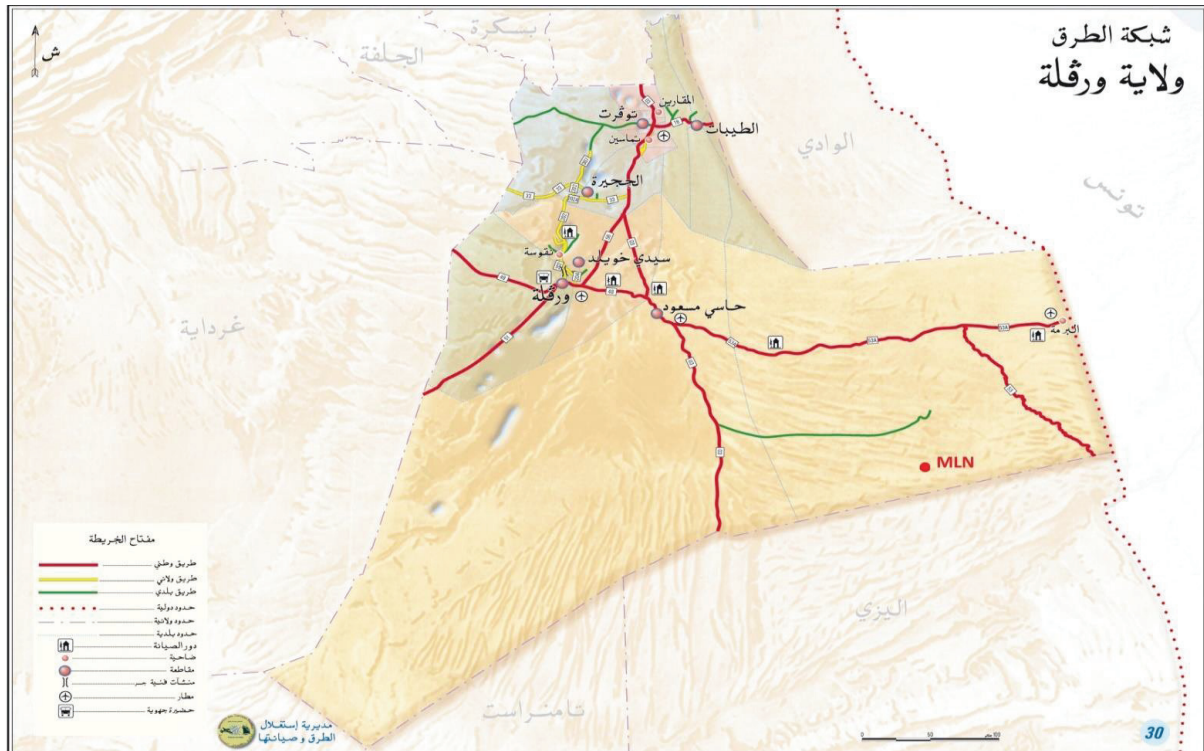


FIGURE I.4. LES VOIES DE COMMUNICATION DE LA WILAYA DE OUARGLA

I.3.4. Les gisements

La wilaya de Ouargla est l'une des plus riches wilayas en ressources naturelles fossiles en Algérie. Elle comprend Le gisement de Hassi Messaoud, situé dans le bassin de Berkine, qui est le plus grand gisement de pétrole d'Algérie et de tout le continent africain. Ainsi que, plusieurs autres gisements d'hydrocarbures.

Le gisement de MLN : La région de MLN (Menzel Lejmet Nord) constitue l'un des champs pétroliers du Sud Est Algérien, Le gisement de MLN fait partie d'une série de découvertes de gisements de pétrole dans le bloc 405a du bassin de Berkine, située à environ 280km de la ville de Hassi Messaoud. Découverte en 1996, elle a commencé sa production en 2003. La piste d'atterrissage associée à une importance capitale dans le transport.

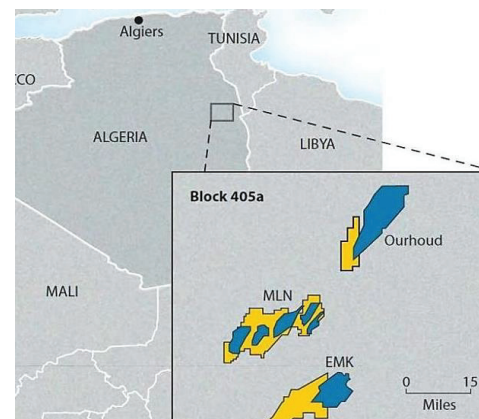


FIGURE I.5. LE COMPLEXE MLN, VUE ET LOCALISATION

I.4. Présentation de la nouvelle piste :

L'ancien aérodrome de MLN est doté d'une piste en terre battue, caractérisée par des pentes importantes. De ce fait, il a été décidé de concevoir un nouvel aérodrome, avec une piste d'asphalte à 8km de l'ancienne piste et à 5km de la base de vie des travailleurs, cette dernière est plus proche comparée à l'ancienne (9km de la base de vie). Le choix du site a été fait de manière à définir un terrain situé aux alentours du complexe et de la base de vie pour des raisons de sécurité pour les travailleurs, mais aussi un terrain ne présentant pas des reliefs et d'obstacles importants gênants pour les opérations aériennes. Nous retrouvons ci-après, une fiche du nouvel aérodrome :

- Nom : piste d'Atterrissage MLN ;
- Statut : civil ;
- Altitude : 218m ;
- aire de stationnement (parking pour avion) : 2 ;
- Température de référence : 35 °C ;
- Le type de l'exploitation : l'exploitation est à vue.

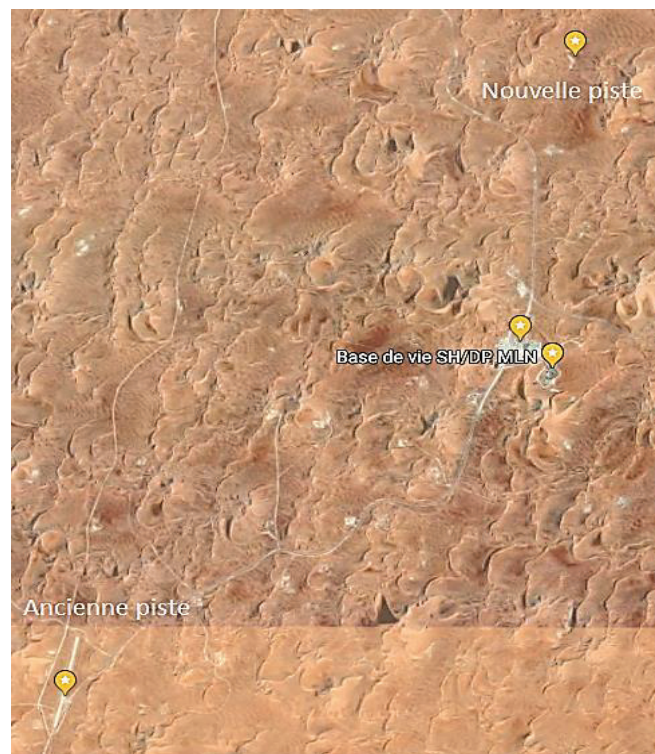


FIGURE I.6. CARTE MONTRANT LES 2 PISTES (ANCIENNE + NOUVELLE) ET LA BASE DE VIE MLN

I.4. Conclusion

Ce chapitre illustre une vue générale du projet, tel que le but de la conception d'une nouvelle piste à MLN ainsi que sa situation géographique et l'environnement qui l'entoure, afin de mieux comprendre et préparer les prochaines étapes de notre étude.

Chapitre II. Etude du nouvel aérodrôme de MLN

Chapitre II. Etude du nouvel aéroport de MLN

II.1. Introduction

Afin de réaliser un aéroport, il est fondamentale d'utiliser les normes internationales exigées dans l'annexe 14 « Conception et exploitation technique des aéroports », élaborée par l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI).

L'objectif de ce chapitre est de déterminer les caractéristiques géométriques de la piste de MLN, tel que la longueur et la largeur, mais également de choisir une orientation convenable, selon les normes internationales.

II.2. Analyse des données de l'aéroport

II.2.1. L'avion critique

La détermination des avions critiques est un aspect important de la planification et de la conception des aéroports. Il définit les exigences dimensionnelles applicables à un aéroport, telles que la distance entre les voies de circulation et les pistes et la taille de certaines zones protégeant la sécurité des opérations aériennes et des passagers. Une détermination précise de l'avion critique aide à garantir le bon développement des installations aéroportuaires et fait la liaison entre les dimensions de la zone opérationnelle et l'avion le plus exigeant qui utilise régulièrement les pistes, les voies de circulation et les aires de trafic.

L'avion critique est le plus pénalisant en termes de masse, ou groupe d'avions aux caractéristiques similaires, qui utilisent régulièrement l'aéroport. L'utilisation régulière est de 500 opérations annuelles. Une opération est soit un décollage ou un atterrissage.

Pour l'aéroport de MLN, l'Avion critique est le **Beechcraft 1900D**. Ses caractéristiques principales sont les suivantes :

TABLEAU II.1. LES CARACTERISTIQUES DU BEECHCRAFT 1900D

Longueur	17.63 m (57.83 ft)
Hauteur	4.72 m (15.48 ft)
Envergure	17.67 m (57.98 ft)
Largeur hors train principal	5,23 m (17.17 ft)
Masse maximale au roulage	7,738 kg (17,060 lb)
Masse maximale au décollage	7,688 kg (16,950 lb)
Distance de référence	1,140 m (3,740 ft)
Capacité	19 passagers

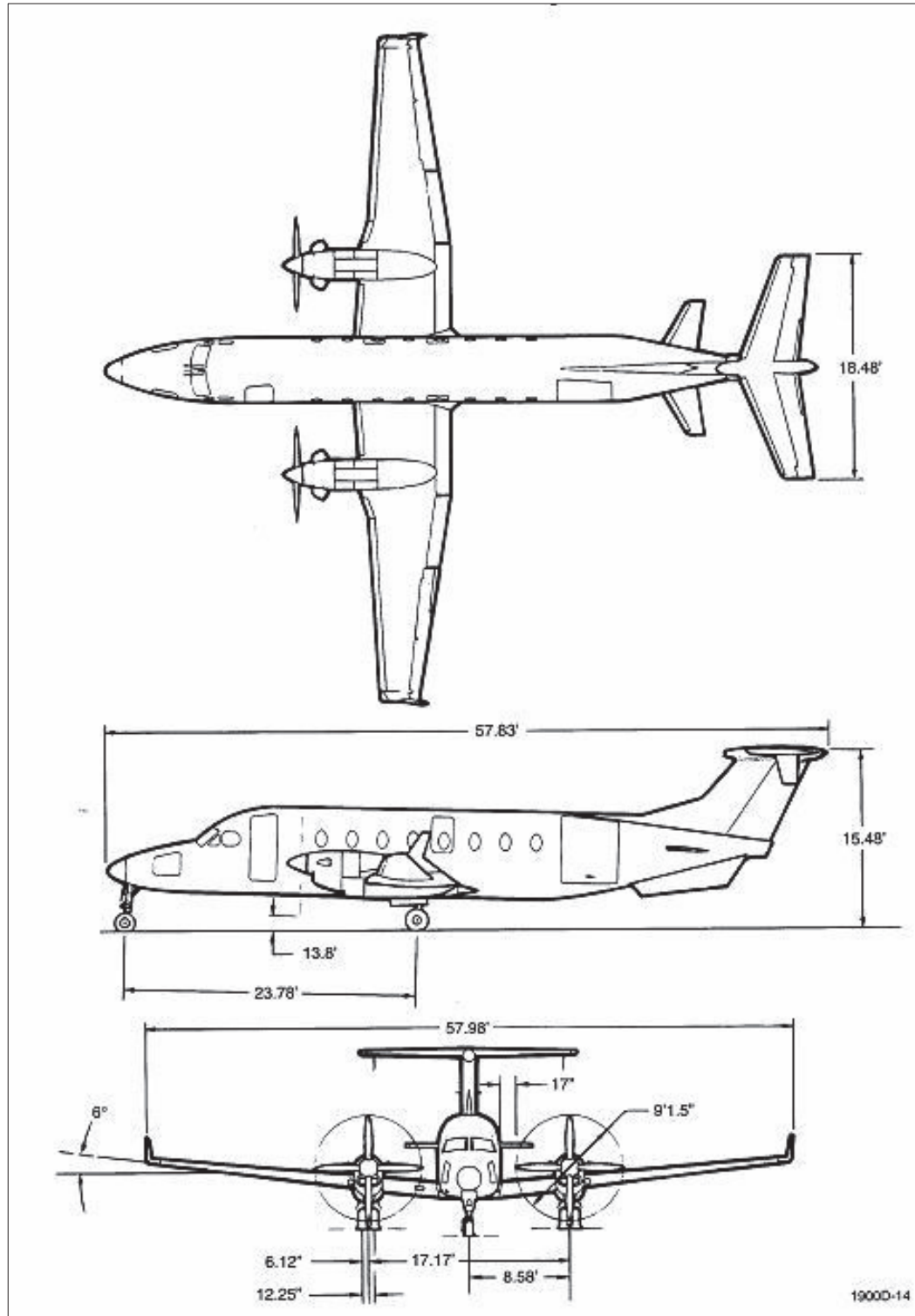


FIGURE II.1. SCHEMA REPRESENTANT LES DIMENSIONS ET LES PERSPECTIVES DU BEECHCRAFT 1900D

II.2.2. Classification de l'aéroport

L'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) recommande, depuis 1982, d'adopter pour la conception des aéroports soumis à ses règles un code de référence, qui fournit une méthode simple permettant d'établir une relation entre les nombreuses spécifications qui traitent des caractéristiques d'un aéroport afin de définir une série d'installations adaptées aux avions qui seront appelés à utiliser cet aéroport. Le code de référence se compose de deux éléments liés aux caractéristiques de performances et aux dimensions de l'avion.

- **L'élément 1** est un chiffre fondé sur la distance de référence de l'avion le plus pénalisant définie elle-même comme étant la longueur minimale, indiquée par son manuel de vol, nécessaire pour son décollage au niveau de la mer dans des conditions correspondant à l'atmosphère standard en air calme et avec une pente de piste nulle ;
- **L'élément 2** est une lettre fondée sur l'envergure de l'avion et la largeur hors tout de son train principal.

Le chiffre de code correspondant à **l'élément 1** sera déterminé d'après la colonne 1 du Tableau II.2, en choisissant le chiffre du code correspondant à la plus grande des distances de référence des avions auxquels la piste est destinée.

La lettre de code correspondant à **l'élément 2** sera déterminée selon la colonne 3 du Tableau II.2, en choisissant la lettre du code qui correspond à la plus élevée des catégories déterminées par la valeur numérique des caractéristiques des avions auxquels l'installation est destinée.

Les chiffres et les lettres du code de référence de l'aéroport auront les significations indiquées au Tableau II.2.

TABLEAU II.2. LE CODE DE REFERENCE D'AERODROME

Elément de code 1		Elément de code 2		
Chiffre de code	Distance de référence de l'avion	Lettre de code	Envergure	Largeur hors tout du train principal (a)
1	Moins de 800 m	A	Moins de 15 m	Moins de 4,5 m
2	De 800 m à 1200 m exclus	B	15 m à 24 m exclus	De 4,5 m à 6 m exclus
3	De 1200 m à 1800 m exclus	C	24 m à 36 m exclus	de 6 m a 9m exclus
4	1800 m et plus	D	36 m à 52 m exclus	De 9 m à 14 m exclus
a: distance entre les bords extérieurs des roues du train principal		E	52 m à 65 m exclus	De 9 m à 14 m exclus
		F	65 m à 80 m exclus	De 9 m à 16 m exclus

Dans notre cas la distance de référence est de 1140m et l'envergure est de 18m donc la catégorie de l'aéroport est **2B**.

II.2.3. Etude de Trafic

Le trafic, caractérisé par le nombre d'opérations (décollage /atterrissage) sur une aire aéronautique, est essentiel pour définir des exigences dimensionnelles des structures du corps de chaussée des différentes parties de l'aéroport, telles que la piste, bretelles, voies de circulation et le parking.

La piste d'atterrissage a été dimensionnée pour supporter 10 mouvements par jour de l'avion le plus contraignant qui est le **Beechcraft 1900D**, et ce pendant 10 ans, ce qui totalise 36500 mouvements.

II.3. Caractéristiques géométriques de la piste

II.3.1. Détermination de la longueur de la piste

Il est recommandé que la longueur réelle à donner à une piste principale soit suffisante pour répondre aux besoins opérationnels des avions auxquels la piste est destinée et ne soit pas inférieure à la plus grande longueur obtenue en appliquant aux vols et aux caractéristiques de performances de ces avions les corrections correspondant aux conditions locales. Parmi les conditions locales nécessaires de prendre en considération figurent l'altitude, la température, la pente de la piste, l'humidité et les caractéristiques de surface de la piste.

Note : Il est nécessaire de prendre en considération les besoins au décollage et à l'atterrissage lorsqu'on détermine la longueur de la piste à aménager et la nécessité d'utiliser la piste dans les deux sens.

II.3.1.1. Facteurs influant sur la longueur des pistes

Les facteurs suivants influent sur la longueur de piste à prévoir :

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

La longueur de la piste nécessaire pour le décollage ou l'atterrissage d'un avion sera plus faible avec un vent de face et plus grande avec un vent arrière. La longueur de la piste nécessaire sera également plus grande si la température est plus élevée, car la densité de l'air diminue quand la température augmente et il en résulte des poussées moindres et une portance réduite. Et finalement pour l'effet des pentes des pistes, il est évident que pour un décollage sur piste montante, un avion a besoin d'une plus grande longueur de piste que sur une piste horizontale ou descendante, la longueur exacte dépendant de l'altitude de l'aéroport et de la température.

Toutes choses égales d'ailleurs, la longueur de piste nécessaire est en fonction directe de l'altitude de l'aéroport (et en fonction inverse de la pression barométrique). La longueur de piste à un aéroport peut être limitée par les propriétés moyennes ou par des caractéristiques topographiques telles que des montagnes, des nappes d'eau ou des vallées abruptes.

II.3.1.2. Pistes principales

À l'exception des pistes dotées d'un prolongement d'arrêt et/ou d'un prolongement dégagé, la longueur réelle à donner à une piste principale devrait être suffisante pour répondre aux besoins opérationnels des avions auxquels la piste est destinée et ne devrait pas être inférieure à la plus grande longueur obtenue en appliquant aux vols et aux caractéristiques de performances de ces avions les corrections correspondant aux conditions locales.

Lorsque nous ne possédons pas de données de performances sur les avions auxquels la piste est destinée, la longueur réelle d'une piste principale peut être déterminée en appliquant des facteurs de correction généraux, comme il est indiqué par la suite.

II.3.1.3. Correction des longueurs de piste pour tenir compte de l'altitude, de la température et de la pente

Lorsque nous ne disposons pas du manuel de vol approprié, la longueur de la piste doit être déterminée en appliquant des **facteurs de correction généraux** (elle est obtenue en multipliant cette dernière par un facteur de majoration N).

La première étape consiste à choisir une longueur de base susceptible de répondre aux spécifications d'exploitation des aéronefs auxquels la piste est destinée. Cette longueur de base est une longueur de piste, choisie à des fins de planification d'aéroport, qui est nécessaire pour le décollage ou l'atterrissage dans les conditions correspondant à l'atmosphère type, à l'altitude zéro, avec vent nul et pente de piste nulle.

$$L = L_{\text{ref}} \times N \qquad N = \left(1 + \frac{N1}{100}\right) \left(1 + \frac{N2}{100}\right) \left(1 + \frac{N3}{100}\right)$$

Le facteur de N est fonction des trois coefficients de corrections suivants :

N1 : coefficient de correction de l'altitude ;

N2 : coefficient de correction de la température ;

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

- **Coefficient de correction de l'altitude N1**

La longueur de base devrait être augmentée de 7 % par tranche de 300 m d'altitude de l'aéroport.

Avec h est l'altitude de l'aéroport exprimée en mètre.

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

$h = 218$ m

$$N1 = 5.087$$

- **Coefficient de correction de la température N2**

La longueur de piste déterminée conformément devrait être à nouveau augmentée d'un pourcentage égal au nombre de degrés Celsius dont la température de référence de l'aéroport excède la température en atmosphère type à l'altitude de l'aéroport.

Le coefficient N2 est donné par la formule suivante :

$$N2 = T - t$$

Avec :

T : La température de référence de l'aéroport est égale à la moyenne mensuelle de la température quotidienne moyenne du mois le plus chaud de l'année, majorée du tiers de la différence entre cette température et la moyenne mensuelle de la température quotidienne maximale pour le même mois.

t : la température de référence en atmosphère type à l'altitude de l'aéroport.

L'atmosphère type à l'altitude zéro (niveau de la mer) se caractérise par une température $t_0 = 15$ °C, diminuant de $0,0065$ °C par mètre d'altitude de plus (1.98 °C /1000 pied).

D'où : $t = t_0 - 0,0065 \times h$

$$t = 13.58$$
°C

Avec $T = 35$ °C.

Donc:

$$N2 = 21,417$$
°C

Toutefois, au cas où la correction totale d'altitude et de température serait **supérieure à 35 %**, il conviendrait de déterminer les corrections à appliquer au moyen d'une étude particulière. Les caractéristiques d'exploitation de certains avions peuvent montrer que ces corrections forfaitaires ne leur conviennent pas, et qu'il faudrait peut-être les modifier en fonction d'une étude aéronautique tenant compte des conditions existantes au lieu envisagé et des besoins de ces avions.

Alors, il nous reste à confirmer que la correction totale d'altitude et de température serait **inférieure à 35 %**

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

1.277 ≤ 1.35 Condition vérifiée → Coefficients valables

- **Coefficient de correction de la pente de la piste N3**

Lorsque la longueur de base déterminée par les spécifications de décollage est égale ou supérieure à 900 m, cette longueur devrait être à nouveau augmentée de 10 % par tranche de 1% de la pente de piste.

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 devrait pas dépasser 2% lorsque le chiffre de code est 2.

Correction de la pente : $N3 = 10 \times P$

Avec P : pente moyenne de la piste exprimée en %.

On a : $P=2\%$

$N3 = 10 * 0.02$

Donc : **$N3= 0.2$**

Afin de calculer la longueur de la piste **L**, on multiplie la longueur de référence donnée **Lref** par le coefficient **N** qui engendre les 3 corrections précédentes.

Lref (Beechcraft 1900D) =1140m

$L= 1140 \times 1.28 = 1458.7m$

La longueur de la piste sera **1500m**.

III.3.2. Détermination de la largeur de la piste

Les largeurs de piste indiquées dans le Tableau II.3 sont les largeurs minimales jugées nécessaires pour garantir la sécurité de l'exploitation. Les facteurs ayant une incidence sur la largeur des pistes sont les suivants :

- écart de l'avion par rapport à l'axe de piste au toucher des roues ;
- vent traversier ;
- contamination de la surface de la piste (Ex : pluie, neige fondante ou givre) ;
- résidus de caoutchouc ;
- approches en crabe par vent traversier ;
- vitesses d'approche ;
- visibilité ;
- facteurs humains.

Les essais sur simulateur pour étudier les décollages interrompus sur des pistes contaminées avec un moteur en panne et par vent traversier, ainsi que les observations établies à de nombreux aéroports font apparaître que la largeur de piste spécifiée pour chaque code de référence d'aéroport est nécessaire à l'exploitation. Si l'on prévoit d'utiliser des pistes d'une largeur inférieure aux valeurs spécifiées ci-dessus, il faut en étudier les conséquences sur la sécurité, l'efficacité et la régularité des vols, ainsi que sur la capacité des aéroports.

TABLEAU II.3. LA LARGEURS DES PISTES

Code de chiffre	Code de lettre					
	A	B	C	D	E	F
1	12m	18 m	23 m	-	-	-
2	23m	23 m	30 m	-	-	-
3	30 m	30 m	30 m	45 m	45 m	-
4	-	-	45 m	45 m	45 m	60m

L'Aéroport de MLN étant de classe 2B, la piste doit avoir une largeur de **23 m**.

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

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

De plus, les pistes devraient être orientées de façon que les avions ne survolent pas des zones à forte densité de population et évitent les obstacles.

II.4.1. Vent traversier (Crosswind)

Les avions se présentent généralement face au vent, Cependant, Il est possible de décoller ou d'atterrir avec une composante du vent arrière (Tailwind) à condition que cette dernière ne dépasse pas la limite admissible figurant dans le manuel du vol (AFM).

Le facteur le plus déterminant de l'orientation de la piste est la composante du vent traversier, qui est la composante perpendiculaire à l'axe de la piste. Les manœuvres d'atterrissage et de décollage deviennent difficiles voir dangereuses, lorsque le vent traversier dépasse une certaine limite.



FIGURE II.2. CAS D'ATERRISSAGE D'UN AVION AVEC UN FORT VENT TRAVERSIER

L'effet girouette : Le vent traversier tend à écarter l'avion de l'axe de la piste en l'orientant face au vent.

