

ETUDE ET CONCEPTION DES AERODROMES CIVILS

**Conformément aux normes et recommandations
de l'Annexe 14 à la Convention de Chicago**

Par: Dr. Rouili Ahmed

Editions et Distribution DAR RAIHANA. Alger.
ISBN : 9961-822-39-0, DL : 2121-2002.

AVANT –PROPOS

Le présent manuel concerne l'étude et la conception des aérodromes civils. Par terme «Aérodrome» l'auteur désigne l'aire de mouvement qui est l'espace du sol spécialement aménagé pour permettre, l'atterrissage, le décollage et l'évolution au sol des avions ainsi que les aires de stationnement. L'étude et la conception génie civil d'un aérodrome désigne le calcul et le choix des différentes caractéristiques physiques et géométriques des éléments constituant l'aire de mouvement, en plus des servitudes et des aménagements spécifiques aux aérodromes.

Vu le caractère universel du transport aérien, la conception de ce genre de projets est strictement réglementée par une convention de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (L'OACI), dite convention de Chicago, et ayant pour but d'atteindre un maximum d'uniformité dans les normes et les pratiques recommandées entre les États signataires de la convention. Le règlement régissant la conception des aérodromes et les installations au sol figure dans l'annexe 14 à la convention de Chicago ; à laquelle des amendements sont introduits périodiquement pour répondre à l'évolution continue du monde aéronautique.

Considérant que les articles de ce règlement sont trop condensés et trop « professionnelles » pour être facilement assimilés par un concepteur débutant ou un étudiant-ingénieur, l'auteur présente dans ce manuel une collection d'information, constituée d'une combinaison du règlement de l'OACI en matière de normes et recommandations et des instructions basées sur les techniques et méthodes développées par le service français des bases aériennes STBA dans les ITAC (Instructions Techniques sur les Bases Aériennes). Car les procédures suivies en Algérie sont basées sur ces dernières.

La succession des chapitres de ce manuel a été élaborée en grande partie en concordance avec le programme du module de conception des aérodromes, tracé par le conseil pédagogique national pour les étudiants Ingénieurs en génie civil, dans un souci de répondre en mieux, à un besoin très souvent exprimé par les étudiants, en matière de documentations pédagogiques relatives à la conception des aérodromes, et leur donner les moyens d'apprécier et de connaître la diversité des sujets qui intéressent la conception d'un aéroport de manière générale et les aérodromes en particulier notamment : l'avion, les aires de manœuvre, les infrastructures terrestres, les besoins techniques et industriels.

On doit préciser que le contenu de ce manuel, et les sujets traités ne sont pas complètes pour couvrir tous les détails techniques d'un projet d'aérodrome, ceci est dû : au cadre pédagogique limité tracé pour ce manuel, à la complexité du projet et l'interférence dans certaines situations de plusieurs spécialités de l'aéronautique à travers les différentes Annexes de l'OACI. Le manuel traite les thèmes jugés nécessaires à tout concepteur-débutant, d'avoir comme base d'information pour pouvoir assimiler l'étude et la conception d'un nouveau projet d'aérodrome.

L'attention de l'utilisateur est enfin appelée sur le fait que Les normes et pratiques recommandées de l'annexe 14 à la convention de Chicago ainsi que les manuels de conception des aérodromes et autres documentations de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale, constituent la source principale des informations contenues dans la partie « conception » de ce manuel. Les recommandations, figures et quelques exemples d'application ont été reproduits exactement comme stipulés dans les publications de l'OACI ; en Langue française, CONFORMEMENT AUX CLAUSES DE L'AUTORISATION ACCORDEE PAR L'OACI à L'AUTEUR POUR LA PUBLICATION DE CE MANUEL.

L'auteur: Rouili Ahmed

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|-----|
| • <u>AVANT-PROPOS</u> | |
| • <u>CHAPITRE 1: GENERALITES</u> | |
| 1.1- INTRODUCTION..... | 1 |
| 1.2- HISTORIQUE DE L'AVIATION CIVIL..... | 2 |
| 1.3- ORGANISATION DE L'AVIATION CIVILE INTERNATIONALE, OACI..... | 2 |
| 1.4- OBJECTIFS DE L'OACI..... | 3 |
| 1.5- CONVENTION DE CHICAGO..... | 3 |
| 1.6- FONCTIONNEMENT DE L'OACI..... | 6 |
| 1.8- LES ANNEXES A LA CONVENTION DE CHICAGO.... | 5 |
| 1.8-DISPOSITION CONSTITUANTES D'UNE ANNEXE.... | 5 |
| • <u>CHAPITRE 2: MATERIELS AERIENS</u> | |
| 2.1- HISTORIQUE..... | 7 |
| 2.2- INFLUENCE DU MATERIEL AERIEN SUR L'INFRASTRUCTURE..... | 7 |
| 2.3- CARACTERISTIQUES GENERALES DES AVIONS.... | 8 |
| 2.4- REPARTITION DES CHARGES..... | 8 |
| 2.5- LES ATTERRISSEURS..... | 9 |
| 2.6- LA PRESSION DES PNEUMATIQUES..... | 10 |
| 2.7- LE NUMERO D'ACN..... | 11 |
| 2.8- NOTE SUR LA CLASSIFICATION DES AVIONS..... | 11 |
| • <u>CHAPITRE 3: INFRASTRUCTURES DE NAVIGATION</u> | |
| 3.1- GENERALITES..... | 14 |
| 3.2- DISPOSITIFS ET MOYENS DE NAVIGATION..... | 15 |
| 3.3- LA NAVIGATION AERIENNE..... | 15 |
| 3.4- CONTROLE DE LA CIRCULATION AERIENNE | |
| 3.5- METEOROLOGIE..... | 19 |
| • <u>CHAPITRE 4: CONCEPTION D'UN AERODROME</u> | |
| 4.1- CONSTITUANT D'UN AERODROME..... | 22 |
| 4.2- CLASSIFICATION DES AERODROMES..... | 22 |
| 4.3- CODE DE REFERENCE D'UN AERODROME..... | 23 |
| 4.4- DIRECTION D'ENVOL..... | 25 |
| 4.5- PISTE D'ENVOL..... | 31 |
| 4.6- VOIES DE CIRCULATION..... | 41 |
| 4.7- BANDES D'ENVOL..... | 45 |
| 4.8- AIRE DE STATIONNEMENT..... | 49 |
| • <u>CHAPITRE 5: LES CHAUSSEES D'AERODROME</u> | |
| 5.1- GENERALITES..... | 60 |
| 5.2- SPECIFICITES DES CHAUSSEES AERONAUTIQUES | 60 |
| 5.3- STRUCTURES DES CHAUSSEES AERONAUTIQUES..... | 60 |
| 5.4- TYPES DE CHAUSSEES AERONAUTIQUES..... | 61 |
| 5.5- CHOIS D'UN TYPE DE CHAUSSEE..... | 62 |
| 5.6- CHOIS D'UNE CONSTITUTION DE CHAUSSEE..... | 63 |
| 5.7- NOTION D'EPAISSEUR EQUIVALENTE..... | 64 |
| 5.8- DUREE DE VIE D'UNE CHAUSSEE AERONAUTIQUE..... | 65 |
| • <u>CHAPITRE 6: DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES</u> | |
| 6.1- GENERALITES..... | 68 |
| 6.2- LE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES..... | 68 |
| 6.3- TYPE DE DIMENSIONNEMENT..... | 71 |
| 6.4- DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES SOUPLES..... | 72 |
| 6.5- DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES RIGIDE..... | 74 |
| 6.6 EXEMPLES D'APPLICATION..... | 77 |
| • <u>CHAPITRE 7 : DETERMINATION DES CHARGES ADMISSIBLES</u> | |
| 7.1- GENERALITES..... | 84 |
| 7.2- METHODE ACN/PCN..... | 84 |
| • <u>CHAPITRE 8: ASSAINISSEMENT DES AERODROMES</u> | |
| 8.1- GENERALITES..... | 90 |
| 8.2- ETUDE DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT..... | 90 |
| 8.3- ASSAINISSEMENT DES EAUX DE RUISSELLEMENT..... | 91 |
| 8.4- ASSAINISSEMENT DES EAUX SOUTERRAINES..... | 92 |
| 8.5- ASSAINISSEMENT DES EAUX POLLUEES..... | 93 |
| 8.6- DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT..... | 93 |
| • <u>CHAPITRE 9: SERVITUDES AERONAUTIQUES</u> | |
| 1. INTRODUCTION..... | 96 |
| 2. SURFACES DE DEGAGEMENTS..... | 96 |
| 3. SPECIFICATIONS DES DEGAGEMENTS..... | 100 |
| 4. CAS DES AERODROMES A PLUSIEURS PISTES..... | 101 |
| • <u>CHAPITRE 10: BALISAGE ET SIGNALISATION</u> | |
| 10.1 INTRODUCTION..... | 106 |
| 10.2 BALISAGE ET SIGNALISATION DE JOUR..... | 106 |
| 10.3 BALISAGE ET SIGNALISATION DE NUITS..... | 111 |
| • <u>CHAPITRE 11: REALISATION DU PROJET D'AERODROME</u> | |
| 11.1 CHOIX D'UN EMPLACEMENT D'AERODROME..... | 119 |
| 11.2 ETUDE PRATIQUE DU PLAN DE MASSE..... | 119 |
| 11.3 ECHELLE DU PLAN DE MASSE..... | 120 |
| 11.4 ETAPES DU PROJET | 120 |
| 11.5 ETUDES TOPOGRAPHIQUES..... | 121 |
| 11.6 ETUDE GEOLOGIQUE..... | 122 |
| 11.7 ETUDE GEOTECHNIQUE..... | 122 |
| 11.8 RECAPITULATIF..... | 124 |
| 11.9 DOSSIER DE CLIMATOLOGIE..... | 124 |
| 11.10 TRAVAUX DE TERRASSEMENT..... | 124 |
| 11.11 EXECUTION DES OUVRAGES DE DRAINAGE ET D'EVACUATION..... | 125 |
| 11.12 CONSTRUCTION DES CHAUSSEES..... | 125 |
| • <u>ANNEXE I : TABLEAUX DES CARACTERISTIQUES DES AVIONS</u> | |
| • <u>ANNEXE II : ABAQUES GENERAUX</u> | |
| • <u>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</u> | |

CHAPITRE 1 GENERALITES

1.1 INTRODUCTION

La fin du vingtième siècle marque l'avènement de l'aviation comme nouveau mode de transport. Le transport aérien est devenu, grâce notamment au développement spectaculaire des avions, un mode de déplacement courant et populaire. L'aviation a connu une progression bien plus rapide que tout autre mode de transport. L'avion en étant rapide, de part sa nature il représente un gain de temps formidable, car les moyens de transport terrestres sont soumis à certains contingences astreignantes, à savoir, la construction et l'aménagement des routes, le choix des tracés permettant la limitation des ouvrages d'art (ponts, tunnels) ainsi. C'est pourquoi l'avion est devenu le moyen de transport le mieux adapté à notre époque.

Parallèlement les infrastructures au sol en particulier les aéroports n'ont cessé d'évoluer pour pouvoir répondre aussi bien à la croissance du trafic aérien qu'aux performances croissantes des aéronefs. Depuis le début de ce siècle, la conquête de la hauteur et de la vitesse, a permis la conception d'avion de plus en plus performants au niveau de la rapidité, de la capacité et surtout de la sécurité, ce qui a engendré la conception d'infrastructures au sol de plus en plus importantes et la construction de pistes de plus en plus en longue.

Rien que durant l'année juin 1999- juin 2000, les statistiques de l'ACI (Airport Council International) montrent qu'à l'échelle internationale, plus de 1,5 milliards de personne ont pris l'avion. Les avions ont effectué plus de 29,5 millions de mouvement. Ce volume d'échange universel ne serait possible sans la mise en place et l'exploitation d'une infrastructure aéroportuaire constituée de plus que 600 aéroports repartis à travers le monde, toutes classes confondues. Ces chiffres montrent à elle seule l'ampleur de ce moyen de transport et son importance capitale dans les échanges entre les nations du monde. La progression annuelle du trafic aérien, de l'ordre de 10 à 15%. On peut admettre en moyenne le même taux de croissance pour le trafic des aéroports, soit un doublement de trafic passager tous les 5 à 6 ans. Pour répondre à cette croissance continue de l'aviation civile, Il est indispensable de concevoir des infrastructures aéroportuaires de plus en plus importantes impliquant sans doute la construction de nouveaux aéroports, l'élargissement des aéroports existants par la multiplication de nombre de pistes, et la conception de piste de plus en plus longues, pour répondre aux besoins opérationnels des avions, impliquant la recherche de matériaux et de procédé nouveau pour la construction de ces derniers.

Le caractère universel du transport aérien, constitue un aspect de solidarité de toutes les nations du monde, c'est pourquoi dans ce domaine la normalisation des procédures et règlements régissant l'aviation ont été cernées dès les premières heures de l'histoire de l'aviation civile moderne aux seins d'organisation internationale dans le but majeur est l'uniformisation des règles et dispositions auxquelles les Etats adhérents à ces organisations doivent respecter.

On ne peut parler d'aéroports sans donner un bref aperçu sur l'extraordinaire histoire de l'aviation, qui par le génie de l'homme à marquer un tournant spectaculaire dans l'histoire humaine.

1.2 HISTOIRE DE L'AVIATION CIVILE

Le rêve de voler, certaines légendes de l'Antiquité font déjà allusion à la faculté de se déplacer dans les airs, telle celle d'Icare tombant dans la mer avec ses ailes de plumes rattachées au moyen de cire. Dans le même temps, les philosophes grecs pensent eux aussi que ce rêve peut devenir un jour réalité, si l'on parvient à s'inspirer du vol des oiseaux. Mais des siècles d'études et d'expérimentations seront nécessaires avant qu'on aboutisse au premier vol d'une machine. Le physicien italien Giovanni Borelli montre en 1680 que l'homme est incapable de voler par ses propres moyens: les inventeurs se tournent alors vers la conception d'engins plus légers que l'air comme le ballon à air chaud des frères Montgolfier. Grâce aux progrès réalisés dans les domaines construction et de la mécanique L'aviation connaît au cours de la première décennie du siècle des progrès spectaculaires, qui se traduisent par des records de durée, de distance et d'altitude, ainsi que par l'apparition de nouveaux appareils. Le record le plus marquant de cette époque est sans nul doute celui qu'établit Louis Blériot le 25 juillet 1909, en traversant la Manche à bord de son monoplane en 37 min, reliant Calais (France) à Douvres (Angleterre).

A la veille de la deuxième guerre mondiale, l'avion était devenu un moyen de transport civil et militaire relativement courant. Ses performances s'étaient rapidement et considérablement améliorées. Par conséquent, une nouvelle branche autonome de la technologie était née. Dans les principaux pays industrialisés se développait un nouveau secteur de pointe sophistiqué qui exigeait l'emploi de milliers de techniciens et d'ouvriers hautement spécialisés. Divers secteurs de l'industrie se trouvent mobilisés, comme l'engineering en général, la chimie, la physique, la métallurgie, les travaux publics, les télécommunications, etc., tandis que toute une série de littérature voyait le jour.

Durant les trois décennies qui suivent la seconde guerre mondiale, des progrès considérables sont enregistrés dans tous les domaines de l'industrie aéronautique. On augmente régulièrement la capacité et la vitesse des appareils, tout en améliorant les conditions de décollage et d'atterrissage, ainsi que le confort des passagers. On dote les avions de cabines pressurisées, ce qui leur permet de voler à très hautes altitudes, de l'ordre de 10 000m. équipés d'instruments de navigation plus fiables, les appareils commerciaux deviennent plus sûrs et plus confortables, tout en présentant des performances techniques bien meilleures.

1.3 ORGANISATION DE L'AVIATION CIVILE INTERNATIONALE

L'avion est par excellence un moyen de transport international : le grand transport aérien est à l'échelle du monde et se joue des frontières ; aussi est-ce à l'échelon international que doivent être étudiés les principaux problèmes techniques et économiques que pose l'aviation commerciale internationale.

Depuis 1889, des conférences se tiennent autour du thème de l'aviation, la première organisation internationale relative à l'aviation n'est créée qu'en 1947 par la convention de Chicago. Il s'agit de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (O.A.C.I.), qui dépend de l'ONU (au même titre que l'OMS. ou l'Unesco), Le siège social de l'OACI se situe à Montréal au Canada. L'OACI, qui compte 185 Etats membres, soit presque tous les pays du monde, est l'organisme qui assure la normalisation internationale des règles de sécurité. C'est elle qui a défini les normes et pratiques que les pays doivent suivre pour la conception et l'exploitation des appareils et d'une grande partie du matériel dont ils sont équipés, de même

que les règles auxquelles doivent obéir les pilotes de ligne, les équipages, les contrôleurs du trafic aérien et les équipes d'entretien au sol.



(Sigle de l'OACI)

1.4 OBJECTIFS DE L'OACI

L'Organisation de l'Aviation Civil Internationale (OACI) a pour buts et objectifs d'élaborer les principes et les techniques de la navigation aérienne internationale et de promouvoir la planification et le développement sur et ordonné des services internationaux de transport aérien sur la base de l'égalité des chances, de manière a :

- a) Assurer le développement ordonné et sur de l'aviation civile internationale dans le monde;
- b) Encourager les techniques de conception et d'exploitation des aéronefs à des fins pacifiques;
- c) Encourager le développement des voies aériennes, des aéroports et des installations et services de navigation aérienne pour l'aviation civile internationale ;
- d) Répondre aux aspirations des peuples du monde en matière de transport aérien sur, régulier, efficace et économique;
- e) Prévenir le gaspillage économique qui résulterait d'une concurrence déraisonnable;
- f) Veiller au respect intégral des droits des Etats contractants et donner à chaque Etat contractant une possibilité équitable d'exploiter des entreprises de transport aérien international;
- g) Éviter la discrimination entre les Etats contractants;
- h) Promouvoir la sécurité de vol dans la navigation aérienne internationale ;
- i) Favoriser le développement de l'aéronautique civile internationale sous tous ses aspects.

1.5 LA CONVENTION DE CHICAGO

L'OACI a été mise en place initialement par 52 Etats avec la signature le 7 décembre 1944 à Chicago (USA) de la convention sur l'aviation civile internationale, connue aussi comme la convention de Chicago. Après une période transitoire liée à la ratification de la convention, elle a commencé à fonctionner officiellement à partir du 4 avril 1947.

La convention de Chicago est un document constitué de XXII chapitres et 92 articles, L'exposé du texte intégral de cette convention sort du contexte de ce manuel, toutefois il serait intéressant de présenter le préambule de cette convention qui résume parfaitement les axes qui cadrent cette convention :

Texte original du préambule de la convention de Chicago, en langue française :

CONSIDERANT que le développement futur de l'aviation civile internationale peut grandement aider à créer et à préserver entre les nations et les peuples l'amitié et la compréhension, alors que tout abus qui en serait fait peut devenir une menace pour la sécurité générale,

CONSIDERANT qu'il est désirable d'éviter toute mésentente entre les nations et les peuples et de promouvoir entre eux la coopération dont dépend la paix du monde,

EN CONSEQUENCE, les Gouvernements soussignés étant convenus de certains principes et arrangements, afin que l'aviation civile internationale puisse se développer d'une manière sûre et ordonnée et que les services internationaux de transport aérien puissent être établis sur la base de l'égalité des chances et exploités d'une manière saine et économique,

Ont conclu la présente convention à ces fins.

1.6 FONCTIONNEMENT DE L'OACI

L'OACI est dotée d'un organe souverain, l'assemblée, et d'un organe directeur, le Conseil. L'assemblée se réunit tous les trois ans sur convocation du Conseil. Chaque Etat contractant a droit à une voix et les décisions sont prises à la majorité des suffrages exprimés, sauf dispositions contraires de la Convention. A chacune de ses sessions, l'Assemblée procède à un examen détaillé de tous les travaux de l'Organisation dans les domaines techniques, et elle donne les directives pour les travaux futurs des organes de l'OACI.

Le Conseil est un organe permanent responsable devant l'assemblée. Il est composé de 33 Etats contractants élus par l'assemblée pour trois ans de manière à donner une représentation adéquate aux Etats d'importance majeure dans le transport aérien, aux Etats non élus dans la première catégorie qui contribuent le plus à fournir des installations et services pour la navigation aérienne civile, et aux Etats non élus dans l'une des deux premières catégories dont l'élection assure la représentation au conseil de toutes les grandes régions géographiques du monde.

Le Conseil et ses organes auxiliaires, la commission de navigation aérienne, le Comité du transport aérien, le comité juridique, le Comité de l'aide collective pour les services de navigation aérienne, le Comité des finances, le Comité de l'intervention illicite et le Comité de la coopération technique, assurent la continuité de la direction des travaux de L'OACI. L'une des principales fonctions du Conseil est d'adopter des spécifications internationales. Le conseil peut remplir des fonctions d'arbitre en cas de différends entre Etats contractants sur des questions d'aviation et de mise en application de la Convention, il peut procéder à des enquêtes sur toute situation de nature à faire obstacle au générale, prendre toutes mesures nécessaires pour garantir la sécurité et la régularité du transport aérien international.

Une autre des activités principales de l'organisation est la normalisation, par l'établissement de normes, pratiques recommandées et procédures internationales dans différents domaines

techniques de l'aéronautique, les Etats membres de l'organisation s'engagent à mettre en œuvre les normes adoptées ou, en cas d'impossibilité, à notifier les différences entre leurs propres pratiques et celles établies par la norme internationale.

1.7 LES ANNEXES A LA CONVENTION DE CHICAGO

Dans le domaine de la coordination technique, tâche nettement définie de l'OACI, son action se traduit par la publication, pour toutes les spécialités techniques du transport aérien, de règles ayant pour objet d'assurer de par le monde, l'uniformité des règlements et des méthodes. Pour une même spécialité, ces règles sont groupées en un document unique qui constitue une annexe à la convention de Chicago.

Les annexes à la convention de Chicago sont les suivantes :

- **Annexe 1:** Licences du personnel
- **Annexe 2:** Les Règles de l'air
- **Annexe 3:** La météorologie
- **Annexe 4:** Les cartes aéronautiques
- **Annexe 5:** Unités de mesure dans les communications air-sol
- **Annexe 6:** L'exploitation technique des aéronefs de transport
- **Annexe 7:** Marques de nationalité et immatriculation des aéronefs
- **Annexe 8:** Certificats de navigabilité des aéronefs
- **Annexe 9:** Facilitations
- **Annexe 10:** Télécommunications aéronautiques
- **Annexe 11:** Services de circulation aérienne
- **Annexe 12:** Recherche et sauvetage
- **Annexe 13:** Enquêtes sur les accidents d'aviation
- **Annexe 14:** Aérodromes et installations au sol
- **Annexe 15:** Service d'information aéronautique

C'est dans le cadre de ces règles internationales fixant en général le minimum imposé dans un but de sécurité et d'uniformisation des procédures et des méthodes, que s'élaborent les réglementations nationales propres à chaque pays contractant qui seront diffusées sous forme d'instructions ou de circulaires. Les différences doivent être transmises à l'OACI.

1.8 DISPOSITIONS CONSTITUANTES D'UNE ANNEXE

Une annexe proprement dite est constituée par les éléments suivants:

- Des normes et pratiques recommandées ;
- Des définitions ;
- Des appendices, des tableaux et des figures

Les normes et pratiques recommandées qui, adoptées par le Conseil en vertu des dispositions de la Convention de Chicago, se définissent comme suit :

Norme : Toute spécification portant sur les caractéristiques physiques, la configuration, le matériel, les performances, le personnel et les procédures, dont l'application uniforme est reconnue nécessaire à la sécurité ou à la régularité de la navigation aérienne internationale et à laquelle les États contractants se conformeront en application des dispositions de la convention. En cas d'impossibilité de s'y conformer, une notification au conseil est obligatoire aux termes de l'Article 38 de la Convention.

Pratique recommandée : Toute spécification portant sur les caractéristiques physiques, la configuration, le matériel, les performances, le personnel et les procédures, dont l'application uniforme est reconnue nécessaire à la sécurité ou à la régularité de la navigation aérienne internationale et à laquelle les États contractants s'efforceront de se conformer en application des dispositions de la Convention.

CHAPITRE 2 MATERIEL AERIEN

2.1 INTRODUCTION

Les avions sont des aéronefs à moteur et à ailes fixes. Ils représentent la majeure partie du matériel aérien. Selon leur conception les avions peuvent être utilisés pour le transport des voyageurs ou le transport des marchandises (Fret). Par définition un aéroport est destiné principalement aux avions de différentes classes et performances. Pour la conception optimale d'un aéroport il est nécessaire de tenir compte des caractéristiques techniques des avions devant fréquenter l'aéroport et de leurs fréquences ou taux du trafic.

2.2 INFLUENCE DU MATERIEL AERIEN SUR L'INFRASTRUCTURE.

L'étude du matériel aérien intéresse en particulier les responsables des problèmes d'infrastructure du fait que la conception générale de l'air de mouvement et différents ouvrages annexes en résulte:

- des caractéristiques des avions devant fréquenter l'aéroport ou bien plus particulièrement le plus critique de point de vue dimensions et masses entre ces derniers ;
- son poids et les caractéristiques de son train d'atterrissage et de son pneumatique influent largement sur la structure et l'épaisseur des chaussées à concevoir ;
- la susceptibilité de l'avion aux vents traversiers domine le choix de la direction d'envol des pistes ;
- des performances des avions, précisément leurs distances de référence, celles liées au décollage et à l'atterrissage, car elles influent directement sur la longueur réelle à prévoir pour la piste;
- l'envergure et la hauteur de l'avion influent sur les dimensions des hangars, le rayon de virage de l'avion influent sur la conception géométrique des circuits d'attente, sur l'implantation des ouvrages, les dimensions des aires etc..

Ces caractéristiques sont fournies par les constructeurs et sont présentées pour des raisons de planification et de conception d'aéroports, sous forme de tableaux de caractéristiques propres à chaque avion. Ces tableaux donnent les informations suivantes :

1. Une cartouche indique la référence et la date de mise à jour du document sur lequel ont été prélevés l'ensemble des renseignements relatifs à l'avion considéré. (sauf pour les ACN)
2. Caractéristiques générales de l'avion (constructeur, marque, séries etc..)
3. Répartition des charges
4. Le schéma des atterrisseurs
5. La pression des pneumatiques

6. Les numéros d'ACN.

Au niveau de l'annexe 1 de ce manuel, seul les tableaux de caractéristiques correspondants aux avions les plus courants ont été présentés.

2.3 CARACTERISTIQUES GENERALES DES AVIONS

Au niveau de ce tableau il est présenté pour chaque série du modèle d'avion les différentes masses spécifiques à l'avion à savoir :

- Masse au roulage : c'est la masse maximale pour les évolutions au sol de l'avion, qui est la masse acceptable pendant les manœuvres au sol sur les aires de stationnement.
- Masse maximum au décollage : c'est la masse maximale de l'avion acceptable au décollage.
- Masse à vide opérationnelle : c'est la masse de l'avion à vide avec ses équipements permanents, un aménagement de cabine et un équipage de référence.

2.4 REPARTITION DES CHARGES

La répartition totale de la masse d'un avion entre l'atterrisseur avant et les atterrisseurs principaux est fonction de la position de centre de gravité (centrage). Cette répartition varie donc d'un avion à un autre selon la conception du train d'atterrissage, et fournie par le constructeur.

En l'absence d'indication précises, la répartition admise pour les trains d'atterrissage classiques est la suivante:

- 10% de la masse totale de l'avion sur l'atterrisseur d'avant
- 95% de la masse totale de l'avion sur les atterrisseurs principaux

Voir Figure 2.1.

- **V**: exprime le pourcentage de la masse de l'avion transmise verticalement par l'atterrisseur du nez et l'atterrisseur principale à la chaussée. Ce pourcentage intervient directement dans le dimensionnement des chaussées. Pour la grande majorité des avions c'est la valeur de V correspondant à l'atterrisseur principale, qui est prise en considération lors des calculs, car le plus grand pourcentage de la masse est pris par le train principal.
- **H**: exprime le pourcentage de la masse de l'avion transmise horizontalement par l'atterrisseur principal lors de l'action de freinage de l'appareil. Le freinage des avions est réalisé par l'action de dispositifs appropriés sur les roues des atterrisseurs principaux, à laquelle s'ajoute pour les avions d'un certain tonnage, l'inversion de la poussée des réacteurs. Les efforts tangentiels exercés par les roues sur la chaussée ne sont pas pris en considération lors du dimensionnement des chaussées, l'expérience a montré que les efforts tangentiels sont absorbés par les chaussées normalement

constituées, elles ne sont toutefois prise en compte que pour des études particulières comme celle des ouvrages sous piste.



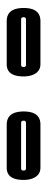

Les charges statiques verticales et horizontales sont déterminées en multipliant la masse totale de l'avion considéré par la valeur du pourcentage V ou H.

2.5 LES ATTERRISEURS

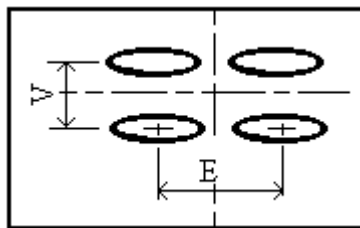
L'atterrisseur est constitué par l'ensemble des roues montées sur une même jambe. L'ensemble des atterrisseurs constitue le train d'atterrissage.

Le train d'atterrissage des avions de transport commercial se compose généralement de deux atterrisseurs principaux et d'un atterrisseur secondaire, situé à l'avant. Parmi les exceptions figure le Boeing 747 doté de 4 atterrisseurs principaux et le DC 10-30 doté de 3 atterrisseurs principaux dont un centrale.

2.4.1 TYPES D'ATTERRISEUR

| Type d'atterrisseur | Forme Géométrique | Masses supportées | Pression de gonflage des pneumatiques | Exemples |
|---------------------|---|-------------------|---------------------------------------|--|
| ROUE SIMPLE |  | Jusqu'à 5 t | de 0,3 à 0,6 MPa | avions légers |
| JUMELAGE |  | de 5 à 40 t | de 0,6 à 1,2 MPa | - avions légers - court et moyens courriers |
| TANDEM |  | de 10 à 20 t | de 0,4 à 0,8 MPa | avions militaires (configuration rare) |
| BOGGIE |  | de 20 à 90 t | de 1 à 1,6 MPa | Tous types sauf avions légers Principalement long-courriers |

Les atterrisseurs type jumelage et boggie sont caractérisés de point de vue dimensionnel par l'espacement longitudinal (l'empattement : E) et transversal (la voie: v) entre les roues :



2.4.2 ATERRISSEURS TYPES

Le dimensionnement des chaussées (souples et rigide) doit tenir compte des sollicitations provoquées par les trains d'atterrissage des avions, pour cela, on considère que la charge à prendre est en faite un pourcentage de la masse maximal de l'avion. Cette charge est appliquée par chacun des atterrisseurs. Avec les trains d'atterrissage des avions connus, l'espacement entre les atterrisseurs est tel qu'il est légitime d'étudier individuellement l'action de chaque atterrisseur.

Compte tenu de la variété des caractéristiques géométriques des atterrisseurs, il été utile d'introduire des atterrisseurs – types représentatifs des trois catégories d'atterrisseurs les plus répandus : la roue simple, le jumelage et le boggie, dont les caractéristiques sont présentées au tableau suivant :

| Atterrisseur-type | Voie -v- (cm) | Empattement -E- (cm) |
|-------------------|------------------|-------------------------|
| ROUE SIMPLE | -- | -- |
| JUMELAGE | 70 | -- |
| BOGGIE | 75 | 140 |

L'établissement des abaques de dimensionnement des chaussées (souples ou rigides) ont été établis par le STBA sur la base de l'introduction de la notion des atterrisseurs-types représentatifs.

2.6 LA PRESSION DES PNEUMATIQUES

Les pressions des pneumatiques sont importantes pour le calcul des *ACN* et généralement pour lesquels les abaques de dimensionnement propre à chaque avion sont tracés. Au niveau de ce tableau, le constructeur fournit la pression des pneumatiques propre à chaque série et relative au atterrisseur d'aile (principal) et celui du nez(secondaire).

La valeur de la pression des pneumatiques utilisée dans la conception des abaques de dimensionnement de chaussées, et caractérisant chacun des atterrisseurs-types sont comme suit:

- Roue simple : 0,6 MPa
- Jumelage : 0,9 MPa
- Boggie : 1,2 MPa

2.7 LE NUMERO D'ACN

2.7.1 SIGNIFICATION

L' ACN: (Aircraft Classification Number) ou Numéro de Classification de l'Avion. C'est un nombre sans dimension qui exprime l'effet relatif d'un aéronef sur une chaussée pour une résistance type spécifiée du terrain de fondation. Ce numéro est transmis par le constructeur de l'avion pour des fins de planification des chaussées d'aérodrome.

2.7.2 DETERMINATION DE L'ACN

Le principe de calcul de l'ACN d'un avion est de rechercher une roue simple équivalente (*RSE*). La valeur de la charge sur une roue simple isolée gonflée à la pression standard de 1,25 MPa nécessitant la même épaisseur de chaussée est calculée. La valeur ainsi obtenue correspond à une charge de roue simple équivalente *RSE*. On notant *RSE* cette charge, l'ACN est définie comme suit :

$$ACN = \frac{2}{1000} RSE \quad (RSE \text{ en Kg})$$

L'ACN est un nombre sans dimension. Le coefficient de la relation précédente a été choisi, pour procurer une gamme de valeur comprise entre 0 et 100 pour la grande majorité des avions existants

De manière à simplifier les publications, les ACN des avions ne sont calculés que pour 4 catégories de sol support caractérisées chacune par un CBR (chaussées souples) ou un module de réaction (chaussées rigides) ainsi que pour 2 masses (masse maximale au roulage, et la masse à vide en ordre d'exploitation).

Plusieurs types d'avions actuellement en service ont été évalués sur des chaussées rigides et souples sur la base des quatre catégories de sol support indiquées précédemment. Les résultats pour les principaux avions sont présentés dans les tableaux de caractéristiques propres à chaque avion et dans le Tableau N°3 de l'annexe1, de ce manuel.

Selon la série de l'avion considéré, les numéros d'ACN sont présentés pour chaque type de structure de chaussée (souples et rigides), tenant compte des quatre classes de sol support (A, B, C et D). Deux masses sont considérées : la masse maximum (au décollage) M et la masse minimum (à vide opérationnelle) m, auxquelles correspondent les ACN_{max} et ACN_{min} respectivement. Les ACN correspondant à quelques types d'avions sont présentés dans l'appendice1 de ce manuel. Ces informations interviennent directement dans la détermination des charges admissibles.

2.8 NOTE SUR LA CLASSIFICATION DES AVIONS

Pour des raisons de planification d'aérodromes, l'OACI a adopté un système de classification des avions basé sur les caractéristiques de performances et sur les dimensions des avions. Dans cette classification les performances d'un avion sont caractérisées par sa distance de

référence, ses dimensions ; par son envergure et la largeur hors-tout de son train d'atterrissage principal.

- La distance de référence

La distance de référence d'un avion est définie comme étant la longueur minimale nécessaire en atmosphère type, pente nulle et air calme, pour le décollage au poids maximal certifié au décollage. Cette distance est fournie par le constructeur. Il faut noter que la distance de référence d'un avion est déterminée uniquement pour le choix du chiffre de code et n'est pas appelée à influencer sur la longueur de piste effectivement offerte. Selon leurs distances de référence les avions sont classés en quatre classes notées de 1 à 4. Chaque chiffre correspond à un intervalle de valeurs.

- L'envergure et la largeur hors-tout du train d'atterrissage (voir Figure 2.2).

Selon la largeur hors-tout du train d'atterrissage, les avions sont classés en 5 classes désignés par les lettres : A, B, C, D et E.

En affectant un code constitué d'un chiffre (selon la distance de référence) et d'une lettre (selon l'envergure et la largeur hors-tout) à chaque avion, on peut aboutir à une classification des avions par groupe ayant le même code (Chiffre + lettre).

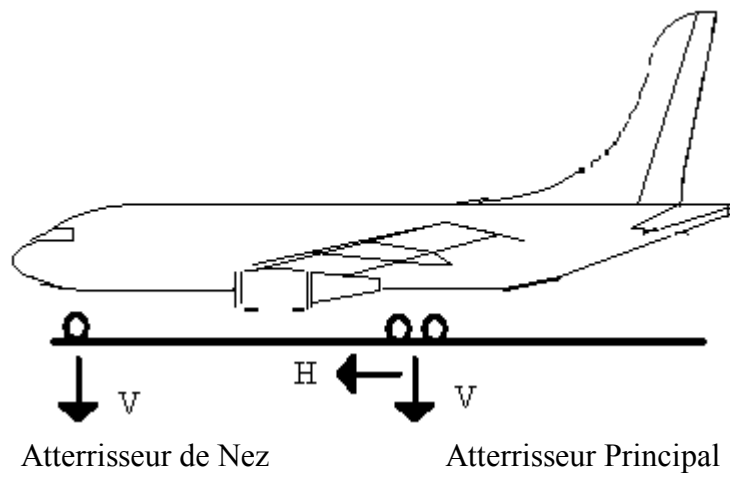
Exemple :

Les avions Boeing 727-100, Boeing 737-200, Dc-9-10, le Viscount 800 appartiennent à la même classe ayant le code 4C (chiffre (4) et lettre (C)):

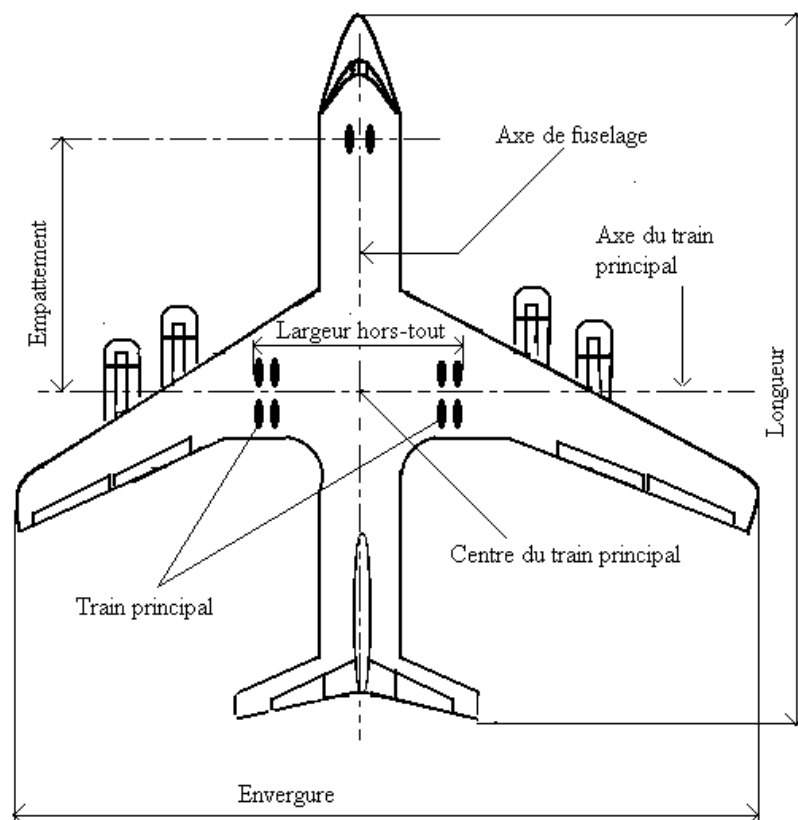
D'après la classification ce code signifie que, ces avions ont en commun les caractéristiques suivantes :

- Distance de référence ≥ 1800 m
- Envergure : de 36 m à 52 m exclus
- Largeur hors-tout : de 9 à 14 m exclus

Une classification des avions représentatifs selon le numéro de code et la lettre de code figure à l'Appendice 1 de ce manuel.



-Figure 2.1-



-Figure 2.2-

CHAPITRE 3 INFRASTRUCTURES DE NAVIGATION

3.1 GENRALITES

Les problèmes aéronautiques peuvent être classés en deux catégories: d'une part ceux qui ont pour objet de fabriquer, d'acheter, d'équiper, d'entretenir et de faire voler les avions. Et d'autre part ceux qui sont dus à la nécessité de disposer d'un ensemble d'équipement au sol destiné pour le service des avions. Ces derniers équipements destinés à permettre au vol des avions de s'effectuer dans des conditions d'utilité de régularité de commodité et de facilités indispensables pour permettre le développement du transport aérien constituent l'infrastructure au sens large du mot.

