



**Étude technique détaillée et réalisation des travaux de construction d'une piste d'atterrissage et de décollage cas de l'aéroport international de Tillabéri**

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

**SPECIALITE ROUTES ET OUVRAGES D'ART**

-----  
Présenté et soutenu publiquement le [15/01/2020] par

**Ismaël ALI LABO (2013 1384)**

**Directeur de mémoire : Dr Decroly DJOUBISSIÉ D., Enseignant-chercheur, Département Génie Civil et Hydraulique, 2iE**

**Maître de stage : Abdoul Wahid ABDOULAYE SALEY, Ingénieur Génie Civil, Conducteur des travaux à Groupe Art et Génie**

Structure d'accueil du stage : Groupe Art et Génie

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Pr Igor OUEDRAOGO

Membres et correcteurs : Mr Arnaud OUEDRAOGO

Dr Yasmine TRAORE

**Promotion [2019/2020]**

## DEDICACES

Rien ne fait plus plaisir que d'exprimer sa reconnaissance aux personnes qu'on aime :

Je dédie ce travail à :

La mémoire de mon père Feu **ELHADJI ALI LABO** qui a toujours été un véritable modèle pour ses enfants dont l'invocation, l'éducation, et la confiance nous seront pour l'éternité une source d'inspiration. (Qu'Allah lui fasse miséricorde et lui accorde le paradis éternel) ;

À ma mère **HADJIA HAWALE ABDOU** qui a toujours ménagé aucun effort pour la réussite de ses enfants, dont les sages conseils, les multiples invocations, les inestimables soutiens moral et financier ainsi que tout l'amour qu'elle nous a accordé nous ont toujours permis de pouvoir relevé les défis et d'avancer dans la vie ;

À mon oncle **ELH HAMIDOU LABO** par ses sages conseils, ses multiples cadeaux considérables qu'il nous offrait à chaque fois que nous présentons les meilleurs résultats en guise de récompenses et d'encouragements ;

À mes beaux-frères spécialement à docteur **Souleymane Karadjé** par son inestimable soutien durant tout notre parcours.

À tous mes frères et sœurs, mes deux autres mamans qui n'ont ménagé aucun effort pour nous accompagner moralement ou financièrement.

À mes amis, connaissances de près ou de loin par leur considération et la confiance qu'ils nous ont accordé pour la réussite de ce travail.

## CITATIONS

*« Il n'y a que le travail bien fait qui garantit le succès et l'argent vient avec le succès » Ahmat Mbodou Mahamat*

*« Les efforts disciplinés conduisent à des récompenses multiples » Robbin ANTONY*

## REMERCIEMENTS

Nous remercions tout d'abord ALLAH(SWA), le tout miséricordieux et le très miséricordieux, maître des cieux pour sa bénédiction, ses innombrables et immenses bienfaits qu'il nous accorde et par la grâce de qui, ce travail a pu être effectué, Nous tenons à exprimer notre gratitude et notre reconnaissance à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réussite de ce travail.

Je saisis cette occasion pour remercier particulièrement

- Pr Mady KOANDA, directeur général de l'Institut International d'ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2ie) ;
- Dr Abdou GANA LAWANE, chef de département Génie civil et hydraulique et son prédécesseur Dr Chabi BIAOU pour leur encadrement ;
- Mr Amadou OUMAROU, directeur général du groupe Art et Génie ;
- Mon encadreur ABDOULAYE SALEY Abdoul Wahid et le chef d'équipe géotechnique ELH CHAIBOU pour leurs encadrements et toutes leurs considérations pendant notre passage ;
- Mon encadreur interne Dr Decroly DJOUBISSIE par sa disponibilité et tout son encadrement ;
- Toute l'équipe administrative et le corps professoral de la Fondation 2ie ;
- Le personnel dynamique du groupe art et génie pour leur chaleureux accueil et leur collaboration.

## RESUME

Le présent travail élaboré sur le thème « **études techniques détaillées et réalisation d'une piste d'atterrissage et de décollage cas de l'aéroport international de Tillabéri** » s'articule autour de l'élaboration d'un rapport technique pour la réalisation d'une piste aéronautique pouvant permettre l'évolution au sol d'un Boeing 737-700 pour une fréquence de passage règlementée.

Cette étude, s'inscrit dans le cadre du programme adapté par le gouvernement nigérien à l'occasion de la fête tournante du 18 décembre édition 2019 « Tillabéri **TCHANDOLLO** ». Elle vise à permettre au réseau de transport aérien de jouer pleinement son rôle dans le développement des échanges entre les Niger et les autres pays du monde entier. Par ailleurs ce projet va permettre le développement du secteur économique de la région.

Pour atteindre cet objectif la démarche adoptée rassemble les différentes prestations telles que : la reconnaissance détaillée du site, les études de faisabilité techniques qui rassemblent la conception géométrique et le dimensionnement de la chaussée, les études hydrologiques et hydrauliques des ouvrages, les travaux topographiques, les études géotechniques, le dimensionnement structurel des ouvrages, la proposition d'une méthode de suivi de l'aérodrome en l'occurrence l'évaluation de la portance de la chaussée aéronautique ; on a également les études d'impacts environnementaux et sociaux, une évaluation du devis quantitatif estimatif pour l'évaluation du coût global du projet et enfin l'élaboration des plans des tracés routiers et des coupes des ouvrages.

Le coût global du projet s'élève à un montant de **10 715 089 629 francs CFA**

Mots clés :

- 1- Aérodrome
- 2- Aéronef
- 3- ACN/PCN
- 4- Boeing 737-700
- 5- Code de référence

## ABSTRACT

The present Works, That subject of which is entitled "detailed technical studies and supervision of the Works to build an international airport with a runway 14/32 within the Framework of the Tillabéry TCHAMDOLLO programmer", is based on the construction of a runway for the landing and take-off of a reference aircraft, the Boeing 737-700, a taxiway and the air traffic, as well as the dimensioning of the crossing structures for the removal of the aeronautical pavement from the water.

This study is part of the program developed by the Nigerien government for the rotating festival of 18 December 2019 "Tillabéry TCHANDOLLO". It aims to enable the air transport network to play its full role in the development of exchanges between countries and also to eradicate the instability prevailing in the area through the installation of a military air base in the said region.

In order to achieve this objective, the approach adopted brings together various services such as :Detailed reconnaissance of the site, technical feasibility studies which include the geometric design and dimensioning of the pavement, hydrological and hydraulic studies of the works, topographical works, geotechnical studies, structural dimensioning of the works, the proposal of a method for monitoring the aerodrome, in this case the evaluations of the bearing capacity of the aeronautical pavement; There are also the environmental and social impact studies, an evaluation of the estimated quantitative flow for the evaluation of the global cost of the project and finally the elaboration of the plans of the road layouts and the cuttings of the works.

The total cost of the project amounts to **10 715 089 629** CFA francs.

### **Key Word :**

- 1- Aérodrome
- 2- Aéronef
- 3- ACN/PCN
- 4- Boeing 737-700
- 5- Reference code

## LISTE DES ABREVIATIONS

<b>ANAC</b>	Agence nationale de l'aviation civil
<b>B737-700</b>	Boeing 737-700
<b>BBA</b>	béton bitumineux aéronautique
<b>CBR</b>	Californian Bearing Ratio
<b>Ce</b>	Coefficient d'équivalente
<b>Cca</b>	coefficient de correction d'altitude
<b>Cct</b>	coefficient de correction de la température
<b>Ccp</b>	Coefficient de correction de la pente
<b>INS</b>	Institut national de la statistique
<b>Ee</b>	Épaisseur équivalente
<b>ITAC</b>	Instruction technique sur les aérodromes civils
<b>Lp</b>	Longueur de piste
<b>Lb</b>	largeur de bande de piste
<b>OPM</b>	optimum Proctor modifié
<b>N</b>	Coefficient global de correction
<b>OACI :</b>	Organisation de l'aviation Civils Internationale
<b>ELS</b>	état limite de service
<b>MPA</b>	méga pascal
<b>PK</b>	point kilométrique
<b>SETRA</b>	service d'étude technique des routes et autoroutes
<b>ACN/PCN</b>	Aircraft Classification Number/Pavement Classification Number
<b>TN</b>	Terrain Naturel
<b>VR</b>	vitesse de référence
<b>ASECNA</b>	Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne

<b>RSI</b>	Roue simple isolé
<b>RSE</b>	Roue simple équivalente
<b>T</b>	Tonne

## SOMMAIRE

<i>Dédicaces</i> .....	<i>i</i>
<i>Citations</i> .....	<i>ii</i>
<i>Remerciements</i> .....	<i>iii</i>
<i>Résumé</i> .....	<i>iv</i>
<i>Abstract</i> .....	<i>v</i>
<i>Liste des abréviations</i> .....	<i>vi</i>
<i>Sommaire</i> .....	<i>viii</i>
<i>Liste des tableaux</i> .....	<i>xi</i>
<i>Liste des figures</i> .....	<i>xiv</i>
<b><i>I. Introduction</i></b> .....	<b><i>1</i></b>
<b><i>II. Présentation de la structure d'accueil et de la zone d'étude</i></b> .....	<b><i>2</i></b>
<b>II.1. Présentation de la structure d'accueil</b> .....	<b><i>2</i></b>
II.1.1 Moyens humains .....	<i>2</i>
II.1.2 Organigramme.....	<i>3</i>
<b>II.2. Présentation de la zone du projet</b> .....	<b><i>4</i></b>
II.2.1 Situation géographique et informations générales : .....	<i>4</i>
II.2.2 Relief et environnement de la région : .....	<i>4</i>
II.2.3 Le Climat : .....	<i>4</i>
II.2.4 L'Economie : .....	<i>4</i>
<b><i>III. Présentation du projet</i></b> .....	<b><i>6</i></b>
<b>III.1. Terminologies relatives au projet</b> :.....	<b><i>6</i></b>
III.1.1 Aéroport .....	<i>6</i>
III.1.2 Aérodrome.....	<i>6</i>
III.1.3 Aérogare .....	<i>6</i>
III.1.4 La piste .....	<i>6</i>
III.1.5 Aires de mouvement :.....	<i>6</i>

III.1.6	Aires de trafic .....	6
III.1.7	Aires de manœuvre .....	6
III.1.8	Bande aménagée .....	7
III.1.9	Altitude d'un aérodrome .....	7
III.1.10	Températures de référence de l'avion .....	7
III.1.11	Termes se rapportant au aéronefs .....	7
<b>III.2.</b>	<b>Contexte et justification du projet .....</b>	<b>8</b>
<b>III.3.</b>	<b>Diagnostic état des lieux .....</b>	<b>8</b>
<b>III.4.</b>	<b>Données de base .....</b>	<b>8</b>
<b>IV.</b>	<b><i>méthodologie de conception</i> .....</b>	<b>9</b>
<b>IV.1.</b>	<b>matériels et méthodes .....</b>	<b>9</b>
IV.1.1	Matériels .....	9
IV.1.2	Méthodes : .....	9
<b>IV.2.</b>	<b>Etude de faisabilité technique : .....</b>	<b>9</b>
<b>IV.3.</b>	<b>L'étude financière .....</b>	<b>10</b>
<b>IV.4.</b>	<b>Une étude d'impact sur l'environnement : .....</b>	<b>10</b>
<b>V.</b>	<b><i>étude de faisabilité technique</i> .....</b>	<b>11</b>
<b>V.1.</b>	<b>Description des caractéristiques de l'avion dimensionnant .....</b>	<b>11</b>
<b>V.2.</b>	<b>Conception géométrique .....</b>	<b>13</b>
V.2.1	Code de référence de l'aérodrome .....	13
V.2.2	Implantation du seuil de la piste d'atterrissage et de décollage .....	13
V.2.3	Détermination des caractéristiques du profil en long et en travers de la piste .....	14
V.2.4	Les accotements .....	14
V.2.5	Détermination de la longueur de la piste (ITAC, 1998) .....	15
V.2.6	Largeur de la piste .....	16
<b>V.3.</b>	<b>Généralité et dimensionnement de la chaussée aéronautique (STBA, 1983) .....</b>	<b>17</b>
V.3.1	Généralités sur les chaussées aéronautiques .....	17
V.3.2	Dimensionnement d'une chaussée souple .....	18
<b>V.4.</b>	<b>Assainissement de la chaussée aéronautique .....</b>	<b>27</b>

V.4.1	Etude hydrologique .....	27
V.4.2	Etude hydraulique .....	37
V.4.3	Dimensionnement structurale des ouvrages transversale type dalot : .....	39
<b>V.5.</b>	<b>Moyens d'évaluations pour déterminer la portance des chaussées aéronautique .....</b>	<b>50</b>
V.5.1	Approche de la méthode ACN/PCN .....	50
V.5.2	Les renseignements communiqués pour indiquer la portance d'une chaussée aéronautique : le code PCN.....	53
V.5.3	Comparaison de la charge réelle et de la charge admissible déduite des publications ;.....	54
<b>V.6.</b>	<b>Signalisations et aide visuelles a la navigation (4, mars 1993) .....</b>	<b>55</b>
V.6.1	Les indicateurs de direction du vent :.....	55
V.6.2	Les marques horizontales de circulation .....	55
V.6.3	Les feux de l'aérodrome :.....	57
<b>VI.</b>	<b>Etude d'évaluation financière.....</b>	<b>58</b>
<b>VII.</b>	<b>ETUDES D'IMPACTS ENVIRONNEMENTALE .....</b>	<b>60</b>
<b>VII.1.</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>60</b>
<b>VII.2.</b>	<b>Rappel du cadre législatif régissant le projet .....</b>	<b>60</b>
<b>VII.3.</b>	<b>Rappel des composantes et phases du projet .....</b>	<b>61</b>
<b>VII.4.</b>	<b>Identification et évaluation des impacts : (ALVAREZ, 2008) .....</b>	<b>61</b>
VII.4.1	Identification des impacts en phase d'installation du projet : .....	62
VII.4.2	Pendant la phase de construction :.....	62
VII.4.3	Pendant la phase d'exploitation du projet.....	62
VII.4.4	Les impacts positifs : .....	63
<b>VIII.</b>	<b>Conclusion et recommandations.....</b>	<b>64</b>
<b>IX.</b>	<b>Bibliographie .....</b>	<b>65</b>
<b>Annexes.....</b>		<b>66</b>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Personnel permanent .....	2
Tableau 2 : Personnel collaborateur .....	3
Tableau 3 : Caractéristiques principales du Boeing B737-700 .....	11
Tableau 4 : éléments du code retenus pour l'aérodrome .....	13
Tableau 5 récapitulatifs des caractéristiques géométriques de la piste .....	16
Tableau 6 : sondages géotechniques réalisée pour l'identification des sols en place .....	19
Tableau 7 :répartition des charges de l'avion sur les atterrisseurs .....	22
Tableau 8 : repartition des coefficients de ponderation de la charge relle en fonction de l'aire considerée.....	23
Tableau 9 charges réelles pondérées sur la piste de l'aérodrome .....	23
Tableau 10 :récapitulatif des parametres de calcul de l'épaisseur equivalente totale.....	24
Tableau 11 :structure d'une chaussée souple .....	25
Tableau 12 :structure de chaussée à mettre en place.....	26
Tableau 13 :caractéristiques physiques des bassins versants .....	28
Tableau 14 :caractéristiques des données pluviométriques.....	29
Tableau 15 paramètres et l'expression de la variable réduite de Gumbel.....	30
Tableau 16 :présentation de l'analyse fréquentielle par application de la loi de GUMBEL ...	31
Tableau 17 :calcul des pluies décennales et centennales par ajustement de Gumbel .....	32
Tableau 18 :paramètres de calcul du débit de crue décennale par la méthode rationnelle .....	33
Tableau 19 :paramètres de calcul du débit de pointe décennale par la méthode CIEH .....	34
Tableau 20caractéristiques des bassins versants intervenants dans le calcul des débit décennal par application des différentes formules .....	36
Tableau 21Resultat des calculs hydrologiques des bassins versants.....	36
Tableau 22 :ouvertures hydraulique et dimensions retenue pour un mode de fonctionnement en sortie dénoyée.....	38
Tableau 23 :caractéristiques des matériaux.....	40

Tableau 24 :récapitulatif des charges permanentes de l'ouvrage.....	41
Tableau 25 :récapitulatif des charges d'exploitation sur les différentes partie de l'ouvrage ...	44
Tableau 26 :solllicitations générée par les différents cas de charges permanentes et d'exploitations.....	46
Tableau 27 :combinaisons d'actions .....	47
Tableau 28récapitulatif des combinaison à l'ELU et ELS .....	47
Tableau 29 :récapitulatif des paramètres de le calcul des sections d'armatures en tablier et radier.....	48
Tableau 30récapitulatif paramètres de calcul sur tablier et sur radier des section d'armature	49
Tableau 31récapitulatif des sections d'armatures sur les différentes parties de l'ouvrage .....	49
Tableau 32 :données ACN correspondants au Boeing 737-700 .....	51
Tableau 33 :les différentes catégorie de résistance du sol support .....	52
Tableau 34 :récapitulatif des paramètres et numéros ACN/PCN.....	52
Tableau 35 :récapitulatif des paramètres de calcul de la charge admissible de l'avion.....	54
Tableau 36marques de seuil de piste en fonction de la largeur de la pite .....	56
Tableau 37nombre de pair des points cibles en fonction de la longueur de la piste .....	57
Tableau 38 :dévis quantitatif et estimatif des travaux.....	58
Tableau 39 :mesures d'atténuations .....	63
Tableau 40 :calcul de la hauteur amont H1 .....	LXXXII
Tableau 41 :calcul de la pente critique de l'ouvrage Ic.....	LXXXII
Tableau 42 :vérification de la condition de vitesse dans l'ouvrage .....	LXXXII
Tableau 43 Calcul de la hauteur amont H1 .....	LXXXIII
Tableau 44calcul de la pente critique Ic .....	LXXXIII
Tableau 45 :vérification de la condition de vitesse .....	LXXXIII
Tableau 46 : type de chaussée de l'aérodrome.....	LXXXIX
Tableau 47 :catégories du sol support.....	XC
Tableau 48 :catégorie de pression des pneumatiques.....	XC

Tableau 49 :mode d'évaluation .....XC

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Organigramme de l'entreprise Groupe Art et Génie .....	4
Figure 2 :localisation de la zone du projet .....	5
Figure 3 :situation géographique de la région de Tillabéry .....	5
Figure 4 :distribution des coefficients de pondérations sur les aires de l'aérodrome. ....	22
Figure 5 :répartition de la charge d'une roue d'atterrisseur sur les différentes couche de matériaux constituant une chaussée souple .....	26
Figure 6 :délimitation des bassins versants .....	28
Figure 7 :mode d'écoulement en sortie dénoyée à surface libre .....	38
Figure 8 :dimensions des roues atterrisseurs d'un Boeing 737 .....	42
Figure 9 :illustration du mode de répartition des charges sur l'ouvrage :cas du chargement sur la travée centrale.....	43
Figure 10 :schémas d'un indicateur de direction du vent.....	55

## I. INTRODUCTION

La mobilité des personnes et de leurs biens est l'un des facteurs clés du développement d'un pays. En effet, l'élargissement du réseau de transport permet d'améliorer la vie de l'homme sur plusieurs facteurs à savoir la santé, la sécurité, l'économie, l'éducation et en général tout autre facteur entrant dans le cadre de son évolution. C'est le cas notamment du réseau de transport aérien qui de nos jours est le moyen de transport le plus efficace car il permet de relier un point A à un point B dans le meilleur délai. Mais la mise en place de ce réseau nécessite des moyens particuliers pour permettre l'évolution au sol des aéronefs à travers la réalisation des chaussées aéronautiques.

Le Niger comme la plupart des pays sous-développés présente une insuffisance du réseau de transport aérien car selon les estimations du ministère de transport, sur une superficie de 1 267 000 km<sup>2</sup> moins de 10% des échanges internes ou internationales sont effectués par via le réseau aérien. Menacé par des problèmes sécuritaires sur presque toutes les frontières terrestres, un tel déficit constitue un véritable handicap pour le développement du pays.

C'est dans cette optique et dans le but d'élargir son réseau de transport que le gouvernement du Niger s'est investi dans un vaste programme de renaissance en matière de transport aérien, à travers le lancement du projet de construction d'un aéroport aux normes internationales dans la région de Tillabéri. L'objet de notre travail est d'établir une étude comparative du projet afin de proposer des variantes beaucoup plus économiques tout en tenant compte des facteurs environnementaux de la région.

A travers ce thème il sera question après la présentation générale du projet de faire dans un premier temps une étude technique qui couvrira la conception et le dimensionnement de la piste, l'assainissement de la chaussée aéronautique, l'étude de la portance pour le suivi et l'évaluation des charges admissibles. La seconde partie portera sur l'évaluation du coût global du projet et la dernière partie sera basée sur l'étude d'impacts environnementaux et sociaux.

## II. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE D'ETUDE

Cette partie sera consacrée dans un premier temps à la présentation de la structure depuis sa création jusqu'à nos jours, à ses domaines d'intervention ainsi que le personnel de ladite structure. Ensuite elle se penchera sur une description de la zone du projet à savoir sa localisation et une description de son milieu physique et naturel.

### II.1. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

Créée depuis février 1998 le bureau d'ingénieurs conseils Groupe Art et génie est un bureau nigérien d'ingénierie Appui conseil spécialisé dans la fourniture de services d'assistance technique et gestion des projets dans divers domaine d'interventions à savoir l'hydraulique ,exploitation géophysique et étude d'impact des projets miniers ,hydrogéologie ,environnement ,expertise dans l'évaluation des projets ,activités d'intermédiation sociale, informatique, infrastructures des transports urbains, bâtiments architecture ,urbanisme ,habitat et formation. Cependant plus de 60 % des activités du bureau sont dans le secteur d'étude et contrôle des travaux routiers.

#### II.1.1 Moyens humains

Les Tableau 1 et Tableau 2 présentent les qualifications, le nombre et les fonctions du personnel permanent, ainsi que du personnel collaborateurs de l'entreprise.

Tableau 1 : Personnel permanent

Qualification	Nombre	Fonctions
<b>Ingénieur travaux Publics</b>	6	Génie civil et hydraulique Etudes d'impact sur l'environnement Études techniques et contrôle des travaux Coordination et organisation des chantiers Contrôle et surveillance des chantiers
<b>Ingénieurs hydraulique et GENIE Rural</b>	2	Génie rural/hydraulique supervision des études techniques coordination et organisation des chantiers, contrôle et surveillance des chantiers Estimation des travaux
<b>Ingénieurs Géomètres</b>	2	Travaux topographiques, devis quantitatifs suivi

		quotidien
<b>Ingénieur Géophysicien</b>	1	Études, suivi et contrôle des travaux géophysiques et pétro physiques
<b>Techniciens supérieurs Génie Rural</b>	2	Contrôle et surveillance des travaux géophysiques et pétro physiques
<b>Techniciens</b>	5	Mise en forme des documents graphiques Assistance à l'établissement des devis quantitatifs Suivi quotidien et contrôle de l'exécution des travaux

Tableau 2 : Personnel collaborateur

Qualification	Nombre	Fonctions
Environnementaliste	1	Étude d'impact sur l'environnement
Socio-économiste, anthropologue	1	Étude socio-économique

### II.1.2 Organigramme

La Figure 1 présente l'organigramme de l'entreprise Groupe Art et Génie

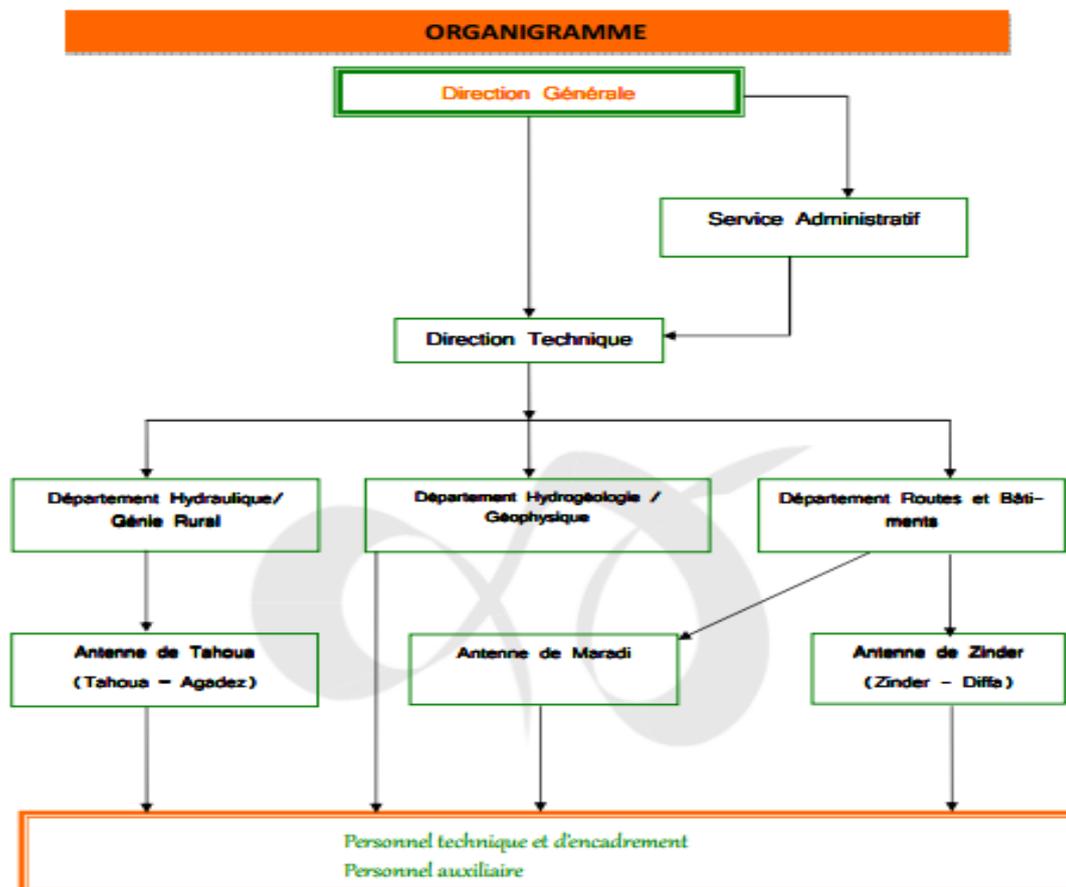


Figure 1 : Organigramme de l'entreprise Groupe Art et Génie

## II.2. PRESENTATION DE LA ZONE DU PROJET

### II.2.1 Situation géographique et informations générales :

La zone du projet se situe dans la région de Tillabéri au sud-ouest de la république du Niger à 115 Km au Nord-Ouest de la capitale Niamey. Elle couvre une superficie de 97 251 km<sup>2</sup> et peuplé de 2 715 186 habitants en 2012, une densité de 28 habitants par Km<sup>2</sup>. Elle est limitée au sud par la région de Dosso, au nord-est par la région de Tahoua et la république du Mali, enfin à l'ouest par le Burkina Faso. La superficie de la zone utilisée pour la réalisation de ce projet s'étend sur 558 hectares à 2 Km de la ville sur la partie Ouest de la région de Tillabéri.

### II.2.2 Relief et environnement de la région :

La région est traversée par le fleuve Niger, c'est un plateau à environ 250 m d'altitude coupé par des cours d'eau temporaires (Goroual, Sirba) ou permanents (Mékrou, Tapoa). Le parc national de W du Niger est situé dans l'extrême sud de la région et s'étend sur le Burkina Faso et le Benin. La partie Nord-Ouest de la région (département de Ouallam et Filingué) est une région de la savane.

### II.2.3 Le Climat :

La région connaît un climat de type sahélien chaud et relativement humide avec 540 mm de précipitations à Niamey. Elle ne reçoit cependant pas une goutte de pluie pendant plus de 4 mois par an, et les précipitations sont irrégulières.

### II.2.4 L'Economie :

L'économie de la région repose sur des activités comme l'agriculture, l'élevage et la pêche. La présence du fleuve Niger et de quelques affluents en font une région propice pour l'agriculture dans la partie sud-ouest. La région produit 75 % de riz du pays, 18% de mil, et du sorgho. La région élève 21% des bovins du pays, 14% des ovins et 13% des chèvres. La pêche est pratiquée dans le fleuve Niger et fait de la région la première productrice de poissons du pays.

La figure (2) ci-après indique la localisation spatiale de la zone du projet :



Figure 2 :localisation de la zone du projet

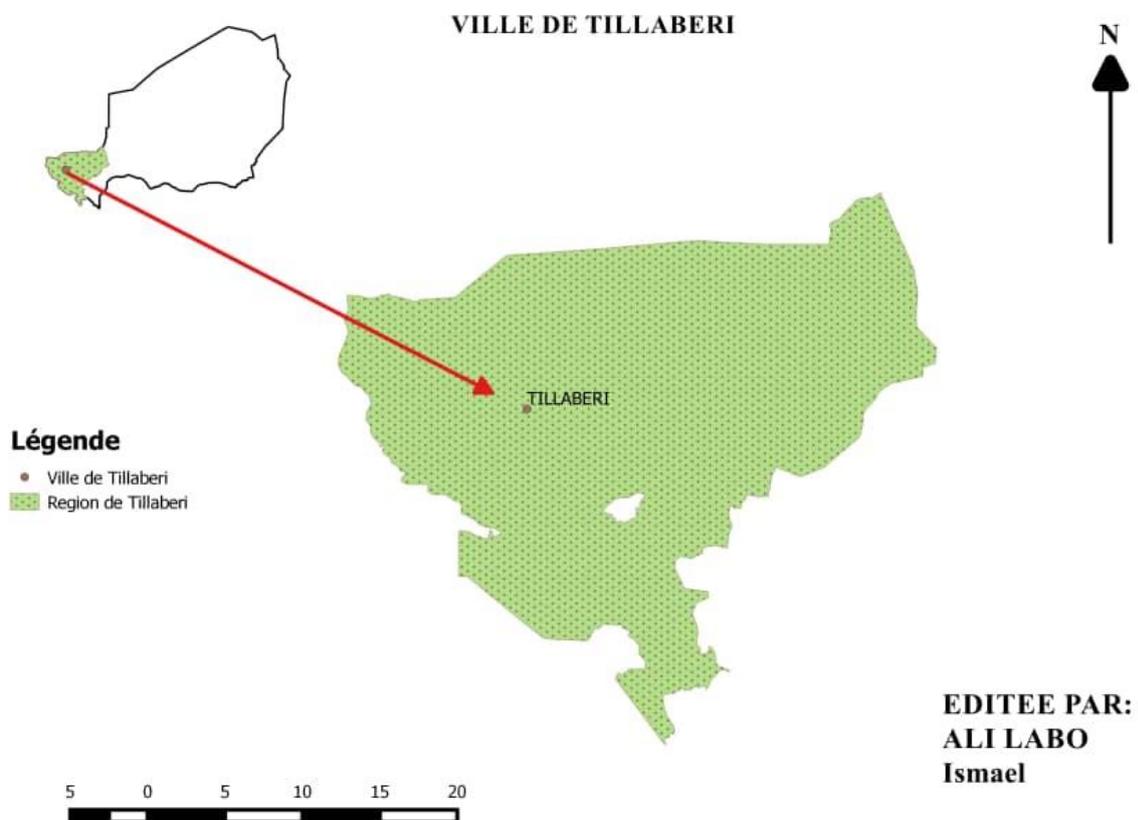


Figure 3 :situation géographique de la région de Tillabéry

### III. PRESENTATION DU PROJET

#### III.1. TERMINOLOGIES RELATIVES AU PROJET :

Il s'agit de définir les termes relatifs à l'aéroport terrestre. Ce sont les aires et les paramètres intervenants dans l'étude du projet.

##### III.1.1 Aéroport

C'est l'ensemble des bâtiments et des installations qui servent au traitement des passagers et des frets aériens situés sur un aérodrome

##### III.1.2 Aérodrome

C'est une surface définie sur terre ou sur l'eau qui comprend éventuellement l'ensemble des bâtiments, installations et matériels destinés à être utilisés en totalité ou en partie pour le contrôle de l'arrivée, le départ et l'évolution des aéronefs à la surface.

##### III.1.3 Aérogare

C'est l'ensemble des bâtiments d'un aéroport par lesquels transitent les passagers à l'embarquement ou au débarquement d'un avion

##### III.1.4 La piste

C'est une surface rectangulaire, aménagée afin de servir pour le décollage et pour l'atterrissage d'un aéronef.

##### III.1.5 Aires de mouvement :

C'est la partie utilisée pour le décollage, l'atterrissage et le manœuvre d'un aéronef à la surface .il comprend l'aire de manœuvre et l'aire de trafic.

##### III.1.6 Aires de trafic

C'est les aires définies sur un aérodrome terrestre destinées aux aéronefs pendant l'embarquement et le débarquement des voyageurs, le chargement ou le déchargement, avitaillement, le stationnement ou l'entretien.

##### III.1.7 Aires de manœuvre

C'est la partie définie d'un aérodrome permettant le décollage, l'atterrissage et la circulation des aéronefs.

### III.1.8 Bande aménagée

La bande aménagée de la piste est la partie de la bande englobant la piste et dont la surface est aménagée pour accepter le roulement d'avion au cas où celui-ci quitte accidentellement la piste.

### III.1.9 Altitude d'un aérodrome

C'est l'altitude du point le plus haut de la piste de l'aérodrome ; elle est obtenue par les levées topographiques.

### III.1.10 Températures de référence de l'avion

La température de référence de l'aérodrome est la moyenne de la température quotidienne du mois le plus chaud de l'année ; elle devrait être la moyenne obtenue sur plusieurs années.

### III.1.11 Termes se rapportant au aéronefs

#### III.1.11.1 Aéronefs

Tout appareil qui peut se maintenir dans l'atmosphère sous pression de l'air.

#### III.1.11.2 Atterrisseurs

L'ensemble de la masse de l'avion montée sur une jambe. On distingue : l'atterrisseur à roue simple, le jumelage, et le boggie. Le rôle principal des atterrisseurs est d'assurer l'évolution des aéronefs aux sol.

#### III.1.11.3 Train d'atterrissage

C'est l'ensemble des atterrisseurs d'un avion. L'avion peut disposer un ou plusieurs atterrisseurs principaux et un atterrisseur secondaire situé à l'avant. La répartition des charges de l'avion se font par rapport au centre de gravité de celui-ci.

#### III.1.11.4 Distance de référence d'un avion

Elle est définie comme la longueur minimale nécessaire pour le décollage d'un avion à la masse maximale certifiée au décollage, dans les conditions correspondant à l'atmosphère type, en air calme et avec une pente nul indiquée dans les renseignements fournis par le concepteur de l'avion ; elle représente la distance utilisable par l'avion depuis sont lâchement jusqu'à ce qu'il atteigne une hauteur de 35 Pieds soit 10,71 m.

### III.2. CONTEXTE ET JUSTIFICATION DU PROJET

Le déplacement des personnes et des biens est l'un des facteurs majeurs en terme du développement. À cet effet, le gouvernement nigérien dans sa politique de renforcement des capacités des réseaux de transport a mis en place ce vaste projet de construction d'un aéroport à dimension international pour faire face aux défis d'insécurité.

Par ailleurs, outre le désenclavement du pays, la mise en place de cet aéroport va permettre l'implantation d'une base militaire aérienne afin de faciliter l'acheminement des matériels militaires.

### III.3. DIAGNOSTIC ETAT DES LIEUX

Le site de l'aéroport est une zone à plateau raid dans une zone sahélienne entre la latitude 14°12'10'' Nord et la longitude 1°28'25'' E à 2 km à l'est du centre-ville ; le choix du site répond à toutes les spécifications relatives à la limitation d'obstacle et également aux enjeux des défis environnementaux. Du point de vue géologique la ligne du projet se trouve sur la rive gauche du fleuve Niger ce qui exige des sondages approfondi pour les mesures de la variation des nappes phréatiques afin d'éviter les remontées des eaux. Le site d'emprunt pour les matériaux utilisés pour l'exécution est la carrière de LOSSA située à 14 km du site de l'aéroport.

### III.4. DONNEES DE BASE

Les données disponibles pour la tenue de cette étude sont entre autres :

- Les données topographiques pour l'implantation des bornes de pistes
- Les données TN de l'axe de piste
- Les résultats des sondages géotechniques pour l'identification des caractéristiques du sol en place
- La température de référence de l'aérodrome qui est de 37,16 ° C
- Catalogue de l'avion de référence présentant toutes les caractéristiques de ce dernier.

## IV. METHODOLOGIE DE CONCEPTION

### IV.1. MATERIELS ET METHODES

#### IV.1.1 Matériels

Pour mener à bien cette étude les logiciels suivants ont été utilisés : Google Earth, global mapper, Autopiste, Qgis. Il s'en suivra une description de chacun.

**Google Earth** : ce logiciel nous a permis d'avoir une vue d'ensemble sur la zone d'étude.

**Global Mapper** : c'est un logiciel du système d'information géographique il nous a permis de faire la délimitation des bassins versants de fournir les caractéristiques physiques de ces derniers.

**Le logiciel autopiste** : permet de faire ressortir le tracé de la piste et de générer les différents profils en long, en travers et combinés à partir des données topographiques relevées.

ArcGIS ET Qgis: comme systèmes d'information géographique.

#### IV.1.2 Méthodes :

##### **Collecte des données :**

Cette étape consiste à collecter la documentation et les données nécessaires intervenants dans les différentes phases de l'étude. On peut citer entre autre les démarches auprès des différents services dont l'agence nationale des aviations civils(ANAC), Direction de la météorologie de la région de Tillabéri, auxquelles s'ajoute les recherches sur l'internet pour renforcer les idées. Pour la reconnaissance du terrain des études préliminaires ont été effectuées afin de déterminer le site idéal pour l'implantation du projet conformément aux réglementations de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI).

Néanmoins plusieurs sondages ont également été effectués en terme géologique (établir la courbe géologique pour l'identification des couches des matériaux susceptibles d'être utilisés comme emprunt) et géotechnique (pour déterminer le nature des matériaux en place à travers les essais au laboratoire.

### IV.2. ETUDE DE FAISABILITE TECHNIQUE :

Cette partie sera consacrée à la partie technique du projet. Elle s'articule sur quatre points fondamentaux à savoir :

- La conception géométrique et le dimensionnement de la piste qui repose tout d'abord sur la détermination du code de référence de l'aérodrome, un code permettant de mettre en relation les spécifications relatives aux caractéristiques d'un aérodrome afin de définir une série d'installation adaptée à la circulation des avions qui seront appelés à utiliser cet aérodrome. Le code de référence ainsi retenu va permettre le choix judicieux des autres paramètres de conception à l'exception de la longueur de la piste. Les tableaux indiqués à annexe 3 vont permettre le choix des paramètres de conception en fonction du code de référence de l'aérodrome.
- Le dimensionnement structural de la chaussée qui sera traité conformément aux prescriptions de l'annexe 14 du manuel de conception et dimensionnement des aérodromes. Cette partie consiste à faire un choix sur le type de chaussée à mettre en place et d'effectuer une étude structurale de celle-ci à travers des méthodes proposées par l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI).
- Une partie d'assainissement de la route pour la mise hors d'eau de la chaussée, qui englobe les études hydrologiques pour l'estimation des débits provenant des bassins versants, une étude hydraulique pour le choix des types d'ouvrages à mettre en place pour l'évacuation et enfin un dimensionnement structural afin de déterminer les ferraillements nécessaires pour une bonne rigidité des ouvrages d'évacuations.
- Proposer une méthode de suivi des aérodromes pour maintenir un niveau de service abordable de la chaussée. La méthode de suivi va se baser sur l'évaluation du trafic d'avions attendu et la portance de la chaussée aéronautique les accueillants.

#### IV.3. L'ETUDE FINANCIERE

Cette étude va nous permettre d'établir un devis qualitatif et estimatif du projet dès son lancement jusqu'à la fin de son exécution. Ainsi donc cette étude se fera pour tous les scénarios décrits précédemment.

#### IV.4. UNE ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT :

Afin de répondre aux principes du développement durable, tout projet doit être évalué en fonction de la relation homme-nature dans le but de répondre aux besoins présents sans compromettre la génération future. Ce qui justifie une étude d'impact sur l'environnement pour l'identification des impacts positifs et négatifs durant toutes les phases du projet afin de proposer des facteurs d'atténuation.

## V. ETUDE DE FAISABILITE TECHNIQUE

Cette étape sera spécialement consacrée à l'étude technique des structures composites de la chaussée aéronautique selon l'état du terrain à savoir la variation topographique, hydrologique, géotechnique, et climatiques afin d'atteindre des objectifs visés

### V.1. DESCRIPTION DES CARACTERISTIQUES DE L'AVION DIMENSIONNANT

Le Boeing B737-700 est un avion de nouvelle génération construit par la société Boeing. C'est un avion court a moyen-courrier équipé de réacteurs CFM56-7B, et d'un cockpit ultra moderne entièrement numérique. Les caractéristiques principales données par le concepteur de l'avion en question sont présentées dans le tableau 3.