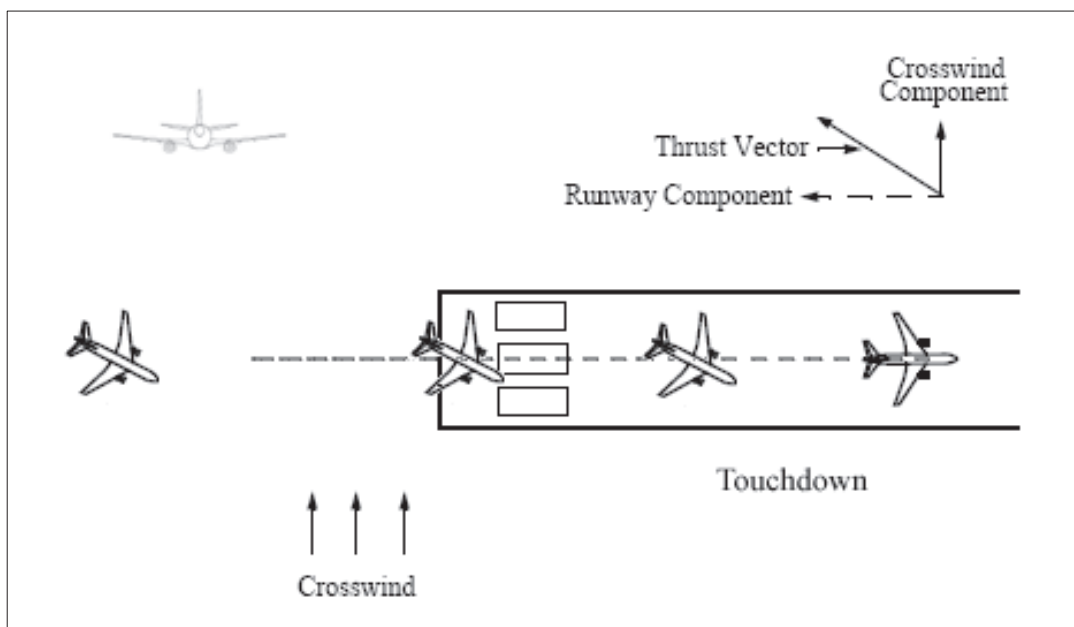


FIGURE II.3. L'EFFET GIROUETTE

II.4.2. le Coefficient d'utilisation C_u

Le coefficient d'utilisation est l'un des facteurs important pour la détermination de l'orientation d'une piste. Il est défini par l'OACI comme étant le 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.

Le nombre et l'orientation des pistes d'un aéroport devraient être tels que le coefficient d'utilisation de l'aéroport ne soit pas inférieur à 95 % pour les avions à l'intention desquels l'aéroport a été conçu.

Lors de l'application du coefficient d'utilisation de 95 %, il devrait être présumé que, dans les circonstances normales, il n'y aura ni décollage ni atterrissage si la valeur de la composante transversale du vent est supérieure à :

TABLEAU II.4. LES VALEURS LIMITES DU VENT TRAVERSIER

Chiffre de code	Longueur de référence	Vitesse limite du vent traversier en Kts/h	Vitesse limite du vent traversier en km/h	Vitesse limite du vent traversier en m/s
2	Moins de 1200 m	10	19	5.28
3	Entre 1200 et 1500 m	13	24	6.67
4	Plus de 1500 m	20	37	10.28

II.4.2.1. Méthodologie de calcul de coefficient d'utilisation (Cu)

Afin de calculer le Cu, nous avons procuré les données locales météorologiques relatives au vent selon 04 classes de vitesse et 16 directions, chacune représente 22.5° de la rose des vents, obtenues de l'Office National de la Météorologie pour la région de Ouargla. Vu la non disponibilité d'une station météorologique plus proche de notre projet.

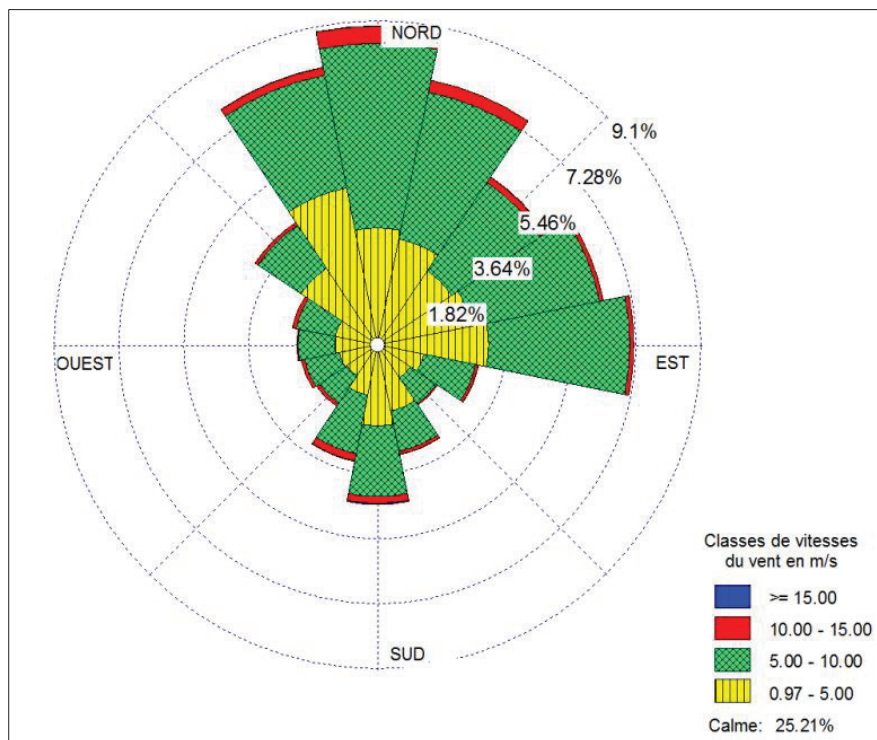


FIGURE II.4. ROSE DES VENTS ANNUELS DE OUARGLA DURANT LA PERIODE 2008-2018

Ils sont affichés dans le tableau II.5

TABLEAU II.5: LA REPARTITION DES VENTS A OUARGLA

Mois	Annuel				Total (%)
	Classes de Vitesses (m/s)				
	01-05	05-10	10-15	>= 15	
N	3%	5%	0%	0%	9%
NNE	3%	4%	0%	0%	8%
NE	3%	3%	0%	0%	6%
ENE	3%	4%	0%	0%	6%
E	3%	4%	0%	0%	7%
ESE	1%	1%	0%	0%	3%
SE	1%	1%	0%	0%	2%
SSE	2%	1%	0%	0%	3%
S	2%	2%	0%	0%	4%
SSW	1%	2%	0%	0%	3%
SW	1%	1%	0%	0%	2%
WSW	1%	1%	0%	0%	2%
W	1%	1%	0%	0%	2%
WNW	1%	1%	0%	0%	2%
NW	3%	1%	0%	0%	4%
NNW	4%	2%	0%	0%	8%
Calme					25%
Total	35%	36%	2%	0%	73%

- **Etapas de calcul du coefficient d'utilisation**

On trace partir du centre des cercles concentriques la direction d'envole à étudier (Δ) et on trace les tangentes (Δ_1) et (Δ_2) au cercle correspondante à la force du vent traversier admissible par la classe de l'avion considéré et parallèle à la direction d'envol à étudier.

On multiplie les surfaces S_i calculées, par les pourcentages P_i des portions contenant les surfaces, ensuite on divise par la surface S d'une portion.

Après l'obtention de la valeur N , on la soustrait de 100.

$$C_u = 100 - N$$

$$N = \sum \left(\frac{S_i}{S} \right) \times P_i$$

Tels que :

Si : Les surfaces en dehors des parallèles appartenant à des portions distinctes.

Pi : Les pourcentages des portions contenant les surfaces **Si** donnés dans le tableau de répartition des vents.

S : Surface d'une portion.

La direction à retenir pour l'orientation de la piste sera celle qui aura le plus grand coefficient d'utilisation tout en s'assurant qu'il n'y ait pas d'obstacles contraignants dans cette direction.

- Exemple de calcul pour la direction NE-SW

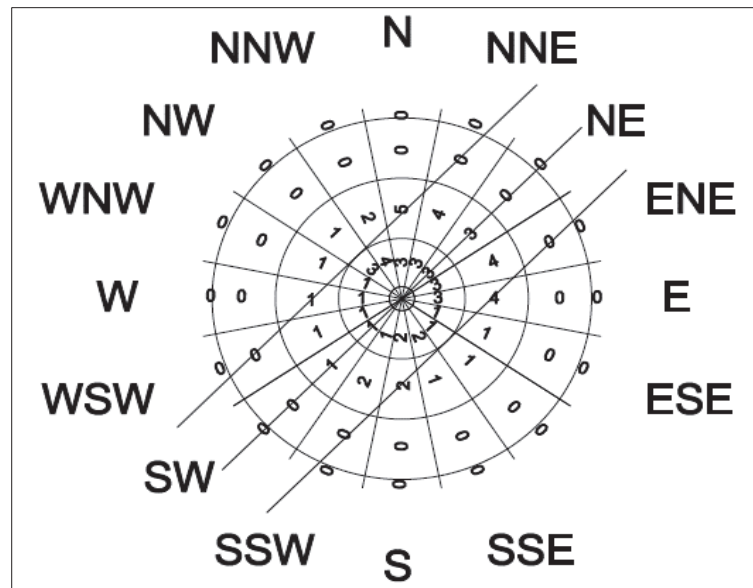


FIGURE II.5. CALCUL DU « Cu » POUR LA DIRECTION NE-SW

$$Cu = 100 - (1 / 44,18) \times [(11 \times 0,33) + (12 \times 9,28) + (5 \times 13,77) + (2 \times 14,66)]$$

$$Cu = 95,51 \%$$

De la même manière, on calcule le C_u pour les autres directions.

Les résultats sont écrits dans le tableau suivant :

TABLEAU II.6. LES RESULTATS DU CALCUL DU « Cu » POUR LES DIFFERENTES DIRECTIONS

Orientation	N/S	NNE/ SSW	NE/SW	ENE/ WSW	E/W	ESE/ WNW	SE/N	SSE/ NNW
	0°	22.5°	45°	67.5°	90°	112.5°	135°	157.5°
N %	5.18	4.61	4.49	5.55	6.44	7.36	7.32	6.21
Cu %	94.82	95.39	95.51	94.45	93.56	92.64	92.68	93.79

Une fois les valeurs des coefficients d'utilisation calculées, elles sont représentées sous forme de graphe $Cu=f(\alpha)$:

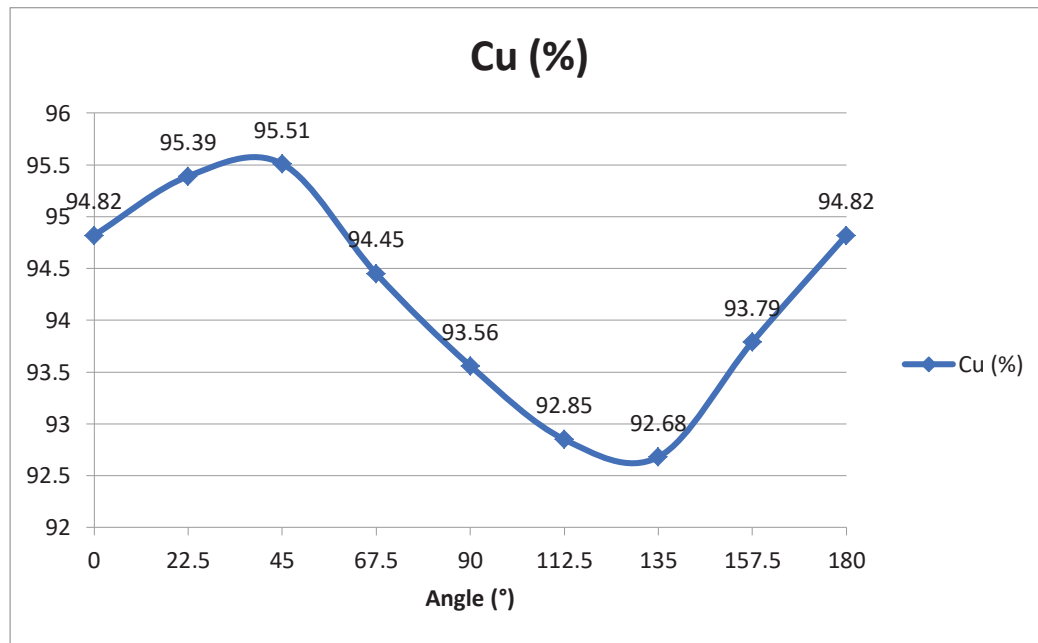


FIGURE II.6. LA COURBE DE LA VARIATION DU COEFFICIENT D'UTILISATION EN FONCTION DE LA DIRECTION

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

Nous remarquons que les 2 directions qui sont conformes avec article 2.1.6 de l'annexe 14 sont : **NNE/SSW** et **NE/SW** avec des coefficients Cu supérieures à 95% donc notre choix d'orientation est compris entre 22.5° et 45° et plus précisément proche à 45° . Nous Optons pour une direction 040/220.

II.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons procédé à la classification des aéroports, la détermination des caractéristiques géométriques de la piste ainsi que les orientations optimales en fonction des conditions météorologiques de la région.

Chapitre III. Surfaces de dégagement

« Limitation et suppression des obstacles »

Chapitre III. Surfaces de dégagement « Limitation et suppression des obstacles »

III.1. Introduction

Les spécifications du présent chapitre ont pour objet de définir l'espace aérien à garder libre de tout obstacle pour permettre aux avions appelés à utiliser ces aérodromes d'évoluer avec la sécurité voulue et éviter que ces aérodromes ne soient rendus inutilisables. Cet objectif est atteint par l'établissement d'une série de surfaces de limitation d'obstacles qui définissent les limites que peuvent atteindre les objets dans l'espace aérien.

Les objets qui traversent les surfaces de limitation d'obstacles dont il est question dans le présent chapitre peuvent, dans certaines conditions, entraîner une augmentation de l'altitude/hauteur de franchissement d'obstacles pour une procédure d'approche aux instruments ou pour n'importe quelle procédure associée à l'approche indirecte à vue, ou avoir une autre incidence opérationnelle sur la conception des procédures de vol.

III.2. Spécifications en matière de limitation d'obstacles

Pour une piste donnée, les spécifications en matière de limitation d'obstacles sont définies en fonction des opérations auxquelles cette piste est destinée, soit décollages ou atterrissages, et du type d'approche, et elles sont destinées à être appliquées lorsqu'une telle opération est en cours. Lorsque les dites opérations sont exécutées dans les deux directions de la piste, certaines surfaces peuvent devenir sans objet lorsqu'une surface située plus bas présente des exigences plus sévères.

D'après l'article 4.2.1 de l'annexe 14, les surfaces de limitation d'obstacles ci-dessous seront établies pour les **pistes à vue** :

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

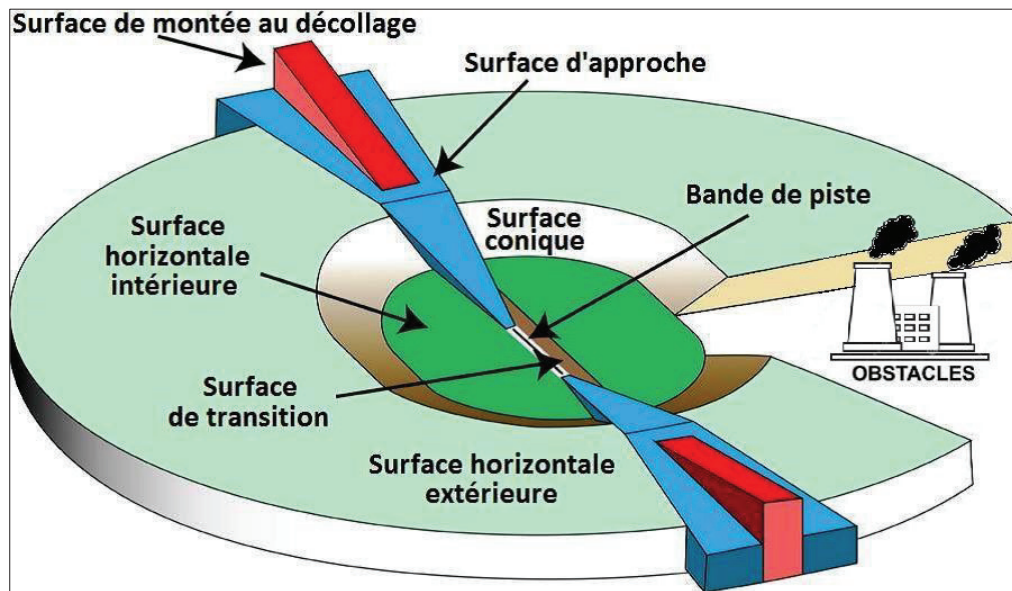


FIGURE III. 1. SCHEMA GENERAL REPRESENTANT LES SURFACES DE LIMITATION D'OBSTACLES

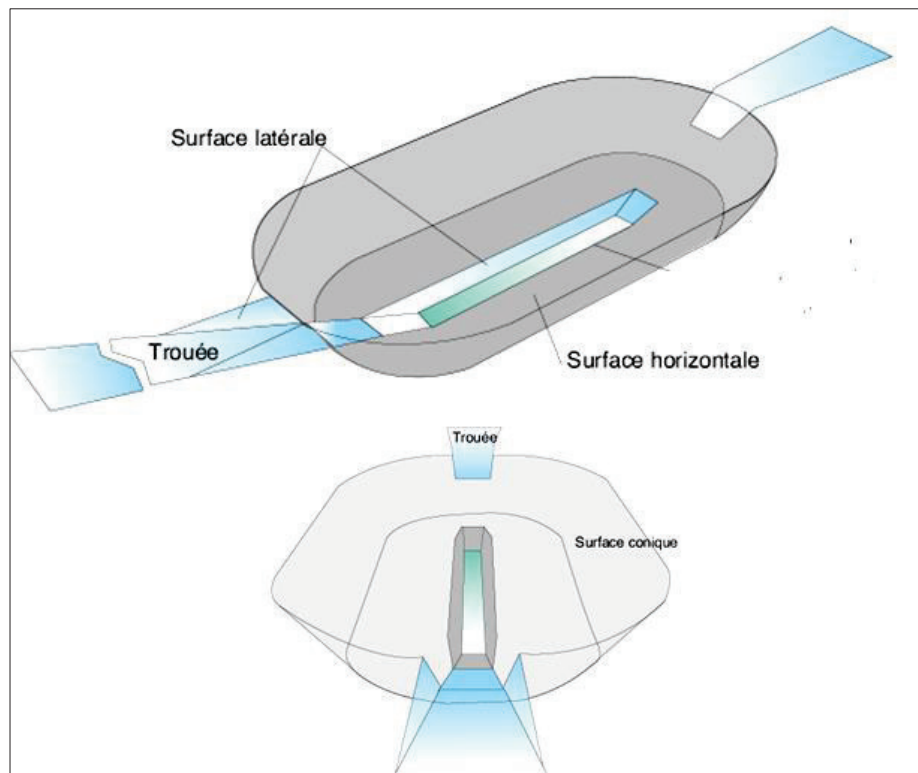


FIGURE III.2. VUE EN PERSPECTIVE DES SURFACES DE DEGAGEMENT

III.2.1. Surface horizontale intérieure

La surface horizontale intérieure est la surface située dans un plan horizontal au-dessus d'un aéroport et de ses abords. Elle est caractérisée par :

- Le rayon R1 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 H1 sera mesurée au-dessus d'un élément de référence d'altitude établi à cet effet.

Pour l'aéroport de MLN, les caractéristiques de la surface horizontale intérieure définies selon l'annexe 14 sont les suivantes :

TABLEAU III.1. LES CARACTERISTIQUES DE LA SURFACE HORIZONTALE INTERIEURE

Surface horizontale intérieure	Chiffre de code 2 ; approche à vue
Hauteur	45 m
Rayon	2500 m

On trouve : $H1 = Z + 45$ (avec $Z = 218$ m pour l'aéroport de MLN)

H1=263 m

Et : R1=2500 m

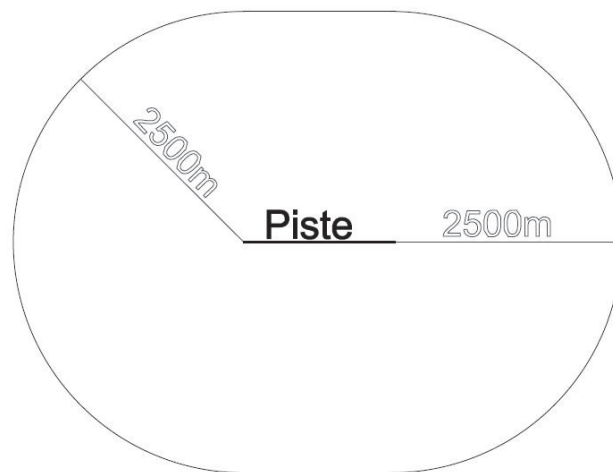


FIGURE III.3. VUE EN PLAN DE LA SURFACE HORIZONTALE INTERIEURE

III.2.2. Surface conique

La surface conique est la surface inclinée vers le haut et vers l'extérieur à partir du contour de la surface horizontale intérieure. La pente de la surface conique sera mesurée dans un plan vertical perpendiculaire au contour de la surface horizontale intérieure. Elle est délimitée par :

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

TABLEAU III.2. LES CARACTERISTIQUES DE LA SURFACE CONIQUE

Surface conique	Chiffre de code 2 : approche à vue
Pente	5%
Hauteur	55m

Donc la hauteur de la surface conique H2 est :

$$H2 = (Z+45) + 55 = (218+45) + 55 \text{ ---> } H2 = 318\text{m}$$

On calcule le rayon de la surface conique R2 par la formule :

$$R2 = R1 + (H2 - H1) / 5\% = 2500 + (318 - 263) / 0.05$$

Avec : R1 le rayon de la surface horizontale intérieure

Donc : **R2=3600m**

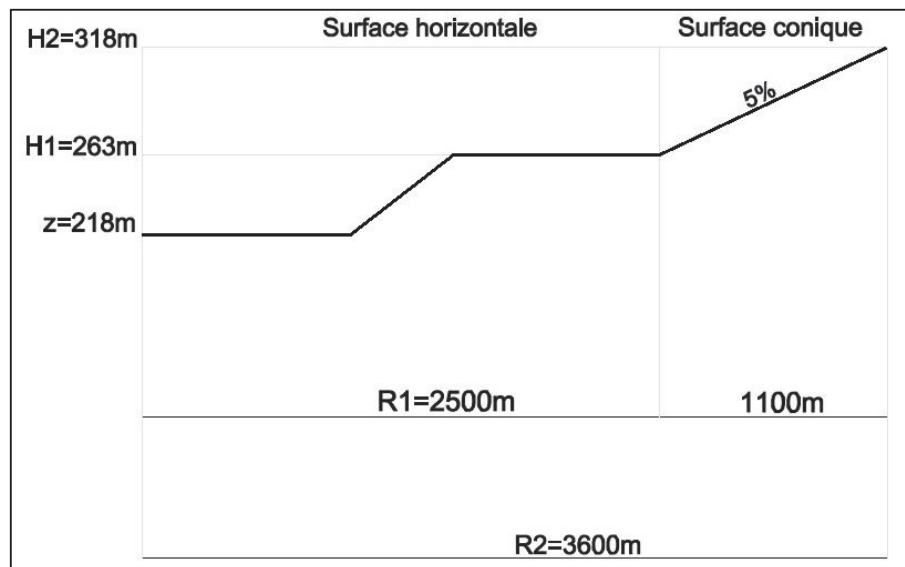


FIGURE III.4. SCHEMA REPRESENTATIF DES CARACTERISTIQUES DE LA SURFACE CONIQUE

III.2.3. Surface d'approche

La surface d'approche est un plan incliné ou combinaison de plans précédant le seuil. La pente de la surface d'approche sera mesurée dans le plan vertical passant par l'axe de la piste. Et elle sera délimitée 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.

Note : Le bord intérieur sera situé à la même altitude que le milieu du seuil.

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

TABLEAU III.3. LES CARACTERISTIQUES DE LA SURFACE D'APPROCHE

Surface d'approche	Chiffre de code 2 ; approche à vue
Longueur du bord intérieur	80 m
Distance au seuil	60 m
Divergence	10 %
Première section	
Longueur	2500 m
Pente	4 %

III.2.4. Surface de transition

C'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 sera délimitée par :

- a) 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.
- b) un bord supérieur situé dans le plan de la surface horizontale intérieure.

Note : L'altitude d'un point situé sur le bord inférieur sera :

- a) le long du côté de la surface d'approche, égale à l'altitude de la surface d'approche en ce point.
- b) le long de la bande, égale à l'altitude du point le plus rapproché sur l'axe de la piste ou sur son prolongement.

