



Ministère de l'Enseignement Supérieur & de la Recherche Scientifique



Université Ibn Khaldoun - Tiaret

Faculté des sciences appliquées

Département de Génie Civil

Polycopié de:

Aérodromes



Destiné aux étudiants de 2^{ème} année Master V.O.A.

Elaboré par: Abdelkader SAOULA

- Janvier 2023-

TABLE DES MATIERES

Chapitre 1 : Généralités.

I.1 Définitions	01
I. 2 Les éléments d'un aérodrome	01
I.2.1 Aire de mouvement	01
I.2.2 Les installations terminales	03
I. 3 Quelques définitions	04
I.4 Classification des aérodromes	05
I.4.1 Matériel aérien	05
I.4.1.1 Influence du matériel aérien sur l'aérodrome	05
I.4.1.2 Caractéristiques générales des avions	06
I.4.2 Classification du code de l'aviation civile	09
I.4.3 Classification base sur le code de référence	09

Chapitre 2 : Les chaussées Aéronautiques.

II.1 Introduction	11
II.2 Spécifications des chaussées aéronautiques	11
II.3 Structure des chaussées aéronautiques	11
II.4 Les types de chaussées aéronautiques	12
II.5 Le choix de type de chaussées	13
II.6 Le choix d'une constitution de chaussée	14
II.7 Notion de L'épaisseur équivalente	14
II.8 Le dimensionnement des chaussées	15
II.8.1 Considération relatives au trafic	15
II.8.2 Le sol support	16
II.8.3 la charge de calcul	16

II.8.4 Le type de dimensionnement	17
II.8.5 Le dimensionnement des chaussées souples par la méthode forfaitaire	18
II.8.6 Le dimensionnement des chaussées rigides par la méthode forfaitaire	22
II.8.7 le dimensionnement des chaussées souples par la méthode optimisée	25
II.8.8 le dimensionnement des chaussées rigides par la méthode optimisée	28
II.8.9 Applications.....	29
II.9 Construction des chaussées aéronautiques	47
II.9.1 Exécution des terrassements	47
II.9.2 Assainissement pluvial et drainage de la plate-forme	48
II.9.3 Construction des chaussées souples	55
II.9.4 Construction des chaussées rigides	55

Chapitre 3 : Évaluation de la portance résiduelle.

III.1 Introduction.....	57
III.2 Méthode inverse de dimensionnement	57
III.2.1 Cas d'une chaussée souple	58
III.2.2 Cas d'une chaussée rigide	60
III.3 Exploitation de l'ensemble des essais de plaque	62
III.3.1 Caractérisation des chaussées souples	63
III.3.1 Caractérisation des chaussées rigides	63

Chapitre 4 : Gestion et suivi des chaussées aéronautiques.

IV.1 Introduction.....	65
IV.2 La méthode A.C.N. - P.C.N	65
IV.2.1 Présentation de la méthode A.C.N. - P.C.N	65
IV.2.2 Détermination des A.C.N	66
IV.2.2.1 Détermination théorique	66

IV.2.2.2 Détermination pratique	66
IV.2.3 Détermination des P.C.N	68
IV.2.3.1 Principe et codification.....	69
IV.2.3.2 Détermination du P.C.N. par calcul	70
IV.2.4 Application pratique de la méthode.....	72
IV.2.4.1 Admissibilité d'un avion	72
IV.2.4.2 Cas de dépassement du P.C.N	73
IV.2.5 Applications	76
IV.3 Entretien & réparation des chaussées aéronautiques	79
IV.3.1 Entretien général des chaussées aéronautiques	79
IV.3.1.1 Entretien des chaussées souples	80
IV.3.1.2 Entretien des chaussées rigides	80
IV.3.2 Réfection des chaussées aéronautiques	81
IV.3.2.1 Réfection des chaussées souples	81
IV.3.2.2 Réfection des chaussées rigides	83
Références Bibliographiques	84

Avant-propos

Ce document qui est un support de cours (polycopié), intitulé «*Aérodromes*», s'adresse aux étudiants de la deuxième année Master « LMD » option voies et ouvrages d'art (V.O.A). Il a été rédigé d'une manière simplifiée où des applications, et qui sont accompagnés de leurs solutions, sont énoncés pour que l'étudiant puisse assimiler le contenu du cours.

Ce polycopié de cours se décompose en quatre chapitres, dans le premier chapitre, des généralités sur les aérodromes, les différentes parties d'une infrastructure aéroportuaire ainsi que la classification des aérodromes et des aéronefs seront exposés.

Le 2^{ème} chapitre sera consacrée au dimensionnement des chaussées souples et rigides, en utilisant les principales méthodes à savoir: méthode forfaitaire et la méthode optimisée. La construction des chaussées aéronautiques, travaux préparatoires, assainissement et drainage de la plateforme font aussi l'objet de cette deuxième partie.

L'évaluation de la portance résiduelle des chaussées aéronautiques sera étendu dans le chapitre trois. La méthode inverse de dimensionnement (essai de plaque) sera exposée pour les deux types de chaussées souples et rigides.

Finalement, la gestion et le suivi des chaussées aéronautiques font l'objet du chapitre quatre. La méthode ACN /PCN et critères d'admissibilité d'un avion, la réfection et l'entretien des chaussées aéronautiques seront aussi développés .

A.SAOULA

Janvier 2023

Chapitre I : Généralités.

I.1 Définitions :

I.1.1 Aérodrome :

Un Aérodrome est une surface définie sur terre ou sur l'eau, destinée à être utilisée en totalité ou en partie, pour les évolutions des aéronefs (atterrissage, décollage, roulage) avec les installations et équipements – nécessaires

I.1.2 Aérogare :

L'Aérogare est un ensemble de bâtiments d'un Aéroport réservé aux voyageurs et à la circulation des marchandises.

I.1.3 Aéroport :

L'Aéroport est défini comme l'ensemble des infrastructures (bâtiments, aires de mouvement) destiné à l'usage des trafics aériens.

<i>AEROPORT = AERODROME + AEROGARE</i>

I. 2 Les éléments d'un aérodrome:

Un Aérodrome est principalement constitué par trois éléments essentiels :

- L'aire de mouvement ;
- Les installations- terminales ;
- Les servitudes Aéronautiques.

I.2.1 Aire de mouvement

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

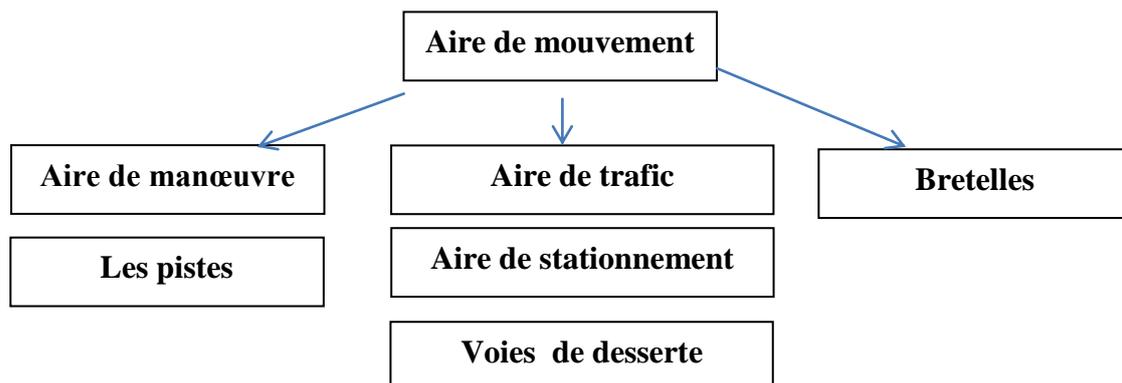
a) Aire de manœuvre C'est une partie d'un aérodrome nécessaire aux décollages et aux atterrissages des aéronefs dans une surface plane.

b) Aire de trafic : La partie d'un aérodrome, qui est destinée à l'embarquement et au débarquement des voyageurs, au chargement et au déchargement du fret, au ravitaillement en carburant, à l'entretien courant et technique et au stationnement des aéronefs ainsi qu'aux manœuvres des aéronefs et des véhicules et au déplacement des piétons nécessaires à ces fins.

c) Bretelle : Une bretelle est une voie aéronautique qui est destinée à servir les aéronefs pour le passage de l'aire de manœuvre vers l'aire de trafic en cas d'atterrissage et de l'aire de stationnement vers la piste d'envol pour le cas de décollage. En général, la largeur de celle-ci est inférieure à celle de la piste principale. On distingue :

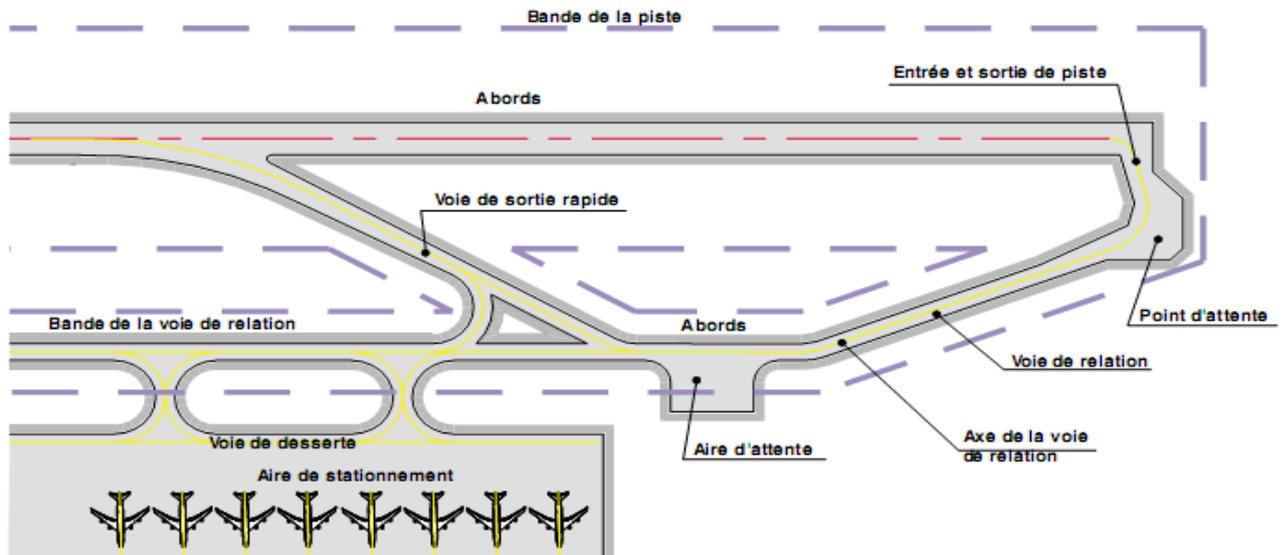
1) Voie de circulation d'aire de trafic. Partie d'un réseau de voies de circulation qui est située sur une aire de trafic et destinée à matérialiser un parcours permettant de traverser cette aire.

2) Voie de sortie rapide. Voie de circulation raccordée à une piste suivant un angle aigu et conçue de façon à permettre à un avion qui atterrit de dégager la piste à une vitesse plus élevée que celle permise par les autres voies de sortie, ce qui permet de réduire au minimum la durée d'occupation de la piste.



- A. **Piste.** Aire rectangulaire définie, sur un aérodrome terrestre, aménagée afin de servir au décollage et à l'atterrissage des aéronefs.
- B. **Poste de stationnement d'aéronef.** Emplacement désigné sur une aire de trafic, destiné à être utilisé pour le stationnement d'un aéronef.

- C. **Voie d'accès de poste de stationnement d'aéronef (desserte).** Partie d'une aire de trafic désignée comme voie de circulation et destinée seulement à permettre l'accès à un poste de stationnement d'aéronef.
- D. **Aire d'attente :** partie d'aérodrome utilisé par aéronef pour permettre à l'autre de faire sa manœuvre convenablement



I.2.2 Les installations terminales

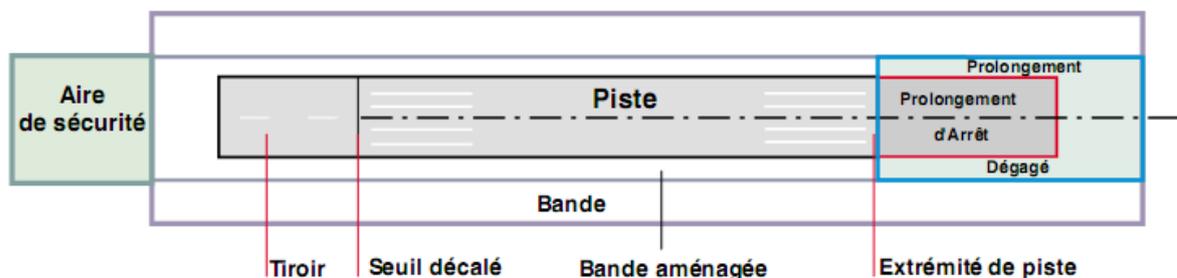
Les zones d'installations sont les parties de l'aérodrome destinées à l'implantation des ouvrages. Rien n'impose qu'elles soient situées sur l'aire de mouvement. Généralement, il existe deux sortes de nature des installations :

1. Installation technique où on trouve :
 - Bloc technique ;
 - Tour de contrôle ;
 - Sécurité incendie ;
 - Assistance météorologique
2. Installation commerciale ; là où sont installés :
 - Aérogare passagère ;
 - Fret Hangars ;
 - Bureau de compagnie ;
 - Service de la police des douanes ;
 - Bureau pour les gestionnaires.

I. 3 Quelques définitions:

- **Accotement.** Bande de terrain bordant une chaussée et traitée de façon à offrir une surface de raccordement entre cette chaussée et le terrain environnant.
- **Aéronef.** Tout appareil qui peut se soutenir dans l'atmosphère grâce aux réactions de l'air (avion).
- **Avion.** Aérodyne entraîné par un organe moteur et dont la sustentation en vol est assurée par des réactions aérodynamiques ;
- **Avion critique.** L'avion ou les avions identifiés parmi ceux que l'aérodrome est prévu recevoir et ayant les exigences d'exploitation les plus sévères en ce qui concerne la détermination des dimensions de l'aire de mouvement, la force portante de la chaussée et les autres caractéristiques physiques de construction des aérodromes ;
- **Aire de sécurité d'extrémité de piste (RESA).** Aire symétrique par rapport au prolongement de l'axe de la piste et adjacente à l'extrémité de la bande, qui est destinée principalement à réduire les risques de dommages matériels au cas où un avion atterrirait trop court ;
- **Altitude.** Distance verticale entre un niveau, un point ou un objet assimilé à un point et le niveau moyen de la mer.
- **Altitude d'un aérodrome.** Altitude du point le plus élevé de l'aire d'atterrissage.
- **Balise.** Objet disposé au-dessus du niveau du sol pour indiquer un obstacle ou une limite.
- **Bande de piste.** Aire définie dans laquelle est comprise la piste ainsi que le prolongement d'arrêt, si un tel prolongement est aménagé, et qui est destinée :
 - a) à réduire les risques de dommages matériels au cas où un aéronef sortirait de la piste;
 - b) à assurer la protection des aéronefs qui survolent cette aire au cours des opérations de décollage ou d'atterrissage
- **Bande de voie de circulation.** Aire dans laquelle est comprise une voie de circulation, destinée à protéger les aéronefs qui circulent sur cette voie et à réduire les risques de dommages matériels causés à un aéronef qui en sortirait accidentellement. telle façon qu'à une certaine distance, il donne l'impression d'une courte barre lumineuse.

- **Obstacle.** Tout ou partie d'un objet fixe (temporaire ou permanent) ou mobile qui est situé sur une aire destinée à la circulation des aéronefs à la surface ou qui fait saillie au-dessus d'une surface définie destinée à protéger les aéronefs en vol.
- **Prolongement d'arrêt.** Aire rectangulaire définie au sol à l'extrémité de la distance de roulement utilisable au décollage, aménagée de telle sorte qu'elle constitue une surface convenable sur laquelle un aéronef puisse s'arrêter lorsque le décollage est interrompu.
- **Prolongement dégagé.** Aire rectangulaire définie, au sol ou sur l'eau, placée sous le contrôle de l'autorité compétente et choisie ou aménagée de manière à constituer une aire convenable au-dessus de laquelle un avion peut exécuter une partie de la montée initiale jusqu'à une hauteur spécifiée.
- **Seuil.** Début de la partie de la piste utilisable pour l'atterrissage.
- **Seuil décalé.** Seuil qui n'est pas situé à l'extrémité de la piste. Les seuils décalés sont utilisés lorsqu'un obstacle dans la zone d'approche finale fait saillie dans les surfaces spécifiques de franchissement d'obstacles.
- **Voie de service.** Route de service aménagée sur l'aire de mouvement et destinée à l'usage exclusif des véhicules.



I.4 Classification des aérodromes:

I.4.1 Matériel aérien :

I.4.1.1 Influence du matériel aérien sur l'aérodrome:

La conception générale de l'aérodrome et en particulier l'aire de mouvement et les différentes annexes est en fonction de :

- Caractéristiques des avions devront fréquenter l'aérodrome en particulier les dimensions et les masses ;

- Le poids et les caractéristiques des trains d'atterrissage et de son pneumatique (la structure et l'épaisseur de la chaussée)
- Les performances des avions précisent leurs distances de décollage et d'atterrissage (la longueur de piste)
- Les dimensions des avions (dimensions de différentes aires)

I.4.1.2 Caractéristiques générales des avions:

a)- **La masse** : les différentes masses spécifiques à l'avion sont :

- **Masse maximum au roulage** : c'est la masse maximale pour l'évolution de l'avion au sol (pendant la manœuvre sur les aires de stationnement)
- **Masse maximum au décollage** : c'est la masse maximale acceptable au décollage.
- **Masse maximum à l'atterrissage** : c'est la masse maximale acceptable à l'atterrissage.
- **Masse à vide opérationnelle** : c'est la masse de l'avion à vide.

a)- **Les atterrisseurs**: sont constitués par l'ensemble des roues montées sur une même jambe, l'ensemble des atterrisseurs constitue le train d'atterrissage. Le train d'atterrissage se compose de :

- le train d'atterrissage principal (le train principal)
- le train d'atterrissage secondaire (le train secondaire)

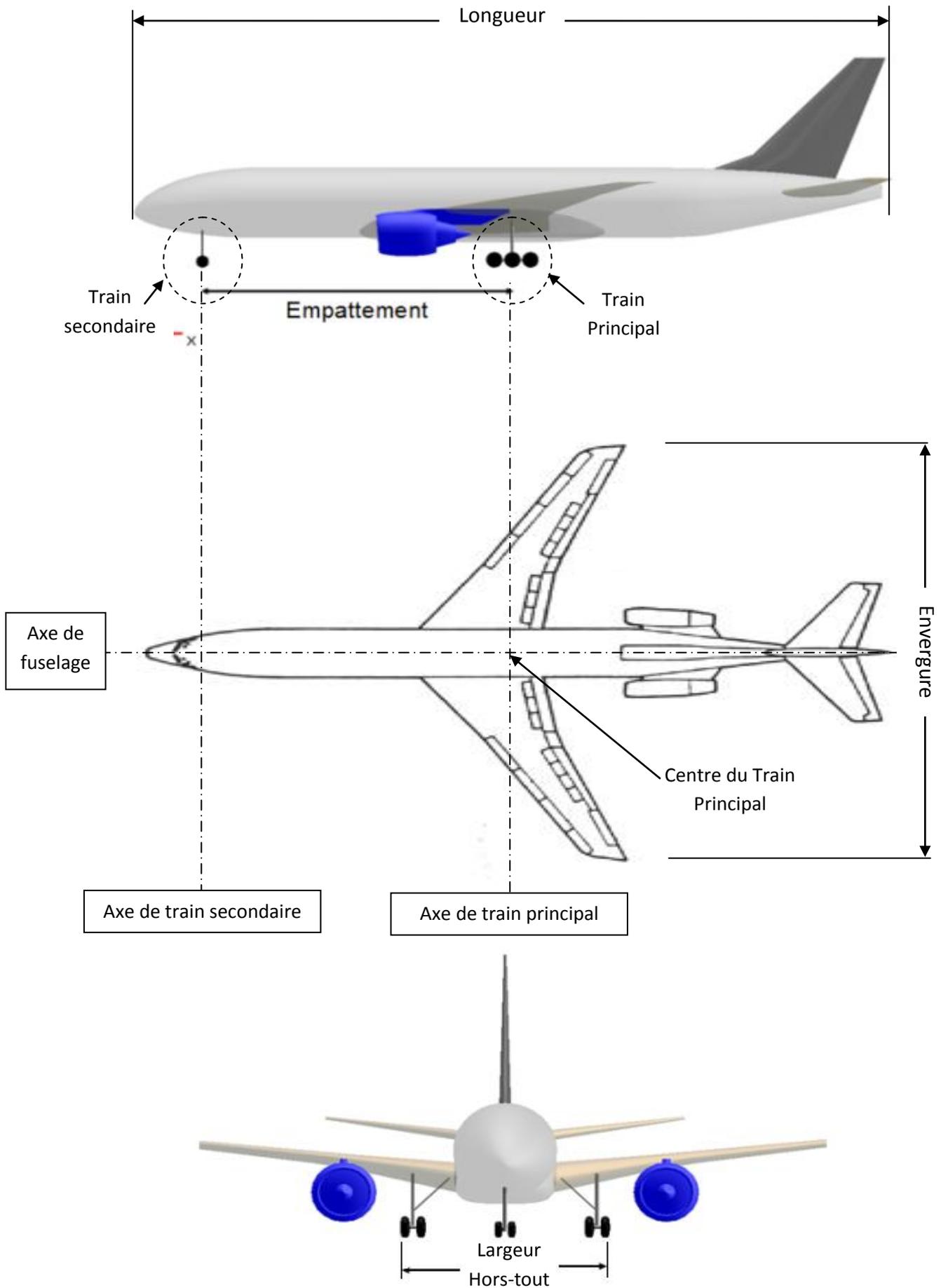
-**Type d'atterrisseurs** :

Type	Forme géométrique	Masses supportées	Pression de gonflage de pneumatiques (MPa)	V (cm)	E (cm)
Roue simple	▮	Jusqu'à 5t	de 0,30 à 0,60	-	-
Jumelage	▮ ▮	de 5 à 40t	de 0,60 à 1,20	50 à 90	-
Tandem	▮ ▮	de 10 à 20t	de 0,40 à 0,80	-	130 à 170
Boggie	▮ ▮ ▮ ▮	de 20 à 90t	de 1,00 à 1,60	40 à 140	100 à 180

Les atterrisseurs type Jumelage et Boggie sont caractérisés par un espacement longitudinale (Empattement E) et transversal (Voie V) entre les roues.