Comme les activités de l'aviation s'exercent les une en vol, les autres au sol, le terme générique d'infrastructure aéronautique couvre tout ce qui doit être créé au sol pour permettre le bon déroulement des activités de l'aviation.

L'infrastructure telle que définie ci dessus comprends trois parties

- Ce dont doivent être dotés les aérodromes pour permettre aux aéronefs d'accomplir leur mission d'outil de transport ou de travail aérien c'est ce qu'on appelle les installations des aérodromes. Les installations sont l'ensemble des bâtiments, aménagements, équipement nécessaire au service des avions et de leurs cargaisons ; entretien et ravitaillement des aéronefs, commandement et exploitation de l'aérodrome, opérations commerciales et passage des moyens terrestres au transport aérien. C'est l'existence d'installations appropriées qui définisse un aéroport.
- Ce qui est nécessaire aux aéronefs pour atterrir et décoller, c'est-à-dire essentiellement l'aérodrome.
- L'ensemble des dispositifs mis en place soit sur les aérodromes soit en dehors de l'aérodrome pour permettre aux avions d'effectuer leur vol et aux personnels au sol qualifiés à cet effet d'assurer leur contrôle et leur surveillance et que l'on peut appeler les dispositifs de navigation aérienne et l'assistance à cette navigation.

De ces trois parties, aérodrome, installation au sol, et moyens de navigation, les deux premières constituent l'infrastructure au sens étroit du mot; c'est dans ce sens que dans la suite de ce manuel le terme d'infrastructure sera employé, toutefois il sera utile de donner un aperçu sur les moyens de navigations pour démontrer la complexité de la navigation aérienne et la nécessité absolue de pourvoir différents services au sol spécialisés pour la gestion permanente, afin d'assurer un maximum de sécurité au transport aérien sous toutes ses formes.

3.2 DISPOSITIFS ET MOYENS DE NAVIGATION

Les avions qui assurent un transport aérien doivent pouvoir naviguer c'est-à-dire se rendre d'un point à un autre en respectant des règles et en suivant un itinéraire bien déterminé; Pour

cela il est nécessaire qu'il soit assisté par un certain nombre de service au sol dont les principaux sont les suivant:

3.2.1 Service d'Information en vol et de contrôle de la circulation Aérienne:

Ce service assure trois missions:

- L'information: en fournissant ou transmettant aux aéronefs des renseignements de différentes natures;
- Le Contrôle: en prenant en charge et en télé-guidant les aéronefs pour coordonner leur évolution de façon à assurer la sécurité générale;
- L'Alerte: en déclenchant les recherches et les secours lorsque le contact est anormalement perdu avec un aéronef qu'ils ont en charge.

3.2.2 Service des télécommunications

Ce service assure deux missions :

- Mettre à la disposition des aéronefs des moyens radioélectriques de guidage et de repérage ;
- Assurer les liaisons sol-sol c'est-à-dire les liaisons entre 2 stations au sol et un avion en vol.

3.2.3 Service Météorologique

Ce service est chargé de l'élaboration et la transmission des informations météorologiques en particulier : le vent, la température, la visibilité etc. utiles aux pilotes sous une forme simple et utilisable par ses derniers.

3.3 LA NAVIGATION AERIENNE

Le voyage aérien comporte trois étapes distinctes: Le décollage, la navigation et l'atterrissage.

3.3.1 Le décollage

Cette manœuvre ne pose pas de problème de guidage ou de navigation, il suffit au pilote recevoir l'autorisation de la tour de contrôle pour l'accès à la piste de décollage.

3.3.2 La navigation

Il existe 2 types de navigation:

- La navigation à vue: c'est évidemment la première méthode qui a été utilisée, elle consiste à voler à une altitude permettant de se guider en suivant les routes, rivières, voies ferrées et autre points caractéristiques de la région survolée. Elle est encore utilisée par la petite aviation.

- La Radio navigation: ce procédé est le plus utilisés, c'est lui qui a permis l'essor de l'aviation. Cette méthode consiste à utiliser des matériels d'assistance à la navigation aérienne, basée sur la propagation dans l'espace d'ondes radio-électriques.

3.3.3 L'Atterrissage

Ce dernier peut s'effectuer à vue ou aux instruments. Pour l'atterrissage aux instruments on utilise des moyens d'assistance également basés sur la radio-navigation, quant à la navigation à vue, elle est aussi généralement précédé d'une approche qui se fait aux instruments. Le procédé le plus complet est l'atterrissage radio-guidé : Par l'emploi d'un dispositif d'atterrissage par mauvaise visibilité. Actuellement on n'atterrit pas encore sans visibilité, mais seulement par mauvaise visibilité, celle ci étant définie par la distance de visibilité ou visibilité balise

Un avion n'a pas la possibilité d'atterrir sur un aérodrome si la visibilité horizontale d'une part, et la visibilité verticale d'autre part sont inférieures à certains chiffres que l'on appelle le minima météorologique, qui sont fixés par l'administration en fonction des obstacles existants aux abords de l'aérodrome.

Le choix du système d'atterrissage sans visibilité avec ces diverses installations est la mission d'un service technique hautement qualifié dans ce domaine qui sera chargé par le service exploitant, d'étudier avec soin le site de l'aérodrome. Il existe 2 systèmes d'atterrissage aux instruments qui repose sur des bases nettement différentes: le système ILS et le système MLS. Les deux systèmes sont reconnus par l'OACI comme normes, quoique depuis 1981 le système MLS à été choisi par l'OACI pour succéder progressivement à l'ILS qui reste normalisé jusqu' en 1995, et qu'il devient facultatif ensuite pour disparaître graduellement après l'an 2000.

- **Système ILS: « Instrument Landing »**

Le système ILS (ou système d'atterrissage aux instruments)est une aide radioélectrique à l'approche et à l'atterrissage. Il a pour but de permettre l'exécution d'approches finales radioguidées en fournissant au pilote des indications sur l'écart latéral et l'écart vertical par rapport à la trajectoire nominale de descente vers la piste ainsi que l'éloignement par rapport au seuil d piste.

L'ILS est constitué au sol par :

- Un radiophare d'alignement de piste (1 émetteur VHF) qui définit dans l'espace un plan vertical contenant l'axe de piste, qui permet le guidage en direction ;
 - Un radiophare d'alignement de descente (1 émetteur UHF) qui définit dans l'espace un plan de descente incliné (entre 2° et 4 °) par rapport à l'horizontale pour le guidage en site. L'intersection du plan de descente et du plan vertical définit la trajectoire de descente
 - Des radiobornes (2 à 3 émetteurs VHF) qui permettent le repérage de distance du seuil de piste.
- **Système MLS: « Microwave Landing System »**

Le MLS (ou système d'atterrissage hyperfréquences) fournit des coordonnées complètes de l'avion dans un volume important autour de l'axe d'approche. Il comporte pour cela plusieurs fonctions angulaires, des fonctions de diffusion de données codées et une fonction de mesure de distance. Le système est modulaire et la plupart des terrains ne seront équipés que des fonctions fondamentales comme l'azimut d'approche, le site d'approche, la diffusion de données de base et la mesure des distances.

De manière générale Le MLS fonctionne par l'installation au sol de 3 stations (antennes) qui diffusent les données de base constituées par des caractères codés nécessaires aux calculs effectués dans le récepteur de bord.

3.4 CONTRÔLE DE LA CIRCULATION AERIENNE

Il ne suffit pas pour les avions être guidés, de pouvoir se repérer et suivre des trajectoires que les pilotes eux même définissent, il est nécessaire d'assurer la coordination des déplacements des différents aéronefs, c'est l'objet du contrôle de la circulation aérienne, celle ci étant assurée par un service spécialisé.

3.4.1 Mission du service de contrôle de la circulation aérienne

En premier lieu il faut donner au mot contrôle non un sens de vérification mais un sens impliquant une idée de commandement (sens anglais du mot). L'objet principal du contrôle de la circulation aérienne est évidemment d'éviter les accidents et les collisions, c'est l'aspect négatif de son rôle, mais l'objet du contrôle est aussi de réduire les délais de route.

Il ne s'agit plus d'éviter les accidents en prenant n'importe quelle précaution, mais il s'agit de tracer dans l'espace les routes, les meilleures, non seulement au point de vue sécurité, mais aussi du point de vue rendement.

Le troisième aspect du rôle du contrôle de la circulation aérienne est l'aspect sécurité au sens de la réparation d'un accident, c'est-à-dire l'organisation du service de recherche et de sauvetage lorsqu'un avion a disparu.

Les problèmes de contrôle de la circulation aérienne ne relevant pas de la compétence des ingénieurs de bases aérienne. Nous n'examinons pas en détail tous les problèmes que pose ce contrôle, mais nous nous limitant à définir les grands axes et principes sur lesquels sont basés les problèmes de contrôle et les modalités de leur application.

3.4.2 Principes du contrôle de la circulation aérienne

1^{er} Principe : Principe de découpage de l'espace aérien

Pour contrôler l'évolution des aéronefs, quelle que soit leur position, on détermine différentes parties de l'espace présentées schématiquement dans la Figure 3.1, et peuvent être définies comme suit:

- **La zone de contrôle de l'Aérodrome ZCA :** L'ordre de grandeur de cette zone peut être de 9-12 km de rayon et d 700m d'altitude au-dessus de la cote de référence de l'aérodrome.
- **La zone de Libre Circulation: ZLC :** s'élèvent à une altitude de 300m; cet espace dans lequel la circulation est libre est destiné à la petite aviation

Au-dessus de ces deux zones l'espace aérien est divisé en deux zones:

- **La Région de Contrôle RC (ou zone d'information en vol ZIV) :** qui s'élèvent jusqu'à une altitude variable, admettant 5000m, les régions de contrôle sont localisées dans les zones à forte circulation aérienne et dans les zones à faible circulation aérienne existent les régions de contrôle englobant souvent la verticale des ZCA. Dans les ZIV le pilote à un degré de liberté plus grand, il doit simplement demander l'accord du centre d'information sur l'itinéraire et l'altitude qu'il désire utiliser. L'espace au-dessus des RC et des ZIV constitue la zone supérieure d'information en vol ZSIV.
- **Zone Supérieure d'Information en Vol ZSIV :** La ZSIV était jusqu'à ces dernières années assez peu fréquentée par les avions civil, et constituait essentiellement le domaine d'évolution des avions militaires. La situation est maintenant changée. Les avions civils à réaction et les supersoniques se déplacent à très grande vitesse dans cette zone supérieure.

Dans chacune de ses zones les conditions dans lesquelles s'exerce le vol sont différentes, libérés de leur évolution dans la ZLC, les pilotes doivent obéir au contrôleur, responsable dans les régions de contrôle.

2^{ème} Principe de Contrôle

Principe d'établissement des destinations entre les types de vol. On distingue 2 types principaux de vol: le vol à vue et le vol aux instruments.

- **Le vol à vue:** ou VFR « Visual Flight Rules »: Ne peut s'accomplir que dans les conditions de visibilité telle que le pilote peut se garantir lui-même contre les risques de collision avec un autre aéronef ou avec un obstacle naturel.
- **Le vol aux Instruments:** ou IFR « Instrument Flight Rules »: s'accomplit en respectant les instructions transmises à l'avion par les services de contrôle de la circulation aérienne.

La distinction entre vol IFR et VFR est basé sur une distinction entre la réglementation appliquée durant le vol, par conséquent lorsqu'un pilote se prépare à quitter l'aérodrome il doit non seulement signaler le type de vol qu'il va effectuer, mais établir et faire approuver son plan de vol.

3^{ème} Principe de control : établissement des plans de vol

Le plan de vol est un document qui, tout d'abord comporte l'identification de l'avion (caractéristiques et immatriculation) ainsi que du pilote commandant de bord et responsable de l'avion. Le pilote indique ensuite le nom de l'aérodrome sur lequel il se rend, de l'aérodrome de déroutement sur lequel il se posera si les circonstances ne lui permettent pas de se poser sur l'aérodrome prévu, l'itinéraire parcouru, non seulement en plan mais aussi l'en altitude, c'est à dire les niveaux de vol qu'il désire respecter sur les différentes parties de la trajectoire.

Les organismes de contrôle de la circulation aérienne ont ainsi toute une série d'indications qui leur permettront à chaque instant de savoir où se trouve l'avion et l'identifier.

4^{ème} Principe de contrôle : Connaissance par le contrôle des mouvements réels de l'avion

Il ne suffit pas en effet; que le pilote ait indiqué le vol qu'il veut faire, il faut qu'en cours de vol il fasse savoir où se trouve t'il exactement, et à cet effet il doit envoyer un certain nombre de messages. Après le message adressé à la tour de contrôle pour demander l'autorisation de décoller, il doit signaler aux organismes de contrôle qu'il vient de décoller. Il signale ensuite le moment où il sort de la zone ZCA pour entrer en zone RC, puis sa sortie de la zone RC pour entrer en zone ZIV. Les organismes responsables des zones ont de leur côté, dès qu'ils ont eu connaissance du plan de vol, établit une fiche appelée «strip» sur laquelle sont portées les heures de départ, d'arrivée et de passage en certains points prévus au plan de vol. C'est alors qu'entre en jeu la dernière fonction de contrôles régionaux: organiser la recherche et le cas échéant faire assurer le sauvetage d'un avion qui aurait eu un accident.

5^{ème} Principes de contrôle : Les règles de l'air

Il existe ce qu'on appelle des règles de l'air, qui s'agit d'un espèce de code de l'air analogue en quelque sorte au code de la route. Ce code fixe les règles que doivent respecter les avions lorsqu'ils volent, à titre d'exemple on peut citer la règle de séparation des avions en altitudes par la règle d'altitude quadrantale, suivant laquelle l'espace aérien est ainsi divisé en niveau de 150m (couloir), cette règle était remplacée par le système demi-circulaire.

La circulation aérienne doit obéir à une discipline générale et c'est l'ensemble de cette discipline qui forme le contrôle de la circulation aérienne.

Compte tenu du développement rapide du trafic aérien, la tendance des services de contrôle de la circulation aérienne doit être d'accélérer le mouvement des avions sans pour autant accroître les dangers.

Il est normal qu'on cherche à obtenir ce résultat en s'efforçant à réaliser l'automatisation du contrôle. Les procédés d'automatisation étudiés par les services de contrôle ont fait des progrès considérables dans ce domaine spécialement avec le développement spectaculaire de l'informatique.

3.5 METEOROLOGIE

3.5.1 Caractéristiques générales

Les renseignements fournis par la météorologie sont d'une utilité dans l'étude de l'aménagement des bases aériennes, la mission de ce service constitue un des éléments de base intervenant directement dans:

- Le choix de l'emplacement de l'aérodrome, dépend entre autre de la connaissance du climat, des vents et des précipitations ;
- La détermination de la longueur des pistes fait intervenir les variations de températures au lieu considéré ;
- La détermination du nombre de direction de piste résulte directement de la connaissance du régime des vents ;
- Le choix des directions d'atterrissage sans visibilité d'après l'étude des cas de mauvaise visibilité ;
- Le calcul des réseaux de drainage et d'évacuation des eaux en connaissant les précipitations ;
- L'implantation des bâtiments d'après le régime des vents ;
- La conception du système de chauffage ou de climatisation des bâtiments selon les variations de température.

La météorologie comporte essentiellement:

- Un réseau synoptique d'observation et de transmission fonctionnant en permanence et permettant de saisir sur une vaste région du globe et instantanément les états de l'atmosphère
- Un service central: chargé d'élaborer à partir des observations fournies par le réseau synoptique, les prévisions et protections destinées aux divers usagers

3.5.2 Infrastructure météorologique

L'organisation idéale de la météorologie sur un aérodrome résulte des considérations qui ont précédé, peut se résumer comme suit:

Chaque territoire est divisé en régions météorologiques en fonction des considérations suivantes:

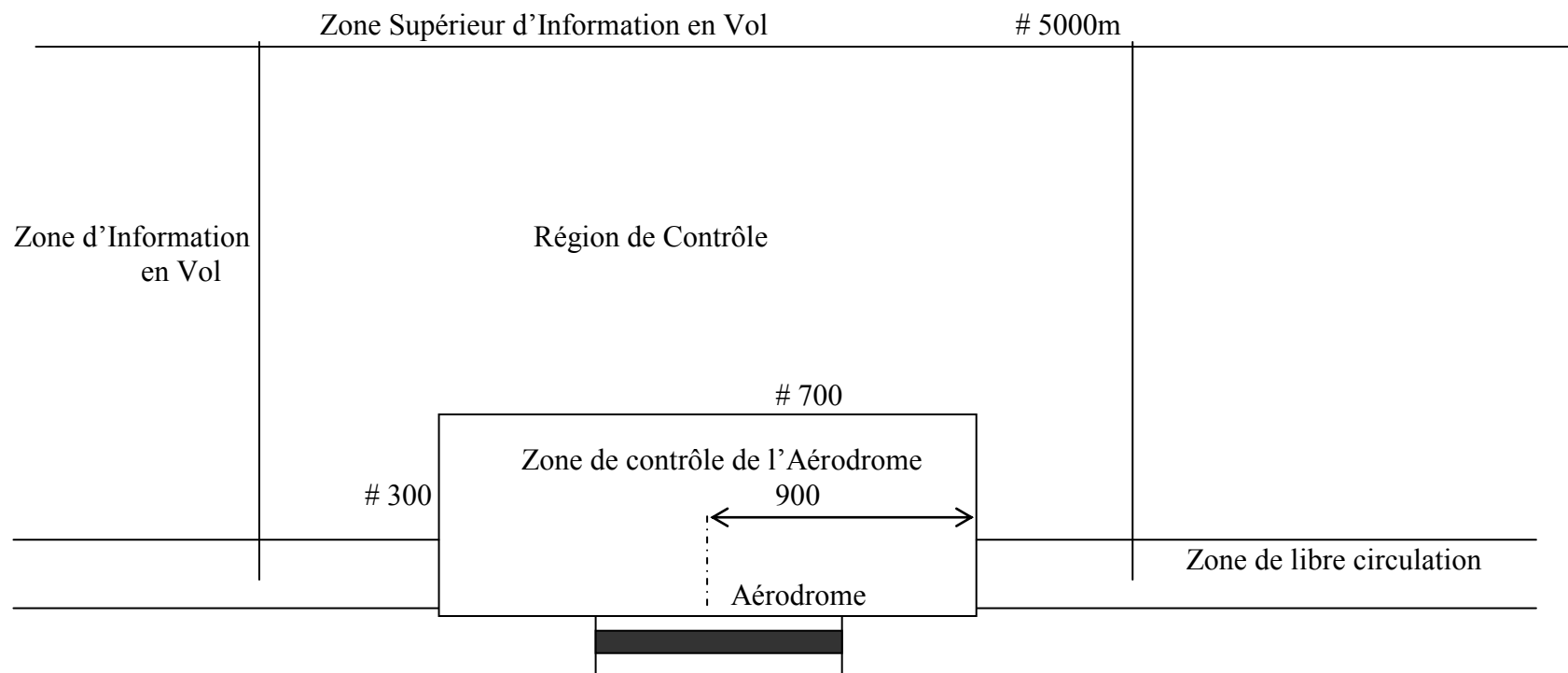
- répartition des climats topographique
- facilités de transmission
- contingences administratives

3.5.3 Constitution d'une région météorologique

Une région météorologique est constituée en générale par 3 stations:

- La station d'observation: chargée seulement des observations
- La station de renseignement: chargée des renseignements et des prévisions
- La station principale: chargée de l'élaboration des prévisions

L'emplacement des stations principales et de renseignement est déterminé par l'importance des besoins à satisfaire, ainsi ceux qui concernent l'aviation.



-Figure 3.1-

CHAPITRE 4 CONCEPTION D'UN AERODROME

4.1 CONSTITUANTS D'UN AERODROME

Est considéré comme aérodrome tout terrain (ou plan d'eau spécialement) aménagé pour l'atterrissage, le décollage et les manoeuvres d'aéronefs y compris les installations annexes qu'il peut comporter pour les besoins du trafic et le service des aéronefs.

L'aire de mouvement est l'ensemble de tout ce qui est destiné à permettre l'atterrissage, le décollage et l'évolution au sol ainsi que le stationnement des avions. Les éléments de base constituant l'aire de mouvement sont:

- 1- la direction d'envol
- 2- la piste d'envol
- 3- les voies de circulation
- 4- les bandes d'envol
- 5- les aires de stationnement

4.2 CLASSIFICATION DES AERODROMES

Si certains principes généraux sont valables pour tous les aérodromes, ces derniers sont loin d'être identiques: selon leur conception respective, il peut donc y avoir de grands aérodromes, comme des moyens aérodromes ou de petits aérodromes. De manière générale, les caractères du trafic aérien dont il est tenu compte pour la classification des aérodromes sont essentiellement :

- La nature du trafic assuré par l'aérodrome ;
- La longueur d'étape au départ de l'aérodrome ;
- La nécessité éventuelle d'assurer normalement le service en toutes circonstances.

D'autre pays, comme la France, ont adopté une classification fonctionnelle basée principalement sur l'usage auquel ces aérodromes sont destinés, selon la nature de la desserte ou plus précisément le type de transport, et dès lors, le genre et les exigences des avions qu'ils sont destinés à recevoir. Dans cette logique cinq catégories de transport sont définies:

- Catégorie A. : Aérodromes destinés aux services à grande distance (plus de 3000 km) assurés normalement en toutes circonstances.
- Catégorie B. : Aérodromes destinés aux services à moyenne distance (moins de 3000 km) assurés normalement en toutes circonstances et à certains services à grande distance assurés dans les mêmes conditions mais qui ne comportent pas d'étape longue au départ de ces aérodromes.
- Catégorie C. : Aérodromes destinés :
 - 1° Aux services à courte distance et à certains services à moyenne et même à longue distance qui ne comportent que des étapes courtes au départ de ces aérodromes ;

- 2° Au grand tourisme.
- Catégorie D. : Aérodromes destinés à la formation aéronautique, aux sports aériens au tourisme et à certains services à courte distance.
- Catégorie E. : Aérodromes destinés aux giravions et aux aéronefs à décollage vertical ou oblique.

4.3 CODE DE REFERENCE DES AERODROMES

La conception des éléments d'un aérodrome nécessite la connaissance des paramètres de classification propre à cet aérodrome. La classification de ces derniers est déterminée principalement par le ou les avions critiques auxquels cet aérodrome est destiné. Pour répondre à cette question l'OACI a adopté depuis 1983 un système de classification dimensionnelle basé sur un code composé d'une lettre et d'un chiffre appelé code de référence de l'aérodrome.

Le code de référence fournit une méthode simple permettant d'établir une relation entre les nombreuses spécifications qui traitent des caractéristiques d'un aérodrome afin de définir une série d'installations adaptées aux avions qui seront appelés à utiliser cet aérodrome. Le code de référence se compose de deux éléments liés aux caractéristiques de performance et aux dimensions de l'avion.

- L'élément 1 est un chiffre fondé sur la distance de référence de l'avion ;
- L'élément 2 est une lettre fondée sur l'envergure de l'avion et la largeur hors-tout de son train principal.

Une spécification donnée est rattachée au plus déterminant des deux éléments du code ou à une combinaison appropriée de ces deux éléments. La lettre ou le chiffre de code, à l'intérieur d'un élément choisi à des fins de calcul, est rattaché aux caractéristiques de l'avion critique pour lequel l'installation est fournie. Lors de l'application des dispositions pertinentes de l'Annexe 14, on détermine en premier lieu les avions que l'aérodrome est dessiné à recevoir, puis les deux éléments du code.

Un code de référence d'aérodrome : chiffre et lettre de code, choisi à des fins de planification d'aérodrome est déterminé conformément aux caractéristiques des avions auxquels une installation d'aérodrome est destinée. En outre, les chiffres et les lettres du code de référence d'aérodrome ont les significations indiquées au tableau 4.1 ci-après. Le chiffre de code correspondant à l'élément 1 est déterminé d'après la colonne 1 du tableau, en choisissant le chiffre de code correspondant à la plus grande des distances de référence des avions auxquels la piste est destinée.

La lettre de code pour l'élément 2 est déterminée d'après le tableau 4.1, colonne 3, en choisissant la lettre de code qui correspond à la plus grande envergure ou à la largeur hors-tout du train principal, selon la valeur qui donne la lettre de code la plus exigeante des avions auxquels l'installation est destinée. Par exemple, si la lettre de code C correspond à l'avion qui possède la plus grande envergure et la lettre de code D à l'avion dont le train principal présente la plus grande largeur hors-tout, la lettre de code choisie serait D.

| Élément de Code 1 | | Élément de Code 2 | | |
|-------------------|----------------------------------|-------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| Chiffre De code | Distance de référence de l'avion | Lettre De code | Envergure | Largeur hors-tout du train principal |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
| 1 | < 800 m | A | < 15 m | < 4,5 m |
| | | B | de 15 m à 24 m exclus | de 4,5 m à 6 m exclus |
| 2 | de 800 m à 1200 m exclus | C | de 24 m à 36 m exclus | de 6 m à 9 m exclus |
| | | | de 36 m à 52 m exclus | de 9 m à 14 m exclus |
| 3 | de 1200 m à 1800 m exclus | D | de 52 m à 65 m exclus | de 9 m à 14 m exclus |
| 4 | ≥ 1800 m | | | |

-Tableau 4.1-

Il faut préciser que, dans ce qui suit, les lettres de code des aérodromes (A, B ,C, D et E) prennent le sens mentionné dans le tableau 4.1.

4.4 LA DIRECTION D'ENVOL

4.4.1 Notion de fréquence d'utilisation

La recherche de la régularité fondamentale en matière de transport aérien conduit à aménager les aérodromes de telle sorte que les circonstances qui les rendent impraticable soient aussi peu fréquentes que possible. Comme par ailleurs la régularité absolue est très onéreuse sinon impossible, on est conduit à déterminer la fréquence d'utilisation qui représente la probabilité exprimée en pourcentage pour que l'atterrissage et le décollage soient possibles.

Les circonstances rendant un aérodrome inutilisable peuvent être classées en 2 catégories:

- soit des événements purement fortuits (catastrophes naturelles, accidents d'avion etc..) ;
- soit des événements qu'on peut étudier par des méthodes relevant de la conjoncture comme les facteurs climatiques en générales.

La fréquence d'utilisation d'un aérodrome ou plus précisément de sa piste s'établit à partir de l'analyse des données statistiques traduisant la récurrence des facteurs d'impossibilité dont on élimine les cas fortuits pour ne tenir compte que de ceux d'ordre climatique, en particulier ceux qui concernent les vents traversiers et la visibilité horizontale et verticale.

4.4.2 Notion de vent traversier

Pour que l'atterrissage ou le décollage se fassent sans danger, il faut que le vent traversier, qui est définie comme étant la composante suivant la perpendiculaire à la trajectoire de l'avion, ne dépasse pas une valeur critique pour chaque type d'avion. Cette valeur critique, indiquée dans le manuel de vol de chaque avion et en générale d'autant plus élevée que l'appareil est lourd.

le vent traversier critique est actuellement fixé par l'OACI aux valeurs suivantes:

- 37 km/h (10,27 m/s) pour les avions dont la distance de référence est supérieure ou égale à 1500 ;
- 24 km/h (6,66 m/s) pour les avions dont la distance de référence est comprise entre 1200 m et 1500 m (non compris) ;
- 19 km/h (5,27 m/s) pour les avions dont la distance de référence est inférieure à 1200 m.

l'OACI recommande que le nombre et l'orientation des pistes d'un aérodrome soient tels que le coefficient d'utilisation d'une piste d'aérodrome (C_{fu}) ne soit pas inférieur à 95% pour les avions à l'intention desquels l'aérodrome a été conçu.

En conclusion, un aérodrome doit être conçu de façon telle que, pendant un pourcentage du temps au moins égale aux coefficients d'utilisation ci-dessus, il y ait au moins une direction d'envol utilisable sur laquelle le vent traversier n'excède pas les valeurs critiques imposées: c'est cette condition qui permettra de déterminer le nombre et l'orientation des directions d'envol sur la base de la connaissance du régime des vents caractérisant la zone de l'aérodrome.

4.4.3 Calcul du C_{fu}

4.4.3.1 Données météorologiques

Pour le calcul du coefficient de fréquence d'utilisation C_{fu} . Des directions d'envol, on doit disposer d'observations météorologiques portant sur la direction et force du vent faite à raison de 8 observations par Jour, c'est à dire des observations faites toutes les 3 heures pendant cinq ans. La direction du vent est relevée suivant 18 directions, et sa force est caractérisée par sa vitesse en m/s.

On peut généralement se procurer les données sur le régime des vents auprès des services météorologiques de l'Etat. Les résultats ainsi obtenus seront transmis sous forme d'un tableau de prélèvement (voir Tableau 4.2), où les vitesses sont groupées selon la direction par tranches de 20 degrés. Les directions sont données par rapport au Nord vrai.

Signification des termes employés dans le tableau:

- Dans ce tableau il est nécessaire de préciser que chaque nombre n_{dv} est au fait la somme des vents observés pendant 5 ans ayant une vitesse (v) et une direction bien déterminer (d), par exemple: Le nombre 41 dans le tableau signifie que: durant une période de 5 ans on a enregistré 41 fois un vent agissant selon la direction (02) et ayant une vitesse de 4 m/s.
- N_{di} : Le total des observations selon chaque direction (colonnes du tableau) représente le nombre total de vents enregistrés durant la période de 5 ans, selon la direction considérée.
- N_{vi} : Le total des observations correspondant à une valeur de la force du vent (les lignes du tableau) représente le nombre total de vents enregistré selon les 18 directions durant la période de 5 ans et, ayant une force bien déterminée du vent.
- N_{v3} : Représente le nombre total des vents ayant une vitesse inférieure ou égale à 3 m/s ,enregistrés durant la période de 5 ans. Il est a noter que ce nombre est commun aux 18 directions car il est difficile de connaître la direction d'un vent dont la vitesse est inférieure ou égale à 3 m/s.
- N : Représente le nombre total des observations enregistrées durant la période de 5 an

Le critère de 95% recommandé dans l'Annexe 14 est applicable à toutes les conditions météorologiques; néanmoins, il demeure utile d'examiner les données séparément lorsque cela est possible. Souvent les données de vent pour un emplacement entièrement nouveau n'ont pas été enregistrées. Si tel est le cas, il y a lieu de consulter les enregistrements des stations de mesure voisines. Si le terrain environnant est sensiblement plat, les enregistrements de ces stations devraient indiquer les mêmes vents qu'à l'emplacement de l'aérodrome envisagé. Cependant, si le terrain est accidenté, le régime des vents est souvent déterminé par la topographie, et il est dangereux d'utiliser les renseignements de station située à une certaine distance de l'emplacement. Dans ce cas, une étude des vents dans la région est nécessaire, ce qui pourrait nécessiter l'installation d'anémomètre et la conservation des données enregistrées.

4.4.3.2 Détermination du C_{fu}

Lorsqu'on dispose de telles statistiques (fournies par les services météorologiques), le coefficient de fréquence d'utilisation d'une direction d'envol est déterminé en faisant le produit vitesse du vent par le sinus de l'angle qu'il fait avec la direction étudiée, on saura quelle est la fréquence des composantes transversales supérieures au minimum imposé donc le coefficient d'utilisation de la direction étudiée.

On peut aussi utiliser la méthode graphique (polaire-azimut-fréquence), qui consiste à déterminer la valeur du C_{fu} d'une direction donnée à partir de la rose des vents.

4.4.3.3 Construction de la rose des vents

Le principe de la construction du graphique polaire appelé aussi rose des vents, consiste simplement à convertir les données météorologiques concernant les vitesses et directions des vents enregistrés pendant 5 ans et présenté précédemment sous forme tabulaire en une forme graphique où:

- Chacune des 18 directions d'une aire de vent est figurée par un rayon
- Chacune des vitesses de vents observée est représentée par un cercle concentrique
- Les fréquences de vent observées sont notées par un nombre (n_{dv}) dans chaque trapèze curviligne vitesse-azimut.

4.4.3.4 Détermination du C_{fu} d'une Direction donnée par la méthode graphique

On trace à partir du centre des cercles concentriques, la direction d'envol à étudier (Δ) et on trace les tangentes (Δ_1) et (Δ_2) au cercle correspondant à la force du vent traversier admissible pour la classe de l'avion considérée, et parallèles à la direction d'envol à étudier. La somme des nombres inscrit dans les trapèzes vitesse-azimut compris entre ces 2 tangentes donne le nombre de cas admissible pour la direction considérée (appelé aussi, nombre des vents absorbés par la direction).

Connaissant le nombre total d'observation N , le nombre des cas admissibles N_1 on peut déduire la valeur du coefficient de fréquence d'utilisation C_{fu} .

$$C_{fu} = \frac{N_1}{N} \times 100$$

avec:

N_1 : Nombre de cas admissible (nombre de vent absorbé par la direction considérée)

Il est parfois plus simple de comptabiliser le nombre des vents extérieurs donc représentant le nombre de cas inadmissible (ou vents non absorbés), notés N_e , dans ce cas, connaissant le nombre total d'observation N on peut en déduire N_1 :

$$N_1 = N - N_e$$

Donc le C_{fu} sera déterminé par la formule:

$$C_{fu} = \frac{N_1}{N} \times 100$$

4.4.3.5 Problème pratique

En réalité on ne demande pas généralement d'étudier le coefficient d'utilisation pour une direction donnée, mais de déterminer la direction de piste qui donne la plus grande valeur possible du **Cfu**. Il suffit alors de déterminer la valeur du **Cfu** des 9 orientations possibles et de construire un graphique en portant en abscisse les directions d'envol, et en ordonnée les valeurs correspondantes des **Cfu**. On trace la courbe d'utilisation (appelée Sms), le maximum correspond à l'orientation ayant le meilleur **Cfu**.

Cette procédure permet de visualiser la variation de **Cfu** selon les orientations possibles, et par conséquent, permet de limiter les possibilités offertes pour le choix d'une ou plusieurs directions d'envol.

4.4.3.6 Exemple d'application

Étant donné un site vierge sur lequel est prévue la construction d'un aérodrome. Des mesures du régime des vents sur une période de 5 années ont été établis. Les résultats des prélèvements sont présentés dans le Tableau 4.3.

On se propose de déterminer les directions d'envol, correspondants aux meilleurs coefficients de fréquence d'utilisation.

On suppose que la ou les piste (s) à concevoir et ou sont destinée (s) pour des avions dont la distance de référence est supérieure à 1500m.

Pour couvrir toutes les directions de l'azimut, il suffit d'étudier les directions comprises dans le cadran polaire N-16, donc à déterminer les **Cfu** correspondants aux directions suivantes : N, 02, 04, 06, 08, 10, 12, 14, et 16.

Étapes de calcul :

- Construction du Graphique polaire (rose des vents)

Le graphique polaire correspondant aux données météorologiques relatives au régime des vents est présenté dans la Figure 4.1.

- Détermination des vents non-absorbés correspondants à chaque direction étudiée

Pour chaque direction considérée on trace la direction, on mène les parallèles tangentes au cercle correspondant à la vitesse critique (10 m/s) et on comptabilise le nombre des cas inadmissibles ou admissibles (en d'autre terme on comptabilise soit les vents extérieurs ou intérieurs au couloir constitué par les parallèles (Δ_1) et (Δ_2), propres à chaque direction étudiée (Δ). Dans ce cas les vents non-absorbés (extérieurs) sont comptabilisés, les résultats sont présentés dans le Tableau 4.4.

- Calcul des **Cfu**

- On calcul la somme totale des observations $N = 5646 + 8415 = 14061$
- On détermine $N_1 = N - N_e$

- On calcul le Cfu propre à chaque direction par la formule : $Cfu = \frac{N1}{N} \times 100$

Les résultats obtenus sont présentés dans le Tableau 4.5.

- Construction de la courbe Sms

On trace la courbe représentative de la variation du Cfu (portés en ordonnées) en fonction des directions (portées en abscisse). Voir Figure 4.2.

- Conclusion

D'après la courbe Sms on remarque bien, que pour ce cas la ou les directions d'envol à considérées pour cet aérodrome doivent correspondre aux plus grandes valeurs des Cfu obtenus. Les pistes à concevoir doivent être orientées dans le cadran compris entre les directions 04 (40° à partir du Nord) et 06 (60° à partir du Nord).

Il faut noter que la courbe Sms n'est que représentative de la variation du Cfu en fonction des directions considérées, le choix d'une direction ne dispense pas de l'obligation de déterminer le Cfu par la méthode indiquée auparavant et ne peut être directement lu sur la courbe.

4.4.4 Autres considérations pour le choix d'une direction d'envol

En plus du coefficient de fréquence d'utilisation Plusieurs autres facteurs doivent être pris en considération lors du choix final de la direction de la piste, parmi les plus importants préconisés par l'OACI, on peut citer:

- Les conditions météorologiques, particulièrement le coefficient d'utilisation déterminé par la répartition des vents.
- La topographie de l'emplacement de l'aérodrome et de ses abords;
- La qualité des dégagements offerte par la direction considérée
- La nature et le volume de la circulation aérienne, y compris les aspects du control de la circulation aérienne;
- Les considérations écologiques, notamment en ce qui concerne les nuisances sonores dues aux bruits des avions.

D'une manière générale les pistes devraient être orientées dans la limite du possible, de façon que les avions ne survolent pas des zones à forte densité de population et éviter les obstacles.

4.4.5 Visibilité

Lorsque la visibilité sur le site d'un aérodrome est mesurée au-dessous d'une certaine valeur, les règlements de la circulation aérienne imposent des procédés d'atterrissage et de décollage spécial, différentes du vol à vue, et mettant en jeu des instruments spéciaux de navigation : On dit qu'il y a atterrissage aux instruments spéciaux de navigation. Ces opérations exigent des pistes et des dégagements de caractéristiques de celles exigées pour les opérations à vue. Il est nécessaire de vérifier qu'il existe, parmi les directions d'envol une direction susceptible de se prêter aux opérations aux instruments ou d'en choisir une spécialement. Cette vérification ou ce choix ne pourront résulter que de la connaissance des conditions minimales de visibilité

imposant l'atterrissage aux instruments, on admettra pour ces minimums les valeurs suivantes :

- Hauteur des nuages (ou plafond) 300m
- Visibilité horizontale 5000M

Les relevées météorologiques permettront de déterminer la fréquence de ces conditions, et les vents qui les accompagnent. Le choix de la direction complexes, mais il est indispensable dès le début de l'étude d'un aérodrome.

4.5 LES PISTES D'ENVOL

4.5.1 Définition

Une piste d'envol est une aire sur l'aérodrome terrestre aménagé par la construction d'une chaussée afin de servir au décollage et à l'atterrissage des avions, elle a la forme d'un rectangle allongé parcouru par l'avion dans le sens de la longueur et dont l'axe longitudinal est une direction d'envol.

4.5.2 Caractéristiques Physiques

4.5.2.1 Nombre et orientations

En plus des paramètres influant directement le choix des orientations ainsi que le nombre de pistes à prévoir pour un aérodrome donné, et qui dépendent principalement des facteurs climatiques (fréquence du vent, la visibilité), l'implantation de ou des pistes doit tenir compte des paramètres suivants:

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

4.5.2.2 Catégories de pistes

Selon la méthode d'approche utilisée par les avions pour accéder à une piste on distingue :

- Piste aux instruments

C'est une piste destinée aux aéronefs qui utilisent des procédures d'approche aux instruments ce peut être :

- Une piste avec approche classique : piste aux instruments desservie par des aides visuelles et une aide non visuel assurant au moins un guidage en direction satisfaisant pour une approche en ligne droite.
- Une piste avec approche de précision, Catégorie I : Piste aux instruments desservie par un ILS et des aides visuelles t destinées à l'approche jusqu'à une hauteur de décision de 60 m et jusqu'à une portée visuelle de piste de l'ordre de 800 m.
- Une piste avec approche de précision Catégorie II : Piste aux instruments desservi par un ILS et des aides visuelles et destinée à l'approche jusqu'à une hauteur de 30 m et jusqu'à une portée visuelle de piste de l'ordre de 400 m.
- Une piste avec approche de précision, Catégorie III : Piste aux instruments desservie par un ILS jusqu'à la surface de la piste le long de cette surface, et :
 - a. Destinée à l'approche jusqu'à une portée visuelle de piste de l'ordre de 200 m (aucune hauteur de décision n'étant applicable) avec utilisation d'aides visuelles au cours de la phase finale de l'atterrissage ;

- b. Destinée à l'approche jusqu'à une portée visuelle de piste de l'ordre de 50 m (aucune hauteur de décision n'étant applicable) avec utilisation d'aides visuelles pour la circulation au sol ;
 - c. Destinée à être utilisée pour l'atterrissage ou la circulation au sol sans recours à des moyens de repérage visuel.
- Piste à vue : Piste destinée aux aéronefs effectuant une approche à vue.