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

TABLEAU III.4. LA PENTE DE LA SURFACE DE TRANSITION

Surface de transition	Chiffre de code 2 ; approche à vue
Pente	20 %

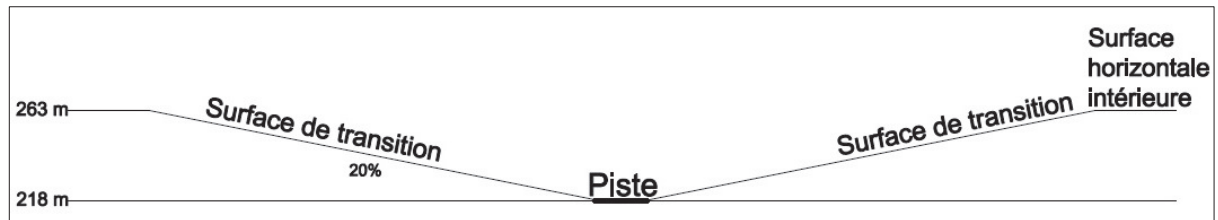


FIGURE III.5. COUPE TRANSVERSALE MONTRANT LES CARACTERISTIQUES DE LA SURFACE DE TRANSITION

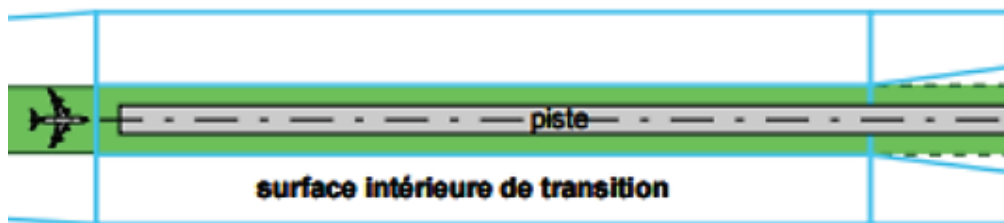


FIGURE III.6. VUE EN PERSPECTIVE DE LA SURFACE DE TRANSITION

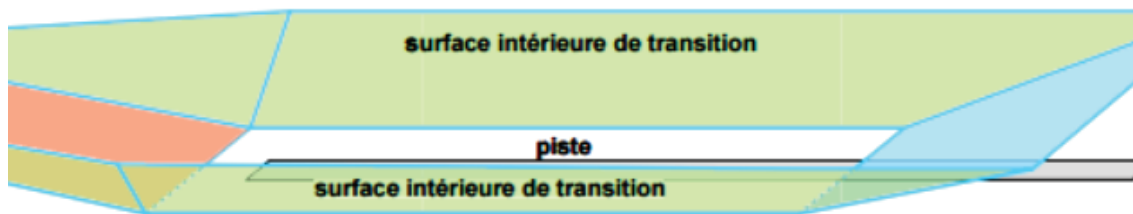


FIGURE III.7. VUE DE LA SURFACE DE TRANSITION

III.2.5. Surface de montée au décollage

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

- a) 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.

- b) 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.
- c) un bord extérieur horizontal, perpendiculaire à la route de décollage spécifiée.

Il est noté dans les articles 4.1.27, 4.1.28 et 4.1.29 de l'annexe 14 que :

- Le bord intérieur sera situé à la même altitude que le point le plus élevé du prolongement de l'axe de la piste entre l'extrémité de la piste et le bord intérieur ; toutefois, s'il y a un prolongement dégagé, l'altitude du bord intérieur sera celle du point le plus élevé au sol sur l'axe du prolongement dégagé
- Dans le cas d'une trajectoire d'envol rectiligne, la pente de la surface de montée au décollage sera mesurée dans le plan vertical passant par l'axe de la piste
- Dans le cas d'une trajectoire d'envol avec virage, la surface de montée au décollage sera une surface complexe contenant les horizontales normales à sa ligne médiane, et la pente de cette ligne médiane sera la même que dans le cas d'une trajectoire d'envol rectiligne.

TABLEAU III.5. LES DIMENSIONS ET PENTES DES SURFACES DE LIMITATION D'OBSTACLES

Surface et dimensions	Chiffre de code		
	1	2	3, 4
Surface de montée au décollage			
Longueur du bord intérieure (m)	60	80	10
Distance par rapport à l'extrémité de piste (m)	30	60	60
Divergence (de part et d'autre) (%)	10	10	12,5
Largeur finale (m)	380	580	1200
Longueur (m)	1600	2500	15000
Pente (%)	5	4	2

III.3. Recommandations de L'OACI

Nous allons voir par la suite des recommandations à suivre, selon l'annexe 14 de l'OACI lors de l'établissement des surfaces de dégagement.

Les hauteurs et les pentes de ces surfaces ne seront pas supérieures à celles qui sont spécifiées précédemment, et leurs autres dimensions seront au moins égales à celles indiquées.

La présence de nouveaux objets ou la surélévation d'objets existants ne sera pas autorisée au-dessus d'une surface d'approche, ou d'une surface de transition, à moins que, de l'avis de l'autorité compétente, le nouvel objet ou l'objet surélevé ne se trouve défilé par un objet inamovible existant.

Il est recommandé de ne pas autoriser la présence d'un nouvel objet ou la surélévation d'un objet existant au-dessus de la surface conique ou de la surface horizontale intérieure, à moins que, de l'avis de l'autorité compétente, l'objet ne se trouve défilé par un objet inamovible existant ou à moins qu'il ne soit établi, à la suite d'une étude aéronautique, que cet objet ne compromettrait pas la sécurité de l'exploitation des avions ou qu'il ne nuirait pas sensiblement à la régularité de cette exploitation.

Il est recommandé de supprimer dans la mesure du possible les objets existants qui font saillie au-dessus de l'une quelconque des surfaces spécifiées dans l'article 4.2.1, à moins que, de l'avis de l'autorité compétente, l'objet ne se trouve défilé par un objet inamovible existant ou à moins qu'il ne soit établi, à la suite d'une étude aéronautique, que cet objet ne compromettrait pas la sécurité de l'exploitation des avions ou qu'il ne nuirait pas sensiblement à la régularité de cette exploitation.

Dans l'examen de tout projet de construction, il est recommandé de tenir compte de la conversion éventuelle d'une piste à vue en piste aux instruments et de la nécessité de prévoir en conséquence des surfaces de limitation d'obstacles plus restrictives.

III.4. Vérification des dégagements

On signalera que l'aérodrome de MLN est de classification 2B, avec une approche à vue. Ainsi, on a établi les plans de dégagements pour la piste 04/22 avec les conclusions ci-dessous.

TABLEAU III.6. LES CARACTERISTIQUES DES OBSTACLES QUI PERCENT LA PISTE 04/22

Type d'obstacle	Surface de dégagement	Altitude limite	Altitude de l'obstacle	Hauteur de perception
Dune de sable	Surface horizontale intérieure	263 m	277 m	12.4 m
Dune de sable	Surface horizontale intérieure	263 m	279 m	16 m
Dune de sable	Surface horizontale intérieure	263 m	271 m	8 m
Dune de sable	Surface horizontale intérieure	263 m	271 m	8 m
Dune de sable	Surface conique	263 m	275 m	12 m

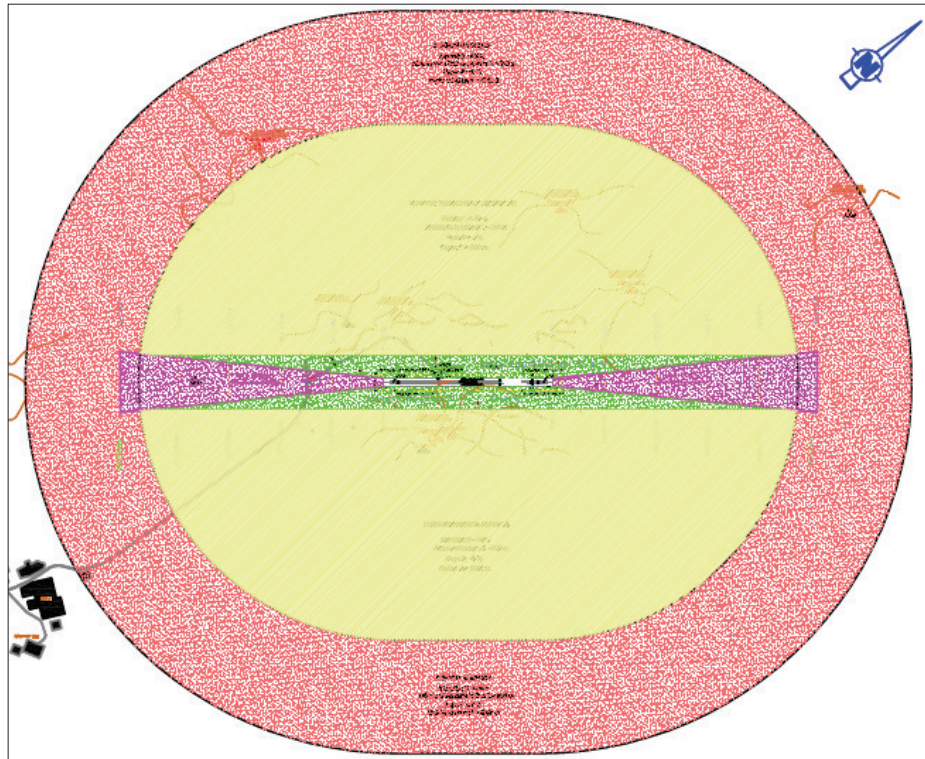


FIGURE III.8. PLAN DE DEGAGEMENT DE LA PISTE 04/22

III.5. Conclusion

Selon les recommandions de l'annexe 14 éditée par l'organisation de l'aviation civile internationale (OACI) nous avons pu définir les différents plans de dégagement et les limites que peuvent atteindre les obstacles susceptibles de constituer un danger pour la circulation aérienne ou nuisible au fonctionnement des dispositifs de sécurité établis dans l'intérêt de la navigation aérienne relatifs à l'aérodrome de MLN. Ces dernières assureront la sécurité des aéronefs pendant les différentes opérations que ce soit en approche, décollage ou atterrissage.

Chapitre IV. Etude géométrique

Chapitre IV. Etude géométrique

IV.1. Introduction

Une étude géométrique est indispensable pour la conception de nouvelles chaussées aéronautiques, ceci revient à assurer l'uni entre les différentes aires, tout en se référant aux normes de l'OACI (annexe 14).

Dans ce chapitre nous étudierons les différentes caractéristiques géométriques de l'aérodrome de MLN et ses aménagements complémentaires.

IV.2. Caractéristiques géométriques de la piste

IV.2.1. Profil en long

Le profil en long est une coupe longitudinale suivant l'axe de la chaussée qui se présente par une succession de droites et des arcs de cercles.

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

VI.2.1.1. Pente longitudinale

Lorsque le chiffre de code est 2, Il est recommandé dans les articles 3.1.13 et 3.1.14 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 2% ; Et qu'aucune portion de piste ne présente une pente longitudinale dépassant 2%.

IV.2.1.2. Changement de pente longitudinale

L'article 3.1.15 de l'annexe 14 stipule 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 2% lorsque le chiffre de code est 2.

Selon L'article 3.1.16, 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 0,4% par 30 m (rayon de courbure minimal de 7 500 m) lorsque le chiffre de code est 2.

IV.2.1.3. 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 B, tout point situé à 2m au-dessus d'une piste soit visible de tout autre point situé également à 2m au-dessus de la piste jusqu'à une distance au moins égale à la moitié de la longueur de la piste .

Note : Dans le cas d'une piste unique non desservie par une voie de circulation parallèle pleine longueur, il faudra envisager d'assurer une visibilité sans obstruction sur toute la longueur de la piste.

Dans notre cas $L=1500\text{m}$

$$D \geq 1500/2$$

$$D \geq 750\text{m}$$

IV.2.1.4. Distance minimale entre changements de pente

Nous retrouvons dans l'article 3.1.18, qu'il est recommandé que les ondulations et les changements de pente marqués et rapprochés le long d'une piste sont à éviter, et que la distance entre les points d'intersection de deux courbes successives ne soit pas inférieure à la plus grande des valeurs suivantes :

- produit de la somme des valeurs absolues des changements de pente correspondants par la longueur appropriée (5000 m) lorsque le chiffre de code est 2
- 45 m.

$$D \geq \text{MAX} [5000 \times (|X - Y| + |Y - Z|) ; 45]$$

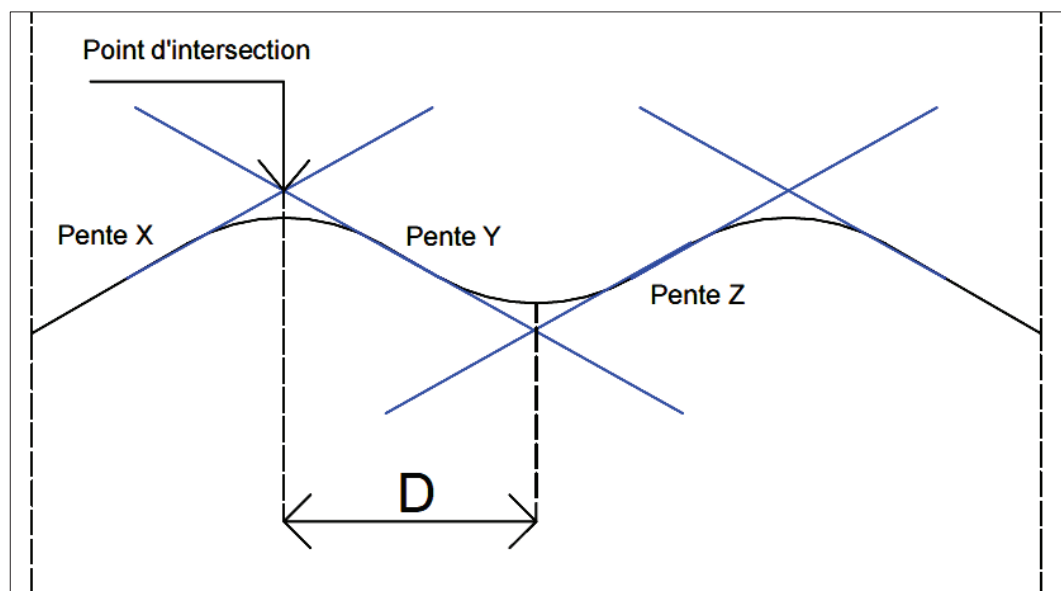


FIGURE IV.1. LA DISTANCE ENTRE LES POINTS D'INTERSECTION DE DEUX COURBES

IV.2.2. Profil en travers

Le Profil en travers est une coupe transversale menée selon un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la piste projetée. Le choix du profil en travers est en fonction de la nature du terrain.

Le profil en travers doit présenter une forme de manière à ce que les eaux s'écoulent facilement et s'assèchent rapidement afin d'éviter l'hydroplanage des aéronefs, il est généralement constitué par une chaussée, deux accotements, deux bandes, deux talus (soit en remblai ou en déblai) et un corps de chaussée qui est déterminé lors du dimensionnement.

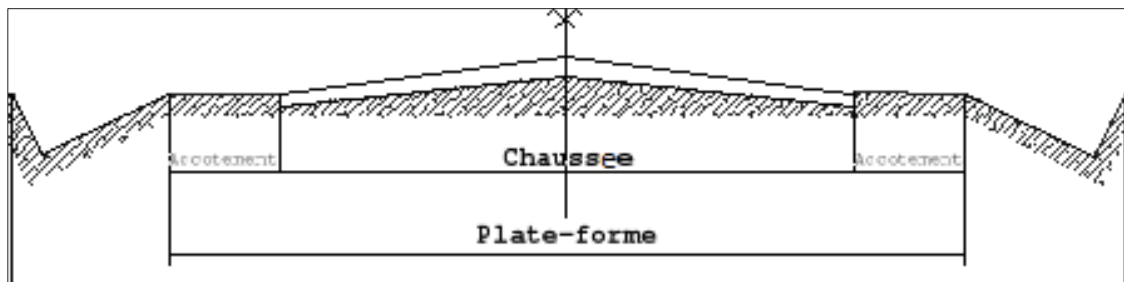


FIGURE IV.2. PROFIL EN TRAVERS EN TOIT

Pour assurer un assèchement aussi rapide que possible, il est recommandé 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 2% lorsque la lettre de code de la piste est B.

La pente transversale ne devrait en aucun cas être supérieure à 2%, ni inférieure à 1%, sauf aux intersections des pistes ou des voies de circulation, auxquelles des pentes moins prononcées peuvent être nécessaires pour assurer une transition régulière.

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

Note : Sur les pistes mouillées, exposées à des vents traversiers, le problème de l'hydroplanage dû à un mauvais écoulement des eaux risque d'être aggravé.

IV.2.3. Voie de circulation

Il est recommandé d'aménager des voies de circulation pour assurer la sécurité et la rapidité des mouvements des aéronefs à la surface.

Chaque voie de circulation sera conçue de telle manière que lorsque le poste de pilotage de l'avion auquel elle est destinée reste à la verticale des marques axiales, la marge entre les roues extérieures de l'atterrisseur principal de l'avion et le bord de la voie de circulation ne soient pas inférieures à 2,25 m lorsque la lettre de code de la piste est B.

IV.2.3.1. Largeur des voies de circulation

La largeur d'une partie rectiligne d'une voie de circulation ne doit pas être inférieure à 10.5 m lorsque la lettre de code de la piste est B, selon l'article 3.9.4.

IV.2.3.2. Pentes des voies de circulation

➤ Pentes longitudinales et transversales

Il est recommandé dans les articles 3.9.8 et 3.9.11 de l'annexe 14, que la pente longitudinale d'une voie de circulation n'excède pas 3%, et que les pentes transversales soient suffisantes pour éviter l'accumulation des eaux sur la chaussée, mais n'excèdent pas 2%, lorsque la lettre de code est B.

➤ Changements de pente longitudinale

L'article 3.9.9 stipule que, lorsqu'il est impossible d'éviter les changements de pente d'une voie de circulation, il est recommandé de réaliser le passage d'une pente à une autre par des surfaces curvilignes le long desquelles la pente ne varie pas de plus de 1% par 25 m (rayon de courbure minimal de 2500 m) lorsque la lettre de code est B.

IV.2.3.3. Virages des voies de circulation

Il est recommandé dans l'article 3.9.5 que les changements de direction sur les voies de circulation soient aussi peu nombreux et aussi faibles que possible. Les rayons de virage devraient être compatibles avec les possibilités de manœuvre et les vitesses normales de circulation des avions auxquels la voie de circulation est destinée.

IV.2.3.4. Jonctions et intersections

Pour faciliter la manœuvre des avions, il est recommandé d'aménager des congés de raccordement aux jonctions et intersections des voies de circulation avec des pistes, des aires de trafic et d'autres voies de circulation. Les congés devraient être conçus de manière que les marges minimales spécifiées entre les roues et le bord de la voie de circulation soient respectées lorsque les avions manœuvrent dans les jonctions ou intersections.

IV.2.3.5. Distances minimales de séparation pour les voies de circulation

Il est recommandé que la distance de séparation entre l'axe d'une voie de circulation, d'une part, et l'axe d'une piste ou l'axe d'une voie de circulation parallèle ou un objet, d'autre part, soit au moins égale à la distance spécifiée dans le tableau suivant :

TABLEAU IV.1. LES DISTANCES MINIMALES DE SEPARATION POUR LES VOIES DE CIRCULATION

Lettre de code B	Chiffre de code 2	Distance entre l'axe d'une voie de circulation et l'axe d'une autre voie de circulation	Distance entre l'axe d'une voie de circulation autre qu'une voie d'accès de poste de stationnement et un objet	Distance entre l'axe d'une voie d'accès de poste de stationnement et l'axe d'une autre voie d'accès de poste de stationnement	Distance entre l'axe d'une voie d'accès de poste de stationnement et un objet
	Distance entre l'axe d'une voie de circulation et l'axe d'une piste				
	52 m	32 m	20 m	28.5 m	16.5 m

IV.2.3.6. Résistance des voies de circulation

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

IV.2.3.7. Surface des voies de circulation

Il est recommandé que la surface des voies de circulation ne présente pas d'irrégularités de nature à endommager la structure des avions.

IV.4. Aménagements complémentaires

IV.4.1. Accotement

L'accotement est une bande de terrain bordant une chaussée et traitée de façon à offrir une surface de raccordement entre cette chaussée et le terrain environnant.

En plus de leur rôle sécuritaire, Les accotements d'une piste doivent être aménagés ou construits de manière à réduire au minimum les risques, pour un avion qui s'écarte de la piste.

Pour les aérodromes dotés d'un lettre de code B, comme c'est le cas pour l'aérodrome de MLN, l'annexe 14 ne prévoit pas de réaliser un accotement.

IV.4.2. Bandes 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 destiné à réduire les risques de dommages matériels au cas où un avion sortirait de la piste, et pour assurer la protection des avions qui survolent cette aire au cours des opérations de décollage ou d'atterrissage.

On notera qu'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 ne pas occasionner l'affaissement de l'atterrisseur avant si un aéronef sort de la piste. Les pentes autorisées sur la partie nivelée de la bande sont soumises à certaines limites. Une zone libre de tout objet est prévue à l'intérieur de la bande. Tout équipement ou toute installation nécessaire à des fins de navigation se trouvant dans la zone libre de tout objet devrait être frangible et d'une hauteur aussi réduite que possible. La piste et tout prolongement d'arrêt associé sont inclus dans une bande de piste (voir annexe : Plan général).

IV.4.2.1. Longueur

La bande de piste devrait s'étendre en amont du seuil et au-delà de l'extrémité de la piste ou du prolongement d'arrêt jusqu'à une distance d'au moins 60 m lorsque le chiffre de code est 2.

IV.4.2.2. Largeur

Toute bande à l'intérieur de laquelle s'inscrit une piste à vue devrait s'étendre 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 40 m lorsque le chiffre de code est 2.

IV.4.2.3. Pentes des bandes de piste

Nous distinguons deux types de pentes, à savoir, la pente longitudinale et la pente transversale.

➤ **Pentes longitudinales**

La pente longitudinale, sur la partie d'une bande qui doit être nivelée, ne devrait pas dépasser 2% lorsque le chiffre de code est 2.

➤ **Changements de pente longitudinale**

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

➤ **Pentes transversales**

Sur la partie d'une bande à niveler, les pentes transversales devraient être suffisantes pour empêcher l'accumulation d'eau sur la surface mais elles ne devraient pas dépasser 3% lorsque le chiffre de code est 2.

Toutefois, pour faciliter l'écoulement des eaux, sur les 3 premiers mètres à l'extérieur du bord de la piste, les accotements ou prolongement d'arrêt devraient être négatifs, lorsque la pente est mesurée en s'écartant de la piste, et peut atteindre 5%.

Les pentes transversales d'une partie de piste située au-delà de la piste à niveler ne devraient dépasser un gradient de 5% calculé en s'écartant de la piste.

IV.4.2.4. Nivellement

Lorsque le chiffre de code est 2, la bande dans laquelle se trouve une piste à vue devrait présenter, sur une distance d'au moins 40m à partir de l'axe de la piste et du prolongement de cet axe, une aire nivelée à l'intention des avions auxquels la piste est destinée, pour le cas où un avion sortirait de la piste.

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

IV.4.2.5. Résistance

La partie d'une bande contenant une piste à vue devrait être aménagée ou construite, de manière à réduire au minimum le danger que constituent les différences de force portante pour les avions auxquels la piste est destinée, dans le cas où un avion sortirait de la piste.

IV.4.2.6. Recommandations concernant les objets sur les bandes de piste

Il est recommandé de considérer comme obstacle, et de le supprimer dans la mesure du possible, tout objet situé sur une bande de piste qui peut constituer un danger pour les avions.

Il conviendra de veiller à ce que les égouts des bandes de piste soient situés et conçus de manière à ne pas endommager les avions qui quittent accidentellement la piste. Des couvercles de bouche d'égout spécialement adaptés seront peut-être nécessaires.

Si des canalisations d'eaux pluviales à ciel ouvert ou fermées ont été construites, il conviendra de s'assurer que leur structure ne s'élève pas au-dessus du sol environnant de façon à éviter qu'elle soit considérée comme un obstacle.

Il convient d'accorder une attention particulière à la forme et à l'entretien des canalisations d'eaux pluviales à ciel ouvert pour éviter d'attirer des animaux, notamment des oiseaux. Au besoin, on peut recouvrir ces canalisations d'un filet.

TABLEAU IV.2. TABLEAU RECAPITULATIF DES CARACTERISTIQUES DE LA BANDE DE PISTE

chiffre de code 2			
Longueur(m)	Largueur (m)	Pente maximale	Nivellement
60 m en amont du seuil au-delà de l'extrémité de la piste ou du prolongement d'arrêt	Au moins égale à 40 m de part et d'autre de l'axe de la piste et du prolongement de cet axe	Longitudinale 2% Transversale 3%	40m à partir de l'axe de la piste et du prolongement de cet axe, pour le cas où un avion sortirait de la piste.

IV.4.3. Prolongements d'arrêt et prolongement dégagé

Le prolongement dégagé et le prolongement d'arrêt forment ce qu'on appelle un prolongement occasionnellement rouable (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.

