



**ETUDES TECHNIQUES DE LA PISTE, D'UNE AIRE DE
STATIONNEMENT ET SUIVI DE REALISATION DES
OUVRAGES PREFABRIQUES SUR LE SITE DU NOUVEL
AEROPORT INTERNATIONAL DE OUAGADOUGOU-DONSIN
AU BURKINA FASO**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC
GRADE DE
MASTER

SPECIALITE : GENIE CIVIL – BATIMENTS ET TRAVAUX PUBLICS

Présenté et soutenu publiquement le 16 juillet 2024 par

Hama DOUCOURE (2017 0723)

**Encadrant 2iE : Dr. Marie Thérèse GOMIS/MBENGUE, Enseignant-chercheur à
l'Institut 2iE**

**Maître de stage : Cheikh Ibrahim WANANE, Responsable Génie Civil sur le chantier
de l'Aéroport International de DONSIN à SOGEA SATOM**

Structure d'accueil du stage : SOGEA SATOM

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr Mamadou DIOP

Membres et correcteurs : M. Marc COMBERE

M. Kader BANAOU DJIBO

Promotion [2023/2024]

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

*A mes parents Aminata SACKO et Gaoussou DOUCOURE
ainsi qu'à ma sœur Mariam DOUCOURE pour leur soutien
indéfectible et leur amour inconditionnel au quotidien.*

*A ceux qui m'ont inspiré tout au long de mon parcours
académique, notamment mon oncle Mahamadou SACKO.*

*A ma chère grand-mère Fatoumata DIABY, pour sa
bienveillance et son empathie à mon égard.*

Ce travail est le vôtre autant que le mien !

CITATION



*« L'homme n'est rien sans les hommes, il
vient dans leurs mains et s'en va dans
leurs mains »*

Seydou Badian KOUYATE

REMERCIEMENTS

Je commence ces remerciements en exprimant ma profonde gratitude à Al Qayyum, ALLAH, source de toute grâce dans ma vie, guidant chacune de mes étapes et m'accordant la force de persévérer au cours de mon parcours académique.

A l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (**2iE**), je tiens à exprimer ma reconnaissance pour la qualité de la formation reçue. L'intégration au sein d'un environnement multiculturel a enrichi mon expérience, élargi mes horizons et contribué à forger ma compréhension globale de la vie. Cette étape a été importante pour mon développement personnel et académique.

A travers le chef de département, le Dr Césaire HEMA, je profite pour remercier particulièrement, tous les membres du département « Génie Civil Bâtiments et Travaux Publics ». Leurs partages enrichissants, leur encadrement et leur disponibilité constante ont joué un rôle déterminant dans mon parcours académique.

Mes remerciements vont à l'endroit de :

- ♣ **Dr. Marie Thérèse Marame GOMIS/MBENGUE**, mon encadreur académique, pour le soutien, la patience et la compréhension dont elle a fait preuve malgré de nombreuses contraintes.
- ♣ **M. Brice CHEVALIER**, Directeur d'Agence de SOGEA SATOM Burkina pour l'opportunité offerte d'effectuer ce stage au sein de la structure. Aussi un remerciement particulier à **M. Prudence NOUNAGNON**, Directeur des Travaux à SOGEA SATOM Burkina.
- ♣ **M. Cheikh-Ibrahim WANANE**, mon maître de stage et Responsable Génie Civil sur le site des travaux, **M. T. Henri Rudolf NEMARO** mon encadreur technique pour leur accompagnement tout au long de ce travail.
- ♣ **Mme Diane SOUBEIGA**, Ingénieure Suivi à SOGEA SATOM sur le site de DONSIN, pour m'avoir intégré dans toutes ses activités aussi bien au niveau du suivi que sur le chantier pendant mes 6 mois de stage.

Enfin, mes remerciements s'étendent à toutes les personnes non citées dans ces lignes, mais qui ont joué un rôle essentiel, chacune à sa manière, dans la réalisation de ce travail.

RESUME

La construction du nouvel aéroport international OUAGADOUGOU-DONSIN est un projet de développement qui s'installe dans le cadre du Programme Sectoriel des Transports et du Tourisme de l'état Burkinabé. Le Gouvernement du Burkina Faso a lancé le projet de délocalisation de l'aéroport à environ 35 km au nord de Ouagadougou dans la localité de Donsin. C'est dans ce cadre que le groupement SOGEA SATOM et M.A KHARAFI a bénéficié du contrat pour la réalisation des chaussées aéronautiques, des ouvrages d'assainissement et de la clôture OACI (Lot 2A).

L'étude de l'aire de stationnement (AST) militaire, de la Piste de décollage et d'atterrissage longue de 3500 m, ainsi que le suivi de réalisation des ouvrages préfabriqués font l'objet du présent mémoire dont le thème est « Etude technique de la piste, d'une aire de stationnement et suivi de réalisation des ouvrages préfabriqués sur le site du nouvel aéroport international de Ouagadougou-Donsin au Burkina Faso ». Le but de l'étude est de proposer une structure de chaussée pouvant accueillir le trafic projet pour chaque aire étudiée et de fournir un retour d'expériences à la suite du suivi de réalisation des ouvrages. A partir des données géotechniques, et du trafic, nous avons obtenu : pour l'aire de stationnement AST militaire une structure de chaussée rigide composée de 28 cm de dalle de béton goujonné de classe 6 (BC6 g) et de 20 cm de Grave ciment ; pour la piste de décollage et d'atterrissage, une structure de chaussée souple composée du haut vers le bas de 5 cm de BBA (Béton Bitumineux Aéronautique), de 14 cm de GB (Grave Bitume), de 20 cm de GRH (Grave Reconstituée humidifiée ou GNT de type B) et de 25 cm de latérite ciment en couche de forme. Le suivi de réalisation nous a permis d'établir les plans de coffrages des différentes plateformes d'éléments préfabriqués et d'élaborer les modes opératoires de réalisation des ouvrages. Le coût global de la réalisation de l'AST militaire et de la piste de décollage et d'atterrissage est estimé à un montant de **14 358 380 000** Francs CFA TTC.

Mots clés

- 1- Aéroport**
- 2- Aire de stationnement**
- 3- Chaussée aéronautique**
- 4- Piste de décollage**
- 5- Préfabriqué**

ABSTRACT

The construction of the new OUAGADOUGOU-DONSIN International Airport is a development project that forms part of the Burkinabe government's Transport and Tourism Sector Program. The Government of Burkina Faso has launched a project to relocate the airport some 35 km north of Ouagadougou, in the commune of Donsin. In this context, SOGEA SATOM and M.A KHARAFI consortium was awarded the contract to build the aeronautical pavements, drainage works and ICAO fencing (Lot 2A).

The study of the military AST parking area, the 3500 m long take-off and landing runway, as well as the monitoring of the prefabricated structures are the subject of this memorandum, the theme of which is "Technical study of the runway, a parking area and monitoring of the prefabricated structures on the site of the new Ouagadougou-Donsin international airport in Burkina Faso". The aim of the study is to propose a pavement structure capable of accommodating the projected traffic for each area studied, and to provide feedback following the monitoring of the construction of the structures. Based on geotechnical and traffic data, we obtained: for the AST military parking area, a rigid pavement structure consisting of 28 cm of class 6 doweled concrete slab (BC6 g) and 20 cm of cement gravel; for the take-off and landing runway, a pavement structure comprising, from top to bottom, 5 cm of BBA (Aeronautical asphalt concrete), 14 cm of GB (Asphalt gravel), 20 cm of GRH (Moistened reconstituted gravel or type B UG) and 25 cm of laterite cement as a subgrade. Follow-up work enabled us to draw up formwork plans for the various prefabricated element platforms, and to draw up construction procedures. The total cost of building the military AST and runway is estimated at **14 358 380 000** CFA francs, including VAT.

Keywords

1- Airport

2- Parking area

3- Aeronautical pavement

4- Runway

5- Prefab

LISTE DES ABREVIATIONS

2iE	: Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
AID	: Aéroport International Ouagadougou-Donsin
AST	: Aire de Stationnement
BBA	: Béton Bitumineux Aéronautique
BC6 g	: Béton de ciment de classe 6 goujonné
CBR	: California Bearing Ratio
CE	: Coefficient d'Equivalence
EB	: Enrobé Bitumineux
GAN	: Guide d'Application des Normes
GB	: Grave Bitume
GNT	: Grave Non Traitée
Ko	: Module de réaction du sol
MOAD	: Maitrise d'Ouvrage de l'Aéroport de Donsin
OACI	: Organisation de l'Aviation Civile Internationale
OH	: Ouvrage Hydraulique
PGES	: Plan de Gestion Environnemental et Social
PST-2	: Programme Sectoriel des Transports et du Tourisme-phase 2
QFU	: Orientation magnétique de la piste
SATOM	: Société Anonyme des Travaux d'Outre-Mer
SBTA	: Service technique des Bases Aériennes
SOGEA	: Société Générale des Eaux et Assainissement
STAC	: Service Technique de l'Aviation Civil

SOMMAIRE

DEDICACES	i
CITATION	ii
REMERCIEMENTS	iii
RESUME	iv
ABSTRACT	v
LISTE DES ABREVIATIONS	vi
SOMMAIRE.....	vii
Liste des tableaux	xi
Liste des figures.....	xii
INTRODUCTION	1
Chapitre 1 : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET ...	3
I. Présentation de la structure d'accueil.....	3
1. Historique	3
2. Organisation.....	4
II. Présentation du projet	5
1. Présentation de la zone d'étude	5
2. Contexte du projet	6
3. Justification du projet	6
4. Présentation du nouvel aéroport	6
5. Objectifs de l'étude.....	8
5.1. Objectif global	8
5.2. Objectifs spécifiques.....	8
Chapitre II : ETUDE TECHNIQUE DES CHAUSSEES AERONAUTIQUES	9
I. Démarche de dimensionnement des chaussées aéronautiques	9

II.	Prévision du trafic	9
III.	Détermination des caractéristiques du sol support.....	9
III.1.	Chaussées souples	9
III.2.	Chaussées rigides	10
IV.	Détermination d'une épaisseur équivalente	10
V.	Choix d'une constitution de chaussée	10
V.1.	Chaussées souples	10
V.2.	Chaussées rigides	10
VI.	METHODOLOGIE DE DIMENSIONNEMENT	11
VI.1.	Principe de dimensionnement de la méthode Forfaitaire.....	11
VI.2.	Principe de dimensionnement de la méthode optimisée	12
A.	ETUDE DE L'AIRE DE STATIONNEMENT MILITAIRE (Ast ROMEO)	14
I.	Justification de la structure de chaussée et méthodologie.....	14
II.	Choix de la structure de chaussée	14
II.1.	Dalle de béton	14
II.2.	Couche de fondation	15
III.	Dimensionnement de la structure de chaussée.....	15
III.1.	Hypothèses et données de calcul.....	15
III.2.	Détermination de l'épaisseur de la couche de base-roulement	15
IV.	Admissibilité des aéronefs : Méthode ACN-PCN.....	22
IV.1.	Détermination du PCN : Pavement Classification Number.....	22
IV.2.	Détermination de l'ACN : Aircraft Classification Number	24
B.	ETUDE DE LA PISTE D'ATTERRISSAGE ET DE DECOLLAGE.....	26
I.	Méthodologie d'approche	26
II.	Choix de la structure de chaussée	26

II.1. Couche de roulement	26
II.2. Couche de base.....	27
II.3. Couche de fondation	28
III. Prédimensionnement de la structure de chaussée	28
III.1. Hypothèses et données de calcul.....	28
III.2. Détermination de l'épaisseur équivalente totale	28
IV. Proposition de la structure de chaussée.....	33
IV.1. Variante 1	33
IV.2. Variante 2.....	34
V.Dimensionnement mécanique : Méthode rationnelle de dimensionnement des chaussées aéronautiques souples	34
V.1. Principe	34
V.2. Méthodologie	34
V.3. Dimensionnement mécanique	35
VI. Admissibilité des avions : Méthode ACN-PCN.....	40
VI.1. Détermination du PCN : Pavement Classification Number.....	40
VII. Détermination de l'ACN : Aircraft Classification Number.....	41
Chapitre III : SUIVI DE REALISATION DES OUVRAGES PREFABRIQUES	43
A. Présentation de la section PREFA	43
I. Aires de préfabrifications	43
II. Matériaux utilisés pour la réalisation des tables de coffrages.....	43
III. Méthode de réalisation des ouvrages	45
III.1. Piédroit simple et avec Gousset	45
III.2. Prédalles	48

III.3. Buses et Dalots Monoblocs	49
III.4. Chambres de tirages de type KC	50
IV. Production des éléments préfabriqués	50
IV.1. Cadence journalière.....	50
IV.2. Temps de travail journalier du matériel	51
Chapitre IV : ETUDE FINANCIERE ET NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL	52
A. Etude financière	52
I. Aire de stationnement militaire	52
II. Piste d'atterrissage et de décollage.....	52
B. NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL	54
I. Evaluation des impacts environnementaux	54
II. Description des phases du projet.....	54
II.1. Phase préparatoire ou de démarrage	54
II.2. Phase de construction.....	54
II.3. Phase de fin de chantier	55
III. Impacts du projet.....	55
IV. Mesures de prévention des risques.....	56
IV.1. Mesures de prévention des impacts négatifs lors de la phase préparatoire....	56
IV.2. Mesures de protection de l'environnement en phase des travaux.....	57
V. Mesures de protection de l'environnement en phase de fin des travaux.....	58
CONCLUSION	59
BIBLIOGRAPHIE	II
LISTE DES ANNEXES	IV

Liste des tableaux

TABLEAU 1: CALCUL DE LA CHARGE PAR ROUE POUR LES AVIONS DE L'AST MILITAIRE	16
TABLEAU 2: COEFFICIENT D'EQUIVALENCE DES MATERIAUX	18
TABLEAU 3: RECAPITULATIF DES PARAMETRES DE DIMENSIONNEMENT DE L'AST MILITAIRE	20
TABLEAU 4: STRUCTURE DE CHAUSSEE DE L'AST MILITAIRE	21
TABLEAU 5: RECAPITULATIF DES CALCULS DES ACN POUR L'AST MILITAIRE	25
TABLEAU 6: PRODUITS UTILISABLES EN COUCHE DE ROULEMENT SELON LE GAN	27
TABLEAU 7: PRODUITS UTILISABLES EN COUCHE DE BASE SELON LE GAN	27
TABLEAU 8: CALCUL DE LA CHARGE PAR ROUE POUR LES AVIONS DE LA PISTE D'ATTERRISSAGE ET DE DECOLLAGE.....	29
TABLEAU 9:RECAPITULATIF DES CALCULS DE LA CHARGE REELLE DES AERONEFS DE LA PISTE	30
TABLEAU 10:EPAISSEUR EQUIVALENTE DES AVIONS LES PLUS CONTRAIGNANTS.....	30
TABLEAU 11: CALCUL PAR ITERATION DE L'EPAISSEUR EQUIVALENTE DE LA PISTE	32
TABLEAU 12: STRUCTURE DE CHAUSSEE VARIANTE 1.....	33
TABLEAU 13:STRUCTURE DE CHAUSSEE VARIANTE 2	34
TABLEAU 14: TRAFIC PROJET POUR LA PISTE DE DECOLLAGE ET D'ATTERRISSAGE.....	36
TABLEAU 15:DETERMINATION DES AERONEFS DIMENSIONNANTS POUR LA PISTE	37
TABLEAU 16: PARAMETRES DE DIMENSIONNEMENT MECANIQUE.....	38
TABLEAU 17:DOMMAGES CUMULES DANS LA STRUCTURE DE CHAUSSEE DE LA PISTE	39
TABLEAU 18: DETERMINATION DU PCN DE LA PISTE D'ATTERRISSAGE ET DE DECOLLAGE	40
TABLEAU 19:DETERMINATION DES ACN DES AERONEFS DE LA PISTE DE DECOLLAGE ET D'ATTERRISSAGE	42
TABLEAU 20: PRODUCTION JOURNALIERE DE LA PREFA	51
TABLEAU 21: TEMPS DE TRAVAIL DU MATERIEL DE LA PREFA.....	51
TABLEAU 22: COUT DE REALISATION AST MILITAIRE	52
TABLEAU 23:COUT DE REALISATION DE LA PISTE D'ATTERRISSAGE ET DE DECOLLAGE	52
TABLEAU 24: IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET SOCIAUX DU PROJET	55

Liste des figures

FIGURE 1: ORGANIGRAMME DE SOGEA SATOM SUR LE CHANTIER DE DONSIN	4
FIGURE 2: PRESENTATION DE LA ZONE DE PROJET	5
FIGURE 3: PRINCIPE DE LA METHODE FORFAITAIRE DE DIMENSIONNEMENT	11
FIGURE 4: LECTURE DE L'EPaisseur DE LA DALLE DE BETON AST MILITAIRE SUR ABAQUE	21
FIGURE 5 : LECTURE DE LA RSI SUR ABAQUE	23
FIGURE 6: VARIANTE 1 ET VARIANTE 2	39
FIGURE 7 : UPN SERVANT DE SOLIVE POUR LES TABLES	43
FIGURE 8: TOLES NOIRES DE 5 MM	44
FIGURE 9: PLOTS EN BETON ARME	44
FIGURE 10: MOULES DE COFFRAGE DES PIEDROITS	45
FIGURE 11: PLATEFORME DES PIEDROITS SIMPLES	46
FIGURE 12: PIEDROITS SIMPLES DECOFFRES	47
FIGURE 13: PLATEFORMES DES PIEDROITS AVEC GOUSSETS	47
FIGURE 14: PIEDROITS AVEC GOUSSETS DECOFFRES	48
FIGURE 15: PLATEFORME PREDALLE	49
FIGURE 16: PREDALLE DECOFFREE	49

INTRODUCTION

Au cœur des échanges économiques à l'échelle mondiale, les systèmes de transport jouent un rôle central. Ils tissent des liens vitaux entre les nations, facilitant la mobilité des biens et des individus. Dans cette toile complexe, les aéroports se distinguent comme des nœuds critiques, jouant un rôle crucial dans le développement économique et social. Situé au cœur de l'Afrique de l'Ouest, le Burkina Faso se distingue par sa position géographique centrale, agissant comme un pivot essentiel dans la région.

A travers cette dynamique, la ville de Ouagadougou, capitale du Burkina Faso, se trouve actuellement confrontée à des défis significatifs liés à son aéroport existant, sis en plein centre-ville. Cette proximité engendre un ensemble de contraintes majeures telles qu'une circulation intense autour de l'aéroport, une pollution environnementale touchant la capitale et des nuisances sonores préoccupantes pour les résidents avoisinants.

Pour remédier à ces problèmes et insuffler un nouvel élan au développement aéroportuaire, le Gouvernement Burkinabé a lancé le projet de construction du nouvel Aéroport International Ouagadougou-Donsin en 2011. La localisation stratégique de Donsin, en périphérie de la capitale à environ 35 km, offre une opportunité unique de concilier l'essor aérien avec la préservation du bien-être environnemental et social. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre stage de fin d'études sur le chantier de ce nouvel aéroport au sein de la société SOGEA SATOM Burkina.

Le but de notre étude est de proposer des structures de chaussées économiques et techniquement réalisables pouvant résister aux sollicitations du trafic sur la période de calcul des ouvrages, et réaliser un suivi rigoureux de la réalisation des ouvrages préfabriqués, d'où l'intitulé « Etude technique de la piste, d'une aire de stationnement et suivi de réalisation des ouvrages préfabriqués sur le site du nouvel aéroport international de Ouagadougou-Donsin au Burkina Faso ». De ce fait, le document est structuré en 4 chapitres qui sont résumés comme suit :

- ♣ Le premier chapitre présente le projet dans son ensemble et la structure d'accueil SOGEA SATOM Burkina.
- ♣ Le second chapitre aborde le dimensionnement structural des aires étudiées (aire de stationnement militaire et piste de décollage et d'atterrissage)

- ♣ Le troisième chapitre concerne le suivi de réalisation des ouvrages hydrauliques préfabriqués.
- ♣ Le quatrième et dernier chapitre, le coût de réalisation des deux ouvrages dimensionnés est évalué. Par la suite nous analyserons les impacts socio-environnementaux du projet afin de proposer des mesures d'atténuations.

Notre travail se terminera par une conclusion générale et des perspectives et recommandations. Les compléments de résultats et les détails de calculs sont donnés en annexe.

Chapitre 1 : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET

I. Présentation de la structure d'accueil

I.1. Historique

Il s'agit au départ de deux entreprises distinctes : SOGEA et SATOM. La société SATOM a été créée en 1951, spécialisée dès ses débuts dans les travaux de bâtiment, de forage et de génie civil sur le continent africain. De son côté, la société SOGEA est plus ancienne. Elle fut lancée en 1878, et connue pendant longtemps comme la société « Eau et Assainissement ». Elle effectua de nombreux travaux de canalisations en France et en Afrique pendant tout le XXe siècle. Les deux entreprises furent acquises et filialisées par le groupe Vinci en 1981, et ont fusionné en 1984.

L'entreprise SOGEA SATOM est l'une des principales composantes internationales du groupe français VINCI Construction. Ce groupe s'est implanté dans 90 pays où il intervient dans le domaine des concessions et également dans la construction des infrastructures (routes, barrages, châteaux d'eau, etc.). L'aventure de SOGEA-SATOM commença dès les années 1930, elle se poursuit en plein cœur du continent africain en 1948. À l'exemple de toutes les autres agences du groupe ensemble VINCI construction, l'agence du Burkina porte une attention particulière à la sécurité du personnel et des équipements. L'activité de SOGEA-SATOM est essentiellement consacrée à :

- ♣ 50% aux travaux routiers et au terrassement,
- ♣ 10% à l'hydraulique et l'assainissement,
- ♣ 40 % au génie civil

Acteur majeur du BTP en Afrique, SOGEA-SATOM, présent dans plus de 20 pays à travers son réseau de filiales, emploie plus de 14500 collaborateurs de 28 nationalités différentes. Le chiffre d'affaires de l'entreprise est de 896 millions d'euros en 2022 (*site officiel de SOGEA SATOM*). Entreprise multi métier, SOGEA SATOM conçoit, construit et maintient les infrastructures et les équipements qui améliorent le quotidien et facilitent les déplacements.

I.2. Organisation

Les chantiers de SOGEA SATOM sont bien structurés afin de mieux réaliser les travaux. La Figure 1 présente l'organigramme de SOGEA SATOM dans le cadre de la réalisation des travaux de construction de chaussées aéronautiques (lot 2A) sur le site du nouvel aéroport international de Ouagadougou-Donsin.

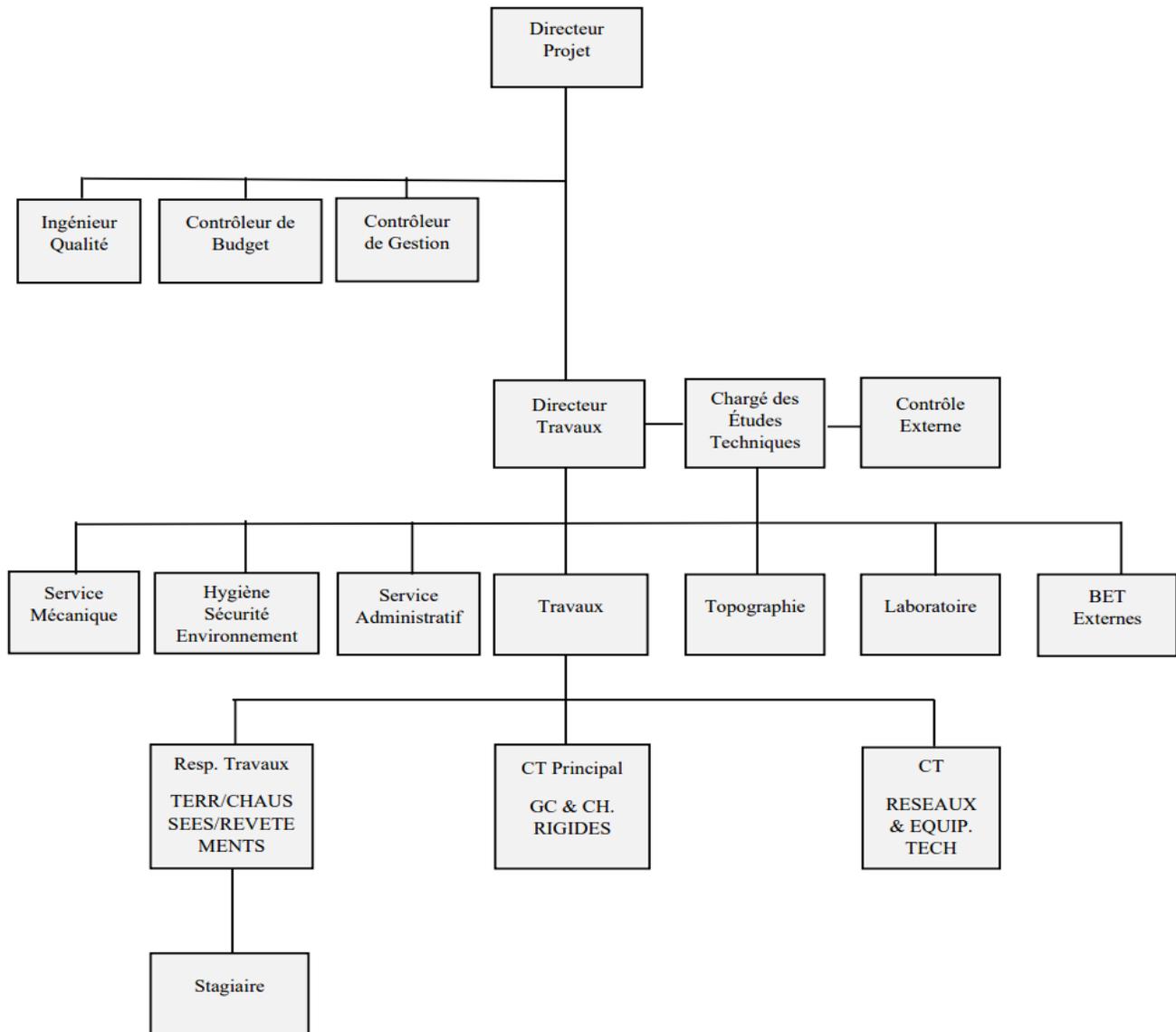


Figure 1: Organigramme de SOGEA SATOM sur le chantier de Donsin

II. Présentation du projet

II.1. Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude (Figure 2) appartient à la région naturelle du plateau Mossi du domaine climatique soudano sahélien. Le projet de construction du nouvel aéroport international de Ouagadougou-Donsin est localisé à 35 km au nord-est de Ouagadougou et à 16 km à l'ouest de Ziniaré. Le site est complètement inclus dans la province de l'Oubritenga de la région du Plateau central. La zone d'emprise couvre une superficie d'environ 4400 ha. Les villages impactés par le projet sont : Loumbila, Tabtenga, Rogomnogo, Nongstenga, Kogninga, Kartenga, Donsin, Taonsgo, Silmiougou, Kourityaoghin et Voaga. Les sols sont légers et le milieu agricole occupe la majorité du territoire avec principalement des cultures pluviales. Le paysage de la zone du projet de façon générale est essentiellement caractérisé par une zone périurbaine faiblement urbanisée. Les activités économiques sont dominées par l'agriculture vivrière. Les ressources en eau sont moyennes et proviennent essentiellement des eaux de surface. Seul le réservoir de Loumbila, qui alimente Ouagadougou, constitue le plan d'eau permanent de la zone.

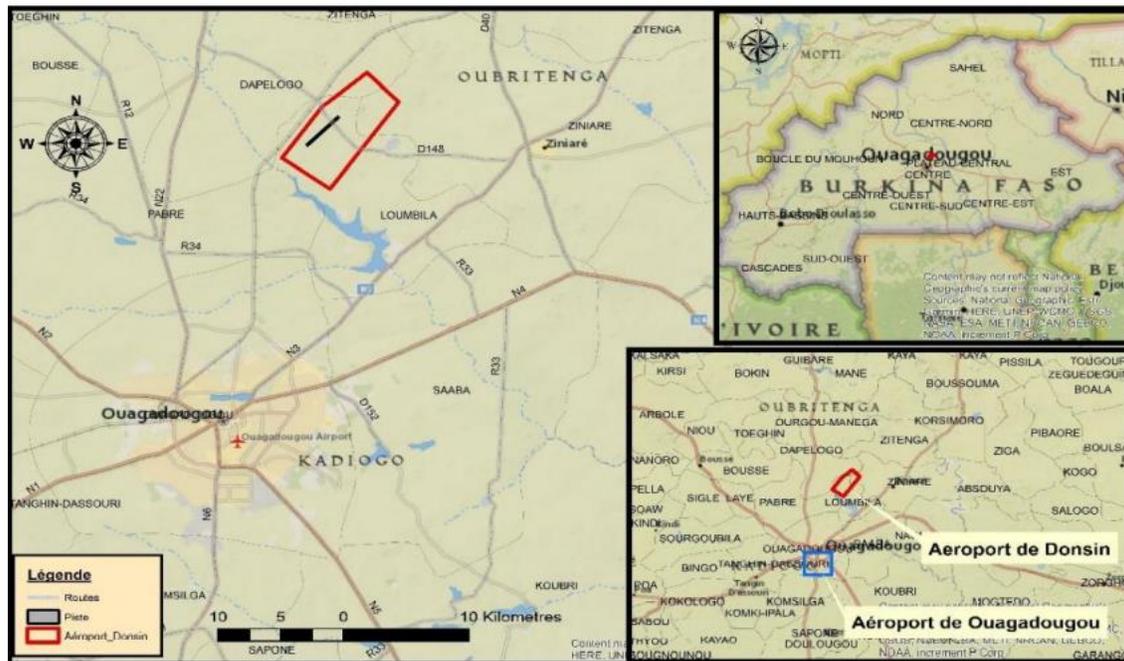


Figure 2: Présentation de la zone de projet

II.2. Contexte du projet

La nécessité de construire un nouvel aéroport au Burkina Faso est liée aux fortes contraintes techniques et anomalies environnementales induites par l'emplacement de l'actuel aéroport. Avec une position centrale et stratégique de par sa situation géographique, le Burkina Faso situé au cœur de l'Afrique occidentale, le prédestine à jouer un rôle de carrefour et de transit des échanges entre les pays ouest-africain. Conscient de cet atout, le Gouvernement a décidé à travers sa nouvelle politique aéronautique et dans le cadre d'une nouvelle vision du secteur aérien, du déplacement de l'Aéroport International de Ouagadougou à la périphérie de la ville, afin de créer les conditions d'un développement harmonieux et respectueux de l'environnement. Il permettra de mettre à la disposition du pays une infrastructure aéroportuaire structurante répondant aux normes internationales et capable de booster l'économie nationale.