-Atterrisseur Type: Compte tenu la variété des atterrisseurs, il est utile d'introduire un atterrisseur type dont ses caractéristiques sont :

Atterrisseur Type	Forme géométrique	Pression de gonflage de pneumatiques	V	E
Roue simple		0,60 MPa	-	-
Jumelage		0,90 MPa	70 cm	-
Boggie		1,20 MPa	75 cm	140 cm



I.4.2 Classification du code de l'aviation civile :

D'après l'article R. 222-5 (adopté par l'OACI: Organisation de l'Aviation Civile internationale), les aérodromes sont classés en cinq catégories:

Catégorie A.- Aérodromes destinés aux services à grande distance (plus de 3000km) assurés normalement en toutes circonstances.

Catégorie B.- Aérodromes destinés aux services à moyenne distance (entre 1000km et 3000km) assurés normalement en toutes circonstances

Catégorie C.- Aérodromes destinés :

1- aux services à courte distance (moins de1000km),

2- au grand tourisme.

Catégorie D. - Aérodromes destinés à la formation aéronautique, aux sports aériens et au tourisme et à certains services à courte distance.

Catégorie E. - Aérodromes destinés aux giravions et aux aéronefs à décollage vertical ou oblique.

I.4.3 Classification base sur le code de référence:

Pour la conception d'un aérodrome, ce dernier doit être classé suivant un code de référence qui est en fonction des caractéristiques des avions auxquels cet aérodrome est destiné. Les caractéristiques géométriques des aérodromes sont en fonction des de l'avion le plus exigeant y faisant escale (avion critique).

L'Annexe 14 à la Convention relative à l'Aviation Civile Internationale définit à cette fin un **code de référence** d'aérodrome à caractéristiques normales comportant deux éléments liés aux caractéristiques de performances et aux dimensions des avions appelés à utiliser cet aérodrome.

Le premier de ces deux éléments est un **chiffre** fondé sur la **distance de référence de l'avion** définie par l'Annexe 14 comme étant la longueur minimale nécessaire pour son décollage dans les **conditions** correspondant à l'atmosphère **standard** , en air calme et avec une pente de piste nulle.

Le second élément du code de référence est une **lettre** fondée sur les valeurs maximales des envergures et des largeurs hors-tout des trains principaux des avions auxquels l'installation est destinée.

Le tableau ci-après donne les éléments constituant le code de référence d'un aéroport en fonction des caractéristiques de performances et des dimensions des avions auxquels l'installation est destinée.

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

(a) Distance entre les bords extérieurs des roues du train principal

Exemple :

- Avion Boeing B727-200 :
 - Distance de référence = 2804m
 - Envergure = 32.90m
 - Largeur Hors-Tout = 5.72m

D'après le tableau:

- Distance de référence = 2804m..... donne la **chiffre 4**.
- Envergure = 32.90m..... donne la **lettre C**.
- Largeur Hors-Tout = 5.72m..... donne la **lettre B**.

On prend: **C**.

Donc le code référence est: **4C**.

Chapitre 2 : Les chaussées aéronautiques.

II.1 Introduction :

L'aménagement de l'aire de mouvement d'un aéroport implique la construction des chaussées spécialement conçues pour pouvoir répondre aux techniques nécessaires à l'évolution des avions.

La chaussée de l'aéroport (piste, aire de stationnement, voies de relation...) est constituée par un ensemble de couches de différents matériaux de bas en haut

II.2 Spécifications des chaussées aéronautiques :

Les chaussées aéronautiques doivent satisfaire les conditions suivantes :

- Le chargement très élevé dû à la masse des avions
- Les profils en long et travers (mode d'évolution des avions au sol)
- La variation du trafic et de sa dispersion (pondération des charges)
- Une résistance aux souffles dégagés par les réacteurs

II.3 Structure des chaussées aéronautiques :

Les chaussées aéronautiques sont constituées généralement de trois couches :

- 1. Couche de roulement :** assure un rôle structural et fonctionnel (étanchéité, uni...)
- 2. Couche de base :** assure un rôle structural en diffusant et diminuant les contraintes sur la couche de fondation
- 3. Couche de fondation :** assure un rôle structural et participe à la répartition des contraintes sur le sol d'assise

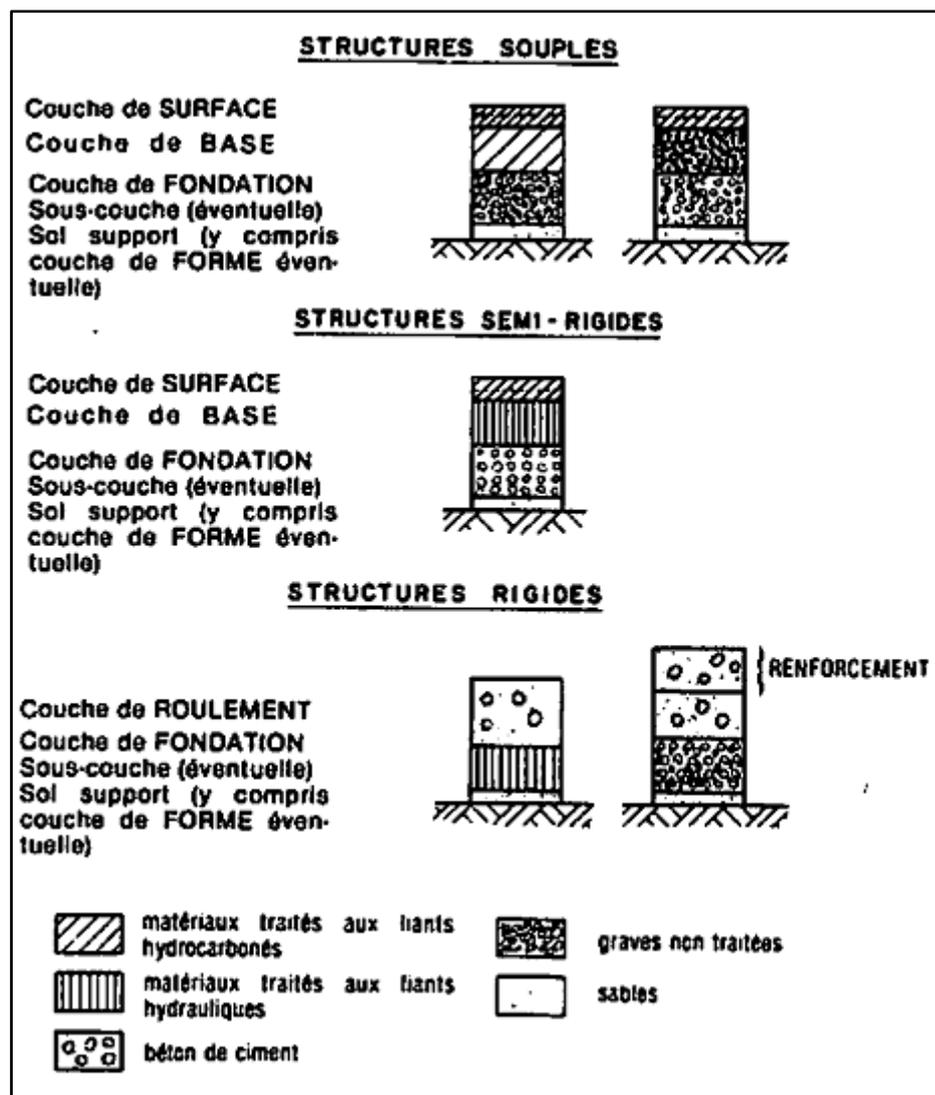
Dans certains cas on peut trouver :

- 4. Sous Couche :** pour éviter les remontées des eaux et empêcher la contamination des couches supérieures (anti-contaminante)
- 5. Couche de forme :** rôle est de régler la circulation du chantier et assure la protection du sol d'assise pendant les travaux de terrassement

II.4 Les types de chaussées aéronautiques:

On peut distinguer trois types de chaussée (en fonction de leurs structures, le mode de fonctionnement correspondant à la fois aux matériaux alors employés et aux outils de calcul alors disponibles) :

- 1- **des chaussées rigides** qui répartissent les charges appliquées sur une surface très étendue du sol support au moyen d'une dalle de béton fléchissant élastiquement
- 2- **des chaussées souples** qui superposent au sol support plusieurs couches de matériaux offrant de meilleures qualités mécaniques sans pour autant être supposées davantage capables de travailler à la traction.
- 3- **des chaussées semi-rigides** : C'est une chaussée dont la couche de roulement est constituée de matériaux traités aux liants hydrocarbonés et une couche de base constituée de matériaux traités aux liants hydrauliques ; elles sont rarement utilisées



II.5 Le choix de type de chaussées:

Le choix de type de chaussées dépend essentiellement de :

- Conditions climatiques ;
- Conditions locales d'approvisionnement en matériaux;
- Sol support ;
- Coût de construction ;
- Trafic des avions au sol ;

	chaussées souples	Chaussées rigides
avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Réparation et renforcement très facile - Absence de joint 	<ul style="list-style-type: none"> - Grande dureté - Bonne répartition des charges sur le sol - Imperméables - Exigent moins de matériaux - Peu d'entretien - Bonne résistance aux carburants et aux souffles des réacteurs
inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Entretien plus onéreux - Mauvaise résistance aux carburants et aux souffles des réacteurs - Fondation très importante 	<ul style="list-style-type: none"> - Risque de fissuration - Présence de joint donc de points faibles - Entretien courant des joints onéreux - Réparation et renforcement difficile

II.6 Le choix d'une constitution de chaussée:

a- les chaussées souples :

Couche	composition	constitution	abréviation	Epaisseur minimale (cm)
Couche de roulement	matériaux traités aux liants hydrocarbonés	Béton Bitumineux	BB	5
Couche de base	matériaux traités aux liants hydrocarbonés	Grave Bitume	GB	10
Couche de fondation	matériaux non traités	Grave Non Traités	GNT	20

b- les chaussées rigides :

Couche	composition	Epaisseur minimale (cm)
Couche de roulement + couche de base	Dalle en béton armé	15
Couche de fondation	Grave traité aux liants hydrauliques	20

II.7 Notion de L'épaisseur équivalente :

L'épaisseur équivalente est définie comme étant l'épaisseur réelle constituée par un matériau de référence qui est la grave non traitée concassée et graduée et qui a un module d'élasticité égal à 500 Mpa. Cette épaisseur est déterminée par la méthode CBR.

L'épaisseur équivalente de la chaussée est-elle égale à la somme des épaisseurs équivalentes de ses différentes couches.

L'épaisseur équivalente d'une couche de chaussée soit égale au produit de l'épaisseur réelle, qui lui est attribuée, par un **coefficient d'équivalence**

Les valeurs des coefficients d'équivalence des principaux types de matériaux pouvant entrer dans la constitution d'un corps de chaussée souple à usage aéronautique sont les suivantes :

Matériaux	Coefficient d'équivalence
Béton bitumineux à module élevé	2.5
Béton bitumineux standard	2
Grave bitume standard	1.5
Grave traitée aux liants hydrauliques (ciment...)	1.5
Grave concassée non traitée bien graduée	1.0
Grave roulée	0.75
Sable	0.5
Sable traité aux liants hydrauliques (ciment...)	1.0

II.8 Le dimensionnement des chaussées :

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

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

II.8.1 Considération relatives au trafic :

Pour pouvoir donner toute la signification à ce terme, 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 lors d'une manœuvre de décollage ou d'atterrissage ;
- Le trafic normal est le trafic constitué par dix (10) mouvements par jour de l'avion produisant la charge de calcul pour une durée de dix (10) 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 ;

II.8.2 Le sol support :

Pour le dimensionnement des chaussées aéronautiques, il est indispensable d'effectuer une étude complète afin de connaître les paramètres suivants :

- **C.B.R.** : La portance du sol support peut être quantifiée par son **indice (C.B.R.)**, cet indice est déterminé au laboratoire après des essais
- **Le module de réaction Ko** : cet indice est évalué à l'aide de l'essai de plaque in situ

II.8.3 la charge de calcul:

a- La masse des avions :

Pour le dimensionnement des chaussées, on distingue :

- La masse maximum au décollage;
- La masse maximum au roulage,

La plus grande entre ces deux masses qu'on doit prendre en considération pour le calcul des chaussées.

b- La répartition de la masse sur les atterrisseurs :

De manière générale c'est l'atterrisseur principale qui fournit les sollicitations les plus élevées, on admet que la répartition est de :

-10% sur l'atterrisseur avant (secondaire) ;

- 90 à 95% sur les atterrisseurs principaux ;

La charge réelle de calcul P qui est égale au produit de la masse de l'avion par le pourcentage correspondant à chaque atterrisseur:

P=M x V avec :

M : la masse de l'avion

V(%): pourcentage de la masse supportée par les atterrisseurs

c- pondération des charges :

Une distinction par zones de l'aire de mouvement peut encore être faite, qui s'attache au déplacement de l'avion sur la chaussée.

Les avions sollicitent les matériaux de chaussée avec des fréquences et des vitesses

différentes suivant les aires. Lorsque l'avion est à l'arrêt (postes de stationnement), la sollicitation est plus forte que lorsqu'il circule à faible vitesse, lorsqu'il se déplace rapidement (piste dans les phases de décollage ou d'atterrissage), la charge étant alors réduite par la sustentation des ailes.

Néanmoins, les charges seront pondérées, dans les zones où les différences de situations ci-dessus peuvent être appliquées, selon les indications rassemblées dans la figure :

$$P' = P \times K_p$$

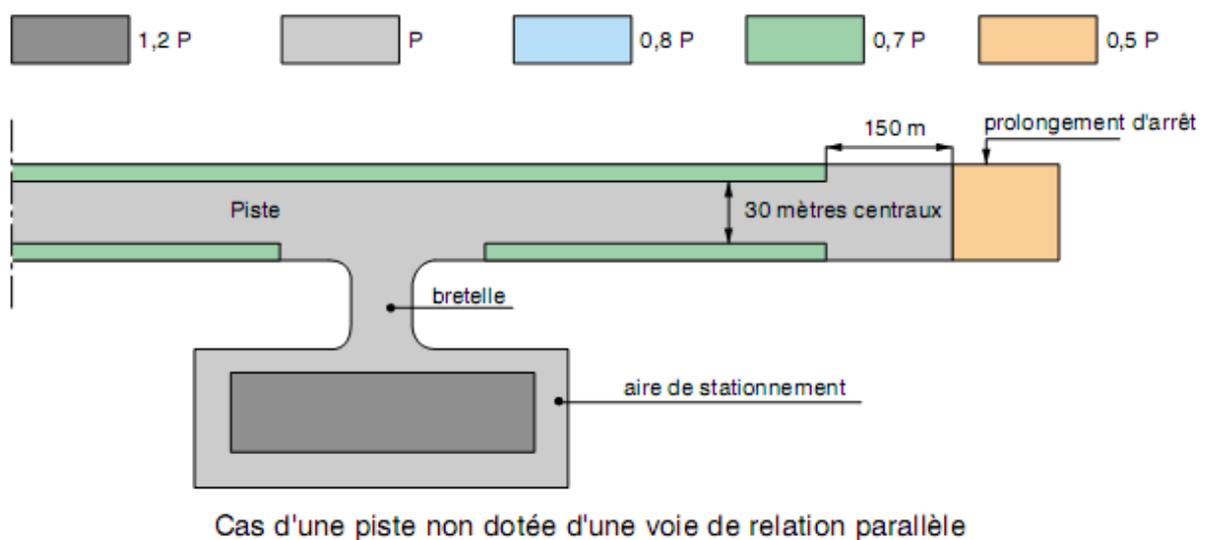
Avec :

P' : la charge réelle pondérée 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

Exemple :



II.8.4 Le type de dimensionnement:

Il existe deux méthodes de dimensionnement :

- **Méthode de dimensionnement forfaitaire:** Cette méthode repose sur les hypothèses suivantes:
 - Un seul type d'avion (l'avion critique) est pris en compte.
 - Le trafic normal est fixé à 10 mouvements par jours
 - Durée de vie de la chaussée est fixé à 10 ans

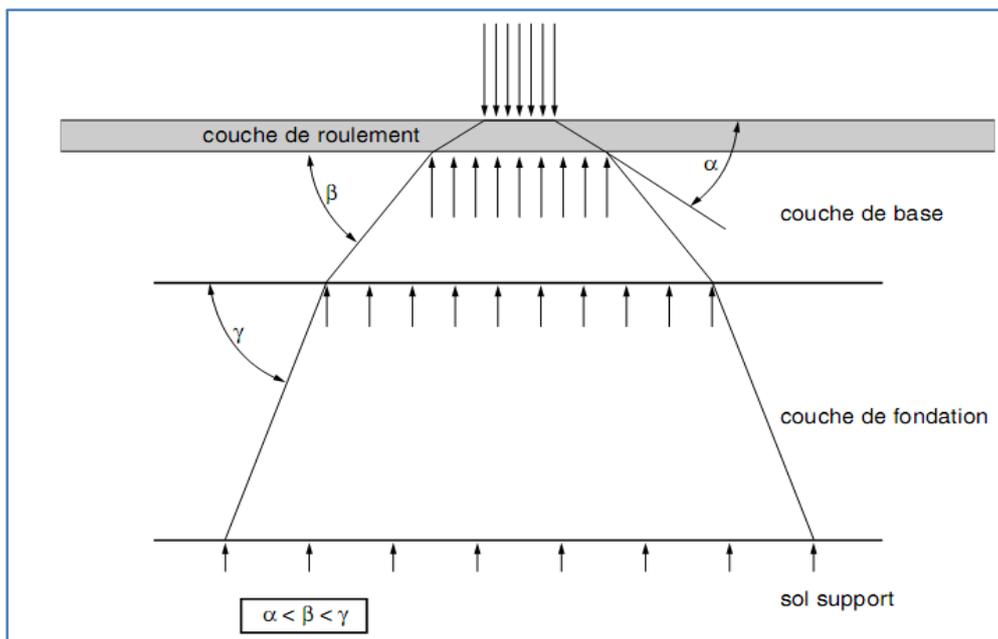
- **Méthode de dimensionnement optimisée :** Cette méthode repose sur les hypothèses suivantes:
 - L'ensemble des avions est pris en compte.
 - Les fréquences et les charges sont données respectivement.
 - Duré de vie donnée.

II.8.5 Le dimensionnement des chaussées souples par la méthode forfaitaire:

Par la méthode forfaitaire, ne prenant en compte que l'avion le plus pénalisant, cette méthode est utilisée pour des études préliminaires, soit en l'absence de données précises, soit pour amorcer un dimensionnement optimisé.

Le dimensionnement d'une chaussée par la seule prise en considération d'une charge pondérée unique P' appliquée par l'atterrisseur le plus contraignant d'un avion de type donné avec le nombre réel de mouvements journaliers n .

Alors que le dimensionnement des chaussées souples s'est, dans le domaine routier, adapté à cette réalité, celui des chaussées aéronautiques s'en remet encore à la méthode C.B.R. pour définir leur épaisseur équivalente et déterminer leur constitution.

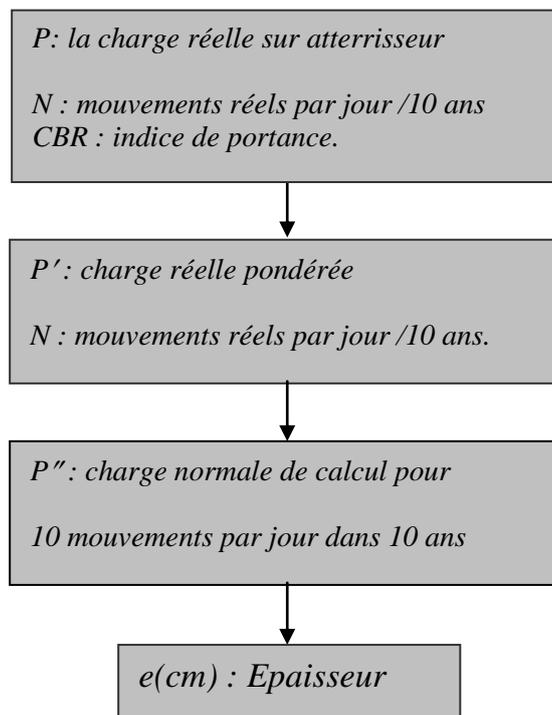


A. les données nécessaires:

- les caractéristiques de l'avion :
 - les différentes masses de l'avion décollage (atterrissage, roulement)
 - atterrisseur type : Roue Simple, Jumelé, Boggie
- pourcentage de la masse supportée par chaque atterrisseur $V(\%)$

- le trafic : mouvement réels par jour pendant 10 ans (n)
- le CBR su sol supporté (CBR)
- les coefficients de pondération pour chaque aire (piste, aires de stationnement voies de relation,...)

La méthode consiste à suivre les étapes suivantes :



B. les étapes de calcul :

- **Etape 1 : détermination des charges de calcul :**

- La charge réelle sur atterrisseur : $P = M \times V$
- La charge réelle pondérée : $P' = P \times K_p$
- Les charge normale de calcul : P''

$$P'' = \frac{P'}{(1,2 - 0,2 \log_{10} n)}$$

Avec : $(CT = 1,2 - 0,2 \times \log_{10} n)$ un Coefficient correcteur

n : est la moyenne du nombre des mouvements quotidiens

▪ **Etape 2 : Détermination de l'épaisseur équivalente : e (cm)**

Pour le calcul de l'épaisseur équivalente, des abaques ont été établis pour les trois types d'atterrisseurs :

- Atterrisseur type à roue simple
- Atterrisseur type à jumelage
- Atterrisseur type à boggie

La formule utilisée pour le calcul des abaques a été établie expérimentalement par le Corps of Engineers américain, elle est la suivante :

$$e = \sqrt{\frac{P'}{10,2q}} \cdot \left[4,231 - 5,013 \lg \frac{CBR}{q} + 2,426 \left(\lg \frac{CBR}{q} \right)^2 - 0,473 \left(\lg \frac{CBR}{q} \right)^3 \right]$$

e : Epaisseur (cm)

P (P'') : charge normale de calcul. (kg)

q : la pression de pneumatique (Mpa)

Pour des calculs manuels la formule simplifiée peut être utilisée lorsque le rapport CBR/q est inférieur ou égal à 20:

$$e = \sqrt{P' \cdot \left(\frac{1}{0,57 \cdot CBR} - \frac{1}{32 \cdot q} \right)}$$

- **Etape 3 : choix de la constitution de la chaussée :** le choix de la constitution de la chaussée se fait sur la base des coefficients d'équivalence qui ont été déjà mentionnés.