Pour les besoins des calculs, on suppose que les longueurs de la piste, de prolongement d'arrêt et de prolongement dégagé aménagés sur l'aérodrome sont tout juste suffisantes pour l'avion qui a besoin de la plus grande distance de décollage et de la plus grande distance accélération-arrêt, compte tenu de sa masse au décollage, des caractéristiques de la piste et des conditions atmosphériques ambiantes. Dans ces conditions, il y a, pour chaque décollage, une vitesse appelée vitesse de décision ; au-dessous de cette vitesse, en cas de panne de moteur, il faut interrompre le décollage, tandis qu'au-dessus de cette vitesse le décollage doit être poursuivi. La poursuite du décollage nécessitera une distance de roulement au décollage et une distance de décollage très grande si une panne de moteur se produit avant que ne soit atteinte la vitesse de décision, à cause de la vitesse insuffisante et de la puissance réduite disponible. Il ne serait pas difficile d'arrêter l'avion dans les limites de la distance restante utilisable pour l'accélération-arrêt, à condition que les mesures nécessaires soient prises immédiatement. Dans ce cas, la décision correcte serait d'interrompre le décollage.

D'autre part, si la panne du moteur se produit après que la vitesse de décision ait été atteinte, l'avion aura acquis une vitesse et une puissance suffisantes pour continuer le décollage avec sécurité dans les limites de la distance utilisable restante. Toutefois, à cause de la vitesse élevée, il y aurait des difficultés à immobiliser l'avion dans les limites de la distance accélération-arrêt utilisable restante.

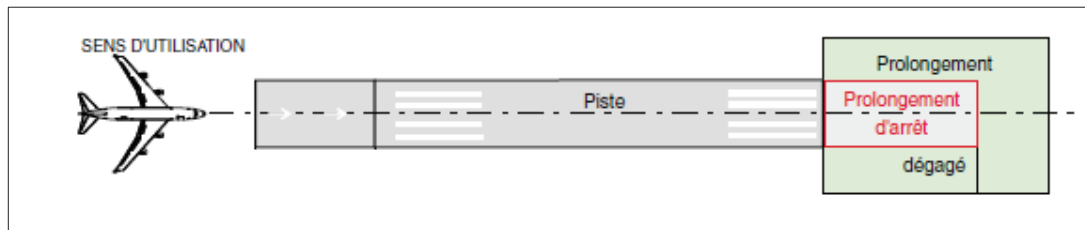


FIGURE IV.3. PROLONGEMENTS OCCASIONNELLEMENT ROUABLES P.O.R

IV.4.3.1. Prolongements dégagés (Clearway CWY)

Nous appelons un prolongement dégagé, une partie du terrain coaxiale à la piste, adjacente à l'une de ses extrémités, incorporant le prolongement d'arrêt s'il existe, et ne présentant aucun obstacle pouvant constituer un danger pour un aéronef volant à faible hauteur en fin de manœuvre de décollage. Ses caractéristiques sont les suivantes :

TABLEAU IV.3. LES CARACTERISTIQUES DU PROLONGEMENT DEGAGE

Emplacement	Longueur	Largeur	Pentes	Objets
Devrait commencer à l'extrémité de la longueur de roulement utilisable au décollage	Ne devrait dépasser la moitié de la longueur de roulement utilisable au décollage	Devrait s'étendre latéralement sur une largeur de 75 m au moins de part et d'autre du prolongement de l'axe de la piste	Aucun point du sol ne devrait faire saillie au-dessus d'un plan incliné ayant une pente de 1,25 %	Il faudrait considérer comme obstacle tout objet situé sur un prolongement dégagé, susceptible de constituer un danger pour les avions en vol, et le supprimer

IV.4.3.2. Prolongements d'arrêt (Stopway SWY)

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

Note : L'annexe 14 ne prévoit pas l'obligation d'établir un prolongement d'arrêt, mais il est recommandé de faire. Nous optons pour un SWY de 60 m de longueur pour l'aérodrome de MLN.

TABLEAU IV.4. LES CARACTERISTIQUES DU PROLONGEMENT D'ARRET

Longueur	Largeur	Pentes	Résistance
60 m	23 m (même largeur que la piste à laquelle il est associé)	Elles devraient être conformes aux spécifications applicables à la piste à laquelle le prolongement d'arrêt est associé	Il devrait supporter les avions pour lesquels ils sont prévus, sans qu'il en résulte des dommages pour la structure de ces avions en cas de décollage interrompu



FIGURE IV.4. PROLONGEMENT D'ARRET (STOPWAY) ET PROLONGEMENT DEGAGE (CLEARWAY)

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

Les comptes rendus d'accident/incident de l'OACI montrent que les aéronefs qui atterrissent trop court ou trop long subissent d'importants dommages. Pour les réduire, il est jugé nécessaire d'aménager une aire supplémentaire au-delà des extrémités de la bande de piste. Ces aires, appelées aires de sécurité d'extrémité de piste, 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.

Dans la mesure du possible, l'aire de sécurité de l'extrémité de la piste doit s'étendre à sur une distance d'au moins 30m à partir de l'extrémité de la bande de la piste lorsque le chiffre de code est 2 et que cette dernière soit une piste à vue.

L'aire de sécurité de l'extrémité de la piste sera au moins deux fois plus large que la piste correspondante.

Nous trouverons ci-Après, Les recommandations les plus significatives de l'OACI au sujet de l'établissement d'une aire de sécurité d'extrémité de la piste :

- La largeur de l'aire de sécurité de l'extrémité de la piste doit être dans la mesure du possible égale à celle de la partie nivelée de la bande de piste correspondante.
- Un objet situé sur une aire de sécurité de l'extrémité de la piste est susceptible de constituer un danger pour les avions, ce dernier est considéré comme un obstacle et doit, dans la mesure du possible, être enlevé.
- Une aire de sécurité de l'extrémité d'une piste présente une surface dégagée et nivelée pour les avions auxquels la piste est destinée, en prévision du cas où un avion atterrirait trop court ou dépasserait la piste.
- Il n'est pas nécessaire que la surface de l'aire de sécurité de l'extrémité de la piste soit aménagée de manière à présenter la même qualité que la bande de la piste
- Les pentes d'une aire de sécurité de l'extrémité de la piste soient telles qu'aucune partie de cette aire ne fasse saillie au-dessus de la surface d'approche ou de montée au décollage.
- Les pentes longitudinales d'une aire de sécurité de l'extrémité de la piste ne dépassent pas une valeur négative de 5%. Il est recommandé que les changements de pente soient aussi progressifs que possible et qu'il n'y ait ni changements brusques ni inversions soudaines.
- Les pentes transversales d'une aire de sécurité de l'extrémité de la piste ne dépassent pas une valeur positive ou négative de 5%. Il est recommandé que les changements de pente soient aussi progressifs que possible.
- L'aire de sécurité d'extrémité de la piste soit aménagée ou construite de manière à réduire les risques de dommages pour un avion qui atterrirait trop court ou dépasserait la piste, à améliorer la décélération de l'avion et à faciliter les déplacements des véhicules de sauvetage et d'incendie.

TABLEAU IV.5. LES CARACTERISTIQUES DES AIRES DE SECURITE DE L'EXTREMITE DE LA PISTE

Longueur	Largeur	Pentes	Emplacement
30 m	46 m	ne dépassent pas une valeur négative de 5 %	à chaque extrémité de la bande de piste

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

L'Annexe 14 prévoit que des aires de demi-tour soient aménagées aux extrémités des pistes qui ne sont pas desservies par des voies de circulation afin de faciliter le dégagement des aéronefs à l'atterrissage.

Une aire de demi-tour est définie comme une aire sur un aéroport terrestre, contiguë à une piste, permettant aux avions d'effectuer un virage à 180° sur la piste lorsqu'il n'existe

pas de voies de circulation. Le revêtement complémentaire de l'aire de demi-tour a pour but d'accroître la sécurité et la facilité du demi-tour des aéronefs.

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 2.25 m lorsque la lettre de code est B.

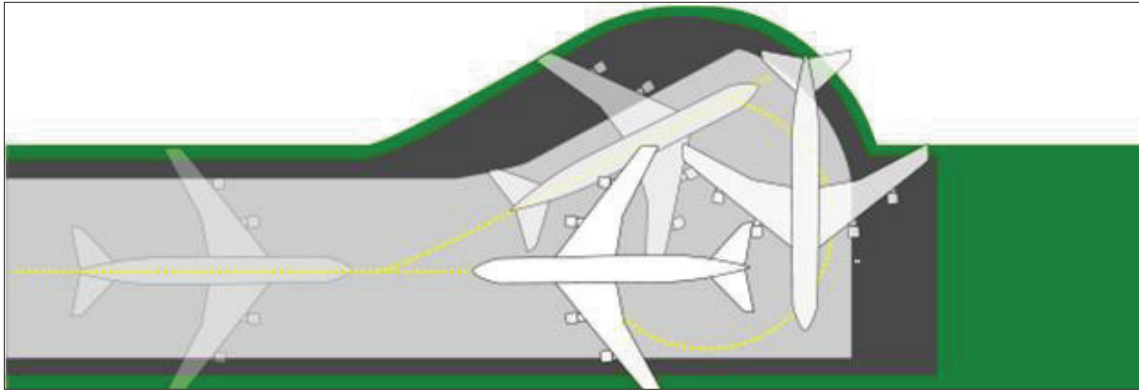


FIGURE IV.5. LES ETAPES DE RETOURNEMENT D'UN AVION SUR UNE AIRE DE DEMI-TOUR

Nous trouverons ci-après, les recommandations données par l'OACI au sujet des aires de demi-tour sur piste :

- Il est recommandé de construire l'aire de demi-tour du côté gauche ou du côté droit de la piste à chacune de ses extrémités et, si on le juge nécessaire, à des points intermédiaires, en joignant les chaussées. Le virage serait plus facile à amorcer si l'aire de demi-tour était située du côté gauche, étant donné que le siège gauche est la place normale du pilote commandant de bord.
- Il est recommandé que l'angle d'intersection de l'aire de demi-tour sur piste avec la piste ne soit pas supérieur à 30° .
- Il est recommandé que l'angle de braquage du train avant utilisé pour la conception de l'aire de demi-tour sur piste ne soit pas supérieur à 45° .
- 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 dûment tenu du fait que des avions effectuant un virage serré à faible vitesse exercent sur la chaussée des contraintes plus élevées.
- La surface des aires de demi-tour sur piste ne présentera pas d'irrégularités susceptibles d'endommager les avions.

- Il est recommandé que la surface des aires de demi-tour sur piste soit construite ou refaite de manière à offrir des caractéristiques de frottement au moins égales à celles de la piste correspondante.

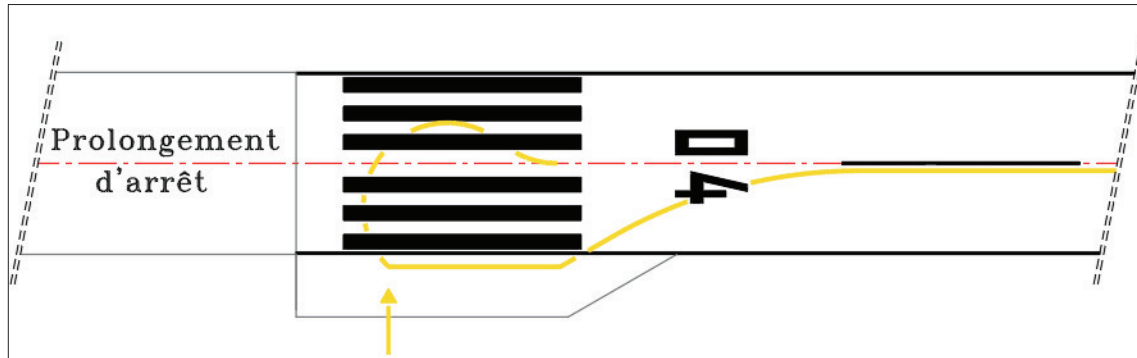


FIGURE IV.6. AIRE DE DEMI-TOUR SUR PISTE DE L'AERODROME DE MLN

IV.5. Conclusion

Nous avons abordé dans ce chapitre une étude géométrique complète de l'aérodrome de MLN de Ouargla, détaillant les caractéristiques de l'aérodrome, ses éléments constitutifs, ses aménagements complémentaires, ainsi qu'une conception du profil en long et du profil en travers, selon les normes et recommandations de l'annexe 14.

Chapitre V. Etude géotechnique du site

Chapitre V. Etude géotechnique du site

V.1. Introduction

Dans le cadre de l'étude de réalisation d'une nouvelle piste au niveau de l'aérodrome de MLN, nous devons tout d'abord passer par une étude géotechnique, y compris l'interprétation des résultats des essais géotechniques, cette dernière représente une étape fondamentale avant la réalisation des ouvrages des Travaux Publics et permet de dimensionner un corps de chaussée adéquat aux infrastructures projetées pour garantir la sécurité, durabilité et optimiser le coût.

V.2. But de l'étude géotechnique

Le but de l'étude géotechnique est d'analyser les caractéristiques mécaniques et physiques du sol support. Pour l'élaboration et l'exécution du projet il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance des terrains traversés, pour cela, la reconnaissance géotechnique constitue une source d'informations indispensable. En effet cette reconnaissance permet :

- En phase d'études, de bien définir le projet (dimensionnement du corps de chaussée, choix de matériaux).
- En phase d'exécution, de réaliser les travaux avec un minimum d'aléas possibles (choix de moyen et des matériels adaptés à la nature des sols).

Nous pouvons exprimer les objectifs en termes de problèmes qu'il faut résoudre pour chaque étape du projet. Il s'agit notamment des problèmes liés à :

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

Cette étude doit aussi permettre de localiser et donner les renseignements des différentes couches, ainsi que les caractéristiques mécaniques et physiques du sol support.

V.3. Moyens d'investigation

Le programme de reconnaissance géotechnique se résume aux opérations suivantes :

- Creusement des puits de reconnaissance du sol support et détermination des caractéristiques physiques et mécaniques des couches rencontrées
- Prélèvement des échantillons du sol support
- Analyse des matériaux prélevés au laboratoire afin de déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques.

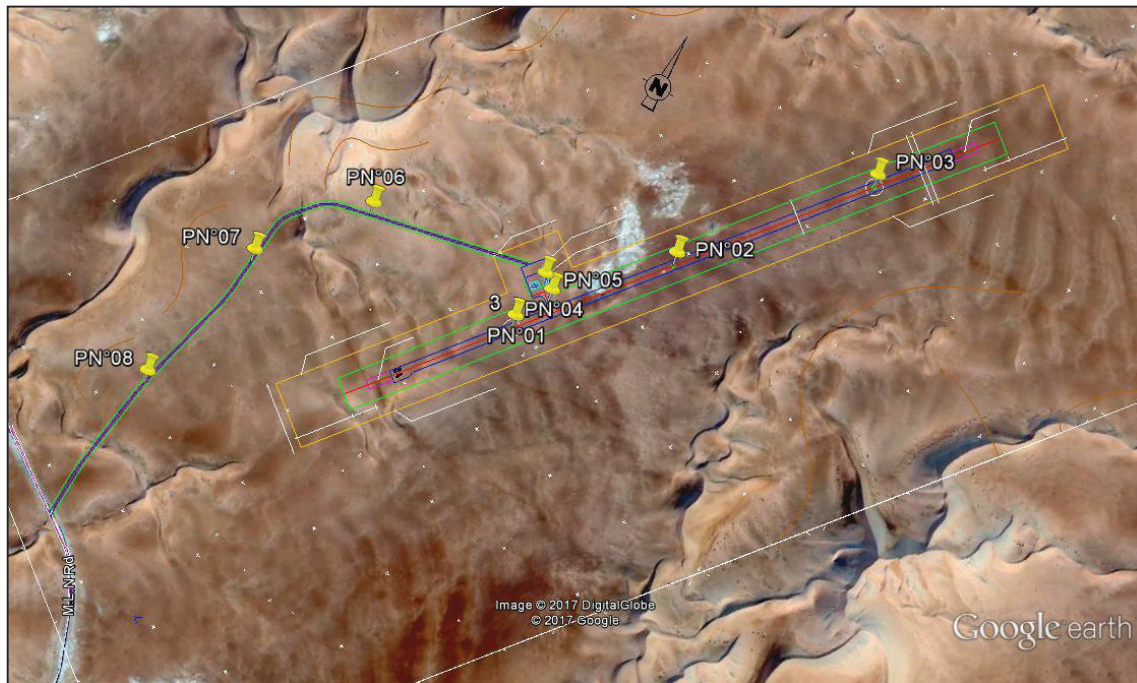


FIGURE V.1. PLAN DE SITUATION DE LA PISTE D'ATERRISSAGE ET L'IMPLANTATION DES PUIXS DE RECONNAISSANCES

V.3.1. Creusement des puits

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. Les puits ont été réalisés à la pelle mécanique.

Huit (08) puits ont été réalisés à la pelle mécanique dont trois puits (PN01, PN02 et PN03) au droit de l'axe de la future piste d'atterrissage, un puits (PN04) au droit de la bretelle et un puits (PN05) au niveau du parking et trois (03) puits sur la piste d'accès.

La description lithologique à travers les 08 puits descendus à 3 m de profondeur montre la présence quasi-totale des sables de dune sur toute la profondeur investiguée.

PN01 au PN08 : 0.0 -3.0 m Sable de dune.

Notes

- Il est à noter, que pendant le creusement des puits la nappe phréatique n'a pas été rencontrée.
- Le tracé de la piste d'atterrissage traverse une dépression qui doit être remblayé soigneusement en sable de dune et les couches supérieures doivent être exécutées en matériau choisi. Le contrôle de la compacité et la portance doit être systématique.



FIGURE V.3. PUIITS N°01



FIGURE V.2. PUIITS N°02



FIGURE V.5. PUIITS N°03

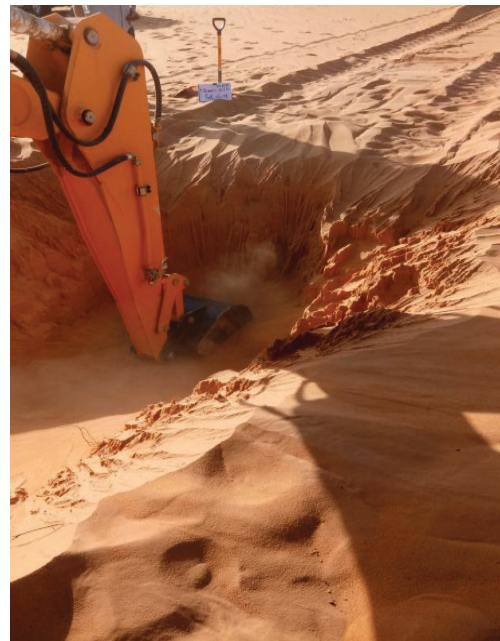


FIGURE V.4. PUIITS N°07

V.4. Essais au laboratoire

V.4.1. Essais d'identification

Les neuf (09) échantillons prélevés sur les 08 puits creusés dans le sol de fondation et un échantillon prélevé du seul emprunt existant, ont été soumis aux essais d'identifications et des essais mécaniques afin de déterminer leurs caractéristiques. Les essais réalisés sont :

- Analyses granulométriques ;
- Analyses chimiques ;
- Essais Proctor modifié ;
- Essais CBR immédiat ;
- Essais CBR imbibé 4 heures.

V.4.1.1. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique fournit les proportions de grains de différents diamètres En fonction de la dimension et du nombre des grains composant un granulat, Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale inférieure ou égale à 63 mm. On dénomme les granulats, fines, sables, gravillons ou cailloux. Cependant, pour un granulat donné, tous les grains qui le constituent n'ont pas tous la même dimension.

Pour cela, on procède au classement des grains sur une série de tamis emboîtés les uns dans les autres. Les dimensions des mailles des tamis sont décroissantes du haut vers le bas. Le granulat est placé sur le tamis le plus haut et par vibrations, on répartit les grains sur les différents tamis selon leur grosseur.



FIGURE V.6. MATERIELS UTILISES DANS L'ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous:

TABLEAU V.1. LES RESULTATS DE L'ANALYSE GRANULOMETRIQUE

ESSAI		RESULTATS								
		P 1 0-3 m	P 2 0-3 m	P 3 0-3 m	P 4 0-3 m	P 5 0-3 m	P 6 0-3 m	P 7 0-3 m	P 8 0-3 m	Emp N°=1
ANALYSE GRANULOMETRIQUE (NFP 18-560)	< 80 mm	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	< 50 mm	/	/	/	/	/	/	/	/	100
	< 31.5 mm	/	/	/	/	/	/	/	/	82
	< 20 mm	/	/	/	/	/	/	/	/	75
	< 10 mm	/	/	/	/	/	/	/	/	71
	< 5 mm	/	/	/	/	/	/	/	/	68
	< 2 mm	/	100	100	100	100	100	100		65
	< 1 mm	100	98	99	99	99	99	100	100	63
	< 0.4 mm	70	70	78	69	74	83	88	84	58
	< 0.2 mm	33	46	30	35	37	22	48	39	43
	< 0.1 mm	2	4	3	2	2	1	3	1	29
< 0.08 mm	1	3	2	2	2	1	3	1	29	

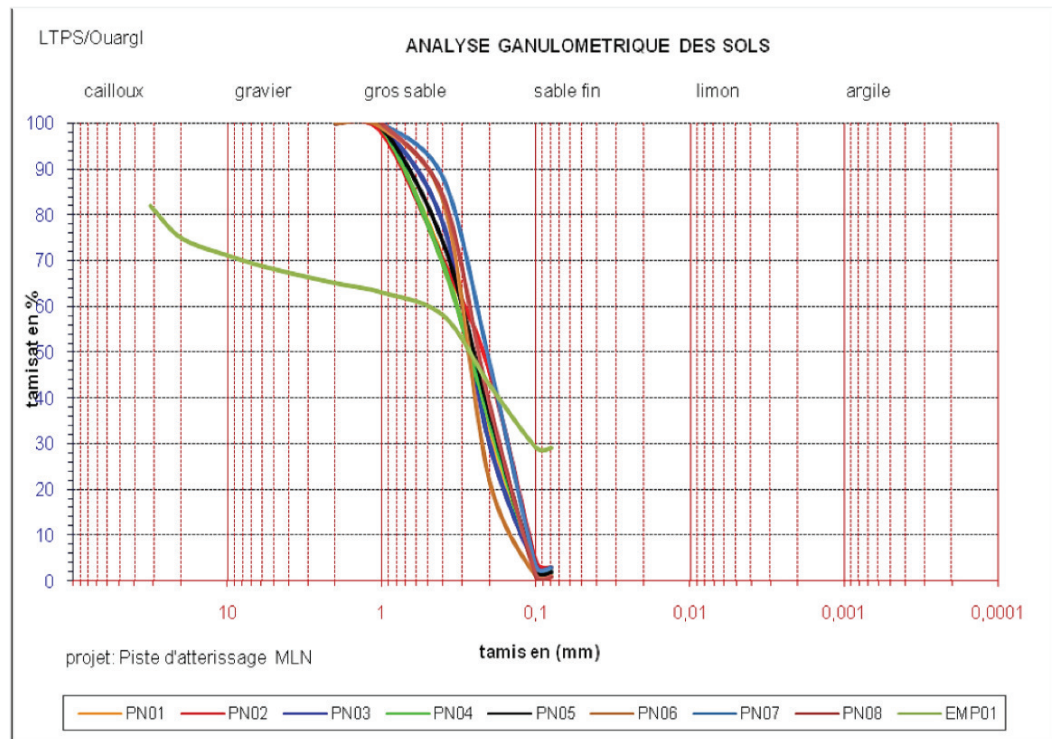


FIGURE V.7. LES COURBES GRANULOMETRIQUES DES ECHANTILLONS PRELEVES

Les courbes granulométriques prélevés sur les puits creusés sur site et numérotés PN01 jusqu'à PN08 montrent qu'on est en présence d'un sable grossier dont la granulométrie est serrée représentant un sable de dune.

V.4.1.2. Analyse chimique

L'analyse chimique permet de déterminer la nature minéralogique du sol et d'estimer la teneur en carbonates (CaCO_3). Cette dernière varie selon la nature du sol à l'origine et le processus de formation. C'est un facteur très important qui définit et influence les propriétés des matériaux. Le tableau suivant résume les résultats de l'essai.

TABLEAU V.2. LES RESULTATS DE L'ANALYSE CHIMIQUE

ESSAI		RESULTATS								
		P 1 0-3 m	P 2 0-3 m	P 3 0-3 m	P 4 0-3 m	P 5 0-3 m	P 6 0-3 m	P 7 0-3 m	P 8 0-3 m	Emp N°=1
ANALYSE CHIMIQUE NFP 15-461 NFP 94-055 BS 1377	% Insolubles	97.58	96.74	97.44	96.60	97.13	96.90	97.38	97.26	51.49
	% GYPSE ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	0.93	1.45	0.64	0.88	0.60	0.70	1.40	1.61	1.36
	% Carbonates CaCO_3	00	2	1	2	00	1	2	2	48
	% chlorure	0.004	0.009	0.017	0.007	0.005	0.007	0.016	0.009	0.113

Les échantillons prélevés sur les puits réalisés sur site présentent une proportion d'insolubles (Silice et Aluminosilicates) très importante variée entre 96 et 97 %; les sulfates sous forme de gypse varient entre 0.6 et 1.60 %; les carbonates représentent un pourcentage faible, inférieur à 2 %. Les chlorures sont pratiquement négligeables et ne dépassent pas 0,016 %.