Le nouvel aéroport est situé à Donsin, à 35 km au nord-est de la capitale et couvre une superficie de 4.400 ha.

II.3. Justification du projet

Dans sa position géographique actuelle, l'aéroport international de Ouagadougou se retrouve au centre de développement urbain. En plus d'être une infrastructure source de nuisance, sa situation géographique engendre non seulement les problèmes de sûreté et de sécurité, à cela s'ajoute également les possibilités d'extension des installations terminales, qui doivent être régulièrement adaptées à la croissance du trafic aérien. Donc devant ces multiples problèmes, le gouvernement du BURKINA FASO souhaite se doter d'un nouvel aéroport moderne et sécuritaire qui sera conforme aux standards internationaux et créer l'espace nécessaire pour une croissance future.

II.4. Présentation du nouvel aéroport

Les travaux de construction de l'aérodrome comprennent : une piste de 3500 m de longueur et de 45 m de largeur, avec des accotements de 7,5 m de part et d'autre. Une voie de circulation parallèle à la piste de 3500m de longueur et de 23m de largeur, ainsi que ses accotements, les 4 bretelles de connexion entre la piste et la voie de circulation parallèle et l'aire de stationnement isolée, des aires de stationnement commerciale présidentielle, militaire, isolée, pour le fret avec une zone dédiée aux essais moteurs, pour l'aviation générale ; pour la maintenance et les passagers.

Le projet de construction du nouvel aéroport international est divisé en deux phases et une extension.

- ♣ La première étape consiste à implanter une piste de 3500 m et la construction par phases de l'ensemble des ouvrages.
- ♣ La deuxième étape sera éventuellement envisagée dans 25 ans en fonction du trafic par l'ajout d'une deuxième piste, de même longueur et parallèle à la première, et de quelques bâtiments complémentaires.

Une extension de 500 m de l'une ou des deux pistes sera éventuellement nécessaire pour accueillir de gros porteurs (Airbus 380). La construction du nouvel aéroport est un projet dans lequel sont logés plusieurs sous projets que sont :

- ♣ Accès routier au nouvel aéroport de Donsin ;
- ♣ Gestion environnementale et sociale du projet du nouvel aéroport de Donsin ;
- ♣ Plateforme aéroportuaire de Donsin ;
- ♣ Base militaire de l'aéroport de Donsin ;
- ♣ Raccordement de la plateforme aéroportuaire de Donsin aux réseaux d'eau potable, d'électricité et à la fibre optique ;
- ♣ Aménagement urbain de la zone d'influence de l'aéroport de Donsin.

Pour une bonne organisation et coordination, le projet a été divisé en plusieurs lots.

Les infrastructures

- ♣ Lot 2A : Chaussées aéronautiques
- ♣ Lot 2B : Clôture domaniale
- ♣ Lot 3.1 : Voiries et Réseaux Divers coté ville
- ♣ Lot 3.2 : Réseaux d'eau potable et sécurité incendie
- ♣ Lot 4 : Centrales et distribution électrique
- ♣ Lot 5 : Télécommunications coté ville

Les bâtiments

- ♣ Lot A1 : Bâtiments techniques

- ♣ Lot A2 : Équipements aéronautiques et météorologiques
- ♣ Lot B : Bâtiments administratifs
- ♣ Lot D : Pavillons présidentiel et ministériel
- ♣ Lot E : Hangars
- ♣ Lot F : Aérobares passagers, affaires et aéroclub
- ♣ Lot G : Logistiques
- ♣ Lot H : Maison du Hadj

La base militaire

- ♣ M1 : Voiries et assainissement, réseau d'eau potable et éclairage
- ♣ M2 : Hangars militaires
- ♣ M3 : Bâtiment de commandement et d'administration, centrale électrique
- ♣ M4 : Logements militaires

II.5. Objectifs de l'étude

II.5.1. Objectif global

L'objectif global de notre étude consiste à réaliser une étude technique de l'aire de stationnement AST militaire, de la piste décollage et d'effectuer le suivi des réalisations des ouvrages préfabriqués.

II.5.2. Objectifs spécifiques

Notre travail a pour objectifs spécifiques de :

- ♣ Dimensionner la structure de chaussée de l'AST militaire.
- ♣ Dimensionner la structure de chaussée de la Piste.
- ♣ Élaborer les modes opératoires de réalisation des différents ouvrages préfabriqués.
- ♣ Faire une étude financière du projet.
- ♣ Proposer une notice d'impact environnemental et social du projet sur le milieu récepteur.

Chapitre II : ETUDE TECHNIQUE DES CHAUSSEES AERONAUTIQUES

I. Démarche de dimensionnement des chaussées aéronautiques

Nous distinguons deux types de chaussées aéronautiques, les chaussées souples et les chaussées rigides.

Une chaussée souple est constituée d'une couche de surface et d'une couche de base en matériaux traités aux liants hydrocarbonés, ainsi qu'une couche de fondation.[6]

Une chaussée rigide est constituée d'une dalle de béton reposant sur une couche de fondation. Une éventuelle sous couche (drainante ou anti contaminante) pourrait être mis entre le sol support et la couche de fondation.[6]

Le dimensionnement nécessite de suivre certaines étapes, qui sont : la prévision du trafic, la détermination des caractéristiques du sol support, la détermination d'une épaisseur équivalente et le choix d'une constitution de chaussée.

II. Prévision du trafic

Les prévisions de trafic fournissent deux (02) données importantes pour le dimensionnement qui sont : les charges réelles à partir du circuit emprunté et le nombre de mouvements réels des avions au cours de la durée de vie de la chaussée. Lorsque les données de trafic ne sont pas fiables ou lorsqu'un avion est nettement plus contraignant par rapport aux autres avions du trafic, alors la chaussée est dimensionnée par la méthode forfaitaire.

III. Détermination des caractéristiques du sol support

III.1. Chaussées souples

Pour les chaussées souples, le sol support est caractérisée par la valeur du **CBR** (California Bearing Ratio) ou indice portant Californien. Le CBR est utilisé comme indicateur de la résistance du sol. Des valeurs spécifiques de CBR sont associées à différentes catégories de sols, et ces valeurs sont intégrées dans la méthode de dimensionnement forfaitaire à travers les abaques de calcul.[7]

Au terme de l'étude du sol support, le CBR finalement retenu est la valeur la plus basse obtenue après immersion d'un échantillon compacté à 95% de l'Optimum Proctor Modifié (OPM).

III.2. Chaussées rigides

Le sol support est caractérisé par son **module de réaction K_0** . Le module de réaction K_0 est mesuré sur le terrain naturel (déblai) ou sur le sol rapporté (remblai). Si le sol support comporte une couche de forme, nous en tenons compte en apportant une correction au module K_0 de même que la couche de fondation.

Ce module de réaction est évalué à l'aide d'un essai de plaque effectué in situ, sur le sol compacté à 95% de l'OPM sur une épaisseur d'environ 30 cm.

IV. Détermination d'une épaisseur équivalente

L'épaisseur équivalente de la chaussée est déterminée en fonction de la méthode de dimensionnement utilisée.

V. Choix d'une constitution de chaussée

V.1. Chaussées souples

- ♣ **Couche de roulement** : la couche de roulement d'une chaussée aéronautique souple est en général réalisée en béton bitumineux conformément à la norme NF P 98-131 sur une épaisseur minimum de 5 cm. La nature du béton bitumineux dépendra du niveau de sollicitation (NS) de la chaussée. Le niveau de sollicitation est déterminé à partir de la classe de trafic et du climat selon le **Guide d'Application des Normes (GAN)**. [9]
- ♣ **Couche d'assise (base + fondation)** : la grave-bitume (GB) est recommandée pour la couche de base. En couche de fondation les matériaux non traités sont préférés à la grave-bitume en raison du coût élevé de ces derniers.

V.2. Chaussées rigides

Dalle de béton

Il existe trois (03) types de chaussées en béton, nous avons :

- ♣ Les chaussées à dalles courtes non armées non goujonnées **BC**,
- ♣ Les chaussées à dalles courtes non armées goujonnées **BCg**,
- ♣ Les chaussées en béton armé continu **BAC**.

Couche de fondation

La couche de fondation est réalisée en matériaux traités aux liants hydrauliques ou en béton maigre. Cependant les matériaux traités aux liants hydrauliques sont beaucoup plus économiques que le béton maigre.

V.3. METHODOLOGIE DE DIMENSIONNEMENT

Le dimensionnement des chaussées aéronautiques dépend de divers facteurs, et les deux méthodes couramment utilisées sont : la méthode forfaitaire et la méthode optimisée.

La méthode forfaitaire se base sur des coefficients empiriques liés à la charge des atterrisseurs principaux et à la fréquence des décollages et atterrissages (nombre de mouvements). Elle ne tient compte que de l'aéronef le plus contraignant du trafic. En revanche, la méthode optimisée implique une analyse approfondie en prenant en compte tous les aéronefs susceptibles d'avoir un effet significatif sur la fatigue de la chaussée.

V.4. Principe de dimensionnement de la méthode Forfaitaire

La méthode de dimensionnement dite forfaitaire, consiste à déterminer une épaisseur équivalente de chaussée à partir de la charge de calcul normale P'' de l'avion le plus contraignant du trafic de l'aire à dimensionner. Le dimensionnement est fait dans les conditions normales de trafic, à savoir 10 mouvements par jour sur une période de 10 ans de la charge normale de calcul.

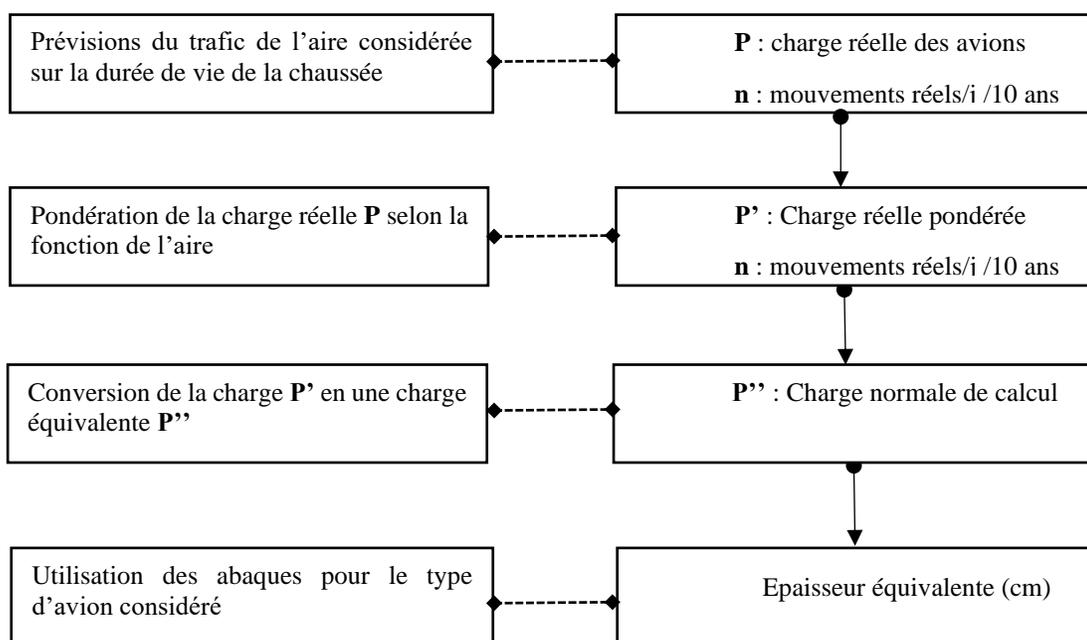


Figure 3:Principe de la méthode forfaitaire de dimensionnement

V.5. Principe de dimensionnement de la méthode optimisée

V.5.1. Principe

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 leurs fréquences et charges respectives et pour une durée de vie donnée. La méthode présente l'avantage de convertir les mouvements réels de chacune des charges et atterrisseurs réels considérés en mouvements équivalents de mêmes charges de référence

V.5.2. Méthode

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

- ♣ Le calcul est conduit pour chaque partie d'aire.
- ♣ 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.
- ♣ 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 du dimensionnement forfaitaire,
- ♣ La plus grande des épaisseurs ainsi obtenue, majorée de quelques centimètres, fournit en général une épaisseur initiale assez proche de la valeur définitive.
- ♣ Pour chaque modèle d'avion (i), la charge admissible P_{oi} est déterminée à partir des abaques de chaussée souple ou chaussée rigide correspondant à l'épaisseur choisie. S'il n'existe pas d'abaque pour l'avion considéré, celui du modèle avion dont les caractéristiques s'en rapprochent le plus est utilisé.

- ♣ Pour chaque modèle d'avion (i), les $n_{i,j}$ mouvements réels de chaque charge réelle pondérée $P'_{i,j}$ sont convertis en $n'_{i,j}$ mouvements équivalents à la charge admissible P_{oi} . Pour cela, pour chaque modèle d'avion (i) et chaque charge $P'_{i,j}$:
 - Le rapport $R_{i,j} = \frac{P'_{i,j}}{P_{oi}}$ est calculé. Ce rapport ne doit pas dépasser 1,2 pour les aires de stationnement et 1,5 pour les autres aires (il est toutefois recommandé de ne pas dépasser également 1,2 dans ce cas). Si les valeurs sont dépassées, le calcul est recommencé avec une épaisseur initiale majorée,
 - Le coefficient de pondération $CP_{i,j}$ des mouvements réels est calculé par la relation : $CP_{i,j} = 10^{5(R_{i,j}-1)}$,
 - Le nombre de mouvements équivalents $n'_{i,j}$ est égal au nombre de mouvements réels $n_{i,j}$ multiplié par $CP_{i,j}$: $n'_{i,j} = n_{i,j} \times CP_{i,j}$,
- ♣ Le nombre total des mouvements équivalents de tous les modèles d'avions est calculé en additionnant tous les mouvements équivalents $n'_{i,j}$. Ce nombre est aussi appelé trafic équivalent,
- ♣ Si le trafic équivalent est sensiblement inférieur à **36500**, l'épaisseur essayée est trop importante (surdimensionnement) et le calcul doit être repris avec une épaisseur plus petite. Au contraire si le trafic équivalent est sensiblement supérieur à 36 500, l'épaisseur essayée est insuffisante (sous dimensionnement) et le calcul avec une épaisseur plus grande. Des itérations sont ainsi effectuées jusqu'à trouver l'épaisseur telle que le trafic équivalent soit le plus proche possible par défaut de 36500. La valeur ainsi déterminée est l'épaisseur recherchée.[5]

A. ETUDE DE L'AIRE DE STATIONNEMENT MILITAIRE (Ast ROMEO)

L'aire de stationnement militaire du nouvel Aéroport International Ouagadougou-Donsin est destinée à recevoir les aéronefs militaires sur une superficie de 24917 m².

I. Justification de la structure de chaussée et méthodologie

L'aire de stationnement militaire de l'aérodrome de l'AID est faite en chaussée rigide en raison des efforts de poinçonnement générés par les charges concentrées des atterrisseurs lors des phases de stationnement ou d'évolution à faible vitesse des avions. Une structure de chaussée souple composée d'un revêtement hydrocarboné serait exposée au risque de brûlure sous l'effet du dégagement des gaz des réacteurs d'avions militaires (phase de roulage à faible vitesse). Donc la structure de chaussée rigide convient le mieux sur l'aire de stationnement militaire.

Dans un premier temps, nous ferons le choix des matériaux de la structure de chaussée ainsi que les paramètres de dimensionnement, puis nous déterminerons l'épaisseur de la dalle de béton en fonction de la méthode de dimensionnement, et enfin nous vérifierons la portance de la chaussée vis-à-vis du trafic.

Le dimensionnement forfaitaire est généralement suffisant à l'étude des chaussées rigides par suite de la faible variation des épaisseurs en fonction des charges. De ce fait, nous ferons un dimensionnement forfaitaire afin de déterminer l'épaisseur de la dalle de béton. L'ensemble des calculs sera fait manuellement à partir des abaques de dimensionnement de chaussée rigide.

II. Choix de la structure de chaussée

II.1. Dalle de béton

Dans le cadre de notre étude, la dalle de béton sera en dalles courtes non armées goujonnées **BCg**. Les dalles courtes présentent plusieurs avantages par rapport aux dalles non armées non goujonnées BC et au béton armé continu BAC. La présence de goujons améliore le comportement des joints et le transfert d'effort tranchant entre dalles. Les dalles courtes non armées goujonnées présentent les avantages suivants par rapport aux BC et BAC :

- ♣ Faible épaisseur de la dalle de béton,
- ♣ Réfections des joints chaque 8 ans, contre 5 ans pour les BC,

- ♣ Très peu d'armatures pour la mise en œuvre contrairement au BAC.

Nous utiliserons un béton de classe BC6 qui est recommandé pour les chaussées rigides aéronautiques et des goujons de 30 mm de diamètre ($\Phi 30$).

II.2. Couche de fondation

La couche de fondation sera réalisée en graves traités aux liants hydrauliques. Nous utiliserons de la **grave-ciment** sur une épaisseur de **20 cm**. Cette couche de fondation reposera sur une couche de forme de CBR 20. Ce qui suppose en principe une portance de 100 MPa soit une portance de classe PF2qs. La norme NF P 98-086 d'octobre 2011 recommande que sur une PF2qs l'épaisseur minimale d'une couche de fondation en grave traitée soit de 20 cm (cas des structures comportant une seule couche d'assise en matériau traité aux liants hydrauliques).

Le sol support sera amélioré par la couche de forme afin de faciliter la circulation du chantier et permettre un bon réglage de la couche de fondation.

III. Dimensionnement de la structure de chaussée

III.1. Hypothèses et données de calcul

- ♣ L'aire de stationnement est en chaussée rigide
- ♣ La durée de vie est de **20 ans**
- ♣ Les prévisions sont faites à partir de l'année **2026** (année de mise en service)
- ♣ La couche de base-roulement est de type : dalles courtes non armées goujonnées **BC6**
- ♣ La couche de fondation est en grave ciment de **20 cm**
- ♣ La couche de forme est en grave latéritique de **50 cm**
- ♣ Le module de réaction du sol support est **$K_0 = 60 \text{ MN/m}^3$**
- ♣ La méthode de dimensionnement : méthode forfaitaire

III.2. Détermination de l'épaisseur de la couche de base-roulement

III.2.1. Détermination de l'avion dimensionnant

L'avion le plus contraignant sera retenu pour la détermination de l'épaisseur de la dalle de béton. Il s'agit de trouver la charge par roue de chaque avion constituant le trafic destiné à notre

aire de stationnement. L'avion ayant la charge par roue maximale est considérée comme l'avion le plus contraignant.

Les prévisions de trafic sur la durée de vie de la chaussée sont données en **Annexe II**. Le tableau ci-dessous présente la charge par roue des avions du trafic sur l'aire de stationnement militaire :

Tableau 1: Calcul de la charge par roue pour les avions de l'AST MILITAIRE

Ast MILITAIRE						
Avions	P _t (t)	V _{statique} (%)	P (t)	Type d'atterrisseurs	N _r	P _r (t)
CASA CN 235-300	16,70	47,5	7,933	Simple	1	7,933
BOEING 727 ADV	84,40	47,98	40,495	JUMELAGE	2	20,248
BOEING 747-400	398,34	23,3	92,81322	BOGGIE	4	23,203

- ♣ P_t la masse totale au roulage en tonne
- ♣ V_{statique} le pourcentage de charge sur atterrisseur principal en %
- ♣ P la charge sur atterrisseur principal en tonne, avec $P(t) = P_t \times V_{statique}$
- ♣ N_r le nombre de roues sur un atterrisseur principal
- ♣ P_r la charge par roue en tonne, avec $P_r = \frac{P}{N_r}$

L'avion le plus contraignant est le **Boeing 747-400** avec une charge par roue de 23,20 t. Il sera utilisé pour déterminer l'épaisseur de la dalle de béton.

III.2.2. Détermination de la charge de calcul

Nombre de mouvements cumulés

Nous avons un nombre cumulé de mouvements réels à l'année de mise en service estimé à **26 mouvements/an**. Le trafic a un taux d'accroissement de 10% au cours de la durée de vie de la chaussée. A partir de ces données de trafic, nous déterminerons le nombre de mouvements cumulés pendant la durée de vie.

$$N = N_0 \times \frac{(1 + T_a)^x - 1}{T_a} \quad (1)$$

Avec :

- ♣ N : le nombre de mouvements cumulés pendant la durée de vie de la chaussée,
- ♣ N_0 : le nombre cumulé de mouvements réels à l'année de mise en service,
- ♣ T_a : le taux d'accroissement du trafic,
- ♣ x : la durée de vie de la chaussée.

$$AN : N = 26 \times \frac{(1 + 0,1)^{20} - 1}{0,1}$$

$$N = 1489 \text{ mouvements/}_{20\text{ans}}$$

Nous avons 1489 mouvements cumulés au bout de 20 ans, soit le nombre de mouvements cumulés à l'année 2045.

♣ Charge pondérée

La charge pondérée est calculée à partir de la charge sur atterrisseur principal P et du coefficient de pondération Cp. Le coefficient de pondération des aires de stationnement est de 1,2.

$$P' = P \times Cp \tag{2}$$

$$AN : P' = 92,813 \times 1,2$$

$$P' = 111,375 \text{ t}$$

♣ Intensité du trafic

$$n = \frac{N}{365 \times 10} \tag{3}$$

$$AN : n = \frac{1489}{365 \times 10} \times 2$$

$$n = 0,816 \text{ mouvements/j/10ans}$$

♣ Coefficient de correction du trafic

$$C_T = 1,2 - 0,2 \log(n) \tag{4}$$

$$AN : C_T = 1,2 - 0,2 \times \log(0,816)$$

$$C_T = 1,217$$

♣ Charge de calcul

La charge de calcul est donnée par :

$$P'' = \frac{P'}{C_T} \quad (5)$$

$$AN : P'' = \frac{111,375}{1,217}$$

$$P'' = 91,291 \text{ t}$$

III.2.3. Détermination de l'épaisseur équivalente

♣ Correction du module de réaction K_0

Le module de réaction K_0 est corrigé en fonction de l'épaisseur équivalente totale de la couche d'assise. L'épaisseur équivalente totale est égale à la somme de l'épaisseur équivalente de la couche de fondation et de la couche de forme. La valeur ainsi obtenue à partir de K_0 et de l'épaisseur équivalente est le module de réaction corrigé K_c . Le module K_c servira de données d'entrée sur le programme du Service Technique de l'Aviation Civile STAC, pour la détermination de l'épaisseur de la dalle de béton. Le Tableau 2 donne la valeur des coefficients d'équivalence des différents matériaux :

Tableau 2: Coefficient d'équivalence des matériaux

Matériaux neufs	CE
Béton bitumineux à module élevé	2,5
Béton bitumineux aéronautique	2
Enrobé à module élevé	1,9
Grave-bitume	1,5
Grave-émulsion	1,2
Grave traitée aux liants hydrauliques	1,5
Grave concassée bien graduée	1,0
Sable traité aux liants hydrauliques	1,0
Sable	0,5

Source : Manuel de dimensionnement des chaussées du STBA de 1983 vol1

♣ Couche de fondation (Grave ciment de 20 cm)

Le coefficient d'équivalence de la grave ciment (grave traitée aux liants hydrauliques) est de 1,5.

$$E_{\text{fondation}} = E_{\text{réelle}} \times CE_{\text{Grave ciment}} \quad (6)$$

$$E_{\text{fondation}} = 30 \text{ cm}$$

♣ Couche de forme (Graveleux latéritique de 50 cm)

Le coefficient d'équivalence du graveleux latéritique (grave concassé bien gradué ou grave naturelle non traitée) est de 1.

$$E_{\text{forme}} = E_{\text{réelle}} \times CE_{\text{Graveleux latéritique}} \quad (7)$$

$$E_{\text{forme}} = 50 \text{ cm}$$

♣ Epaisseur équivalente totale

$$E_{\text{totale}} = E_{\text{fondation}} + E_{\text{forme}} \quad (8)$$

$$E_{\text{totale}} = 80 \text{ cm}$$

L'épaisseur équivalente totale est de 80 cm. Le manuel de conception des aérodrômes limite l'épaisseur équivalente maximale à 60 cm, alors nous retenons une épaisseur équivalente totale de **60 cm**. Cela implique une diminution de l'épaisseur réelle de la couche de forme à 30 cm, cette valeur sera utilisée pour déterminer le module de réaction K_c à l'aide du programme du Service Technique de l'Aviation Civile **STAC** (module de Dimensionnement des Chaussées Aéronautiques **DCA**).

La valeur corrigée du module de réaction du sol trouvée est : **$K_c=113 \text{ MN/m}^3$** . (Cf. Annexe II)

III.2.4. Calcul de la contrainte admissible de traction par flexion

La dalle de béton est en béton de ciment de classe 6 (BC6), ce qui nous donne une contrainte de fendage σ_{fendage} de 3,3 MPa à 28 jours. (Norme NF P 98-170)

La contrainte de traction par flexion ($\sigma_{flexion}$ ou σ_{28}) est déterminée à partir de la relation suivante : $\sigma_{fendage} = 0,6 \times \sigma_{28}$

$$\Rightarrow \sigma_{28} = \frac{\sigma_{fendage}}{0,6} \quad (9)$$

L'application numérique nous une contrainte de traction par flexion de :

$$\sigma_{28} = 5,5 \text{ MPa}$$

Cette contrainte de traction par flexion du béton à 28 jours est majorée de 10% afin de trouver la contrainte de traction par flexion à 90 jours noté σ_{90} .

$$\sigma_{90} = 1,10 \times \sigma_{28} = 6,05 \text{ MPa} \quad (10)$$

La contrainte admissible de la dalle de béton est :

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{90}}{CS} \quad (11)$$

Avec : CS un coefficient de sécurité fonction du type de chaussée rigide. Le coefficient de sécurité pour les dalles courtes non armées goujonnées est de 1,8.

$$\sigma_{adm} = \frac{6,05}{1,8} = 3,36 \text{ MPa}$$

La détermination de l'épaisseur de la dalle de béton est faite en fonction de la charge normale de calcul P'', du module de réaction corrigé du sol support Kc et de la contrainte admissible de traction par flexion σ_{adm} , en utilisant l'abaque de dimensionnement des chaussées rigides du Boeing 747-400 type BOGGIE (Figure 4). Ces paramètres de dimensionnement sont présentés dans le Tableau 3.

Tableau 3: Récapitulatif des paramètres de dimensionnement de l'AST militaire

Paramètres de dimensionnement		
Désignations	U	Valeurs
Charge normale de calcul P''	t	91,291
Module de réaction corrigé Kc	MN/m ³	113
Contrainte admissible de traction par flexion	MPa	3,36

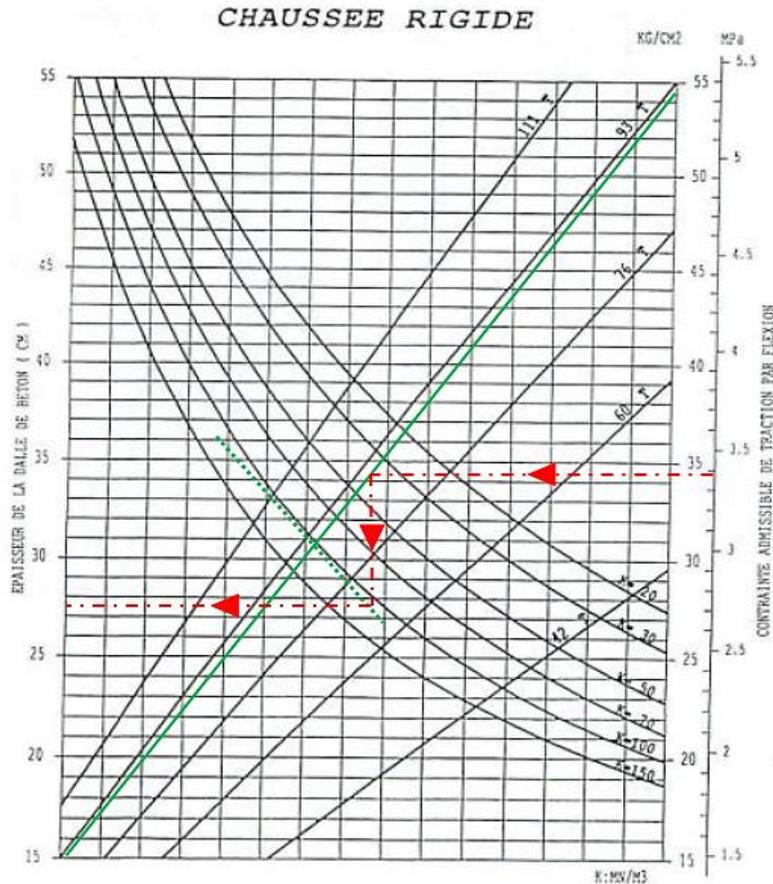


Figure 4: Lecture de l'épaisseur de la dalle de béton AST militaire sur abaque

L'épaisseur de dalle de béton pour la couche de base-roulement est de 27,5 cm par lecture sur l'abaque de dimensionnement des chaussées rigides de l'avion B 747-400. Afin de tenir compte de possibles erreurs de lecture, nous retenons une épaisseur de 28 cm. La Figure 4 présente la lecture de l'épaisseur sur l'abaque.