Tableau 3 : Caractéristiques principales du Boeing B737-700

Envergure	Capacité passagers	Longueur	Largeur hors-tout	Distance de décollage	Masse à vide opérationnelle	Altitude maximale	Masse maximale au roulage	Poids maximal au décollage	Rayon d'action maximal	moteur
34,3 m	120-149	33,62 m	7,0 m	1598 m	37 500 kg	12500 m	70 500 kg	70 080 kg	6230 km	Moteur CFMI-CFM32-7

**Source** : catalogue de l'avion Boeing

- L'envergure représente la longueur entre les extrémités des ailes de l'avion ;
- Largeur hors tous des trains principaux : c'est la largeur entre les pneus extérieurs arrières de l'avion ;
- Masse à vide en ordre d'exploitation (ou masse à vide équipé m) : c'est la masse de l'avion à vide avec ses équipements permanents, un aménagement de cabine et un équipage de référence ;

Les deux images ci-dessous nous donne une illustration des différentes caractéristiques de l'avion

image 1 : les distance utilisable pour l'évolution d'un aéronef à la surface

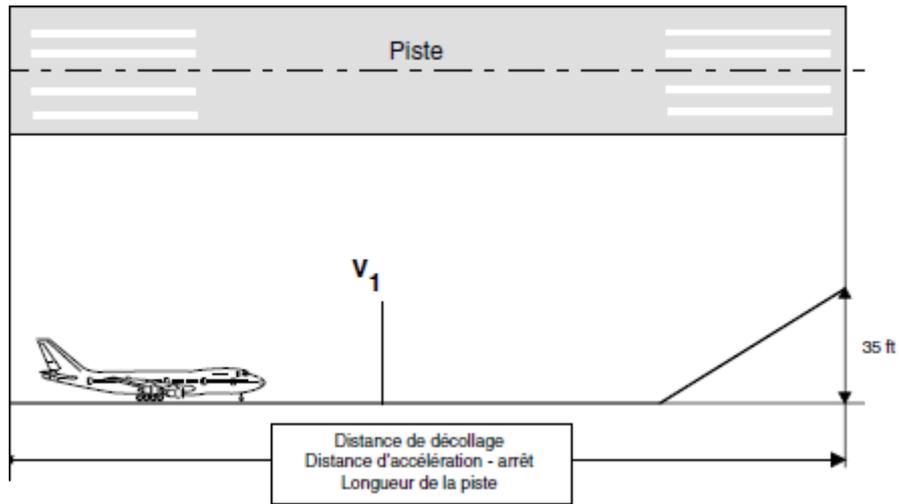
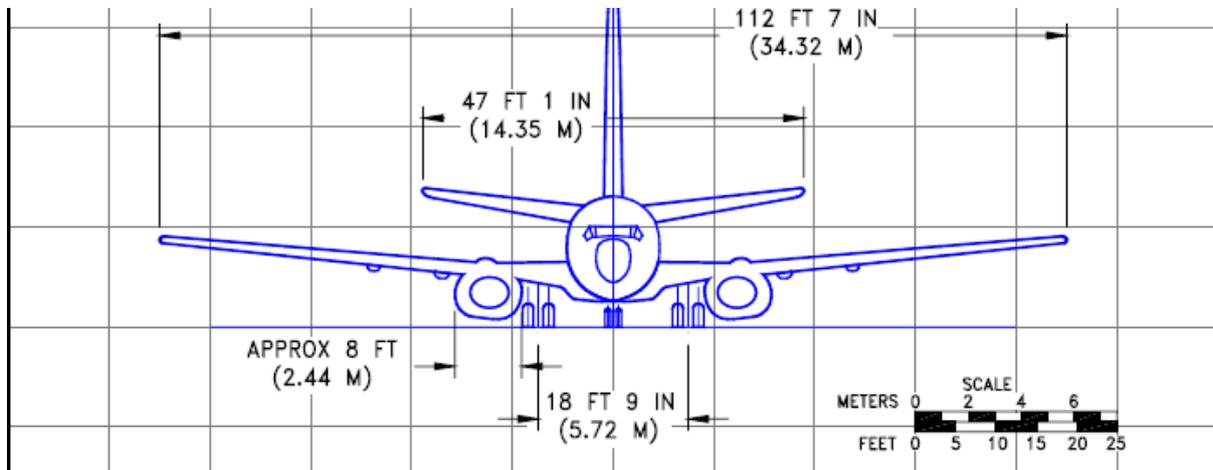


image 2 : dimension d'un Boeing 737-700



## V.2. CONCEPTION GEOMETRIQUE<sup>1</sup>

Cette partie sera consacrée à la détermination des caractéristiques physiques de la piste pour permettre l'évolution en toute sécurité des aéronefs à la surface. Tous les paramètres seront déterminés selon les normes et recommandations de l'Organisation des l'Aviations Civiles Internationales(OACI).

### V.2.1 Code de référence de l'aérodrome

Le code de référence fournit une méthode simple permettant d'établir une relation entre les nombreuses spécifications relatives aux caractéristiques d'un aérodrome afin de définir une série d'installation adaptée à la circulation de tous les aéronefs qui seront appelés à utiliser cet aérodrome. Ce code comporte deux éléments liés aux caractéristiques de performances et aux dimensions de l'avion.

- Le premier élément du code est un chiffre correspondant à la distance de référence de l'avion dimensionnant.
- Le second élément du code est une lettre fondée sur les valeurs maximales des envergures et de la largeur hors-tous du train principal, selon la valeur qui donne la lettre de code la plus exigeante des avions auxquels l'installation est destinée.

Le *Tableau 4* présente les éléments du code retenus selon les caractéristiques de l'avion dimensionnant.

Tableau 4 :éléments du code retenus pour l'aérodrome

avion	Distance de référence donnée par le catalogue	Elément code 1 correspondant	envergure	Largeur hors tous des trains principaux	Elément code 2 correspondant
Boeing 737-700	1598 m	3	34 m	6,99 m	C

**Le code de référence retenu pour le Boeing 737-700 est un aérodrome de catégorie 3C**

Voir annexe (3) pour le tableau de détermination du code de référence des aérodromes.

### V.2.2 Implantation du seuil de la piste d'atterrissage et de décollage

Le seuil est normalement placé à l'extrémité de la piste si aucun obstacle ne fait saillie au-

<sup>1</sup> Manuelle de conception des aérodromes ; chapitre 3 : aire de manœuvre (décembre 1998)

dessus de la surface d'approche. Pour déterminer l'emplacement du seuil il faut tenir compte de la hauteur de pointe du repère (ILS) et la limite de franchissement d'obstacle.

Ainsi pour répondre à ces exigences, l'AOCI nous recommande de prendre en considération la présence d'obstacle mobile (véhicule route trains etc.) au moins dans la partie de l'air d'approche jusqu'à 1200 m du seuil dans le sens longitudinal et sur une largeur totale d'au moins 150 m. Toutes ces dispositions ont été prise avant le lancement officiel des travaux.

### V.2.3 Détermination des caractéristiques du profil en long et en travers de la piste

Après la détermination de la catégorie de l'aérodrome, c'est-à-dire son code de référence on peut en déduire à partir du standard établi dans le manuel de conception de l'aérodrome (doc 9157) de l'OACI les caractéristiques physiques principales des profils en long et en travers de la piste.

#### V.2.3.1 Pente longitudinale

La pente longitudinale est obtenue en divisant la différence entre le niveau maximal et minimal le long de l'axe de piste par la longueur de la piste. Cette pente ne dépassera pas 1 % pour une piste dont le code de référence est 3 ou 4. c'est le cas de notre aérodrome dont le chiffre du code est 3

#### V.2.3.2 Pente transversale

La pente transversale dont le rôle est d'assurer l'équilibre dynamique des aéronefs et l'assainissement rapide de la chaussée, il est recommandé une pente d'environ 1,5% et de forme bombée pour les aérodromes dont le chiffre du code est 3. La pente transversale doit être symétrique de part et d'autre de l'axe.

### V.2.4 Les accotements

Les accotements de la piste constituent une surface de transition entre la bande de piste sans revêtement et la piste pleinement résistante. Elles sont cependant spécialement traitées de manière à ce que soient évités les projections ou ingestion de corps étrangers par les groupes motopropulseurs, de supporter le poids d'un avion et des véhicule terrestre qui peuvent y circuler. Selon les recommandations de l'OACI une largeur minimale des accotements de 7,5m est exigée pour les aérodromes dont le chiffre du code est 3.

### V.2.5 Détermination de la longueur de la piste<sup>2</sup> (ITAC, 1998)

La longueur réelle ou longueur théorique de la piste correspond à la longueur minimale de décollage d'un avion pour sa masse maximale au décollage. Toute fois le manuel de conception des aérodromes nous recommande d'appliquer à cette longueur de base, les différents coefficients de correction appelés par l'emplacement de l'aérodrome et par ses contraintes topographiques. il s'agit :

- Le coefficient de correction d'altitude : il s'agit des corrections liées à l'altitude de l'aérodrome. Elle s'exprime par la relation

$$C_{ca} = 1 + 0,07 \frac{h}{300}$$

h correspondant à l'altitude de référence qui représente l'altitude du point le plus élevé de la piste. L'altitude déclarée au niveau de l'aérodrome de 211,68 m

$$\text{AN : } C_{ca} = 1 + 0,07 \frac{211,68}{300} = \mathbf{1.05 \text{ soit un } C_{CA} \text{ de } 1,05}$$

- Le coefficient de correction de température : il s'agit des corrections qui sont en relation avec la température moyenne ambiante de la localité bénéficiaire du projet. Elle s'exprime par la relation suivante

$$C_{cT} = \left(1 + \frac{nY}{100}\right)$$

$$\text{Avec } nY = T - t$$

T : la température de référence de l'aérodrome, représentant la température moyenne quotidienne du mois le plus chaud de l'année.

t : représente la température en atmosphère type à altitude de l'aérodrome, ayant pour valeur en degré Celsius  $t = 15^\circ\text{C} - 0.0065h$

D'où

$$C_{cT} = \left(1 + \frac{T - t}{100}\right) \Rightarrow C_{cT} = 1 + \frac{T - 15^\circ\text{C} + 0.0065h}{100}$$

$$\text{AN : } C_{cT} = 1 + \frac{37.16 - 15^\circ\text{C} + 0.0065 \cdot 211.68}{100} = 1.124 \text{ soit un } C_{cT} \text{ de } \mathbf{1.124}$$

---

<sup>2</sup> Manuelle de conception des aérodromes : aire de manœuvre chapitre 3

- Le coefficient de correction de la pente :il s'agit des corrections liées à la pente du terrain. Elle est exprimée par la relation :

$$C_{CP} = 1 + \frac{nZ}{100}$$

$$\text{Ave } nZ = 10 p$$

Et p la pente longitudinale qui est donnée en fonction du code de référence. Celle-ci est de 1.5%

**D'où**

$$C_{CP} = \left(1 + \frac{10 p}{100}\right)$$

$$\text{AN : } C_{CP} = \left(1 + \frac{10 \cdot 0.015}{100}\right) = 1.0015 \text{ soit un } C_{CP} \text{ de } \mathbf{1,0015}$$

La longueur corrigée de la piste est alors de :

$$\mathbf{L_{corr} = L_{rell} * C_{ca} * C_{ct} * C_{cp} \Rightarrow L_{corr} = 1598 * 1,05 * 1,124 * 1,0015 = 2077 \text{ m}}$$

Soit une longueur corrigée totale de la piste de 2Km100.

Les données de température de la région sont présentées à l'annexe (2)

#### V.2.6 Largeur de la piste

La largeur minimale de la piste est également fonction de la catégorie de l'aérodrome à concevoir. Le tableau permettant de déterminer la largeur minimale de la piste en fonction de la catégorie de l'aérodrome est présenté à l'annexe (3).

Le tableau 5 présente le récapitulatif des caractéristiques géométriques de la piste retenue.

Tableau 5 récapitulatifs des caractéristiques géométriques de la piste

Profil en long				Profil en travers		Longueur de piste totale de la piste
Pente longitudinale Moyenne	Pente longitudinale maximal pour une portion de piste	Changement des pente	Rayon de raccordement minimum	Pente transversale	Largeur minimal	
1%	1,50%	0,2% pour 30m	15 000 m	1,50%	30 m	2100 m

### V.3. GENERALITE ET DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE AERONAUTIQUE (STBA, 1983)

#### V.3.1 Généralités sur les chaussées aéronautiques

##### V.3.1.1 Définition d'une chaussée

Une chaussée peut être définie comme une surface aménagée sur un sol support ou sur un ouvrage, adaptée à la circulation des personnes, de tout type d'engin et des aéronefs à la surface durant une durée de vie projetée. Son objectif premier est d'assurer une meilleure visibilité au conducteur et cela pendant toutes les périodes de l'année en lui assurant le confort et la sécurité.

##### V.3.1.2 Structure d'une chaussée

La structure d'une chaussée se présente en général comme la superposition de plusieurs couches de matériaux offrant à la chaussée un comportement mécanique donné. La répartition structurale d'une chaussée se présente comme suit :

Le corps de la chaussée : qui constitue la partie la plus importante de la structure, comporte de haut en bas la superposition :

- de la couche de base
- de la couche de fondation
- d'une sous couche

La couche de surface : constitue la partie la plus sensible aux dégradations dues aux infiltrations et l'action des charges excédentaires. Composée de :

- La couche de roulement
- Et la couche de liaison

##### V.3.1.3 Les différents types de chaussée

Il existe deux grandes catégories de chaussée

- **Chaussées souples** : qui superposent au sol support plusieurs couches de matériaux offrant de meilleures qualités mécaniques sans pour autant être supposée davantage capable de travailler à la traction. Ces chaussées sont destinées à périr non par usure de leurs constituants mais par rupture de leurs sols support. Les chaussées souples sont recommandées pour les sols susceptibles au tassement.

- **Chaussées rigides** : qui repartissent les charges appliquées sur une surface très étendue du sol support au moyen d'une dalle de béton fléchissant élastiquement. Le type de chaussée rigide est Recommandé aux niveau des aires de stationnement car sont fréquemment soumise aux efforts tangentielle des pneus lors des virages et également aux attaques des kérosènes et hydrocarbures impactant le corps de la chaussée.

En général les chaussées rigides sont plus faciles à réaliser que les chaussées souples et présente beaucoup moins d'entretiens.

#### V.3.1.4 Choix du type de chaussée

Il est vrai que les chaussées rigides possèdent une bonne résistance au kérosène, cependant elles présentent des joints qui sont des zones à risque pour la circulation des aéronefs. De plus les couches de chaussées sont traitées aux liants hydrauliques dont le prix se fait grandissant de nos jours.

A cet effet nous optons pour le choix des chaussées souples car elles présentent une mise en œuvre beaucoup plus aisée ; les matériaux constituant le corps de chaussées sont également disponibles dans la localité bénéficiaire du projet, ainsi que les matériels de traitement.

#### V.3.2 Dimensionnement d'une chaussée souple

Le dimensionnement d'une chaussée souple consiste à déterminer l'épaisseur équivalente nécessaire des matériaux à mettre en place pour supporter le trafic attendu durant toute la durée de vie du projet.

L'objectif du dimensionnement d'une chaussée souple est de limiter les contraintes dans toutes les couches et sur le sol support. Ce dernier est considéré comme l'endroit le plus critique, les critères de dimensionnement sont les limites admissibles des contraintes verticales sur le sol support.

Elle s'articule autour de cinq points fondamentales :

- Prévision du trafic
- Détermination des caractéristiques du sol support
- Recensement des facteurs climatiques
- Détermination de l'épaisseur équivalente
- Choix d'une constitution de chaussée.

Les points qui suivront traiteront les étapes d'étude structurale du corps de la chaussée.

### V.3.2.1 Prévion du trafic

La prévion du trafic porte sur les charges réelles et le nombre de mouvements réels des différents avions envisagés pendant la durée de vie de la chaussée. Par ailleurs il faut noter que l'épaisseur de chaussée souple calculée est plus sensible aux variations des charges qu'aux nombre de mouvement.

### V.3.2.2 Caractéristiques du sol support

Les caractéristiques du sol support sont exprimées par sa portance dont l'évaluation dépend de l'indice portant californien CBR mesuré en laboratoire. Les matériaux de la plateforme qui ont permis de faire ces essaies sont issus des sondages effectués lors des études préliminaires. Le tableau (6) présente le programme des sondages qui ont été effectués sur le terrain.

Tableau 6 : sondages géotechniques réalisée pour l'identification des sols en place

Type d'ouvrages	Espacement des sondages	Profondeur des sondages
Piste et voie de circulation	100 m	Pour les aérodromes importants 3 m ;
Aires de stationnement	1 sondage tous les 500 m <sup>2</sup>	Pour les autres aérodromes 1 à 2m
Zones non revêtues	2 sondages tous les 1000 m <sup>2</sup>	1 à 2 m
La profondeur de sondage est mesurée :		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dans les zones en déblais par rapport à la ligne projet</li> <li>• Dans les zones en remblai par rapport à la ligne du terrain naturel</li> </ul>		

Dans le cadre de notre projet un indice CBR d'au moins 15 est exigé dans le cahier de charge au niveau de la plateforme. Cet indicateur sera par la suite utilisé afin de poursuivre sur les autres étapes du dimensionnement structural de la chaussée. Plusieurs essaies d'accompagnement ont également été effectuées sur le terrain à savoir l'essaie de déformabilité à la plaque afin de définir la profondeur de purge et la qualité des matériaux en place, et également de mesurer la déformabilité de la plateforme accueillant la structure de la chaussée. Les résultats des sondages sont présentés à l'annexe (16)

### V.3.2.3 Conditions climatiques

Le recensement des facteurs climatiques est une étape déterminante pour le dimensionnement des chaussées aéronautiques car ces derniers vont permettre de prendre en compte les prévisions météorologiques pour la limitation des impacts. Il s'agit de :

- La pluviométrie prévisible en période du chantier paramètre influant sur la variation de la teneur en eau du sol support, cette variation peut influencer sur le choix du CBR.
- L'étude de variation de la nappe phréatique en fonction de la saison indique la nécessité de prévoir ou non une couche drainante.

#### V.3.2.4 Epaisseur équivalente de la chaussée

A la différence des ouvrages routiers ou c'est la méthode CEBTP qui est la plus couramment utilisée, dans le cas des chaussées aéronautiques l'épaisseur équivalente de la chaussée est calculée selon deux méthodes distinctes :

- La méthode de dimensionnement optimisée : C'est un dimensionnement qui prend en compte tous les trafics d'avions qui sont susceptibles de créer un effet considérable sur la fatigue de la chaussée.
- La méthode de dimensionnement forfaitaire : c'est un dimensionnement qui prend en compte la charge pondérée uniquement appliquée à l'atterrisseur le plus contraignant de l'avion qui est nettement plus sollicitant que les autres avions qui seront appelés à utiliser cet aérodrome. Elle est également appliquée lors des études préliminaires en absence de prévisions fiables de trafic.

Pour ce qui est de la présente étude il sera question d'appliquer la méthode forfaitaire étant donné qu'il s'agit d'une étude d'aérodrome qui prend en compte un type avion considéré comme le plus contraignant.

##### *a.* Caractéristiques de l'avion utile pour le dimensionnement

#### **Masses des avions :**

La masse de l'avion est un facteur déterminant pour l'étude des chaussées aéronautiques mais leurs domaines d'interventions diffèrent d'une méthode de dimensionnement à l'autre :

- Dans le cas du dimensionnement forfaitaire : la masse réelle au décollage de l'avion
- Dans le cas du dimensionnement optimisé : les masses réelles au décollage et les masses réelles à l'atterrissage de l'ensemble des avions prévus

#### **Le type d'atterrisseur**

L'atterrisseur est constitué par l'ensemble des roues montées sur une jambe. L'ensemble des atterrisseurs d'un avion constitue le train d'atterrissage dont la fonction principale est de permettre l'évolution au sol des aéronefs.

Le train d'atterrissage des avions de transports commerciaux se compose généralement de

deux atterrisseurs à savoir les atterrisseurs principaux situés à l'arrière sur lesquelles reposent plus de 80% de la masse de l'avion et d'un atterrisseur secondaire situé à l'avant. Cette répartition est fonction du centre de gravité de l'avion et du type de train d'atterrissage. On distingue trois catégories de train d'atterrissage à savoir à roue simple, le jumelage et à boggie.

Pour un Boeing 737-700 il s'agit d'un jumelage dont la masse maximale admissible sur chaque atterrisseur principal est de l'ordre de 45,85% de la masse maximale de l'avion au décollage. Les différentes configurations des atterrisseurs sont présentées à l'annexe (12)

*b. Etapes d'application de la méthode forfaitaire :*

Le dimensionnement forfaitaire permet de calculer l'épaisseur équivalente d'une chaussée en fonction d'une charge normale de calcul  $P''$ . Cette charge de calcul est obtenue à partir de la charge réelle pondérée  $P'$  avec un nombre de mouvement journalier fixé par le concepteur.

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

- Soit la charge maximale sur l'atterrisseur principal le plus contraignant ;
- Soit la charge désirée par une catégorie d'atterrisseur.

Le dimensionnement forfaitaire suit dans l'ordre les étapes suivantes :

- Recueil des données sur les trafics, notamment la charge réelle  $P$  et le nombre de mouvements par jours pendant 10 ans.
- Pondération de la charge réelle selon la fonction de l'air considérée : détermination de la charge pondérée  $P'$  pour  $n$  mouvement par jour pendant 10 ans
- Conversion de la charge pondérée  $P'$  considérée à  $n$  mouvement par jour pendant 10 ans en une charge équivalente  $P''$  pour 10 mouvements par jour pendant 10 ans.
- Détermination de l'épaisseur équivalente en utilisant les abaques ou les formules de dimensionnements (méthode CBR).

Il peut arriver que l'une des étapes soit sautée surtout la troisième. Par exemple dans le cas où il s'agit de dimensionner une chaussée qui reçoit moins de 10 000 mouvements par an.

*c. Mise en application de la méthode : calcul des paramètres*

- Recueil des données : La charge réelle de calcul et le nombre de mouvement par jour.

La charge réelle  $P$  à considérer est la charge maximale sur l'atterrisseur principal le plus contraignant. Elle représente le pourcentage de la masse maximale au décollage de l'avion

repartie sur chaque atterrisseur.

Ainsi donc pour un Boeing 737-700 un pourcentage de 45,85% de la masse est considérée sur chaque atterrisseur principal.

Pour le choix du trafic étant donnée qu'on n'a pas d'information précise, nous proposons un nombre de 4 mouvements par jour soit 14 400 mouvements pendant 10 ans à savoir 2 décollages et deux atterrissages par jour.

Le Tableau 7 présente le récapitulatif des charges réelles à prendre en compte pour le dimensionnement forfaitaire.

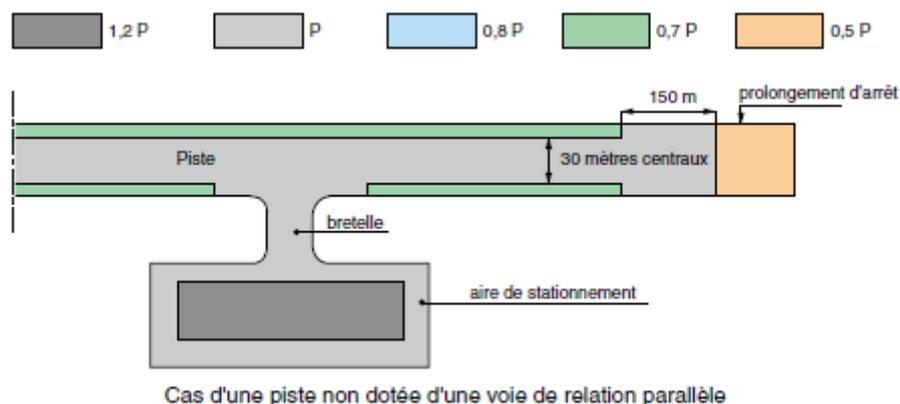
Tableau 7 :répartition des charges de l'avion sur les atterrisseurs

Charge max décollage (t)	% des charge sur un atterrisseur principale	Charge sur chaque atterrisseur principal(t)	Charge max par roue (t)	Pression de gonflement des roues Mpa	L'indice CBR du sol support	Nombre de mouvement par jour
70,080	45,85%	32,13168	16,06584	1,41	15	4 mvts/jr

- Coefficients de pondérations et charge réelle pondérée pour le dimensionnement de la piste :

Une chaussée aéronautique ne supporte pas seulement les avions mais reçoit également les gros engins de gestion et des charges d'engins militaires dont l'action est parfois plus critique que les avions ; c'est pourquoi le manuel de conception des aérodromes recommande d'affecter des coefficients de pondération à la charge réelle pour chaque aire considérée. La figure 4 présente la répartition des coefficients de pondérations sur les différentes aires de la chaussée.

Figure 4 :distribution des coefficients de pondérations sur les aires de l'aérodrome.



Les différents coefficients de pondérations sont résumés dans le Tableau 8

Tableau 8 : repartition des coefficients de pondération de la charge réelle en fonction de l'aire considérée

Aires d'influence	Coefficients de pondération
Piste et bretelle	1
Prolongement d'arrêt	0.5
Aire de stationnement	1.2

- ✚ Charge réelle pondérée : Il s'agit d'appliquer des coefficients de pondération à la charge réelle sur l'atterrisseur le plus contraignant selon la fonction de l'aire considérée. Elle se calcul par la formule suivante :

$$P' = \text{charge sur l'atterrisseur} * \text{coeff de pondération}$$

La charge sur l'atterrisseur quant à elle doit tenir compte de la fréquence de passage. Elle est donnée par la formule :

*Charge sur l'atterrisseur =*

*charge maximale sur roue \* nombre de roues \* coefficient de fréquence \* N*

Avec le coefficient de fréquence calculé par la formule :  $Cf = \frac{1}{1.08 - 0.18 \log n}$

N : le nombre de mouvements par jour

Et N : le nombre de roues sur chaque atterrisseur.

Le tableau 9 présente le récapitulatif des charges réelles pondérées et des paramètres de calculs

Tableau 9 charges réelles pondérées sur la piste de l'aérodrome

aire de l'aérodrome	Coefficient de fréquence	Charge maximale par roue(kg)	charge réelle atterrisseur P en (Kg)	coefficient de pondération	Charge réel pondérée P'(kg)
Piste	1,03	16065,84	33095	1	33095

- Calcul de la charge normale de calcul pour 10 mouvements par jour pendant 10 ans

Cette étape sera omise étant donné qu'on a moins de 10000 mouvements par ans. Donc dans

ce cas la charge pondérée représente la charge de calcul pour le dimensionnement de la chaussée.

- Calcul de l'épaisseur équivalente de la chaussée par la méthode CBR :

L'épaisseur équivalente est déterminée alors par la formule suivante :

$$E_e = \delta_{B737-700} * \sqrt{P' * \left( \frac{1}{0.57 * CBR} - \frac{1}{32 * q} \right)}$$

Avec  $\delta_{B737-700}$  comme coefficient de correction de pression de gonflage donné par la relation :

$$\delta_{B737-700} = \left( \left( \frac{\frac{1}{0.57 * CBR} - \frac{1}{32 * q}}{\frac{1}{0.57 * CBR} - \frac{1}{32 * q_0}} \right) \right)^{0.5} = 0,91$$

Le tableau (10) présente le récapitulatif des paramètres de calcul des épaisseurs équivalentes.

Tableau 10 :récapitulatif des parametres de calcul de l'épaisseur equivalente totale

charge pondérée atterrisseur (kg) : P'	Correction pression de gonflement $\delta$	CBR sol support	Pression de gonflement des pneus MPa
33095	0,91	15	1,41

Après avoir définie les paramètres de calcul nous retenons une épaisseur équivalente totale de 56 cm au niveau de la piste.

*d. Détermination de l'épaisseur équivalente par utilisation de l'abaque de dimensionnement*

Variables d'entrée :

- Charge de calcul sur les atterrisseurs principaux qui est fonction de la fréquence de passage qui est de 33,095 t
- Le CBR du sol support qui est de 15 comme exigé dans le cahier de charge.

L'épaisseur équivalente retenue par utilisation de l'abaque est alors de 45 cm

L'abaque utilisée pour la détermination de l'épaisseur équivalente est présentée à l'annexe (4)

**Conclusion partielle :** après la détermination des épaisseurs équivalentes par la méthode de calcul (CBR) et celle par utilisation de l'abaque, on remarque que pour un même indice CBR

du sol support, l'épaisseur calculée par la méthode CBR est plus élevée que l'épaisseur obtenue par utilisation de l'abaque. Mais que les deux variantes sont suffisantes pour répondre aux exigences du trafic attendu pour une même fréquence de passage journalière. De ce fait nous retenons donc l'épaisseur équivalente maximale calculée par la méthode CBR pour des questions de sécurité.

#### V.3.2.5 Choix d'une Constitution de la chaussée

Une chaussée souple comprend généralement trois couches de qualité croissante de bas en haut comme l'indique le tableau 11

Tableau 11 :structure d'une chaussée souple

Couche	Fonction
La couche de surface	Assure un rôle fonctionnel (étanchéité, bonne rugosité) et un rôle structurel.
La couche de base	<ul style="list-style-type: none"> <li>- assure essentiellement un rôle structurel en diffusant et diminuant les contraintes sur la couche de fondation et le sol support</li> <li>- Participe à la répartition des contraintes sur le sol support</li> </ul>
La couche de fondation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assure un support à la couche de base et en particulier permet le bon compactage de cette dernière</li> <li>- Participe à la répartition des contraintes sur le sol support</li> </ul>

La notion d'épaisseur équivalente est introduite pour tenir compte des qualités mécaniques des différentes des couches. Ainsi donc l'épaisseur équivalente d'une couche est égale à son épaisseur réelle multipliée par un coefficient numérique (Ce)appelé coefficient d'équivalence.

Et donc Le choix final des structures se fait en fixant les épaisseurs des différentes couches de matériaux, de façon à vérifier la condition suivante :

$$\sum (e_i * c_i) \geq E_e$$

Où  $e_i$  : épaisseur de la couche ;  $C_i$  : coefficient d'équivalence du matériau correspondant.

Le tableau des différents coefficients d'équivalence pour les différentes catégories de matériaux est présenté à l'annexe (4).

Après plusieurs itérations des différentes épaisseurs de couche, nous proposons la structure suivante comme présente de haut en bas dans le tableau 12 :

Tableau 12 :structure de chaussée à mettre en place

option 1						
couches	matériaux	Epaisseur choisie	Ce	Epaisseur corrigée	Epaisseur équivalente	Epaisseur calculée
Roulement	BBA	7	2	14	56	57,45
Base	GNT	20	1	20		
fondation	GLNT	35	0,67	23,45		

Les différentes itérations pour le choix de la structure à mettre en place sont présentée à l'annexe (4). La figure (5) présente le mode de répartition de la charge d'une roue sur les chaussées souples.

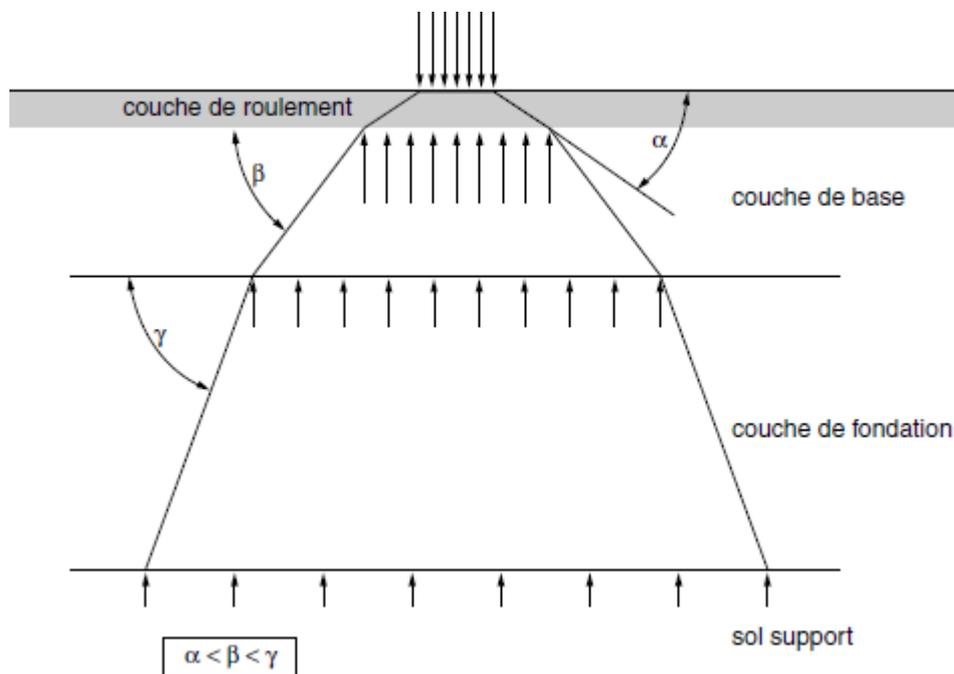


Figure 5 :répartition de la charge d'une roue d'atterrissage sur les différentes couche de matériaux constituant une chaussée souple

#### V.4. ASSAINISSEMENT DE LA CHAUSSEE AERONAUTIQUE

La chaussée aéronautique est un ouvrage linéaire qui s'implante sur un relief qu'elle modifie par ses remblais ou déblais et qui perturbe donc l'écoulement naturelle d'une cour d'eau. La modification des écoulements peut engendrer une submersion de la chaussée et des accotements. Une telle anomalie à des conséquences dommageables sur les différentes parties à savoir :

- La dégradation des chaussées dû aux infiltrations et l'érosion des talus ;
- Ravinement et stagnation d'eaux sur les bandes aménagées et les plates-formes autour des aides radioélectriques ;
- La stagnation des eaux sur la couche de roulement qui peut être source de dérapage des avions ;
- La pollution due aux rejets direct des eaux dans le milieu naturel, non conformes aux dispositions de protection de l'environnement.

L'assainissement de la chaussée consisterait à l'analyse des étapes suivantes :

**Etude hydrologique** : pour l'évaluation de la fréquence des crues.

**Etude hydraulique** : elle a pour but d'apporter un dimensionnement hydraulique des ouvrages.

**Dimensionnement structurel** : essentiellement pour la détermination des ferrillages à mettre en place pour la tenue de l'ouvrage.

##### V.4.1 Etude hydrologique

Cette étude a pour but d'évaluer la fréquence des crues à partir des méthodes d'ajustement statistiques et ensuite de déterminer les débits à recueillir à l'exutoire du bassin versant.

V.4.1.1 Délimitation des bassins versants et détermination des caractéristiques physiques du bassin.

a. Délimitation des bassins versants :

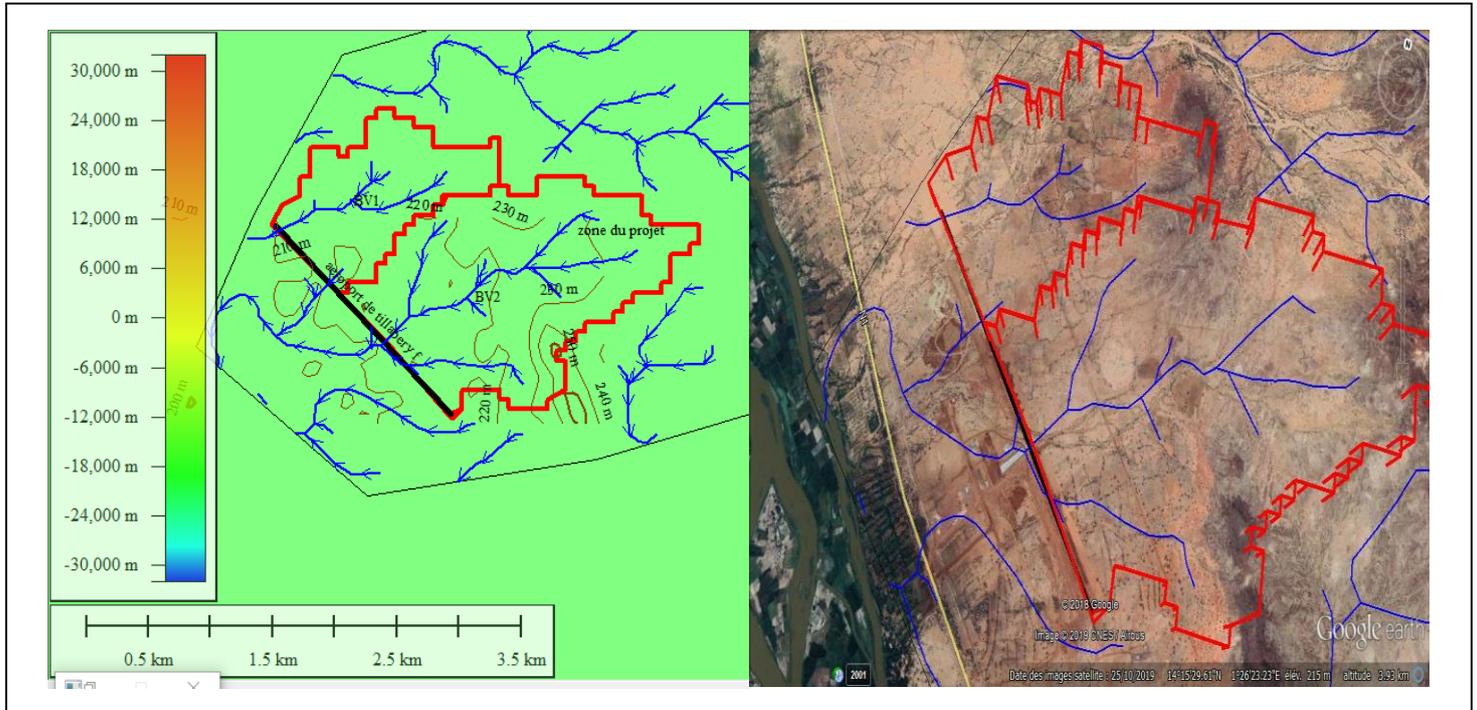
Le bassin versant est un espace topographique drainé par un cours d'eau et ses affluents. L'ensemble des eaux qui tombent dans cet espace convergent vers un même point de sortie communément appelé exutoire. Il peut s'agir notamment d'un cours d'eaux, d'un lac, d'une mare, d'un fleuve, etc..

Il a été utilisé les outils SIG que sont Google earth et Global mapper, couplés à autocard pour

la délimitation des bassins versants et la détermination des caractéristiques physiques de ces derniers.

La figure (6) présente le découpage du bassin versant de la région qui transite sur le projet

Figure 6 :délimitation des bassins versants



b. Caractéristiques physiques des paramètres physiques du bassin versant :

Les caractéristiques physiques du bassin versant désignent un ensemble de caractéristiques physiographiques, obtenus à partir des données cartographiques. Ces derniers sont indispensables pour l'estimations des débits de crue selon la méthode utilisée.

Les paramètres physiques des bassin versants sont présentés dans le tableau (13) :

La longueur de l'écoulement représente la distance la plus éloignée de l'écoulement par rapport à l'exutoire.

Tableau 13 :caractéristiques physiques des bassins versants

Bassins versants	Superficie(km <sup>2</sup> )	périmètre	Zmax	Zmin	pente moyenne %	Longueur de l'écoulement(km)
BV1	2,5	8,15	254	208	2,64	1,33
BV2	10,70	17,12	270	209	3,2	5,78

#### V.4.1.2 Etude de la pluviométrie :

La pluviométrie c'est le facteur primordial de genèses des crues sur les bassins versants. Elle devra porter non seulement sur la distribution moyenne dans le temps et dans l'espace, mais également sur la distribution statistique fréquentielle pour la détermination des crues correspondante. Cette étude se rapporte sur le bassin versant général. Les données hydrométriques qui ont servi de base pour cette étude sont celles de la station de la ville de Tillabéri. Les données disponibles recueillies sont :

- La série des pluies journalières maximales sur une période de trente-deux ans (32 ans) à partir de l'année pluviométrique 1987 (de 1987 à 2017).
- Les pluies annuelles de la région de la même période que les plus maximales.