L'échantillon prélevé sur l'emprunt en exploitation dans la zone de l'étude sur un rayon de 20 Km présente un pourcentage d'insolubles de 51.49 % ; le pourcentage des carbonates est de 48 % ; les sulfates sous forme de gypse sont faibles de l'ordre de 1.36 % ; Les chlorures sont pratiquement négligeables et ne dépassent pas 0,113%.

V.4.2. Essais physiques

V.4.2.1. Essai Proctor modifié

Essai de compactage d'un sol ayant pour but d'étudier la variation de sa densité sèche en fonction de sa teneur en eau. Il permet, en compactant le matériau dans un moule standard, à l'aide d'une dame standard et selon un processus bien déterminé à des teneurs en eau différentes, de déterminer la densité maximale atteinte pour une énergie de compactage donnée, ainsi que la teneur en eau optimale correspondante.

L'essai Proctor est répété plusieurs fois sur des échantillons portés à des teneurs en eau croissantes (2%, 4%, 6%, 8%, 10%, 12%, 14%, 16%) Nous déterminons ainsi plusieurs points de la courbe représentative des densités sèches en fonction des teneurs en eau ($\gamma_d/\gamma_w ; \omega$). Nous traçons alors la courbe en interpolant entre les points expérimentaux. Elle représente un maximum dont l'abscisse est la teneur en eau optimale (optimum Proctor), et l'ordonnée est la densité sèche optimale (maximum Proctor).

L'essai s'effectue généralement pour deux compactages d'intensités différentes :

- **Essai Proctor normal** : le compactage n'est que moyennement poussé. Il est généralement utilisé pour les études de remblais en terre (barrages et digues).
- **Essai Proctor modifié** : le compactage est beaucoup plus intense ; il correspond en principe au compactage maximum que l'on peut obtenir sur chantier avec les rouleaux à pieds de mouton ou les rouleaux à pneus lourds modernes. C'est ordinairement par l'essai Proctor modifié que l'on détermine les caractéristiques de compactage (teneur en eau optimale, densité sèche maximale) des matériaux destinés à constituer la fondation ou le corps de chaussée des routes et des pistes des aérodromes.

Le compactage dans ce cas-là s'effectue en 5 couches successives avec (la dame **Proctor modifié**) l'énergie de compactage est de :

- 55 coups de dame par couche dans le moule **C.B.R** ;
- 25 coups par couche dans le **moule Proctor**.

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

TABLEAU V.3. LES RESULTATS DE L'ESSAI PROCTOR

ESSAI		RESULTATS								
		P 1 0-3 m	P 2 0-3 m	P 3 0-3 m	P 4 0-3 m	P 5 0-3 m	P 6 0-3 m	P 7 0-3 m	P 8 0-3 m	Emp N°=1
ESSAI PROCTOR NFP 94-093	Teneur en Eau w. (%)	9.5	11.6	9.9	4.7	5.2	14.3	13.8	12.3	9.5
	Densité Sèche (t/m ³)	1.67	1.77	1.73	1.70	1.65	1.67	1.67	1.65	1.67

Les caractéristiques Proctor des matériaux prélevés du sol support sont acceptables avec des densités optimum variant entre 1.65 et 1.77t/m³ soit une densité moyenne de 1.7t/m³ et des teneurs en eau OPM (Optimum Proctor Modifié) variant entre 5 et 14%.

Les caractéristiques Proctor du matériau prélevé de l'emprunt est acceptable dont la densité optimum 1.67t/m³ et des teneurs en eau OPM de 9,5%.

V.4.2.2. Essai CBR (California Bearing Ratio)

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

Cet essai est utilisé partout dans le monde pour :

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

L'essai peut être réalisé in-situ et en laboratoire, mais cette dernière option n'est pas souvent réalisée. Il nous donne un des paramètres indispensable dans les essais géotechniques précédant la construction. Il existe différents types d'essais CBR à réaliser en fonction du type et de la qualité du sol, à savoir :

- **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 différentes teneurs en eau.

Le tableau suivant résume les résultats de l'essai :

TABLEAU V.4. LES RESULTATS DE L'ESSAI CBR

ESSAI		RESULTATS								
		P 1 0-3 m	P 2 0-3 m	P 3 0-3 m	P 4 0-3 m	P 5 0-3 m	P 6 0-3 m	P 7 0-3 m	P 8 0-3 m	Emp N°=1
ESSAI C B R ASTM D1883-05	immédiat	19.68	19.82	16.11	20.57	14.78	21.53	22.79	21.53	56.87
	imbibé	13.59	17.60	5.71	8.61	11.88	13.81	17.97	10.10	38.38

Les valeurs des indices CBR immédiat (sol support) obtenues sont moyennes et dépassent 15 % et les valeurs des indices CBR imbibé (ICBR) varié entre 5.7 % et 21.89 %, Pour le besoin du calcul du dimensionnement nous adoptons une valeur de **ICBR égale à 10%** du moment que la zone est aride.

La valeur de l'indice CBR immédiat (emprunt) obtenue est important qui est de 57 % et la valeur de l'indice CBR imbibé est égale à 38 %.

D'après les résultats des différents essais, la classification des matériaux du sol support selon NFP 11-300 et GTR est de la **classe D1**.

La classe D1 comprends les sables alluvionnaires propres, sables de dune : Matériaux insensibles à l'eau ; mais leur emploi en couche de forme nécessite la mesure de leur résistance mécanique (Los Angeles LA et/ou Micro Deval en présence d'eau ou Friabilité des sables).

V.5. Inventaire des carrières d'agrégats

Les agrégats destinés pour la réalisation du projet seront acheminés des carrières lointains du moment que la zone est dépourvue de gisement de roche, elle est complètement dunaire.

Dans le tableau suivant illustre les caractéristiques intrinsèques des différentes carrières de la région :

TABLEAU V.5. COMPARAISON ENTRE LES CARACTERISTIQUES DES DIFFERENTS GISEMENTS

Les essais	GUERRARA (LALA)	HASSI LAHDJAR OUARGLA	OHANET	BOUSSEKAR BISKRA	Recommandation Selon la norme XP P 18-540
Los Angeles %	21.83	24.07	20.56	22.81	< 25%
Micro-deval (MDE) %	27.42	23.36	14.86	20.38	< 20%
Carbonate CaCO ₃ %	71	85	86	91	> 70%

Les essais Los Angeles et micro Derval en présence d'eau réalisés sur les fractions 10/14 provenant des quatre gisements de granulat, attestent que la dureté et la résistance à l'usure des granulats sont acceptables pour la réalisation des routes et la production du béton et cela conformément aux normes relatives en vigueur à l'exception de celui de Guerrara et Hassi Lahdjar Ouargla dont la résistance à l'usure en présence d'eau MDE est égale à 27% et 23% respectivement, tandis que la norme exige un maximum de 20%.

Les analyses chimiques des différents granulats dénotent qu'ils sont tous d'origine calcaire, avec un taux de carbonates supérieur à 70%.

V.6. Conclusions et recommandations :

- L'objectif assigné à cette étude est de recommander la meilleure solution de dimensionnement de la piste d'atterrissage de MLN (Menzel Lejmet Nord) au vu de la nature du sol support.
- Le programme géotechnique est composé par des essais in situ à savoir des sondages par puits et par essais au laboratoire.
- La piste est située dans un contexte désertique caractérisé par une très faible pluviométrie, un ensoleillement intense couvrant la majeure partie de l'année et des écarts thermiques conséquents pouvant atteindre les 25°C.
- Le sol constituant le terrain devant recevoir le projet est homogène, et est constitué de haut vers le bas d'un dépôt de sable grossier jaunâtre représenté par un sable de dune jusqu'à 3 m de profondeur.
- Selon NFP 11-300 et GTR les matériaux du sol support sont classés comme des matériaux utilisables en remblai D1.

Chapitre VI. Dimensionnement de corps de chaussée

Chapitre VI. Dimensionnement de corps de chaussée

VI.1. Introduction

Les chaussées aéronautiques représentent l'ensemble des aires sur lesquelles circulent, manœuvrent et stationnent les avions. Elles doivent présenter des qualités d'usage identiques à celles des chaussées routières mais aussi, supporter des sollicitations très variables tant en intensité, qu'en nombre (selon les zones de circulation et de manœuvre, et selon l'importance des aérodromes).

Ce chapitre a pour but d'établir le dimensionnement du corps de chaussée de l'aérodrome de MLN, passant par une introduction aux différents types de chaussées et les méthodes de dimensionnement.

VI.2. Structure et types des chaussées aéronautiques

On distingue principalement deux types de chaussées, les chaussées souples et les chaussées rigides.

VI.2.1. Chaussées rigides

Elles répartissent les charges appliquées sur une surface très étendue du sol support au moyen d'une dalle de béton fléchissant élastiquement. Tel que 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. Du fait de cette large répartition, le sol support est peu contraint, de sorte que la ruine de la chaussée s'amorcera ici, non dans le sol support, mais dans la dalle lorsque celle-ci, perdant ses caractéristiques mécaniques par effet de fatigue, ne pourra plus résister à la déformation due au trafic

VI.2.2. chaussées souples

Elles superposent au sol support plusieurs couches de matériaux offrant de meilleures qualités mécaniques sans pour autant être supposées d'avantage capables de travailler à la traction. Vulnérables là où les qualités mécaniques sont les plus faibles, ces chaussées sont destinées à périr non par usure de leurs constituants mais par rupture de leurs sols supports.

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

TABLEAU VI.1. STRUCTURES TYPES DU CORPS DE CHAUSSEE

Couche de surface	
Couche de base	Dalle de béton
Couche de fondation	Couche de fondation
Eventuelle couche de forme	Eventuelle couche de forme
Chaussée souple	Chaussée rigide

La chaussée souple comprend généralement trois couches de qualité croissante de bas en haut : la couche de fondation, la couche de base, et la couche de roulement. Elle peut comporter après le sol support, une couche de forme.

- **Couche de roulement (surface) :** Elle doit être constituée de béton bitumineux qui respecte les caractéristiques particulières d'étanchéité et de rugosité.
- **Couche de base :** L'emploi de gravier-bitume est recommandé en couche de base. Dans le cas de chaussée recevant un trafic peu contraignant le sable-bitume ou les matériaux non traités peuvent être utilisés en couche de base. Le grave à émulsion peut également être utilisé.
- **Couche de fondation :** L'emploi des matériaux non traités est recommandé en couche de fondation. Il est possible d'y utiliser le grave-bitume ou le sable-bitume lorsque leurs coûts ne sont pas rédhibitoires.

Notes

- La notion d'épaisseur équivalente est introduite pour tenir compte des qualités mécaniques différentes des couches. Elle est égale à son épaisseur réelle multipliée par un coefficient numérique.
- Une épaisseur suffisante de matériaux traités est nécessaire pour assurer un bon comportement des couches supérieures de la chaussée.

VI.3. Critères de choix du type de chaussée

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

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

Une structure de type souple est préférable pour la constitution de revêtements légers destinés aux accotements de la piste, aux prolongements d'arrêt, etc.

Pour les aérodromes fréquentés par un trafic commercial, il est indiqué de réaliser les aires de stationnement avec une chaussée rigide. En effet ces aires sont soumises à des efforts tangentiels dus aux virages des avions et à l'action des engins d'exploitation divers ainsi qu'à des efforts concentrés que le béton supporte mieux qu'un revêtement bitumineux. De plus ces aires sont exposées aux attaques du kérosène et des huiles de vérons. Dans le cas où une chaussée souple est finalement retenue, il est recommandé d'assurer une protection contre ces agents (à l'aide d'un enduit superficiel ou en réalisant une couche de roulement avec un liant insensible au kérosène).

Les chaussées rigides vieillissent moins rapidement que les chaussées souples sous réserve d'un entretien constant des joints mais sont plus difficiles à renforcer. De ce fait elles sont conseillées pour les très forts trafics.

En général, les chaussées rigides sont plus économiques à la construction que les chaussées souples sur les sols de résistance faible mais homogène. Par contre, les chaussées souples sont préférables sur les supports susceptibles de tassements.

VI.4. Durée de vie des chaussées

La durée de vie est définie comme étant la période pour laquelle la portance du revêtement est insuffisante pour supporter le trafic de l'année suivante sans dommage et là, un renforcement général sera nécessaire. La durée de vie d'une chaussée est généralement choisie selon les indications du tableau ci-dessous :

TABLEAU VI.2. LA DUREE DE VIE DES CHAUSSEES AERONAUTIQUES

Trafic Structure	Aérodrome à faible trafic (Prévisions de trafic non fiables)	Aérodrome à fort trafic (Prévisions de trafic fiables)
Souple	10 ans	10 ans
Rigide	Structure rigide déconseillée	10 - 20 ans

VI.5. Charge de calcul et méthode de dimensionnement

VI.5.1. La masse de l'avion critique

La masse d'un avion est la somme de :

- sa masse à vide opérationnelle
- sa charge marchande (passagers, fret, poste)
- sa masse de carburant dépendant elle-même, au décollage, de la longueur d'étape et ne conservant plus, à l'atterrissage, que la partie des réserves non consommées.

Parmi les avions types qui peuvent être utilisés, Nous avons obtenu les données de l'avion le plus contraignant pour le dimensionnement, le **Beechcraft 1900D**.

TABLEAU VI.3. LES CARACTERISTIQUES DE L'AVION CRITIQUE

Longueur	17.63 m (57.83 ft)
Hauteur	4.72 m (15.48 ft)
Envergure	17.67 m (57.98 ft)
Largeur hors train principal	5,23 m (17.17 ft)
Masse maximale au roulage	7,738 kg (17,060 lb)
Masse maximale au décollage	7,688 kg (16,950 lb)
Masse maximale à l'atterrissage	7,530 kg (16,600 lb)
Masse à vide	4,831 kg (10,650 lb)
Pression des pneumatiques	0.67 (MPA)
Distance de référence	1,140 m (3,740 ft)
Centrage AR max (%)	47.5 (%)
Capacité	19 passagers

▪ **Masses opérationnelles :**

➤ **Masse à vide en ordre d'exploitation ou masse de base - DOW (Dry Operating Weight)**

La masse totale de l'avion, à l'exclusion de tout carburant utilisable et de toute charge marchande, prêt pour un type spécifique d'exploitation. Elle est de 4,831 kg.

➤ **Masse maximale au roulage- MTW (Maximum Ramp/Taxi Weight)**

C'est la masse maximale totale de l'avion autorisée pour évoluer au sol sur les aires de trafic. Elle est de 7,738 kg.

➤ **Masse maximale au décollage - MTOW (Maximum TakeOff Weight)**

C'est la masse maximale totale de l'avion autorisée au début du roulement au décollage. Elle est de 7,688 kg.

Elle se diffère de la masse au roulage par la masse du carburant utilisée durant le roulage.

➤ **Masse maximale à l'atterrissage - MLW (Maximum Landing Weight)**

C'est la masse maximale totale de l'avion autorisée à l'atterrissage en conditions normales. Elle est de 7,530 kg.

Note: Les efforts susceptibles de se produire dans la structure de l'avion sont plus importants à l'atterrissage qu'au décollage. Pour cela, la masse maximale à l'atterrissage est inférieure à la masse maximale au décollage.

Lorsqu'un des avions doit se poser immédiatement après le décollage à la suite d'un incident, il ne peut normalement le faire qu'après avoir vidangé en vol une partie de son carburant.

VI.5.2. Les atterrisseurs

L'atterrisseur est constitué par l'ensemble des roues montées sur une même jambe. L'ensemble des atterrisseurs constitue le train d'atterrissage qui assure la transmission des charges vers la chaussée.

Le train d'atterrissage des avions de transport commerciaux se compose généralement de deux atterrisseurs principaux et d'un atterrisseur secondaire situé à l'avant. La répartition de la masse de l'avion entre ses atterrisseurs en fonction du centrage de l'avion varie peu. En l'absence d'indications précises, 95 % de la masse totale de l'avion est admise comme étant distribuée entre les atterrisseurs principaux.

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

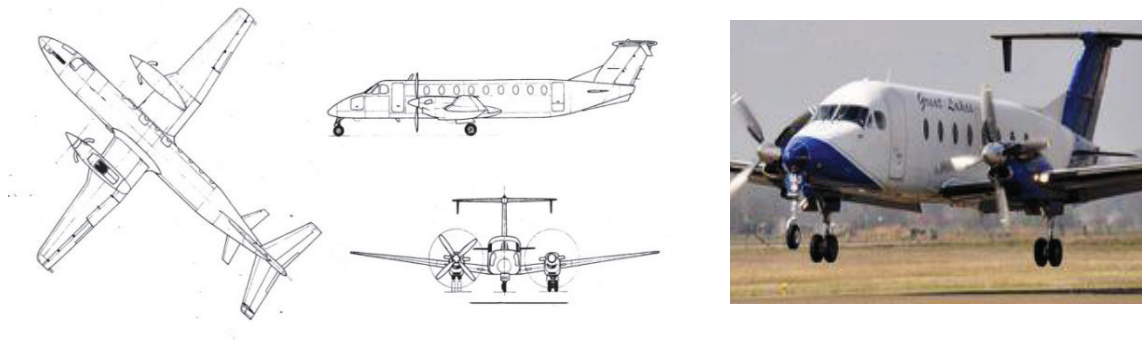


FIGURE VI.1. LES ATTERRISEURS DU BEEHCRAFT 1900D

VI.5.3.Charges utilisées dans les calculs

La masse des avions intervient dans les calculs sous forme d'une charge par atterrisseur. Avec les trains d'atterrissage des avions connus, l'espacement entre atterrisseurs est tel qu'il est légitime d'étudier individuellement l'action de chaque atterrisseur. L'atterrisseur principal fournit en général les sollicitations les plus sévères.

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

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

TABLEAU VI.4. LES COEFFICIENTS DE PONDERATION C DE DIFFERENTES AIRES

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

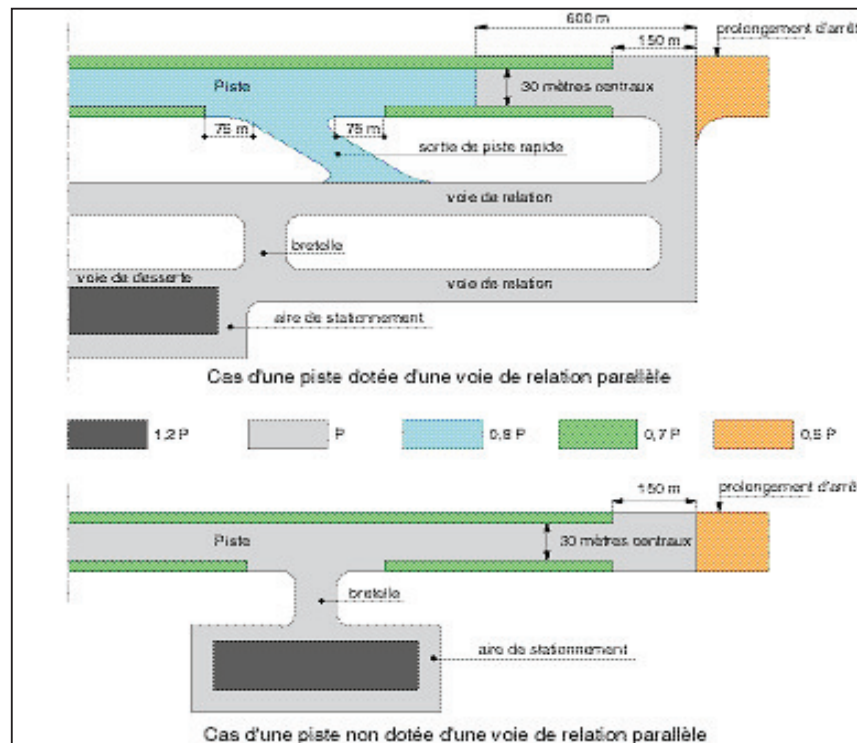


FIGURE VI.2. PONDERATION DES CHARGES REELLES SELON LA FONCTION DES AIRES

VI.6. Dimensionnement des chaussées souples

Le dimensionnement sert à choisir les matériaux à utiliser, et déterminer les épaisseurs des couches requises pour tenir compte des différents cas de sollicitations.

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

➤ Le dimensionnement optimisé

Le dimensionnement optimisé permet de calculer une épaisseur de chaussée en considérant plusieurs types d'avions à leurs fréquences et charges respectives, et ce pour une durée de vie donnée.

La méthode présente l'avantage de convertir les mouvements réels de chacune des charges et atterrisseurs réels considérés en mouvements équivalents de mêmes charges de

référence. Deux couples (charges et atterrisseurs, nombre de mouvements) sont équivalents quand ils produisent la même fatigue (chaussée et sol support).

Il est donc possible de comparer l'action relative de différents avions et de prendre en compte ces actions différentes.

La méthode du dimensionnement optimisé apporte une précision illusoire et n'est utilisée que pour des études particulières. Généralement, lorsque plusieurs types d'avions presque aussi contraignants les uns que les autres doivent être considérés (cas des aérodromes importants).

➤ **Le dimensionnement forfaitaire**

Le dimensionnement forfaitaire permet de calculer l'épaisseur d'une chaussée en fonction d'une charge normal de calcul P'' obtenue à partir de la charge réelle pondérée P' avec un nombre réel de mouvement journalier n donné.

La charge réelle pondérée P' est elle-même obtenue à partir de la charge P , qui est :

- soit la charge maximale sur l'atterrisseur principale le plus contraignant.
- soit la charge désirée pour une catégorie d'atterrisseur.

Cette méthode se résume par l'organigramme suivant :

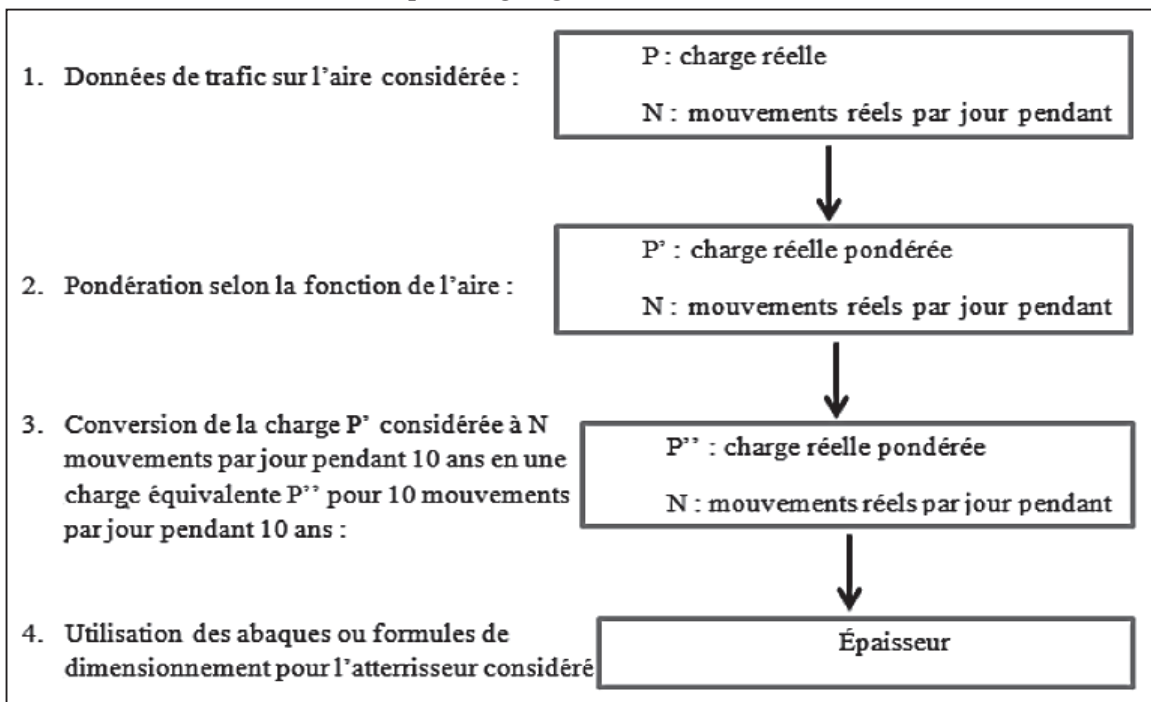


FIGURE VI.3. ORGANIGRAMME DU DIMENSIONNEMENT PAR LA METHODE FORFAITAIRE

VI.6.1. Dimensionnement de la piste, les bretelles, bandes de piste et le prolongement d'arrêt (SWY)

Pour la détermination de l'épaisseur du corps de chaussée de la piste, nous avons utilisé la méthode empirique de dimensionnement dite « CBR ». Cette méthode consiste à dimensionner l'aérodrome sur la base des paramètres suivants :

- Portance du sol support ;
- Type d'avion et nombre de mouvements.

TABLEAU VI.5. LES DONNEES DE DIMENSIONNEMENT

Avion	Estimation	Centrage AR max	Pression de gonflage	CBR
Beechcraft 1900D	10 mouvements par jour	47.5%	0.67 MPa	10 %

Le dimensionnement des chaussées par la méthode forfaitaire se base donc sur le nombre de mouvements de l'avion le plus contraignant à sa charge maximale. Pour le cas de MLN, c'est le **Beechcraft 1900D** qui a une masse totale au décollage $P = 7,8$ tonnes. La répartition des charges est égale à 47.5 %, supportée par chaque atterrisseur principal.