Matériaux	Coefficient d'équivalence
Béton bitumineux à module élevé	2.5
Béton bitumineux standard	2
Grave bitume standard	1.5
Grave traitée aux liants hydrauliques (ciment..)	1.5
Grave concassée non traitée bien graduée	1.0
Grave roulée	0.75
Sable	0.5
Sable traité aux liants hydrauliques (ciment..)	1.0

Exemple : Pour une épaisseur équivalente de $e = 60\text{cm}$ on a :

- Une épaisseur = 7,5 cm de béton bitumineux (équi = $7,5 \times 2 = 15\text{cm}$)
- Une épaisseur = 10 cm de la Grave bitume (équi = $10 \times 1,5 = 15\text{cm}$)
- Une épaisseur = 15 cm de la Grave concassée bien graduée (équi = $1 \times 15 = 15\text{cm}$)
- Une épaisseur = 20 cm de la Grave roulée (équi = $0,75 \times 20 = 15\text{cm}$)

II.8.5.1 La prise en compte d'une couche de forme:

Si le matériau utilisé pour la couche de forme est d'une qualité suffisante (Coefficient d'équivalence $> 0,40$), on fait les calculs en assimilant la couche de forme à une sous-couche de chaussée au lieu d'une partie du sol support.

La couche de forme peut être prise en compte de la manière suivante :

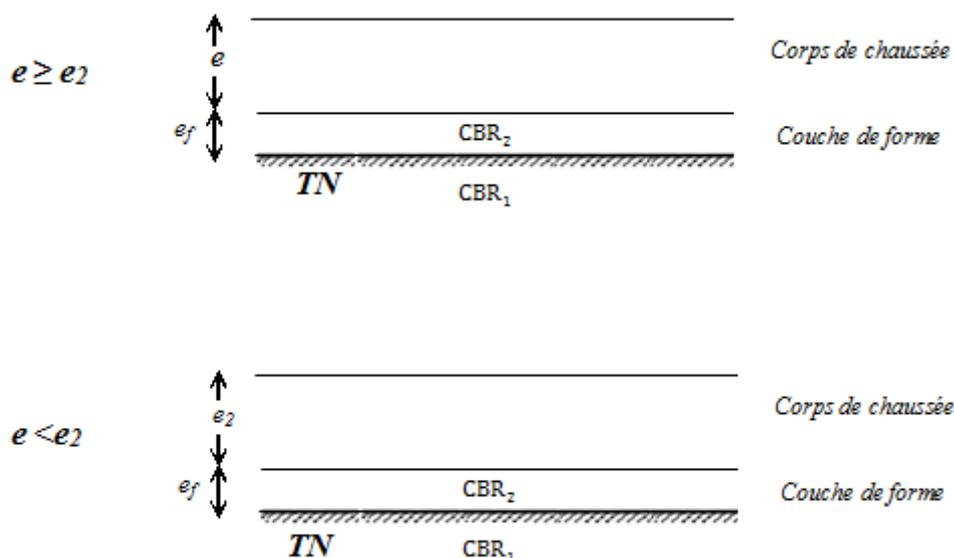
- Si CBR_1 : est l'indice portant du terrain naturel ;
- Si CBR_2 : est l'indice portant de la couche de forme ;
- e_1 : est l'épaisseur calculée correspondant au CBR_1 ;
- e_2 : est l'épaisseur calculée correspondant au CBR_2 ;
- e_f : est l'épaisseur de la Couche de forme ;

Donc, l'épaisseur au-dessus de la couche de forme est calculée par la relation suivante :

$$e = e_1 - e_f \cdot \frac{\text{CBR}_2 - \text{CBR}_1}{\text{CBR}_1 + \text{CBR}_2}$$

A condition que: $e \geq e_2$.

Si: $e < e_2$. Donc $e = e_2$



II.8.6 Le dimensionnement des chaussées rigides par la méthode forfaitaire:

II.8.6.1 La couche de fondation :

a- le rôle de la couche de fondation :

Une **chaussée rigide** est constituée par un ensemble de dalles en béton de ciment reposant sur une fondation, de préférence en béton maigre, ayant une faible incidence dans le calcul mais dont la fonction est :

- d'assurer la continuité de l'appui des dalles au droit des joints,
- de contribuer à la protection contre le gel du sol support,
- de s'opposer à la montée des fines par pompage au droit des joints
- d'offrir une surface stable pour le déroulement des travaux de bétonnage.

Une sous-couche (drainante ou anti-contaminante) peut être souhaitable, dans certains cas, entre le sol support et la fondation.

b- le module de réaction corrigé :

Bien que, comme déjà souligné ci-dessus, la couche de fondation n'ait qu'une faible incidence dans le calcul, son existence, de même que celle de toute autre couche interposée entre le sol support et la dalle de béton, ne peut manquer d'être prise en compte dans le dimensionnement de cette dernière.

Cette prise en compte s'effectue par correction du module de réaction K du sol support à l'aide de l'abaque ci-après faisant intervenir l'épaisseur équivalente de l'ensemble constitué par la couche de fondation et les éventuelles autres couches mises en œuvre sous la dalle de béton.

II.8.6.2 La dalle de béton :

Suite à la rigidité du béton les contraintes verticales appliquées sur la fondation par une dalle chargée sont faibles. La dalle assure la répartition des efforts par la mobilisation de sa résistance à la flexion. Le critère de dimensionnement des chaussées rigides est le moment de flexion admissible de la dalle.

Pour le calcul, Les caractéristiques du béton sont :

- Module d'élasticité : $E= 30\ 000\ \text{MPa}$ ($300\ 000\ \text{kg/cm}^2$)
- Coefficient de Poisson : $\nu=0,15$

a-contrainte du béton :

Pour le calcul, la caractéristique du béton prise en compte est la contrainte admissible de traction par flexion :

$$\bar{\sigma} = \frac{f_{t90}}{CS}$$

- f_{t90} : la résistance de traction par flexion à la rupture mesurée à 90 jours
- CS : Coefficient de sécurité dépend de type de joint :
 - Avec dispositifs de transfert de charges : (CS=1,8)
 - Sans dispositifs de transfert de charges : (CS=2,6)

b- Epaisseur de la dalle : Pour le calcul de l'épaisseur de la dalle, des abaques ont été établis pour les trois types d'atterrisseurs et selon la charge appliquée:

- Atterrisseur type à roue simple
- Atterrisseur type à jumelage
- Atterrisseur type à boggie

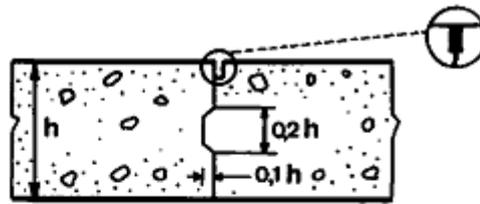
II.8.6.3 Joints pour les chaussées rigides:

Généralement on distingue trois types de joints :

- Joint de construction ;
- Joint de dilatation ;
- Joint de Retrait-Flexion ;

A. Joint de construction: est le joint séparant deux bandes de répandage adjacente (en cas d'interruption au bétonnage en fin de journée). Des fers de liaison (Goujons) pour lier entre les bandes peuvent être mis en place. On distingue deux types :

- Joints de construction longitudinaux ;
- Joints de construction transversaux ;



Rainure et languette simple



Rainure et languette avec goujon

Matériaux de remplissage (Caoutchouc)

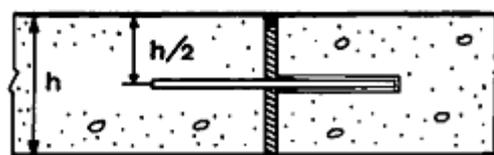
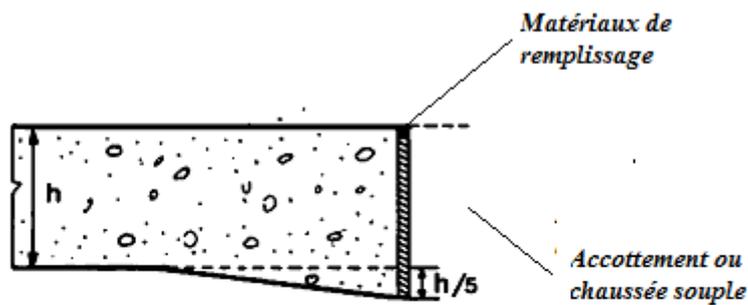


Goujon

Enduit

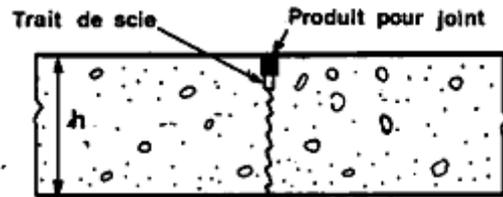
B. Joint de dilatation: prévu pour éviter les efforts horizontaux entre deux ou plusieurs ouvrages :

- Intersection piste-voie de circulation ;
- Aux abords des ouvrages ;
- Le long des caniveaux ;



Goujon

C. Joint de Retrait-Flexion: réalisé afin d'éviter l'apparition des fissures dues au retrait du béton. On exécute ce type pour des bandes supérieures à 5m. Réalisé par sciage du béton après 5 à 6 heures après le coulage (avant le retrait et après que le béton atteigne une résistance suffisante).



II.8.7 le dimensionnement des chaussées souples par la méthode optimisée:

A- Principe de la méthode

Alors que le dimensionnement forfaitaire ne prend en compte qu'un type d'avion, le dimensionnement optimisé permet de calculer une épaisseur de chaussée en considérant plusieurs types d'avions à leur fréquences et charges respectives et pour une durée de vie donnée.

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

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

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

Aussi de manière pratique ; la méthode du dimensionnement est utilisée lorsque doivent être considérés plusieurs types d'avions presque aussi contraignants les uns que les autres (cas des aérodromes importants).

B- Intensité de trafic et durée de vie

Le dimensionnement optimisé prend en compte le nombre prévu de mouvements réels de chaque avion pour la durée de vie envisagée. Compte tenu de la difficulté d'établir des prévisions précises (charges et nombre de mouvements), il est recommandé d'effectuer deux calculs, l'un pour une hypothèse basse, l'autre pour une hypothèse haute.

La sensibilité des différents paramètres ainsi que la marge d'erreurs de calcul est ainsi appréciée.

Le résultat (épaisseur est beaucoup plus sensible aux variations de charges qu'à celles du nombre de mouvements). Il en est de même de la durée de vie effective.

Aussi cette dernière risque d'être différente si le trafic réel s'éloigne des prévisions initiales. La durée de vie d'une chaussée est généralement choisie selon les indications du tableau ci-dessous :

	trafic	
structure	Aérodrome à faible trafic	Aérodrome à fort trafic
Souple	10 ans	10 ans
rigide	Structure rigide déconseillée	10 à 20 ans

C- Rappel des données nécessaires :

- Les prévisions de trafic sur la durée de vie choisie ;
- Le CBR du sol support ;

D- Méthode de calcul

Le calcul a pour but de déterminer l'épaisseur équivalente totale (chaussée souple) ou épaisseur réelle de la dalle de béton (chaussée rigide).

1- Le calcul est conduit pour chaque partie d'aire.

2- Tous les modèles d'avions sont recensés :

- Deux modèles du même avion sont considérés comme différents si les caractéristiques de leurs atterrisseurs sont différentes (nombre de roues, dimensions, pression...).
- Plusieurs charges réelles « $P_{i,j}$ » peuvent être considérées par modèle(i) avec leur nombre de mouvements réels « $n_{i,j}$ » et sont transformées en charges réelles pondérées « $P'_{i,j}$ » pour tenir compte de la fonction de l'aire.

3- En vue d'un calcul par itération une épaisseur initiale est choisie, épaisseur équivalente totale (chaussée souple) ou épaisseur réelle de dalle de béton (Chaussée rigide) :

- Pour chacun des avions paraissant les plus contraignants il convient de calculer l'épaisseur qui lui serait nécessaire en appliquant la méthode de dimensionnement forfaitaire.
- La plus grande des épaisseurs ainsi obtenu, majorée de quelques centimètres, fournit en général une épaisseur initiale assez proche de la valeur définitive.

4- Pour chaque modèle d'avion (i), la charge admissible « Poi » est déterminée à partir des abaques chaussée souple ou chaussé rigide correspondant à l'épaisseur choisie. Si il n'existe pas d'abaque pour l'avion considéré celui du modèle avion dont les caractéristiques s'en rapprochent le plus est utilisé.

5- Pour chaque modèle d'avion (i), les « ni,j » mouvements réels de chaque charge réelle pondérée « P'i,j » sont convertis en « n'i, j » mouvements équivalents à la charge admissible « Poi ». Pour cela, pour chaque modèle d'avion (i) et chaque charge « P'i,j » :

- Le rapport $R_{i,j} = P'_{i,j}/Poi$ est calculé. Ce rapport ne doit pas dépasser 1,2 pour les aires de stationnements et 1,5 pour les autres aires, (il est toutefois recommandé de ne pas dépasser également 1,2 dans ce cas).
- Le coefficient de pondération « CPi,j » des mouvements réels est calculé par la relation :

$$C_{P_{i,j}} = 10^{5(R_{i,j}-1)}$$

- Le nombre de mouvements équivalents « n'i,j » est égale au nombre de mouvements réels « ni, j » multiplie par « CPi,j » :

$$n'_{i,j} = n_{i,j} \times C_{P_{i,j}}$$

6- Le nombre total des mouvements équivalents de tous les modèles d'avions est calculés en additionnent tous les mouvements équivalentes « n'i,j ». Ce nombre est aussi appelé trafic équivalent.

7- Si le trafic équivalent est sensiblement inférieurs à 36500 l'épaisseur essayée est trop importante (sur-dimensionnement) et le calcul doit être repris depuis la séquence 3 avec une épaisseur plus petite.

Au contraire si le trafic équivalent est sensiblement supérieur à 36500, l'épaisseur essayée est insuffisante (sous-dimensionnement) et le calcul doit être repris depuis la séquence 3 avec une épaisseur plus grande.

Des itérations sont ainsi effectuées jusqu'à trouver l'épaisseur telle que le trafic équivalent soit plus proche possible par défaut de 36500.

La valeur ainsi déterminée est l'épaisseur recherchée.

Avions	Charges réelles pondérées	Charges admissibles	$R = P'/P_0$	CP	Mouvements réels	Mouvements équivalents
I	$P'_{1,1}$	$P_{0,1}$	$R_{1,1}$	$CP_{1,1}$	$n_{1,1}$	$n'_{1,1}$

	$P'_{1,j}$		$R_{1,j}$	$CP_{1,j}$	$n_{1,j}$	$n'_{1,j}$

...	P'_{1,a_1}	...	R_{1,a_1}	CP_{1,a_1}	n_{1,a_1}	n'_{1,a_1}
...
i	$P'_{i,1}$	$P_{0,i}$	$R_{i,1}$	$CP_{i,1}$	$n_{i,1}$	$n'_{i,1}$

	$P'_{i,j}$		$R_{i,j}$	$CP_{i,j}$	$n_{i,j}$	$n'_{i,j}$

...	P'_{i,a_i}	...	R_{i,a_i}	CP_{i,a_i}	n_{i,a_i}	n'_{i,a_i}
...
M	$P'_{m,1}$	$P_{0,m}$	$R_{m,1}$	$CP_{m,1}$	$n_{m,1}$	$n'_{m,1}$

	$P'_{m,j}$		$R_{m,j}$	$CP_{m,j}$	$n_{m,j}$	$n'_{m,j}$

...	P'_{m,a_m}	...	R_{m,a_m}	CP_{m,a_m}	n_{m,a_m}	n'_{m,a_m}
Trafic équivalente total : $\sum_i n'_{i,j}$						

II.8.8 Le dimensionnement des chaussées rigides par la méthode optimisée:

A- Rappel des données nécessaires :

- Les prévisions de trafic sur la durée de vie choisie ;
- Le module de réaction corrigé K du sol support et la contrainte admissible de traction par flexion du béton $\bar{\sigma}$

B- Le principe de la méthode :

Le principe de cette méthode est déjà cité dans la partie de dimensionnement de la chaussée souple.

Après avoir effectué un certain nombre d'essais de calcul itératif en proposant différentes valeurs pour l'épaisseur équivalente initiale de calcul

Des itérations sont ainsi effectuées jusqu'à trouver l'épaisseur de la dalle telle que le trafic équivalent soit plus proche possible par défaut de 36500.

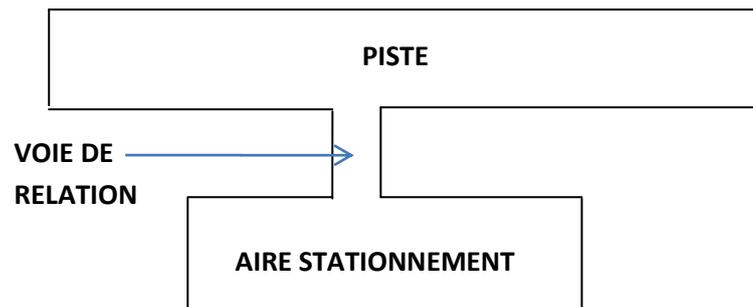
La valeur ainsi déterminée est l'épaisseur de la dalle recherchée.

Remarque : la méthode de dimensionnement optimisée apporte une précision illusoire (trompeuse) et n'est utilisée que pour des études particulières. Dans ce cas, seules les charges maximales des différents avions considérés sont à prendre en compte.

II.8.9 Applications:

II.8.9.1 Application1: Dimensionnement des chaussées souples par la méthode forfaitaire:

Dimensionnement des chaussées d'un aérodrome constitué par une piste, une aire de stationnement et une voie de relation. Le type de structure choisie est chaussée souple. L'avion le plus pénalisant (critique) est le Boeing B737-200.



A- Enoncé des données :

La masse de l'avion le plus pénalisant au décollage : $M = 52,66$ tonnes

- Train principale est composé de 2 atterrisseurs: type jumelage
- pourcentage de la masse supportée par chaque atterrisseur :
 - 14,2% par l'atterrisseur secondaire
 - 92,6% par l'atterrisseur principal
- le trafic réel $n = 6$ mouvements par jour pendant 10 ans pour toutes les aires
- le CBR du sol support : $CBR = 7$
- les coefficients de pondération pour chaque aire :
 - piste : $K_p = 1,0$ et $0,7$
 - aires de stationnement : $K_p = 1,0$ et $1,2$
 - voies de relation : $K_p = 1,0$

B- Travail demandé :

- Calculer :
 - les charges réelles pour chaque atterrisseur (P)
 - les charges réelles pondérées pour chaque aire de l'aérodrome (P')
 - les charges normales de calcul (P'')
 - les épaisseurs équivalentes pour chaque aire de l'aérodrome (e)
- Proposer une composition de chaussée pour chaque aire (épaisseurs réelles)

- Si on ajoute une couche de forme de 20 cm d'épaisseur en sable bien gradué dont le CBR=10, quelle sera l'épaisseur de chaussée de la piste?

- Solution :

1. Calcul des charges réelles pour chaque atterrisseur (P) :

- 14,2% atterrisseur secondaire : $0,142 \times 52,66 = 7,47$ t
- 92,6% atterrisseur principal = : $0,926 \times 52,66 / 2 = 24,38$ t

2. Calcul les charges réelles pondérées pour chaque aire de l'aérodrome (P') :

- Piste (30 m centraux) : $K_p = 1,0$ → $P' = 24,38$ t
- Piste (autres aires) : $K_p = 0,7$ → $P' = 17,06$ t
- poste de stationnement : $K_p = 1,2$ → $P' = 29,25$ t
- aires de stationnement (autres aires) : $K_p = 1,0$ → $P' = 24,38$ t
- Voies de relation : $K_p = 1,0$ → $P' = 24,38$ t

3. Calcul des charge normale de calcul (P'') :

$$\text{Coefficient correcteur} = 1,2 - 0,2 \times \log_{10} n = 1,2 - 0,2 \times \log_{10} 6 = 1,044$$

- Piste (30 m centraux) : → $P'' = 23,35$ t
- Piste (autres aires) : → $P'' = 16,34$ t
- poste de stationnement : → $P'' = 28,01$ t
- Aires de stationnement (autres aires) : → $P'' = 23,35$ t
- Voies de relation : → $P'' = 23,35$ t

4. Calcul des épaisseurs équivalentes pour chaque aire de l'aérodrome (Abaque):

- Piste (30 m centraux) : → $e = 58$ cm
- Piste (autres aires) : → $e = 47$ cm
- poste de stationnement : → $e = 65$ cm
- Aires de stationnement (autres aires) : → $e = 58$ cm
- Voies de relation : → $e = 58$ cm

5. composition de chaussée pour chaque aire :

Matériaux	Piste (30m centraux)	Piste (autres aires)	Poste de stationnement	Aires de stationnement (autres aires)	Voies de relation
Épaisseur équivalente minimale de matériaux traités	24 cm	20 cm	27 cm	24 cm	24 cm
Béton (BB) Bitumineux (2)	6 cm (12cm)	6 cm (12cm)	8 cm (16cm)	6 cm (12cm)	6 cm (12cm)
Grave (GB) Bitumineux (1.5)	10 cm (15cm)	10 cm (15cm)	12 cm (18cm)	10 cm (15cm)	10 cm (15cm)
Grave (GNT) Non Traité (1)	31 cm (31cm)	20 cm (20cm)	31 cm (31cm)	31 cm (31cm)	31cm (31cm)
Épaisseurs Totales réelles (équivalentes)	47 cm (58cm)	36 cm (47cm)	51 cm (65cm)	47 cm (58cm)	47 cm (58cm)

6. Nouvelles épaisseurs de la piste avec la prise en compte de la couche de forme:

- $e_f=20\text{cm}$ (épaisseur de la couche de forme) (avec CBR2=10)
- Pour la piste: $e_1 = \begin{cases} 30m \text{ centraux: } 58cm \\ \text{autres aires: } 47cm \end{cases}$ (avec CBR1=7)

$$e = e_1 - e_f \cdot \left(\frac{\text{CBR}_2 - \text{CBR}_1}{\text{CBR}_1 + \text{CBR}_2} \right)$$

Donc:

$$e = \begin{cases} 58 - 20 * \left(\frac{10-7}{10+7} \right) = 54 \text{ cm (30m centraux)} \\ 47 - 20 * \left(\frac{10-7}{10+7} \right) = 43 \text{ cm (autres aires)} \end{cases}$$

Calcul de e_2 :

$$e_2 = \begin{cases} P'' = 23,35 \text{ t: } 45 \text{ cm (30m centraux)} \\ P'' = 16,34 \text{ t: } 35 \text{ cm (autres aires)} \end{cases} \quad (\text{ avec CBR2=10})$$

On remarque bien que: $e > e_2$ donc:

$$\text{Les nouvelles épaisseurs: } e = \begin{cases} 54 \text{ cm (30m centraux)} \\ 43 \text{ cm (autres aires)} \end{cases}$$

II.8.9.2 Application2: Dimensionnement des chaussées rigides par la méthode forfaitaire:

Dimensionnement des chaussées d'un aérodrome constitué par une piste, une aire de stationnement et une voie de relation. Le type de structure choisie est chaussée rigide. l'avion le plus pénalisant est le Boeing B737-100.

