

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
فرنسيس جانسون

École Nationale Supérieure des Travaux Publics

Francis Jeanson



Mémoire

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

Filière : Travaux Publics

Spécialité : infrastructures de base & matériaux et structures

Thème

Etude de renforcement de la piste secondaire
09/27 de l'aérodrome international
(Houari Boumediene – Alger)

Présenté par :

- BAIBA RAHEL
- GUELLOUR HAMZA

Encadré par :

Mr. HALES NACER

Promotion 2021/2022

Remerciements

En premier lieu nous aimerions remercier Mr. HALES Nacer, notre encadrant pour nous avoir guider pendant notre travail de mémoire et pour ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter nos réflexions.

Nos remerciements vont également à Mr. SIDALI Farid, Mr. BELAYADI Mansour, Mr. ZIANE Sofiane et toute l'équipe de la SAETI pour avoir contribuer au bon déroulement de notre mémoire.

Nous aimerons aussi gratifier les efforts de Mr. KACI Ilyes de la DTP d'Alger pour sa coopération.

Nous tenons à saisir cette occasion et adresser nos profonds remerciements aux enseignants de l'ENSTP d'avoir contribuer dans notre formation d'élève-ingénieur ainsi que l'équipe de la bibliothèque de l'ENSTP.

Un grand merci à nos familles qui nous ont soutenu pendant tout le long de notre parcours universitaire et spécialement durant ces 3 derniers mois.

Pour finir nous désirons remercier toute personnes qui de loin ou de près nous a aider, supporter ou contribuer d'une manière ou d'une autre à cette réussite.

Résumé

L'étude de renforcement de l'aérodrome d'Alger regroupe une nouvelle conception géométrique et un redimensionnement de la structure de chaussée.

En ce qui concerne le dimensionnement de la structure de chaussée, il a été question de considérer la charge totale maximale du nouvel avion dimensionnant le B777-300ER.

La spécificité de ce projet est que sa chaussée n'est pas homogène, elle est constituée de plusieurs parties entre chaussées souples et rigides et de différents matériaux.

Ainsi que ses bretelles qui sont sous forme de chaussée rigide, donc un niveau fixe ce qui complique la tâche de la conception géométrique.

D'une manière générale, mettre aux normes un aérodrome, c'est lui offrir la capacité d'accueillir un avion plus contraignant, en termes de charges et de dimensions, pour lesquels il a été conçu.

Mots clés : Aérodrome, renforcement, piste, avion, atterrisseur, distance de référence.

ملخص

تتضمن دراسة تقوية مطار الجزائر العاصمة تصميماً هندسياً جديداً وتغيير حجم هيكل الرصيف.

بالنسبة لأبعاد هيكل الرصيف، كان الأمر يتعلق بالنظر في الحد الأقصى للحمل الإجمالي للطائرة الجديدة B777-300ER

خصوصية هذا المشروع هو أن رصيفه غير متجانس، فهو مكون من عدة أجزاء بين الأرصفة المرنة والصلبة والمواد المختلفة. بالإضافة إلى الطريق الواصل ذو رصيف صلب وبالتالي مستوى ثابت مما يعقد مهمة التصميم الهندسي.

بشكل عام، يعني رفع مستوى المطار منحه القدرة على استيعاب طائرة أكثر تقييداً، من حيث الأحمال والأبعاد، التي تم تصميمه من أجلها.

الكلمات المفتاحية: المطار، التعزيز، رصيف الطائرات، الطائرة، المسافة المرجعية

Abstract

The Algiers aerodrome reinforcement study includes a new geometric design and a resizing of the pavement structure.

Regarding the dimensioning of the pavement structure, it was a question of considering the maximum total load of the new aircraft dimensioning the B777-300ER.

The specificity of this project is that its pavement is not homogeneous, it is made up of several parts between flexible and rigid pavements and different materials.

As well as its straps which are in the form of a rigid roadway, therefore a fixed level which complicates the task of the geometric design.

In general, bringing an aerodrome up to standard means offering it the capacity to accommodate a more restrictive aircraft, in terms of loads and dimensions, than those for which it was designed.

Keywords : Aerodrome, reinforcement, aeronautical pavement, aircraft, lander, reference distance.

Sommaire

Introduction générale	1
------------------------------------	----------

PARTIE 1 : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : Présentation générale d'un aérodrome	2
--	----------

I.1 Introduction	2
I.2 Air de mouvement	2
I.2.1. Aire de manœuvre : pistes, voies de circulation	2
I.2.2. Aire de trafic : voie de desserte, aire de stationnement	4
I.3. Zones d'installations	4
I.4. L'O.A.C.I	5

Chapitre II : Aperçu sur les différentes chaussées aéronautiques et leurs renforcement .6	6
--	----------

II.1 Introduction	6
II.2. Type de chaussées	6
II.2.1. Chaussée souple	6
II.2.2. Chaussée semi-rigide	6
II.2.3. Chaussée rigide	6
II.2.4. Chaussée composite	6
II.3. Critères de choix du type de chaussée	7
II.4. Renforcement des chaussées aéronautiques souples	8
II.4.1. Renforcement souple	8
II.4.2. Renforcement rigide	8
II.5. Renforcement des chaussées aéronautiques rigides	9
II.5.1. Renforcement souple	9
II.5.2. Renforcement rigide : interface partiellement collée, non collée, collée	10
II.6 Conclusion	13

Chapitre III : Dimensionnement des chaussées aéronautiques	14
---	-----------

III.1 Introduction	14
III.2. Notions et définitions	14
III.3. Méthodes de dimensionnement du corps de chaussée	15
III.3.1. Méthode de dimensionnement forfaitaire	15
III.3.2. Méthode empirique (STBA)	18

III.3.3. Méthode de dimensionnement optimisé	18
III.3.4. Méthode analytique.....	18
III.4. Méthode de vérification des charges admissibles ACN/PCN	18
III.4.1. PCN (Pavement Classification Number)	18
III.4.2. ACN (Aircraft Classification Number)	20
III.4.3. Principe de la méthode ACN/PCN	20
Chapitre IV : Normes géométriques de renforcement	22
IV.1 Introduction	22
IV.2. Normes géométriques des pistes	22
IV.2.1. Longueur des pistes	22
IV.2.2. Largeur des pistes	22
IV.2.3. Pentes des pistes	23
IV.2.4. Résistance des pistes	25
IV.2.5. Surface des pistes	25
IV.3. Normes géométriques des accotements de piste	25
IV.3.1. Largeur des accotements	25
IV.3.2. Pentes des accotements	26
IV.3.3. Résistance des accotements	26
IV.3.4. Surface des accotements	26
IV.4. Normes géométriques des bandes de piste	26
IV.4.1. Longueur des bandes	26
IV.4.2. Largeur des bandes	26
IV.4.3. Pentes des bandes	27
IV.5. Normes géométriques des prolongements d'arrêt	27
IV.5.1. Largeur des prolongements d'arrêt	27
IV.5.2. Pentes des prolongements d'arrêt	27
IV.5.3. Prolongement dégagé	28
IV.6 Conclusion	28
Chapitre V : Normes de signalisation diurne de piste	29
V.1 Introduction.....	29
V.2. Couleur de visibilité des marques	29
V.3. Marquages et chiffres sur une piste	29
V.3.1. Axe de piste.....	30
V.3.2. Seuil de piste	30

V.3.3. Marquage latéral des pistes	31
V.3.4. Interruption du marquage latéral de la piste.....	32
V.3.5. Zone de toucher des roues- Pistes inférieures à 2400 m	32
V.3.6. Zone de toucher des roues- Pistes supérieures à 2400 m	33
V.3.7. Identification des pistes.....	34
V.4. Signalisation des différentes zones	38
V.4.1. Zone anti-souffle et prolongement d'arrêt.....	38
V.4.2. Seuil de piste décalé.....	38
V.4.3. Aire de retournement ou raquette	40
V.4.4. Zone inutilisable	40

PARTIE 2 : CAS DE RENFORCEMENT DE LA PISTE 09/27 DE L'AERODROME D'ALGER

Chapitre VI : Référentiel de projection	42
VI.1 Introduction	42
VI.2. Présentation du projet.....	42
VI.1.1. Situation générale	42
VI.1.2. Présentation de l'aérodrome d'Alger.....	43
VI.1.3. Climatologie.....	43
VI.3. Historique de l'aérodrome	44
VI.4. Evolution du trafic aérien	44
VI.5. Conclusion	45
Chapitre VII : Analyse des données géotechniques	46
VII.1. Introduction	46
VII.1.1. Intervention sur site.....	46
VII.1.2. Analyse au laboratoire.....	46
VII.2. Essais effectués	46
VII.2.1. Sondage carotté.....	46
VII.2.2. Essai de poinçonnement CBR.....	49
VII.3. Description de l'existant	51
VII.4. Coefficients d'équivalence des matériaux	51
VII.5. Conclusion.....	52
Chapitre VIII : Identification des contraintes	53
VIII.1. Introduction.....	53
VIII.2. Caractéristiques de l'avion de référence (Avion critique)	53

VIII.3. Pondération de la charge sur la piste	54
VIII.4. Contraintes géométriques.....	54
VIII.5. Zoning de la piste	55
VIII.6. Conclusion	56
Chapitre IX : Dimensionnement de la chaussée de la piste 09/27	57
IX.1. Introduction.....	57
IX.2. Calcul des charges.....	57
IX.2.1. Charge réelle sur l'atterrisseur	57
IX.2.2. Charges réelles pondérées selon la fonction des aires	57
IX.2.3. Charge normale de calcul	57
IX.3. Lecture de l'épaisseur équivalente totale à partir d'un abaque.....	58
IX.4. Détermination des épaisseurs minimales des matériaux traités.....	59
IX.5. Choix d'une structure.....	60
IX.6. Vérification par la méthode ACN/PCN.....	63
IX.7. Conclusion	65
Chapitre X : Etude géométrique	66
X.1. Introduction.....	66
X.2. Classification de l'aérodrome	66
X.3. Caractéristiques Géométriques de piste secondaire 09/27	67
X.3.1. Longueur et largeur de la piste	67
X.3.2. Pente longitudinale	67
X.3.4. Distance entre changements de pente	67
X.3.5. Profil en travers	67
X.3.6. Accotements	67
X.3.7. Bande de piste.....	68
X.4. Conclusion	68
Chapitre XI : Métré	69
XI.1. Introduction.....	69
XI.2. Calcul des surfaces.....	69
XI.3. Calcul des quantités.....	69
XI.3.1. Fraisage et revêtement existant	69
XI.3.2. Exécution du corps de chaussée	69
XI.3.2.1. Enrobé à module élevé.....	69

XI.3.2.2. Béton bitumineux à module élevé	70
XI.3.2.3. Béton bitumineux	70
XI.3.2.4. Grave bitumineux	70
XI.3.2.5. TUF.....	70
XI.3.2.6. Nappe de géogridle.....	70
XI.4. Devis quantitatif et estimatif.....	71
Conclusion générale	72

Liste des figures

Figure I. 1 Présentation d'un aérodrome	2
Figure I. 2 Schéma de la piste et ses prolongements	3
Figure I. 3 Composantes de l'aire de mouvement	4
Figure II. 1 Structure type d'une chaussée souple et d'une chaussée rigide.....	7
Figure II. 2 Structure d'une chaussée semi-rigide	7
Figure II. 3 Structure d'une chaussée composite	7
Figure II. 4 Module K_c en fonction de e_{eq} de la couche de fondation	9
Figure II. 5 Coefficient de réduction pour déterminer l'épaisseur d'un renforcement d'une chaussée rigide par une chaussée souple	10
Figure II. 6 Abaque basé sur la formule de h_r pour une interface partiellement collée	11
Figure II. 7 Abaque basé sur la formule de h_r pour une interface non collée	12
Figure III. 1 Coefficient de Correction C_t selon le nombre de mouvement quotidien	16
Figure III. 2 Utilisation de l'abaque de l'atterrisseur principal.....	16
Figure III. 3 Utilisation de l'abaque de dimensionnement des chaussées souples.....	17
Figure III. 4 Valeurs du coefficient $H(CBR)$	19
Figure V. 1 Marquages et chiffres sur une piste	30
Figure V. 2 Axe de piste	30
Figure V. 3 Seuil de piste	31
Figure V. 4 Bandes latérales d'une piste	31
Figure V. 5 Différents cas d'interruption du marquage latéral.....	32
Figure V. 6 Marquage du point cible.....	33
Figure V. 7 Zone de toucher des roues- Pistes inférieures à 2400 m	33
Figure V. 8 Zone de toucher des roues- Pistes supérieures à 2400 m	33
Figure V. 9 Exemple d'utilisation de lettre R	34
Figure V. 10 Formes et dimensions des lettres et chiffres des marques d'identification de piste	35
Figure V. 11 Position latérale des marques d'identification de piste.....	36
Figure V. 12 Marques de seuil, d'identification et d'axe de piste.....	37
Figure V. 13 Signalisation sur la Zone anti-souffle	38
Figure V. 14 Aperçu sur le seuil de piste décalé	38
Figure V. 15 Normes de signalisation sur le Seuil de piste décalé.....	39
Figure V. 16 Schéma des détails de la flèche.....	40
Figure V. 17 Aperçu sur une aire de retournement	40
Figure V. 18 Normes des croix blanche disposées sur les zones inutilisables des pistes	41
Figure V. 19 Aperçu sur une zone inutilisable	41
Figure VI. 1 Image satellitaire de la situation de la commune de Dar El Beida.....	42
Figure VI. 2 Plan de l'aéroport Houari Boumediene.....	43
Figure VI. 3 Températures moyennes mensuelles de l'aérodrome d'Alger	44
Figure VI. 4 Trafic annuel sur l'aéroport d'Alger	45
Figure VII. 1 Sondage carotté n°1 (POR)	47
Figure VII. 2 Sondage carotté n°2	47
Figure VII. 3 Sondage carotté n° 3 et 4	48
Figure VII. 4 Sondage carotté n°5	48
Figure VII. 5 Sondage carotté n° 6 et 7	49
Figure VII. 6 Exemple d'essai CBR.....	50
Figure VIII. 1 Modèle 3D de l'avion B777-300ER avec SketchUp	53

Figure VIII. 2 Représentation des pondérations sur la piste.....	54
Figure VIII. 3 Aperçu sur la bretelle J02	54
Figure VIII. 4 Aperçu sur la voie de sortie rapide J03	55
Figure VIII. 5 Zoning de la piste.....	55
Figure IX. 1 Coefficient de correction en fonction du nombre de mouvements.....	57
Figure IX. 2 Abaque d'atterrisseur principal 6 roues du B777-300ER.....	58
Figure IX. 3 Abaque des épaisseurs équivalente minimale en fonction du CBR et l'épaisseur équivalente totale.....	59
Figure IX. 4 Détermination du H(CBR) en fonction du CBR.....	64

Liste des tableaux

Tableau II.1 Avantages et inconvénients des chaussées souples et rigides.....	8
Tableau III.1 Caractéristiques des atterrisseurs	14
Tableau III. 2 Coefficients d'équivalence des matériaux.....	17
Tableau III. 3 Caractéristiques de la méthode ACN/PCN.....	21
Tableau IV. 4 Largeur des pistes selon la lettre et chiffre de code	23
Tableau V. 1 Nombre, espacement et largeur des bandes selon la largeur des pistes	31
Tableau VI. 1 Caractéristiques de l'aérodrome Houari Boumediene	43
Tableau VI. 2 Températures moyennes mensuelles de l'aérodrome d'Alger	44
Tableau VI. 3 Evolution du trafic de 2000 à 2018	45
Tableau VII. 1 Couches existantes dans la chaussée	51
Tableau VIII. 1 Couches existantes dans chaque partie après répartition	55
Tableau IX. 1 Résultat des charges réelles pondérées	57
Tableau IX. 2 Résultat des charges normales	58
Tableau IX. 3 Epaisseur équivalente totale de chaque aire	58
Tableau IX. 4 Epaisseur équivalente minimale de chaque aire	59
Tableau IX. 5 Structure de la chaussée choisie pour chaque partie de la piste	60
Tableau IX. 6 Structure choisie pour les accotements	63
Tableau IX. 7 ACN du B777-300ER.....	63
Tableau IX. 8 Résultats du RSI et PCN de la piste secondaire et le prolongement d'arrêt seuil 09	64
Tableau X. 1 Code de référence des aérodromes	66
Tableau XI. 1 Résultats du calcul des surfaces des chaussées et accotements	69
Tableau XI. 2 Résultats du calcul des volume remblais/déblais	69
Tableau XI. 3 Volume à fraiser	69
Tableau XI. 4 Volume d'EME nécessaire	69
Tableau XI. 5 Volume de BBME nécessaire	70
Tableau XI. 6 Volume de BB nécessaire	70
Tableau XI. 7 Volume de GB nécessaire	70
Tableau XI. 8 Volume de TUF nécessaire	70
Tableau XI. 9 Surface de nappe géogrille nécessaire	70
Tableau XI. 10 Devis quantitatif et estimatif	71

Liste des abréviations

B777-300ER : Boeing 777-300ER

OACI : Organisation de l'aviation civile internationale

IATA : *International air transport association*

ITAC : *Instructions techniques sur les aérodromes civils*

RESA : Runway End Safety Area

CTR : Control traffic region

TMA : Terminal maneuvering area

CBR : California bearing ratio

Kc : Module de réaction des chaussées rigides.

P : charge réelle d'une roue.

P' : charge pondérée.

P'' : charge normale de calcul.

ACN : Aircraft classification number

PCN : Pavement classification number

RSI : Roue simple isolée

PK : Point kilométrique

BB : Béton bitumineux

GB : Grave bitumineux

EME : Enrobé à module élevé

BBME : Béton bitumineux à module élevé

Introduction générale

Introduction générale

Les aéroports sont l'un des plus importantes structures de transport et de communication connues de l'homme et ils ont connu un grand développement depuis leur création. Alors ils représentent un facteur majeur de succès dans le développement économique et social des pays et avec le développement de la science et de la technologie les aéroports ont connu des changements et des développements en matière de construction, d'entretien et de renforcement.

Le renforcement d'un aéroport a pour but d'améliorer l'état de ces chaussées pour développer leurs services et augmenter leur durée de vie et cela toujours dans le cadre des recommandations des normes internationales spécifiées par l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (O.A.C.I.).

L'aéroport international d'Alger (Houari Boumediene) a été construit en 1924 pour des activités militaires et de loisirs et connu sous le nom de base aérienne 149 Maison Blanche, l'aéroport de Maison Blanche commence à se développer et se tourner vers l'aviation civile en 1940. L'aéroport n'a cessé d'augmenter sa capacité de passagers ainsi que son trafic. Et cette fois, l'aéroport va accueillir un type d'avion plus contraignant le B777-300ER.

Dans le cadre de l'élaboration du mémoire de fin d'étude à l'Ecole Nationale Supérieure Des Travaux Publics (ENSTP), la Société Algérienne d'Etudes d'Infrastructures (SAETI), nous a confié le projet intitulé « Etude de renforcement de la piste secondaire 09/27 de l'aéroport international 'Houari Boumediene - Alger' ».

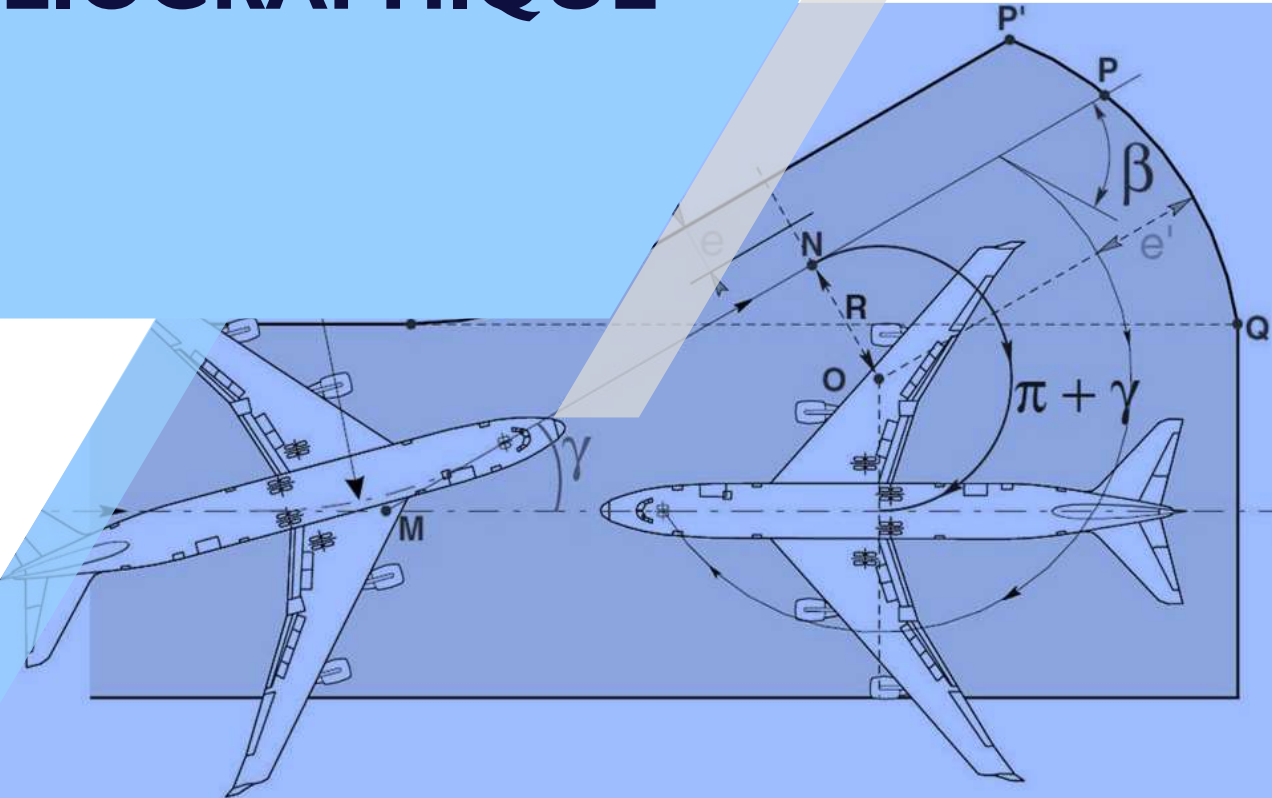
L'étude consiste à identifier toutes les parties de l'aéroport susceptible de modification permettant d'accueillir l'aéronef type, de définir les dimensions standards et relatives, de refaire un dimensionnement de la structure de chaussée avec le B777-300ER et de déterminer les besoins en matériaux.

Pour cela, il a été jugé nécessaire de faire une nouvelle étude sur la base du nouvel avion dimensionnant afin de dégager les conduites à tenir, c'est-à-dire :

- Est ce qu'il faut renforcer la chaussée existante et construire les extensions avec le nouveau dimensionnement ?
- Est ce qu'il faut recommencer toute la chaussée avec le nouveau dimensionnement ?

En fin, avant d'aborder ces études qui sont basées sur toute une collecte de données et un recueil d'information concernant l'aéroport, un chapitre sera consacré pour définir quelques notions générales concernant les aéroports.

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE



Chapitre 1 :
Présentation
générale d'un
aérodrome

CHAPITRE I : Présentation générale d'un aérodrome

I.1. Introduction :

Un aérodrome est considéré comme tout terrain spécialement aménagé pour l'atterrissage, le décollage et les manœuvres des aéronefs y compris les installations annexes qu'il peut comporter pour les besoins du trafic et le service des aéronefs.



Figure I. 1 Présentation d'un aérodrome

I.2. Aire de mouvement :

L'aire de mouvement d'un aérodrome comprend l'ensemble des parties aménagées afin d'être utilisées pour les opérations d'atterrissage et de décollage ainsi que pour la circulation des aéronefs au sol.

L'aire de mouvement comprend l'aire de manœuvre et les aires de trafic.

I.2.1. Aire de manœuvre :

L'aire de manœuvre comprend :

1. Les pistes et leurs prolongement éventuelle (Accotements, bande aménagée, bande (dégagée), Aire de sécurité d'extrémité de piste (RESA), prolongement d'arrêt, prolongement dégagé, tiroir).

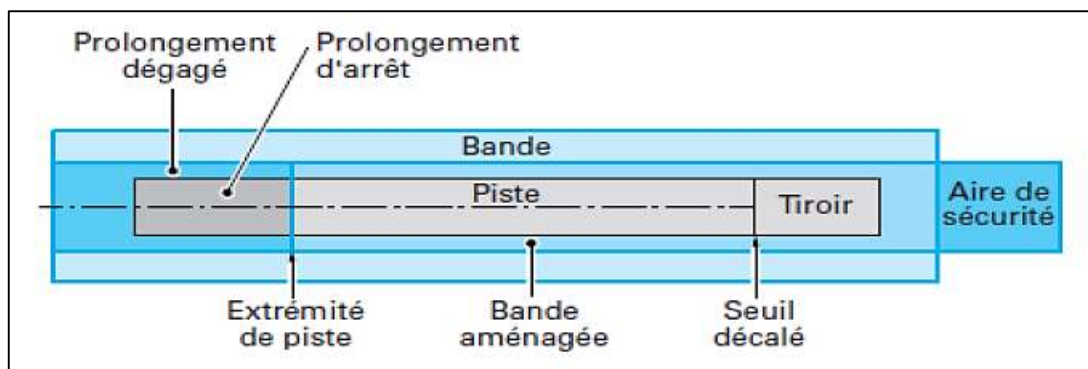


Figure I. 2 Schéma de la piste et ses prolongements

Piste : La piste est une aire rectangulaire, aménagée afin de servir au décollage et à l'atterrissage des aéronefs.

Accotements : Ce sont les abords de piste le long des bords de piste de façon qu'un avion sortant accidentellement de la piste ne subisse pas de dommages structurels et que soit évitées les projections ou ingestions de corps étrangers par les groupes motopropulseurs.

Bande de piste : La bande dite également « bande dégagée de piste ». C'est la partie qui englobe de part et d'autre la piste ainsi que les prolongements d'arrêt et le prolongement dégagé et ne comporte aucun obstacle pouvant présenter un danger pour un aéronef volant à faible hauteur.

Bande aménagée : c'est la partie de la bande englobant la piste et dont la surface est aménagée pour accepter le roulement d'un avion dans le cas où celui-ci quitterait accidentellement la piste afin de réduire les risques de dommage auxquels il est exposé.

RESA (Runway End Safety Area) : Aires de sécurité d'extrémité de piste est la longueur du stopway, c'est une aire adjacente à l'extrémité de la bande et extérieure à celle-ci, symétrique par rapport au prolongement de l'axe destinée à réduire les risques de dommages matériels au cas où un aéronef atterrirait trop court ou dépasserait l'extrémité de la piste.

Prolongement d'arrêt : est une partie du terrain coaxiale à la piste, de même largeur que celle-ci et aménagée de façon à limiter les conséquences lorsque les avions dépassent l'extrémité d'une piste lors d'un atterrissage ou d'un décollage interrompu.

Prolongement dégagé : une partie de terrain, éventuellement de plan d'eau, coaxiale à la piste, incorporant le prolongement d'arrêt s'il existe.

Tiroir : c'est la portion de piste comprise entre le seuil décalé et l'extrémité de la piste.

Cependant lorsque l'aérodrome comporte plusieurs pistes, On distingue 2 types de pistes :

- **Les pistes principales :** sont les plus longues, correspondent aux meilleurs dégagements et aux directions d'envol donnant les plus grands coefficients d'utilisation. Ces pistes constituent l'espace de l'aire de mouvement la plus utilisée, par conséquent, l'emplacement des autres installations divers sera effectué relativement à leurs positions.
- **Les pistes secondaires :** On distingue deux classes de pistes secondaires :

- Les pistes secondaires de même catégorie que la piste principale : ces pistes sont utilisées lorsque la direction du vent ne permet pas l'utilisation de la piste principale. Ou lorsque les circonstances particulières rendent la piste principale impraticable.
- Les pistes de catégorie inférieure à celle de la piste principale : ceux-ci peuvent être prévus pour alléger le trafic sur les pistes principales, leur utilisation par des avions de catégorie inférieure (admettant des valeurs des vents traversiers plus faibles) que ceux des pistes principales.

2. Les voies de circulation permettant le déplacement des aéronefs entre les entrées sorties de piste et les aires de trafic.

I.2.2. Aire de trafic :

Les aires de trafic sont destinées à recevoir les aéronefs pendant les opérations d'escale c-à-d pendant l'embarquement et le débarquement des voyageurs, le chargement ou le déchargement, l'avitaillement, ainsi que le stationnement ou l'entretien. Elles comprennent :

1. Les voies de desserte bordant ou traversant les aires de stationnement ;
2. Les aires de stationnement.

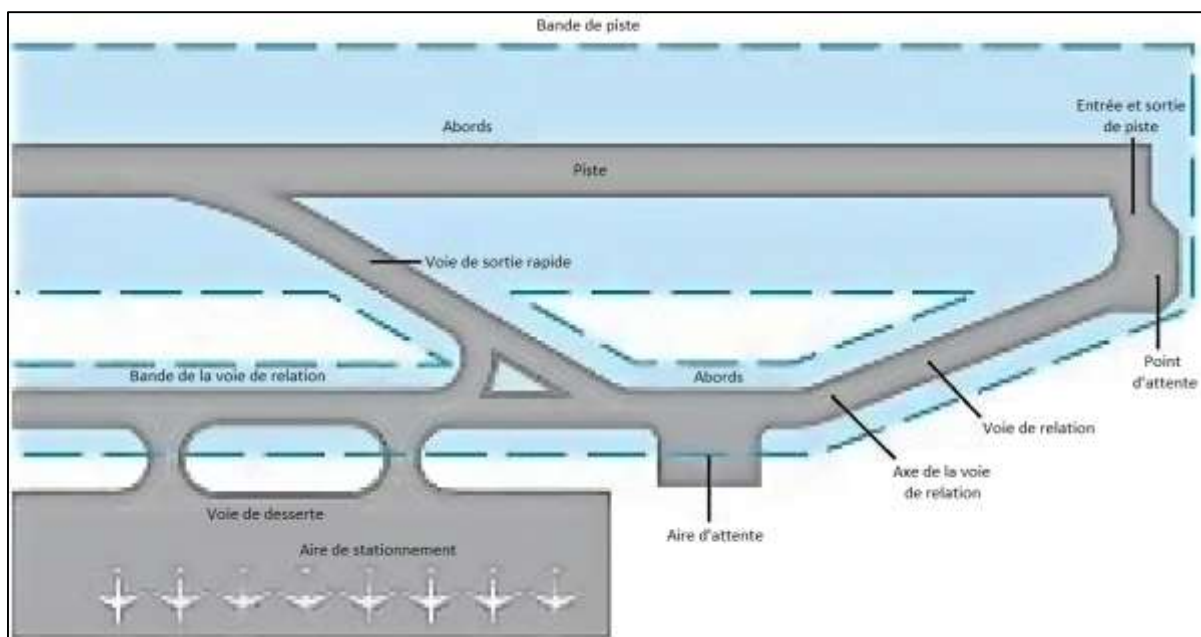


Figure I. 3 Composantes de l'aire de mouvement

I.3. Zones d'installations :

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

a) Zones d'exploitation :

- Exploitation commerciale (aérogare passagers, aérogare de fret, commissariat hôtelier, abri de matériel de piste, parcs à véhicules, dépôts de carburant, etc...)