4.5.2.3 Les différents types de pistes

Lorsque l'aérodrome comporte plusieurs pistes, on distingue d'une part les pistes principales, et d'autre part, les pistes secondaires qui peuvent être de la même catégorie que la piste principale ou d'une catégorie inférieure.

- Les pistes principales

Les pistes principales sont en principe les plus longues de l'aérodrome, ce sont celles qui correspondent aux meilleurs dégagements et si possible, à la direction ayant le meilleur coefficient d'utilisation. Ces pistes constituent l'espace de l'aire de mouvement le plus utilisé, par conséquent l'emplacement des installations divers sera effectué relativement à leurs positions.

- Les piste secondaires

On distingue deux classes de pistes secondaires :

- Les pistes secondaires de même catégorie que la pistes principale : ces pistes sont utilisées lorsque la direction du vent ne permet pas l'utilisation de la piste principale, ou lorsque des circonstances particulières rendent la piste principale impraticable.
- Les pistes secondaires 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 de vents traversiers plus faibles) que ceux des pistes principales.

4.5.2.4 Cas des Pistes Parallèles

Pour doter un aérodrome d'un système de pistes parallèles destinées à être utilisées simultanément, l'OACI exige la vérification de certaines conditions à satisfaire au niveau de leur implantation :

- Condition VMC : lorsque les pistes parallèles sont destinées à n'être utilisées que dans les conditions météorologiques de vol à vue, la distance minimale à pouvoir entre leurs axes devrait être :
 - 210 m lorsque le chiffre de code le plus élevé est 3 ou 4 ;
 - 150 m lorsque le chiffre de code le plus élevé est 2 ;
 - 120 m lorsque le chiffre de code le plus élevé est 1.

- Condition IMC : lorsque des pistes parallèles sont destinées à être utilisées simultanément dans les conditions météorologiques de vol aux instruments. L'OACI recommande que dans ce cas un écartement bien plus grand est nécessaire. A titre indicatif, les Etats Unis d'Amérique ont adopté les minimums suivants :
 - Approches simultanées : distance entre-axe minimal de 1300m
 - Départ et arrivées simultanés (control par radar): distance minimal entre-axe de 1050m

4.5.3 Caractéristiques Géométriques

4.5.3.1 Longueurs des pistes

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

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

4.5.3.2 Longueur de base d'une piste

C'est la longueur choisie à des fins de planification d'aérodrome, qui est nécessaire pour le décollage ou l'atterrissage dans les conditions correspondant à l'atmosphère type, à l'altitude zéro, avec vent nul et pente de piste nulle.

L'atmosphère type est définie comme suit :

- L'air est un gaz parfait sec
- La pression atmosphérique au niveau de la mer : $P_0 = 1013,250$ millibars
- La température au niveau de la mer : $t_0 = 15$ °C

Pour la détermination de cette longueur une étude doit être faite dans laquelle il est tenu compte des spécifications de décollage et d'atterrissage des avions devant fréquenter l'aérodrome, des pentes de pistes et des différentes longueurs à prévoir pour la piste en fonction des distances déclarées (voir 4.5.3.5).

Cette étude permettra de déterminer les longueurs de base nécessaires pour les opérations d'atterrissage et de décollage. Il faut rappeler que ces longueurs de base sont déterminées pour les conditions sus-mentionnées (niveau de la mer, pente nulle et atmosphère type).

4.5.3.3 Longueur réelle des pistes

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

de ces avions les corrections correspondantes aux conditions locales. Cette condition ne signifie pas nécessairement qu'il faut prévoir l'exploitation de l'avion critique à sa masse maximale.

Il est nécessaire de prendre en considération le besoins au décollage et à l'atterrissage lorsqu'on détermine le longueur de piste à aménager et la nécessité d'utiliser la piste dans les deux sens. Parmi les conditions locales qu'il peut être nécessaire de prendre en considération figurent l'altitude, la température, la pente de la piste, l'humidité et les caractéristiques de surface de la piste. Lorsqu'on ne possède pas de données de performance sur les avions auxquels la piste est destinée, la longueur réelle d'une piste principale peut être déterminer en appliquant des facteurs de correction généraux.

Pour choisir la longueur réelle d'une piste il est nécessaire de faire subir à la longueur de base une triple correction: d'altitude, de température et de pente.

- **Correction de l'altitude:**

7% d'augmentation par 300 m d'altitude l'aérodrome, le coefficient de correction de l'altitude sera donc déterminé par la formule suivante:

$$C_1 = \frac{7 \times H}{300}$$

- **Correction de température:**

1% d'augmentation par degré centigrade d'excédent de la température de l'aérodrome sur la température T_0 en atmosphère standard à l'altitude de l'aérodrome.

La température T de référence de l'aérodrome est donnée par la formule suivante:

$$T = T_1 - \frac{T_2 - T_1}{3}$$

T_1 : la température moyenne quotidienne du mois le plus chaud.

T_2 : la température des maximums diurnes du mois le plus chaud.

La température t en atmosphère standard à une altitude h mètre est égale, en °C, à:

$$t = t_0 - 0.0065 \times h = 15 - 0.0065 \times h$$

donc :

$$C_2 = T - t$$

- **Correction de pente:**

Si P_m est la pente moyenne de la piste exprimée en pour cent, P_m est obtenue en divisant la différence d'altitude entre le point haut et le point bas par la longueur d la piste:

le coefficient de correction de la pente est donné par l'équation:

$$C_3 = 3,5 \times P_m \quad (\text{si } P_m < 1\%)$$

la correction totale de la longueur de base d'une piste est donc le cumule des trois corrections, de l'altitude, de la température et de la pente:

le coefficient de correction total est donc:

- Pour déterminer la longueur réelle nécessaire au décollage, notée L_{rd}

$$C_c = \left(1 + \frac{C_1}{100}\right) \times \left(1 + \frac{C_2}{100}\right) \times \left(1 + \frac{C_3}{100}\right)$$

- Pour déterminer la longueur réelle nécessaire à l'atterrissage notée L_{ra}

$$C_c = \left(1 + \frac{C_1}{100}\right)$$

La longueur de la piste devra être égale C_c fois la longueur de base choisie (décollage ou atterrissage).

La longueur réelle de la piste à adoptée est le maximum entre la longueur réelle nécessaire au décollage et la longueur réelle nécessaire à l'atterrissage.

Exemple d'application:

1- Énoncé des données :

- Aérodrome :
Altitude : 150 m
Température de référence de l'aérodrome : $T = 24^\circ\text{C}$
Pente moyenne de la piste : $P_m = 0,5\%$

- Longueurs de base :
 - Longueur de base nécessaire pour atterrir au niveau de la mer : 2100 m
 - Longueur de base nécessaire pour décoller au niveau de la mer : 1700 m

2- Détermination de la longueur réelle de la piste :

- **Longueur réelle nécessaire au décollage :**

- Coefficient de correction de l'altitude C_1 :

$$C_1 = \frac{7 \times H}{300} = \frac{7 \times 150}{300} = 3,5$$

- Coefficient de correction de la température C_2 :

$$t = 15 - 0.0065 \times h = 15 - 0.0065 \times 150 = 14,025$$

$$C_2 = T - t = 24 - 14,025 = 9,975$$

- Coefficient de correction de pente C_3 :

$$C_3 = 3,5 \times P_m = 3,5 \times 0,5 = 1,75$$

- Coefficient de correction Total C_t :

$$C_c = \left(1 + \frac{C_1}{100}\right) \times \left(1 + \frac{C_2}{100}\right) \times \left(1 + \frac{C_3}{100}\right) = \left(1 + \frac{3,5}{100}\right) \times \left(1 + \frac{9,975}{100}\right) \times \left(1 + \frac{1,75}{100}\right) = 1,1581$$

$$C_t = 1.1581$$

$$L_{rd} = C_t \times L_b = 1700 \times 1,1581 = 1968,77 \text{ m}$$

- **Longueur réelle nécessaire à l'atterrissage :**

$$C_c = \left(1 + \frac{C_1}{100}\right) = \left(1 + \frac{3,5}{100}\right) = 1,035$$

$$L_{ra} = C_1 \times L_{ba} = 1,035 \times 2100 = 2173,5 \text{ m}$$

3- Longueur réelle de la piste Max (L_{rd} , L_{ra}) : **$L_r = 2174 \text{ m}$**

4.5.3.4 Piste avec prolongement d'arrêt et / ou prolongement dégagé

Dans le cas général, Le seuil d'une piste est normalement situé à son extrémité si aucun obstacle ne fait saillie au-dessus de la surface d'approche. Dans certains cas cependant, il peut être nécessaire, en raison des conditions locales et d'exploitation, de décaler le seuil d'une manière permanente. Avant de prendre cette décision, il est indispensable de chercher la solution optimale pour assurer une surface d'approche dégagée d'obstacle et une distance d'atterrissage suffisante en prenant en considération les types d'avions auxquels la piste est destinée, les conditions de visibilité les plus défavorables et l'emplacement des obstacles par rapport au seuil de la piste.

4.5.3.5 Les distances déclarées

Les distances déclarées expriment les différentes distances que peut avoir une piste pour répondre aux besoins d'atterrissage et décollage des avions auxquels elle est destinée. L'Annexe 14 spécifie que les distances déclarées doivent être calculées pour une piste destinée à être utilisée par des aéronefs de transport commercial international.

Les distances déclarées sont les suivantes :

- ASDA : Distance utilisable pour l'accélération – arrêt. C'est la distance de roulement utilisable au décollage, augmentée de la longueur du prolongement d'arrêt, s'il y en a un.
- LDA : Distance utilisable à l'atterrissage. C'est la longueur de la piste déclarée comme étant utilisable et convenant pour le roulement au sol d'un avion à l'atterrissage.
- TODA : Distance utilisable au décollage. C'est la distance de roulement utilisable au décollage, augmentée de la longueur du prolongement dégagé, s'il y en a un.
- TORA : Distance de roulement utilisable au décollage. C'est la longueur de piste déclarée comme étant utilisable et convenant pour le roulement au sol d'un avion au décollage.

Dans le cas où la piste ne comporte ni prolongement d'arrêt, ni prolongement dégagé, le seuil étant lui-même situé à l'extrémité de la piste, les quatre distances déclarées devraient normalement avoir la même longueur que la piste.

4.5.3.6 Largeur des pistes

Il est recommandé que la largeur de piste ne soit pas inférieure à la dimension spécifiée dans le tableau suivant :

| Chiffre de code | Largeur (en m) Selon la lettre de Code | | | | |
|---|---|----|----|----|----|
| | A | B | C | D | E |
| 1 ^a | 18 | 18 | 23 | -- | -- |
| 2 ^a | 23 | 23 | 30 | -- | -- |
| 3 | 30 | 30 | 30 | 45 | -- |
| 4 | -- | -- | 45 | 45 | 45 |
| (a) : 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 | | | | | |

4.5.3.7 Profil en long

- Pentes longitudinales

Le profil en long des pistes doit être aussi plat que possible. 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 code est 4 ; toutefois, sur les premiers et derniers quarts de la longueur de la piste, la pente longitudinal ne devrait dépasser 0,8%.
- 1,5% lorsque le chiffre de code est 3 ; Toutefois, sur les pistes premiers et derniers quarts la longueur d'une piste avec approche de précision II et III, la pente longitudinale ne devrait pas dépasser 0,8% ;
- 2 % lorsque le chiffre de code est 1 ou 2

- Changement 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 1 ou 4 ;
- 2% lorsque le chiffre de code est 1 ou 2.

- Courbes de raccordement

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 30m (rayon de courbure minimal de 30000 m) lorsque le chiffre de code est 4 ;
- 0,2% par 30m (rayon de courbure minimal de 15000 m) lorsque le chiffre de code est 3 ;
- 0,4% par 30m (rayon de courbure minimal de 7500 m) lorsque le chiffre de code est 1 ou 2.

- Distance de visibilité

Lorsqu'ils sont inévitables, les changements de pente longitudinales devraient être tel que :

- Lorsque la lettre de code est C, D ou E, tout point situé à 3 m au-dessus d'une piste soit visible de tout autre point situé également à 3 m au-dessus de la piste jusqu'à une distance au moins égale à la moitié de la longueur de la piste ;
- Lorsque la lettre de code est B, tout point situé à 2 m au-dessus d'une piste soit visible de tout autre point situé également à 2 m au-dessus de la piste jusqu'à une distance au moins égale à la moitié de la longueur de la piste ;
- Lorsque la lettre de code est A, tout point situé à 1,5 m au-dessus d'une piste soit visible de tout autre point situé également à 1,5 m au-dessus de la piste jusqu'à une distance au moins égale à la moitié de la longueur de la piste.

- Distance entre changement 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 :

1. produit de la somme des valeurs absolues des changements de pente correspondants par la longueur appropriée ci-après :

- 30000 m lorsque le chiffre de code est 4 ;
- 15000 m lorsque le chiffre de code est 3 ;
- 5000m lorsque le chiffre de code est 1 ou 2 ;

2. 45 m.

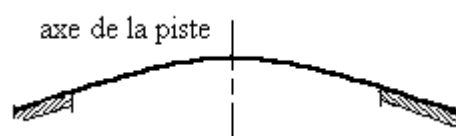
4.5.3.8 Profil en travers

- Type de profils

Les profils en travers-type des pistes d'envol peuvent être de l'un des trois types suivants :

- Profil à simple bombement

Le plus employé, comporte deux versant plan raccordé par une courbe circulaire ou parabolique; dans la pratique, cette courbe est remplacée, dans le cas des revêtements en béton, par une ligne polygonale inscrite.



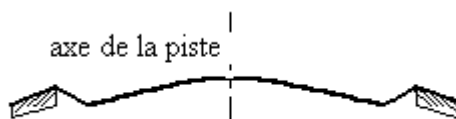
- Profil à pente unique:

Ce profil est employé lorsque le terrain naturel a sa plus grande à peu près orthogonale à l'axe de la piste



- Profil en W

Comporte une partie centrale semblable au profil à simple bombement et, de part et d'autre, deux versants plans de faible largeur (moins de 7,5 m) inclinés en sens inverses; il est surtout employé pour les pistes de 60 m de largeur, pour faciliter l'évacuation des eaux.



Dans tous les cas, le profil en travers doit être aussi plat que possible, mais présente des Pentes suffisantes pour assurer l'écoulement des eaux.

• 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 la cas où les vents de pluies 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 d'identification de la piste est C, D ou E ;
- 2% lorsque la lettre d'identification de la piste est A ou B ;

la pentes transversale ne devrait en aucun cas être supérieur aux valeurs sus-mentionnées, 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.

4.5.4 Résistance de piste

Il est recommandé qu'une piste soit capable de supporter la circulation des avions auxquelles elle est destinée. Pour que la piste puisse répondre à cette exigence, celle ci doit être constituée d'une chaussée spéciale conçue et étudiée spécialement à cet effet. Voir dimensionnement des chaussées d'aérodrome.

4.5.5 Accotement de piste

Il est recommandé d'aménager des accotements lorsque la lettre de code est D ou E et que la largeur de la piste est inférieure à 60m.

- Largeur des accotements

Il est recommandé que les accotements de piste s'étendent symétriquement de part et d'autre de la piste de telle sorte que la largeur totale de la piste et de ces accotements ne soit pas inférieure à 60m.

- Pente des accotements

Il est recommandé qu'au raccordements 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%.

- Résistance des accotements

Il est recommandé que les accotements de pistes soient traités ou construits de manière à pouvoir supporter le poids d'un avion qui sortirait de la piste sans que cet avion subisse de dommages structurels et à supporter le poids des véhicules terrestres qui pourraient circuler sur ces accotements.

4.6 LES VOIES DE CIRCULATION

4.6.1 Définition

Les voies de circulation sont les parties de la surface de l'aérodrome empruntées par les aéronefs pendant leurs évolutions au sol. Les voies de circulation sont dotées de chaussées.

4.6.2 Rôle

L'ensemble des voies de circulation devra permettre une liaison aussi directe que possible entre les différents points de l'aérodrome, afin de réduire au maximum le temps de roulage au sol des aéronefs, économie de carburant, gain de temps.

4.6.3 Emplacement

Les voies de circulation doivent être placées de manière à permettre aux aéronefs de quitter ou d'accéder aux pistes aussi rapidement que possible. Ces points (d'accès ou de sorties) sont en général, placés entre le 1/3 et 1/4 de la longueur de la piste.

4.6.4 Implantation des voies

Un appareil circulant sur une voie de circulation devrait respecter des dégagements de la bande de la piste qu'il dessert, sans nuire aux possibilités d'atterrissage ou de décollage sur la piste à laquelle la voie de circulation est associée. Cette condition permet de fixer l'emplacement entre piste et voies de circulations et entre les voies de circulation aux valeurs indiquées au tableau suivant :

| | | | Distance de séparation minimale (entre axes en m) selon la lettre de code | | | | |
|---------------------------------|------|---|---|------|-----|------|-------|
| | | | A | B | C | D | E |
| Voies de circulation parallèles | | | 23,75 | 33,5 | 44 | 66,5 | 80 |
| Piste aux instruments | Code | 1 | 82,5 | 87 | -- | -- | -- |
| | | 2 | 82,5 | 87 | -- | -- | -- |
| | | 3 | -- | -- | 168 | 176 | -- |
| | | 4 | -- | -- | -- | 176 | 182,5 |
| Piste à vue | Code | 1 | 37,5 | 42 | -- | -- | -- |
| | | 2 | 47,5 | 52 | -- | -- | -- |
| | | 3 | -- | -- | 93 | 101 | -- |
| | | 4 | -- | -- | -- | 101 | 107,5 |

4.6.5 Tracé des voies de circulation

Le tracé des voies de circulation doit être conçu de manière à réduire et faciliter le plus possible les parcours des aéronefs au sol; à cet effet, il doit être simple et direct et comporter le maximum de lignes droites et le minimum de virages.

4.6.7 Intersections et congés

Les intersections de voies de circulation entre elles ou avec une piste ou une aire de stationnement, implique le cas échéant, pour les aéronefs, un changement de direction. On admet que celui ci est effectué à vitesse réduite en faisant suivre au poste de pilotage une portion de circonférence définie, correspondant à des congés de raccordement dont les rayons minimaux sont fixés par l'annexe 14 selon la classe de l'aérodrome.

4.6.8 Largeur des voies

- Disposition

Il est recommandé que La conception d'une voie de circulation soit telle que, lorsque le poste de pilotage des avions reste à la verticale des marques axiales de la voie de circulation, la distance minimale de dégagement entre les roues extérieures du train principale de l'avion et le bords de la voie de circulation ne soit pas inférieure aux distances spécifiées dans le tableau suivants :

| Lettre de Code | Dégagement |
|----------------|--|
| A | 1,5 m |
| B | 2,25 m |
| C | <ul style="list-style-type: none"> - 3 m, si la voie de circulation est destinée à des avions dont l'empattement est inférieur à 18m ; - 4,5 m, si la voie de circulation est destinée à des avions dont l'empattement est supérieur à 18m ; |
| D | 4,5 m |
| E | 4,5 m |

- Largeur

Il est recommandé que la largeur d'une partie rectiligne d'une voie de circulation soit au moins égale a la valeur fixé indiquée dans le tableau suivant :

| Lettre de Code | Largeur de voie de circulation |
|----------------|--|
| A | 7,5 m |
| B | 10,5 m |
| C | <ul style="list-style-type: none"> - 15 m : si la voie de circulation est destinée aux avions dont l'empattement est inférieur à 18m. - 18 m : si la voie de circulation est destinée aux avions dont l'empattement est supérieur à 18m. - |
| D | <ul style="list-style-type: none"> - 18 m : si la voie de circulation est destinée aux avions dont la largeur hors-tout du train principal est inférieure à 9m. - 18 m : si la voie de circulation est destinée aux avions dont la largeur hors-tout du train principal est supérieure à 9m. |
| E | 23 m |

4.6.9 Virages des voies de circulation

Les changements de direction sur les voies de circulation doivent être aussi peu nombreux et aussi faible que possible. Les rayons de virage doivent être compatibles avec les possibilités de manœuvre et les vitesses normales de circulation au sol des avions auxquels la voie de circulation est destinée. Le tableau suivant indique les rayons de courbure qui ont été jugés appropriés pour des vitesses déterminées de circulation :

| | | | | | | |
|------------------------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|
| Vitesse au sol de l'avion. en km/h | 16 | 32 | 48 | 64 | 80 | 96 |
| Rayon du virage en m | 15 | 60 | 135 | 240 | 375 | 540 |

Aux virages il conviendrait de tenir compte de la distance entre les roues extérieures des atterrisseurs principaux des avions, donc il est nécessaire de prévoir une sur largeur suffisante voir figure.

4.6.10 Profil en long

- Pentes longitudinales

Il est recommandé que la pente longitudinale d'une voie de circulation n'excède pas les valeurs suivantes :

- 1,5% lorsque la lettre de code est C, D ou E
- 3% lorsque la lettre de code est A ou B.

- Changement de pente

Lorsqu'il est impossible d'éviter les changements de pente d'une voie de circulation, il est recommandé de réaliser le passage d'une pente à une autre par des surfaces curvilignes le long desquelles la pente ne varie pas de plus de :

- 1% pour 30m (rayon de courbure minimale de 3000m) lorsque la lettre de code est C, D ou E ;
- 1% pour 25m (rayon de courbure minimale de 2500m) lorsque la lettre de code est A ou B.

- Distance de visibilité

Il est recommandé que, lorsqu'un changement de pente sur une voie de circulation est inévitable, ce changement de pente soit tel que, de tout point situé à :

- 3 m au-dessus de la voie de circulation il soit possible de voir toute la surface de la voie de circulation sur une distance d'au moins 300 m, lorsque la lettre de code est C, D ou E ;
- 2 m au-dessus de la voie de circulation, il soit possible de voir toute la surface de la voie de circulation sur une distance d'au moins 200 m, lorsque la lettre de code est C, D ou E ;
- 1,5 m au-dessus de la voie de circulation, il soit possible de voir toute la surface de la voie de circulation sur une distance d'au moins 150 m, lorsque la lettre de code est A.

4.6.11 Profil en travers

De la même façon que pour les pistes, les profils en travers des voies de circulation sont composés de 2 versants symétriques formant un toit. Les pentes transversales des voies de circulation doivent être suffisantes pour éviter l'accumulation des eaux sur les chaussées ; toutefois, Elles doivent être comme suit :

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

4.6.12 Accotements des voies de circulation

Il est recommandé que les portions rectilignes des voies de circulation desservants une piste soient dotées d'accotement qui s'étendent symétriquement de part et d'autre de la voie de telle manière que la largeur totale des portions rectiligne ne soit pas inférieure aux valeurs suivantes à:

- 44 m lorsque la lettre de code est E ;
- 38 m lorsque la lettre de code est D ;
- 25 m lorsque la lettre de code est C.

Dans les virages des voies de circulation, aux jonctions ou aux intersections, où la chaussée a été élargie, la largeur des accotements ne devrait pas être inférieure à celle des accotements des portions rectilignes adjacentes des voies de circulation.

4.6.13 Recommandation générale

Lorsqu'une voie de circulation doit être utilisée par des avions à turbomachine, la surface des accotements devrait être traitée de manière à résister à l'érosion et à éviter la projection des matériaux de surface par le souffle des réacteurs.

4.7 LES BANDES D'ENVOL

4.7.1 Définition

La bande d'envol est un rectangle concentrique aux pistes ainsi qu'aux voies de circulation.

4.7.2 Rôle

Leurs rôles étant de réduire le risque de dommage auxquels sont exposés les aéronefs qui sortent accidentellement des pistes ou des voies de circulation

4.7.3 Bandes d'envol des pistes

Une piste doit être placée obligatoirement à l'intérieur d'une bande d'envol, ayant les caractéristiques suivantes :

4.7.3.1 Longueur des bandes de piste

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

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

4.7.3.2 Largeur des bandes de piste

- Piste aux instruments

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

- 150m lorsque le chiffre de code est 3 ou 4;
- 75m 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.

- Piste à vue

Il est recommandé que toute bande à l'intérieur de laquelle s'inscrit une piste à vue s'étendra 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.

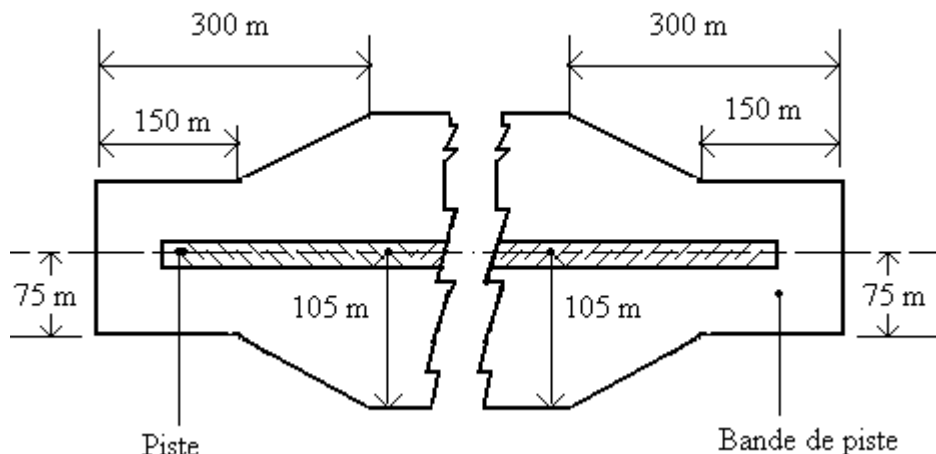
4.7.3.3 Nivellement des bandes de piste

- Piste aux instruments

Il est recommandé que la partie d'une bande à l'intérieur de laquelle s'inscrit une piste aux instruments présente, sur une distance par rapport à l'axe et à son prolongement d'au moins :

- 75 m lorsque le chiffre de code est 3 ou 4 ;
 - 40 m lorsque le chiffre de code est 1 ou 2 ;
- une aire nivelée.

Pour une piste avec approche de précision, il peut être souhaitable d'adopter une plus grande largeur de nivellement lorsque le chiffre de code est 3 ou 4. La forme et les dimensions d'une bande plus large qui peut être envisagée pour de telle piste sont présentées dans la figure ci-après.



- Piste à vue

Il est recommandé que la partie d'une bande à l'intérieur de laquelle s'inscrit une piste à vue présente, sur une distance par rapport à l'axe et à son prolongement d'au moins :

- 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 ;
- une aire nivelée.

4.7.3.4 Pentas longitudinales

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

- 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.

4.7.3.5 Pentas 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 dépasse 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%.

4.7.3.6 Résistance des bandes de piste

- Piste aux instruments

Il est recommandé que, la partie d'une bande à l'intérieur de laquelle se trouve une piste aux instruments soit aménagée ou construite, sur une distance par rapport à l'axe ou de son prolongement d'au moins :

- 75 m lorsque le chiffre de code est 3 ou 4 ;
- 40 m lorsque le chiffre de code est 1 ou 2 ;

de manière à réduire au minimum le danger que constituent les différences de force portante pour les avions auxquels la piste est destinée, dans le cas où un avion sortirait de la piste.

- Piste à vue

Il est recommandé que, la partie d'une bande contenant une piste à vue, soit sur une distance d'au moins :

- 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 ;

de l'axe et de son prolongement, aménagée ou construite de manière à réduire au minimum le danger que constituent les différences de force portante pour les avions auxquels la piste est destinée, dans le cas où un avion sortirait de la piste.

4.7.4 Bandes d'envol des voies de circulation

Une voie de circulation sera comprise dans une bande, sauf s'il s'agit d'une voie d'accès de poste de stationnement.

4.7.4.1 Largeur des bandes de piste

Il est recommandé qu'une bande de voie de circulation s'étende symétriquement de part et d'autre de l'axe de celle-ci, sur toute la longueur de cette voie, jusqu'à une distance de l'axe au moins égale à :

| Lettre de Code | A | B | C | D | E |
|----------------|-------|------|----|------|------|
| Distance en m | 16,25 | 21,5 | 26 | 40,5 | 47,5 |

4.7.4.2 Nivellement des bandes de voie de circulation

Il est recommandé que la partie centrale d'une bande de voie de circulation présente une aire nivelée jusqu'à une distance de l'axe de la voie de circulation d'au moins :

- 11 m lorsque la lettre de code est A ;

- 12,5 m lorsque la lettre de code est B ou C;
- 19 m lorsque la lettre de code est D ;
- 22 m lorsque la lettre de code est E.

4.7.4.3 Pentres sur les bandes de voies de circulation

Il est recommandé que la surface de la bande soit de niveau avec les bords de la voie de circulation ou des accotements, lorsqu'il existe, et que la pente transversale montante supérieure de sa partie nivelée ne dépasse pas :

- 2,5% lorsque la lettre de code est C, D ou E ;
- 3% lorsque la lettre de code est A ou B ;

la pente montante étant mesurée par rapport à la pente transversale de la surface de voie de circulation adjacente et non par rapport à l'horizontale. La pente transversale descendante ne devrait pas dépasser 5% par rapport à l'horizontal.

Il est aussi recommandé que, la pente transversale montante de toute partie d'une bande de voie de circulation située au-delà de la partie qui doit être nivelée ne dépasse pas 5% dans la direction perpendiculaire à la voie de circulation.

4.8 LES AIRES DE STATIONNEMENT

4.8.1 Définition

Les aires de stationnement font partie de l'aire de mouvement, elles comprennent les aires de trafic, et dans certain cas des aires de garage et des aires d'entretien. Le terme « aire de stationnement » n'est pas utilisé dans l'annexe 14 à la convention de Chicago. Les aires, autres que les pistes et voies de circulation sont désignées sous le terme générique «aires de trafic»

On note que l'appellation française est mieux significative, du moment que l'aire de stationnement est définie comme étant la surface « hors pistes et voies de circulation » destinée aux opérations de transbordement, de garage et d'entretien. Donc selon cette définition, l'aire de stationnement peut être constituée par :

- L'aire de trafic
- L'aire de garage
- L'aire d'entretien

4.8.2 Front des installations

Il faut noter que selon la réglementation française, tous les ouvrages autres que l'aire de mouvement et ses équipements appartiennent à une ou plusieurs zones dites zones des installations. De manière générale, les installations peuvent être de deux natures différentes :

- Installations destinées au public
- Installations destinées aux différents services d'exploitation de l'aérodrome.

La limite entre les zones d'installations et l'aire de mouvement est dite front des installations. Le front des installations peut évoluer au cours de la croissance de l'aérodrome, à cause des constructions nouvelles ou des extensions des installations existantes (extension de l'aérogare par exemple). Au cours de cette évolution, toutefois, les avancées du front des installations en direction de l'aire de stationnement doivent rester en deçà d'une ligne qui représente l'emplacement ultime que peut atteindre le front des installations. Cette limite ultime est établie de façon à permettre l'accès de l'aire de stationnement aux avions les plus contraignants envisagés à terme sur l'aérodrome, compte tenu de leurs dimensions et des espaces que requiert leur manœuvre au sol.

Cette ligne est donc inscrite dans les documents de planification à long et moyen termes, qui sont l'avant-projet de plan de masse et le plan de composition générale. Elle y prend en générale le nom de « front des installations », sans autre précision. Il doit être alors implicitement compris qu'il s'agit en fait de la limite assignée au front des installations, et qu'elle peut ne pas correspondre à la position réelle du front des installations au moment où l'on établit l'avant projet du plan de masse ou le plan de composition générale.

Pour les aérodromes de faible ou moyenne importance, le front des installations est le plus souvent en phase ultime rectiligne et parallèle à la piste.

4.8.3 Organisation de l'aire de stationnement

Pour des aérodromes importants, l'organisation générale des installations et de l'aire de stationnement dépend du concept retenu pour l'aérogare et conduit rarement à prévoir un front des installations rectiligne. D'ailleurs que le front soit rectiligne ou non, une étude spécifique s'impose presque toujours. Cette étude doit tenir compte des caractéristiques des aéronefs attendus sur l'aérodrome, et de la spécialisation éventuelle de certaines parties de l'aire de

stationnement et de l'aérogare à certains types d'aéronefs. La distance entre l'axe d'une piste et le front des installations qui en résulte, peut être assez différente de celle mentionnée au tableau précédent.

A titre indicatif la Figure 4.3 schématise les quatre principaux concepts de base pour l'ensemble aérogare-aires de trafic :

- Le concept « Linéaire » : les avions sont alignés au contact de l'aérogare ;
- Le concept « jetée » : les avions sont rangés de part et d'autre d'une jetée issue de l'aérogare ;
- Le concept « satellite » : les avions stationnent autour d'un satellite construit au centre d'une aire de stationnement, à une certaine distance de l'aérogare ;
- Le concept « transbordeur » : un véhicule spécial recueille les passagers de l'aérogare et les conduit directement aux portes des avions stationnant sur les postes éloignés de l'aérogare.

Dans les aérodromes à fort trafic, ces concepts se combinent le plus souvent.

4.8.4 Manœuvre et mode de stationnement

Lors de la conception des aires de stationnement on doit tenir compte du mode de stationnement de l'avion auquel un poste est réservé. Pour le stationnement proprement dit on distingue deux types de manœuvres : manœuvre autonome et manœuvre poussée.

- Manœuvre autonome : dans ce cas l'avion circule à l'aide de ses moteurs. Le pilote peut être assisté ou non d'un placeur, est aidé de ligne de marques de guidage tracées sur la chaussée.

Au cours des manœuvres de virage, chacun des points de l'avion décrit un cercle dont le plus grand est appelé cercle d'évolution (Voir Figure 4.4). La position du centre de rotation et le rayon du cercle d'évolution dépendent de l'angle de braquage de la roulette de nez qui est une caractéristique de l'avion, l'angle pratique maximal étant en général de 10% inférieur à l'angle mécaniquement possible.

- Manœuvre poussée : dans ce cas l'avion se positionne à l'arrivée de façon autonome sur une ligne droite, et un tracteur spécial est utilisé ensuite pour le poussage de l'appareil. La manœuvre poussée n'est pratiquement utilisée que pour des cas particuliers de positionnement de l'avion (avant ou oblique).

4.8.5 Positionnement de l'avion

De par sa conception, l'avion peut théoriquement effectuer n'importe quel positionnement, toutefois on prenant en considération le fait que le débarquement et l'embarquement des passagers se fassent du côté gauche de l'avion, certains positionnements offrent de meilleures possibilités, on distingue:

- Positionnement oblique arrière à 45°:
- Positionnement parallèle (peu utilisé)
- Positionnement oblique avant à 45°:
- Positionnement perpendiculaire

(Voir figure 4.5)

4.8.6 Nombres et taille des postes de stationnement

Le nombre et la taille des postes de stationnement dépendent en premier lieu des prévisions du volume du trafic affecté à l'aérodrome. Ces prévisions se basent généralement sur une étude à court et à long terme du trafic. Cette étude permettra de déterminer approximativement le nombre de poste nécessaire pour chaque classe de catégorie d'avions.

4.8.7 Accotements des aires de stationnement

La circulation des avions sur les aires de stationnement se fait obligatoirement à vitesse réduite, le risque de les voir quitter accidentellement la chaussée est donc très faible. Pour des aérodromes importants, la circulation des véhicules terrestres se fait souvent sur les accotements, c'est pourquoi, ces derniers peuvent être dimensionnés comme chaussées routières.

Il faut noter que les aménagements à effectuer sur les accotements se limitent à la réalisation de bandes anti-souffle au bord des aires utilisées par des avions à réacteurs

4.8.8 Pentés des aires de stationnement

L'établissement du plan de nivellement d'une aire de stationnement est une opération assez complexe qu'il convient d'examiner avec attention pour tenir compte des facteurs parfois contradictoires.