Le Tableau 4 donne le récapitulatif de la structure de chaussée proposée.

Tableau 4: Structure de chaussée de l'AST militaire

STRUCTURE DE CHAUSSEE AST MILITAIRE		
Couches	Matériaux	Epaisseur (cm)
Base-Roulement	Dalles courtes non armées goujonnées Bc6 g	28
Fondation	Grave ciment	20

IV. Admissibilité des aéronefs : Méthode ACN-PCN

La méthode ACN/PCN est un système normalisé par l'OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale) et adopté comme outil de gestion des chaussées aéronautiques, aussi bien sur les aérodomes civils que militaires. L'indice ACN représente l'agressivité des avions et l'indice PCN la capacité portante des structures de chaussées les accueillant : un avion est admissible sans restriction sur une chaussée aéronautique si $ACN < PCN$. Si les ACN sont calculés selon une procédure normalisée par l'OACI, la méthode de détermination des PCN n'est quant à elle pas imposée.

IV.1. Détermination du PCN : Pavement Classification Number

Le PCN est un numéro de classification des chaussées qui exprime la capacité portante de la chaussée. Il est constitué par une succession de chiffre et de lettres. Le PCN est publié de la manière suivante (selon l'Annexe 14 de l'OACI) :

$$PCN = 00/R/A/W/T$$

- ♣ Le nombre est le numéro de classification de la chaussée.
- ♣ La première lettre est fonction de la **nature de la chaussée** (chaussée souple : **F**, Chaussée rigide : **R**).
- ♣ La seconde lettre dépend de la **catégorie de résistance du sol** (résistance élevée : **A**, résistance moyenne : **B**, résistance faible : **C**, résistance ultra faible : **D**).
- ♣ La troisième lettre est fonction de la **pression de gonflage des pneus**.
- ♣ La dernière lettre dépend de la **base d'évaluation du PCN**.

Les données permettant la publication des informations concernant le code PCN sont en Annexe II.

IV.1.1. Calcul du PCN de l'Ast militaire

Le PCN d'une chaussée rigide est calculé à partir de la roue simple isolée RSI et du coefficient G(K). Un programme informatique adapté par le STBA permet de déterminer la RSI par lecture sur des abaques selon des gammes de charges. Les valeurs du coefficient G sont également déterminées à partir d'un abaque.

Ainsi, le PCN est trouvé par le produit de la RSI et du coefficient G fonction du module de réaction de la fondation (Kc) et de la catégorie de résistance du sol support.

$$PCN = G(K) \times RSI \quad (12)$$

- ♣ RSI en tonnes
- ♣ G fonction du module de réaction K en MN/m³

La Figure 5 nous donne la valeur de la RSI.

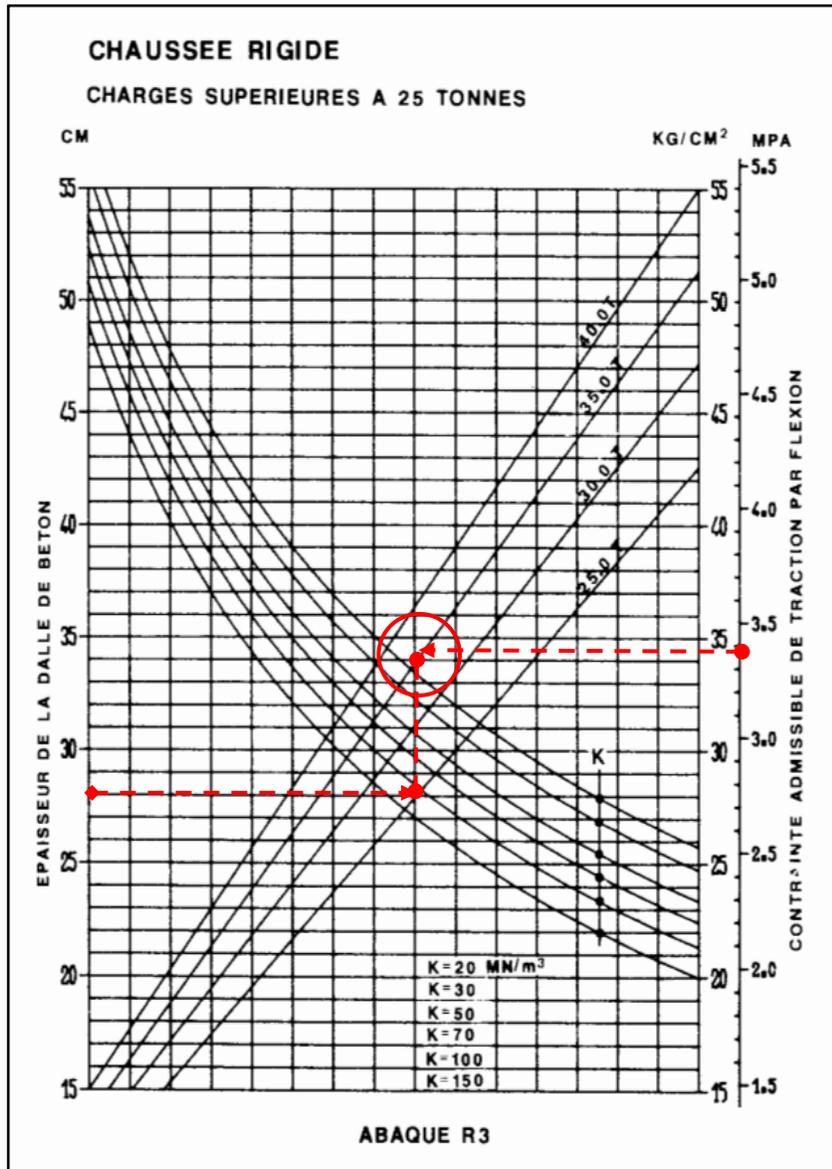


Figure 5 : Lecture de la RSI sur abaque

Nous lisons sur la figure 6 : $RSI \approx 35$ t. La valeur du coefficient $G(K)$ est déterminée par interpolation après la lecture sur abaque et nous obtenons $G(K) = 1,596$. (Cf Annexe II)

Le produit des deux paramètres nous donne un PCN de 55,86 arrondis à l'entier directement supérieur.

$$\text{PCN} = 56$$

IV.1.2. Détermination des lettres de codes

Nature de la chaussée :

L'aire de stationnement militaire est en chaussée rigide, donc nous avons la lettre de code **R**.

Catégorie de résistance du sol support :

Nous avons un coefficient de réaction K de 113 MN/m^3 , donc K est compris dans la gamme de valeurs de 60 à 120 MN/m^3 avec la lettre de code **B**.

Pression de gonflage des pneumatiques :

Nous n'avons pas de limite de pression des pneumatiques, alors la lettre de code est **W**.

Base d'évaluation du PCN :

Nous procéderons par une évaluation technique, d'où la lettre de code **T**.

Le PCN ainsi publié pour l'aire de stationnement militaire est :

$$\text{PCN} = 56/\text{R}/\text{B}/\text{W}/\text{T}$$

IV.2. Détermination de l'ACN : Aircraft Classification Number

L'ACN est exprimé comme étant égal à 2 fois la charge admissible en tonne sur une roue simple équivalente (RSE) gonflée à $1,25 \text{ MPa}$, appliquée $10\,000$ fois. La détermination de l'ACN d'un avion consiste à calculer cette roue simple équivalente produisant les mêmes effets que l'atterrisseur principal de l'avion en question. L'ACN d'un avion varie selon le type de structure (souple ou rigide) et la catégorie de résistance du sol support. L'ACN est également dépendant de la pression des pneumatiques. Toutefois, les ACN sont généralement fournis sans limitation de pression. L'ACN est calculé à partir de la formule suivante :

$$ACN = ACN_{\min} + (ACN_{\max} - ACN_{\min}) \times \frac{M_t - m}{M - m} \quad (13)$$

Avec :

- ♣ M_t la masse réelle de l'avion (kg)
- ♣ M la masse maximale de l'avion au roulage (kg)
- ♣ m la masse à vide en ordre d'exploitation (kg)

Les différentes masses ainsi que l' ACN_{\min} et l' ACN_{\max} sont donnés par le fabricant de l'avion. Nous déterminons l' ACN de l'ensemble des avions du trafic destiné à l'aire de stationnement militaire. Une correction de l' ACN s'impose lorsque la différence de pression entre la pression réelle (q') et la pression standard (q) excède 0,1 MPa. La correction de l' ACN pour les chaussées rigides se fait par lecture sur un abaque.

Le tableau suivant nous donne le récapitulatif des calculs :

Tableau 5: Récapitulatif des calculs des ACN pour l'AST militaire

ACN Ast militaire						
Avions	Masses (kg)			Pression pneumatiques	ACN	
	M_t	M	m	Δq	ACN	ACN _{corrigé}
CASA CN 235-300	14000	16700	8800	0,05	5,97	5,97
B 727 ADV	70000	84400	44310	0,33	42,94	51,69
B 747-400	300000	398340	179170	0	43,60	43,60

Tous les ACN sont inférieurs à l'indice PCN, donc l'ensemble des aéronefs du trafic sont admissibles sur l'AST militaire sans restriction. Les détails de calcul sont donnés en Annexe II.

B. ETUDE DE LA PISTE D'ATERRISSAGE ET DE DECOLLAGE

La piste d'atterrissage et de décollage du nouvel Aéroport International OUAGADOUGOU-DONSIN est destinée à recevoir l'ensemble des aéronefs commerciaux du trafic sur une superficie de 157500 m² hors accotement. D'après le dimensionnement géométrique, nous avons une piste de 3500 m de long sur 45 m de large plus 2 accotements de 7,5 m chacun.

I. Méthodologie d'approche

La piste est faite en chaussée souple car, elle est plus économique, plus facile à renforcer et bien adaptée aux faibles trafics. L'étude consistera à déterminer l'épaisseur et le matériau de chaque couche de la structure de chaussée afin que cette structure supporte les sollicitations du trafic du projet.

Comme dans le cas de l'étude de l'aire de stationnement, nous choisirons les matériaux de la structure de chaussée ainsi que les paramètres de dimensionnement, déterminerons l'épaisseur des différentes couches et vérifierons la structure de chaussée proposée.

Le dimensionnement optimisé est généralement utilisé pour l'étude des chaussées souples. La piste est donc dimensionnée par la méthode optimisée qui est précédée par un dimensionnement forfaitaire des avions les plus contraignants du trafic. L'ensemble des calculs sera fait manuellement à partir des abaques de dimensionnement de chaussée souple.

II. Choix de la structure de chaussée

II.1. Couche de roulement

Les matériaux utilisés en couche de roulement sont essentiellement des bétons bitumineux. Le type de béton bitumineux dépend du niveau de sollicitation (NS) de l'aire à dimensionner. La classe de trafic (CT) et le climat de la zone d'étude permettent de déterminer le niveau de sollicitation NS.

Dans le cas de l'étude de la piste d'atterrissage et de décollage de l'AID, nous avons une classe de trafic **CT4** et un climat de type 4 à dominance **tropical**. Le niveau de sollicitation de la piste est **NS4** selon le Guide d'Application des Normes (GAN). Les détails de déterminations de la classe de trafic et du niveau de sollicitation sont donnés en **ANNEXE II**.

Les produits utilisables pour la couche de roulement sont donnés dans le Tableau 6.

Tableau 6: Produits utilisables en couche de roulement selon le GAN

Ouvrage	Section d'ouvrage	Niveau de sollicitation (NS4)
Piste	Partie courante	EB-BBA 2
	Raquette	EB-BBME 3
	Sortie/Entrée de Piste	EB-BBA 3
	Seuil	EB-BBA 3
Voies de circulation (Taxiway)	Partie courante	EB-BBA 3 / EB-BBME 2
	Raccordement	EB-BBA 3 / EB-BBME 2

II.2. Couche de base

La couche de base est également en matériaux traités aux liants hydrocarbonés. Les principaux produits utilisables en couche de base sont les suivants [GAN] :

- ♣ Grave bitume : EB-GB de classe 2, 3 ou 4.
- ♣ Enrobé à module élevé : EB-EME de classe 1 ou 2.

La nature et la classe de performance des produits utilisables en couche de roulement en fonction de la section d'ouvrage circulée sont données dans le tableau ci-dessous :

Tableau 7: Produits utilisables en couche de Base selon le GAN

Ouvrage	Section d'ouvrage	Niveau de sollicitation (NS4)
Piste	Partie courante	EB-GB 3 EB-EME 2
	Raquette	
	Sortie/Entrée de Piste	
	Seuil	
Voies de circulation (Taxiway)	Partie courante	EB-GB 3
	Raccordement	EB-EME 2

Nous faisons le choix de la grave-bitume de classe 3 (**EB-GB 3**) pour la couche de base de l'ensemble des sections de la piste. Une grave-bitume de classe 4 pourrait aussi être utilisée, elle

permet pour une épaisseur moindre, de supporter un trafic équivalent à une grave bitume de classe 3.

II.3. Couche de fondation

Nous utiliserons des graves non traitées en couche de fondation. Les GNT utilisées en couche de fondation des chaussées aéronautiques sont du type B, elles sont aussi appelées grave reconstituée humidifiée (**GRH**). Pour notre classe de trafic CT4, le choix se porte sur les GNT de catégorie 1 et de classe 2 (GNT2 de fuseaux granulaires 0/31,5).

L'épaisseur minimum à mettre en œuvre pour la couche de fondation est de 20 cm car nous avons une couche de forme traitée au liant hydraulique (selon le guide technique de dimensionnement des chaussées aéronautiques souples du STAC).[14]

III. Prédimensionnement de la structure de chaussée

III.1. Hypothèses et données de calcul

- ♣ La piste est en chaussée souple
- ♣ La période de calcul est de **10 ans**
- ♣ Les prévisions sont faites à partir de l'année **2026** (année de mise en service)
- ♣ Taux d'accroissement du trafic de **10%**
- ♣ La couche de roulement est en béton bitumineux
- ♣ La couche de base est en grave bitume **EB-GB4**
- ♣ La couche de fondation est en **GNT de classe 2**
- ♣ Le CBR du sol support est de **15**
- ♣ La méthode de dimensionnement : méthode optimisée

III.2. Détermination de l'épaisseur équivalente totale

III.2.1. Détermination de l'avion dimensionnant

La méthode optimisée consiste dans un premier temps à calculer l'épaisseur équivalente totale pour chacun des avions paraissant les plus contraignants par la méthode forfaitaire. Il s'agit de trouver la charge par roue de chaque avion constituant le trafic destiné à la piste. Les avions ayant les charges par roue les plus élevées sont considérés comme les avions les plus contraignants.

Les prévisions de trafic sur la durée de vie de la chaussée sont données en **Annexe II**. Le **Tableau 8** présente la charge par roue des avions du trafic sur la piste d'atterrissage et de décollage :

Tableau 8: Calcul de la charge par roue pour les avions de la Piste d'atterrissage et de décollage

Piste d'atterrissage et de décollage						
Avions	P_t (t)	V_{statique} (%)	P (t)	Type d'atterrisseurs	N_r	P_r (t)
CRJ 705/900	38,33	48,00	18,398	Jumelage	2	9,199
ERJ 135/145	20,60	47,18	9,719	Jumelage	2	4,860
ART 72 212A	21,50	48,00	10,320	Jumelage	2	5,160
B737-800	79,02	46,77	36,958	Jumelage	2	18,479
A320-200 JUM	77,00	46,60	35,882	Jumelage	2	17,941
MD87	67,81	47,40	32,142	Jumelage	2	16,071
A300-600 R	170,50	47,50	80,988	Boggie	4	20,247
A340-200	275,00	28,85	79,338	Boggie	4	19,834
B777-300 ER	351,53	46,20	162,407	Tandem	6	27,068
B747-400 ER	412,77	23,40	96,588	Boggie	4	24,147

- ♣ **P_t** la masse totale au roulage en tonne
- ♣ **V_{statique}** le pourcentage de charge sur atterrisseur principal en %
- ♣ **P** la charge sur atterrisseur principal en tonne, avec $P(t) = P_t \times V_{statique}$
- ♣ **N_r** le nombre de roues sur un atterrisseur principal
- ♣ **P_r** la charge par roue en tonne, avec $P_r = \frac{P}{N_r}$

Les avions les plus contraignants sont : le Boeing 737-800, l'Airbus 300-600 R, l'Airbus 340-200, le Boeing 777-300 ER et le Boeing 747-400 ER. Ils seront utilisés pour déterminer l'épaisseur équivalente totale initiale en vue d'un calcul par itération.

III.2.2. Détermination de la charge de calcul

La charge de calcul P'' est déterminée pour chaque avion en suivant les mêmes étapes de calcul pour le dimensionnement forfaitaire. Nous allons considérer pour le dimensionnement les masses maximales au décollage **M_{low}**.

Il sera donc calculé :

- ♣ La charge pondérée P',
- ♣ Le nombre de mouvements cumulés N,
- ♣ L'intensité du trafic n,
- ♣ Le coefficient de trafic C_T,
- ♣ Et la charge de calcul P''.

Tableau 9:Récapitulatif des calculs de la charge réelle des aéronefs de la Piste

Avions	P (t)	P' (t)	N	n	C _T	P'' (t)
B 777-300 ER	162,41	129,93	6 654	1,823	1,15	113,191
B747-400 ER	96,59	77,27	3 327	0,912	1,21	63,963
B737-800	36,96	29,57	74 304	20,357	0,94	31,512
A300-600 R	80,99	64,79	5 545	1,519	1,16	55,677
A340-200	79,338	63,47	23 289	6,381	1,039	61,086

III.2.3. Calcul de l'épaisseur équivalente totale

Dimensionnement forfaitaire

Le dimensionnement forfaitaire à partir des avions les plus contraignants nous donne différentes épaisseurs équivalentes. Les détails de calcul pour chacun des avions sont donnés en **Annexe III**. Le tableau suivant résume les résultats obtenus :

Tableau 10:Epaisseur équivalente des avions les plus contraignants

Type d'avions	CBR	P''(t)	Eéquivalente
B 777-300 ER	15	113,191	44
B747-400 ER		63,963	43
B737-800		31,512	41
A300-600 R		55,677	35
A340-200		61,086	36

L'épaisseur équivalente maximale est de 44 cm, elle est obtenue à partir de l'avion de type Boeing 747-400 ER.

Dimensionnement optimisé

Pour le dimensionnement optimisé, nous considérons les masses maximales au décollage M_{low} et les masses maximales à l'atterrissage M_{ow} en fonction des mouvements d'atterrissages et de décollages des avions du trafic.

Nous majorons l'épaisseur équivalente déterminée par la méthode forfaitaire de deux centimètres, cette épaisseur sera utilisée initialement pour le calcul itératif. Les étapes de calculs pour le dimensionnement optimisé sont :

- ♣ Calculer les épaisseurs équivalentes avec la méthode forfaitaire des avions les plus contraignants.
- ♣ Choisir l'épaisseur maximale obtenue et majorer de quelques centimètres
- ♣ Considérer cette épaisseur pour chaque avion et retrouver la nouvelle charge de calcul appelée P_0 sur l'abaque de dimensionnement de l'avion
- ♣ Faire le rapport entre la charge pondérée P' et la nouvelle charge P_0 : $R = \frac{P'}{P_0}$
- ♣ Trouver le coefficient de pondération réelle C_p : $C_p = 10^{5(R-1)}$
- ♣ Considérer le nombre de mouvements cumulés calculé à partir de la méthode forfaitaire, il sera noté n .
- ♣ Calculer le nombre de mouvements équivalents cumulés : $n' = n \times C_p$.
- ♣ Faire la somme des mouvements équivalents cumulés de tous les avions :

$$\text{Si } \begin{cases} \sum n' < 36500 \text{ mouvements, alors la structure est surdimensionnée} \\ \sum n' > 36500 \text{ mouvements alors la structure est sous-dimensionnée} \end{cases}$$

Nous éviterons une structure sous-dimensionnée en prenant une structure légèrement surdimensionnée ($\sum n' < 36500$ mouvements).

Première itération :

L'épaisseur équivalente initiale choisie est de 46 cm, soit deux centimètres de plus que l'épaisseur équivalente maximale trouvée à partir du dimensionnement optimisé. Nous obtenons un trafic équivalent total de 26700 mouvements largement inférieur au trafic équivalent de 36500 mouvements. En choisissant une épaisseur équivalente de 46 cm, nous surdimensionnons la piste.

Deuxième itération :

Après la première itération, nous réduisons l'épaisseur initiale d'un centimètre. La deuxième itération est faite avec une épaisseur de **45 cm**.

Nous obtenons un trafic équivalent total de 30855 mouvements légèrement inférieur au trafic équivalent de 36500 mouvements. Nous retenons donc une épaisseur équivalente totale de 45 cm pour la partie courante de la piste d'atterrissage et de décollage. Le Tableau 11 résume les étapes de calcul :

Tableau 11: Calcul par itération de l'épaisseur équivalente de la piste

Localisation : AID				Période de calcul				10 ans
Chaussée : Piste				Coefficient de pondération				0,8
Méthode de dimensionnement : Optimisé				CBR				15
Epaisseur équivalente = 45 cm								
Désignations	P	P'	P ₀	R	C _p	n	n'	Observation
CRJ 705/900	18,398	14,719	36	0,409	0,0011	11090	12,280	$\sum n' < 36500$
CRJ 705/900	16,310	13,048	36	0,362	0,0006	6654	4,319	
ERJ 135/145	9,719	7,775	36	0,216	0,0001	11090	1,333	
ERJ 135/145	8,823	7,058	36	0,196	0,0001	6654	0,636	
ART 72 212A	10,320	8,256	34	0,243	0,0002	12384	2,028	
ART 72 212A	10,248	8,198	34	0,241	0,0002	7430	1,193	
B737-800	36,958	29,566	37	0,799	0,0990	74304	7352,487	
B737-800	31,037	24,829	37	0,671	0,0227	44582	1010,333	
A320-200 JUM	35,882	28,706	39	0,736	0,0479	24768	1186,031	
A320-200 JUM	30,057	24,046	39	0,617	0,0121	14861	179,811	
MD87	32,142	25,714	36	0,714	0,0373	12384	461,517	
MD87	27,952	22,361	36	0,621	0,0128	7430	94,786	
A300-600 R	80,988	64,790	75	0,864	0,2086	5545	1156,738	
A300-600 R	66,500	53,200	75	0,709	0,0352	3771	132,777	
A340-200	79,338	63,470	90	0,705	0,0336	23289	782,099	
A340-200	53,373	42,698	90	0,474	0,0024	15837	37,306	
B777-300 ER	162,407	129,925	120	1,083	2,5916	6654	17244,269	
B777-300 ER	116,096	92,877	120	0,774	0,0741	4525	335,339	
B747-400 ER	96,588	77,271	88	0,878	0,2457	3327	817,381	
B747-400 ER	69,203	55,363	88	0,629	0,0140	2262	31,629	
Trafic équivalent TOTAL							30 844,293	

Les détails de calcul sont donnés en **ANNEXE III**.

IV. Proposition de la structure de chaussée

La structure de chaussée proposée tient compte des recommandations du guide d'application des normes (GAN) du service technique de l'aviation civile (STAC). L'objectif est de mettre en œuvre des matériaux économiques et des épaisseurs optimisées pouvant supporter le trafic sur la période de calcul de la chaussée.

Une épaisseur minimale de matériaux traités est déterminée à partir de l'épaisseur équivalente totale et du CBR du sol support. Nous avons une épaisseur minimale de matériaux traités de **29 cm**. (*Cf Annexe III*)

Nous proposons ainsi deux variantes de structure de chaussée, une structure sera retenue à l'issue du dimensionnement mécanique.

IV.1. Variante 1

Tableau 12: Structure de chaussée variante 1

Couche	Matériaux	E réelle (cm)	CE	E équivalente (cm)
Roulement	EB10-BBA D 3	5	2	10
Base	EB14-GB 3	14	1,5	21
Fondation	GNT2 type B ou GRH	20	1	20

- ♣ En couche de roulement, nous avons 5 cm de béton bitumineux aéronautique de classe 3 de granularité 0/10 discontinue (**EB10-BBA D 3**).
- ♣ En couche de base, nous avons 14 cm de grave-bitume de classe 3 de granularité 0/14.
- ♣ En couche de fondation, nous retenons une épaisseur de 20 cm en grave non traité de type B de granularité 0/31,5 (classe 2).

Nous avons une épaisseur équivalente de matériaux traités de 31 cm (Tableau 12) supérieure à l'épaisseur minimale de matériaux traités déterminée. L'épaisseur équivalente totale après le choix des épaisseurs réelles est de 51 cm.

IV.2. Variante 2

Tableau 13: Structure de chaussée variante 2

Couche	Matériaux	E _{réelle} (cm)	CE	E _{équivalente} (cm)
Roulement	EB10-BBME	6	2	12
Base	EB14-GB 3	14	1,5	21
Fondation	GNT2 type B ou GRH	20	1	20

- ♣ En couche de roulement, nous avons 6 cm de béton bitumineux à module élevé de de granularité 0/10 (**EB10-BBME**).
- ♣ Les couches de base et de fondation restent identiques à celles de la variante 1.

Nous avons une épaisseur équivalente de matériaux traités de 33 cm (Tableau 13) supérieure à l'épaisseur minimale de matériaux traités déterminée.

V. Dimensionnement mécanique : Méthode rationnelle de dimensionnement des chaussées aéronautiques souples

V.1. Principe

Le dimensionnement consiste à choisir les matériaux, à déterminer les épaisseurs des couches et à vérifier la structure de chaussée. Dans le cas des chaussées souples la démarche rationnelle de dimensionnement des chaussées s'applique au dimensionnement structural des couches d'assises et s'opère vis-à-vis du mécanisme d'endommagement par fatigue des couches en matériaux hydrocarbonés et du mécanisme d'endommagement par déformations permanentes des couches en matériaux granulaires, y compris de la plate-forme de chaussée. En revanche, la méthode de dimensionnement ne prend pas directement en compte le mécanisme d'orniérage par fluage des matériaux hydrocarbonés. [Méthode rationnelle de dimensionnement des chaussées aéronautiques souple du STAC]

V.2. Méthodologie

La méthode rationnelle de dimensionnement comporte deux étapes. La première porte sur le dimensionnement mécanique de la structure, la seconde sur la vérification au gel-dégel. Dans le

cas de notre étude, la seconde étape ne sera pas prise en compte car nous ne sommes pas confrontés au phénomène de gel-dégel dans la zone du projet.

Le dimensionnement mécanique consiste à vérifier que la structure choisie peut supporter le trafic d'aéronefs prévu pendant la période de calcul préalablement fixée (10 ans). Le dimensionnement mécanique repose sur le calcul :

- ♣ Des sollicitations produites dans la structure par les différents aéronefs, en utilisant le modèle élastique linéaire isotrope multicouche,
- ♣ De l'endommagement « individuel » généré, dans chaque matériau, par le passage de chacun des aéronefs. Dans les couches bitumineuses, l'endommagement est créé par le phénomène de fatigue alors que dans les sols et les matériaux granulaires non traités, il se fait par déformations permanentes,
- ♣ De l'endommagement total, obtenu par sommation de ces endommagements « individuels » sur toute la période de calcul, compte tenu du trafic considéré et des lois de probabilité de balayage. L'endommagement de la chaussée est alors défini comme la valeur maximale des endommagements totaux calculés pour chacune des couches. [Guide de dimensionnement MR]

Le calcul des endommagements s'effectue :

- ♣ A la partie inférieure de la couche de base : l'endommagement par fatigue en traction au niveau de la GB3 (critère ϵ_t),
- ♣ A la partie supérieure de la plate-forme : il s'agit ici de l'endommagement par déformation permanente en compression de la plateforme support (critère ϵ_{zz}).

La structure de chaussée étudiée est vérifiée lorsque l'endommagement total dans chaque matériau est inférieur à **1 µdef**. Nous utiliserons le logiciel de calcul des structures de chaussée **ALIZE-LCPC 2.0.8** à travers son module de dimensionnement aéronautique.