- Exploitation technique (bloc technique et vigie, moyens généraux de l'aérodrome, service incendie, centrale électrique et parcs à véhicules correspondants)

b) Zones d'activités industrielles : les ouvrages nécessaires à l'entretien et aux réparations d'aéronefs, éventuellement même à la construction aéronautique.

c) Zones spécialisées : dédiées à une activité spécifique (zone militaire, la sécurité civile, monomoteur, planeurs, etc.)

d) Installations diverses : Comme les installations de balisage ; les postes de transformation ; les émetteurs de radionavigation ; les installations de mesures météorologiques ; les réseaux divers (voirie, eaux usées, eau potable, câbles électriques, etc.)

I.4. L'O.A.C.I :

L'O.A.C.I (Organisation de l'Aviation Civile Internationale) est par définition une institution spécialisée des nations unies, son rôle est de participer à l'élaboration des normes qui permettent la standardisation du transport aéronautique international. Elle se compose de 180 nations membres.

Il existe aujourd'hui d'autres organisations internationales comme la Fédération aéronautique internationale (FAI) ou encore l'Association internationale du transport aérien. Cette dernière regroupe à ce jour une centaine de compagnies aériennes ; travaillant en étroite collaboration avec l'OACI, elle s'attelle aux problèmes posés par l'expansion des transports aériens dans le monde.

Chapitre 2 :
Aperçu sur les
différentes chaussées
aéronautiques et
leurs renforcements

CHAPITRE II : Aperçu sur les différentes chaussées aéronautiques et leurs renforcements

II.1. Introduction :

Les chaussées aéronautiques doivent présenter des qualités d'usage identiques à celles des chaussées routières mais elles supportent des sollicitations très variables tant en intensité qu'en nombre (selon les zones de circulation et de manœuvre, et selon l'importance des aérodromes).

Il y a toutefois lieu de noter qu'au renforcement d'une chaussée peut parfois être préféré :

- La construction d'une chaussée neuve sur un nouvel emplacement mieux adapté,
- La substitution - totale ou dans sa seule partie centrale d'une chaussée nouvelle à celle existante qui, dans ce cas, aura été préalablement détruite.

Une étude intégrant toutes considérations techniques et économiques utiles permettra d'opter pour la meilleure solution.

II.2. Type de chaussée :

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

Par le jeu des renforcement successifs, plusieurs cas pourront se présenter tel que les chaussées **semi-rigides** ou encore chaussées **composites**.

II.2.1. Chaussée souple :

La chaussée souple est constituée d'une couche de roulement, d'une couche de base composée de matériaux traités aux liants hydrocarbonés et d'une couche de fondation en matériaux non traités.

II.2.2. Chaussée semi-rigide :

Elle est composée d'une couche de surface constituée de matériaux traités aux liants hydrocarbonés et d'une couche de base en matériau traité au liant hydraulique.

Ce type de chaussées est déconseillé car il présente plusieurs inconvénients tel que :

- fissuration du retrait (entretien des fissures)
- Impossibilité de réaliser des couches minces (minimum 15cm)
- Courbe de fatigue plate (comportement très sensible à un sous-dimensionnement ou aux surcharges éventuelles).

II.2.3. Chaussée rigide :

Elle est constituée par une dalle de béton de ciment et une couche de base en grave ciment. Dans ce type chaussé la couche de roulement et la couche de base sont confondus.

Chapitre 2 | Aperçu sur les différentes chaussées aéronautiques et leurs renforcements

II.2.4. Chaussée composite :

Elle résulte du renforcement d'une chaussée rigide par une chaussée souple. Cette chaussée est donc constituée par une couche de surface en matériaux traités aux liants hydrocarbonés reposant sur une dalle en béton de ciment jouant le rôle d'une couche de base.

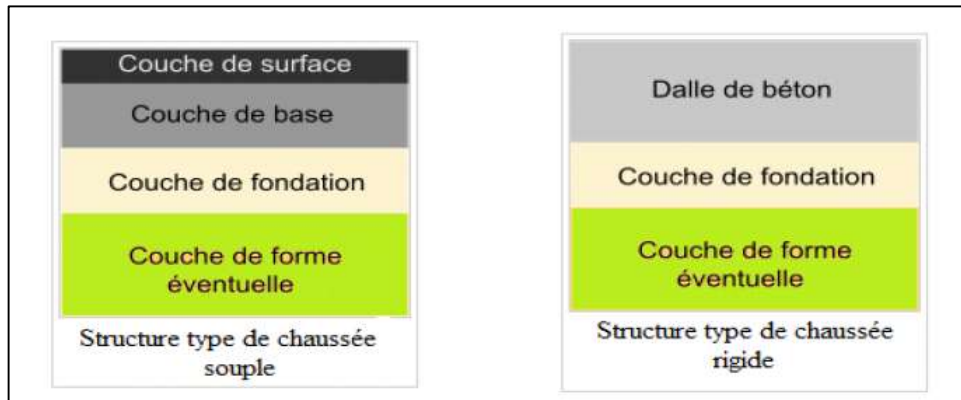


Figure II. 1 Structure type d'une chaussée souple et d'une chaussée rigide

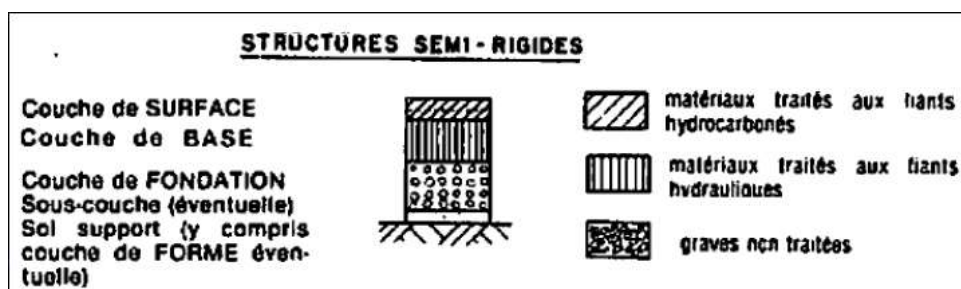


Figure II. 2 Structure d'une chaussée semi-rigide

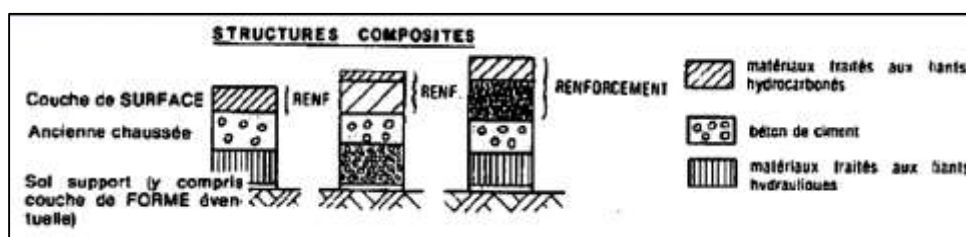


Figure II. 3 Structure d'une chaussée composite

II.3. Critères de choix du type de chaussée :

Les chaussées souples et les chaussées rigides convenablement dimensionnées et construites peuvent être utilisées aussi valablement les unes que les autres.

Le choix doit être fait en fonction de plusieurs facteurs en particulier :

- Les coûts de construction.
- Les conditions locales d'approvisionnement en matériaux.
- Le climat.
- Le sol support.

Chapitre 2 | Aperçu sur les différentes chaussées aéronautiques et leurs renforcements

- Les possibilités d'assurer l'entretien convenable et peu onéreux.
- Le trafic.
- Les délais d'exécution.
- L'entreprise de réalisation.

Les avantages et les inconvénients de chaque type se résument comme suit :

Tableau II.1 Avantages et inconvénients des chaussées souples et rigides

Type de chaussée	Avantages	Inconvénients
Chaussée souple	<ul style="list-style-type: none">- Absence de joints.- Réparation et renforcement facile.	<ul style="list-style-type: none">- Entretien onéreux.- Mauvaise résistance au carburant et réacteurs.- Fondation importante.- Visibilité moins bonne de la piste.
Chaussée rigide	<ul style="list-style-type: none">- Moins de terrassements.- Peu d'entretien.- Résistance au carburant.- Meilleure visibilité.- Grande dureté.- Imperméable.	<ul style="list-style-type: none">- Présence de joints.- Risque de fissuration.- Réparation et renforcement difficile.- Réparation des joints (coûteuse)

II.4. Renforcement des chaussées aéronautiques souples :

II.4.1. Renforcement souple :

L'épaisseur du renforcement est déterminée par la différence entre l'épaisseur équivalente d'une chaussée neuve et l'épaisseur équivalente de la chaussée existante.

Dans la détermination de cette dernière, il est tenu compte des deux remarques suivantes :

1. Les coefficients d'équivalence des couches de chaussées doivent être corrigés en fonction de leur état réel.
2. Le coefficient d'équivalence d'une couche de chaussée à un niveau donnée ne pourra être supérieur au coefficient d'équivalence de couche rapporté au-dessus.

II.4.2. Renforcement rigide :

Ce cas de renforcement est très peu fréquent.

Lorsqu'une chaussée souple est renforcée par une dalle de béton, elle n'intervient dans le calcul de celle-ci qu'en tant que couche de fondation. Le module K à attribuer à cette couche de fondation est déterminé d'après les indications de la figure II. 4.

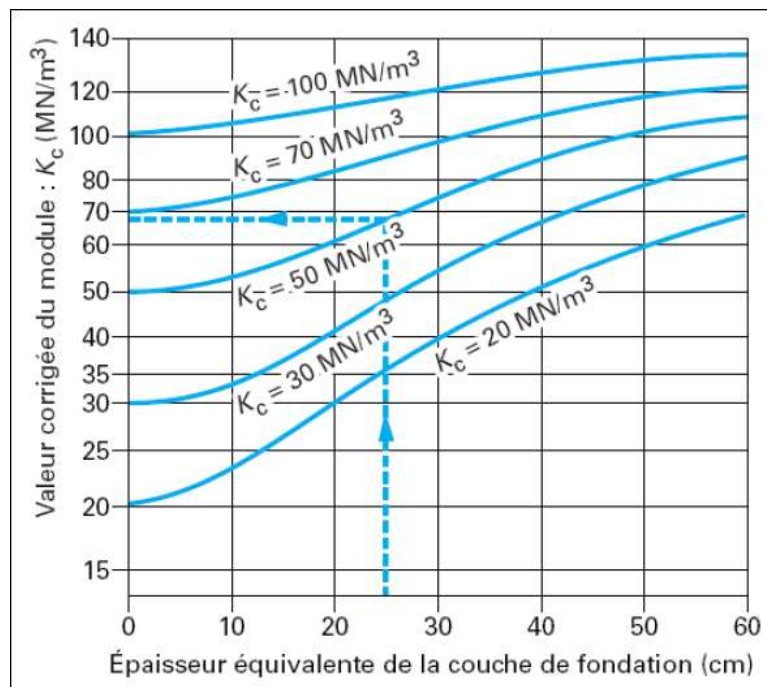


Figure II. 4 Module K_c en fonction de l'épaisseur équivalente de la couche de fondation

L'épaisseur de la dalle est ensuite déterminée comme une nouvelle chaussée.

II.5. Renforcement des chaussées aéronautiques rigides :

II.5.1. Renforcement souple :

Si la chaussée existante est en mauvais état il est préférable de la considérer comme une chaussée souple de même épaisseur (couche de grave), ce qui revient au cas précédent.

Si la chaussée rigide est encore saine, l'épaisseur équivalente du renforcement, e , est donnée par :

$$e = 3,75 \times (F \times h_t - h)$$

Avec :

e : épaisseur équivalente en cm (les matériaux utilisés pour le renforcement doivent posséder un coefficient d'équivalence au moins égal à 1)

h : épaisseur de la dalle de béton existante (cm)

h_t : épaisseur théorique d'une dalle neuve, abstraction faite de celle existante. Cette épaisseur est calculée à partir de la contrainte admissible σ_{bt} et du module de réaction corrigé K_c valables pour la dalle existante (cm).

F : est un coefficient de réduction de l'épaisseur h_t dont la valeur est donnée en fonction du même module K_c .

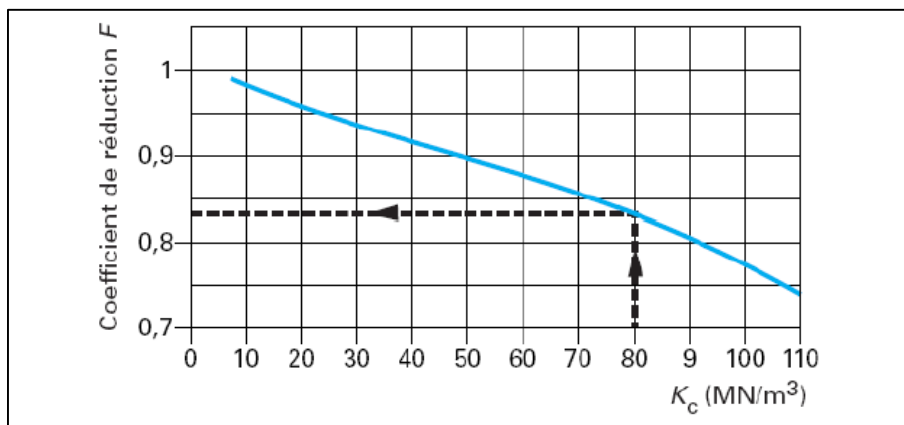


Figure II. 5 Coefficient de réduction utilisé déterminer l'épaisseur d'un renforcement d'une chaussée rigide par une chaussée souple

L'épaisseur équivalente du renforcement ne doit pas être inférieure à 25 cm (cette relation, n'est d'ailleurs valable que pour $e > 20$ cm). En effet, du fait de l'existence des joints, et des conditions de travail des dalles, il est nécessaire que le béton soit surmonté d'une couche de matériaux d'épaisseur suffisante pour retarder la remontée des fissures au droit des joints et des anciennes fissures.

Dispositions constructives (souple sur rigide)

Dans le cas d'application d'enrobé directement sur du béton, le problème le plus préoccupant est celui de la réapparition des joints de la chaussée rigide en surface du renforcement. Pour lutter contre cette fissuration, il est préconisé de désolidariser la couche d'enrobés de la dalle sur une certaine largeur de part et d'autre du joint (par exemple à l'aide d'une couche de sable ou en interposant un textile). Il est aussi possible de faire réapparaître les joints en surface par sciage et de les traiter avec un produit de colmatage afin d'éviter une fissuration anarchique.

II.5.2. Renforcement rigide :

1. Interface partiellement collée :

Cette solution est généralement destinée aux dalles plus ou moins en bon état.

Le matériau de renforcement est mis en œuvre directement sur la dalle existante (sans aucune interface de séparation).

L'épaisseur de renforcement h_r de la nouvelle dalle est donnée par la formule suivante :

$$h_r^{1,4} = h_t^{1,4} - C \cdot h^{1,4}$$

Avec:

h_t : épaisseur théorique d'une dalle neuve, déterminée en fonction de la contrainte admissible de nouveau béton et du module de réaction corrigé de la dalle existante (cm)

h : épaisseur de la dalle existante (cm)

h_r : épaisseur de la dalle de renforcement (cm)

C : un coefficient destiné à tenir compte de la qualité de la chaussée existante.

Chapitre 2 | Aperçu sur les différentes chaussées aéronautiques et leurs renforcements

C = 1 pour une chaussée en bon état ;

C = 0,75 pour une chaussée présentant quelques fissures d'anglais mais pas de dégradations généralisées ;

C = 0,5 pour une chaussée entièrement fragmentée.

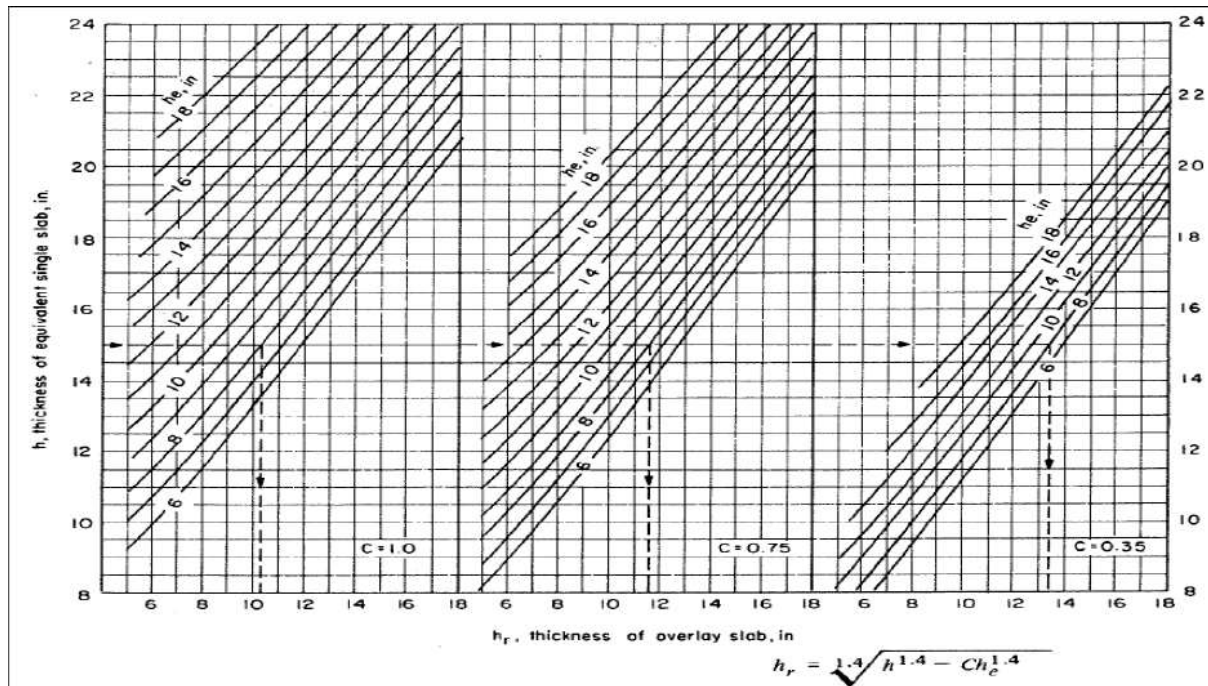


Figure II. 6 Abaques basé sur la formule de h_r pour une interface partiellement collée

2. Interface non collée :

La relation donnée précédemment n'est valable que si la dalle de renforcement est appliquée directement sur la chaussée existante (reprofilage), l'épaisseur du renforcement est calculée par la formule :

$$h_r = \sqrt{h t^2 - C \cdot h^2}$$

Remarque : Dans cette expression, la signification des paramètres et les valeurs du coefficient C sont les mêmes que le cas précédent. Cependant cette formule conduit à des épaisseurs de renforcement légèrement plus importantes.

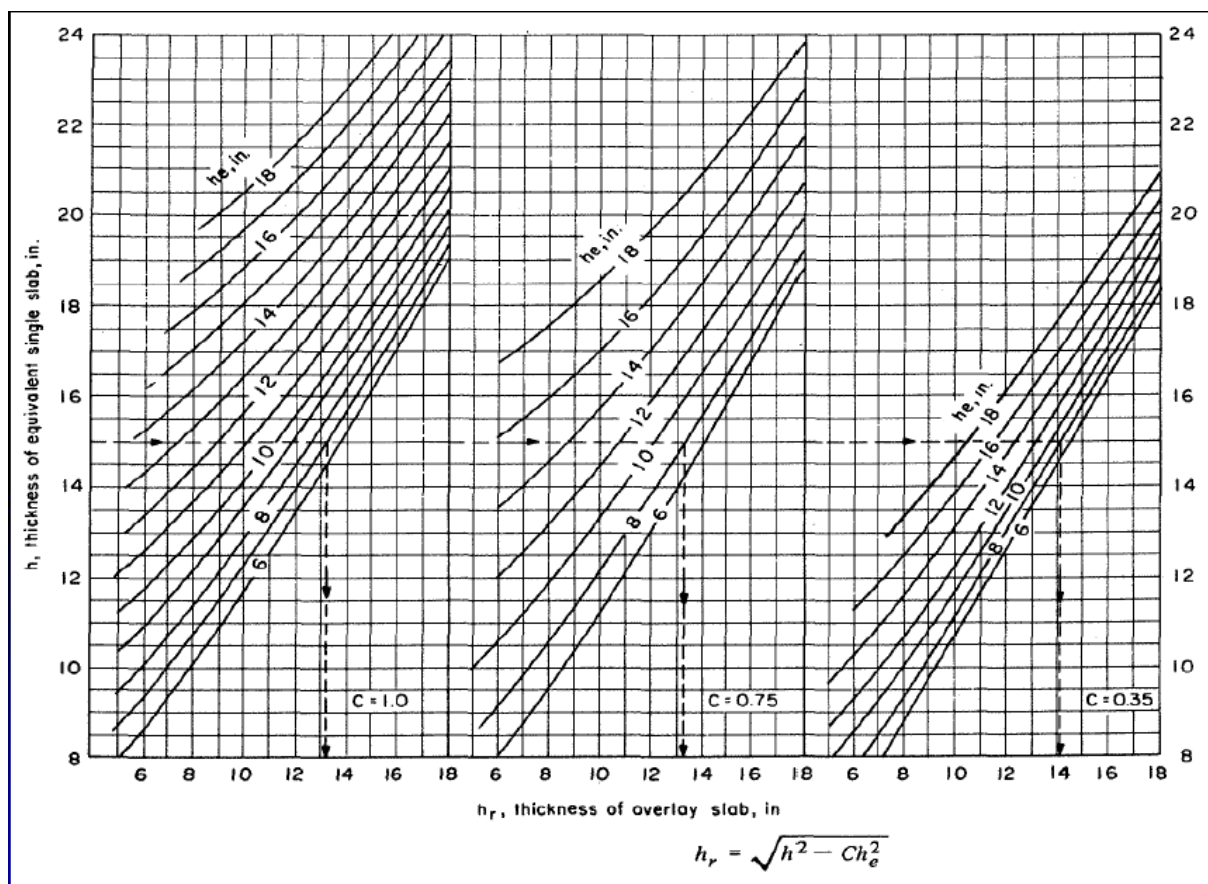


Figure II. 7 Abaques basé sur la formule de h_r pour une interface non collée

3. Interface collée :

Le nouveau béton est placé sur une résine (époxy mixture) de collage après nettoyage de la dalle existante :

$$h_r = h - h_e$$

Avec :

h_r : épaisseur de la dalle de renforcement (cm)

h_e : épaisseur de la dalle existante (cm)

h : épaisseur requise d'une hypothétique dalle unique construite directement sur le sol de fondation ou la sous-couche

Disposition constructives (rigide sur rigide)

Pour éviter la réapparition des joints de la chaussée existante sous forme de fissures dans la dalle de renforcement, il est nécessaire que les joints de cette dernière soient exactement superposés aux joints existants.

Les nouveaux joints de retrait (dilatation) sur les anciens joints de retrait (dilatation)

Chapitre 2 | Aperçu sur les différentes chaussées aéronautiques et leurs renforcements

Si les dalles anciennes sont conçues avec des largeurs inférieures à celles des dalles de renforcement, des joint longitudinaux de retrait-flexion supplémentaires pourront être nécessaires au droit des joints de construction de l'ancienne chaussée.

Compte tenu de ces difficultés le renforcement rigide sur rigide est très rarement adopté.

Ces dispositions ne sont pas nécessaires dans le cas d'un renforcement en béton armé continu.

Cas de renforcement rigide en couches épaisses

Cette solution est envisagée si la chaussée existante est en mauvais état. Les dalles sont alors fragmentées, puis compactées. La couche de béton hydraulique de renforcement sera dimensionnée comme s'il s'agissait d'une chaussée neuve.

II.6. Conclusion :

Le renforcement d'un aéroport à pour but d'améliorer l'état de ces chaussées pour répondre aux normes internationales spécifiées par l'Organisation de Aviation Civil Internationale (O.A.C.I).

Le rôle de l'ingénieur, dans ce cas, est de trouver la solution technique la plus économique.

Cette mise à niveau des infrastructures nous a offert la chance d'en participer par le biais de notre projet de fin d'études, aussi bien à la rénovation qu'à l'innovation.

Chapitre 3 :
Dimensionnement
des chaussées
aéronautiques

CHAPITRE III : Dimensionnement des chaussées aéronautiques

III.1. Introduction :

Le dimensionnement des chaussées des aérodromes nécessite la connaissance préalable d'un certain nombre de paramètres dont l'influence peut être directe sur la structure de la chaussée à concevoir ainsi que la méthode à utiliser.

A cet égard nous avons consacré ce chapitre pour expliquer et détailler cela.

III.2. Notions et définitions :

Le dimensionnement des structures de chaussées consiste à déterminer les épaisseurs des différentes couches de la structure de chaussée et de choisir les matériaux ayant les caractéristiques requises. Tout cela, en fonction des paramètres fondamentaux que sont le type de structure, la durée de vie, le trafic, les CBR du sol support et des matériaux d'apport...

La durée de vie d'une chaussée aéronautique souple est, par convention, de dix (10) ans avec un trafic de dimensionnement de dix (10) mouvements par jour.

La charge de calcul de l'avion le plus contraignant devant fréquenter l'aérodrome ; elle est fonction de la masse totale de l'avion, de la répartition de la masse sur les atterrisseurs et du coefficient de pondération dépendant des aires considérées.

La charge normale de calcul qui se détermine à partir du trafic.

Le trafic est l'ensemble de mouvements qu'effectue l'avion de référence durant une période déterminée.

Le CBR du sol support qui se détermine au laboratoire ainsi que les CBR et les coefficients d'équivalence des **matériaux constituant** les différentes couches. Car l'épaisseur de la chaussée dépendra de la nature du sol et de sa portance (CBR).

L'avion critique ou **de référence** est l'avion le plus contraignant destiné à desservir l'aérodrome et assurant facilement la liaison avec une destination voulue.


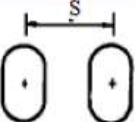
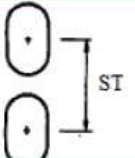
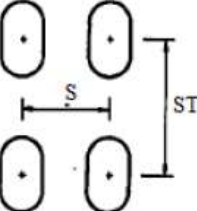
Dans le domaine de l'aéronautique, il n'existe pas d'essieu de référence comme dans le domaine routier. Toutefois, l'élément de base de dimensionnement est :

L'atterrisseur d'avion ; il est constitué par l'ensemble des roues montées sur une même jambe. Un avion comporte un ou plusieurs atterrisseurs principaux et un atterrisseur secondaire, à l'avant.

Il existe quatre (4) types d'atterrisseur :

- Roue simple
- Jumelage
- Tandem
- Boggie

Tableau III.1 Caractéristiques des atterrisseurs

Géométrie	Type d'atterrisseur	S (cm)	S _T (cm)	Masse supportée	Pression de gonflage des pneumatiques
	Roue simple	-	-	Jusqu'à 5 t	0.3 – 0.6 MPa
	Jumelage	50-90	-	5 à 40 t	0.6 -1.2 MPa
	Tandem	-	130-170	10 à 20 t	0.4 – 0.8 MPa
	Boggie	40-140	100-180	20 à 90 t	1 – 1.6 MPa

III.3. Méthodes de dimensionnement du corps de chaussée :

III.3.1. Méthode de dimensionnement forfaitaire :

Cette méthode permet de dimensionner la chaussée en fonction de la charge de référence correspondante à la charge maximum de l'avion le plus contraignant.

- 1^{ère} étape : Calcul des charges

1) La charge réelle sur l'atterrisseur P :

$$P = \text{Masse maxi roulage} \times \text{Pourcentage de la charge totale supporté par l'atterrisseur}$$

2) Les charges réelles pondérées P' selon la fonction des aires :

$$P' = P * C_P$$

Avec :

P' : la charge réelle pondérée à chaque partie de l'aérodrome,

P : la charge réelle de l'avion,

C_P : coefficient de pondération propre à chaque partie de l'aérodrome.

3) Les charges normales de calcul P'' :

P'' correspond à N nombre de mouvements par jours pendant 10 ans. Toutefois, il peut se faire que ce niveau de trafic soit manifestement inférieur ou il excède le trafic prévisible de l'aérodrome. Il est donc nécessaire de tenir compte de l'intensité réelle du trafic. La charge réelle pondérée P'' doit être corrigée en fonction du nombre de mouvements par jour. Soit :

$$P'' = P' / C_t$$

Avec :

P'' : La charge normale de calcul.

P' : La charge réelle pondérée.

C_t : Le coefficient de correction du trafic,

C_t peut être calculé par deux méthodes :

- Soit, directement par la formule : $C_t = 1.2 - 0.2 \log n$

Notant, que cette relation n'est valable que pour une durée de vie de 10 ans. Pour une autre durée, il convient de se ramener à 10ans.