A- Enoncé des données :

- la masse de l'avion le plus pénalisant au décollage : $M= 45,4$ tonnes
- l'atterrisseur type jumelage
- pourcentage de la masse supportée par chaque train d'atterrissage :
 - 14,3% par le train secondaire
 - 92,6% par le train principal
- le trafic réel $n= 6$ mouvements par jour pendant 10 ans pour toutes les aires
- le module de réaction du sol support : $K_0= 50 \text{ MN/m}^3$
- la résistance de traction par flexion à la rupture du béton ($\text{à } 90 \text{ j}$)= $5,6 \text{ MPa}$
- les coefficients de pondération pour chaque aire :
 - piste : $K_p=1,0$ et $0,7$
 - aires de stationnement : $K_p=1,0$ et $1,2$
 - voies de relation : $K_p= 1,0$
- la couche de fondation en grave ciment d'épaisseur = 18 cm

B- Travail demandé :

- Calculer :
 - les charges réelles pour chaque atterrisseur (P)
 - les charges réelles pondérées pour chaque aire de l'aérodrome (P')
 - les charge normale de calcul (P'')
 - les épaisseurs de la dalle pour chaque aire de l'aérodrome (e)

C- Solution :

1. Calcul des charges réelles pour chaque atterrisseur (P) :

- 14.3%atterrisseur secondaire : $0,143 \times 45,4 = 6,49 \text{ t}$
- 92.6% atterrisseur principal= : $0,926 \times 45,4 / 2= 21,02 \text{ t}$

2. Calcul des charges réelles pondérées pour chaque aire de l'aérodrome (P') :

- Piste (30 m centraux) : $K_p=1,0$ → $P'= 21,02$ t
- Piste (autres aires) : $K_p=0,7$ → $P'= 14,71$ t
- poste de stationnement : $K_p= 1,2$ → $P'= 25,22$ t
- aires de stationnement (autres aires) : $K_p=1,0$ → $P'= 21,02$ t
- Voies de relation : $K_p= 1,0$ → $P'= 21,02$ t

3. Calcul des charge normale de calcul (P'') :

$$\text{Coefficient correcteur} = 1,2 - 0,2 \times \log_{10} n = 1,2 - 0,2 \times \log_{10} 6 = 1,044$$

- Piste (30 m centraux) : → $P''= 20,13$ t
- Piste (autres aires) : → $P''= 14,09$ t
- poste de stationnement : → $P''= 24,15$ t
- Aires de stationnement (autres aires) : → $P''= 20,13$ t
- Voies de relation : → $P''= 20,13$ t

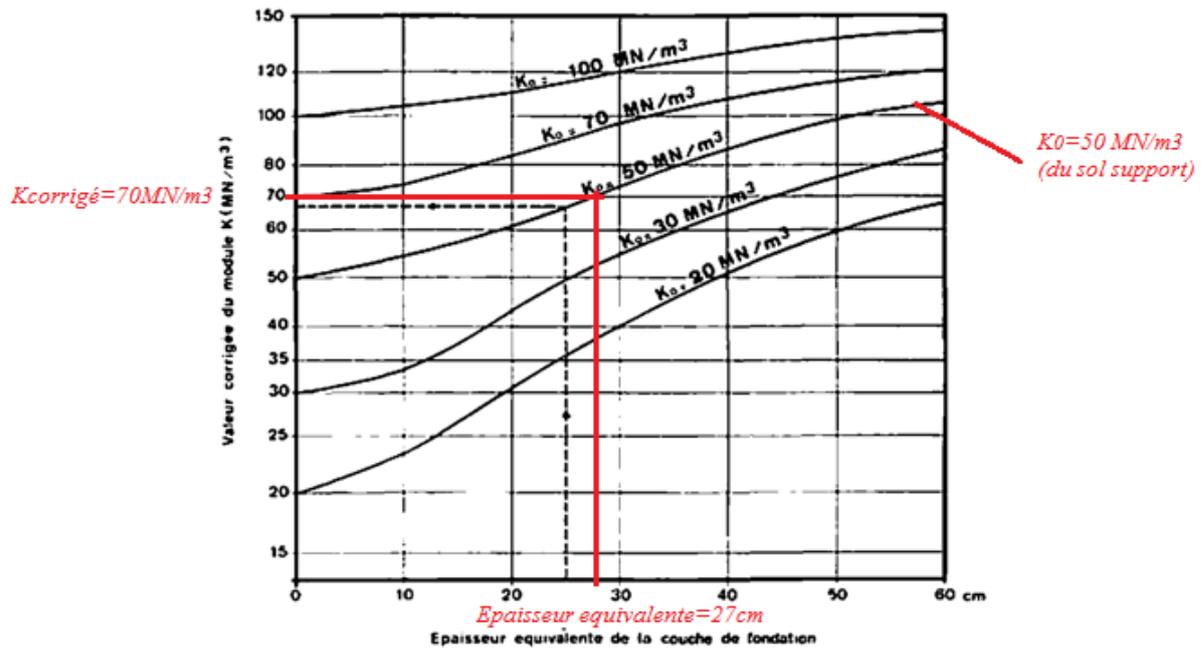
4. Calcul des épaisseurs des dalles pour chaque aire de l'aérodrome:

On va considérer une couche de fondation en grave ciment d'épaisseur =18 cm

Donc l'épaisseur équivalente= $18 \times 1,5= 27$ cm

En utilisant l'abaque pour déterminer le module de réaction corrigé du sol support:

$K= 70$ MN/m³ (voir la figure).



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

Pour déterminer des épaisseurs des dalles, on utilise l'abaque (chaussée rigide voir l'exemple ci-dessous):

A - Avec dispositifs de transfert de charges : $(CS=1,8)\sigma = \frac{5,6}{1,8} = 3,1 \text{ MPa}$

- Piste (30 m centraux) : → e=22cm
- Piste (autres aires) : → e=20cm
- poste de stationnement : → e=24cm
- Aires de stationnement (autres aires) : → e=22cm
- Voies de relation : → e= 22cm

B- Sans dispositifs de transfert de charges : $(CS=2,6)\sigma = \frac{5,6}{2,6} = 2,2 \text{ MPa}$

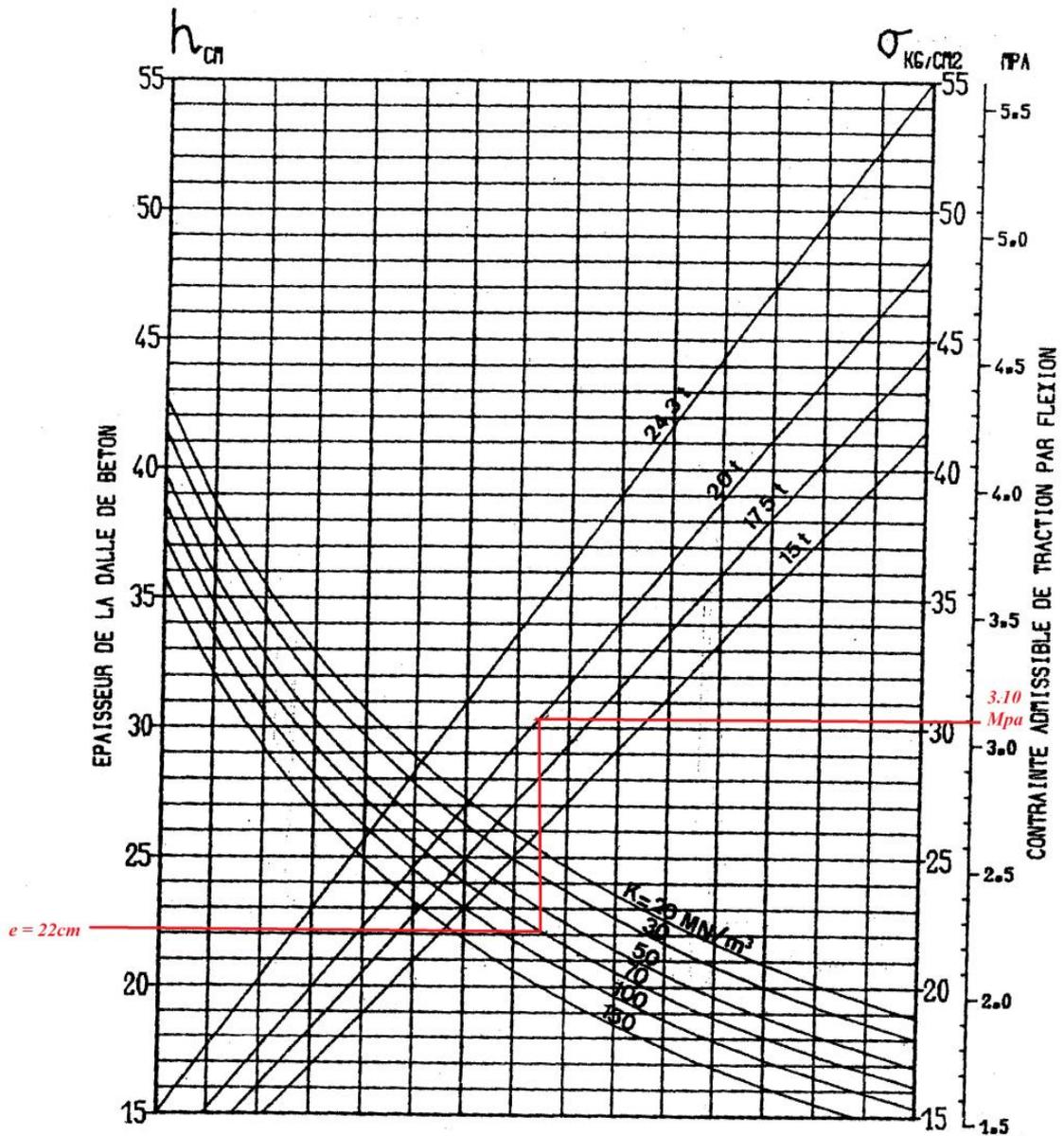
- Piste (30 m centraux) : → e= 28cm
- Piste (autres aires) : → e= 25cm
- poste de stationnement : → e=30cm
- Aires de stationnement (autres aires) : → e= 28 cm
- Voies de relation : → e= 28 cm

Exemple: le cas de la piste (30 m centraux), nous avons:

$P'' = 20,13 \text{ t}$

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

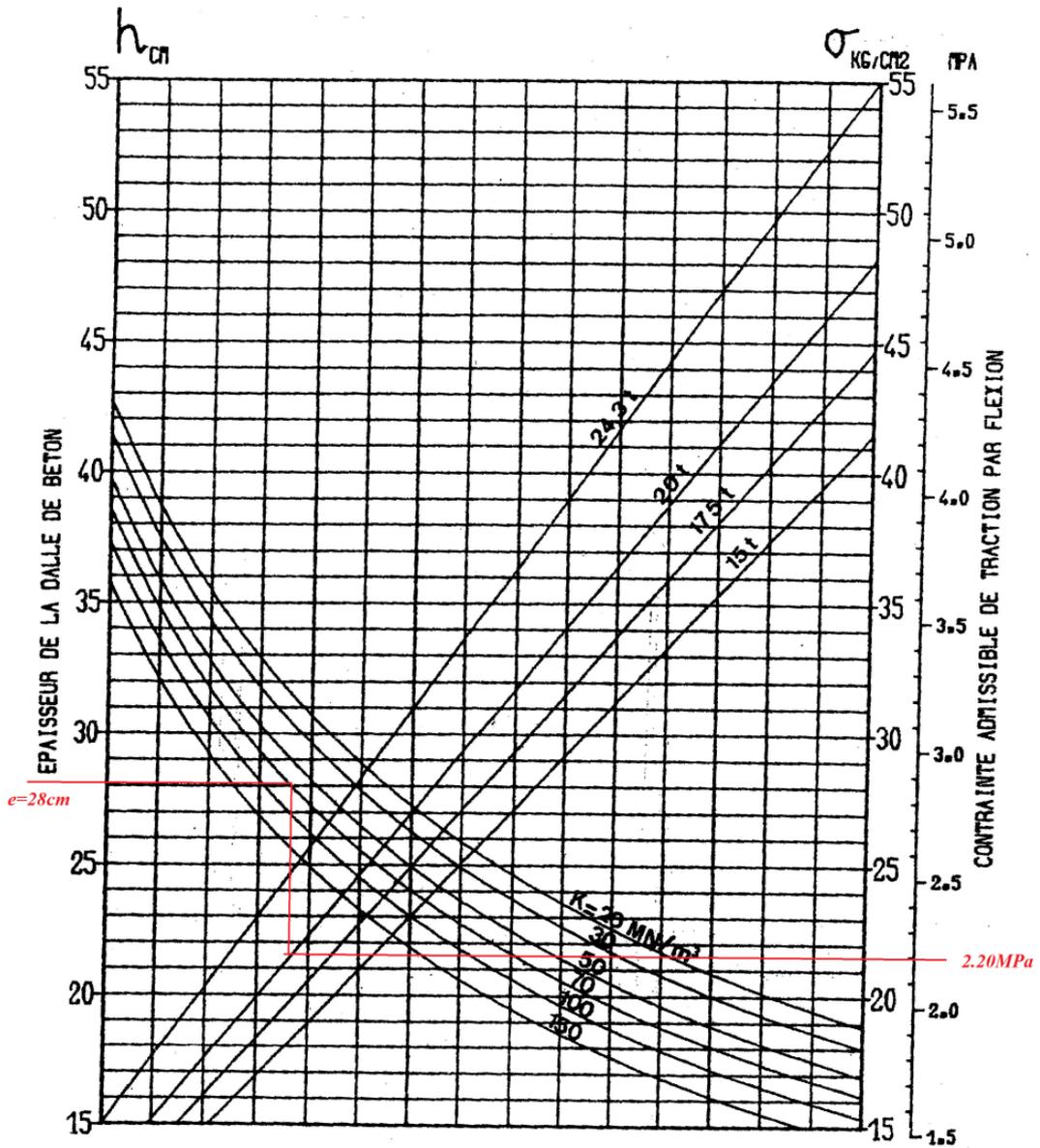
A- $\sigma = 3,1 \text{ MPa}$ (Avec dispositifs de transfert de charges)



CHAUSSEE RIGIDE

B 737

B- $\sigma = 2,2 \text{ MPa}$ (sans dispositifs de transfert de charges)



CHAUSSEE RIGIDE

B 737

II.8.9.3 Application3: Dimensionnement des chaussées aéronautiques par la méthode optimisée:

Pour un aéroport existant, l'étude d'un projet d'une nouvelle voie de circulation destinée à relier l'aire de stationnement à la piste, sur laquelle s'effectuent 75% de décollage et 25% d'atterrissage.

A- Enoncé des données :

1. **Prévisions de trafic :** Le trafic annuel à l'année 0 (date de mise en service) de la nouvelle chaussée a été établi pour les avions les plus contraignants qu'il y a lieu de considérer : le Boeing 747-200, le DC10-30 et le DC8-63. On admet que le reste du trafic est négligeable.

1. BOEING 747-200 : (nombre total de mouvements : 1000)

- Masses au décollage :

Masses	320 à 340 t	340 à 350 t	350 à 360 t	360 à 370 t
% de mouvements	15	20	50	15

- Masses à l'atterrissage :

Masses	240 à 260 t	260 à 280 t	280 à 300 t
% de mouvements	50	25	25

2. DC 10-30 : (nombre total de mouvements : 1500)

- Masses au décollage :

Masses	220 à 230 t	230 à 240 t	240 à 250 t
% de mouvements	15	40	45

- Masses à l'atterrissage :

Masses	180 à 200 t	200 à 210 t	210 à 220 t
% de mouvements	60	30	10

3. DC 8-63: (nombre total de mouvements : 2000)

- Masses au décollage :

Masses	130 à 140 t	140 à 150 t	150 à 160 t
% de mouvements	15	20	65

- Masses à l'atterrissage :

Masses	100 à 110 t	110 à 120 t	120 à 130 t
% de mouvements	20	70	10

La durée de vie de la chaussée est de 10 ans. L'accroissement annuel du nombre des mouvements est espéré entre 5% et 15%.

2. Caractéristiques sol support : Le sol support est caractérisé par un CBR= 10, et un module de réaction de $K_0=60\text{MN/m}^3$.

3. Caractéristiques des matériaux utilisés :

- Pour la structure souple :
 - Béton bitumineux : Coefficient d'équivalence 2
 - Grave bitume : Coefficient d'équivalence 1,5
 - Grave non traitée : Coefficient d'équivalence 1
 - Grave tout venant : Coefficient d'équivalence 0,75
- Pour la structure rigide :
 - Béton de ciment de contrainte de traction par flexion à la rupture (à 90 j) égale à 5,6 Mpa.
 - La couche de fondation en grave ciment d'épaisseur = 20 cm

4. Caractéristiques des avions :

1. BOEING 747-200 :

- Le train d'atterrissage principal composé de: 04 Boggie (chacun supporte 23,1 % de la masse totale)

2. DC 10-30 :

- Le train d'atterrissage principal composé de: 02 Boggie (chacun supporte 37,7 % de la masse totale) plus 01 jumelage (supporte 16,3 % de la masse totale)

3. DC 8-63:

- Le train d'atterrissage principal composé de 02 Boggie (chacun supporte 47,6 % de la masse totale)

B- Travail demandé : considérant une hypothèse haute et une hypothèse basse :

- Déterminer le nombre total de mouvements pendant la durée de vie de la chaussée pour chacune des différentes masses de chaque avion;
- Pour la masse la plus élevée de chacun des avions, calculer l'épaisseur initiale de la chaussée (chaussée souple), ou de l'épaisseur et du type de fondation (chaussée rigide) ;
- Pour chacune des différentes masses de chaque avion, déterminer la charge admissible P_{t0} , le rapport R entre la charge réelle et admissible, le coefficient de

pondération CP, le nombre de mouvements équivalents n' et le nombre total des mouvements réels.

- Déduire les épaisseurs finales et proposer une structure de la chaussée ;

NB : considérer les deux types de structure : souple et rigide.

C- Solution :

A. Chaussée souple :

7. Etude de trafic :

Il convient de cerner les données sur le trafic avec une hypothèse haute et une hypothèse basse :

- L'hypothèse haute: est choisie par combinaison du:
 - taux de croissance maximal envisagé 15%
 - choix de la borne supérieure comme charge représentative de chaque classe ;
- L'hypothèse basse : est à l'inverse obtenue par combinaison du:
 - taux de croissance minimal envisagé 5%
 - choix de la borne inférieure comme charge représentative de chaque classe ;

Trafic cumulé :

N étant le nombre de mouvements comptabilisés à l'année 0, le trafic cumulé sur une durée de vie de 10 ans a pour valeur :

$$N.[1 + (1 + p) + (1 + p)^2 + \dots + (1 + p)^9]$$

soit :

$$N. \frac{(1 + p)^{10} - 1}{p} \quad p \text{ étant le taux annuel d'accroissement}$$

pour $p = 0,05$:

$$N. \frac{1,62 - 1}{0,05} = 12,6 N$$

pour $p = 0,15$:

$$N. \frac{4,05 - 1}{0,15} = 20,3 N$$

Avion	Hypothèse basse	Hypothèse haute
BOEING 747-200	12600 mvts	20300 mvts
DC 10-30	18900 mvts	30450 mvts
DC 8-63	25200 mvts	40600 mvts

Le tableau suivant décrit le nombre total de mouvements pendant la durée de vie de la chaussée pour chacune des différentes masses considérées de chaque avion :

- L'hypothèse basse :
 - Avion Boeing 747-200 :
 - Exemple 1 :
 - Si la borne inférieure est 240t : 25% des mouvements à l'atterrissage s'effectuent sur la chaussée étudiée soit : $12600 * 0,25 = 3150 \text{ mvts}$
 - 50% des atterrissages se font à des masses comprises entre 240 et 260 t soit : $3150 * 0,50 = 1575 \text{ mvts}$
 - Exemple 2 :
 - Si la borne inférieure est 340t : 75% des mouvements au décollage s'effectuent sur la chaussée étudiée soit : $12600 * 0,75 = 9450 \text{ mvts}$
 - 20% des atterrissages se font à des masses comprises entre 340 et 350 t soit : $9450 * 0,20 = 1890 \text{ mvts}$
 - Avion DC8-63:
 - Exemple 1 :
 - Si la borne inférieure est 150t : 75% des mouvements au décollage s'effectuent sur la chaussée étudiée soit : $25200 * 0,75 = 18900 \text{ mvts}$
 - 65% des atterrissages se font à des masses comprises entre 150 et 160 t soit : $18900 * 0,65 = 12285 \text{ mvts}$
- L'hypothèse haute :
 - Avion Boeing 747-200 :
 - Exemple 1 :
 - Si la borne supérieure est 280t : 25% des mouvements à l'atterrissage s'effectuent sur la chaussée étudiée soit : $20300 * 0,25 = 5075 \text{ mvts}$
 - 25% des atterrissages se font à des masses comprises entre 260 et 280 t soit : $5075 * 0,25 = 1270 \text{ mvts}$

Tableau masses/mouvements

Hypothèse basse			Hypothèse haute		
Avions	Charge totale P_t	Nombre de mouvements réels	Avions	Charge totale P_t	Nombre de mouvements réels
	tonnes	tonnes		tonnes	tonnes
Boeing 747-200....	360	1 420	Boeing 747-200....	370	2 285
	350	4 725		360	7 610
	340	1 890		350	3 045
	320	1 420		340	2 285
	280	785		300	1 270
	260	785		280	1 270
DC 8-63.....	240	1 575	DC 8-63.....	260	2 535
	150	12 285		160	19 790
	140	3 780		150	6 090
	130	2 835		140	4 570
	120	630		130	1 015
	110	4 410		120	7 105
DC 10-30.....	100	1 260	DC 10-30.....	110	2 030
	240	6 380		250	10 275
	230	5 670		240	9 135
	220	2 125		230	3 425
	210	470		220	760
	200	1 420		210	2 285
	180	2 835		200	4 570

2. Calcul de l'épaisseur initiale (e) de la chaussée pour la masse la plus élevée de chacun des avions :

Pour la masse la plus élevée de chacun des avions, l'épaisseur qui serait nécessaire dans l'hypothèse où ce dernier serait seul à fréquenter la chaussée étudiée est :

Hypothèse basse

(CBR = 10)

Avions	Charge réelle totale P_t	Charge réelle P (*)	Mouvements réels cumulés pendant 10 ans	Intensité moyenne du trafic	Coefficient de correction CT	Charge de calcul P^*	Épaisseur équivalente e
	tonnes	tonnes		mvt/j		tonnes	cm
Boeing 747-200..	360	83,2	1 420	1	1,20	69,3	55
DC 10-30.....	240	90,5	6 380	2	1,14	79,4	54
DC 8-63.....	150	71,4	12 285	3	1,11	64,3	60

(*) D'après tableaux de caractéristiques des avions.