La charge réelle $P = 7,8 \times 0,475 = 3,705$ tonnes

Cette charge fera l'objet de deux pondérations à savoir :

- Pondération de la charge réelle (P) selon la fonction des aires : $P' = P \times C$
- Correction de la charge réelle pondérée (P') en fonction de l'intensité moyenne du trafic (nombre de mouvement par jour) : $P'' = P' / CT$ avec $CT = 1,2 - 0,2 \log n$

Pour $n = 10$, $CT = 1$

Le tableau ci-après résume les résultats de calcul pour chaque aire :

TABLEAU VI.6. LES RESULTATS DU CALCUL

Charge	Piste	Parking	Bandes de piste	SWY
Masse max au roulage (t)	7,800	7,800	7,800	7,800
% de charge sur l'atterrisseur principale	47.5	47.5	47.5	47.5
Charge réelle P en (tonnes)	3.705	3.705	3.705	3.705
Coefficient de pondération C	1	1.2	0,7	0,5
Charge réelle pondérée P'= PxC en (tonnes)	3,705	4,446	2,594	1,853
Coefficient de trafic CT CT = 1.2 – 0.2 log n Nombre de mouvement/j n=10	1	1	1	1
Charge normale de calcul P''=P'/CT en tonnes	3,705	4,446	2,594	1,853

Les abaques de calcul de l'épaisseur équivalente d'une chaussée neuve relatifs à chaque type d'avion sont déterminés par la formule suivante :

$$e = \sqrt[2]{p \left(\frac{1}{0.57 CBR} - \frac{1}{32q} \right)}$$

Avec : e (cm), P (kg) et q (MPa)

La pression des pneus q du Beechcraft 1900D est de 0.67 Mpa.

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

TABLEAU VI.7. L'ÉPAISSEUR EQUIVALENTE ET L'ÉPAISSEUR MINIMALE DES MATERIAUX TRAITES

Charge	Piste	Parking	Bande	SWY
Charge normale de calcul P''	3,705	4,446	2,594	1853
Epaisseur équivalente totale (cm)	21.84	23.93	18.28	15,45
Epaisseur minimale des matériaux traités (cm)	11	12	0	0

Les épaisseurs réelles des différentes couches pour le nouveau corps de chaussée sont comme suit :

➤ **La piste + les bretelles + Parking :**

TABLEAU VI.8. DIMENSIONNEMENT DE LA PISTE, BRETelles, PARKING

Couche	Coefficient d'équivalence	Epaisseur équivalente cm	Epaisseur réelle en cm
Couche de fondation en Tuf	0.5	10	20
Couche de base en grave concassée	1	15	15
Couche d'imprégnation en cut back 0/1	-	-	-
Couche de roulement en béton bitumineux	2	12	6
TOTAL		37	41
Vérification de l'épaisseur minimale des matériaux traités $12 \geq 12$ cm ✓ Vérifié			

➤ **Les bandes de piste**

TABLEAU VI.9. DIMENSIONNEMENT DES BANDES

Couche	Coefficient d'équivalence	Epaisseur équivalente cm	Epaisseur réelle en cm
Couche de fondation en tuf	0,5	10	20
Couche de base en tuf	0,5	10	20
TOTAL		20	40

➤ **Le prolongement d'arrêt**

TABLEAU VI.10. DIMENSIONNEMENT DU PROLONGEMENT D'ARRET SWY

Couche	Coefficient d'équivalence	Epaisseur équivalente cm	Epaisseur réelle en cm
Couche de fondation en grave concassée	1	15	15
Couche de roulement en béton bitumineux	2	12	6
TOTAL		27	21

VI.7. Résultats et recommandations

L'objectif de cette étude est de recommander la meilleure solution de dimensionnement de la piste d'atterrissage de MLN (Menzel Lejmal North) au vu de la nature du sol support et tenant en compte la possibilité d'une future extension.

L'étude du dimensionnement a été faite par la méthode forfaitaire (dite CBR). La chaussée a été dimensionnée pour supporter 10 mouvements par jour pendant 10 ans de l'avion le plus contraignant à sa charge maximale c'est-à-dire le BEECH 1900 D à sa charge totale au décollage de 7,80 tonnes.

L'épaisseur équivalente du corps de chaussée déterminée est de 20.77cm pour la piste, 22.75cm pour le parking, 15,45cm pour le prolongement d'arrêt et 17.38cm pour les bandes de piste.

VI.8. Conclusion

Le dimensionnement de la chaussée de l'aérodrome de MLN consiste à déterminer l'épaisseur équivalente totale du corps de chaussée, et les transférer en épaisseurs réelles en utilisant des coefficients d'équivalence, les épaisseurs réelles forment la chaussée qui a pour rôle de reprendre les différentes sollicitations auxquelles elle sera soumise tout au long de sa durée de vie.

Chapitre VII. Charges admissibles

Chapitre VII. Charges admissibles

VII.1. Introduction

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

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

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

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

VII.2. La méthode ACN-PCN

La méthode ACN/PCN (Aircraft Classification Number/Pavement Classification Number) est un système international de publication des charges admissibles, constitue une norme élaborée et recommandée par l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) qui vise à déterminer et fournir des renseignements sur la résistance des chaussées aéronautiques et qui permet de ce fait de juger de l'admissibilité de chaque avion en fonction de sa charge et de la résistance des chaussées .



FIGURE VII.1. L'INTERACTION ATERRISSEUR-PISTE EN PHASE D'ATERRISSAGE

VII.3. Principe général, conditions d'application et Publication des charges admissibles

La méthode ACN/PCN peut être régie par le principe général, où le PCN indique qu'un avion dont l'ACN est inférieur ou égal à ce PCN peut utiliser sans restriction la chaussée sous réserve de limitation due à la pression des pneumatiques. De manière plus explicite, un avion peut utiliser sans restriction une chaussée si les deux conditions suivantes sont simultanément vérifiées :

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

Dans le cas où une (ou les deux) condition n'est pas respectée, l'avion peut éventuellement être admis sur autorisation particulière.

- Les conditions d'application sont spécifiées dans les huit points suivants :

- 1) La force portante d'une chaussée devra être déterminée ;
- 2) Le numéro de classification de chaussée (PCN) communiqué indiquera qu'un aéronef dont le numéro de classification (ACN) est inférieur ou égal à ce PCN peut utiliser la chaussée sous réserve de toute limite relative à la pression des pneumatiques ;
- 3) Le numéro ACN d'un aéronef sera déterminé conformément aux procédures normalisées qui sont associées à la méthode ACN/PCN ;
- 4) Pour déterminer l'ACN, le comportement d'une chaussée sera classé comme équivalent à celui d'une construction rigide ou souple ;
- 5) Il est recommandé d'établir des critères pour réglementer l'utilisation d'une chaussée par un aéronef dont l'ACN est plus élevé que le PCN communiqué pour cette chaussée ;
- 6) La force portante d'une chaussée (chaussée traditionnelle dite "légère") destinée à des aéronefs dont la masse sur l'aire de trafic est **inférieure ou égale à 5700kg** sera communiquée en indiquant les renseignements suivants :
 - Masse maximale admissible de l'aéronef ;
 - Pression maximale admissible des pneumatiques.
- 7) La force portante d'une chaussée destinée à des aéronefs dont la masse sur l'aire de trafic est **supérieure à 5700kg** sera communiquée au moyen de la méthode ACN/PCN en indiquant tous les renseignements suivants :
 - Numéro de classification de chaussée (PCN) arrondi à un chiffre entier ;
 - Type de chaussée considéré pour la détermination des numéros ACN/PCN ;
 - Catégorie du terrain de fondation ;
 - Pression maximale admissible des pneumatiques ;
 - Base d'évaluation.
- 8) Les renseignements concernant le type de chaussée considéré pour la détermination des ACN et PCN, la résistance du terrain de fondation la pression maximale admissible des

pneumatiques et la base d'évaluation seront communiqués en utilisant les lettres de code spécifiés en annexe.

VII.4. Détermination du PCN (Pavement Classification Number)

Le calcul du PCN peut être effectué pour les deux types de chaussée de deux manières :

➤ Calcul approché

Le PCN est déterminé sur la base des caractéristiques de la chaussée sans référence au trafic. Il constitue un PCN caractéristique de la portance de la chaussée, et il peut être retenu pour la publication des charges admissibles en l'absence de données de trafic.

➤ Calcul optimisé

La détermination du PCN prend en compte à la fois les caractéristiques de la chaussée et le trafic pour lequel la chaussée est destinée. Ce calcul, par la prise en compte des effets relatifs de chaque type d'avion, s'accorde mieux que le calcul approché au principe même du concept ACN/PCN. Ce mode de détermination du PCN est donc requis lorsque les données de trafic sont connues.

Compte tenu des incertitudes couramment admises sur les données, l'erreur relative sur le PCN atteint généralement 10% pour les chaussées souples et 5% pour les chaussées rigides.

Aussi, le dépassement d'un PCN par l'ACN d'un avion ne devient significatif qu'au-delà de ses valeurs respectives. Ceci explique la relative tolérance des autorisations dans la limite de ces valeurs. Pour être publiés, Les PCN seront systématiquement arrondis au nombre entier.

VII.4.1. Calcul approché du PCN pour une chaussée souple

Sur la base des caractéristiques de la chaussée (épaisseur équivalente e , CBR du sol support), le calcul de la RSI utilise la formule CBR du Corps of Engineers :

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

e : en cm

RSI : en tonnes

\log : logarithme décimal

Cela nous donne : $RSI = 3.53$

Le PCN est le produit de la RSI par un coefficient (CBR) fonction du CBR et la catégorie de résistance du sol support.

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

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

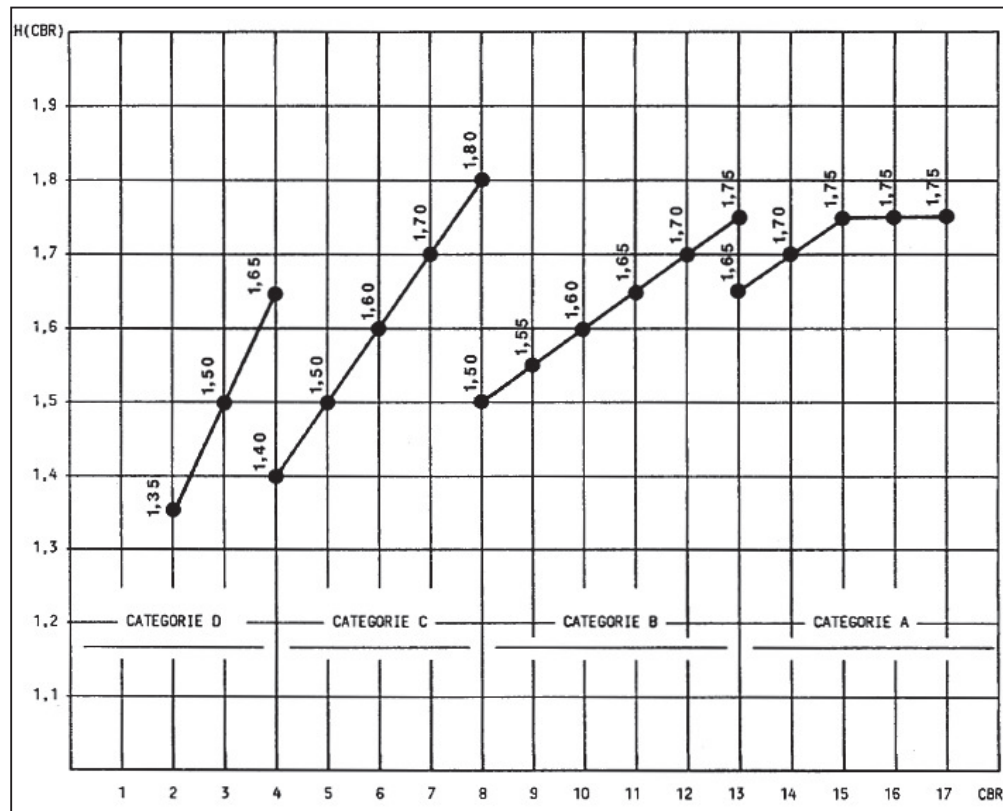


FIGURE VII.2: LES VALEURS DU H(CBR) EN FONCTION DU CBR

D'après l'abaque

$$H(CBR) = 1,6$$

$$PCN = 1,6 \times 3,53$$

$$PCN = 5,65$$

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 du Beechcraft 1900D est Faible donc la lettre est **Y**
- Base d'évaluation est de code **T**.

D'où le PCN publiable pour la chaussée souple est PCN **5/F/B/Y/T**.

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

Les ACN des principaux avions existants ont été calculés et publiés par l'OACI. Ils sont fournis pour chaque type de chaussée sur la base des quatre catégories de résistance du sol support, pour la pression standard q de gonflage des pneumatiques de chaque avion et pour deux masses caractéristiques : la masse maximale au roulage et la masse à vide en ordre d'exploitation. Est en outre indiquée la répartition de la charge (en %) sur l'atterrisseur principal. L'ensemble des données est répertorié sous forme de tableaux des ACN caractéristiques).

TABLEAU VII.1. LES VALEURS ACN POUR LE BEECHCRAFT 1900D

Aéronef	Poids (KN) MAX M MIN m	Pression standard De gonflage des pneumatiques q (MPa)	ACN							
			Chaussée souple				Chaussée rigide			
			A	B	C	D	A	B	C	D
Beechcraft 1900D	78	0.67	3	4	4	5	4	5	5	5
	56		2	3	3	4	3	3	3	4

D'après le tableau, on trouve que **L'ACN est égal à 4** pour la masse maximale au décollage de l'Avion critique.

Note : Pour calculer l'ACN pour toute masse comprise entre les deux valeurs caractéristiques m et M , il est admis que l'ACN varie linéairement entre ces deux masses.

Le tableau des ACN fournit pour l'avion, selon le type de chaussée et la catégorie du sol support indiqué dans la publication du PCN, les données suivantes :

- ACN max : ACN correspondant à la masse maximale au roulage M ;
- ACN min : ACN correspondant à la masse à vide en ordre d'exploitation m ;
- q : pression standard de gonflage des pneumatiques.

Le calcul de l'ACN procède d'une simple interpolation :

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

Mmax : La masse maximale au roulage ;

Mmin : La masse à vide en ordre d'exploitation ;

Mt : La masse réelle de l'avion.

VII.6. Vérification des charges appliquées et admissibles

- Si $ACN \leq PCN$, l'avion peut être admis sans restriction.
- Si $ACN \geq PCN$, Une étude particulière doit être menée pour juger de l'admissibilité.

Pour le cas de l'aérodrome de MLN :

- **Chaussée souple** $4 < 5 \rightarrow ACN < PCN$ **vérifiée**

VII.7. Conclusion

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

Dans ce chapitre nous avons déterminé que pour l'avion critique (Beechcraft 1900D), ACN est inférieure au PCN pour toute masse. Donc, nous déduisons qu'il peut manœuvrer sans restriction sur l'aire de l'aérodrome de MLN.

Chapitre VIII : Balisage et signalisation

Chapitre VIII. Balisage et signalisation

VIII.1. Introduction

Afin d'assurer la sécurité et optimiser l'efficacité opérationnelle des mouvements de l'aéronef et des véhicules, l'OACI recommande d'utiliser les marques et les balises normalisées, qui fournissent aux pilotes des renseignements essentiels par leur emplacement, leur dimension et leur couleur. Il est essentiel qu'elles soient bien entretenues pour faire en sorte que les repères qu'elles fournissent soient disponibles dans toutes les circonstances sur l'ensemble des composantes de l'aérodrome.

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

- Le balisage diurne (signalisation horizontale) ;
- Le balisage nocturne (lumineux).

VIII.2. Balisage diurne (signalisation horizontale)

Le balisage est un ensemble de repères visuels artificiels qui guident les aéronefs dans leurs manœuvres.

La signalisation est l'ensemble de signaux utilisés afin de communiquer aux aéronefs des consignes claires, pour assurer le contrôle de la circulation aérienne durant les différentes phases, décollage, approche et atterrissage.

VIII.2.1. Identification de l'aérodrome

Le nom de l'aérodrome apparaît sur une voie de circulation ou sur le toit d'un hangar, tandis que d'autres utilisent un code d'identification au lieu du nom de l'aéroport. Assez peu souvent, le nom ou le code est éclairé pour être lisible de nuit. Les phares d'identification sont rarement utilisés. Un aéroport terrestre est identifié par un phare à éclats alternatifs verts et blancs et un hydro aérodrome par un phare à éclats alternatifs jaunes et blancs.

VIII.2.2. Indicateur de direction du vent (manche à air)

Les pilotes préfèrent en général les manches à air en toile parce qu'elles donnent une indication générale de la vitesse du vent. Pour le **Beechcraft 1900D** le vent traversier maximal mentionné dans le manuel de vol AFM est de 22 kts.

D'après les articles 5.1.1.1 et 5.1.1.2 de l'annexe 14, un aérodrome est équipé d'au moins un indicateur de direction du vent, qui sera placé de façon à être visible d'un aéronef en vol ou sur l'aire de mouvement, et de manière à échapper aux perturbations de l'air causées

par des objets environnants. Il est recommandé de prévoir l'éclairage d'au moins un indicateur de direction du vent sur un aérodrome destiné à être utilisé de nuit.

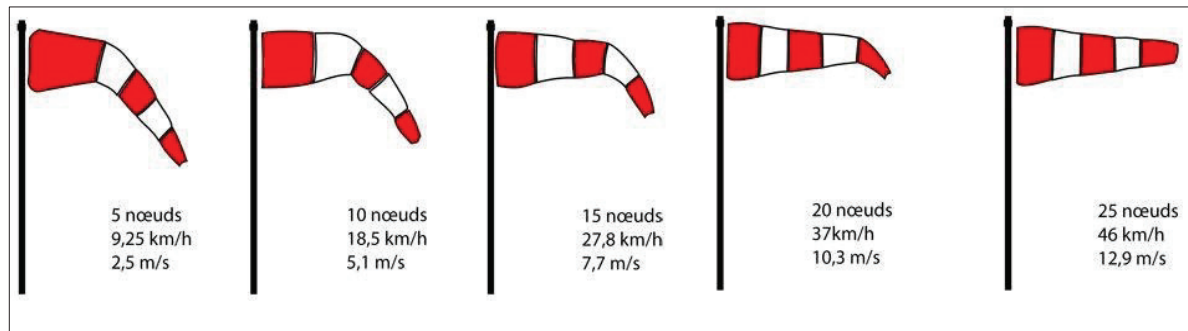


FIGURE VIII.1. LA VITESSE DU VENT SELON LA POSITION DE LA MANCHE A AIR

Il est recommandé que l'indicateur de direction du vent se présente sous forme d'un tronc de cône en tissu et que sa longueur soit au moins égale à 3,6 m et son diamètre, à l'extrémité la plus large, au moins égal à 0,9 m, qu'il soit construit de manière à donner une indication nette de la direction du vent à la surface et une indication générale de la vitesse du vent et qu'il soit de couleur choisie (de préférence le blanc ou l'orangé) de manière à le rendre nettement visible et à permettre de saisir les indications données d'une hauteur minimale de 300 m compte tenu du fond.

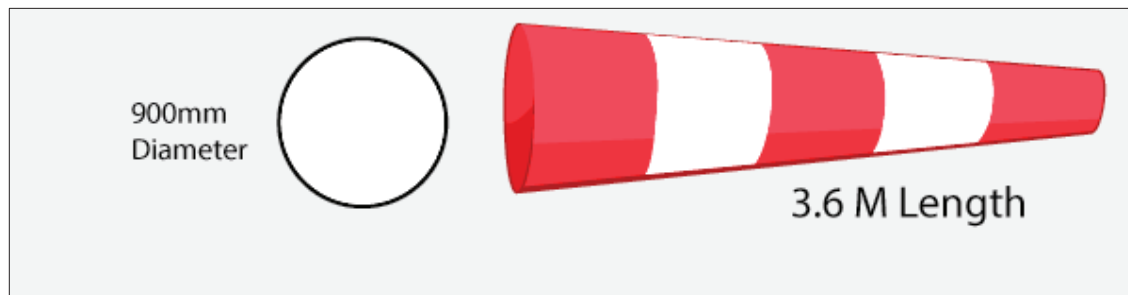


FIGURE VIII.2. LES DIMENSIONS DE L'INDICATEUR DE DIRECTION DU VENT

VIII.2.3. Marques d'identification de piste

Les marques d'identification de piste seront placées aux seuils d'une piste avec revêtement. Elles seront composées d'un nombre de deux chiffres et, sur les pistes parallèles, ce nombre sera accompagné d'une lettre. Dans le cas d'une piste unique, de deux pistes parallèles et de trois pistes parallèles, le nombre de deux chiffres sera le nombre entier le plus proche du dixième de l'azimut magnétique de l'axe de piste mesuré à partir du nord magnétique dans le sens des aiguilles d'une montre.

La piste de l'aérodrome de 'MLN' est orientée 04/22, les marques de piste auront les dimensions suivantes :

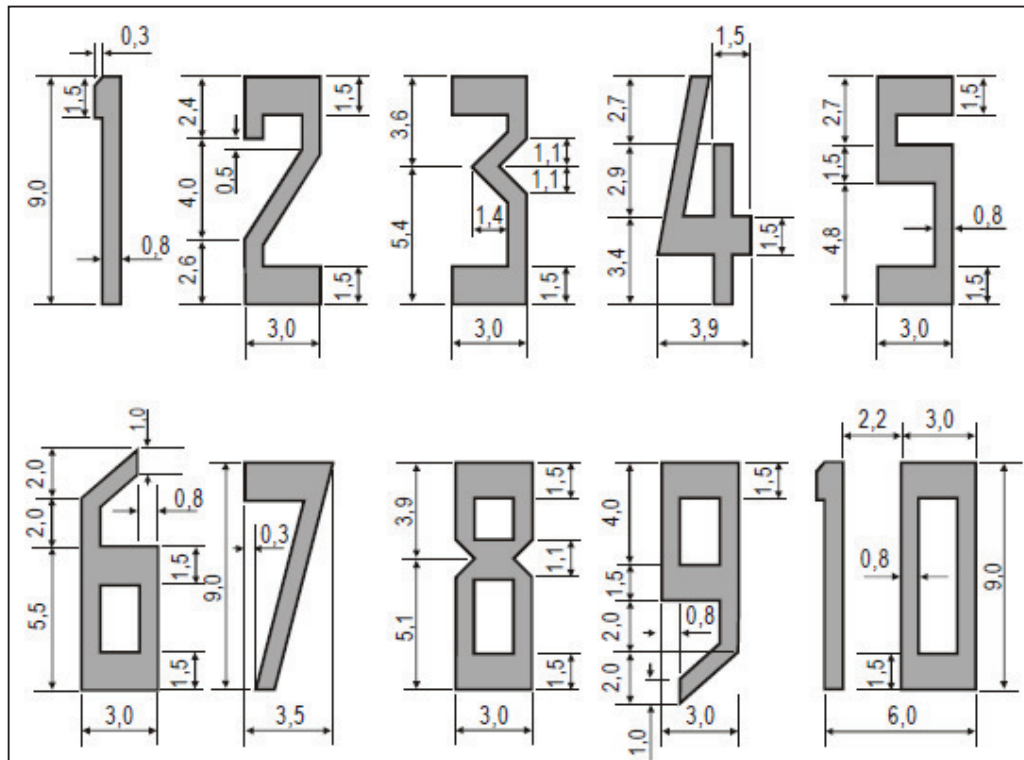


FIGURE VIII.3. FORME ET PROPORTIONS DES CHIFFRES DES MARQUES D'IDENTIFICATION DE PISTE

VIII.2.4. Marques de seuil

Toutes les pistes revêtues doivent être dotées de marques de seuil. Pour l'aérodrome de MLN, Les détails selon l'annexe 14 sont les suivants :

TABLEAU VIII.1. LES CARACTERISTIQUES DES MARQUES DE SEUIL

Emplacement	Longueur	Nombre de bandes	Largeur d'une bande	Espacement entre bandes
A 6 m du seuil	30 m	6	1,8 m	1,8 m

VIII.2.5. Marques d'axe

Les pistes avec revêtement seront dotées de marques d'axe de piste. Elles seront disposées le long de l'axe de la piste entre les marques d'identification. La largeur des traits ne sera pas inférieure à 0,30 m sur les pistes à vue dont le chiffre de code est 2.

Il est indiqué dans l'article 5.2.3.3 que les marques d'axe de piste seront constituées par une ligne de traits uniformément espacés. 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.