L'annexe (1) présente les données pluviométriques journalière maximale et les précipitations annuelles de la région des années 1987 à 2017

##### a. Détermination des caractéristiques de la pluviométrie

Un échantillon de N valeurs de pluies  $X_i$  se caractérisent d'une part par ses valeurs centrales comme la moyenne  $\bar{X}$  ; Et d'autre part par des paramètres de dispersion à savoir l'écart type et le moment centrale d'ordre 3 ou coefficient de variation. Les différentes caractéristiques sont présentées dans le tableau 15:

Tableau 14 : caractéristiques des données pluviométriques

Pluie Moyenne (mm)	53,64
Ecart type	16,1
Coefficient de variation	0,3002

##### b. Analyse fréquentielle

L'analyse fréquentielle est une méthode statistique de production des événements passés et les caractéristiques d'une processus donnée (hydrologie ou autre), afin d'en définir les probabilités d'apparition future.

L'analyse et l'ajustement statistique des données pluviométriques de notre zone de projet seront effectués afin de déterminer les valeurs des pluies journalières à différentes périodes de retour. L'examen de ces données vont nous permettre de déterminer la pluie du projet à prendre en compte sur le bassin versant générale de la région.

Pour ce faire les principales lois ou méthodes les plus communément appliquées sont les

suivantes :

LOI de GIBRAT-GALTON, LOI de GOODRICH, LOI DE GUMBEL, LOI DE PEARSON, LOI DE FRECHET

Pour notre cas de figure il sera question d'appliquer la méthode de GUMBEL appelée doublement exponentielle ou loi de valeurs extrêmes étant donnée qu'il s'agit de la répartition fréquentielle des hauteurs de pluies journalières maximales. Cette méthode n'utilise que la fréquence expérimentale au non dépassement. Le tableau (15) présent l'expression de la variable réduite de GUMBEL et leurs paramètres d'ajustements  $a$  et  $x_0$ :

Tableau 15 paramètres et l'expression de la variable réduite de Gumbel

**Expression de la loi**

**paramètres d'ajustement de la loi**

- La variable réduite de GUMBEL est donnée par la relation suivante :

$$F(x) = e^{-e^{-u}} \text{ Avec } u = a(x - x_0)$$

Où  $F(x)$  est la fonction de non dépassement

$$1/a = 0.78\sigma \text{ (}\sigma \text{ l'écart type)}$$

$$x_0 = x - \frac{0.577}{a} \text{ (x représente la pluie moyenne)}$$

Les paramètres vont permettre la détermination des intervalles de confiance qui sont définis par la relation suivante :

$$IC_{xp} = x_p \pm U_{\frac{1-\alpha}{2}} \frac{S}{\sqrt{N-1}} \sqrt{1 + 1.4K + 1.1K^2}$$

$$\text{Où } K = 0.780(U_p - 0.577) ; x_p = \frac{u}{a} + x_0$$

- Les fréquences expérimentales au non dépassement des données pluviométriques sont calculées par la formule de HAZEN ET Ug de GUMBEL. Selon la formule suivante :

$$F(x) = \frac{r - 0.5}{n}$$

$$u = -\ln[-\ln F(x)]$$

Avec  $F(x)$  la fréquence au non dépassement ;

$r$  : le rang de la variable

$n$  : le nombre total d'observations

- Application de la loi de GUMBEL

Par l'application de la loi de GUMBEL, nous choisissons un seuil de confiance  $\alpha$  de 95% ; cela va nous permettre d'avoir une distribution statistique de la pluviométrie par rapport à cet

intervalle de confiance en différentes périodes de retour. Soit  $X_{min}$  et  $X_{max}$  les bornes supérieures et inférieures de l'intervalle de confiance donnée par les formules suivantes :

$$X_{min} = X_p - \beta * \sqrt{1 + 1.4k + 1.1 k^2}$$

$$X_{max} = X_p + \beta * \sqrt{1 + 1.4k + 1.1 k^2}$$

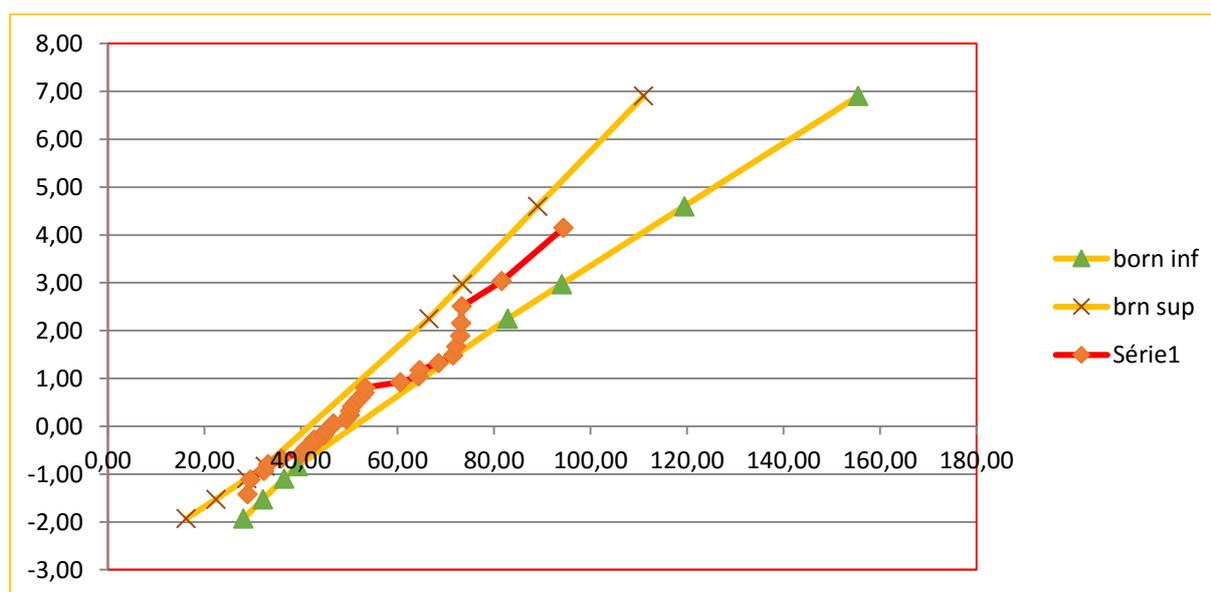
Le tableau 16 donne un résumé de l'analyse fréquentielle réalisée à différentes périodes de retour.

Tableau 16 :présentation de l'analyse fréquentielle par application de la loi de GUMBEL

Temps(année)	FX	Up	Xp	k	Borne supérieure	Borne inférieure
1000	0,001	-1,93	22,12	-1,96	28,08	16,2
	0,01	-1,53	27,21	-1,64	32,1	22,36
100	0,05	-1,1	32,61	-1,31	36,49	28,77
	0,1	-0,83	35,92	-1,1	39,29	32,57
20	0,9	2,25	74,66	1,31	82,88	66,51
	0,95	2,97	83,71	1,87	94,04	73,44
10	0,99	4,6	79,1	3,14	119,44	89,03
	0,999	6,91	133,16	4,94	155,49	111

Le graphique 1 donne une distribution de la pluviométrie par rapport aux bornes supérieures et inférieures de l'intervalle de confiance.

graphique 1 :distribution de la pluviométrie par ajustement de la loi de GUMBEL



### Interprétation du graphique :

Toutes la pluviométrie représenter se trouve entre la borne supérieure et inférieure. Cependant

dans un intervalle de confiance à 95 %, on a 95 % de chances de trouver la vraie valeur du paramètre estimé, mais il reste 5% de chances de trouver cette valeur en dehors de l'intervalle de confiance, soit 2.5% pour qu'elle soit inférieure à la marge inférieur ou supérieur de cet intervalle.

Dans notre cas de figure seuls les temps de retour de 10 et 100 ans nous intéressent. Comme présente le tableau (17)

Tableau 17 :calcul des pluies décennales et centennales par ajustement de Gumbel

Temps de retour	fréquence au non dépassement	Up	Xp
10	0,9	2,25037	79,10
100	0,99	4,60015	104,179373

Nous avons retenu pour un temps de retour de 10 une pluviométrie moyenne  $P_{10}$  de **79,10 mm**

#### V.4.1.3 Calcul des débits décennaux

La plupart des projet d'aménagements hydraulique nécessitent la définition d'une crue dite crue du projet. Pour déterminer les pluies décennales il est impératif de connaitre la nature de zone à savoir sa localisation cartographique, les composantes sur la nature du sol. Ce pendant Le calcul tient compte de plusieurs facteurs tel que : le climatologiques, topographie, pédologie, morphologie, couverture végétale, occupation des sols etc....

Plusieurs méthodes permettent de détermination des débits de crue décennal, dont entre autres la méthode rationnelle, ORSTOM, CIEH, méthode de CAQUOT etc...

Dans le cadre de cette étude nous allons appliquer la méthode rationnelle, CIEH et ORSTOM compte tenue de l'état physique des bassins.

##### a. Méthode rationnelle :

La méthode rationnelle est applicable à des petits bassins versants dont la superficie est inférieure à 400 hectare. Le débit décennal d'écoulement par la méthode rationnelle est calculé par la formule :

$$Q = 0.278 CIA$$

C : coefficient de ruissellement

I : intensité de la pluie mm/h

A : superficie du bassin en km<sup>2</sup>

Le tableau 18 présente les paramètres de calcul du débit de crue par la méthode rationnelle

Tableau 18 :paramètres de calcul du débit de crue décennale par la méthode rationnelle

Paramètre de calcul	Formule et paramètre de calcul
Temps de concentration :	$t_c = \frac{1}{52} * \frac{L^{1,15}}{H^{0,38}}$ : Kirpich
Intensité de l'averse	$I = a * Tc^{-b}$
Coefficient de Montana(a)	7.5
Coefficient de Montana(b)	0.5

Le temps de concentration représente le temps mis par la goutte d'eau la plus éloignée pour arriver à l'exutoire

IC représente l'intensité de pluie pendant un temps de concentration Tc.

**b. Méthode CIEH (C. PUECH et D. CHABI GONNI, 1984 ; actualisation 1996)**  
(2)

La méthode CIEH est une méthode utilisée depuis plusieurs années dans les zone tropicales et sahélienne pour le calcul de la pluie décennale. Elle est mise au point sur 162 bassins versants dont la superficie est inférieure à 2500 km<sup>2</sup>.la formule ci-après permet de calculer le débit décennal par la méthode CIEH.

**$Q_{10} = aS^s P_{an}^p I_g^i K_{r10}^k D_d^d \dots$**

Où : a, s, p, i, k, d... sont des coefficients à déterminer et,  
 Q<sub>10</sub> : le débit de crue décennale (m<sup>3</sup>/s) ;  
 S : superficie du bassin (km<sup>2</sup>) ;  
 I<sub>g</sub> : indice global de pente (m/km) ;  
 P<sub>an</sub> : pluie annuelle moyenne (mm) ;  
 K<sub>r10</sub> : coefficient de ruissellement décennal (%) ;  
 D<sub>d</sub> : densité de drainage (km<sup>-1</sup>)

La zone étant localisé au Niger deux formules s'appliquant à cette zone ont été retenues.

(12)  $Q_{10} = 0.095 \times S^{0.643} \times I_g^{0.406} \times K_{r10}^{1.038}$  (Formulation pour Pan < 1000mm)

(42)  $Q_{10} = 0.0912 \times S^{0.643} \times I_g^{0.399} \times K_{r10}^{1.019}$  (formulation pour le Niger, Burkina Faso, Mali.)

Les tableaux utiles pour le choix des équations de calcul du débit décennal son présenté dans l'annexe (5)

Le tableau 19 présente les paramètres et formules appliquées pour le calcul du débit décennal

Tableau 19 :paramètres de calcul du débit de pointe décennale par la méthode CIEH

<b>Paramètres</b>	<b>formule</b>
<i>Indice global de pente Ig</i>	$I_g = \frac{H5\% - H95\%}{Lrequ}$
<i>Longueur du rectangle équivalent</i>	$L = S^{\frac{1}{2}} \left( \frac{I_{comp}}{1,128} \right) * \left[ 1 + \left( 1 - \left( \frac{1,128}{I_{comp}} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right]$
<i>Pluie décennale moyenne P<sub>m10</sub></i>	$P_{m10} = A * P10$
<i>Pluie décennale P10</i>	79,10 mm
<i>Coefficient d'abattement A</i>	$A = 1 - \frac{(9 \log_{10} T - 0.042 P_{an} + 152) \log_{10} S}{1000}$
<i>Temps de retour (T)</i>	10 ans
<i>Coefficient de ruissellement Kr10</i>	$K_r 10 = K_r 70 + \frac{(P10 - 70) * (K_r 100 - K_r 70)}{100 - 70}$

Les abaques utilisés pour la détermination de Kr70 et Kr100 en fonction de l'indice globale de pente et de l'infiltrabilité du sol en zone sahélienne sont présentés dans l'annexe (6)<sup>3</sup>

La classe d'infiltrabilité I a été retenu compte tenue de la nature du sol en place.

**c. Méthode ORSTOM (RODIER, 1996)**

La méthode actualisée et révisée, publiée en 1996, s'applique aux bassins versants situés entre les isohyètes annuelles 150-200 et 1 200 mm, ayant des superficies comprises entre 0,2 ou 1-2 km<sup>2</sup> à 1 500 ou 2 000 km<sup>2</sup>.

$$Q_{\max, 10} = m \times A \times \alpha \times P_{10} \times K_{r10} \times S/T_b$$

Avec :

$Q_{\max 10}$  : Le débit maximum décennal en  $m^3 /s$ ,

$m$  : Le coefficient de majoration d'écoulement prenant en compte le débit d'écoulement retardé estimé entre 1,03 et 1,15 au regard de la perméabilité des bassins ; ce coefficient prend en compte l'état d'humectation du sol, antérieurement à la survenue de la crue de projet,

$A$  : Le coefficient d'abattement,

$\alpha$  : Le coefficient de pointe qui est de 2,6 quel qu'en soit la superficie du BV ,

$P_{10}$  : La précipitation décennale ponctuelle journalière,

$K_{r10}$  : Le coefficient de ruissellement décennal,

$S$  : La superficie du bassin versant en  $km^2$ ,

$T_b$  : Le temps de base en secondes.

Après avoir définie toutes les méthodes utilisée pour les études hydrologiques, le tableau 20 présente les caractéristiques des bassins versants utiles pour les dimensionnements.

Tableau 20 caractéristiques des bassins versants intervenants dans le calcul des débit décennal par application des différentes formules

AERODROME		S(km <sup>2</sup> )	P (km)	Z min (m)	Zmax (m)	Lt (km)	Lreq (km)	I <sub>g</sub> (/km)	P10 (mm)	Pm10 (mm)	A	Kr10 (%)	Tb10 (mn)	Tc mn	a (coef montana)	b (coef montana)	C (coef de ruissellement)
N	Ouvrage Existant																
BV1	Passage d'eau	2,5	8,15	204	263	1,33	3,32	17,75	79,1	74,35	0,94	26	180,55	17,56	7,5	0,5	0,7
BV2	Passage d'eau	10,7	17,12	204	289	5,78	7,04	12,07	79,1	67,23	0,85	30	344,54	-	7,5	0,5	0,7

Tableau 21 Resultat des calculs hydrologiques des bassins versants

AERODROME		S(km <sup>2</sup> )	CIEH			ORSTOM	RATIONELLE	DEBIT PROJET RETENU
N	Ouvrage Existant		(12) $Q1=0,095S^{0,643}I_g^{0,406}Kr_{10}^{1,038}$	(42) $Q1=0,0912S^{0,643}I_g^{0,399}Kr_{10}^{1,019}$	Q10 CIEH	$Q_{max10} = m^* A * \alpha * P10 * Kr10 * S / Tb$	$Q10=0,278CIA$	Q10
BV1	Passage d'eau	2,5	15,23	13,40	14,31	12,1	52,24	52,24
BV2	Passage d'eau	10,7	45,01	39,48	42,24	28,31		35,27

**Le débit de projet retenu prend en compte le cas le plus défavorable en considérant le débit le plus élevé**

## V.4.2 Etude hydraulique

L'étude hydraulique a pour but d'apporter un dimensionnement hydraulique des ouvrages en déterminant les dimensions des sections hydrauliques connaissant le débit provenant du bassins versants.

### V.4.2.1 Choix des ouvrages transversaux

Il n'existe aucune méthode précise pour le choix des ouvrages hydraulique. Mais s'agissant d'une piste aéronautique qui est d'autant plus sensibles car ne doit pas présenter d'irrégularités qui peuvent affecter la structure de l'avion, Le choix des ouvrages doit se baser sur plusieurs critères à savoir :

- L'insertion dans le profil en long ;
- Le cout de réalisation
- La durabilité et la de résistance de l'ouvrage ;
- L'impact sur l'environnement qu'engendre la construction de l'ouvrage ;
- L'estimation du débit à évacuer.

Partant de ces critères tous les ouvrages transversaux à mettre en place sont de type dalot.

### V.4.2.2 Présentation de l'ouvrage

Le dalot est un ouvrage hydraulique en béton armée permettant l'évacuation d'un débit de crue provenant d'un bassin versant situé à l'amont. Ils sont plus adapter pour les débits dépassants  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dans le cadre de notre projet tenant compte des sollicitations excessives des aéronefs lors du passage de ces derniers, nous allons mettre en place des dalots cadres.

### V.4.2.3 Détermination des sections de l'ouvrage (TUU, Janvier 1979)

Pour le calcul des ouvertures hydrauliques nous allons suivre la méthode du manuel **hydraulique routière de la BCEOM<sup>4</sup>**

En effet afin de déterminer les dimensions des ouvertures, il convient de connaitre les conditions dans lesquelles ils vont fonctionner et les diverses formes que peut prendre l'écoulement à travers ces ouvrages. On distingue 2 types de fonctionnement pour un petit ouvrage hydraulique.

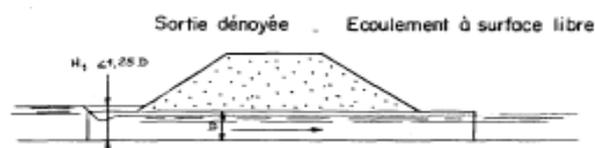
---

<sup>4</sup> Hydraulique routière BCEOM édité par le Nguynen VAV TUU .

- La sortie noyée : c'est-à-dire que le niveau de l'eau à l'exutoire immédiat de l'ouvrage dépasse le bord supérieur de l'ouvrage. C'est le cas des ouvrages situés en zone inondable
- La sortie aval libre : c'est-à-dire que la partie supérieure de l'ouvrage est au-dessus du niveau de l'eau à l'exutoire immédiat. Ce type de fonctionnement dépend à son tour du niveau amont qui peut être soit un écoulement à surface libre ou soit un écoulement en charge.

Ainsi nous allons supposer que nos ouvrages vont fonctionner en sortie dénoyée avec un écoulement à surface libre. Le débit à évacuer étant connu, les conditions pour ce type d'écoulement est que **la hauteur en amont H1 doit être inférieure ou égale à 1,25 multiplié par la hauteur (D) de l'ouvrage ( $H_1/D < 1,25$ )**. La figure (7) mode de fonction dénoyée.

Figure 7 : mode d'écoulement en sortie dénoyée à surface libre



### Étapes à suivre :

Connaissant le débit provenant du bassin versant, la détermination de la section d'ouverture passe par deux modes de vérification à savoir :

- Vérification de la hauteur amont de H1 de l'écoulement selon le mode de fonctionnement de l'ouvrage
- Vérification de la condition de vitesse : la vitesse d'écoulement de l'ouvrage ne doit pas dépasser la vitesse normale qui est de 3,5 m/s

Les étapes de vérification sont présentées plus en détail à l'annexe (8)

Après application des principes de calcul et les vérifications ci-dessus, les dimensions retenues sont résumées dans le tableau (22) :

Tableau 22 : ouvertures hydraulique et dimensions retenue pour un mode de fonctionnement en sortie dénoyée

Dalot	Nombre d'ouverture	largeur d'ouverture B	hauteur d'ouverture D	Pk
OH1	3	3	1,5	1+825
OH(1-2)	2	3	2	1+050
OH2	4	3	1,5	0+800

### V.4.3 Dimensionnement structurel des ouvrages transversale type dalot :

Après la détermination de la géométrie de l'ouvrage et l'évaluation des charges permanentes et d'exploitation appliquées, nous avons évalué les sollicitations de calcul et enfin déterminé les sections d'armatures nécessaires pour la résistance mécanique de l'ouvrage. L'ouvrage hydraulique OH1 sera dimensionné par un calcul manuel tandis que les deux autres ouvrages OH1-2 et OH2 seront dimensionnés avec le logiciel Robot.

#### V.4.3.1 Dimensionnement structurel de l'ouvrage OH1

##### **Inventaire de contrainte :**

- L'obstacle à franchir est un cour d'eau saisonnier dont la brèche est entre 15 à 20m de largeur
- La cote chaussée aéronautique au niveau de la ligne rouge est placée à 3,65 m par rapport au font de la brèche.

##### **Documents de références :**

Les charges retenues pour le dimensionnement de l'ouvrage sont celles définies par le fascicule 61 titre II du CCTG, et les charges de l'avion dimensionnant comme charge d'exploitation.

##### **Données de l'étude :**

- Masse maximale au décollage de l'avion : 70080 kg
- Pourcentage centrage arrière : 45,85%
- Charge maximal à vide opérationnel : 37500 Kg
- Masse maximale roulage : 70500 kg
- Type d'atterrisseur : jumelage de deux roues
- Nombre de mouvements par jours : 4 mouvements par jour
- Pression de gonflement des pneumatiques : 1,41 Mpa

##### **Détermination de la géométrie des ouvrages types dalot :**

Les formules employées pour la détermination de la géométrie de l'ouvrage sont les suivantes :

Soit  $e_r$  et  $e_p$  les épaisseurs respectives du radier et des piédroits.

- $e_r = \frac{B}{18} + 0,125$
- $e_p = e_r - 0,05$

Pour une valeur de B qui est égale à 3 m on dispose d'une épaisseur minimale de 30 cm pour chaque partie de l'ouvrage. Donc par la suite nous avons retenu une épaisseur de 60 cm pour

éviter les aciers comprimés.

#### V.4.3.2 Hypothèses de calculs

##### Caractéristiques des matériaux :

Tableau 23 :caractéristiques des matériaux

<b>BETON</b>	
<b>Dosage :</b>	$350 \text{ kg/m}^3$
<b>Résistance en compression :</b>	$f_{c28} = 30 \text{ Mpa}$
<b>Résistance en traction :</b>	$f_{t28} = 0,6 + 0.06f_{c28} = 2,4$
<b>Densité du béton</b>	$25 \text{ kg/m}^3$
<b>Contrainte admissible du béton en compression à l'ELU</b>	$\sigma_{bc} = \frac{0,85 * f_{c28}}{1,5} = \frac{0,85 * 30}{1,5} = 17 \text{ MPa}$
<b>Contrainte admissible du béton en compression à L'ELS :</b>	$\bar{\sigma}_{bc} = 0,6 * f_{c28} = 0,6 * 30 = 18 \text{ Mpa}$
<b><u>Acier</u></b>	
<b>Nuance</b>	Acier a Haute Adhérence (HA) FeE500
<b>Fissuration préjudiciable :</b>	$\bar{\sigma}_s = \min \left\{ \frac{2}{3} fe; \max(0,5fe; 110\sqrt{nf_t28}) \right\}$ $= 250$
<b><u>Remblais</u></b>	
<b>Remblai d'accès en graveleux latéritique</b>	Remblais : Latérite – densité 20 KN/m3 et le
<b>Remblai sur dalot en graveleux latéritique</b>	$\gamma_d = 20 \text{ kg/m}^3$ et épaisseur 80 cm
<b>Coefficient de poussée des terres</b>	Ka=0.333

### V.4.3.3 Evaluation des charges permanentes et d'exploitations :

#### a. Charges permanentes :

Dans la détermination des charges permanentes, tous les éléments sollicitant permanentement l'ouvrage sont à prendre en compte. il s'agit de(du) :

- Poids propre du tablier, du radier, des piédroits
- Réaction du sol due aux charges qu'elle reçoit
- Charge due au remblai s'appliquant sur les piédroits
- Poids propre du revêtement (enrobés) :  $G_{bb}=1.68 \text{ KN/m}^2$
- Poids propre du dispositif d'étanchéité :  $0.72 \text{ KN/m}^2$
- Poids propre du remblai sur le tablier (Hauteur 0.8m) :  $16 \text{ KN/m}^2$
- Poids des terres sur les piédroits :  $16.5 \text{ KN/m}^2$

Après le récapitulatif des charges qui sollicitent permanentement l'ouvrage, les résultats des charges permanentes retenues sont consignés dans le tableau (24)

Tableau 24 :récapitulatif des charges permanentes de l'ouvrage

<b>Charge permanente tablier</b>	<b>Charge permanente radier</b>	<b>Piédroit (h=0,6m)</b>	<b>Piédroit (h=1,5+0,6m)</b>
32,92 KN/ml	55,81 KN/ml	3,996 KN/ml	13,98 KN/ml

#### b. Charges d'exploitations

Il n'y a pas d'essieu de référence pour l'évaluation des charges d'exploitations dans le cas des chaussées aéronautiques, toute fois la charge dimensionnant est la masse maximale de l'avion au décollage répartie sur les atterrisseurs principaux (centrage arrière). Pour ce qui est du Boeing 737-700 un chargement de 45,85 % de la masse maximale au décollage est attribuée sur chaque jambe ou atterrisseur principale. Ainsi donc la charge dimensionnant de l'ouvrage se calcule en tenant compte de la fréquence de passage journalière :

- Charge dimensionnant :

Charge dimensionnant = Masse au décollage \* % charge sur une jambe d'atterrisseur \* Coefficient de trafic

Le coefficient de fréquence est donné par l'expression :

$$c_f = \frac{1}{1-0,2\log(n)}$$

Avec  $n$  : le nombre de mouvements par jour. On considère 4 mouvements par jour soit 2 atterrissages et deux décollages.

$$AN : c_f = \frac{1}{1-0,2\log(4)} = 1,03$$

On a donc une **charge dimensionnant**  $P = 70080 * 45,85\% * 1,03 = 33095 \text{ kg}$

**Charge dimensionnant = 33095 kg soit 33,095 T**

- Illustration de la diffusion de charge des atterrisseurs :

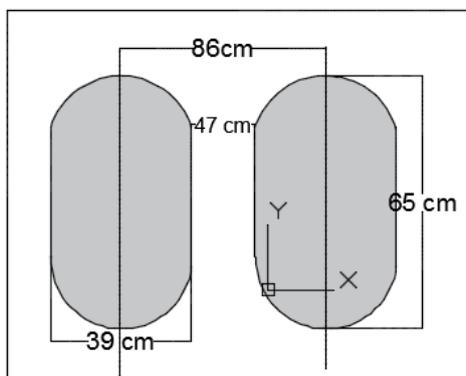
Compte tenu de l'empattement de l'avion qui est supérieur à la largeur totale de l'ouvrage on ne peut pas disposer l'ensemble du train d'atterrissages sur la dalle de l'ouvrage. Cependant les cas les plus défavorable qui se présentent sont le cas où les deux atterrisseurs de l'avion se retrouvent sur l'une des deux travées de rive et le cas où ils se retrouvent sur la travée centrale. Cette hypothèse est valable pour le calcul des sollicitations sur la dalle de l'ouvrage.

- Calcul de la surface d'impact après diffusion :

La surface à considérer sera la surface occupée entre les deux atterrisseurs principaux de l'avion y compris les dimensions des roues. Cette démarche nécessite la détermination des épaisseurs des roues centrage arrière.

- ✚ L'empattement de l'avion qui représente la largeur d'axe en axe entre les atterrisseurs arrières et atterrisseurs avant pour un Boeing 737-700 est de 12,60 m.
- ✚ La largeur hors tous des trains principaux représente la largeur entre les roues extérieures de arrières de l'avion est de 6,99

Figure 8 : dimensions des roues atterrisseurs d'un Boeing 737



Les procédures de calcul pour la détermination des épaisseurs des roues sont présentées à l'annexe. (10)

Après avoir déterminé les dimensions des roues, la surface d'impact sur l'ouvrage se calcule par la formule suivante :

Surface d'impact des roues sur l'ouvrage = largeur hors tous des trains principaux \* la plus grande dimension de la roue (b)

Les résultats sont consignés dans le tableau ci-après :

Lr hors tout train (m)	b(m)	Surface d'impact m <sup>2</sup>
6,99	0,65	4,54

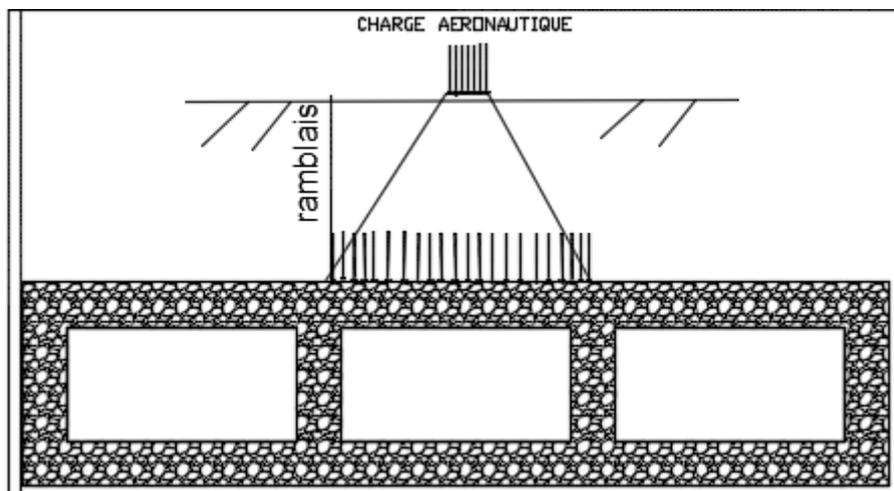


Figure 9 : illustration du mode de répartition des charges sur l'ouvrage : cas du chargement sur la travée centrale

- Calcul de la charge répartie sur la dalle au passage des atterrisseurs par travée

La charge répartie =  $\frac{\text{Nombre d'atterrisseur} \times \text{charge d'un atterrisseur} \times b}{\text{surface de diffusion}}$

On a un pont de classe 1 : la valeur de b est donc égale à 1 car pont de classe (1)

AN : la charge répartie  $q_1 = \frac{2 \times 330,95 \times 1}{4,54} = 146 \frac{KN}{m^2}$

Cette surcharge doit être majorée par un coefficient de majoration dynamique.

La charge réelle retenue est alors donnée par la formule :

$Q = \text{la charge répartie } q_1 \times \text{coefficient de majoration dynamique } (\delta)$

Le calcul du coefficient de majoration dynamique est présenté dans l'annexe

AN : charge répartie=146\*1,4217=207,56 KN/m<sup>2</sup>→20,756 T/m<sup>2</sup>

**La charge répartie retenue sur la travée est alors de 20,756 T/m<sup>2</sup> appliquée sur toute la surface au passage des atterrisseurs par travée.**

- Charge répartie sur le radier

Les charges d'exploitation sur le radier sont la même charge reçue sur le tablier mais leur surface d'impact diffère selon la partie considérée.

La surface d'impact sur le radier= (3\*largeur d'ouverture+4\*épaisseur piédroit) \*largeur hors tous des trains principaux de l'avion

Après la détermination de la surface d'impact sur le radier, charge répartie sur le radier se calcul par la formule

$$\text{Charge répartie sur le radier} = \frac{2*330,95*1}{(3*3+4*0.6)*6.99} = 8,31 \frac{kN}{m^2}$$

La surcharge sur le radier est également multipliée par un coefficient de majoration  $\delta$

La charge répartie à retenir sur le radier est alors de :  $q_1 * \delta = 8,31 * 1,35 = 11,19 \frac{kN}{m^2}$

**La charge répartie retenue sur le radier est alors de 1.119 T/m<sup>2</sup> appliquée sur toute la surface du tablier.**

- Surcharge sur les remblais :

L'article 8 du fascicule 61 titre II nous recommande de considérer une surcharge sur les remblais de 1t/m<sup>2</sup> soit 10 KN/m<sup>2</sup> en lui affectant un coefficient de majoration de 1,2 à l'ELS et 1,07 à l'ELU. Mais compte tenu de l'agressivité de l'avion lors d'atterrissage et les forces de freinages, cette charge n'est pas sensée couvrir les efforts qui y sont affecter. Cependant pour tenir compte de tous ces paramètres, nous considérons à titre sécuritaire une surcharge sur remblai de 25 KN/m<sup>2</sup> sans affecter de coefficient de majoration.

Le tableau 25 présente le récapitulatif de toutes les surcharges sur l'ouvrage

Tableau 25 :récapitulatif des charges d'exploitation sur les différentes partie de l'ouvrage

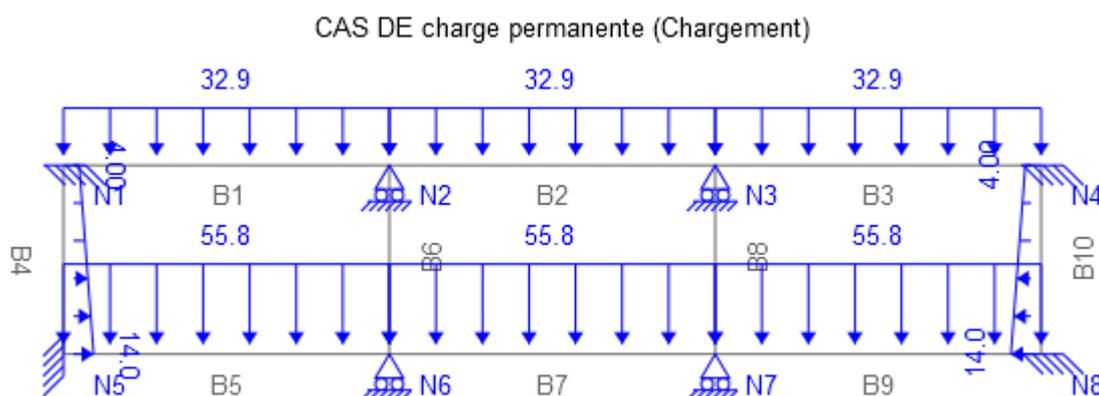
charges d'exploitations sur les différentes parties de l'ouvrage en (KN/m <sup>2</sup> )			
Surcharge sur le tablier(charge routière)	Surcharge sur le radier	Surcharge piédroit gauche	Surcharge piédroit droite
207,568991	11,1878835	25	25

#### V.4.3.4 Calcul des sollicitations :

##### a. Sous l'action des charges permanentes :

De manière générale, les études seront faites par bande d'un (01) mètre de dalot (b=1m) suivant la largeur de celui-ci.

Considérant la symétrie de géométrie de l'ouvrage et de la non symétrie de chargement, il conviendrait mieux de considérer que les piédroits intermédiaires soient dimensionnés en compression simple, ce qui nous permet d'annuler le moment au niveau de ces parties. Cette hypothèse justifie la possibilité d'utiliser la méthode de rotation pour l'étude de l'équilibre à chaque nœud de l'ouvrage.



A partir de schémas statique ci-dessus nous avons déterminés à l'équilibre des nœuds i

Les moment statique appliqué au nœuds i sur la barre i,j donné par la formule

$$M_{i,j} = k \times (2 \times a_i + a_j) + m_{i,j}$$

Avec :

$k = k_1$  ou  $k_2$  les coefficients de rigidité de la barre.

$m_{i,j}$  Représente le moment d'encastrement appliqué au nœud i par la barre j ;

$a_i$  Les rotations au nœud  $i$

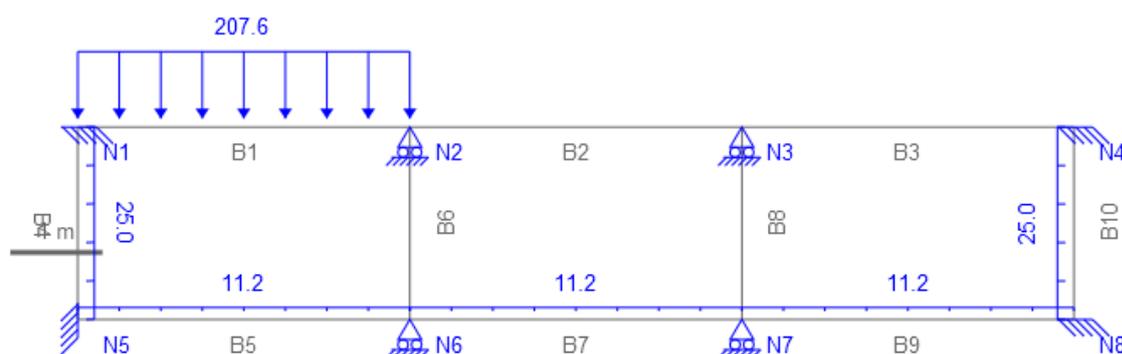
b. Sous l'action des charges d'exploitations :

Compte tenu de l'empatement de l'avion qui est supérieur à la largeur totale de l'ouvrage. Les atterrisseurs avant et arrière de l'avion ne peuvent pas se retrouver sur tout l'ouvrage. En outre deux cas de figure se présentent en fonction de la position de l'avion.

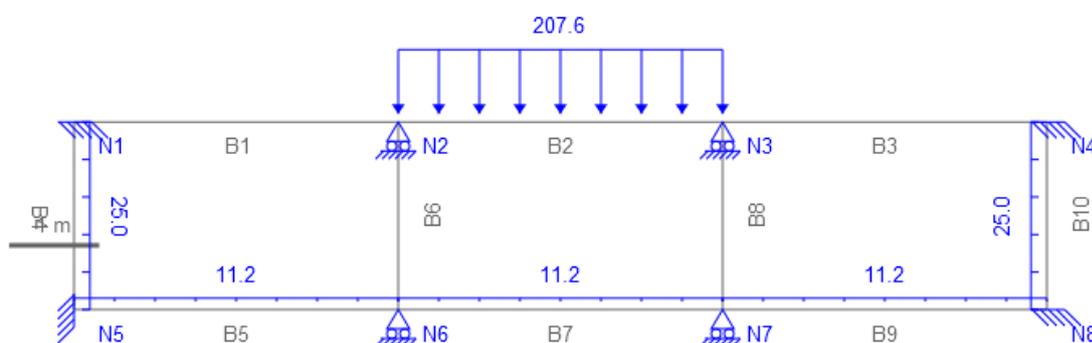
- Les deux atterrisseurs arrière se retrouves sur l'une des travées de rive
- Et le cas où ils se retrouvent sur la travée centrale.

Dans la suite du travail les deux cas seront traités pour la détermination des différentes sollicitations pour cela nous avons utilisé le logiciel pybar qui nous a fourni les valeurs des moments. Les figure ci-dessous illustre le mode de chargement selon les deux cas :

**Cas 1** : chargement sur la travée de rive



**CAS 2** : chargement sur la travée centrale



Le tableau (26) présente les sollicitations générées pour les différents modes de chargements sous charge permanente et d'exploitation selon les deux cas. Le moment et les efforts normale retenues sont les valeurs maximales en travée et sur appui de la partie de l'ouvrage considérée

Tableau 26 :sollicitations générée par les différents cas de charges permanentes et

d'exploitations

PARTIE D'OUVRAGE	Sollicitations KN.m/ml et KN/ml		charges permanentes G	CAS 1 charges aéronautiques (travée de rive)	cas 2 charges aéronautiques (travée centrale)
TABLIER	Moment fléchissant	à gauche	-29,85	258,5	185,3
		à droite	-28,4	155,4	185,3
		au milieu	18,29	-131,2	150,9
Radier	Moment fléchissant	à gauche	48,95	-21,68	-29,51
		à droite	49,26	-14,69	-29,51
		au milieu	-29,03	10,2	14,18
PIEDROITS EXTERMES	Moment fléchissant	inferieur	-18,64	9,19	-9,19
		supérieur	7,63	9,19	9,19
		Milieu	15,62	4,59	4,59
	effort normal		150,64	-11,61	-42,5
PIEDROITS INTERIEURS	Moment fléchissant	inferieur	4,83	-91,17	-26,14
		supérieur	-1,45	21,8	107,7
		Milieu	-2,64	-34,685	94,63
	effort normal		303,55	-21,3	-21,2

Après la détermination des moments sur les différentes parties de l'ouvrage nous avons combinée les différentes sollicitations à l'état limite ultime et à l'état limite de service selon les relations suivantes :

Tableau 27 :combinaisons d'actions

ELU :combinaison fondamentale

Combinaison à l'ELS :combinaison rare

$$1,35G + 1,6 Qr$$

$$G + 1,2 Qr$$

$$1,35G + 1,6 Qsp$$

$$G + 1,2 Qsp$$

NB :Qr représente la surcharge routière ;et Qsp la surcharge sur les piédroits

Les combinaisons retenues sont les combinaisons maximales générées selon les deux cas de chargements. Le tableau 28 présente le récapitulatif des combinaisons d'actions à l'ELU et à l'ELS.

