

RÉPUBLIQUE DU SÉNÉGAL



ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE THIÈS

PROJET DE FIN D'ÉTUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGÉNIEUR DE CONCEPTION

TITRE : REHABILITATION DE LA PISTE 12 - 30 DE L'AÉROPORT
DE DAKAR - YOFF (PREMIÈRE PARTIE)

AUTEUR : STANISLAS NDOUR

DIRECTEUR : ANDRÉ PARIS, ING OIQ

CO-DIRECTEUR : MASS M'BAYE, ING EPT

DATE : MAI 1985

A mon regretté père

*A ma famille, particulièrement à mon grand
frère pour toutes mes charges scolaires qu'il a
supportées.*

A ma chère Rosalie Diouf.

Remerciements

Mes remerciements au terme de mes études iront à l'endroit de :

. M^r ANDRE PARIS, professeur à l'E.P.T et directeur du projet, pour sa disponibilité constante en dehors même des heures réservées au projet, son ouverture à la discussion, son gros pour toute l'aide qu'il m'a cessé d'apporter tout au long de cette année pour la réussite du projet ;

. M^r ARONA DIOP, mon ancien professeur et actuel secrétaire général à l'E.P.T, pour toute la motivation qu'il m'avait donnée depuis mon premier cycle ;

. M^r MICHEL BORNAT, technicien au laboratoire de sol à l'E.P.T, pour sa participation à l'échantillonnage et aux essais géotechniques ;

. Au personnel de l'ASECNA, par le biais de MASS MBAYE, directeur externe du projet, pour toute l'attention qu'il nous a accordée et les renseignements qu'il nous a fournis ;

. mes amis de l'école Polytechnique de Thiès, particulièrement mes camarades de classe avec qui j'ai eu de bonnes relations tout au long des cinq années passées à l'école.

Sommaire

Cette première partie de l'étude d'un renforcement de la piste 12-30 de l'aéroport de Dakar n'est qu'un avant projet dont la deuxième partie concernant le calcul structural a été traitée par Serigne Diye Thioune.

Dans cette partie nous trouverons essentiellement.

- les caractéristiques du sol telles que la teneur en eau, la granularité etc...;
- la capacité portante du sol à 4 jours d'imbibition pour simuler les conditions défavorables. Cet échantillonnage a été fait à une profondeur d'environ 60 cm sous l'axe de la piste.
- La topographie de la piste, en redéfinissant les profils en travers et en long à la suite d'un reflashage et du renforcement calculé dans la deuxième partie.
- l'étude statistique du trafic pour trouver la moyenne des mouvements journaliers. La moyenne de 30 mouvements journaliers actualisée sur la durée de vie de la chaussée de 20 ans a donné 96 mouvements par jour.

D'autres sujets ont été traités tels que :

- la rose des vents pour vérifier la direction, - le drainage,
- le balisage et la signalisation etc.

C'est à partir de là que l'épaisseur théorique de la chaussée a été calculée par différentes méthodes et d'où la valeur du renforcement a été déduite (se référer à la 2^e partie).

table des matières

I	Introduction	1
	1- situation géographique	1
	2- Caractéristiques de la piste	3
II	Classification des aéroports et des chaussées	5
	1- classification des aéroports	5
	2- classification des chaussées	7
III	Facteurs à considérer dans le dimensionnement	10
	1 Nature du sol	10
	1.1 Capacité portante	11
	1.1.1 essai C.B.R	11
	1.1.2 essai de chargement à la plaque	16
	1.1.3 essai de déflexion	17
	1.2 Uniformité du sol	19
	1.2.1 sols instables	19
	1.2.2 sols gonflants	20
	2 Dégradation de la chaussée	22
	2.1 dégradation de la chaussée souple	23
	2.1 dégradation de la chaussée rigide	25
	3 Climat	28
	3.1 température	28
	3.2 pluviométrie	29
	3.2.1 intensité - durée - Fréquence	29
	3.3 Rose des vents	34
	3.3.1 coefficient d'utilisation	34
	3.3.2 vent traversier	36
	3.3.3 calcul du coefficient d'utilisation	37

4	Trafic	43
5	géométrie	46
5.1	Reflashage et renforcement	46
5.2	profil en long	48
5.2.1	pentcs longitudinales	49
5.2.2	changement de pente longitudinale	51
5.2.3	distance de visibilité	56
5.2.4	distance entre changements de pente	62
5.2.5	longueur des pistes	64
5.3	Profils en travers	68
5.3.1	pentcs transversales	68
<u>IV</u>	Drainage	74
1	les eaux de surface	74
1.1	Drainage des zones perméables	74
1.1.1	Calcul des tranchées drainantes	75
1.2	Mainage des zones imperméables	76
2	les eaux souterraines	77
<u>V</u>	le balisage	78
1.1	balisage et signalisation de jour	78
2	balisage et signalisation lumineux	81
<u>VI</u>	Recommandations et conclusion.	85
	Annexe A : calculs des raccordements	87
	Annexe B données statistiques du vent.	92
	Annexe C profils en travers	98
	Bibliographie	103

chap I Introduction

1. Situation géographique

L'aéroport de Dakar-Yoff se situe à l'Ouest de la capitale du Sénégal, lequel pays constitue la pointe Ouest de l'Afrique occidentale et est limité à l'Ouest par l'Océan Atlantique. En arrivant dans la ville de Dakar par les voies routières de l'intérieur du pays, il est facile de retrouver l'aéroport à l'aide de la signalisation verticale. En suivant la route de Rufisque vers Dakar le premier tableau d'indication se situe au niveau du rond point de la patte-d'oie. Il montre qu'il faut continuer tout droit en laissant le rond point à gauche et en allant vers le quartier de Yoff.

Le premier grand repère est le nouveau stade de l'amitié de Guédiawaye actuellement en construction. Par la route qui le longe, on s'achemine tranquillement vers la foire internationale de Dakar (FIDAK). Après la FIDAK, apparaissent les grands hôtels du méridien et de Ngor du côté Ouest, un peu plus vers la mer. A partir de ce moment, on peut situer l'aéroport à l'aide de sa tour de contrôle que l'on peut reconnaître à son antenne parabolique et à sa hauteur. Le bruit des avions ou le décollage et l'atterrissage peuvent aussi être des indices de localisation si on a la chance de tomber sur ^{des} mouvements d'avion.

Le moyen le plus sûr ou qui a le moins de risque de se perdre est celui du transport public de la SOTRAC. Il suffirait alors de prendre le bus de la ligne 7 passant par

Ouakam ou la ligne 8 passant par Joff et qui porte d'ailleurs l'inscription "Aéroport". Dès qu'on arrive à l'aéroport, à la descente du bus, on fait des à la tour de contrôle et au hall d'entrée qui tous deux peuvent donner directement sur l'aire de stationnement. On peut accéder sur cette aire en contournant par le côté Est la tour de contrôle, le bureau administratif de l'ASECNA à gauche, pour suivre une petite voie donnant sur un poste de surveillance généralement gardé par un gendarme. De l'aire de stationnement on peut accéder à la piste 12-30 en se repérant sur la manche à vent qui est un cône en toile à rayures rouges et blanches flottant dans la direction du vent. Elle est située du côté du hangar de l'avion présidentiel et avant d'y arriver, on peut voir dans une orientation Nord-Sud une bretelle d'accès. Sur une distance de parcours d'environ 150 m, on croise une autre chaussée large d'environ 60 m et qui s'étend à perte de vue. On vient ainsi d'accéder à la piste 12-30 sur laquelle se fera l'étude du renforcement qui fait l'objet de ce projet de fin d'études.

2. Caractéristiques de la piste

La piste 12-30 est une piste secondaire orientée dans la direction 120° - 300° (Est-Ouest) de 2410 m de long et 60 m de largeur. Elle est desservie par deux bretelles d'accès de 100×30 m et 230×30 m et comporte également une raquette de retournement de 150 m de diamètre.

La piste est constituée de deux types de chaussées :

1. chaussée souple

longueur 2010 m

épaisseur totale 55 cm dont :

- . 10 cm d'enrobés
- . 10 cm de tout venant
- . 20 cm de Hérisson
- . 15 cm de banco. sable

2. chaussée rigide

longueur 400 m

épaisseur totale 50 cm constituée de :

- . 20 cm de béton hydraulique
- . 5 cm de sable de basalte stabilisé à l'émulsion de bitume
- . 15 cm de tout venant
- . 10 cm de banco / basalte

Etat actuel

La piste 12-30 a été conçue pour recevoir des D.C6, mise en service en 1956 et construite suivant les tech.

riques d'alors (technique Herisson). C'est en 1977 qu'elle a été désaffectée et utilisée comme aire de stationnement aux avions de l'armée française. Les dégradations subies par le corps de chaussée sont observables visuellement et sont imputables aux charges excessives que la chaussée a eu à faire face à cause de l'accroissement du trafic lourd surtout avec des avions du type KC 135, Transall, Nord Atlas, etc. On pourrait aussi penser que les dégradations observées pourraient être dues à de mauvais matériaux mais sous l'effet du trafic pour lequel ils ont été prévus, ces matériaux se sont bien comportés.

L'état actuel des dégradations résulte d'une baisse de résistance de la piste due à des contraintes diverses de compression, de cisaillement, de flexion et des efforts horizontaux ou tangentiels résultant du freinage ou de l'accélération des aéronefs.

Si des travaux de renforcement ne sont pas entrepris dans les meilleurs délais, on risque de se retrouver dans un état où le seuil de fatigue sera dépassé et des dégradations importantes suivront jusqu'à la rupture de la chaussée. Le renforcement se fera essentiellement sur une largeur de 45 m centraux qui forme la zone la plus sollicitée par les avions.

Il est important pour des raisons de sécurité de la navigation aérienne de remettre la piste 12-30 en service, pour non seulement décongestionner la piste principale mais aussi pour éviter aux avions légers d'utiliser, pendant certaines périodes de l'année, la piste principale 01-19 où les vents traversiers l'ont parfois dangereuse

chap II: Classification des aéroports et des chaussées

1 Classification des aéroports

Nous nous contenterons ici de donner deux types de classifications à savoir celle utilisée par l'O.A.C.I (organisation internationale de l'Aviation civile) et celle appliquée au Canada.