Hypothèse haute

(CBR = 10)

Avions	Charge réelle totale P_t	Charge réelle P (*)	Mouvements réels cumulés pendant 10 ans	Intensité moyenne du trafic	Coefficient de correction CT	Charge de calcul P''	Épaisseur équivalente ϵ
	tonnes	tonnes		mvt/j		tonnes	cm
Boeing 747-200..	370	85,5	2 285	1	1,20	71,3	56
DC 10-30.....	250	94,2	10 275	3	1,11	84,9	56
DC 8-63.....	160	76,2	19 790	7	1,03	74	66

(*) D'après tableaux de caractéristiques des avions.

L'épaisseur maximale est trouvée pour le DC 8-63 : 66cm (hypothèse haute) et 60 cm (hypothèse basse).

3. Calcul de la charge admissible P_{t0} , le rapport R entre la charge réelle et admissible, le coefficient de pondération CP, le nombre de mouvements équivalents n' et le nombre total des mouvements réels et ce pour chacune des différentes masses de chaque avion :

Le calcul itératif se fera donc respectivement à partir de 68cm et 62cm (soit respectivement 66+2 cm et 60+2cm) avec un pas de 2cm.

- Hypothèse basse :
 - Première itération : $e = 62\text{cm}$, CBR=10.

Hypothèse basse

CBR = 10 $\epsilon = 62$ cm

Avions	Charges réelles pondérées P'_i	Charges admissibles P_{to}	$R = P'_i/P_{to}$	Coefficient de pondération CP	Mouvements réels n	Mouvements équivalents n'
	tonnes	tonnes				
Boeing 747-200	360	356,5	1,01	1,12	1 420	1 590
	350		0,98	0,81	4 725	3 830
	340		0,95	0,59	1 890	1 110
	320		0,90	0,31	1 420	440
	280		0,79	0,08	785	70
	260		0,73	0,04	785	35
	240		0,67	0,02	1 575	35
DC 8-63	150	141,8	1,06	1,95	12 285	23 910
	140		0,99	0,86	3 780	3 270
	130		0,92	0,38	2 835	1 090
	120		0,85	0,17	630	105
	110		0,78	0,08	4 410	330
	100		0,71	0,03	1 260	45
DC 10-30	240	256,3	0,94	0,48	6 380	3 070
	230		0,90	0,31	5 670	1 740
	220		0,86	0,20	2 125	420
	210		0,82	0,12	470	60
	200		0,78	0,08	1 420	115
	180		0,70	0,03	2 835	90
Trafic équivalent total.....					41 353 mvt (supérieur à 36 500 mvt)	

○ Deuxième itération : $e = 64$ cm, CBR=10CBR = 10 $\epsilon = 64$ cm

Avions	Charges réelles pondérées P'_i	Charges admissibles P_{to}	$R = P'_i/P_{to}$	Coefficient de pondération CP	Mouvements réels n	Mouvements équivalents n'
	tonnes	tonnes				
Boeing 747-200	360	370,9	0,97	0,71	1 420	1 010
	350		0,94	0,52	4 725	2 470
	340		0,92	0,38	1 890	720
	320		0,86	0,21	1 420	290
	280		0,75	0,06	785	50
	260		0,70	0,03	785	25
	240		0,65	0,02	1 575	25
DC 8-63	150	147,9	1,01	1,18	12 285	14 470
	140		0,95	0,54	3 780	2 040
	130		0,88	0,25	2 835	700
	120		0,81	0,11	630	70
	110		0,74	0,05	4 410	230
	100		0,68	0,02	1 260	30
DC 10-30	240	266,3	0,90	0,32	6 380	2 050
	230		0,86	0,21	5 670	1 180
	220		0,83	0,14	2 125	290
	210		0,79	0,09	470	40
	200		0,75	0,06	1 420	80
	180		0,68	0,02	2 835	70
Trafic équivalent total.....					25 840 mvt (inférieur à 36 500 mvt)	

- Hypothèse haute :
 - Première itération : $e = 68\text{cm}$, $\text{CBR} = 10$

*Hypothèse haute*CBR = 10 $e = 68\text{ cm}$

Avions	Charges réelles pondérées P'_i	Charges admissibles P_{to}	$R = P'_i/P_{to}$	Coefficient de pondération CP	Mouvements réels n	Mouvements équivalents n'
	tonnes	tonnes				
Boeing 747-200	370	400,1	0,92	0,42	2 285	960
	360		0,90	0,32	7 610	2 400
	350		0,87	0,24	3 045	720
	340		0,85	0,18	2 285	400
	300		0,75	0,06	1 270	70
	280		0,70	0,03	1 270	40
	260		0,65	0,02	2 540	45
DC 8-63	160	160,3	1,00	0,98	19 790	19 370
	150		0,94	0,48	6 090	2 910
	140		0,87	0,23	4 570	1 060
	130		0,81	0,11	1 015	115
	120		0,75	0,06	7 105	390
	110		0,69	0,03	2 030	65
DC 10-30	250	286,8	0,87	0,23	10 275	2 350
	240		0,84	0,15	9 135	1 400
	230		0,80	0,10	3 425	350
	220		0,77	0,07	760	50
	210		0,73	0,05	2 285	105
	200		0,70	0,03	4 570	140
Trafic équivalent,					32 930 mvt (inférieur à 36 500 mvt)	

4. Les épaisseurs finales et proposition d'une structure de la chaussée :

Les épaisseurs recherchées sont :

- Hypothèse basse : $e = 64\text{ cm}$
- Hypothèse haute : $e = 68\text{ cm}$

La structure proposée est la suivante :

- Béton Bitumineux:8 cm.
- Grave Bitume:12 cm.
- Grave Non Traité:32 cm.

B. Chaussée rigide :**1. Etude de trafic :**

Le même tableau qui décrit le nombre total de mouvements pendant la durée de vie de la chaussée pour chacune des différentes masses considérées de chaque avion :

Tableau masses/mouvements

Hypothèse basse			Hypothèse haute		
Avions	Charge totale Pr	Nombre de mouvements réels	Avions	Charge totale Pr	Nombre de mouvements réels
	tonnes	tonnes		tonnes	tonnes
Boeing 747-200....	360	1 420	Boeing 747-200....	370	2 285
	350	4 725		360	7 610
	340	1 890		350	3 045
	320	1 420		340	2 285
	280	785		300	1 270
	260	785		280	1 270
	240	1 575		260	2 535
DC 8-63.....	150	12 285	DC 8-63.....	160	19 790
	140	3 780		150	6 090
	130	2 835		140	4 570
	120	630		130	1 015
	110	4 410		120	7 105
	100	1 260		110	2 030
DC 10-30.....	240	6 380	DC 10-30.....	250	10 275
	230	5 670		240	9 135
	220	2 125		230	3 425
	210	470		220	760
	200	1 420		210	2 285
	180	2 835		200	4 570

2. Calcul l'épaisseur et du type de fondation pour la masse la plus élevée de chacun des avions :

La couche de fondation est réalisée avec de la grave - ciment sur une épaisseur de 20cm. Donc, l'épaisseur équivalente de la couche de fondation est :

$$h = 20 * 1,5 = 30 \text{ cm}$$

Le module de réaction corrigé du sol support (Abaque) :

$$K = 80 \text{ MN/m}^3$$

Il est fortement conseillé de prévoir des dispositifs de transfert de charges. Le coefficient de sécurité est $CS=1,8$.

$$\bar{\sigma} = \frac{5,6}{1,8} = 3,1 \text{ MPa}$$

Pour la masse la plus élevée de chacun des avions, l'épaisseur qui serait nécessaire dans l'hypothèse où ce dernier serait seul à fréquenter la chaussée étudiée est :

Hypothèse haute

Boeing 747-200.....	P'' = 71,3 t	h = 30 cm
DC 8-63.....	P'' = 74,0 t	h = 31 cm
DC 10-30.....	P'' = 84,9 t	h = 29 cm

Hypothèse basse

Boeing 747-200.....	P'' = 69,3 t	h = 29 cm
DC 8-63.....	P'' = 64,3 t	h = 30 cm
DC 10-30.....	P'' = 79,4 t	h = 28 cm

La différence entre hypothèses haute et basse ne se traduit que par 1cm de béton.

Il est inutile de réaliser un dimensionnement optimisé dont la précision serait illusoire. Les épaisseurs de dalle de béton recherchées sont :

- Hypothèse basse : e= 31 cm
- Hypothèse haute : e= 32 cm

Soit 1 cm de plus que les épaisseurs maximales respectivement obtenues ci-dessus (pour le DC 8-63 qui reste l'avion la plus critique).

3. La proposition d'une structure de la chaussée :

La structure proposée est la suivante :

- La dalle de Béton:32 cm.
- Grave ciment:20 cm.
- Dispositifs de transfert de charges : rainures et languettes.

Conclusion : ce cas illustre qu'il est inutile de recourir à un dimensionnement optimisé pour le calcul des chaussées rigides.

II.9 Construction des chaussées aéronautiques

II.9.1 Exécution des terrassements :

Les terrassements sont ceux concourant à la réalisation des bandes de piste et de voie de circulation, ainsi que des aires de stationnement. Ils comprennent l'aménagement des fonds de forme des chaussées et le drainage de l'ensemble des ouvrages.

II.9.1.1 Travaux préparatoires :

Préalablement aux terrassements, des travaux superficiels de dégagement des surfaces à traiter sont généralement nécessaires, qui consistent en :

- l'abattage des arbres, en s'assurant qu'aucune souche (racine) ne reste sous les futures chaussées et leurs abords, quelle que puisse être l'épaisseur du remblai prévu ;
- le débroussaillage poursuivi jusqu'au total enlèvement des racines ;
- la démolition des constructions existantes.

Intervenant ensuite, les terrassements procèdent successivement, avant tout autre mouvement de terre :

- au décapage, sur 3 à 5 cm d'épaisseur, des matériaux herbeux (verts) superficiels et à leur évacuation,
- à l'enlèvement de la terre végétale(en général sur 15 à 20 cm d'épaisseur) et à sa mise en dépôts, lesquels seront réglés et compactés de manière à prévenir leur saturation superficielle par les eaux de pluie.

Lorsqu'elle sera réutilisée pour constituer une piste en herbe, la terre végétale mise en dépôts ne comportera aucun matériau pierreux qui pourrait être préjudiciable aux hélices des avions au décollage.

II.9.1.2 Exécution des déblais et des remblais

- a) Les **déblais** seront réutilisés en remblais suivant l'ordre croissant de leur qualité, soit, successivement :
- En dépôt, en dehors de la bande aménagée,
 - En remblai, dans la bande aménagée hors des chaussées et accotements,
 - En remblai sous les accotements.

En zones de déblais, les travaux seront conduits de manière à ce que le terrain conserve, au moins sur une même profondeur, les mêmes caractéristiques finales que la partie supérieure des remblais ayant une fonction identique dans le projet.

b) Les meilleurs étant conservés pour les **remblais** sous chaussées par couches de 20 à 25 cm d'épaisseur, chacune de celles-ci étant humidifiée et compactée de manière à obtenir une densité sèche d'au moins 90% de **l'optimum Proctor modifié**.

- Sous les chaussées et leurs accotements, la partie supérieure des remblais sera impérativement compactée à 95 % de l'optimum Proctor modifié et ce sur une ou plusieurs couches de 20 à 25 cm. En cas d'impossibilité d'atteindre ce degré de compactage, il conviendra de recourir à un traitement spécifique (chaux, ciment,...) déterminé par un laboratoire agréé.

II.9.2 Assainissement pluvial et drainage de la plate-forme :

Le réseau **d'assainissement pluvial** et de **drainage** d'un aérodrome assurera à la fois :

- la collecte et l'évacuation des eaux de ruissellement,
- la protection des corps de chaussée et de leurs fonds de forme contre les eaux d'infiltration et celles en provenance de la nappe phréatique ainsi que l'évacuation des unes et des autres.

Les plus dangereuses conséquences d'un réseau d'assainissement et de drainage mal conçu ou mal réalisé peuvent être :

- l'arrêt possible du trafic aérien suite à l'accumulation d'eau sur les chaussées,
- la mise en charge du réseau,
- la détérioration rapide des chaussées ou la chute de portance du sol support,
- l'impraticabilité d'une piste non revêtue par temps humide.
- les possibilités d'extension d'un aérodrome peuvent d'autre part être compromises.

Les remarques suivantes ont pour but d'accentuer l'attention sur ce domaine :

- Un aérodrome comporte des surfaces imperméables et des aires à drainer très importantes qui recueillent des quantités d'eau quelquefois considérables ;
- À surfaces égales, le périmètre des espaces concernés étant sensiblement moindre que pour une route, les exutoires sont souvent plus difficiles à trouver.

- L'implantation d'un aérodrome ne peut se faire que sur un site de relief peu accidenté.
- Les pentes maximales admises pour les profils en long et en travers sont plus faibles que pour les routes (terrain moins accidenté).
- La double contrainte de devoir observer de faibles pentes et recueillir des débits importants conduit à des ouvrages de grandes dimensions.

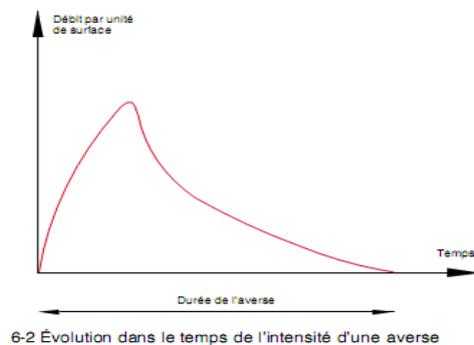
Deux principes guideront par suite, avant tout autre, le projeteur, à savoir :

- Limiter le débit à faire passer dans les ouvrages et par conséquent leur coût,
- utiliser au maximum les ouvrages superficiels dont les coûts d'investissement et d'entretien sont naturellement plus faibles que ceux des ouvrages enterrés.

Découle également de ce qui précède l'intérêt de prévoir des **bassins de rétention** qu'il est en général possible de placer entre pistes et voies de circulation ou plus généralement encore hors des bandes aménagées.

II.9.2.1 Évacuation des eaux de ruissellement :

Ainsi est-il rappelé qu'une **averse** est caractérisée par son intensité et sa durée, la première atteignant rapidement son maximum pour décroître ensuite beaucoup plus lentement.



Pour dimensionner le réseau, on utilisera la méthode dite **rationnelle** qui :

- considère que le débit maximal « Q » arrivant en un point quelconque du réseau correspond à l'apport de la totalité de la surface drainée en amont, ce qui se produit lorsque les eaux provenant de son point le plus éloigné commencent à atteindre le point considéré.
- prend en compte une pluie d'intensité constante « i » déduite de la courbe intensité durée pour une durée de l'averse égale au temps nécessaire à l'écoulement de l'eau depuis le point le plus éloigné de la surface drainée jusqu'au point considéré, ce temps étant appelé temps de concentration « T ».

Lors du premier calcul sommaire du réseau, on prendra une vitesse de base de l'ordre de 0,5 à 1 m/s. Après calcul des débits et choix des diamètres, les vitesses réelles d'écoulement seront calculées et permettront d'obtenir les temps d'écoulement canalisé exacts. Une rectification éventuelle sera alors faite sur ces diamètres en prenant les hauteurs de pluies correspondant aux nouveaux temps de concentration.

La formule qui traduit la relation entre le débit maximal Q (l/s), la surface drainée A (ha) et l'intensité de l'averse i (mm/h) de durée égale au temps de concentration T s'écrit :

$$Q = 2,778.C.i.A$$

Où « C » est le **coefficient de ruissellement** de la surface drainée, pourra être extrait du tableau ci-après. Si le bassin versant est constitué de plusieurs surfaces A_1, A_2, \dots, A_n , de nature différente, le coefficient de ruissellement à prendre en compte sera la moyenne pondérée des coefficients C_1, C_2, \dots, C_n .

$$C = \frac{(C_1 S_1 + C_2 S_2 + \dots + C_n S_n)}{S_1 + S_2 + \dots + S_n}$$

Types de surface	Coefficient de ruissellement
Revêtement en enrobés	0,8 à 0,95
Revêtement en béton	0,7 à 0,95
Sols imperméables (argileux) nus	0,4 à 0,65
Sols imperméables (argileux) engazonnés	0,30 à 0,55
Sols perméables nus	0,05 à 0,20
Sols perméables engazonnés	0 à 0,10

a) -canalisations :

Le diamètre de canalisation correspondant au débit Q à évacuer résulte ensuite de la **formule de Manning** :

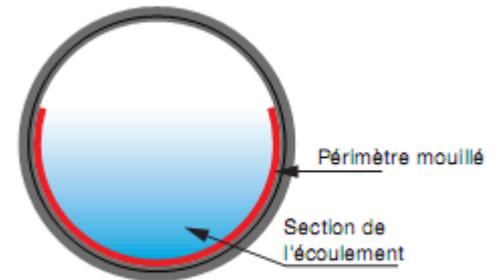
$$Q = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \cdot S$$

Dans laquelle :

- S (m²) est la section transversale de l'écoulement ;
- R (m) le rayon hydraulique (S /périmètre mouillé),
- I (m/m) la pente de la canalisation (mètre par mètre)

Le rayon hydraulique se détermine par la formule suivante:

$$R = \frac{\text{Section de l'écoulement}}{\text{Périmètre mouillé}}$$



Et n le coefficient de rugosité, dont la valeur sera extraite du tableau ci-contre.

Nature de la canalisation	n
Tuyau en béton	
-Conduite circulaire à parois lisses sans joint	0,013
-Conduite circulaire de qualité normale	0,015
-Conduite circulaire avec joints, écoulement médiocre	0,018
Tuyaux en acier	0,015
Tuyaux en tôle ondulée	0,024
Tuyaux de type PVC	0,013

b) –fossés et fils d'eau :

Le fil d'eau est la rencontre de deux pentes inverses n'excédant pas 2,5% jusqu'en limite de bande aménagée, réalisées lors des terrassements. En profil en long, la pente minimale à respecter est de 0,3%. Les fils d'eau créés ne peuvent pas être à moins de 15m du bord des chaussées revêtues (accotement compris) ou du bord de la voie de circulation.

Le fossé est employé en pied ou en crête de talus pour éviter le ruissellement des eaux sur la bande aménagée. Dans tous les cas, il se situe en dehors de la bande aménagée. Constituant un obstacle de franchissement pour les véhicules et pour un avion sortant de la piste, il est conseillé de le recouvrir, au moins partiellement, lorsqu'il se situe dans la bande dégagée. La section d'un fossé est généralement de forme triangulaire ou trapézoïdale. Ses dimensions sont fonction du débit à transiter.

Les débits des fossés et fils d'eau sont calculés à l'aide de la formule de Manning. Le coefficient de rugosité à prendre en compte est donné par le tableau suivant:

Nature	n
Fossés	
-Argile	0,024
-Sable	0,020
-Roches	0,045
Fils d'eau	
-Terre	0,045
-Terre gazonnée	0,055
-Gravier	0,062

c) –Caniveaux

- Le caniveau à grille : La section d'un caniveau à grille est généralement de forme rectangulaire. La largeur intérieure est fonction des grilles utilisées et du débit à transiter.
- Le caniveau à fente longitudinale (satujo) : La section extérieure est rectangulaire, la section intérieure circulaire. L'admission des eaux se fait par une fente(fissure) longitudinale de 3 à 4cm.



Caniveau à fente longitudinale de type satujo

d) –Les regards-avaloirs

Les regards ont pour but d'assurer la transition entre les différents ouvrages qui recueillent les eaux, de permettre un contrôle et un entretien du réseau de drainage. Les regards sont circulaires, préfabriqués, visitables et étanches. On suppose que l'eau arrive de tous côtés sur les grilles.

e) -Les bassins :

Le débit des eaux recueillies sur une plate-forme aéroportuaire peut être conséquent et appeler des dimensions importantes de fossés et collecteurs destinés à l'évacuer. Des **bassins de rétention** peuvent toutefois être aménagés qui permettent de réduire les dimensions de ces ouvrages.

Les bassins de rétention sont conçus pour stocker les eaux de ruissellement d'un bassin versant afin de les traiter avant leur évacuation et de contrôler leur débit de fuite vers le

milieu naturel. Ils sont généralement réalisés à proximité des exutoires naturels ou ceux définis par le projeteur. Ils peuvent être implantés, entre piste et voie de circulation parallèle, le long des bretelles de liaison qui constituent arrêts à l'écoulement naturel des eaux.

Des **bassins d'infiltration** peuvent remplacer les bassins de rétention, lorsque les eaux recueillies ne subiront aucun traitement. Les deux types de bassins peuvent être associés, ceux de rétention stockant les eaux avant traitement et ceux d'infiltration les évacuant après.

Les bassins d'infiltration sont préconisés lorsque le sol est perméable et qu'il n'y a aucun risque de pollution pour la nappe phréatique. Le choix de leur aménagement peut aussi être la conséquence d'un manque d'exutoire naturel en surface. Leur utilisation, lorsqu'elle est possible, est fortement conseillée car elle est une alternative très efficace au ruissellement.



Bassin de rétention sur l'aérodrome d'Angers-Marcé



Bassin de décantation sur l'aérodrome de Lyon-Saint-Exupéry

II.9.2.2 Drainage des eaux souterraines :

Les eaux souterraines comprennent, d'une part, celles d'infiltration, d'autre part, celles provenant de la nappe phréatique.