- Soit, On le détermine à partir de l'abaque ci-dessous :

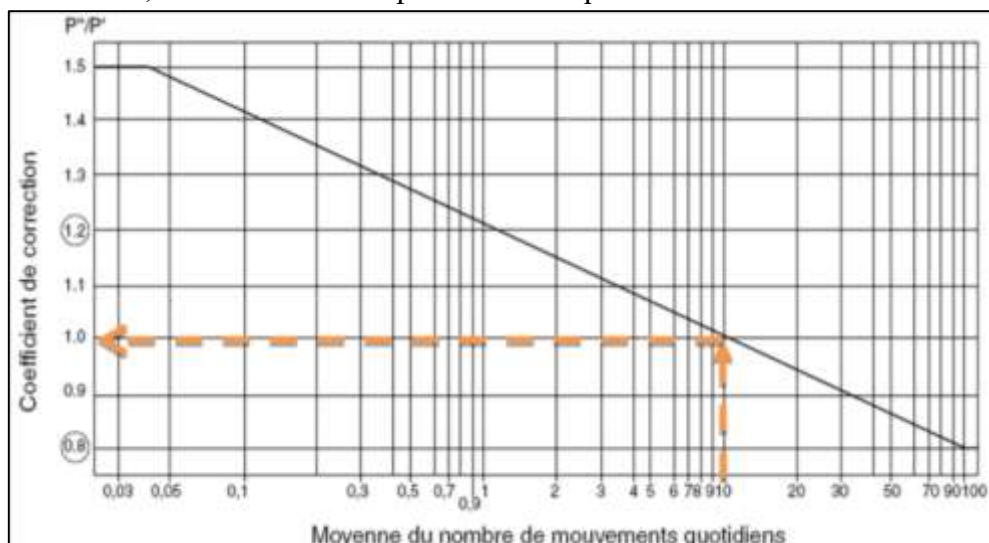


Figure III. 1 Coefficient de Correction C_t en fonction du nombre de mouvement quotidien

Remarque : Mouvement = Décollage ou atterrissage.

- 2^{ème} étape : Lecture de l'épaisseur équivalente totale à partir d'un abaque

Connaissant la charge réelle pondérée et le CBR du sol support (CBR=3), on peut donc déterminer, à partir de l'abaque de l'atterrisseur de l'avion critique les épaisseurs équivalentes totales pour l'ensemble des ouvrages.

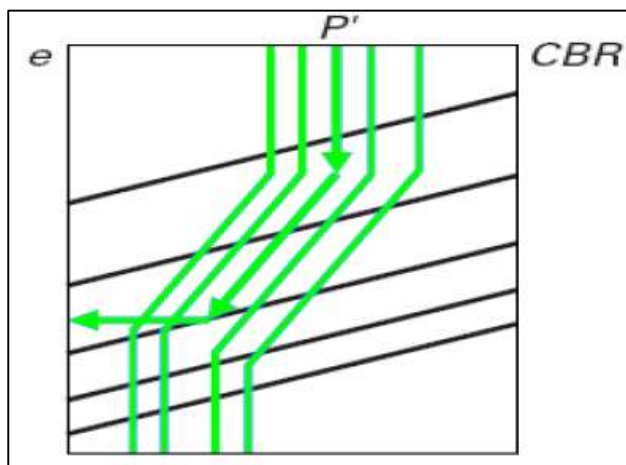


Figure III. 2 Utilisation de l'abaque de l'atterrisseur principal

- 3^{ème} étape : Détermination des épaisseurs minimales des matériaux traités

L'épaisseur minimale des matériaux traités correspond à l'épaisseur du corps de chaussée qui devra être en matériaux hydrocarbonés. Elle est déterminée à partir de l'abaque de dimensionnement des chaussées souples.

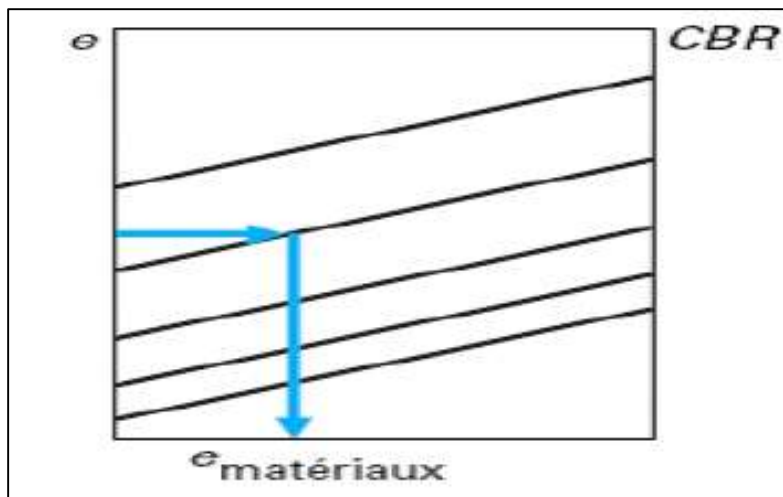


Figure III. 3 Utilisation de l'abaque de dimensionnement des chaussées souples

- 4^{ème} étape : Choix d'une structure

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

Tableau III. 2 Coefficients d'équivalence des matériaux

Matériaux utilisés	Coefficient d'équivalence
BBME	2,5
EME, BB	2
Grave ciment, grave laitier	1,5
Grave bitume	1,2 à 1,7
Sable ciment	1 à 1,2
Grave concassée	1
Tuf	0,8 à 0,9
Grave roulée, grave sableuse, T.V.O	0,75
Sable	0,5

III.3.2. Méthode empirique « STBA » :

La méthode empirique du service technique des bases aériennes « STBA » repose sur les hypothèses suivantes :

- La durée de vie de la chaussée est fixée à 10 ans.
- Le trafic journalier est fixé à 10 mouvements.

Ces hypothèses ont permis d'établir les abaques de dimensionnement.

La méthode empirique permet de faire un dimensionnement forfaitaire ou optimisé.

III.3.3. Méthode de dimensionnement optimisée :

Contrairement à la méthode forfaitaire, la méthode optimisée permet de dimensionner une chaussée en prenant en compte plusieurs types d'avions à fréquences différentes. Cette dernière présente l'avantage de pouvoir convertir les mouvements réels de chacune des charges réelles considérées en mouvements équivalents d'une charge de référence.

III.3.4. Méthode analytique :

Les méthodes analytiques permettent de dimensionner n'importe quel type de chaussée tout en prenant en compte l'environnement dont lequel ces chaussées viennent s'inscrire, à savoir les contraintes climatiques qui jouent un rôle très important.

III.4. Méthode de vérification ACN/PCN :

III.4.1. PCN (Pavement Classification Number) :

Définition du PCN :

Le PCN est un numéro de classification de chaussée, il représente la force portante d'une chaussée donnée pour une exploitation sans restriction, sa valeur est dépendante des caractéristiques de son sol support et des matériaux constituant son corps de chaussée.

Calcul du PCN :

Afin de déterminer le PCN d'une chaussée il est évident de connaître ses caractéristiques et celles du sol support. Dans le cas d'une chaussée souple, il est nécessaire de savoir :

3. L'épaisseur équivalente totale e_{eq}
4. Le CBR du sol support.

L'ACN utilisé pour la comparaison avec le PCN doit être établi pour le type de chaussée et la catégorie de terrain de fondation correspondant à la chaussée étudiée ainsi que pour la masse et les caractéristiques de l'avion en cause.

On distingue deux méthodes pour la détermination du PCN :

- **Calcul approché :** Le PCN est calculé à partir d'une formule simple ne faisant pas intervenir le trafic. Cette méthode est valable uniquement pour les chaussées souples.

- **Calcul optimisé :** Dans ce cas le PCN est calculé non seulement à partir des caractéristiques de la chaussée mais aussi en fonction du trafic. Cette méthode convient aux chaussées rigides.

Calcul approché du PCN :

A partir des caractéristiques de la chaussée (e_{eq} et CBR), la charge maximale admissible pour une roue simple isolée (RSI) peut être obtenue par l'application de la formule suivante :

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

Avec :

e : Epaisseur équivalente total de la chaussée [e_{eq}] (cm).

CBR : Indice CBR du sol support.

RSI : Roue simple isolée (t).

Log : Logarithme décimal.

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

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

Les valeurs du coefficient $H(CBR)$ sont représentées dans la figure.

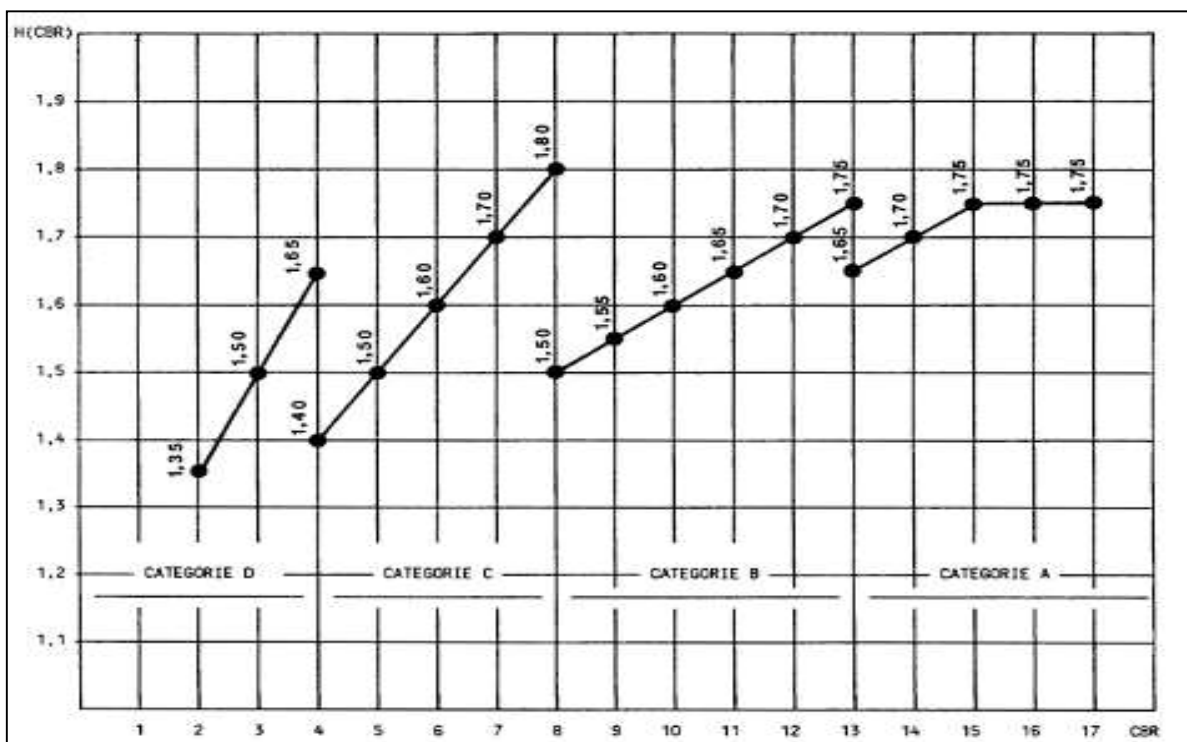


Figure III. 4 Valeurs du coefficient $H(CBR)$

III.4.2. ACN (Aircraft Classification Number) :

Définition de l'ACN :

L'ACN est un numéro de classification de l'avion. Ce dernier exprime l'effet relatif d'un aéronef sur une chaussée pour une catégorie spécifiée du terrain de fondation.

Les A.C.N. des principaux avions existants sont fournis, à vide et à pleine charge, pour chacun des deux types de chaussées et pour quatre catégories de sol support.

Calcul de l'ACN :

L'ACN est calculé en fonction des caractéristiques de l'avion critique à partir de la formule suivante :

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

Avec :

M_{max} : La masse maximale au roulage (Kg).

M_{min} : La masse à vide opérationnelle (Kg).

M_t : La masse réelle de l'avion (Kg).

ACN_{max} Correspond à M_{max} .

ACN_{min} Correspond à M_{min} .

III.4.3. Principe de la méthode ACN/PCN :

La méthode ACN-PCN est une norme de l'O.A.C.I figurant dans l'annexe 14, cette méthode de publication des charges admissibles est compatible avec l'ensemble des méthodes utilisées par les Etats pour évaluer la portance des chaussées et leurs résistances afin de permettre l'accès à l'aérodrome par des avions jugés admissibles ou de limiter leurs accès.

Le principe de la méthode consiste à comparer le PCN de la chaussée et l'ACN de l'avion, lorsque le PCN est supérieur à l'ACN, l'avion peut être admis dans restriction c-à-d elle peut accéder librement à la chaussée.

Publication des charges admissibles :

La publication des charges admissibles doit tenir compte des éléments suivant :

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

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

- ✓ Le type de chaussée considérée.

- ✓ La catégorie du sol support.
- ✓ La pression maximale admissible des pneumatiques.
- ✓ La base d'évaluation.

Le Tableau 4, indique les renseignements pour déterminer les numéros ACN et PCN qui sont communiqués en utilisant des lettres de code.

Tableau III. 3 Caractéristiques de la méthode ACN/PCN

Catégorie d'indications	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 CBR = 15 et représentant toutes les valeurs CBR > 13 pour les chaussées souples. • Résistance moyenne : caractérisée par $k = 80\text{MN/m}^3$ représentant toutes les valeurs de $60 < k < 120\text{MN/m}^3$ pour les chaussées rigides ou par un 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 $25 < k < 60\text{MN/m}^3$ pour les chaussées rigides ou par un CBR = 10 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 CBR = 3 et représentant toutes les valeurs CBR < 4 pour les chaussées souples. 	A B C D
Pression pneumatique <ul style="list-style-type: none"> • Elevée : pas de limite de pression. • Moyenne : pression limitée à 1,75MPa. • Faible : pression limitée à 1,25Mpa. • Très faible : pression limitée à 0,5Mpa. 	W X Y Z
Base d'évaluation <ul style="list-style-type: none"> • Evaluation technique : étude spécifique des caractéristiques de la chaussée en utilisant des techniques d'études de comportement des chaussées. Ce code est généralement le plus retenu. • Evaluation faisant appel à l'expérience acquise sur les avions : connaissances du type, la masse spécifiques des avions utilisés régulièrement et que la chaussée supporte de façon satisfaisante. 	T U

Chapitre 4 :
Normes
géométriques de
renforcement

CHAPITRE IV : Normes géométriques de renforcement

IV.1. Introduction :

L'aérodrome est un espace très vaste mais aussi très réglementé et souvent internationale.

L'annexe 14 de l'organisation de l'aviation civile internationale (OACI), a établi des normes de conception pour l'élaboration d'études d'aérodromes.

Le présent chapitre, a pour but de consulter les recommandations de chaque aire concernant l'étude géométrique.

IV.2. Normes géométriques des pistes :

IV.2.1. Longueur des pistes :

La longueur réelle à donner à une piste doit être suffisante pour répondre aux besoins opérationnels des avions auxquels la piste est destinée et c-à-d la distance maximale qu'a besoin l'avion le plus contraignant pour décoller ou atterrir en prenant en considération plusieurs facteurs (topographie, environnement, météo, volume de circulation...).

Lorsqu'on ne dispose pas du manuel de vol approprié, la longueur de la piste doit être déterminée en appliquant des facteurs de correction généraux.

$$L = l_0 \times (C_1 \times C_2 \times C_3)$$

Avec :

L : Longueur de piste

l_0 : Distance maximale d'atterrissage ou de décollage de l'avion critique.

C_1 : Coefficient de correction d'altitude ; $C_1 = 1 + (\frac{7h}{300}/100)$ tel que h est l'altitude de l'aérodrome par rapport au niveau de la mer, exprimée en mètres.

C_2 : Coefficient de correction de température ; $C_2 = 1 + (T-t/100)$ tel que T est la température de référence de l'aérodrome, étant la moyenne mensuelle des températures maximales quotidiennes, exprimées en degrés Celsius, du mois le plus chaud de l'année et t la température en atmosphère type à l'altitude de l'aérodrome, ayant pour valeur exprimée en degrés Celsius $t = 15^\circ C - 0,0065 h$.

C_3 : Coefficient de correction de pente ; $C_3 = 1 + (10p/100)$ tel que p est la pente moyenne de la piste exprimée en pour cent, obtenue en divisant la différence d'altitude entre le point le plus haut et le point le plus bas par la longueur de piste.

IV.2.2. Largeur des pistes :

D'après l'annexe 14, Il est recommandé que la largeur de piste ne soit pas inférieure à la dimension spécifiée dans le tableau suivant :

Tableau IV. 4 Largeur des pistes selon la lettre et chiffre de code

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

La largeur d'une piste avec approche de précision ne devrait pas être inférieure à 30 m lorsque le chiffre de code est 1 ou 2.

Les largeurs de piste indiquées dans le Tableau sont les largeurs minimales jugées nécessaires pour garantir la sécurité de l'exploitation.

IV.2.3. Pente des pistes :

Pentes longitudinales :

Il est recommandé que la pente obtenue en divisant la différence entre les niveaux maximal et minimal le long de l'axe de piste par la longueur de la piste ne dépasse pas :

— 1 % lorsque le chiffre de code est 3 ou 4.

— 2 % lorsque le chiffre de code est 1 ou 2.

Il est recommandé qu'aucune portion de piste ne présente une pente longitudinale dépassant :

— 1,25 % lorsque le chiffre de code est 4 ; toutefois, sur les premiers et derniers quarts de la longueur de la piste, la pente longitudinale ne devrait pas dépasser 0,8 %.

— 1,5 % lorsque le chiffre de code est 3 ; toutefois, sur les premiers et derniers quarts de la longueur d'une piste avec approche de précision de catégorie II ou III, la pente longitudinale ne devrait pas dépasser 0,8 %.

— 2 % lorsque le chiffre de code est 1 ou 2.

Changements de pente longitudinale :

Lorsqu'il est impossible d'éviter les changements de pente longitudinale, il est recommandé qu'entre deux pentes consécutives, le changement de pente n'excède jamais :

- 1,5 % lorsque le chiffre de code est 3 ou 4.
- 2 % lorsque le chiffre de code est 1 ou 2.

Il est recommandé de réaliser le passage d'une pente à une autre par des courbes de raccordement le long desquelles la pente ne varie pas de plus de :

- 0,1 % par 30 m (rayon de courbure minimal de 30 000 m) lorsque le chiffre de code est 4.
- 0,2 % par 30 m (rayon de courbure minimal de 15 000 m) lorsque le chiffre de code est 3.
- 0,4 % par 30 m (rayon de courbure minimal de 7 500 m) lorsque le chiffre de code est 1 ou 2.

Distance entre changements de pente :

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

- a) Produit de la somme des valeurs absolues des changements de pente correspondants par la longueur appropriée ci-après :
 - 30 m lorsque le chiffre de code est 4.
 - 15 m lorsque le chiffre de code est 3.
 - 5 m lorsque le chiffre de code est 1 ou 2 ; ou
- b) 45 m.

Pentes transversales :

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 :

- 1,5 % lorsque la lettre de code de la piste est C, D, E ou F ;
- 2 % lorsque la lettre de code de la piste est A ou B ;

Mais elle ne devrait en aucun cas être supérieure à 1,5 % ou 2 %, selon le cas, ni inférieure à 1 %, sauf aux intersections des pistes ou des voies de circulation, auxquelles des pentes moins prononcées peuvent être nécessaires.

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

— Il est recommandé que la pente transversale soit sensiblement la même tout le long d'une piste, sauf aux intersections avec une autre piste ou avec une voie de circulation, où il conviendra d'assurer une transition régulière, compte tenu de la nécessité d'un bon écoulement des eaux.

IV.2.4. Résistance des pistes :

Il est recommandé qu'une piste soit capable de supporter la circulation des avions auxquels elle est destinée.

IV.2.5. Surface des pistes :

La surface d'une piste sera construite de manière à ne pas présenter d'irrégularités qui auraient pour effet d'altérer les caractéristiques de frottement ou de nuire de toute autre manière au décollage ou à l'atterrissage d'un avion.

Les irrégularités de la surface peuvent nuire au décollage ou à l'atterrissage d'un avion en provoquant des cahots, un tangage ou des vibrations excessifs, ou d'autres difficultés dans la conduite de l'avion

La surface d'une piste en dur sera construite ou refaite de manière à offrir des caractéristiques de frottement égales ou supérieures au niveau minimal de frottement fixé par l'État.

— Il est recommandé d'évaluer les surfaces neuves ou refaites des pistes en dur afin de s'assurer que leurs caractéristiques de frottement répondent aux objectifs de conception.

— Il est recommandé de mesurer les caractéristiques de frottement des surfaces de piste neuves ou refaites en utilisant un appareil auto-mouillant de mesure continue du frottement.

Il est recommandé que la profondeur moyenne de la texture superficielle d'une surface neuve soit au moins égale à 1,0 mm.

Il est recommandé, quand une surface est rainurée ou striée, que les rainures ou les stries soient pratiquées perpendiculairement à l'axe de la piste ou parallèlement aux joints transversaux qui ne sont pas perpendiculaires à cet axe, le cas échéant.

IV.3. Normes géométriques des accotements de piste :

Les accotements devraient être aménagés lorsque

— la lettre de code est D ou E et que la largeur de la piste est inférieure à 60 m

— la lettre de code est F.

IV.3.1. Largeur des accotements :

Les accotements de piste devraient s'étendre de part et d'autre de la piste de telle sorte que la largeur totale de la piste et de ses accotements ne soit pas inférieure à :

— 60 m lorsque la lettre de code est D ou E.

— 60 m lorsque la lettre de code est F et que les avions sont équipés de deux ou trois moteurs.

— 75 m lorsque la lettre de code est F et que les avions sont équipés de quatre moteurs (ou plus).

IV.3.2. Pentes des accotements :

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

IV.3.3. Résistance des accotements :

Il est recommandé que la partie des accotements de piste s'étendant du bord de la piste jusqu'à une distance de 30 m de l'axe de la piste soit traitée ou construite de manière à pouvoir supporter le poids d'un avion sortant de la piste sans que cet avion subisse de dommages structurels et à supporter le poids des véhicules terrestres qui peuvent circuler sur ces accotements.

IV.3.4. Surface des accotements :

Il est recommandé que les accotements de piste soient traités ou construits de manière à résister à l'érosion et à éviter l'ingestion de matériaux de surface par les moteurs des avions.

IV.4. Normes géométriques des bandes de piste :

Aire définie dans laquelle sont compris la piste ainsi que le prolongement d'arrêt, si un tel prolongement est aménagé, cette bande est destinée à réduire les risques de dommage matériel au cas où un avion sortirait de la piste, et aussi assure la protection des avions qui survolent cette aire au cours des opérations de décollages et d'atterrissages.

IV.4.1. Longueur des bandes de piste :

La bande de piste s'étendra en amont du seuil et au-delà de l'extrémité de la piste ou du prolongement d'arrêt jusqu'à une distance d'au moins :

- 60 m lorsque le chiffre de code est 2, 3 ou 4.
- 60 m lorsque le chiffre de code est 1 et qu'il s'agit d'une piste aux instruments.
- 30 m lorsque le chiffre de code est 1 et qu'il s'agit d'une piste à vue.

IV.4.2. Largeur des bandes de piste :

Autant que possible, toute bande à l'intérieur de laquelle s'inscrit une piste avec approche de précision s'étendra latéralement, sur toute sa longueur, jusqu'à au moins :

- 140 m lorsque le chiffre de code est 3 ou 4.
- 70 m lorsque le chiffre de code est 1 ou 2.

De part et d'autre de l'axe de la piste et du prolongement de cet axe.

— Il est recommandé que toute bande à l'intérieur de laquelle s'inscrit une piste à vue s'étende latéralement, sur toute sa longueur, de part et d'autre de l'axe de la piste et du prolongement de cet axe, jusqu'à une distance, par rapport à cet axe, au moins égale à :

- 75 m lorsque le chiffre de code est 3 ou 4.

- 40 m lorsque le chiffre de code est 2.
- 30 m lorsque le chiffre de code est 1.

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

IV.4.3. Pentes des bandes de piste :

Pentes longitudinales :

Il est recommandé qu'une pente longitudinale, sur la partie d'une bande qui doit être nivelée, ne dépasse pas :

- 1,5 % lorsque le chiffre de code est 4 ;
- 1,75 % lorsque le chiffre de code est 3 ;
- 2 % lorsque le chiffre de code est 1 ou 2

Il est recommandé que, sur la partie d'une bande qui doit être nivelée, les changements de pente soient aussi graduels que possible et que tout changement brusque ou inversion soudaine de la pente soit évité.

Pentes transversales :

Il est recommandé que, sur la partie d'une bande devant être nivelée, les pentes transversales soient suffisantes pour empêcher l'accumulation d'eau sur la surface mais ne dépassent pas :

- 2,5 % lorsque le chiffre de code est 3 ou 4 ;
- 3 % lorsque le chiffre de code est 1 ou 2 ;

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

IV.5. Normes géométriques des prolongements d'arrêt :

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

IV.5.1. Largeur des prolongements d'arrêt :

Le prolongement d'arrêt aura la même largeur que la piste à laquelle il est associé.

IV.5.2. Pentes des prolongements d'arrêt :

— Il est recommandé que les pentes et les changements de pente sur un prolongement d'arrêt, ainsi que la zone de transition entre une piste et un prolongement d'arrêt soient conformes aux

spécifications des § 3.1.13 à 3.1.19 applicables à la piste à laquelle le prolongement d'arrêt est associé ; toutefois :

a) il n'est pas nécessaire d'appliquer au prolongement d'arrêt la limitation prévue au § 3.1.14 d'une pente de 0,8 % sur les premiers et derniers quarts de la longueur d'une piste ;

b) à la jonction du prolongement d'arrêt et de la piste, et le long du prolongement d'arrêt, le changement de pente maximal peut atteindre 0,3 % par 30 m (rayon de courbure minimal de 10 000 m) lorsque le chiffre de code est 3 ou 4.

- Il est recommandé que les prolongements d'arrêt soient aménagés ou construits de façon à pouvoir, en cas de décollage interrompu, supporter les avions pour lesquels ils sont prévus, sans qu'il en résulte des dommages pour la structure de ces avions.

- La surface des prolongements d'arrêt en dur sera construite ou refaite de manière à offrir des caractéristiques de frottement égales ou supérieures à celles de la piste correspondante.

IV.5.3. Prolongement dégagé :

— Il est recommandé que le prolongement dégagé commence à l'extrémité de la longueur de roulement utilisable au décollage

— Il est recommandé que la longueur d'un prolongement dégagé ne dépasse pas la moitié de la longueur de roulement utilisable au décollage

— Il est recommandé que le prolongement dégagé s'étende latéralement sur une largeur de 75 m au moins de part et d'autre du prolongement de l'axe de la piste

— Il est recommandé que, dans les prolongements dégagés, aucun point du sol ne fasse saillie au-dessus d'un plan incliné ayant une pente de 1,25 % et limité à sa partie inférieure par une droite horizontale :

a) perpendiculaire au plan vertical passant par l'axe de la piste ; et

b) passant par un point situé sur l'axe de la piste, à l'extrémité de la longueur de roulement utilisable au décollage.

— Il est recommandé de considérer les objets sur les prolongements dégagés comme obstacle et de supprimer un objet situé sur un prolongement dégagé et susceptible de constituer un danger pour les avions.

IV.6. Conclusion :

En respectant ces recommandations citées précédemment les aéronefs pourront effectuer les différentes manœuvres en toute sécurité.

Chapitre 5 :
Normes de
signalisation d'urne
de piste

CHAPITRE V : Signalisation diurne de piste

V.1. Introduction :

Il est nécessaire de mettre en conformité des fascicules traitant la géométrie et le balisage des chaussées aéronautiques avec des règles internationales. Il faut que les pilotes aient une certaine rigueur dans leur déplacement même s'ils sont sous contrôle. Ceci dès le moment où ils quittent leur point de stationnement jusqu'au moment où ils sortent de la CTR ou TMA.

La signalisation est un ensemble de signaux utilisés pour procurer aux aéronefs des consignes claires, destinés à assurer le contrôle de la circulation aérienne.

Souvent l'ensemble du balisage et de la signalisation est groupé sous le terme de balisage.

V.2. Couleur et visibilité des marques :

Les marques de piste, ainsi que les lignes de sécurité d'aire de trafic, sont de couleur blanche.

Les marques de voie de circulation et les marques de poste de stationnement d'aéronef sont de couleur jaune (sauf dans le cas du dédoublement de voies de circulation).

Toutefois, les marques sont de couleur jaune, même sur une piste :

- sur les aires à portance réduite ;
- sur les prolongements d'arrêt ;
- lorsqu'elles matérialisent les raccordements aux axes des voies de circulation ;
- sur les aires de demi-tour (marques axiales matérialisant la trajectoire de demi-tour et de raccordement à l'axe de piste).

Les marques blanches sont prédominantes. Les marques jaunes ne peuvent pas être appliquées sur les marques blanches.

Les marques latérales d'aire de demi-tour, lorsqu'elles sont apposées, sont également de couleur jaune.

La conception et l'entretien de ces marques garantissent un contraste suffisant.

Sur les aérodromes où s'effectuent des opérations de nuit et où il y a un besoin opérationnel de renforcer leur visibilité, les marques apposées sur les chaussées sont constituées de matériaux rétro réfléchissants, conçus pour améliorer la visibilité des marques.

V.3. Marquages et chiffres sur une piste :

Il existe quatre groupes de marquages aux sols :

- Marquage de piste (Runway marking),
- Marquage des bretelles et voies de circulation (Taxiway marking),
- Marquage de position d'arrêt ou d'attente (Holding position marking),
- Marquage divers (Other marking).