• Pour l'O.A.C.I, la classification utilise un système qui repose sur la longueur des pistes et s'établit comme suit:

A :	piste de	2550 m	et plus
B :	piste de	2150 m	à 2550 m
C :	piste de	1800 m	à 2150 m
D :	piste de	1500 m	à 1800 m
E :	piste de	1280 m	à 1500 m
F :	piste de	1080 m	à 1280 m
G :	piste de	900 m	à 1080 m

• Au Canada par contre, les aéroports sont classés en treize catégories selon le type et les charges des avions qu'ils doivent recevoir (tableau 1)

Ces catégories d'aéroports peuvent à leur tour être regroupées en quatre classes comme suit:

<u>Aéroport</u>	<u>catégories</u>
• international	A, B, C
• principal	A à F

Classification

Celle de l'O.A.C.I basée sur la longueur de piste principale.
pour piste secondaire réduire de 10 à 20% la longueur principale.

A:	piste de	2550 m	et plus
B:	"	de 2150 m	à 2550 m
C:	"	de 1800	à 2150
D:	"	de 1500	à 1800
E:	"	de 1280	à 1500
F:	"	de 1080	à 1280
G:	"	de 900	à 1080

Aéroport	Catégories
international	A, B, C
principal	A à F
secondaire	D à G

Dakar - Yoff : aéroport international

- La piste 12-30 :
- secondaire
 - orientation 120-300°
 - Longueur 2410 m largeur 60 m.
 - deux bretelles d'accès 30x100 et 30x230 m.
 - Composition (2e partie)

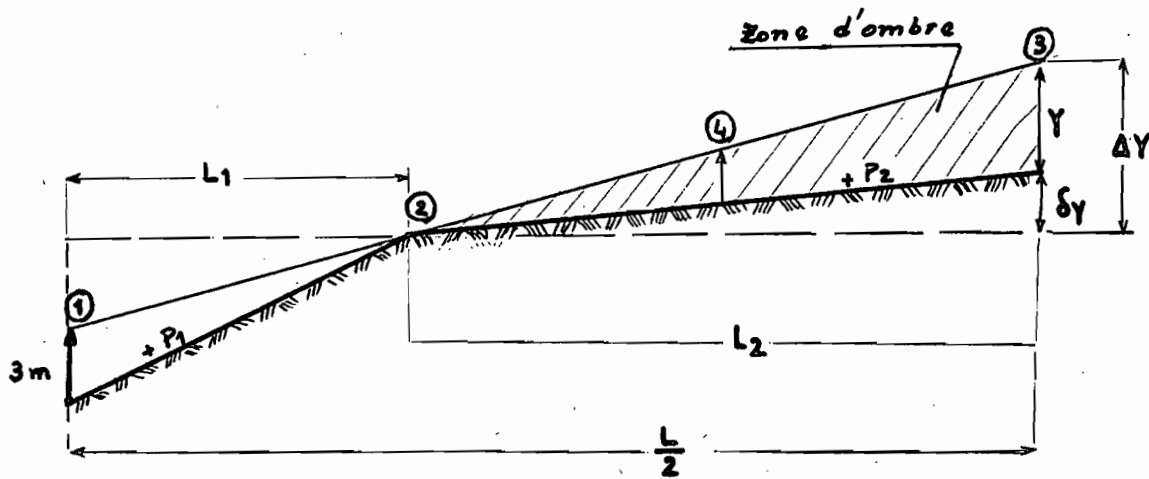
Conçue pour recevoir des DC 6 et mise en service en 1956

Désaffectée depuis 1977, elle sert d'aire de stationnement aux avions de l'armée française

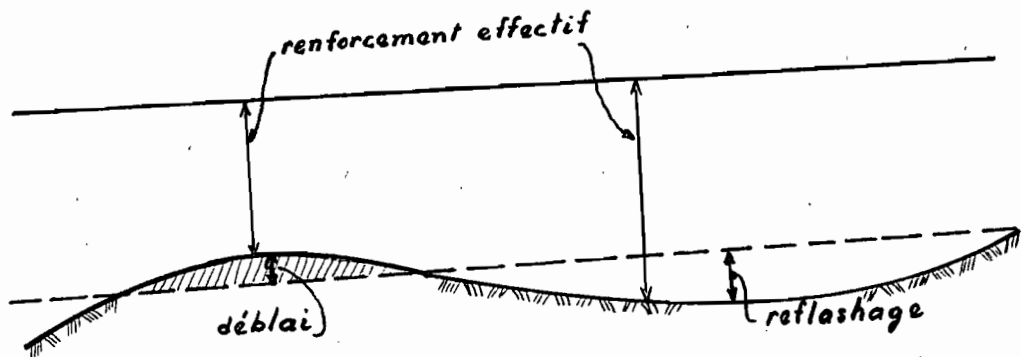
Visibilité : 3 m au dessus de la piste

sur une longueur $\frac{L}{2}$ de la piste.

- ④ par rapport à ③
- 3m en amont et comparer Y à 3m en aval.
- Valeur max : $Y = 0.68 \text{ m}$



Reflashage - Renforcement



Cote du projet = Renforcement 11cm + cote du terrain après reflashage.

Renforcement effectif = Cote du projet - cote du terrain naturel...

tableau 1 Classification des aérodrômes [3]

Catégorie	Avion type	Poids brut	Pression Pneumatique	Type de surface.
A	Avions lourds du futur	500	279	Revêtue
B	DC 8 (série 60)	400	220	Revêtue
	VC 10 (super)	400	220	
	707 (cargo)	400	220	
	B747	710	204	
	B1707	675	185	
	DC 10	409	169	
	L 1011	409	175	
C	DC 8	300	200	Revêtue
	Vanguard	147	145	
	Boeing 727	153	145	
	VC 10	301	115	
	707	300	200	
D	Hercules 130	135	82	Revêtue
	DC 9 (série 32)	108	150	
	Electra	126	170	
E	DC 6B	106	105	Revêtue
	DC 9 (série 14)	86	125	
F	Viscount	63	110	Revêtue
	DC 4	73	78	
	Gulfstream	35	120	
	Jet star	39	175	
G1	Dart Herald	43	58	Revêtue
	F 27	38	80	
G2	Dart Herald	43	58	Surface en gravier ou surface traitée sans protection contre l'action du gel.
	F 27	38	80	
H1	DC 3	27	50	Revêtue
H2	DC 3	27	50	Surface en gravier ou surface traitée sans protection contre l'action du gel.
J1	Beach 18	9	45	Revêtue
	King Air	10	55	
	D.H. Dove	9	46	
	Aztec	8	60	
J2	Beach 18	9	45	surface en gravier ou surface traitée sans protection contre le gel.
	King Air	10	55	
	D.H. Dove	9	46	
	Aztec	8	60	
K				Entretien minimum pour conserver la chaussée dans un état satisfaisant (revêtement mince ou traitement de surface)

. Secondaire D à H

. Petit F à K

L'aéroport de Dakar-Yoff est classé dans la catégorie A

2 Classification des chaussées

On peut classer les chaussées de trois façons :

- . selon le type de structure
- . selon la nature de la couche de roulement
- . selon la nature de la voie et du trafic

2.1 Classification par type de structure.

Quelle que soit la nature de la chaussée, on retrouve les éléments constitutifs suivants (à partir de la surface):

- . la couche de surface,
- . la couche de base,
- . la couche de fondation,
- . la couche de forme
- . la plate forme
- . le remblai
- . le sol naturel

Cette classification regroupe principalement :

- les chaussées rigides,
- les chaussées semi-rigides,
- les chaussées souples,
- les chaussées non revêtues.

A: chaussée rigide

Les couches de base et de surface sont confondues et faites en béton de ciment. Selon le trafic, la couche

de fondation est traitée ou non.

B chaussée semi-rigide

Avec ce type de chaussée on distingue deux façons de construction

- . la chaussée composite où la couche de surface bitumineuse est appliquée sur un béton de ciment
- . la chaussée à couche de base à liant hydraulique

C chaussée souple

Il y a généralement deux façons de construire

- . A arases non traitées, les couches inférieures, non traitées sont constituées de matériaux à granularité étendue et la couche de base peut être mince avec un mélange bitumineux préparé à chaud (pour une épaisseur inférieure à 10 cm) ou épaisse (pour une épaisseur entre 10 et 18 cm)
- . A couche de base bitumineuse et la couche de fondation non traitée ou bitumineuse.

D chaussée non revêtue

Elle peut être faite soit en terre, soit en gravier, soit en pierre concassée.

2-2 Classification par nature de la couche de roulement

La couche de roulement peut être construite en:

- A. Béton de ciment Portland,
- B. Béton bitumineux dense qui, suivant le diamètre des particules peut être qualifié: fin pour un diamètre maximum inférieur à 6mm, moyen pour

un diamètre maximum compris entre 6 et 12 mm et à grosse granularité lorsque les dimensions sont supérieures à 12mm

- c. Béton bitumineux ouvert drainant
- e. Enduit superficiel avec liant classique ou amélioré par l'addition de polymère ou à liant de haute performance.

2.3 Classification d'après la nature de la voie et de la circulation

Suivant la destination et les sollicitations auxquelles une chaussée aura à faire face, on peut faire une classification en plusieurs catégories.

- voie de circulation ou de trafic
- Piste d'envol,
- bouts de pistes,
- aire de stationnement,
- accotement.

chap III: Facteurs à considérer dans le dimensionnement des chaussées

Notons au passage que nous ne faisons pas un dimensionnement à proprement parler mais un renforcement. Le renforcement se calcule comme un dimensionnement en tenant compte, dans le résultat final du calcul de l'épaisseur de la structure, de celle de la structure existante. En somme, l'épaisseur de renforcement est la différence entre l'épaisseur théorique calculée et l'épaisseur de la chaussée existante.

Les principaux facteurs entrant en compte dans un dimensionnement sont :

- . la nature du sol,
- . la topographie et les dégradations
- . la géométrie
- . le trafic
- . le climat ou la météorologie.

Peuvent être ajoutés à cette liste quelques autres facteurs comme :

- . l'intensité et le poids de la circulation,
 - . la qualité des matériaux disponibles,
- dont on trouvera de plus amples détails dans la deuxième partie de ce présent document.

1 Nature du sol

Il sera très important avant toute construction de s'assurer que :

- le sol a une bonne portance

- le support du sol est uniforme dans le temps.

1-1 Capacité portante du sol

On peut déterminer la capacité portante d'un sol de plusieurs façons. Nous choisirons celle des essais de portance C.B.R (California Bearing Ratio) et notant au passage l'existence des essais de chargement sur plaque et des essais de déflexion.