Le choix de la valeur à donner à la pente résulte d'un compromis entre la nécessité de se rapprocher au maximum de l'horizontal pour faciliter le mouvement des avions au sol, et l'obligation de favoriser, par une pente assez forte, l'écoulement rapide des eaux de ruissellement. La pente maximale recommandée est de 1%. Cette pente doit être orientée dans le sens des sorties des postes de stationnement (départ des avions).

| Vitesses en m/s | N | 02 | 04 | 06 | 08 | 10 | 12 | 14 | 16 | S | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | Totau x |
|--------------------|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|------|------|----|----|----|------------|
| 3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | | Nv3 |
| 4 | ndv | 41 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | -- | | | | Nv4 |
| 5 | - | - | - | 36 | - | -- | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | | Nv5 |
| .- | - | - | - | - | - | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | | - |
| .- | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | | - |
| 10. | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | | Nv10 |
| 11 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | | - |
| 12 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | -- | | | | - |
| 13 | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | | Nvi |
| .- | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | | - |
| .- | - | - | - | - | - | - | - | - | - | -- | - | - | - | - | - | | | | - |
| 27 | - | - | - | - | -- | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | | Nv27 |
| Totaux | Nd1 | Nd2 | Nd3 | .- | .- | .- | .- | .- | .- | Ndi | .- | .- | .- | Nd15 | Nd16 | | | | N |

-Tableau 4.2- Prélèvement du régime des vents

| Vitesses en m/s | N | 02 | 04 | 06 | 08 | 10 | 12 | 14 | 16 | S | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | Totaux |
|--------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| ≤ 3 | 8415 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 8415 |
| 4 | 49 | 41 | 44 | 40 | 42 | 37 | 42 | 27 | 20 | 25 | 22 | 26 | 33 | 34 | 87 | 81 | 79 | 59 | 788 |
| 5 | 106 | 52 | 52 | 73 | 36 | 46 | 37 | 25 | 26 | 39 | 37 | 40 | 50 | 37 | 90 | 116 | 102 | 75 | 1039 |
| 6 | 97 | 79 | 51 | 61 | 45 | 29 | 22 | 22 | 18 | 42 | 34 | 52 | 80 | 42 | 113 | 129 | 125 | 88 | 1129 |
| 7 | 61 | 58 | 41 | 28 | 22 | 26 | 18 | 13 | 7 | 34 | 40 | 54 | 49 | 55 | 66 | 98 | 78 | 70 | 818 |
| 8 | 39 | 44 | 39 | 24 | 5 | 14 | 9 | 7 | 6 | 22 | 37 | 52 | 67 | 28 | 79 | 71 | 64 | 34 | 641 |
| 9 | 22 | 32 | 13 | 9 | 3 | 8 | 8 | 1 | 4 | 13 | 19 | 36 | 34 | 18 | 45 | 48 | 39 | 27 | 379 |
| 10 | 13 | 13 | 16 | 7 | 2 | 3 | 5 | 5 | 6 | 16 | 22 | 52 | 49 | 13 | 43 | 50 | 35 | 22 | 372 |
| 11 | 4 | 2 | 4 | 4 | 2 | 3 | 4 | 1 | 1 | 11 | 11 | 20 | 22 | 11 | 33 | 26 | 20 | 12 | 191 |
| 12 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | 8 | 26 | 16 | 8 | 22 | 17 | 15 | 5 | 136 |
| 13 | | | | 1 | | 4 | 1 | | 1 | 1 | 3 | 23 | 9 | 1 | 7 | 6 | 5 | 3 | 65 |
| 14 | 1 | 1 | | | | | | | 2 | 3 | 4 | 6 | 6 | 3 | 8 | 3 | 4 | 1 | 42 |
| 15 | | | 1 | | | 1 | | | 2 | 2 | 1 | 2 | 8 | | 3 | 4 | 3 | | 27 |
| 16 | | | | | | | | | | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | | 12 |
| 17 | | | | | | | | | | | 1 | 2 | | | 3 | | | | 6 |
| 18 | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | 1 |
| Totaux | 395 | 323 | 363 | 250 | 158 | 173 | 147 | 103 | 94 | 212 | 241 | 393 | 426 | 251 | 600 | 251 | 570 | 396 | 5646 |

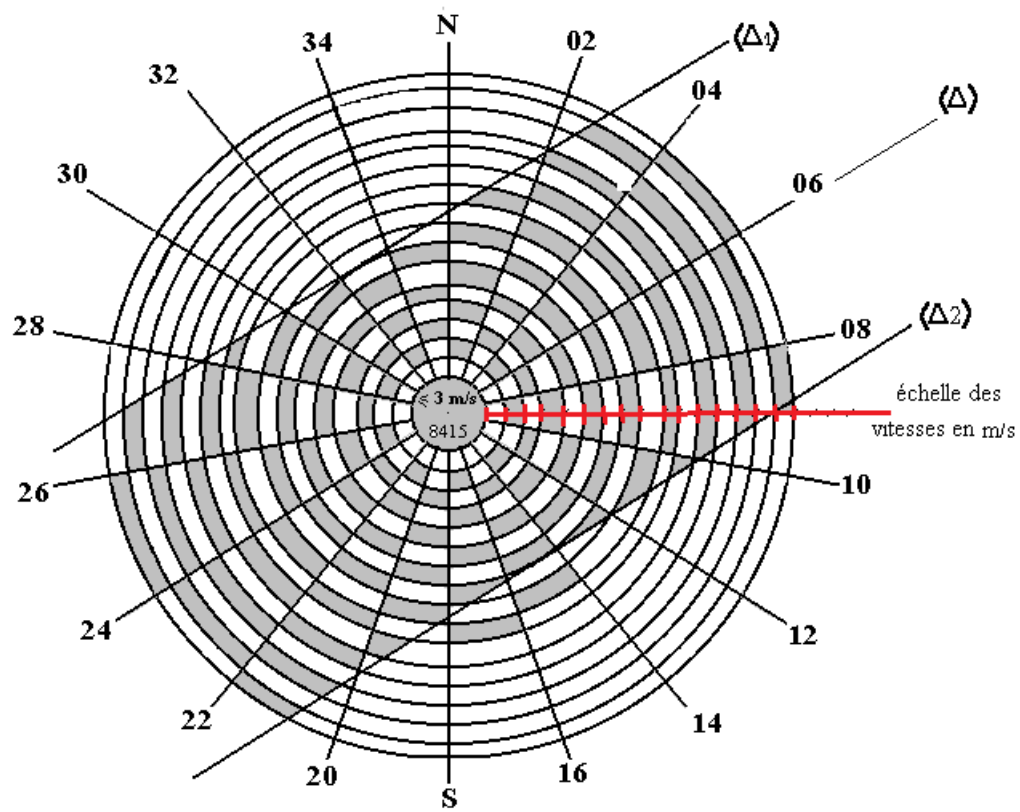
-Tableau 4.3 – Exemple de prélèvement du régime des vents

| | Vitesses en m/s | N | 02 | 04 | 06 | 08 | 10 | 12 | 14 | 16 | S | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 | Totaux |
|---------------------|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| | Nombre D'observ ations | 395 | 323 | 363 | 250 | 158 | 173 | 147 | 103 | 94 | 212 | 241 | 393 | 426 | 251 | 600 | 251 | 570 | 396 | 5646 |
| Directions étudiées | N | 395 | 323 | 263 | 249 | 155 | 163 | 145 | 103 | 94 | 212 | 241 | 388 | 384 | 227 | 523 | 619 | 569 | 396 | 5449 |
| | 02 | 395 | 323 | 263 | 250 | 158 | 163 | 141 | 103 | 94 | 212 | 241 | 393 | 426 | 247 | 523 | 593 | 557 | 396 | 5478 |
| | 04 | 395 | 323 | 263 | 250 | 158 | 166 | 141 | 100 | 88 | 211 | 241 | 393 | 426 | 251 | 578 | 593 | 522 | 375 | 5474 |
| | 06 | 391 | 323 | 263 | 250 | 158 | 173 | 145 | 100 | 87 | 202 | 239 | 393 | 426 | 251 | 596 | 619 | 522 | 375 | 5713 |
| | 08 | 387 | 323 | 263 | 250 | 158 | 173 | 147 | 103 | 87 | 191 | 222 | 388 | 426 | 251 | 600 | 651 | 542 | 375 | 5160 |
| | 10 | 387 | 321 | 256 | 250 | 158 | 173 | 147 | 103 | 88 | 191 | 211 | 332 | 423 | 251 | 600 | 651 | 569 | 387 | 5496 |
| | 12 | 391 | 319 | 256 | 246 | 158 | 173 | 147 | 103 | 94 | 202 | 211 | 312 | 384 | 250 | 600 | 651 | 570 | 396 | 5463 |
| | 14 | 395 | 322 | 256 | 242 | 157 | 173 | 147 | 103 | 94 | 212 | 230 | 312 | 362 | 238 | 596 | 651 | 570 | 396 | 5456 |
| | 16 | 395 | 323 | 260 | 242 | 155 | 166 | 147 | 103 | 94 | 212 | 238 | 332 | 362 | 227 | 556 | 649 | 570 | 396 | 5427 |

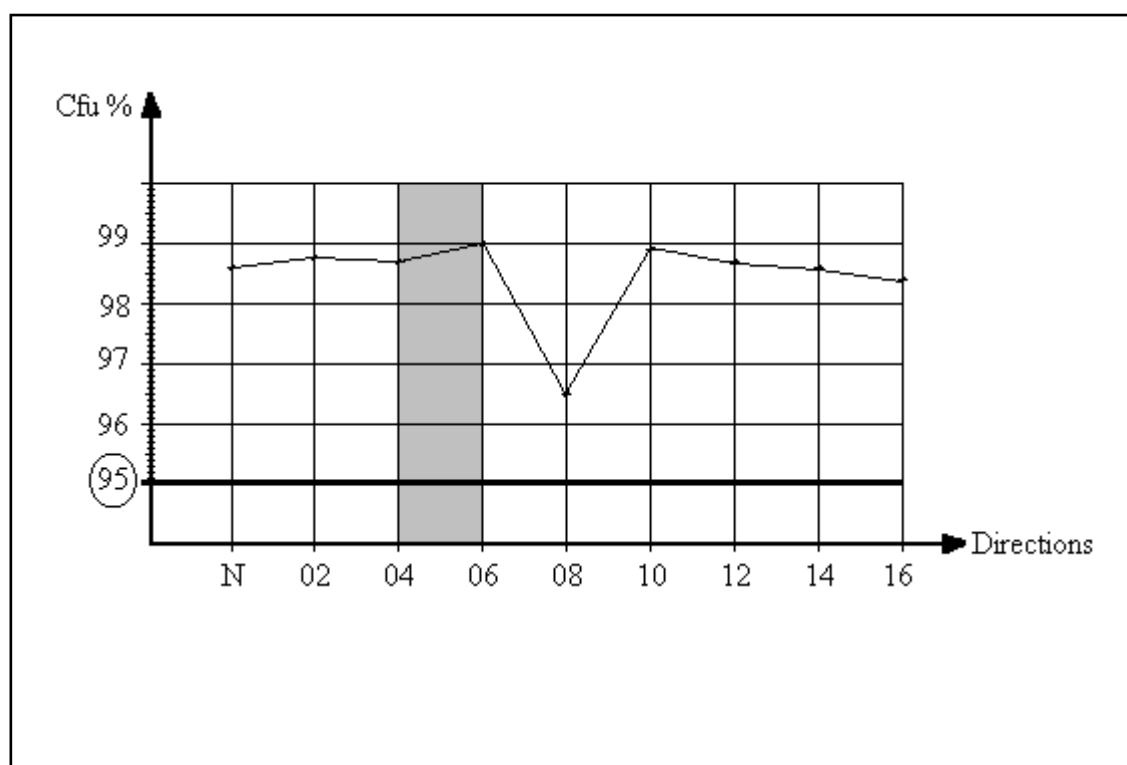
-Tableau- 4.4- Vents absorbés par les directions étudiées

-Tableau- 4.5 Résultats

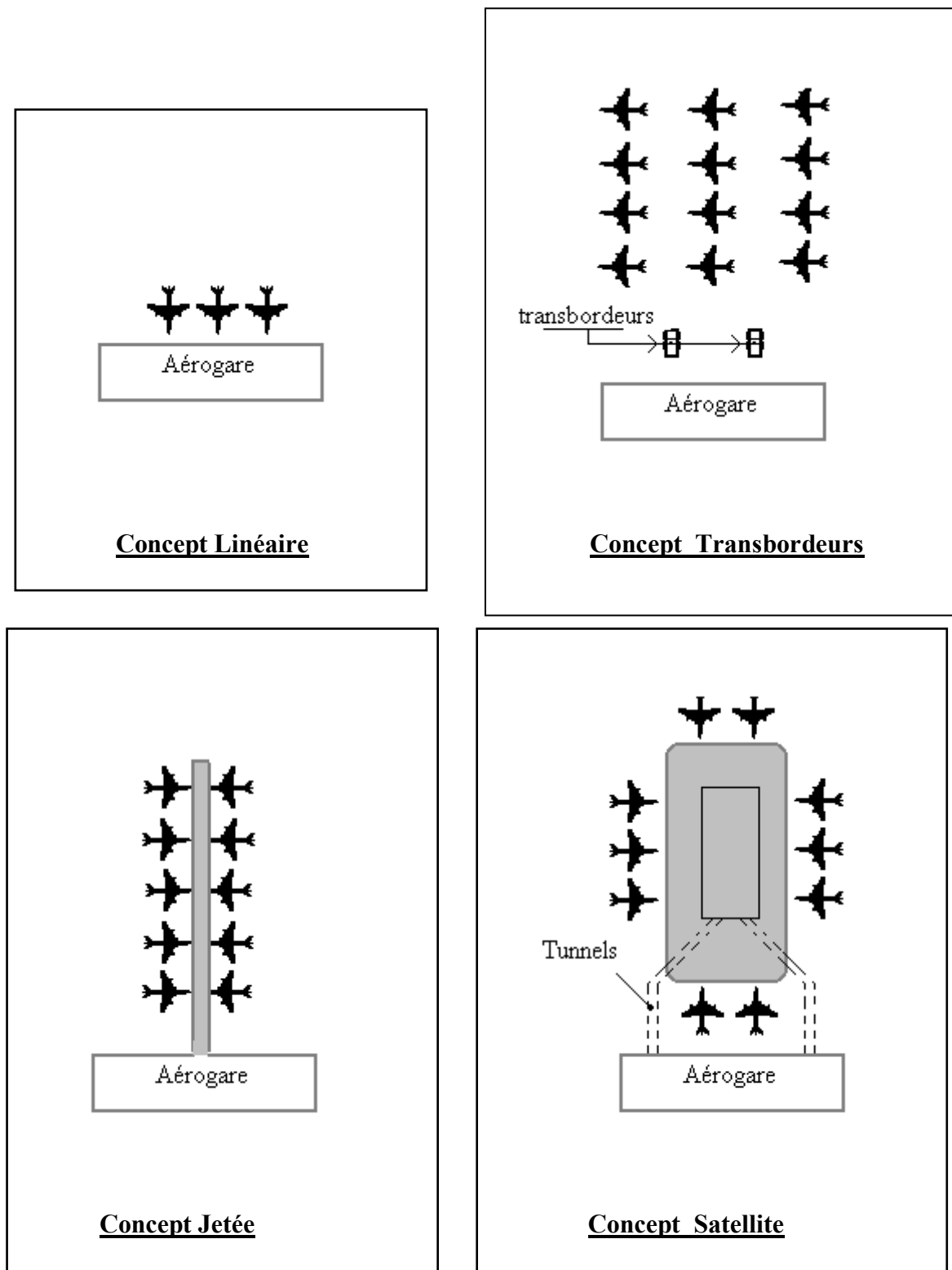
| Direction étudiée | Nombre total des vents < à 3 m/s | Nombre totale des vents >à 3 m/s | Nombre totale des vents non absorbés par la direction étudiée. Ne | Nombre totale d'observation N | Nombre totale des vents absorbés par la direction (cas admissibles) N1=N-Ne | Cfu (%) |
|----------------------|---|---|--|-------------------------------------|---|---------|
| N | 8415 | 5646 | 197 | 14061 | 13864 | 98,6 |
| 02 | | | 168 | | 13893 | 98,8 |
| 04 | | | 172 | | 13889 | 98,7 |
| 06 | | | 133 | | 13928 | 99 |
| 08 | | | 486 | | 13575 | 96,5 |
| 10 | | | 150 | | 13911 | 98,9 |
| 12 | | | 183 | | 13878 | 98,7 |
| 14 | | | 190 | | 13871 | 98,6 |
| 16 | | | 219 | | 13842 | 98,4 |



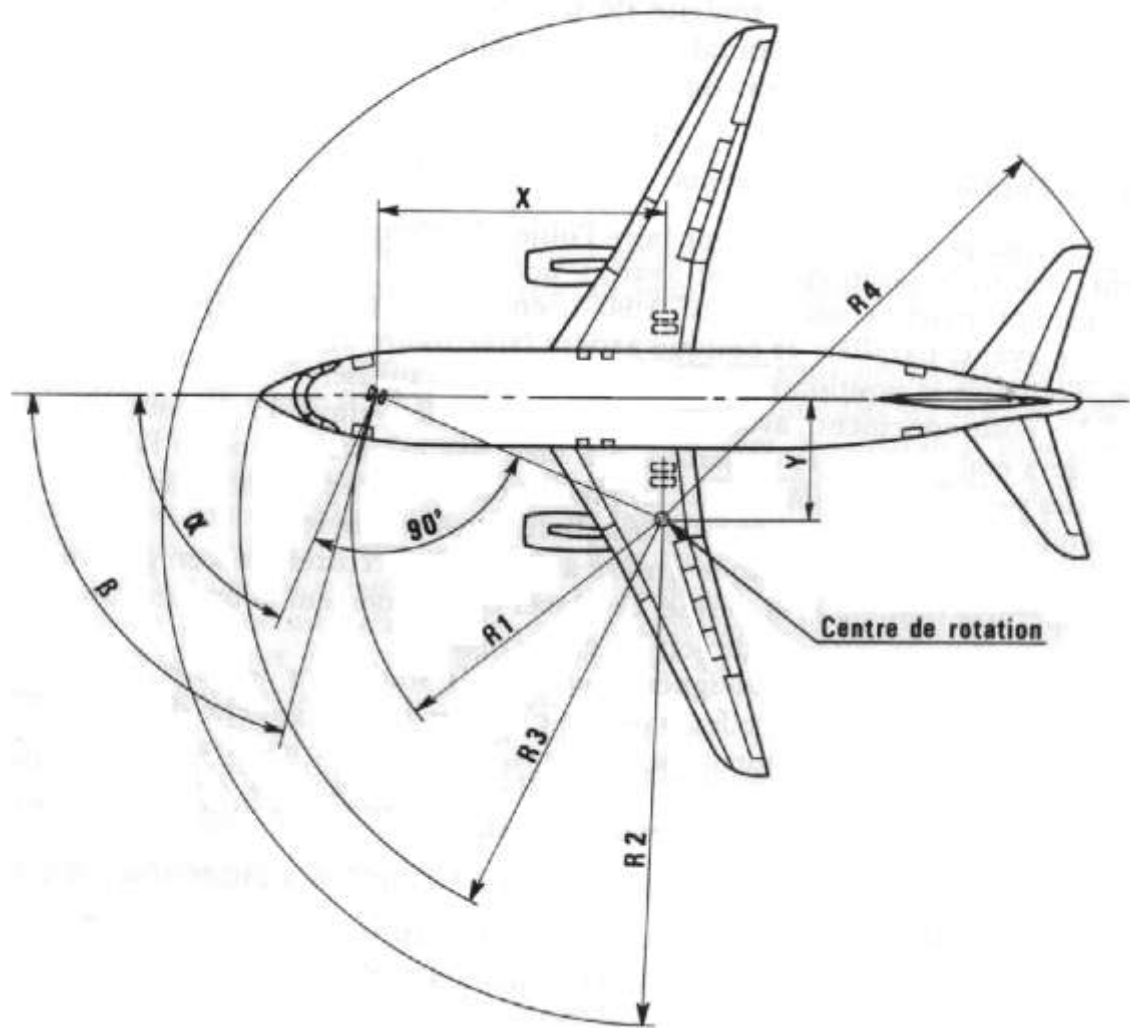
-Figure 4.1- Graphique Polaire (Rose des Vents)



-Figure 4.2- Courbe Sms

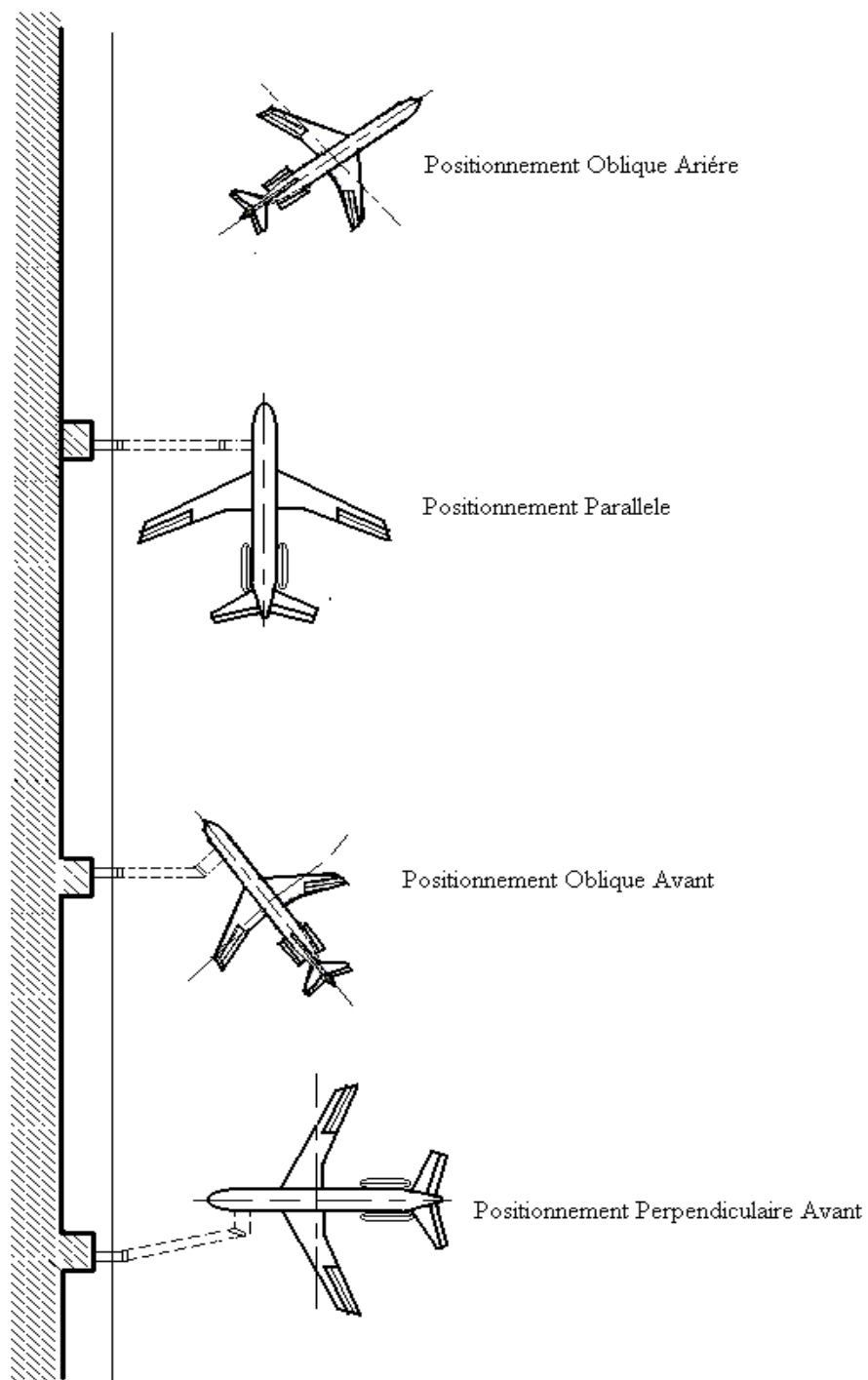


-Figure 4.3- Concepts de stationnement



- X : Empattement
 Y : Distance du centre de rotation à l'axe longitudinal de l'appareil
 R_1 : Rayon de virage de la roulette avant
 R_2 : Rayon de virage de l'aile
 R_3 : Rayon de virage du nez
 R_4 : Rayon de virage de l'empennage
 α : Braquage pratique = $0,9 \beta$
 β : braquage théorique

-Figure 4.4 - Avion en Braquage



-Figure 4.5- Positionnement des avions

CHAPITRE 5 LES CHAUSSEES D'AERODROME

5.1 GENERALITE

L'aménagement de l'aire de manœuvre d'un aérodrome implique la construction de chaussées spécialement conçues pour pouvoir répondre aux exigences techniques nécessaires à l'évolution des avions et spécifiques aux particularités des aérodromes. La chaussée d'aérodrome que ce soit propre à une Piste, une voie de circulation ou une aire de stationnement, est constituée par un ensemble de couches juxtaposées constituées par différents matériaux de qualités croissantes de bas en haut. Le choix de la nature des matériaux constituant ces différentes couches définit d'une manière générale le type de chaussée.

5.2 SPECIFICITES DES CHAUSSEES AERONAUTIQUES

Relativement aux chaussées routières, les chaussées d'aérodrome se particularisent par leur aspect fonctionnel et structurel, différent et beaucoup plus important que celui des routes. Les charges appliquées aux chaussées aéronautiques peuvent être considérablement supérieures à ceux des routes. Certains boggies d'avions (Boeing 747) peuvent atteindre 90 tonnes, tandis que les routes sont généralement conçues pour l'action d'une charge d'essieu de 13 tonnes. L'intensité du trafic sur une chaussée aéronautique est sans commune mesure avec celle qui existe sur les routes, non pas de point de vue fréquence du trafic mais beaucoup plus de point de vue canalisation du trafic, aussi du fait de leurs grandes surfaces géométriques et leurs faibles pentes, les chaussées aéronautiques sont beaucoup plus exposées aux conditions climatiques que les chaussées routières.

De ce faite, les chaussées aéronautiques sont appelées à satisfaire les conditions suivantes :

- Le chargement très élevé du à la masse des avions exige un calcul plus important des épaisseurs de chaussées.
- Les profils en long et travers de chaussées d'aérodrome doivent obéir à une certaine régularité exigée par le mode d'évolution au sol des avions.
- La variation de la fréquence du trafic et de sa dispersion sur l'aire de manœuvre, exigent des considérations spéciales de pondération des charges selon la fonction de chaque partie de la chaussée.
- Les chaussées d'aérodrome doivent être dotées par des couches de surface qui leur assurent une résistance aux souffles (et chaleur) dégagés par les réacteurs des avions et à l'action chimique du carburant.

Les travaux d'entretien des chaussées d'aérodrome, exigent l'arrêt total de la circulation sur les chaussées à entretenir, ce qui implique la nécessité d'une conception initiale robuste et sure, nécessitent un minimum d'entretien durant leur exploitation.

5.3 STRUCTURE DES CHAUSSEES AERONAUTIQUES

La structure des chaussées aéronautiques est constituée principalement de trois couches distinctes, de qualités croissantes de bas en haut :

- **La couche de surface ou couche de roulement** : assure un rôle fonctionnel (étanchéité, bon uni, rugosité) et un rôle structurel.
- **La couche de base** : assure essentiellement un rôle structurel en diffusant et diminuant les contraintes sur la couche de fondation et le sol support, constitue une bonne assise pour la couche de surface.
- **La couche de fondation** : assure un support à la couche de base et en particulier permet le bon compactage de cette dernière, Participe à la répartition des contraintes sur le sol support.

On note aussi la présence d'autres couches supplémentaires dans certains cas de chaussées :

- **Une sous couche**: conçue pour éviter la remontée des eaux de la nappe phréatique (rôle anticapillaire), et empêcher la contamination des couches supérieures par les sols supports argileux (rôle anticontaminant).
- **Une couche de forme** : La couche de forme constitue une liaison entre les terrassements proprement dits et la chaussée. L'intérêt de disposer d'une couche de forme n'est pas seulement de conduire à une réduction de l'épaisseur de la chaussée, mais elle répond à des buts divers : comme le réglage de la circulation de chantier, la protection du sous-sol contre les intempéries, l'anticontamination, l'amélioration et homogénéisation de la portance du support de chaussée et la protection contre le gel.

5.4 TYPE DE CHAUSSEES AERONAUTIQUES

Selon la nature des matériaux constituant les différentes couches de la structure d'une chaussée, on distingue les quatre types de chaussées suivantes :

- les chaussées souples ;
- les chaussées semi-rigide ;
- les chaussées rigides ;
- les chaussées composites

Voir Figure 5.1

- **Chaussée souple**

C'est une chaussée dont la structure est constituée par une couche de roulement et d'une couche de base composée de matériaux traités aux liants hydrocarbonés et d'une couche de fondation en matériaux non traités.

- **Chaussée rigide**

Une chaussée rigide est constituée principalement par une dalle en béton de ciment et une couche de fondation. Dans ce type de chaussée la couche de roulement et la couche de base sont confondus.

- **Chaussée composite**

C'est une chaussée résultant du renforcement d'une chaussée rigide par une chaussée souple. Cette structure est donc constituée par une couche de roulement en matériaux traités aux liants

hydrocarbonés reposant sur une dalle en béton de ciment jouant le rôle d'une couche de base. Ce ne peut être utilisé pour les chaussées neuves.

- **Chaussée semi-rigide**

C'est une chaussée dont la structure est composée d'une couche de roulement constituée de matériaux traités aux liants hydrocarbonés et d'une couche de base constituée de matériaux traités aux liants hydrauliques. L'expérience aéronautique a montré que l'usage de ce type de chaussées présentent plusieurs inconvénients, elles sont à éviter.

Dans la suite de ce manuel, il n'est considéré que deux catégories principales de chaussées aéronautiques : les chaussées souples et les chaussées rigides.

5.5 CHOIX D'UN TYPE DE CHAUSSEE

Le choix d'un type de chaussée dépend d'un grand nombre de considérations relatives, en particulier :

- Aux coûts de construction
- Aux conditions locales d'approvisionnement en matériaux
- Au climat
- Au sol support
- Aux possibilités d'assurer l'entretien convenable et peu onéreux
- Au trafic
- Aux délais d'exécution
- Aux possibilités de programmation des travaux
- Aux divers problèmes techniques
- A la technicité disponible des entreprises de réalisation

Il n'est pas possible de préciser dans quel cas il faut prévoir une chaussée rigide plutôt qu'une chaussée souple, cependant le choix ne pourra être fait qu'après une étude complète des deux procédés, impliquant les considérations sus-mentionnées et tenant compte des avantages et inconvénients que chaque type présente.

| | Chaussée Souple | Chaussée Rigide |
|------------------|---|---|
| Avantages | <ul style="list-style-type: none"> • Renforcement et réparations très faciles • Absence de joints | <ul style="list-style-type: none"> • Grande dureté • Bonne répartition des charges sur le sous-sol • Imperméable, séchage rapide, nettoyage facile • Exige moins de matériaux • peu d'entretien • Bonne résistance aux carburants et souffles des réacteurs • Meilleure visibilité (teint clair) |

| | | |
|----------------------|---|---|
| Inconvénients | <ul style="list-style-type: none"> • Entretien plus onéreux • Mauvaise résistance aux carburants et souffle des réacteurs • Fondation très importante • Moins bonne visibilité (teint sombre) | <ul style="list-style-type: none"> • Faible élasticité • Risque de fissuration • Présence de joints donc de points faibles structurels. • Entretien courant des joints relativement onéreux • Réparation et renforcement difficiles. |
|----------------------|---|---|

Il faut aussi noter que les chaussées rigides vieillissent moins rapidement que les chaussées souples sous réserve d'un entretien constant des joints, elles sont assez souvent conseillées pour les zones d'aérodrome à très fort trafic. A titre indicatif, pour la construction du revêtement léger destiné aux accotements de piste, aux prolongements d'arrêt, une structure de chaussée du type souple est préférable. Pour les aires de stationnement et les extrémités des pistes de préférence en chaussée de type rigide.

5.6 CHOIX D'UNE CONSTITUTION DE CHAUSSEE

Le choix d'une constitution de chaussée est basée sur des règles structurelles, des Règles de construction et des règles de protection. La conformité avec ses trois règles se traduit par l'adoption des dispositions suivantes en matière de choix d'une constitution de chaussée.

- **Pour les chaussées souples :**

| Couche | Composition | Constitution | Abréviation | Épaisseurs minimales (en cm) |
|-------------------|--|------------------|-------------|------------------------------|
| Couche de surface | Matériaux traités aux liants hydrocarbonés | Béton Bitumineux | BB | 5 |
| Couche de base | Matériaux traités aux liants hydrocarbonés | Grave-Bitume | GB | 10 |
| Couche de dation | Matériaux non traités | Grave Non-Traité | GNT | 20 |

Pour assurer un bon comportement des couches supérieures de la chaussée il est nécessaire de prévoir une épaisseur suffisante de matériaux traités aux liants hydrocarbonés. La détermination cette minimale serait exposée au chapitre dimensionnement de chaussées souples.

- **Pour les chaussées rigides :**

| Couche | Composition | Epaisseur minimale recom. (en cm) |
|-------------------|-------------------|-----------------------------------|
| Couche de Surface | Dalle en béton de | 15 |

| | | |
|---------------------|---------------------------------------|-----------|
| + (couche de base) | Ciment | |
| Couche de fondation | Grave traités aux liants hydrauliques | 20 |

Dispositions constructives des joints :

La disposition des joints longitudinaux par rapport à l'axe de la chaussée doit être étudiée de sorte à limiter le risque de chargement alterné des dalles de part et d'autre de ces joints par les atterrisseurs principaux des avions les plus contraignants. Les dispositions à respecter sont présentées dans le Tableau 5.1.

En cas de présence d'une sous-couche :

Le matériau choisi pour la réalisation de la sous-couche doit avoir des propriétés drainantes et anticantaminantes vis-à-vis de la couche de fondation. Le matériau constituant la sous-couche doit vérifier les conditions suivantes :

- si le sol support est bien gradué, $\frac{d_{15}}{D_{85}} < 5$
- si le sol support a une granulométrie uniforme, $\frac{d_{15}}{D_{85}} < 4$
- $5 < \frac{d_{15}}{D_{85}} < 25$
- La courbe granulométrique de la sous-couche, doit être approximativement parallèle à la courbe granulométrique du sol support.

Avec :

d_{15} : est la dimension du tamis laissant passer 15% du matériau de sous-couche.

D_{15} : est la dimension du tamis laissant passer 15% du matériau du sol support.

D_{85} : est la dimension du tamis laissant passer 85% du matériau du sol support.

5.7 NOTION D'ÉPAISSEUR ÉQUIVALENTE

Les abaques utilisés pour la détermination des épaisseurs de chaussées (dimensionnement) sont basés sur la formule CBR établie expérimentalement par le corps of engineering américains. Cette formule donc, permet de calculer l'épaisseur réelle d'un massif homogène constitué par un matériau de référence (Grave non traitée, concassée et bien gradué et de module d'élasticité $E=500$ MPa)

Dans la réalité, la chaussée est composée de plusieurs couches présentant des qualités mécaniques très différentes. La notion de coefficient d'équivalence permet de résoudre cette difficulté. Cette question a été étudiée par le LCPC suite aux essais américain du AASHO.

A titre indicatif, le coefficient d'équivalence d'une couche de module E est égale à :

$$Ce = \sqrt[3]{\frac{E}{500}} \quad E : \text{en MPa}$$

Le coefficient d'équivalence de certains matériaux (enrobais bitumineux par exemple) est variable dans la mesure ou le module varie lui même en fonction de certains paramètres physiques (température, fréquence de sollicitation) les valeurs proposées dans le dimensionnement sont donc en faite des moyennes

Pour tenir compte des qualités mécaniques des différentes couches constituant les chaussées aéronautiques souples, la notion de l'épaisseur équivalente est introduite. Chaque couche de matériau est caractérisée par son coefficient d'équivalence. L'épaisseur réelle de la couche multipliée par ce coefficient d'équivalence donne l'épaisseur équivalente propre à chaque couche.

Le tableau suivant présente les coefficients d'équivalence des matériaux neufs couramment utilisés pour la construction des chaussées, établit par le laboratoire français des ponts et chaussées (LCPC).

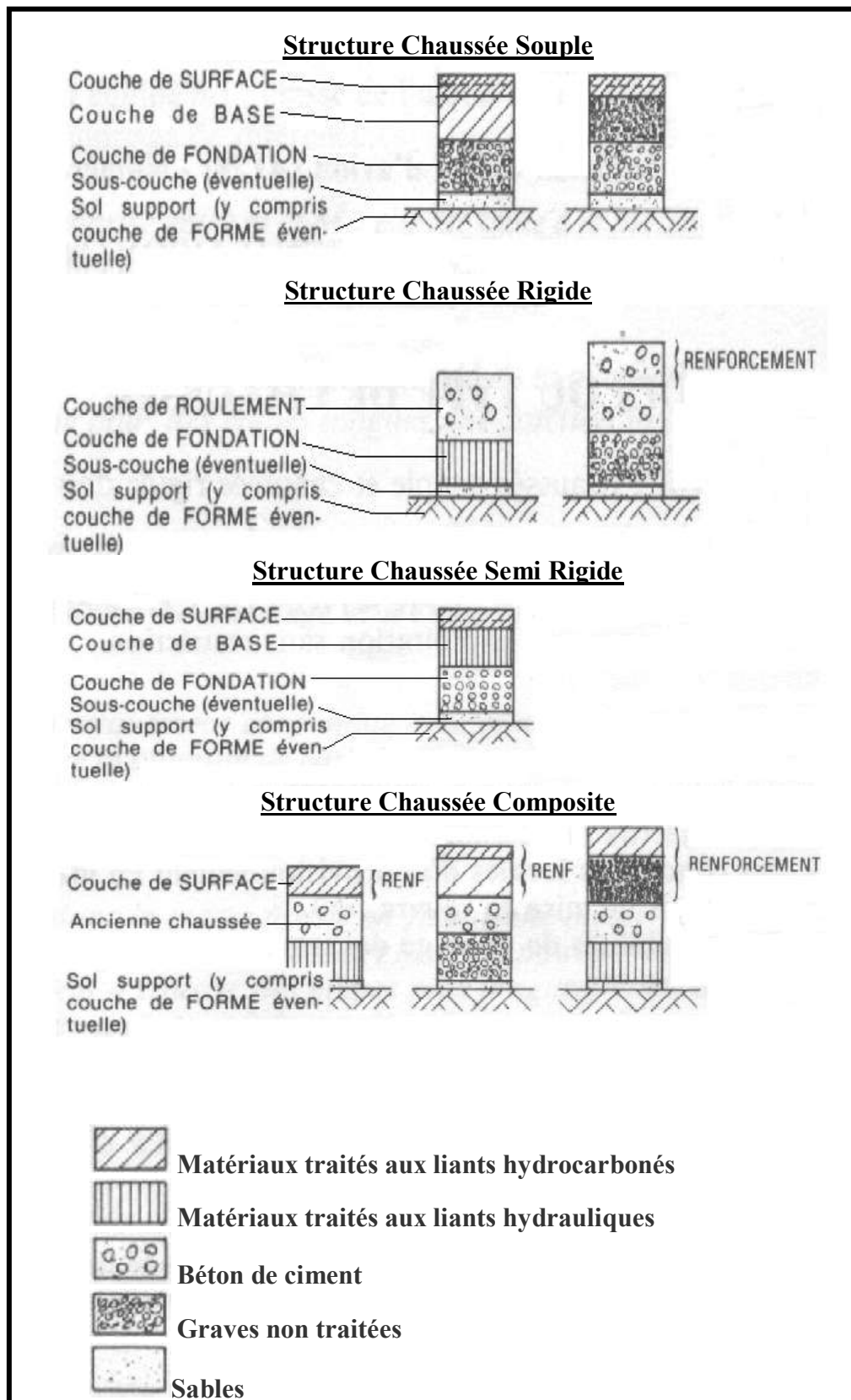
| Matériaux neufs | Coefficient d'équivalence |
|---|----------------------------------|
| Béton bitumineux | 2 |
| Grave Bitume | 1,5 |
| Grave émulsion | 1,2 |
| Grave traitée aux liants hydrauliques | 1,5 |
| Grave non traitée, concassée bien graduée | 1 |
| Sable traités aux liants hydrauliques | 1 |
| Grave roulée | 0.75 |
| Sable | 0.5 |

5.8 DUREE DE VIE D'UNE CHAUSSEE AERONAUTIQUE

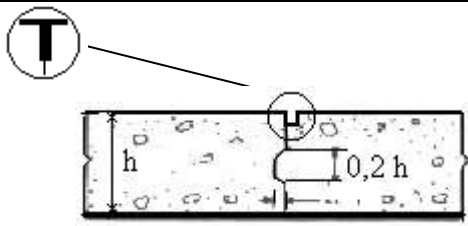
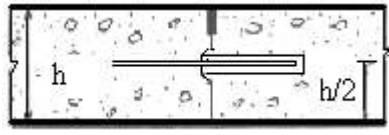
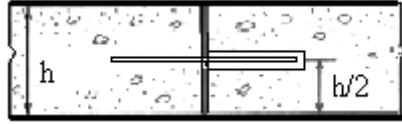

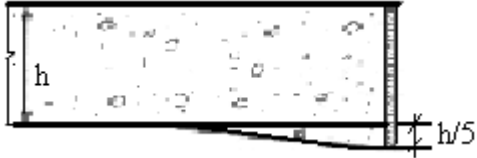
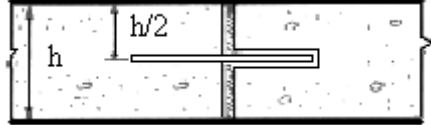
La durée de vie structurelle d'une chaussée étant définie comme la période à la fin de laquelle la portance de la chaussée devient insuffisante pour pouvoir recevoir et supporter sans risque, le trafic pour lequel elle a été initialement conçue. Une réduction du trafic ou un renforcement de la structure de la chaussée alors s'imposent.

En prenant en considération l'évolution du trafic, la rentabilité de l'investissement et de durabilité des matériaux constitutifs, Les chaussées aéronautiques sont conventionnellement dimensionnées pour une durée de vie normale de dix années. Une durée de vie plus longue peut être considérée spécialement pour les chaussées de type rigide.

Durant la durée de vie normale d'une chaussée, seules des opérations d'entretien courant sont effectuées pour la conservation des qualités fonctionnelles de la surface de roulement.



-Figure 5.1- Différentes structures de chaussées aéronautiques

| Type de Joint | Schéma | L : Localisation C : Condition d'emploi |
|-------------------|--|--|
| Construction |  <p>Rainure et languette simple</p> | <p>L : Longitudinalement : à la limite des bandes de répannage</p> <p>Transversalement : lorsque le bétonnage est interrompu en cours de bande</p> <p>C : Rainures et languettes uniquement pour les épaisseurs de dalles supérieures à 20 cm</p> <p>Goujons conseillés pour les chaussées fortement circulées par de gros porteurs et sur sol médiocre</p> |
| |  <p>Rainure et languette avec goujon</p> | |
| |  <p>Goujon</p> | |
| Retrait – Flexion | <p>Produit pour joint Trait de scie</p>  | <p>L : Longitudinalement, lorsque la largeur de répannage dépasse 5 m</p> <p>Transversalement, réalisation systématique à intervalles réguliers de 5 m environ</p> |
| Dilatation |  | <p>L : A l'intersection d'ouvrage :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entre pistes et voies • Aux abords des ouvrages d'art • Le long des caniveaux <p>C : Emploi afin d'éviter les poussées dangereuses</p> |
| |  <p>Goujon</p> | |

-Tableau 5.1- Dispositions constructives des joints

CHAPITRE 6 DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES

6.1 GENERALITES

La méthode utilisée pour le calcul et l'évaluation des chaussées aéronautiques varie selon les États, les principales méthodes reconnues et publiées par l'OACI sont: La méthode française, la méthode canadienne, la méthode anglaise et la méthode américaine. L'exposition de ces quatre méthodes ainsi que leur comparaison sort du contexte de simplicité tracé pour ce manuel. Il n'est donc tenu compte dans ce chapitre consacré au dimensionnement des chaussées aéronautiques que de la méthode de dimensionnement française, développée par le service technique des bases aériennes STBA en 1983, car c'est cette méthode qui est appliquée en Algérie.