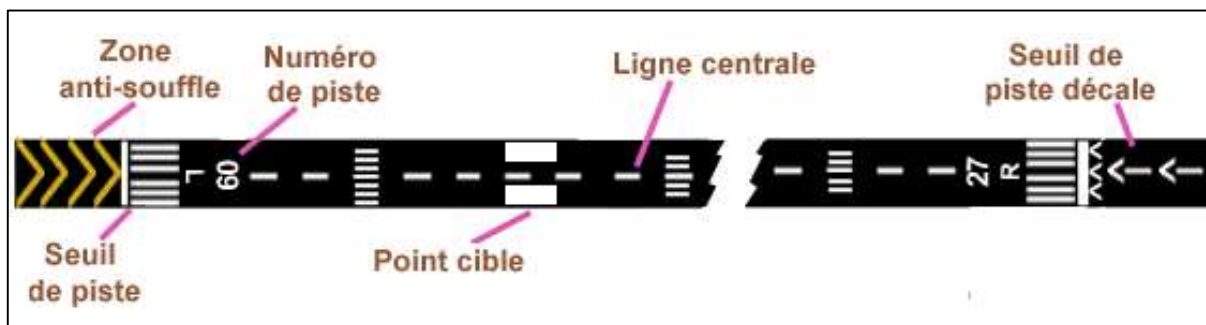


Figure V. 1 Marquages et chiffres sur une piste

V.3.1. Axe de piste :

L'axe de piste (Runway centre Line en anglais) est matérialisé par des bandes et d'espaces uniformément espacés sur toute la longueur de la piste.

La longueur d'une bande plus un espace ne devrait pas être inférieure à 50 m ni supérieure à 75 m. La longueur de chaque bande devrait être au moins égale à la longueur de l'espace ou à 30 m.

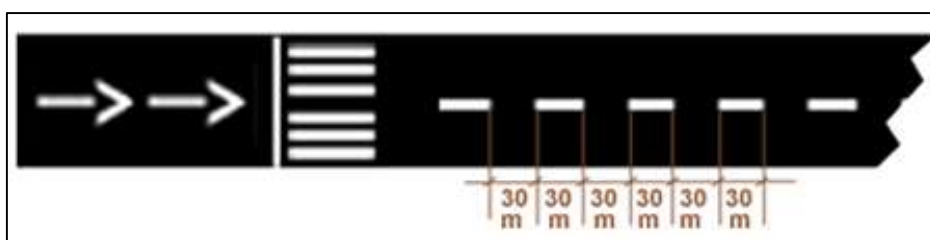


Figure V. 2 Axe de piste

La largeur des bandes ne devrait pas être inférieure à :

- 0,90 m sur les pistes de catégorie II et III à approche de précision ;
- 0,45 m sur les pistes d'approche de non-précision dont le numéro de code est 3 ou 4, et les pistes d'approche de précision de catégorie I ;
- 0,30 m sur les pistes d'approche de non-précision dont le numéro de code est 1 ou 2, et sur les pistes sans instruments.

Lorsque le contraste piste/accotements est jugé insuffisant des bandes blanches latérales de chaque côté de la piste marquent les limites.

V.3.2. Seuil de piste :

Le seuil (threshold en anglais) est normalement en bout de piste et il est composé par une ligne blanche transversale et des lignes blanches axiales.

La largeur de la piste détermine le nombre de bandes, leur largeur et leurs espacements.

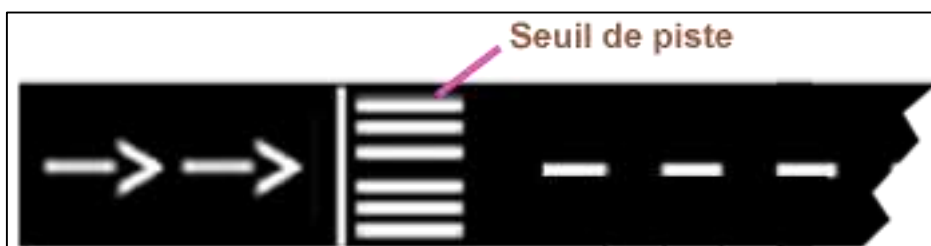


Figure V. 3 Seuil de piste

Tableau V. 1 Nombre, espacement et largeur des bandes selon la largeur des pistes

Largeur de piste	18m	23m	30m	45m	60m
Nombre de bandes	4	6	8	12	16
Espacement bandes	3m	2.5m	3m	2.1m	2.8m
Largeur des bandes	1.5m			1.7m	

V.3.3. Marquage latéral des pistes :

Les bandes latérales de piste sont peintes en blanc et sont des bandes continues situées de chaque côté de la piste. Elles assurent une distinction visuelle entre la piste et la zone environnante et indiquent également la largeur de la piste. Une bande latérale de piste devrait être prévue entre les seuils d'une piste où il y a un manque de contraste entre les bords de la piste et les accotements ou le terrain environnant. Une bande latérale de piste doit être prévue sur une piste d'approche de précision, quel que soit le contraste entre les bords de la piste et les accotements ou le terrain environnant. (Certaines petites pistes ne comportent aucune bande)



Figure V. 4 Bandes latérales d'une piste

Emplacement et caractéristiques :

- Une marque de bande latérale de piste consiste en deux bandes, une placée le long de chaque bord de la piste, le bord extérieur de chaque bande se trouvant approximativement sur le bord de la piste, sauf que, lorsque la piste a une largeur supérieure à 60 m, les bandes devraient être situées à 30 m de l'axe de la piste.
- Lorsqu'il y a une aire de virage de la piste, le marquage de la bande latérale de la piste doit être poursuivi entre la piste et l'aire de virage de la piste.

- Une bande latérale de piste devrait avoir une largeur totale d'au moins 0,9 m sur les pistes de 30 m ou plus de largeur et d'au moins 0,45 m sur les pistes plus étroites.

(Certaines petites pistes ne comportent aucune bande)

V.3.4. Interruption du marquage latéral de la piste :

À l'intersection d'une piste et d'une voie de circulation, le marquage de la bande latérale de la piste peut être soit poursuivi à travers l'intersection, soit interrompu. L'interruption signifie l'une des situations suivantes :

- le marquage de la bande latérale de la piste s'arrête au point où le congé de la voie de circulation commence de chaque côté de la voie de circulation (figure A) ;
- le marquage de la bande latérale de la piste s'arrête au point où le prolongement du bord de la voie de circulation croise la piste (figure B) ;
- la bande latérale de la piste s'arrête à une courte distance de part et d'autre de la ligne centrale de la voie de circulation afin de permettre un guidage visible et continu de la ligne centrale de la voie de circulation (figure C) ;
- le marquage de l'axe de la voie de circulation recouvre et interrompt donc le marquage continu de la bande latérale de la piste (figure D).

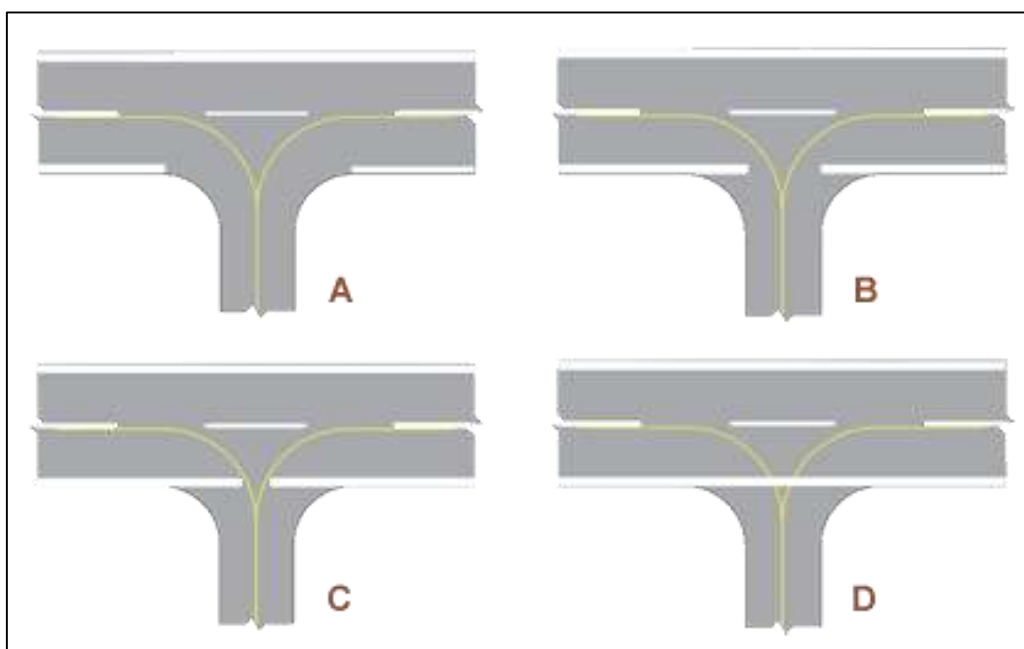


Figure V. 5 Différents cas d'interruption du marquage latéral

V.3.5. Zone de toucher des roues- Pistes inférieures à 2400 m :

Le point cible est l'endroit où normalement le train d'atterrissage prend contact avec le sol.

Sur les pistes de plus de 1500 m, les marques de point cible sont composées de 2 rectangles de 45 m de long, de 6 m large quand la piste est inférieure à 45 m et de 9 m de large quand la piste est supérieure ou égale à 45 m. L'écartement entre bords intérieurs de ces bandes est de

18 m. Elles sont disposées à 300 m du seuil de piste si LDA (Landing distance available) est égale ou inférieure à 2400 m.

Si un PAPI existe, la limite amont de la marque doit se trouver dans l'alignement du PAPI.



Figure V. 6 Marquage du point cible

Sur les pistes avec approche de précision, on trouve avant les marques du point cible, deux fois trois bandes à 150m après le seuil, après le point cible il y a deux fois de deux bandes à 450m du seuil, deux fois deux bandes à 450m, puis deux bandes à 750m et enfin deux bandes à 900 m. L'écartement entre les bords intérieurs de ces bandes est de 18 m.

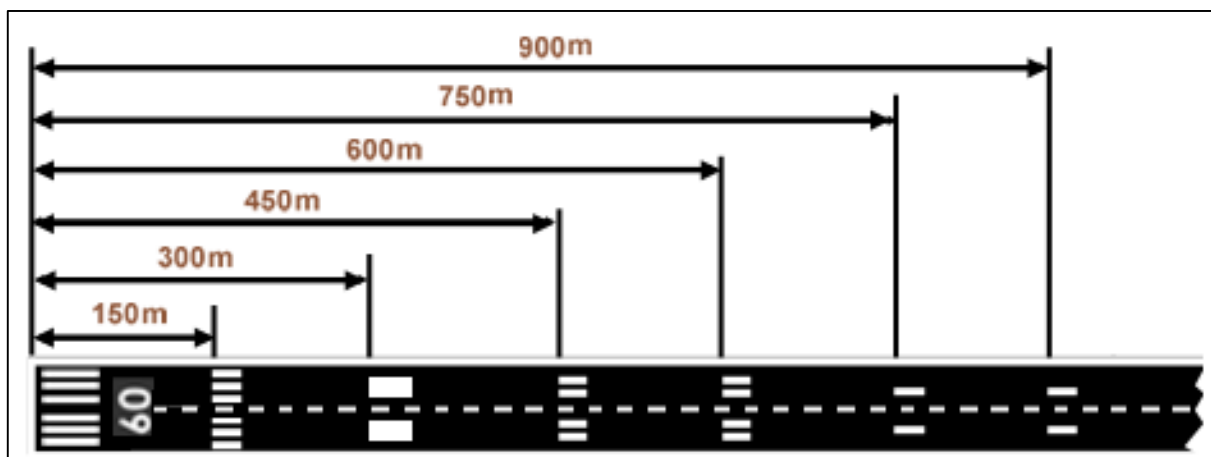


Figure V. 7 Zone de toucher des roues- Pistes inférieures à 2400 m

V.3.6. Zone de toucher des roues- Pistes supérieures à 2400 m :

Sur les pistes dont la LDA (Landing distance available) est supérieure 2400 m le point cible est disposé à 400 m du seuil de piste. En plus une deuxième paire de triple est rajoutée avant le point cible.

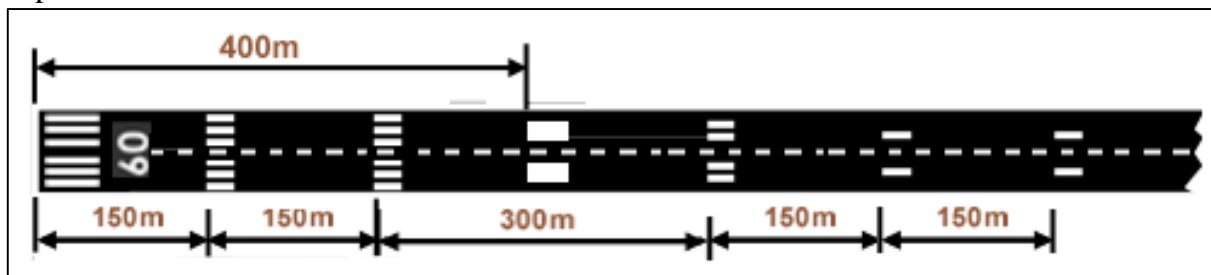


Figure V. 8 Zone de toucher des roues- Pistes supérieures à 2400 m

V.3.7. Identification des pistes :

Les pistes sont identifiées par un nombre de deux chiffres indiquant leur orientation magnétique en dizaine de degrés lors du mouvement de l'aéronef. Pour cela, on divise par dix l'orientation de la piste exprimée en degrés et on arrondit le résultat à l'unité la plus proche. Ainsi, une piste orientée à 91° sera numérotée 09 ; l'autre extrémité, orientée à 271° sera numérotée 27. L'écart entre les numéros est toujours de 18 (180°).

Lorsqu'un aérodrome possède plusieurs pistes orientées dans la même direction, on utilise une lettre :

- L pour left (gauche),
- R pour right (droite).



Figure V. 9 Exemple d'utilisation de lettre R

Dans le cas de trois pistes disposées en parallèle, la piste du milieu se verra associé à son numéro la lettre C (pour central).

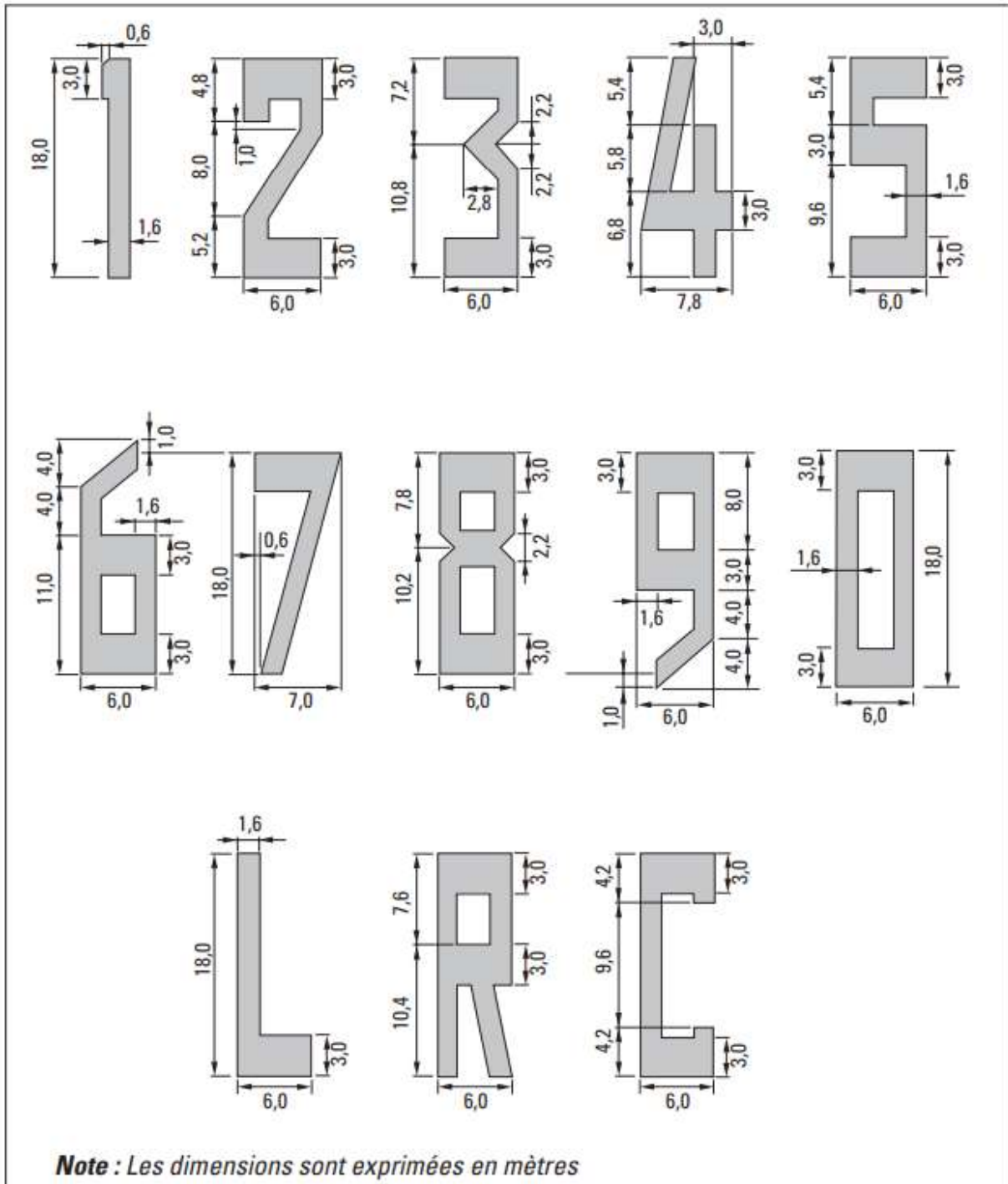
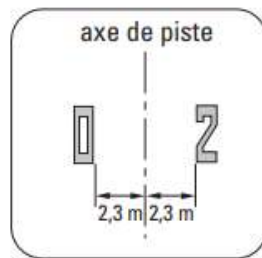


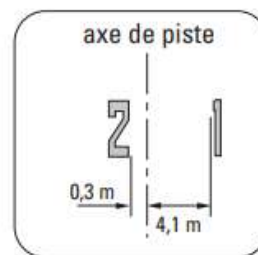
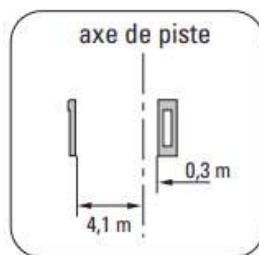
Figure V. 10 Formes et dimensions des lettres et chiffres des marques d'identification de piste

- CAS GÉNÉRAL : 0, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9

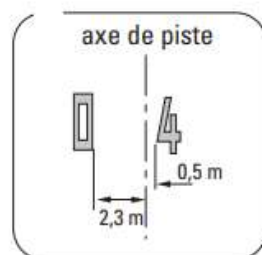


- EXCEPTIONS : chiffres 1 et 4

- Chiffre 1 : pistes 1...., 01, 21, 31



- Chiffre 4 : pistes 04, 14, 24, 34



- Nombres particuliers

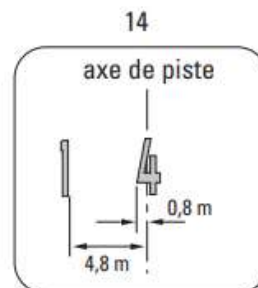
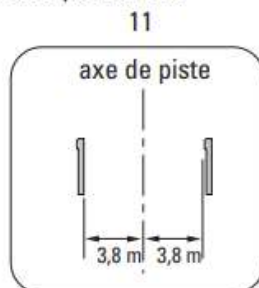


Figure V. 11 Position latérale des marques d'identification de piste

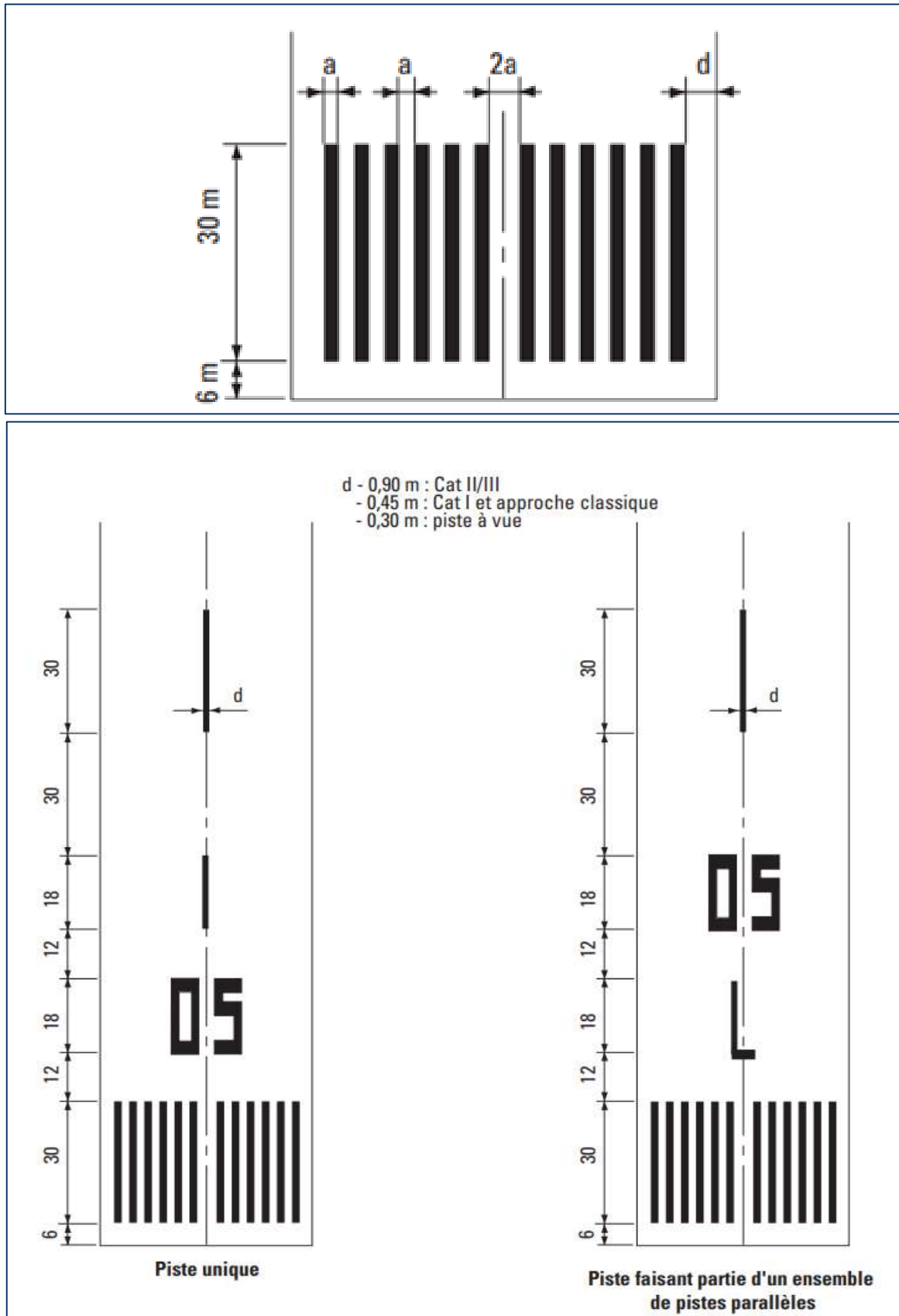


Figure V. 12 Marques de seuil, d'identification et d'axe de piste

V.4. Signalisation de différentes zones :

V.4.1. Zone anti-souffle et prolongement d'arrêt :

Lorsque la surface avant un seuil n'est pas adaptée à une utilisation normale par les aéronefs, et dépasse 60 m toute la longueur avant le seuil doit être marquée par un marquage en chevrons.

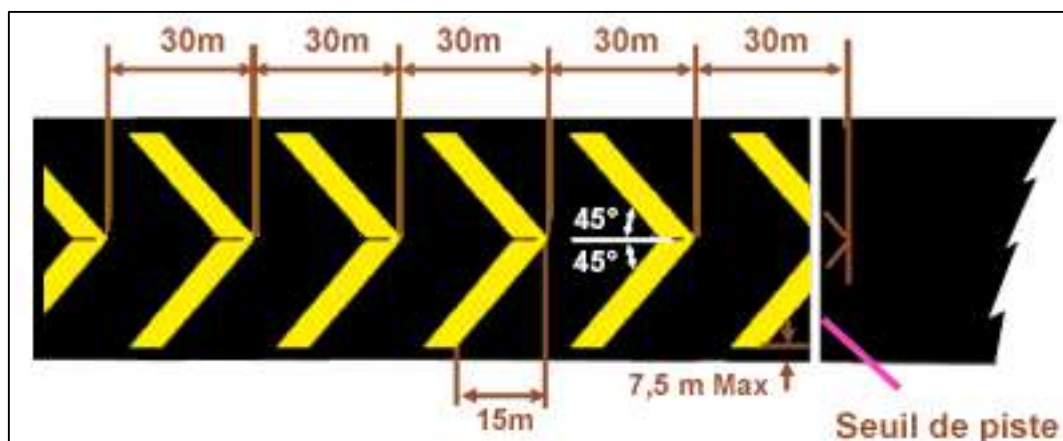


Figure V. 13 Signalisation sur la Zone anti-souffle

Cette surface construite juste avant le début de la piste peut servir de zone anti-souffle, là où le souffle d'air chaud produit par les avions durant le décollage pourrait éroder le sol, endommager la piste ou perturber le voisinage. Cette zone peut également être conçue pour servir d'espace d'urgence en cas de problèmes durant le décollage (prolongement d'arrêt). Elle est souvent moins résistante que la piste principale. Il est interdit de rouler ou de stationner sur cette zone durant le décollage ou l'atterrissage, sauf en cas d'urgence.

V.4.2. Seuil de piste décalé :

Un seuil décalé est marqué par des flèches qui mènent au seuil lui-même. Cette partie est également appelée Tiroir. Elle peut être utilisée pour le roulage et le décollage, mais pas pour l'atterrissage. Cela peut être dû à trois raisons : des obstacles sont présents juste avant la piste, la résistance de la piste ou des restrictions de bruit.



Figure V. 14 Aperçu sur le seuil de piste décalé

Lorsque le seuil est décalé en permanence, sont apposées :

- une bande transversale de 1.8 m de largeur sur toute la largeur de piste à l'emplacement du seuil décalé, le début de la marque étant au nouveau seuil ;
- les marques de seuil comme pour une piste normale ;
- des flèches blanches dont la pointe mesure 10 m et la hampe 20 m régulièrement disposées et espacées de 20 m.

Le seuil décalé temporaire est formé d'une ligne blanche perpendiculaire à l'axe de piste avec des chevrons blancs de 10 m en amont de celle-ci.

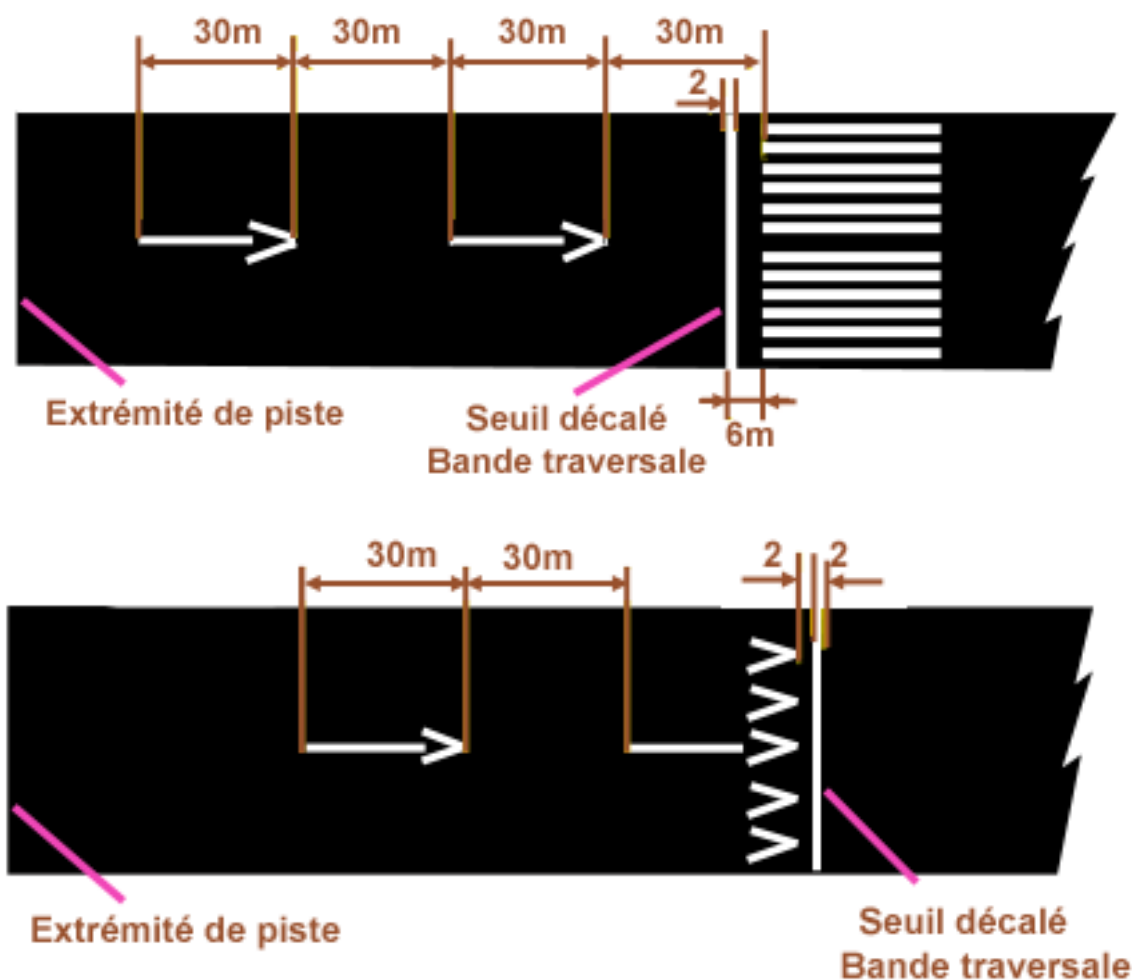


Figure V. 15 Normes de signalisation sur le Seuil de piste décalé

Détail de la flèche :

- $a = 0,45$ m si la largeur du trait d'axe de piste est de 0,90m ;
- $a = 0,30$ m si la largeur du trait d'axe de piste est de 0,45m ;
- $a = 0,20$ m si la largeur du trait d'axe de piste est de 0,30m.