Les essais de portance se feront de préférence sur des sols et matériaux densifiés au degré de compactage spécifié dans les devis. La teneur en eau pendant les essais doit être voisine de la teneur en eau d'équilibre pendant la durée de vie utile de la chaussée, ou dans d'autres cas être voisine de la teneur en eau que le sol atteindra durant la saison des pluies.

Si au moment des essais, la teneur en eau n'est pas voisine de celles citées plus haut, il faudra corriger les résultats d'essais obtenus en multipliant ceux-ci par un facteur de correction tenant compte de la perte de portance avec une augmentation de l'humidité.

1-1-1 Essais de portance californiens C.B.R

L'essai C.B.R consiste à mesurer la charge qui enfonce de 2.54 mm (1/10 pouce), un piston cylindrique de 19.35 cm² de section à une vitesse de 51 mm à la minute, dans un sol compacté à la densité voulue. Cet indice C.B.R se calcule en pourcentage comme étant le rapport entre la charge mesurée et la charge

de référence. Cette charge de référence est généralement fixée à 454 kg correspondant à la charge requise pour enfoncer le piston dans un gravier standard sous les conditions citées plus haut.

Pour de plus amples détails sur l'essai C.B.R., la description sommaire que nous venons de faire peut être complétée par une référence à la norme A.S.T.M D 1883 de l'American Society for Testings of Materials. La charge de référence de 454 kg correspond à une contrainte de 70 kgf/cm² pour un enfoncement de 2.54mm. D'autres charges de référence avec leurs enfoncements respectifs peuvent être utilisées. Il faudra alors veiller à ce que la valeur du dénominateur soit la bonne dans le rapport qui permet de calculer le C.B.R.

$$C.B.R = \frac{\text{charge mesurée}}{\text{charge de référence}}$$

Voici quelques une des charges de références utilisées

enfoncement (mm)	charge de référence (kgf/cm ²)
2.54	70.0
5.08	105.0
7.62	133.0
10.16	161.0
12.70	182.0

L'indice C.B.R provient du rapport des charges pour un enfoncement de 2.54 mm. Toutefois, si la valeur

du C.B.R pour un enfoncement de 5.08 mm est supérieure à celle correspondant à un enfoncement de 2.54 mm, on doit ordinairement refaire l'essai. Si pour la deuxième fois la valeur pour 5.08 mm est encore supérieure, on conserve cette dernière valeur.

Comme précédemment annoncé, les essais C.B.R doivent être effectués pour les conditions défavorables de teneur en eau. En général, des teneurs en eau voisines de celle des saisons de pluies peuvent être simulées en immergeant dans l'eau le sol échantillonné pendant quatre jours. Ceci permet d'obtenir une portance moindre à partir de laquelle on fera le dimensionnement.

L'échantillon de sol à la piste 12-30 de l'aéroport Dakar-Joff après quatre jours d'imbibition nous a permis de calculer la valeur du C.B.R.

Calcul du C.B.R.

Le comparateur utilisé pour la mesure des charges donne

$$1 \text{ division} = 43 \text{ Newtons.}$$

Le tableau 2 de la page suivante nous permet de tracer la courbe des contraintes (charges mesurées) versus les enfoncements. Par simple lecture sur cette courbe, pour des enfoncements respectifs de 2.54 mm et 5.08 mm, on peut trouver les charges mesurées et faire par la suite le calcul du C.B.R.

Enfoncement (mm)	Lecture sur comparateur (a)	charge mesurée (kgf) (a) x 48 ÷ 9.81 = (b)	contraintes (kgf/cm ²) (b) ÷ 19.35
0	0	0	0
0.5	14.0	61.36	3.17
1.0	18.0	78.90	4.08
2.0	21.0	92.05	4.76
3.0	23.5	103.0	5.32
4.0	25.0	109.6	5.66
5.0	26.0	113.96	5.89
6.0	27.0	118.35	6.12
7.0	27.8	121.86	6.30
8.0	28.0	122.73	6.34
9.0	28.8	126.24	6.52
10.0	29.0	127.11	6.57

tableau 2

D'après le graphique (page suivante), on a trouvé ^{pour} des enfoncements respectifs de 2.54 et 5.08 mm des contraintes de 5.15 kgf/cm² et de 5.95 kgf/cm² respectivement d'où le calcul suivant du C.B.R.

$$\text{Pour } 2.54 \text{ mm} \quad \text{C.B.R} = \frac{5.15}{70.0} \times 100 = 7.4$$

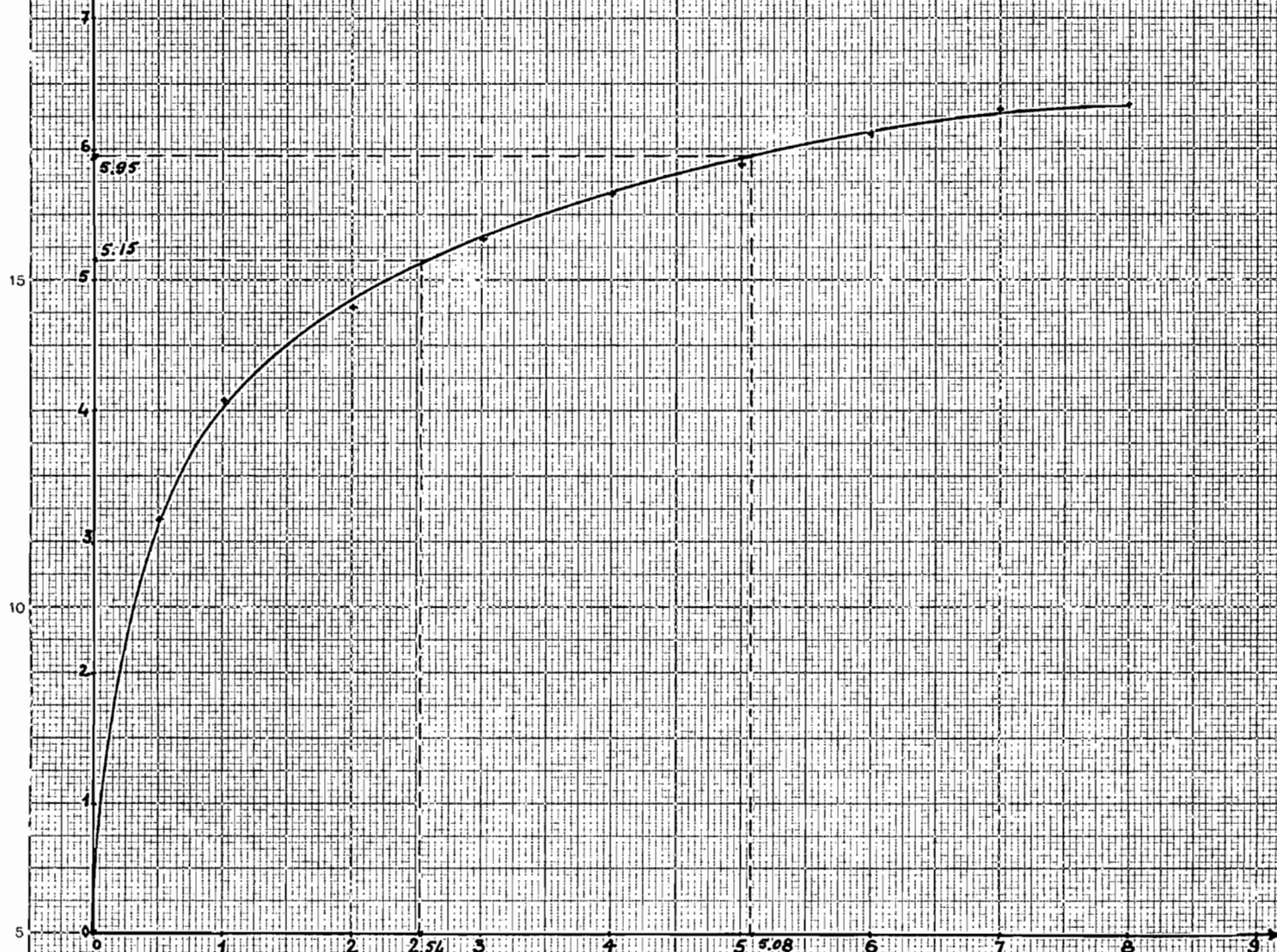
$$\text{Pour } 5.08 \text{ mm} \quad \text{C.B.R} = \frac{5.95}{105.0} \times 100 = 5.7.$$

Comme la valeur du C.B.R pour 5.08 mm est inférieure à celle de 2.54 mm, on retient comme valeur C.B.R = 7.4.

25
20
15
10
5
0

Contraintes
↑ (kgf/cm²)

enforcements (mm)



Parlons à présent de deux autres méthodes de détermination de la capacité portante du sol. Il s'agit de l'essai de chargement à la plaque et de l'essai de déflexion.

1.1.2 Essai de chargement à la plaque

L'essai de chargement à la plaque permet de mesurer la déformation verticale de la chaussée sous une charge quasi statique appliquée sur une plaque circulaire à l'aide d'un vérin hydraulique.

L'essai simule la déflexion de la chaussée sous la charge d'une roue.

Il existe plusieurs modes opératoires dont les résultats obtenus dépendent du matériel utilisé, de la valeur de la charge, de son temps d'application, du temps de mise en charge, du diamètre et de la rigidité des plaques. Les modes suivants sont généralement utilisés :

- déterminer, suivant un procédé donné, la charge requise pour enfoncer la plaque circulaire de 762 mm de diamètre (30 pouces) à une profondeur de 0.127 mm (0.05 pouce);
- Mesurer l'enfoncement produit par une pression unitaire de 58.95 kPa (10 lb/po²).

Dans chacun des cas, les résultats obtenus permettent de calculer

- le module de réaction du sous sol qui est le rapport entre la pression unitaire et l'enfoncement (kPa/cm²);
- le module de déformation correspondant à une courbe de chargement pression - déformation.

Le deuxième type d'essai de portance du sol est peu précis

et ne permet pas de juger de la variabilité de la capacité portante du sol ou de la chaussée car le nombre des mesures est limité.