Concernant la méthode française, il existe deux types de dimensionnement : le dimensionnement forfaitaire et le dimensionnement optimisé. Pour des raisons de simplicité et de commodités, il n'est présenté en détails dans ce chapitre, que le dimensionnement forfaitaire, qui sous certaines réserves, peut être suffisant comme technique de dimensionnement des chaussées aéronautiques. Le dimensionnement optimisée ne peut être recommandé que dans le cas des aérodomes importants dont on dispose de prévisions de trafic très fiables.

Le lecteur trouvera beaucoup plus de renseignements sur les deux types de dimensionnement, dans les séries d'instructions et la documentation des services techniques français des bases aériennes.

6.2 LE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES

Le dimensionnement des chaussées d'aérodrome par la méthode française, nécessite la connaissance préalable d'un certain nombre de paramètres dont l'influence peut être directe sur la structure de la chaussée à concevoir. Quelque soit le type de chaussée adopté (souple ou rigide) ces paramètres constituent les données à prendre en considération pour le meilleur dimensionnement possible.

- Le trafic
- Le sol support
- La charge de calcul
- Le type de dimensionnement

6.2.1 Considérations relatives au trafic

Le trafic est l'ensemble de mouvement effectuer par un avion durant une période déterminée. Il constitue l'un des paramètres prépondérants du dimensionnement des chaussées. Pour pouvoir donner toute la signification a ce terme (nécessaire au dimensionnement des chaussées), il est nécessaire de définir les concepts suivants :

- Un mouvement réel est l'application d'une charge sur une chaussée par l'intermédiaire d'un atterrisseur réel lors d'une manœuvre de décollage, d'atterrissage ou de roulage.

- Le trafic normal : est le trafic constitué par dix mouvements par jour de l'avion produisant la charge de calcul pour une durée de vie escomptée de dix ans au moins.
- Le trafic réel est constitué par différents mouvements de charges réelles variées appliquées par l'intermédiaire d'atterrisseurs réels de différentes catégories.

6.2.2 Le sol support

Pour le dimensionnement des chaussées aéronautiques il est indispensable d'effectuer une étude complète (voir chapitre 11), afin de connaître les paramètres suivants, caractérisant la portance du sol:

Le *CBR* : Pour le cas de dimensionnement des chaussées souples le sol support est caractérisé par son *CBR* ou indice portant Californien. Les essais *CBR* sont faits sur des échantillons du sol support compactés à différentes énergies et différents teneurs en eau, puis immergés pendant quatre jours, le nombre, la répartition et la profondeur de ces derniers doivent être tels que les résultats soient significatifs. Le *CBR* finalement retenu est la valeur la plus basse obtenue après immersion sur un échantillon compacté à 95% de l'Optimum Proctor Modifié.

Le module de réaction *Ko* : Pour le dimensionnement des chaussées rigides, le sol est caractérisé par son module de réaction *Ko*. Ce module de réaction *Ko* est évalué à l'aide d'un essai de plaque effectué in situ, sur le sol compacté à 95% de l'Optimum Proctor modifié sur une épaisseur correspondant à celle qui attendue lors de la réalisation des travaux (30 cm).

Dans le cas où la chaussée reposerait sur une couche de forme, cette dernière peut éventuellement être prise en compte dans le dimensionnement.

6.2.3 Le choix de la Charge de calcul

6.2.3.1 Données relatives aux avions :

- **La masse des avions**

Il est nécessaire de connaître pour chaque avion à considéré dans le calcul :

- La masse au décollage : Pour un dimensionnement forfaitaire ;
- La masse au décollage et la masse à l'atterrissage pour un dimensionnement optimisée, pour l'ensemble des avions prévus.

- **L'atterrisseur :**

L'atterrisseur est défini comme étant l'ensemble de roue montée sur une même jambe. L'ensemble d'atterrisseurs constitue le train d'atterrissage. On introduit la fiction de « l'atterrisseur-type » représentatif de chacune des trois catégories d'atterrisseur les plus répandus (roue simple, jumelage et bogie), les caractéristiques des atterrisseurs-types sont présentés dans le tableau suivant :

- **Répartition de la masse sur les atterrisseurs**

Répartition statique : La répartition totale de la masse d'un avion entre l'atterrisseur avant et les atterrisseurs principaux est fonction du centrage de l'avion, donc. C'est-à-dire de la position du centre de gravité, et elle varie peu. Pour chaque type d'avion le pourcentage de répartition de la charge entre le train avant et le train d'atterrissage principale est donné par le constructeur (fiches techniques). Comme indiqué au chapitre 2, Pour les avions dont on ne dispose pas d'indication précises, on admettra que la répartition est de 10% sur l'atterrisseur avant et 95% sur les atterrisseurs principaux. De manière générale c'est l'atterrisseur principale qui fournit les sollicitations les plus sévères.

La masse des avions à considérer intervient dans les calculs sous forme d'une charge statique appliquée par chacun des atterrisseurs. On définit la charge réelle de calcul P qui est égale au produit de la masse au décollage de l'avion par le pourcentage correspondant à chaque atterrisseur principal.

La charge réelle à considérer dans le calcul P est :

$$P = M \times V_{statique}$$

Avec :

M : masse au décollage de l'avion

$V_{statique}$: pourcentage de la masse supportée par chaque atterrisseur du train principal.

6.2.3.2 Pondération des charges

Chaque partie de l'aire de mouvement (piste, voies de circulation ou aires de stationnement) doit être dimensionnée séparément pour tenir compte des conditions différentes de sollicitations. Toutes en étant soumises aux mêmes sollicitations, certaines chaussées peuvent subir des fatigues différentes. Par exemple :

- La circulation est lente et concentrée sur les aires de stationnement et au contraire, occasionnelle et dispersée sur les accotements ou les prolongements d'arrêt ;
- En conséquence des effets dynamiques, lorsque l'avion roule à grande vitesse (au niveau de la partie centrale de la piste au décollage et des mille premiers mètres au-delà du seuil à l'atterrissage), le phénomène de chargement est fugace et donc peu sévère. De plus la charge est diminuée par l'effet de la sustentation des ailes.

Pour tenir compte de ces conditions de fatigue, les charges recensées sur chaque type d'aire sont pondérées selon les indications portées sur la Figure 6.1. Pour les aires de stationnement, seules les aires sur lesquelles stationnent effectivement les avions sont justiciables de la pondération par 1,2.

Après pondération, la charge à considérer dans le calcul est P' :

$$P' = P \times K_p$$

avec :

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

P : La charge réelle de l'avion

K_p : coefficient de pondération propre à chaque partie de l'aérodrome

Concernant cette technique de pondération, Il est recommandé lors de l'étude d'un projet, d'examiner les économies qui pourront être faites par l'application des ces règles, et les difficultés éventuelles qui pourront en résulter lors de la construction, et d'adopter les réductions d'épaisseur (par pondération des charges) chaque fois qu'elles seront réellement avantageuses à court et à long terme. Ces règles de réduction d'épaisseur sont couramment utilisées dans beaucoup de pays.

6.3 TYPES DE DIMENSIONNEMENT

Il faut rappeler que La méthode française de dimensionnement de chaussée repose sur les deux hypothèses suivantes :

- La durée de vie de la chaussée fixée à 10 ans ;
- Le trafic normal fixé à 10 mouvements par jour.

Ces deux hypothèses ont servi à établir les abaques de dimensionnement.

6.3.1 Le dimensionnement forfaitaire : ou méthode de dimensionnement forfaitaire :

Principe de la méthode: le dimensionnement forfaitaire permet de calculer une chaussée en fonction d'une charge de référence correspondant à la charge maximum de l'avion réputé le plus contraignant. Le dimensionnement est calculé dans les conditions de trafic normal, soit dix mouvements par jour pendant dix ans de la charge de calcul.

Application : la méthode forfaitaire est beaucoup plus recommandée dans les cas suivants:

- Étude d'un aérodrome sur lequel évolue un type d'avion nettement plus contraignant que les autres ;
- Étude préliminaire en l'absence de prévisions fiables de trafic.
- Étude d'une chaussée rigide (la précision de la méthode est généralement suffisante) ;

Données nécessaires :

- La charge normale de calcul P'' correspondant au trafic normal (charge appliquée 10 fois par jour pendant 10 ans).
- Le CBR du sol support (pour le dimensionnement des chaussées souples)
- Le module de réaction K de la fondation
- la contrainte admissible de flexion par traction du béton (pour le dimensionnement des chaussées rigides)

6.3.2 Le dimensionnement optimisé : ou méthode de dimensionnement optimisée :

Principe de la méthode: le dimensionnement optimisé permet de calculer une chaussée en prenant en compte plusieurs types d'avions à fréquences différentes. Cette méthode présente l'avantage de pouvoir convertir les mouvements réels de chacune des charges réelles considérées en mouvements équivalents d'une charge de référence.

Application : la méthode optimisée est recommandée dans les cas suivants:

- Lorsqu'on considère plusieurs types d'avion presque aussi contraignants les uns que les autres (cas des aérodromes importants)
- Lorsqu'on dispose de prévisions de trafic suffisamment fiables et précises sur toute la durée de vie envisagée pour la chaussée.
- Lorsqu'on veut comparer l'action de différents avions sur la chaussée

Le dimensionnement optimisé prend en compte le nombre exact de mouvements réels de chaque avion pour la durée de vie envisagée. Contrairement au dimensionnement forfaitaire il n'y a pas d'hypothèse minimale (1 mouvement par jour pendant 10 ans): la chaussée calculée est plus sensible aux variations du trafic.

Données nécessaires :

- La masse au décollage et la masse à l'atterrissage pour chaque avion considéré
- Les prévisions du trafic pour chaque avion considéré
- Le CBR du sol support (pour le dimensionnement des chaussées souples)
- Le module de réaction K de la fondation et la contrainte admissible de flexion du béton (pour le dimensionnement des chaussées rigides)

6.4 DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES SOUPLES PAR LA METHODE FORFAITAIRE

6.4.1 Critère de dimensionnement

Les chaussées aéronautiques souples sont dimensionnées de manière à limiter les contraintes dans toutes les couches et sur le sol support, considéré comme l'endroit le plus critique. Les critères de dimensionnement utilisés sont la limite admissible des contraintes verticales sur le sol support. Le dimensionnement des chaussées souples implique en premier lieu le calcul de l'épaisseur équivalente totale de la chaussée

6.4.2 Les données nécessaires au dimensionnement

- la masse au décollage de l'avion de calcul (le plus contraignant), noté M
- pourcentage de la masse porté par chaque atterrisseur du train principal noté V_s
- le trafic : mouvements réels par jour pendant 10 ans, noté n
- le CBR du sol support noté CBR_l
- Prise en compte de la couche de forme dans le calcul :

Si le matériau constituant la couche de forme est d'une qualité suffisante et si ces conditions de mise en œuvre permettent de le caractériser par un coefficient d'équivalence supérieur à 0,4, il faut effectuer les calculs en assimilant la couche de forme à une sous-couche de chaussée, bien qu'en principe, il s'agit d'une partie du sol support. Dans le cas contraire, la couche de forme doit être prise en compte dans le dimensionnement, elle est caractérisée par les paramètres suivants :

- le CBR de la couche de forme (si elle existe), noté CBR_2
- l'épaisseur éventuelle de la couche de forme e_f

6.4.3 Étapes de calcul

Les étapes de calcul des chaussées souples par la méthode forfaitaire sont présentées sous forme d'organigramme dans la Figure 6.2

Étape 1 : Calcul des charges

- La charge réelle sur atterrisseur P : $P = M \times V_{statique}$
- Les charges réelles pondérées P' : $P' = P \times Kp$
- Les charges normales de calcul P''

P'' correspondant à 10 mouvements par jour pendant 10 ans. Cette hypothèse est tout à fait raisonnable et prudente, lors de l'étude d'une chaussée nouvelle. Toutefois, il peut se faire que ce niveau de trafic soit manifestement inférieur au trafic prévisible de l'aérodrome ou qu'au contraire il l'excède largement. Il est alors nécessaire de tenir compte de l'intensité réelle escomptée du trafic. Dans ce cas la charge réelle pondérée P' doit être corrigée en fonction du nombre n de mouvements réels par jour.

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

avec :

P'' : la charge normale de calcul

P' : la charge réelle pondérée

$C_t = c$ est le coefficient de correction du trafic

C_t peut être directement calculer par la formule :

$$C_t = 1,2 - 0,2 \log n$$

Ou déterminer à partir de l'abaque N°3 qui traduit cette équation.

Remarque importante :

La relation n'est valable que pour une durée de vie de 10 ans. Pour une autre durée, il convient de se ramener à 10 ans. La valeur du coefficient C_t est limitée à 1,2 en borne supérieur (hypothèse minimale de 1 mouvement par jour) et à 0,8 en borne inférieur (hypothèse maximale de 100 mouvement par jour).

Étape 2 : Lectures des abaques « chaussée souple » (abaques S1, S2 ou S3)

$$\left. \begin{matrix} P'' \\ CBR_1 \end{matrix} \right\} \Rightarrow e_1 \text{ (en cm)}$$

En cas de présence d'une couche de forme :

$$\left. \begin{matrix} P'' \\ CBR_2 \end{matrix} \right\} \Rightarrow e_2 \text{ (en cm)}$$

Présentation des abaques :

Les abaques sont classés au niveau de l'annexe II de ce manuel en fonction du type d'atterrisseur :

- Abaque S1 : Atterrisseur - type roue simple
- Abaque S2 : Atterrisseur - type à jumelage
- Abaque S1 : Atterrisseur - type à bogie

Étape 3 : Détermination des épaisseurs équivalentes des chaussées

L'épaisseur équivalente de chaque chaussée compte au-dessus du sol support (ou de la couche de forme), est calculée par la formule suivante :

$$e = e_1 - e_f \frac{CBR_2 - CBR_1}{CBR_2 + CBR_1}$$

A condition que :

$e \geq e_f$, sinon l'épaisseur de la chaussée est fixée à e_2 , Donc $e_t = e_2$

D'autre part :

Si : $\frac{CBR_2 - CBR_1}{CBR_2 + CBR_1} > 0,4$ il convient de le limiter ce rapport à cette dernière valeur.

Si la chaussée n'est pas dotée d'une couche de forme : $e_f = 0$ donc $e_t = e_1$

Étape 4 : Détermination de l'épaisseur minimale des matériaux traités

L'abaque N° 1 de l'annexe II de ce manuel, donne l'épaisseur équivalente minimale recommandée de matériaux traités en fonction de l'épaisseur équivalente totale de la chaussée et le CBR du sol support

$$\left. \begin{matrix} e \\ CBR_1 \end{matrix} \right\} \Rightarrow e_{mt}$$

Étape 5 : Choix d'une constitution de chaussée

Détermination des épaisseurs équivalentes des couches, les épaisseurs réelles des couches et en déduire l'épaisseur réelle totale de la chaussée considérée.

6.5 DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES RIGIDES PAR LA METHODE FORFAITAIRE

6.5.1 Critère de dimensionnement

Le dimensionnement des chaussées rigides désigne la détermination de l'épaisseur réelle d'une dalle de béton, constituant pour ce type de chaussée la couche de surface et la couche de base. De point de vue sollicitations, cette dalle est soumise à une contrainte de traction par flexion. La détermination de son épaisseur repose sur le critère de la contrainte admissible de traction par flexion dans la dalle de béton. Le moment de flexion de la dalle est calculé par la

méthode dite : de la Portland Cement Association (PCA) avec les hypothèses suivantes de Westergard :

- Le sol se comporte comme un liquide dense. Sa réaction est proportionnelle à l'enfoncement. Le sol est caractérisé par son module de réaction K ,
- La théorie des plaques est appliquée à la dalle. Celle-ci est caractérisée par son module d'élasticité E et son coefficient de Poisson ν ,
- Les charges sont situées au centre d'une dalle infinie.

Pour tenir compte des dimensions finies des dalles et des conditions de transferts de charges entre elles, un coefficient de sécurité est appliqué à la contrainte admissible du béton. Cette méthode forfaitaire de dimensionnement des chaussées rigides, apporte une précision suffisante dans les calculs et évite le recours à des méthodes plus adéquates mais beaucoup plus difficiles à appliquer : méthode des éléments finis.

Le dimensionnement forfaitaire est généralement suffisant à l'étude des chaussées rigides par suite de la faible variation des épaisseurs en fonction des charges.

6.5.2 Les données nécessaires au dimensionnement

- la masse au décollage de l'avion de calcul (le plus contraignant) notée M
- le pourcentage de la masse porté par chaque atterrisseur du train principal noté V_s
- le trafic
- le Module de réaction du sol support K_o (terrain naturel)
- le CBR de la couche de forme (si elle existe), noté CBR_2
- l'épaisseur éventuelle de la couche de forme e_f
- La résistance de traction par flexion à la rupture du béton mesurée à 90 jours et notée f_{t90} .

6.5.3 Étapes de calcul

Étape 1 : Calcul des charges

- La charge réelle sur atterrisseur P
- Les charges réelles pondérées P'
- Les charges normales de calcul P''

Étape 2 : Correction du module de réaction su sol

Le module de réaction du sol support K_o est corrigé en fonction de l'épaisseur équivalente de la couche de fondation augmentée éventuellement de l'épaisseur équivalente de la couche de forme et de la sous-couche. La valeur obtenue est le module de réaction corrigé K (à considérer dans le calcul). La correction est effectuée à l'aide de l'abaque N°2 de l'annexe II de ce manuel.

Étape 3 : Calcul de la contrainte admissible de traction par flexion du béton

La contrainte de traction par flexion du béton, notée $\overline{\sigma_{bt}}$, est égale à la résistance de traction par flexion à la rupture du béton mesurée à 90 jours f_{t90} divisée par un coefficient de sécurité C_s :

$$\overline{\sigma_{bt}} = \frac{f_{t90}}{C_s}$$

La valeur du coefficient de sécurité C_s dépend du type de joint de construction et des joints de dilatation de la chaussée, elle est prise égale à :

$C_s = 1,8$ pour les joints munis de dispositifs de transfert de charge
 $C_s = 2,6$ sans dispositif de transferts de charges.

Etape 4 : Détermination de l'épaisseur de la dalle de béton :

Connaissant le module de réaction corrigé, la contrainte de traction par flexion admissible, et la charge normale de calcul, on détermine à partir des abaques du dimensionnement rigide propre à l'avion considéré l'épaisseur nécessaire de la dalle notée h pour la chaussée rigide considérée.

$$\left. \begin{array}{l} \overline{P''} \\ \overline{\sigma_{bt}} \\ K \end{array} \right\} \Rightarrow h \quad (h \text{ en cm})$$

Présentation des abaques :

Les abaques de dimensionnement des chaussées rigides sont classés au niveau de l'annexe II de ce manuel en fonction du type d'atterrisseur et de la charge.

Abaque (R1 à R3) : atterrisseur à roue simple, pour les charges :

- R1 (10t),
- R2 (10 à 25 t)
- R3 (>25t).
-

Abaque (R4 à R6) : atterrisseur à jumelage, pour les charges :

- R4 (<15t),
- R5 (15 à 32,5 t)
- R6 (>32,5t).

Abaque (R7 à R10) : atterrisseur à bogie, pour les charges :

- R7 (15 à 30 t),
- R8 (30 à 55 t)
- R9 (55 à 75t).
- R10 (> 75 t)

Remarque :

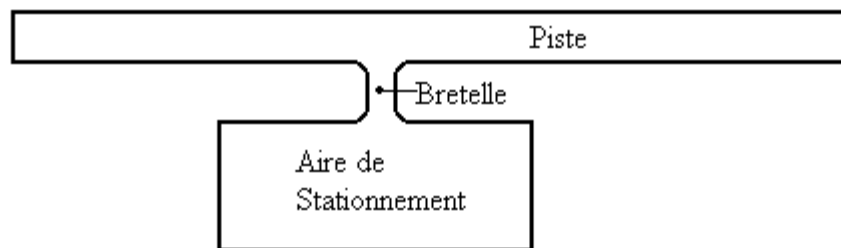
Dans les calculs ayant servi à l'établissement des abaques de dimensionnement de l'STBA, le béton était caractérisé par :

- Module d'élasticité : $E=30000 \text{ MPa}$.
- Coefficient de poisson : $\nu = 0.15$

Les variations de ces paramètres sont pratiquement négligeables et influent peu sur les résultats pour les bétons habituellement utilisés.

6.6 EXEMPLES D'APPLICATION

Dimensionnement des chaussées d'un aéroport constituées par une piste non-dotée de voie de circulation parallèle, une aire de stationnement et une bretelle.



On considère dans cet exemple le dimension souple et rigide.

Énoncé des données :

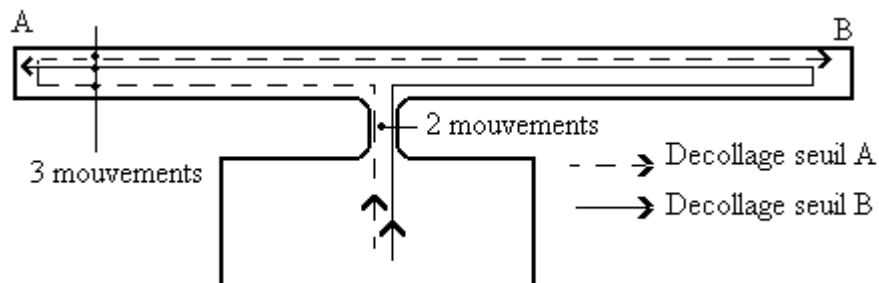
1 – Avions de calcul

Supposant que l'avion le plus contraignant est l'Airbus A300-B4

Masse au décollage : 156 t

2- Trafic

Cet avion à une fréquence quotidienne d'une rotation c'est -à-dire un décollage et un atterrissage. Le nombre de mouvements réels à prendre en compte varie selon l'emplacement de la chaussée. En effet le nombre de mouvements dépend de l'aire étudiée comme l'indique le schéma ci-après :



comme il est indiqué sur ce schéma, en considérant le décollage :

Sur le poste de stationnement et la bretelle : 1 décollage donne 1 mouvement réel.

Sur la piste : 2 décollages donne 3 mouvements réels (1 décollage donne 1,5 mouvement).

Par conséquent, le nombre moyen de mouvements réels à prendre en compte pour les dix années est :

Piste : $n = 1,5$ mvt/j

Bretelle, aire de stationnement : 1 mvt/j

Le tableau des caractéristiques de l'Airbus A 300-B4 indique que 46,5% de la charge totale est supportée par l'atterrisseur principal.

- Calcul de la charge réelle P:

$$P = 156 \times 0,465 = 72,5 \text{ t}$$

- Calcul de la charge réelle pondérée P' selon la fonction des aires : (Voir la Figure 6.1)

Poste de stationnement :

$$P' = P \times 1,2 = 72,5 \times 1,2 = 87 \text{ t}$$

Piste (30m centraux), bretelle et aire de stationnement (hors poste de stationnement):

$$P' = P \times 1 = 72,5 \text{ t}$$

Piste (en dehors des 30 m centraux) :

$$P' = P \times 0,7 = 72,5 \times 0,7 = 50,8 \text{ t}$$

- Pour chacune des aires considérées les n mouvement réels de la charge réelle pondérée P' sont convertis en 10 mouvement réels d'une charge de calcul P'' (abaque N°3).

| Aires | P' (t) | Nombre de mouvement par jour- n (mvt/j) | P'' (t) |
|-------------------------------|----------|--|-----------|
| Piste (30 m centraux) | 72,5 | 1,5 | 62,2 |
| Piste (autres aires) | 50,8 | 1,5 | 43,6 |
| Poste de stationnement | 87 | 1 | 72,5 |
| Bretelle, aire de stionnement | 72,5 | 1 | 60,4 |

3- Caractéristiques du sol support

- Chaussée souple : CBR= 7
- Chaussée rigide : $K_0 = 50 \text{ MN/m}^2$

4- Détermination des épaisseurs :

- Chaussée souple

Connaissant la charge réelle pondérée et le CBR du sol support on peut déterminer à l'aide de l'abaque S3 (atterrisseur-type bogie).

| Aires | $P'' (t)$ | Épaisseur équivalente totale $e_t (cm)$ |
|---------------------------------|-----------|---|
| Piste (30 m centraux) | 62,2 | 73 |
| Piste (autres aires) | 43,6 | 56 |
| Poste de stationnement | 72,5 | 82 |
| Bretelle, aire de stationnement | 60,4 | 70 |

Choix d'une constitution de chaussée :

L'épaisseur minimale de matériaux traités pour chaque aire est déterminée en fonction de l'épaisseur équivalente totale à l'aide de l'abaque N°1.

| Aires | Épaisseur équivalente totale $e_t (cm)$ | Épaisseur de matériaux traités $e_{mt} (cm)$ |
|---------------------------------|---|--|
| Piste (30 m centraux) | 73 | 30 |
| Piste (autres aires) | 556 | 23 |
| Poste de stationnement | 82 | 33 |
| Bretelle, aire de stationnement | 70 | 29 |

Ces résultats conduisent aux structures théoriques suivantes :

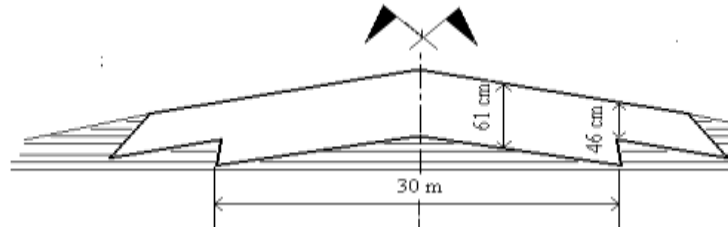
Les épaisseurs réelles et équivalentes (ep.) sont en cm :

| Matériaux | Piste (30 m centraux) | Piste (autres aires) | Poste de stationnement | Bretelle, aire de stationnement |
|-------------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|---------------------------------|
| Béton Bitumineux (BB) | 6 (12) | 6 (12) | 8 (16) | 6 (12) |
| Grave Bitumineux (GB) | 12 (18) | 10 (15) | 12 (18) | 12 (18) |
| Grave non-traités (GNT) | 43 (43) | 30 (30) | 48 (48) | 40 (40) |
| Épaisseurs totale | | | | |
| Réelles..... | 61 | 41 | 68 | 58 |
| Équivalentes..... | (73) | (57) | (82) | (70) |

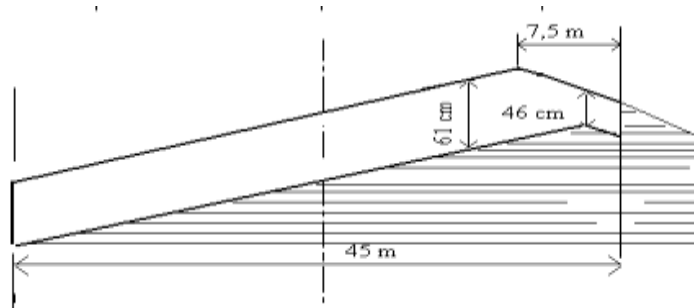
Application pratiques :

Les exemples ci-dessous illustrent les difficultés d'exploiter intégralement l'économie de matériaux qu'il est possible de faire en dehors des 30 m centraux.

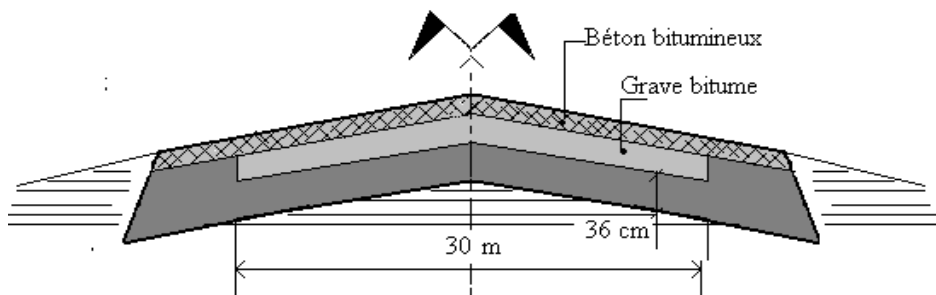
- le profil en travers ci-dessous est déconseillé car il conduit à terrasser des marches sur le fond de forme, il est aussi contre-indiquée de point de vue drainage.



- La coupe suivante élimine les premiers défauts cités. Elle permet une économie partielle mais donne un profil géométrique en travers peu satisfaisant pouvant donner lieu à des sujétions de terrassement lors d'éventuel renforcement.



- Le profil suivant permet de réaliser une économie partielle tout en gardant de bonnes caractéristiques géométriques. Une augmentation des épaisseurs de matériaux traités sur les 30 m centraux permet de diminuer l'épaisseur totale réelle sur cette partie. En conséquence, en dehors des 30 m centraux, la couche de base est non traitée et l'épaisseur totale réelle est la même.



Le seul inconvénient de cette structure est le non respect de l'épaisseur minimale de matériaux traitée en dehors des 30 m centraux. Ce risque peut être admis.

• Chaussées Rigide

En supposant que la couche de fondation sera réalisée avec une de la grave ciment sur une épaisseur de 20 cm. Le coefficient d'équivalence de la grave ciment est 1,5.

L'épaisseur équivalente de la couche de fondation :

$$e = 20 \times 1,5 = 30 \text{ cm}$$

correction du module de réaction du sol support en fonction de e , à l'aide de l'abaque N°2 :

$$K = 70 \text{ MN/m}^3$$

En supposant que la dalle de cette chaussée est sans dispositif de transferts de charges
Donc le coefficient de sécurité $C_s = 2,6$.

Contrainte admissible de traction par flexion :

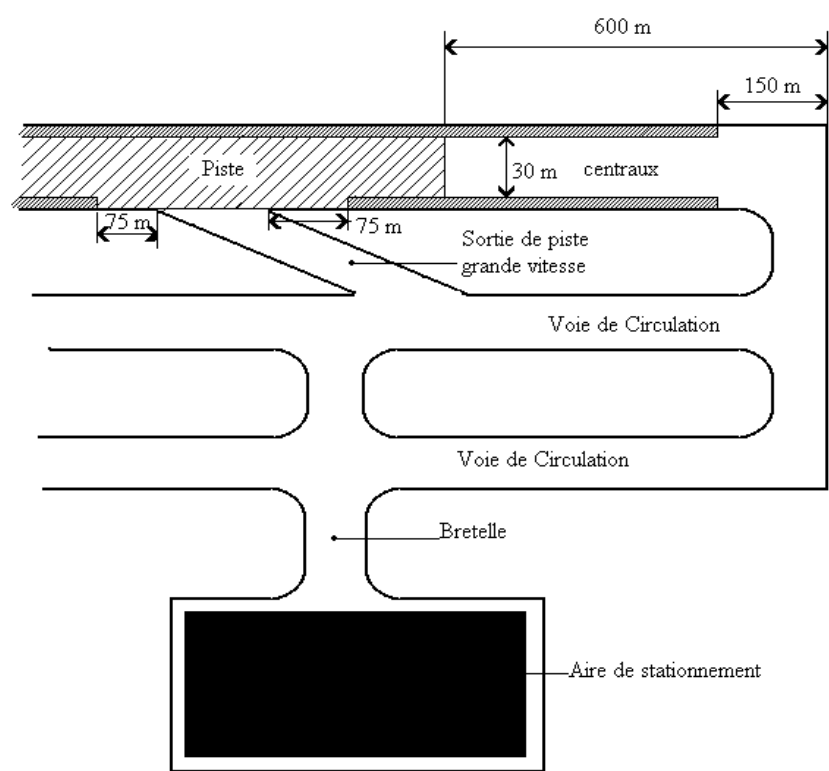
$$\overline{\sigma}_{bt} = \frac{f_{t90}}{C_s} = \frac{5,6}{2,6} = 2,2 \text{ MPa}$$

connaissant le module de réaction corrigé k et la contrainte admissible du béton et la charge réelle de calcul pour chaque aire, on détermine à partir de l'abaque l'épaisseur de la dalle h .

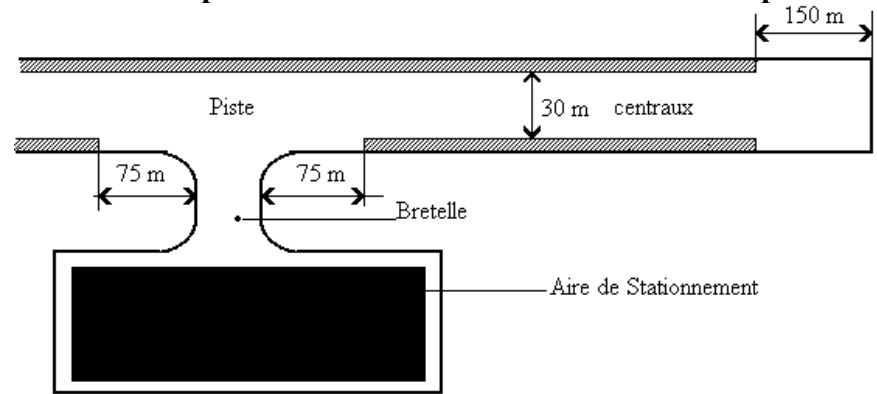
| Aires | épaisseur de la dalle h (en cm) |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| Piste (30 m centraux) | 37 |
| Piste (autres aires) | 32 |
| Poste de stationnement | 40 |
| Bretelle, aire de stationnement | 36 |





Il est inutile de distinguer les 30 m centraux du reste de la chaussée compte tenu de la difficulté de réalisation de structures différentes en profil en travers.

1-Cas d'une piste dotée d'une voie de circulation parallèle

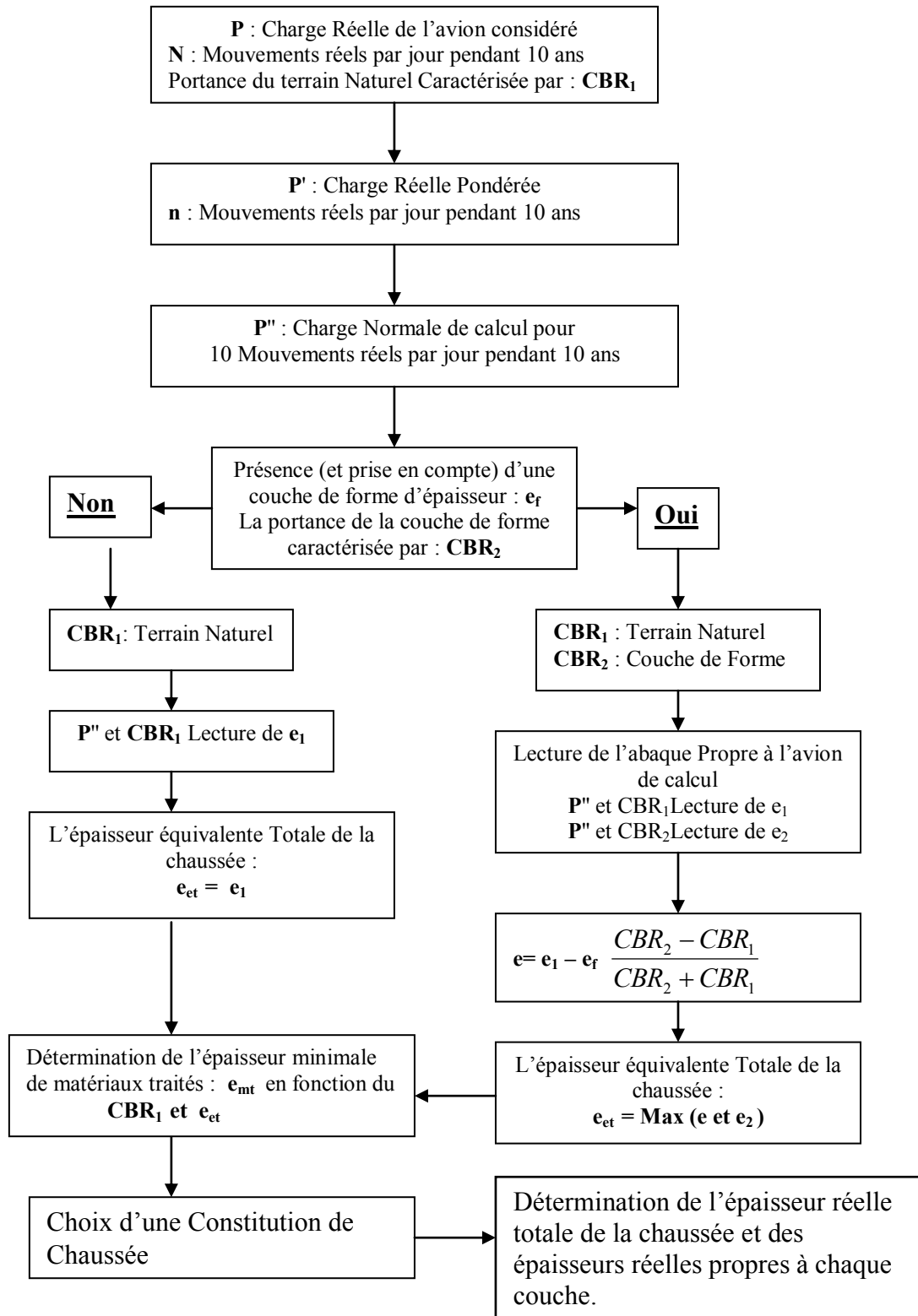


2- Cas d'une piste non-dotée d'une voie de circulation parallèle



| Pondération de la charge réellé P selon les aires | | | |
|---|--------------|---|--------------|
|  | $P' = 0,7 P$ |  | $P' = P$ |
|  | $P' = 0,8 P$ |  | $P' = 1,2 P$ |

-Figure 6.1- Pondération des charges réelles selon la fonction des aires



**-Figure 6.2- Dimensionnement des chaussées souples
méthode forfaitaire**

CHAPITRE 7 DETERMINATION DES CHARGES ADMISSIBLES

7.1 GENERALITES

La détermination des charges admissibles pour les chaussées constitue le problème inverse du dimensionnement, en effet, trois questions se posent :

- Pour une chaussée correspondant à une aire considérée, comment publier les renseignements précis sur sa portance et ces caractéristiques ?
- De ces renseignements, comment en déduire la charge admissible pour tout avion ?
- Sous quelles conditions les dérogations peuvent-elles être accordées ou pas, lorsque la charge réelle d'un avion dépasse la charge admissible de l'aérodrome. ?

7.2 METHODE *ACN-PCN*

La méthode *ACN-PCN* est une norme de l'OACI figurant dans l'annexe 14, cette méthode de publication des charges admissibles est compatible avec l'ensemble des méthodes utilisées par les États 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 repose sur la connaissance de ces deux numéros, le *PCN* de la chaussée et l'*ACN* de l'avion et consiste à leur comparaison directe, c'est à dire lorsque le *PCN* est supérieur à l'*ACN* de l'avion, ce dernier peut accéder librement à la chaussée sans sous réserve de limitation due à la pression des pneumatiques..

L'*ACN* et le *PCN* sont définie dans l'annexe 14 comme suit :

ACN : Numéro de classification de l'avion : Définie au niveau du Chapitre 2, section 2.7.

PCN : « Pavement Classification Number » : ou numéro de classification de chaussée. C'est un nombre qui exprime la force portante d'une chaussée pour une exploitation sans restriction.

7.2.1 PUBLICATION DES CHARGES ADMISSIBLES

Les charges admissibles détaillées par aire exprimées par la méthode *ACN/PCN* doivent être publiées dans les manuels d'information aéronautiques et permettent ainsi de déterminer rapidement l'admissibilité des avions sur l'aérodrome.

la publication doit tenir compte des éléments suivants :

- Lorsque la piste est composée de deux types de chaussées différentes, une publication doit être faite pour chacune des chaussées.
- Lorsque la piste ou une partie de piste est d'un type unique mais comporte différentes zones non homogènes en portance (différents *PCN*), les charges admissibles de la zone la plus faible sont retenues pour caractériser l'ensemble de la piste ou de la partie de 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 de fondation
- La pression maximale admissible des pneumatiques : les résultats des recherches menées sur les chaussées et la réévaluation des résultats des anciens essais confirment que, sauf pour les chaussées de construction particulière, les effets de la pression des pneus sont secondaires par rapport à la charge et l'espacement des roues, et peuvent par conséquent, se ranger, aux fins de la publication des données, dans quatre catégories de pression.
- La base d'évaluation.