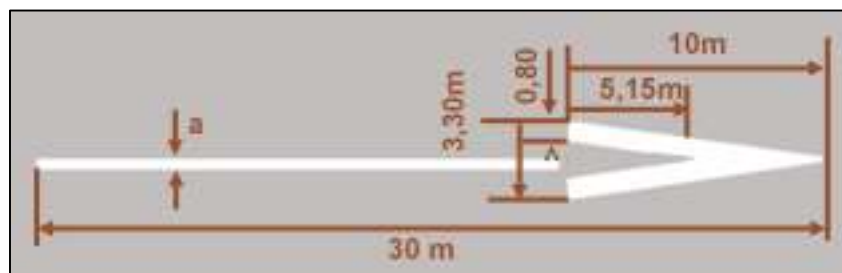


Figure V. 16 Schéma des détails de la flèche

V.4.3. Aire de retournement ou Raquette :

L'aire de retournement ou raquette est un aménagement des pistes d'aérodromes permettant aux aéronefs (le plus souvent, des avions de grande dimension) de faire demi-tour en bout de piste. Cette structure se rencontre la plupart du temps dans les aérodromes pour lesquels, soit la faible importance du trafic, soit l'environnement géographique (relief, étendue d'eau ...) ne justifient ou ne permettent pas la construction d'une voie de circulation parallèle à la piste. Elle permet entre autres à un appareil lourd, d'utiliser la piste pour rouler et dégager vers une aire de manœuvre, ou pour se positionner en bout de piste lors du décollage.



Figure V. 17 Aperçu sur une aire de retournement

V.4.4. Zone inutilisable :

Sur une piste, un marquage (croix blanches) fermé devrait être placé à chaque extrémité de la piste ou de la portion de piste déclarée fermée, et des marquages supplémentaires devraient être placés de telle sorte que l'intervalle maximal entre les marquages ne dépasse pas 300 m.

Sur une voie de circulation, un marquage fermé (croix jaunes) devrait être placé au moins à chaque extrémité de la voie de circulation ou de la portion de voie de circulation fermée.

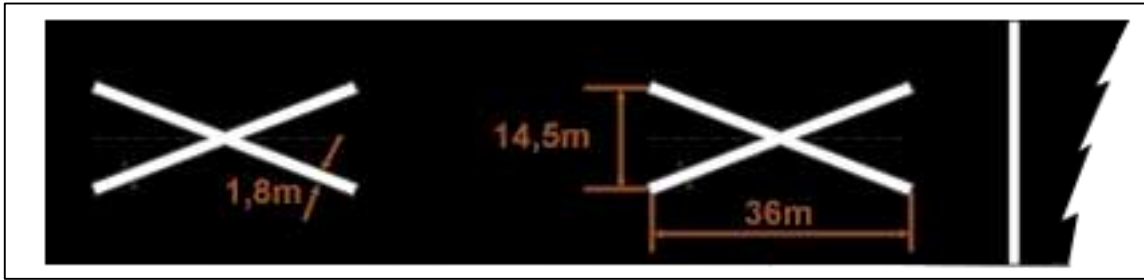


Figure V. 18 Normes des croix blanche disposées sur les zones inutilisables des pistes

Lorsqu'une piste, une voie de circulation ou une partie de celle-ci est fermée de façon permanente, toutes les marques normales de piste et de voie de circulation devraient être effacées.



Figure V. 19 Aperçu sur une zone inutilisable

CAS DE RENFORCEMENT DE LA PISTE 09/27 DE L'AERODROME D'ALGER



Chapitre 6 :

Référentiel de

projection

CHAPITRE VI : Référentiel de projection

VI.1. Introduction :

Le renforcement d'une chaussée aéronautique se fait pour 2 raisons :

- 1) La portance de la chaussée devient insuffisante à cause des dégradations (fatigue sous l'action répétée des charges produites par le mouvement intensif des aéronefs et les contraintes d'origine thermique).
- 2) Accueillir un nouvel avion plus contraignant.

C'est dans la deuxième catégorie que se place le contexte de cette étude. Il faut procéder à la mise à niveau de la piste secondaire existante (09/27) pour lui permettre d'accueillir un aéronef critique, qui est dans ce cas le B777-300ER. Étant donné que le renforcement des aérodromes et/ou leur mise aux normes est une activité récurrente, il est donc important d'asseoir une méthodologie qui retrace les principales étapes de réalisation des travaux de mise aux normes.

Ce chapitre comprend les caractéristiques du site avec ses données climatologiques ainsi que son historique et l'évolution du trafic aérien.

VI.2. Présentation du projet :

VI.2.1. Situation générale :

L'aéroport international d'Alger-Houari-Boumediene anciennement aéroport d'Alger-Maison Blanche, est le premier aéroport algérien, situé sur la commune de Dar El Beïda à 16 km à l'est d'Alger.



Figure VI. 1 Image satellitaire de la situation de la commune de Dar El Beïda

VI.2.2. Présentation de l'aérodrome d'Alger :

Tableau VI. 1 Caractéristiques de l'aérodrome Houari Boumediene

Nom de l'aéroport	Houari Boumediene
Commune d'implantation	Dar el Beida
Coordonnées du point de référence et emplacement de l'aérodrome	364140N 0031301E Intersection des TWY : B4, B5, A4 et A5.
Direction et distance de (ville)	9,11 NM à l'Est Sud Est de la ville
Code OACI	DAAG
Code IATA	ALG
Classe de l'aérodrome	4D
Nature juridique	Civil
Altitude / Température de référence	25 M / 30,6°C
Déclinaison magnétique / Variation annuelle	1° E (2017) 0° 6' E
Types de trafic autorisés	IFR/VFR

L'aérodrome d'Alger est composé d'une piste principale (05/23) de 3500 x 60 m en béton bitumineux qui peut recevoir le Airbus 380, d'une piste secondaire (09/27) de 3500 x 45 m en asphalté qui peut recevoir le Boeing 747, de deux taxiways, de neuf parkings et de différentes bretelles. (Voir l'annexe 1)

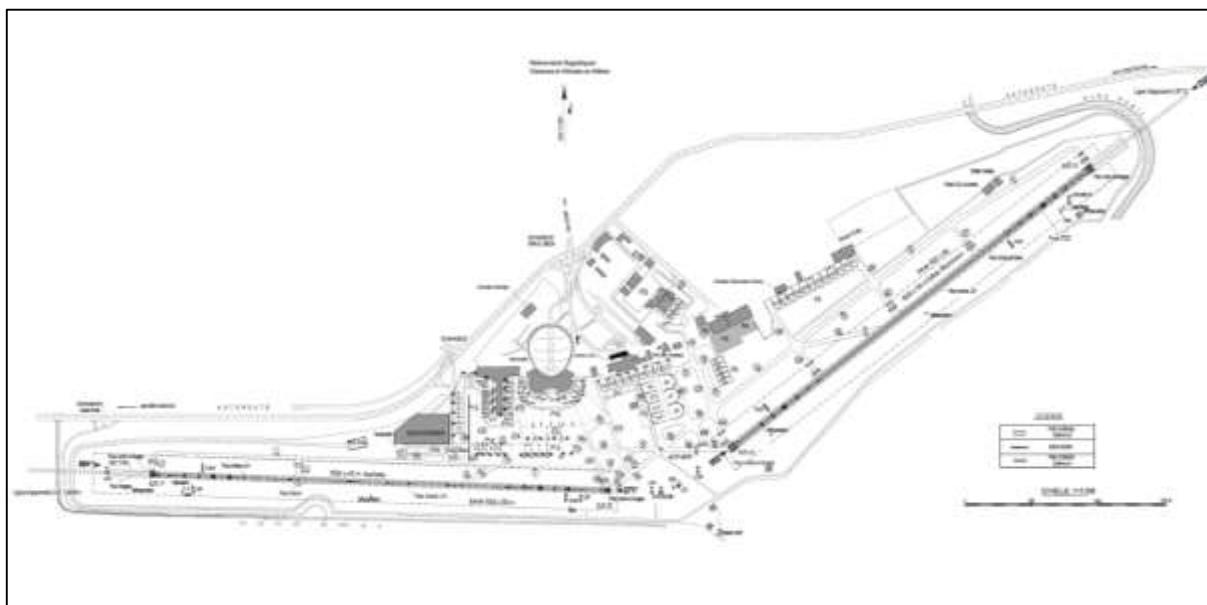


Figure VI. 2 Plan de l'aéroport Houari Boumediene

VI.2.3. Climatologie :

La climatologie est l'étude du climat et de l'état moyen de l'atmosphère, c'est-à-dire la succession des conditions météorologiques sur de longues périodes dans le temps.

Ce sont des données décisives dans une étude car ses ressources naturelles affectent une bonne partie de l'activité humaine.

XI.2.3.1. Température :

Tableau VI. 2 Températures moyennes mensuelles de l'aérodrome d'Alger

	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
Temp max	17 °C	17 °C	19 °C	21 °C	24 °C	28 °C	31 °C	32 °C	29 °C	26 °C	21 °C	18 °C
Temp Moy	11 °C	11 °C	13 °C	15 °C	19 °C	22 °C	25 °C	26 °C	24 °C	20 °C	15 °C	12 °C
Temp Min	6 °C	6 °C	8 °C	10 °C	13 °C	17 °C	20 °C	20 °C	18 °C	15 °C	10 °C	7 °C

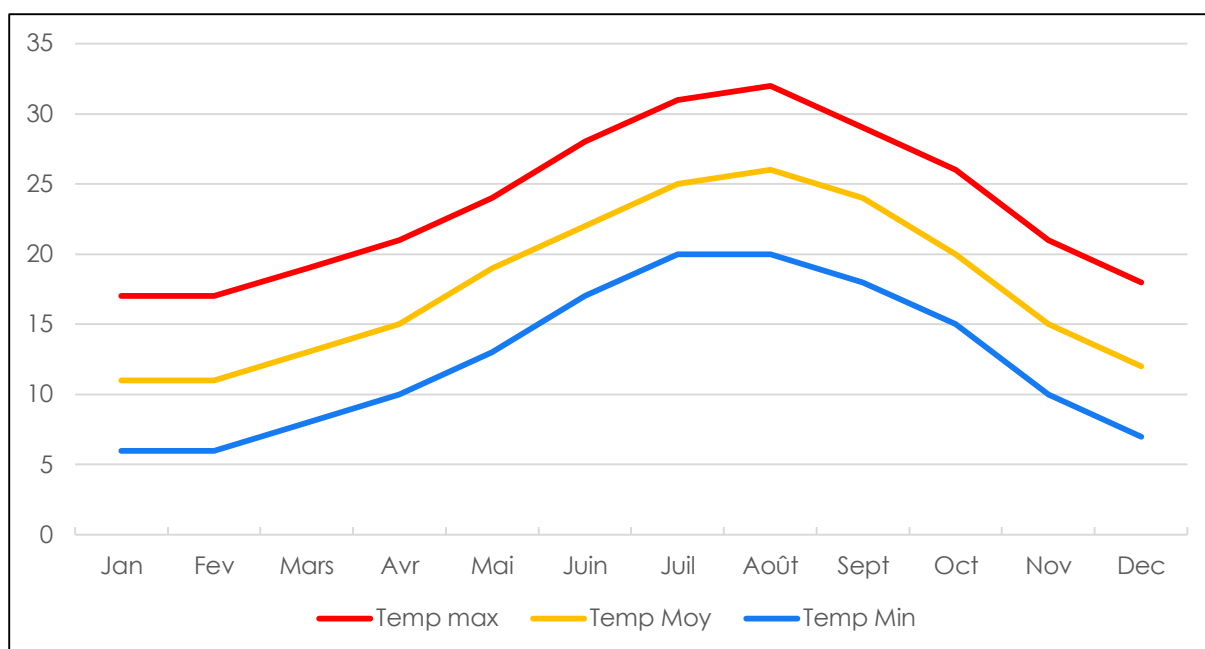


Figure VI. 3 Températures moyennes mensuelles de l'aérodrome d'Alger

XI.2.3.2. Vent :

La vitesse horaire moyenne du vent à Aéroport d'Alger Houari Boumediene connaît une variation saisonnière modérée au cours de l'année.

Tableau VI. 3 Vitesse moyenne du vent à l'aérodrome d'Alger entre 2014 et 2022

	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec
Vitesse du vent (kph)	16	15,8	14,7	14,3	12,9	12,4	12,6	12,3	12,7	13,5	15,4	16,1

La période la plus venteuse de l'année dure 5,6 mois, du 30 octobre au 16 avril, avec des vitesses de vent moyennes supérieures à 14,2 kilomètres par heure. Le mois le plus venteux de l'année à Aéroport d'Alger Houari Boumediene est décembre, avec une vitesse horaire moyenne du vent de 16,1 kilomètres par heure.

La période la plus calme de l'année dure 6,4 mois, du 16 avril au 30 octobre. Le mois le plus calme de l'année à Aéroport d'Alger Houari Boumediene est août, avec une vitesse horaire moyenne du vent de 12,3 kilomètres par heure.

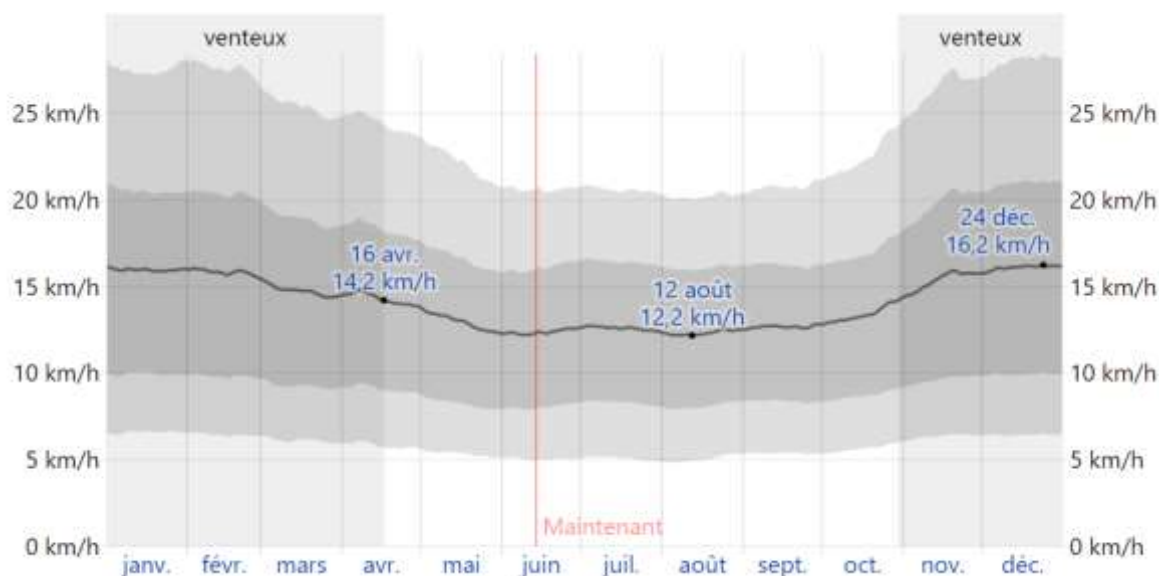


Figure VI. 4 Vitesse moyenne du vent à l'aérodrome d'Alger entre 2014 et 2022

XI.2.3.3. Pluviométrie :

Pour montrer la variation au cours des mois et pas seulement les totaux mensuels, nous montrons l'accumulation de pluie au cours d'une période glissante de 31 jours centrée sur chaque jour de l'année. Aéroport d'Alger Houari Boumediene connaît des variations saisonnières considérables en ce qui concerne les précipitations de pluie mensuelles.

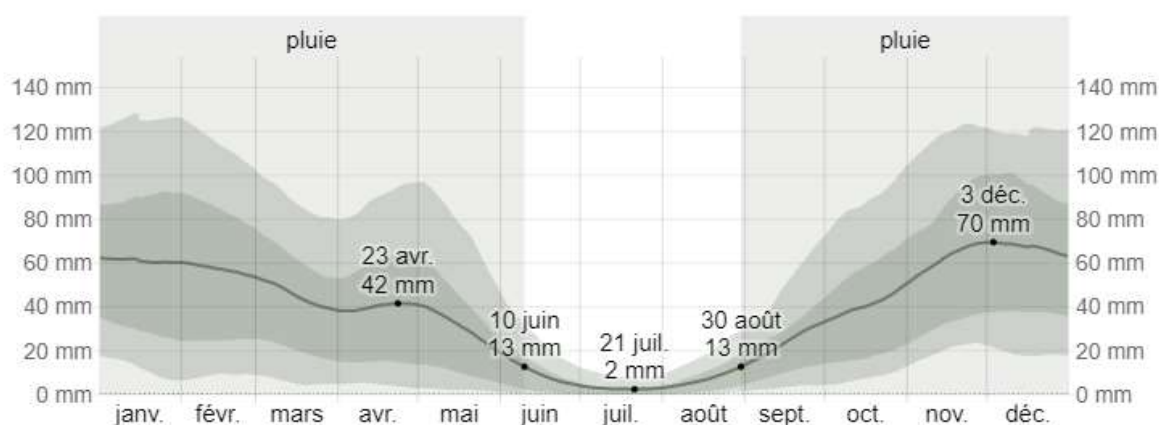


Figure VI. 4 Pluviométrie mensuelle moyenne à l'aérodrome d'Alger entre 2014 et 2022

VI.3. Historique de l'aérodrome :

L'aérodrome de Houari Boumediene d'Alger a été créé en 1924 pendant la période coloniale pour des activités militaires et de loisirs et connu sous le nom de base aérienne 149 Maison Blanche, à cause du sol médiocre ils ont opté pour une dalle en précontrainte mais

l'aérodrome de Maison Blanche commence à se développer et se tourner vers l'aviation civile en 1940 donc il a subi plusieurs extensions et vu sa durée de vie plusieurs renforcement aussi.

VI.4. Evolution du trafic aérien :

La capacité de l'aéroport d'Alger est de 22 millions de passagers par an, ce qui en fait le premier aéroport africain en termes de capacité devant celui de Johannesburg (21 millions de passagers par an). En revanche, en termes de trafic, il ne pointe qu'en 8e position. L'aéroport a accueilli en 2018 plus de 7 millions de passagers et plus de 350 000 tonnes de fret.

L'aéroport d'Alger est desservi par plus de 25 compagnies aériennes.

Tableau VI. 3 Evolution du trafic de 2000 à 2018

Année	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Trafic	2 760 000	3 400 000	4 300 000	2 980 000	4 308 054	3 400 000	3 480 000
Evolution		+ 23,3 %	+ 26,5 %	- 30,7 %	+ 44,6 %	- 21,1 %	+ 2,4 %
Année	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Trafic	3 814 555	4 159 358	4 548 055	4 350 000	4 745 854	5 398 270	5 918 132
Evolution	+ 9,6 %	+ 9 %	+ 9,35 %	- 4,4 %	+ 9,1 %	+ 13,7 %	+ 9,6 %
Année	2014	2015	2016	2017	2018		
Trafic	6 457 795	6 879 630	7 572 758	7 823 634	7 975 412		
Evolution	+ 9,1 %	+ 6,1 %	+ 9,1 %	+ 3,2 %	+ 1,9 %		

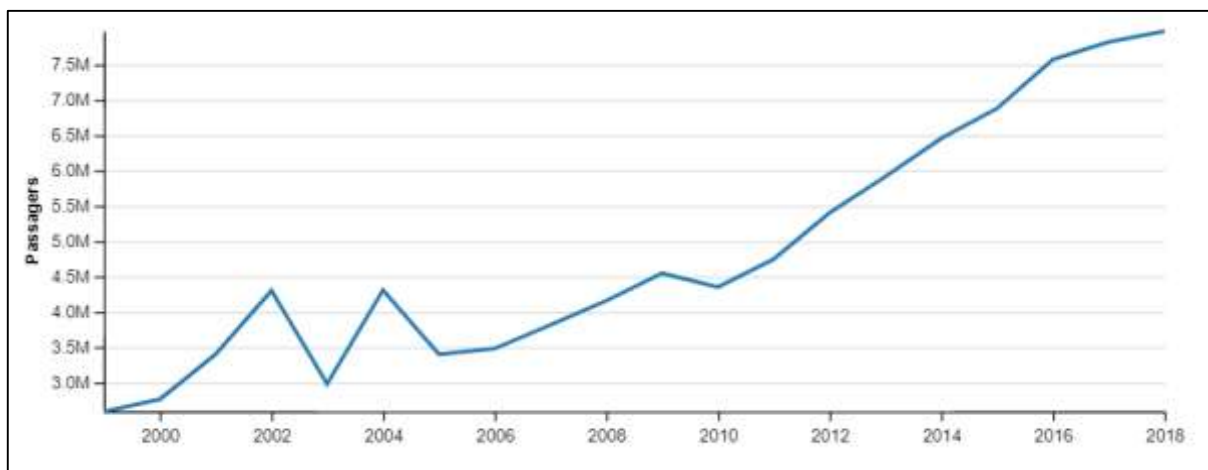


Figure VI. 4 Trafic annuel sur l'aéroport d'Alger

VI.5. Conclusion :

Après avoir connu la zone de notre projet, on a pu localiser le site où l'implantation de l'aérodrome a eu lieu.

Le prochain chapitre sera de connaître la chaussée de la piste grâce à une étude géotechnique.

Chapitre 7 :
Analyse des données
géotechniques

CHAPITRE VII : Analyses des données géotechniques

VII.1. Introduction :

La reconnaissance géotechnique dans le cadre d'une étude de renforcement d'un ouvrage a pour but :

- La détermination des caractéristiques mécaniques et physiques du sol support ;
- La vérification des caractéristiques physiques et mécaniques des matériaux utilisés dans les différentes couches de la chaussée ;
- La vérification des épaisseurs des différentes couches formant la structure du projet ;
- Vérification des épaisseurs et de la nature des couches bitumineuses ;
- Vérification des caractéristiques des mélanges bitumineux utilisés.

Cette reconnaissance se fait en deux phases :

VII.1.1. Intervention sur site :

Cette phase se fait par des méthodes destructives ou par des essais non destructifs, on peut citer :

- a) Méthodes destructives :
 - Les sondages carottés
 - Le carottage de chaussée
 - Les puits à ciel ouvert
- b) Essais non destructifs :
 - L'auscultation au géo radar
 - Les méthodes destructives suscitées nous permettent de déterminer visuellement la nature du sol support et des matériaux utilisés ainsi que les épaisseurs des différentes couches, les caractéristiques physico-mécaniques et chimiques des matériaux et du sol support seront déterminées au laboratoire sur des échantillons prélevés du site.
 - L'auscultation au géo radar nous permet de déterminer les épaisseurs des différentes couches et la détection des anomalies sous terraines (présence de cavités, passage de conduite ou câble ...etc.)

VII.1.2. Analyse au laboratoire :

A l'issue de l'intervention sur site, des échantillons seront prélevés des différents matériaux formant les couches de la chaussée ainsi que le sol support pour les soumettre aux essais de laboratoire pour déterminer leurs caractéristiques géotechniques et par la suite se prononcer sur le comportement mécanique de la chaussée.

VII.2. Essais effectués :

VII.2.1. Sondage carotté :

Le sondage s'agit de prélever un cylindre de terrain le plus intact possible afin de réaliser des observations et des essais représentatifs des formations en place. Ce mode d'investigation permet d'obtenir un échantillon continu de sol peu ou pas remanié, prélevé à l'aide d'un outil appelé carottier.

Sept (7) sondages carottés ont été effectués sur terrain pour la piste secondaire, Ils ont mis en évidence la succession lithologique suivante :

La piste secondaire (Chaussée rigide (seuil 09)):

Sondage carotté SC N° 01 (POR) :

- 0^m.00 – 0^m.08: Béton bitumineux.
- 0^m.08 – 0^m.28: Dalle en béton de ciment.
- 0.28^m– 0^m.58: Grave ciment.
- 0^m.58 – 0^m.98: TUF.
- 0^m.98 – 1^m.00 : Argile jaunâtre.



Figure VII. 1 Sondage carotté n°1 (POR)

Sondage carotté SC N°02 (Seuil 09 : PK 0+050):

- 0^m.00 – 0^m.38: Dalle en béton de ciment.
- 0^m.38 – 0^m.63: Grave ciment.
- 0^m.63 - 0^m.95: TUF.
- 0^m.95- 1^m.50 : Argile grisâtre.



Figure VII. 2 Sondage carotté n°2

La piste secondaire (Chaussée souple):

Sondage carotté SC N° 03 (PK 0+700) :

0^m.00 – 0^m.12 : Béton bitumineux.

0^m.12- 0^m.31 : Grave bitume.

0^m.31 – 0^m.56: Grave ciment.

0^m.56- 1^m.05: TUF.

1^m.05 –1^m.50: Argile.

Sondage carotté SC N°04 (PK 1+100) :

0^m.00 – 0^m.12 : Béton bitumineux.

0^m.12-0^m.31 : Grave bitume.

0^m.31 – 0^m.56: Grave ciment.

0^m.56- 1^m.06: TUF.

1^m.06 – 1^m.50: Argile.



Figure VII. 3 Sondage carotté n° 3 et 4

La piste secondaire (Chaussée rigide (seuil 27)):

Sondage carotté SC N° 05 (PK 2+500):

0^m.00 – ≈0^m.09 : Béton bitumineux.

0^m.09 –0^m.25 : Grave bitume.

0^m.25- 0^m.40 : Dalle précontrainte.

0^m.40 – 0^m.89 : TUF.

0^m.89 – 1^m.00 : Argile grisâtre.



Figure VII. 4 Sondage carotté n°5

Sondage carotté SC N° 06 (PK 2+800) :

0m.00 – ≈0 m.08 : Béton bitumineux.

0m.08 –0 m.26 : Grave bitume.

0 m.25- 0 m.41 : Dalle précontrainte.

0m.41 – 0m.90 : TUF.

0m.90 – 1 m.00 : Argile grisâtre.

Sondage carotté SC N° 07(PK 3+320) :

0m.00 – ≈0 m.09 : Béton bitumineux.

0m.09 –0 m.26 : Grave bitume.

0 m.26- 0 m.42 : Dalle précontrainte.

0m.42 – 0m.92 : TUF.

0m.92 – 1 m.00 : Argile grisâtre..



Figure VII. 5 Sondage carotté n° 6 et 7

VII.2.2. Essai de poinçonnement CBR :

L'essai CBR est un essai de poinçonnement réalisé sur un échantillon de sol préalablement mis en place dans des conditions de compactage et d'hydratation déterminées dans un moule normalisé à l'aide d'un mandrin de forme cylindrique et de section circulaire enfoncé verticalement dans l'échantillon.

Les mesures faites en cours d'essai sont reportées sur un graphique représentant en échelles arithmétiques la variation de l'enfoncement du mandrin en fonction de la charge appliquée à la base du mandrin sur l'échantillon. Cette courbe présente généralement une concavité régulière dirigée vers l'axe des enfoncements.

Si la courbe obtenue présente une inflexion au voisinage de l'origine, la partie correspondante de la courbe doit être remplacée par la tangente au point d'inflexion. Le point de concours de cette tangente avec l'axe des enfoncements sera pris comme origine des abscisses pour le calcul de l'Indice Portant.

Sur la courbe représentative, on lit la contrainte σ 2,54 correspondant à un enfoncement de 2,54 mm et celle correspondant à un enfoncement de 5,08 mm (σ 5,08).

L'Indice Portant Californien (CBR) est par définition la valeur du rapport :

$$\sigma_{2,54} / \sigma_{5,08}$$

et ce à condition que le rapport :

$$\sigma_{5,08} / \sigma_{10,16}$$

ne lui soit pas supérieur.

Si ce deuxième rapport est plus grand que le premier, l'essai doit être recommencé.

A l'issue de ce nouvel essai, on prend pour Indice Portant Californien la valeur du rapport si ce rapport a une valeur très voisine de celle obtenue au cours du premier essai.

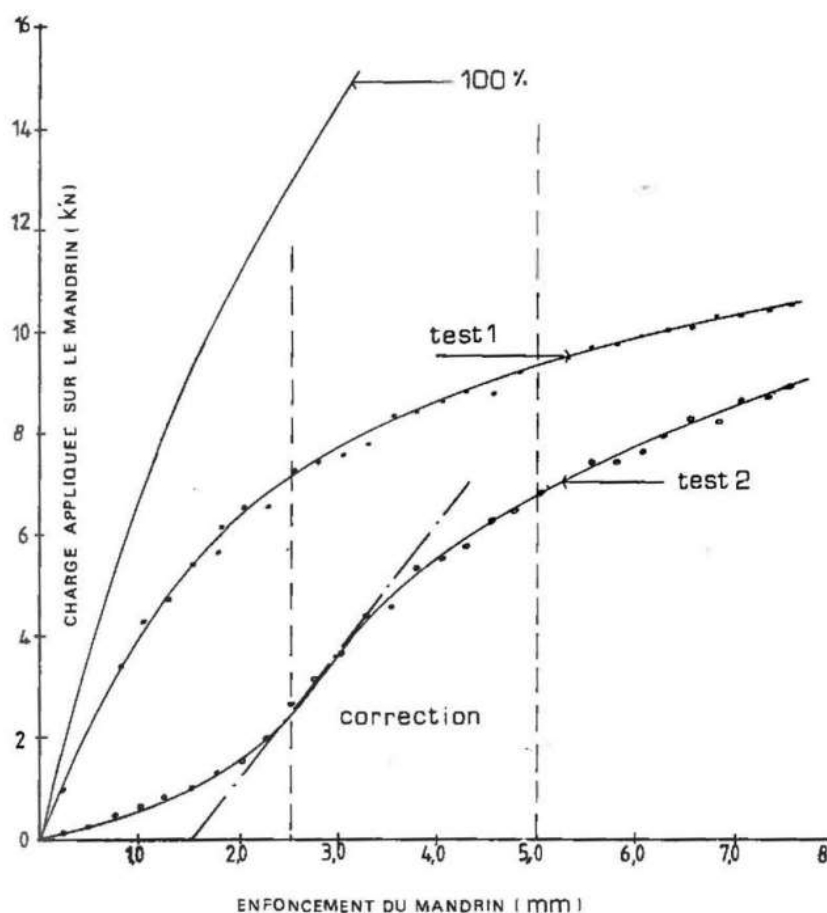


Figure VII. 6 Exemple d'essai CBR

Selon les essais de LCTP, CBR = 3,95 % dans notre cas.