1.1.3 Essai de déflexion

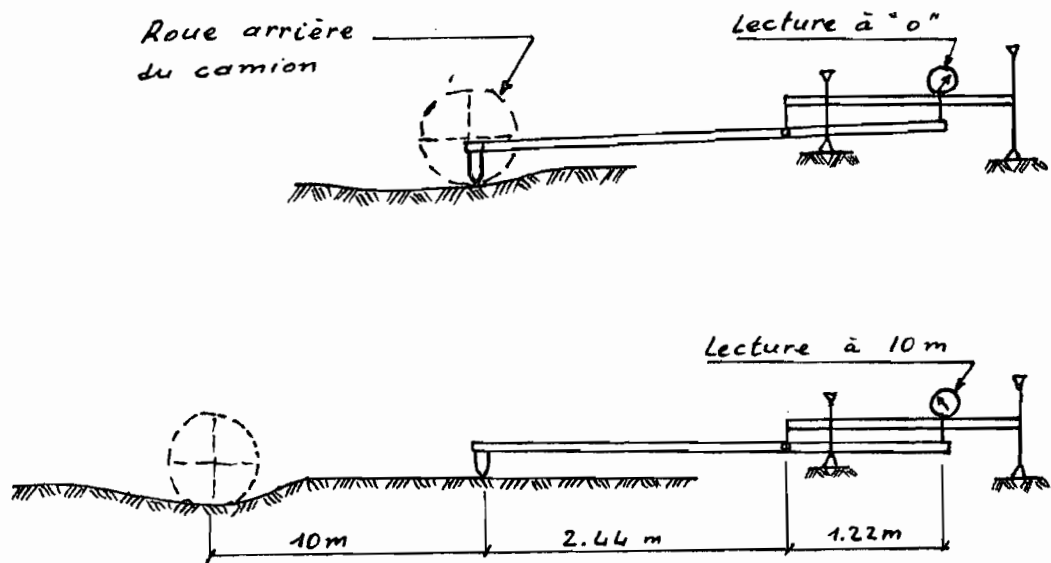
La poutre Benkelman, le déflectographe Dynaflect, le déflectographe Lavoix sont des appareils parmi tant d'autres qui permettent de faire, par plusieurs méthodes, des essais de déflexion.

L'essai de déflexion consiste à mesurer la déflexion ou le rebondissement élastique d'une chaussée ou d'un matériau compacté sous une charge normalisée avec ou sans mesure du rayon de courbure de la surface déformée.

La méthode de la poutre Benkelman telle qu'appliquée en Amérique du Nord utilise une charge normalisée de 8.18 tonnes (18.000 livres). La déflexion produite par cette charge est dite normalisée.

Le mode opératoire est le suivant: (voir schéma).

- On place le pointeau du levier de la poutre entre les deux pneumatiques du jumelage arrière de l'essieu d'un camion chargé à 8.18 tonnes;
- On fixe le minomètre du levier au point zéro;
- On avance le camion en dehors de la zone d'influence (10 mètres)
- On note le rebondissement sur le minomètre et
- on calcule la déflexion en multipliant le résultat par des facteurs appropriés, soit:
 - o le facteur multiplicateur de la poutre (rapport du bras de levier



$$\text{Déflexion} = 2 (\text{Lecture à } 10 \text{ m} - \text{Lecture à } "0")$$

schéma de la poutre Benkelman

- le facteur de correction pour la température du revêtement bitumineux s'il y a lieu: la valeur obtenue est ramenée à celle d'une température normalisée de 15.6°C ou 21.1°C
- le facteur d'ajustement tenant compte de l'influence de l'humidité du sol sur la déflexion. Ce facteur est important surtout dans les pays froids où les essais ne peuvent se faire qu'en période de dégel correspondant à une grande humidité du sol.

Le Dynaflect est un autre type d'appareil de mesure de déflexion dynamique. Il a été mis au point pour permettre de mesurer rapidement la déflexion sous une faible charge dynamique et pour une fréquence donnée.

1.2 Uniformité du support du sol

Afin d'éviter qu'il ne se produise dans la chaussée des contraintes internes pouvant causer la rupture, il faut s'assurer qu'aucun mouvement différentiel ne s'exerce à la surface de la plate-forme. Il faut donc que le sol de la plate-forme soit le plus uniforme possible et compacté, qu'il ne soit pas sensible aux changements de volume dus au retrait ou au gonflement.

1.2-1 Sols instables

Les sols instables, difficiles à compacter, et non propices à la construction des plate-formes contiennent une grande quantité de matières organiques. Il sont difficiles, sinon impossibles à compacter et doivent être remplacés.

Le degré de compactage dépend du type de chaussée et de la nature du sol. On peut réaliser facilement que, plus la circulation sera lourde, plus il sera nécessaire de donner au sol un degré de compactage élevé dans le but d'avoir un sol qui résiste bien au tassement.

Lors du dimensionnement il n'est pas nécessaire de chercher à tout prix à atteindre un très grand degré de compactage (90% pour les sols cohésifs et 95% pour les sols granulaires) mais il faut trouver le degré de compactage le plus économique et calculer l'épaisseur de la chaussée en fonction de la capacité portante du sol qui est directement liée

au degré de compactage. Si on a à construire une chaussée sur un sol peu résistant au tassement après compactage, il faut que le sol soit uniformément compacté pour qu'il n'y ait pas de tassements différentiels.

1.2-2 Sols gonflants

A partir des essais de plasticité, on peut savoir si un sol est gonflant ou non. La meilleure façon de vérifier ce phénomène est de faire des essais au gonflement. Le gonflement et la plasticité sont liés par la relation suivante :

<u>sol</u>	<u>plasticité (%)</u>	<u>gonflement %</u>
non gonflant	0 - 10	2
modérément gonflant	10 - 20	2 - 4
très gonflant	> 20	> 4

Lorsqu'on construit sur un sol susceptible au gonflement il faut :

- réduire le gonflement en maintenant la teneur en eau du compactage entre 1 et 3% au dessus de la teneur en eau optimum s'il s'agit d'un sol argileux expansif.
- dans les régions arides, intercaler si nécessaire une couche de sol non gonflant entre le sol gonflant et la chaussée.

Résumé des caractéristiques

- profondeur : 60 cm
 - Nature de l'échantillon : Argile sableuse
 - Teneur en eau naturelle : 19 %
 - Densité in situ : 2 g/cm³
 - Analyse granulométrique : % des éléments à :

2 mm	99 %
0.5 mm	94 %
0.1 mm	48 %
 - limite de liquidité : 37 %
 - limite de plasticité : 16 %
 - Indice de plasticité : 21 %
 - CBR après imbibition : 7.6
- (3) page 20 - b
- sol classé argileux à faible compressibilité : C.L.
 - gonflement modéré entre 2 et 4 %

II.2 Dégradations de la chaussée

L'inspection des chaussées déjà construites est un travail important à plus d'un titre puisque permettant de voir l'état de la structure et de faire en conséquence un entretien adéquat.

Le travail, lorsqu'il est effectué périodiquement, permet de relever le niveau des dégradations et de faire un renforcement progressif. Cela évitera de se retrouver un jour avec une piste complètement détruite dont une reconstruction serait plus économique qu'un renforcement.

On peut imaginer facilement qu'il existe une multitude de facteurs affectant le comportement et la durée d'une chaussée. Nous citerons ici quelques uns, qui de façon générale, constituent en grande majorité les causes de dégradation.

Le mauvais comportement d'une piste peut être dû à la faiblesse du revêtement, des fondations ou de l'infrastructure. Les causes peuvent être dues à un mauvais calcul structural, de mauvais matériaux, une construction mal réalisée ou un manque d'entretien. Il y a aussi les causes naturelles dont l'action se fait sentir au fil du temps: variation subite de température, gonflement du sol etc...

Notons au passage que les dégradations de la piste 12-30 ne sont pas très accentuées. L'état actuel de la piste permet quand même aux petits avions de

rouler dessus pour gagner l'aire de stationnement et aux avions militaires, dans la partie en béton de ciment, de gagner la piste neuve 01-19.

2-1. Dégradations de la chaussée souple

Le vieillissement se traduit à la surface du béton bitumineux par des défauts qui peuvent être de 3 sortes:

- a) - ceux qui apparaissent dès le premier stade du vieillissement telles que les ondulations ;
- b) - ceux qui sont prononcés et accélèrent la dégradation. Ce sont de façon générale les fissures et pelades ;
- c) ceux qui sont dus à une oxydation du béton bitumineux ou par une réaction nuisible entre les alcalis du ciment et les agrégats pour les chaussées rigides.

Les dégradations relevées sur la piste sont essentiellement:

• fissures longitudinales (fig 1a)

Elles sont localisées le plus souvent au centre des bandes de roulement et sont de couleur plus foncée. Un manque de matériel et une ségrégation du gros agrégat en sont les principales causes. Le phénomène est noté dans les couches de base et de liaison où l'agrégat est plus gros. Le défaut de mise en oeuvre a pour effet le développement d'une fissure longitudinale dans la couche de roulement

• fissures transversales (fig 1b)

Les fissures sont perpendiculaires à l'axe de la piste et traversent en partie. Elles sont notées généralement à intervalles réguliers. On peut identifier trois grandes causes:

- l'abaissement subit de la température causant un retrait du revêtement ;
- l'infiltration de l'eau dans les sols ;
- un tassement non uniforme .

• Lézardes (fig 1c)

Ce genre de fissures ressemble à celui des fissures longitudinales réparties au hasard. Elles peuvent être causées par l'infiltration de l'eau, un tassement différentiel souvent aux endroits où de la terre végétale a été laissée en place. Lors de la construction, les charges appliquées (remblai de matériaux) causent un premier tassement. A la fin de la construction, le poids des avions cause un second tassement différentiel. Un mauvais drainage cause une perte de capacité portante du sol et sous les charges il flue sur les côtés.

• fissures polygonales (fig 1d)

A cause de leur aspect, on les appelle communément "peaux de crocodile". On les rencontre dans les sentiers des roues et sont le résultat le plus souvent de fondation faible et d'une épaisseur faible ou une mauvaise qualité des matériaux. Un sol mou peut aussi causer de telles fissures de même que la fatigue sous la répétition des charges dépassant celles qui ont servi au dimensionnement

• Désenrobage

Il se produit lorsque le bitume et les particules fines sont enlevés pour laisser apparaître les agrégats. La surface du revêtement devient rugueuse. Cela est dû à

une faible adhérence entre le liant et les agrégats qui ont une faible absorption.

• Affaissement

Cette dégradation a été constatée aussi bien sur la partie souple que sur la partie rigide de la chaussée. Elle peut être due à une mauvaise compaction de la fondation ou de l'infrastructure, un affaissement différentiel de leurs matériaux, un manque de capacité de support.