S'agissant des premières, elles ne peuvent concerner directement les chaussées revêtues que lorsque celles-ci ont été mal conçues ou réalisées. La pénétration des eaux d'infiltration dans le corps d'une chaussée revêtue et dans son sol support peut cependant s'effectuer au travers des accotements :

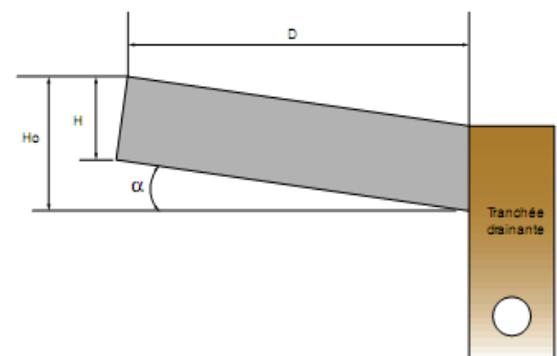
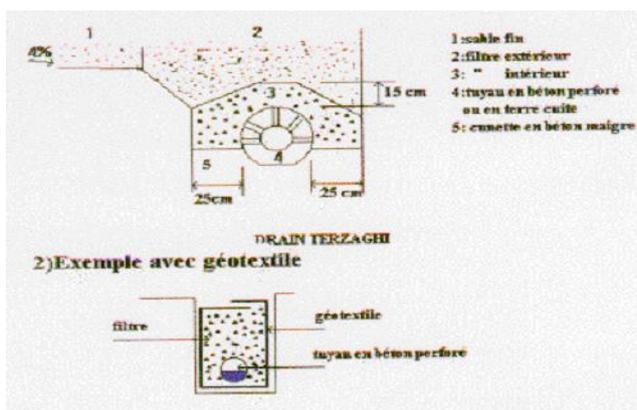
- Soit par infiltration directe des eaux de ruissellement dans les zones non revêtues des dits accotements,
- Soit latéralement, en provenance de fossés mal dégagés ou de zones de stockage non étanchées,

Ce contre quoi on protégera le corps de chaussée :

- ou bien en agissant à l'origine,
- ou bien en disposant des **drains** de fondation parallèlement aux bords de la chaussée à protéger.

Faute de méthode fiable permettant de calculer le diamètre des drains, on retiendra pour celui-ci une valeur comprise entre 80 et 150 mm selon l'importance du débit à évacuer. Tandis que leur pente sera toujours supérieure à 0,15 %, la longueur de ces drains sera, en règle générale, limitée à 300 m pour les petits diamètres et à 400 m pour les plus grands.

Les tranchées, qui auront été ouvertes pour la pose des drains, seront remplies avec un matériau granulaire destiné à faire filtre. Les contraintes granulométriques peuvent être réduites en enveloppant le filtre par un géotextile anti-contaminant. Ainsi, le filtre pourra-t-il être constitué par des gravillons 10/20 ou 20/40, selon que la largeur de la tranchée sera inférieure ou supérieure à 20 cm.



Drain de fondation

Ces tranchées drainantes peuvent aussi être réalisées par pose d'un **écran drainant** composé d'un géotextile entouré d'un matériau filtrant.

Qu'il s'agisse d'accotements non revêtus d'une piste revêtue ou d'une piste non revêtue, la solution la plus simple en amont des drains consiste à disposer une couche drainante sur le fond de forme de l'accotement ou de la chaussée non revêtue, afin de recueillir les eaux d'infiltration et de les acheminer vers les drains longitudinaux. Constituée de préférence par des matériaux concassés, la couche drainante sera de granulométrie ouverte d/D , D étant tel que l'épaisseur de la couche drainante soit supérieure à $2,5 D$. L'interposition éventuelle d'un géotextile anti-contaminant entre le fond de forme et la couche drainante n'exclut pas que

cette dernière se voit substituer un géotextile drainant. L'idéal est alors d'adopter un géotextile qui remplit à la fois les deux fonctions anti-contaminante et drainante.

II.9.3 Construction des chaussées souples :

Les contraintes spécifiques aux chaussées aéronautiques exigent des cadences de mise en œuvre élevées et le respect de tolérances sévères pour obtenir un fini final de bonne qualité. Tant sur le plan de la fabrication que sur le plan de la mise en œuvre les capacités du matériel seront adaptées au chantier à réaliser. Le répandage en grande largeur est recommandé afin de limiter le nombre de joints longitudinaux.

Pour la mise en œuvre des matériaux enrobés, il est souhaitable, afin de diminuer le nombre de joints à froid, de prévoir une cadence élevée en opérant avec plusieurs répandeurs travaillant en parallèle dans le sens longitudinal.

Le guidage des finisseurs, qui est directement fonction de la qualité de mise en place de la couche sous-jacente, se fera, soit à vis calées, soit à l'aide d'un fil ou d'un laser.

Quel que soit le profil en travers, il est souhaitable que les passes des finisseurs aillent du point haut vers le point bas (pente unique) ou les points bas (profil en toit).

Dans tous les cas et quel que soit le nombre de couches, la superposition des joints longitudinaux est à éviter. Il en est de même pour la superposition d'un joint longitudinal avec l'axe de la chaussée, évitant ainsi la conjugaison du phénomène de détrempe créé par le marquage axial et de celui de retrait dû au joint longitudinal.

Les joints de reprise ou joints transversaux seront limités au maximum afin de ne pas altérer la qualité de l'uni.

II.9.4 Construction des chaussées rigides

Avant le démarrage du chantier, des **épreuves de convenue** auront pour but de vérifier que les matériels mis en service ont les performances prévues pour le déroulement du chantier et permettront d'obtenir celles requises par l'ouvrage. On distingue :

- l'épreuve de convenue de fabrication,
- l'épreuve de convenue de mise en œuvre.

Chacune des épreuves de convenue comporte :

- un examen du matériel,

- une vérification de son fonctionnement,
- exécution d'un élément de référence.

Pour l'épreuve de référence qui ne concerne que le béton de dallage, un début d'exécution de la couche de fondation pourra être retenu comme élément test.

Selon que la référence de **guidage de la machine de répandage** sera :

- exceptionnellement son chemin de roulement, le degré d'uni de celui-ci sera au moins égal à celui exigé pour la couche à répandre,
- la couche de chaussée adjacente sera brossée avant le passage du palpeur,
- un fil placé latéralement, ce dernier sera supporté par des potences espacées de 10 m au plus et tendu de telle façon qu'il ne présente pas de flèche.

Le guidage par plan laser est également possible. Il est recommandé, avant répandage, d'arroser la **couche support** du béton afin :

- d'éviter le départ d'eau du béton par succion,
- de refroidir au besoin la couche support par temps chaud.

Les goujons sont disposés horizontalement au droit des joints, perpendiculairement à ceux-ci et à mi- épaisseur des dalles. L'extrémité des goujons ne devra pas en outre s'écarter du plan horizontal de plus de 10 mm vers le haut ou vers le bas.

Chapitre 3 : Evaluation de la portance résiduelle.

III.1 Introduction :

La portance d'une chaussée peut être exprimée :

- Par les valeurs des charges admissibles descendues par les différents types d'atterrisseurs (roue simple isolée, jumelage et boggie) à raison de 10 applications par jour pendant 10 ans,
- Par l'indication du **P.C.N.** qui fait l'objet du chapitre.

III.2 Méthode inverse de dimensionnement :

Par cheminement inverse de celui constituant la méthode de dimensionnement adaptée au même type de chaussée, la connaissance des caractéristiques du sol support et de la structure d'une chaussée permet de déterminer les charges d'atterrisseurs dont l'application est admissible sur une période de dix ans. Cette démarche constitue la base de l'évaluation de la portance d'une chaussée par la méthode inverse de dimensionnement.

Dans le cas des *chaussées souples*, les caractéristiques nécessaires sont le **C.B.R.** du sol porteur et *l'épaisseur équivalente* du corps de chaussée. La méthode inverse n'est applicable avec ces seules données que si la chaussée est normalement constituée et présente des couches de qualité croissante de bas en haut.

Dans le cas des *chaussées rigides*, les caractéristiques sont *l'épaisseur de la dalle* de béton, le module de *réaction corrigé* du sol support et la contrainte admissible de traction par flexion du béton. La méthode inverse est ici moins difficilement applicable car la charge admissible dépend principalement de la dalle de béton dont il est facile de mesurer les caractéristiques.

Cette méthode exige que de nombreux sondages et essais soient réalisés, dont les résultats demeureront généralement incertains du fait de la difficulté d'apprécier certains paramètres (coefficients d'équivalence des couches de chaussée souple, transferts de charge entre dalles de béton, etc...) et du risque de manque de représentativité des sondages.

C'est afin de caler l'utilisation de **la méthode de dimensionnement inverse** qu'un processus d'auscultation par **essais de plaque** est nécessaire. Les essais de plaque consistent à appliquer à la chaussée des charges répétées, suivant des cycles programmés, comportant chacun :

- la mise en charge à vitesse constante, en général 2 tonnes/seconde,
- le maintien de la charge en palier pendant 10 secondes,
- le déchargement rapide,
- l'observation d'un palier à charge nulle pendant encore 10 secondes.

Les déformations mesurées par capteurs sont enregistrées pendant les cycles pour un traitement informatique. Un grand nombre de paramètres peut ainsi être stocké.

III.2.1 Cas d'une chaussée souple :

L'essai de plaque sur une chaussée souple a pour but de caractériser le comportement à la fatigue du complexe constitué par la chaussée et son sol support en déterminant **la charge de service** qui, appliquée 10 000 fois à la surface de la chaussée, provoquerait **un tassement limite estimé admissible**.

a) principe de l'essai :

La chaussée est soumise à des cycles de chargement et de déchargement sous des charges croissantes choisies de façon à encadrer la valeur supposée de la charge de service. Ainsi qu'il a déjà été indiqué, de nombreuses expérimentations ont montré que la déformation résiduelle après déchargement croissait à peu près linéairement avec le logarithme du nombre d'applications.

Cette loi est ici utilisée pour calculer la valeur du tassement après 10 000 cycles à partir de celui mesuré à l'issue des 10 premiers. La courbe donnant le tassement résiduel après 10 000 cycles en fonction des charges d'essais peut alors être tracée. Selon l'allure de cette courbe et la constitution de la chaussée, une valeur de **tassement résiduel maximal** est choisie qui permet d'avoir sur la courbe la valeur de la **charge de service** à l'emplacement de l'essai.

b) Mode opératoire :

Le diamètre de la plaque d'essai est choisi de façon que la pression moyenne appliquée à la chaussée reste dans le domaine des pressions habituelles des pneumatiques des avions fréquentant l'aérodrome. Ainsi les diamètres de 42 cm et 65 cm sont-ils en général respectivement retenus pour les charges inférieures à 20 t et pour celles comprises entre 20

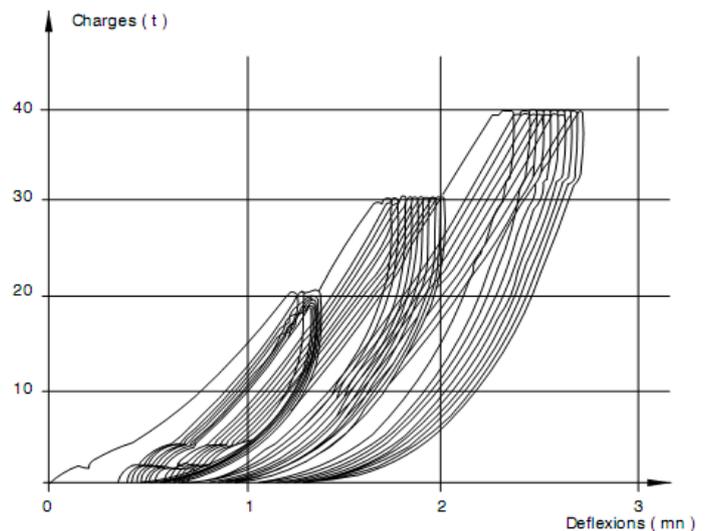
et 50 t. Cinq capteurs sont fixés sur une poutre de référence de façon à mesurer les déformations de la chaussée sur une longueur telle que puisse être définie l'allure de la cuvette de déflexion (un capteur de référence au travers de la plaque et quatre capteurs disposés à intervalles réguliers).

Les charges d'essai font chacune l'objet de dix cycles d'application, la première étant choisie sensiblement en dessous de la valeur supposée de la charge de service. Les suivantes sont définies en fonction des tassements obtenus avec les charges précédentes.

Il suffit généralement de trois ou quatre séries de dix cycles d'application, dont la plage recouvre de manière croissante la charge de service supposée, pour que le traitement des résultats permette de fixer la valeur à retenir pour celle-ci. La figure ci-après reproduit le relevé d'un essai de chargement.



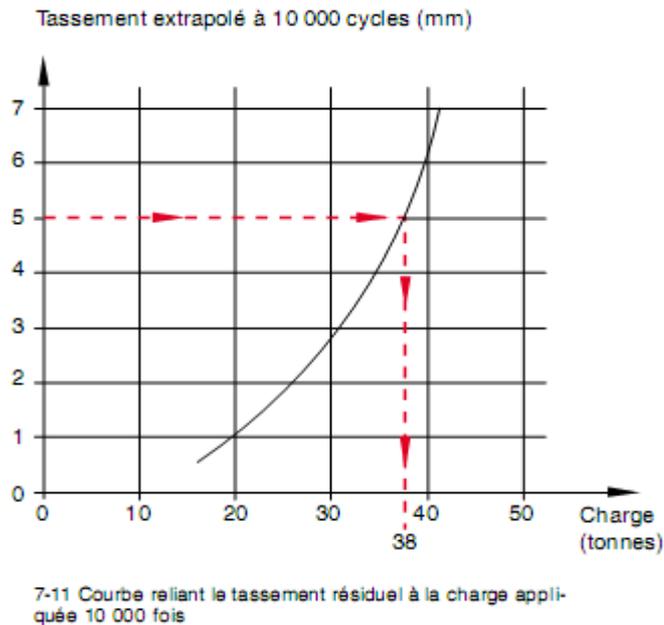
Poutre, capteurs et plaque



7-10 Relevé d'un essai à trois séries de dix cycles de chargement

c) Exploitation des mesures :

Les tassements résiduels mesurés sous la plaque au cours de chaque cycle font l'objet d'un traitement informatique ayant pour but de déterminer, pour la charge correspondant à chacun d'eux, le tassement résiduel extrapolé à 10 000 applications.



Peut ainsi être tracé le segment utile de la courbe qui relie ces valeurs extrapolées aux charges correspondantes et dont la figure ci-contre donne un exemple facilement exploitable.

La charge admissible pour le point considéré, ou charge de service, est la valeur correspondant à un tassement résiduel limite estimé admissible. Cette valeur est choisie entre 2,5 et 5,0 mm.

III.2.2 Cas d'une chaussée rigide :

L'essai de plaque sur une chaussée rigide a pour but de déterminer la **charge de service** provoquant la contrainte maximale admissible de traction par flexion en un point de la dalle de béton où elle peut être mesurée.

a) Principe de l'essai :

Les dalles testées sont chargées en coin de manière à ce que les contraintes de traction par flexion se développent sur leur face supérieure. Seules naturellement ont valeur de test les dalles non fissurées dans cette zone.

La contrainte maximale étant alors située sur la bissectrice de l'angle du coin de dalle, le principe de l'essai consiste à disposer une série de capteurs sur cette bissectrice afin de déterminer, pour chaque essai de chargement, l'élongation maximale correspondant elle-même à la contrainte maximale de traction dans le béton.

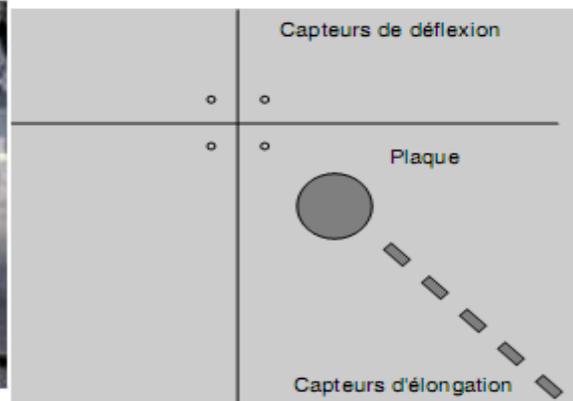
b) Mode opératoire :

La pression d'application ayant peu d'influence sur les résultats pour les chaussées rigides, seule la plaque de 42 cm de diamètre est utilisée.

Cinq capteurs d'élongation sont disposés sur la bissectrice de l'angle du coin chargé, au droit duquel ils sont associés à un capteur de déflexion. Placés sur les trois autres coins des dalles adjacentes, trois autres capteurs de déflexion complètent le dispositif afin d'évaluer la qualité des transferts de charge. Les quatre capteurs de déflexion sont fixés à une poutre de référence dont les appuis sont suffisamment éloignés du point d'application de la charge.



Capteurs en coin de dalle et sur la bissectrice de l'angle du coin chargé



7-12 Disposition des capteurs concourant à un essai de chargement en coin de dalle d'une chaussée rigide

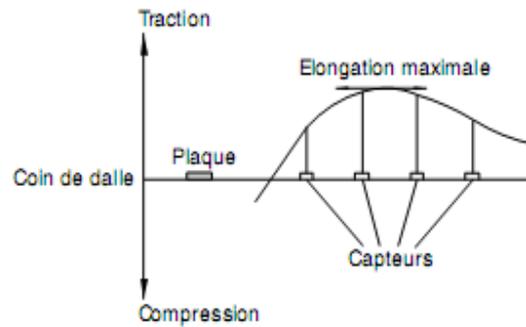
Un pré-chargement comprenant un ou deux cycles à 5 t est tout d'abord réalisé pour caler les zéros des capteurs d'élongation et connaître la réponse de la dalle. Les séries de cycles de chargements à des charges croissantes par pas fixe (pouvant varier de 5 à 10 t) sont ensuite réalisées à partir d'une valeur initiale déterminée par le pré-chargement.

Chaque charge fait l'objet de quatre cycles afin de stabiliser la valeur de l'élongation sous chacun des capteurs. L'essai est normalement arrêté lorsque l'élongation maximale relative de la surface du béton atteint $100 \cdot 10^{-6}$ de façon à éviter toute rupture de dalle.

Est également mesurée, pour chaque cycle de charge, la déflexion au coin de la dalle testée, dont l'ensemble des valeurs sera aussi exploité.

c) Exploitation des mesures :

Les capteurs permettent de mesurer, pour chaque série de chargement, plusieurs élongations sur la bissectrice de l'angle du coin chargé, entre lesquelles une fonction d'ajustement permet de déterminer la valeur maximale atteinte sur cette même bissectrice. Il est donc possible d'étudier l'évolution de cette élongation maximale en fonction de la charge.



7-13 Détermination graphique à partir des valeurs mesurées de l'élongation maximale correspondant à une série de chargement

La **charge de service** pour le coin de dalle considéré sera la plus petite des deux valeurs suivantes :

- celle correspondant à l'élongation maximale admissible, celle-ci étant déduite des caractéristiques du béton (module d'élasticité et contrainte admissible de traction par flexion) fournies, soit par les essais spécifiques correspondants, soit par les documents d'archives,
- celle correspondant à la charge provoquant **l'enfoncement maximal admissible**, pour lequel la valeur de 2 mm est généralement choisie.

d) Evaluation des transferts de charge:

Les capteurs de déflexion disposés en coins permettent d'apprécier les conditions de transferts de charge et d'appui des dalles.

L'indice de **transfert de charge** pour le coin chargé est égal au rapport entre la déflexion mesurée sur ce dernier et la somme des quatre déflexions mesurées. Il varie par suite entre 1 (absence de transfert de charge) et 0,25 (parfait transfert de charge).

III.3 Exploitation de l'ensemble des essais de plaque:

L'auscultation des infrastructures d'un aérodrome comprend un nombre relativement important (80 à 100 sur un aérodrome moyen) d'essais de plaque non destructifs permettant d'apprécier l'homogénéité de comportement de ses chaussées.

Les essais, qui ont été décrits précédemment, fournissent en chaque point une **charge de service** pour une roue simple isolée d'avion. La méthodologie de détermination des **charges admissibles** pour l'ensemble de l'aire auscultée suit alors les étapes ci-après.

III.3.1 Caractérisation des chaussées souples :

La **charge de service** « P_s » correspondant à une **zone homogène** est généralement prise comme étant la moyenne \bar{P} des valeurs obtenues au cours des essais de plaque diminuée de l'écart type δ ($P_s = \bar{P} - \delta$). Les mesures d'identification in situ et en laboratoire fournissent les caractéristiques :

- du sol support, dont notamment son indice **C.B.R.**
- des matériaux constituant les couches de chaussée. Déduites de cette identification, les valeurs des **Coefficients d'équivalence** des différentes couches sont adaptées en fonction de l'état et de l'âge de la chaussée.

La méthode de caractérisation de chaque zone homogène consiste alors à comparer la charge de service provenant des essais de chargement de plaque (et par suite associée à la valeur du tassement résiduel choisi) et celle donnée par la **méthode inverse de dimensionnement** (associée aux coefficients estimés d'équivalence des couches de chaussée et à l'indice C.B.R. du sol support). Lorsque ces valeurs sont voisines, la zone homogène est caractérisée par :

- l'indice C.B.R. du sol support,
- l'épaisseur équivalente du corps de chaussée,
- les charges admissibles P_a (roue simple isolée (R.S.I.), jumelage (J) et boggie (B)) déduites des **abaques de dimensionnement** des différents types d'**atterrisseurs** à partir des deux données précédentes.

III.3.2 Caractérisation des chaussées rigides :

La **charge admissible** P_a résultera de la *comparaison* des deux charges suivantes :

- celle P_c résultant des essais de plaque en coins de dalles,
- celle P_m fournie par la **méthode inverse de dimensionnement**.

a)- charge résultant des essais de plaque en coins de dalle P_c

La **charge de service** résultant des essais de plaque est ici la moyenne \bar{P} diminuée de l'écart type δ ($P_c = \bar{P} - \delta$) de la plus faible des deux séries de charges correspondant respectivement à :

- celles produisant dans le béton une contrainte de traction maximale égale à la contrainte admissible σ_a correspondant à l'élongation admissible mesurée,

- celles induisant un enfoncement vertical admissible, pour lequel, comme déjà indiqué, on retient habituellement la valeur de 2 mm.

Rappelons que la contrainte admissible σ_a est liée, par l'intermédiaire d'un coefficient de sécurité CS à la contrainte σ_r de rupture du béton, par traction à la flexion, mesurée par le laboratoire :

$$\sigma_a = \frac{\sigma_r}{CS}$$

Et que ce coefficient de sécurité dépend du type des dispositifs de transfert de charge et de leur qualité (varie-t-il entre 1,8 pour les joints munis de transfert de charge efficace et 2,6 dans le cas contraire). Compte tenu de la difficulté à apprécier la valeur à lui donner, ce coefficient sera, *dans un premier temps*, pris égal à 1,8.

b)- charge résultant du dimensionnement inverse P_m

Cette charge P_m est déterminée moyennant la connaissance :

- du **module de réaction** du sol support, corrigé en fonction de l'épaisseur de la couche de fondation K_c ;
- de l'épaisseur de la dalle de béton h ,
- de la contrainte admissible de traction par flexion σ_a déterminée précédemment,

Tous ces paramètres provenant des sondages.

c)- charges admissibles P_a

La comparaison de P_c et de P_m conduit naturellement à considérer trois cas, à savoir :

1. celui peu fréquent où P_c est supérieur à P_m et où, par conséquent, le chargement le plus contraignant est celui correspondant à l'application de la méthode inverse, auquel cas le coefficient de sécurité CS à retenir, pour la détermination des charges admissibles (R.S.I.), (J) et (B) conservera la valeur de 1,8 initialement choisie,
2. celui où P_c est égal à P_m où, par conséquent, les deux cas de chargement sont équivalents et où la chaussée sera caractérisée comme précédemment,
3. celui enfin où P_c est inférieur à P_m et où, par conséquent, le cas de chargement en coin de dalle s'avère être le plus contraignant. La valeur de P_c est alors choisie pour valeur devant servir de point de départ à la détermination, par la méthode inverse de dimensionnement, des charges admissibles (R.S.I.), (J) et (B) et préalablement à celle du coefficient CS.