V.3. Dimensionnement mécanique

Pour le dimensionnement mécanique, nous introduisons trois familles de sections pour la piste d'atterrissage et de décollage. Nous avons :

- ♣ La section circulée à vitesse élevée (partie courante de la piste : **Portion 2**),

- ♣ Les sections circulées à vitesse modérée (entrée/sortie de piste, 600 premiers mètres de la piste intégrant le seuil : **Portion 1 et 3**)
- ♣ Les sections circulées à faible vitesse (raquette de retournement : **QFU05 et QFU23**).

V.3.1. Hypothèses et données de calcul

♣ Trafic

Les informations relatives aux aéronefs susceptibles de circuler sur la piste à dimensionner sont regroupées dans le Tableau 14. La distinction est faite entre les décollages et les atterrissages : la masse et le nombre de mouvements pour chaque avion sont précisés.

Tableau 14: Trafic projet pour la piste de décollage et d'atterrissage

Aéronefs du trafic	Masse au décollage Mlow (t)	Masse à l'atterrissage Mlw (t)	Trafic annuel		Trafic cumulé sur 10 ans	
			Décollage	Atterrissage	Décollage	Atterrissage
CRJ (705/900)	38,330	33,980	696	418	11090	6654
ERJ 135/145	20,600	18,700	696	418	11090	6654
ATR 72 212A	21,500	21,350	777	466	12384	7430
B737-800	79,020	66,360	4662	2797	74304	44582
A320-200 jum	77,000	64,500	1554	932	24768	14861
MD87	67,810	58,970	777	466	12384	7430
A300-600 R	170,500	140,000	348	237	5545	3771
A330/340	275,000	185,000	1461	994	23289	15837
B777-300 ER	351,530	251,290	418	284	6654	4525
B747-400 ER	412,770	295,740	209	142	3327	2262

**Les données sont extraites de la base de données « Ficav » du service technique de l'aviation civile STAC.*

La liste des aéronefs empruntant la piste étant importante, nous allons utiliser la méthode décrite au paragraphe 3.1.2.3 du guide de dimensionnement afin de réduire le nombre d'aéronefs pris en compte dans le dimensionnement. Cette méthode prend en compte, pour chaque aéronef, la charge à la roue la plus importante et la compare à la charge la plus importante de tout le trafic.

Le coefficient r_j calculé pour chaque aéronef permet de considérer l'aéronef dimensionnant dans le cas où $r_j \geq 1\%$.

$$r_j = \left(\frac{Pr_j}{Pr_{max}} \right)^5 \times P_j \quad (14)$$

Avec :

- ♣ Pr_j Charge à la roue la plus importante pour l'aéronef j ,
- ♣ $Pr_{max} = \max (Pr_j)$ charge à la roue la plus importante de tout le trafic,
- ♣ $p_j = \frac{n_j}{n_{tot}}$ Pourcentage de trafic cumulé de l'aéronef j rapporté au trafic cumulé total, où : n_j = nombre de passages de l'aéronef j , n_{tot} = nombre de passages total de tous les aéronefs.

Le Tableau 15 présente les résultats de l'application de cette méthode. Nous retenons ainsi cinq (05) aéronefs pour le dimensionnement mécanique de notre chaussée.

Tableau 15: Détermination des aéronefs dimensionnants pour la piste

Aéronefs	Pr (t)	n _j (mvt/an)	P _j (%)	r _j (%)
CRJ 705/900	9,199	1113	5,94	0,027
ERJ 135/145	4,860	1113	5,94	0,001
ART 72 212A	5,160	1243	6,63	0,002
B737-800	18,479	7460	39,78	5,899
A320-200 JUM	17,941	2487	13,26	1,696
MD87	16,071	1243	6,63	0,489
A300-600 R	20,247	585	3,12	0,730
A340-200	19,834	2455	13,09	2,766
B777-300 ER	27,068	701	3,74	3,741
B747-400 ER	24,147	351	1,87	1,057
	Pr_{max} = 27,068	n_{tot} = 18751		

♣ Température équivalente et risque de calcul

Température équivalente

Nous ne disposons pas de données détaillées (sur une période suffisamment longue pour être représentative) relatives aux variations de températures du site du projet. Le climat choisi pour le dimensionnement est de type 4, à dominance tropicale avec une température équivalente de **28°C** (correspondant au cas particulier de la Guyane, GAN).

Risque de calcul

Nous avons une classe de trafic CT4, le risque de calcul est donc pris égal à **2,5%** puisque la classe de trafic est supérieure à CT3 (recommandation du guide de dimensionnement paragraphe 3.1.1).

❖ **Balayage transversal, vitesse de calcul et fréquence de sollicitation**

Le balayage et la vitesse de déplacement forfaitaire sont fonctions de la section de piste à dimensionner. La fréquence de sollicitation des couches est égale à un dixième de la vitesse. Le Tableau 16 nous donne les valeurs de ces paramètres.

Tableau 16: Paramètres de dimensionnement mécanique

Sections	Vitesse (km/h)	Balayage (m)
Section circulée à vitesse élevée (Portion 2)	100	1,5
Section circulée à vitesse élevée (Portion 1 et 3)	30	1
Section circulée à faible vitesse (QFU05 et QFU23)	10	0

V.3.2. Calcul de l'endommagement cumulé

La condition essentielle de vérification est que les dommages cumulés soient inférieurs à 1. On peut conclure que pour l'ensemble des parties d'ouvrages (portions 1,2 et 3) ci-dessous, la variante 1 de structure proposée convient dans les conditions de trafic prévues.

Pour ce qui concerne spécifiquement l'aire d'attente (QFU 05), le guide technique du STAC exige une vérification complémentaire à travers un calcul dans lequel les matériaux hydrocarbonés des couches d'assise sont modélisés comme une GNT, associée à un module de 800 MPa, afin de tenir compte du caractère statique des sollicitations.

Tableau 17: Dommages cumulés dans la structure de chaussée de la piste

Variante	Sections	Dommages cumulés (μ def)		Observations	
		Fatigue (GB3)	Poinçonnement (Sol support)	Base	Fondation
Variante 1	Portion 1 et 3	0,172	0,640	-	-
Variante 1	Portion 2	0,249	0,375	-	-
Variante 2	QFU05 et QFU23	0,203	0,896	+ 1cm sur $e_{initiale}$	+ 2 cm sur $e_{initiale}$

** $e_{initiale}$: épaisseur initiale proposée*

♣ **Rappel des variantes de chaussées retenues**

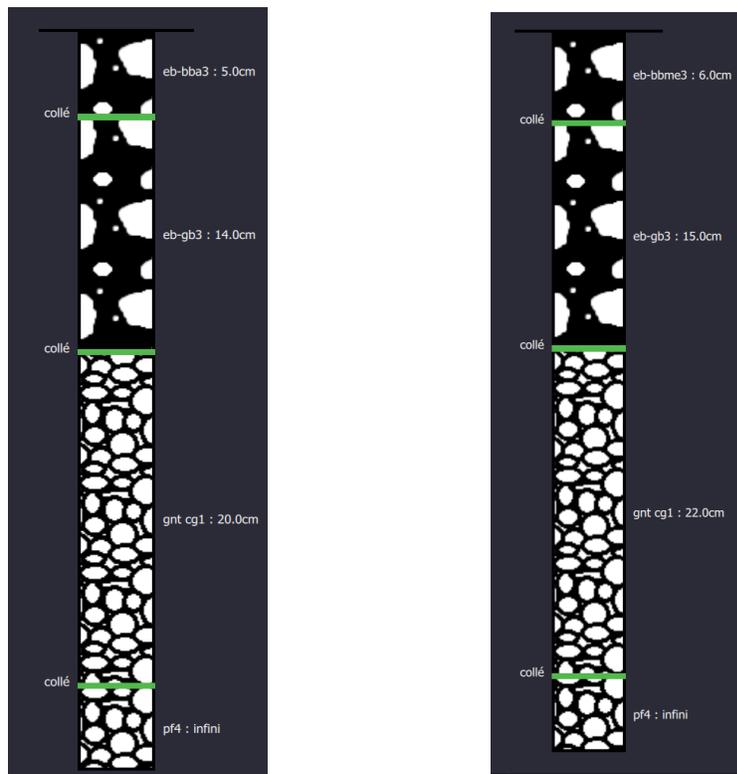


Figure 6: Variante 1 et Variante 2

L'ensemble des étapes de calcul à l'aide du logiciel ALIZE-LCPC 2.0.8 est donné en ANNEXE pour chaque portion de piste.

VI. Admissibilité des avions : Méthode ACN-PCN

VI.1. Détermination du PCN : Pavement Classification Number

VI.1.1. Calcul du PCN de l'Ast militaire

L'indice PCN d'une chaussée souple est calculé à partir de la roue simple isolée RSI et du coefficient H(CBR). La RSI est calculée par la formule suivante :

$$RSI = \frac{e^2}{1000} \times \frac{6,12}{\left(4,231 - 5,013 \log\left(\frac{CBR}{0,6}\right) + 2,426 \left(\log\left(\frac{CBR}{0,6}\right)\right)^2 - 0,473 \left(\log\left(\frac{CBR}{0,6}\right)\right)^3\right)^2} \quad (15)$$

Afin de simplifier l'expression de la RSI, nous définissons la variable $x = \log\left(\frac{CBR}{0,6}\right)$. La formule de la RSI devient donc :

$$RSI = \frac{e^2}{1000} \times \frac{6,12}{(4,231 - 5,013x + 2,426x^2 - 0,473x^3)^2} \quad (16)$$

Avec : e l'épaisseur équivalente en cm et RSI en tonnes.

Ainsi, l'indice PCN est trouvé par le produit de la **RSI** et du coefficient **H** fonction du CBR et de la catégorie de résistance du sol support. Le coefficient H est déterminé par lecture sur abaque.

$$PCN = H(CBR) \times RSI \quad (17)$$

- ♣ RSI en tonnes
- ♣ H fonction du CBR du sol support

La valeur finale du PCN est obtenue en le divisant par le coefficient de pondération de la piste qui est de 0,8.

Tableau 18: Détermination du PCN de la piste d'atterrissage et de décollage

PCN: Chaussée Souple					
e (cm)	CBR	$x = \log(CBR/0,6)$	RSI (t)	H(CBR)	PCN
45	15	1,398	27,451	1,75	60

VI.1.2. Détermination des lettres de codes

Nature de la chaussée :

La piste est en chaussée souple, donc nous avons la lettre de code **F**.

Catégorie de résistance du sol support :

Nous avons un CBR de 15 (résistance élevée), donc la lettre de code est **A**.

Pression de gonflage des pneumatiques :

Nous n'avons pas de limite de pression des pneumatiques, alors la lettre de code est **W**.

Base d'évaluation du PCN :

Nous procéderons par une évaluation technique, d'où la lettre de code **T**.

Le PCN ainsi publié la piste d'atterrissage et de décollage est :

$$\text{PCN} = 60/\text{F}/\text{A}/\text{W}/\text{T}$$

VII. Détermination de l'ACN : Aircraft Classification Number

La détermination de l'ACN des chaussées souples est identique à celle des chaussées rigides. Les différentes masses, l'ACN_{min} et l'ACN_{max} sont donnés par le fabricant de l'avion. Une correction de l'ACN s'impose lorsque la différence de pression entre la pression réelle (q') et la pression standard (q) excède 0,1 MPa. L'ACN corrigé est donné par :

$$ACN_{\text{corrigé}} = \frac{ACN \times \frac{1}{0,5695 \times CBR} - \frac{1}{32,035 \times q'}}{\frac{1}{0,5695 \times CBR} - \frac{1}{32,035 \times q}} \quad (18)$$

Le Tableau 19 nous donne le récapitulatif des calculs :

Tableau 19: Détermination des ACN des aéronefs de la piste de décollage et d'atterrissage

ACN Piste d'atterrissage et de décollage						
Avions	Masses (kg)			Pression pneumatiques Δq	ACN	
	M_t	M	m		ACN	ACN _{corrigé}
CRJ 200/700	35500	38555	20412	0,13	19,15	20
ERJ 135/145	22000	24200	12585	0,64	10,05	14
ATR 72 212A	22500	22670	22350	0,04	8,81	9
B737-800	72500	79243	41413	0,13	39,08	40
A320-200 jum	71000	77400	40529	0,12	37,35	38
MD87	62500	68266	33965	0,05	35,30	35
A300-600 R	156000	170500	92720	0,42	43,15	49
A330/340	214000	233900	119830	0,13	53,42	55
B777-300 ER	322500	352441	167829	0,01	57,51	58
B747-400 ER	379000	414130	164380	0,26	51,51	54

Tous les avions du trafic sont admissibles sans restriction car leurs ACN sont strictement inférieurs au PCN. Pour plus de détails sur le calcul des ACN, se référer à l'ANNEXE III.

Chapitre III : SUIVI DE REALISATION DES OUVRAGES PREFABRIQUES

A. Présentation de la section PREFA

I. Aires de préfabrications

- ♣ La zone PREFA est constituée de plusieurs parties, nous avons :
- ♣ Plateforme Prédalles de 160 m²
- ♣ Zone d'Assemblage ferrailage piédroits de 316 m²
- ♣ Zone de cure Prédalles de 200 m²
- ♣ Zone de cure Piédroit simple de 235 m²
- ♣ Plateforme Piédroit simple 190 m²
- ♣ Plateforme Piédroit avec Gousset 200 m²
- ♣ Zone de cure Piédroit avec Gousset 205 m²
- ♣ Zone Assemblage ferrailage piédroits avec gousset 385 m².

II. Matériaux utilisés pour la réalisation des tables de coffrages

Pour la fabrication des différentes tables ainsi que des coffrages, il a été principalement utilisé :

- ♣ Des UPN de 100 et 80



Figure 7 : UPN servant de solive pour les tables

- ♣ Des tôles noires de 3 et 5 mm



Figure 8: Tôles noires de 5 mm

- ♣ Des plots en béton armé dosé à 350 kg/m³ sur lesquels se reposent les plateformes



Figure 9: Plots en Béton Armé



Figure 10: Moules de coffrage des piédroits

III. Méthode de réalisation des ouvrages

III.1. Piédroit simple et avec Gousset

Nous distinguons deux types de piédroits dans le cadre du projet de construction de l'AID (Lot 2A), à savoir les piédroits simples et les piédroits avec goussets. Le choix de ces différents piédroits dépend des études techniques menées sur les ouvrages hydrauliques.

♣ Mode opératoire Réalisation

- Phase 1 : Nettoyage, grattage et huilage des coffrages
- Phase 2 : Pose des ferrillages
- Phase 3 : Fermeture, réglages, boulonnage des joues de coffrages et du corbeau
- Phase 4 : Coulage du béton avec la toupie et une benne à béton
- Phase 5 : Décoffrage

♣ Mode opératoire Retournement des Piédroits

- Phase 1 : Décoffrage piédroits (on retire la tôle de l'arrête du béton à l'aide d'arrache-clou)
- Phase 2 : Levage piédroit vers la zone de retournement
- Phase 3 : Préparation des châssis de retournement
- Phase 4 : Pose des piédroits sur le châssis de retournement ; Décrochage et accrochage de la chaîne sur les crochets supérieurs
- Phase 5 : Retournement de l'élément avec la grue
- Phase 6 : Levage piédroit vers la zone de cure
- Phase 7 : Pose du piédroit sur la zone de cure
- Phase 8 : Cure des piédroits

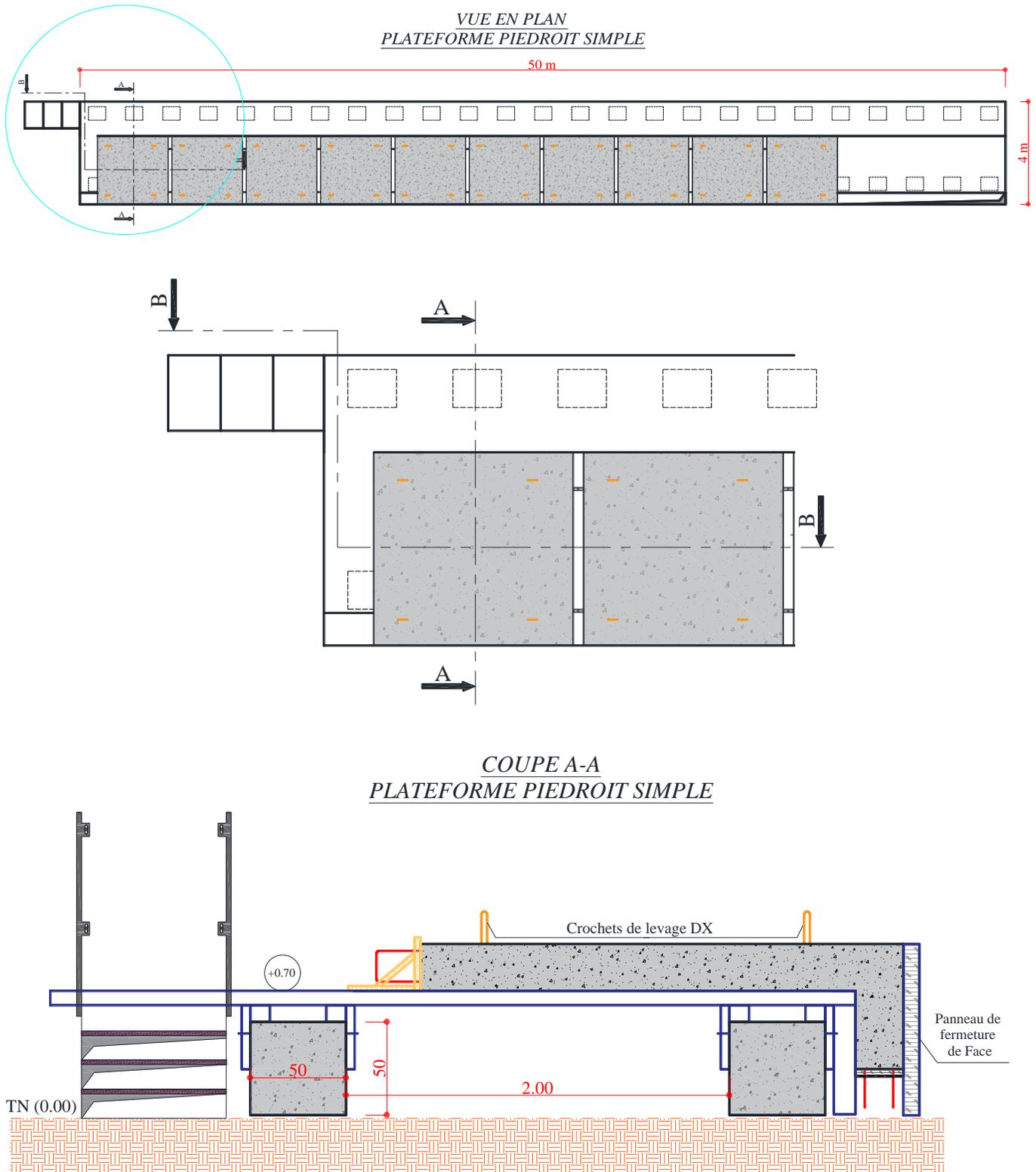


Figure 11: Plateforme des piédroits simples

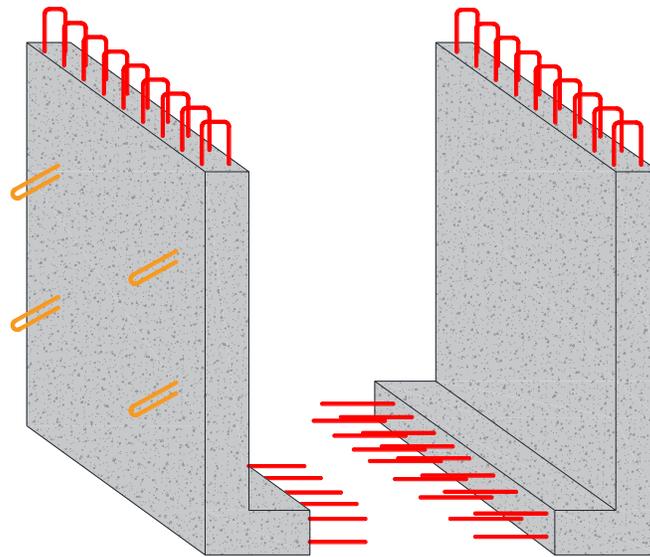


Figure 12: Piédroits simples décoffrés

Les piédroits sont décoffrés et stockés dans la zone de stockage à l'aide d'une grue à tour mobile. Les crochets de levages sont prévus à ce sujet.

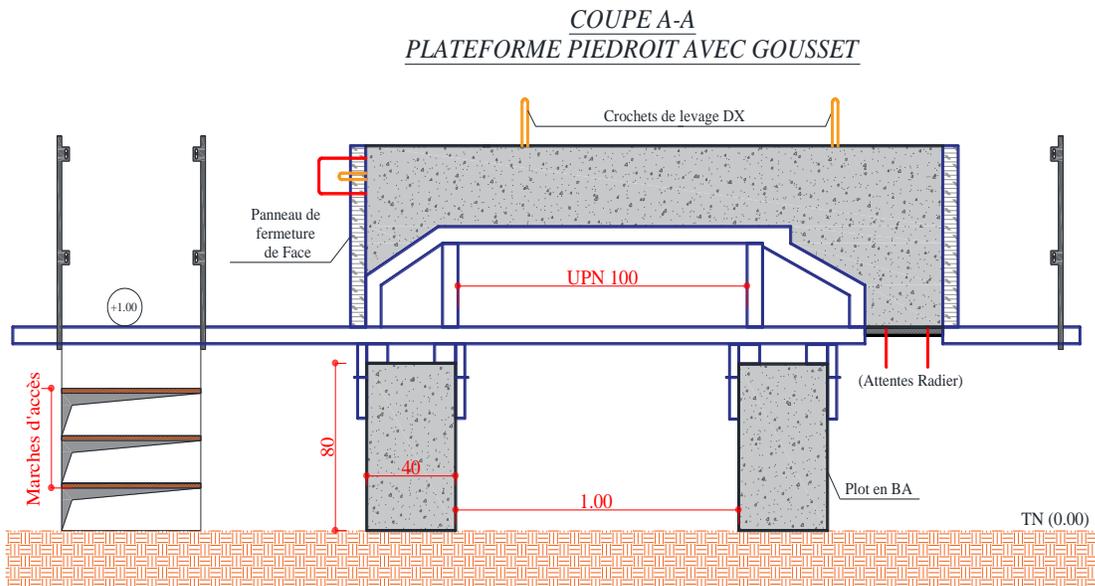


Figure 13: Plateformes des piédroits avec Goussets

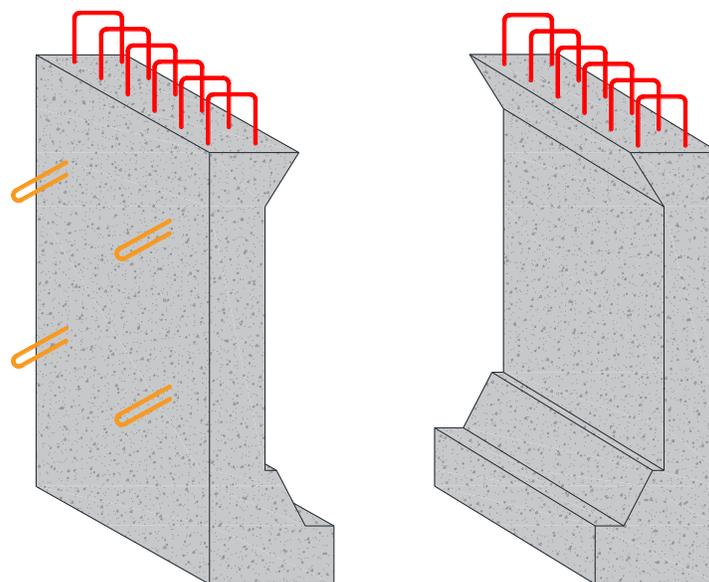


Figure 14: Piédroits avec goussets décoffrés

III.2. Prédalles

Les prédalles sont des éléments préfabriqués en béton armé généralement utilisés dans la construction pour former la partie horizontale inférieure d'une dalle. Dans le cadre de notre étude, elles constituent la partie inférieure du tablier des ouvrages hydrauliques.

♣ Mode opératoire Réalisation

- Phase 1 : Nettoyage de la table
- Phase 2 : Serrage des écarteurs
- Phase 3 : Application huile de décoffrage
- Phase 4 : Levage et pose ferrailage dans le coffrage
- Phase 5 : Mise en œuvre des arrêtements
- Phase 6 : Coulage du béton
- Phase 7 : Décoffrage des arrêtements
- Phase 8 : Décoffrage des écarteurs
- Phase 9 : Levage de la prédalle
- Phase 10 : Stockage et curage des prédalles

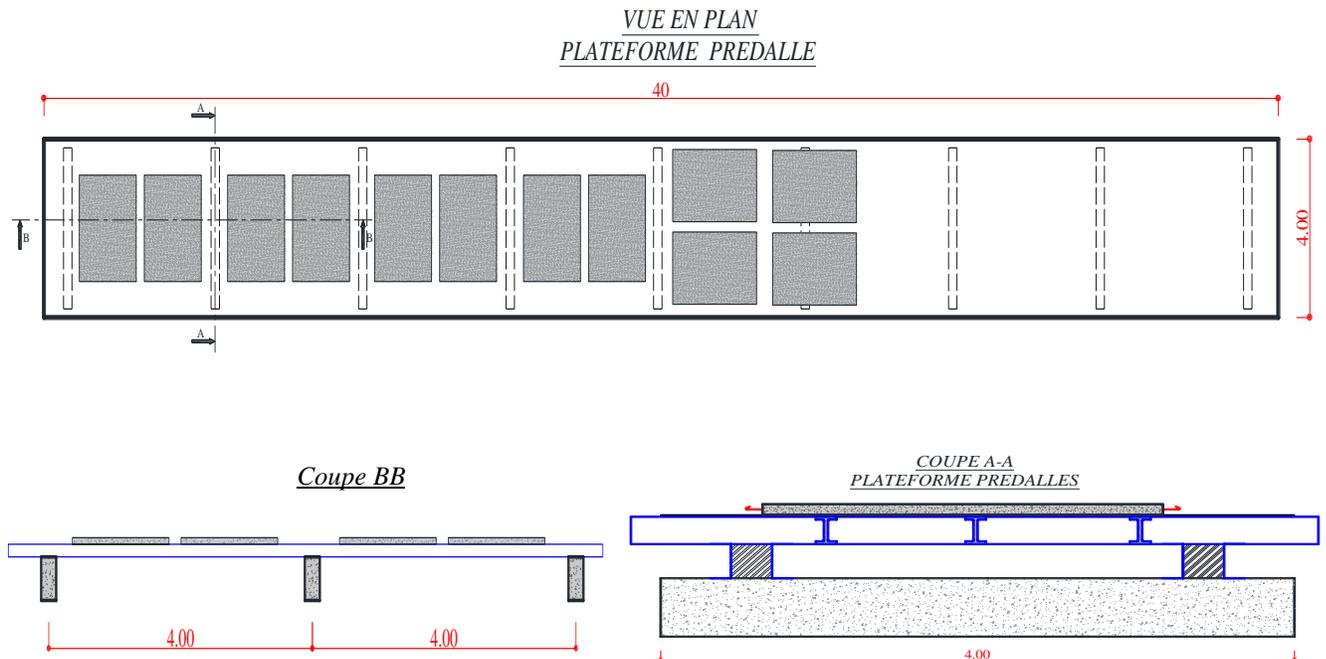


Figure 15: Plateforme Prédalle

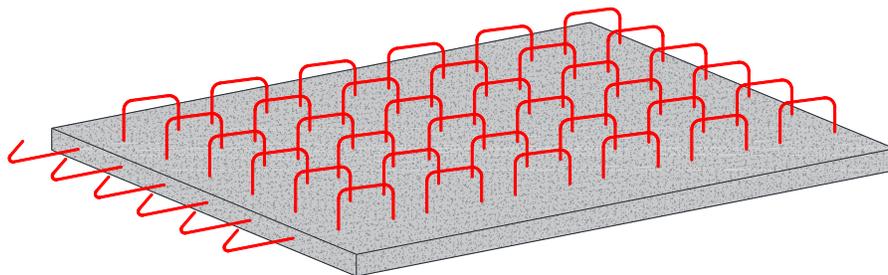


Figure 16: Prédalle décoffrée

III.3. Buses et Dalots Monoblocs

Les buses sont des ouvrages hydrauliques de sections circulaires permettant l'évacuation de faibles débits. Nous distinguons deux types de buses pour la préfabrication, à savoir les buses de 1 m et les buses de 2 m de longueurs.

Les Dalots monobloc sont réalisés en préfabriqués en un seul bloc compacte sans dissocier les composants en raison de leurs sections hydrauliques relativement petites.

♣ Mode opératoire Réalisation

- Phase 1 : Serrage du noyau et application d'huiles de décoffrages sur le noyau et les panneaux
- Phase 2 : Pose du ferrailage autour du noyau
- Phase 3 : Pose des cales à béton et fermeture des panneaux latéraux
- Phase 4 : Coulage du béton
- Phase 5 : Décoffrage des panneaux latéraux
- Phase 6 : Levage et stockage
- Phase 7 : Numérotation des éléments
- Phase 8 : Curage

III.4. Chambres de tirages de type KC

Les chambres de tirages sont des ouvrages enterrés conçus pour faciliter le passage et la gestion des câbles électriques pour le balisage de la chaussée aéronautique. Elles sont également appelées regards ou boîtes de tirage.