2-2 - Dégradations de la chaussée rigide.

On trouvera dans la chaussée rigide des dégradations déjà relevées pour la partie souple. On pourra donc se reporter à ce qui a été dit à ce sujet.

Pour la partie rigide, nous avons relevé principalement:

- le désenrobage
- l'affaissement
- la Perte d'étanchéité de joint

Elle est due au décollement de l'empil-joint qui est arraché ou éjecté favorisant ainsi l'infiltration de l'eau sous la dalle.

- les fissures longitudinales

Les causes les plus probables sont: - un retrait latéral du béton; - une flexion latérale de la dalle; - un tassement du remblai vers le bas ou le côté; - un manque de capacité du support; - un joint scié en retard.

- fissures transversales (fig 1e)

Elles peuvent être causées par: - un joint scié en retard

ou un espacement trop long entre les joints;
 - un manque de capacité du support; - une flexion répétée de la dalle; - Un gonflement ou un retrait du sous sol peut aussi causer ce genre de fissure.

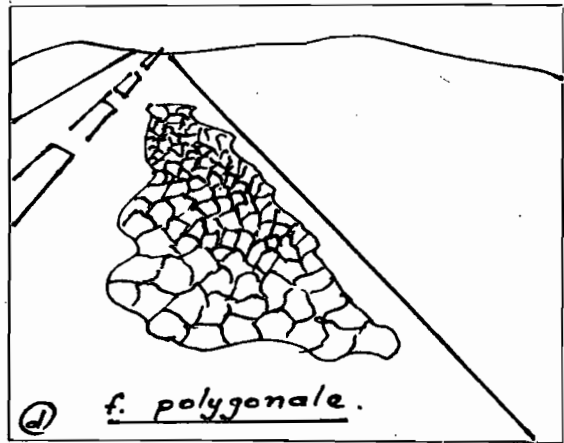
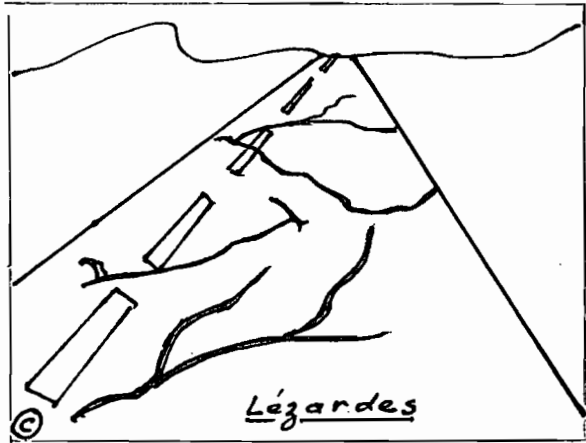
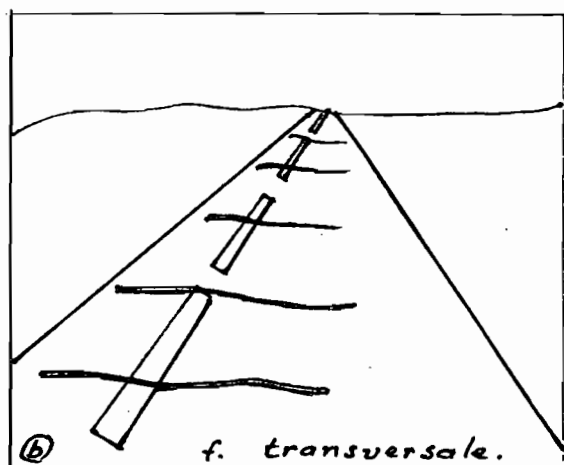
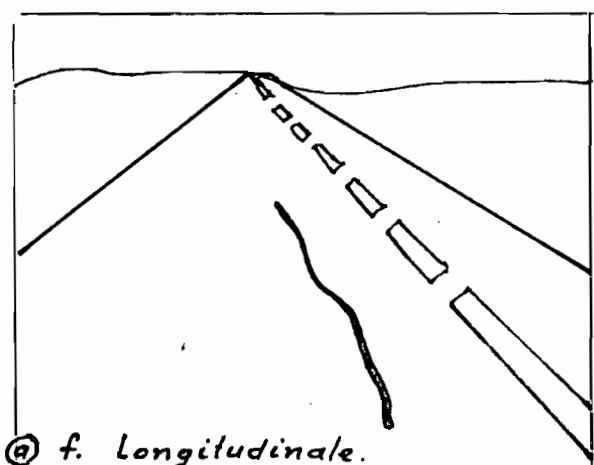
• fissures en coin (fig 17)

La fissure constitue l'hypoténuse d'un triangle dont les côtés sont ceux de la dalle. La principale cause est un manque de support dû à la flexion de la dalle, à la saturation des matériaux de fondation.

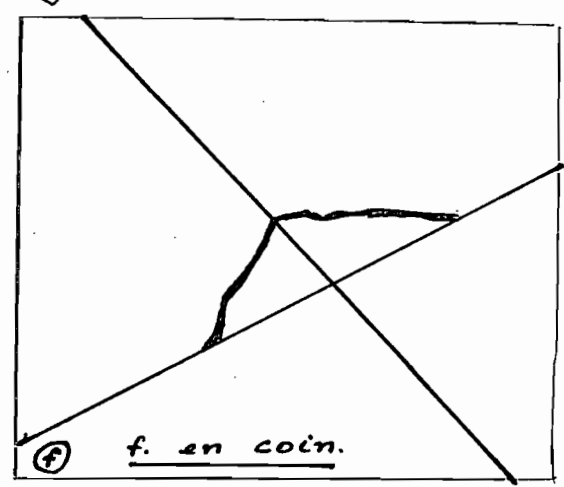
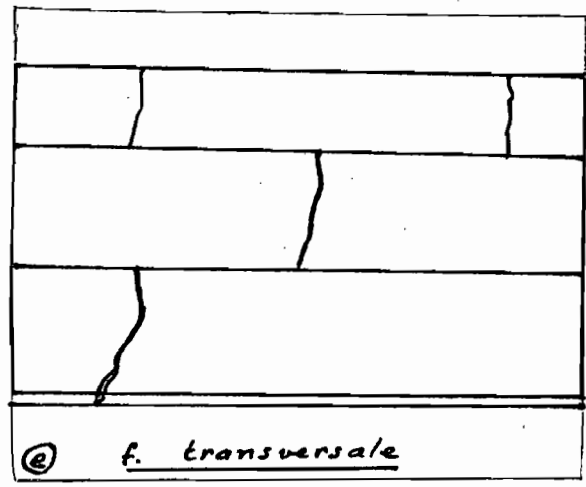
A la piste 12-30 le sol naturel est argileux et se draine difficilement à la suite des pluies. L'eau retenue dans cette argile à cause du faible coefficient de perméabilité cause une perte de la capacité du support. Dans toutes les dégradations citées plus haut où la perte de capacité est un facteur, nous pourrions retenir cette cause comme étant la cause principale.

fig 1 Illustration des dégradations.

chaussée souple



chaussée rigide.



III.3 Le climat

Nous aurions dû parler de façon plus générale de météorologie. Seulement il n'y a dans ce vaste domaine qu'est la météo que quelques éléments que nous traiterons dans cette partie, les autres points étant des aides à la navigation.

Notons à titre d'information que les observations météorologiques touchent des domaines tels que :

- . la mesure de la pression atmosphérique ;
- . des observations d'humidité à l'aide d'hygromètre ;
- . la mesure de l'insolation avec héliographes ;
- . la quantité et la nature des nuages.

On pourrait ajouter à ceux là deux autres facteurs importants qui entrent de façon directe dans la conception. Ces facteurs sont la température et la pluviométrie.

3.1 la température

Les observations de température permettent de déterminer les valeurs maximale et minimale de température à partir desquelles nous pouvons faire un choix judicieux du type de bitume à utiliser.

Nous n'avons pas l'intention de faire une étude très poussée dans ce domaine, mais nous nous contenterons des études qui ont déjà été faites et des résultats d'expérience au Sénégal.

Dans les pays chauds comme dans notre pays, l'expérience alliée à l'étude théorique montre que le type de bitume 60-70 s'adapte bien aux travaux

réalisés. Une autre étude, économique celle-ci, vient étayer cette conclusion et nous recommande sur le plan économique le type 60-70.

3.2 La pluviométrie

La pluviométrie trouvera son importance dans la partie traitant du drainage et de l'évacuation des eaux de ruissellement. Nous disposons cependant de quelques données relatives à la pluviométrie dans la région de Dakar Joff qui nous concerne plus particulièrement. Là aussi, sans entrer dans les détails de l'exploitation de ces données, nous utiliserons les résultats obtenus.

L'étude des caractéristiques pluviométriques a pour but final, la détermination de la courbe intensité durée - fréquence I.D.F obtenue à la suite d'interpolations et d'ajustements des courbes expérimentales. La pluie qui a été retenue dans le calcul est celle du 19 juillet 1979.

intensité

L'intensité est le quotient de la quantité d'eau tombée en un temps donné par ce temps, autrement dit c'est le quotient $I = \frac{h}{t}$

h : hauteur d'eau tombée ;

t : temps pendant lequel il est tombé h mm d'eau.

L'intensité prise en compte pour le calcul des réseaux d'évacuation des eaux est l'intensité maximale moyenne, c'est à dire l'intensité maximale

correspondant à une fréquence moyenne donnée (annuelle) ou decennale selon les exigences que l'on jugera nécessaire selon la nature du projet.

Durée t: Il faut faire bien attention à cette notion de durée. Elle n'est pas celle de l'averse mais un intervalle de temps de valeur arbitraire pendant lequel on a mesuré la hauteur de pluie tombée h . L'origine de cet intervalle n'est pas quelconque mais elle est telle que l'intensité I soit maximale pour une pluie donnée.

Fréquence F:

La fréquence désigne la période probable d'une pluie donnant lieu à une intensité maximale moyenne supérieure à I pendant une durée t .

Notons ici que la dimension de F est le temps (mois, années) donc en réalité la dimension de l'inverse d'une fréquence.