Tableau 28récapitulatif des combinaison à l'ELU et ELS

PARTIE D'OUVRAGE	Sollicitations KN.m/ml et KN/ml		CAS1		CAS2		maximum	
			ELU fondamentales	ELS combinaison rares	ELU fondamentales	ELS combinaison rares	ELU	ELS
TABLIER	Moment fléchissant	à gauche	453,90	340,05	336,778	252,21	453,90	340,05
		à droite	286,98	214,88	334,82	250,76	334,82	250,76
		au milieu	234,61	175,73	266,132	199,37	266,13	199,37
Radier	Moment fléchissant	à gauche	100,77	74,966	113,299	84,362	113,30	84,36
		à droite	90,01	66,888	113,717	84,672	113,72	84,67
		au milieu	55,51	41,27	61,8785	46,046	61,88	46,05
PIEDROITS EXTERMES	Moment fléchissant	inferieur	39,87	29,668	39,868	29,668	39,87	29,67
		supérieur	25,00	18,658	25,0045	18,658	25,00	18,66
		Milieu	28,43	21,128	28,431	21,128	28,43	21,13
	effort normal		205,94	152,57	271,364	201,64	271,36	201,64
PIEDROITS INTERIEURS	Moment fléchissant	inferieur	152,39	114,23	48,3445	36,198	152,39	114,23
		supérieur	36,84	27,61	174,278	130,69	174,28	130,69
		Milieu	59,06	44,262	154,972	116,196	154,97	116,20
	effort normal		443,87	329,11	443,713	328,99	443,87	329,11

#### V.4.3.5 Détermination des sections d'armatures :

Les armatures sont déterminées selon les règles de l'errocode. Ces tableaux informent sur les calculs aux états limites incluant le choix des sections d'armatures réelles

##### a. Détermination des section d'armature à l'ELU

Tableau 29 :récapitulatif des paramètres de le calcul des sections d'armatures en tablier et radier

	paramètres	h(m)	d	B (m)	fc28	f <sub>bu</sub>	f <sub>e</sub>	$\sigma_s$	Mu	$\mu_u$	$\alpha_u$	$z_u$	Amin
tablier	App gauche	0,6	0,54	1	30	18	500	434,783	453,900	0,086	0,113	0,516	0,00027
	app droite	0,6	0,54	1	30	18	500	434,783	334,820	0,064	0,082	0,522	
	mi travée	0,6	0,54	1	30	18	500	434,783	266,130	0,051	0,065	0,526	
radier	mi travée	0,6	0,54	1	30	18	500	434,783	61,879	0,012	0,015	0,537	0,00027
	gauche	0,6	0,54	1	30	18	500	434,783	113,299	0,022	0,027	0,534	
	droit	0,6	0,54	1	30	18	500	434,783	113,717	0,022	0,027	0,534	

##### b. Détermination des sections d'armatures à l'ELS

Tableau 30 récapitulatif paramètres de calcul sur tablier et sur radier des section d'armature

		h	d	b	fc28	fbu	fe	os	Mser	αser	γ ser	z ser	Mserb	Aser	Amin
TABLIER	mi travée	0,6	0,54	1	30	18	500	434,8	199,37	0,62308	0,33646	0,4278	0,77735	0,00186	0,001104
	appui gauche								340,05	0,62308				0,00318	
	appui droit								250,76	0,62308				0,00234	
RADIER	mi travée								46,046	0,62308				0,00043	
	appui gauche								84,362	0,62308				0,00079	
	appui droit								46,046	0,62308				0,00043	

Tableau 31 récapitulatif des sections d'armatures sur les différentes parties de l'ouvrage

PARTIE D'OUVRAGE	Sollicitations KN.m/ml et KN/ml		ELU	ELS	section de béton (cm)		section d'acier		Acier de répartition		
					B	h	Théorique (cm <sup>2</sup> )	choix	Théorique (cm <sup>2</sup> )	Choix section d'acier	Espace-ment (cm)
TABLIER	Moment fléchissant	à gauche	453,9	340,05	100	60	31,79	<b>16HA16</b>	11	<b>8HA14</b>	13
		à droite	334,82	250,76	100	60	23,44	<b>8HA20</b>	7,82	<b>4HA16</b>	25
		au milieu	266,13	199,37	100	60	18,63	<b>6HA20</b>	6,21	<b>6HA12</b>	16
Radier	Moment fléchissant	à gauche	113,3	84,362	100	60	7,887	<b>4HA16</b>	5,9616	<b>4HA14</b>	25
		à droite	113,72	84,672	100	60	5,9616	<b>4HA14</b>	5,9616	<b>4HA14</b>	25
		au milieu	61,88	46,046	100	60	5,9616	<b>4HA14</b>	5,9616	<b>4HA14</b>	25
PIEDROITS EXTERMES	Moment fléchissant	inferieur	39,9	29,668	100	60	5,9616	<b>4AH14</b>	5,9616	<b>4HA14</b>	25
		supérieur	25,01	18,658	100	60					
		Milieu	28,43	21,128	100	60					
	effort normal		271,36	201,64	100	60					
PIEDROITS INTERIEURS	Moment fléchissant	inferieur	152,39	114,23	100	60	12,8 soit 6,4 /face	<b>4HA14/face</b>	5,9616	<b>4HA14</b>	25
		supérieur	174,27	130,69	100	60					
		Milieu	154,972	116,2	100	60					
	effort normal		443,87	329,11	100	60					

La note de calcul du dalot 3\*3\*1,5 est présentée à l'annexe (13)

## V.5. MOYENS D'ÉVALUATIONS POUR DÉTERMINER LA PORTANCE DES CHAUSSÉES AÉRONAUTIQUES

LA détermination des charges admissibles pour les chaussées existantes constitue le problème réciproque du dimensionnement des chaussées aéronautiques. En effet trois questions se regroupent sous ce titre afin d'assurer une suivie de la capacité portante des aérodromes :

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

Pour pallier à ces problèmes deux méthodes de suivies des aérodromes sont mise en application à soir :

- LA METHODE D'ÉVALUATION DES ATERRISSEURS-TYPES
- LA METHODE ACN/PCN

Dans notre cas de figure on va plus s'intéresser à la méthode ACN/PCN qui est la méthode appliquée par l'ASEGNA.

### V.5.1 Approche de la méthode ACN/PCN

La méthode ACN/PCN est une démarche normalisée par l'OACI (l'Organisation de l'aviation civil international) et donnée comme outil de gestion des chaussées aéronautiques aussi bien pour l'aérodrome civil que militaire. Elle est appliquée sur les avion dont la masse sur l'air de trafic est supérieure à 5700 kg soit 5,7 t .la méthode vise à fournir des renseignements sur la résistance des chaussées aéronautiques en évaluant l'admissibilité de chaque avion en fonction de sa charge et la résistance des chaussées les accueillants.

Par définition :

- ACN (Aircraft Classification Number): est un nombre qui exprime l'agressivité de l'avion sur une piste. C'est un nombre qui est fonction de la capacité portante du sol support d'une piste d'avion spécifique. Ces indices sont calculés selon les procédures normalisée de l'OACI figurant dans le manuelle de conception des aérodromes.
- PCN (Pavement Classification Number) : est un nombre qui exprime la force portante du sol support pour une exploitation sans restriction. Le principe de la méthode de

détermination de cet indice est relativement simple puisqu'elle associe à chaque zone homogène d'une plateforme un numéro PCN qui reflète la capacité portante de la chaussée. A LA différence de l'ACN, l'OACI N'impose aucune méthode de détermination du PCN et en laisse le libre choix aux exploitants des aérodromes.

#### V.5.1.1 CALCUL DU NUMERO ACN

L'ACN est calculé en fonction des positions du centre de gravité par utilisation du centrage extrême arrière correspondant à la masse maximale sur l'aire de trafic.

Plusieurs types d'avion actuellement en service ont été évalués sur des chaussées rigides et des chaussées souples sur la base des quatre catégories de sol support.

Le tableau (32) présente les donnée ACN correspondant au Boeing 737-700 .

Tableau 32 :données ACN correspondants au Boeing 737-700<sup>5</sup>

Boeing 737-700	MASSE Max/Min (kN)	Tire pressure	Chaussée souple				chaussée rigide			
			A	B	C	D	A	B	C	D
	690	1,39	38	40	44	49	43	46	48	50
	370		18	19	20	23	21	22	23	24

Les deux masses totales indiquées dans la colonne 2 du tableau ci-dessus sont :la masse maximale sur l'aire de trafic et la masse à vide en ordre d'exploitation de l'avion.

Pour la suite nous allons considérer le cas le plus défavorable en utilisant comme référence le numéro ACN a charge maximale. Ce numéro représente le numéro d'ACN correspondant à la masse maximale au chargement de l'avion.

Le tableau (33) présente les différentes catégories de résistance du sol support conformément à la codification de l'OACI.

<sup>5</sup> Transport Canada technical Evaluation Engineering  
Aircraf classification Numbers (ACN's)

Tableau 33 :les différentes catégorie de résistance du sol support

RESISTANCE DU SOL SUPPORT	
TYPE DE SOL SUPPORT	Indice CBR
Sol support à résistance élevée (A)	I(CBR)>13
Sol support à résistance moyenne (B)	8<I(CBR)<13
Sol support à résistance Faible (C)	4<I(CBR)<8
Sol support à résistance faible (D)	I(CBR)<4

Le sol support à un indice CBR de 15 donc appartient à la classe A, De ce faire, le numéro l'ACN du Boeing 737 retenu pour la suite de l'étude est le numéro **38**.

#### V.5.1.2 Détermination du code PCN de la piste aéronautique : (BRABER, 2012)

Le numéro de classification de chaussée (PCN) indique qu'un avion dont le numéro de classification (ACN) est inférieur ou égal à ce PCN peut utiliser la chaussée sous réserve de limitation due à la pression des pneumatiques. Cet indice est un nombre sans unité, affecté d'un code de 4 lettres apportant les renseignements sur la portance des chaussées aéronautiques.

Le numéro PCN se calcul par le formule :

$$PCN = H(CBR) * RIS$$

H(CBR) est un coefficient qui est fonction du CBR du sol support

RIS (roue simple isolé) : représente la charge sur une roue simple gonflée à 0,9 MPa

Les procédures de calcul du numéro PCN sont présentées à l'annexe (14)

LE TABLEAU (35) présente le récapitulatif des numéro ACN et PCN retenus.

Tableau 34 :récapitulatif des paramètres et numéros ACN/PCN

Type de chaussée	CBR sol support	Catégorie sol support	Numéro ACN	Numéro PCN
Souple	15	résistance très élevée (A)	38	45

### V.5.2 Les renseignements communiqués pour indiquer la portance d'une chaussée aéronautique : le code PCN

Après la détermination des paramètres ci-dessus la portance de la chaussée est indiquée par annonce des renseignements en l'occurrence le code PCN de la piste. Le code renseigne sur :

- Le numéro de classification de chaussée PCN
- Le type de chaussée considérée pour la détermination des numéros ACN-PCN
- LA Catégorie du sol support
- La pression maximale admissible des pneumatiques
- Base d'évaluation

Le Tableaux permettant de déterminer les caractéristiques du code PCN sont présentés dans l'annexe (11)

**Le code PCN retenues est donc :  $PCN = 45/F/A/W/T$**

Avec :

F : indiquant qu'il s'agit d'une chaussée souple

A : indiquant la catégorie de sol support selon la codification de l'OACI

W : indiquant la pression maximale admissible des pneus qui est illimité

T : la base d'évaluation

Ce code est le renseignement à publier pour indiquer la forte portance de la chaussée aéronautique.

- **Calcul de la charge admissible Pta de l'avion sur la piste :**

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

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

ACN<sub>max</sub> et ACN<sub>min</sub> : représentent respectivement les numéro ACN à charge maximale et à charge minimale de l'avion.

M et m représentent respectivement les masses maximales sur l'aire de trafic et la masse à vide en ordre d'exploitation de l'avion.

Le tableau (36) présente le récapitulatif des paramètres de calcul de la charge admissible :

Tableau 35 :récapitulatif des paramètres de calcul de la charge admissible de l'avion

M(KN)	m(KN)	ACN min	ACNmax	PCN	Pta(KN)
690	370	18	38	45	1099,7

Donc sur une répartition de 45,85% de la charge sur chaque atterrisseur principal on a donc

$P_a = P_{ta} * 0,4585 = 503,12$  KN sur chaque atterrisseur principal.

**Une charge maximale de 503,12 KN des atterrisseurs principaux est alors admissible sur le corps de la chaussée**

V.5.3 Comparaison de la charge réelle et de la charge admissible déduite des publications ;

La comparaison de la charge réelle et de la charge admissible permet de justifier l'admissibilité d'un avion sur une piste. En effet un avion est admissible sans restriction sur une piste, si l'une des conditions ci-dessous est vérifiée :

- $ACN \leq PCN$ ,
- $P < P_a$ .

Ainsi donc pour un Boeing 737-700 dont la charge réelle sur les atterrisseurs principaux est de 33095 Kg , peut donc être admis sans restriction sur la piste car sa charge réelle est inférieure à la charge admissible calculée.

Dans le cas où aucune des deux conditions citées n'est vérifiée, une étude particulière doit être menée et peut conduire pour l'avion considérée :

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

## V.6. SIGNALISATIONS ET AIDE VISUELLES A LA NAVIGATION (4, MARS 1993)

Pour assurer une bonne visibilité et aussi la sécurité des aéronefs la piste et les différentes aires de manœuvre doivent être équipés d'un système de signalisation horizontales et verticale conformément aux recommandations de la direction des exigences du système aérien. On distingue :

### V.6.1 Les indicateurs de direction du vent :

Un aérodrome sera équipé d'au moins un indicateur de direction du vent, ce dispositif sera placé de façon à être visible et d'un aéronef en vol ou sur l'aire de mouvement.

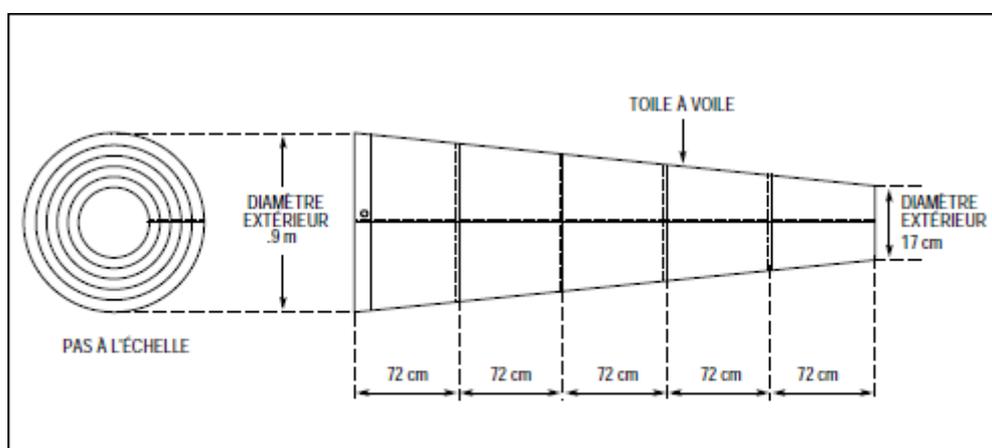


Figure 5-1. Indicateur et dispositif de signalisation

Figure 10 :schémas d'un indicateur de direction du vent

### V.6.2 Les marques horizontales de circulation

#### V.6.2.1 Les marques d'identification de piste :

Le seuil d'une piste avec revêtement portera des marque d'identification et seront placé au-delà de seuil de piste. C'est un nombre de deux chiffre qui se défini comme le nombre entier le plus proche du dixième de l'azimut magnétique de l'axe de piste mesuré à partir du nord magnétique dans le sens des aiguilles d'une montre pour un observateur regardant dans le sens de l'approche. Pour ce qui est de notre proche la marque d'identification de la piste est de 14/32 selon le sens d'utilisation de la piste

- Le numéro 14 : identification de l'est vers l'ouest
- Le numéro 32 : identification de l'ouest vers l'est

#### V.6.2.2 Marque d'axe de piste :

Les pistes avec revêtement seront dotées de marques d'axe de piste qui seront disposées le long de l'axe de la piste entre les marques d'identification de piste

Cette marque sera constituée par une ligne de trait uniformément espacés.

La longueur d'un trait et de l'intervalle qui le sépare du trait suivant ne sera pas inférieure à 50 m ni supérieure à 75 m. La longueur de chaque trait sera égale à la longueur de l'intervalle ou à 30 m si la longueur de l'intervalle est inférieure à 30 m. les différentes marque d'identification de la piste sont présentées à l'annexe (15)

#### V.6.2.3 Les marques de seuil :

Les marques de seuil de piste seront constituées par un ensemble de bandes longitudinales de mêmes dimensions, disposées symétriquement par rapport à l'axe de piste. Les bandes qui marquent le seuil commenceront à 6 m du seuil. Le tableau 37 présente Le nombre de bandes du seuil en fonction de la largeur de la piste :

Tableau 36marques de seuil de piste en fonction de la largeur de la piste

Largeur de piste	Nombre de bandes
18 m	4
23 m	6
30 m	8
45 m	12
60 m	16

Pour ce qui est de seuil de notre piste dont la largeur est 30 m il est retenu 8 bandes de piste. Les bandes seront séparées en deux groupes espacés d'au moins 3,6 m et auront au moins 30m de long et environ 1,8 m de largeur.

#### V.6.2.4 La marque des points cible :

Connu sur le nom de marque de distance constante, cette marque est disposée à chaque extrémité d'approche d'une piste avec revêtement pour les aérodromes dont le chiffre du code est 3.

#### V.6.2.5 Les marques de zones de touches des roues :

Les marques de zone de touche des roues seront disposées à chaque extrémité d'une piste et se présenteront sous forme de paires de marques rectangulaires symétriquement disposée de part et d'autre de l'axe de la piste, le nombre de ces paires de marques varie en fonction de la

distance utilisable à l'atterrissage. Comme indique le tableau ci-après :

Tableau 37 nombre de pair des points cibles en fonction de la longueur de la piste

Longueur de piste	Paires de marques
Inférieur à 900 m	1
De 900 m à 1200 m non compris	2
De 1200m à 1500 m non compris	3
De 1500m à 2400 m	4
Supérieur à 2400 m	6

Pour ce qui est de notre projet dont la longueur totale de la piste est de 2100 m, il faut disposer 4 paire de zone de touche des roues comme signalisation.

#### V.6.2.6 Marque de voie d'accès de poste de stationnement :

Des marques axiales de voie d'accès de poste de stationnement doivent être disposées sur une voie d'accès de poste de stationnement de manière à assurer un guidage à partir de l'axe de la voie de circulation jusqu'au point, sur l'aire de trafic, où commencent les marques de poste de stationnement d'aéronef.

#### V.6.3 Les feux de l'aérodrome :

Tout aérodrome appelé à être utilisé la nuit doit être équipé de feux pour faciliter le guidage des aéronefs à la surface. On distingue :

- La luminosité d'approche
- Les feux de bord de piste
- Les feux de seuil de piste
- Les feux d'extrémité de piste
- Les feux d'axe de piste
- Les feux de zone de toucher des roues et
- Les feux axiaux de voie de circulation
- Les phares d'aérodrome

Toutes ces luminosités doivent être disposée et règlementer de sort à ne pas affecter la structure de l'aéronef, par ailleurs le dispositif de balisage lumineux doit être considéré comme un atout afin que les intensités relatives de feux soient convenablement ajustées pour répondre à un même but qui est la circulation des aéronefs en toute sécurité.

## VI. ETUDE D'ÉVALUATION FINANCIÈRE

Le dévis quantitatif et estimatif rassemble toutes les dépenses effectuées et les moyens matériels à mettre en place avant le lancement, pendant l'exécution ou à des frais d'entretien et de suivis pour le bon déroulement du projet.

Tableau 38 : dévis quantitatif et estimatif des travaux

<b>DEVIS QUANTATIF ET ESTIMATIF DES TRAVAUX</b>					
N° Prix	Désignations	Unités	Quantités	P.U. (F CFA)	Montant (HT-HD ) F CFA
<b>100</b>	<b>INSTALLATION DE CHANTIER</b>				
101	Installations générales de de chantier (y compris logements et bureaux de la mission de contrôle et de l'Administration)	FF	1,0	906 950 900	906 950 900
102	Amenée et repli du matériel	FF	1,0	115 350 000	115 350 000
103	Préparation des plans d'exécution	FF	1,0	28 067 759	28 067 759
104	Construction d'un bâtiment à usage de bureaux y compris toilettes internes, équipé éclairé et climatisé dans l'enceinte de la Direction Régionale des Transport de Tillabéry	FF	1,0	135 000 000	135 000 000
	Groupe électrogène (110 KVA)	FF	1,0	60 000 000	60 000 000
	Eau potable	FF	1,0	50 000 000	50 000 000
	<b>Sous total 100</b>				<b>1 295 368 659</b>
<b>200</b>	<b>TRAVAUX PREPARATOIRES TERRASSEMENTS</b>				
201	Débroussaillage et Nettoyage de l'emprise	m2	189 918,7	1 080	205 112 190
202	Démolition de construction en dur	m <sup>2</sup>	5 221,4	17 050	89 024 529
203	Déblai meuble mis en dépôt	m3	28 495,5	5 990	170 688 331
204	Déblai rocheux	m3	800,0	29 488	23 590 400
205	Remblai provenant d'emprunt	m3	111 669,1	9 550	1 066 440 157
206	Plus-value de transport pour remblai aux prix 201 à 205 et 208 au-delà de 3 km	m3xkm	1 464 287,4	247	361 678 993
207	Finition de la plate-forme des terrassements	m2	194 244,7	575	111 690 687
208	Provision pour purges de mauvais sol	m3	25 170,7	15 540	391 153 264
	<b>Sous total 200</b>				<b>2 419 378 551</b>
<b>300</b>	<b>CHAUSSEE</b>				
301	Fourniture et mise en œuvre de la couche de fondation en Graveleux latéritique	m3	59 890,7	11 125	666 284 479
302	Couche de base en Grave concassé GNT 0/31,5	m3	18 695,0	50 700	947 834 812
303	Plus-value de transport aux prix 301 et 302 au-delà de 3 km	m3*km	1 300 849,1	247	321 309 730
	<b>Sous total 300</b>				<b>1 935 429 021</b>
<b>400</b>	<b>REVETEMENT</b>				
401	Mise en œuvre imprégnation	m <sup>2</sup>	149 107,9	1 525	227 389 481
402	Mise en œuvre couche d'accrochage	m <sup>2</sup>	102 196,4	560	57 229 999
403	Fourniture et mise en œuvre d'un revêtement en béton bitumineux BBA 0/14	m3	5 739,3	271 500	1 558 216 904

404	Fourniture et mise en œuvre d'un revêtement en béton bitumineux avec anti kérosène	m3	1 224,5	281 500	344 699 565
405	Plus-value de transport de granulats de toutes dimensions pour bétons, enduit superficiel et enrobés aux prix 403; 404; 406; 407; 503; 510; 512; 513; 514; 605; 604; 606; et 801	m3*km	524 362,8	206	108 018 740
406	Fourniture et mise en œuvre monocouche	m <sup>2</sup>	5 666,7	1 785	10 115 004
407	GEL à mettre en place sur les aires de parking pour la protection contre l'infiltration des hydrocarbures	dm3	500,0	150 000	75 000 000
408	Pavé autobloquant	m <sup>2</sup>	4 309,5	20 950	90 284 009
<b>Sous total 400</b>					<b>2 470 953 701</b>
<b>500</b>	<b>ASSAINISSEMENT</b>				
501	Fouille pour ouvrages	m3	28 321,6	8 462	239 657 294
502	Remblai de fouilles	m3	11 328,6	22 789	258 168 285
503	Béton de propreté	m3	410,2	135 500	55 583 072
504	Béton 350	m3	2 949,8	231 000	681 397 865
505	Aciers	kg	619 452,6	1 270	786 704 807
506	Coffrages	m <sup>2</sup>	20 648,4	12 990	268 222 978
507	Badigeonnage du dalot	m <sup>2</sup>	7 983,6	523	4 175 423
508	Joint de dilatation et joint water stop	ml	150,0	15 396	2 309 400
510	Graviers et tuyaux pour tapis drainant sous dalot et chaussée	m3	1 622,6	33 550	54 438 597
<b>Sous total 500</b>					<b>2 350 657 721</b>
<b>600</b>	<b>SIGNALISATION</b>				
601	Marquages spéciaux à la peinture blanche	m <sup>2</sup>	9 953,0	17 309	172 276 477
602	Bande continue ou discontinue de largeur 0.12m (2U)	ml	1 400,0	1 035	1 449 000
603	Bande continue ou discontinue de largeur 0.18m (2U)	ml	2 100,0	1 185	2 488 500
604	Panneaux de stationnement	U	2,0	200 000	400 000
605	Panneaux directionnels et d'indication	U	2,0	294 000	588 000
606	Balisage lumineux	U	60,0	150 000	9 000 000
607	balise jaune pour taxiway	U	50,0	130 000	6 500 000
<b>Sous total 600</b>					<b>192 701 977</b>
<b>700</b>	<b>entretien-mesure sociales et environnementales</b>				
	remise en état des emprunts	<b>FF</b>	1,0	50 000 000	<b>50 000 000</b>
	Plantation et entretien d'arbres	U	600,0	1 000	<b>600 000</b>
704	politique de suivi environnementale	FF	1,0	50 000 000	50 000 000
<b>Sous total 700</b>					<b>50 600 000</b>
<b>TOTAL GENERAL EN FRANCS CFA HORS TOUTES TAXES, HORS DROITS DE DOUANES, HORS ENREGISTREMENT</b>					<b>10 715 089 629</b>

## VII. ETUDES D'IMPACTS ENVIRONNEMENTALE

### VII.1. INTRODUCTION

Le progrès technologique n'est pas une fin en soi quand la qualité de vie du citoyen est menacée, il est certain que les effets des activités humaines sur les principales composantes du milieu naturel conduisent fréquemment à la rupture d'équilibre. La multitude des actions nocives de la société humaine sur les divers écosystèmes a atteint à notre siècle une ampleur inquiétante qui nous dicte une nécessité impérieuse de repenser à l'interaction **homme - nature**. C'est dans ce contexte précis qui est l'atteinte des objectifs du développement durable que nous évoquons le volet étude d'impact de notre projet de réalisation d'un aérodrome terrestre dont les conséquences peuvent être beaucoup plus désastreuse que sur les projets routiers.

### VII.2. RAPPEL DU CADRE LEGISLATIF REGISSANT LE PROJET

Il est essentiellement les lois et les règles relatives à l'exigence et à la conduite des évaluations environnementales dont les aspects législatifs et règlementaires se caractérisent par la préservation de l'environnement et la prise de textes d'application pouvant favoriser l'effectivité de cet outil. Parmi les lois, on distinguera d'une part celles d'ordre général et d'autre part celles spécifiques à des secteurs donnés. L'étude d'impact environnemental se conformera au cadre législatif et institutionnel du Niger à travers les lois guidant le gouvernement en matière d'environnement. En dehors de ces lois nationales, il faut aussi respecter les conventions internationales que le Niger a ratifiées, ainsi que les pratiques internationales qui guident les interventions des bailleurs de fond. Le cadre juridique général et les principes fondamentaux de la gestion de l'environnement au Niger sont fixés par les textes suivants :

- L'ordonnance 97-001 du 10 janvier 1997 portant l'institutionnalisation de l'étude impact environnemental,
- La loi N° 98-56 du 29 décembre 1998 portant loi-cadre relative à la Gestion de l'environnement (National, 1998).

Parmi les conventions ratifiées par le Niger sur la protection de l'environnement on peut citer :

- La convention africaine pour la conservation de la nature et des ressources naturelles du 15 septembre 1968,

- Le protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone (1987),
- La convention de Rio sur la diversité biologique du 05 juin 1992,
- La convention cadre des Nations-Unies sur les changements climatiques du 09 mai 1992,
- La convention de Paris du 17 juin 1994 sur la lutte contre la désertification dans les pays gravement touchés par la sécheresse et/ ou la désertification,
- La charte des Nations Unies,
- Les conventions de l'organisation Internationale du Travail.

### VII.3. RAPPEL DES COMPOSANTES ET PHASES DU PROJET

Dans le domaine aéroportuaire, les préoccupations environnementales Sont prises en compte dès la phase de planification de l'Avant-projet de plan de masse et se poursuivent selon toutes les variantes et phases du projet. On distingue :

- La phase de planification et installation du chantier ;
- La phase de construction ;
- La Phase d'exploitation

### VII.4. IDENTIFICATION ET EVALUATION DES IMPACTS : (ALVAREZ, 2008)

La méthode utilisée pour l'identification des impacts (positifs et négatifs) attribuables à la réalisation de ce projet s'est basée sur l'analyse des effets qui résulteront des différentes interactions entre le milieu récepteur et les activités rentrant dans le cadre de réalisation du projet. Cette démarche permet de mettre en liaison les activités sources d'impact associées au projet et les éléments de l'environnement biophysique et humain des différents milieux susceptibles d'être affectés. Les composantes de l'environnement susceptibles d'être affectées sont :

- **Le milieu biophysique** : les sols, les ressources en eau, la faune, la végétation, le paysage, l'air ;
- **Le milieu humain** : emploi et économie, santé et sécurité de la population, activité sociale et culturelle

L'outil d'identification utilisés et la matrice descriptive. Le tableau de la matrice descriptive est présenté à l'annexe 14.

#### VII.4.1 Identification des impacts en phase d'installation du projet :

- Impact sur l'occupation des sols : l'implantation ou le développement d'un aérodrome peut engendrer des contraintes sur des espaces bâtis ou non voués à d'autres usages (parc d'habitation, terrains agricoles, éléments patrimoniaux...)
- Frustration et tentative de bécotage de la tenue du projet par les personnes possédantes des terres sur le site choisit par peur de perdre leurs patrimoines sans être dédommagé ;
- Erosion des sols et soulèvement d'énormes poussières dû aux mouvements des engins lourds voir même la détérioration des voies d'accès existantes
- Augmentation des niveaux sonores et perturbation de la circulation causée par le déploiement des engins sur le site des travaux

#### VII.4.2 Pendant la phase de construction :

##### VII.4.2.1 Les impacts sur l'environnement et le milieu physique :

- Une augmentation de la concentration des polluants présents dans l'air provenant des gaz d'échappement des véhicules et engins travaillant sur les sites de travaux entraînant ainsi la concentration de la couche d'ozone qui est source d'élévation de la température mondial
- Le soulèvement des poussières plus ou moins intenses selon les différentes phases et le mode de travaux au niveau de la chaussée
- L'utilisation du granulat naturel à travers l'exploitation des carrières entraîne l'érosion du sol voire même la destruction de l'écosystème en général.
- Le déséquilibre dans l'aération des racines empêchant ainsi leurs développements dans les zones de dépôt des déblais.

##### VII.4.2.2 Les impacts sur l'eau

Ils sont liés essentiellement :

- A La modification du régime d'écoulement des eaux de surface et souterraine à cause des travaux de terrassement et de remblaiement ;
- Le rabattement des nappes par pompage qui conduit un abaissement du niveau des nappes phréatiques ainsi qu'une modification du régime d'écoulement des eaux souterraines.

#### VII.4.3 Pendant la phase d'exploitation du projet

Pendant la phase d'exploitation, les impacts sont liés essentiellement à la circulation des

aéronefs. On peut citer entre autres :

- Les bruits engendrés par les aéronefs : les bruits représentent pour le riverain d'aéroport la nuisance aéronautique la plus importante et la plus immédiatement perceptible.
- Les impacts sur la qualité de l'air : la pollution atmosphérique liée à l'exploitation d'un aéroport est le fait des multiples activités qui y sont exercées et donc du nombre important de sources d'émissions des polluants qu'elles induisent. On distingue des sources d'émission fixes comme les centrales thermiques, les bancs d'essai réacteur et les sources d'émission mobiles comme les avions les voitures
- Les impacts sur la qualité des eaux :

Dans le cadre de son fonctionnement, une plate-forme consomme de l'eau potable et de l'eau industrielle qu'elle rejette sous forme d'eaux usées dont l'infiltration peut être cause de pollution de la nappe phréatique.

#### VII.4.4 Les impacts positifs :

En phase de construction la construction de cet aéroport va permettre la réduction du taux de chômage des jeunes à travers le recrutement des mains d'œuvres du chantier.

Comme impact positif, on peut citer également le développement des échanges entre la région bénéficiaire et les autres pays du monde entier à travers l'accroissement de l'économie qui est le facteur clé du développement.

Ce projet va permettre également à l'installation d'une base militaires aériens pour faciliter l'acheminement des armes et la disponibilité des avions de chasse dans ladite régions qui est fortement menacée par les problèmes d'insécurité au niveau des frontières.

Tableau 39 :mesures d'atténuations

<b>Prévention des risque d'accident(crash d'avion)</b>	Sensibilisation des populations au respect des normes et recommandations de l'OACI d'évité la construction des immeubles à proximité de l'aéroport pour de mesures de limitation d'obstacles
<b>Pollution environnementale</b>	Favorisé la plantation d'arbre dans les endroits hors visibilité des aéronefs pour la dépollution de l'air.
<b>Pollution de l'eau</b>	Mettre en place des collecteurs d'eau afin d'éviter la contamination des nappes phréatiques par les eaux polluants issues des activée menée sur la plateforme de l'aérodrome.
<b>Récupération des champs</b>	Dédommagements des populations en les octroyant d'autre aires cultivable

## VIII. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Les démarches rentrant dans le cadre de l'étude technique détaillée du projet de réalisation d'un aérodrome constituent un processus de gestion intégré d'applications des méthodes et normes adaptée pour la réalisation chaussée aéronautique et des installations permettant l'évolution des aéronefs à la surface.

Notre projet d'étude effectué dans le cadre de réalisation d'un aéroport international a pour objectif spécifique une mise en place d'un rapport de synthèse comprenant les buts principaux du projet, un rappel sur les généralités des chaussées aéronautiques, une description des méthodes de dimensionnement de chaussées, une étude hydrologique du projet afin de mettre en place des ouvrages nécessaire pour l'évacuation des eaux, les notes de calcul des ouvrages de franchissement, les plans de coffrage ,une estimation du cout global du projet, et une étude d'impact sur l'environnement.

Les différentes étapes de cette étude nous ont permis d'aboutir à aux résultats répondant aux normes techniques tout en prenant en compte les aspects économiques et environnementaux.

Ce travail comme dans tout autre projet n'a pas été facile, car nous a présenté des difficultés énormes on peut citer entre autre : l'insuffisance des données nécessaires intervenants dans l'étude, la difficulté dans le choix des matériaux à mettre en place au niveau de la plateforme dus à la mauvaise qualité du terrain.

Toutefois rappelons que ce projet a été bénéfique pour nous dans la mesure où ça nous a permis d'élargir nos connaissances sur la conception et les normes intervenantes dans la réalisation des chaussées aéronautiques, de savoir la différence qu'il y'a par rapport aux chaussées routières, de pouvoir réaliser plusieurs essais au laboratoire, de connaître la réalité du terrain et enfin de pouvoir mettre en application nos connaissances théoriques apprises sur les bancs de l'école.

Comme recommandation à l'issue de notre stage nous proposons :

- De mettre en place un guide du choix de structure à mettre en place pour la mise en œuvre des chaussées aéronautiques ;
- De faire une étude approfondie de la méthode de suivi des aérodromes afin de ressortir des normes particulières pour les aérodromes militaires qui reçoivent des charges d'avions beaucoup plus contraignantes que les aérodromes civils destinés aux avions commerciaux.
- De faire une étude approfondie sur des ouvrages hydrauliques afin de proposer une catégorie d'essieux de référence pour l'évaluation des charges d'exploitations.