Les données ci-dessus ont principalement pour objet de permettre aux exploitants de déterminer les types d'avion et les masses admissibles en ordre d'exploitation, et aux aviateurs d'assurer la compatibilité entre les chaussées d'aéroport et les avions à l'étude. Il n'est cependant pas nécessaire d'indiquer la résistance réelle du terrain de fondation ni la pression maximale admissible des pneus. Par conséquent, les valeurs-types de la résistance du terrain de fondation et la pression des pneus qui sont normalement rencontrées ont été réparties en plusieurs catégories. Les valeurs types utilisées dans la méthode, et les explications des termes sont présentées dans le Tableau 7.1

Exemple d'application :

1. Étant donnée une chaussée d'aérodrome ayant les caractéristiques suivantes :
 - $PCN=65$
 - Chaussée type souple
 - Sol support de résistance moyenne: $CBR=10$
 - Pas de limite de pression des pneus
 - La base d'évaluation technique

Selon le Tableau 7.1, les renseignements sur cette chaussée seront communiqués comme suit :

$$PCN = 65 \text{ F/B/W/T}$$

2. Étant donnée une chaussée ayant les caractéristiques suivantes :
 - $PCN=80$
 - Chaussée type rigide
 - Sol support de résistance élevée : $K=130 \text{ MN/m}^3$
 - Pas de limite de pression de pneus
 - La base d'évaluation technique

Les renseignements sur cette chaussée seront communiqués comme suit :

$$PCN= 80 \text{ R/A/W/T}$$

7.2.2 Calcul du PCN

Le calcul du PCN d'une chaussée nécessite que soit connues avec la meilleure précision possible les caractéristiques de la chaussée et de son sol support :

- Pour les chaussées souples :
 - L'épaisseur équivalente totale e_t
 - Le *CBR* du sol support
- Pour les chaussées rigides :
 - Épaisseur réelle de la dalle de béton,
 - la contrainte admissible de traction par flexion du béton
 - le module de réaction corrigé K_c

Le *PCN* établi pour une chaussée signifie que celle-ci est capable de supporter un avion dont l'*ACN* est égal ou inférieur à ce *PCN*. L'*ACN* qui est utilisé aux fins de 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.

La détermination du *PCN* peut alors être effectuée de deux manières :

- Calcul approché : valable uniquement pour les chaussées souples. Le *PCN* est calculé à partir d'une formule simple ne faisant pas intervenir le trafic.
- Calcul optimisé : valable pour les chaussées souples et rigides. Le *PCN* est calculé non seulement à partir des caractéristiques de la chaussées mais aussi en fonction du trafic.

7.2.2.1 Calcul approché des *PCN*

Connaissant le *CBR* du sol support et l'épaisseur équivalente de la chaussée souple on peut calculer le *PCN* par la formule qui exprime la charge d'une roue simple capable de supporter une pression de gonflage standard (1.25 MPa) pour un *PCN* égale à 1/500^e de cette charge exprimée en kg

$$PCN = \frac{1}{500} \times \frac{e_t^2}{\frac{1}{0.57 \times CBR} - 0.025} \times \frac{1}{K_p}$$

Avec:

e_t : épaisseur équivalente de la chaussée (en cm)

CBR : CBR du sol support

K_p : Ccoefficient de pondération de la chaussée considérée.

Etapes de calcul :

- 1- Calcul du *PCN* avec la formule (pour le CBR réel du sol support)

- 2- Choix d'un avion tel que les valeurs extrêmes de son *ACN* encadrent le *PCN* déterminé en (1) et appelé à fréquenter l'aérodrome
- 3- Calcul par interpolation entre les valeurs publiées par l'OACI, pour les CBR encadrant le CBR réel, des *ACN* maximums et *ACN* minimum pour l'avion choisi
- 4- Calcul de la masse maximale admissible pour l'avion considéré par interpolation entre les valeurs extrêmes de l'*ACN* calculé ci-dessus pour une valeur de l'*ACN* égale au *PCN* déterminé en (1)
- 5- Calcul de l'*ACN* correspondant, pour la classe de CBR la plus voisine de celle du sol, à la masse calculée en (4)

Le *PCN* publiable est égale à cette valeur de l'*ACN*.

7.2.2.2 Calcul optimisé du *PCN*

La détermination du *PCN* par le calcul optimisé est une opération longue et complexe, le calcul comporte les étapes successives suivantes :

1. Etape 1 : établissement d'une liste des avions en service ou susceptibles d'utiliser la chaussée considérée;
2. Etape 2 : calcul par la méthode de dimensionnement utilisée à l'envers, de la charge admissible Poi des différents avions en fonction des caractéristiques du sol support et de la chaussée ;
3. Etape 3 : Calcul, pour chacune des catégories types de sol support, de l'*ACN* Correspondant à la charge admissible Poi. Dans la suite du calcul, on considère dans chaque catégorie les *PCN* compris entre les valeurs maximale et minimale d'*ACN* trouvées. Le *PCN* est pris avec deux chiffres significatifs.
4. Etape 4 : Rechercher parmi tous les couples (catégorie de sol, *PCN*) de celui qui conduit aux charges admissibles P'oi les plus proche de Poi.

Le classement donne généralement une classe qui contient les valeurs du CBR ou du module de réaction du sol *K*, de la chaussée considérée. Il n'est cependant pas anormal de trouver une classe voisine. Le classement ainsi établi est interprété «au sens de la méthode *ACN-PCN* ».

7.2.4 Détermination des avions admissibles par la méthode *ACN/PCN*

La charge admissible *Pta* d'un avion se calcul à partir du *PCN* par la relation suivante :

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

Avec :

M : masse maximale au roulage de l'avion

m : masse à vide en ordre d'exploitation

ACN_{max} : valeur d'*ACN* correspondant à la masse *M*

ACN_{min} : valeur d'*ACN* correspondant à la masse *m*

Exemple d'application :

Chaussée ayant pour code *PCN* 46/R/B/W/T

Pour le Boeing 727 et la catégorie B du sol support, d'après le Tableau des *ACN* (*annexe II de ce manuel*)

$$M = 78741 \text{ kg}$$

$$m = 44293 \text{ kg}$$

$$ACN_{max} = 48$$

$$ACN_{min} = 25$$

Le pourcentage de la charge totale sur le jumelage : 0,464

D'où la charge admissible *Pta* :

$$Pta = 44293 + (78741 - 44293) \times \frac{46 - 25}{48 - 25} = 75499 \text{ kg}$$

D'où la charge admissible par atterrisseur :

$$Pta = 75499 \times 0,464 = 35\,000 \text{ kg}$$

7.2.5 Comparaison des charges réelles et des charges admissibles déduites des publications

Si la charge réelle *P* d'un avion donné est inférieure ou égale à la charge admissible *Pta* ou si l'*ACN* est inférieure ou égale au *PCN*, l'avion considéré peut être admis sans restriction (charge, nombre de mouvement)

Si la charge réelle *P* est supérieure à la charge admissible *Pta* ou si l'*ACN* est supérieur ou égale au *PCN*, une étude particulière doit être menée, et peut conduire pour l'avion considéré :

- Soit à l'absence totale de restriction
- Soit à une exploitation limitée nécessitant une autorisation limitant la charge et / ou le nombre de mouvements
- Soit à une interdiction d'accès

| Catégorie d'Indication | Lettre de code |
|--|--|
| Type de chaussée <ul style="list-style-type: none"> - <i>Souple</i> - <i>Rigide</i> | F R |
| Catégorie de résistance du sol support <ul style="list-style-type: none"> • <i>Résistance élevée</i> : caractérisée par $k=150 \text{ MN/m}^3$ et représentant toutes les valeurs de $k > 120 \text{ MN/m}^3$ pour les chaussées rigides ou par un $\text{CBR} = 15$ et représentant toutes les valeurs $\text{CBR} > 13$ pour les chaussées souples. • <i>Résistance moyenne</i> : caractérisée par $k=80 \text{ MN/m}^3$ et représentant toutes les valeurs de $60 < k < 120 \text{ MN/m}^3$ pour les chaussées rigides ou par un $\text{CBR} = 10$ et représentant toutes les valeurs CBR de 8 à 13 pour les chaussées souples. • <i>Résistance faible</i>: caractérisée par $k=40 \text{ MN/m}^3$ et représentant toutes les valeurs de $25 < k < 60 \text{ MN/m}^3$ pour les chaussées rigides ou par un $\text{CBR} = 6$ et représentant toutes les valeurs CBR de 4 à 8 pour les chaussées souples. • <i>Résistance ultra faible</i>: caractérisée par $k=20 \text{ MN/m}^3$ et représentant toutes les valeurs de $k < 25 \text{ MN/m}^3$ pour les chaussées rigides ou par un $\text{CBR} = 3$ et représentant toutes les valeurs $\text{CBR} < 4$ pour les chaussées souples. | A B C D |
| Pression des pneumatiques <ul style="list-style-type: none"> • <i>Elevée</i>: pas de limite de pression • <i>Moyenne</i>: pression limitée à 1,5 MPa • <i>Faible</i>: pression limitée à 1,0 MPa • <i>Très faible</i>: pression limitée à 0.50 MPa. | W X Y Z |
| Base d'évaluation <ul style="list-style-type: none"> • Etude spécifique des caractéristiques de la chaussée et utilisant des techniques d'études du comportement des chaussées. Ce code est le plus généralement retenu. • Evaluation faisant appel à l'expérience acquise sur les avions. Ce code ne peut s'appliquer que pour une publication provisoire de PCN d'une chaussée pour laquelle on ne dispose pas de résultats fiables d'auscultation et dont on ne peut juger le comportement qu'à son aptitude à recevoir un trafic existant. | T U |

-Tableau 7.1-

CHAPITRE 8 ASSAINISSEMENT DES AERODROMES

8.1 GENERALITES

L'assainissement d'un aérodrome constitue une étape très importante, aussi bien au niveau de l'étude, de la réalisation, que de l'exploitation de cet aérodrome, ce ci est du principalement à :

- La nature topographique des sites des aérodromes (généralement conçus sur des assiettes à relief plats.
- L'importance dimensionnelle des surfaces revêtues (chaussées) et leurs faibles pentes
- L'influence directe de la présence des eaux de surfaces sur les chaussées et son impact sur la fluidité du trafic aérien (risque d'aquaplanage des aéronefs).
- L'éventuelle présence des nappes phréatiques

Un mauvais fonctionnement du système d'assainissement des eaux superficielles par exemple, cause la stagnation des eaux au niveau des chaussées ou des accotements et s'accompagne inévitablement par son infiltration progressive dans le corps de la chaussée, ce qui provoque de graves dégradations structurelles et fonctionnelles, d'où la perte de portance, fissures, tassement, nids de poule etc..

Pour faire face aux menaces de l'eau sur les chaussées d'aérodromes, le réseau de drainage doit assurer :

- L'évacuation rapide des eaux de ruissellement (de surface)
- L'imperméabilisation des structures afin d'empêcher le moindre contact des eaux avec le corps de chaussée, aussi bien par infiltration (des eaux de surface) que par remontée (des eaux de la nappe).

8.2 ETUDE DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT

La conception du réseau d'assainissement doit découler de l'étude globale des eaux superficielles et souterraines sur l'ensemble de l'aérodrome. Il faut examiner avec soins, les différents bassins versants qui alimentent le réseau et les possibilités d'évacuation hors de l'emprise. Cette étape doit comporter :

Pour les eaux superficielles

- Une étude des cours d'eau et exutoires naturels aux abords de l'aérodrome
- La délimitation des différents bassins versants hors et sur l'emprise de l'aérodrome dont les eaux devront être, soit évacuées ou déviées sur les cours d'eaux existants.

Pour les eaux souterraines

- Un sondage aux emplacements choisis de façon à déterminer la cote moyenne de la nappe phréatique

- Une implantation des divers ouvrages de drainage sur l'emprise de l'aérodrome et à l'extérieur s'ils sont nécessaires.

Selon la nature des eaux à évacuer, l'étude de l'assainissement d'un aérodrome comprend trois volets:

8.3 ASSAINISSEMENT DES EAUX DE RUISSELLEMENT

Ce volet repose sur le principe de l'écoulement rapide des eaux de pluie vers les points les plus bas des chaussées et d'assurer ensuite leurs évacuations par voie d'un réseau constitué par un ensemble d'ouvrages hydrauliques.

8.3.1 Dispositifs de collecte

Les dispositifs de collecte des eaux provenant des surfaces sont généralement placés aux points les plus bas des profils en travers des chaussées. On distingue deux types :

- **Dispositifs de collecte discontinue** : il s'agit des regards d'absorption espacés de 20 à 30 m, et connectés entre eux soit:
 - a. par un collecteur courant sous chaussées (des pistes ou des voies de circulation), Voir Figure 8.1 (a).
 - b. Par à un collecteur courant latéral, Voir Figure 8.1 (b).
 - c. Par un système intermédiaire, reliés sous le revêtement par une canalisation de faible section qui évacue les eaux dans un collecteur latéral. Voir Figure 8.1 (c).
- **Dispositifs de collecte continue** : ou caniveaux latéraux, les eaux sont alors recueillies en tout point du bord de l'ouvrage par un caniveau longitudinalement qui, soit :
 - a. Les évacue latéralement vers les collecteurs situés parallèlement au caniveaux ; Voir Figure 8.2 (a).
 - b.
 - c. Les évacue longitudinalement vers les collecteurs d'extrémités. Voir Figure 8.2 (b).

Le dispositif de collecte continue est considéré comme la meilleure option de drainage, car de par leur disposition (tout au long de la piste), il assure d'une part, un meilleur débit et évite les engorgements d'autre part, dans le cas de revêtement sombre, le caniveau longitudinal, en béton, constitue une ligne qui accroît la visibilité, en limitant les bords latéraux de la piste.

Les caniveaux latéraux de collecte doivent être conçus de manière à faciliter leur nettoyage, ils sont parfois doublés latéralement par un petit caniveau pouvant servir comme niche pour le câblage (des balises, et autres installations électriques). Ils sont couverts par une grille en acier ou en béton, dotés de fentes pour l'absorption des eaux. Le type le plus répandu étant le caniveau type Satujo. Montré dans la Figure 8.3.

Les aires de stationnement sont généralement protégées, à leur périphérie, par un drain d'isolement. En raison de leurs dimensions, il n'est pas toujours possible de placer les ouvrages de collecte des eaux sur cette périphérie ; ils sont alors placés le long de lignes traversant l'aire, dont les pentes conduisent l'eau à ces ouvrages, et évacuent les eaux dans des collecteurs extérieurs à l'aire.

8.3.3 Évacuation par fossés

Les ouvrages de collecte et d'évacuation malgré leur efficacité reste un moyen assez onéreux. Il est donc économiquement important pour le concepteur de considérer l'option classique d'évacuation des eaux de ruissellement, qui consiste à faire rejeter les eaux tombées sur les chaussées des pistes et des voies de circulation loin de ces dernières, en les laissant ruisseler sur le sol (par gravitation) ; on donne alors aux bandes d'envol une pente descendante depuis l'ouvrage, et on l'inverse à quelque distance (en principe au bord extérieur de la bande d'envol ou à une dizaine de mètres du bord de la voie de circulation, de façon à constituer un fossé très plat mais très large qui recueille les eaux et les évacue à ciel ouvert.

Cette façon de procéder, qui a l'inconvénient de laisser détremper le sol avoisinant par les eaux provenant de l'ouvrage, suppose :

- Que le drain d'isolement est pourvu, à sa partie supérieure, d'un masque imperméable de façon qu'il continue à protéger efficacement le sous sol de l'ouvrage contre les eaux infiltrées latéralement, et n'absorbe pas les eaux de ruissellement provenant de l'ouvrage, ce qui irait à l'encontre de ce but ;
- Que les accotements de la piste ou de la voie de circulation sont imperméables sur une certaine largeur, de façon qu'ils restent résistants en surface et qu'un avion puisse exceptionnellement rouler dessus..

8.3 ASSAINISSEMENT DES EAUX SOUTERRAINES

Les aérodromes sont souvent réalisés sur des vallées où le niveau de la nappe est proche de la surface du sol. Pour protéger la fondation de la chaussée contre l'action des eaux qui peuvent monter par capillarité (redoutable dans le cas de terrain limoneux et argileux), deux possibilités se présentent selon la nature du terrain : soit le soulèvement de la chaussée par la construction de remblais ou l'introduction sous la fondation de la chaussée, d'une couche d'un matériau anti-contaminant (sable à gros grains).

La percolation des eaux à travers les chaussées peut se produire pendant les travaux de construction (jusqu'à la mise en place d'un revêtement imperméable) ou après ces travaux si ce revêtement n'est pas rigoureusement imperméable. Cette percolation peut être catastrophique si le sous-sol est argileux et si aucune disposition n'a été prise pour évacuer les eaux qui s'accumulent au niveau de la fondation.

Aussi, dans tous les cas où le sous sol est imperméable, il est prudent de prévoir sous la chaussée, au dessus d'un fond de fouille parfaitement dressé, une couche drainante et des drains longitudinaux capables d'assurer l'évacuation rapide des eaux percolées. Le dispositif

utilisé à l'aérodrome Haouari Boumediene d'Alger, présenté dans la Figure 8.4. en est un bon exemple.

8.4 ASSAINISSEMENT DES EAUX POLLUEES

Ces eaux proviennent généralement des ateliers d'entretien, des caoutchouc des pneus d'avion, de la présence de kérosène sur les aires de stationnement., Ceux ci, doivent être acheminées par un réseau de drainage indépendant vers un éventuel traitement physico-chimique, avant leur rejet dans le réseau de ruissellement.

8.5 DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES D'ASSAINISSEMENT

Le dimensionnement de ces ouvrages peut se faire par plusieurs méthodes, généralement, l'estimation des débits repose sur le principe des averses types, caractérisées par leurs intensités et leurs fréquences.

Pour pouvoir évaluer les quantités d'eau à évacuer, il est nécessaire d'avoir les renseignements sur les caractéristiques pluviométriques de la région de l'aérodrome. Le calcul des débits des eaux de surface peut se faire en utilisant la méthode dite rationnelle ou :

$$Q = 2.778.C.I.A$$

Avec :

Q : le débit en litre/seconde

A : la surface du bassin élémentaire (surface à drainer) en hectare,

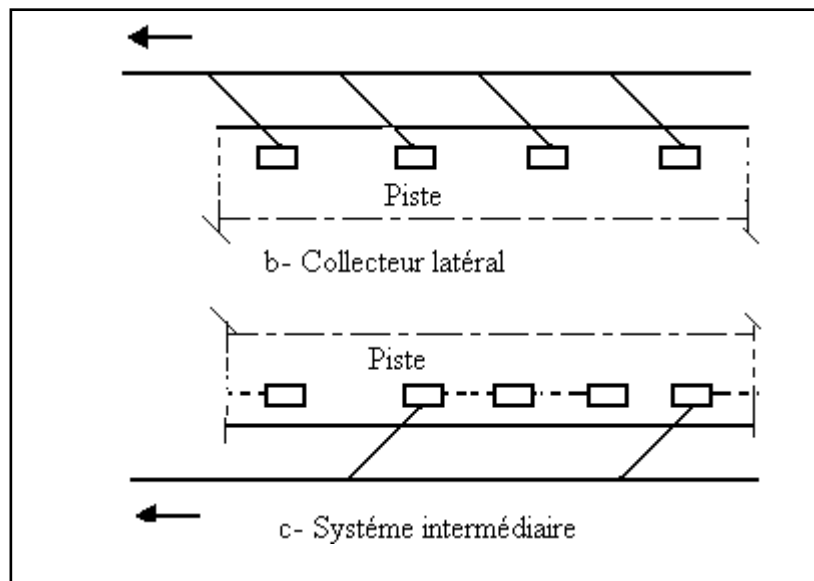
I : intensité moyenne de l'averse égale au temps de concentration exprimé en mm/h

C : coefficient de ruissellement qui dépend des caractéristiques de la surface drainée.

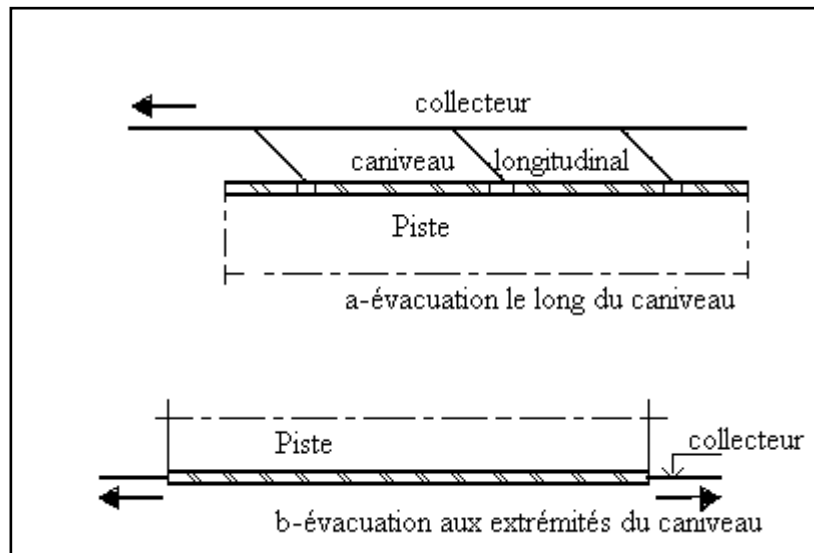
Le coefficient de ruissellement d'une surface donnée est le rapport du volume d'eau qui ruisselle sur cette surface au volume d'eau tombée sur elle. Ce rapport caractérise les pertes provenant de l'évaporation et de l'infiltration et dépend de nombreux facteurs, le plus important est la nature du revêtement de la surface drainée. A titre indicatif le tableau suivant présente le coefficient de ruissellement applicable à quelques surfaces :

| Type de revêtement de la surface | Coefficient de ruissellement |
|----------------------------------|------------------------------|
| Enrobé de chaussée + accotement | 0.80 à 0.95 |
| Béton de ciment | 0.40 à 0.65 |
| Sol imperméable nu | 0.70 à 0.90 |
| Sols légèrement perméables nus | 0.15 à 0.40 |

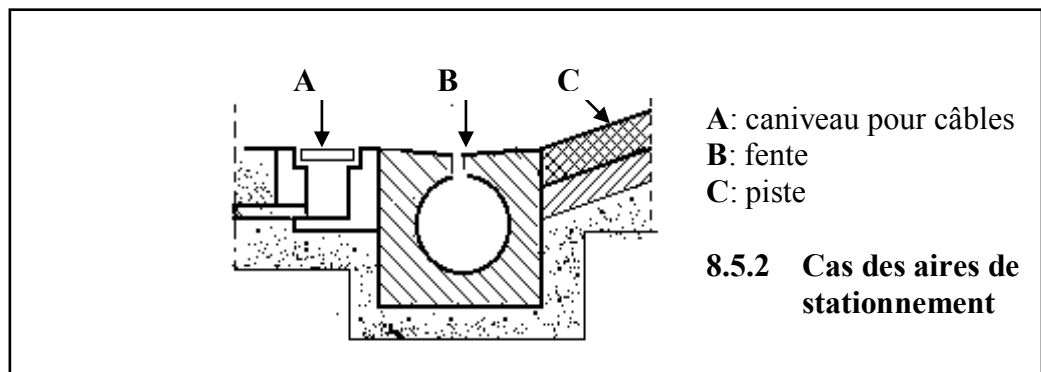
Le débit à considérer pour le dimensionnement d'un ouvrage hydraulique sera estimé en cumulant les débits des surfaces drainées par cet ouvrage.



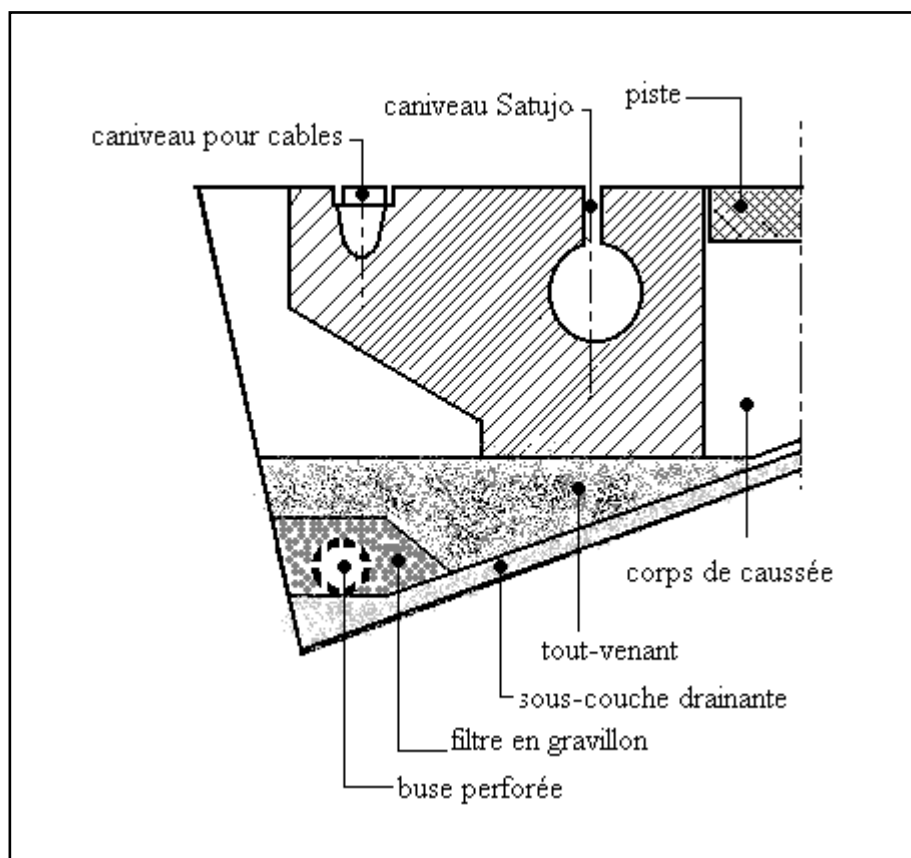
-Figure 8.1 Dispositifs de collecte continue



-Figure 8.2- Dispositifs de collecte discontinue



-Figure 8. 3- Caniveau Type SATUJO



-Figure 8.4- Exemple d'assainissement des eaux souterraines

CHAPITRE 9 LES DEGAGEMENTS DE L'AERODROME

9.1 INTRODUCTION

Les servitudes Aéronautiques ont pour objet de limiter la hauteur des obstacles que les avions pourraient heurter, tout autour de l'aérodrome et le long des routes aériennes. Il est en effet nécessaire :

1. De permettre aux environs immédiats des aérodromes, la navigation aérienne à basse altitude dans les meilleures conditions de sécurité, particulièrement par mauvaise visibilité ;
2. D'éviter sur tout le territoire des obstacles isolés hauts et peu visibles que les avions risqueraient de rencontrer.

Dispositions légales et réglementaires :

Pour réaliser les dégagements nécessaires, l'administration peut se heurter aux intérêts particuliers des riverains, donc il est nécessaire de prévoir un appareil législatif strict permettant d'imposer des servitudes aux propriétaires privés. Ces textes législatifs propres à chaque pays, prévoient :

- Des servitudes aéronautiques de dégagement, comportant l'interdiction de créer ou l'obligation de supprimer des obstacles susceptibles de constituer un danger pour la circulation aérienne ou nuisible au fonctionnement des aides- radio.
- Des servitudes aéronautiques de balisage comportant l'obligation de pourvoir certains obstacles d'un balisage visuel ou de supporter l'installation d'un tel balisage. Ces servitudes sont définies pour chaque aérodrome par le plan de dégagement.

9.2 SURFACES DE DEGAGEMENTS

Les spécifications techniques destinées à servir de base à l'établissement du plan de dégagement d'un aérodrome sont déterminées en conformité avec les recommandations de l'OACI.

Autour de tout aérodrome, doivent être définies, des surfaces idéales appelées, surfaces de dégagement de l'aérodrome ou surfaces de limitation d'obstacles. Ces surfaces sont des surfaces limites, par rapport auxquelles la position des obstacles (naturels ou artificiels) est définie. L'ensemble des mesures à prendre définissent la qualité de dégagement d'un aérodrome.

Les surfaces de limitation d'obstacles à établir pour toutes les pistes, normalisées par l'OACI sont les suivantes :

- La surface conique ;
- La surface horizontale intérieure ;
- La surface d'approche ;
- La surface de transition.

Les dimensions et pentes des ces surfaces sont présentées au Tableau 9.1.

Pour les pistes avec approche de précision les surfaces additionnelles suivantes seront établis:

- La surface intérieure d'approche
- La surface intérieure de transition
- La surface d'atterrissage interrompu
- La surface de montée au décollage

Les dimensions et pentes des ces surfaces sont présentées au Tableau 9.2

Les surfaces de dégagement sont schématisées dans les Figures 9.1 et 9.2.

9.2.1 La surface conique

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

Caractéristiques : les limites de la surface conique comprendront :

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

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

9.2.2 La surface horizontale intérieure

Description : la surface horizontale intérieure est la surface située dans un plan horizontal au-dessus d'un aérodrome et de ses abords.

Caractéristiques : le rayon ou les limites extérieures de la surface horizontale intérieure seront mesurés à partir d'un ou de plusieurs points de référence établis à cet effet.

La hauteur de la surface horizontale intérieure sera mesurée au-dessus d'un élément de référence d'altitude établis à cet effet.

9.2.3 La surface d'approche

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

Caractéristiques : la surface d'approche sera délimitée par :

- Un bord intérieur de longueur spécifiée, horizontal et perpendiculaire au prolongement de l'axe de la piste et précédent le seuil d'une distance spécifiée ;

- Deux lignes qui partant des extrémités du bord intérieur, divergent uniformément sous un angle spécifié par rapport au prolongement de l'axe de la piste ;
- Un bord parallèle au bord intérieur.

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

La pente (ou les pentes) de la surface d'approche sera mesurée (seront mesurées) dans le plan vertical passant par l'axe de la piste.

9.2.4 la surface de transition

Description : la surface de transition est la surface complexe qui s'étend sur le côté de la bande et sur une partie de la surface d'approche et qui s'incline vers le haut et vers le l'extérieur jusqu'à la surface horizontale intérieure.

Caractéristiques : une surface de transition sera délimitée par:

- un bord inférieur commençant à l'intersection du côté de la surface d'approche avec la surface horizontale intérieure et s'étendant sur le cote de la surface d'approche jusqu'au bord intérieur de cette dernière et, de là, le long de la bonde, parallèlement à l'axe de la piste ;
- un bord supérieur situé dans le plan de la surface horizontale intérieure ;

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

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

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

9.2.5 La surface intérieure d'approche

Description : la surface intérieure d'approche est la portion rectangulaire de la partie du plan de surface d'approche qui précède immédiatement le seuil.

Caractéristiques : la surface intérieure d'approche sera délimitée par :

- Un bord intérieur situé au même endroit que le bord intérieur de la surface d'approche, mais dont la longueur propre est spécifiée.
- Deux cotes partant des extrémités du bord intérieur et parallèle au plan vertical passant par l'axe de la piste ;
- Un bord extérieur parallèle au bord intérieur.

9.2.6 Surface intérieur de transition

Description : la surface intérieure de transition est une surface analogue à la surface de transition mais plus rapprochée de la piste.

Caractéristiques : la surface intérieure de transition sera délimitée par :

- Un bord inférieur commençant à l'extrémité de la surface intérieure d'approche et s'étendant sur le coté et jusqu'au bord intérieur de cette surface, et de la le long de la bande parallèlement à l'axe de piste jusqu'au bord intérieur de la surface d'atterrissage interrompu, et s'élevant ensuite sue le coté de la surface d'atterrissage interrompu jusqu'au point d'intersection de ce coté avec la surface horizontale intérieure ;
- Un bord supérieur situé dans le même plan que la surface horizontale intérieure.

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

- Le long du coté de la surface intérieure d'approche et de la surface d'atterrissage interrompu, égale à l'altitude de la surface considérée en ce point ;
- Le long de la bande, égale à l'altitude du point le plus rapproché sur l'(axe de la piste ou sur son prolongement.

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

9.2.7 La surface d'atterrissage interrompu

Description : c'est un plan incliné situé à une distance spécifiée en aval du seuil et s'étendant entre les surfaces intérieures de transition.

Caractéristiques : la surface d'atterrissage interrompu sera délimitée par :

- Un bord intérieur horizontal, perpendiculaire à l'axe de la piste est situé à une distance spécifiée en aval du seuil ;
- Deux cotés qui, partant des extrémités du bord intérieur, divergeant uniformément sous un angle spécifié, par rapport au plan vertical passant par l'axe de la piste.
- Un bord extérieur parallèle au bord intérieur est situé dans le plan de la surface horizontale intérieure.

Le bord intérieur sera situé à l'altitude de son point d'intersection avec l'axe de la piste.

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

9.2.8 La surface de montée au décollage

Description : c'est un plan incliné où toute autre surface spécifiée située au-delà de l'extrémité d'une piste ou d'un prolongement dégagé.

Caractéristiques : la surface de montée au décollage sera délimitée par :

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

9.3 SPECIFICATIONS DE DEGAGEMENTS

Pour une piste donnée les spécifications en matière de limitation d'obstacles sont définies en fonction des opérations auxquelles cette piste est destinée, soit décollage ou atterrissage, et du type d'approche, et elles sont destinées à être appliquées lorsqu'une telle opération est en cours. La hauteur et les pentes de ces surfaces ne seront pas supérieures à celles qui sont spécifiées aux tableaux 9.1 et 9.2. et leurs autres dimensions seront au moins égales à celles indiquées dans ces mêmes tableaux.

9.3.1 Pistes à vue

Pour les pistes à vue les surfaces de limitation d'obstacles à établir sont les suivantes :

- Surface conique ;
- Surface horizontal intérieure ;
- Surface d'approche ;
- Surface de transition

9.3.2 Pistes avec approche classique

Pour les pistes avec approche de précision les surfaces de limitation d'obstacles à établir sont les suivantes :

- Surface conique ;
- Surface horizontal intérieure ;
- Surface d'approche ;
- Surface de transition
- Surface horizontal intérieure ;

9.3.3 Pistes avec approche de précision

Pour les pistes avec approche de précision les surfaces de limitation d'obstacles à établir sont les suivantes :

- Surface conique ;
- Surface horizontale intérieure ;
- Surface d'approche ;
- Surface de transition

Pour la catégorie I des pistes avec approche de précision il est recommandé d'établir en plus les surfaces suivantes :

- Surface intérieure d'approche ;
- Surface intérieure de transitions ;
- Surfaces d'atterrissage interrompu.

Les surfaces de limitation d'obstacles ci-dessous seront établies pour les pistes avec approche de précision de catégorie II et III :

- Surface conique ;
- Surface horizontale intérieure ;
- Surface d'approche et surface intérieure d'approche ;
- Surface de transition ;
- Surface intérieure de transition ;
- Surface d'atterrissage interrompu.

9.3.4 Piste destinée au décollage

La surface de limitation d'obstacles ci-dessous sera établie pour les pistes destinées au décollage.

- Surface de montée au décollage
-

Les dimensions et pentes de cette surface en fonction du chiffre de code de la piste destinée au décollage, sont présentées dans le Tableau 9.3.