La probabilité d'apparition annuelle p , d'une intensité donnée I pour une durée t nous permet de calculer la période de récurrence moyenne par la formule:

$$T_r = \frac{1}{p}$$

Cette probabilité p peut être supérieure à l'unité. Si nous prenons en exemple $T_r = 0.5$ on se trouve dans le cas $p = 2$ ce qui veut dire que la pluie d'intensité I pour une période t se

produira en moyenne deux fois par année.
 Une averse n'ayant pas une intensité constante pour les différents intervalles de temps qui la composent, il importe de classer les intensités de chaque averse pour faire le calcul de la fréquence associée à une intensité I et une durée t .
 On peut d'ailleurs obtenir la probabilité p de façon expérimentale en classant les averses selon leur durée et leur intensité (voir le tableau 3 de la page suivante), en comptant ensuite le nombre d'averses dans chaque classe et en le divisant par le nombre total on trouve la probabilité, puis T_r .
 Connaissant la période de récurrence, la durée et l'intensité, on peut tracer la courbe I.D.F. (fig 2)

RELATION, INTENSITE-DUREE
 PLUIE DU 19 JUILLET 1979

TEMPS A PARTIR DU DEBUT	HAUTEUR CUMULATIVE	INTERVALLE DE TEMPS	HAUTEUR PENDANT L'INTERVALLE	DUREE	HAUTEUR MAXIMUM	INTENSITE
MIN	MM	MIN	MM	MIN	MM	MM/H
15	15	15	15	15	15	60
30	29	15	14	30	29	58
45	36	15	7	45	36	48
60	39.8	15	3.8	60	39.8	39.8
75	40.2	15	.4	75	40.2	32.16
90	40.2	15	0	90		0
105	40.2	15	0	105		0
120	40.2	15	0	120		0
135	40.2	15	0	135		0
150	40.2	15	0	150		0
165	40.2	15	0	165		0
180	40.2	15	0	180		0
195	40.2	15	0	195		0
210	40.2	15	0	210		0
225	40.2	15	0	225		0
240	40.2	15	0	240		0

Résultats des calculs des intensités
 maximales pour chaque durée
 Averse du 19 juillet 1979

Classement des intensités suivant les durées
Nombre de fois que l'intensité est supérieure

Durée (min)	intensité en mm/h																											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110	120	130	140	150	160	170	180
15	222	200	180	161	122	108	83	77	59	46	41	38	25	19	17	16	11	10	9	7	3	2	2	1	1	1	1	1
30	207	173	148	125	90	76	59	44	30	23	20	18	12	12	5	4	3	3	2	2	1	1	1	0				
45	176	134	99	73	54	37	24	22	15	9	6	4	3	2	1	1	1	1	1	0								
60	150	117	78	53	33	23	16	10	5	4	3	3	2	2	2	2	1	0										
75	87	85	52	29	17	10	6	3	2	2	1	1	1	0														
90	97	61	30	18	9	5	2	2	2	1	1	0																
105	86	51	19	11	3	1	1	1	0																			
120	81	42	17	10	1	1	1	1	0																			
135	68	33	16	7	1	1	0																					
150	53	28	14	2	1	0																						
165	36	19	9	2	0																							
180	30	14	7	1	0																							
195	28	13	7	1	0																							
210	30	10	4	0																								
225	21	10	2	0																								
240	22	10	1	0																								

Courbes i.D.F. expérimentales

A) interpolation sur les intensités

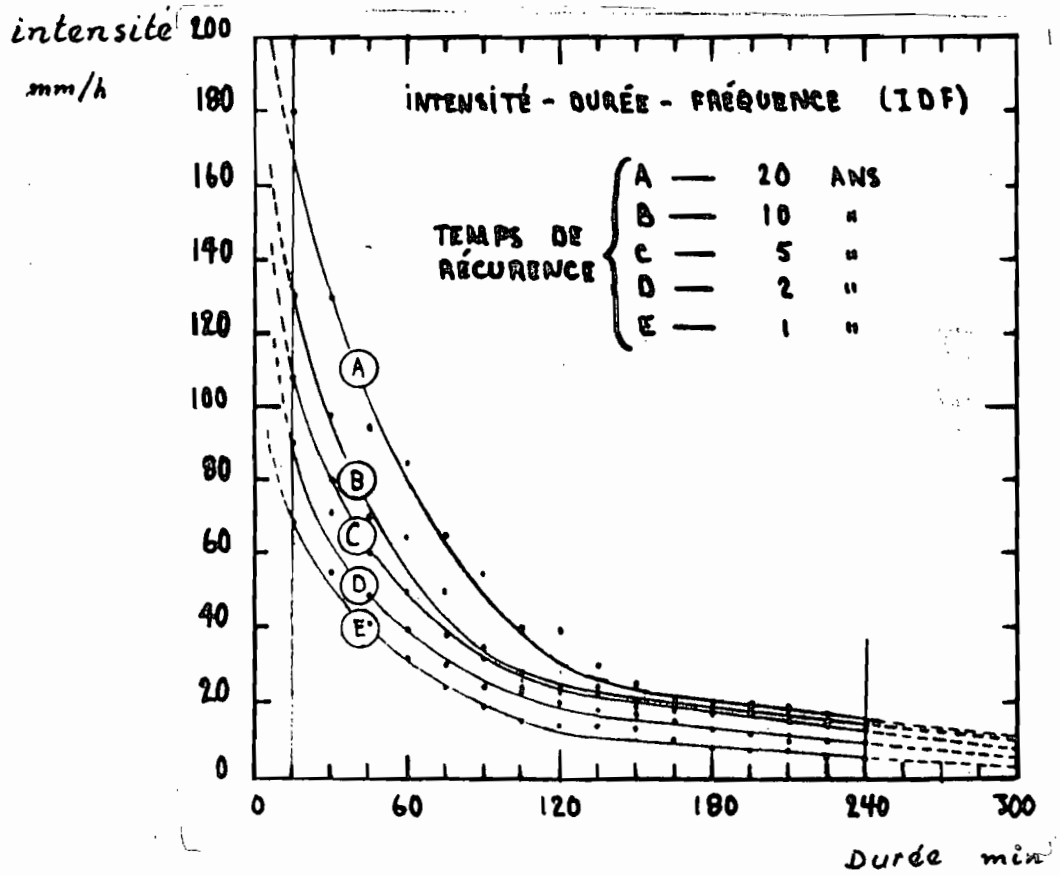
Période de retour	Durée (minutes)															
	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240
1 an	69	55	41	32	24	19	15	14	14	13	10	8.1	7.6	7.5	5.5	5.3
2 "	90	71	49	40	30	24	21	20	18	17	15	13	12	10	10	10
5 "	108	80	60	50	38	32	24	23	22	19	18	17	17	15	14	13
10 "	130	98	70	65	50	35	28	24	24	20	19	19	19	18	15	14
20 "	180	130	95	85	65	55	40	40	30	25	20	20	20	19	17	15

B) interpolation sur les durées

Période de récurrence	intensité mm/h																		
	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
1 an	244	163	87	63	43	36	28	14											
2 "		210	120	75	60	44	39	33	23	15									
5 "			144	94	73	60	45	42	80	28	24								
10 "			150	101	90	75	65	45	40	38	30	25	20	15					
20 "			195	135	120	90	75	65	60	45	42	39	34	30	27	24	21	18	15

tableau 3

fig 2 Courbe I.D.F expérimentale
à Dakar. Yoff.



3.3 Les vents : Rose des Vents

L'indication de la direction et la force des vents peut être interprétée comme une aide à la navigation aérienne. En revanche, avant la construction d'un aéroport, les mesures de directions et intensités ^{des vents} sont utiles pour le choix de la direction des pistes et de leur nombre. C'est sur ce deuxième aspect que nous nous pencherons à présent. Ce point est ce qu'on appelle la rose des vents.

3.3.1 Coefficient d'utilisation

L'accroissement du nombre et du tonnage des avions a conduit à faire décoller les appareils suivant une ou plusieurs directions privilégiées. L'idée de direction privilégiée peut être rattachée à la notion de fréquence d'utilisation.

Le choix d'une direction d'envol sera d'autant meilleur que le décollage et l'atterrissage seront plus fréquents dans cette direction. Cette fréquence est caractérisée par la notion de coefficient d'utilisation qui est le rapport entre le nombre de cas pour lesquels on a souhaité utiliser effectivement cette direction et le nombre de ceux où on a pu utiliser la direction considérée.

A partir d'observations météorologiques, soit N_1 le nombre de cas favorables, c'est à dire le nombre de fois que le vent a soufflé dans la direction choisie et N le nombre total d'observations.

On trouve le coefficient d'utilisation en pourcentage par la formule

$$C = \frac{N_1}{N} \times 100$$

Lorsque l'aéroport comporte plusieurs directions d'envol, le coefficient d'utilisation se calcule de façon similaire. Seulement la valeur de N_1 concerne, de façon générale toutes les directions considérées.

On peut remarquer qu'il est très difficile, rare, pour ne pas dire impossible, qu'un aéroport ait un coefficient d'utilisation de 100%. En d'autres termes cela signifie qu'on puisse s'envoler dans toutes les directions suivant l'orientation du vent.

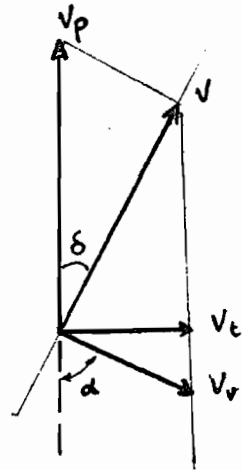
On peut se faire une idée de l'ordre de grandeur des coefficients d'utilisation pour chaque catégorie d'aéroport en choisissant l'exemple de la France qui a fixé les minima suivants :

pour la catégorie A,	95%
pour la catégorie B,	95%
pour la catégorie C,	80%
pour la catégorie D,	70%

Le facteur le plus déterminant dans la direction choisie est le vent traversier.

3.3.2 Le vent traversier

- V_p : vitesse propre de l'avion
 V_t : vitesse du vent traversier admissible
 V_v : vitesse du vent
 V : vitesse résultante sous l'effet du vent
 δ : angle de dérive.



Supposons un avion en vol ayant une vitesse propre V_p subissant un vent traversier. Cet avion, vu du sol semble voler obliquement et se déplacer à la vitesse V

Lorsque l'avion doit se poser, il doit avancer suivant la direction de l'axe de la piste. Au moment du contact des roues avec la piste, il y a un effort latéral tendant à basculer l'appareil.