VII.3. Description de l'existant :

La piste secondaire a été construite en plusieurs étapes ce qui explique sa chaussée hétérogène entre parties souples et parties rigides. On résume le résultat du sondage carotté dans le tableau suivant :

Tableau VII. 1 Couches existantes dans la chaussée

(1) Du pk 0+000 au pk 0+550		
	Matériau	Épaisseur (cm)
Couche de roulement	Dalle en béton hydraulique	37
Couche de fondation	Grave ciment	25
Couche de forme	Tuf	30
(2) Du pk 0+550 au pk 1+137,35		
	Matériau	Épaisseur (cm)
Couche de roulement	BB+GB	31
Couche de fondation	Grave ciment	25
Couche de forme	Tuf	50
(3) Du pk 1+137.35 au pk 1+150		
	Matériau	Épaisseur (cm)
Couche de roulement	BB+GB	31
Couche de fondation	Dalle précontrainte	16
Couche de forme	Tuf	50
(4) Du pk 1+150 au pk 3+500		
	Matériau	Épaisseur (cm)
Couche de roulement	BB+GB	26
Couche de fondation	Dalle précontrainte	16
Couche de forme	Tuf	50

VII.4. Coefficient d'équivalence des matériaux :

D'après les essais effectués au LCTP, les coefficients d'équivalence des matériaux sont les suivants :

- Béton bitumineux a module élevé (B.B.M.E)0/14 : 2.50
- Enrobé a module élevé (E.M.E)0/20 : 2.40
- Béton bitumineux (BB) 0/14 : 2
- Enrobé bitumineux existant : 1,5 (module de rigidité > 6 000)
- Grave ciment existante : 1,5 (module de rigidité > 7 000)
- Matériaux sélectionné existant : 0,75
- Grave concassée existante : 1
- Dalle précontrainte : 2,5 (module de rigidité > 8 000)
- Dalle en béton existantes (e_p 37 cm) : 3 (module de rigidité > 27 000)
- Dalle en béton existante (e_p 20 cm) : 2.5 (module de rigidité > 8 000).

VII.5. Conclusion :

Les aléas liés au sol sont une composante incontournable de la construction des aéroports. La maîtrise et la réduction des impacts potentiels de ces aléas est importante. Donc il fallait connaître le CBR du sol et les nouveaux coefficients des matériaux constituant la chaussée.

La diversité des chaussées dans la même piste représente une contrainte pour le dimensionnement et la conception géométrique, en parlant de contraintes, c'est ce qu'on va aborder dans le chapitre suivant.

Chapitre 8 :

Identification des

contraintes

CHAPITRE VIII : Identification des contraintes

VIII.1. Introduction :

La notion de "contrainte" doit se comprendre comme :

- Une exigence.
- Un élément de vulnérabilité.
- Un danger latent.

Il est donc capital de bien repérer ces contraintes et de déterminer comment elles pourraient être atténuées, surmontées ou supprimées.

VIII.2. Caractéristiques de l'avion de référence (Avion critique) :

L'avion de référence est l'avion le plus contraignant destiné à desservir l'aérodrome et assurant facilement la liaison avec une destination voulue.

L'étude du projet de renforcement de la piste secondaire de l'aéroport de Houari Boumediene consiste d'abord à classer l'aérodrome selon l'avion critique appelée à survoler cet aérodrome, qui est le B777 300ER.

Les caractéristiques principales du B777-300ER sont résumées ci-dessous :

Longueur de décollage : 3200 m

Longueur d'atterrissage : 2600m

Envergure : 64,8 m

Masse maxi roulage : 352 500 kg

Masse à vide opérationnelle : 168 000 kg

Centrage AR max : 46,23 %

Pression : 1,55 MPa

Type d'atterrisseur : Boggie de 3 fois 2 roues. (6 roues)



Figure VIII. 1 Modèle 3D de l'avion B777-300ER avec SketchUp

VIII.3. Pondération de la charge sur la piste :

Selon les recommandations de l'annexe 14, pour l'optimisation des travaux nous avons dimensionnés les 600 m de part et d'autre de la piste avec une pondération de la charge à 100% et le reste de la chaussée avec une pondération de 80%.

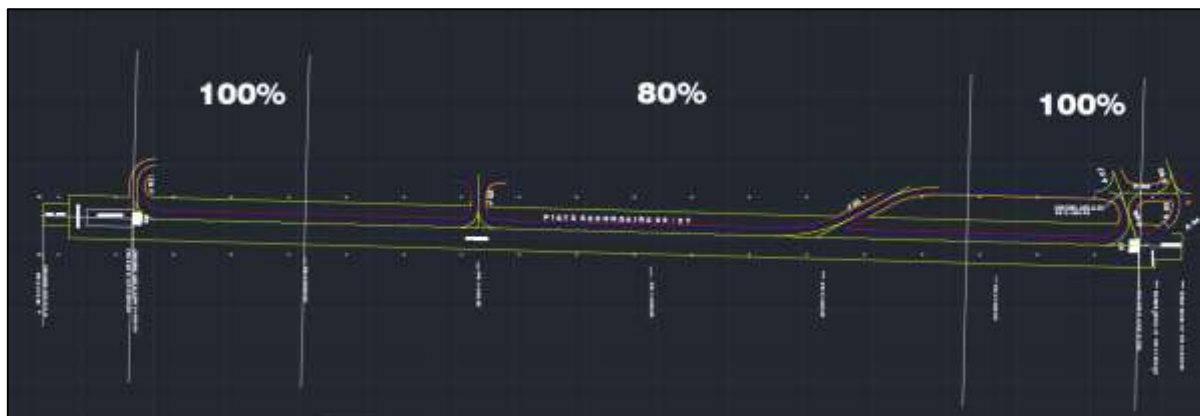


Figure VIII. 2 Représentation des pondérations sur la piste

VIII.4. Contraintes géométriques :

La bretelle J02 est une chaussée rigide, et vu qu'on ne va pas la renforcer, il faut que le niveau de la piste secondaire après renforcement soit au même niveau de la bretelle J02 ou l'adapter avec un devers qui ne dépasse pas 1,5%.



Figure VIII. 3 Aperçu sur la bretelle J02

La voie de sortie rapide J03 est aussi une chaussée rigide, On a donc à faire les mêmes préventions qu'avec la bretelle J02.



Figure VIII. 4 Aperçu sur la voie de sortie rapide J03

VIII.5. Zoning de la piste :

D’après les résultats géotechniques et les contraintes existantes, on a songé à décomposer la piste en 8 tronçons c-à-d 8 parties homogènes, qui sont les suivantes :

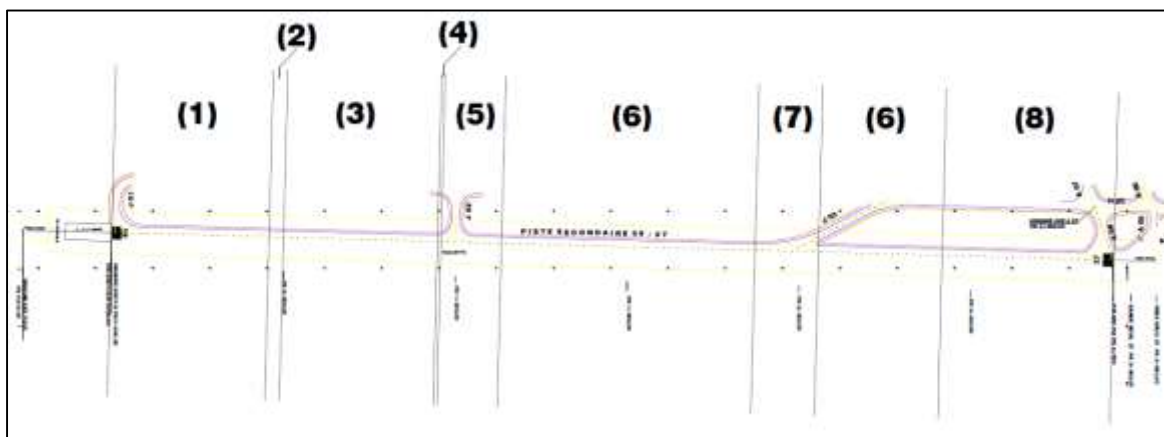


Figure VIII. 5 Zoning de la piste

Tableau VIII. 1 Couches existantes dans chaque partie après répartition

(1) Du pk 0+000 au pk 0+550

	Matériau	Épaisseur (cm)
Couche de roulement	Dalle en béton hydraulique	37
Couche de fondation	Grave ciment	25
Couche de forme	TUF	30

(2) Du pk 0+550 au pk 0+600

	Matériau	Épaisseur (cm)
Couche de roulement	BB + GB	31
Couche de fondation	Grave ciment	25
Couche de forme	TUF	50

(3) Du pk 0+600 au pk 1+137,35

	Matériau	Épaisseur (cm)
Couche de roulement	BB + GB	31
Couche de fondation	Grave ciment	25
Couche de forme	TUF	50

(4) Du pk 1+137.35 au pk 1+150 (jonction avec J2)

	Matériau	Épaisseur (cm)
Couche de roulement	BB + GB	31
Couche de fondation	Dalle précontrainte	16
Couche de forme	TUF	50

(5) Du pk 1+150 au pk 1+261.36

	Matériau	Épaisseur (cm)
Couche de roulement	BB + GB	26
Couche de fondation	Dalle précontrainte	16
Couche de forme	TUF	50

(6) Du pk 1+261.36 au pk 2+246,79 et du pk 2+468,90 au pk 2+900

	Matériau	Épaisseur (cm)
Couche de roulement	BB + GB	26
Couche de fondation	Dalle précontrainte	16
Couche de forme	TUF	50

(7) Du pk 2+246,79 au pk 2+468,90

	Matériau	Épaisseur (cm)
Couche de roulement	BB + GB	26
Couche de fondation	Dalle précontrainte	16
Couche de forme	TUF	50

(8) Du pk 2+900 au pk 3+500

	Matériau	Épaisseur (cm)
Couche de roulement	BB + GB	26
Couche de fondation	Dalle précontrainte	16
Couche de forme	TUF	50

VIII.6. Conclusion :

En conclusion, il est important de prendre en considération ces contraintes avant de réaliser l'étude géométrique et le dimensionnement où il y aura des risques que la piste ne soit pas à niveau avec les bretelles ou encore ne supporte pas les charges admissibles.

Chapitre 9 :
Dimensionnement de
la chaussée de la
piste 07/29

CHAPITRE IX : Dimensionnement de la chaussée de la piste 07/29

IX.1. Introduction :

Le dimensionnement d'une nouvelle chaussée est une étape primordiale dans un projet, Nous avons déjà expliqué les notions et étapes nécessaires pour cela dans le chapitre III.

La nouvelle chaussée sera appelée « renforcement » et comprendra, au moins, une couche de base et/ou une couche de roulement.

IX.2. Calcul des charges :

IX.2.1. Charge réelle sur l'atterrisseur P :

Les informations sur le b777 300er indiquent que 46,23% de la charge totale est supportée par l'atterrisseur principal, d'où la charge réelle est :

$$P=352*0.4623= 163 \text{ tonnes}$$

IX.2.2. Charges réelles pondérées P' selon la fonction des aires :

$$P'=P*C_P$$

Les charges réelles pondérées pour chaque aire sont représentées dans le tableau IX. 1.

Tableau IX. 1 Résultat des charges réelles pondérées

Aires	Coefficients de pondération	Charges réelles pondérées P' (tonnes)
Piste et bretelles	1	163
Accotements	0,5	81,5

IX.2.3. Charges normales de calcul P'' :

P'' correspond à 10 mouvements par jours pendant 10 ans. On a 10 mouvements → C_t = 1

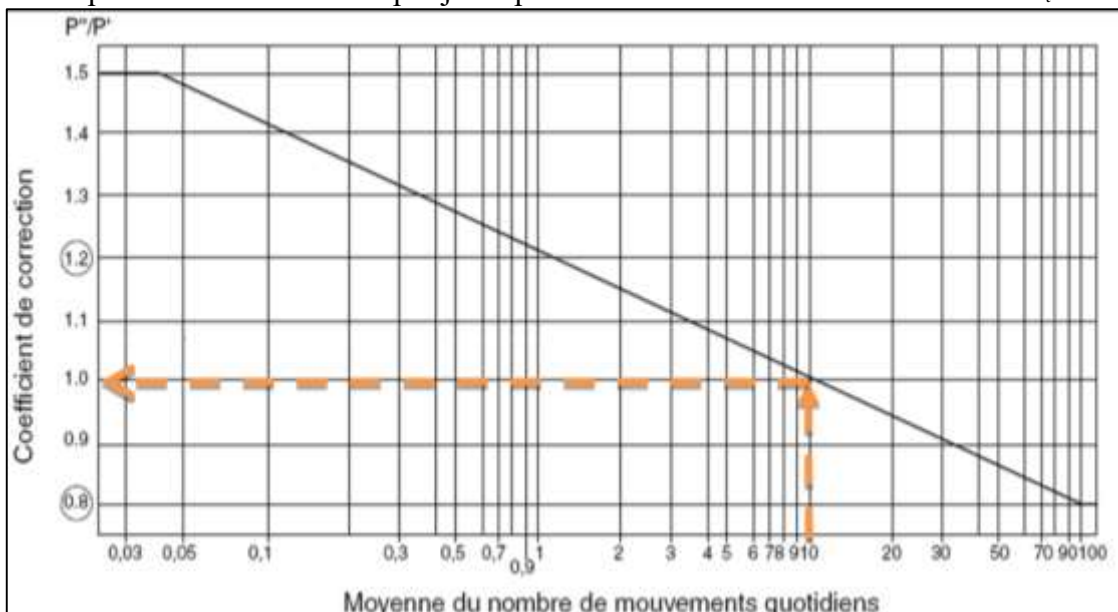


Figure IX. 1 Coefficient de correction en fonction du nombre de mouvements

$$P''=P'/Ct$$

D'où, les résultats de calcul des charges normales sont représentés dans le tableau IX. 2.

Tableau IX. 2 Résultat des charges normales

Aires	Coefficients de correction	Charges normales de calcul P'' (tonnes)
Piste et bretelles	1	163
Accotements	1	81,5

IX.3. Lecture de l'épaisseur équivalente totale à partir d'un abaque :

Connaissant la charge réelle pondérée et le CBR du sol support (CBR=3,95), on peut donc déterminer, à partir de l'abaque « atterrisseur principal à 6 roues » du b777 300er, les épaisseurs équivalentes totales pour l'ensemble des ouvrages, ces dernières sont représentées dans le tableau (7.3).

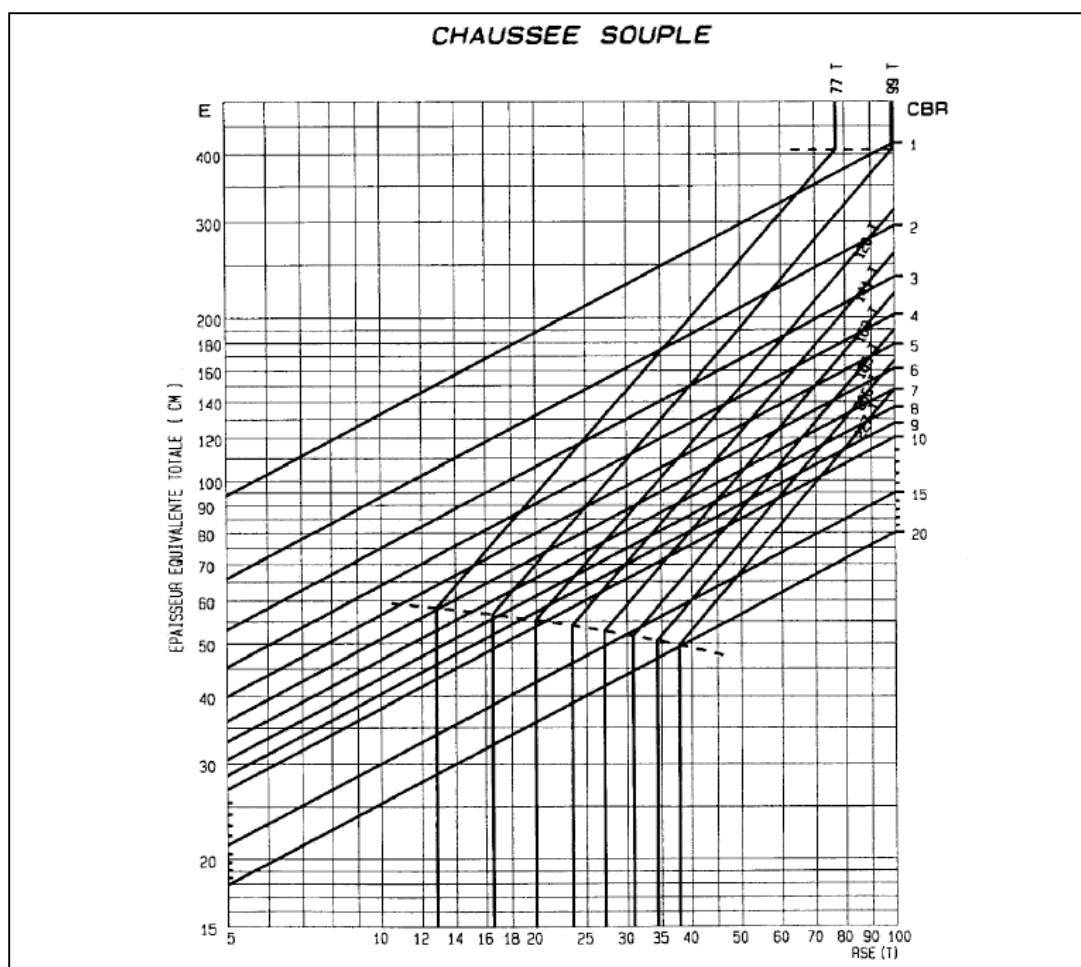


Figure IX. 2 Abaque d'atterrisseur principal à 6 roues du B777-300ER

Tableau IX. 3 Epaisseur équivalente totale de chaque aire

Aires	Epaisseur équivalente totale (cm)
Piste et bretelles (100%)	185
Piste et bretelles (80%)	148
Accotements	92

IX.4. Détermination des épaisseurs minimales des matériaux traités :

Les épaisseurs minimales des matériaux traités obtenues à partir de l’abaque de dimensionnement des chaussées souples sont représentées dans le tableau (IX. 4).

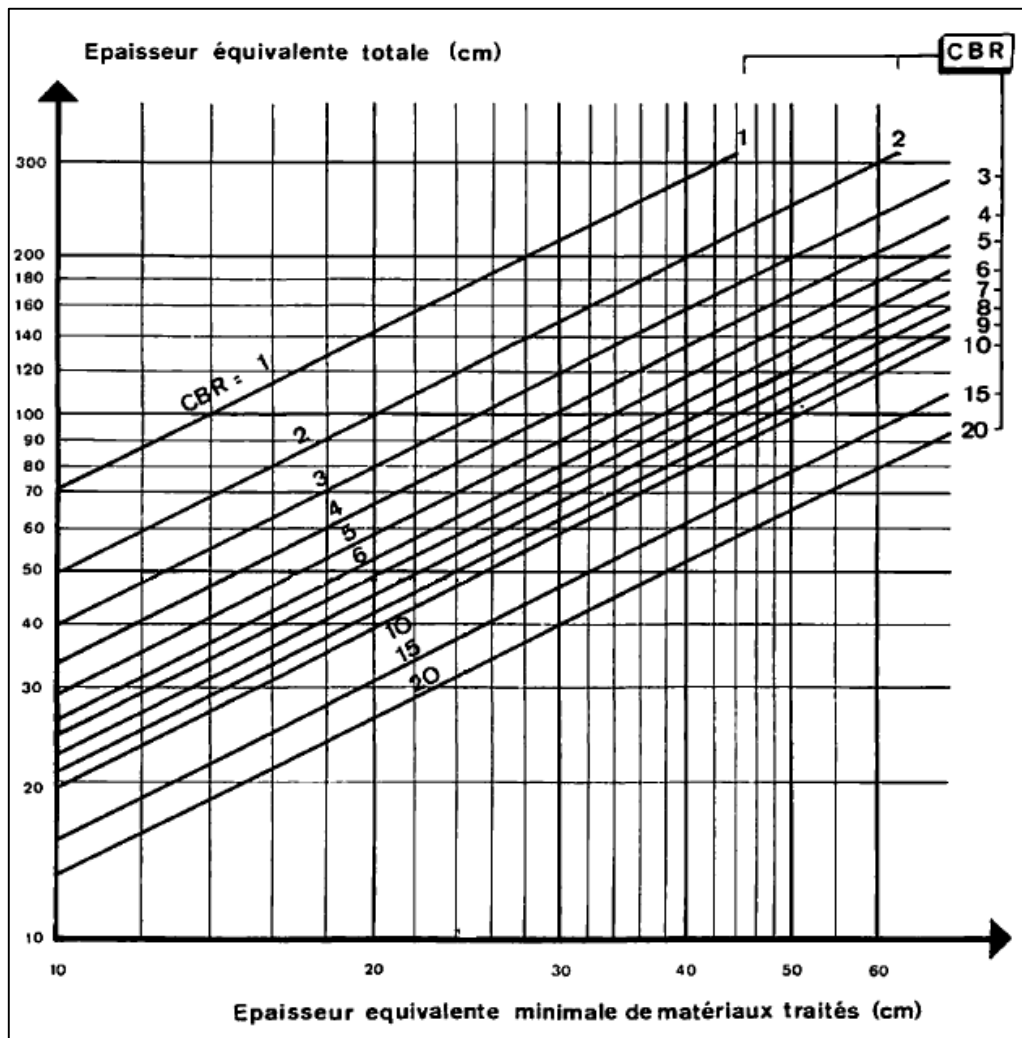


Figure IX. 3 Abaque des épaisseurs équivalente minimale en fonction du CBR et l’épaisseur équivalente totale

Tableau IX. 4 Epaisseur équivalente minimale de chaque aire

Aires	Epaisseur équivalente totale (cm)	Epaisseur équivalente minimale (cm)
Piste et bretelles (100%)	185	54
Piste et bretelles (80%)	148	43
Accotements	92	27

Note : Quand on a calculé le PCN avec ces épaisseurs, la pondération de 80% ne permet pas d'atteindre un PCN de 120, Donc nous avons augmenté l'épaisseur équivalente de 148 cm à 164,4 cm pour atteindre cet objectif. Et selon ce dimensionnement qu'on a fait le choix de la structure dans l'étape suivante.

IX.5. Choix d'une structure :

Pour la piste secondaire :

1- Piste secondaire (du pk 0+000 au pk 0+550) :

On a : $e_{et} = 208.5$ cm, $e_{mt} = 54$ cm.

Tableau IX. 5 Structure de la chaussée choisie pour chaque partie de la piste

Matériaux	Epaisseur réelle (cm)	Coefficient d'équivalence	Epaisseur équivalente (cm)
Structure nouvelle			
BBME	15	2,5	37.5
Somme			37.5
Structure existante			
Dalle en béton	37	3	111
GC	25	1.5	37.5
Couche de forme	30	0.75	22.5
Somme			171
Somme T			208.5

2- Piste secondaire (du pk 0+550 au pk 0+600) :

On a : $e_{et} = 184$ cm, $e_{mt} = 54$ cm.

Matériaux	Epaisseur réelle (cm)	Coefficient d'équivalence	Epaisseur équivalente (cm)
Structure nouvelle après fraisage de 31 cm			
BBME	10	2,5	25
EME	35	2.4	84
Somme			109
Structure existante après fraisage de 31 cm			
GC	25	1.5	37.5
Couche de forme	50	0.75	37.5
Somme			75
			184

3- Piste secondaire (du pk 0+600 au pk 1+137.35) :

On a : $e_{et} = 164$ cm, $e_{mt} = 49$ cm.

Matériaux	Epaisseur réelle (cm)	Coefficient d'équivalence	Epaisseur équivalente (cm)
Structure nouvelle après fraisage de 12 cm			
BBME	9	2,5	22.5
EME	16	2.4	38.4

		Somme	60.9
Structure existante après fraisage de 12 cm			
BB	19	1.5	28.5
GC	25	1.5	37.5
Couche de forme	50	0.75	37.5
		Somme	103.5
		Somme T	164.4

4- Piste secondaire (du pk 1+137.35 au pk 1+150) jonction avec J2 :

On a : $e_{et} = 164.4$ cm, $e_{mt} = 49$ cm.

Matériaux	Epaisseur réelle (cm)	Coefficient d'équivalence	Epaisseur équivalente (cm)
Structure nouvelle après fraisage de 20 cm			
BBME	8	2,5	22
EME	21	2.4	50.4
		Somme	72.4
Structure existante après fraisage de 20 cm			
BB	11	1.5	16.5
dalle en béton	16	2.5	40
Couche de forme	50	0.75	37.5
		Somme	94
		Somme Total	166.4

5- Piste secondaire (du pk 1+150 au pk 1+261.36) :

On a : $e_{et} = 164.7$ cm, $e_{mt} = 49$ cm.

Matériaux	Epaisseur réelle (cm)	Coefficient d'équivalence	Epaisseur équivalente (cm)
Structure nouvelle après fraisage de 26 cm			
BBME	8	2,5	20
EME	28	2	67.2
		Somme	87.2
Structure existante après fraisage de 26 cm			
dalle en béton	16	2.5	40
Couche de forme	50	0.75	37.5
		Somme	77.5
		Somme total	164.7

6- Piste secondaire (du pk 1+261.36 au pk 2+246,79 et du pk 2+468,90 au pk 2+900) :

On a : $e_{et} = 164.7$ cm, $e_{mt} = 49$ cm.

Matériaux	Epaisseur réelle (cm)	Coefficient d'équivalence	Epaisseur équivalente (cm)
Structure nouvelle après fraisage de 26 cm			
BBME	8	2,5	20
EME	28	2.4	67.2
Somme			87.2
Structure existante après fraisage de 26 cm			
dalle en béton	16	2.5	40
Couche de forme	50	0.75	37.5
Somme			77.5
Somme T			164.7

7- Piste secondaire (du pk 2+246,79 au pk 2+468,90) :

On a : $e_{et} = 164.7$ cm, $e_{mt} = 49$ cm.

Matériaux	Epaisseur réelle (cm)	Coefficient d'équivalence	Epaisseur équivalente (cm)
Structure nouvelle après fraisage de 26 cm			
BBME	8	2,5	20
EME	28	2.4	67.2
Somme			87.2
Structure existante après fraisage de 26 cm			
dalle en béton	16	2.5	40
Couche de forme	50	0.75	37.5
Somme			77.5
Somme T			164.7

8- Piste secondaire (du pk 2+900 au pk 3+500) :

On a : $e_{et} = 184$ cm, $e_{mt} = 54$ cm.

Matériaux	Epaisseur réelle (cm)	Coefficient d'équivalence	Epaisseur équivalente (cm)
Structure nouvelle après fraisage de 26 cm			
BBME	9	2,5	22.5
EME	35	2	84
Somme			106.5
Structure existante après fraisage de 26 cm			
dalle en béton	16	2.5	40
Couche de forme	50	0.75	37.5
Somme			77.5
Somme T			184

Pour les accotements :

Accotement de la piste secondaire (du pk 0+000 au pk 3+500) :

Tableau IX. 6 Structure choisie pour les accotements

Matériaux	Epaisseur réelle (cm)	Coefficient d'équivalence	Epaisseur équivalente (cm)
Structure nouvelle après fraisage de 16 cm			
BB	9	2	18
GB	28	1.5	42
Somme			60
Structure existante après fraisage de 16 cm			
Couche de fond	32	1	32
Somme			32
Somme T			92

IX.6. Vérification par la méthode ACN/PCN :

- L'ACN du Boeing 777-300ER pour la masse maximale sachant que le CBR = 3,95 et une pression des pneus sur le train principal de 1,55MPa.

Les ACN sont déterminés comme suit :

Tableau IX. 7 ACN du B777-300ER

	Masse maximale (tonnes)	ACN des chaussées souples CBR %				ACN des chaussées rigides k(MPa/m ³)			
		Classe de CBR %				Classe de k (MPa/m ³)			
		A	B	C	D	A	B	C	D
BOEING 777-300ER	352,5	64	71	89	120	66	85	109	131

D'après le tableau ci-dessous, l'ACN dans notre cas égale à **120**.

- Le PCN est calculé par la méthode approchée qui tient compte de l'épaisseur équivalente totale de la chaussée et de la portance du sol support, pour les chaussées souples ; en appliquant la formule suivante :

$$\text{PCN} = \text{RSI} \times \text{H}(\text{CBR})$$

RSI : Roue simple isolée en tonnes.

H(CBR) : Coefficient en fonction du CBR et de la catégorie de résistance du sol support donné par l'abaque.