9.4 CAS DES AERODROMES A PLUSIEURS PISTES

Les surfaces de limitation d'obstacles doivent être exécutées pour chaque piste isolement. Dans le cas où l'aérodrome est constitué de plusieurs pistes, le dégagement total est défini par le contour convexe obtenu en menant les tangentes extérieures communes aux arcs de cercles voisins, ce qui permettra d'obtenir un dégagement unique commun à toutes les pistes de l'aérodrome.

| Surface et Dimensions | | Approche à vue | | | | Approche classique | | | Approche de précision | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|------------------------|------|-------|-------|--------------------|-------|-------|-----------------------|-----------------|-------|
| | | | | | | | | | Cat. I | Cat. II et II | |
| | | Chiffre de Code | | | | Chiffre de Code | | | Chiffre de Code | Chiffre de Code | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 - 2 | 3 | 4 | 1 - 2 | 3 - 4 | 3 - 4 |
| Surface conique | Pente | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% | 5% |
| | Hauteur (en m) | 35 | 55 | 75 | 100 | 60 | 75 | 100 | 60 | 100 | 100 |
| Surface horizontale intérieure | Hauteur (en m) | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 |
| | Rayon (en m) | 2000 | 2500 | 4000 | 3500 | 4000 | 4000 | 4000 | 3500 | 4000 | 4000 |
| Surface d'approche | Longueur de bord intérieur (en m) | | 60 | 80 | 150 | 150 | 150 | 300 | 300 | 150 | 300 |
| | Distance au seuil (en m) | | 30 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| | Divergence (de part et d'autre) | | 10% | 10% | 10% | 10% | 15% | 15% | 15% | 15% | 15% |
| | Première section | Longueur (en m) | 1600 | 2500 | 3000 | 3000 | 2500 | 3000 | 3000 | 3000 | 3000 |
| | | Pente | 5% | 4% | 3,33% | 2,5% | 3,33% | 2% | 2% | 2,5% | 2% |
| | Deuxième section | Longueur (en m) | --- | ---- | --- | --- | --- | 3600 | 3600 | 12000 | 3600 |
| | | Pente | --- | --- | --- | --- | --- | 2,5% | 2,5% | 3% | 2,5% |
| | Section horizontale | Longueur (en m) | --- | --- | --- | --- | --- | 8400 | 8400 | --- | 8400 |
| | | Longueur Totale (en m) | --- | --- | --- | --- | --- | 15000 | 15000 | 15000 | 15000 |
| Surface de transition | Pente | 20% | 20% | 14,3% | 20% | 14,3% | 14,3% | 14,3% | 14,3% | 14,3% | 14,3% |

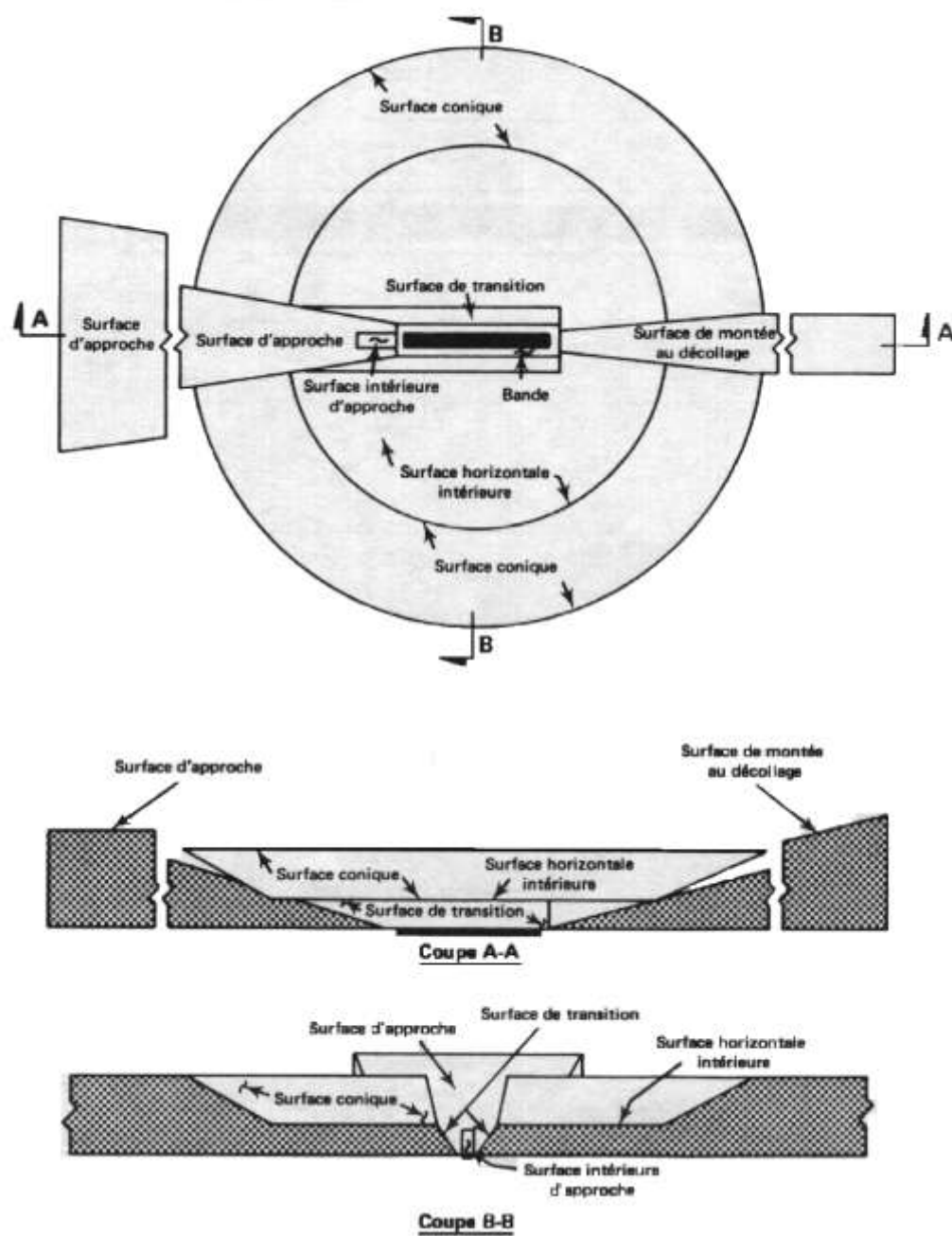
**-Tableau 9.1- Dimensions et pentes des surfaces dégagement
(Source OACI.)**

| Surface et Dimensions | | Piste avec approche de précision | | |
|--|-----------------------------------|----------------------------------|-------|---------------------|
| | | Catégorie I | | Catégorie II et III |
| | | Chiffre de code | | Chiffre de code |
| | | 1,2 | 3,4 | 3,4 |
| Surface Intérieure d'approche | Largeur (en m) | 90 | 120 | 120 |
| | Distance au seuil (en m) | 60 | 60 | 60 |
| | Longueur (en m) | 900 | 900 | 900 |
| | Pente | 2,5% | 2% | 2% |
| Surface intérieure de transition | Pente | 40% | 33,3% | 33,3% |
| Surface d'atterrissage interrompu | Longueur de bord intérieur (en m) | 90 | 120 | 120 |
| | Distance au seuil (en m) | --- | 1800 | 1800 |
| | Divergence | 10% | 10% | 10% |
| | Pente | 4% | 3,33% | 3,33% |

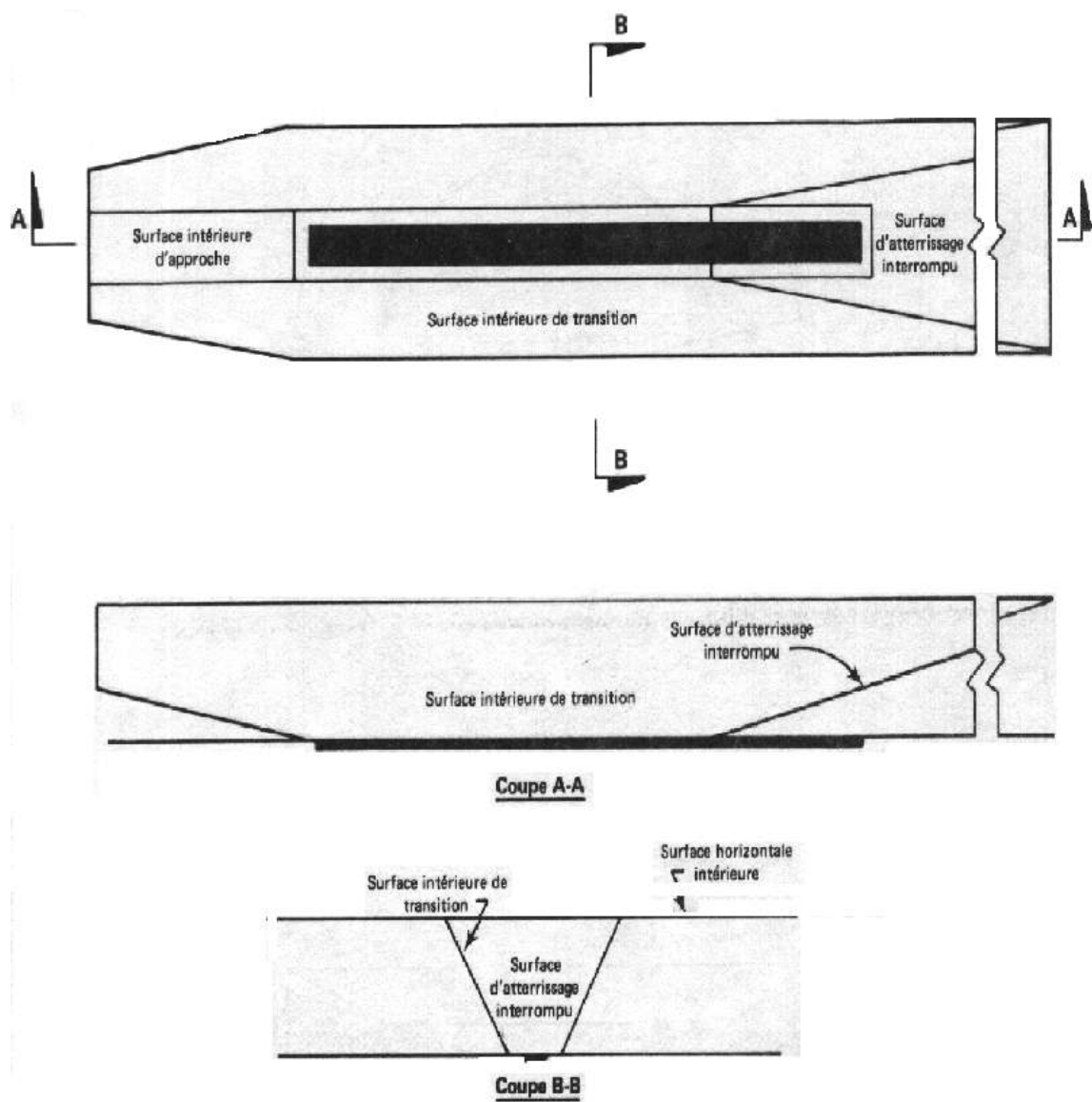
**Tableau 9.2- Dimensions et pentes des surfaces de dégagement
(Source OACI.)**

| Dimensions | Chiffre de code | | |
|--|-----------------|------|--------|
| | 1 | 2 | 3 ou 4 |
| Longueur du bord intérieur (en m) | 60 | 80 | 180 |
| Distance par rapport à l'extrémité de piste (en m) | 30 | 60 | 60 |
| Divergence (de part et d'autre) (en m) | 10% | 10% | 12,5% |
| Largeur finale (en m) | 380 | 580 | 1200 |
| Longueur (en m) | 1600 | 2500 | 15000 |
| Pente | 5% | 4% | 2% |

**-Tableau 9.3- Dimensions et pentes des surfaces de montée au décollage
(pour les pistes destinées au décollage)
(Source OACI.)**



-Figure 9.1- Surfaces de dégagement (limitation d'obstacles)



-Figure 9.2- Surface de limitation d'obstacles

CHAPITRE 10 BALISAGE ET SIGNALISATION

10.1 INTRODUCTION

La construction d'un aéroport s'accompagne toujours de la mise en place d'un dispositif destiné à faciliter son utilisation par les avions, en fournissant aux pilotes des repères visuels standardisés qui compléteront le guidage radio électrique utilisé pour l'approche. Ce dispositif est constitué principalement par des signes et des feux conventionnels à caractère universel.

L'aéroport doit donc être doté par un système composé de balisage et de signalisation. Le balisage proprement dit est constitué par un ensemble de repères visuels artificiels fixes servant à guider les avions dans leurs manœuvres. La signalisation est un ensemble de signaux utilisés pour procurer aux avions des consignes claires, destinées à aider le contrôle de la circulation aérienne. L'ensemble du balisage et de la signalisation est souvent groupé sous le terme balisage.

On distingue :

- Le balisage et la signalisation de jour
- Le balisage et la signalisation de nuit ou par mauvaise visibilité

10.2 BALISAGE ET SIGNALISATION DE JOUR

10.2.1 Identification de l'aéroport

On peut faciliter l'identification de l'aéroport en inscrivant son nom en lettre de 3 m de haut en principe blanche. Cette inscription doit être placée dans un endroit choisi par les autorités exploitantes de l'aéroport, généralement sur un endroit visible dans toutes les directions au-dessus de l'horizon.

10.2.2 Indicateur de la direction des vents (ou manche à vents)

Il est recommandé de doter l'aéroport d'au moins d'un indicateur de vent, son rôle est de donner une indication générale visuelle sur la direction et la vitesse du vent à la surface de l'aéroport. Ce dernier se présente sous forme d'un tronc de cône en tissu, d'une longueur au moins égale à 3.6 m et de diamètre égale à 0.9 m, monté sur une girouette. Cet indicateur doit être de couleur choisie de manière à le rendre nettement visible à une hauteur de 300 m au-dessus de l'aéroport, on utilise une combinaison de deux couleurs de préférence le blanc et le rouge. Voir Figure 10.1.

10.2.3 Indicateur de direction d'atterrissage

Cet indicateur est constitué par un T mobile, dont la barre verticale, indique le sens d'atterrissage que le pilote doit respecter. Les caractéristiques de ce T doivent être conformes aux instructions prescrites par les recommandations de l'OACI. Cet indicateur plus, d'autres panneaux de signalisation à caractère aéronautique (Annexe 2 à la convention de Chicago) sont souvent groupés dans une surface carrée, plane et horizontale d'au moins 9 m de côté.

Les panneaux de signalisation, quant aux couleurs, aux types, et dimensions minimales conformes aux indications de la Figure 10.2.

10.2.4 Marquage des pistes

Les différentes marques d'une piste décrites ci-dessous, sont présentées dans les Figures 10.3 et 10.4.

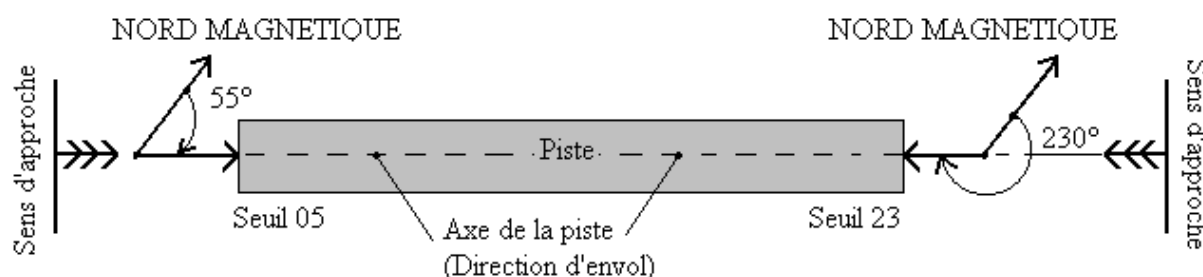
10.2.4.1 Marques d'identification des pistes QFU

Les marques d'identification de piste, dénommées QFU, seront composées d'un numéro de deux chiffres qui sera le nombre entier le plus proche du dixième de l'azimut magnétique de l'axe de piste mesuré à partir du Nord magnétique dans le sens des aiguilles d'une montre pour un observateur regardant dans le sens de l'approche. Si l'application de la règle précédente donne un nombre inférieur à dix, ce nombre sera précédé d'un zéro.

On désigne une piste par deux QFU, un sur chaque extrémité.

Exemple.

Piste : 05/23



Conformément aux prescriptions de l'OACI, les QFU doivent être peints sur les extrémités de piste et doivent être lisibles par le pilote au moment de l'approche. Les dimensions et les formes des chiffres et des lettres sont normalisées, voir Figure 10.5.

Exemple :

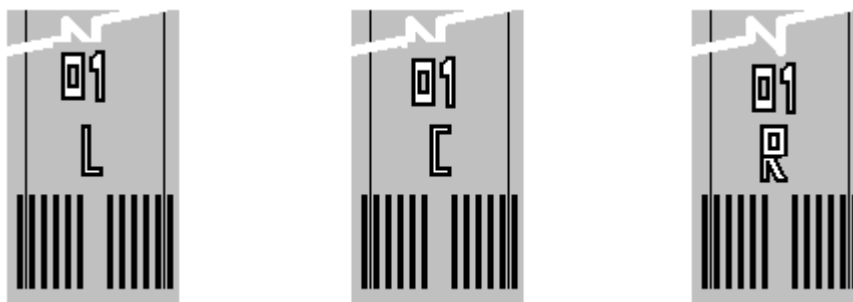
Piste 1 : 01/19



Dans le cas des pistes parallèles, on les différencie par une lettre complémentaire :

- L si la piste est située à gauche (Left) ;
- R si la piste est située à droite (Right) ;
- C si la piste est située au centre (Center).

Exemple :



10.2.4.2 Marque d'axe de piste

Pour les pistes pourvues de revêtement il est recommandé qu'elles soient dotées de marquage de l'axe de piste :

- emplacement : ces marques seront disposées le long de l'axe de chaque piste, entre les marques d'identification.
- caractéristiques : ces marques seront constituées par une ligne de trait uniformément espacé
 - longueur : 30m
 - largeur : 0,45m
 - espacement : 20m
 - couleur : blanche

10.2.4.3 Marque de seuils de pistes

Les extrémités de chaque piste doivent être matérialisées par des marques dites de seuil à partir desquelles peut être limitée l'étendue de la piste :

- emplacement : ces bandes commencent à 6 m de l'extrémité de la piste.
- caractéristiques : elles seront constituées par une série de bandes longitudinales de même dimension, disposés symétriquement par rapport à l'axe de la piste
 - longueur : 30 m
 - largeur : 1,8 m
 - espacement : 1,8m. (Les 2 bandes voisines de l'axe de piste seront espacées de 3,6 m).
 - couleur : blanche

10.2.4.4 Marques à distance constante

- emplacement : ceux-ci seront disposés aux deux extrémités de chaque piste (avec revêtement)
- caractéristiques : les marques à distance constantes doivent être constituées par 2 marques rectangulaires nettement visibles ;
 - longueur : 45 m
 - largeur : 6 m
 - écartement : 18 m (entre les cotés intérieurs des marques)
 - couleur : blanche

10.2.4.5 Marques de zone de touchée des roues

Des marques de zone de touchée des roues seront disposées dans la zone où l'avion passe sur la piste, à moins que l'autorité compétente, compte tenu des conditions météorologiques et de la nature de la circulation aérienne, juge ces marques inutiles.

- emplacement : les marques de touchée des roues se présentent sous forme de paires de marque rectangulaire symétriquement disposées de part et d'autre de l'axe de la piste ;
- caractéristiques :
 - longueur : 22,5 m
 - largeur : 3 m
 - espacement longitudinal : 150 m
 - espacement latéral : 18 m

10.2.4.6 Marques latérales de piste

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

- emplacement : il est recommandé que les marques de piste soient constituées par deux bandes disposées le long des deux bords de la piste, le bord extérieur de chaque bande doit coïncider approximativement avec le bord de la piste.
- caractéristiques :
 - longueur : le long de la piste
 - largeur : 0,9 m
 - couleur : blanche

10.2.5 Marquage des voies de circulation

10.2.5.1 Marque axiales

Afin d'assurer un guidage à partir de la piste jusqu'au point où commence les marques de stationnement de l'avion, l'axe de la voie de circulation doit être matérialisé par un trait continu.

- emplacement : les marques axiales dans les courbes d'une voie de circulation doivent assurer la continuité de la ligne de la partie rectiligne de cette voie en demeurant à une distance constante du bord extérieur du virage. Pour les bretelles, les marques axiales de ces voies seront prolongées parallèlement aux marques axiales de la piste sur une distance de 60 m.
- caractéristiques :
 - longueur : le long des voies de circulation
 - largeur : 0,15 m
 - couleur : jaune

10.2.5.2 Point d'attente

Voir la Figure 10.6.

Une marque de point d'attente sera obligatoirement disposée à l'intersection d'une voie de circulation avec une piste.

- emplacement : sur la voie de circulation à une distance de 75m de l'axe de la piste ;
- caractéristiques : forme et dimension conformément aux prescriptions de l'annexe 14.

10.2.6 Postes de stationnement

Les marques des postes de stationnement ou ligne de guidage, se sont révélées très utiles aux manœuvres des avions dans les aires de stationnement. L'objectif étant de mettre à la disposition du pilote un système de marquage au sol, clair et simple, lui permettant d'effectuer les manœuvres sans l'aide du personnel au sol. Il s'agit de définir un tracé qui peut être utilisé par tous les avions en service et par ceux dont l'exploitation débiteront dans un avenir proche. En même temps il ne faut pas multiplier les indications sur un même poste de stationnement pour éviter les risques de confusion.

10.2.6.1 Élément du système de guidage

- Ligne d'entrée sur le poste : est une ligne droite raccordée par un cercle à la ligne de l'axe de la voie de circulation (la desserte). Les rayons de raccordement sont déterminés en fonction du gabarit des avions.
- Repère du début de virage : une flèche de début de virage est tracée à l'extrémité et à gauche de la ligne d'entrée sur le poste, elle indique la direction vers laquelle doit s'effectuer le virage
- Ligne d'orientation finale : c'est une ligne droite rejointe par le train avant en fin de virage, elle donne au pilote l'orientation du positionnement retenu sur le poste de stationnement.
- Repère d'arrêt : c'est un repère tracé sur la gauche de la ligne d'orientation finale, qui indique au pilote l'arrêt final après redressement du train.

10.2.6.2 Marque d'identification des postes

Pour l'identification de chaque poste de stationnement, un chiffre (normalisé) est placé à la hauteur du point de tangente de la ligne d'axe de la voie de desserte et du cercle de raccordement à la ligne droite d'entrée, du même côté que le poste de stationnement par rapport à l'axe de la voie de desserte.

Les repères d'identification de virage

Les repères d'identification de virage et les repères d'arrêt ont une longueur d'au moins 8 m et une largeur d'au moins 0,15 m.

La distance à aménager entre les repères et les lignes d'entrée et d'orientation finale varie en fonction du type d'aéronef, compte tenu du champ de vision du pilote quand l'avion est au sol.

Les lignes d'entrée et les lignes d'orientation finales sont en trait continu et ont une largeur de 0,15m.

Les lignes d'entrée, les lignes d'orientation finales, les repères, les marques d'identification des postes, les barres d'arrêt et les repères d'orientation de virage sont tous de couleur jaune.

10.3 BALISAGE ET SIGNALISATION DE NUIT

La notion de nuit en matière de conception et exploitation d'aérodrome étant réglementairement rattachée à celle de l'heure locale du coucher de soleil. Les aérodromes de classe A international, exige son exploitation nocturne, donc la charge que représente son exploitation se trouve considérablement accrue. Il faut mettre en place toute une infrastructure permettant de reconstituer artificiellement toutes les références visuelles nécessaires aux différentes manœuvres d'approche, d'atterrissage, de circulation au sol et au décollage, sans le moindre risque de confusion. Cette infrastructure consiste à la mise en place d'un système d'éclairage électrique spécial (des feux), les caractéristiques de ce système lumineux sont strictement réglementées par l'OACI.

10.3.1 Feux indispensables à l'aérodrome

10.3.1.1 Phare d'identification

- emploi : c'est un phare ayant pour rôle principal, la facilité d'identification de l'aérodrome en vol
- emplacement : sur le site de l'aérodrome
- caractéristiques : c'est un phare émettant un feu vert de haute intensité

Dispositifs lumineux haute intensité :

Les dispositifs lumineux à haute intensité sont dotés de moyens de réglage permettant d'adapter l'intensité lumineuse aux conditions du moment.

10.3.1.2 Feux de piste

Quelques feux décrits ci-dessous sont présentés dans le Figure 10.7 (à titre illustratif), le lecteur trouvera beaucoup plus de détails sur la disposition et types de feux au niveau de l'annexe 14.

On distingue généralement :

- Feux ou dispositifs d'approche (facultatifs)
 - rôle :
 - emplacement : sur une distance de 300m de part et d'autres des extrémités de chaque piste
 - caractéristiques : ce dispositif est constitué d'une ligne axiale de feux directionnels tous les 60 m sur 420 m et une barre de feux à 300m du seuil, large de 30 m .
 - exigences : les dispositifs des feux d'approche en saillie et leurs montures doivent être légères et dotées d'un point frangible à leur base.
- Feux de seuil de piste

- emploi : des feux de seuil de piste seront disposés sur une piste dotée de feux de bords
 - emplacement : comme le seuil de piste coïncide avec l'extrémité de chaque piste, les feux de seuil seront disposés sur une rangée perpendiculaire à l'axe de la piste, aussi près que possible de l'extrémité (de préférence à l'extérieur de la piste à 3 m de ses extrémités).
 - caractéristique : les feux de seuil sont des feux fixes de couleur verte, unidirectionnels orientés vers la direction d'approche.
- Feux d'extrémité de piste
Lorsque le seuil de piste correspond à son extrémité, les feux de seuil peuvent être utilisés comme feux d'extrémités de piste.
- Feux de bords de piste
 - emploi : ces feux matérialisent les bords latéraux de chaque piste, nécessaire pour le guidage lors de l'atterrissage ou le décollage
 - emplacement : disposés sur toute la longueur de la piste, en deux rangées parallèles, équidistantes de l'axe de la piste
 - caractéristiques : constitués par des feux fixes blancs visibles dans tous les azimuts.
- Feux d'axe de piste
 - emploi : pour la matérialisation nocturne de l'axe de la piste
 - emplacement : disposés le long de l'axe de la piste, depuis le seuil jusqu'au extrémités à intervalles uniformes de 15m
 - caractéristiques : sont des feux fixes de couleur variable le long de la piste :
 - blanc : de l'extrémité jusqu'à 100m de l
 - alterné rouge-blanc entre 900 et 300m de l'aval
 - rouge entre 300 et l'extrémité de piste.
- Feux de zones de touchée des roues
 - emploi : matérialisation des zones de touchée des roues
 - emplacement : commencent au seuil et s'étendent sur une longueur de 900 m, l'espacement longitudinal entre deux paires de barrette est de 300 m.
 - caractéristiques : composés par une barrette comportant au moins 3 feux unidirectionnels de couleur blanche variable, l'intervalle entre ces feux est de 1,5 m maximum.

10.3.1.3 Feux des voies de circulation

Voir Figure 10.7

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

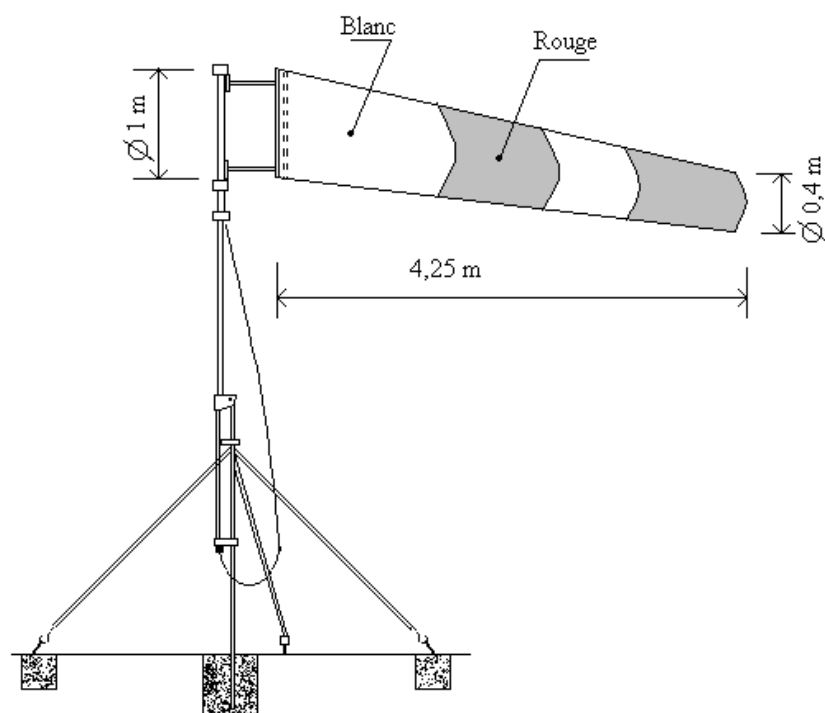
- caractéristiques : sont des feux fixes de couleur verte, visibles seulement par un avion se déplace sur les voies de circulation, la distance recommandée entre deux feux successifs est de 30 m au maximum.
- Feux de bords des voies de circulation
 - emploi : il est recommandé que des feux de bords des voies de circulation soient installés pour la matérialisation bords des voies de circulation.
 - emplacement : il est recommandé que dans les parties rectilignes d'une voie de circulation, des feux de bords soient installés à intervalle uniforme de 60 m, au niveau des virages, l'espacement entre les feux serait inférieur à 60 m de manière à ce que les limites du virage soit nettement visibles.
 - caractéristiques : les feux de bord des voies de circulation sont constitués par des feux fixes de couleur bleue, visibles jusqu'à 30 degrés au moins au-dessus de l'horizon, dans toutes les directions.
- Les barres d'arrêt
 - emploi : une barre d'arrêt doit être installée au point d'attente de circulation
 - emplacement : placées en travers de la voie de circulation au point d'arrêt (ou d'attente d'autorisation d'accès à la piste). Ces feux sont disposés au moins à 3 m du bord de la voie.
 - caractéristiques : les barres d'arrêt doivent être composées de feux unidirectionnels de couleur rouge, dirigés dans le sens où l'aéronef s'approche de l'intersection ou du point d'attente de circulation.

10.3.1.4 Feux des aires de stationnement

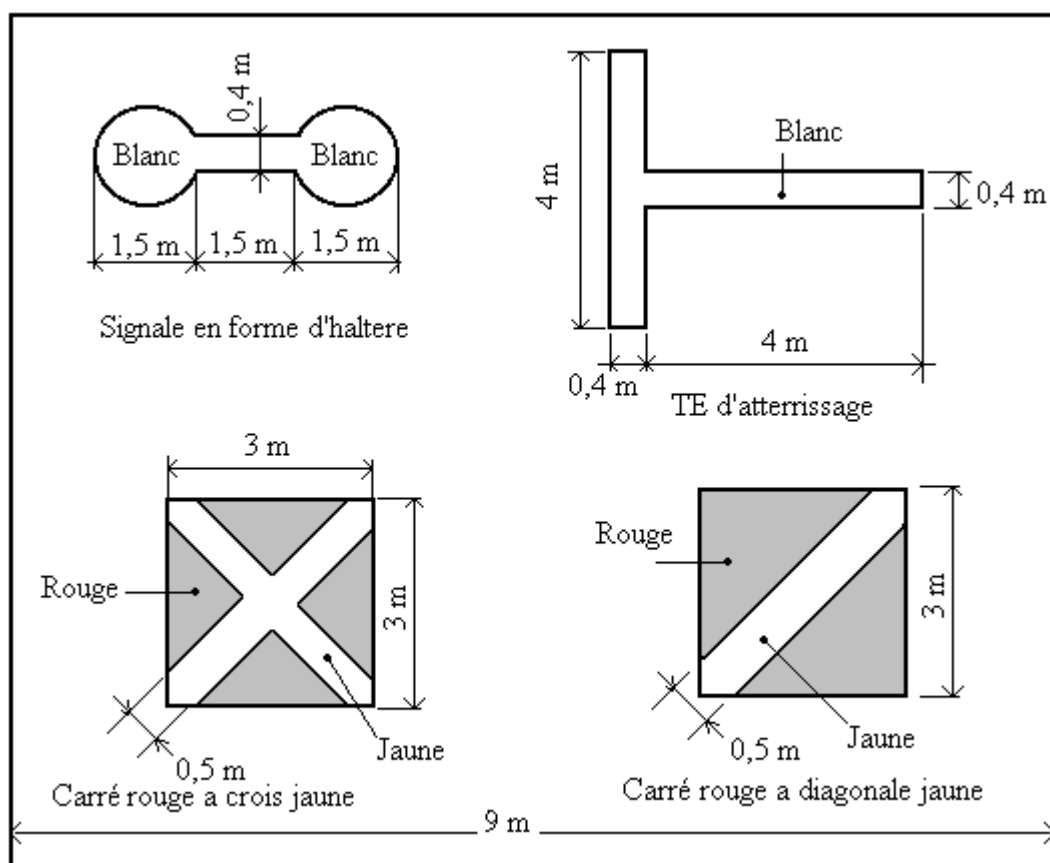
- emploi : il est recommandé que les aires de stationnement appelées à être utilisées la nuit soient dotées par des projecteurs
- emplacement : ces projecteurs doivent être disposés de manière à rendre les postes de stationnement visibles, et orientés (au moins en deux directions) de façon à réduire le plus possible les ombres.
- caractéristiques : projecteur à éclairage horizontal d'une luminosité de 20 lux.

10.3.2 Recommandations générales

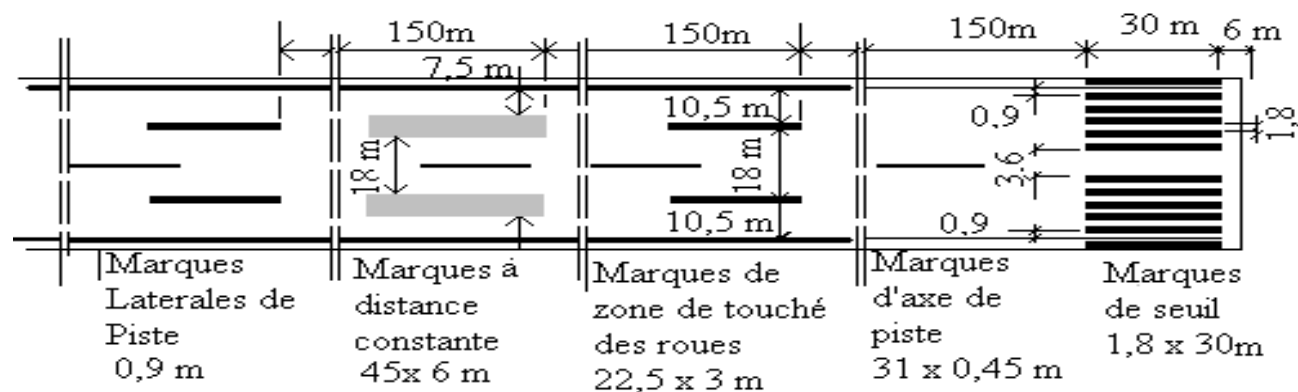
- Feux en saillie: les feux de piste, des voies de circulation et des aires de stationnement doivent être conçus et montés de manière à avoir une monture légère et frangible. Leurs hauteurs doivent être assez faibles et avoir une fixation suffisante pour résister aux souffles des hélices et des réacteurs.
- Feux encastrés : les feux encastrés à la surface des pistes et des voies de circulation doivent être conçus et montés de manière à supporter le passage des roues d'un avion sans s'endommager.



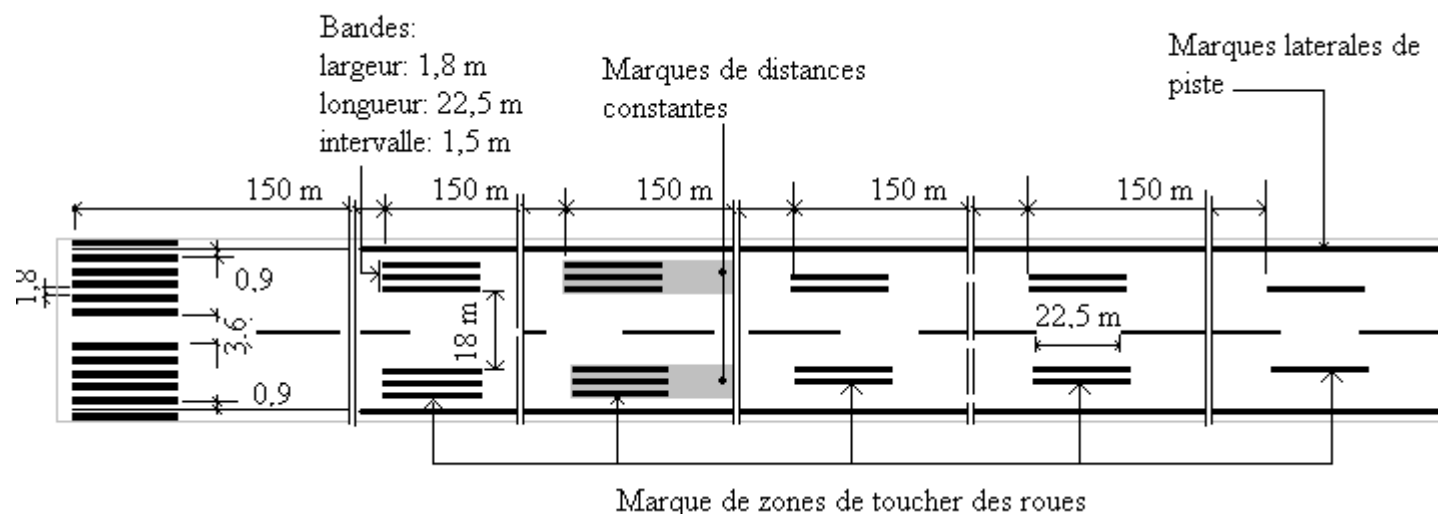
-Figure 10.1- Manche à Vent



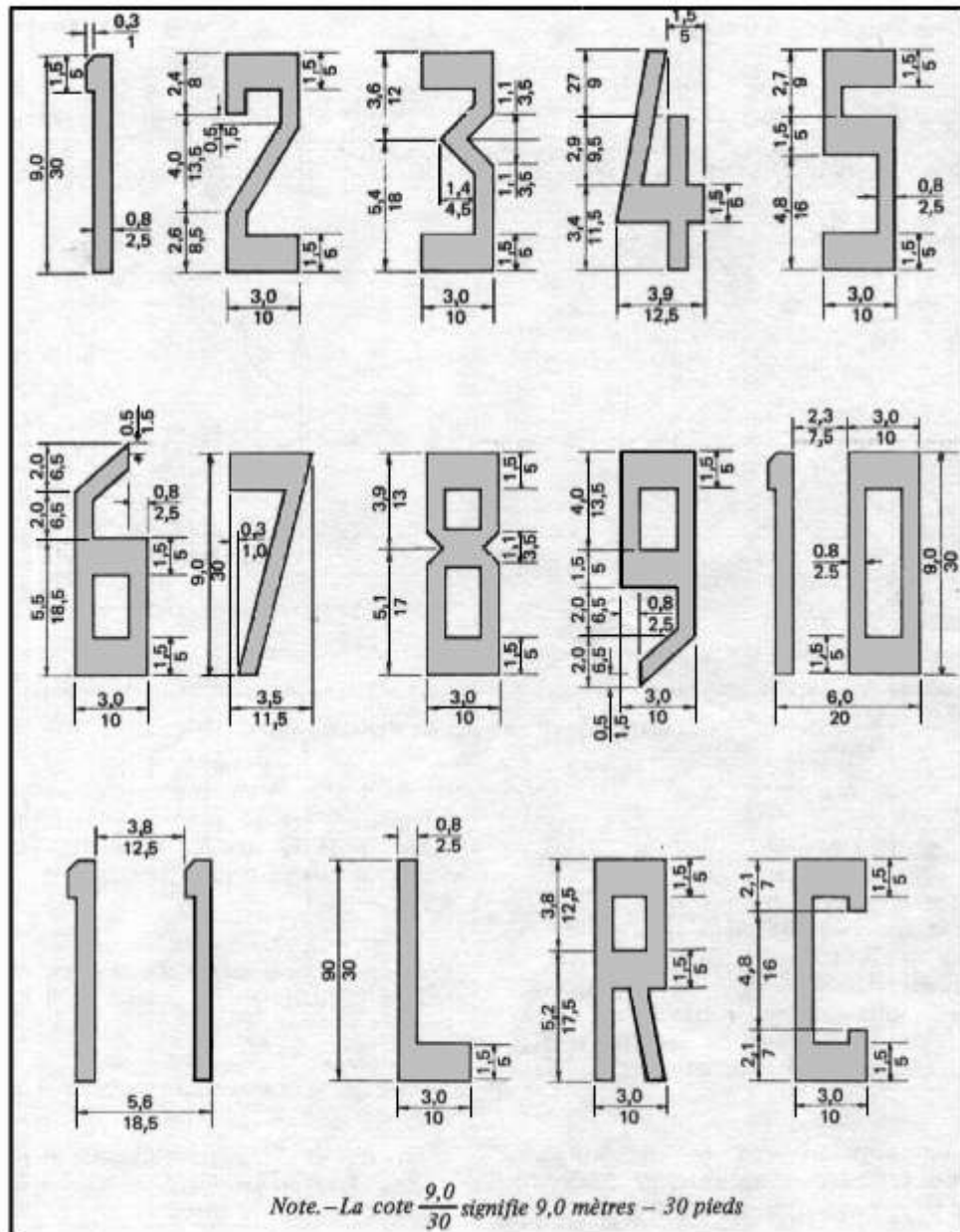
-Figure 10.2. Aire à panneaux de signalisation



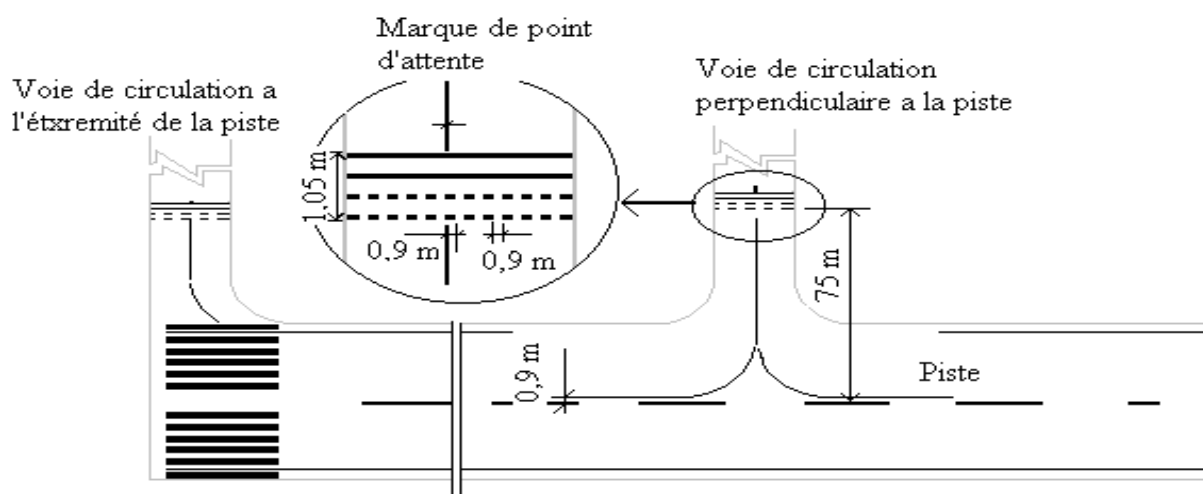
-Figure 10.3- Marquage des pistes (configuration de base)



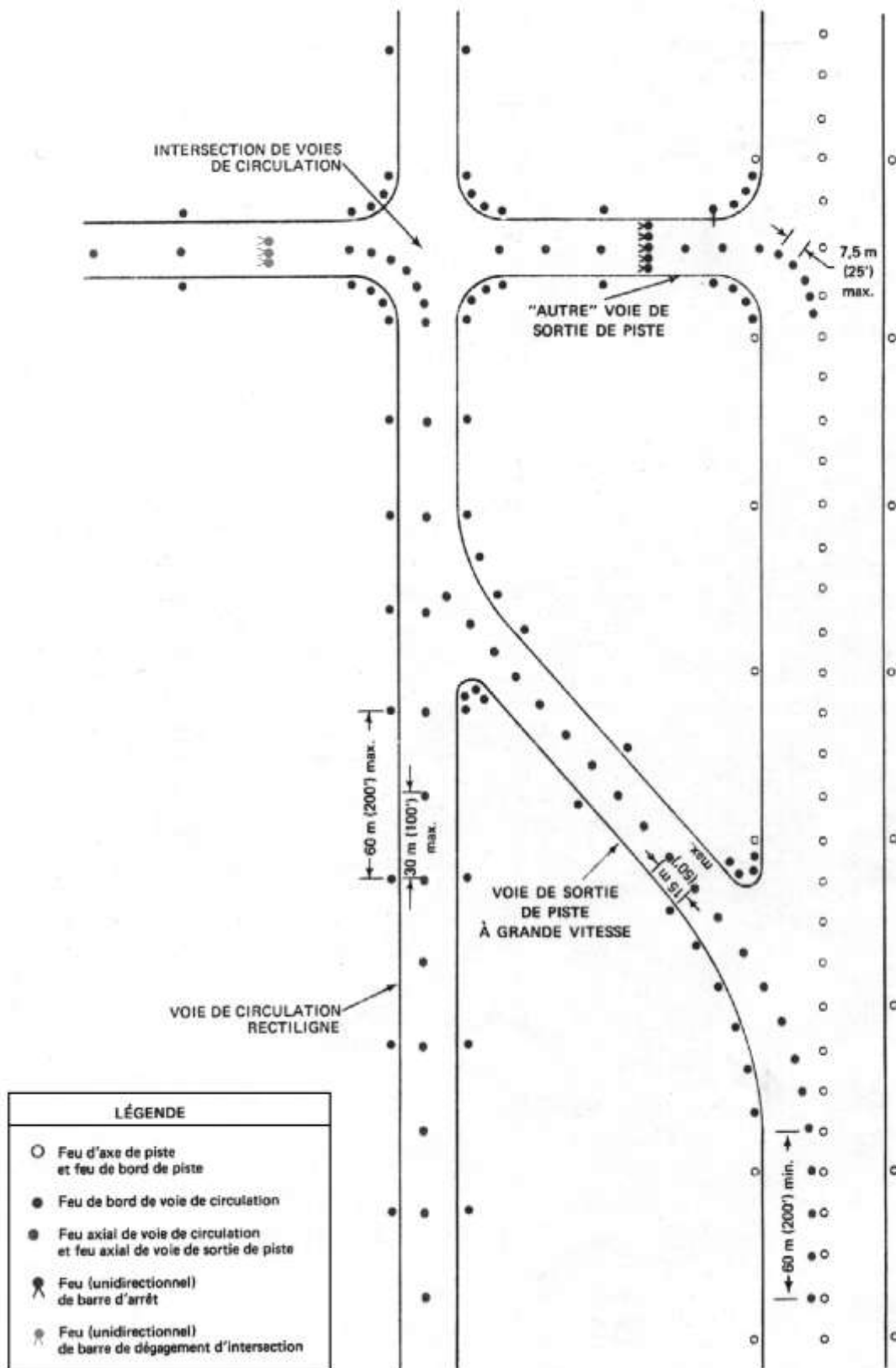
-Figure 10.4- Marquage de piste avec code de distance



-Figure 10.5 Formes et dimensions des chiffres et lettres d'identification de piste



-Figure 10.6 Marques des voies de circulation (point d'attente) -Piste



-Figure 10.7- Feux de piste et voies de circulation

CHAPITRE 11 REALISATION DU PROJET D'AERODROME

11.1 CHOIX D'UN EMPLACEMENT D'AERODROME

Le choix de l'emplacement d'un aérodrome est d'une importance capitale ; il conditionne les services et détermine les dépenses d'aménagement. Ce choix est généralement fait sur la base de considérations multiples, dont l'importance relative varie, selon le cas. Parmi les facteurs qui interviennent de manière directe dans le choix de l'emplacement, on peut citer principalement:

- Les dimensions et la configuration du terrain,
- La qualité des dégagements offerts par le site,
- Le relief topographique du terrain,
- La nature géotechnique du sol,
- Le régime hydrologique des eaux.
- Les conditions météorologiques de la région du site,
- Les facilités d'accès au site,
- Le bruit occasionné par l'implantation de l'aérodrome vis à vis des populations voisines.