Pour raison de sécurité, on est amené à considérer l'effet du vent traversier admissible défini par :

$$V_t = V_v \sin \alpha$$

Suivant les catégories d'aéroport, on a adopté les normes suivantes de vent traversier admissible :

- pour la catégorie A 13 m/s
- pour la catégorie B 10 m/s
- pour la catégorie C 7 m/s
- pour la catégorie D 5 m/s.

3.3.3 Calcul du coefficient d'utilisation

Lorsqu'on est appelé à établir un aéroport de classe donnée sur un site donné, il faut déterminer d'abord la direction d'envol telle que le coefficient d'utilisation soit supérieur aux minima fixés. Pour faire les calculs, il faut disposer d'observations météorologiques faites sur une longue période pour réduire les causes d'erreur dues aux variations instantanées de la direction du vent. Les observations météorologiques portent sur la direction et l'intensité du vent en m/s. (mètre par seconde) Les données dont on dispose sont celles qui nous ont été fournies par la tour de contrôle et s'étendant sur la période de 1970 à 1975 soit six ans.

Le tableau n° 4 récapitulatif calculé à partir de ceux qui sont en annexe B, donne la fréquence horaire des vents en fonction du nombre total d'observations $N = 52584$, de dix-huit (18) directions et des vitesses des vents.

A partir de ce tableau n° 4 et en fonction de N et des fréquences, on a calculé le nombre de fois que le vent a soufflé dans une direction donnée à une vitesse donnée.

Pour mieux fixer les idées, prenons l'exemple de calcul correspondant à une fréquence de 0.093% (direction 01-02 vitesse 01-03 m/s).

Il y a eu $\frac{0.093 \times 52584}{100} = 48.9$ fois que le

vent a soufflé dans le secteur 01-02 à une vitesse de 01 à 03 m/s.

***** POURCENTAGE DE FREQUENCE DES VENTS HORAIRES *****

* DAKAR

* NOMBRE D OBSERVATIONS = 52584 PERIODE 1970-1975 TOUS MOIS REUNIS VENTS CALMES = 4.362 *

DD/FF	01-03	04-06	07-10	11-16	17-21	22-27	28-33	34-40	41-47	48-55	SUP55	TOTAL
01-02	0.093	1.156	6.985	10.051	0.861	0.023	0.002					19.171
03-04	0.070	0.669	3.940	4.450	0.308	0.019						9.457
05-06	0.029	0.211	0.557	0.571	0.019	0.002	0.002					1.390
07-08	0.038	0.156	0.203	0.126	0.006	0.010	0.006					0.544
09-10	0.021	0.124	0.148	0.122	0.011	0.006						0.432
11-12	0.017	0.103	0.106	0.072	0.013	0.006	0.002					0.319
13-14	0.023	0.053	0.084	0.080	0.011							0.251
15-16	0.032	0.152	0.089	0.074	0.006	0.002	0.002					0.358
17-18	0.068	0.207	0.200	0.139	0.010	0.002						0.626
19-20	0.055	0.308	0.435	0.200	0.019	0.006						1.023
21-22	0.095	0.521	0.694	0.261	0.011							1.582
23-24	0.126	0.717	0.846	0.274	0.004		0.002					1.968
25-26	0.175	1.143	1.527	0.373	0.004							3.222
27-28	0.223	1.634	1.885	0.380								4.121
29-30	0.323	2.189	2.362	0.409	0.006							5.289
31-32	0.339	2.959	4.838	1.164	0.013							9.313
33-34	0.223	2.584	6.719	3.387	0.044							12.956
35-36	0.188	1.938	9.442	11.507	0.536	0.004						23.616
TOTAL	2.138	16.825	41.062	33.638	1.883	0.078	0.015					95.637

Tableau 4

On fait de même pour toutes les directions et vitesses de vent pour obtenir le tableau n° 5

En faisant le produit de la vitesse par le sinus de l'angle du vent avec la direction d'envol considérée, on obtient la fréquence des composantes transversales supérieures au minimum imposé.

On peut résoudre le problème de façon plus rapide par l'utilisation d'un graphique polaire vitesse-azimut - fréquence, sur lequel (fig 3)

- Chaque des 10 directions d'une aire de vent est représentée par un rayon de cercle;
- les vitesses figurées par des cercles concentriques;
- les fréquences observées sont notées dans chaque trapèze curviligne azimuth - vitesse.

On trace à partir du centre des cercles la direction d'envol considérée Δ puis les tangentes Δ_1 et Δ_2 au cercle correspondant à la vitesse du vent transversier admissible (13 m/s pour la catégorie A) et parallèles à Δ

Les nombres inscrits dans les trapèzes compris entre Δ_1 et Δ_2 lorsqu'ils sont sommés donnent le nombre N_1 de cas favorables pour la direction considérée.

En pratique, il est plus facile de sommer les nombres extérieurs aux tangentes Δ_1 et Δ_2 . Soit N_2 la somme.

Sachant que N_1 et N_2 égalent N , on tire la valeur de $N_1 = N - N_2$. Suivant le premier ou le second mode de compter, on calcule le coefficient d'utilisation par les formules

$$C = 100 \frac{N_1}{N} = 100 \times \frac{N - N_2}{N}$$

Pour le cas qui nous concerne la piste est orientée $120^\circ - 300^\circ$.

Le nombre extérieur $N_2 = 971$

Le coefficient d'utilisation de la piste 12-30 est donc

$$C = 100 \times \frac{52584 - 971}{52584} = 98.2\%$$

Cette valeur de C est supérieure au minimum fixé pour la catégorie A soit 95%.

Lorsqu'on cherche à trouver la direction qui donne le meilleur coefficient d'utilisation, on calcule les coefficients C pour chaque orientation et on porte sur un graphique les valeurs de C en ordonnée et de la direction en abscisse puis on trace la courbe des coefficients dont le maximum correspond à la meilleure orientation.

Lorsque le maximum est inférieur au minimum imposé par les normes ($C < 95\%$), il sera nécessaire de créer une ou plusieurs autres pistes orientées différemment.

Nombre total d'observations $N = 52584$.

<i>vitesse</i> Dir m/s	01-03	04-06	07-10	11-16	17-21	22-27	28-33
01-02	48.9	607.9	3673.1	5285.4	452.8	12.1	1.05
03-04	36.8	351.8	2071.9	2340.08	162	9.99	
05-06	15.25	110.95	292.96	300.26	9.99	1.05	1.05
07-08	19.98	82.03	106.7	66.25	3.15	5.26	3.15
09-10	11.04	68.2	77.8	64.11	5.78	3.15	
11-12	8.94	54.16	55.74	37.86	6.83	3.15	1.05
13-14	12.09	27.87	44.17	42.07	5.78		
15-16	16.82	79.93	46.80	38.91	3.15	1.05	1.05
17-18	35.76	108.85	105.17	73.09	5.26	1.05	
19-20	28.92	161.96	228.74	105.17	9.99	3.15	
21-22	49.95	273.96	364.93	137.24	5.78		
23-24	66.25	377.03	444.86	144.08	2.10		1.05
25-26	92.02	601.04	802.96	196.14	2.10		
27-28	117.26	859.22	991.21	199.82			
29-30	169.85	1151.06	1242.03	215.07	3.15		
31-32	178.26	1555.96	2544.01	612.08	6.84		
33-34	117.26	1358.77	3533.12	1781.02	23.14		
35-36	98.86	1019.08	4966.98	6050.84	281.85	2.10	
<i>total</i>	1124.25	8847.26	21592.04	17688.21	990.16	41.01	7.89

Vents calmes : 2293.71

vents de vitesse inférieure à 6 m/s = 2293.71 + 1124.25 + 8847.26

vents < 6 m/s = 12265.

tableau 5

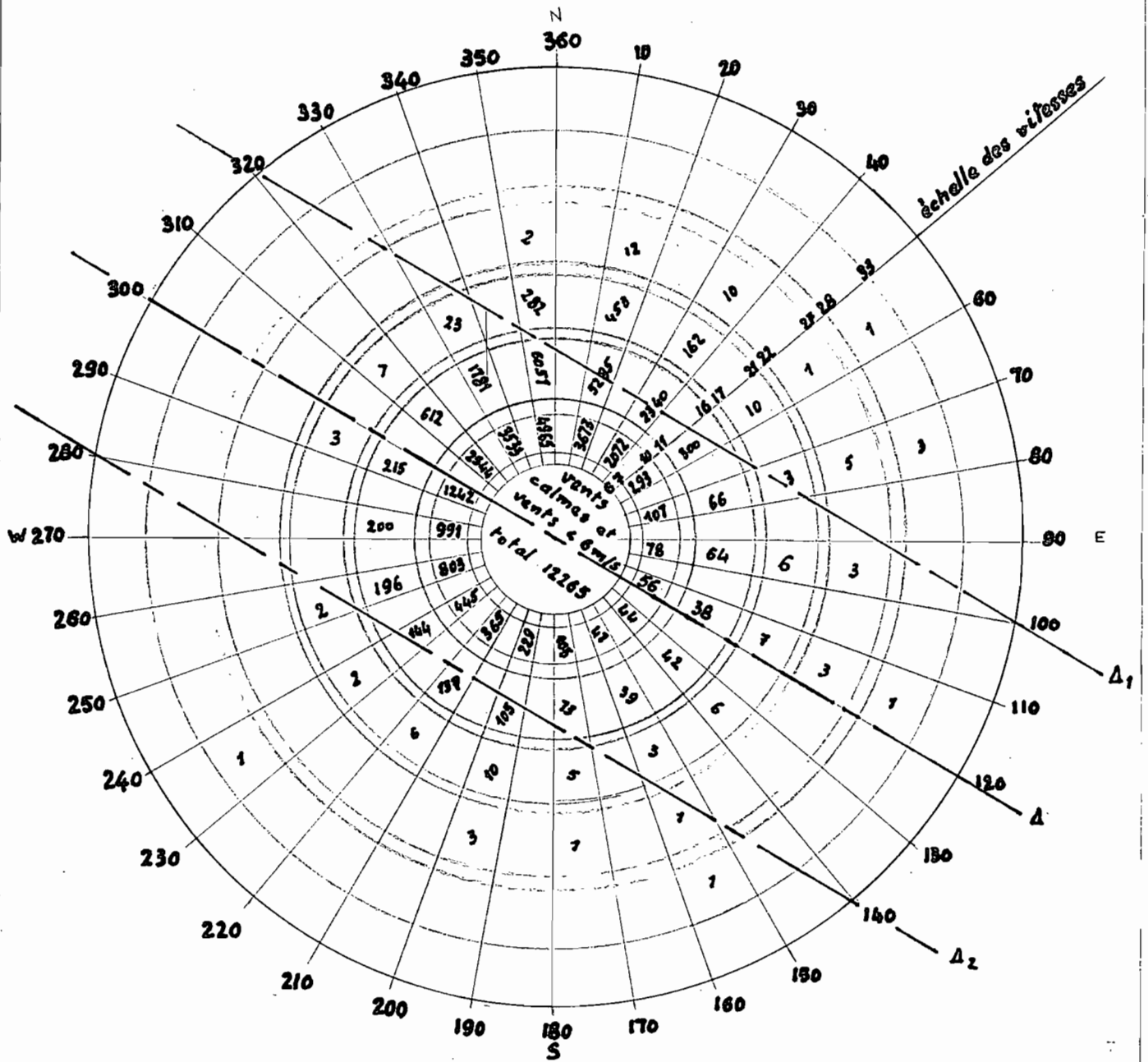


fig 3 graphique polaire.