Calcul du RSI :

- Chaussée souple : Le RSI se calcule par la formule suivante :

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

e: épaisseur équivalente totale de la chaussée en "cm"

CBR : indice de portance du sol support égale à 3,95 (classe D)

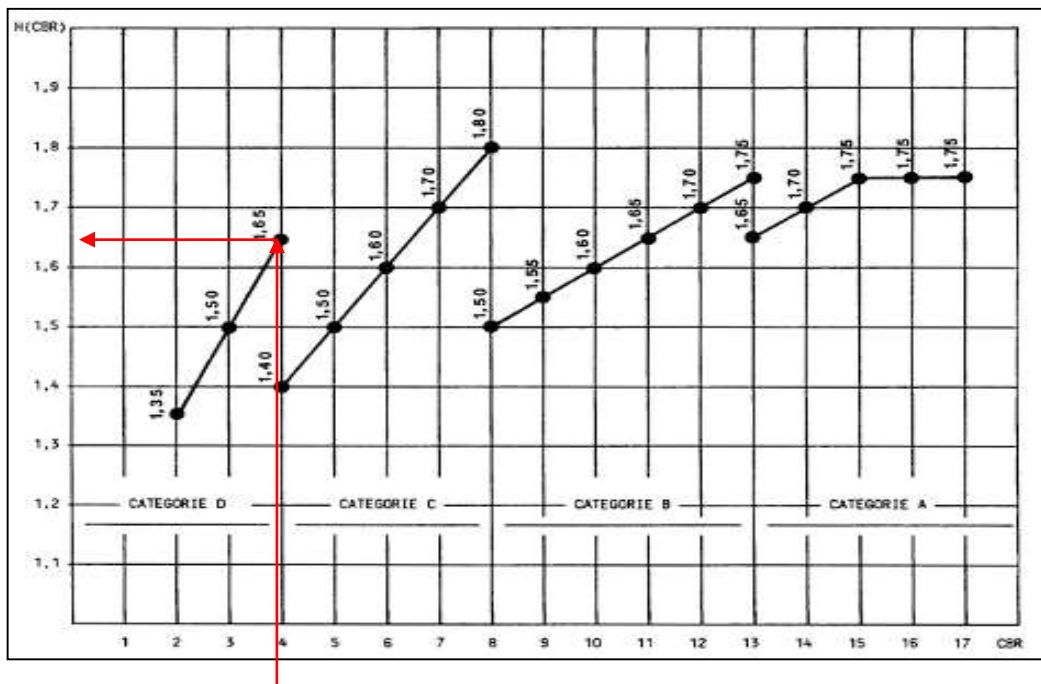


Figure IX. 4 Détermination du H(CBR) en fonction du CBR

Le coefficient H(CBR) est égal à **1,6425** pour la classe D et un CBR de 3,95 (voir abaque).

Le résultat de calcul du PCN piste secondaire et le prolongement d'arrêt seuil 09 est résumé sur les tableaux suivants :

Tableau IX. 8 Résultats du RSI et PCN de la piste secondaire et le prolongement d'arrêt seuil 09

Piste secondaire	Epaisseur de la dalle (cm)	Epaisseur Equivalente Totale (cm)	RSI (t)	PCN
Du pk 0-160 au pk 0+000 (Prolongement d'arrêt seuil 09)	20	142	55,30	90
Du pk 0+000 au pk 0+550	37	208,5	119,22	195
Du pk 0+550 au pk 0+600	0	184	92,84	152,49

Du pk 0+600 au pk 1+137	0	164,4	74,12	121
Du pk 1+137 au pk 1+150	16	166,4	75,93	124,72
Du pk 1+150 au pk 2+900	16	165	74,66	122
Du pk 2+900 au pk 3+500	16	184	92,84	152,49

Et vu qu'on a une chaussée souple (F), un CBR = 3,95 (D), Pression pneumatique de 1,55Mpa (X) et une évaluation technique (T).

Le PCN projeté pour la piste 09/27 est le suivant : PCN = 120/F/D/X/T
 Le PCN projeté pour le prolongement d'arrêt est le suivant : PCN = 90/F/D/X/T

La valeur du PCN qui sera publiée pour l'ensemble des annexes suscitées, c'est la valeur la plus faible et qui est égale à 121, toutefois pour une meilleure préservation de cette piste nous préconisons de publier 120, elle est supérieure à l'ACN du Boeing B777-300 ER, qui est de l'ordre de 120 pour la classe de portance D.

IX.7. Conclusion :

Le B777-300ER peut être admis sur la piste secondaire 09/27 de l'aérodrome d'Alger en toute sécurité et sans restriction vis-à-vis des charges une fois que les travaux de renforcement finalisés conformément au dossier d'exécution.

Il ne manque que l'étude géométrique qu'on verra dans le chapitre suivant.

Chapitre 10 :

Etude géométrique

CHAPITRE X : Etude géométrique

X.1. Introduction :

L'étude géométrique revient à assurer l'uni entre les différentes aires. L'uni d'une chaussée est un critère de qualité géométrique, il caractérise l'ensemble des dénivellations de la surface de la chaussée par rapport à ses profils théoriques

Sur une piste, certains défauts d'uni ressentis alors que les avions évoluent à des vitesses élevées, pendant les phases d'atterrissage ou de décollage, peuvent affecter la sécurité.

Les dimensions, les pentes longitudinales et transversales et les rayons de courbes de raccordement seront proposés dans ce chapitre.

X.2. Classification de l'aérodrome :

La classification de ce dernier est déterminée principalement par l'avion critique auquel cet aérodrome est destiné. Pour cela l'O.A.C.I a adopté un système de classification basé sur deux caractéristiques :

- Une opérationnelle, qui est la longueur de la piste nécessaire au décollage,
- L'autre dimensionnelle, qui est l'envergure et la voie du train principal selon les avions, c'est le code de référence de l'aérodrome.

Le code de référence se compose de deux éléments liés aux caractéristiques de performances et aux dimensions de l'avion :

5. Un chiffre de code : fondé sur la distance de référence de l'avion.
6. Une lettre de code : fondée sur l'envergure de l'avion.

Tableau X. 1 Code de référence des aérodromes

Élément de code 1	
Chiffre de code	Distance de référence de l'avion
1	moins de 800 m
2	de 800 m à 1 200 m exclus
3	de 1 200 m à 1 800 m exclus
4	1 800 m et plus
Élément de code 2	
Lettre de code	Envergure
A	moins de 15 m
B	de 15 m à 24 m exclus
C	de 24 m à 36 m exclus
D	de 36 m à 52 m exclus
E	de 52 m à 65 m exclus
F	de 65 m à 80 m exclus

Selon les caractéristiques de l'avion critique (page 52) et le tableau ci-dessus, l'aérodrome doit être classé : 4E pour accueillir le B777-300ER.

X.3. Caractéristiques Géométriques de piste secondaire 09/27 :

X.3.1. Longueur et largeur de la piste :

La piste secondaire de l'aérodrome d'Alger fait 3500m de longueur et 60m de largeur.

X.3.2. Pente longitudinale :

Selon O.A.C.I il est recommandé que la pente longitudinale des pistes avec chiffre de code 4 ne dépasse pas 1%

$(\text{Altitude max} - \text{Altitude min}) / \text{Longueur de la piste} < 1\%$

Il est recommandé qu'aucune portion de piste ne présente une pente longitudinale dépassant 1,25 % lorsque le chiffre de code est 4.

X.3.3. Changements de pente :

Lorsqu'il est impossible d'éviter les changements de pente longitudinale, il est recommandé qu'entre deux pentes consécutives, le changement de pente n'excède jamais 1,5 % lorsque le chiffre de code est 4

Il est recommandé de réaliser le passage d'une pente à une autre par des courbes de raccordement le long desquelles la pente ne varie pas de plus de 0,1 % par 30 m (rayon de courbure minimal de 30 000 m) lorsque le chiffre de code est 4.

X.3.4 Distance entre changements de pente :

Il est recommandé 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 30 000 m lorsque le chiffre de code est 4
- 45 m.

X.3.5. Profil en travers :

Selon l'annexe 14 la pente transversale doit être de 1,5 % lorsque la lettre de code de la piste est E

Mais elle ne devrait en aucun cas être supérieure à 1,5 % ou 2 %, selon le cas, ni inférieure à 1 %, sauf aux intersections des pistes ou des voies de circulation, auxquelles des pentes moins prononcées peuvent être nécessaires.

X.3.6. Accotements :

D'après l'annexe 14, il est recommandé :

7. 60 m d'accotement lorsque la lettre de code est D

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

X.3.7. Bande de piste :

D'après l'annexe 14, il est recommandé :

- La bande de piste s'étendra en amont du seuil et au-delà de l'extrémité de la piste ou du prolongement d'arrêt jusqu'à une distance d'au moins 60 m lorsque le chiffre de code est 2
- Autant que possible, toute bande à l'intérieur de laquelle s'inscrit une piste avec approche de précision s'étendra latéralement, sur toute sa longueur, jusqu'à au moins 140 m lorsque le chiffre de code est 4
- La pente longitudinale, sur la partie d'une bande qui doit être nivelée, ne dépasse pas 1,5 % lorsque le chiffre de code est 4 et une pente transversale qui ne dépasse pas 2,5 % lorsque le chiffre de code est 4.

XI.4. Conclusion :

L'aérodrome d'Alger elle est déjà en classe 4 E. On n'aura pas recours à des extensions.

Mais il faudrait quand même corriger les pentes longitudinales et transversales au niveau de notre piste, accotements et bande selon les recommandations de l'annexe 14.

Chapitre 11 :

Métre

CHAPITRE XI : Métré

XI.1. Introduction :

Le métré est composé de calculs de surfaces et de volumes qui permettent de déterminer les quantités de matières à mettre en œuvre. Il a pour but l'évaluation des ouvrages en partant de leur mesurage suivant les cas : avant, pendant et après l'exécution des travaux. Dans notre cas, le métré consistera à estimer les quantités des matériaux utilisés et le coût du renforcement.

XI.2. Calcul des surfaces :

Tableau XI. 1 Résultats du calcul des surfaces des chaussées et accotements

Chaussée	Surface (m ²)
Piste secondaire (du pk 0+000 au pk 0+550)	24750
Piste secondaire (du pk 0+550 au pk 0+600)	2250
Piste secondaire (du pk 0+600 au pk 1+137)	24165
Piste secondaire (du pk 1+137 au pk 1+150)	586
Piste secondaire (du pk 1+150 au pk 2+900)	78750
Piste secondaire (du pk 2+900 au pk 3+500)	27000
Prolongement d'arrêt	9600
RESA	2400
Accotements	49733
Bandes	310900

XI.3. Calcul des quantités :

XI.3.1. Fraisage et revêtement existant :

Tableau XI. 3 Volume à fraiser

Désignations	Volume (m ³)
Piste secondaire (du pk 0+000 au pk 0+550)	0
Piste secondaire (du pk 0+550 au pk 0+600)	698
Piste secondaire (du pk 0+600 au pk 1+137)	2900
Piste secondaire (du pk 1+137 au pk 1+150)	117
Piste secondaire (du pk 1+150 au pk 2+900)	20475
Piste secondaire (du pk 2+900 au pk 3+500)	7020
Prolongement d'arrêt	768
RESA	192
Accotements	6963

XI.3.2. Exécution du corps de chaussée :

XI.3.2.1. Enrobé à module élevé :

Tableau XI. 4 Volume d'EME nécessaire

Aire	Epaisseur E.M.E (cm)	Volume E.M.E (m ³)
Piste secondaire (du pk 0+000 au pk 0+550)	0	0
Piste secondaire (du pk 0+550 au pk 0+600)	35	788
Piste secondaire (du pk 0+600 au pk 1+137)	16	3867
Piste secondaire (du pk 1+137 au pk 1+150)	21	123

Piste secondaire (du pk 1+150 au pk 2+900)	28	22050
Piste secondaire (du pk 2+900 au pk 3+500)	35	9450

XI.3.2.2. Béton bitumineux à module élevé :

Tableau XI. 5 Volume de BBME nécessaire

Aire	Epaisseur B.B.M.E (cm)	Volume B.B.M.E (m ³)
Piste secondaire (du pk 0+000 au pk 0+550)	15	3713
Piste secondaire (du pk 0+550 au pk 0+600)	10	225
Piste secondaire (du pk 0+600 au pk 1+137)	9	2175
Piste secondaire (du pk 1+137 au pk 1+150)	8	47
Piste secondaire (du pk 1+150 au pk 2+900)	8	6300
Piste secondaire (du pk 2+900 au pk 3+500)	9	2430
Prolongement d'arrêt	16	1536

XI.3.2.3. Béton bitumineux 0/14 :

Tableau XI. 6 Volume de BB nécessaire

Aire	Epaisseur B.B (cm)	Volume B.B (m ³)
Accotements	15	7460

XI.3.2.4. Grave bitume 0/20 :

Tableau XI. 7 Volume de GB nécessaire

Aire	Epaisseur G.B (cm)	Volume G.B (m ³)
Accotements	20	9947

XI.3.2.5. TUF :

Tableau XI. 8 Volume de TUF nécessaire

Aire	Epaisseur TUF (cm)	Volume TUF (m ³)
Bandes	30	93270

XI.3.2.6. Nappe de géogridde :

Deux Nappes de géogridde seront utilisées pour la piste secondaire.

Tableau XI. 9 Surface de nappe géogridde nécessaire

Aire	Surface (m ²)
Piste secondaire	157501

D'autres matériaux seront nécessaires pour les travaux de réalisation, on cite :

- Couche d'accrochage en émulsion cationique.
- Peinture pour les marquages de chaussées.

XI.4. Devis quantitatif et estimatif du projet :

Tableau XI. 10 Devis quantitatif et estimatif

DESIGNATION	U	qté marché	PU/HT	Montant
Section 01 : installation de chantier	FF			
Installation de chantier	F	1	45 000 000,00	45 000 000,00
Etude d'exécution	F	1	15 000 000,00	15 000 000,00
Section 02 : travaux préparatoire et terrassement				
Fraisage de revêtement (chaussée et accotement)	M ³	39 135,00	1 800,00	70 443 000,00
Décaissement	M ²	63 000,00	950,00	59 850 000,00
Réglage et compactage des Formes	M ²	245 000,00	116,00	28 420 000,00
Section 03 : chaussée et accotements				
Couche de fondation en Grave concassé 0/31.5	M ³	10 230,00	2 850,00	29 155 500,00
Couche d'accrochage en émulsion cationique	T	220,00	80 000,00	17 600 000,00
Couche de base en Grave Bitume 0/20	T	24 675,00	6 500,00	160 387 500,00
Revêtement en Béton Bitumineux (accotement) béton Bitumineux (0/10)	T	18 500,00	7 100,00	131 350 000,00
Géogrille anti -remontée de fissure (piste 05/23)	M ²	105 000,00	600,00	63 000 000,00
Couche d'imprégnation au cut-back 0/1	T	35,00	85 000,00	2 975 000,00
Béton bitumineux à module élevé (BBME 0/14)	T	38 000,00	8 600,00	326 800 000,00
EME 0/20	T	85 253,00	8 100,00	690 549 300,00
TUF	M ³	93 270,00	2 000,00	186 540 000,00
Section 04 : ouvrage d'assainissement et de balisage				
Réalisation de regards de visite en béton armé y compris couvercle en fonte type D400 0.80*0.80*1.00 m et toutes sujétions de réalisation.	U	235,00	85 000,00	19 975 000,00
Réalisation des regards de visite pour passage sous piste 1,21*1,54*0,9m	U	12,00	160 000,00	1 920 000,00
Travaux de F/P de fourreaux et codes pour le balisage nocturne des accotements de piste, piste principale, chemins de roulement et parkings avec l'ouverture et la fermeture des saignées en béton.	ML	2 200,00	1 800,00	3 960 000,00
Ouverture de tranchées en terre et mise en place de fourreaux Ø110 mm en PVC PN10 avec l'enrobage en sable, fil avertisseur et la fermeture des tranchées.	ML	6 820,00	5 000,00	34 100 000,00
Rehausse de caniveaux : Nettoyage, ponçage du support, perforation d'orifice, mise en place du coffrage et ferrailage avec produits de scellement et d'accrochage (SIKA) et bétonnage à 400 kg/m ³ .	ML	4 000,00	4 200,00	16 800 000,00
Section 05 : peinture pour balisage diurne				
Marquage des chaussées				
Peinture Blanche	M ²	12 300,00	600,00	7 380 000,00
			TOTAL HT	1 911 205 300,00
			TVA 19%	363 129 007,00
			TOTAL TTC	2 274 334 307,00

Conclusion générale

Conclusion générale :

La mise aux normes de la piste secondaire 07/29 l'aérodrome d'Alger-Houari-Boumediene a conduit à une modification importante de certaines de ses caractéristiques physiques et structurelles.

Il ressort de cette étude une structure de chaussée plus épaisse que celle existante, ce qui s'explique du fait de l'augmentation conséquente de la charge de calcul sur la base du nouvel avion critique 777-300ER, d'où il y a lieu de compenser la différence d'épaisseur en adaptant l'ancienne structure à la nouvelle sollicitation. Pour ce faire, nous nous sommes basés sur le module équivalent et l'épaisseur équivalente, déterminés par la transformation de structures en une seule couche. Cette transformation préconise un renforcement variant de 15cm à 45 cm de béton bitumineux à module élevé et enrobe à module élevé après des fraisage variée selon la qualité de la chaussée existante pour que l'ancienne structure acquiert les caractéristiques mécaniques nécessaires pour l'accueil de l'aéronef dimensionnant.

En ce qui concerne l'assainissement de la piste secondaire 07/29 de l'aéroport international d'Alger-Houari-Boumediene, les caniveau existante permettant bien évacuer les eaux de la plate-forme de chaussée et celles provenant de 60 m de part et d'autre de l'axe de la piste.

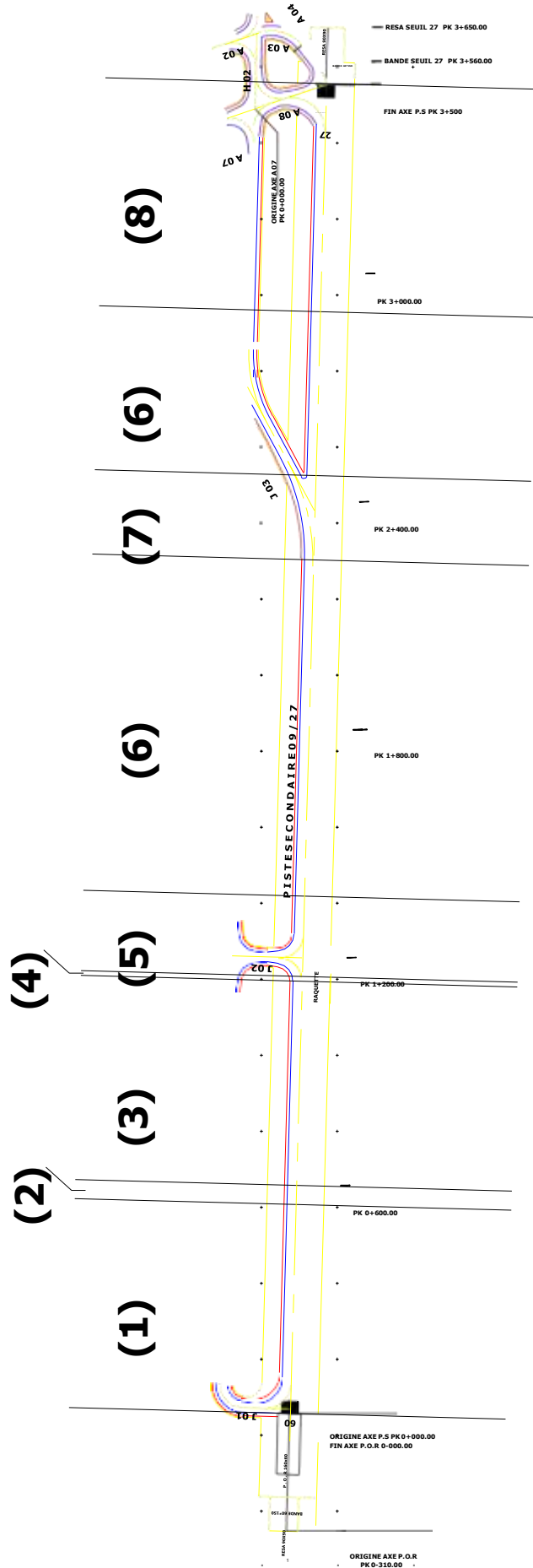
En définitive, la construction ou la mise à niveau d'un aérodrome obéit à des normes internationales définies par les organisations en charge de l'aviation civile, tant sur sa conception que sur sa mise en œuvre. C'est un domaine très sensible d'où la nécessité de respecter scrupuleusement les conventions internationales.

Pour conclure ce mémoire nous a permis d'acquérir de nouvelles connaissances ainsi de développer notre maîtrise des logiciels Civil 3D et AutoCAD.

Bibliographie :

- [1] D.G.A.C. Direction Générale de l'Aviation Civile. *L'Instruction Technique sur les Aérodrômes. Civils I.T.A.C.* (1998) Chapitre 1, pages : 3-4.
- [2] D.G.A.C. Direction Générale de l'Aviation Civile. *L'Instruction Technique sur les Aérodrômes. Civils I.T.A.C.* (1998) Chapitre 11, pages : 5-8.
- [3] Seggani Kahina. *Etude de création d'un aéroport à Oued Zine Wilaya d'Adrar*, Mémoire sous l'encadrement de Mr. Hales, N. ENSTP. (2016) pages : 85-90.
- [4] Bouzidi Brahim & Lemouari Ahmed. *Etude de renforcement et développement des infrastructures de l'aéroport de Hassi R'mel*, Mémoire sous l'encadrement de Mr. Ferrat, A. & Mme. Chiali, S. ENSTP. (2019) pages : 46-47.
- [5] O.A.C.I. Organisation de l'Aviation Civile Internationale. *Annexe 14 à la convention relative à l'aviation civile internationale*. Volume 1. (2018).
- [6] E.A.S.A. European Aviation Safety Agency. *Certification Specifications and Guidance Material for Aerodrome Design*. (2022).
- [7] O.A.C.I. Organisation de l'Aviation Civile Internationale. *Annexe 14 à la convention relative à l'aviation civile internationale*. Volume 2. (2020).
- [8] CHEAA-I-1. *Conditions d'homologation et procédures d'exploitation des aérodrômes*. Annexe A – Conditions techniques générales. (2007).

Annexes



Caractérisation de l'avion critique

Boeing	777-300ER
Capacité (passagers)	358 - 550
Cargo (volume)	201.6 m ³
Longueur	73.9 m
Envergure	64.8 m
Hauteur	18.7 m
Masse maximum au décollage	352 500 kg
Masse à vide opérationnelle	168 000 kg
Centrage limite arrière	46,23%
Vitesse de croisière	Mach 0.84
Rayon maximal en charge	14.500km ou 7.880nm
Distance nécessaire au décollage	3200 m
Distance nécessaire à l'atterrissage	3600 m
Pression pneumatique	1,55 MPa
Capacité kérosène	181.280 l
Moteurs	GE90-115B

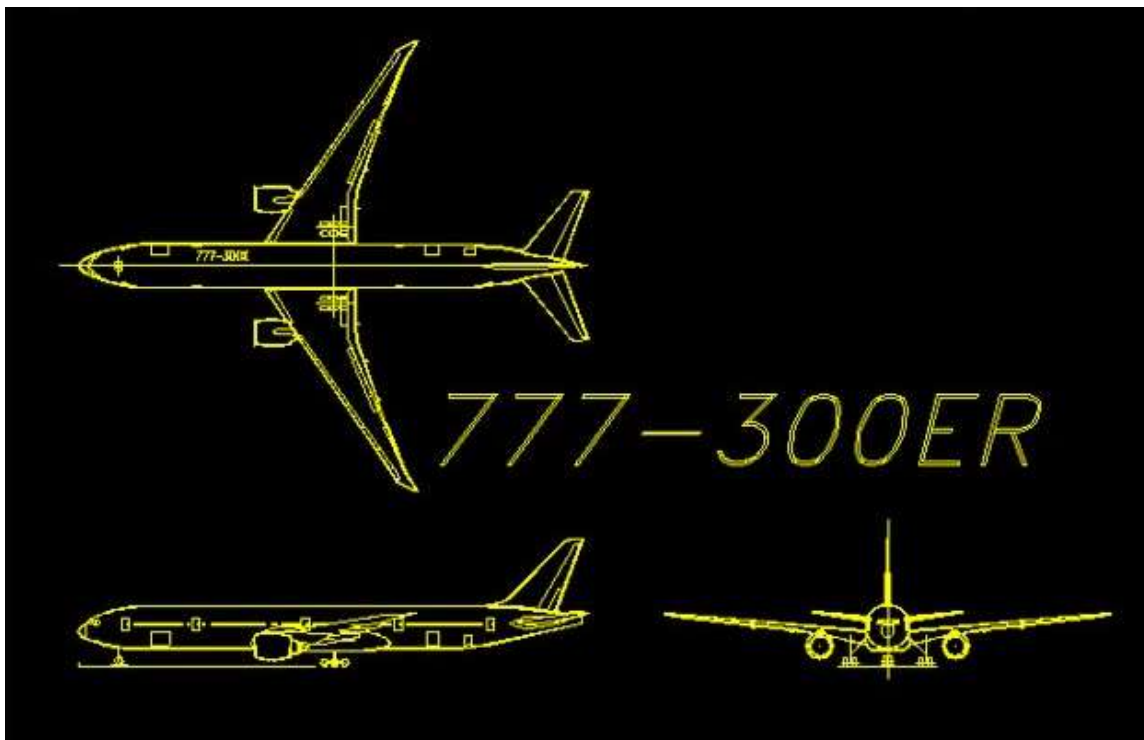


Figure : Dessin AutoCAD du B777-300ER

Abaque de dimensionnement du Boeing 777-300ER

MASSE MAXI ROULAGE (kg) = 352 500
 MASSE A VIDE OPERATIONNELLE (kg) = 168 000
 CENTRAGE AR MAX (%) = 46.23

B777 300ER

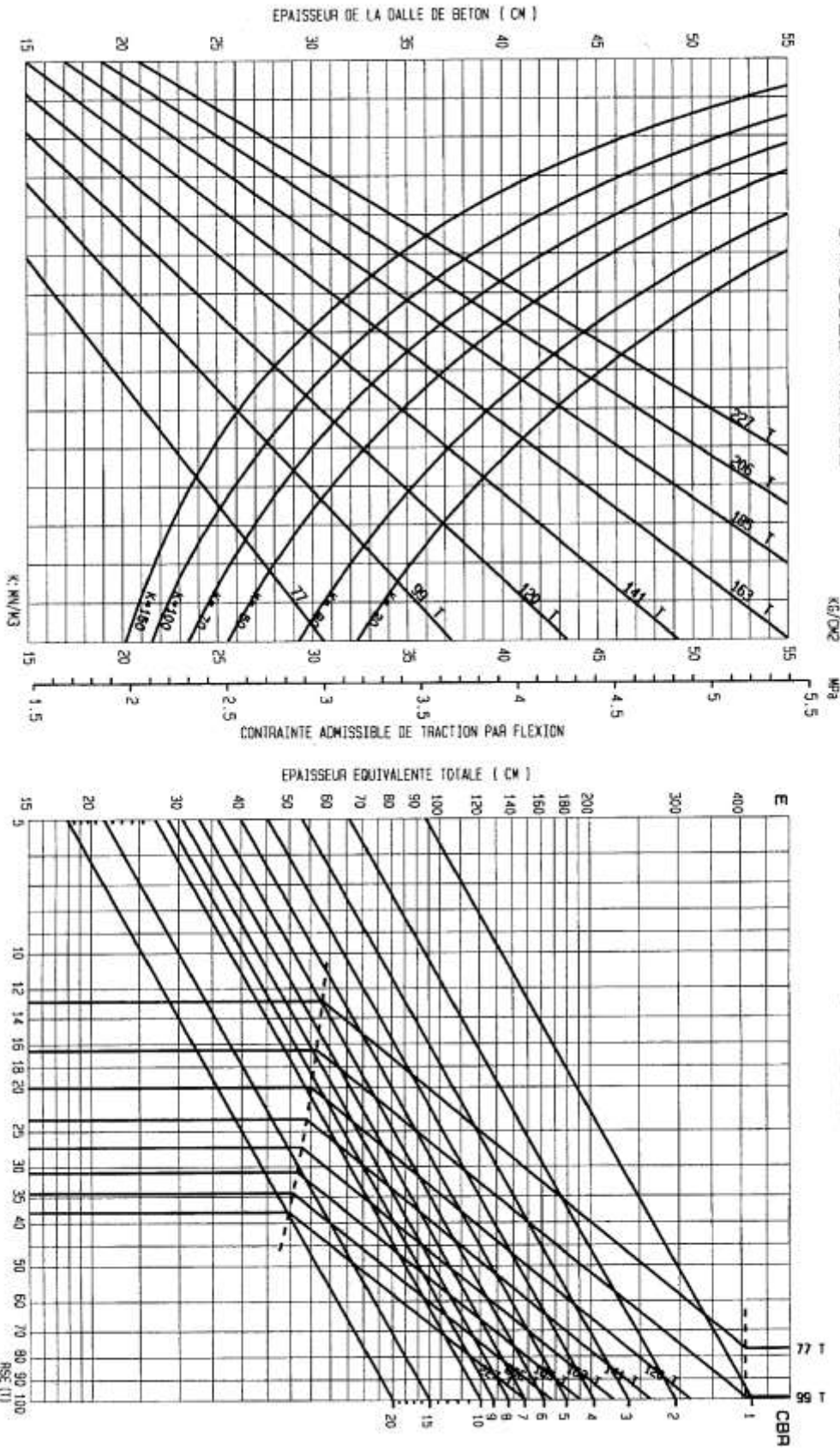
ATERRISEUR PRINCIPAL

6 ROUES

PRESSION = 1.56 MPa

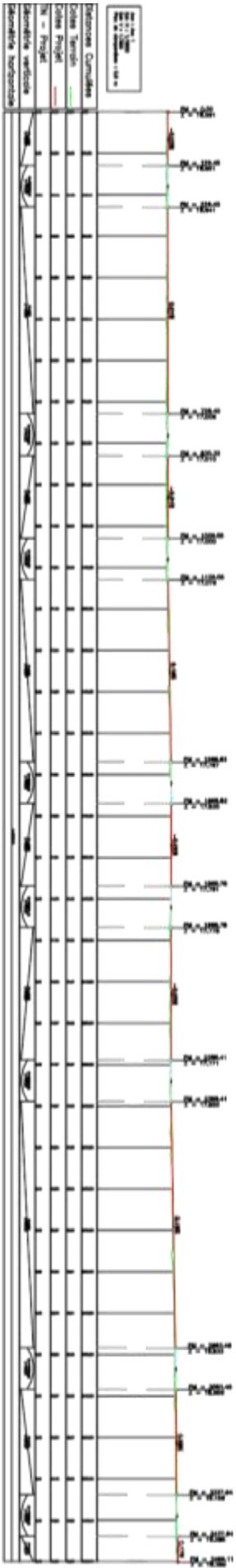
CHAUSSEE RIGIDE

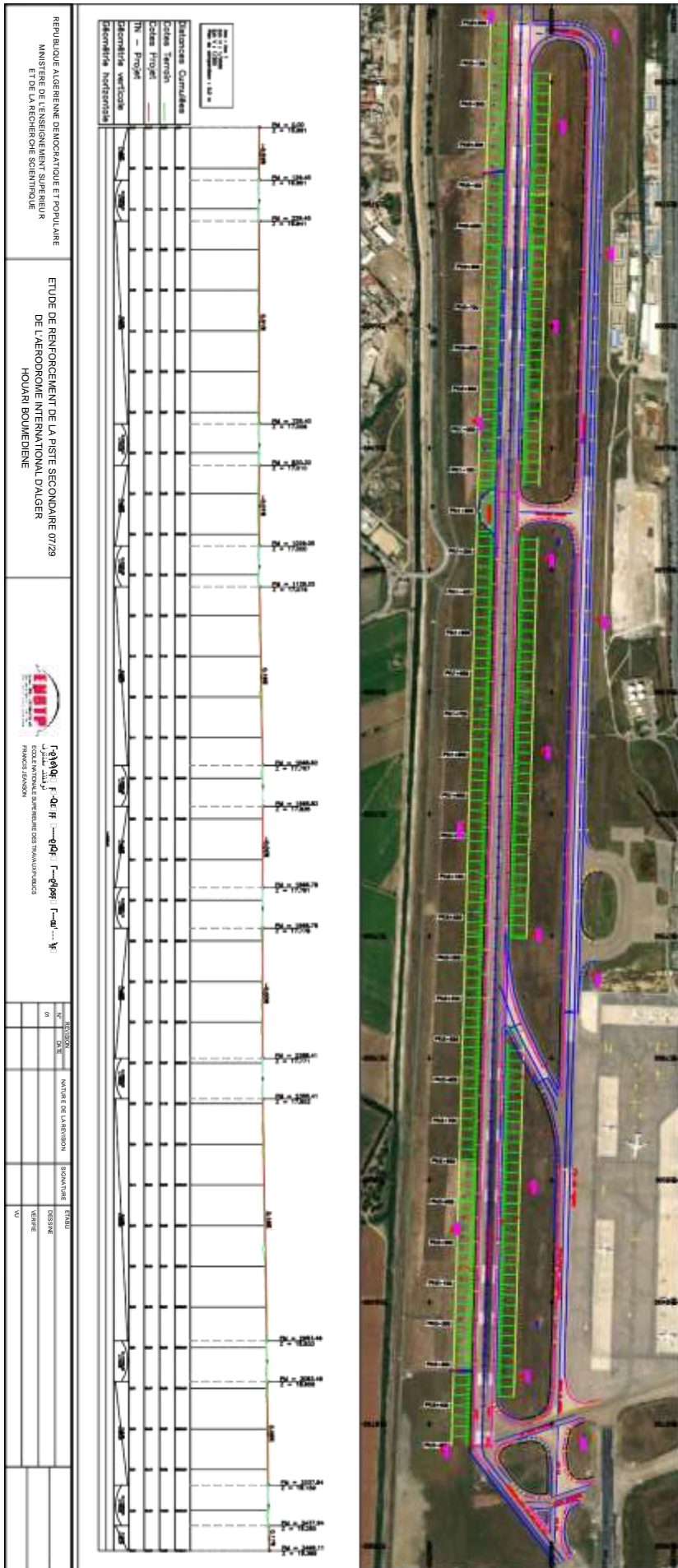
CHAUSSEE SOUPLE



abaque établi par le Service Technique de l'Aviation Civile - décembre 2005
 diffusion libre sous réserve du respect de l'intégrité du document reproduit