## IX. BIBLIOGRAPHIE

- 2 (Éd.). (s.d.). *manuel pour l'estimation des crues decenales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahelienne et tropicale seche*. Orstom.  
Consulté le 2019
- 4 (Éd.). (mars 1993). *aerodrome normes et pratiques recommandées* (Vol. 1). quebec, canada: transport canada.
- ALVAREZ, J. (2008, 09 22). prise en compte des donnée locales. *Aerodrome*, 4, p. 17.
- BRABER, A. R. (2012, Novembre 11). approche pratique de la methode ACN/PCN. *Methode d'evaluation pour la determination de la portance des chaussées aeronautiques*, p. 6.
- ITAC. (1998). *Aire de maneouvre* (Vol. 3). paris, france.
- l'aviation, a. n. (2013, 07 24). guide pratique pratique pour l'evaluation du PCN d'une chaussée aeronautique. 1-18. Niamey, Niger: ANAC/Niger.
- National, A. (1998). Loi-cadre relative à la gestion de l'environnement.
- STBA. (1983). *Instruction sur le dimensionnement des chaussée d'aerodrome et la determination des charges admissibles* (éd. 3, Vol. 1). (STBA, Éd.) PARIS, FRANCE: Service des base aeriens.
- TUU, N. V. ( Janvier 1979). *hydraulique routiere BCEOM*. paris .
- ouvrages d'art, Ouagadougou, Master Génie civil et hyrdaulique,2011,p.20
- Fascicule 61 titre 2, Programmes de charges et épreuves des ponts -routes, article 1 à 9 et 14,p16

## ANNEXES

Annexe 1 :donnée pluviométrique annuelle et journalière maximal de la région de 1986 à 2017.....	LXVII
Annexe 2 :donnée de la température de la région de 2012 à 2016.....	LXIX
ANNEXE 3 :caractéristiques de la piste de décollage et d'atterrissage en fonction de la catégorie de l'aérodrome.....	LXXII
ANNEXE 4 :calcul des épaisseurs équivalentes et choix de structure de chaussée. ....	LXXIV
annexe 5 tableau de choix des équation pour le calcul du débit décennal par la méthode CIEH .....	LXXVI
Annexe 6 :abaque de détermination de Kr70 et Kr100.....	LXXVII
annexe 7 :détermination de l'altitude du bassin en fonction du pourcentage de la superficie à cette même altitude et tracé des courbes hypsométriques.....	LXXVIII
Annexe 8 :étapes de dimensionnement hydraulique des ouvrages type dalot .....	LXXXI
annexe 9 :abaques de dimensionnement hydraulique .....	LXXXIV
annexe 10 détermination des dimensions de roues .....	LXXXVI
annexe 11 : calcul du numéro PCN et détermination des caractéristique du code PCN .....	LXXXVIII
annexe 12 :catalogue de l'avion et configuration des atterrisseurs d'avion.....	XCI
annexe 13 :dimensionnement structurale du dalot 3*3*1,5 .....	XCIII
annexe 14matrice de Léopold pour l'identification des impacts.....	CXXIX
annexe 15 :les differents signes d'identification et marques de piste .....	CXXX
annexe 16 :résultats de sondages géotechniques réalisés.....	CXXXI
annexe 17 :donnée TN de la piste .....	CXXXIII

Annexe 1 :donnée pluviométrique annuelle et journalière maximal de la région de 1986 à 2017

Année/mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	totale
1986	0	0	0	22,1	3,2	32,2	62,7	77	94	0,3	0	0	291,5
1987	0	0	0	0	0	28,6	25,7	71,4	93,3	0,2	0	0	219,2
1988	0	0	0	8	0,6	44	111	193,6	64,4	0	0	0	421,6
1989	0	0	2,6	0	8,5	6,9	72,7	267,6	89,4	0,3	0	0,4	448,4
1990	0	0	0	0	27,2	33,5	113,6	154,9	23,9	1,3	0	0	354,4
1991	0	0	8,3	0	53,7	80,8	65,9	241,1	15,5	7,8	0	0	473,1
1992	0	0	0,8	0,8	32,4	54,1	70,8	161,3	18,2	0,8	0	0	339,2
1993	0	0	0	0	0,6	70,3	88,2	151,4	78,2	0	0	0	388,7
1994	0	0	0	0,1	6,5	36,2	27,8	187,1	123,2	23,4	0	0	404,3
1995	0	0	0	0	18,9	41,5	89,4	241,6	25,4	0	0	0	416,8
1996	0	0	0	0	15,5	67	116,8	136,9	48,8	14,5	0	0	399,5
1997	0	0	15,6	0	22	54,4	83,1	111,4	35	0,7	0	0	322,2
1998	0	0	0	0	26,7	51,2	167,9	88,8	247,5	0	0	0	582,1
1999	0	0	0	0	7,6	10,5	143,7	89,9	101,6	0	0	0	353,3
2000	0	0	0	0,6	0,1	43,2	199,3	89,9	60,4	0	0	0	393,5
2001	0	0	0	0	8,5	62,6	92	127,2	70,6	0	0	0	360,9
2002	0	0	0	1,5	2,1	53,6	49	113,6	16,7	0	0	0	236,5
2003	0	0	0,5	0,6	22,4	93,8	153,3	197,2	93,3	22,3	0	0	583,4
2004	0	0	0	10,3	8,1	24,8	75,2	140	51,6	0	0	0	310
2005	0	0	0	3,8	21,9	63,3	205,6	250,6	28,8	41,6	0	0	615,6
2006	0	0	0	0	23	23,7	134,8	193,8	41,1	0	0	0	416,4
2007	0	0	0	1,5	17,7	50,4	229,9	163,2	40,8	0,7	0	0	504,2
2008	0	0	0	0	4,9	84,1	77,1	235,9	6,3	12	0	0	420,3
2009	0	0	0	0	8,6	72,8	46,6	88,2	23,7	19,9	0	0	259,8
2010	0	0	0	0	0,6	127,4	137	128,8	78,5	9,8	0	0	482,1
2011	0	0	0	0	0,2	5,9	74,7	152,6	95,9	0,7	0	0	330
2012	0	9,1	0	5,2	18,8	42,4	207,6	190,3	155,1	12	0	0	640,5
2013	0	0	0	2,4	30,6	43,5	74,4	303,8	43,1	12	0	0	509,8
2014	0	0,4	0	0	36,7	49,8	176,8	150,6	36,8	28,8	2,8	0	482,7
2015	0	0,1	7,6			73,6	163	205,6	65,7	17,1	0	0	532,7
2016	0	0	19,6	6	52,3	114,7	111,5	154,9	225,8	3,2	0	0	688
2017	0	0	0	1,5	51	58,2	94	176,4	25	3,3	0	0	409,4

Année/Mois	Jours	Valeurs
1986	21-sept.	32,3
1987	14-sept.	28,9
1988	15-août	50,6
1989	09-août	73,3
1990	02-août	72,2
1991	10-août	71,5
1992	28-août	44,7
1993	13-juil.	46,1
1994	08-sept.	50,1
1995	01-août	41
1996	12-août	35,9
1997	07-juil.	29,5
1998	08-sept.	73,2
1999	17-juil.	40,1
2000	24-juil.	50,2
2001	05-août	51,4
2002	29-juil.	52,3
2003	10-août	73
2004	01-sept.	42,7
2005	02-août	94,4
2006	20-sept.	64,6
2007	03-sept.	42,6
2008	04-juin	53,3
2009	01-sept.	49,4
2010	06-juin	53,2
2011	25-sept.	45,1
2012	19-août	60,6
2013	21-août	68,5
2014	23-août	46,7
2015	18-sept.	33,2
2016	28-août	81,6
2017	13-sept.	64,4

Annexe 2 :donnée de la température de la région de 2012 à 2016

<b>Température : Station de Tillabérie Unité °C</b>						
<b>Mois</b>	<b>Indicateurs</b>	<b>Années</b>				
		<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
<b>Janvier</b>	Moyenne des minimales	16,6	17,7	19	16,2	18,1
	Moyenne des maximales	31,9	33	34,2	31,3	31,8
<b>Février</b>	Moyenne des minimales	21,2	19,9	19,8	20,4	19,6
	Moyenne des maximales	37	36,7	35,3	37,5	35,5
<b>Mars</b>	Moyenne des minimales	23,4	25	22	23,3	23,2
	Moyenne des maximales	38,5	42,8	39,5	37,6	39,5
<b>Avril</b>	Moyenne des minimales	28,2	27,6	26,7	25,6	28,4
	Moyenne des maximales	41,5	42	43,1	41,5	43,3
<b>Mai</b>	Moyenne des minimales	29,5	29,4	28,7	29,3	28,6

	Moyenne des maximales	41,2	42,7	40,8	43,8	41,9
<b>Juin</b>	Moyenne des minimales	27,3	28,1	28	28,6	26,7
	Moyenne des maximales	38,5	40,2	40	39,9	38,1
<b>Juillet</b>	Moyenne des minimales	24,8	24,9	25,6	25,4	25,5
	Moyenne des maximales	35,1	35,7	35,5	35,8	35,7
<b>Août</b>	Moyenne des minimales	24,4	23,6	24,6	24	24,8
	Moyenne des maximales	33,8	32,4	34	33	34,3
<b>Septembre</b>	Moyenne des minimales	25,1	25,5	25,5	25,5	24,7
	Moyenne des maximales	35,4	36,2	36,5	35,7	35,3
<b>Octobre</b>	Moyenne des minimales	25,4	24	24,5	26,6	25,7
	Moyenne des maximales	38,5	39	39,3	39,2	39,5

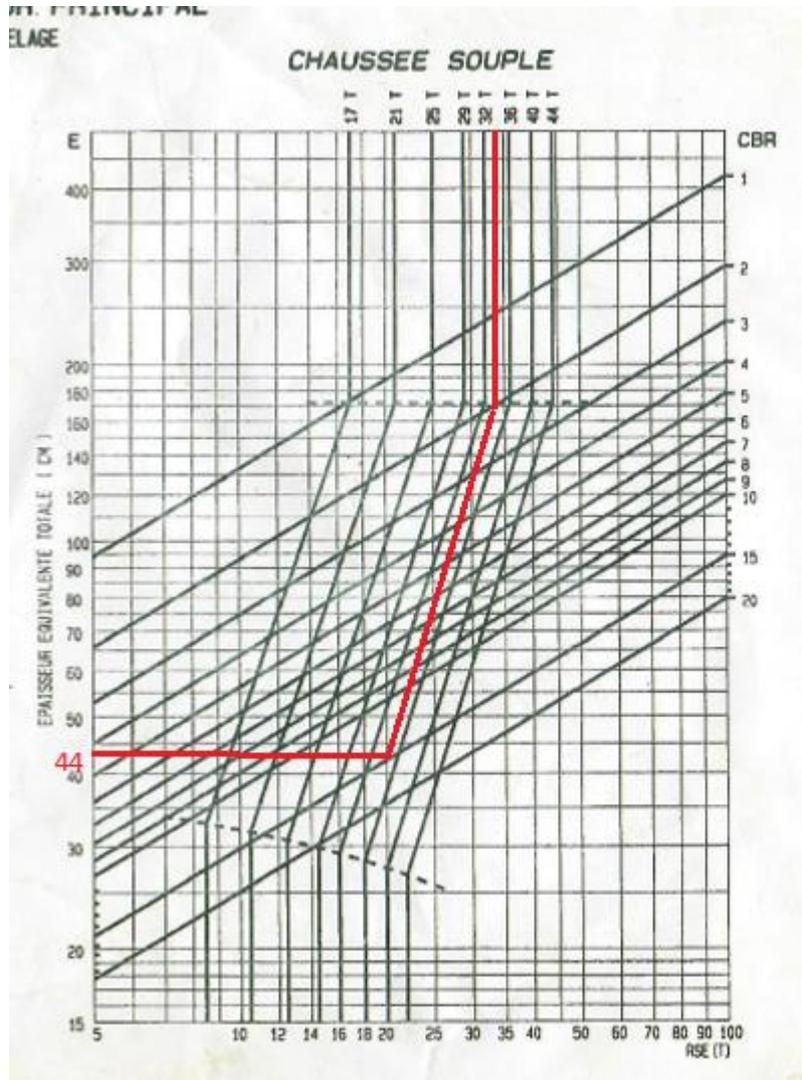
<b>Novembre</b>	Moyenne des minimales	22,6	21,3	21,4	22,1	21,7
	Moyenne des maximales	38,9	38,7	38,4	37,4	38,6
<b>Décembre</b>	Moyenne des minimales	19,3	17,9	17,9	17,5	20,4
	Moyenne des maximales	34,8	33,1	33,8	30,4	31,3
<b>Moyenne annuelle</b>	Moyenne des minimales	24	23,7	23,6	23,7	24
	Moyenne des maximales	37,1	37,7	37,5	36,9	36,6
<b>moyenne max plusieurs années</b>	37,16					
<b>Source : Direction de la Météorologie Nationale</b>						

**ANNEXE 3 : caractéristiques de la piste de décollage et d'atterrissage en fonction de la catégorie de l'aérodrome**

	<b>Code lettre</b>						<b>Code chiffre</b>
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	
<b>LARGEUR DES PISTES</b>							
Piste équipée pour les approches de précision	30 m	30 m	30 m	-	-	-	1
	30 m	30 m	30 m	-	-	-	2
	30 m	30 m	30 m	45 m	-	-	3
	-	-	45 m	45 m	45 m	60 m	4
Piste revêtue équipée pour les approches classiques et à vue	18 m	18 m	23 m	-	-	-	1
	23 m	23 m	30 m	-	-	-	2
	30 m	30 m	30 m	45 m	-	-	3
	-	-	45 m	45 m	45 m	60 m	4
Piste non revêtue	50 m	50 m	-	-	-	-	1 et 2
	80 m	80 m	-	-	-	-	Planeur
<b>PROFIL EN LONG</b>							
Pente longitudinale moyenne	2%	2%	2%	-	-	-	1
	2%	2%	2%	-	-	-	2
	1%	1%	1%	1%	-	-	3
	-	-	1%	1%	1%	1%	4
Pente longitudinale Ponctuelle	2%	2%	2%	-	-	-	1
	2%	2%	2%	-	-	-	2
	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	-	-	3
	-	-	1,25%	1,25%	1,25%	1,25%	4
Changement de pente longitudinale	2%	2%	2%	-	-	-	1
	2%	2%	2%	-	-	-	2
	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	-	-	3
	-	-	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	4
Rayon de raccordement minimum	7500 m	7500 m	7500 m	-	-	-	1
	7500 m	7500 m	7500 m	-	-	-	2
	15000 m	15000 m	15000 m	15000 m	-	-	3
	-	-	30000 m	30000 m	30000 m	30000 m	4

Hauteur au dessus de la piste (Distance de visibilité)	1,5 m	2 m	3 m	3 m	3 m	3 m	1, 2, 3, 4
<b>PROFILS EN TRAVERS</b>							
Pentes transversales	2%	2%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1, 2, 3, 4

ANNEXE 4 :calcul des épaisseurs équivalentes et choix de structure de chaussée.



L'indice CBR du sol support étant 15 on trouve par projection sur l'abaque de dimensionnement des chaussées souples, une épaisseur équivalente totale de 44 donc nous retenons une épaisseur équivalente de 45cm.

1. Choix de structure de chaussée

Tableau des coefficient d'équivalence des différentes couches de matériaux

Matériaux neufs	Ce
Béton bitumineux, enrobé dense	2
Grave bitume	1,5
Grave émulsion	1,2
Grave latéritique non traité	0,67
Grave traitée aux liants hydrauliques(ciment, cendres) volantes, chaux)	1
sable traité aux liants hydrauliques(ciment, laitier)	1
grave roulée	0.75
Sable	0.5
GNT(grave non traité)	1

Itérations menées pour le choix des épaisseurs réel des couches de matériaux

option 1						
couche	matériaux	épaisseur	Ce	E corrigée	Ee	E calculé
Roulement	BBA	5	2	10	56	48,75
Base	GNT	15	1	15		
fondation	GLNT	30	0,67	16,75		

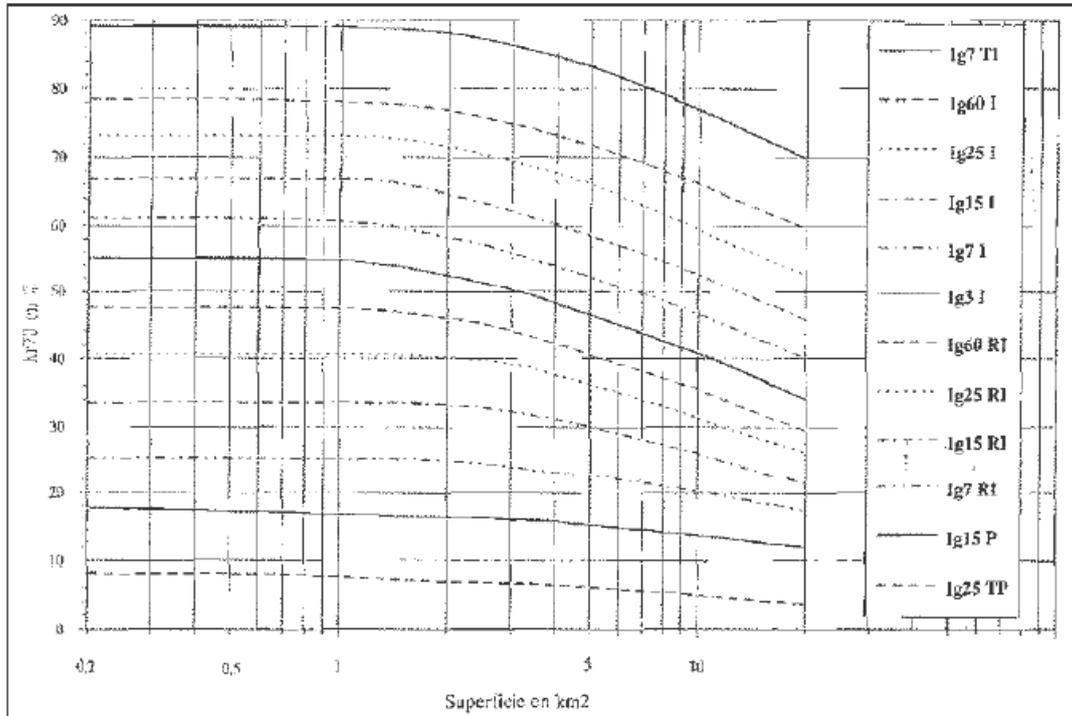
option 2						
couche	matériaux	épaisseur	Ce	E corrigée	Ee	E calculé
Roulement	BBA	5	2	10	56	55,1
Base	GNT	20	1	15		
fondation	GLNT	35	0,67	20,1		

annexe 5 tableau de choix des équation pour le calcul du débit décennal par la méthode CIEH

DECOUPAGE PAR PAYS OU GROUPES DE PAYS									
Afrique de l'Ouest (de 10°E à 10°W)									
25	S, Kr <sub>10</sub>	295	0.628	0.792	1.41	0.542			0.511
26	S, Kr <sub>10</sub> , PM <sub>10</sub>	295	0.654	0.809	146	0.479		-0.969	0.457
27	S, Kr <sub>10</sub> , Ig	288	0.650	0.806	0.560	0.619	0.279		0.510
Afrique centrale									
28	S, Kr <sub>10</sub>	50	0.738	0.859	0.521	0.625			0.876
29	S, Kr <sub>10</sub> , IG, PM <sub>10</sub>	49	0.815	0.903	893	0.773	0.567	-2.051	0.923
30	S, Kr <sub>10</sub> , Ig	49	0.778	0.882	0.109	0.771	0.419		0.887
Sénégal + Mauritanie									
31	S, PM <sub>10</sub>	40	0.563	0.750	5450000	0.215		-2.830	
32	Kr <sub>10</sub>	35	0.843	0.918	0.288	0.405			1.117
33	Kr <sub>10</sub> la	35	0.851	0.922	0.195	0.471	0.239		1.046
Côte d'Ivoire									
34	S	37	0.713	0.844	4.83	0.562			
35	S, Ig	34	0.729	0.854	2.29	0.651	0.216		
36	S, PM <sub>10</sub>	36	0.706	0.840	0.000174	0.645		2.149	
37	Kr <sub>10</sub>	31	0.791	0.889	0.380	0.586			0.805
38	Kr <sub>10</sub> , Ig	28	0.787	0.887	0.275	0.618	0.099		0.798
Burkina Faso									
39	Kr <sub>10</sub>	61	0.818	0.904	0.410	0.425			0.923
40	S Kr <sub>10</sub> Ig	60	0.824	0.908	0.254	0.462	0.101		0.976
Burkina Faso + Mali + Niger									
41	S Kr <sub>10</sub>	137	0.688	0.829	0.407	0.532			0.941
42	S Kr <sub>10</sub> Ig	133	0.755	0.869	0.0912	0.643	0.399		1.019
43	S A*P <sub>10</sub>	133	0.589	0.767	35600	0.342		-1.808	
44	S, Kr <sub>10</sub> PM <sub>10</sub>	133	0.757	0.870	203	0.459		-1.301	0.813
45	S, Ig PM <sub>10</sub>	130	0.592	0.769	22400	0.363	0.059	-1.748	
Tchad + Nord Cameroun (Fan <1000 mm)									
46	S Ig	55	0.638	0.799	1.28	0.412	0.739		
47	S Kr <sub>10</sub>	49	0.838	0.915	0.525	0.530			0.950
48	S Kr <sub>10</sub> Ig	48	0.884	0.940	0.105	0.709	0.432		0.949

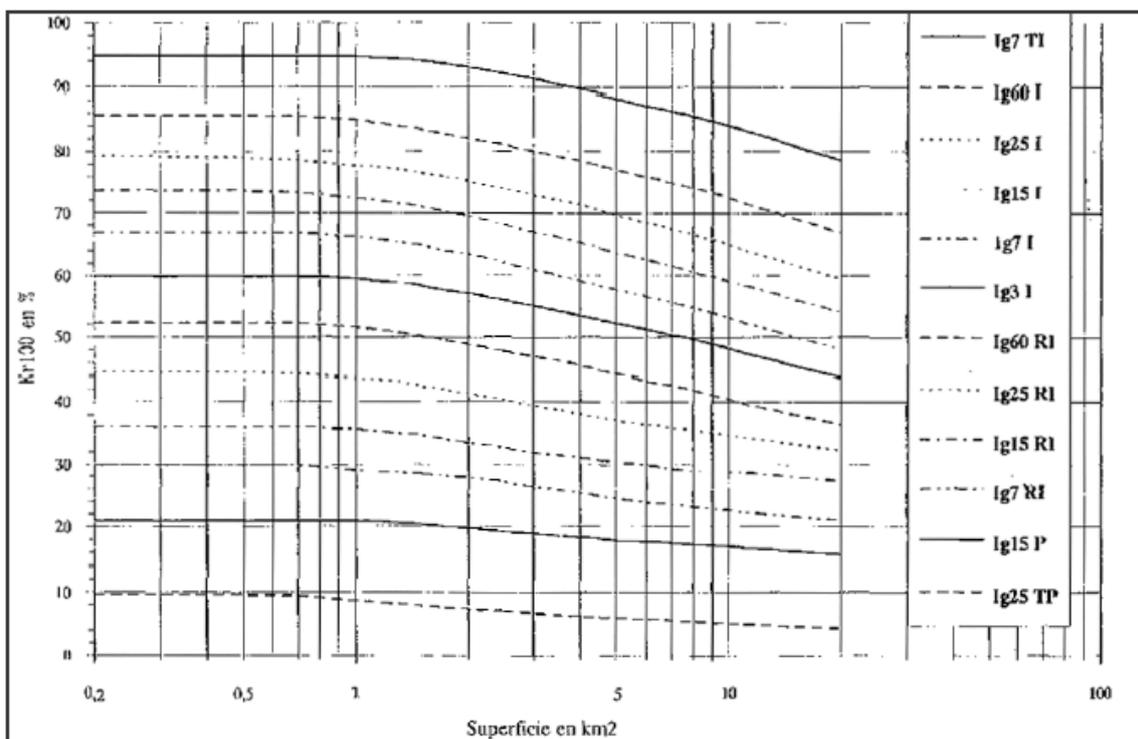
Annexe 6 :abaque de détermination de Kr70 et Kr100

abaque 1 :Détermination du coefficient de ruissellement décennal Kr70



(2)

abaque 2 détermination du coefficient de ruissellement décennal Kr100



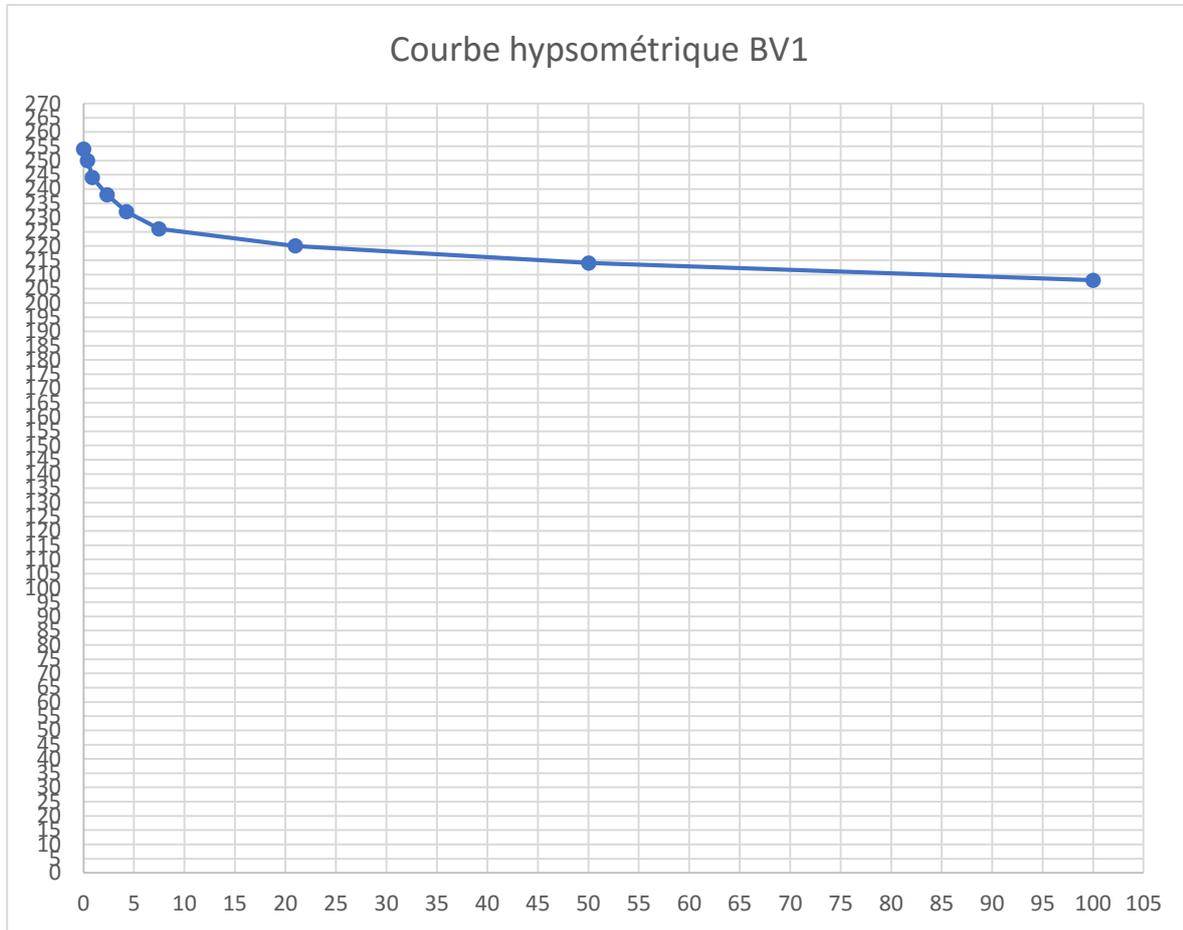
annexe 7 :détermination de l'altitude du bassin en fonction du pourcentage de la superficie à cette même altitude et tracé des courbes hypsométriques.

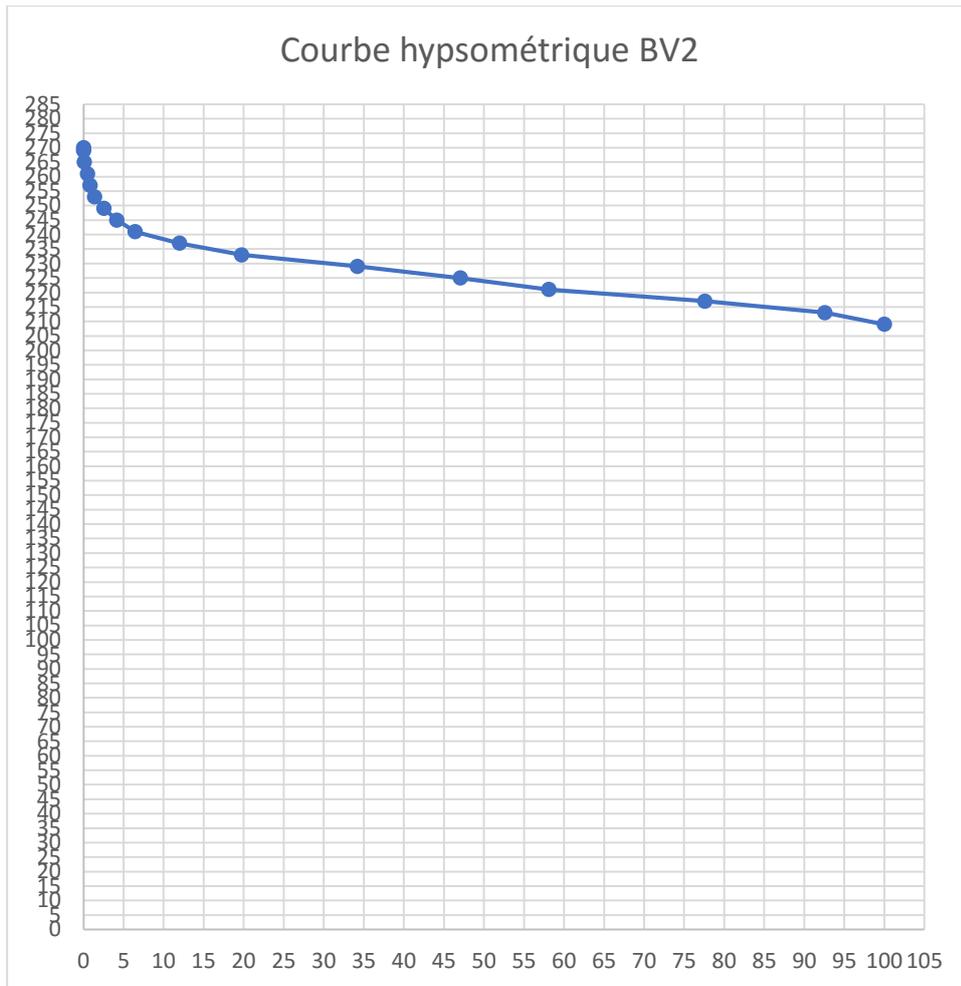
BV1 réel		
altitude	superficie	%superficie
208	1,303	100
214	0,652	50,03837299
220	0,2734	20,98234843
226	0,0975	7,482732157
232	0,0556	4,267075979
238	0,03035	2,329240215
244	0,01157	0,887950883
250	0,00534	0,409823484
254	0	0

BV2		
altitude	surface	% SURFACE
209	3,059	100
213	2,832	92,5793
217	2,373	77,5744
221	1,778	58,1236
225	1,439	47,0415
229	1,046	34,1942
233	0,604	19,745
237	0,3663	11,9745
241	0,1973	6,44982
245	0,1277	4,17457
249	0,0779	2,54658
253	0,04174	1,3645
257	0,02469	0,80713
261	0,01508	0,49297
265	0,002603	0,08509
269	0	0

270	0	0
-----	---	---

**Courbes hypsométriques pour le calcul de  $I_g$  :**





## Annexe 8 :étapes de dimensionnement hydraulique des ouvrages type dalot

Connaissant le débit provenant des bassins versants et le coefficient de rugosité du béton, le dimensionnement hydraulique passe par les étapes de dimensionnement suivantes :

- Vérification de la hauteur amont de H1 de l'écoulement selon le mode de fonctionnement de l'ouvrage
- Vérification de la condition de vitesse :la vitesse d'écoulement de l'ouvrage ne doit pas dépasser la vitesse normale qui est de 3,5 m/s
  1. Les étapes de dimensionnement hydraulique
    - a) Etape 1 calcul de profondeur en amont H1

IL s'agit de calculer la profondeur amont et de vérifier si celle-ci est conforme à la situation topographique de l'ouvrage. Pour cela grâce à la valeur du débit du projet calculé précédemment on se fixe des valeurs itératives de B de D de sorte à ne pas dépasser la vitesse maximale qui est de 3,5m/s.

Connaissant la valeur de B, D, et Q on peut en déduire la valeur de Q\* selon la formule

$Q^* = \frac{Q}{BD\sqrt{2gD}}$  . Après avoir calculé la valeur de Q\* on peut en déduire la valeur de H\* en utilisant l'abaque à **annexe numéro 10**. Cette valeur de H\* va permettre de calculer la valeur de H1 à travers la relation  $H^* = \frac{H1}{D}$  dont on vérifiera la compatibilité avec le projet. La compatibilité permet de vérifier si H1 est inférieur à 1.25\*D pour un écoulement à sortie libre dénoyé.

Il faut maintenant s'assurer que la vitesse de l'eau dans l'ouvrage reste dans les limites admissibles. Pour cela il faut d'abord passer par le calcul de la pente critique de l'ouvrage (Ic).

- b) Etape 2 : Calcul de la pente critique Ic :

L'ouvrage doit avoir la capacité d'évacuer le débit critique qui gravite vers l'exutoire. Pour cela, il faut que la pente longitudinale de l'ouvrage soit au moins égale à la pente critique Ic. La procédure de calculer de la pente critique de l'ouvrage (notée Ic) qui guidera le choix de la pente longitudinale de l'ouvrage (noté I) se présente comme suit :

On calcule le débit réduit pour une pente critique connaissant la largeur B du dalot et q le débit à évacuer par la formule :  $Q^* = \left( \frac{q}{\sqrt{gB^5}} \right)$

Le calcul de Q\* va permettre de déterminer la valeur de Ic\* par utilisation de l'abaque. Connaissant le coefficient de rugosité du béton, la valeur de Ic\* nous guidera par interpolation

à la détermination de la pente critique à travers la formule :  $I_c = \left( \frac{g \times I^* c}{K^2 \times D^3} \right)$ .

L'abaque utile pour la détermination de la pente critique  $I_c^*$  en fonction du débit réduit  $Q^*$  est présenté à l'annexe (10)

c) Etape 3 : calcul de la vitesse dans l'ouvrage

Il s'agit de vérifier la vitesse de l'eau dans l'ouvrage en s'assurant que si celle-ci ne dépasse pas la vitesse limite qui est de 3,5 m/s ; d'autre part si cette vitesse reste suffisante pour éviter de dépôt des débits solide par charriage. Le calcul de la vitesse de déroule comme suit :

On calcule le débit  $q^*$  à partir des formules dérivées de Manning et en fonction de la pente longitudinale retenue par la relation :  $q^* = \left( \frac{q}{K \times I^{1/2} \times B^{8/3}} \right)$

Cette valeur réduite  $q^*$  donne, grâce à l'abaque, la valeur de  $V^*$  de laquelle l'on déduit la valeur de  $V$  recherchée grâce à la formule :  $V = (V^* \times I^{1/2} \times K \times B^{2/3})$

Si la vitesse est acceptable les valeurs de  $B$  et  $D$  seront retenu, sinon il faut changer les paramètres d'ouvertures et reprendre totalement tout le cheminement.

L'abaques utilisée pour détermination de  $V^*$  en fonction de  $q^*$  est présenté dans l'annexe 10 . Les tableaux qui suivent récapitulent les paramètres de calcul et les vérifications menées pour les deux ouvrage OH1 et OH2

Tableau 40 :calcul de la hauteur amont H1

calcul H1	Q	N ouverture	q	B	D	Q*	H*	H1	1,25*D
	27,39	3	9,13	3	1,5	0,33648	0,9	1,35	1,875

La hauteur amont  $H1 < 1,25 D$  alors la profondeur est parfaitement acceptable. On passe alors à la vérification de la condition de vitesse.

Tableau 41 :calcul de la pente critique de l'ouvrage  $I_c$

Calcul de la pente $I_c$	Q	N ouverture	q	B	D	Q*	$I^*$	$I_c$
	27,39	3	9,13	3	1,5	0,1871	2,8	0,0053

Tableau 42 :vérification de la condition de vitesse dans l'ouvrage

calcul de vitesse	Q	N ouverture	q	B	D	Q*	$v^*$	V	Vmax
	27,39	3	9,13	3	1,5	0,0996	0,34	3,46	3,5

La vitesse dans l'ouvrage est inférieure à la vitesse maximale d'écoulement donc un ouvrage de 3\*3\*2 peut être retenu

- Dimensionnement Hydraulique OH(1-2)

calcul H1	Q	N ouverture	q	B	D	Q*	H*	H1	1,25*D
	24,85	2	12,425	3	2	0,3308	0,9	1,8	2,5
Calcul de la pente Ic	Q	N ouverture	q	B	D	Q*	I*	Ic	
	24,85	2	12,425	3	2	0,2546	3	0,0052	
calcul de vitesse	Q	N ouverture	q	B	D	Q*	v*	V	Vmax
	24,85	2	12,43	3	2	0,1374	0,345	3,47	3,5

- Dimensionnement hydraulique OH2

Tableau 43 Calcul de la hauteur amont H1

calcul H1	Q	N ouverture	q	B	D	Q*	H*	H1	1,25*D
	35,27	4	8,8175	3	1,5	0,3614	0,93	1,395	1,875

La hauteur amont  $H1 < 1,25 D$  alors la profondeur est parfaitement acceptable. On passe alors à la vérification de la condition de vitesse.

Tableau 44 calcul de la pente critique Ic

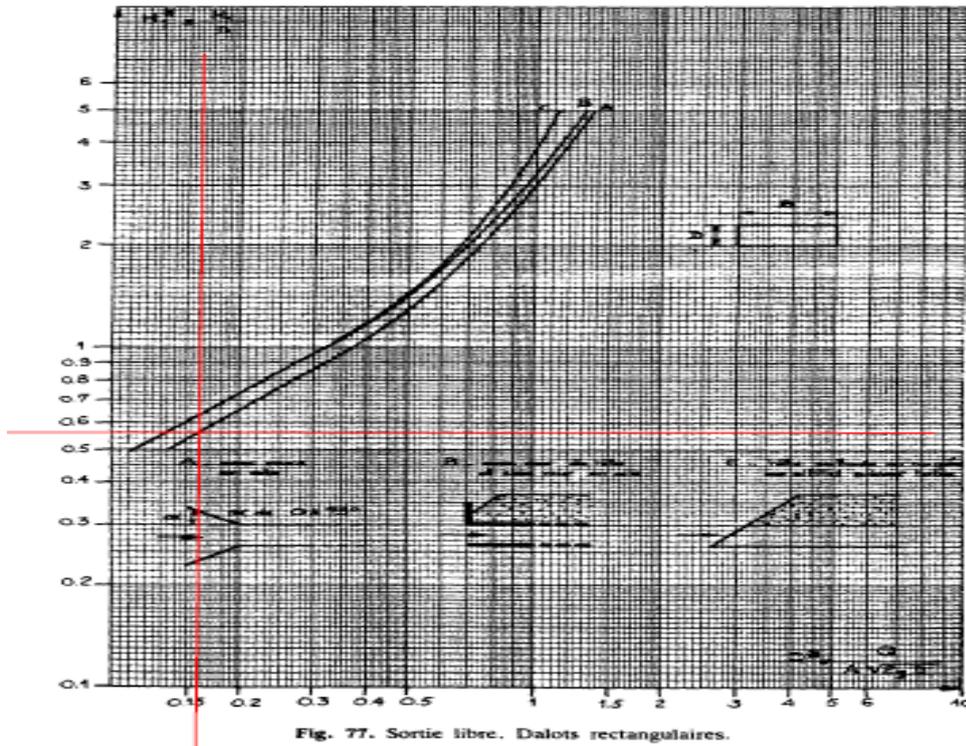
Calcul de la pente Ic	Q	N ouverture	q	B	D	Q*	I*	Ic
	35,27	4	8,8175	3	1,5	0,1807	2,8	0,0053

Tableau 45 : vérification de la condition de vitesse

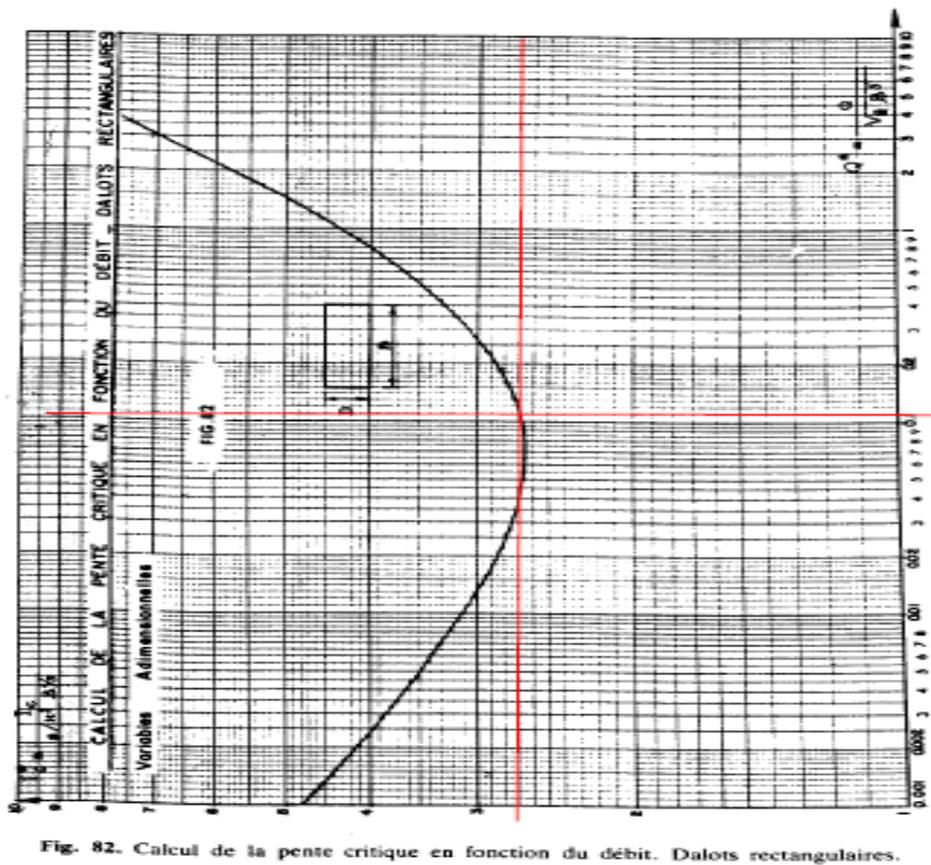
calcul de vitesse	Q	N ouverture	q	B	D	Q*	v*	V	Vmax
	35,27	4	8,82	3	1,5	0,0962	0,34	3,46	3,5

La vitesse dans l'ouvrage est inférieure à la vitesse maximale d'écoulement donc un ouvrage.

annexe 9 :abaques de dimensionnement hydraulique



abaque 3 :détermination de la hauteur amont H1



abaque 4 :détermination de la pente critique dans l'ouvrage

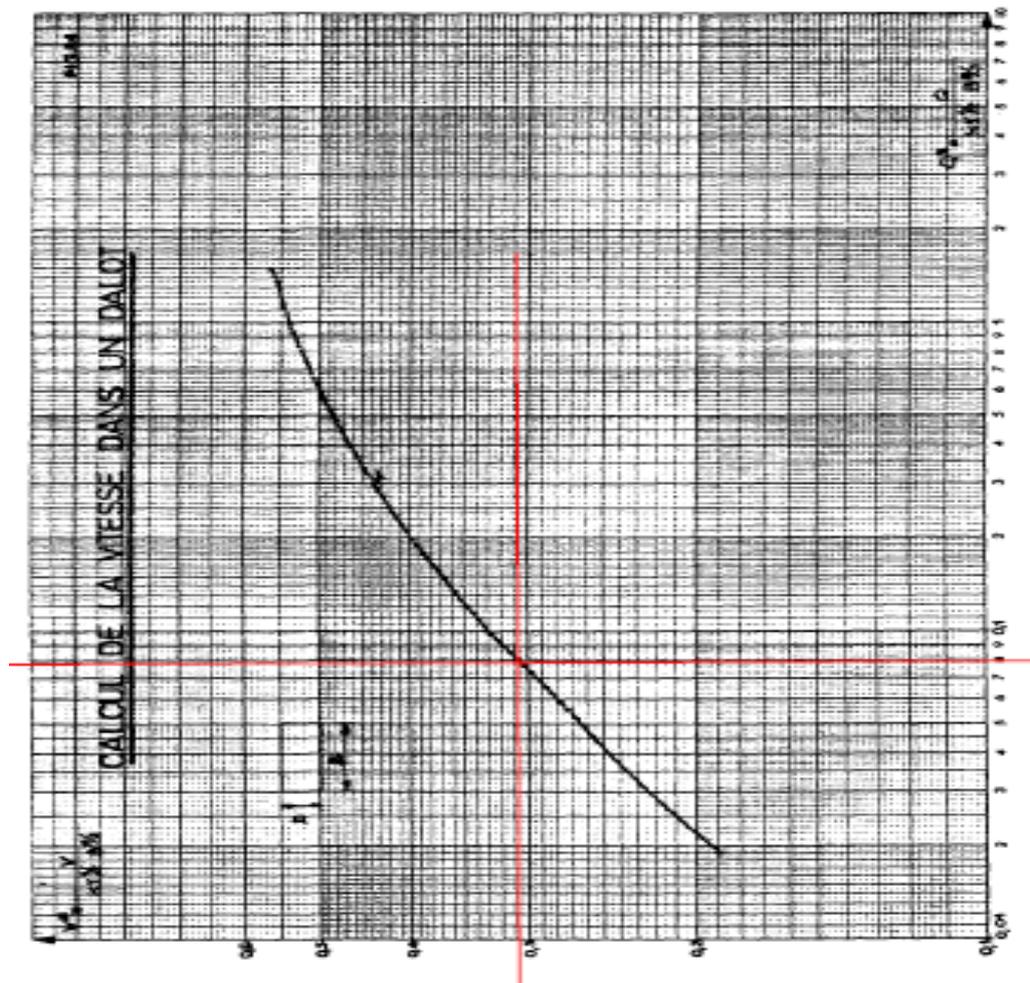
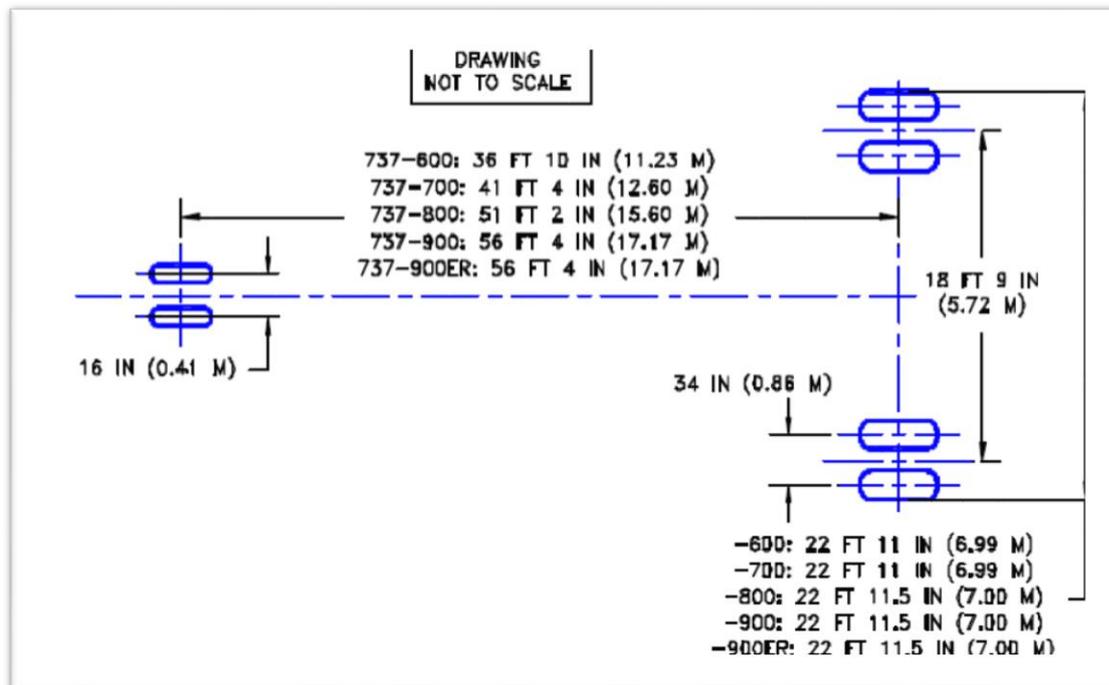


Fig. 84. Calcul de la vitesse dans un dalot.