Dans la perspective des données et renseignements relatifs à tout ces facteurs, le choix d'un emplacement définitif d'un aérodrome, ne peut être effectué que de manière parfois contradictoire entre toutes les exigences suivantes:

- Assurer la meilleure qualité aéronautique de l'aérodrome et notamment les meilleurs dégagements possibles;
- Réduire au minimum le gêne du au bruit des avions;
- Assurer la plus rapide liaison terrestre avec la ville à desservir;
- Réserver les possibilités d'extension future de l'aérodrome;
- Assurer l'aménagement de l'aérodrome sans difficultés techniques importantes;
- Réduire au minimum le coût d'investissement.

11.2 ETUDE PRATIQUE DU PLAN DE MASSE

Une fois l'emplacement favorable de l'aérodrome est déterminé, une étude du plan de masse de l'aérodrome doit être effectuée ; cette étude comporte les étapes suivantes:

1. La détermination du nombre et directions des pistes d'envol nécessaires. Cette étude sera basée essentiellement sur les renseignements relatifs au régime des vents, fournis par le service météo. (Voir Chapitre 4.)
2. L'implantation des pistes d'envol. Cette étape sera basée sur la recherche d'une solution d'implantation optimale pouvant assurer :
 - Une bonne qualité de dégagements
 - Une harmonie acceptable du plan de masse
 - L'économie du terrain et d'aménagements.

3. Le choix de la direction d'atterrissage aux instruments. Cette direction doit répondre aux critères suivants :
 - Elle doit être la mieux dégagée
 - Offre le meilleur coefficient de fréquence d'utilisation voir chap.
 - S'apprête à la construction de la piste la plus longue.
4. le choix des zones d'installation : la priorité doit être donnée à la zone des installations terminales, leurs positions doivent tenir compte des facilités d'accès à la ville à desservir. Pour les aires de trafic, leurs positions doivent tenir compte de la position des pistes (et notamment la piste principale, la plus usitée) pour réduire au minimum la circulation aux sols des aéronefs. D'autres facteurs peuvent aussi intervenir lors du choix des zones d'installation, comme l'orientation des bâtiments, le terrassement et le régime des eaux et les possibilités d'évacuation.
5. L'étude du tracé générale des voies de circulation
6. La réalisation d'une esquisse de l'aménagement des zones d'installation : cette étude sommaire qui peut comporter plusieurs variantes, permet de s'assurer que la forme et la surface des zones d'installation prévues se prêtent à une composition satisfaisante de ces zones.

11.3 ECHELLE DU PLAN DE MASSE

Le plan de masse proprement dit se présente à l'échelle 1/5000. Ce dernier définit de manière claire, l'implantation des pistes et bandes, des voies de circulation, des aires de stationnement, délimite les zones d'installation, et montre l'implantation des installations essentielles (aérogare, blocs techniques, gare fret, hangars etc..) et les grandes lignes du réseau de circulation routière.

11.4 ETAPES DU PROJET

L'études d'un projet d'aérodrome donne lieu, comme pour les études routières, à l'établissement des trois documents successifs suivants :

- L'avant-projet sommaire ;
- L'avant-projet détaillé ;
- Le projet d'exécution.

Pour les mener à bien il est indispensable de recueillir une série d'information permettant d'établir un projet réduisant le plus possible la part d'imprévu et qui, de ce fait, peut être exécuté dans les meilleures conditions économiques.

L'étude d'un projet d'aérodrome demande en outre des renseignements beaucoup plus précis sur la topographie et la nature du sol de l'emplacement sur lequel sera construit ce dernier. Ces renseignements sont utiles pour arrêter de la manière la plus juste les dispositions à prendre en matière de profils des ouvrages, de drainage et de constitution de chaussée. L'étude topographique et l'étude géotechnique doivent répondre à ces préoccupations.

11.5 ETUDES TOPOGRAPHIQUES

11.5.1 Photogrammétrie

La méthode photogrammétrique permet d'établir des plans topographiques à partir de photographies aériennes, c'est-à-dire sans qu'il soit nécessaire d'intervenir sur le terrain. A cet avantage s'ajoute celui de la rapidité d'exécution car, une fois pris les clichés, la restitution photogrammétrique est beaucoup plus rapide que les méthodes topographiques traditionnelles.

Toutefois, pour que la méthode s'applique correctement, il faut que le terrain à lever soit suffisamment découvert car les parties boisées ne peuvent pas être levées. Cela impose donc de prendre les vues à certain période de l'année.

La méthode photogrammétrique est devenue classique, elle a bénéficié des progrès faits sur les objectifs photographiques en matière de luminosité, de distorsion, etc., et son utilisation est maintenant courante.

11.5.2 Levés topographiques

La méthode traditionnelle des levés topographiques reste cependant utilisée dans de nombreux cas. Les quelques indications suivantes sont destinées à guider l'ingénieur dans le choix de la densité des levés. Les valeurs numériques n'ont aucun caractère obligatoire et doivent, de toute façon, être adaptées à chaque cas particulier.

- **Avant projet sommaire :**

A ce stade, l'étude des profils des ouvrages et l'estimation des terrassements sont faites à partir d'un plan à courbe de niveau dont l'échelle est de 1/5000 et l'équidistance 0.5 à 1m. Ce plan peut être obtenu par photogrammétrie ou par nivellement des sommets d'un quadrillage de 50m de côté, couvrant toute l'emprise de l'aérodrome, et débordant très largement les limites des ouvrages prévus.

- **Avant-projet détaillé et projet d'exécution :**

Au stade de l'avant-projet détaillé, une nouvelle campagne de nivellement plus approfondie est réalisée. Il faut que les levés s'effectuent selon les lignes principales du projet dans la mesure où celles-ci sont connues. La densité des levés peut être la suivante :

- **Bande de piste**

- 1 point sur l'axe
- 1 point sur chaque bord de piste
- 1 point sur chaque bord d'accotement stabilisé.
- 1 point à l'emplacement d'un fil d'eau possible
- 1 point intermédiaire à moins de 25m du précédent.
- 1 point au bord de la bande aménagée.
- 1 point tous les 30m sur la bande dégagée.
- 1 point au bord de la bande dégagée.
- 1 à 2 points en dehors de la bande dégagée.
- Distance entre profils consécutifs : 30 à 40m.

➤ **Voie de circulation**

- 1 point sur l'axe.
- 1 point sur chaque bord.
- 1 point sur chaque bord d'accotement stabilisé.
- 1 point à l'emplacement d'un fil d'eau possible.
- 1 point sur le bord de la bande aménagée.
- 1 à 2 points en dehors de la bande aménagée.
- Distance entre profils consécutifs : 30 à 40m.

➤ **Aire de stationnement**

- 1 point tous les 20m.
- Distance entre profils consécutifs : 30 à 40m.

11.6 ETUDE GEOLOGIQUE

L'étude géologique est spécialement préconisée dans le cas où l'aérodrome sera réalisé sur un site entièrement nouveau. Cette étude sera précédée d'abord par une collecte d'information à partir des documents et cartes géologiques et géographiques et par une éventuelle visite au site.

L'étude est ensuite approfondie avec l'exécution de sondages profonds sur l'emplacement des ouvrages, ces sondages permettent de déceler l'existence d'une nappe phréatique.

Selon la classe de l'aérodrome et la nature du site, ces sondages sont au nombre de trois, la profondeur varie entre 5 à 15m.

Des échantillons des différents types de sols rencontrés seront prélevés et soumis aux essais de laboratoire pour la détermination des paramètres d'identification suivants :

- La granularité ;
- Les limites d'Atterberg ;
- L'équivalent de sable ;
- La teneur en eau naturelle et le degré de saturation
- La teneur en matière organique
- La densité humide et sèche

11.7 ETUDE GEOTECHNIQUE

L'étude géotechnique est particulièrement importante pour le bon dimensionnement des chaussées de l'aérodrome, elle est constituée par :

- Etude de la nappe phréatique

En cas de présence d'une nappe phréatique, il est préférable d'approfondir l'investigation en vue de connaître ces variations piézométriques saisonnières.

- Autres études

Lorsque la diversité du terrain ou l'importance du projet l'exige, une investigation géotechnique plus précise et complète s'impose.

- **Sondages à réaliser** : la localisation, le nombre et la profondeur des sondages à réaliser, doivent permettre de noter toutes les variations sensibles dans la nature du sol. Le programme type défini ci-dessous est donnée à titre indicatif, et peut être soit complété, soit réduit selon les cas.

| Partie de l'aire de mouvement | Espacement des sondages | Profondeur des sondages (1) |
|---|--|---|
| Pistes et voies de circulation | Un sondage tous les 100m | |
| Aires de stationnement | Un sondage tous les 5000m ² environ | 1 à 2 m (pour toutes catégories d'aérodromes. |
| Zones non revêtues (2) | Un sondage tous les 10 000m ² environ | |
| (1) : la profondeur du sondage est mesurée : <ul style="list-style-type: none"> - dans les zones en déblai, par rapport à la ligne du projet - dans les zones en remblai, par rapport au terrain naturel. (2) : il s'agit des zones de l'aérodrome, qui doivent faire l'objet de terrassement sans être destinées à recevoir une chaussée, ou des zones envisagées comme lieux d'emprunt. | | |

- Essais de sol :

Au laboratoire : En plus des essais d'identification, une étude Proctor est effectuée sur tous les sols qui doivent faire l'objet d'un compactage de manière à déterminer la teneur en eau optimale pour le compactage.

Il faut noter que, pour les sols supports de chaussées, une fois recouverts (par la chaussée) vont acquérir une teneur en eau dite d'équilibre, qui n'est pas nécessairement celle du compactage. Comme les caractéristiques mécaniques des sols dépendent de leur teneur en eau, il est indispensable de préciser cette teneur d'équilibre car la portance et l'épaisseur de la chaussée, surtout de type souple, sont largement influencées par la portance du sol.

Une fois la teneur en eau d'équilibre définie, des essais CBR sont effectués à différentes teneurs en eau (et diverse durée d'imbibition) de façon à encadrer la teneur d'équilibre. Ces essais donnent une indication sur la sensibilité du sol vis-à-vis de l'humidité, ils peuvent conduire à rejeter certains sols trop sensibles (argiles par exemple) et à rechercher sur le site de l'aérodrome un sol remblai de meilleure qualité.

In situ : les essais au laboratoire sont complétés par des essais mécaniques in-situ.

- Essais CBR pour les sols supports de chaussée souple ;
- Essais de plaque pour les sols supports de chaussée rigide. L'essai est effectué après compactage dans les conditions d'exécution prévues (95% de la densité de l'optimum proctor modifié). Il permet de mesurer le module de Westergaard.

11.8 RECAPITULATIF

Données à recueillir pour l'étude et la réalisation de l'aire de mouvement :

| | |
|---|--|
| Etape 1 : APS Avant Projet Sommaire | 1. Plan à courbes de niveau au 1/5000 (évaluation des terrassements) 2. Etude géologique (cartes et documents existants, deux ou trois sondages avec essais d'identification des sols) 3. Etude géotechnique sommaire 4. Etude de la nappe phréatique |
| Etape 2 : APD Avant Projet Détaillé et projet d'exécution | 1. Levés topographiques suivant les lignes principales du projet 2. Etude géotechnique complète : sondages, identification, essais au laboratoire et in-situ |

11.9 DOSSIER DE CLIMATOLOGIE

La connaissance de la climatologie du site de l'aérodrome, en plus du volet météorologique indispensable à la conception de l'aérodrome, permet en mieux la prévention des conditions de terrassement, de drainage et de la construction des chaussées.

11.10 TRAVAUX DE TERRASSEMENT

Les problèmes posés par les travaux de terrassement des aérodromes sont similaires à ceux posés par les routes. Comme les aérodromes sont construits sur des sites plats ou très peu accidentés, les épaisseurs de terrassement sont généralement moins importantes que pour routes. Il est toutefois recommandé, que certaines précautions doivent être prises lors de l'exécution des terrassements surtout sous les chaussées et leurs abords.

- Assurer une bonne protection (en aval) du site contre la stagnation des eaux de pluie, par des ouvrages d'assainissement et par la conception d'un drainage local de chantier.
- Les remblais sous-chaussées doivent être compactés soigneusement par couches de 20 à 25 cm d'épaisseur. Chacune des couches doit être compactée à une teneur en eau permettant d'obtenir la densité sèche au moins égale à 90% de la densité maximale déterminée par l'essai proctor modifié.
- La couche de finition ou fond de forme sous-chaussée, doit être compactée à 95% de l'optimum proctor modifié.
- En dehors de cette zone la couche de finition doit être compactée comme le corps de remblais, soit revêtue de terre végétale.
- En dehors de ces zones sous-chaussées et lorsqu'il y a lieu de remblayer, il est possible d'admettre des compactages moins poussés

- En ce qui concerne les parties en déblai, les études et travaux doivent être menés de manière à ce que les couches supérieures du terrain, après enlèvement des déblais et apport éventuel de terre végétale, aient les mêmes caractéristiques de compactage que dans les parties en remblais.
- Les tolérances de nivellement par rapport aux cÔtes du projet sont de ± 2 cm sur le fond de forme des chaussées et ses abords et de ± 3 cm sur les autres parties de la bande aménagée.

11.11 EXECUTION DES OUVRAGES DE DRAINAGE ET D'EVACUATION

Drainage : Les drains élémentaires et les collecteurs sont toujours mis en place après exécution des travaux de terrassement.

Ouvrages de collecte des eaux : les ouvrages de collecte des eaux de ruissellement (regards et caniveaux) sont construits avant l'exécution des chaussées de l'aérodrome. Les caniveaux longitudinaux continus,

Les collecteurs : tous les collecteurs extérieurs aux chaussées seront mis en place après achèvement des terrassements. Le remblai de remplissage des tranchées devra faire l'objet d'un compactage d'autant plus soigné que le collecteur sera plus près des chaussées.

Engazonnement : au stade de la réalisation des chaussées il est préférable de procéder à l'engazonnement des aires des bandes d'envol et les tous les abords des voies de circulation. En plus de sa participation à la stabilisation de ces aires contre le souffle de réacteurs, l'engazonnement aide à la dissipation des eaux de pluies et participe à l'esthétique générale de l'aérodrome.

11.12 CONSTRUCTION DES CHAUSSEES

Les travaux de construction des chaussées d'aérodrome se basent essentiellement sur les mêmes techniques employées pour la construction des routes. Il existe une littérature abondante concernant ce sujet, on se limite dans ce qui suit à présenter quelques importantes spécifications relatives aux exigences prescrites par les STBA français (et applicable en Algérie).

11.12.1 Chaussées souples

- **Couches de base :**

Pour les chaussées neuves, la couche de base peut être réalisée en Grave-Bitume, en raison de leurs hautes performances. L'usage de la Grave bitume en couche de base permet éventuellement de supprimer la couche de liaison.

La fabrication de la Grave – Bitume nécessite une attention particulière en raison de leur faible teneur en bitume et de la dureté des liants utilisés. Le compactage doit être énergique, il est recommandé d'utiliser des compacteurs à pneus lourds.

Les spécifications suivantes sont recommandées :

| spécifications | Classe A, B, C | Classe D2 et C2 |
|----------------------------------|----------------|-----------------|
| Dimension maximale des granulats | 20 à 31,5 mm | 20 mm |
| Indice de concassage | 100% | >40 |
| Coefficient d'aplatissement | <25 | >25 |
| Dureté (LA) | <30 | <25 |
| Équivalent de sable | >40 | >40 |

Avant de commencer la réalisation de la couche, il est nécessaire de réaliser une planche d'essai pour mettre au point l'atelier de répandage et de compactage en vue d'obtenir, pour la Grave-Bitume les résultats suivants :

Compacité LCPC de 88 à 96 %
 Compression >5 MPa avec bitume 60/70
 Compression >6 MPa avec du bitume 40/50.

- **Couche de surface :**

L'emploi du béton bitumineux dans la réalisation des couches de roulement est très largement répandu. C'est pratiquement la seule technique qui soit utilisée pour les chaussées souples.

Le béton bitumineux doit répondre aux exigences suivantes :

| Spécifications | |
|--------------------------|--|
| Granulats | coefficient « Los Angeles » peut atteindre 25 |
| Type de liants | Bitume 80/100 climat tempérée Bitume 60/70 autres climats, recommandé pour les aires de stationnement |
| Composition : | |
| - Granularité | Continue ou discontinue selon le cas |
| - Teneur totale en fines | 8 à 10 % |
| - Module de richesse | 3,5 à 3,9 |
| Teneur en bitume | 6 à 7 % |

Avant de commencer la réalisation de la couche, il est nécessaire de réaliser une planche d'essai pour déterminer l'atelier de compactage en vue d'obtenir, pour le béton bitumineux les résultats suivants :

Essai d'immersion :
 Compacité de 95 à 97 %

Compression à sec à 18° > 5 MPa (bitume 80/100) et >6 MPa (bitume 60/70)

Essai Marshall :

Compacité 97%

Stabilité > 800 daN.

11.12.2 Chaussée rigide

- **Couche de fondation**

Le choix des matériaux constituant les couches de fondation doit tenir compte des critères fonctionnels suivants :

- Contribuer à assurer la continuité de l'appui des dalles au droit des joints
- Par son poids, elle s'oppose au gonflement du terrain naturel
- S'opposer à la remontée des fines
- Assurer la protection de terrain naturel contre le gel

Il est important que le matériau choisi pour la couche de fondation, doit avoir une courbe granulométrique continue et que les gros éléments soient en quantité suffisantes pour donner une bonne stabilité à l'ensemble.

- **Dalle de béton**

La réalisation d'une chaussée en béton hydraulique ne présente pas de difficultés majeures à condition que le suivi de la fabrication du béton et de sa mise en œuvre soit fait de manière rigoureuse.

- Granulats :

Sable roulé propre : 0/4

Gravillons 4/20 et cailloux 20/40

- Ciments :

Les ciments employés sont les suivants :

Ciment portland : CPA

Ciment au laitier : CPAL

Ciment aux cendres volantes : CPAC

Ciment aux pouzzolanes : CPAZ

- Adjuvants :

Plastifiants, entraîneur d'air, accélérateur de prise : Selon la nécessité.

Composition du béton :

| Composition | Quantité par m ³ |
|------------------------|-----------------------------|
| Ciment | 330 kg/m ³ |
| Gravillons et cailloux | Rapport de 0,6 et 1,0 |
| L'eau | 160 l |

En faisant varier le rapport sable-cailloux et en ajustant la quantité d'eau et l'air occlus, il est possible d'obtenir la maniabilité désirée. Des essais de résistance effectués sur des éprouvettes à sept jours et vingt-huit jours indiquent si la formulation est correcte.

La résistance à la flexion à vingt-huit jours doit être supérieure à 6 MPa lors de l'étude et des essais de convenance. Lors des contrôles de chantier elle ne doit pas être inférieure à 5,5 MPa.

Mise en œuvre :

La mise en œuvre se fait à l'aide de machines de ré pandage entre des coffrages fixes (rails) ou coffrages glissants, cette dernière méthode étant pratiquement la seule employée sur les grands chantiers.

Ces machines procèdent aux diverses phases de la mise en œuvre :

- Répartition du béton entre les coffrages ;
- Serrage par vibration ;
- Lissage du béton en surface.

Joints :

Selon le type de joint (Voir tableau 5.1), l'exécution des joints est une opération très délicate à laquelle il faut apporter une grande attention.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. ***Monthly Worldwide Airport traffic Report.*** Airports Council International, Statistics Department. June 2000.
2. ***Normes et Pratiques Recommandées Internationales. Aérodroemes.*** Annexes 14 à la Convention de Chicago Relative à L'Aviation Civile Internationale. Septième édition juin – 1976. Publication de l'Organisation de l'Aviation Civil Internationale. 1976.
3. ***Normes et Pratiques Recommandées Internationales. Aérodroemes.*** Annexes 14 à la Convention de Chicago Relative à L'Aviation Civile Internationale. Volume 1, Conception et exploitation technique des aérodroemes. Deuxième édition – juillet 1995. Publication de l'Organisation de l'Aviation Civil Internationale. 1995.
4. ***Normes et Pratiques Recommandées Internationales. Aérodroemes.*** Annexes 14 à la Convention de Chicago Relative à L'Aviation Civile Internationale. Volume 1, Conception et exploitation technique des aérodroemes. Troisième édition – mars 1999 1995. Publication de l'Organisation de l'Aviation Civil Internationale. 1999.
5. ***Manuel de Conception des Aérodroemes.*** 1^{er} Partie: Pistes (Doc. 9157-AN/901). Deuxième édition 1984, Publication de l'Organisation de l'Aviation Civil Internationale, 1984.
6. ***Manuel de Conception des Aérodroemes.*** 2^{ème} Partie: Voies de circulation, aires de trafic et plate-forme d'attente de circulation (Doc. 9157-AN/902). Deuxième édition 1983, Publication de l'Organisation de l'Aviation Civil Internationale, 1983.
7. ***Manuel de Conception des Aérodroemes.*** 3^{ème} Partie: Chaussées (Doc. 9157-AN/901). Deuxième édition 1983, Publication de l'Organisation de l'Aviation Civil Internationale, 1984.
8. ***Instruction technique sur les Aérodroemes Civils (ITAC)*** , Fascicules 1-9. Publication du Service Technique des Bases Aérienne (STBA), France, 1983.
9. ***Dimensionnement des Chaussées.*** Instruction sur le dimensionnement des chaussées d'aérodroemes et la détermination des charges admissibles. Volumes 1, 2 et 3. Service Technique des Bases Aériennes (STBA), France, 1983.
10. ***Rapport technique du renforcement de la piste 12/30 de l'Aérodroeme de Tébessa,*** Société d'Etude Techniques de Annaba SETA., mars 1997.
11. ***Etude technique sur les aires de mouvement de l'aéroport Haouari Boumediene,:*** établis par le Bureau Louis Berger International.

12. ***Etude et Conception de l'Aérodrome les Salines de Annaba.*** Projet de fin d'étude, par Rouili Ahmed et Toualbia Noureddine, Institut de Génie Civil, Université de Annaba. 1988.
13. ***Conception, construction et gestion des aérodromes.*** Par G. Meunier, 1969.
14. ***Recommandations pour la reconnaissance géologique et géotechnique des tracés d'autoroutes.*** Laboratoire central des Ponts et Chaussée, France, 1967.
15. ***Construction des chaussées aéroportuaires.*** Par MM. Marec, Paufigue et Goudeneche. Revue Générale des Routes et des Aérodrômes, supplément au numéro 503, Fascicule N°3, 1974.
16. ***Evaluation de la portance des sols de fondation des chaussées souples.*** Par R. Peltier, Revue Générale des Routes et Aérodrômes, N° 278, 1955.
17. ***Convention STBA – LCPC :*** Recommandation STBA – LCPC pour la conception, l'étude et la réalisation des bétons bitumineux de couche de surface des chaussées aéronautiques. Document de travail N° 5. Mai, 1985.
18. ***Cours de Base aérienne,*** Ecole Nationale Des Ponts et Chaussées, par Mazen et Becker.
19. ***Aéroports,*** Henri Mazen.
20. ***Code français de l'aviation civile.*** Livre II ; Aéroport (Source : [LEGIFRANCE](http://www.legifrance.gouv.fr)).



CARACTERISTIQUES DES AVIONS

1. Tableaux des caractéristiques des avions

(Source: STBA. France)

- AIRBUS A 300
- AIRBUS A 310
- BOEING B 707
- BOEING B 720
- BOEING B 727
- BOEING B 737
- BOIENG B 747
- BOIENG B 757
- BOEING B 767

2. Classification des Avions d'après le chiffre et la lettre de code

(Source : OACI)

3. ACN De quelques principaux avions commerciaux

(Source : ITAC. France)

CLASSIFICATION DES AVIONS
D'APRES LE CHIFFRE ET LA LETTRE DE CODE
(Source : OACI)

| Type d'avion | Code | Distance de Référence de l'avion (m) | Envergure (m) | Largeur hors-tout du train principal |
|---------------------------|------|---|------------------|---|
| Beaver DHC-2 | 1A | 381 | 12,6 | 3,3 |
| Turbo Beaver DHC-2T | 1A | 427 | 14,6 | 3,3 |
| Beechcraft A24R | 1A | 603 | 10,0 | 3,6 |
| Beechcraft A36 | 1A | 670 | 10,2 | 2,9 |
| Beechcraft 76 | 1A | 430 | 11,6 | 3,3 |
| Beechcraft B55 | 1A | 457 | 11,5 | 2,9 |
| Beechcraft B60 | 1A | 793 | 12,0 | 3,4 |
| Beechcraft B100 | 1A | 579 | 14,0 | 4,3 |
| Britain Norman Islander | 1A | 353 | 14,9 | 4,0 |
| Cessna 152 | 1A | 408 | 10,0 | --- |
| Cessna 172 | 1A | 381 | 10,9 | --- |
| Cessna 180 | 1A | 367 | 10,9 | --- |
| Cessna 185 | 1A | 416 | 10,9 | --- |
| Cessna Stationair 6 | 1A | 543 | 10,9 | --- |
| Turbo 6 | 1A | 500 | 10,9 | --- |
| Cessna Stationair 7 | 1A | 600 | 10,9 | --- |
| Turbo 7 | 1A | 567 | 10,9 | --- |
| Cessna Skylane | 1A | 479 | 10,9 | --- |
| Turbo Skylane | 1A | 479 | 10,9 | --- |
| Cessna 310 | 1A | 518 | 11,3 | --- |
| Turbo 10 | 1A | 507 | 11,3 | --- |
| Cessna Golden Eagle 421C | 1A | 708 | 12,5 | --- |
| Cessna Titan 404 | 1A | 721 | 14,1 | --- |
| Beechcraft E18S | 1B | 753 | 15,0 | 3,9 |
| Beechcraft B80 | 1B | 427 | 15,3 | 4,3 |
| Beechcraft C90 | 1B | 488 | 15,3 | 4,3 |
| Beechcraft 200 | 1B | 579 | 16,6 | 5,6 |
| Otter DHC-3 | 1B | 497 | 17,7 | 3,7 |
| Short SC7-3/SC7-3A | 1B | 616 | 19,8 | 4,6 |
| Twin Otter DH-6 | 1B | 695 | 19,8 | 4,1 |
| Dash 7 DHC-7 | 1C | 689 | 28,4 | 7,8 |
| Lear jet 24F | 2A | 1005 | 10,9 | 2,5 |
| Lear jet 28/29 | 2A | 912 | 13,4 | 2,5 |
| Short SD3-30 | 2B | 1106 | 22,8 | 4,6 |
| Hawker Siddeley HS125-400 | 3A | 1646 | 14,3 | 3,3 |
| HS125-600 | 3A | 1646 | 14,3 | 3,3 |
| HS125-700 | 3A | 1768 | 14,3 | 3,3 |
| Lear Jet 24D | 3A | 1200 | 10,9 | 2,5 |
| Lear Jet 35A/36A | 3A | 1287/1458 | 12,0 | 2,5 |
| Lear Jet 54 | 3A | 1217 | 13,4 | 2,5 |
| Lear Jet 55 | 3A | 1292 | 13,4 | 2,5 |
| Canadair CL600 | 3B | 1310 | 18,8 | 3,6 |
| Fokker F28-1000 | 3B | 1646 | 23,6 | 5,8 |
| F28-2000 | 3B | 1646 | 23,6 | 5,8 |
| Nord 262 | 3B | 1260 | 21,9 | 3,4 |
| Antonov AN-24 | 3C | 1600 | 29,8 | 8,8 |
| Convair 240 | 3C | 1301 | 28,0 | 8,4 |
| Convair 440 | 3C | 1564 | 32,1 | 8,6 |

ANNEXE 1 : Tableaux des Caractéristiques des Avions

| | | | | |
|-------------------------|----|------|------|------|
| Convair 580 | 3C | 1341 | 32,1 | 8,6 |
| Convair 600 | 3C | 1378 | 28,0 | 8,4 |
| Convair 640 | 3C | 1570 | 32,1 | 8,6 |
| DC-3 | 3C | 1204 | 28,8 | 5,8 |
| DC-4 | 3C | 1542 | 35,8 | 8,5 |
| DC-6A/6B | 3C | 1375 | 35,8 | 8,5 |
| DC-9-20 | 3C | 1551 | 28,5 | 6,0 |
| Fokker F27-500 | 3C | 1670 | 29,0 | 7,9 |
| F27-600 | 3C | 1670 | 29,0 | 7,9 |
| Fokker F28-3000 | 3C | 1640 | 25,1 | 5,8 |
| F28-4000 | 3C | 1640 | 25,1 | 5,8 |
| F28-6000 | 3C | 1400 | 25,1 | 5,8 |
| Buffalo DHC-5D | 3D | 1471 | 29,3 | 10,2 |
| Airbus A300 B2 | 3D | 1676 | 44,8 | 10,9 |
| BAC 1-11-200 | 4C | 1884 | 27,0 | 5,2 |
| BAC 1-11-300 | 4C | 2484 | 27,0 | 5,2 |
| BAC 1-11-400 | 4C | 2420 | 27,0 | 5,2 |
| BAC 1-11-475 | 4C | 2286 | 28,5 | 5,4 |
| BAC 1-11-500 | 4C | 2408 | 28,5 | 5,2 |
| Boeing 727-100 | 4C | 2502 | 32,9 | 6,9 |
| Boeing 727-200 | 4C | 3176 | 32,9 | 6,9 |
| Boeing 737-100 | 4C | 2499 | 28,4 | 6,4 |
| Boeing 737-200 | 4C | 2295 | 28,4 | 6,4 |
| Boeing 737-Advanced-200 | 4C | 2707 | 28,4 | 6,4 |
| Caravelle 12 | 4C | 2600 | 34,3 | 5,9 |
| Concorde | 4C | 3400 | 25,5 | 8,8 |
| DC-9-10 | 4C | 1975 | 27,2 | 5,9 |
| DC-9-30 | 4C | 2134 | 28,5 | 6,0 |
| DC-9-40 | 4C | 2091 | 28,5 | 5,9 |
| DC-9-50 | 4C | 2451 | 28,5 | 5,9 |
| DC-9-80 | 4C | 2195 | 32,9 | 6,2 |
| Trident 1E | 4C | 2590 | 29,0 | 7,3 |
| 2E | 4C | 2780 | 29,9 | 7,3 |
| 3 | 4C | 2670 | 29,0 | 7,3 |
| Viscount 800 | 4C | 1859 | 28,6 | 7,9 |
| DC-10-40 | 4D | 3124 | 50,4 | 12,6 |
| Ilyouchine 18V | 4D | 1980 | 37,4 | 9,9 |
| Ilyouchine 62M | 4D | 3280 | 43,2 | 8,0 |
| Lockheed L-100-20 | 4D | 1829 | 40,8 | 4,9 |
| L-100-30 | 4D | 1829 | 40,4 | 4,9 |
| Lockheed L-188 | 4D | 2066 | 30,2 | 10,5 |
| Lockheed L-1011-1 | 4D | 2426 | 47,3 | 12,8 |
| L-1011-200 | 4D | 2469 | 47,3 | 12,8 |
| L-1011-500 | 4D | 2844 | 47,3 | 12,8 |
| TU-134A | 4D | 2400 | 29,0 | 10,3 |
| TU-154 | 4D | 2160 | 37,6 | 12,4 |
| Boeing 747-100 | 4E | 3060 | 59,6 | 12,4 |
| Boeing 747-200 | 4E | 3150 | 59,6 | 12,4 |
| Boeing 747-SR | 4E | 1860 | 59,6 | 12,4 |
| Boeing 747-SP | 4E | 2710 | 59,6 | 12,4 |

ACN DE QUELQUES PRINCIPAUX AVIONS COMMERCIAUX
(Source : ITAC. France)

| Avion | Masses en % | | Pression (MPa) | ACN | | | | | | | |
|---------------------------|----------------|--------------------|----------------|-------------------|----|----|----|-------------------|----|----|----|
| | Maxi. Mini. | Sur Att. Princ. | | Chaussées Rigides | | | | Chaussées Souples | | | |
| | | | | A | B | C | D | A | B | C | D |
| Boeing 707-320B | 148778 | 46,0 | 1,24 | 39 | 46 | 55 | 63 | 42 | 47 | 57 | 73 |
| | 64764 | | | 14 | 15 | 18 | 20 | 15 | 16 | 17 | 23 |
| Boeing 727-200 (Standard) | 78471 | 46,4 | 1,15 | 46 | 48 | 51 | 53 | 41 | 43 | 49 | 54 |
| | 44293 | | | 23 | 25 | 26 | 27 | 21 | 22 | 24 | 28 |
| Boeing 737-100 | 45722 | 46,3 | 1,02 | 24 | 26 | 28 | 29 | 22 | 23 | 26 | 30 |
| | 25942 | | | 12 | 13 | 14 | 15 | 12 | 12 | 13 | 15 |
| Boeing 747-100 | 334751 | 23,125 | 1,55 | 44 | 51 | 60 | 69 | 46 | 50 | 60 | 81 |
| | 162703 | | | 18 | 20 | 23 | 26 | 19 | 20 | 22 | 28 |
| Caravelle | 55960 | 46,0 | 0.88 | 16 | 19 | 22 | 25 | 17 | 19 | 21 | 26 |
| | 31800 | | | 8 | 9 | 10 | 12 | 8 | 9 | 10 | 12 |
| Concorde | 185066 | 48,0 | 1,26 | 61 | 71 | 82 | 91 | 65 | 72 | 81 | 98 |
| | 78698 | | | 21 | 22 | 25 | 29 | 21 | 22 | 26 | 32 |
| DC-8-63 | 162386 | 47,6 | 1,34 | 50 | 60 | 69 | 78 | 52 | 59 | 71 | 87 |
| | 72002 | | | 17 | 19 | 23 | 26 | 18 | 19 | 22 | 29 |
| DC-9-41 | 52163 | 46,65 | 1,10 | 32 | 34 | 35 | 37 | 28 | 30 | 33 | 37 |
| | 27821 | | | 15 | 16 | 17 | 18 | 13 | 14 | 15 | 18 |
| DC-10-40 | 253105 | 37,7 | 1,17 | 44 | 53 | 64 | 75 | 53 | 59 | 70 | 97 |
| | 122570 | | | 20 | 21 | 24 | 28 | 22 | 23 | 26 | 32 |
| IL-62 | 161570 | 45,5 | 1,65 | 47 | 54 | 62 | 70 | 48 | 52 | 61 | 76 |
| | 66400 | | | 17 | 17 | 19 | 21 | 16 | 16 | 18 | 23 |
| L-1011 | 195952 | 47,4 | 1,33 | 45 | 52 | 62 | 73 | 52 | 56 | 66 | 91 |
| | 108862 | | | 24 | 25 | 28 | 33 | 25 | 27 | 29 | 38 |
| Mercure | 54080 | 46,5 | 0,87 | 30 | 32 | 34 | 36 | 27 | 29 | 34 | 37 |
| | 31080 | | | 15 | 16 | 18 | 19 | 14 | 15 | 17 | 20 |

ANNEXE II

LES ABAQUES DE DIMENSIONNEMENT

1. ABAQUES GENERAUX

- **Abaque 1.** – Chaussées souples : calcul de l'épaisseur équivalente de matériaux traités en fonction de l'épaisseur équivalente totale et du CBR du sol support.
- **Abaque 2.** – Chaussées Rigides : module de réaction de la fondation. Correction du module de réaction du sol support en fonction de l'épaisseur équivalente de la fondation.
- **Abaque 3.** – Correction de la charge réelle pondérée en fonction de l'intensité moyenne du trafic.
- **Abaque 4.** – Pondération des mouvements réels. Trafic équivalent.

2. ABAQUES DE CALCUL DES CHAUSSEES SOUPLES (ATTERRISSEURS - TYPES)

- **Abaque S1.** – Atterrisseur - type roue simple
- **Abaque S2.** - Atterrisseur - type à jumelage
- **Abaque S2.** - Atterrisseur - type à boggie

3. ABAQUES DE CALCUL DES CHAUSSEES RIGIDES (ATTERRISSEURS TYPES)

- **Abaque R1 à R3.** – Atterrisseur - type roue simple
- **Abaque R4 à R6.** - Atterrisseur - type à jumelage
- **Abaque R7 à R10.** - Atterrisseur - type à boggie