♣ Mode opératoire Réalisation

- Phase 1 : Serrage du noyau et application d'huiles de décoffrages sur le noyau et les panneaux
- Phase 2 : Pose du ferrailage autour du noyau
- Phase 3 : Pose des cales à béton et fermeture des panneaux latéraux
- Phase 4 : Coulage du béton
- Phase 5 : Finition après coulage
- Phase 6 : Coulage du béton
- Phase 7 : Levage et retournement du moule
- Phase 8 : Décoffrage des panneaux latéraux et du noyau
- Phase 9 : Stockage et numérotation
- Phase 10 : Curage

IV. Production des éléments préfabriqués

IV.1. Cadence journalière

Environ 4000 m³ de béton et 900 tonnes d'aciers sont utilisés pour la réalisation de l'ensemble des ouvrages préfabriqués du projet.

Il faudra théoriquement 200 jours ouvrables pour finir tous les ouvrages préfabriqués avec une cadence journalière de 20 m³ de béton, 4,85 tonnes d'aciers et 120 kg de fils d'attaches.

Tableau 20: Production journalière de la PREFA

Production journalière PREFA					
Désignation	Béton (m ³)	Acier (t)	Fils d'attaches (kg)	Cales à béton (u)	Huiles de décoffrages (L)
Quantité	20	4,85	120	750	10

Cette production journalière correspond à la mise en œuvre de 10 piédroits simples, 10 piédroits avec gousset, 7 prédalles, un monobloc et deux buses. La production n'est pas uniforme tout au long du projet, elle dépend fortement du planning de réalisation des ouvrages.

IV.2. Temps de travail journalier du matériel

La préfabrication des ouvrages préfabriqués nécessite l'utilisation de certains matériels et engins tels que :

- ♣ Le camion HIAB pour la manutention et le transport des ouvrages préfabriqués ;
- ♣ La toupie pour le transport du béton produit par la centrale à béton ;
- ♣ La benne à béton pour le coulage du béton dans les zones inaccessibles à la toupie ;
- ♣ Le Manitou pour le transport et la réalisation des tâches divers ;
- ♣ La grue à tour pour la manutention, la pose et le stockage du ferrailage et des ouvrages préfabriqués.

Il est à noter que seule la grue à tour travaille à temps plein à la section de préfabrication.

Tableau 21: Temps de travail du matériel de la PREFA

Matériels	Temps de travail (h)			
	Prédalle	Piédroit avec gousset	Piédroit simple	Monoblocs, buses, regards
Camion HIAB	2		2	3
Toupie	1	3	2	1
Benne à béton		5		1
Manitou	1		1	3
Grue à tour		7	3	

Chapitre IV : ETUDE FINANCIERE ET NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL

A. Etude financière

L'étude financière vise à évaluer la viabilité économique et la rentabilité du projet. Dans le cadre de notre étude, nous allons uniquement évaluer le coût de réalisation de l'aire de stationnement militaire ainsi que celui de la piste d'atterrissage et de décollage. Le coût sera déterminé à partir des quantités de matériaux à mobilisés et des prix unitaires pour chaque tâche.

I. Aire de stationnement militaire

Tableau 22: Coût de réalisation Ast militaire

AST militaire					
Code	Désignation	Unité	Quantité	Coût unitaire (FCFA)	Coût total (FCFA)
0.1	Décapage de la terre végétale	m ²	24917	3 285	81 852 345
0.2	Remblais provenant d'emprunt	m ³	7475,1	6 500	48 588 150
0.3	Couche de forme en latérite	m ³	4983,4	6 500	32 392 100
0.4	Couche de fondation en grave ciment	m ³	7475,1	86 210	644 428 371
0.5	Couche de roulement BC6 g	m ³	6976,76	126 500	882 560 140
TOTAL HT					1 689 821 106
TVA					304 167 800
TOTAL TTC					1 993 988 906

Le coût de réalisation de l'aire de stationnement militaire en chaussée rigide s'élève à environ **1 994 000 000** FCFA.

II. Piste d'atterrissage et de décollage

Tableau 23: Coût de réalisation de la piste d'atterrissage et de décollage

PISTE D'ATTERRISSAGE ET DE DECOLLAGE					
SECTION 1 : TERRASSEMENTS					
Code	Désignation	Unité	Quantité	Coût U (FCFA)	Coût Total (FCFA)
1.1	Débroussaillage et nettoyage	m ²	231 000	300	69 300 000
1.2	Remblais d'emprunt	m ³	173 250	6 500	1 126 125 000

1.3	Déblais mis en dépôts	m ³	17 325	2 500	43 312 500
1.4	Réglage et compactage de la couche de forme	m ²	231 000	250	57 750 000
TOTAL 1					1 296 487 500
SECTION 2 : CHAUSSEE ET REVETEMENT					
2.1	Couche de fondation Piste GNT	m ³	31 500	35 000	1 102 500 000
2.2	Couche de fondation Accotements GNT	m ³	10 500	35 000	367 500 000
2.3	Couche d'imprégnation	m ²	210 000	2 000	420 000 000
2.4	Couche d'accrochage	m ²	210 000	1 500	315 000 000
2.5	Couche de base Piste GB3	m ³	26 460	120 000	3 196 800 000
2.6	Couche de Roulement Piste BBA	m ³	9 450	300 000	2 835 000 000
2.7	Couche de Roulement Accotement BBA	m ³	3 150	300 000	945 000 000
TOTAL 2					9 181 800 000
TOTAL HT					10 478 287 500
TVA (18%)					1 886 091 750
TOTAL TTC					12 364 379 250

Le coût de réalisation de la piste d'atterrissage et de décollage en chaussée souple s'élève à environ **12 364 380 000 FCFA**.

Le coût total de réalisation des deux chaussées ayant fait l'objet de notre étude est de **14 358 380 000 FCFA**.

B. NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL

La notice d'impact environnemental et social est essentielle pour le bon déroulement des travaux, elle vise à évaluer et à anticiper les conséquences du projet sur l'environnement et la société. Elle a pour objectif d'identifier, évaluer et atténuer les impacts potentiels du projet sur l'environnement et la société. Cela inclut les aspects physiques, biologiques, sociaux, économiques et culturels.

La notice doit également être en conformité avec la réglementation environnementale en vigueur au Burkina Faso.

- ♣ La présente notice se présente comme suit :
- ♣ D'abord nous allons mener une évaluation des impacts environnementaux et sociaux lors des différentes phases du projet ;
- ♣ Ensuite nous proposerons des mesures d'atténuation afin de minimiser, atténuer ou compenser les impacts négatifs identifiés des impacts ;
- ♣ Et en fin des mécanismes pour suivre et évaluer en continu les impacts environnementaux et sociaux tout au long de la vie du projet seront mise en place.

I. Evaluation des impacts environnementaux

II. Description des phases du projet

II.1. Phase préparatoire ou de démarrage

La phase préparatoire regroupe toutes les activités qui devront être accomplies, en partie ou en totalité, avant le début des travaux. Les sources d'impact potentiel sont :

- ♣ La mobilisation du personnel et du matériel ;
- ♣ La construction ou réfection des voies d'accès vers les aires de construction et les zones d'emprunt ;
- ♣ L'installation de la base-vie et de la base technique de chantier.

II.2. Phase de construction

Cette phase consiste notamment à la réalisation des travaux de la construction de la chaussée aéronautique, du balisage lumineux, de l'assainissement et de la clôture OACI

Les sources d'impact potentiel des activités de construction sont :

- ♣ Le débroussaillage, décapage et démolition ;
- ♣ La présence du personnel ;
- ♣ Le terrassement ;
- ♣ L'exploitation des zones d'emprunt et de carrières ;
- ♣ La réalisation des enrobés ;
- ♣ La réalisation de béton.

II.3. Phase de fin de chantier

La phase de fin de chantier consiste au repli du chantier et à la restauration des sites de construction. La gestion et l'élimination des déchets constituent des activités importantes de cette étape de post construction.

III. Impacts du projet

Les principaux impacts positifs et négatifs sont donnés ci-dessous pour chaque phase du projet dans le Tableau 24.

Tableau 24: Impacts environnementaux et sociaux du projet

Phases	Activités	Impacts Positifs	Impacts négatifs
Préparatoire ou démarrage	<ul style="list-style-type: none"> - Mobilisation du personnel et du matériel - Construction ou réfection des voies d'accès - Installation des bases vie et technique 	<ul style="list-style-type: none"> - Création d'emploi local - Emergence d'activités génératrices de revenus - Amélioration de la praticabilité des voies - Désenclavement de certaines localités 	<ul style="list-style-type: none"> - Nuisances sonores et Conflit d'intérêt avec la population locale - Prolifération des maladies et production des déchets - Risque de pollution des milieux environnants
Construction	<ul style="list-style-type: none"> - Terrassement - Exploitation des emprunts - Production des matériaux de construction 	<ul style="list-style-type: none"> - Amélioration des compétences techniques locales et augmentation temporaire des revenus des populations 	<ul style="list-style-type: none"> - Pollution et nuisance sonore - Détérioration du cadre de vie et de la santé

<p>Fin de chantier</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Repli du chantier - Aménagement et restauration des sites de construction 	<ul style="list-style-type: none"> - Mise à disposition d'ouvriers qualifiés dans les différents secteurs d'activités du BTP. - Don aux associations locales, de produits recyclables - L'appui à l'aménagement du cadre de vie 	<ul style="list-style-type: none"> - La perte d'emploi pour la main d'œuvre non qualifiée suite à la suppression des différents postes de travail. - La réduction voire fermeture des commerces et prestations divers
-------------------------------	--	--	---

IV. Mesures de prévention des risques

Les mesures de préventions des risques visent à atténuer ou à éviter les impacts négatifs lors des différentes phases du projet. Nous proposons les mesures de prévention pour la phase préparatoire, la phase de construction et la fin du chantier.

IV.1. Mesures de prévention des impacts négatifs lors de la phase préparatoire

IV.1.1. Milieu biophysique

En ce qui concerne le milieu biophysique, les mesures suivantes peuvent être adoptées :

- ♣ Arroser régulièrement les pistes d'accès aux zones de matériaux et des zones de terrassement
- ♣ Mettre l'accent sur la concertation avec les propriétaires terriens avant l'exploitation des agrégats au niveau des sites d'emprunt en impliquant les autorités administratives des communes concernées, les Services Départementaux de l'Environnement et les Conseils Villageois de Développement (CVD) ;
- ♣ Mettre en place sur la base technique des séparateurs d'hydrocarbures à l'aval des aires de lavage et d'entretien des véhicules et engins ;
- ♣ Limiter l'abattage des arbres et arbustes au minimum possible ;
- ♣ Collecter et évacuer les déchets ;
- ♣ Limiter la destruction de l'habitat faunique pendant l'installation du chantier

IV.1.2. Milieu humain

- ♣ Limiter les vitesses des camions et autres engins roulants sur le chantier à 30 km/h ;

- ♣ Impliquer les populations dans l'application et la mise en œuvre du plan de gestion environnementale du projet ;
- ♣ Le recrutement autant que possible de la main d'œuvre locale ;
- ♣ Arroser régulièrement les pistes d'accès aux matériaux et des zones de terrassement
- ♣ Mettre l'accent sur la concertation avec les propriétaires terriens avant l'exploitation des terres en impliquant les autorités administratives ;
- ♣ Doter tout le personnel en Equipement de Protection Individuelle (EPI) ;
- ♣ Organiser des sessions de sensibilisation sur les Infections Sexuellement Transmissibles IST.

IV.2. Mesures de protection de l'environnement en phase des travaux

IV.2.1. Milieu biophysique

- ♣ Mise à l'arrêt systématique des engins de chantiers lorsqu'ils ne sont pas utilisées ;
- ♣ Maintenance régulière de toutes les sources de produits de combustion et l'équipement de surveillance connexe ;
- ♣ Lors du fonctionnement de la centrale d'enrobé, un système (filtre à manche) de récupération et de traitement des gaz produits sera mis en place pour réduire la pollution de l'air
- ♣ L'utilisation de l'eau comme abat de poussière
- ♣ La ferraille qui sera récupérée et la recyclée grâce à un partenariat avec les entreprises spécialisées

IV.2.2. Milieu humain

- ♣ Le recrutement des journaliers non spécialisés se fera uniquement ou prioritairement dans les villages environnants du projet.
- ♣ Le recrutement des sous-traitants se fera aussi préférentiellement au niveau local.
- ♣ Des campagnes de sensibilisations seront organisés sur les IST, le VIH/SIDA et le coronavirus au profit des populations riveraines.

V. Mesures de protection de l'environnement en phase de fin des travaux

Les actions suivantes seront mises en œuvre pour la protection de l'environnement en phase de fin chantier :

- ♣ La remise en état des emprunts y compris la végétalisation ;
- ♣ Le nettoyage et la remise en état des zones d'installation (base vie, base de chantier, aire de préfabrication, centrale enrobé...) ;
- ♣ L'évacuation des déchets ;
- ♣ La gestion et/ou traitement éventuel des sols pollués.

CONCLUSION

En conclusion, notre travail a été axé sur le dimensionnement de l'aire de stationnement militaire, la piste d'atterrissage et de décollage, ainsi que sur le suivi de réalisation des ouvrages hydrauliques. Nous avons réussi à obtenir des structures de chaussées conformes aux normes tout en respectant des considérations économiques. Le suivi rigoureux des travaux de préfabrication a été importante, garantissant la qualité des ouvrages. Nous avons également élaboré une notice d'impact environnemental et social, contribuant ainsi à un déroulement des travaux en accord avec les exigences environnementales et sociales.

L'étude de l'aire de stationnement militaire (Ast ROMEO) a été fait par la méthode de dimensionnement forfaitaire. Nous avons retenu une structure de chaussée rigide, composée d'une dalle courte de béton goujonné de classe 6 (Bc6 g) de 28 cm et 20 cm de Grave ciment.

L'étude de la piste de décollage et d'atterrissage a été fait en deux étapes. Une épaisseur équivalente totale de 45 cm a d'abord été déterminé par la méthode de dimensionnement optimisée. Ensuite nous avons proposé deux variantes de structure pour l'aire dimensionnée, en choisissant les matériaux constitutifs de la structure de chaussée ainsi que l'épaisseur de chaque couche. Un dimensionnement mécanique (méthode rationnelle de dimensionnement) a été fait avec le logiciel ALIZE-LCPC 2.0.8 afin de de vérifier si les variantes proposées résistent aux sollicitations du trafic projet. La structure de chaussée souple retenue pour la Piste est composée de 5 cm de BBA (Béton Bitumineux Aéronautique) en couche de roulement, 14 cm de GB3 (Grave Bitume de classe 3) en couche de base, 20 cm de GRH (Grave Reconstituée Humidifiée ou GNT de type B) en couche de fondation.

L'admissibilité de l'ensemble des aéronefs du trafic a été vérifié par la méthode ACN-PCN. Tous les aéronefs sont admissibles sans restriction.

Le coût de réalisation des deux chaussées ayant fait l'objet de notre étude est de quatorze milliards trois cent cinquante-huit millions trois cent quatre-vingt mille FCFA (**14 358 380 000 FCFA**).

Notre stage de six mois chez SOGEA SATOM a été une immersion enrichissante dans la coordination et le déroulement des travaux pour un projet d'envergure. Notre implication dans divers aspects du suivi, tels que le suivi du matériel, le Cost Control de la fabrication du béton, le

métré des ouvrages, le suivi des stocks de matériaux et des approvisionnements, ainsi que le suivi des déboursés secs hebdomadaires, a renforcé nos compétences professionnelles.

Cependant, nous avons rencontré quelques difficultés, notamment lors de la collecte des données relatives au trafic et aux études géotechniques. Malgré ces obstacles, cette expérience a été formatrice et a offert une compréhension approfondie des processus de réalisation de projets d'infrastructures complexes.

En somme, ce projet a été une opportunité d'appliquer nos connaissances théoriques à des situations réelles, renforçant notre compréhension du domaine et préparant adéquatement notre transition vers le monde professionnel.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Service Technique de l'Aviation Civile & Université Gustave Eiffel, « Alizé-Aéronautique version 2.0.8 Documentation utilisateur ». 2021.
- [2] Juliette BLANC, Jean-Maurice BALAY, Pierre HORNYCH, Jean-Michel PIAU, « Alizé-Aéronautique-v1.5 Manuel d'utilisation ». IFSTAR, 2016.
- [3] Robert BRABER, Anthony GAUTIER, « Approche pratique de la méthode ACN/PCN ». Infralab SA, 2012.
- [4] STBA & LCPC, « Chaussées aéronautiques en béton hydraulique ». 2000.
- [5] SADOUDIL/METICHE.S, « Cours d'aérodrome : Chaussées aéronautiques ».
- [6] NEMARO T-HENRI-R, « Cours sur chaussées aéronautiques ».
- [7] STBA, « Dimensionnement des chaussées Volume 1 ». 1983.
- [8] STBA, « Dimensionnement des chaussées Volume 2 ». 1983.
- [9] DGAC-STAC, « Enrobés hydrocarbonés et enduits superficiels pour chaussées aéronautiques - Guide d'application des normes », 2009.
- [10] L. Simpure, « Etude technique d'une chaussée aéronautique : cas de la piste d'atterrissage et de décollage du nouvel aéroport international de DONSIN (BURKINA FASO) », Mémoire de Master, 2iE, 2020.
- [11] M. A. A. Ouattara, « Etude technique et exécution d'une aire de stationnement et d'un ouvrage hydraulique sur le site du nouvel aéroport international de OUAGADOUGOU-DONSIN au BURKINA FASO », Mémoire de Master, 2iE, 2022.

[12] STBA, « Guide pratique d'utilisation de la méthode ACN/PCN ». 1988.

[13] STBA, « LA METHODE ACN-PCN comme outil de gestion des chaussées aéronautiques ».

[14] Service Technique de l'Aviation Civile, « Méthode rationnelle de dimensionnement des chaussées aéronautiques souples », oct. 2016.

[15] NEMARO T-HENRI-R, « Rapport dimensionnement chaussées souples_Indice 02. » 2022.

[16] NEMARO T-HENRI-R, « Rapport proposition variantes AST - chaussée rigide_Vers.02. » 2022.

[17] L. Porot, « Structures des chaussées souples ».

[18] Service Technique des Bases Aériennes, « Tableaux et abaques des principaux avions commerciaux ». 1983.

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I : Glossaire.....	IV
ANNEXE II : Etude de l'aire de stationnement militaire.....	VII
ANNEXE III : Etude de la piste d'atterrissage et de décollage.....	XVII
ANNEXE IV : Dimensionnement mécanique de la piste (ALIZE LCPC).....	XLIV

ANNEXE I : Glossaire

I.1. Infrastructures aéronautiques

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

Piste : Aire rectangulaire aménagée pour le décollage et l'atterrissage des aéronefs. Il est souvent nécessaire de construire plusieurs pistes parallèles en fonction du trafic.

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

Raquette de retournement : Aire aménagée en extrémité de piste destinée à faciliter le retournement des avions.

I.2. AERONEF

Aéronef : C'est un appareil ayant la capacité de se déplacer dans les airs. Parmi les aéronefs les plus connus nous avons : les avions (muni d'ailes et d'un organe propulseur) et les hélicoptères (muni d'hélices et s'élevant à la verticale).

Atterrisseur : Il est constitué de l'ensemble des roues montées sur une même jambe. L'ensemble des atterrisseurs constitue le train d'atterrissage.

Atterrisseurs principaux : Ce sont les atterrisseurs situés à l'arrière de l'avion. En général 93 à 95% de la masse de l'avion sont distribués sur les atterrisseurs principaux.

Atterrisseur de nez : C'est l'atterrisseur situé à l'avant de l'avion, il est aussi appelé atterrisseur secondaire.

Mouvement n : Un mouvement représente le passage d'un avion sur une aire par l'intermédiaire d'un atterrisseur. Un aller-retour (atterrissage-décollage) d'un avion correspond à deux (02) mouvements.

I.3. CHAUSSEES

Chaussée souple : C'est une chaussée constituée de couches de matériaux traités aux liants hydrocarbonés reposant sur une couche de matériaux non traités. Elle est composée d'une couche de surface (roulement, liaison), couche d'assise (base, fondation), d'une éventuelle couche de forme et du sol support.

Chaussée rigide : C'est une chaussée constituée de couches de matériaux traités aux liants hydrauliques en couche supérieure. La rigidité des dalles qui constituent la partie supérieure de la chaussée protège le sol support des sollicitations mécaniques. La rupture de la chaussée s'amorce en premier lieu dans la dalle par excès de contraintes.

Couche : Élément structurel d'une chaussée, composé d'un seul produit normalisé. Une couche peut être répandue en une ou plusieurs couches élémentaires.

Structure de chaussée : Ensemble de couches superposées de matériaux reposant sur la plate-forme de chaussée, destinées à répartir sur le sol naturel les efforts dus à la circulation des aéronefs

I.4. Paramètres utilisés pour le dimensionnement des chaussées

Charge réelle P : Charge appliquée par un mouvement d'avions à n mouvements pendant 10 ans

Charge réelle pondérée P' : Charge réelle P pondérée selon la chaussée étudiée. Il est affecté à chaque aire de l'aérodrome un coefficient de pondération C_p . (Voir Figure i)

Charge normale de calcul P'' : Charge à 10 mouvements par jour pendant 10 ans utilisée dans les formules et abaques pour le calcul de dimensionnement des chaussées.

Durée de vie : C'est la période au bout de laquelle la chaussée ne remplit plus les fonctions pour lesquelles elle a été dimensionner.

Trafic : Le trafic correspond aux nombres de mouvements, types et masses des aéronefs susceptibles de circuler sur la chaussée aéronautique au cours de la période de calcul.

Trafic cumulé : Nombre de passages d'un type d'aéronef circulant dans l'aire de mouvement durant la période de calcul.

Trafic dimensionnant : Partie du trafic dont le ou les aéronef(s) influencent directement le dimensionnement de la structure de chaussée en raison de leur masse importante et/ou de leur nombre de passages cumulés sur la période de calcul.

ANNEXE II : Etude de l'aire de stationnement militaire

II.1. Trafic

Aire	Avion	Fréquence	Unité Trafic	Type de Mouvements	Nombre de mouvement/an N0	Mouvements totaux (20 ans)	Charge (T)
AST MILITAIRE	CASA CN235	1	Semaine	Décollage	52	2 978	16,7
		1		Atterissage	52	2 978	1,5
	B 727 ADV	1		Décollage	52	2 978	84,4
		1		Atterissage	52	2 978	70,1
	B 747-400	0,50		Décollage	26	1 489	398,3
		0,50		Atterissage	26	1 489	285,8

II.2. Choix de la structure de chaussée

➤ **Dalle de béton**

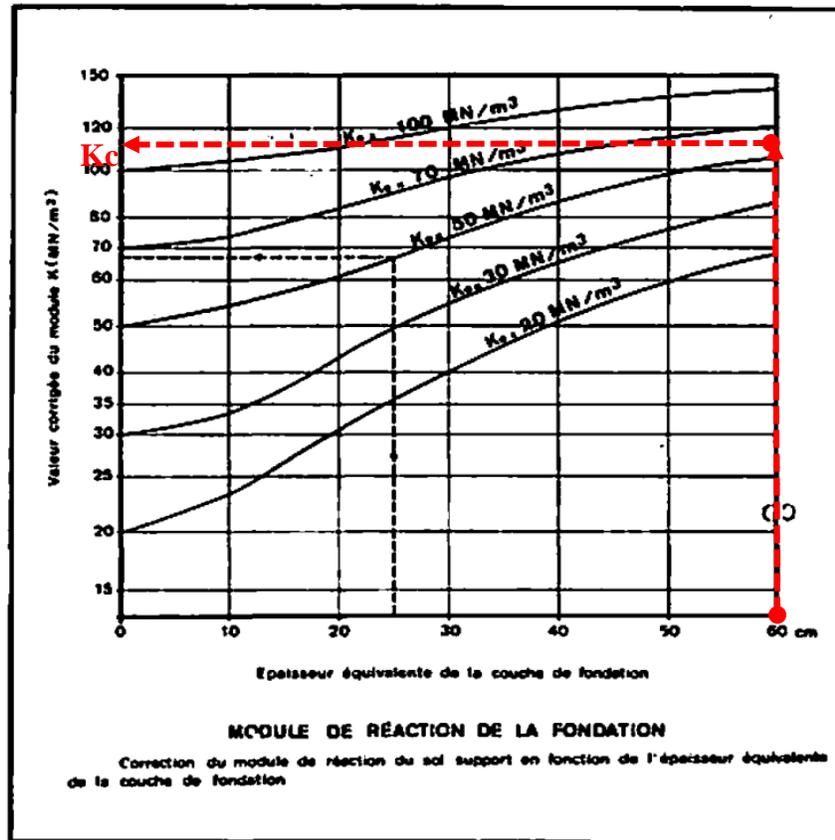
La dalle de béton est de classe BC6 goujonnée, la résistance de fendage est de 3,3.

Tableau 15 : Classification des bétons routiers

Désignation des bétons routiers et domaines d'emploi (NF P 98 170 et NF P 98 086)	Résistance caractéristique à 28 jours (MPa)	Résistance en compression (NF EN 206/CN)	Résistance en fendage (NF P 98 170)
BC1 Couche d'assises	< 20 (8 ; 12 et 16)	C 8/10 ; C12/15 ; C 16/20	< 1,3 (0,7 ; 1,0 et 1,3)
BC2 Couche d'assises	20	C 20/25	1,7
BC3 Couche d'assises	25	C 25/30	2,0
BC4 Couche de roulement	29	C 30/37	2,4
BC5 Couche de roulement	32	C 35/45	2,7
BC6 Couche de roulement routière et aéroportuaire	38	C 40/50	3,3

➤ **Détermination des paramètres de dimensionnement**

♣ Module de réaction corrigé K_c



Le module de réaction corrigé K_c est déterminé par lecture sur abaque à partir de l'épaisseur équivalente de la couche de fondation augmentée de celle de la couche de forme et du module de réaction K_0 . C'est ainsi que nous obtenons $K_c \approx 113 \text{ MN/m}^3$.

Afin de s'assurer de l'exactitude de nos données et de la valeur de K_c ainsi trouvée, nous avons utilisé le programme du Service Technique de l'Aviation Civile STAC (module de Dimensionnement des Chaussées Aéronautiques DCA). La figure suivante nous donne la valeur de K_c calculée :

Calcul du module corrigé K_c

Épaisseur équivalente (cm) : 60 ↓ K_c

Base (matériaux traités) :	Coef. éq. :	Épaisseur :
Grave traitée aux liants hydrauliques	1.5	20 cm
Fondation (matériaux non traités) :	Coef. éq. :	Épaisseur :
Grave naturelle non traitée	1	30 cm ↓ K_0
Sol	<input type="range" value="60"/>	60 MN/m^3

⇓ Calculer K_c

Module de réaction K_c
(MN/m^3) :

113 💡

♣ *Coefficient de sécurité pour le calcul de la contrainte admissible de la dalle de béton*

Nature du dispositif de transfert de charge des joints de construction et de dilatation de la chaussée (*).	Autres conditions	Coefficient de sécurité
Sans dispositif	dans tous les cas	2,6
Goujons	—	1,8
Rainure et languette	moins de 2 conditions défavorables (voir ci-dessous)	1,8
	au moins 2 conditions défavorables (voir ci-dessous)	2,6

Nous avons une dalle de béton courte non armée goujonnée de classe 6, alors le transfert des charges est assuré par les goujons, donc $CS = 1,8$.

II.3. Réalisation de la dalle de béton

➤ **Dimensions et positions des goujons**

Les goujons sont des barres en acier lisses plastifiées ou enduites conformes à la norme NF EN 13877-3. Sur chaussée aéronautique, quelle que soit l'épaisseur, on utilise des goujons de diamètre 30 mm et de longueur 500 mm. Ils sont espacés de 0,33 m. Les goujons doivent être disposés dans la fibre neutre (à mi-épaisseur de la dalle) parallèlement à l'axe de la chaussée. La position des goujons, mesurée en tout point du goujon ne doit pas s'écarter de la position de référence de plus de :

- ♣ 2 cm par rapport à la surface supérieure de la dalle,
- ♣ 2 cm dans le sens transversal de la chaussée, mesurée par rapport à l'axe longitudinal de la chaussée,
- ♣ 5 cm dans le sens longitudinal de la chaussée, mesurée par rapport au joint de la chaussée.