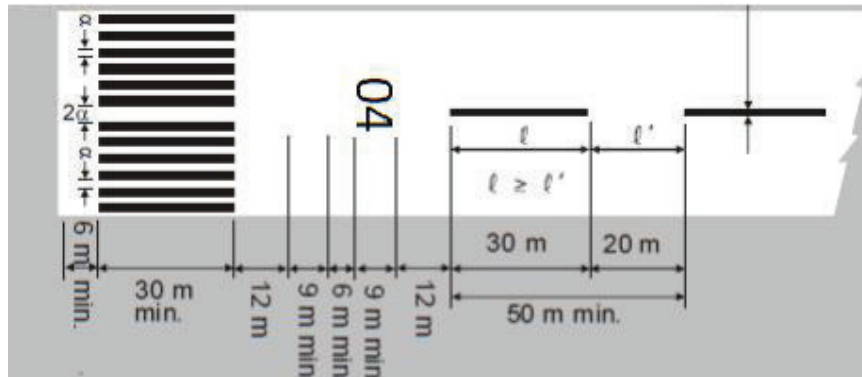


FIGURE VIII.4. LES MARQUES D'IDENTIFICATION, D'AXE ET DE SEUIL DE PISTE

VIII.2.6. Marques axiales de voie de circulation

Il est recommandé de disposer des marques axiales sur les voies de circulation, postes de dégivrage/antigivrage et aires de trafic avec revêtement lorsque le chiffre de code est 2 de manière à assurer un guidage continu entre l'axe de la piste et les postes de stationnement d'aéronef. Elles auront au moins 15 cm de largeur et seront ininterrompues.

À 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. Il est recommandé que les marques axiales de voie de circulation soient prolongées parallèlement aux marques d'axe de piste sur une distance d'au moins 30 m au-delà du point de tangence lorsque le chiffre de code est 2.

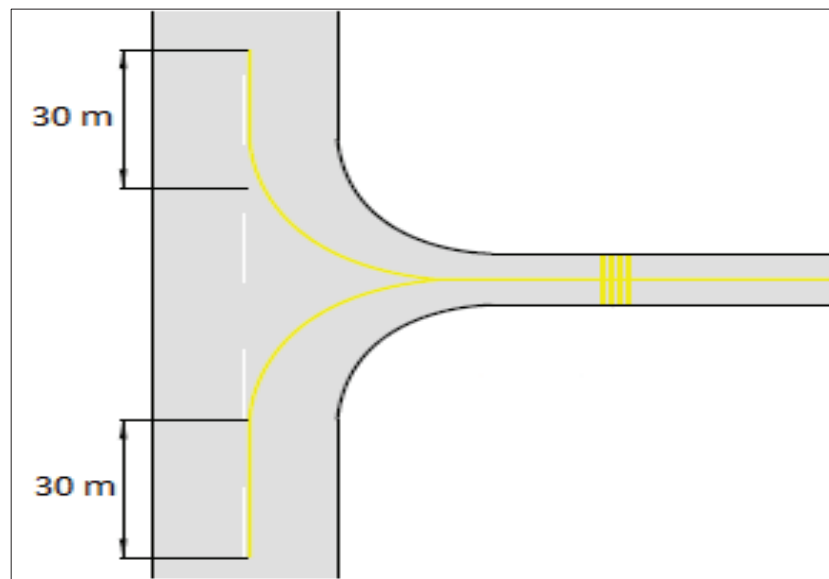


FIGURE VIII.5. LES MARQUES DE VOIE DE CIRCULATION

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

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. Elle aura au moins 15 cm de largeur et sera continue dans la longueur.

On trouve ci-après les recommandations de l'annexe 14 concernant l'emplacement des aires de demi-tour :

- Il est recommandé que la marque d'aire de demi-tour sur piste s'incurve depuis l'axe de piste vers l'aire de demi-tour et que le rayon de la courbe soit compatible avec la capacité de manœuvre et les vitesses de circulation normales des avions auxquels l'aire de demi-tour est destinée. L'angle d'intersection de la marque d'aire de demi-tour avec l'axe de la piste ne devrait pas être supérieur à 30° ;
- Il est recommandé que la marque d'aire de demi-tour sur piste se prolonge en parallèle avec la marque axiale de piste sur une distance d'au moins 30 m au-delà du point de tangence, lorsque le numéro de code de la piste est 2 ;
- Il est recommandé que la marque d'aire de demi-tour sur piste guide l'avion de manière à lui permettre de rouler en ligne droite avant le point où un virage à 180° est effectué. Le segment rectiligne de la marque d'aire de demi-tour devrait être parallèle au bord extérieur de l'aire de demi-tour ;
- Il est recommandé que la courbe permettant aux avions de négocier un virage à 180° soit conçue de manière à ce que l'angle de braquage de la roue avant n'excède pas 45° ;
- Il est recommandé que la marque d'aire de demi-tour sur piste soit conçue de manière que, lorsque le poste de pilotage de l'avion demeure sur la marque d'aire de demi-tour, la marge entre une roue quelconque de l'atterrisseur de l'avion et le bord de l'aire de demi-tour ne soit pas inférieure 2,25 m lorsque la lettre de code est B.

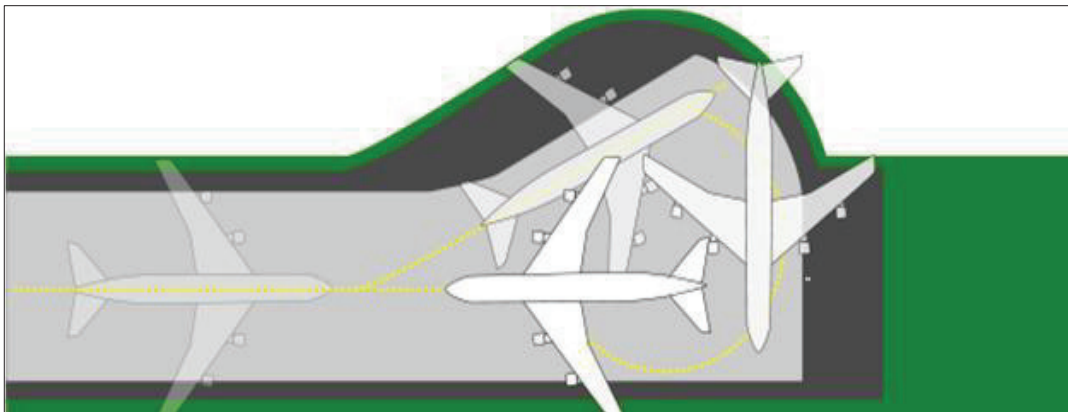


FIGURE VIII.6. LES MARQUES D'AIRES DE DEMI-TOUR SUR PISTE

VIII.2.8. Marque de poste de stationnement d'aéronef

Il est préconisé dans l'article 5.2.13 que des marques de poste de stationnement d'aéronef soient disposées sur une aire de trafic avec revêtement et qu'elles soient situées de manière à assurer les dégagements minimaux de 3m lorsque la lettre de code est B, entre un aéronef qui entre dans le poste ou qui en sort et toute construction voisine, admettant que la roue avant suit ces marques.

Les marques de poste de stationnement d'aéronef comprennent généralement les éléments suivants : une marque d'identification de poste de stationnement, une ligne d'entrée, une barre de virage, une ligne de virage, une barre d'alignement, une ligne d'arrêt et une ligne de sortie.

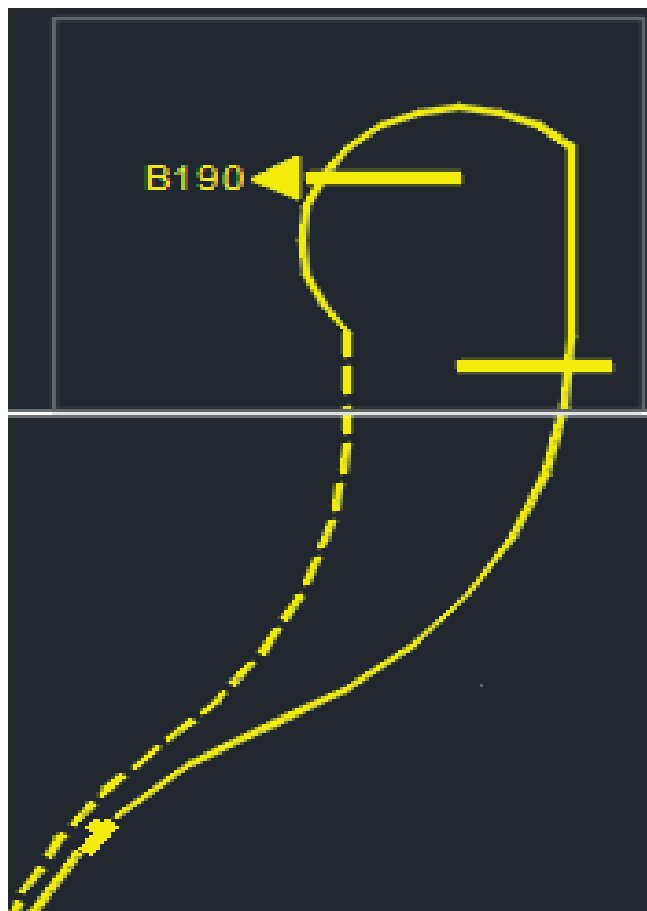


FIGURE VIII.7. LES MARQUES D'UNE AIRE DE STATIONNEMENT

VIII.3. Balisage nocturne (lumineux)

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

VIII.3.1. Feux de bord de piste

Il est recommandé dans l'article 5.3.9, que des feux de bord de piste soient disposés sur les pistes destinées à être utilisées de nuit, constituées de feux fixes blanc variable disposés sur toute la longueur de la piste, en deux rangées parallèles équidistantes de l'axe de piste. Dans chaque rangée, les feux seront disposés à des intervalles réguliers de 100 m au plus pour une piste à vue. Les feux des deux rangées seront symétriques, deux à deux, par rapport à l'axe de la piste. Aux intersections de pistes, les feux de piste peuvent être irrégulièrement espacés ou omis, à condition que les indications fournies au pilote restent suffisantes.

VIII.3.2. Feux d'extrémité de piste

Des feux d'extrémité de piste seront installés sur les pistes dotées de feux de bord de piste. Ils peuvent être utilisés comme feux d'extrémité de piste lorsque le seuil est à l'extrémité de la piste, dans ce cas nous utilisons des feux bidirectionnels.

Il est conseillé que le balisage lumineux d'extrémité de piste soit constitué d'au moins six feux, disposés sur une ligne perpendiculaire à l'axe de la piste, aussi près que possible de l'extrémité de la piste et, en tout cas, à 3 m au plus de cette extrémité, à l'extérieur de la piste. Ces feux devraient avoir l'une ou l'autre des dispositions ci-après :

- être uniformément espacés entre les rangées des feux de bord de piste ; ou ;
- être disposé symétriquement par rapport à l'axe de la piste en deux groupes, les feux de chaque groupe étant uniformément espacés, avec un espace vide entre les groupes au plus égal à la moitié de la distance entre les rangées de feux de bord de piste.

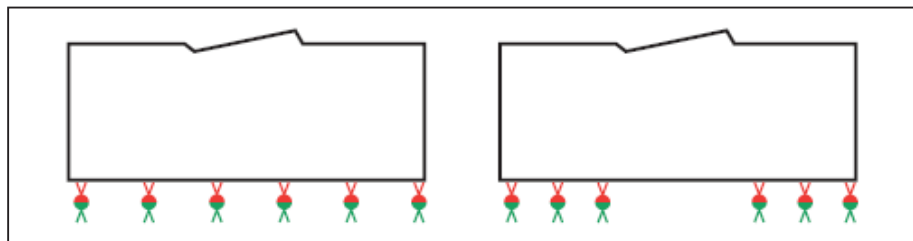


FIGURE VIII.8. LA DISPOSITION DES FEUX D'EXTREMITE DE PISTE

VIII.3.3. Feux de prolongement d'arrêt

Un prolongement d'arrêt destiné à être utilisé de nuit est doté de feux de prolongement d'arrêt, constitués de feux unidirectionnels fixes visibles en rouge dans la direction de la piste. Selon l'article 5.3.16.

Les feux seront disposés sur toute la longueur du prolongement d'arrêt en deux rangées parallèles équidistantes de l'axe et dans le prolongement des rangées de feux de bord de piste. Des feux transversaux de prolongement d'arrêt seront également disposés à l'extrémité du prolongement, perpendiculairement à son axe, aussi près que possible de la fin du prolongement d'arrêt et en aucun cas à plus de 3 m au-delà de cette extrémité.

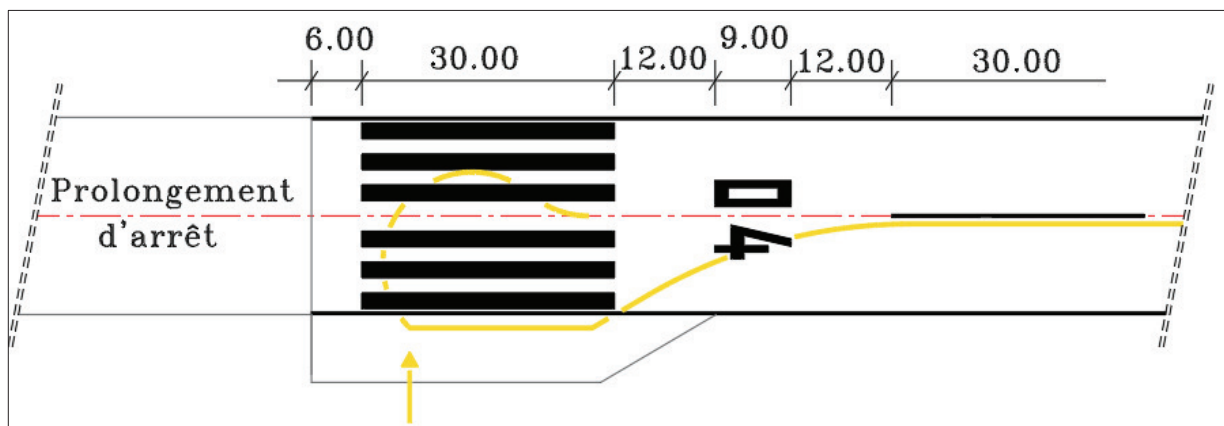


FIGURE VIII.9. LES DIFFERENTES MARQUES DE LA PISTE DE MLN

VIII.4. Conclusion

Les petits aérodromes sont souvent dépourvus d'aides pour l'approche aux instruments et de moyens de contrôle de la circulation aérienne. Il faut donc souvent, que les aides visuelles au sol répondent à tous les besoins opérationnels des pilotes.

Dans ce chapitre nous avons traité le balisage et la signalisation normalisés de l'aérodrome de MLN selon les recommandations de l'annexe 14 de l'OACI, qui ont pour but d'organiser la circulation aérienne, et assurer la sécurité des passagers, aéronefs et infrastructures.

Chapitre IX. Assainissement

Chapitre IX. Assainissement

IX.1. Introduction

Les projets d'aménagement des aéroports ont toujours accordé une place importante à l'assainissement, considéré à juste titre comme un élément contribuant à la sécurité de la circulation des avions sur les aires de manœuvre et de trafic. En effet, sur une plate-forme aéroportuaire, la présence d'une trop grande quantité d'eau diminue l'adhérence des aéronefs en mouvement, augmente les distances nécessaires à l'atterrissage et au décollage, et compromet la longévité des chaussées. Le premier objectif du concepteur de projet d'aéroport est donc de faire en sorte que les eaux pluviales soient évacuées des différentes chaussées aéronautiques.

En principe, l'objet du chapitre est de proposer une méthodologie permettant de concevoir et de gérer les dispositifs d'évacuation des eaux pluviales sur les aéroports, vu l'absence des données essentielles il ne sera donné que la méthodologie.

La problématique du drainage, les surfaces revêtues ou non d'un aéroport sont très importantes et recueillent des quantités d'eau à évacuer qui peuvent être considérables. Les exutoires naturels ou non sont souvent difficiles à trouver. Plusieurs facteurs rendent difficile le drainage des plates-formes aéroportuaires :

- les aéroports sont implantés sur des zones relativement plates
- les pentes maximales des surfaces à drainer sont faibles afin d'assurer la circulation des avions dans de bonnes conditions
- la largeur des surfaces revêtues amène des débits instantanés importants.

Les averses sont définies par trois facteurs : la durée, l'intensité et la fréquence, pouvant être comme écoulements superficiels ou souterrains. Nous appelons intensité moyenne d'une averse, le rapport entre la quantité d'eau tombée par unité de surface et la durée de l'averse. Cette intensité est exprimée en mm/h.

➤ **Données pluviométriques nécessaires**

Les données pluviométriques nécessaires pour les calculs sont généralement:

- Le coefficient de variation C_v
- L'exposant climatique b
- La hauteur de pluie journalière moyenne $P_j \text{ moy.}$

IX.2. Dimensionnement des ouvrages d'évacuation

Afin de dimensionner les différents types d'ouvrages d'assainissement, il faudra faire une comparaison entre le débit d'apport et le début de saturation de chaque type d'ouvrage.

IX.2.1. Estimation du débit d'apport Q_a

Il est employé la formule suivante :

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

Avec :

K : le coefficient de conversion des unités (mm/h en l/s) ; $K = 0,2778$

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

C : le coefficient de ruissellement.

A : l'aire du bassin versant (Km²).

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

Elle est donnée par la formule suivante :

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

Tels que :

$$\beta = b - 1$$

I : l'intensité de la pluie (mm/h)

t_c : le temps de concentration (h).

IX.2.3. L'intensité horaire I

Elle est calculée par la formule ci-après :

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

IX.2.4. Pluie journalière maximale annuelle P_j

Nous utilisons la formule de GALTON :

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

Tel que :

$P_{j \text{ moy}}$: la pluie journalière moyenne

C_v : le coefficient de variation climatique

U : Variation de GAUSS

Remarque : Les buses seront dimensionnées pour une période de retour de 10ans.

TABLEAU IX.1. LES VARIABLES DE GAUSS

Fréquence de dépassement %	50	20	10	5	2	1
Période de retour (année)	2	5	10	20	50	100
Variable de GAUSS	0	0.841	1,282	1,645	2,057	2,327

IX.2.5. Coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement représente le rapport du volume d'eau qui ruisselle sur une certaine surface au volume total d'eau reçu. Nous le retrouvons dans le tableau suivant :

TABLEAU IX.2. LES COEFFICIENTS DE RUISSellement

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

IX.2.6. Débit de saturation

Nous retrouvons 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 : la section mouillée

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

R_h : le rayon hydraulique (m), tel que : $R_h = S/P$

j : la pente moyenne de l'ouvrage.

IX.2.7. Dimensionnement des buses

Le dimensionnement d'une buse se dérive de la comparaison entre le débit d'apport et le débit de saturation de la buse en question, à condition que Q_a ne soit pas supérieur à Q_s . Pour se faire, il faudra choisir un rayon qui respecte cette condition $Q_a = Q_s$.

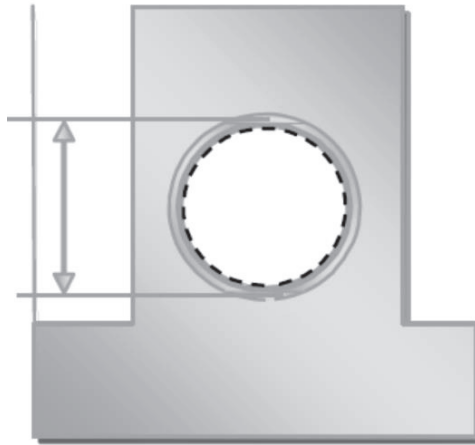


FIGURE IX.1. LA FORME D'UNE BUSE

Avec :

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

S_m : la section mouillée

R_h : le rayon hydraulique, tel que : $R_h = R/2$

$K_{st} = 80$ (buse en béton)

J : la pente de pose (la même que la pente du profil en travers).

Nous retrouvons :

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

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

Une fois le rayon R déterminé, Nous prenons le diamètre de la buse $\emptyset = 2R$.

IX.2.8. Dimensionnement de fossés

Le rôle des fossés reste le même que pour les routes, qui est de récupérer les eaux de ruissellement parvenant de la chaussée et ses aménagements. Nous passerons par le choix du type de fossés en fonction des pentes et de la nature des matériaux du sol support. Dans notre cas, nous donnons l'exemple d'un fossé trapézoïdal en béton.

Nous fixons la base du fossé à (par ex : $b = 50$ cm) et la pente du talus à ($1/n = 1/1 = 1$) d'où la possibilité de calculer le rayon hydraulique en fonction de la hauteur h .

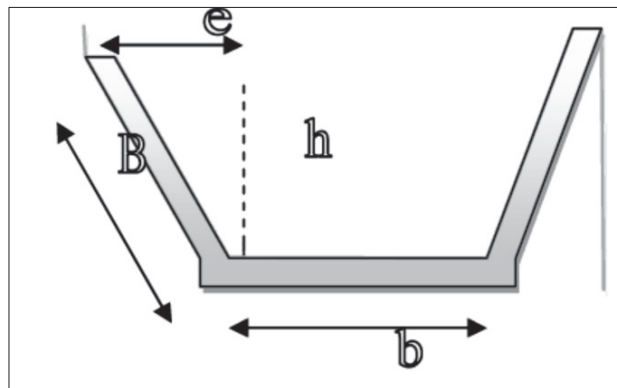


FIGURE IX.2. SCHEMA D'UN FOSSE TRAPEZOÏDAL

Principe de calcul :

- Calcul de la surface mouillée

$$Sm = b \times H + 2 \times (e \times h)/2$$

$$\tan \alpha = h/e = 1/n$$

$$e = n \times h$$

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

- Calcul du périmètre mouillé

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

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

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

- Calcul du rayon hydraulique

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

Nous trouvons les dimensions des fossés au point de saturation, lorsque le débit d'apport et débit d'écoulement seront égaux. D'après l'égalité suivante, nous calculons la hauteur d'eau (h) dans le fossé :

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

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

IX.3. Interaction Climatologie – Sol - Système de drainage

Notre projet est situé dans une zone désertique caractérisé par un climat aride (sec et chaud), avec une pluviométrie très faible, donc, cette quantité d'eau est absorbée rapidement par le sol (sable de dune). Nous prévoyons que le système de drainage soit de faibles dimensions, afin que les eaux pluviales écoulées sur la chaussée soient drainées par le sol, le travail est fait par les pentes descendantes de la piste, voie de circulation, bande de piste. Etc. Ensuite, nous réalisons des fossés trapézoïdaux ou triangulaires de chaque côté de la piste, des bretelles et du parking.

IX.4. Conclusion

Il est essentiel d'assurer un système d'assainissement fiable et économique pour le type d'aérodrome étudié, et ce selon plusieurs caractéristiques, notamment la pluviométrie du site et le type du sol support. Le choix des dispositifs est généralement constitué de fossés en béton, tout le long de la piste et de ses aménagements (bretelle, aire de stationnement), et/ou des buses qui ont pour rôle d'assurer la continuité de l'écoulement d'eau.

Néanmoins, on signalera encore une fois que vu le manque de données, cette partie n'as pas été traitée.

Conclusion Générale

*C*onclusion générale

Nous avons entamé notre mémoire par une recherche bibliographique dédiée à la valorisation de la poudrette de caoutchouc dans le domaine routier et aéroportuaire, particulièrement en couche de roulement où la poudrette est incorporée dans le mélange, afin d'améliorer les performances du bitume, notamment ses propriétés rhéologiques, mécaniques et acoustiques.

Nous noterons aussi, à travers les différentes parties et chapitres du PFE, que l'étude d'une création d'un nouvel aéroport nécessite en général une analyse des données pertinentes telles que (météorologie, trafic, les infrastructures existantes... etc.), qui donnent une vision globale du projet, son environnement, et les contraintes existantes. notre étude est dans le but de réaliser une nouvelle piste et de ses annexes qui répondent aux recommandations de l'O.A.C.I.

Le choix de l'emplacement et de l'orientation de la piste a constitué le fond de notre projet, ce choix répond aux besoins et aux critères importants (coefficient d'utilisation optimale, surface de dégagement, sécurité des passagers et des aéronefs au sol...etc.) pour assurer une bonne exploitation durant toutes les phases, décollage, approche et atterrissage, ainsi que l'évolution des aéronefs sur le sol, qui implique directement le fonctionnement du complexe pétrolier MLN.

Durant notre étude, Il a été déterminé le code de l'aéroport, les dimensions, l'orientation, et les caractéristiques géométriques de la piste. Ensuite, l'élaboration des plans de dégagement et les différents aménagements. Suivi par le dimensionnement du corps de chaussée et l'étude de l'éligibilité des aéronefs, où nous avons opté pour une structure souple, et enfin, nous avons identifié le balisage et signalisation nécessaires, ainsi que le réseau d'assainissement de l'aéroport de MLN,

L'étude d'un aéroport a été une occasion afin de bénéficier des connaissances et expériences des ingénieurs de la SAETI sur le plan théorique et pratique d'une part, et d'autre part d'apprendre une méthodologie rationnelle à suivre pour élaborer un projet de travaux publics.

Ce stage, où nous avons occupé le poste d'ingénieur stagiaire chargé de l'étude d'une infrastructure aéroportuaire, nous a permis de bien comprendre les étapes d'un projet d'étude d'aéroport durant les différentes phases, reconnaissance, et dimensionnement.

Ce modeste travail, nous a permis de faire une synthèse de l'ensemble des connaissances acquises durant le cursus d'élève ingénieur à L'ENSTP. Mais aussi représente une excellente opportunité d'enrichissement des connaissances en terme de normes et recommandations de l'annexe 14, l'élaboration des différents documents nécessaires pour la réalisation d'une piste (tracer en plan, profil en long, profil en travers) par les outils

informatiques et comprendre le vrai rôle de l'ingénieur au sein de l'entreprise. De plus, il nous a permis de combiner et utiliser nos notions et connaissances dans l'aviation avec l'étude des infrastructures aéroportuaires.