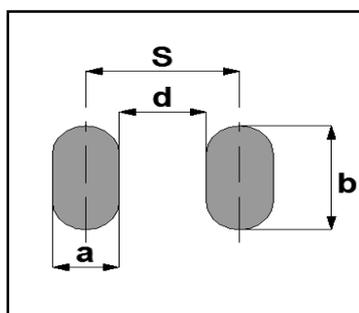
abaque 5 détermination de la vitesse de l'écoulement dans le dalot

annexe 10 détermination des dimensions de roues

Configuration des trains d'atterrissage des Boeing 737.



Configurations du jumelage des roues atterrisseur arrière



Les dimensions des roues sont calculées par la méthodes Boyd et Foster a partir données connues qui sont écartement entre les deux roues d'atterrisseur  $S = 86$  cm et la pression de gonflage des pneumatiques  $q = 1,41$  MPa. Elles nous permettront de déterminer  $d$ ,  $a$  et  $b$  afin de connaître la surface d'impact ou de contact des roues

- Calcul de  $d$

$$d = S - 0,26 \times \sqrt{\frac{P}{q}}$$

$P$  représente la charge reçue par chaque atterrisseur en kg. Dans notre cas d'étude elle est

égale à 45,85% de la masse maximale au décollage de l'aéronef soit  $P = 33288$  kg.

Nous obtenons après calcul  $d = 46,050$  cm ; soit  **$d = 47$  cm**

- Calcul de a

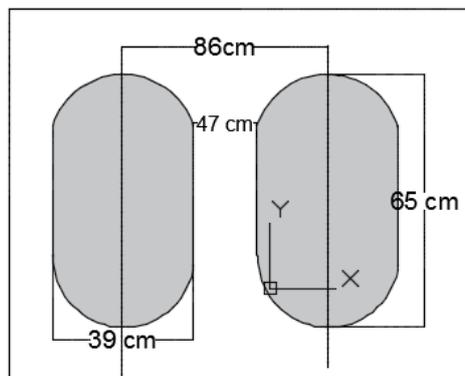
$$a = S - d$$

Nous obtenons après calcul  **$a = 39$  cm** ;

- Calcul de b

D'après le document de l'ITAC-Décembre 1998 chapitre 5 portant sur la conception des chaussées aéronautiques, nous avons  **$a = 0,6 \times b$** . Par déduction nous obtenons  $b = 65$  cm ; soit  **$b = 65$  cm**

Nous aboutissons alors les dimensions suivantes :



annexe 11 : calcul du numéro PCN et détermination des caractéristique du code PCN

1. Calcul du numéro PCN

Le numéro PCN se calcul par la formule ci-après :

$$PCN = H(CBR) * RSI$$

Où

H(CBR) est un coefficient qui est fonction du CBR du sol support

RSI (roue simple isolé) est le coefficient qui est fonction de l'épaisseur équivalente de la chaussée

- Calcul du RSI : (l'aviation, 2013)

Le RSI représente la charge sur une roue simple isolée gonflée à 0,6 MPA, caractéristique de

$$RSI = \frac{e^2}{100} * \frac{6.12}{(4,231 - 5.013 * \log\left(\frac{CBR}{0.6}\right) + 2.426 * \log\left(\frac{CBR}{0.6}\right)^2 - 0.473 * (\log\left(\frac{CBR}{0.6}\right))^3)^2}$$

Avec :

e : l'épaisseur équivalente de la chaussée obtenue par la méthode forfaitaire en cm

RSI : roue simple équivalente en tonne

Log : logarithme décimal

la portance de la chaussée considérée. Cette charge est déterminée par la formule ci-après :

Récapitulatifs des paramètres de calcul de la charge admissible sur une roue isole gonflé à 0,9 Mpa

CBR	Epaisseur équivalente totale de la structure	RSI
15	45	17

- Le coefficient H(CBR) pour les chaussées souples est déterminé à travers l'abaque (6)

**Source : Documentation ANAC Niger**

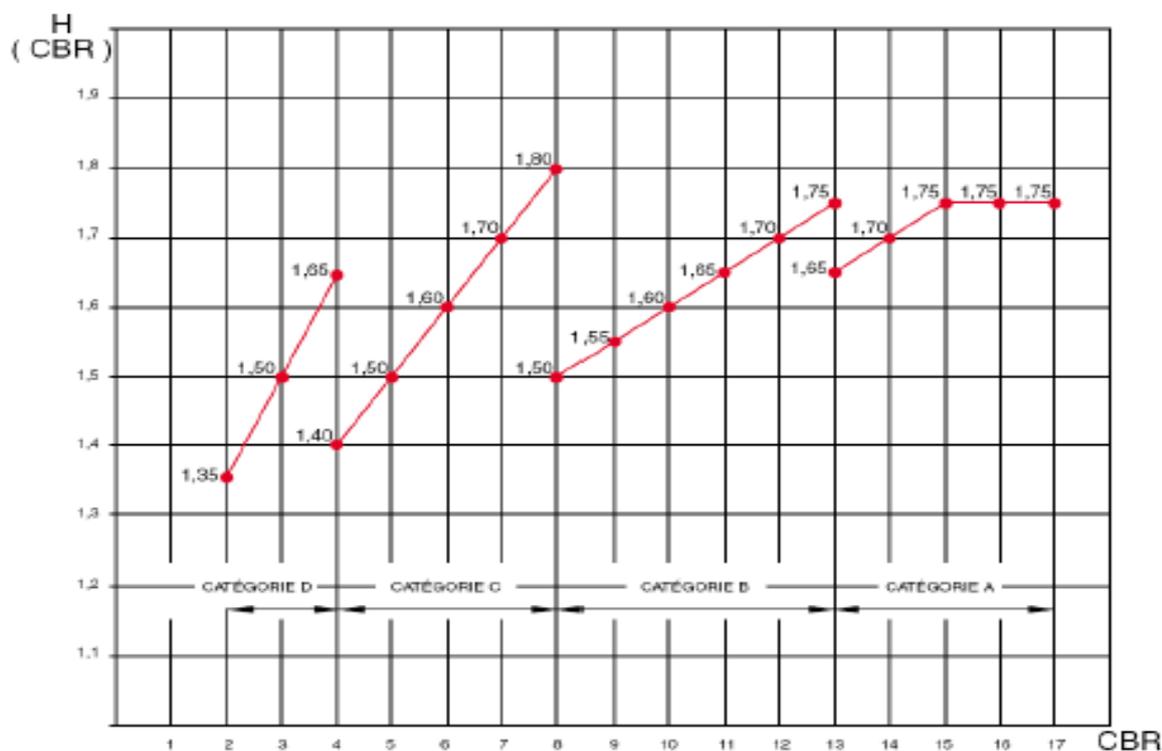


Figure II : Coefficient H (CBR) pour les chaussées souples

abaque 6 : abaque de détermination du coefficient H(CBR)

Pour un indice CBR du sol support supérieur ou égale à 15, codifié dans la catégorie A (sol support à résistance élevée), le coefficient H(CBR) à considérer est de **1,75**.

**Par application de la formule générale, le numéro PCN retenu est alors de :**

$$PCN = 1,75 * 17 = 30 \text{ Soit un numéro PCN DE 30.}$$

2. Détermination du code PCN qui renseigne sur la portance de la chaussée aéronautique

L'exploitation des tableaux ci-après permettra de déterminer le code PCN correspondant :

Tableau 46 : type de chaussée de l'aérodrome

type de chaussée pour la détermination du code PCN	
TYPE DE CHAUSSEE	Lettre de code
chaussée souple	F
chaussée rigide	R

Tableau 47 :catégories du sol support

Catégorie de résistance du terrain de fondation pour une chaussée souple	
type de résistance en fonction du CBR	lettre de code
CBR>13 : résistance élevée	A
8<CBR<13 :résistance moyenne	B
4<CBR<8résistance faible	C
CBR<4 résistance ultra faible	D

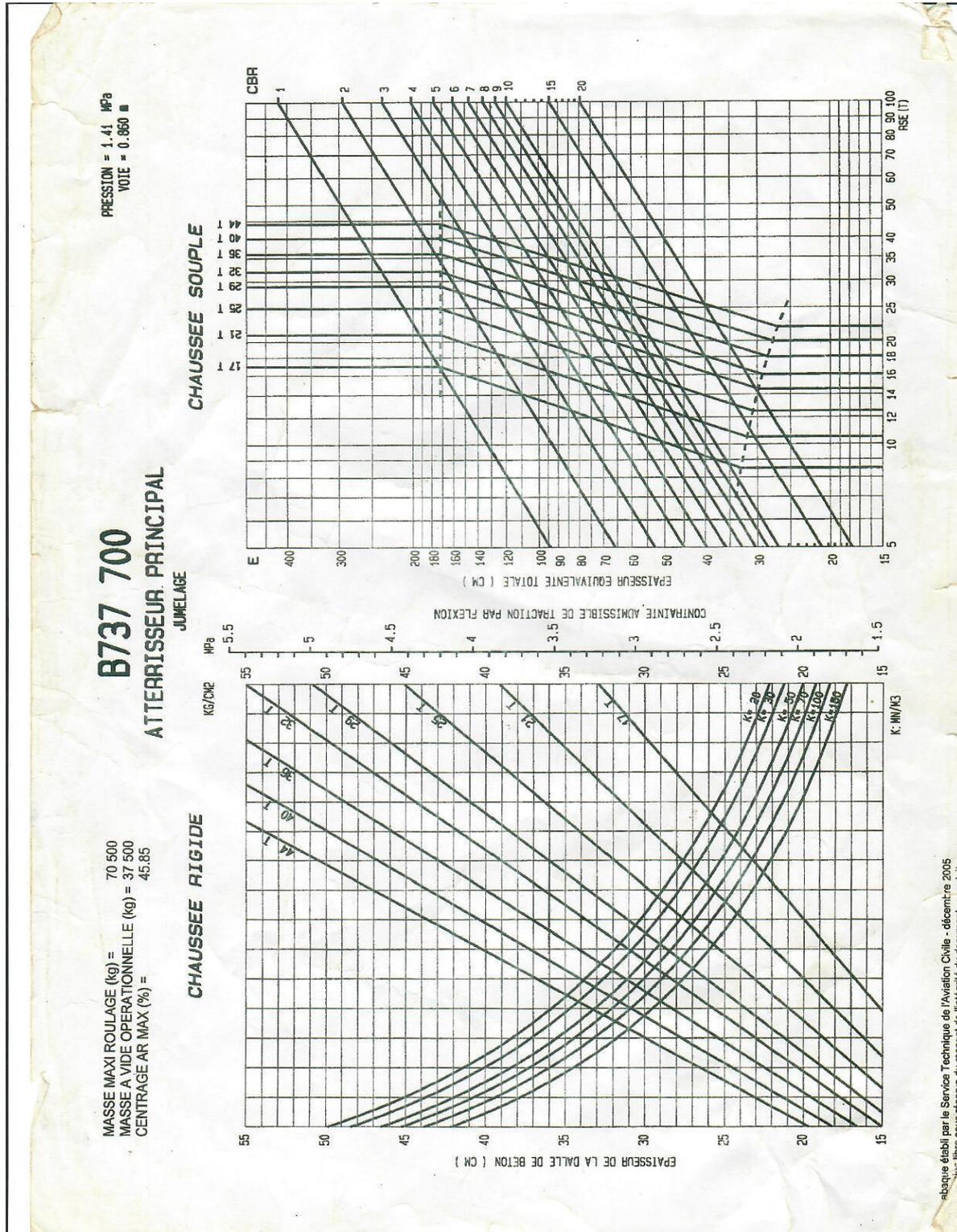
Tableau 48 :catégorie de pression des pneumatiques

catégorie de pression des pneus	
Pression	
Illimité: pas de limitation de pression	W
Elevée :pression limitée à 1,75 MPA	X
Moyenne: pression Limitée à 1,25	Y
Faible: pression limitée à 0,5 MPA	Z

Tableau 49 :mode d'évaluation

Méthode d'évaluation	
Méthode	Lettre de code
évaluation technique :étude spécifique des caractéristiques de la chaussée et utilisation des techniques d'étude du comportement des chaussées	T
évaluation faisant appel à l'expérience acquise par les avions connaissance du type et de la masse spécifique des avions utilisés régulièrement et que la chaussée supporte de façon satisfaisante	U

annexe 12 : catalogue de l'avion et configuration des atterrisseurs d'avion

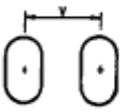
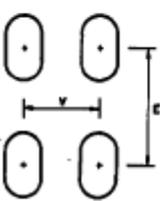


Catalogue donnant la masse maximale au décollage de l'avion

## Nouvelle génération de Boeing 737

	737-600	737-700	737-700ER	737-800	737-900ER
Capacité (passagers)	110-132	120-149	110-130	162-189	180-215
Cargo (volume)	20,4 m <sup>3</sup>	27,3 m <sup>3</sup>	23,3 m <sup>3</sup>	44 m <sup>3</sup>	51,7 m <sup>3</sup>
Longueur	31,2 m	33,6 m	33,6 m	39,5 m	42,1 m
Envergure	34,3 m ou 35,8 m (avec winglets)				
Hauteur	12,6 m	12,5 m			
Diamètre extérieur	3,53 m				
Poids maximal au décollage	66 000 kg	70 080 kg	74 850 kg	79 010 kg	85 350 kg

### Configuration des atterrisseurs d'avion :

Géométrie	Type d'atterrisseur	Exemples	V	E	Masses supportées	Pression de gonflage des pneumatiques
	ROUE SIMPLE	- avions légers	—	—	jusqu'à 5 t	0,3 - 0,6 MPa
	JUMELAGE (ou DIABOLO)	- avions légers - courts et moyens courriers	50-90 cm	—	5 à 40 t	0,6-1,2 MPa
	TANDEM	- avions militaires (configuration rare)	—	130-170 cm	10 à 20 t	0,4-0,8 MPa
	BOGGIE	Tous types sauf avions légers. Principalement long-courriers	40-140 cm	100-180 cm	20 à 90 t	1 - 1,6 MPa

VOIE (V) : distance entre deux roues d'un même essieu.  
EMPATTEMENT (E) : distance entre l'essieu avant et l'essieu arrière.

annexe 13 :dimensionnement structurale du dalot 3\*3\*1,5

### **Note de calcul du dalot :3\*3\*1.5 m**

#### **1. DESCRIPTION DE L'OUVRAGE :**

#### **Reference et règles de calcul**

- Règles BAEL 91, modifiée 99 ;
- Fascicule n° 61, Titre II : concernant les charges d'exploitation - Conception Calcul et Épreuves des ouvrages d'art ;
- Fascicule 62, titre V : Règles techniques de conception et de calcul des fondations des Ouvrages de Génie civil ;
- ITAC –JUN 1999 – Conception des chaussées aéronautiques

✓ Pré dimensionnement de l'ouvrage

✚ Calcul des épaisseurs :

Les épaisseurs du radier et des pieds droits sont calculées selon les formules suivantes :

- $e_r = \frac{B}{18} + 0,125$
- $e_p = e_r - 0,05$

Pour une largeur d'ouverture B de 3 m on maintient une épaisseur minimale de 30 cm sur toute les parties de l'ouvrage. Après vérification une épaisseur de 30 cm indique la présence d'aciers comprimés. Cela impose l'augmentation de l'épaisseur des sections. Donc par la suite nous avons doublé l'épaisseur sur toute les parties de l'ouvrage. Pour éviter les aciers comprimés

Epaisseur de la dalle : 0,6m

Epaisseur du radier : 0,6 m

Epaisseur des voiles 0,6m

Hauteur piédroits : 1,5m

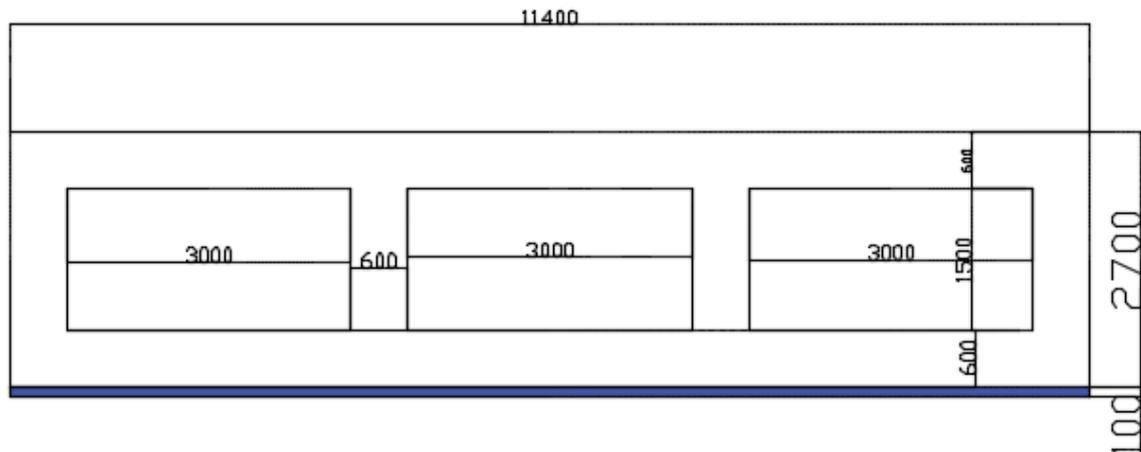
Largeur rouable=largeur chargeable **Largeur de la piste + 2\*la largeur des accotements**

$$30+(7.5*2)=45 \text{ m}$$

Porté de la travée **3 m**

Ouverture hydraulique **3\*3\*1,5**

Classe du pond  $L_R \geq 7m$  pond classe 1



## 2. Hypothèses de calculs :

Matériaux	BETON
Dosage :	$350 \text{ kg/m}^3$
Résistance en compression :	$f_{c28} = 30 \text{ Mpa}$
Résistance en traction :	$f_{t28} = 0,6 + 0,06f_{c28} = 2,4$
Densité du béton	$25 \text{ kg/m}^3$
Contrainte admissible du béton en compression à l'ELU	$\sigma_{bc} = \frac{0,85 * f_{c28}}{1,5} = \frac{0,85 * 30}{1,5} = 17 \text{ Mpa}$
Contrainte admissible du béton en compression à L'ELS :	$\bar{\sigma}_{bc} = 0,6 * f_{c28} = 0,6 * 30 = 18 \text{ Mpa}$

<b><u>Acier</u></b>	
Nuance	Acier a Haute Adhérence (HA) FeE500
Fissuration préjudiciable :	$\bar{\sigma}_s = \min \left\{ \frac{2}{3} f_e; \max(0,5 f_e; 110 \sqrt{n f_{t28}}) \right\}$
	=250

<b><u>Remblais</u></b>	
Remblai d'accès en graveleux latéritique	Remblais : Latérite – densité 20 KN/m <sup>3</sup> et le
Remblai sur dalot en graveleux latéritique	$\gamma_d = 20 \text{ kg/m}^3$ et épaisseur 80 cm
Coefficient de poussée des terres	Ka=0.333

### 3. SCHEMA STATIQUE DE L'OUVRAGE



### 4. Méthode de calcul :

- Cas des charges permanentes

De manière générale, les études seront faites par bande d'un (01) mètre de dalot (b=1m) suivant la largeur de celui-ci.

Considérant la symétrie de géométrie de l'ouvrage et la non symétrie de chargement, nous avons considéré que les piédroits intermédiaires sont dimensionnés en compression simple, ce

qui nous permet d'annuler le moment au niveau de ces piédroits. Cette hypothèse justifie la possibilité d'utiliser la méthode des rotations pour l'étude de l'équilibre de chaque nœud.

Désignons par :

$M_{i,j}$  = moment statique appliqué au nœud  $i$  sur la barre  $i, j$

$m_{i,j}$  = moment d'encastrement appliqué au nœud  $i$  par la barre  $j$  (déterminé par les charges appliquées à la barre)

$a_i$  = rotation du nœud  $i$

$K_1$  = caractéristique de la rigidité des barres horizontales =  $\frac{2 \cdot E \cdot I_1}{L} = \frac{2 \cdot I_1}{L}$

$K_2$  = caractéristique de la rigidité des barres verticale =  $\frac{2 \cdot E \cdot I_2}{L} = \frac{2 \cdot I_2}{L}$

$M_{i,j} = k \times (2 \times a_i + a_j) + m_{i,j}$ ,  $k = k_1$  ou  $k_2$

$B_i$  = constante du nœud  $i$

En considérant pour l'ouvrage, une bande de largeur  $b = 1m$  et pour une hauteur  $h = 600m$

$$I_1 = I_2 = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{600 \cdot 1000^3}{12} = 5 \cdot 10^{10} mm^4$$

$$k_1 = k_2 = \frac{2 \cdot 5 \cdot 10^{10}}{3600} = 2,7778 \cdot 10^{10} N/mm$$

$$2 \cdot (k_1 + K_2) = 1,11 \cdot 10^{11} N/mm$$

$$2 \cdot (2k_1 + K_2) = 1,667 \cdot 10^{11} N/mm$$

Récapitulatifs inertie dans les barres :

b (mm)	h (mm)	I mm <sup>4</sup>
600	1000	5.10 <sup>E+10</sup>

Rigidité dans les barres :

k1 (N/mm)	2,778.10 <sup>E+10</sup>
k2 (N/mm)	2,7778.10 <sup>E+10</sup>

L'application de l'équation d'équilibre sur les nœuds donne les relations suivantes :

L'Equilibre au noeud1

$$M_{1,2} + M_{1,8} = 0$$

en remplaçant  $M_{i,j}$  par leur expression on a:

$$k1 * (2 * a_1 + a_2) + m_{1,2} + k2 * (2 * a_1 + a_8) + m_{1,8} = 0$$

$$2 * (k1 + k2) * a_1 + k1 * a_2 + K2 * a_8 = -(m_{1,2} + m_{1,8})$$

A l'équilibre au nœud 2 :

$$M_{2,1} + M_{2,3} + M_{2,7} = 0$$

$$\rightarrow 2 * (2 * k1 + k2) * a_2 + k1 * a_1 + k1 * a_3 + K2 * a_7 = -(m_{2,1} + m_{2,3} + m_{2,7}) = b2$$

A l'équilibre au nœud 3 :

$$M_{3,2} + M_{3,4} + M_{3,6} = 0$$

$$\rightarrow 2 * (2 * k1 + k2) * a_3 + k1 * a_2 + k1 * a_4 + K2 * a_6 = -(m_{3,2} + m_{3,4} + m_{3,6}) = b3$$

A l'équilibre au nœud 4 :

$$M_{4,3} + M_{4,5} = 0$$

$$\rightarrow 2 * (k1 + k2) * a_4 + k1 * a_3 + K2 * a_5 = -(m_{4,3} + m_{4,5}) = b4$$

A l'équilibre au nœud 5 :

$$M_{5,4} + M_{5,6} = 0$$

$$\rightarrow 2 * (k1 + k2) * a_5 + k1 * a_6 + K2 * a_4 = -(m_{5,4} + m_{5,6}) = b5$$

A l'équilibre au nœud 6 :

$$M_{6,5} + M_{6,7} + M_{6,3} = 0$$

$$\rightarrow 2 * (2 * k1 + k2) * a_6 + k1 * a_5 + k1 * a_7 + K2 * a_3 = -(m_{6,5} + m_{6,7} + m_{6,3}) = b6$$

A l'équilibre au nœud 7 :

$$M_{7,8} + M_{7,6} + M_{7,2} = 0$$

$$\rightarrow 2 * (2 * k1 + k2) * a_7 + k1 * a_6 + k1 * a_8 + K2 * a_2 = -(m_{7,6} + m_{7,8} + m_{7,2}) = b7$$

A l'équilibre au nœud 8 :

$$M_{8,1} + M_{8,7} = 0$$

$$\rightarrow 2 * (k1 + k2) * a_8 + k1 * a_7 + K2 * a_1 = -(m_{8,7} + m_{8,1}) = b8$$

En équilibre à tous les nœuds, nous obtenons 8 équations à 8 inconnus à résoudre pour déterminer les coefficients :  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8$

$$\text{Noeud1: } 2 * (k1 + k2) * a_1 + k1 * a_2 + K2 * a_8 = -(m_{1,2} + m_{1,8})$$

$$\text{Noeud2: } 2 * (2 * k1 + k2) * a_2 + k1 * a_1 + k1 * a_3 + K2 * a_7 = -(m_{2,1} + m_{2,3} + m_{2,7}) = b2$$

$$\text{Noeud3: } 2 * (2 * k1 + k2) * a_3 + k1 * a_2 + k1 * a_4 + K2 * a_6 = -(m_{3,2} + m_{3,4} + m_{3,6}) = b3$$

$$\text{Noeud4: } 2 * (k1 + k2) * a_4 + k1 * a_3 + K2 * a_5 = -(m_{4,3} + m_{4,5}) = b4$$

$$\text{Noeud5: } 2 * (k1 + k2) * a_5 + k1 * a_6 + K2 * a_4 = -(m_{5,4} + m_{5,6}) = b5$$

$$\text{Noeud6: } 2 * (2 * k1 + k2) * a_6 + k1 * a_5 + k1 * a_7 + K2 * a_3 = -(m_{6,5} + m_{6,7} + m_{6,3}) = b6$$

$$\text{Noeud7: } 2 * (2 * k1 + k2) * a_7 + k1 * a_6 + k1 * a_8 + K2 * a_2 = -(m_{7,6} + m_{7,8} + m_{7,2}) = b7$$

$$\text{Noeud8: } 2 * (k1 + k2) * a_8 + k1 * a_7 + K2 * a_1 = -(m_{8,7} + m_{8,1}) = b8$$

#### 5. CALCUL DES SOLLICITATIONS :

##### a) CHARGE PERMANENTE

Les charges permanentes seront évaluées pour 1 m de largeur de dalot

 Sur le tablier

Dans la détermination des charges permanentes, tous les éléments sollicitant permanemment l'ouvrage sont à prendre en compte

Poids propre du tablier	$e_1 * 25 * b = 0,60 * 25 * 1 = 15KN/ml$
Poids du remblai (épaisseur 0.8)	$e * \gamma_d * b = 0,8 * 20 * 1 = 16 KN/ml$
Poids propre du revêtement (Enrobés 5cm)	$G_{bb} = e * \gamma_{BB} * b = 0,05 * 24 * 1 = 1,2 KN/ml$
Poids propre du dispositif d'étanchéité	$0,72 * 1 = 0,72 KN/ml$
<b>Charge permanente totale sur le tablier(P1)</b>	<b>32 ,92 KN/ml</b>

 Sur le radier

Poids propre du radier :	$e_1 * 25 * b = 0,6 * 25 * 1 = 15 \text{ KN/ml}$
Poids propre des piédroits :	$(1 * 25 * e_1 * H * \frac{4}{(3 * l + e_1 * 4)})$
	$AN: 0,6 * 1,5 * 25 * 1 * \frac{4}{3 * 3 + 0,6 * 4}$ $= 7.89 \text{ KN/ml}$
<b>Charge totale sur le radier(P2)</b>	$P1+P_{\text{pradier}}+P_{\text{pp}}=32,92+15+7.89 \text{ KN/ml}$
	<b>=55,81 KN/ml</b>

Poussée du remblai sur les piédroits :

Pt	$P_t = K_a \times \rho_t \times h$
Ka	0,33 coefficient de poussée des terres
Poids volumique de la terre	20 Kn/m <sup>3</sup>
Poussée de terre par rapport aux point considéré(KN/m <sup>2</sup> )	$P(h = 0,6) = P_3 = 0,333 * 20 * 0,6 = 3,996$ $P(h = 2,7) = P_4 = 0,333 * 20 * 2,1 = 13,98$

Le tableau ci-après donne le récapitulatif des charges permanentes sur les différentes parties de l'ouvrage

Charge permanente tablier	Charge permanente radier	Pieds droit (h=0,6m)	Pieds droit (h=1,5+0,6m)
<b>32,92 KN/ml</b>	<b>55,81 KN/ml</b>	<b>3,996 KN/ml</b>	<b>13,98 KN/ml</b>

Les moments d'encastrement pour 1 m de largeur de dalot sont :

$$m_{1,2} = -P_1 * \frac{L^2}{12} = -32,92 * \frac{3^2}{12} = -24,69 \text{ KN.m}$$

$$m_{2,1} = -m_{1,2} = 24,69 \text{ KN.m}$$

$$m_{2,3} = m_{1,2} = -24,69 \text{ KN.m}$$

$$m_{3,2} = -m_{2,3} = 24,69 \text{ KN.m}$$

$$m_{3,4} = -24,69 \text{ KN.m}$$

$$m_{4,3} = 24,69 \text{ KN.m}$$

$$m_{4,5} = -53,73 \text{ KN.m}$$

$$m_{5,4} = -m_{4,5} = 53,73 \text{ KN.m}$$

$$m_{5,6} = -P_2 * \frac{l^2}{12} = -55,81 * \frac{3^2}{12} = -41,86 \text{ KN.m}$$

$$m_{6,5} = -m_{5,6} = 41,86 \text{ KN.m}$$

$$m_{6,7} = -41,86 \text{ KN.m}$$

$$m_{7,6} = -m_{6,7} = 41,86 \text{ KN.m}$$

$$m_{7,8} = -41,86 \text{ KN.m}$$

$$m_{8,7} = -m_{7,8} = 41,86 \text{ KN.m}$$

$$m_{8,1} = -(P_4 - P_3) * \frac{H^2}{20} - P_3 * \frac{H^2}{12} =$$

$$AN: m_{8,1} = -(13,98 - 3,996) * \frac{1,5^2}{20} - 3,996 * \frac{1,5^2}{12} = -1,87 \text{ KN.m}$$

$$m_{1,8} = (P_4 - P_3) * \frac{H^2}{30} + P_3 * \frac{H^2}{12}$$

$$AN: m_{1,8} = (17,98 - 3,99) * \frac{1,5^2}{30} + 3,99 * \frac{1,5^2}{12} = 1,49 \text{ KN.m}$$

$$m_{4,5} = -m_{1,8} = -1,49 \text{ KN.m}$$

$$m_{5,4} = -m_{8,1} = 1,87 \text{ KN.m}$$

Pour les pieds droits intermédiaires

$$m_{2,7} = m_{7,2} = m_{3,6} = m_{6,3} = 0$$

- Détermination des rotations aux niveau des nœuds :

En remplaçant les moments d'encastrement par leurs valeurs on aura :

$$-(m_{1,2} + m_{1,8}) = b_1 = -(-24,69 + 1,49) = 23,19$$

$$-(m_{2,1} + m_{2,3} + m_{2,7}) = b_2 = 0$$

$$-(m_{3,2} + m_{3,4} + m_{3,6}) = b_3 = 0$$

$$-(m_{4,3} + m_{4,5}) = b_4 = -(24,69 - 1,49) = -23,19$$

$$-(m_{5,4} + m_{5,6}) = b_5 = -(1,87 - 41,86) = 39,98$$

$$-(m_{6,5} + m_{6,7} + m_{6,3}) = b_6 = 0$$

$$-(m_{7,6} + m_{7,8} + m_{7,2}) = b_7 = 0$$

$$-(m_{8,7} + m_{8,1}) = b_8 = -39,98$$

On trouve alors le système d'équation ci-après :

1,111E+11	2,7778E+10	0	0	0	0	0	2,778E+10	a1	23,19
2,778E+10	1,6667E+11	2,778E+10	2,78E+10	0	0	2,7778E+10	0	a2	0,00
0	2,7778E+10	1,667E+11	2,78E+10	0	2,778E+10	0	0	a3	0,00
0	0	2,778E+10	1,11E+11	2,778E+10	0	0	0	a4	-23,19
0	0	0	2,78E+10	1,111E+11	2,778E+10	0	0	a5	39,98
0	0	2,778E+10	0	2,778E+10	1,667E+11	2,7778E+10	0	a6	0,00
0	2,7778E+10	0	0	0	2,778E+10	1,6667E+11	2,778E+10	a7	0,00
2,778E+10	0	0	0	0	0	2,7778E+10	1,111E+11	a8	-39,98

La résolution du système d'équations donne alors les valeurs des rotations du dalot sous l'effort des charges permanentes. Les valeurs sont consignées dans le tableau ci-dessous :

les valeurs des variables	
a1	3,32764E-10
a2	-2,78322E-11
a3	8,07601E-11
a4	-3,47437E-10
a5	4,7408E-10
a6	-1,09291E-10
a7	1,00906E-10
a8	-4,68315E-10

On en déduit alors les valeurs des moments statiques appliqué au nœud i sur la barre i,j exprimé

$$M_{i,j} = k \times (2 \times a_i + a_j) + m_{i,j}, \quad k = k_1 \text{ ou } k_2$$

moments	valeurs	unité
M1,2	-6,9762072	KN.m/ml
M1,8	6,9762072	KN.m/ml
M2,1	32,38722	KN.m/ml
M2,3	-23,992899	KN.m/ml
M2,7	1,2567199	KN.m/ml
M3,2	28,403556	KN.m/ml
M3,4	-29,854367	KN.m/ml
M3,6	1,4508119	KN.m/ml
M4,3	7,6312552	KN.m/ml
M4,5	-7,6312552	KN.m/ml
M5,4	18,559162	KN.m/ml
M5,6	-18,559162	KN.m/ml
M6,5	48,958206	KN.m/ml
M6,7	-45,12982	KN.m/ml
M6,3	-3,8283861	KN.m/ml
M7,8	-49,263895	KN.m/ml

M7,6	44,431102	KN.m/ml
M7,2	4,8327931	KN.m/ml
M8,7	18,646501	KN.m/ml
M8,1	-18,646501	KN.m/ml

- Calcul des moments isostatiques au milieu des travées du tablier, du radier et piédroit :

$$\text{Tablier } M_{Ot} = \frac{P_0 \cdot 4^2}{8} = \frac{32,92 \cdot 1,5^2}{8} = 37,035 \text{ KN.m/ml}$$

$$\text{Radier : } M_{Ot} = -\frac{P_0 \cdot 4^2}{8} = -\frac{55,81 \cdot 1,5^2}{8} = -62,79 \text{ KN.m/ml}$$

$$\text{Piédroit : } M_{Ot} = -\frac{P_{t0} \cdot H^2}{8} + \frac{(P_4 - P_3) \cdot H^2}{16} = \frac{3,99 \cdot 1,5^2}{8} + \frac{(13,98 - 3,996) \cdot 1,5^2}{16} = 2,53 \text{ KN.m/ml}$$

A partir des moment d'encastrement on peut alors déterminer les moments maximums en travées et sur appuis sur toutes les parties de l'ouvrage :

➤ Tablier

✚ Travée 1

$$\text{Appui gauche : } M_{agt} = M_{1,2} = -6,976 \text{ KN.ml}$$

$$\text{Appui droit : } M_{adt} = -M_{2,1} = -32,39 \text{ KN.m/ml}$$

$$\text{Au milieu de la travée : } M_{tt} = \frac{M_{agt} + M_{adt}}{2} + M_{Ot} = \frac{-6,976 - 32,49}{2} + 37,035 = 17,35 \text{ KN.m/ml}$$

✚ Travée 2

$$\text{Appui gauche : } M_{agt} = M_{2,3} = -23,993 \text{ KN.ml}$$

$$\text{Appui droit : } M_{adt} = -(M_{3,2}) = -28,403 \text{ KN.m/ml}$$

Au milieu de la travée :

$$M_{tt} = \frac{M_{agt} + M_{adt}}{2} + M_{Ot} = \frac{-23,993 - 28,40}{2} + 37,035 = 10,83 \text{ KN.m/ml}$$

✚ Travée 3

$$\text{Appui gauche : } M_{agt} = M_{3,4} = -29,853 \text{ KN.ml}$$

$$\text{Appui droit : } M_{adt} = -(M_{4,3}) = -7,64 \text{ KN.m/ml}$$

Au milieu de la travée :

$$M_{tt} = \frac{M_{agt} + M_{adt}}{2} + M_{0t} = \frac{-29,853 - 7,64}{2} + 37,035 = 18,29 \text{ KN.m/ml}$$

➤ Radier :

✚ Travée 1

$$\text{Appui gauche : } M_{agr} = M_{8,7} = 18,64 \text{ KN.ml}$$

$$\text{Appui droit : } M_{adt} = -M_{7,8} = 49,26 \text{ KN.m/ml}$$

$$\text{Au milieu de la travée : } M_{tt} = \frac{M_{agt} + M_{adt}}{2} + M_{0r} = \frac{18,64 + 49,26}{2} - 62,79 = -28,83 \text{ KN.m/ml}$$

✚ Travée 2 :

$$\text{Appui gauche : } M_{agt} = M_{7,6} = 44,43 \text{ KN.ml}$$

$$\text{Appui droit : } M_{adt} = -M_{6,7} = 45,12 \text{ KN.m/ml}$$

$$\text{Au milieu de la travée : } M_{tt} = \frac{M_{agt} + M_{adt}}{2} + M_{0r} = \frac{44,43 + 45,12}{2} - 62,79 = -18,01 \text{ KN.m/ml}$$

✚ Travée 3

$$\text{Appui gauche : } M_{agt} = M_{6,5} = 48,95 \text{ KN.ml}$$

$$\text{Appui droit : } M_{adt} = -M_{5,6} = 18,55 \text{ KN.m/ml}$$

Au milieu de la travée :

$$M_{tt} = \frac{M_{agt} + M_{adt}}{2} + M_{0r} = \frac{48,95 + 18,56}{2} - 62,79 = -29,03 \text{ KN.m/ml}$$