➤ Les joints de chaussée

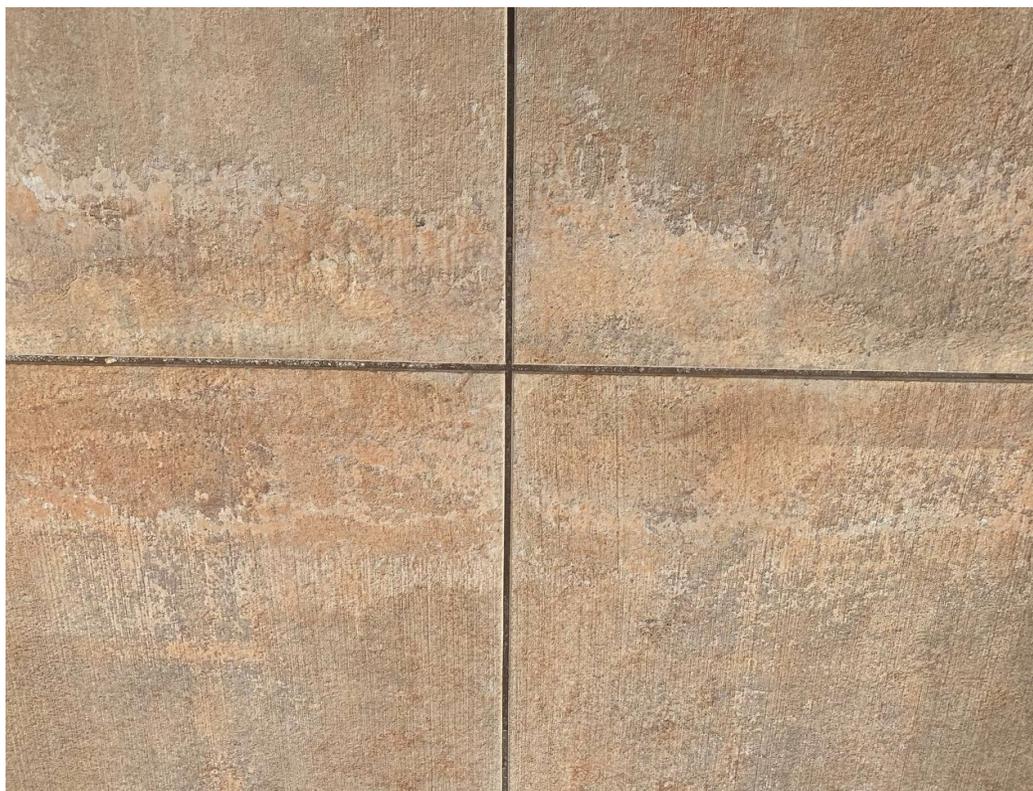
Les différents types de joints pour chaussées en béton sont les suivants :

- ♣ **Joint de retrait-flexion** pratiqué dans la couche de béton en vue de localiser la fissuration de retrait ;
- ♣ **Joint de dilatation** destiné à absorber les mouvements longitudinaux ou transversaux de la couche de chaussée à la jonction entre des structures de chaussée différentes ou au contact de points singuliers (bordures, regards, chambres, bâtiments, etc.)
- ♣ **Joint de construction** : joint longitudinal entre deux bandes adjacentes de béton ou joint transversal de fin de journée ou suite à un arrêt de bétonnage. Les joints de construction transversaux peuvent aussi être appelés joints de fin de journée ou joints d'arrêt.

Un plan de calepinage des joints doit être fourni et validé avant le démarrage des travaux. L'espacement des joints est fonction de l'épaisseur de la dalle et des conditions de collage du béton au support.

- ♣ L'espacement des joints ne doit pas dépasser 20 fois l'épaisseur de la dalle pour les chaussées aéroportuaires.
- ♣ Le rapport entre la longueur et la largeur des dalles doit rester inférieur à 1,5.
- ♣ Si le calepinage conduit à des angles de dalle inférieurs à 75° , la zone concernée doit être armée par un treillis métallique disposé au milieu de l'épaisseur de la dalle.







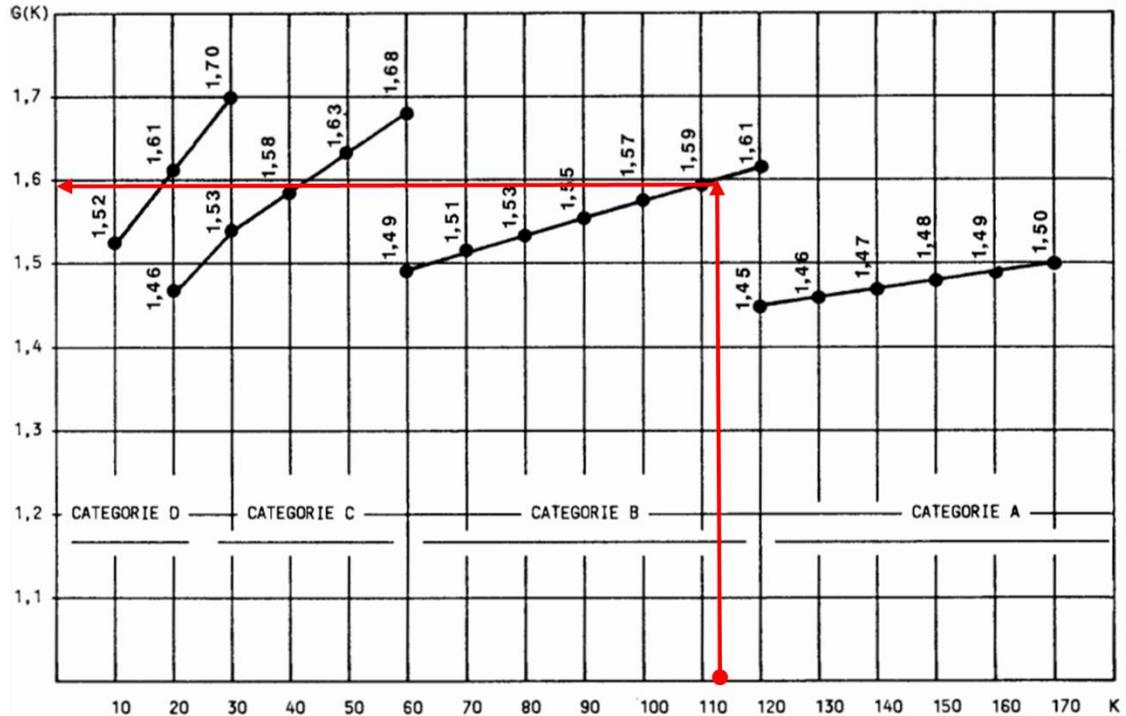
II.4. Admissibilité des avions

➤ Détermination du code PCN

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 soumettre 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	U: Expérience
F = flexible	B: moyenne	8 .. 13	60 ... 120	X: ≤ 1.5	T: Technique
	C: bas	4..8	25 60	Y: ≤ 1.0	
	D: très bas	< 4	< 25	Z: ≤ 0.5	

L'indice PCN de l'AST militaire calculé est de 56, donc $PCN = 56/R/B/W/T$.



Détermination du coefficient G(K) pour le calcul du PCN Chaussée rigide

Les ACN des avions du trafic sont déterminés ci-dessous :

♣ **CASA CN 235-300**

Type d'avion	Masses (kg)	Pression de gonflage (MPa)	ACN				
			Chaussée Rigide				
	M	q'		A	B	C	D
CASA CN 235-300	16 700	0,56	ACN _{max}	7	7	8	8
	8 800	0,61	ACN _{min}	4	4	4	4

Un avion de type CASA CN 235-300 est prévu à une masse réelle totale M_t de 14 tonnes pour une pression effective q de 0,61 MPa sur l'aire de stationnement militaire pour laquelle les renseignements sont communiqués par **PCN = 56/R/B/W/T**.

Le calcul de l'ACN donne :

$$\text{AN: ACN} = 4 + (7 - 4) \times \frac{14000 - 8800}{16700 - 8800} \approx 6$$

Les pressions réelles et standard de gonflage des pneumatiques diffèrent de 0,05 MPa, donc une correction de l'ACN n'est pas nécessaire car Δq est inférieure à 0,1 MPa.

Nous retenons que l'ACN de l'avion est inférieur au PCN de la chaussée rigide ($\text{ACN} < \text{PCN}$), alors l'avion peut être admis sans restriction.

♣ **B 727-ADV**

Type d'avion	Masses (kg)	Pression de gonflage (MPa)	ACN				
			Chaussée Rigide				
	M	q'	A	B	C	D	
B 727-ADV	84 400	1,02	ACN _{max}	50	53	56	59
	44 310	0,69	ACN _{min}	23	25	27	28

Un avion de type Boeing 727-ADV est prévu à une masse réelle totale M_t de 70 tonnes pour une pression effective q de 0,69 MPa sur l'aire de stationnement militaire pour laquelle les renseignements sont communiqués par **PCN = 56/R/B/W/T**.

Le calcul de l'ACN donne :

$$\text{AN: ACN} = 25 + (53 - 25) \times \frac{70000 - 44310}{84400 - 44310} \approx 43$$

Les pressions réelles et standard de gonflage des pneumatiques diffèrent de 0,33 MPa, donc une correction de l'ACN est nécessaire car Δq est supérieure à 0,1 MPa. La correction de l'ACN est faite à partir de l'abaque ci-après, nous avons **ACN_{corrigé} = 45**.

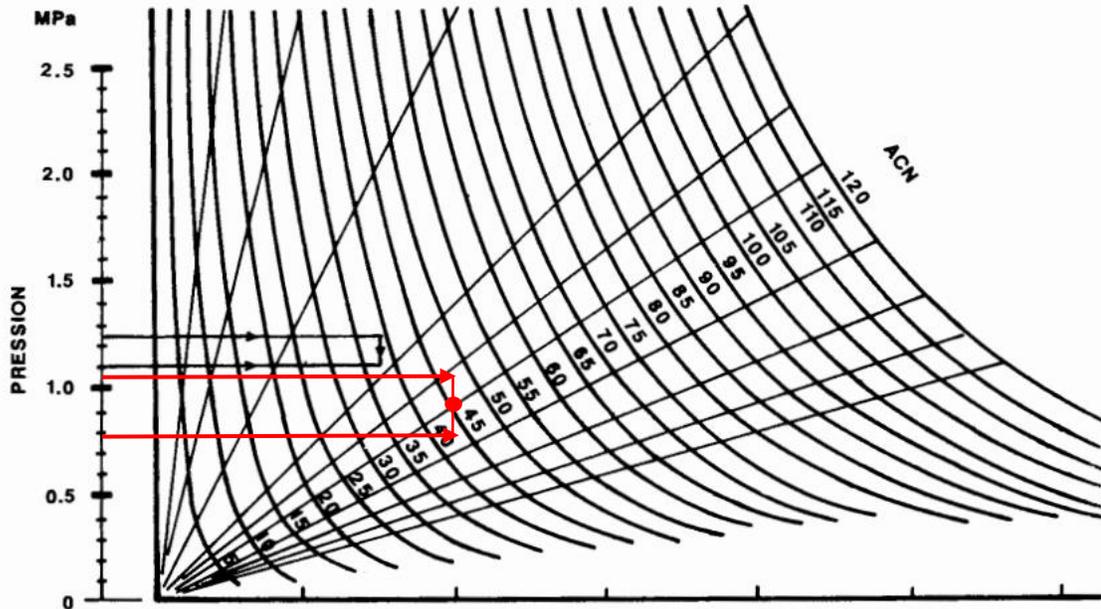


FIGURE 1 : Correction des ACN en fonction de la pression réelle q' de gonflage des pneumatiques sur chaussée rigide.

Après correction, nous retenons que l'ACN de l'avion est inférieur au PCN de la chaussée rigide ($ACN < PCN$), alors l'avion peut être admis sans restriction.

♣ **B 747-400**

Type d'avion	Masses (kg)	Pression de gonflage (MPa)	ACN				
			Chaussée Rigide				
	M	q'		A	B	C	D
B 747-400	398 340	1,38	ACN_{max}	53	62	74	85
	179 170	1,38	ACN_{min}	19	21	25	29

Un avion de type Boeing 747-400 est prévu à une masse réelle totale M_t de 300 tonnes pour une pression effective q de 1,38 MPa sur l'aire de stationnement militaire pour laquelle les renseignements sont communiqués par $PCN = 56/R/B/W/T$.

Le calcul de l'ACN donne :

$$\text{AN: ACN} = 21 + (62 - 21) \times \frac{300000 - 179170}{398340 - 179170} \approx \mathbf{44}$$

Les pressions réelles et standard de gonflage des pneumatiques sont égales, donc une correction de l'ACN n'est pas nécessaire car Δq est nulle donc inférieure à 0,1 MPa.

Nous retenons que l'ACN de l'avion est inférieur au PCN de la chaussée rigide ($\text{ACN} < \text{PCN}$), alors l'avion peut être admis sans restriction.

En somme, tous les avions du trafic de l'aire de stationnement militaire sont admissibles sans restriction. L'ensemble des calculs est résumé dans le tableau X ci-dessous :

ACN Ast militaire						
Avions	Masses (kg)			Pression pneumatiques	ACN	
	Mt	M	m	Δq	ACN	ACN _{corrigé}
CASA CN 235-300	14000	16700	8800	0,05	5,97	5,97
B 727 ADV	70000	84400	44310	0,33	42,94	51,69
B 747-400	300000	398340	179170	0	43,60	43,60

ANNEXE III : Etude de la piste d'atterrissage et de décollage

III.1. Trafic

➤ **Données du trafic**

Codes	Avions	Circuit	Coefficient d'utilisation	Trafic Cumulé N	Trafic annuel N ₀	Charges (t)
Code B	CRJ 705/900	Décollage	50%	11090	696	38,33
		Atterrissage		6654	418	33,98
	ERJ 135/145	Décollage	50%	11090	696	20,6
		Atterrissage		6654	418	18,7
Code C	ATR 72 212A	Décollage	10%	12384	777	21,5
		Atterrissage		7430	466	21,35
	B737-800	Décollage	60%	74304	4 662	79,02
		Atterrissage		44582	2 797	66,36
	A320-200 jum	Décollage	20%	24768	1 554	77
		Atterrissage		14861	932	64,5
	MD87	Décollage	10%	12384	777	67,81
		Atterrissage		7430	466	58,97
Code D	A300-600 R	Décollage	100%	5545	348	170,5
		Atterrissage		3771	237	140
Code E	A330/340	Décollage	70%	23289	1 461	275
		Atterrissage		15837	994	185
	B777-300 ER	Décollage	20%	6654	418	351,53
		Atterrissage		4525	284	251,29
	B747-400 ER	Décollage	10%	3327	209	412,77
		Atterrissage		2262	142	295,74

➤ **Classe de Trafic et Niveau de sollicitation**

♣ **Classe de trafic**

Le GAN introduit une notion de « groupe », qui fait intervenir deux variables représentatives de l'impact d'un avion sur une chaussée : la pression (P) de gonflage des pneumatiques et le nombre de roues (R) de l'atterrisseur principal. Le tableau 5 indique en fonction du produit (P,R) le groupe correspondant de l'avion considéré.

La classe de trafic est définie pour le passage de l'avion le plus contraignant utilisant une zone de l'aérodrome. Pour déterminer la classe de trafic, la démarche à suivre est la suivante :

- Définir le produit P.R ou rechercher le « groupe » de l'avion dans le tableau 25 de l'annexe A,
- Utiliser le tableau présenté ci-après, et par une lecture croisée de la colonne correspondant au produit P.R ou au « groupe de l'avion » et de l'une des lignes définissant sa « fréquence » (nombre journalier de passage de l'avion), lire la « classe de trafic » correspondante.

Pression gonflage x Roues (MPa) Fréquence (F)*	Aviation légère Masse totale avion < 5700 kg	P x R < 2	2 ≤ P x R < 4,1	4,1 ≤ P x R < 5,5	5,5 ≤ P x R
	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5
F < 10 mvts/j**	CT1	CT2	CT2	CT3	CT4
10 mvts/j ≤ F ≤ 100 mvts/j	CT1	CT2	CT3	CT4	CT5
F > 100 mvts/j	CT1	CT2	CT4	CT5	CT5

♣ Niveau de sollicitation

Le niveau de sollicitation est déterminé, à l'aide du tableau ci-dessous, en fonction de la classe de trafic et du type de climat. Nous avons un climat de type tropical dans la zone du projet.

Classe de trafic	CT1	CT2	CT3	CT4	CT5
Océanique	NS1	NS1	NS2	NS3	NS4
Continental		NS2	NS3	NS4	
Méditerranéen		NS2	NS3	NS4	
Tropical		NS2	NS3	NS4	

La classe du trafic ainsi que le niveau de sollicitation sont donnés dans le tableau ci-après. Nous avons un trafic **CT4** et un niveau de sollicitation **NS4** pour la piste de décollage et d'atterrissage de l'Aéroport International Ouagadougou-Donsin.

Le niveau de sollicitation nous permettra de faire des choix de matériaux pour les différentes couches de la structure de chaussée

Avions	Circuit	Nroues	P*R	Groupes	Ni journalier	Fréquence (mvt/j)	Classe de Trafic	Niveau de sollicitation
CRJ 705/900	Atterrissage	2	2,10	Groupe 3	1,9	3	CT2	NS2
	Décollage				1,1			
ERJ 135/145	Atterrissage	2	2,16	Groupe 3	1,9	3	CT2	NS2
	Décollage				1,1			
ATR 72 212A	Atterrissage	2	1,68	Groupe 2	2,1	3	CT2	NS2
	Décollage				1,3			
B737-800	Atterrissage	2	2,82	Groupe 3	12,8	20	CT3	NS3
	Décollage				7,7			
A320-200 jum	Atterrissage	2	2,88	Groupe 3	4,3	7	CT2	NS2
	Décollage				2,6			
MD87	Atterrissage	2	2,54	Groupe 3	2,1	3	CT2	NS2
	Décollage				1,3			
A300-600 R	Atterrissage	4	5,36	Groupe 4	1,0	2	CT3	NS3
	Décollage				0,6			
A330/340	Atterrissage	4	5,8	Groupe 5	4,0	7	CT4	NS4
	Décollage				2,7			
B777-300 ER	Atterrissage	6	9,12	Groupe 5	1,1	2	CT4	NS4
	Décollage				0,8			
B747-400 ER	Atterrissage	4	6,28	Groupe 5	0,6	1	CT4	NS4
	Décollage				0,4			

III.2. Dimensionnement Forfaitaire

♣ B777-300 ER

Nombre de mouvements cumulés

Nous avons un nombre cumulé de mouvements réels à l'année de mise en service estimé à **418 mouvements/an**. Le trafic a un taux d'accroissement de 10% au cours de la période de calcul de la chaussée. A partir de ces données de trafic, nous déterminerons le nombre de mouvements cumulés pendant la période de calcul.

$$N = N_0 \times \frac{(1 + T_a)^x - 1}{T_a}$$

$$AN : N = 418 \times \frac{(1 + 0,1)^{10} - 1}{0,1}$$

$$N = 6654 \text{ mouvements/}_{10\text{ans}}$$

Nous avons 6654 mouvements cumulés au bout de 10 ans, soit le nombre de mouvements cumulés à l'année 2035.

Charge pondérée

$$P' = P \times Cp$$

$$AN : P' = 162,41 \times 0,8$$

$$P' = 129,93 \text{ t}$$

Intensité moyenne du trafic sur 10 ans

$$n = \frac{N}{365 \times 10}$$

$$AN : n = \frac{6654}{365 \times 10}$$

$$n = 1,823 \text{ mouvements/j/10ans}$$

Coefficient de correction du trafic

$$C_T = 1,2 - 0,2 \times \log(n)$$

$$AN : C_T = 1,2 - 0,2 \times \log(1,823)$$

$$C_T = 1,15$$

Charge de calcul

La charge de calcul est donnée par : $P'' = \frac{P'}{C_T}$

$$AN : P'' = \frac{129,93}{1,147}$$

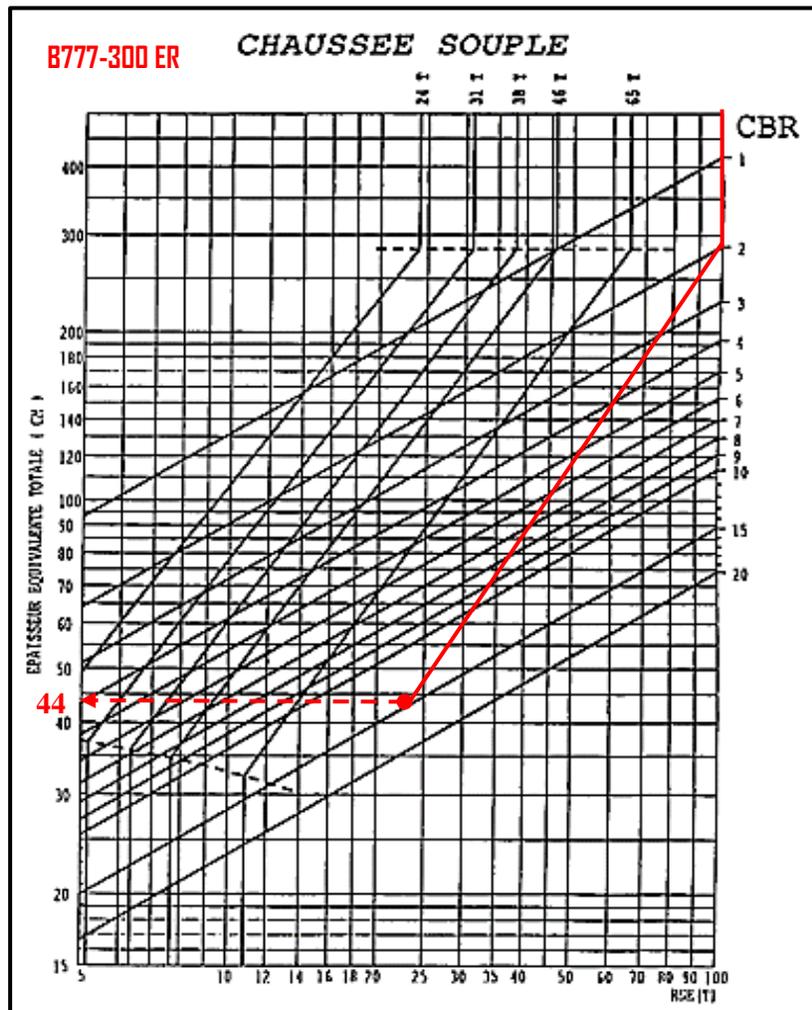
$$P'' = 113,91 \text{ t}$$

Détermination de l'épaisseur équivalente

La détermination de l'épaisseur équivalente totale est faite en fonction de la charge normale de calcul P'' et du CBR du sol support en utilisant l'abaque de dimensionnement des chaussées

souples du Boeing 777-300. Ces paramètres de dimensionnement sont présentés dans le tableau suivant :

Paramètres de dimensionnement		
Désignations	U	Valeurs
Charge normale de calcul P''	t	114
CBR du sol support	-	15



L'épaisseur équivalente totale est de **44 cm** par lecture sur l'axe verticale gauche de l'abaque de dimensionnement des chaussées souples de l'avion B777-300 ER.

✦ **B747-400 ER**

Nombre de mouvements cumulés

Nous avons un nombre cumulé de mouvements réels à l'année de mise en service estimé à **209 mouvements/an**. Le trafic a un taux d'accroissement de 10% au cours de la période de calcul de la chaussée. A partir de ces données de trafic, nous déterminerons le nombre de mouvements cumulés pendant la période de calcul.

$$N = N_0 \times \frac{(1 + T_a)^x - 1}{T_a}$$

$$AN : N = 209 \times \frac{(1 + 0,1)^{10} - 1}{0,1}$$

$$N = \mathbf{3327 \text{mouvements}/}_{10\text{ans}}$$

Nous avons 3327 mouvements cumulés au bout de 10 ans, soit le nombre de mouvements cumulés à l'année 2035.

Charge pondérée

$$P' = P \times C_p$$

$$AN : P' = 96,59 \times 0,8$$

$$P' = \mathbf{77,27 \text{ t}}$$

Intensité moyenne du trafic sur 10 ans

$$n = \frac{N}{365 \times 10}$$

$$AN : n = \frac{3327}{365 \times 10}$$

$$n = \mathbf{0,912 \text{ mouvements/j}/}_{10\text{ans}}$$

Coefficient de correction du trafic

$$C_T = 1,2 - 0,2 \times \log(n)$$

$$AN : C_T = 1,2 - 0,2 \times \log(0,912)$$

$$C_T = 1,21$$

Charge de calcul

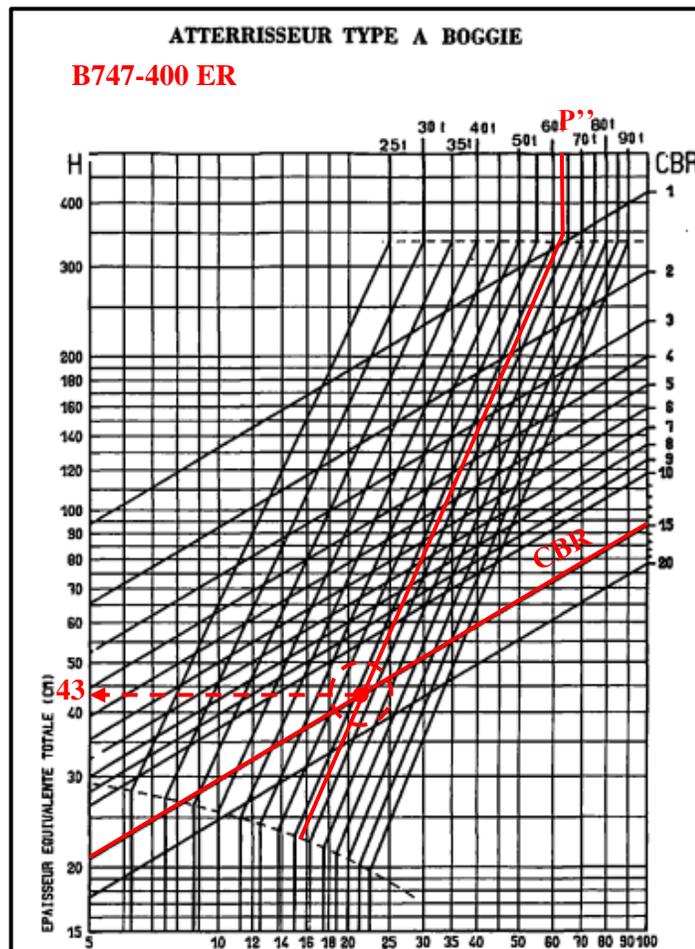
La charge de calcul est donnée par : $P'' = \frac{P'}{C_T}$

$$AN : P'' = \frac{77,270}{1,21}$$

$$P'' = 63,963 \text{ t}$$

Détermination de l'épaisseur équivalente

Paramètres de dimensionnement		
Désignations	U	Valeurs
Charge normale de calcul P''	t	64
CBR du sol support	-	15



L'épaisseur équivalente totale est de **43 cm** par lecture sur l'axe verticale gauche de l'abaque de dimensionnement des chaussées souples de l'avion B747-400 ER.

♣ **B737-800**

Nombre de mouvements cumulés

Nous avons un nombre cumulé de mouvements réels à l'année de mise en service estimé à **4662 mouvements/an**. Le trafic a un taux d'accroissement de 10% au cours de la période de calcul de la chaussée. A partir de ces données de trafic, nous déterminerons le nombre de mouvements cumulés pendant la période de calcul.

$$N = N_0 \times \frac{(1 + T_a)^x - 1}{T_a}$$

$$AN : N = 4662 \times \frac{(1 + 0,1)^{10} - 1}{0,1}$$

$$N = \mathbf{74304 \text{ mouvements}/10\text{ans}}$$

Nous avons 74304 mouvements cumulés au bout de 10 ans, soit le nombre de mouvements cumulés à l'année 2035.

Charge pondérée

$$P' = P \times C_p$$

$$AN : P' = 36,96 \times 0,8$$

$$P' = \mathbf{29,57 \text{ t}}$$

Intensité moyenne du trafic sur 10 ans

$$n = \frac{N}{365 \times 10}$$

$$AN : n = \frac{74304}{365 \times 10}$$

$$n = \mathbf{20,357 \text{ mouvements}/j/10\text{ans}}$$

$$\text{Coefficient de correction du trafic : } C_T = \mathbf{1,2 - 0,2 \times \log(n)}$$

$$AN : C_T = 1,2 - 0,2 \times \log (20,357)$$

$$C_T = 0,94$$

Charge de calcul :

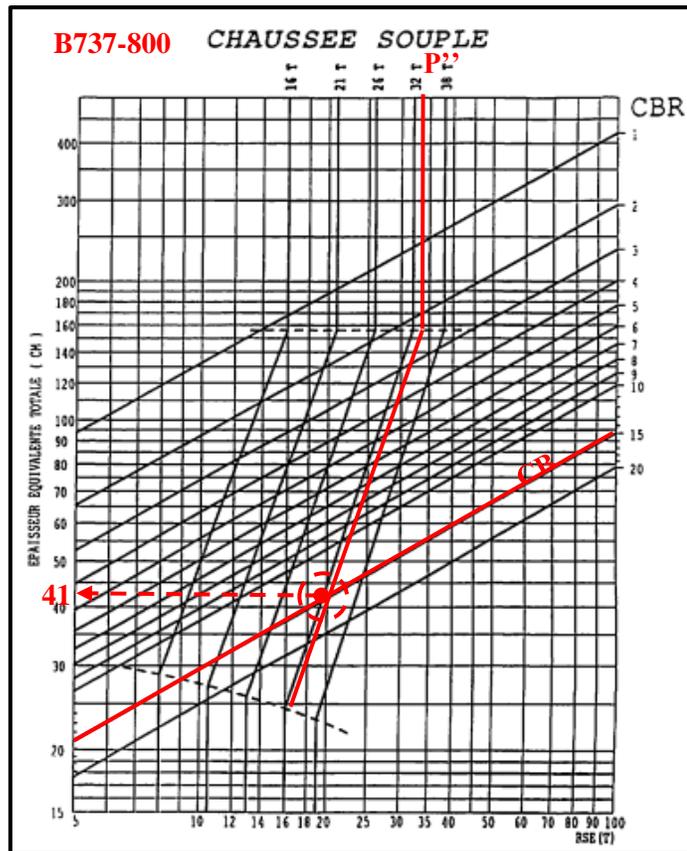
La charge de calcul est donnée par : $P'' = \frac{P'}{C_T}$

$$AN : P'' = \frac{29,57}{0,94}$$

$$P'' = 31,512 \text{ t}$$

- Détermination de l'épaisseur équivalente

Paramètres de dimensionnement		
Désignations	U	Valeurs
Charge normale de calcul P''	t	34
CBR du sol support	-	15



L'épaisseur équivalente totale est de **41 cm** par lecture sur l'axe verticale gauche de l'abaque de dimensionnement des chaussées souples de l'avion B737-800.