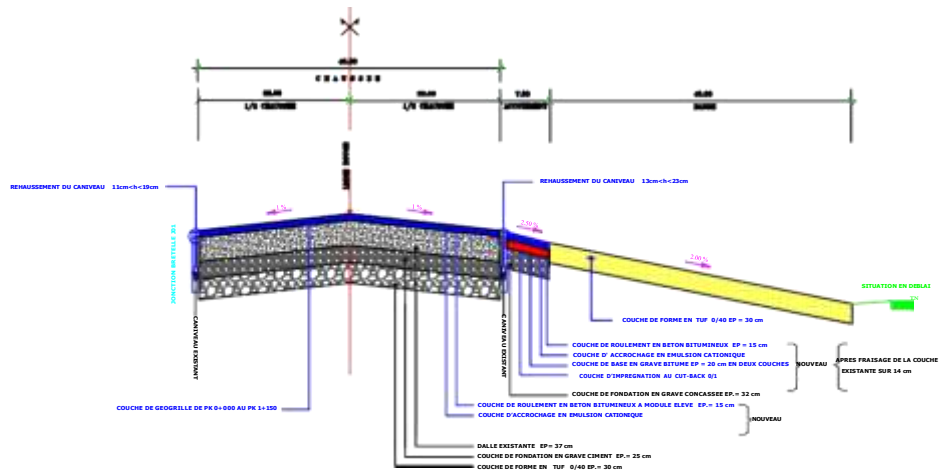
ELEM	CARACTERISTIQUES DES ELEMENTS	LONGUEUR	ABSCISSE	Z
			0.00	16.991
D1	PENTE=-0.03%	129.45		
			129.45	16.951
PAR1	Z=16.940 R=226022.69	100		
			229.45	16.941
D2	PENTE=0.01%	498.95		
			728.40	17.006
PAR2	Z=17.015 R=561166.64	100		
			830.32	17.010
D3	PENTE=-0.01%	198.72		
			1029.05	17.000
PAR3	Z=17.022 R=61634.58	100		
			1129.05	17.076
D4	PENTE=0.16%	439.77		
			1568.82	17.767
PAR4	Z=17.841 R=55835.63	100		
			1668.62	17.835
D5	PENTE=-0.02%	199.96		
			1868.78	17.791
PAR5	Z=17.775 R=508261.14	100		
			1968.78	17.778
D6	PENTE=0.00%	319.63		
			2288.41	17.771
PAR6	Z=17.792 R=59803.53	100		
			2388.41	17.852
D7	PENTE=0.16%	595.05		
			2983.46	18.833
PAR7	Z=18.945 R=117736.65	100		
			3083.46	18.956
D8	PENTE=0.08%	254.47		
			3337.94	19.159
PAR8	Z=19.142 R=101393.95	100		
			3437.94	19.285
D9	PENTE=0.17%	61.17		
			3799.11	19.389





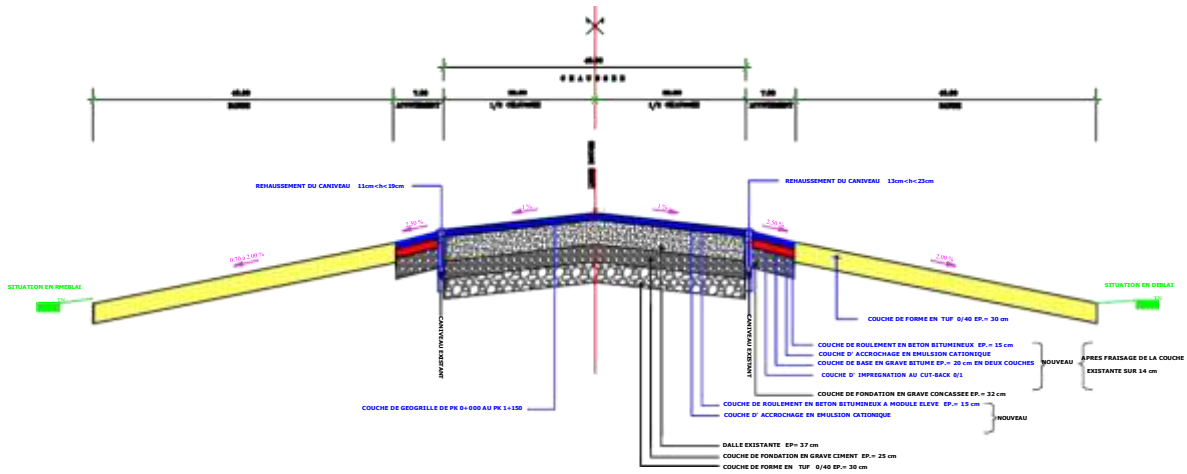
PROFIL EN TRAVERS TYPE DE LA PISTE SECONDAIRE 09/27
DU PK 0+000.00 AU PK 0+120.00

ECH : 1/250/25



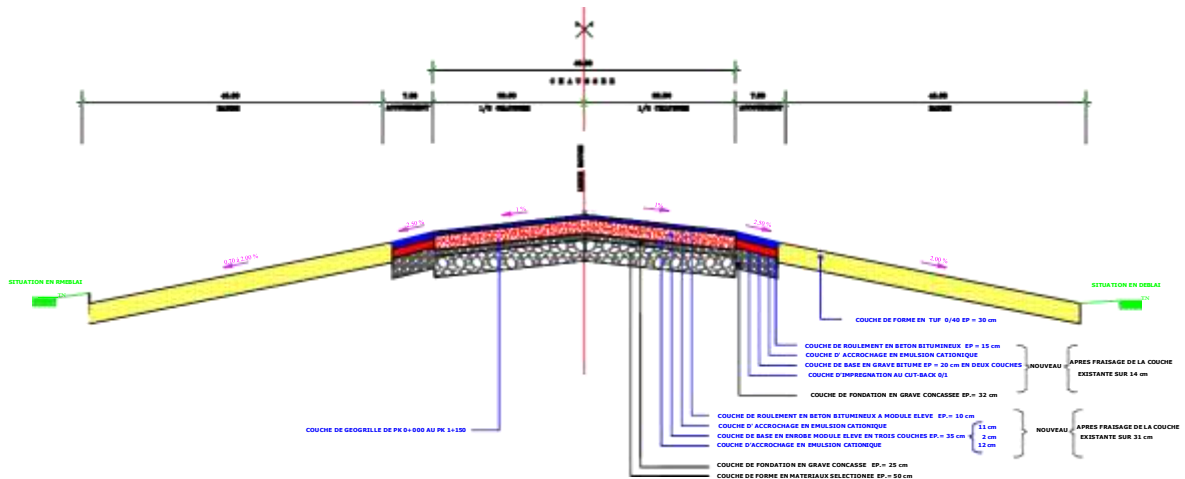
PROFIL EN TRAVERS TYPE DE LA PISTE SECONDAIRE 09/27
DU PK 0+120.00 AU PK 0+550.00

ECH : 1/250/25



PROFIL EN TRAVERS TYPE DE LA PISTE SECONDAIRE 09/27
DU PK 0+550.00 AU PK 0+600.00

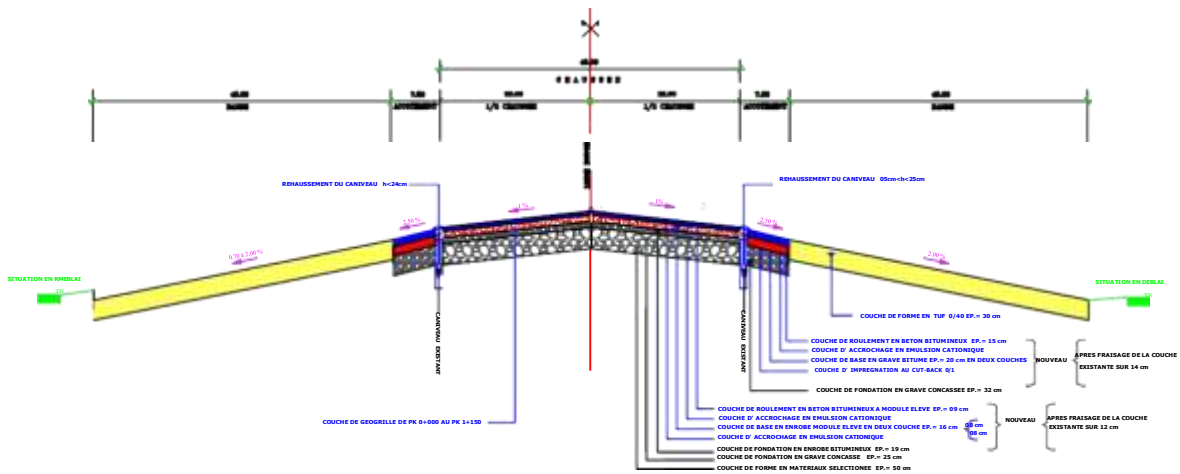
ECH : 1/250/25



PROFIL EN TRAVERS TYPE DE LA PISTE SECONDAIRE 09/27

DU PK 0+600.00 AU PK 1+137.35

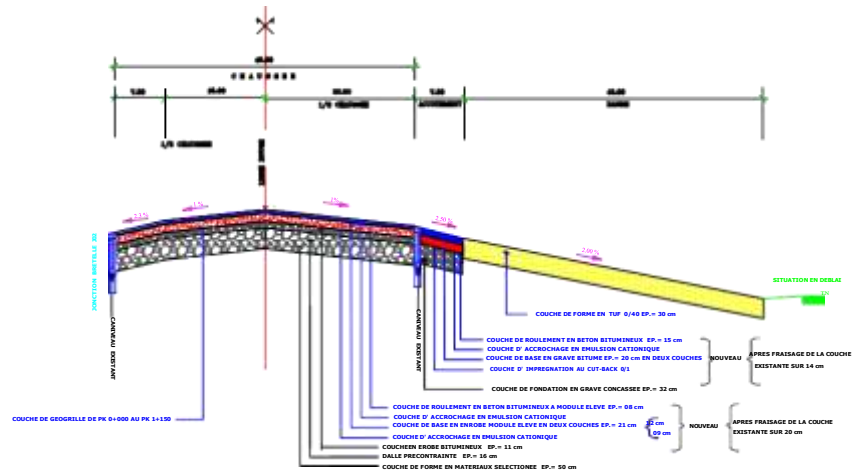
ECH : 1/250/25



PROFIL EN TRAVERS TYPE DE LA PISTE SECONDAIRE 09/27

DU PK 1+137.35 AU PK 1+150.00

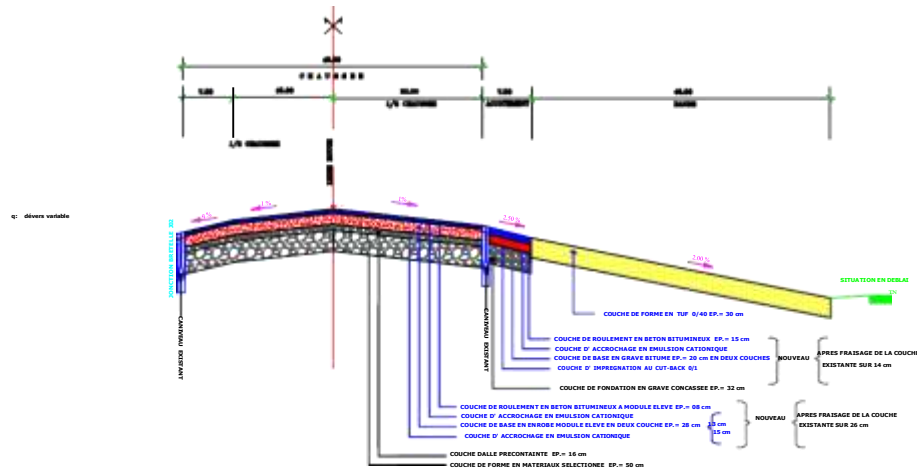
ECH : 1/250/25



PROFIL EN TRAVERS TYPE DE LA PISTE SECONDAIRE 09/27

DU PK 1+150.00 AU PK 1+261.35

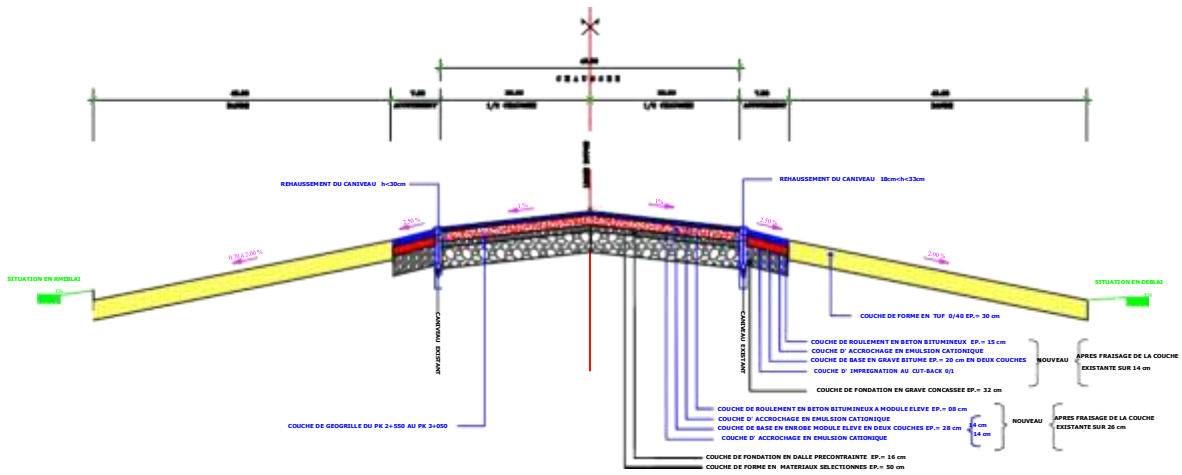
ECH : 1/250/25



PROFIL EN TRAVERS TYPE DE LA PISTE SECONDAIRE 09/27

DU PK 2+550.00 AU PK 2+900.00

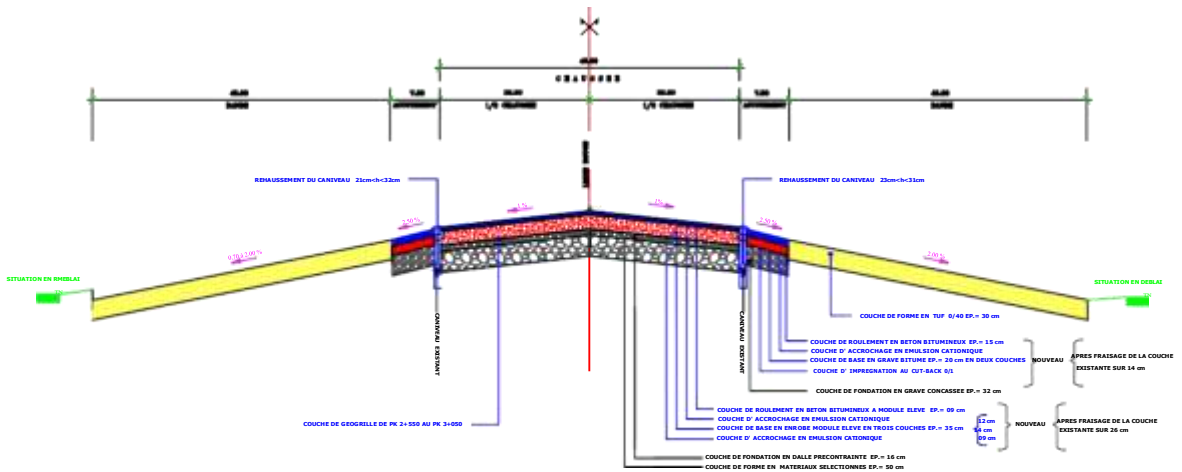
ECH : 1/250/25



PROFIL EN TRAVERS TYPE DE LA PISTE SECONDAIRE 09/27

DU PK 2+900.00 AU PK 3+050.00

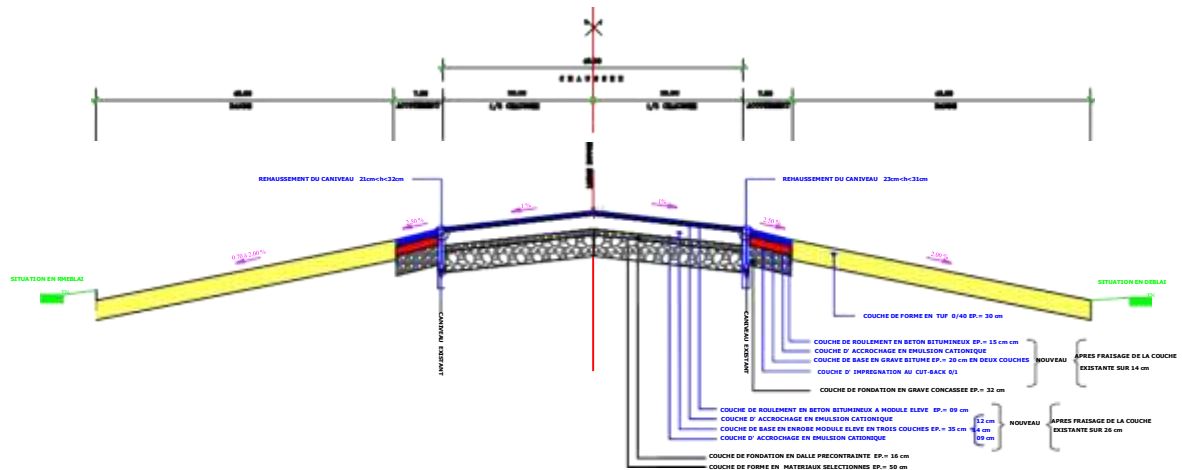
ECH : 1/250/25



PROFIL EN TRAVERS TYPE DE LA PISTE SECONDAIRE 09/27

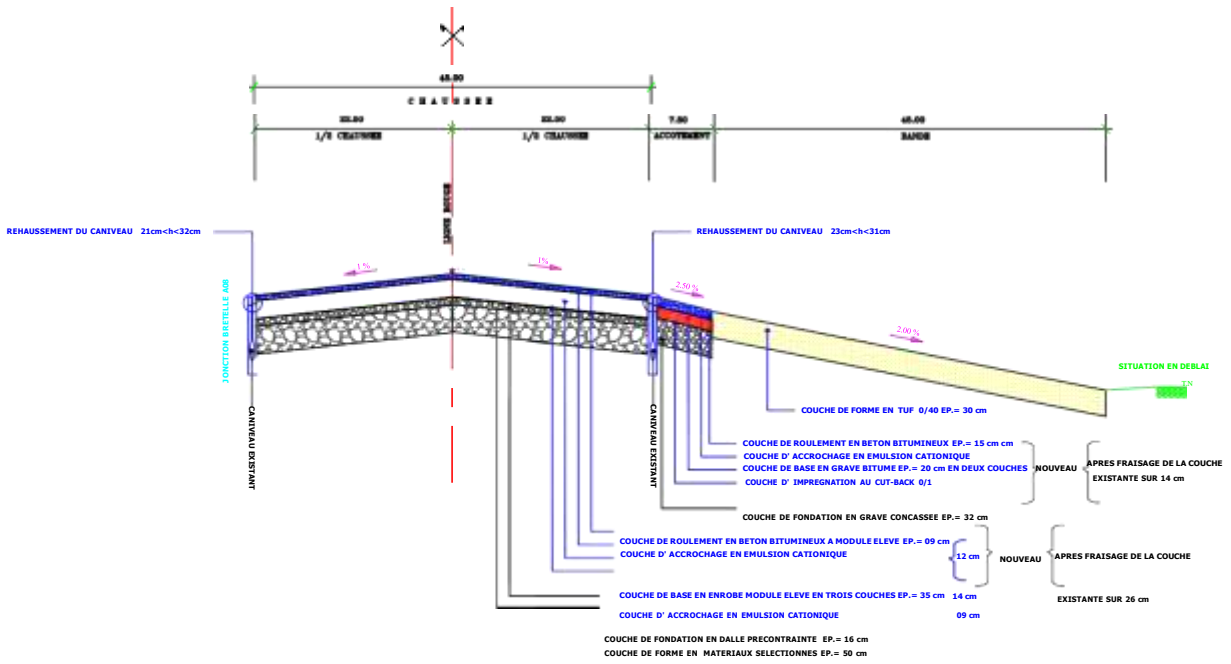
DU PK 3+050.00 AU PK 3+375.00

ECH : 1/250/25



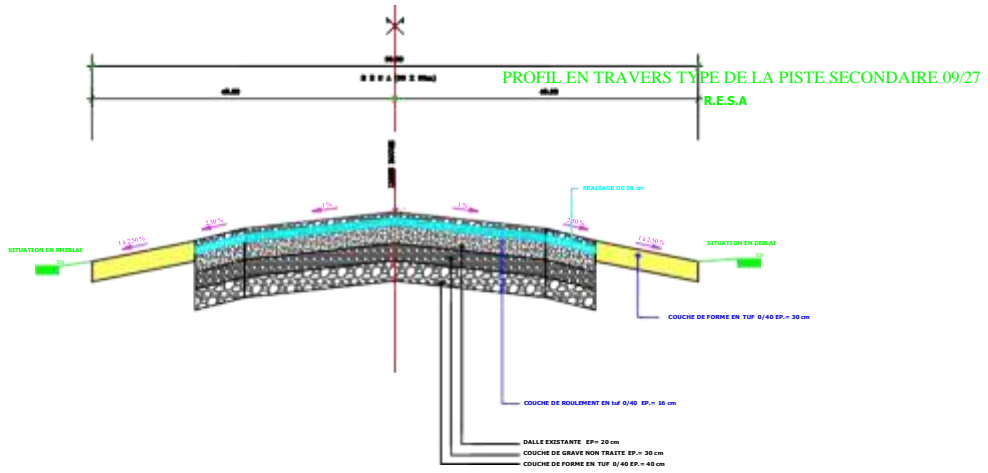
PROFIL EN TRAVERS TYPE DE LA PISTE SECONDAIRE 09/27
DU PK 3+375.00 AU PK 3+500.00

ECH : 1/250/25



DU PK -0+310.00 AU PK -0+220.00

ECH : 1/250/25

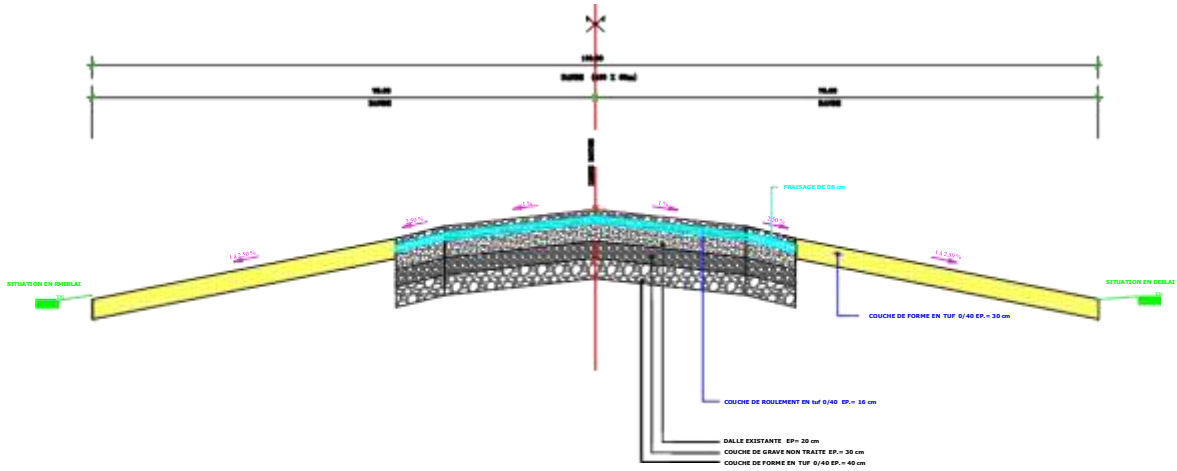


PROFIL EN TRAVERS TYPE DE LA PISTE SECONDAIRE 09/27

BANDE

DU PK -0+220.00 AU PK -0+160.00

ECH : 1/250/25



PROFIL EN TRAVERS TYPE DE LA PISTE SECONDAIRE 09/27

P.O.R

DU PK -0+160 AU PK -0+000.00

ECH : 1/250/25

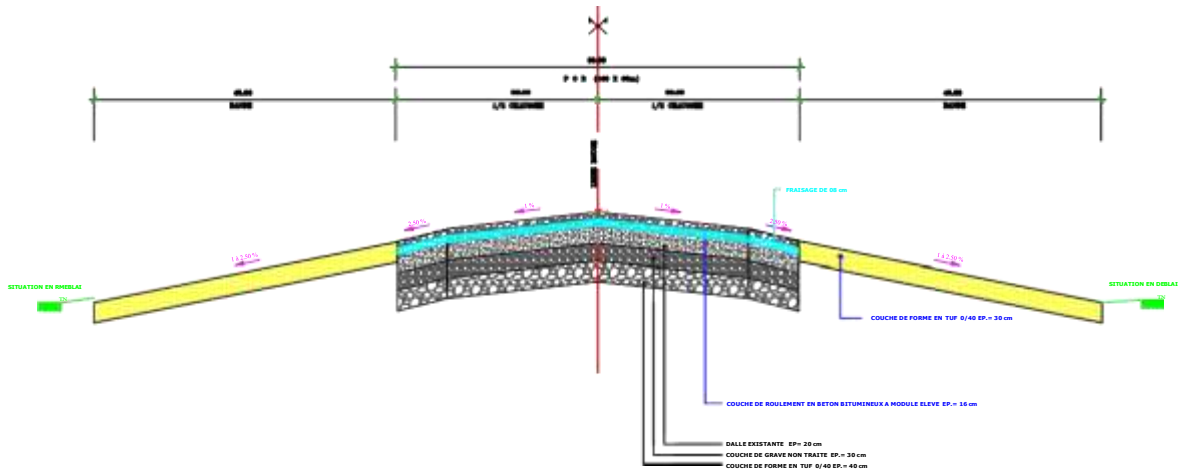




Figure : Fraisage de la piste



Figure : Réalisation du EME