Chapitre 4 : Gestion & suivi des chaussées aéronautiques.

IV.1 Introduction :

Il convient, avant toute autre considération, de faire observer qu'il ne peut y avoir de gestion efficace des chaussées aéronautiques sans un suivi régulier et rigoureux de leur état de surface et de leur structure.

IV.2 La méthode A.C.N. - P.C.N.

La méthode A.C.N.-P.C.N est un système international normalisé de communication de renseignements permettant de déterminer l'admissibilité d'un avion sur un aéroport en fonction de la résistance des chaussées de la plate-forme concernée.

Élaborée par l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (O.A.C.I), imposée aux constructeurs d'avions, cette méthode est applicable, depuis 1983, par l'ensemble des États membres pour la gestion de leurs aéroports.

IV.2.1 Présentation de la méthode A.C.N. - P.C.N.

- L'A.C.N. (Aircraft Classification Number) est un nombre exprimant l'effet d'un avion de type donné sur une chaussée de type également donné (souple ou rigide) pour une **catégorie** spécifiée **de sol support**.
- Le P.C.N. (Pavement Classification Number) est un nombre exprimant la portance d'une chaussée donnée.

La **méthode A.C.N. - P.C.N.**, dont les conditions d'application sont développées par la suite, peut se résumer par le principe général suivant:

- Le P.C.N. d'une chaussée indique qu'un avion dont l'A.C.N. est inférieur ou égal à ce P.C.N. peut utiliser cette chaussée sans autre restriction que celle pouvant être liée à la pression des pneumatiques.

- Ainsi, un avion peut utiliser sans restriction une chaussée si deux conditions sont simultanément vérifiées, à savoir que :
 - l'A.C.N. de l'avion - déterminé pour le type de chaussée (souple ou rigide) et la catégorie de son sol support - soit inférieur ou égal au P.C.N. de cette chaussée,
 - la pression des pneumatiques de l'avion n'excède pas la pression maximale admissible publiée pour la chaussée.

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

IV.2.2 Détermination des A.C.N :

IV.2.2.1 Détermination théorique :

L'A.C.N. d'un avion est un nombre qui, par définition, est égal à deux fois la charge, calculée en tonnes, sur une roue simple, gonflée à 1,25 MPa, équivalente (R.S.E.) à l'atterrisseur principal de l'avion considéré dont les pneus sont gonflés à la pression standard q donnée par le constructeur.

Sa détermination, pour un type de chaussée et pour une catégorie de sol support, résulte donc de deux étapes successives, à savoir :

- détermination, par la méthode américaine adaptée, de l'épaisseur équivalente du corps de chaussée (pour une chaussée souple) ou de celle de la dalle de béton (pour une chaussée rigide) qui devrait être associée à telle catégorie de sol support pour supporter l'atterrisseur à la pression q ,
- détermination de la charge en tonnes sur roue simple gonflée à 1,25 MPa correspondant à cette épaisseur.

L'A.C.N. ainsi obtenu n'est associé qu'à la pression q , au type de chaussée (souple ou rigide), et à la catégorie de sol support.

IV.2.2.2 Détermination pratique :

Les A.C.N. des principaux avions existants sont fournis, à vide et à pleine charge, pour chacun des deux types de chaussées et pour quatre **catégories de sol support**, défini lui-même, soit par son C.B.R., pour les chaussées souples, soit par son module de réaction, pour les chaussées rigides comme indiqué dans le tableau ci-après :

	<i>Catégorie du sol support</i>	<i>Valeurs du CBR ou du K (a)</i>
A	<i>Résistance élevée</i>	<i>CBR > 13 K > 120 MN/m³</i>
B	<i>Résistance moyenne</i>	<i>8 ≤ CBR ≤ 13 60 ≤ K ≤ 120 MN/m³</i>
C	<i>Résistance faible</i>	<i>4 ≤ CBR ≤ 8 25 ≤ K ≤ 60 MN/m³</i>
D	<i>Résistance ultra-faible</i>	<i>CBR < 4 K < 25 MN/m³</i>

(a) module de réaction K corrigé à l'aide de l'abaque reproduit par la figure 5-12

8-1 Classification par catégories des sols supports de chaussée

La **publication** par l'O.A.C.I. de ces valeurs de l'A.C.N., qui peuvent être également trouvées dans l'Airport Planning édité par le constructeur de l'avion, porte également indication de :

- la pression standard *q* des pneumatiques,
- la part de charge *V_s* exprimée en pour-cent, descendue par l'atterrisseur principal.

Le tableau ci-après donne un exemple d'A.C.N. publié.

<i>Type d'avion</i>	<i>Masses (kg) maximale minimale</i>	<i>V_s (%)</i>	<i>q (Mpa)</i>	<i>ACN</i>				<i>ACN</i>			
				<i>Chaussée souple</i>				<i>Chaussée rigide</i>			
				<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
<i>A 300 B2</i>	<i>142 900</i>	<i>46,8</i>	<i>1,24</i>	<i>41</i>	<i>46</i>	<i>54</i>	<i>71</i>	<i>37</i>	<i>45</i>	<i>53</i>	<i>61</i>
	<i>86 300</i>			<i>21</i>	<i>23</i>	<i>26</i>	<i>35</i>	<i>19</i>	<i>22</i>	<i>26</i>	<i>30</i>

8-2 Forme observée par la publication des A.C.N.

En pratique, il convient de comparer au P.C.N. d'une chaussée donnée l'A.C.N. de tel ou tel avion correspondant à la charge roulante maximale sur l'aérodrome considéré.

On admet pour ce faire que pour un avion donné ayant une masse *M* comprise entre ses masses maximale *M* et minimale *m* publiées, l'A.C.N. varie linéairement entre ces deux masses. Le calcul découle alors d'une simple interpolation en utilisant la formule suivante :

$$A.C.N. = A.C.N_{\min} + (A.C.N_{\max} - A.C.N_{\min}) \times \frac{M_i - m}{M - m}$$

Avec:

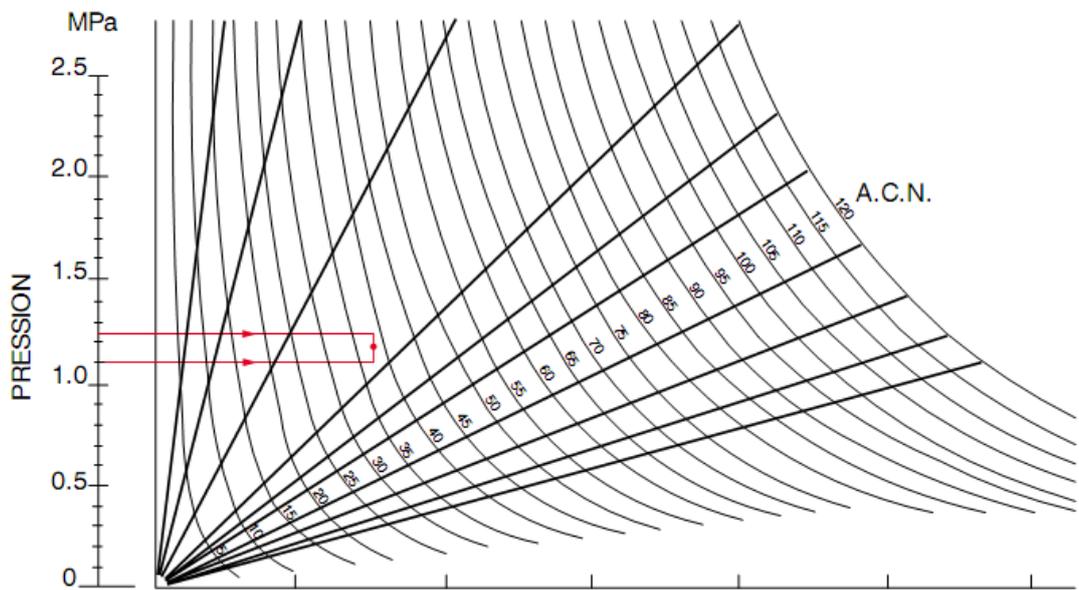
- *M_i*: Masse réelle de l'avion
- *M*: Masse de l'avion à charge maximale
- *m*: masse de l'avion à charge minimale
- *ACN_{min}*: ACN à la charge minimale de l'avion
- *ACN_{max}*: ACN à la charge maximale de l'avion

Toutefois, si la pression de gonflage effective des pneumatiques q diffère de la pression standard q de plus de **0,1 MPa** une correction de la valeur de l'A.C.N. sera effectuée selon les indications suivantes :

- Pour les chaussées souples, l'A.C.N. corrigé résulte de l'application de la formule :

$$A.C.N._{corrigé} = A.C.N. \times \frac{\frac{1}{0,5695 CBR} - \frac{1}{32,035 q'}}{\frac{1}{0,5695 CBR} - \frac{1}{32,035 q}}$$

- Pour les chaussées rigides, on utilise l'abaque suivant :



(l'exemple choisi illustre la correspondance d'un A.C.N. de 39, à une pression de 1,25 MPa, à un A.C.N. de 37, à une pression de 1,10 MPa)
 8-3 Abaque permettant, pour les chaussées rigides, la correction de l' A.C.N. en fonction de la pression de gonflage des pneumatiques de l'atterrisseur principal

IV.2.3 Détermination des P.C.N :

L'annexe 14 de l'OACI impose aux gestionnaires d'aérodromes de déclarer la capacité portante des chaussées aéronautiques en termes d'indices PCN, sans cependant imposer une méthode pour leur détermination. L'indice PCN est un nombre sans unités, affecté d'un code de 4 lettres apportant les renseignements suivants:

Type de chaussée	Catégorie du support			Pression pneumatique	Méthode d'évaluation
	Code	CBR (chaussée souple)	K (chaussée rigide)		
[-]	[-]	[%]	[MN/m ²]	[MPa]	[-]
R = rigide	A: élevé	> 13	> 120	W: pas de limitation X: ≤ 1.5 Y: ≤ 1.0 Z: ≤ 0.5	U: Expérience T: Technique
F = flexible	B: moyenne	8 .. 13	60 ... 120		
	C: bas	4..8	25 60		
	D: très bas	< 4	< 25		

Si la capacité portante d'une chaussée souple reposant sur un support de classe moyenne a été déterminée à 62 par une évaluation technique et sans limitation de pression des pneumatiques, alors l'information reportée doit être: **PCN 62/F/B/W/T**.

IV.2.3.1 Principe et codification :

Le P.C.N représentant la force portante d'une chaussée donnée, sa valeur est dépendante des caractéristiques de son sol support et des matériaux constituant son corps de chaussée.

Un P.C.N. déterminé «par expérience» à partir du trafic reçu par l'aérodrome peut également être publié lorsque les caractéristiques géotechniques déterminantes sont mal connues, soit parce qu'elles n'ont jamais fait l'objet d'une évaluation, soit parce que cette dernière est trop ancienne pour être valablement prise en compte.

La méthode d'évaluation du P.C.N. d'une chaussée étant laissée à l'initiative de chaque pays membre de l'O.A.C.I., la France dispose des méthodes de détermination par :

- le calcul forfaitaire,
- le calcul optimisé,
- la détermination par expérience.

Au P.C.N., qui est donc ou bien issu du calcul ou bien déterminé par expérience, sont associées, pour sa publication, quatre lettres indicatrices respectivement :

- du type de chaussée concernée :
 - ✓ F pour une chaussée souple,
 - ✓ R pour une chaussée rigide,
- de la catégorie du sol support A, B, C ou D, (se reporter au tableau)
- de la pression de gonflage maximale des pneumatiques :
 - ✓ W : pas de limite de pression (cas général),
 - ✓ X : pression limitée à 1,50 MPa,
 - ✓ Y : pression limitée à 1,00 MPa,

- ✓ Z : pression limitée à 0,50 MPa,
- de la base d'évaluation:
 - ✓ T: détermination par calcul,
 - ✓ U : détermination par expérience.

IV.2.3.2 Détermination du P.C.N. par calcul

A. Le calcul forfaitaire du P.C.N. :

Permet de déterminer ce dernier à partir des seules caractéristiques de la chaussée, sans qu'il soit par conséquent fait référence au trafic qu'elle reçoit. Il passe par la détermination, à l'aide de *l'abaque de dimensionnement*, de la charge maximale admissible RSI pouvant lui être appliquée par une roue simple isolée gonflée à 0,6 MPa, charge maximale dont la valeur est ensuite majorée par un coefficient fonction lui-même de la catégorie du sol support.

$$P.C.N. = H (CBR) x RSI \text{ ou } P.C.N. = G (K) x RSI$$

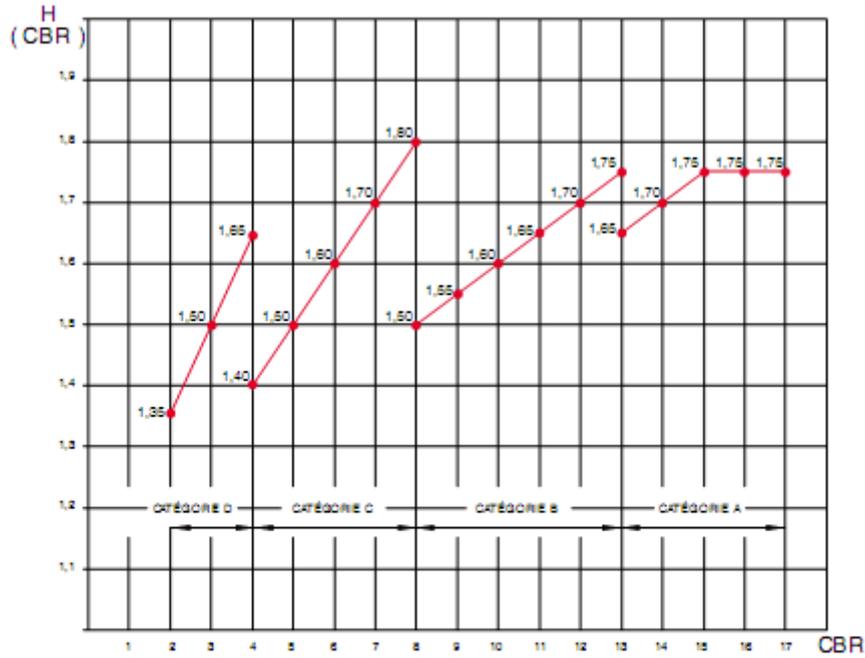
Les abaques ci-après permettent l'évaluation des coefficients H ou G. À noter que la charge maximale admissible peut également, pour les chaussées souples, être obtenue de manière plus précise par application de la formule suivante :

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

Dans laquelle :

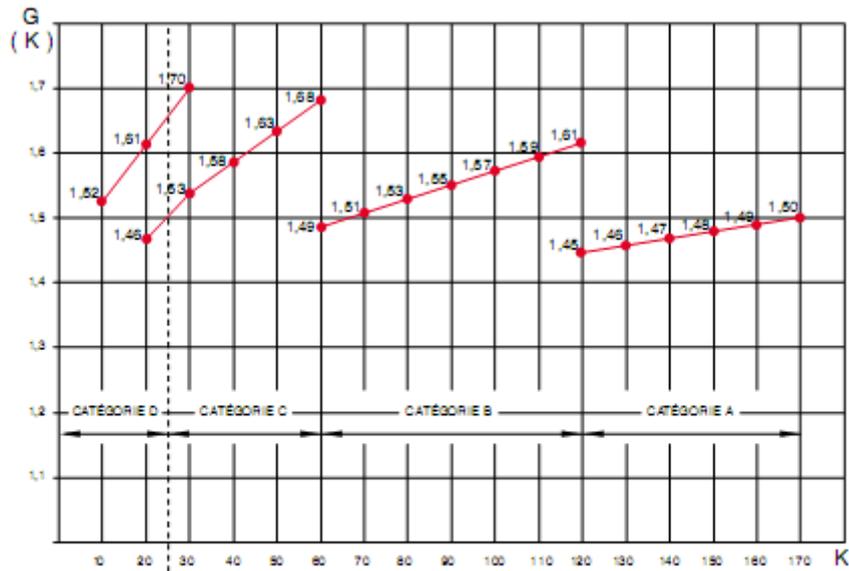
- e est l'épaisseur équivalente de la chaussée exprimée en centimètres,
- les logarithmes sont décimaux,
- RSI est exprimé en tonnes.

Bien qu'approchées, les valeurs de P.C.N. obtenues par calcul forfaitaire caractérisent la portance réelle et expriment une bonne connaissance de la chaussée. Elles supposent, par suite, que son auscultation ait été récemment effectuée et doivent être publiées en code T.



Abaque 1 Valeurs du coefficient H (CBR) pour le calcul du P.C.N. approché des chaussées souples

8-4 Abaques participant au calcul forfaitaire du P.C.N.



Abaque 2 Valeurs du coefficient G (K) pour le calcul du P.C.N. approché des chaussées rigides

Ignorant le trafic, ce code forfaitaire ne permet pas au gestionnaire un choix clair sur son mode de gestion de la plate-forme.

Remarque : Si la chaussée étudiée est justifiable d'un coefficient de **pondération des charges** réelles dépendant de la fonction de cette chaussée, le P.C.N. calculé comme il vient d'être indiqué doit être divisé par ce coefficient.

B. Le calcul optimisé du P.C.N. :

Le **calcul optimisé du P.C.N.** sera choisi chaque fois que seront à la fois connus les caractéristiques de la chaussée et le **trafic de référence**, ce dernier ne prenant en compte que les avions ayant un effet significatif sur la chaussée.

Le **trafic de référence** sera :

- pour une chaussée neuve, celui pris pour base de dimensionnement,
- pour une chaussée existante, celui qui, acceptable par la plate-forme, ou bien fréquente régulièrement celle-ci, ou bien est prévu à plus ou moins court terme.

La valeur du P.C.N. résultant de son calcul optimisé est égale à la somme des A.C.N. des avions du trafic de référence à leur charge admissible pondérés par la part t' de trafic de référence prise par chacun d'eux :

$$P.C.N. = A.C.N._1 \times t'_1 + A.C.N._2 \times t'_2 + \dots A.C.N._n \times t'_n$$

Le P.C.N. ainsi déterminé sera par suite publié avec le code T.

Le P.C.N. optimisé est le mieux adapté à une gestion économique de la plate-forme. Conduisant à des sous-évaluations pour les chaussées surdimensionnées, sa valeur pourra être relevée ultérieurement en fonction du développement de la plate-forme.

Remarque : Dans le calcul du P.C.N. optimisé, ne sont pris en compte que les avions dont la part des mouvements équivalents est considérée comme significative. Cette part est fixée comme étant supérieure ou égale à 1%.

IV.2.4 Application pratique de la méthode

IV.2.4.1 Admissibilité d'un avion

La méthode A.C.N. - P.C.N. est utilisée pour connaître les conditions de recevabilité sur une plate-forme d'un avion à sa charge réelle. Elle consiste en la comparaison de l'A.C.N. de l'avion au P.C.N. de la chaussée:

- si A.C.N. = P.C.N. : l'avion est admissible
- si A.C.N. > P.C.N. : on applique la procédure réservée à cette situation

IV.2.4.2 Cas de dépassement du P.C.N.

Deux cas sont à considérer :

Cas 1: - P.C.N. < A.C.N. = 1,1 P.C.N. pour les chaussées souples

- P.C.N. < A.C.N. = 1,05 P.C.N. pour les chaussées rigides

Dans ce cas, l'avion peut être autorisé sous réserve que le nombre annuel n de mouvements réels en surcharge n'excède pas 5 % du total annuel des mouvements réels contenus dans le **trafic de référence** N : $n \leq 0,05 N$

Si d'autres avions ont auparavant subi la même procédure, il convient d'inclure dans n leur nombre de mouvements réels.

Si la **règle des 5%** n'est plus respectée, il convient de calculer le trafic équivalent total et de suivre alors la procédure du cas 2.

Cas 2: - A.C.N. > 1,1 P.C.N. pour les chaussées souples

- A.C.N. > 1,05 P.C.N. pour les chaussées rigides
- ou condition précédente non respectée

Si le P.C.N. est affecté du code U, la méconnaissance des caractéristiques de la chaussée devrait, sauf atterrissage d'urgence, inciter à refuser l'avion.