♣ **A 300-600 R**

Nombre de mouvements cumulés

Nous avons un nombre cumulé de mouvements réels à l'année de mise en service estimé à **348 mouvements/an**. Le trafic a un taux d'accroissement de 10% au cours de la période de calcul de la chaussée. A partir de ces données de trafic, nous déterminerons le nombre de mouvements cumulés pendant la période de calcul.

$$N = N_0 \times \frac{(1 + T_a)^x - 1}{T_a}$$

$$AN : N = 348 \times \frac{(1 + 0,1)^{10} - 1}{0,1}$$

$$N = \mathbf{5545 \text{ mouvements}/}_{10\text{ans}}$$

Nous avons 5545 mouvements cumulés au bout de 10 ans, soit le nombre de mouvements cumulés à l'année 2035.

Charge pondérée

$$P' = P \times C_p$$

$$AN : P' = 80,99 \times 0,8$$

$$P' = \mathbf{64,79 \text{ t}}$$

Intensité moyenne du trafic sur 10 ans

$$n = \frac{N}{365 \times 10}$$

$$AN : n = \frac{5545}{365 \times 10}$$

$$n = \mathbf{1,519 \text{ mouvements/j}/}_{10\text{ans}}$$

Coefficient de correction du trafic

$$C_T = 1,2 - 0,2 \times \log(n)$$

$$AN : C_T = 1,2 - 0,2 \times \log(1,519)$$

$$C_T = 1,16$$

Charge de calcul

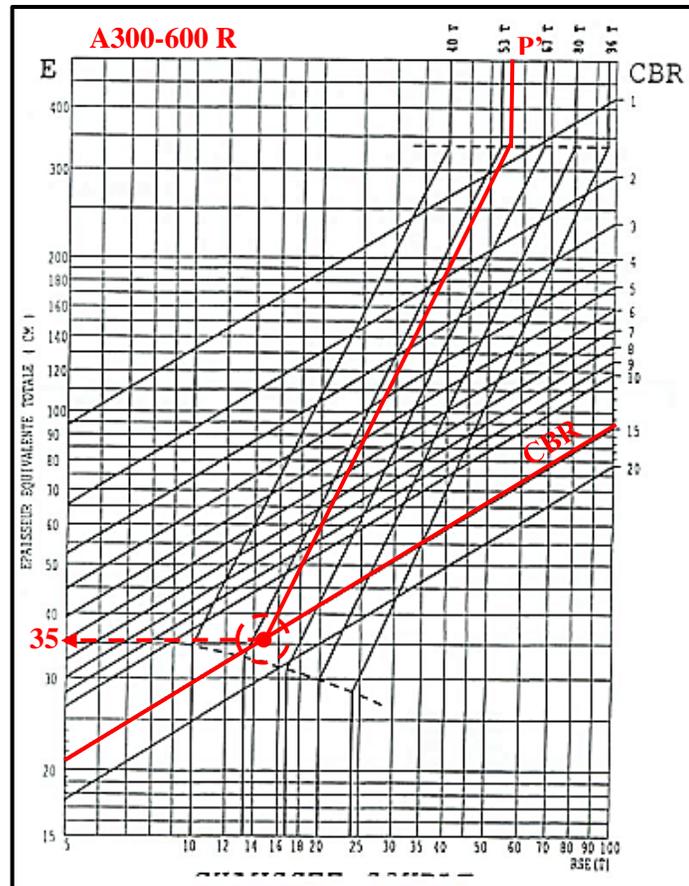
$$P'' = \frac{P'}{C_T}$$

$$AN : P'' = \frac{64,79}{1,16}$$

$$P'' = 55,677 \text{ t}$$

- Détermination de l'épaisseur équivalente

Paramètres de dimensionnement		
Désignations	U	Valeurs
Charge normale de calcul P''	t	56
CBR du sol support	-	15



L'épaisseur équivalente totale est de **36 cm** par lecture sur l'axe verticale gauche de l'abaque de dimensionnement des chaussées souples de l'avion A300-600 R.

♣ **A 340-200**

Nombre de mouvements cumulés

Nous avons un nombre cumulé de mouvements réels à l'année de mise en service estimé à **1461 mouvements/an**. Le trafic a un taux d'accroissement de 10% au cours de la période de calcul de la chaussée. A partir de ces données de trafic, nous déterminerons le nombre de mouvements cumulés pendant la période de calcul.

$$N = N_0 \times \frac{(1 + T_a)^x - 1}{T_a}$$

$$AN : N = 1461 \times \frac{(1 + 0,1)^{10} - 1}{0,1}$$

$$N = \mathbf{23289 \text{ mouvements}/}_{10\text{ans}}$$

Nous avons 23289 mouvements cumulés au bout de 10 ans, soit le nombre de mouvements cumulés à l'année 2035.

Charge pondérée

$$P' = P \times C_p$$

$$AN : P' = 79,34 \times 0,8$$

$$P' = \mathbf{63,47 \text{ t}}$$

Intensité moyenne du trafic sur 10 ans

$$n = \frac{N}{365 \times 10}$$

$$AN : n = \frac{23289}{365 \times 10}$$

$$n = \mathbf{6,381 \text{ mouvements/j}/}_{10\text{ans}}$$

Coefficient de correction du trafic

$$C_T = 1,2 - 0,2 \times \log(n)$$

$$AN : C_T = 1,2 - 0,2 \times \log(6,381)$$

$$C_T = 1,039$$

Charge de calcul

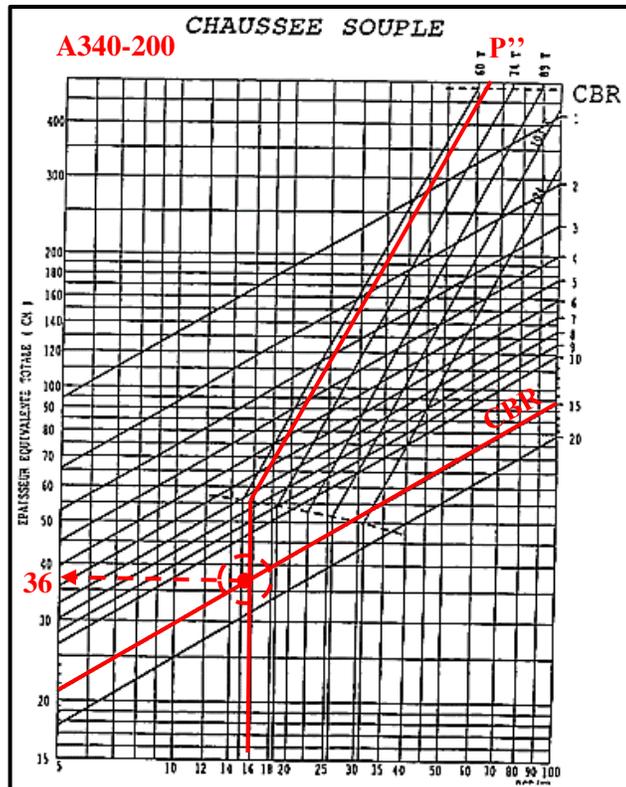
La charge de calcul est donnée par :

$$AN : P'' = \frac{63,47}{1,039}$$

$$P'' = 61,086 \text{ t}$$

Détermination de l'épaisseur équivalente

Paramètres de dimensionnement		
Désignations	U	Valeurs
Charge normale de calcul P''	t	61
CBR du sol support	-	15



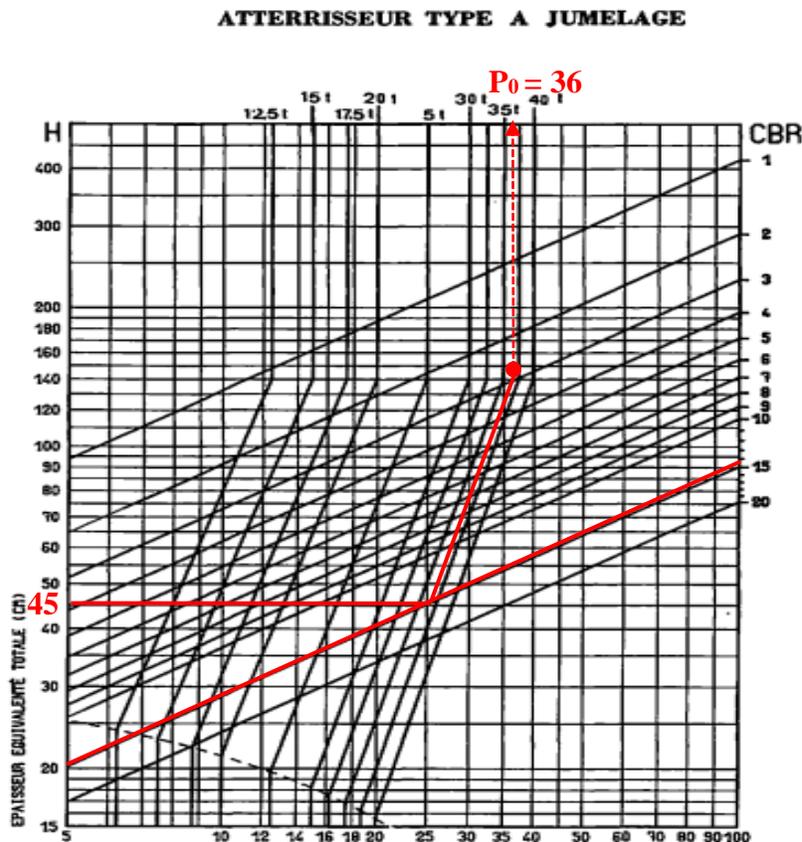
L'épaisseur équivalente totale est de **36 cm** par lecture sur l'axe verticale gauche de l'abaque de dimensionnement des chaussées souples de l'avion A340-200.

Nous retenons une épaisseur équivalente maximale de **44 cm** (Boeing 777-300 ER) sur l'ensemble des avions les plus contraignants.

III.4. Dimensionnement optimisé

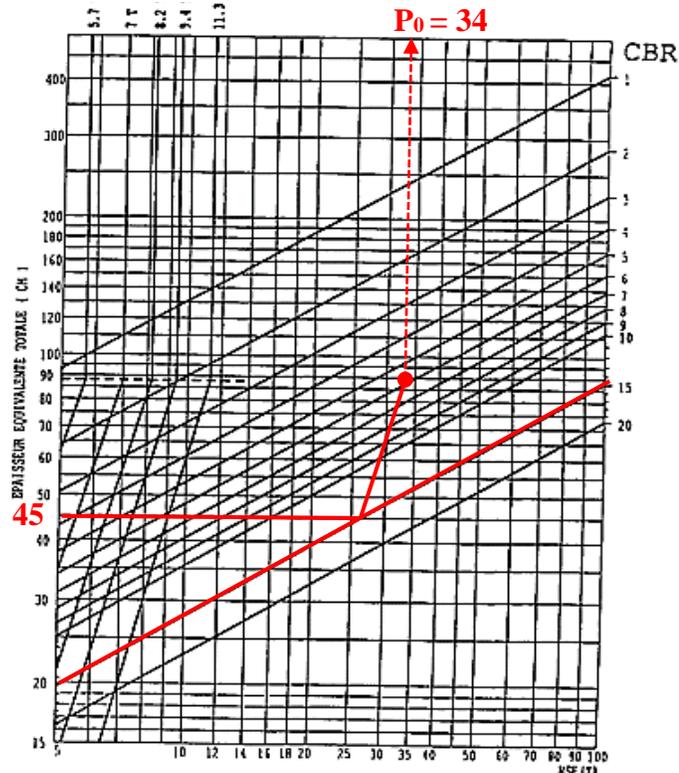
Le dimensionnement consistera à déterminer une épaisseur équivalente optimisée à partir de l'épaisseur équivalente trouvée par la méthode forfaitaire. Il s'agira de calculer le trafic équivalent total en prenant en compte tous les avions du trafic (même les moins contraignants). Pour cela nous déterminerons la charge admissible P_i de chaque avion à l'aide des abaques de dimensionnement pour les chaussées souples. Les abaques généraux pour les atterrisseurs types de la STBA seront utilisés pour les avions suivants : CRJ 705/900, ERJ 135/145, MD87 et le B777-300 ER. Les figures ci-après donnent les détails de lecture sur les abaques pour une épaisseur équivalente de **45 cm**.

♣ **CRJ 705/900, ERJ 135/145, MD87**



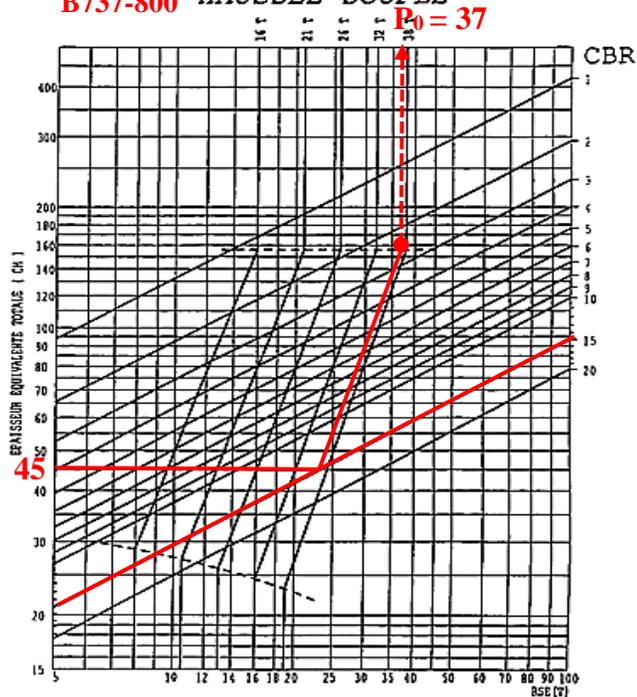
♣ ART 72 212A

ART 72 212 CHAUSSEE SOUPLE



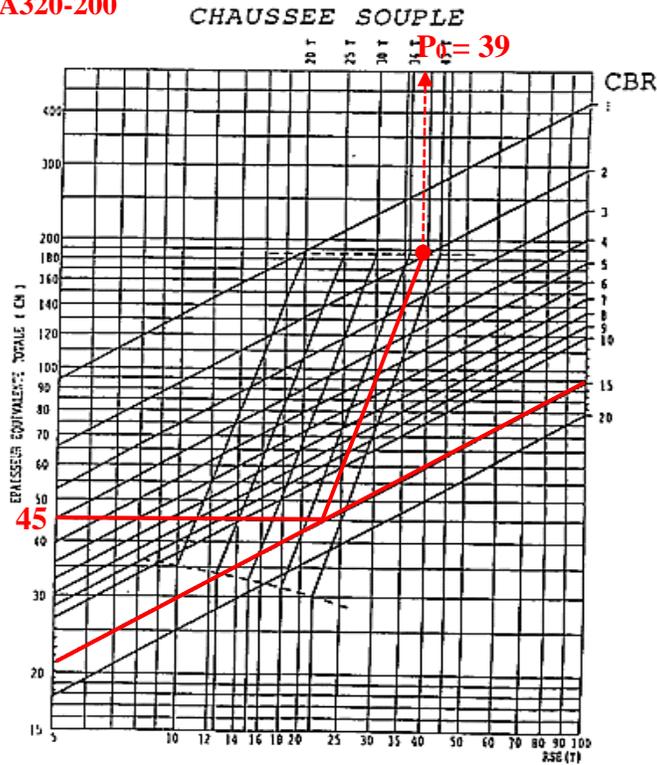
♣ B 737-800

B737-800 HAUSSEE SOUPLE



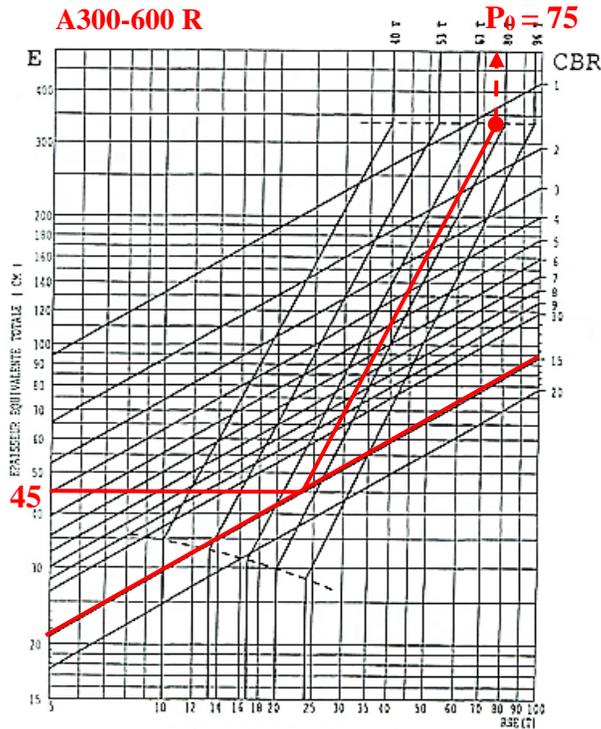
♣ A 320-200

A320-200

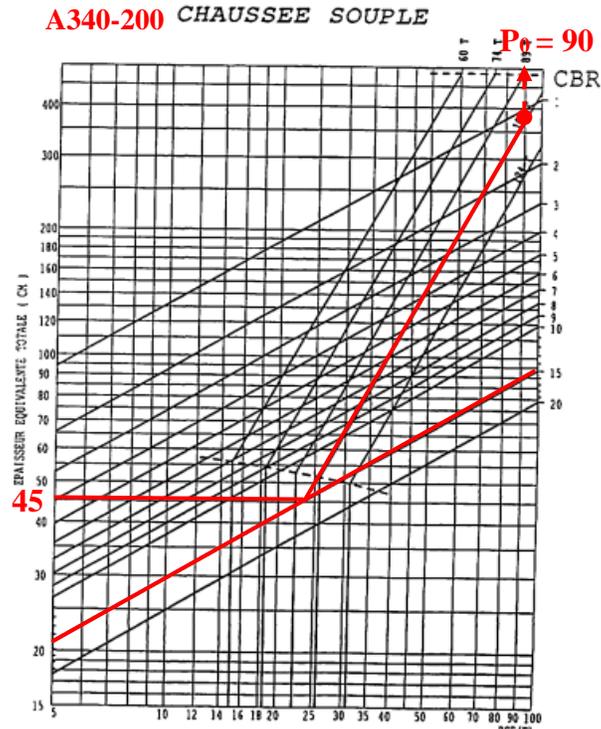


♣ A 300-600 R

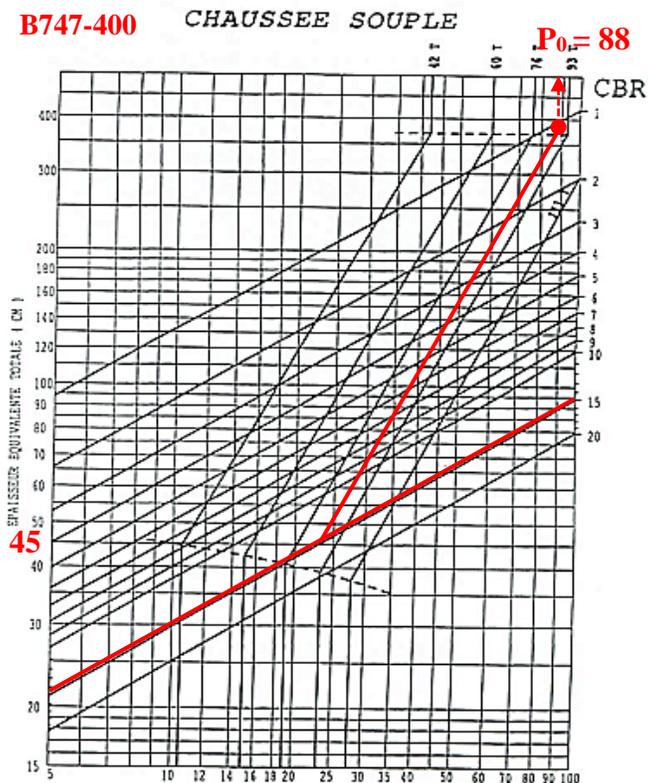
A300-600 R



♣ A 340-200



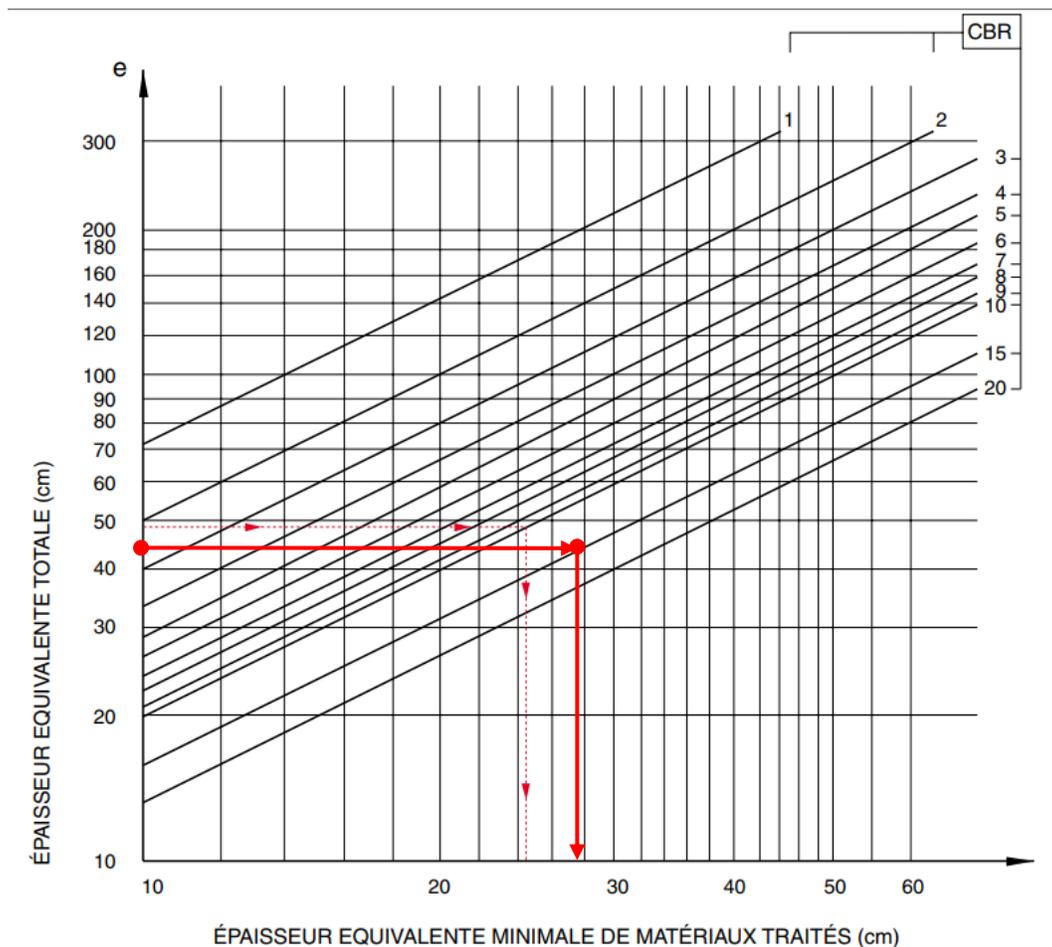
♣ B 747-400 ER



III.3. Détermination de l'épaisseur équivalente minimale de matériaux traités

D'après le manuel de dimensionnement des chaussées (instruction sur le dimensionnement des chaussées d'aérodromes et la détermination des charges admissibles) du STBA, une épaisseur suffisante de matériaux traités est nécessaire pour assurer le bon fonctionnement des couches supérieures de la chaussée (Base-Roulement).

Ainsi, nous avons une épaisseur équivalente minimale de matériaux traités (29cm) en fonction de l'épaisseur équivalente totale et du CBR du sol support.



III.4. Admissibilité des avions

♣ CRJ 705/900

Type d'avion	Masses (kg)	Pression de gonflage (MPa)	ACN				
			Chaussée souple				
	M	q'		A	B	C	D
CRJ 705/900	38 555	1,16	ACN _{max}	21	22	25	28
	20 412	1,03	ACN _{min}	10	11	11	13

Un avion de type CRJ 705/900 est prévu à une masse réelle totale M_t de 35,5 tonnes pour une pression effective q de 1,03 MPa sur la piste d'atterrissage et de décollage pour laquelle les renseignements sont communiqués par $PCN = 60/F/A/W/T$.

Le calcul de l'ACN donne :

$$AN: ACN = 10 + (21 - 10) \times \frac{35555 - 20412}{38555 - 20412} \approx 19$$

Les pressions réelles et standard de gonflage des pneumatiques diffèrent de 0,13 MPa, donc une correction de l'ACN est nécessaire car Δq est supérieure à 0,1 MPa.

$$AN: ACN_{corrigé} = 19,15 \times \frac{\frac{1}{0,5695 \times 15} - \frac{1}{32,035 \times 1,16}}{\frac{1}{0,5695 \times 15} - \frac{1}{32,035 \times 1,03}}$$

$$ACN_{corrigé} = 20$$

Nous retenons que l'ACN de l'avion est inférieur au PCN de la piste ($ACN < PCN$), alors l'avion peut être admis sans restriction.

♣ ERJ 135/145

Type d'avion	Masses (kg)	Pression de gonflage (MPa)	ACN				
	M	q'	Chaussée souple				
	m	q		A	B	C	D
ERJ 135/145	24 200	1,26	ACN _{max}	11	12	13	15
	12 585	0,62	ACN _{min}	6	6	7	8

Un avion de type ERJ 135/145 est prévu à une masse réelle totale M_t de 22 tonnes pour une pression effective q de 0,62 MPa sur la piste d'atterrissage et de décollage pour laquelle les renseignements sont communiqués par **PCN = 60/F/A/W/T**.

Le calcul de l'ACN donne :

$$AN: ACN = 6 + (11 - 6) \times \frac{22000 - 12585}{24200 - 12585} \approx 10$$

Les pressions réelles et standard de gonflage des pneumatiques diffèrent de 0,64 MPa, donc une correction de l'ACN est nécessaire car Δq est supérieure à 0,1 MPa.

$$AN: ACN_{corrigé} = 10,05 \times \frac{\frac{1}{0,5695 \times 15} - \frac{1}{32,035 \times 1,26}}{\frac{1}{0,5695 \times 15} - \frac{1}{32,035 \times 0,62}}$$

$$ACN_{corrigé} = 14$$

Nous retenons que l'ACN de l'avion est inférieur au PCN de la piste ($ACN < PCN$), alors l'avion peut être admis sans restriction.

♣ ATR 72 212A

Type d'avion	Masses (kg)	Pression de gonflage (MPa)	ACN				
			Chaussée souple				
	M	q'		A	B	C	D
ATR 72-212A	22 670	0,84	ACN _{max}	12	13	14	16
	12 850	0,80	ACN _{min}	6	6	7	8

Un avion de type ATR 72-212 A est prévu à une masse réelle totale M_i de 20 tonnes pour une pression effective q de 0,80 MPa sur la piste d'atterrissage et de décollage pour laquelle les renseignements sont communiqués par $PCN = 60/F/A/W/T$.

Le calcul de l'ACN donne :

$$AN: ACN = 6 + (12 - 6) \times \frac{20000 - 12850}{22670 - 12850} \approx 10$$

Les pressions réelles et standard de gonflage des pneumatiques diffèrent de 0,04 MPa, donc une correction de l'ACN n'est pas nécessaire car Δq est inférieure à 0,1 MPa.

$$ACN = 10$$

Nous retenons que l'ACN de l'avion est inférieur au PCN de la piste ($ACN < PCN$), alors l'avion peut être admis sans restriction.

♣ B 737-800

Type d'avion	Masses (kg)	Pression de gonflage (MPa)	ACN				
			Chaussée souple				
	M	q'		A	B	C	D
B 737-800	79 243	1,41	ACN _{max}	43	46	51	56
	41 413	1,28	ACN _{min}	21	21	23	26

Un avion de type B 737-800 est prévu à une masse réelle totale M_t de 72,5 tonnes pour une pression effective q de 1,28 MPa sur la piste d'atterrissage et de décollage pour laquelle les renseignements sont communiqués par $PCN = 60/F/A/W/T$.