➤ Piédroit extrême gauche

$$\text{Appui inferieur : } M_{aip} = M_{8,1} = -18,64 \text{ KN.ml}$$

$$\text{Appui supérieur : } M_{asp} = -M_{1,8} = -6,97 \text{ KN.m/ml}$$

Au milieu de la travée :

$$M_{tt} = \frac{M_{aip} + M_{asp}}{2} + M_{op} = \frac{-18,64 - 6,97}{2} + 2,53 = -10,28 \text{ KN.m/ml}$$

➤ **Piédroit intérieur 1**

Appui inférieur :  $M_{aip} = M_{7,2} = 4,83 \text{ KN.m}$

Appui supérieur :  $M_{asp} = -M_{2,7} = -1,25 \text{ KN.m/ml}$

Au milieu de la travée :  $M_{tt} = \frac{M_{aip} + M_{asp}}{2} = \frac{4,83 - 1,25}{2} = 1,78 \text{ KN.m/ml}$

➤ **Piédroit intérieur 2**

Appui inférieur :  $M_{aip} = M_{6,3} = -3,82 \text{ KN.m}$

Appui supérieur :  $M_{asp} = -M_{3,6} = -1,45 \text{ KN.m/ml}$

Au milieu de la travée :  $M_{tt} = \frac{M_{aip} + M_{asp}}{2} = \frac{-3,82 - 1,45}{2} = -2,63 \text{ KN.m/ml}$

➤ **Piédroit extrême droit**

Appui inférieur :  $M_{aip} = M_{5,4} = 18,55 \text{ KN.m}$

Appui supérieur :  $M_{asp} = -M_{4,5} = 7,63 \text{ KN.m/ml}$

Au milieu de la travée :  $M_{tt} = \frac{M_{aip} + M_{asp}}{2} + M_{op} = \frac{18,55 + 7,63}{2} + 2,53 = 15,63 \text{ KN.m/ml}$

Calcul des réactions à chaque appui :

➤ **Tablier**

✚ Travée 1

Appui gauche  $R_{agt} = \frac{(M_{adt} - M_{agt})}{L} + \frac{P_1 * L}{2} = \frac{(-32,39 + 6,97)}{3} + \frac{32,92 * 3}{2} = 40,91 \text{ kN/ml}$

Appui droit :  $R_{adt} = \frac{(M_{agt} - M_{adt})}{L} + \frac{P_1 * L}{2} = \frac{(-6,97 + 32,39)}{3} + \frac{32,92 * 3}{2} = 57,85 \text{ kN/ml}$

✚ Travée 2

Appui gauche  $R_{agt} = \frac{(M_{adt} - M_{agt})}{L} + \frac{P_1 * L}{2} = \frac{(-28,40 + 23,40)}{3} + \frac{32,92 * 3}{2} = 47,91 \text{ kN/ml}$

Appui droit  $R_{adt} = \frac{(M_{agt} - M_{adt})}{L} + \frac{P_1 * L}{2} = \frac{(-23,99 + 28,4)}{3} + \frac{32,92 * 3}{2} = 50,85 \text{ kN/ml}$

✚ Travée 3

Appui gauche  $R_{agt} = \frac{(M_{adt} - M_{agt})}{L} + \frac{P_1 * L}{2} = \frac{(-7,63 + 29,85)}{3} + \frac{32,92 * 3}{2} = 56,78 \text{ kN/ml}$

$$\text{Appui droit } R_{adt} = \frac{(M_{agt}-M_{adt})}{L} + \frac{P_1*L}{2} = \frac{(29,85+7,63)}{3} + \frac{32,92*3}{2} = 41,98 \text{ kN/ml}$$

➤ **Radier :**

✚ Travée 1

$$\text{Appui gauche } R_{agt} = \frac{(M_{adr}-M_{agr})}{L} - \frac{P_2*L}{2} = \frac{(49,26-18,65)}{3} - \frac{55,81*3}{2} = -73,51 \text{ kN/ml}$$

$$\text{Appui droit : } R_{adt} = \frac{(M_{agr}-M_{adr})}{L} - \frac{P_2*L}{2} = \frac{(18,65-49,26)}{3} - \frac{55,81*3}{2} = -93,92 \text{ kN/ml}$$

✚ Travée 2

$$\text{Appui gauche } R_{agt} = \frac{(M_{adr}-M_{agr})}{L} + \frac{P_1*L}{2} = \frac{(45,12-44,43)}{3} + \frac{55,81*3}{2} = -83,48 \text{ kN/ml}$$

$$\text{Appui droit } R_{adt} = \frac{(M_{agr}-M_{adr})}{L} + \frac{P_1*L}{2} = \frac{(44,43-45,12)}{3} + \frac{55,81*3}{2} = -83,95 \text{ kN/ml}$$

✚ Travée 3

$$\text{Appui gauche } R_{agt} = \frac{(M_{adt}-M_{agt})}{L} + \frac{P_1*L}{2} = \frac{(18,56-48,95)}{3} + \frac{55,81*3}{2} = -93,85 \text{ kN/ml}$$

$$\text{Appui droit } R_{adt} = \frac{(M_{agt}-M_{adt})}{L} + \frac{P_1*L}{2} = \frac{(48,95-18,55)}{3} + \frac{55,81*3}{2} = -73,59 \text{ kN/ml}$$

Les efforts de compression à prendre en compte dans les piédroits sont :

$$\text{Piédroit extrême gauche : } P_{extg} = (R_{agt} - R_{agr}) = (40,90 + 73,51) = 114,42 \text{ kN/ml}$$

$$\text{Piédroit intérieur 1 : } P_{int1} = 2 * (R_{adt} - R_{adr}) = 2 * (57,85 + 93,92) = 303,55 \text{ kN/ml}$$

$$\text{Piédroit intérieur 2 : } P_{int1} = 2 * (R_{adt} - R_{adr}) = 2 * (50,85 + 83,95) = 269,61 \text{ kN/ml}$$

Piédroit extrême droit Piédroit extrême droit :

$$P_{extd} = (R_{agt} - R_{agr}) = (56,78 + 93,85) = 150,64 \text{ kN/ml}$$

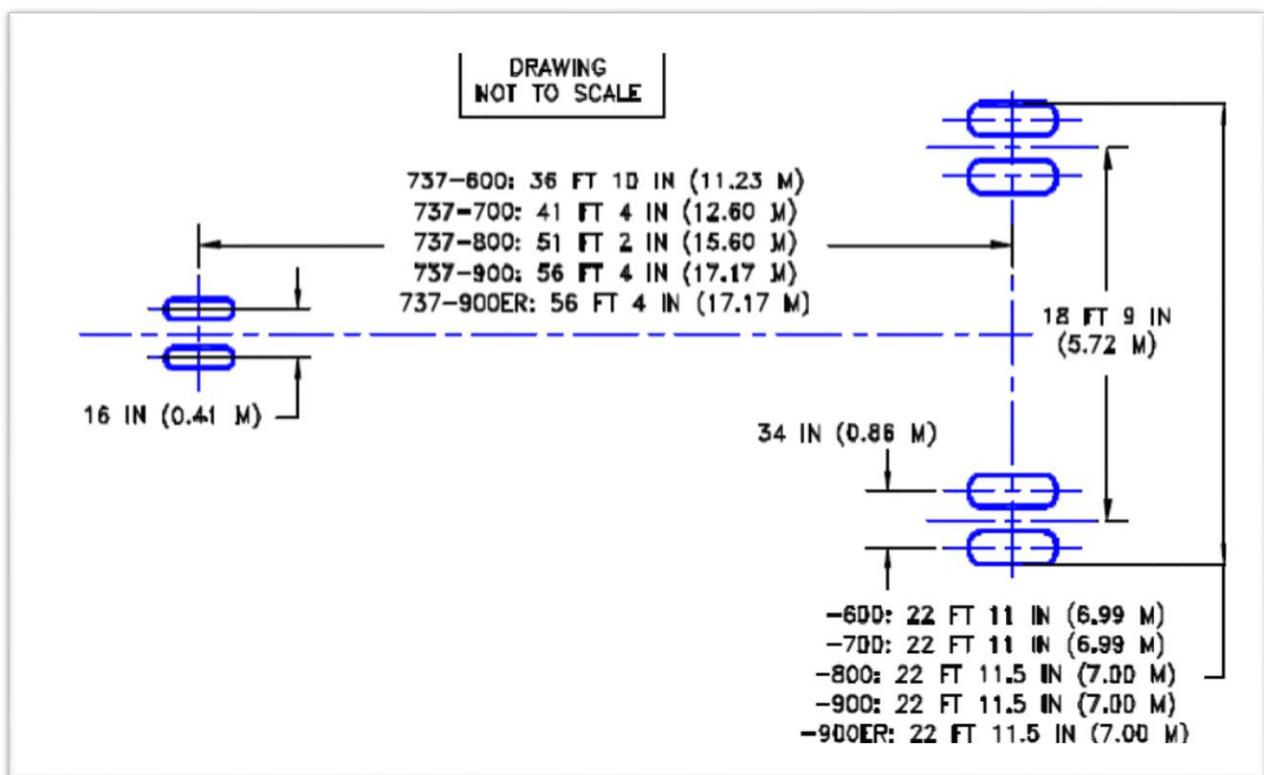
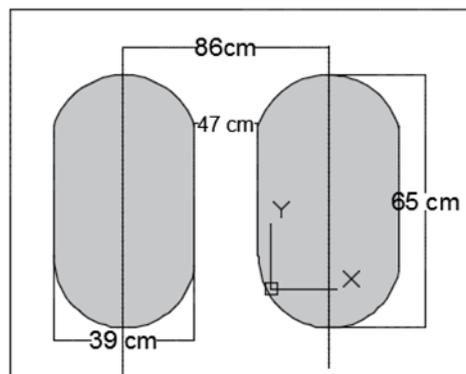
### b) Évaluation de la surcharge routière

Elles sont évaluées conformément aux prescriptions du Fascicule 61 titre II. Après analyse nous remarquons que l'impact de l'avion sur l'ouvrage est plus important lorsque les deux atterrisseurs d'avion se trouvent sur l'ouvrage.

#### Rappel des données :

- Type d'atterrisseur le jumelage
- Charge de calcul sur chaque atterrisseur : 33095Kg soit 330,95 KN.
- Largeur hors tous des trains principaux : 6,99 m

- La plus grande dimension des roues b : 0,65 m



### ✓ Calcul des Charges réparties au niveau du tablier

Les charges de calcul sont les charges des atterrisseurs principale de l'avion. Ainsi donc le cas le plus défavorable est celui où l'on se retrouve avec les deux atterrisseurs sur la même travée. Pour le calcul des moments, nous allons transformer ces charges les plus défavorables en charge de surface.

$$P1 = \frac{Q * bt}{Sencomb}$$

La section d'encombrement : distance entre les roues extérieures multipliée par la longueur de la roue.

$$P1 = \frac{(2 * 332,88) * 1 * 1m}{6,99 * 0,65}$$

$$p1 = 146,5302 \text{ kN/ml}$$

### Coefficient de majoration dynamique tablier :

$$\delta = 1 + \frac{0.40}{1 + 0.2 * l} + \frac{0.60}{1 + 4 * \frac{G}{S}}$$

Avec L=Max (Largeur roulable ; portée de la travée) soit L=45 m

G=Poids total d'une section de couverture de longueur L et toute la largeur relative à cette couverture et aux éléments reposant sur elle.

S=Poids total maximum des atterrisseurs qu'il est possible de placer sur la longueur L.

$$G = \text{poids propre tablier} + \text{accessoires}$$

$$G = (32,92 * 3) = 98,76 \text{ kN}$$

$$S = 330,95 * 2 = 661,9 \text{ kN}$$

$$\text{AN : } \delta = 1 + \frac{0.40}{1+0.2 \times 45} + \frac{0.60}{1+4 \times \frac{98,76}{661,9}}$$

$$\delta = 1,413$$

D'où la surcharge uniformément répartie

$$Q_{att} = \delta * q1 = 1,41 * 146,53 = 207,56 \text{ KN/m}$$

✓ Charge répartie au niveau Radier

$$q1 = \frac{Q * 1}{Sencomb}$$

Section d'encombrement : largeur totale de l'ouvrage x longueur d'impact : soit 4,2 \* 6,99m

$$P1 = \frac{2 * 332,88 * 1 * 1m}{11,4 * 6,99}$$

$$P1r = 8,3548 \text{ KN/ml}$$

- ✓ Sur piédroit uniquement (piédroit gauche)

$$pt = 1,2 * p_0 * bt * 1m$$

$pt = 1,2 * 10 * 1 * 1m = 12 \text{ kN/ml}$  Majoration à 25 KN compte tenue du choc de l'avion lors de l'atterrissage.

### Coefficient de majoration dynamique sur le radier :

$$\delta = 1 + \frac{0.40}{1 + 0.2 \times l} + \frac{0.60}{1 + 4 \times \frac{G}{S}}$$

Avec L=Max (Largeur roulable ; portée de la travée) soit L=45 m

G=Poids total d'une section de couverture de longueur L et toute la largeur relative à cette couverture et aux éléments reposant sur elle.

S=Poids total maximum des atterrisseurs qu'il est possible de placer sur la longueur L.

$$G = 55,81 * 3 = 167,44 \text{ kN}$$

$$S = 332,88 * 2 = 665,76 \text{ kN}$$

$$\text{AN : } \delta = 1 + \frac{0.40}{1+0.2 \times 45} + \frac{0.60}{1+4 \times \frac{167,44}{665,76}}$$

$$\delta = 1,33$$

La charge uniformément répartie sur le radier est alors

$$q_1 = \delta * q_{1r} = 1,33 * 8,35 = 11,19 \text{ KN/m.}$$

### **Calcul des sollicitations :**

Compte tenu de l'empatement de l'avion qui est supérieur à la largeur totale de l'ouvrage. Les atterrisseurs avant et principales de l'avion ne peuvent pas se mettre tous sur toute la largeur de l'ouvrage. En outre deux cas de figure se présentent en fonction de la position de l'avion. Le cas où les deux atterrisseurs de l'avion se trouvent sur l'une des travées de rive ou un second cas où ils se trouvent sur la travée centrale. Dans la suite du travail les deux cas seront traités pour l'évaluation des charges d'exploitation. Ainsi pour la détermination des différentes sollicitations, le logiciel Pybar sera utilisé pour les deux cas de figures.

- ✓ **Premier cas :** Si les deux atterrisseurs d'avion se trouvent sur l'une des deux travées de rive :

### Illustration mode de répartition des charges :

CAS DE CHARGE 1.dat (Chargement)

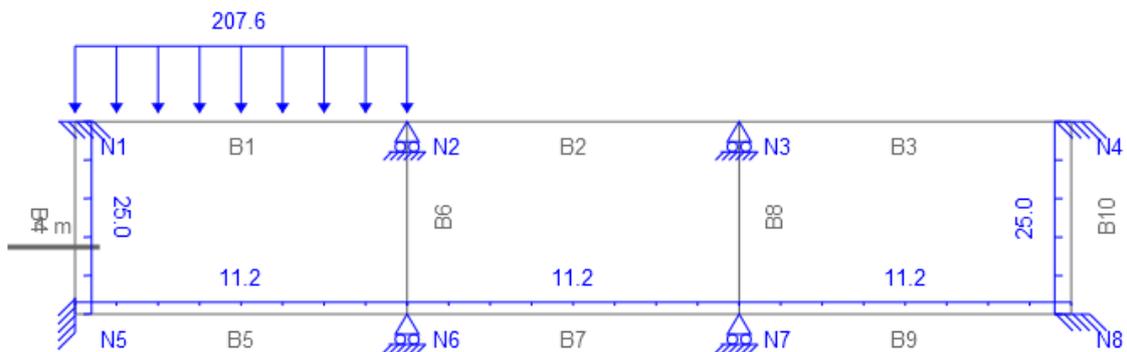
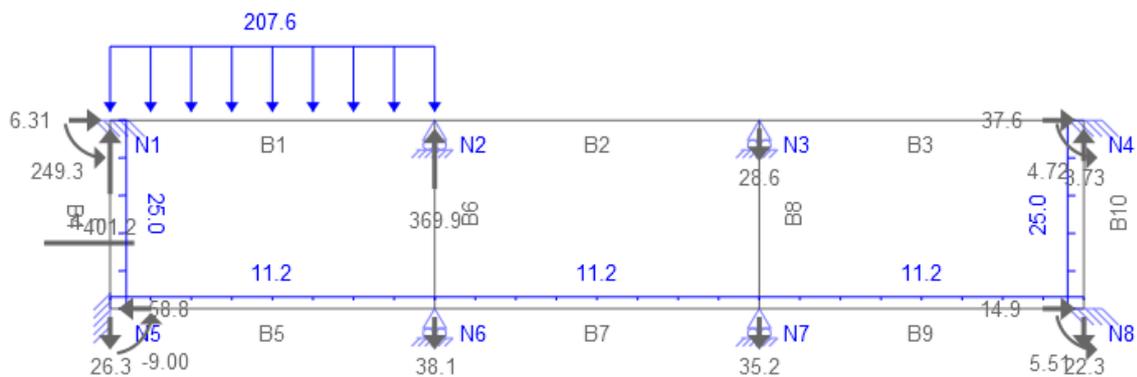


Illustration inconnus de liaison :

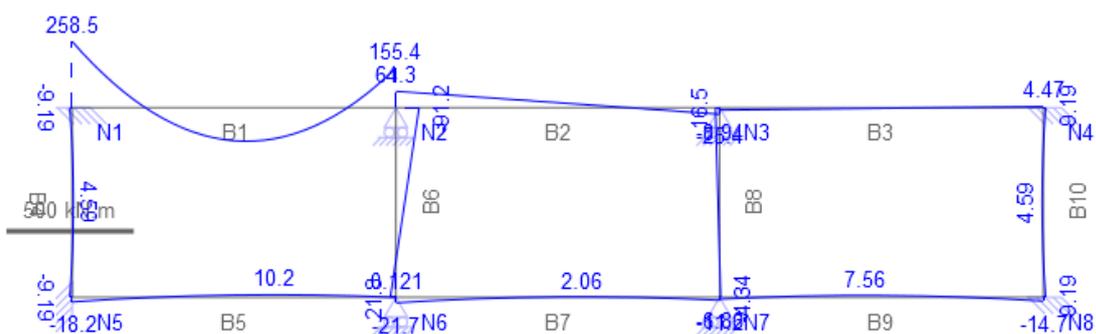
cas 1:inconnus de liaisons.dat



LA déformée cas 1

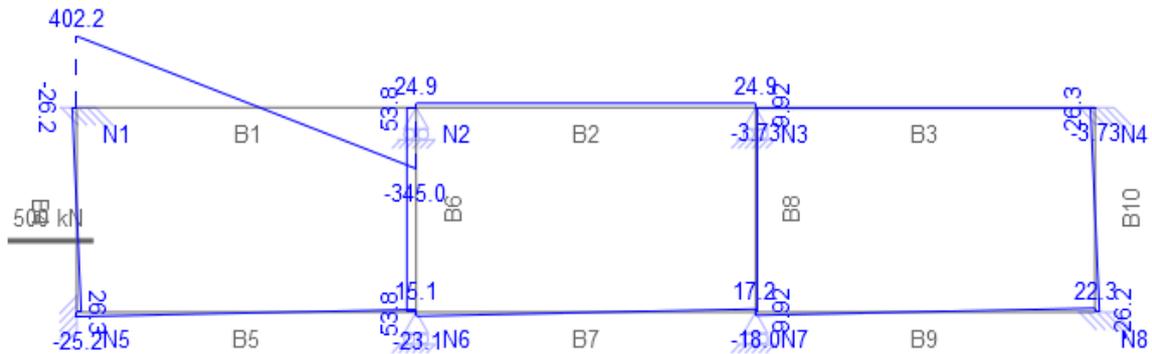
Moments fléchissant générée

cas 1:moment flechissant 1.dat

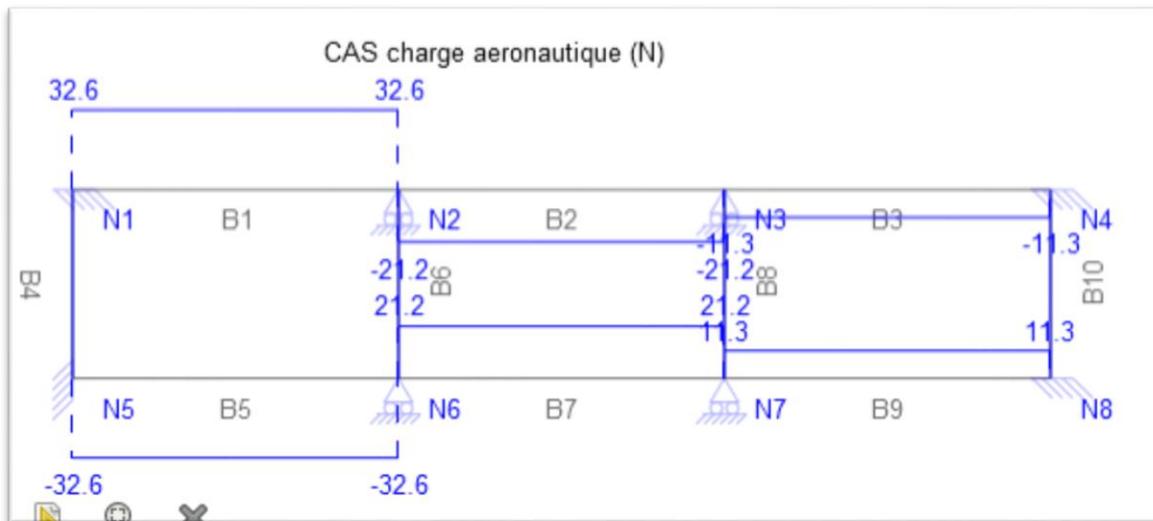


Efforts tranchant calculés

cas 1:effort tranchant.dat



Effort normal cas 1



✓ **Deuxièmes cas** : Si les deux atterrisseurs d'avion se trouvent sur la travée centrale

Illustration mode de répartition des charges

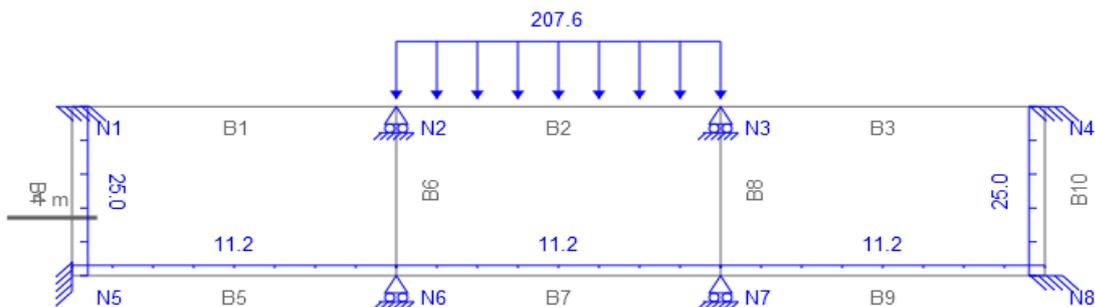
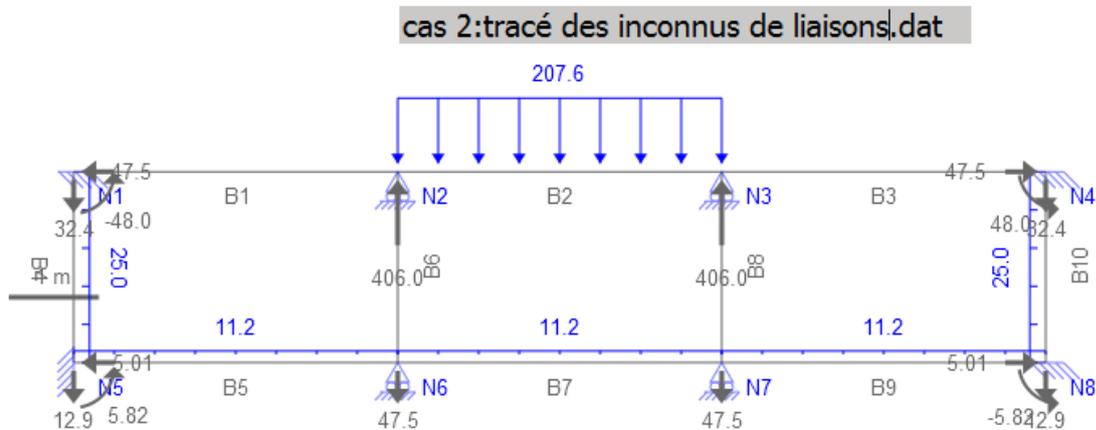
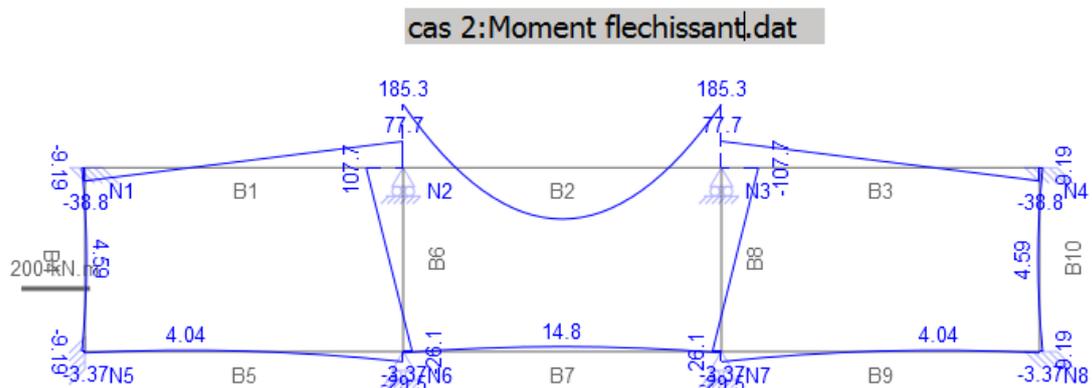


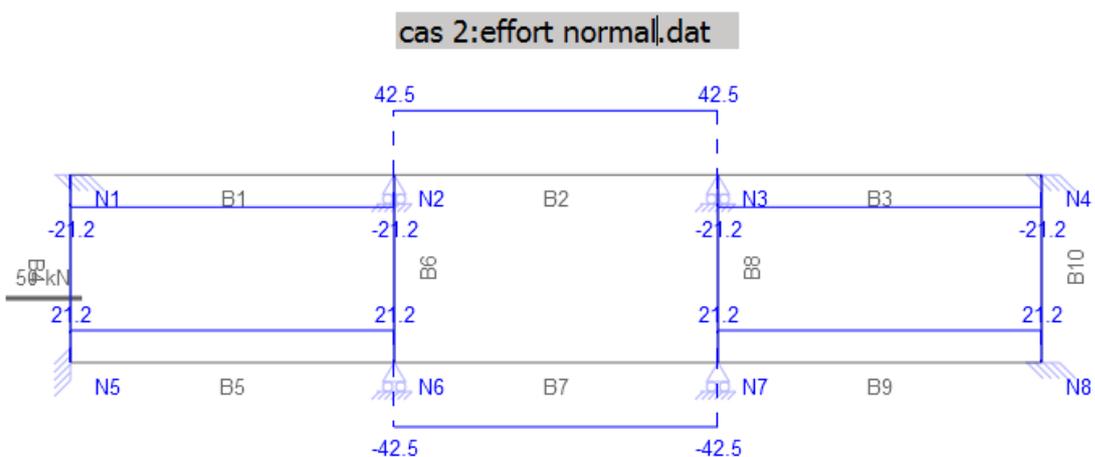
Illustration inconnus de liaison :



Moments fléchissant générés



Effort normal générée



### Récapitulatif des résultats :

Pour une uniformisation des aciers dans les différentes parties de l'ouvrage ainsi que pour faciliter la mise en œuvre, nous allons prendre les moments maximaux en travée et sur appuis ainsi que les efforts normaux maximaux pour le calcul de nos sections d'armatures.

PARTIE D'OUVRAGE	Sollicitations KN.m/ml et KN/ml		charges permanentes G	CAS 1 charges aéronautiques	cas 2 charges aéronautiques
TABLIER	Moment fléchissant	à gauche	-29,85	258,5	185,3
		à droite	-28,4	155,4	185,3
		au milieu	18,29	-131,2	150,9
Radier	Moment fléchissant	à gauche	48,95	-21,68	-29,51
		à droite	49,26	-14,69	-29,51
		au milieu	-29,03	10,2	14,18
PIEDROITS EXTERMES	Moment fléchissant	inferieur	-18,64	9,19	-9,19
		supérieur	7,63	9,19	9,19
		Milieu	15,62	4,59	4,59
	effort normal		150,64	-11,3	-42,5
PIEDROITS INTERIEURS	Moment fléchissant	inferieur	4,83	-91,17	-26,14
		supérieur	-1,45	21,8	107,7
		Milieu	-2,64	-34,685	94,63
	effort normal		303,55	-21,3	-21,2

Combinaison d'action ELU : combinaison fondamentales

$$1,35G + 1,6 Qr$$

$$1,35G + 1,6 Qsp$$

Combinaisons d'actions ELS : combinaison rares

$$G + 1,2 Qr$$

$$G + 1,2 Qsp$$

Les sollicitations à retenir sont les plus grandes de chacun des deux cas selon l'état considéré.

PARTIE D'OUVRAGE	Sollicitations KN.m/ml et KN/ml		CAS1		CAS2		maximum	
			ELU fondamentales	ELS combinaison rares	ELU fondamentales	ELS combinaison rares	ELU	ELS
TABLIER	Moment fléchissant	à gauche	453,90	340,05	336,778	252,21	453,90	340,05
		à droite	286,98	214,88	334,82	250,76	334,82	250,76
		au milieu	234,61	175,73	266,132	199,37	266,13	199,37
Radier	Moment fléchissant	à gauche	100,77	74,966	113,299	84,362	113,30	84,36
		à droite	90,01	66,888	113,717	84,672	113,72	84,67
		au milieu	55,51	41,27	61,8785	46,046	61,88	46,05
PIEDROITS EXTERMES	Moment fléchissant	inferieur	39,87	29,668	39,868	29,668	39,87	29,67
		supérieur	25,00	18,658	25,0045	18,658	25,00	18,66
		Milieu	28,43	21,128	28,431	21,128	28,43	21,13
	effort normal		205,94	152,57	271,364	201,64	271,36	201,64
PIEDROITS INTERIEURS	Moment fléchissant	inferieur	152,39	114,23	48,3445	36,198	152,39	114,23
		supérieur	36,84	27,61	174,278	130,69	174,28	130,69
		Milieu	59,06	44,262	154,972	116,196	154,97	116,20
	effort normal		443,87	329,11	443,713	328,99	443,87	329,11

✓ Calcul des armatures sur le tablier

Donnée de calcul :  $h = 0,6 \text{ m}$   $d = 0,9 * h = 0,9 * 0,6 = 0,54$

$$f_{bu} = \sigma_{bc} = 18 \text{ Mpa}$$

$$f_{su} = \sigma_s = 347,83 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{st} = \sigma_s = 250 \text{ Mpa}$$

- A mi- travée
- ✚ Calcul à l'ELU

Moment ultime :  $M_U = 266,13 \text{ KN/ml}$

Moment réduit :

$$\mu_u = \frac{M_u \times 10^{-3}}{b_0 \times d_1^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{266,13 \times 10^{-3}}{1 \times 0,54^2 \times 18} \rightarrow \mu_u = 0,051$$

On a  $0 \leq \mu_u \leq 0,186 \rightarrow$  pivot A

Paramètres de déformation

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - (2 \times 0,051)}) = 0,065$$

- Bras du levier

$$Z_u = d * (1 - 0,4 \times \alpha_u) = 0,54 \times (1 - 0,4 \times 0,065) \rightarrow Z_u = \mathbf{0,52 \text{ m}}$$

**Section théorique de l'acier :**

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times \sigma_s} = \frac{266,13 \times 10^{-3}}{0,52 \times 434,78} = 1,164 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ soit } 11,64 \text{ cm}^2$$

✚ **Calcul à l'état limite de service**

$$M_{ser} = 199,37 \text{ kN.m}$$

Paramètre de déformation

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \bar{\sigma}_{bc}}{n \times \bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}} = \frac{15 \times 18}{15 \times 18 + 250}$$

$$\rightarrow \bar{\alpha}_{ser} = 0,623$$

Fibre neutre

$$Y_{ser} = \bar{\alpha}_{ser} * d$$

Bras de levier

$$\bar{z}_{ser} = d - \frac{Y_{ser}}{3} = 0,54 - \frac{0,33}{3} = 0,43 \text{ m}$$

Moment résistant

$$M_{rserb} = \frac{1}{2} * b_0 * \bar{Y}_{ser} * \bar{\sigma}_{bc} * \bar{z}_{ser} = \frac{1}{2} * 0,6 * 0,33 * 18 * 0,43 = 777,35 \text{ kN/ml}$$

$$M_{rserb} > M_{ser} \text{ pas d'acier comprimée}$$

Cette inégalité indique que  $\sigma_{bc} \leq \bar{\sigma}_{bc}$

La section d'armature :

$$A_{ser} = \frac{M_{ser}}{\bar{z}_{ser} \times \bar{\sigma}_{ser} t} = \frac{199,37}{0,43 \times 250} = 1,863.10^{-3} m^2 \text{ soit } 18,63 cm^2$$

Condition de non fragilité de la section

$$A_{min} = \frac{0,23 \cdot b \cdot d \cdot f_{t28}}{f_e} = \frac{0,23 \cdot 1 \cdot 2,4 \cdot 0,54}{500} = 5,9616.10^{-4} m^2 \rightarrow \text{Soit } 5,9616 cm^2$$

Le section d'armatures retenues est donc  $\max(A_{st}; A_{min})$

Soit :  $A_{st} = 18,63 cm^2$  **choix 6HA20**

**Aciers de répartition**  $\frac{A_{st}}{3} = 6,21 cm^2$  **choix soit 6HA12 espacé de 16 cm**

- **Sur appui gauche**

✚ Calcul à l'ELU

Moment ultime :  $M_U = 453,90 KN/ml$

Moment réduit :

$$\mu_u = \frac{M_u \times 10^{-3}}{b_0 \times d_1^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{453,90 \times 10^{-3}}{1 \times 0,54^2 \times 18} = 0,086 \rightarrow \mu_u = 0,086$$

On a  $0 \leq \mu_u \leq 0,186 \rightarrow$  *pivot A*

Paramètres de déformation

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - (2 \times 0,086)}) = 0,113$$

- Bras du levier

$$Z_u = d * (1 - 0,4 \times \alpha_u) = 0,54 \times (1 - 0,4 \times 0,113) \rightarrow Z_u = 0,52 m$$

**Section théorique de l'acier :**

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times \sigma_s} = \frac{453,90 \times 10^{-3}}{0,52 \times 434,78} = 2,0125.10^{-3} m^2 \rightarrow \text{soit } 20,12 cm^2$$

✚ **Calcul à l'état limite de service**

$$M_{ser} = 340,05 kN.m$$

Paramètre de déformation

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \bar{\sigma}_{bc}}{n \times \bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}} = \frac{15 \times 18}{15 \times 18 + 250} = 0,62$$

Fibre neutre

$$Y_{ser} = \bar{\alpha}_{ser} * d$$

$$\text{Bras de levier } \bar{z}_{ser} = d - \frac{Y_{ser}}{3} = 0,54 - \frac{0,33}{3} = 0,43 \rightarrow \bar{z}_{ser} = 0,43 \text{ m}$$

Moment résistant

$$M_{rserb} = \frac{1}{2} * b_0 * \bar{Y}_{ser} * \bar{\sigma}_{bc} * \bar{z}_{ser} = \frac{1}{2} * 0,6 * 0,33 * 18 * 0,43 = 777,35 \text{ kN/ml}$$

$$M_{rserb} > M_{ser} \text{ pas d'acier comprimée}$$

Cette inégalité indique que  $\sigma_{bc} \leq \bar{\sigma}_{bc}$

La section d'armature :

$$A_{ser} = \frac{M_{ser}}{\bar{z}_{ser} \times \bar{\sigma}_{ser} t} = \frac{340,05}{0,43 \times 250} = 3,18.10^{-3} \text{ m}^2 \text{ soit } 31,79 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité de la section

$$A_{min} = \frac{0,23 * b * d * f_{t28}}{f_e} = \frac{0,23 * 1 * 2,4 * 0,54}{500} = 5,9616.10^{-4} \text{ m}^2 \rightarrow \text{Soit } 5,9616 \text{ cm}^2$$

Le section d'armatures retenues est donc  $\max(A_{st}; A_{min})$

Soit :  $A_{st} = 31,79 \text{ cm}^2$  **Choix 16HA16 sur chaque ml**

**Acier de répartition**  $\frac{A_{st}}{3} = 11 \text{ cm}^2$  **choix 8HA14 Espacé de 13 cm**

**Sur appui droit :**

✚ Calcul à l'ELU

Moment ultime :  $M_U = 334,82 \text{ KN/ml}$

Moment réduit :

$$\mu_u = \frac{334,82 \times 10^{-3}}{b_0 \times d_1^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{334,82 \times 10^{-3}}{1 \times 0,54^2 \times 18} = 0,064 \rightarrow \mu_u = 0,064$$

On a  $0 \leq \mu_u \leq 0,186 \rightarrow$  pivot A

Paramètres de déformation

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - (2 \times 0,064)}) = 0,082$$

- Bras du levier

$$Z_u = d * (1 - 0,4 \times \alpha_u) = 0,54 \times (1 - 0,4 \times 0,082) \rightarrow Z_u = \mathbf{0,522 \text{ m}}$$

**Section théorique de l'acier :**

$$A_{st} = \frac{Mu}{Z_u \times \sigma_s} = \frac{334,82 \times 10^{-3}}{0,522 \times 434,78} = 1,474 \cdot 10^{-3} m^2 \text{ soit } 14,74 \text{ cm}^2$$

✚ **Calcul à l'état limite de service**

$$M_{ser} = 250,76 \text{ kN.m}$$

Paramètre de déformation

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \bar{\sigma}_{bc}}{n \times \bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}} = \frac{15 \times 18}{15 \times 18 + 250} = 0,62$$

Fibre neutre

$$Y_{ser} = \bar{\alpha}_{ser} * d$$

Bras de levier

$$\bar{z}_{ser} = d - \frac{Y_{ser}}{3} = 0,54 - \frac{0,33}{3} = 0,43$$

$$\bar{z}_{ser} = 0,43 \text{ m}$$

Moment résistant

$$M_{rserb} = \frac{1}{2} * b_0 * \bar{Y}_{ser} * \bar{\sigma}_{bc} * \bar{z}_{ser} = \frac{1}{2} * 0,6 * 0,33 * 18 * 0,43 = 777,35 \text{ kN/ml}$$

$$M_{rserb} > M_{ser} \text{ pas d'acier comprimée}$$

Cette inégalité indique que  $\sigma_{bc} \leq \bar{\sigma}_{bc}$

La section d'armature :

$$A_{ser} = \frac{M_{ser}}{\bar{z}_{ser} \times \bar{\sigma}_{ser} t} = \frac{250,76}{0,43 \times 250} = 2,344.10^{-3} m^2 \text{ soit } 23,44 cm^2$$

Condition de non fragilité de la section

$$A_{min} = \frac{0,23 \cdot b \cdot d \cdot f_{t28}}{f_e} = \frac{0,23 \cdot 1 \cdot 2,4 \cdot 0,54}{500} = 5,9616.10^{-4} m^2 \rightarrow \text{Soit } 5,9616 cm^2$$

Le section d'armatures retenues est donc  $\max(A_{st}; A_{min})$

Soit :  $A_{st} = 23,44 cm^2$  choix **8HA20**

**Acier de répartition**  $\frac{A_{st}}{3} = 7,82$  soit **4HA16 espacés de 25 cm**

✓ Calcul des armatures sur le radier

- **A mi travée**
- ✚ Calcul à l'ELU

Moment ultime :  $M_U = 61,88 KN/ml$

Moment réduit :

$$\mu_u = \frac{M_u \times 10^{-3}}{b_0 \times d_1^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{61,88 \times 10^{-3}}{1 \times 0,54^2 \times 18} = 0,01178$$

$$\mu_u = 0,01178$$

On a  $0 \leq \mu_u \leq 0,186 \rightarrow$  pivot A

Paramètres de déformation

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - (2 \times 0,01178)}) = 0,0148$$

- Bras du levier

$$Z_u = d * (1 - 0,4 \times \alpha_u) = 0,54 \times (1 - 0,4 \times 0,0148) \rightarrow Z_u = \mathbf{0,537 m}$$