Si le P.C.N. est affecté du code T, il convient de se ramener à la charge admissible P_a du type d'avion considéré pour la chaussée, charge admissible donnée par la relation :

$$P_a = m + (M-m) \times \frac{P.C.N. - A.C.N._{min}}{A.C.N._{max} - A.C.N._{min}}$$

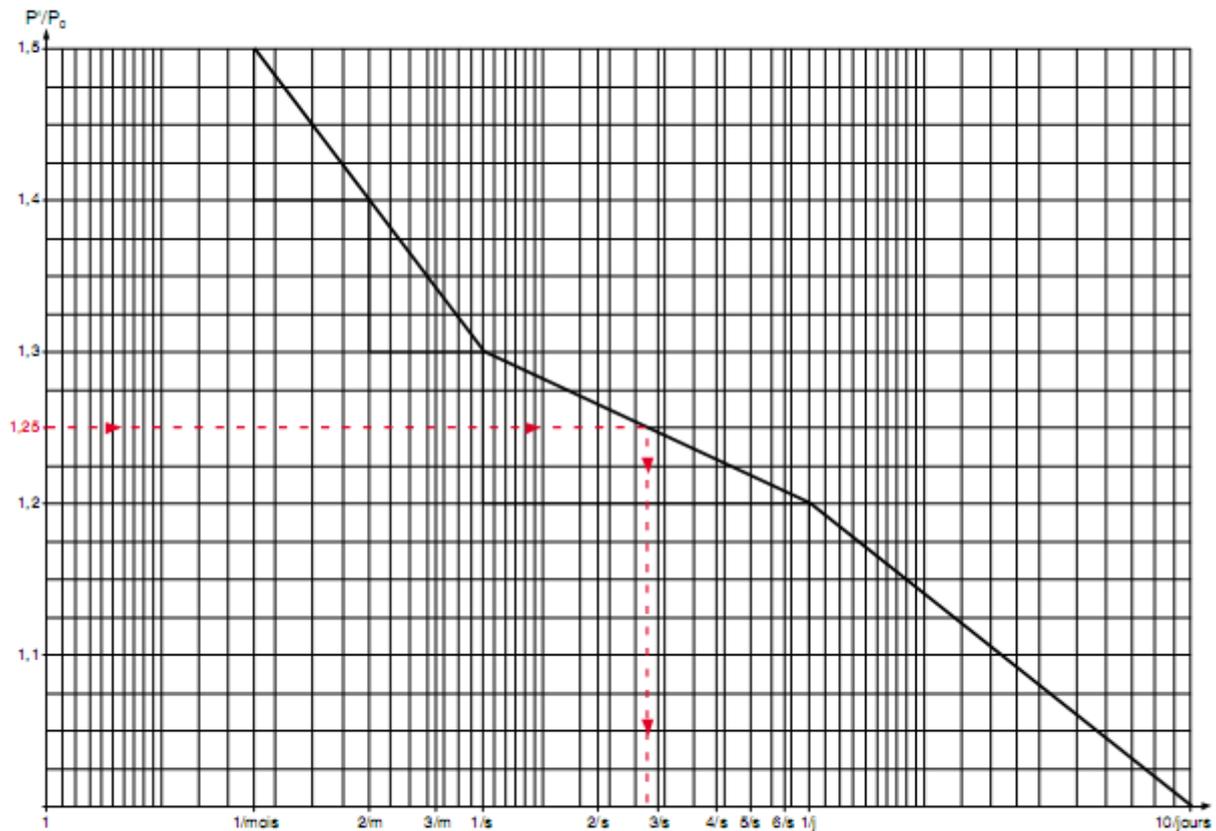
Dans laquelle :

- M est la masse maximale au roulage
- m est la masse à vide en ordre d'exploitation.

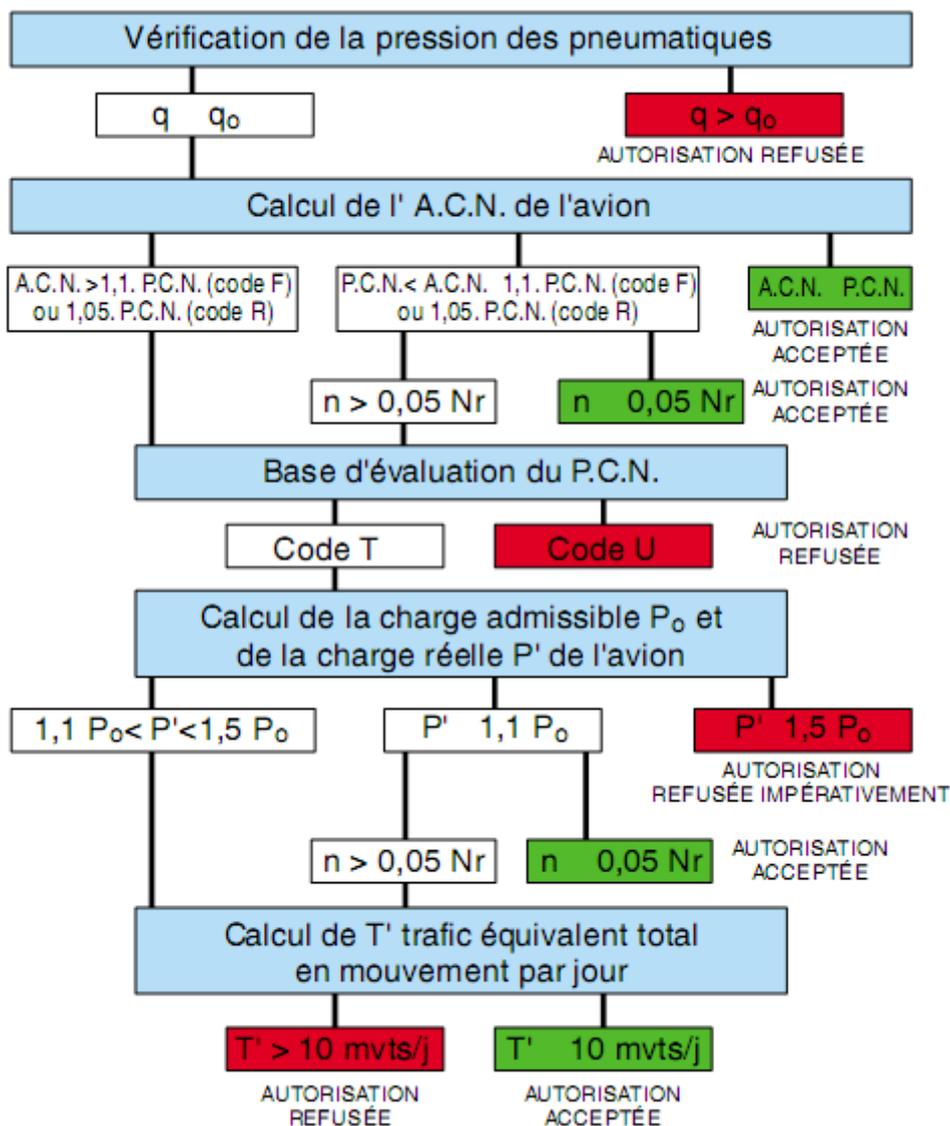
On compare alors cette charge admissible P_a à la charge réelle prévue pondérée P' pour chaque aire concernée:

- Si $P' \leq 1,1$: l'avion peut, toujours sur l'aire concernée, être accepté sous réserve de respecter la règle des 5%,
- Si $1,1.P_a < P' < 1,5.P_a$: dans ce cas, il convient de calculer le trafic équivalent total journalier T' que supporte la chaussée:
 - Si $T' > 10$ mouvements équivalents par jour, l'atterrissage doit être refusé à moins d'admettre une usure rapide des chaussées.
 - Si $T' = 10$ mouvements équivalents par jour, l'avion peut être autorisé à sa charge réelle P , mais en limitant sa fréquence aux valeurs indiquées par le graphique ci-après.
- $P' > 1,5.P_a$: l'autorisation d'atterrissage doit être impérativement refusée sauf urgence.

Le graphique reproduit ci-après permet d'intrapoler entre les valeurs extrêmes données par le tableau précédent.



8-5 Nombre de mouvements pouvant être autorisés en cas de dépassement du P.C.N. calculé



LÉGENDE

q : pression réelle de gonflage des pneumatiques de l'avion

q₀ : pression limite de gonflage des pneumatiques

IV.2.5 Applications:

IV.2.5.1 Application1:

Un avion de type A300 B2 est prévu à une masse réelle de 130 tonnes pour une pression effective de gonflage des pneumatiques $\dot{q} = 1,10 \text{ Mpa}$ sur une piste pour laquelle les renseignements sont communiqués par : $PCN = 48 \text{ F/C/W/T}$. Si le CBR du sol support est 7 :

- Déterminer l'ACN de l'avion à sa masse réelle et pour la pression réelle de gonflage des pneumatiques et vérifier si cet avion peut utiliser la piste.

Type d'avion	Masses (kg) maximale minimale	V_s (%)	q (Mpa)	ACN				ACN			
				Chaussée souple				Chaussée rigide			
				A	B	C	D	A	B	C	D
A 300 B2	142 900	46,8	1,24	41	46	54	71	37	45	53	61
	86 300			21	23	26	35	19	22	26	30

8-2 Forme observée par la publication des A.C.N.

Solution:

- l'ACN de l'avion à sa masse réelle et pour la pression standard des pneumatiques:

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

$$ACN = 26 + (54 - 26) \frac{130000 - 86300}{142900 - 86300} = 48$$

Les pressions réelles et standard de gonflage des pneumatiques diffèrent sensiblement $q = 1,24 \text{ Mpa}$ et $\dot{q} = 1,10 \text{ Mpa}$ ($|q - \dot{q}| \geq 0,10 \text{ Mpa}$) , il convient de procéder à une correction de l'ACN :

$$ACN_{corrigé} = ACN * \frac{\frac{1}{0,5695 * CBR} - \frac{1}{32,035 * \dot{q}}}{\frac{1}{0,5695 * CBR} - \frac{1}{32,035 * q}}$$

$$ACN_{corrigé} = 48 * \frac{\frac{1}{0,5695 * 7} - \frac{1}{32,035 * 1,10}}{\frac{1}{0,5695 * 7} - \frac{1}{32,035 * 1,24}} = 48 * 0,985 = 47$$

L'ACN de l'avion 47 est inférieur au PCN de la piste 48, donc l'avion peut donc admis sans restriction.

IV.2.5.2 Application2: Calcul de PCN par la méthode forfaitaire

Une chaussée souple sur laquelle aucune donnée de trafic n'existe, est caractérisée par une épaisseur équivalente de 55cm et un CBR de 6 (catégorie C). Aucune limite de pression des pneumatiques n'est prescrite.

- Calculer la valeur de PCN qui exprime la portance de la chaussée et indiquer la valeur publiable.

Solution:

$$P.C.N. = H (CBR) \times RSI \text{ ou } P.C.N. = G (K) \times RSI$$

Avec RSI est calculé par la formule CBR (ou abaque)

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

$$RSI = 13,500 \text{ tonnes}$$

Le coefficient H(CBR) est égal à 1,60 pour la catégorie C de résistance de sol support la valeur de PCN est : $PCN = 13,50 * 1,60/1 = 22$ (le coefficient de pondération=1)

La valeur publiable :

$$PCN = 22 \text{ F/C/W/T}$$

IV.2.5.3 Application3:

Pour une chaussée donnée les renseignements sont communiqués par :

$$PCN = 46 \text{ R/B/W/T}$$

Si on considère que cette chaussée va recevoir le Boeing727-200, quelle sera la charge admissible Pta de Boeing727-200.

- M=78471 kg ACN_{max}=48
- m=44293 kg ACN_{min}=25

Solution:

A partir de la relation : $ACN = ACN_{min} + (ACN_{max} - ACN_{min}) \frac{M_t - m}{M - m}$:

On considère que le PCN de la chaussée égal au ACN de l'avion puis on calcul la masse ou la charge admissible :

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

$$M_t = Pta = \frac{(46 - 25)}{(48 - 25)} (78471 - 44293) + 44293 = 75499 \text{ kg}$$

IV.3 Entretien & réfection des chaussées aéronautiques:

Entrent dans le domaine de l'entretien, les interventions courantes qui permettent de maintenir ou de remettre les chaussées en état de service, sans volonté d'améliorer les qualités structurelles de celles-ci.

Ces interventions se distinguent en cela des travaux de **réfection** et de **renforcement**. L'**entretien** peut avoir séparément ou à la fois pour **objectifs** :

- celui préventif tendant à ralentir le processus de dégradation de la chaussée et à retarder le recours à des techniques plus lourdes de réfection,
- celui curatif visant à redonner à la chaussée des caractéristiques fonctionnelles suffisantes.

Rappelons à cet égard que l'entretien des chaussées aéronautiques suppose un **suiti** régulier et rigoureux de leur état de surface et de leur structure.

IV.3.1 Entretien général des chaussées aéronautiques

L'entretien général des chaussées aéronautiques recouvre principalement les opérations de balayage, de dégommege et d'entretien des marques de balisage.

a) Le balayage des chaussées aéronautiques

Le balayage des pistes, des voies de circulation et des aires de stationnement consiste à les débarrasser des divers objets (essentiellement des granulats arrachés au revêtement ou aux accotements mal stabilisés) généralement de petites dimensions et susceptibles de détériorer les hélices et les réacteurs. Il est nécessaire d'y procéder assez fréquemment afin de se prémunir contre ce risque.

b) Le dégommege des chaussées aéronautiques

Dû à l'échauffement des pneumatiques lors de la mise en rotation des roues dans la phase du toucher, le dépôt de gomme concerne surtout les aérodromes dont le trafic est important. Une intervention de **dégommege** est nécessaire dès que la rugosité de la piste devient trop faible, situation qui peut être confirmée par des mesures de glissance. Les techniques actuellement développées sur aérodromes peuvent être regroupées en deux familles:

- les jets d'eau à très haute pression,
- la projection de particules abrasives (grenailage ou sablage).

c) Entretien des marques de balisage

La remise en peinture des marques de balisage est faite selon une périodicité dépendant de l'intensité du trafic mais aussi de l'emplacement des marques, celles d'axes de pistes et de voies de circulation étant à reprendre le plus fréquemment.

Si la dégradation des peintures est généralisée, la remise en peinture peut être précédée d'un effaçage des traces de peinture résiduelles. Cet effacement peut être obtenu par brûlage, par jet d'eau haute pression, par grenailage ou par sablage. Lorsque les marques sont recouvertes d'un dépôt de gomme, celui-ci devra être éliminé avant la remise en peinture.

Les produits utilisés sont des peintures en phase aqueuse homologuées pour le domaine routier.

IV.3.1.1 Entretien des chaussées souples :

Les opérations d'entretien s'adressant spécifiquement aux chaussées souples peuvent avoir un caractère ponctuel ou généralisé. Par opérations d'**entretien ponctuel**, on entend essentiellement :

- les reprises ponctuelles du revêtement,
- le colmatage de fissures.

Les opérations d'**entretien généralisé** supposent par contre la mise en œuvre de matériaux sur tout ou large partie de la surface d'une aire aéronautique, sans qu'il puisse pour autant s'agir de réfections ni de renforcements. Ainsi entend-on par opérations d'entretien généralisé :

- la mise en œuvre de coulis ou d'enduits superficiels,
- celle d'enrobés en couche mince.

IV.3.1.2 Entretien des chaussées rigides :

Plutôt que d'avoir à les réparer, il est naturellement préférable d'éviter que ne se produisent des dégradations. Cette attention préventive portera essentiellement sur la qualité des joints et sur le phénomène de **battements de dalles**. La réalité de ce dernier sera confirmée par une campagne de mesures, elle-même déclenchée par les premières apparitions de fissures caractéristiques ou par des remontées de fines au travers des joints.

Le tableau ci-après récapitule, parmi les défauts généralement rencontrés sur les chaussées

rigides, ceux dont la réparation relève généralement de la définition donnée plus haut de l'entretien.

<i>Dégradations</i>	<i>Causes possibles</i>	<i>Solutions possible</i>
<i>Fissure transversale</i>	1- portance du support insuffisante 2- défauts de conception - épaisseur de dalle insuffisante - résistance du béton trop faible - longueur de dalle excessive - absence de transfert de charge 3- défauts de construction - fatigue du béton - délai de sciage tardif - profondeur insuffisante du sciage d'origine - battements de dalles	1 - réparation du support après étude - reconstruction des dalles 2 - rétablissement des transferts de charge par post-goujonnage (a) et - couture de la fissure (a) - pontage des fissures 3 - suppression des battements de dalles (pose de goujons) (b)
<i>Fissure longitudinale</i>	- profondeur insuffisante du sciage d'origine - mouvement du sol dû à des variations de teneur en eau - largeur excessive de la dalle	- traitement des <u>fissures</u> comme des joints
<i>Fissure oblique</i>	- mêmes causes possibles que pour une fissure transversale (§ 1 et 2)	- pontage si non ouverte - réfection du béton et de son support - rétablissement du transfert de charge
<i>Fissure d'angle</i>	- mauvais transfert des charges	- reconstruction du coin de dalle et éventuellement de son support - rétablissement du transfert de charge
<i>Fissuration de retrait plastique</i>	- dessiccation du béton au cours de sa prise (cure insuffisante)	- fissures fines et peu profondes pouvant rester en l'état
<i>Écaillage</i>	- mauvaise qualité du mortier - sensibilité au gel, aux flux de chaleur, aux produits déglacants	- repiquage des zones concernées et reprise au mortier de résine (c)
<i>Épaufrures</i>	- sciage prématuré des joints - corps étrangers dans les joints - choix d'une lame de scie non compatible avec la nature du béton - qualité médiocre du béton	- idem écaillage - reprise des joints (c)
<i>Décalage, marche d'escalier</i>	- tassement ou érosion par pumping de la fondation - pas de transfert de charges	- pose de goujons - relèvement des dalles par injections (d) - rabotage éventuel
<i>Joint vide ou produit décollé</i>	- mauvaise qualité initiale du produit - produit trop vieux	- dégarnissage, nettoyage et remplissage des joints avec un produit approprié (e)

IV.3.2 Réfection des chaussées aéronautiques :

IV.3.2.1 Réfection des chaussées souples :

La réfection d'une chaussée souple s'impose dans chacun des cas ci-après :

- lorsque la densité des dégradations observables en surface est telle qu'une simple opération d'entretien n'est pas réalisable,
- lorsque les qualités structurelles des matériaux sont insuffisantes (défaut de compacité, mauvais collage entre couches,...),
- lorsque, préalablement à un renforcement, il s'avère nécessaire de redonner à l'ancienne chaussée :
 - un état superficiel permettant d'accueillir les nouvelles couches de matériaux,
 - des caractéristiques structurelles suffisantes permettant de minimiser les épaisseurs de renforcement.

Plusieurs méthodes sont possibles qui, selon qu'elles font appel à des matériaux neufs ou réutilisent l'ancien revêtement, peuvent être regroupés en deux familles :

a) la régénération mécanique :

Les techniques de régénération mécanique comportent un fraisage de l'ancienne chaussée sur une profondeur à définir en fonction :

- de l'épaisseur des matériaux dégradés à remplacer,
- du type d'aire aéronautique et du classement de l'aérodrome (on évitera notamment un fraisage inférieur à 5 cm sur les aérodromes recevant un trafic important),
- de l'objectif recherché, selon que celui-ci est de :
 - remédier à un défaut de collage,
 - rétablir l'étanchéité de la chaussée,
 - remplacer les anciens matériaux enrobés par d'autres de caractéristiques supérieures,...

Les nouveaux matériaux, qui seront mis en œuvre après fraisage et évacuation des anciens, auront été choisis de manière à rétablir l'épaisseur d'origine du corps de chaussée.

b) la régénération thermique :

La régénération thermique des matériaux antérieurement traités aux liants hydrocarbonés est effectuée sur place par chauffage et scarification. Selon qu'il y a ou non apport de correctifs aux matériaux scarifiés ou de constituants neufs au corps de chaussée, les techniques de régénération thermique sont dites relever :

- du thermo-reprofilage, lorsqu'il ne s'agit que d'une remise au profil de la chaussée sans enlèvement de matériaux ni apport d'enrobés neufs,
- de thermo-régénération, lorsqu'une partie des matériaux scarifiés ayant été évacuée, ceux restant sont compactés en même temps que l'est une couche de matériaux enrobés rapportée,
- de thermo-recyclage, lorsque les matériaux enrobés scarifiés sont malaxés avec tous correctifs nécessaires (agent de régénération du liant, bitume, granulats voire même nouveaux matériaux enrobés) avant d'être réglés au profil souhaité et compactés.

IV.3.2.2 Réfection des chaussées rigides :

La réfection d'une chaussée rigide, qui s'entend toujours sur une aire délimitée, consiste à la démolition de la chaussée existante et sa reconstruction à l'identique.

La démolition du béton de l'ancienne chaussée doit être effectuée sans dégrader les dalles adjacentes conservées. Pour cela, on réalisera, à une distance de 10 cm du joint marquant la limite de la zone à traiter, un sciage pénétrant entièrement l'épaisseur de la dalle.

Les dalles à évacuer seront tout d'abord fracturées, puis la frange (reste de la dalle) restant à proximité du joint sera éliminée avec précaution. Le bord des dalles adjacentes conservées sera ainsi protégé d'éventuelles épaufrures pendant l'évacuation des matériaux de démolition.

La fondation de la zone traitée devra être, préalablement à sa démolition, désolidarisée de la partie à conserver par sciage et tranchage. Il y aura lieu, après démolition de la fondation, de ne pas remanier la couche de forme et sol support afin de ne pas en amoindrir les caractéristiques consolidées.

En complément de celles-ci, le transfert des charges sera assuré, entre le béton rapporté et le béton conservé, par scellement de goujons dans ce dernier. Disposés à intervalle d'un mètre environ, ces goujons seront enduits de bitume sur leur partie saillante et ébarbés.

Références Bibliographiques

1. Georges MEUNIER, "Conception, construction et gestion des aérodromes", Editions Eyrolles, 1969.
2. Documents ITAC (Instruction Technique sur les Aérodrômes Civils), Ministère de l'Équipement, des Transports et du logement, Direction générale de l'aviation civile, Service des Bases Aériennes (SBA).
3. Dimensionnement des chaussées (instruction sur les dimensionnements des chaussées d'aérodrômes et la détermination des charges admissibles) ; Service Technique des Base Aériennes (STBA), volume 1, 1983.
4. Dimensionnement des chaussées (instruction sur les dimensionnements des chaussées d'aérodrômes et la détermination des charges admissibles) ; Service Technique des Base Aériennes (STBA), volume 2, 1983.
5. Dimensionnement des chaussées d'aérodrômes (Tableaux de caractéristiques et abaques de dimensionnements pour les principaux avions commerciaux) ; Service Technique des Base Aériennes (STBA), 1993.
6. Enrobés hydrocarbonés et enduits superficiels pour chaussées aéronautiques (Guide d'application des normes) ; Service Technique de l'Aviation Civile (STAC), Avril 2009.
7. Chaussées aéronautiques en béton hydraulique (Guide technique pour la construction des chaussées aéronautiques neuves en béton hydraulique) ; Service Technique des Base Aériennes (STBA), Février 2000.
8. Ivy MOUCHEL et Jérôme PETITJEAN, "AERODROMES", Service Technique des Base Aériennes (STBA), Direction générale de l'aviation civile (DGAC), Septembre 2008.
9. L'AUSCULTATION DES AERODROMES, Ministère de l'Équipement, des Transports et du Tourisme. Méthodes françaises d'évaluation de la portance de la glissance et de l'uni des chaussées d'aérodrômes, Septembre 1994.
10. Guide pratique d'utilisation de la méthode ACN-PCN, Ministère de l'équipement du logement, de l'aménagement du territoire et des transports DGAC, Direction générale de l'aviation civile STBA, 1988.
11. Les joints de chaussées rigides (Guide pour la construction et la réfection des joints de pistes en dalles en béton), Ministère de l'équipement du logement, des transports et de la mer, Octobre 1989.

12. Catalogue des dégradations des chaussées aéronautiques (Services Techniques des Bases Aériennes), STBA.
13. Instructions techniques sur les aérodromes Civil Fascicules 1 et 10.
14. Recommandations de l'OACI "Organisation de l'Aviation Civile Internationale" (annexe14).
15. Manuel de Conception des Aérodomes ; (Organisation de l'Aviation Civile Internationale).