Le calcul de l'ACN donne :

$$AN: ACN = 21 + (43 - 21) \times \frac{72500 - 41413}{79243 - 41413} \approx 39$$

Les pressions réelles et standard de gonflage des pneumatiques diffèrent de 0,13 MPa, donc une correction de l'ACN est nécessaire car Δq est supérieure à 0,1 MPa.

$$AN: ACN_{corrigé} = 39,08 \times \frac{\frac{1}{0,5695 \times 15} - \frac{1}{32,035 \times 1,41}}{\frac{1}{0,5695 \times 15} - \frac{1}{32,035 \times 1,28}}$$

$$ACN_{corrigé} = 40$$

Nous retenons que l'ACN de l'avion est inférieur au PCN de la piste ($ACN < PCN$), alors l'avion peut être admis sans restriction.

♣ A 300-200 jum

Type d'avion	Masses (kg)	Pression de gonflage (MPa)	ACN				
			Chaussée souple				
	M	q'		A	B	C	D
A 300-200 jum	77 400	1,44	ACN _{max}	41	42	47	53
	40 529	1,32	ACN _{min}	20	20	21	24

Un avion de type B 737-800 est prévu à une masse réelle totale M_t de 71 tonnes pour une pression effective q de 1,32 MPa sur la piste d'atterrissage et de décollage pour laquelle les renseignements sont communiqués par $PCN = 60/F/A/W/T$.

Le calcul de l'ACN donne :

$$AN: ACN = 20 + (41 - 20) \times \frac{71000 - 40529}{77400 - 40529} \approx 37$$

Les pressions réelles et standard de gonflage des pneumatiques diffèrent de 0,12 MPa, donc une correction de l'ACN est nécessaire car Δq est supérieure à 0,1 MPa.

$$AN: ACN_{corrigé} = 37,35 \times \frac{\frac{1}{0,5695 \times 15} - \frac{1}{32,035 \times 1,32}}{\frac{1}{0,5695 \times 15} - \frac{1}{32,035 \times 1,44}}$$

$$ACN_{corrigé} = 38$$

Nous retenons que l'ACN de l'avion est inférieur au PCN de la piste ($ACN < PCN$), alors l'avion peut être admis sans restriction.

✦ MD 87

Type d'avion	Masses (kg)	Pression de gonflage (MPa)	ACN				
			Chaussée souple				
	M	q'		A	B	C	D
MD 87	68 266	1,27	ACN _{max}	39	42	46	50
	33 965	1,32	ACN _{min}	17	18	20	23

Un avion de type ATR 72-212 A est prévu à une masse réelle totale M_t de 62,5 tonnes pour une pression effective q de 1,32 MPa sur la piste d'atterrissage et de décollage pour laquelle les renseignements sont communiqués par $PCN = 60/F/A/W/T$.

Le calcul de l'ACN donne :

$$AN: ACN = 17 + (39 - 17) \times \frac{62500 - 33965}{68266 - 33965} \approx 35$$

Les pressions réelles et standard de gonflage des pneumatiques diffèrent de 0,05 MPa, donc une correction de l'ACN n'est pas nécessaire car Δq est inférieure à 0,1 MPa.

$$ACN = 35$$

Nous retenons que l'ACN de l'avion est inférieur au PCN de la piste ($ACN < PCN$), alors l'avion peut être admis sans restriction.

♣ A 300-600 R

Type d'avion	Masses (kg)	Pression de gonflage (MPa)	ACN				
			Chaussée souple				
	M	q'		A	B	C	D
A 300-600 R	170 500	1,34	ACN _{max}	48	55	67	84
	92 720	0,92	ACN _{min}	22	24	27	36

Un avion de type A300-600 R est prévu à une masse réelle totale M_t de 156 tonnes pour une pression effective q de 0,92 MPa sur la piste d'atterrissage et de décollage pour laquelle les renseignements sont communiqués par $PCN = 60/F/A/W/T$.

Le calcul de l'ACN donne :

$$AN: ACN = 22 + (48 - 22) \times \frac{156000 - 92720}{170500 - 92720} \approx 43$$

Les pressions réelles et standard de gonflage des pneumatiques diffèrent de 0,42 MPa, donc une correction de l'ACN est nécessaire car Δq est supérieure à 0,1 MPa.

$$AN: ACN_{corrigé} = 43,15 \times \frac{\frac{1}{0,5695 \times 15} - \frac{1}{32,035 \times 0,92}}{\frac{1}{0,5695 \times 15} - \frac{1}{32,035 \times 1,34}}$$

$$ACN_{corrigé} = 49$$

Nous retenons que l'ACN de l'avion est inférieur au PCN de la piste ($ACN < PCN$), alors l'avion peut être admis sans restriction.

♣ A 330

Type d'avion	Masses (kg)	Pression de gonflage (MPa)	ACN				
			Chaussée souple				
	M	q'		A	B	C	D
A330	233 900	1,45	ACN _{max}	59	63	74	100
	119 830	1,32	ACN _{min}	27	28	30	37

Un avion de type A330 est prévu à une masse réelle totale M_t de 214 tonnes pour une pression effective q de 1,32 MPa sur la piste d'atterrissage et de décollage pour laquelle les renseignements sont communiqués par $PCN = 60/F/A/W/T$.

Le calcul de l'ACN donne :

$$AN: ACN = 27 + (59 - 27) \times \frac{214000 - 119830}{233900 - 119830} \approx 53$$

Les pressions réelles et standard de gonflage des pneumatiques diffèrent de 0,13 MPa, donc une correction de l'ACN est nécessaire car Δq est supérieure à 0,1 MPa.

$$AN: ACN_{corrigé} = 53,42 \times \frac{\frac{1}{0,5695 \times 15} - \frac{1}{32,035 \times 1,32}}{\frac{1}{0,5695 \times 15} - \frac{1}{32,035 \times 1,45}}$$

$$ACN_{corrigé} = 55$$

Nous retenons que l'ACN de l'avion est inférieur au PCN de la piste ($ACN < PCN$), alors l'avion peut être admis sans restriction.

♣ B 777-300 ER

Type d'avion	Masses (kg)	Pression de gonflage (MPa)	ACN				
			Chaussée souple				
	M	q'		A	B	C	D
B 777-300 ER	352 441	1,52	ACN _{max}	64	71	89	120
	167 829	1,53	ACN _{min}	24	25	29	40

Un avion de type B 777-300 ER est prévu à une masse réelle totale M_t de 322,5 tonnes pour une pression effective q de 0,01 MPa sur la piste d'atterrissage et de décollage pour laquelle les renseignements sont communiqués par $PCN = 60/F/A/W/T$.

Le calcul de l'ACN donne :

$$AN: ACN = 17 + (39 - 17) \times \frac{322500 - 167829}{352441 - 167829} \approx 58$$

Les pressions réelles et standard de gonflage des pneumatiques diffèrent de 0,05 MPa, donc une correction de l'ACN n'est pas nécessaire car Δq est inférieure à 0,1 MPa.

$$ACN = 58$$

Nous retenons que l'ACN de l'avion est inférieur au PCN de la piste ($ACN < PCN$), alors l'avion peut être admis sans restriction.

♣ B 747-400 ER

Type d'avion	Masses (kg)	Pression de gonflage (MPa)	ACN				
			Chaussée souple				
	M	q'		A	B	C	D
B 747-400 ER	414 130	1,57	ACN _{max}	57	63	78	100
	164 380	1,31	ACN _{min}	18	19	21	26

Un avion de type A300-600 R est prévu à une masse réelle totale M_t de 379 tonnes pour une pression effective q de 1,31 MPa sur la piste d'atterrissage et de décollage pour laquelle les renseignements sont communiqués par $PCN = 60/F/A/W/T$.

Le calcul de l'ACN donne :

$$AN: ACN = 18 + (59 - 18) \times \frac{379000 - 164380}{414130 - 164380} \approx 52$$

Les pressions réelles et standard de gonflage des pneumatiques diffèrent de 0,26 MPa, donc une correction de l'ACN est nécessaire car Δq est supérieure à 0,1 MPa.

$$AN: ACN_{corrigé} = 51,51 \times \frac{\frac{1}{0,5695 \times 15} - \frac{1}{32,035 \times 1,31}}{\frac{1}{0,5695 \times 15} - \frac{1}{32,035 \times 1,57}}$$

$$ACN_{corrigé} = 54$$

Nous retenons que l'ACN de l'avion est inférieur au PCN de la piste ($ACN < PCN$), alors l'avion peut être admis sans restriction.

ANNEXE IV : Dimensionnement mécanique de la piste (ALIZE LCPC)

IV.1. Partie courante de la piste (Portion 2)

♣ Renseignement de la structure de la chaussée

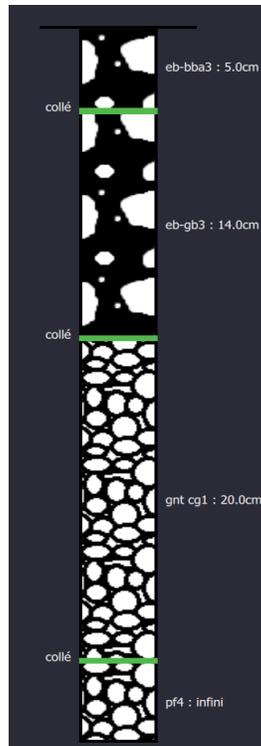
D'après la proposition variante 1, la structure de chaussée choisie est composée de :

- 5 cm de BBA en couche de roulement ;
- 14 cm de GB3 en couche de base ;
- De la GNT de catégorie 1 en fondation ;
- Une PF de 200 Mpa (couche de forme en latérite ciment, portant la portance à au moins 210 Mpa)

Comme indiqué sur la ci-après, il faut partir du modèle de structure renseigné par défaut, et modifier les matériaux en cliquant sur les flèches en regard à droite. Une liste de matériaux apparaît et le choix du matériau voulu est ainsi fait. Les interfaces des couches sont collées et le risque de calcul est de 2,5%.

Nombre de couches : 4

Bibliothèque	Epaisseur (m)	Matériau	Module (MPa)	Nu (-)	Critère	Plan	Risque	Kc(RseR)
Aero ▼	- 0.050 +	eb-bba: ▼	f(T, f)	0.35	Aucun ▼	▼		
COLLÉ								
NFP98-086 2019 ▼	- 0.140 +	eb-gb3 ▼	f(T, f)	0.35	epsiT ▼	Inf. ▼	- 2.5 +	gb3 ▼
COLLÉ								
NFP98-086 2019 ▼	- 0.200 +	gnt cg1 ▼	600	0.35	Aucun ▼	▼		
COLLÉ								
NFP98-086 2019 ▼	- infini +	pf4 ▼	200	0.35	epsiZ ▼	Sup. ▼		



♣ Trafic

Il s'agit tout d'abord de sélectionner les avions du trafic projet. Dans le cas de notre étude, seuls les avions considérés comme dimensionnants seront utilisés.

Comme dans les données les atterrissages et les décollages sont dissociés (masses et nombres de mouvement distincts), nous avons alors ajouté deux fois les avions au trafic projet afin de pouvoir indiquer les renseignements concernant le décollage et les renseignements concernant les atterrissages.

Ensuite il s'agit de renseigner les autres paramètres de trafic. Les nombres de décollages et d'atterrissages cumulés sont connus sur la période de calcul, les masses de la base de données Ficav sont utilisées, car les masses réelles ne sont pas données dans le trafic. Le taux d'accroissement ne sera donc pas considéré car les mouvements associés sont des mouvements cumulés sur 10 ans (taux d'accroissement déjà pris en compte). La figure ci-après nous montre l'interface pour le renseignement du trafic.

Période de calcul (années) : 10

Constructeur	Type	Modèle	Masse		Mouvements			
			Type	Valeur (kg)	Nombre	Unités	Ta (%)	Trafic cumulé
Boeing	B737	800	Mtow	79016	74304	Mvts cu	0	74304
Boeing	B737	800	Mlw	66361	44582	Mvts cu	0	44582
Airbus	A320	200	Mtow	70000	24768	Mvts cu	0	24768
Airbus	A320	200	Mlw	64500	14861	Mvts cu	0	14861
Airbus	A330	300	Mtow	240000	23289	Mvts cu	0	23289
Airbus	A330	300	Mlw	187000	15837	Mvts cu	0	15837
Boeing	B777	300 ER	Mtow	351535	6654	Mvts cu	0	6654
Boeing	B777	300 ER	Mlw	251290	4525	Mvts cu	0	4525
Boeing	B747	400 ER	Mtow	412770	3327	Mvts cu	0	3327
Boeing	B747	400 ER	Mlw	295743	2262	Mvts cu	0	2262

♣ **Autres paramètres**

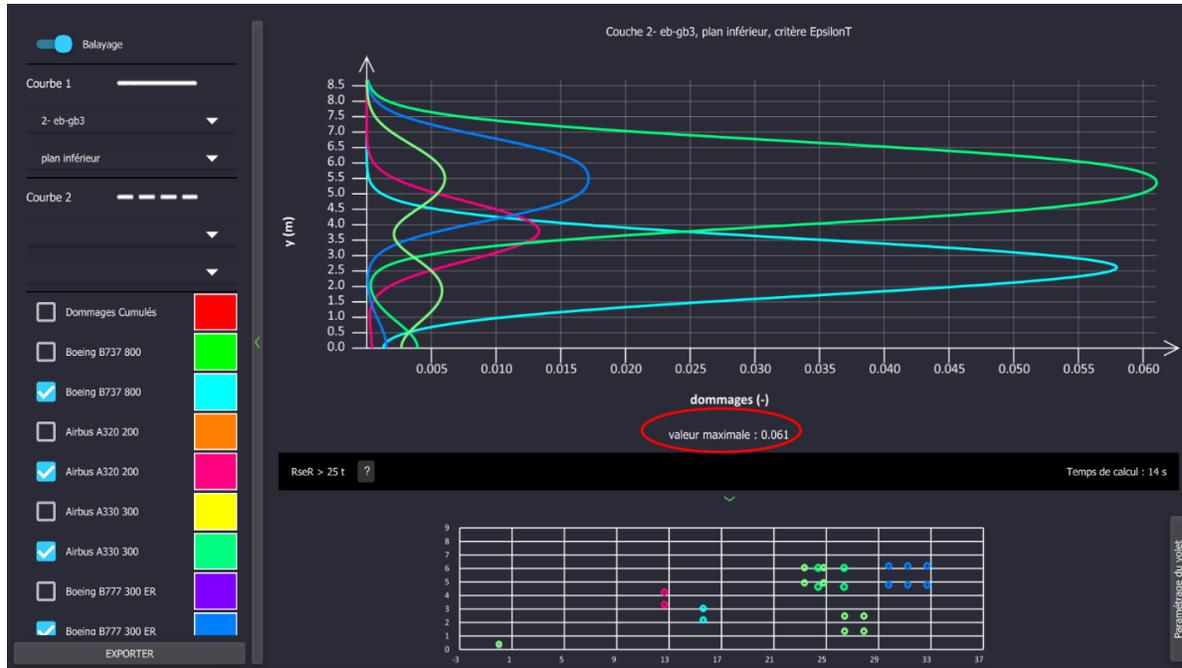
La piste à dimensionner est considérée comme une section **circulée à vitesse élevée**. Ainsi, la vitesse de déplacement de chaque aéronef est fixée à 100 km/h (correspondant à une fréquence de 10 Hz) et le balayage transversal de chaque aéronef est alors caractérisé par un écart type égal à 0,75 m.

Autres paramètres		
Balayage (m)	Vitesse (km/h)	Teta eq.
1.5	100	28
1.5	100	28
1.5	100	28
1.5	100	28
1.5	100	28
1.5	100	28
1.5	100	28
1.5	100	28
1.5	100	28
1.5	100	28

Dommages

- Couche de base gb3 :

- Dommages des avions à l'atterrissage

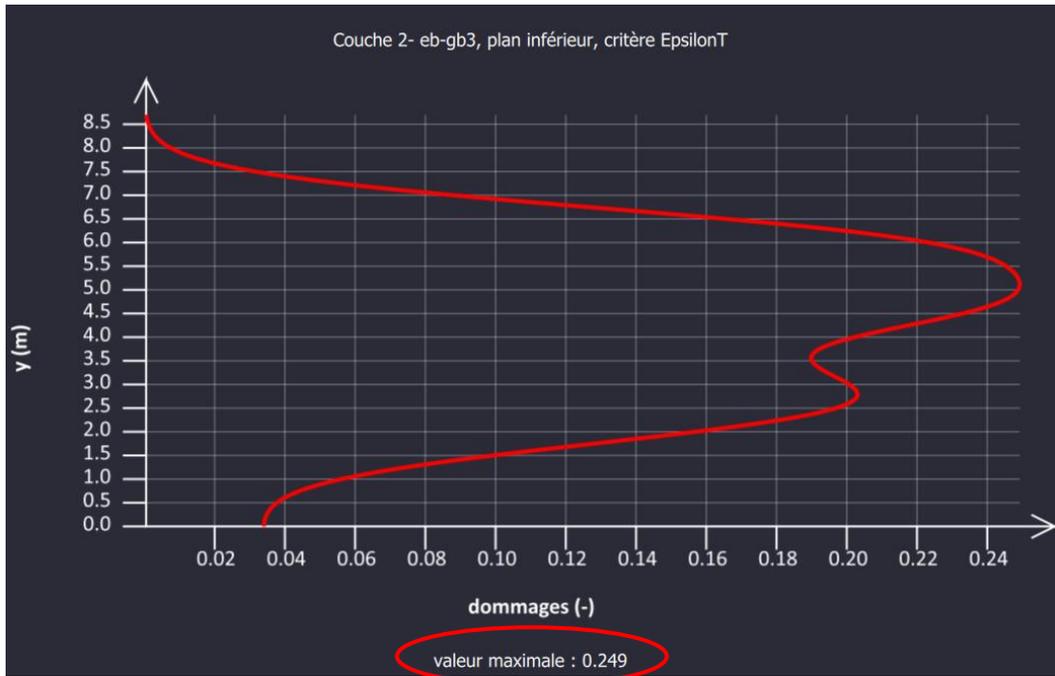


Nous avons une valeur maximale de dommage individuelle de 0,061 μ def, cet endommagement est engendré par l'AIRBUS A320 200.

- Dommages des avions au décollage



- Dommmages cumulés des avions

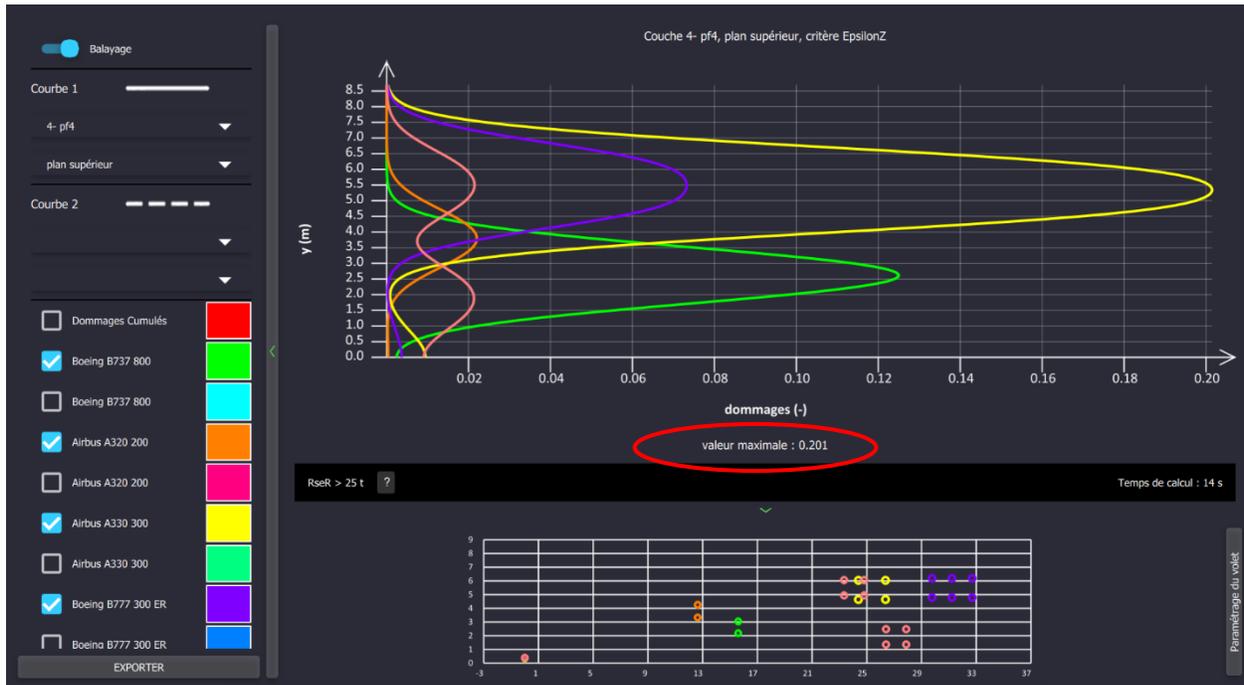


• Sol support

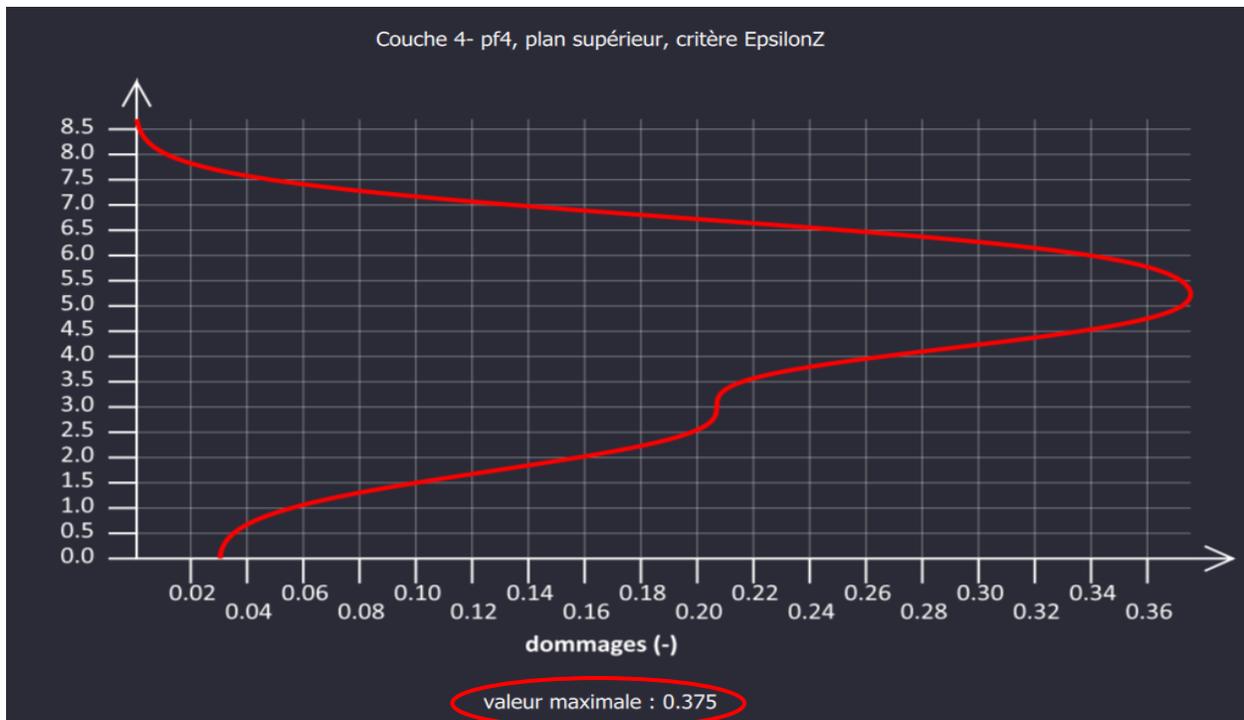
- Dommmages des avions à l'atterrissage



- Dommages des avions au décollage



- Dommages cumulés des avions



IV.2. Portion 1&3 de la piste

La structure de chaussée et le trafic reste inchangés, seuls les paramètres de balayages et de vitesse seront modifiés. Nous utilisons la variante 1 de structure de chaussée proposée pour la vérification.

♣ Autres paramètres

Les portions 1&3 de la piste à dimensionner sont considérées comme des sections **circulées à vitesse moyenne**. Ainsi, la vitesse de déplacement de chaque aéronef est fixée à 30 km/h (correspondant à une fréquence de 3 Hz) et le balayage transversal (1 m) de chaque aéronef est alors caractérisé par un écart type égal 0,50 m.

Autres paramètres		
Balayage (m)	Vitesse (km/h)	Teta eq.
1	30	28
1	30	28
1	30	28
1	30	28
1	30	28
1	30	28
1	30	28
1	30	28
1	30	28
1	30	28
1	30	28

❖ Dommages

• Couche de base GB3

- Dommages des avions à l'atterrissage



- Dommages des avions au décollage



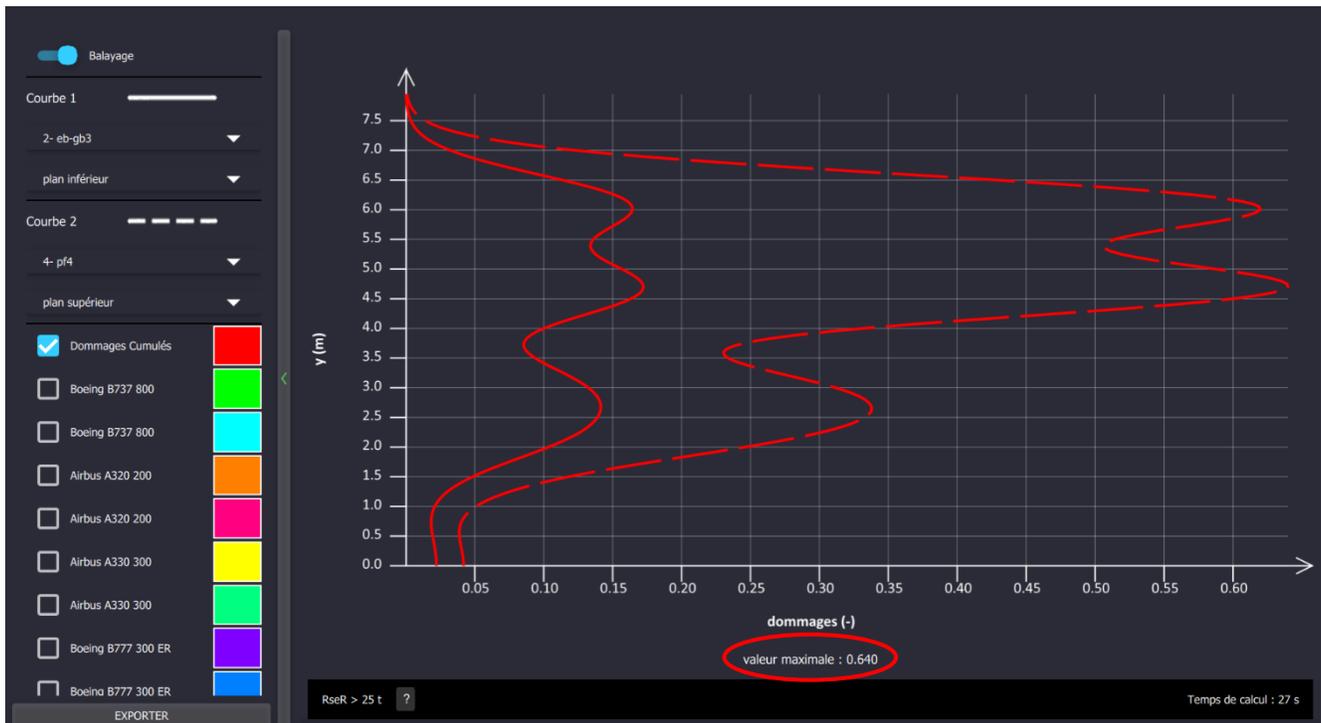
- Sol support
 - Dommages des avions à l'atterrissage



- Dommages des avions au décollage



- Dommages cumulés des avions : Sol support et GB3



IV.3. QFU05 et QFU23

Le même principe de dimensionnement est utilisé pour le QFU 05 et le QFU 23, nous considérerons le trafic de la QFU 05 qui fait 60% du trafic de la piste contre 40% pour la QFU 23. La section à dimensionner est considérée comme une section **circulée à faible vitesse**. Ainsi, la vitesse de déplacement de chaque aéronef est fixée à 10 km/h (correspondant à une fréquence de 1 Hz et le balayage transversal 0 m) de chaque aéronef est alors caractérisé par un écart type égal 0 m. La vérification est faite avec la variante 2 de structure de chaussée proposée (BBME en couche de roulement pour les raquettes recommandé par le GAN).

Après vérification avec les épaisseurs initiales, nous avons obtenu des dommages cumulés supérieurs à 1 au niveau du sol support. Nous avons donc augmenté l'épaisseur de la couche de base à 15 cm et celle de la couche de fondation à 22 cm afin d'avoir des dommages cumulés inférieurs à 1.

Variante	Sections	Dommages cumulés (μ def)		Observations	
		Fatigue (GB3)	Poinçonnement (Sol support)	Base	Fondation
Variante 1	Portion 1 et 3	0,172	0,640	-	-
Variante 1	Portion 2	0,249	0,375	-	-
Variante 2	QFU05 et QFU23	0,203	0,896	+ 1cm sur $e_{initiale}$	+ 2 cm sur $e_{initiale}$