**Section théorique de l'acier :**

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z_u \times \sigma_s} = \frac{61,88 \times 10^{-3}}{0,537 \times 434,78} = 0,265.10^{-3} m^2 \text{ soit } 2,65 cm^2$$

✚ Calcul à l'état limite de service

$$M_{ser} = 46,05 kN.m$$

Paramètre de déformation

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \bar{\sigma}_{bc}}{n \times \bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}} = \frac{15 \times 18}{15 \times 18 + 250} = 0,62$$

Fibre neutre

$$Y_{ser} = \bar{\alpha}_{ser} * d$$

$$\text{Bras de levier : } \bar{z}_{ser} = d - \frac{Y_{ser}}{3} = 0,54 - \frac{0,33}{3} = 0,43 \rightarrow \bar{z}_{ser} = 0,43 \text{ m}$$

Moment résistant

$$M_{rserb} = \frac{1}{2} * b_0 * \bar{Y}_{ser} * \bar{\sigma}_{bc} * \bar{z}_{ser} = \frac{1}{2} * 0,6 * 0,33 * 18 * 0,43 = 777,35 \text{ kN/ml}$$

$$M_{rserb} > M_{ser} \text{ pas d'acier comprimée}$$

Cette inégalité indique que  $\sigma_{bc} \leq \bar{\sigma}_{bc}$

La section d'armature :

$$A_{ser} = \frac{M_{ser}}{\bar{z}_{ser} \times \bar{\sigma}_{ser} t} = \frac{46,05}{0,43 \times 250} = 0,4304.10^{-3} \text{ m}^2 \rightarrow \text{soit } 4,304 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité de la section

$$A_{min} = \frac{0,23 * b * d * ft28}{fe} = \frac{0,23 * 1 * 2,4 * 0,54}{500} = 5,9616.10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Soit } 5,9616 \text{ cm}^2$$

Le section d'armatures retenues est donc  $\max(A_{st}; A_{min})$

$$\text{Soit : } A_{st} = 5,9616 \text{ cm}^2 \text{ Choix } \mathbf{4HA14}$$

$$\text{Acier de répartition } \frac{A_{st}}{3} = \mathbf{1,98} < A_{min}$$

**Donc Acier de répartition** =  $A_{min} = 5,9616 \text{ cm}^2$  Choix soit 4HA14 espacement 25 cm

- **Appui de gauche :**

✚ Calcul à l'ELU

$$\text{Moment ultime : } M_U = 113,3 \text{ KN/ml}$$

Moment réduit :

$$\mu_u = \frac{113,3 \times 10^{-3}}{b_0 \times d_1^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{113,3 \times 10^{-3}}{1 \times 0,54^2 \times 18} = 0,022 \rightarrow \mu_u = 0,022$$

On a  $0 \leq \mu_u \leq 0,186 \rightarrow$  pivot A

Paramètres de déformation

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - (2 \times 0,022)}) = 0,0273$$

- Bras du levier

$$Z_u = d * (1 - 0,4 \times \alpha_u) = 0,54 \times (1 - 0,4 \times 0,0273) \rightarrow Z_u = \mathbf{0,534 \text{ m}}$$

**Section théorique de l'acier :**

$$A_{st} = \frac{Mu}{Z_u \times \sigma_s} = \frac{113,3 \times 10^{-3}}{0,522 \times 434,78} = 0,4879 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \rightarrow \text{soit } 4,879 \text{ cm}^2$$

✚ **Calcul à l'état limite de service**

$$M_{ser} = 46,36 \text{ kN.m}$$

Paramètre de déformation

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \bar{\sigma}_{bc}}{n \times \bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}} = \frac{15 \times 18}{15 \times 18 + 250} = 0,62$$

Fibre neutre

$$Y_{ser} = \bar{\alpha}_{ser} * d$$

Bras de levier

$$\bar{z}_{ser} = d - \frac{Y_{ser}}{3} = 0,54 - \frac{0,33}{3} = 0,43$$

$$\bar{z}_{ser} = 0,43 \text{ m}$$

Moment résistant

$$M_{rserb} = \frac{1}{2} * b_0 * \bar{Y}_{ser} * \bar{\sigma}_{bc} * \bar{z}_{ser} = \frac{1}{2} * 0,6 * 0,33 * 18 * 0,43 = 777,35 \text{ kN/ml}$$

$$M_{rserb} > M_{ser} \text{ pas d'acier comprimée}$$

Cette inégalité indique que  $\sigma_{bc} \leq \bar{\sigma}_{bc}$

La section d'armature :

$$A_{ser} = \frac{M_{ser}}{\bar{z}_{ser} \times \bar{\sigma}_{ser} t} = \frac{84,36}{0,43 \times 250} = 0,7887 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ soit } 7,887 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité de la section

$$A_{min} = \frac{0,23 \cdot b \cdot d \cdot f_{t28}}{f_e} = \frac{0,23 \cdot 1 \cdot 2,4 \cdot 0,54}{500} = 5,9616 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \rightarrow \text{Soit } 5,9616 \text{ cm}^2$$

Le section d'armatures retenues est donc  $\max(A_{st}; A_{min})$

Soit :  $A_{st} = 7,887 \text{ cm}^2 \rightarrow$  **Choix 4HA16**

**Acier de répartition**  $\frac{A_{st}}{3} = 2,63 < A_{min}$

$A_{st} = A_{min} = 5,9616 \text{ cm}^2$  Choix 4HA14 espacement 25 cm

- **Appui de droite :**

✚ Calcul à l'ELU

Moment ultime :  $M_U = 113,72 \text{ KN/ml}$

Moment réduit :

$$\mu_u = \frac{113,72 \times 10^{-3}}{b_0 \times d_1^2 \times f_{bu}}$$

$$\mu_u = \frac{113,3 \times 10^{-3}}{1 \times 0,54^2 \times 18} = 0,0216$$

$$\mu_u = 0,0216$$

On a  $0 \leq \mu_u \leq 0,186 \rightarrow$  *pivot A*

Paramètres de déformation

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - (2 \times 0,0216)}) = 0,0274$$

Bras du levier

$$Z_u = d * (1 - 0,4 \times \alpha_u) = 0,54 \times (1 - 0,4 \times 0,0274) \rightarrow Z_u = \mathbf{0,534 \text{ m}}$$

**Section théorique de l'acier :**

$$A_{st} = \frac{Mu}{Z_u \times \sigma_s} = \frac{113,72 \times 10^{-3}}{0,522 \times 434,78} = 0,4897.10^{-3} m^2 \rightarrow \text{soit } 4,897 \text{ cm}^2$$

#### ✚ Calcul à l'état limite de service

$$M_{ser} = 46,05 \text{ kN.m}$$

Paramètre de déformation

$$\bar{\alpha}_{ser} = \frac{n \times \bar{\sigma}_{bc}}{n \times \bar{\sigma}_{bc} + \bar{\sigma}_{st}} = \frac{15 \times 18}{15 \times 18 + 250} = 0,623$$

Fibre neutre

$$Y_{ser} = \bar{\alpha}_{ser} * d$$

Bras de levier

$$\bar{z}_{ser} = d - \frac{Y_{ser}}{3} = 0,54 - \frac{0,33}{3} = 0,43 \rightarrow \bar{z}_{ser} = 0,43 \text{ m}$$

Moment résistant

$$M_{rserb} = \frac{1}{2} * b_0 * \bar{Y}_{ser} * \bar{\sigma}_{bc} * \bar{z}_{ser} = \frac{1}{2} * 0,6 * 0,33 * 18 * 0,43 = 777,35 \text{ kN/ml}$$

$$M_{rserb} > M_{ser} \text{ pas d'acier comprimée}$$

Cette inégalité indique que  $\sigma_{bc} \leq \bar{\sigma}_{bc}$

La section d'armature :

$$A_{ser} = \frac{M_{ser}}{\bar{z}_{ser} \times \bar{\sigma}_{ser} t} = \frac{46,05}{0,43 \times 250} = 0,4305.10^{-3} m^2 \rightarrow \text{soit } 4,305 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité de la section

$$A_{min} = \frac{0,23 * b * d * f_{t28}}{f_e} = \frac{0,23 * 1 * 2,4 * 0,54}{500} = 5,9616.10^{-4} m^2 \rightarrow \text{Soit } A_{min} = 5,9616 \text{ cm}^2$$

Le section d'armatures retenues est donc  $\max(A_{st}; A_{min})$

Soit :  $A_{st} = 5,9616 \text{ cm}^2$  **4HA14 espacement 25 cm**

✓ Calcul des armatures sur piédroit centraux :

Les calculs sont effectués pour un piédroit considéré au mètre linéaire comme un poteau de  $1 \text{ m} * 0,6$  soumis à une compression simple centrée.

Données :  $H = 1,5$  ,  $h = 0,3$  m,  $b = 1$  m,  $c = 3$  cm

Effort normal sollicitant le piédroit

$$Nu = 444,87 \text{ KN/ml} ; N_{ser} = 329,11 \text{ kN/ml}$$

Longueur de flambement (piédroit bi encasté)

$$l_f = 0,5 * l_0 = 0,5 * 1,5 = 0,75 \text{ m}$$

Elancement :

$$\lambda = 3,46 * \frac{l_f}{h} = 3,46 * \frac{0,75}{0,6} = 4,325$$

$$\text{On a } \lambda \leq 50 \Rightarrow \alpha = \frac{0,85}{1+0,2*\left(\frac{\lambda}{35}\right)^2} = 0,85$$

$$Br = (h - 2c) * (b - 2c) = (60 - 2 * 3)(100 - 2 * 3) = 5076 \text{ cm}^2$$

En considérant que plus de la moitié des charges sont appliquée avant 90 jours, on a :

$$\alpha' = \frac{\alpha}{1,1} = \frac{0,85}{1,1} = 0,77$$

$$A_{sc} = \left( \frac{N_{ser}}{\alpha'} - \frac{Br * f_{c28}}{0,9 \gamma_b} \right) * \left( \frac{\gamma_s}{f_e} \right) = \left( \frac{0,329}{0,77} - \frac{0,5076 * 30}{0,9 * 1,5} \right) * \left( \frac{1,15}{500} \right) * 10^4 = -249,6 < 0$$

Calcul de la section minimale Section minimale :

$$\text{Périmètre : } u = 2 * (h + b) = 2 * (0,6 + 1) = 3,2$$

$$\text{Aire béton : } B = h * b = 0,6 * 1 = 0,6 \text{ m}^2$$

$$A_{min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 4 \text{ cm}^2 * u \text{ en cm}^2 \\ 0,2 * \frac{B}{100} \end{array} \right.$$

$$A_{min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 4 * 3,2 = 12,8 \text{ cm}^2 \\ 0,2 * \frac{6000}{100} = 12 \text{ cm}^2 \end{array} \right.$$

$$A = A_{min} = 12,8 \text{ cm}^2$$

$$\text{Vérifions : } A_{max} = 5 * \frac{B}{100} = 5 * \frac{6000}{100} = 300 \text{ cm}^2 \rightarrow A_{min} < A_{max} \text{ OK}$$

$$\text{D'où } A_s = 12,8 \text{ cm}^2$$

Soit  $A_s = 6,4 \text{ cm}^2$  sur chaque face → **Choix 4HA14 sur chaque face**

**Acier de répartition :**  $\frac{A_s}{3} = 2,066 \text{ cm}^2 < A_{min}$

**Acier répartition** =  $A_{min} = 12,8 \text{ cm}^2$  choix 4HA14 sur les deux faces

✓ Calcul des armatures du piedroit extrême :

Les calculs sont effectués pour un piedroit considéré au mètre linéaire comme un poteau de 100 cm\*60 cm en flexion composée

Combinaisons	M (KN.m/ml)	N( KN/ml)
ELU	28,43	271,36
ELS	21,13	201,64

Calcul à l'ELU :

M=28,43 KN.m/ml et N=367,86 KN/ml

Excentricité additionnelle :  $e_a = \max \left\{ \frac{2 \text{ cm}}{250} \rightarrow \max \left\{ \frac{2 \text{ cm}}{250} = 0,84 \rightarrow e_a = 2 \text{ cm} \right. \right.$

$$e_1 = \frac{Mu}{Nu} + e_a = \frac{28,43}{271,36} + 0,02 = 0,125 \text{ m}$$

### Sollicitations ultimes corrigées pour flambement

Elancement géométrique :  $l_f = 0,7 * l_0 = 0,5 * 2,1 = 1,05$

Type de calcul

Pièce chargée de façon excentrée :

$$\frac{l_f}{h} < \text{Max} \left\{ \frac{15}{20 * \frac{e_1}{h}} = \left\{ 15; 20 * \frac{0,125}{0,6} \right\} \right.$$

$$\frac{1,05}{0,6} < \text{Max} \left\{ \frac{15}{20 * \frac{e_1}{h}} = \left\{ 15; 20 * \frac{0,125}{0,6} \right\} \rightarrow 1,75 < 15$$

Calcul en flexion composée en tenant compte de façon forfaitaire, de l'excentricité du 2<sup>nd</sup> ordre :

Excentricité du 2<sup>nd</sup> ordre

$$\alpha = \frac{M_1^L}{M_1} = \frac{28,43}{28,43 + 21,13} = 0,574$$

$$e_2 = \frac{3l_f}{10^4 * h} (2 + \phi\alpha) = \frac{3 * 1,05^2 * (2 + 2 * 0,574)}{10^4 * 0,6} = 0,00174m = 0,174 \text{ cm}$$

Avec  $\phi=2$  cas courant

Sollicitation corrigées pour le calcul en flexion composée

$$\begin{cases} N_u = N_i \\ M_{uGO} = N_u (e_1 + e_2) \\ e_0 = e_1 + e_2 \end{cases}$$

$$\rightarrow N_u = 271,36 \text{ KN/ml}$$

$$\rightarrow M_{uGO} = 271,36(0,125 + 0,00174) = 34,39 \text{ KN.m/ml}$$

$$e_0 = e_1 + e_2 = 0,12674 \text{ m} = 12,67 \text{ cm}$$

Sollicitation au centre de gravité des aciers tendus

$$\begin{cases} e_A = e_0 + \left(d - \frac{h}{2}\right) = 12,67 + \left(54 - \frac{60}{2}\right) = 36,67 \text{ cm} \\ M_{uA} = N_u * e_A = 271,36 * 0,3667 = 99,51 \text{ KN.m/ml} \end{cases}$$

$$\text{Moment de référence : } \mu_{BC} = \frac{0,8h}{d} \left(1 - \frac{0,4h}{d}\right) = \frac{0,8*0,6}{0,54} \left(1 - \frac{0,4*0,6}{0,54}\right) = 0,494$$

$$\text{Moment agissant : } \mu_{uA} = \frac{M_{uA}}{b_0 * d^2 * f_{bu}} = \frac{0,09951}{0,6 * 0,54^2 * 18} = 0,0316$$

Calcul à l'ELS :

$$\begin{cases} M_{ser} = 21,13 \\ N_{ser} = 201,64 \end{cases}$$

$$e_{Oser} = \frac{M_{ser}}{N_{ser}} = \frac{21,13}{201,64} = 0,105 \text{ m}$$

Sollicitation au centre de gravité des aciers tendus.

$$e_A = e_{Oser} + \left(d - \frac{h}{2}\right) = 0,105 + \left(0,54 - \frac{0,6}{2}\right) = 0,345$$

$$M_{serA} = N_{ser} * e_A = 201,64 * 0,345 = 69,566 \text{ KN.m/ml}$$

Calcul des aciers en flexion simple

$$\text{Moment réduit limite : } \gamma_M = \frac{M_{uA}}{M_{serA}} = \frac{99,51}{69,566} = 1,43$$

$$10^4 * \mu_{lu} = 3440 * \theta * \gamma_M + 49 \frac{f_{c28}}{\theta} - 3100$$

$$3440 * 1 * 1,43 + 49 * \frac{30}{1} - 3100 = 3289,2$$

$$\rightarrow \mu_{lu} = 0,32892$$

On a  $\mu_{uA} < \mu_{BC} \rightarrow$  Donc section partiellement comprimée

Et  $\mu_{uA} < \mu_{lu} = 0,32892 \rightarrow$  pas d'acier comprimés

Paramètre de déformation :

$$\alpha_{uA} = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_{uA}}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - (2 \times 0,0316)}) = 0,04$$

Bras de levier :

$$Z_{uA} = d * (1 - 0,4 \times \alpha_{uA}) = 0,54 \times (1 - 0,4 \times 0,04) = 0,53m$$

$$A = \frac{M_{uA}}{Z_{uA} \times \sigma_s} = \frac{99,51 \times 10^{-3}}{0,53 \times 434,78} = 0,4318 \cdot 10^{-3} m^2 \text{ soit } 4,318 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité de la section

$$A_{min} = \frac{0,23 * b * d * f_{t28}}{f_e} = \frac{0,23 * 1 * 2,4 * 0,54}{500} = 5,9616 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$\text{Soit } 5,9616 \text{ cm}^2$$

Le section d'armatures retenues est donc  $\max(A_{st}; A_{min})$

$$\text{Soit : } A_{st} = 5,9616 \text{ cm}^2 \text{ choix } \mathbf{4HA14}$$

Acier de répartition

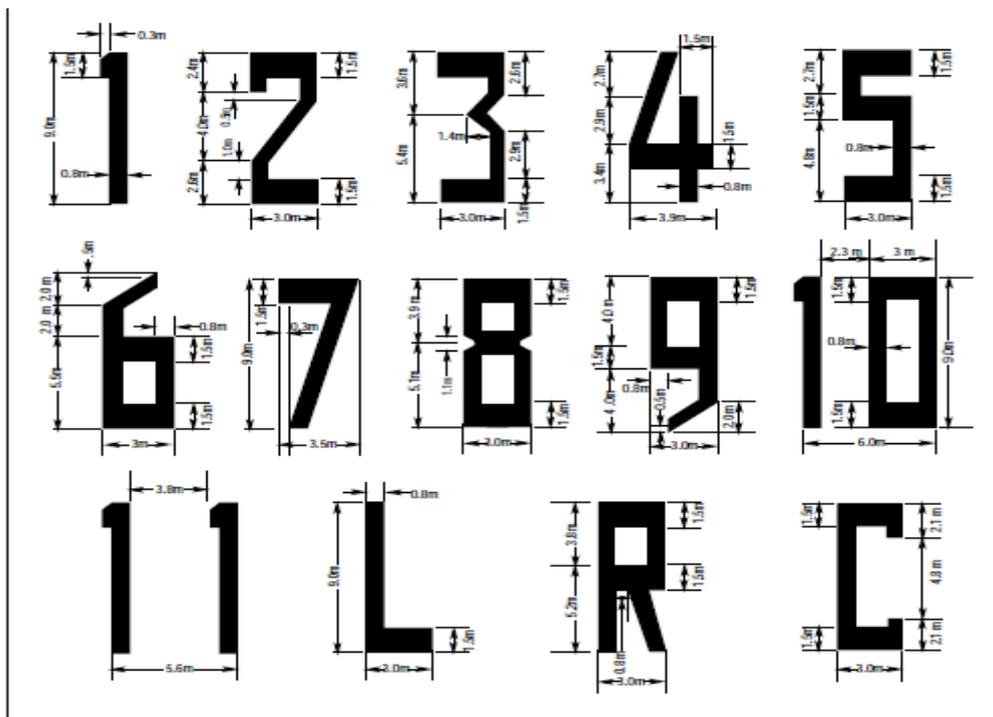
**Récapitulatifs section d'armature =  $A_{min} = 5,9616 \text{ cm}^2$  choix 4HA14**

PARTIE D'OUVRAGE	Sollicitations KN.m/ml et KN/ml		ELU	ELS	section de béton(cm)		section d'acier		Acier de répartition	
					b	h	théorique(cm <sup>2</sup> )	choix	Choix section d'acier	Espacement cm
TABLIER	Moment fléchissant	à gauche	453,9	340,05	100	60	31,79	<b>16HA16</b>	<b>8HA14</b>	<b>13</b>
		à droite	334,82	250,76	100	60	23,44	<b>8HA20</b>	<b>4HA16</b>	<b>25</b>
		au milieu	266,13	199,37	100	60	18,63	<b>6HA20</b>	<b>6HA12</b>	<b>16</b>
Radier	Moment fléchissant	à gauche	113,3	84,362	100	60	7,887	<b>4HA16</b>	<b>4HA14</b>	<b>25</b>
		à droite	113,72	84,672	100	60	5,9616	<b>4HA14</b>	<b>4HA14</b>	<b>25</b>
		au milieu	61,88	46,046	100	60	5,9616	<b>4HA14</b>	<b>4HA14</b>	<b>25</b>
PIEDROITS EXTERMES	Moment fléchissant	inferieur	39,9	29,668	100	60	5,9616	<b>4AH14</b>	<b>4HA14</b>	<b>25</b>
		supérieur	25,01	18,658	100	60				
		Milieu	28,43	21,128	100	60				
	effort normal		271,36	201,64	100	60				
PIEDROITS INTERIEURS	Moment fléchissant	inferieur	152,39	114,23	100	60	12,8 soit 6,4 /face	<b>4HA14/face</b>	<b>4HA14</b>	<b>25</b>
		supérieur	174,27	130,69	100	60				
		Milieu	154,972	116,2	100	60				
	effort normal		443,87	329,11	100	60				

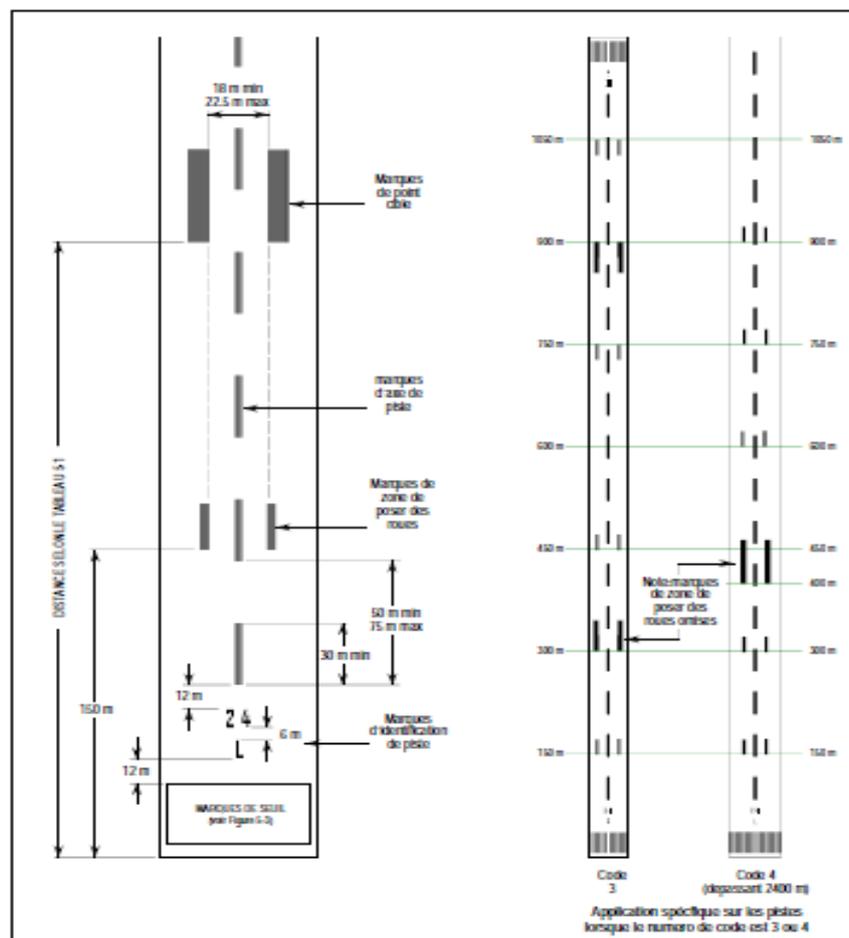
annexe 14matrice de Léopold pour l'identification des impacts

<b>ELEMENT POTENTIELLEMENT AFFECTE</b>											
Source des impacts	Environnement atmosphérique			Environnement aquatique		Environnement terrestre			Utilisation des ressources		
	Poussière	Bruit	Vibration	de Qualité l'eau/	Faune	Géologie,	Végétation	Faune	Aquatique	Terrestre	Patrimoniales
Accès au site	*	*	*		*					*	*
Installation de chantier	*	*	*		*		*	*		*	*
Débroussaillage du site	*	*	*		*	*	*	*			*
Transport de matériaux	*	*	*	*		*	*	*		*	
Emprunt et carrière	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*
Déviation	*	*	*		*		*	*		*	*

annexe 15 : les différents signes d'identification et marques de piste



Les marques et traits de piste pour la circulation des aéronefs



annexe 16 :résultats de sondages géotechniques réalisés

Tançons	Pk DEBUT	Pk FIN	Nature	PROCTOR MODIFIE(NFP 94-093)		PORTANCE CBR (NFP 94-078)		LIMITES D'ATTEMBER G(NFP 94-051)		ANALYSE GRANULOMETRIQUE (mode opératoire G2-DUNO) %Passant					CLASSE DE PORTANCE
				Densité OPM	Teneur en eau	CBR à 98%	CBR à 95%	LL	IP	<80 µm	<2 mm	<5 mm	<10 mm	<20 mm	
<u>Taxyway</u>	0+000	0+175	Limon argileux	2,083	7,7	5	3	37,2	19,9	41,8	66,6	100	-	-	Résistance ultra faible (D)
piste	déblais		Limon argileux	2,035	8,4	7	5	33,0	17,9	38,2	92,9	94,8	100	-	Résistance élevée(C)
Piste :PST	0+800	1+100	SOL argileux	2,05	8,2	4	3	44,1	23,7	44,5	97,9	100	-	-	Résistance ultra faible (D)
Piste :Tas gerbé	0+000	-	Grave argileux	2,02	8,7	16	11	29,9	16,5	32,6	52,5	59,3	65,4	71,2	Résistance moyenne(B)

Observations : tous les matériaux analysés précédemment ne répondent pas aux spécification technique car le CBR à 95% de l'OPM qui

exprime la portance des matériaux est inférieur au CBR exigé dans le cahier de charge qui est de 15 au niveau de la partie supérieure du terrassement. Cependant une opération de purge sur toutes les parties du projet est obligatoire jusqu'à une certaine profondeur afin de remblayer avec un matériau de portance beaucoup plus élevée.

Tançons	Pk DEBUT	Pk FIN	Nature	PROCTOR MODIFIE(NFP 94-093)		PORTANCE CBR (NFP 94-078)		LIMITES D'ATTEMBE RG(NFP 94-051)		ANALYSE GRANULOMETRIQUE (mode opératoire G2-DUNO) %Passant					CLASSE DE PORTANCE
				Densité à OPM	Teneur en eau	CBR à 98%	CBR à 95%	LL	IP	<80 µm	<2 mm	<5 mm	<10 mm	<20 mm	
Taxiway :fondation	0+050	0+197	Grave quartzuse	2,123	4,5	229	97	22,1	10,0	17,7	30,7	45,5	62	78,8	Résistance élevée(A)

Observation : les résultats sont conformes aux spécification techniques ;

annexe 17 :donnée TN de la piste

**Tabulation de la piste**

**Profils En Travers**

**Axe : Axe**

Table courante : Aucune...

Zone de travail : Piste

Convention de signe des dévers : 

Num.	Abscisse	Axe Plan	Axe Long	Z Tn	Z Projet	Gisement	X	Y	Dévers		Pente long.
									Gauche	Droite	
01	0.000	Droite 1	Pente 1	211.683	211.686	50.57	331922.992	1575861.809	1.50	-1.50	-0.43
01-1	25.000	Droite 1	Pente 1	211.554	211.579	50.57	331905.474	1575879.645	1.50	-1.50	-0.43
01-2	50.000	Droite 1	Pente 1	211.399	211.471	50.57	331887.956	1575897.480	1.50	-1.50	-0.43
01-3	75.000	Droite 1	Pente 1	211.118	211.364	50.57	331870.437	1575915.316	1.50	-1.50	-0.43
02	100.000	Droite 1	Pente 1	210.856	211.257	50.57	331852.919	1575933.152	1.50	-1.50	-0.43
02-1	125.000	Droite 1	Pente 1	210.635	211.150	50.57	331835.401	1575950.988	1.50	-1.50	-0.43
02-2	150.000	Droite 1	Pente 1	210.470	211.042	50.57	331817.883	1575968.823	1.50	-1.50	-0.43
02-3	175.000	Droite 1	Pente 1	210.317	210.935	50.57	331800.365	1575986.659	1.50	-1.50	-0.43
03	200.000	Droite 1	Pente 1	210.198	210.828	50.57	331782.847	1576004.495	1.50	-1.50	-0.43
03-1	225.000	Droite 1	Pente 1	210.079	210.721	50.57	331765.328	1576022.331	1.50	-1.50	-0.43
03-2	250.000	Droite 1	Pente 1	209.804	210.614	50.57	331747.810	1576040.166	1.50	-1.50	-0.43
03-3	275.000	Droite 1	Pente 1	209.581	210.506	50.57	331730.292	1576058.002	1.50	-1.50	-0.43
04	300.000	Droite 1	Pente 1	209.678	210.399	50.57	331712.774	1576075.838	1.50	-1.50	-0.43
04-1	325.000	Droite 1	Pente 1	209.717	210.292	50.57	331695.256	1576093.674	1.50	-1.50	-0.43
04-2	350.000	Droite 1	Pente 1	209.601	210.185	50.57	331677.738	1576111.509	1.50	-1.50	-0.43
04-3	375.000	Droite 1	Pente 1	209.433	210.077	50.57	331660.219	1576129.345	1.50	-1.50	-0.43
05	400.000	Droite 1	Pente 1	209.251	209.970	50.57	331642.701	1576147.181	1.50	-1.50	-0.43
05-1	425.000	Droite 1	Pente 1	209.128	209.863	50.57	331625.183	1576165.016	1.50	-1.50	-0.43
05-2	450.000	Droite 1	Pente 1	208.929	209.756	50.57	331607.665	1576182.852	1.50	-1.50	-0.43
05-3	475.000	Droite 1	Pente 1	208.806	209.649	50.57	331590.147	1576200.688	1.50	-1.50	-0.43
06	500.000	Droite 1	Pente 1	208.812	209.541	50.57	331572.628	1576218.524	1.50	-1.50	-0.43
06-1	525.000	Droite 1	Pente 1	208.862	209.434	50.57	331555.110	1576236.359	1.50	-1.50	-0.43
06-2	550.000	Droite 1	Parabole 1	208.834	209.327	50.57	331537.592	1576254.195	1.50	-1.50	-0.42
06-3	575.000	Droite 1	Parabole 1	208.887	209.222	50.57	331520.074	1576272.031	1.50	-1.50	-0.41

07	600.000	Droite 1	Parabole 1	208.806	209.120	50.57	331502.556	1576289.867	1.50	-1.50	-0.40
07-1	625.000	Droite 1	Parabole 1	208.725	209.020	50.57	331485.038	1576307.702	1.50	-1.50	-0.39
07-2	650.000	Droite 1	Parabole 1	208.627	208.923	50.57	331467.519	1576325.538	1.50	-1.50	-0.38
07-3	675.000	Droite 1	Parabole 1	208.528	208.828	50.57	331450.001	1576343.374	1.50	-1.50	-0.37
08	700.000	Droite 1	Parabole 1	208.415	208.736	50.57	331432.483	1576361.210	1.50	-1.50	-0.36
08-1	715.000	Droite 1	Parabole 1	208.366	208.681	50.57	331421.972	1576371.911	1.50	-1.50	-0.36
08-2	725.000	Droite 1	Parabole 1	208.334	208.646	50.57	331414.965	1576379.045	1.50	-1.50	-0.35
08-3	750.000	Droite 1	Parabole 1	208.425	208.559	50.57	331397.447	1576396.881	1.50	-1.50	-0.34
08-4	775.000	Droite 1	Parabole 1	208.509	208.474	50.57	331379.928	1576414.717	1.50	-1.50	-0.33
09	800.000	Droite 1	Parabole 1	207.799	208.391	50.57	331362.410	1576432.553	1.50	-1.50	-0.32
09-1	825.000	Droite 1	Parabole 1	207.711	208.312	50.57	331344.892	1576450.388	1.50	-1.50	-0.31
09-2	835.000	Droite 1	Parabole 1	208.039	208.280	50.57	331337.885	1576457.522	1.50	-1.50	-0.31
09-3	850.000	Droite 1	Parabole 1	207.964	208.234	50.57	331327.374	1576468.224	1.50	-1.50	-0.30
09-4	875.000	Droite 1	Parabole 1	207.839	208.159	50.57	331309.856	1576486.060	1.50	-1.50	-0.29
10	900.000	Droite 1	Parabole 1	207.652	208.087	50.57	331292.338	1576503.895	1.50	-1.50	-0.28
10-1	925.000	Droite 1	Parabole 1	207.522	208.017	50.57	331274.819	1576521.731	1.50	-1.50	-0.27
10-2	950.000	Droite 1	Parabole 1	207.454	207.950	50.57	331257.301	1576539.567	1.50	-1.50	-0.26
10-3	975.000	Droite 1	Parabole 1	207.295	207.885	50.57	331239.783	1576557.403	1.50	-1.50	-0.25
11	1000.000	Droite 1	Parabole 1	207.127	207.823	50.57	331222.265	1576575.238	1.50	-1.50	-0.24
11-1	1025.000	Droite 1	Parabole 1	207.006	207.763	50.57	331204.747	1576593.074	1.50	-1.50	-0.23
11-2	1050.000	Droite 1	Parabole 1	206.913	207.705	50.57	331187.229	1576610.910	1.50	-1.50	-0.22
11-3	1075.000	Droite 1	Parabole 1	206.822	207.651	50.57	331169.710	1576628.746	1.50	-1.50	-0.21
12	1100.000	Droite 1	Parabole 1	206.677	207.598	50.57	331152.192	1576646.581	1.50	-1.50	-0.20
12-1	1125.000	Droite 1	Parabole 1	206.610	207.548	50.57	331134.674	1576664.417	1.50	-1.50	-0.19
12-2	1150.000	Droite 1	Parabole 1	206.708	207.501	50.57	331117.156	1576682.253	1.50	-1.50	-0.18
12-3	1175.000	Droite 1	Parabole 1	206.740	207.456	50.57	331099.638	1576700.089	1.50	-1.50	-0.17

*Étude technique détaillée et réalisation des travaux de construction d'une piste d'atterrissage et de décollage cas de l'aéroport international de Tillabéri*

Num.	Abscisse	Axe Plan	Axe Long	Z Tn	Z Projet	Gisement	X	Y	Dévers		Pente long.
									Gauche	Droite	
13	1200.000	Droite 1	Parabole 1	206.939	207.414	50.57	331082.119	1576717.924	1.50	-1.50	-0.16
13-1	1225.000	Droite 1	Parabole 1	207.139	207.374	50.57	331064.601	1576735.760	1.50	-1.50	-0.15
13-2	1250.000	Droite 1	Parabole 1	206.940	207.337	50.57	331047.083	1576753.596	1.50	-1.50	-0.14
13-3	1275.000	Droite 1	Parabole 1	206.529	207.302	50.57	331029.565	1576771.431	1.50	-1.50	-0.13
14	1300.000	Droite 1	Parabole 1	206.495	207.270	50.57	331012.047	1576789.267	1.50	-1.50	-0.12
14-1	1325.000	Droite 1	Parabole 1	206.597	207.240	50.57	330994.529	1576807.103	1.50	-1.50	-0.11
14-2	1350.000	Droite 1	Parabole 1	206.678	207.212	50.57	330977.010	1576824.939	1.50	-1.50	-0.10
14-3	1375.000	Droite 1	Parabole 1	206.716	207.188	50.57	330959.492	1576842.774	1.50	-1.50	-0.09
15	1400.000	Droite 1	Parabole 1	206.769	207.165	50.57	330941.974	1576860.610	1.50	-1.50	-0.08
15-1	1425.000	Droite 1	Parabole 1	206.828	207.145	50.57	330924.456	1576878.446	1.50	-1.50	-0.07
15-2	1450.000	Droite 1	Parabole 1	206.894	207.128	50.57	330906.938	1576896.282	1.50	-1.50	-0.06
15-3	1475.000	Droite 1	Parabole 1	206.927	207.113	50.57	330889.420	1576914.117	1.50	-1.50	-0.05
16	1500.000	Droite 1	Parabole 1	206.957	207.101	50.57	330871.901	1576931.953	1.50	-1.50	-0.04
16-1	1525.000	Droite 1	Parabole 1	206.975	207.091	50.57	330854.383	1576949.789	1.50	-1.50	-0.03
16-2	1550.000	Droite 1	Parabole 1	206.982	207.084	50.57	330836.865	1576967.625	1.50	-1.50	-0.02
16-3	1575.000	Droite 1	Parabole 1	206.972	207.079	50.57	330819.347	1576985.460	1.50	-1.50	-0.01
17	1600.000	Droite 1	Parabole 1	206.962	207.077	50.57	330801.829	1577003.296	1.50	-1.50	-0.00
17-1	1625.000	Droite 1	Parabole 1	206.954	207.077	50.57	330784.310	1577021.132	1.50	-1.50	0.01
17-2	1650.000	Droite 1	Parabole 1	206.938	207.079	50.57	330766.792	1577038.968	1.50	-1.50	0.02
17-3	1675.000	Droite 1	Parabole 1	206.921	207.085	50.57	330749.274	1577056.803	1.50	-1.50	0.03
18	1700.000	Droite 1	Parabole 1	206.860	207.092	50.57	330731.756	1577074.639	1.50	-1.50	0.04
18-1	1725.000	Droite 1	Parabole 1	206.806	207.102	50.57	330714.238	1577092.475	1.50	-1.50	0.05
18-2	1750.000	Droite 1	Pente 2	206.741	207.114	50.57	330696.720	1577110.310	1.50	-1.50	0.05
18-3	1775.000	Droite 1	Pente 2	206.725	207.126	50.57	330679.201	1577128.146	1.50	-1.50	0.05
19	1800.000	Droite 1	Pente 2	206.774	207.138	50.57	330661.683	1577145.982	1.50	-1.50	0.05
19-1	1825.000	Droite 1	Pente 2	206.683	207.150	50.57	330644.165	1577163.818	1.50	-1.50	0.05
19-2	1850.000	Droite 1	Pente 2	206.716	207.162	50.57	330626.647	1577181.653	1.50	-1.50	0.05
19-3	1875.000	Droite 1	Pente 2	206.753	207.174	50.57	330609.129	1577199.489	1.50	-1.50	0.05
20	1900.000	Droite 1	Pente 2	206.744	207.186	50.57	330591.610	1577217.325	1.50	-1.50	0.05
20-1	1925.000	Droite 1	Pente 2	206.711	207.198	50.57	330574.092	1577235.161	1.50	-1.50	0.05
20-2	1950.000	Droite 1	Pente 2	206.692	207.210	50.57	330556.574	1577252.996	1.50	-1.50	0.05
20-3	1975.000	Droite 1	Pente 2	206.731	207.222	50.57	330539.056	1577270.832	1.50	-1.50	0.05
21	2000.000	Droite 1	Pente 2	206.715	207.234	50.57	330521.538	1577288.668	1.50	-1.50	0.05
21-1	2025.000	Droite 1	Pente 2	206.619	207.246	50.57	330504.020	1577306.504	1.50	-1.50	0.05
21-2	2050.000	Droite 1	Pente 2	206.637	207.258	50.57	330486.501	1577324.339	1.50	-1.50	0.05
21-3	2075.000	Droite 1	Pente 2	206.750	207.270	50.57	330468.983	1577342.175	1.50	-1.50	0.05
22	2100.000	Droite 1	Pente 2	206.865	207.282	50.57	330451.465	1577360.011	1.50	-1.50	0.05

Listing profil en long :

**Axe : Axe**

Table courante : Aucune...

Zone de travail : Piste

Elts Caractéristiques			Points de Contacts	
Nom	Pente / Rayon	Longueur	Abscisse	Altitude
Pente 1	Pente -0.43 %	538.692	0.000	211.686
Parabole 1	Rayon 250000.000 m	1192.058	538.692	209.375
	Sommet Absc. 1610.864 m			
	Sommet Alt. 207.076 m			
Pente 2	Pente 0.05 %	369.250	1730.750	207.105
			2100.000	207.282
Longueur partielle de l'axe 2100.000 mètre(s)				
Longueur développée partielle de l'axe 2100.008 mètre(s)				

Axe en plan

**Axe : Axe**

Table courante : Aucune...

Zone de travail : Piste

Elts Caractéristiques			Points de Contacts		
Nom	Paramètres	Longueur	Abscisse	X	Y
Droite 1	Gisement 350.57gr	2100.000	0.000	331922.992	1575861.809
			2100.000	330451.465	1577360.011
Longueur partielle de l'axe 2100.000 mètre(s)					