Références bibliographiques

*R*éférences bibliographiques

Chapitre Master

- [1] Documentation sur les caoutchoucs dans les revêtements bitumineux, Richard Langlois, 1979, Laboratoire Central - Ministère des Transports, Québec, Canada.
- [2] Kebaili Nabil, l'asphalte caoutchouc « valorisation de la poudrette de caoutchouc en domaine routier », Thèse de doctorat, 2017, Université Kasdi merbah Ouargla.
- [3] Khireddine Amor et Zerroug Mustapha, Influence de la poudrette de caoutchouc sur les propriétés des enrobés bitumineux, Mémoire d'ingénieur, 2013, ENSTP, Alger.
- [4] HELLWIG Sandra and KARRI Abdullah, Comparing rubber modified asphalt to conventional asphalt, Master's thesis, 2015, Department of civil and environmental engineering, Gothenburg, Sweden.

PFE

- [1] Organisation de l'Aviation Civile Internationale (O.A.C.I) normes et pratique recommandation international. Annexe 14 à la convention relative à l'aviation civile internationale, Volume I : Conception et exploitation des techniques aérodromes ,07ème édition — juillet 2016.
- [2] Dimensionnement des chaussées : Instruction sur le dimensionnement des chaussées d'aérodromes et la détermination des charges admissibles Volume 1, 1983.
- [3] Les chaussées aéronautiques 2007, DGAC.
- [4] La méthode ACN/PCN, guide pratique d'utilisation de la méthode ACN/PCN, 1988, DGAC.
- [5] Doc 9157 Manuel de conception des aérodromes, l'Organisation de l'aviation civile internationale, Partie 1: pistes Troisième édition — 2006.
- [6] Doc 9157 Manuel de conception des aérodromes, l'Organisation de l'aviation civile internationale, Partie 2 : Voies de circulation, aires de trafic et plates-formes d'attente de circulation. Quatrième édition — 2005.
- [7] Doc 9157 Manuel de conception des aérodromes, l'Organisation de l'aviation civile internationale, Partie 3 : Chaussées Deuxième édition — 1983.

- [8] Doc 9157 Manuel de conception des aérodromes, l'Organisation de l'aviation civile internationale, Partie 4 : aides visuelles Quatrième édition — 2004.
- [9] Classification des sols selon la norme NF P 11 300 et GTR.
- [10] Conception et dimensionnement des réseaux de drainage des aérodromes, STBA, 2000.

Webographie

- [S1] B1900D information page <http://www.users.on.net/~grypen/b1900d.html>, visité le 25/03/2019.
- [S2] MLN Oil Field: <http://www.imra-group.com/about-us/major-projects/mln-oil-field>, visité le 20/03/2019.
- [S3] <https://www.entrepose.com/fr/reference/complexe-mln-menzel-ledjmet-nord-bloc-405/>, visité le 20/03/2019.

Annexes



Annexe 0 : Définitions

D'après l'annexe 14, les termes suivants ont la signification indiquée ci-après :

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.

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 ou une procédure d'approche aux instruments jusqu'à un point au-delà duquel l'approche peut se poursuivre en conditions météorologiques de vol à vue.

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

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.

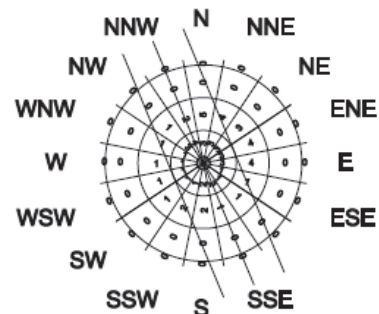
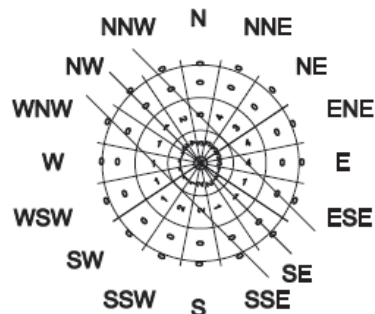
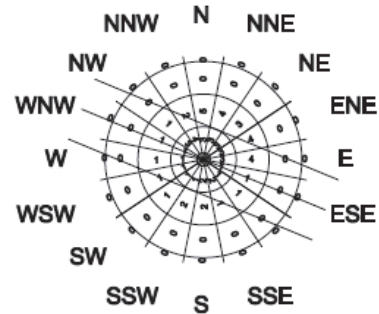
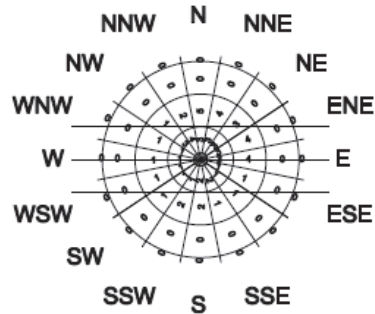
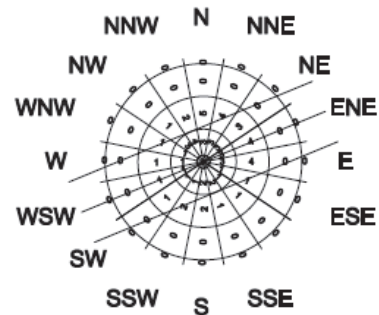
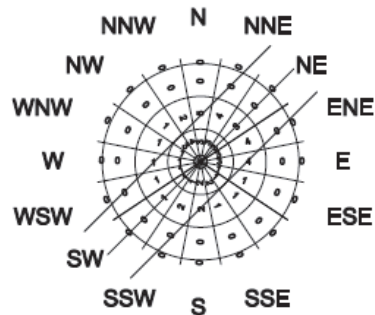
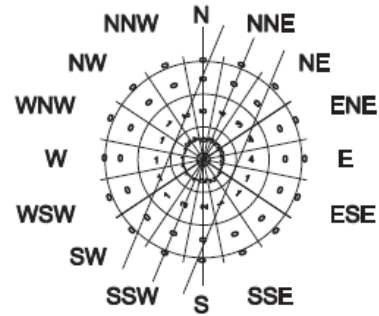
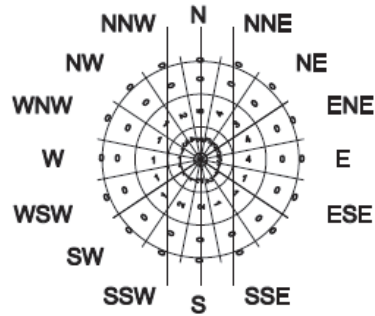
Seuil : Début de la partie de la piste utilisable pour l'atterrissage.

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

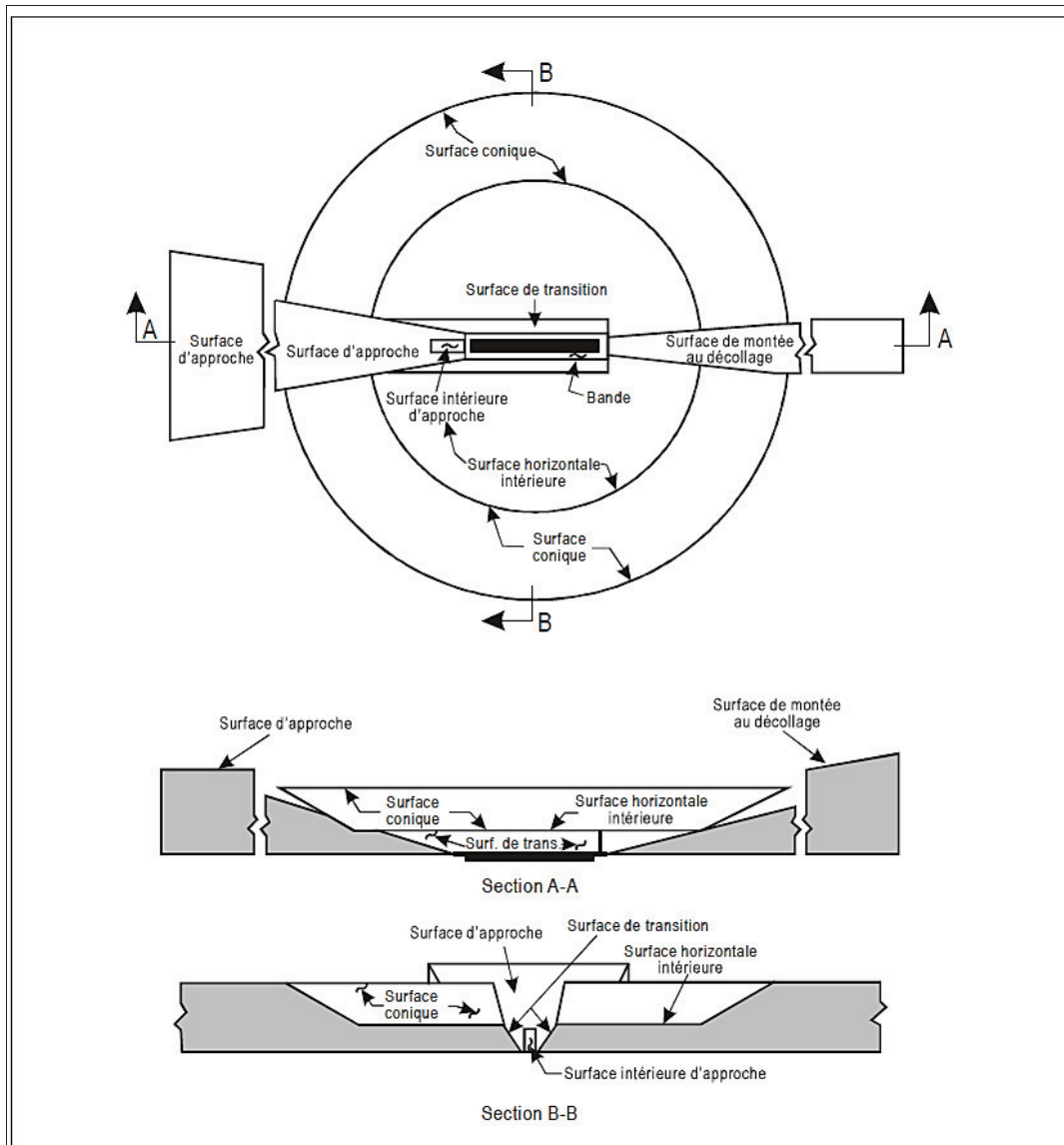
Voie de circulation : Voie définie, sur un aérodrome terrestre, aménagée pour la circulation à la surface des aéronefs et destinée à assurer la liaison entre deux parties de l'aérodrome

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.

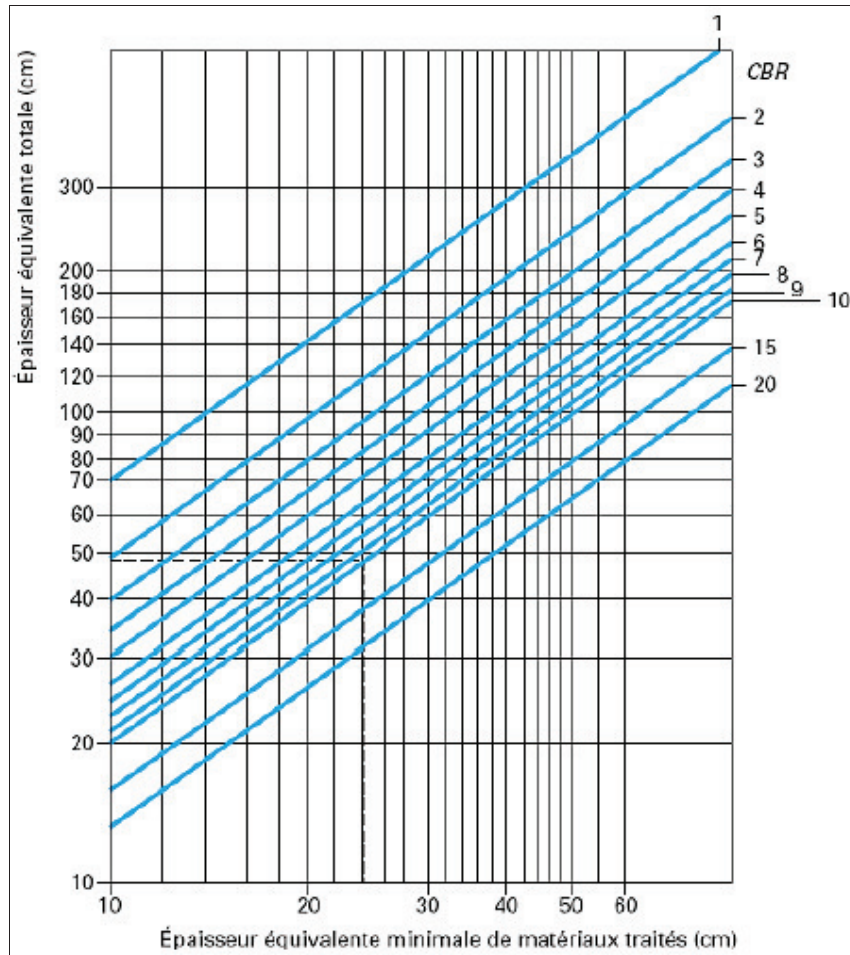
Annexe 1 : Chapitre II, Roses des vents utilisées pour le calcul des Cu




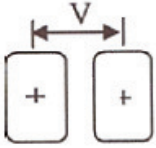
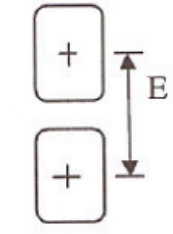
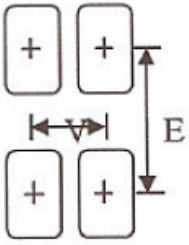
Annexe 2 : Chapitre III, Surfaces de limitation d'obstacles



Annexe 3 : Chapitre VI, Abaque de l'épaisseur minimale des matériaux traités



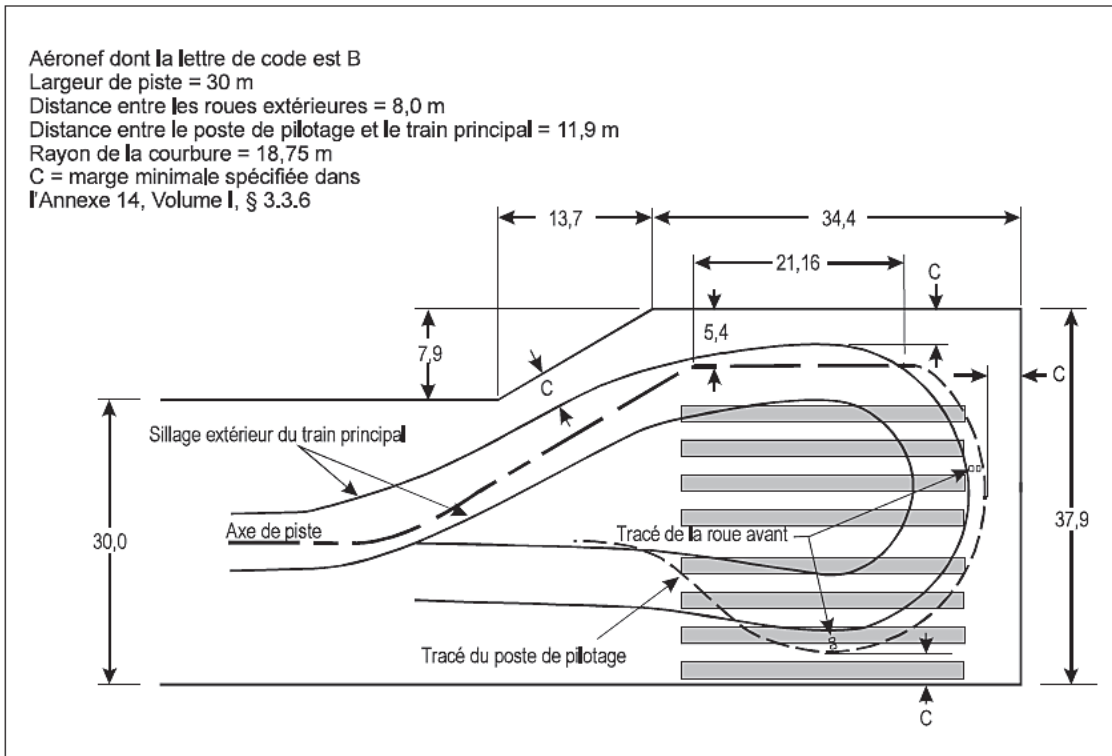
Annexe 4 : Chapitre VI/VII, Caractéristiques des atterrisseurs

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
<p>V : voie ; distance entre deux roues d'un même essieu.</p> <p>E : empattement ; distance entre l'essieu avant et l'essieu arrière.</p>						

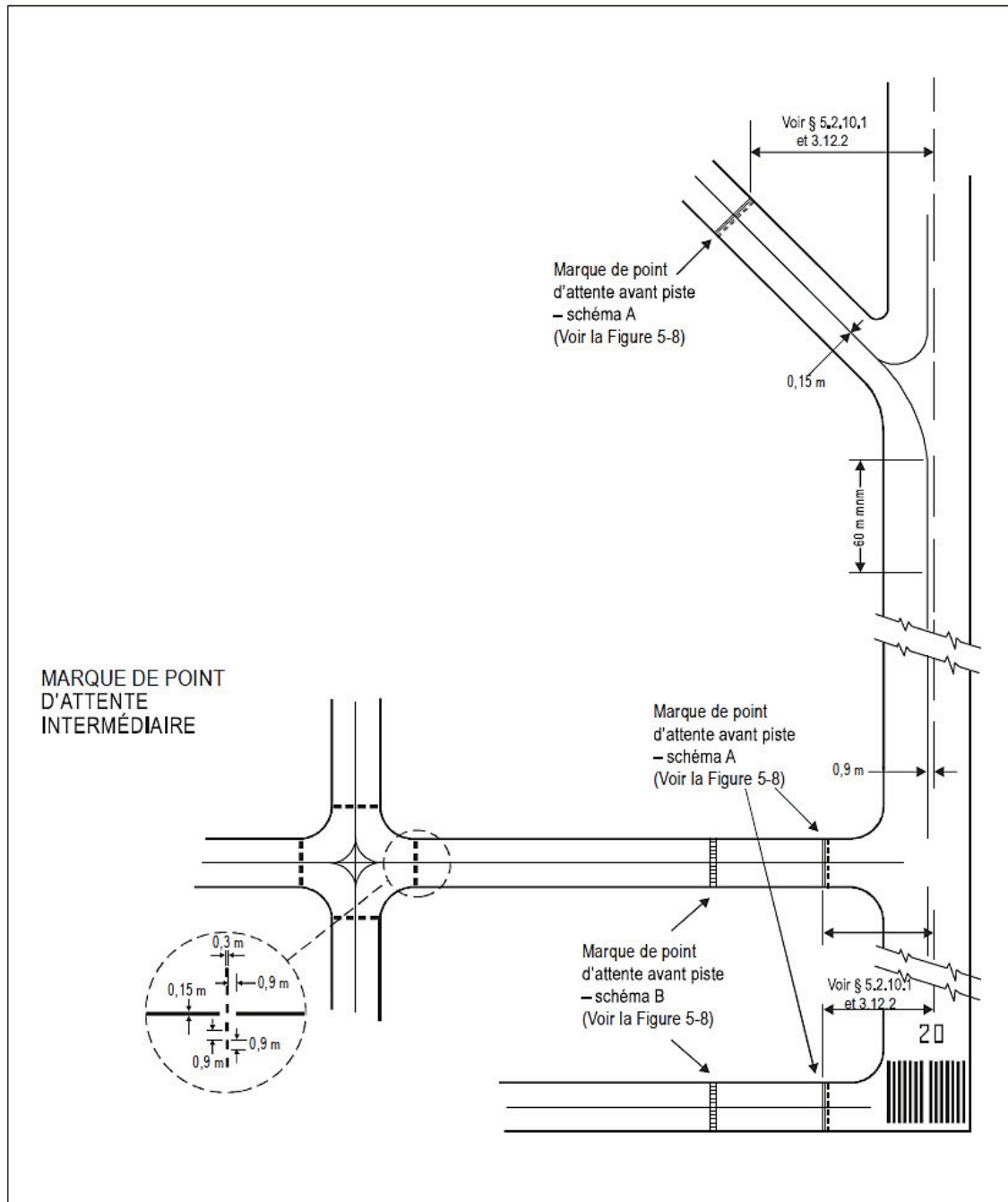
Annexe 5 : Chapitre VII, Publication des PCN

Catégorie d'indication	Lettre de code
Type de chaussée : <ul style="list-style-type: none"> • Souple • rigide 	F R
Catégorie de résistance du sol support : <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. 	A B C D
Pression des pneumatiques : <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. 	W X Y Z
Base d'évaluation : <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. 	T U ₁

Annexe 6 : Chapitre VIII, plan d'une aire de demi-tour pour un aéronef dont la lettre de code est B

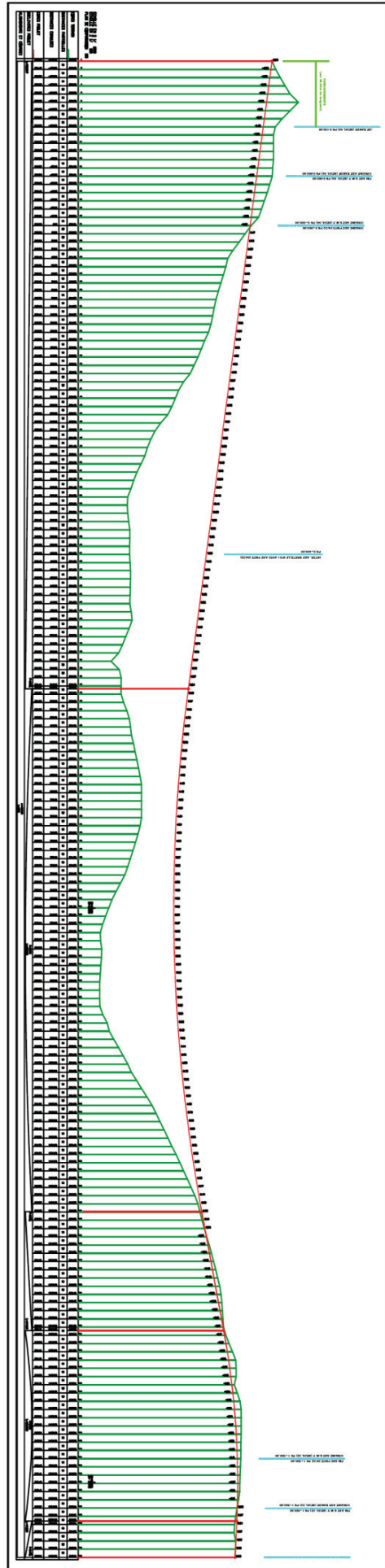


Annexe 7 : Chapitre VIII, Marques de voie de circulation avec les marques importantes de piste



**Figure 5-6. Marques de voie de circulation
(représentées en association avec les marques fondamentales de piste)**

Annexe 9 : Profil en long



Surfaces, volumes et listings

Calcul des surfaces :

Piste (souple) : $1500 \times 23 = 34500\text{m}^2$

Raquettes : $326,00 \times 2 = 652\text{m}^2$

Prolongements d'arrêt : $60 \times 23 \text{ (x2)} = 2760\text{m}^2$

Bretelle : $506,50 \text{ m}^2$

Parking avions : $60 \times 51 = 3060\text{m}^2$

Bande nivelée et compactée : $102\ 668\text{m}^2$

Calcul des terrassements

Piste : Remblai $416\ 658\text{m}^3$; Déblai $88\ 541\text{m}^3$

Parking avions : Remblai $14\ 534\text{m}^3$; Déblai $1\ 159\text{m}^3$.

Bretelle : Remblai $2\ 994\text{m}^3$; Déblai 00m^3

Calcul des volumes :

Tuf

Piste = $0.20 \times 34500 = 6900\text{m}^3$

Raquette : $0.20 \times 652 = 130.4\text{m}^3$

Bretelle : $0.20 \times 506,50 = 101.3\text{m}^3$

Parking avions : $0.20 \times 3060 = 612\text{m}^3$

Bande nivelée et compactée : $0.40 \times 102\ 668 = 20533.6\text{m}^3$

Volume Total = 28277.3m³

Grave concassée

Piste = $0.15 \times 34500 = 5175\text{m}^3$

Raquette : $0.15 \times 652 = 94\text{m}^3$

Prolongements d'arrêt : $0.15 \times 2760 = 414\text{m}^3$

Bretelle : $0.15 \times 506,50 = 76\text{m}^3$

Parking avions : $0.15 \times 3060 = 459\text{m}^3$

Volume Total = 6218m³

Béton Bitumineux

Piste = $0.06 \times 34500 = 2070\text{m}^3$

Raquette : $0.06 \times 652 = 39.12\text{m}^3$

Prolongements d'arrêt : $0.06 \times 2760 = 165.6\text{m}^3$

Bretelle : $0.06 \times 506,50 = 30.39\text{m}^3$

Parking avions : $0.06 \times 3060 = 183.6\text{m}^3$

Volume Total = 2488.7m³