III 4 Le trafic

L'importance du trafic fait apparaître pour les pistes la notion de fatigue sous les charges répétées des avions.

On a constaté, d'une façon très nette, sur les aérodromes utilisés pendant un certain temps par des avions plus lourds que ceux pour lesquels ils avaient été dimensionnés, que lorsque le nombre des avions trop lourds est faible, il ne se produit pas de dégâts graves. Lorsque ce nombre devient très grand et dépasse une valeur critique, des dégradations importantes apparaissent. Il faut alors essayer de faire un renforcement en changeant le type d'avion. Il est évident qu'il faut prendre des avions plus lourds que celui qui a servi au premier dimensionnement. Pour ce cas de la piste 12-30 on pourrait utiliser le type KC 135, le Transall et de façon plus générale l'avion le plus lourd que l'aérodrome reçoit au moment de l'étude, à défaut d'avoir une idée du tonnage au cours de la durée de vie utile de l'aérodrome.

Des études faites ont donné l'allure de la déflexion en fonction du nombre d'application des charges. Ainsi on a trouvé que lorsque les charges appliquées ne dépassent pas celles pour lesquelles la chaussée a été calculée, la déflexion est une fonction linéaire du logarithme du nombre d'applications de la forme

$$a + b \log n \quad [1]$$

Au contraire, lorsque les charges appliquées sont supérieures à celle ayant servi de base de calcul de la chaussée, la déflexion est une fonction parabolique du logarithme du nombre d'applications. Elle croît donc très vite avec le nombre des mouvements.

Pour définir la résistance des chaussées d'un aéroport, on ne doit se limiter seulement au tonnage des avions, il faut également indiquer le trafic pris en compte.

L'O.A.C.I a fixé à 10 le nombre minimum de mouvements journaliers. Cependant sur un aéroport, le tonnage de l'avion admissible doit être majoré ou minoré selon que le trafic est plus faible ou plus important que 10 mouvements par jour. On admet même que cette majoration peut aller jusqu'à 20% du tonnage admissible lorsque le trafic n'est que d'un mouvement par jour et que la minoration est de 15% pour un trafic important correspondant à la limite des possibilités d'exploitation.

L'aéroport Dakar-Yoff a une moyenne de 30 mouvements par jour pour l'année 1984

nombre de mouvements 1984

	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août
commerce	994	960	1027	996	849	758	834	873
autres mouvements	2224	2588	3259	3607	323	312	278	220
total	3218	3548	4286	4603	1172	1070	1112	1093

La moyenne de 30 mouvements est calculée pour le commerce dont les gros porteurs sont les types d'avions utilisés pour le dimensionnement.

Cette valeur moyenne peut être rapportée à la durée de vie utile de la chaussée par la formule d'actualisation. Cette formule permet en tenant compte de l'accroissement du trafic, de trouver ou d'avoir un ordre de grandeur de la valeur moyenne à un certain moment. Soient

T_0 : le trafic actuel

α : l'accroissement du trafic

T_n : le trafic à l'année n .

$$T_n = T_0 (1 + \alpha)^n$$

L'évolution du trafic est de 6% pour le cas qui nous concerne à l'aéroport de Dakar. Soit

Dans $n = 20$ ans le trafic journalier T_n sera de

$$T_{20} = 30 (1 + 0.06)^{20} = 96 \text{ mouvements/jour.}$$

Cette valeur de $T_{20} = 96$ mouvements/jour sera celle qu'on utilisera dans le dimensionnement (voir 2^e partie)

III-5 La géométrie

La géométrie de la piste qui est déjà définie sera simplement affectée par les modifications des pentes longitudinales et transversales. Modifications dues au renforcement de la structure de la chaussée.

5.1 Reflashage et renforcement.

Avant toute opération de renforcement uniforme, il faut procéder d'abord au reflashage des parties ondulées. Le reflashage consiste à niveller les parties ayant subi des déflexions avec les zones restées intactes. Les ondulations résultant des déformations de la chaussée sous divers phénomènes, entre autres les charges excessives, doivent être comblées de matériaux de même composition que la couche de surface de façon que l'adhérence soit bonne et que la zone de contact entre le remblai et la couche ancienne soit homogène. On veut dire par là que, si la couche de surface est en béton de ciment, il faut un reflashage dont les matériaux seront du béton de ciment. De même, pour une surface en béton bitumineux, il faut du béton bitumineux comme matériau de reflashage.

Le reflashage permettra de réaliser un renforcement uniforme sur toute la zone concernée. Il permettra aussi d'obtenir, après les travaux, une pente uniforme, semblable à toute fin pratique à celle d'avant la mise en service de la chaussée telle que définie au niveau de l'étude théorique.

En fait, on peut ne pas réaliser le reflashage et le

renforcement en deux étapes mais en une seule. Il suffira de trouver la valeur du reflashage en chaque point et ajouter la valeur du renforcement envisagé sur toute la zone affectée. Ainsi, si en un point il faut faire un reflashage d'une valeur de a et un renforcement de b , on peut ramener tout en un seul renforcement d'une épaisseur de $(a+b)$ mm

Avec ce procédé, on peut imaginer facilement que l'épaisseur minimale de renforcement en chaque point ne peut être inférieure à b (renforcement envisagé).

Pour avoir un renforcement uniforme, on est contraint quelques fois à jouer sur les valeurs à donner aux pentes pour plusieurs raisons parmi lesquelles le respect des normes de construction sur les valeurs maximales des pentes localisées et les distances minimales entre deux changements de pente. Dans ce sens, pour ne pas avoir une succession de pentes différentes sur de petites distances, on préfère avoir des pentes uniformes sur de grandes distances. Ce fait causera à quelques endroits de la chaussée la nécessité de faire un déblai de la chaussée existante (voir le schéma ci après). Les régions correspondent aux parties qui n'ont pas subi de déflexion importante et qui par conséquent, du fait de leur résistance, demandent un renforcement moindre que les parties affectées par les dégradations. Il serait plus judicieux d'inter de faire un travail de déblai pour revenir, lors du renforcement final, reconstruire cette partie. Nous tiendrons donc compte de la valeur du déblai en la déduisant de l'épaisseur finale de renforcement dans cette région où le renforcement réel sera inférieur à celui calculé théoriquement.

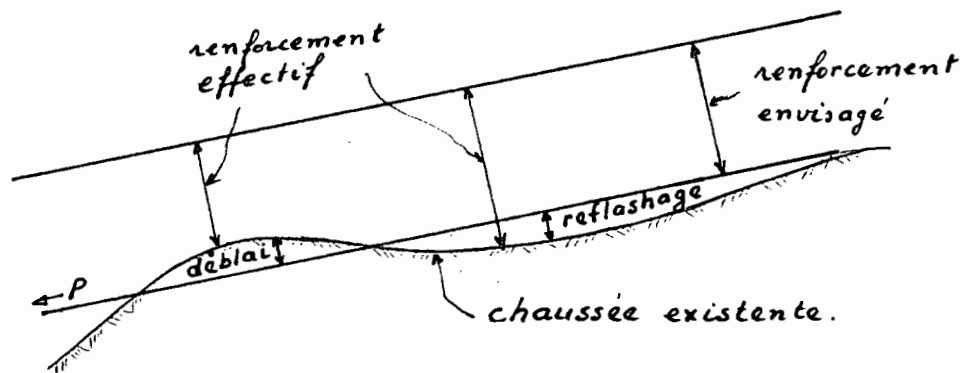


Schéma du renforcement

Avant de tenir compte du renforcement de 11 cm d'épaisseur calculé dans la deuxième partie de ce projet, nous allons refaire le profil en long en essayant de l'adapter aux normes réglementant les constructions de piste.

Le tracé des pentes est laissé au jugement personnel et se fait à l'aide du profil en long qui nous a été fourni par les services de l'ASECNA.

Dans un premier temps les cotes du terrain naturel vont changer par suite de la définition de nouvelles pentes sous les phénomènes de déblai et reflashage dont on vient de parler. Ensuite, avec le renforcement envisagé, nous obtiendrons les cotes du projet.

5.2 Le profil en long

Les normes sur le profil en long porteront essentiellement sur les pentes longitudinales et leur changement, les raccordements, les distances de visibilité et les distances entre les changements de pente.

5.2.1 pentcs longitudinales

a) Pour les pistes de catégories A et B, le profil en long ne doit pas dépasser une pente moyenne (obtenue en divisant la différence entre les niveaux maximal et minimal le long de l'axe de la piste par la longueur de la piste) de 1%. Pour la catégorie C, la pente moyenne peut atteindre 1.25%.

La pente moyenne de la piste 12-30 est

$$P_{\text{moy}} = \frac{22.29 - 14.30}{2400 - 0} = 0.33\%$$

La pente moyenne calculée entre les chainages 0+000 et 2+400 est bien inférieure à 1%

b) Aucune portion de la piste ne devrait présenter une pente longitudinale dépassant :

- 1,25% pour les catégories A et B ; toutefois, sur les premier et dernier quarts de la longueur de la piste, la pente longitudinale ne devrait pas dépasser 0.8%.

- 1,5% pour la catégorie C ; toutefois, sur les premier et dernier quarts de la longueur de la piste, la pente longitudinale ne devrait pas dépasser 0.8%.

Voici les calculs des pentes localisées sur la piste .
- entre les chainages 0+025 et 0+325

$$p_1 = \frac{15.35 - 14.38}{325 - 25} = 3.23 \cdot 10^{-3}$$

- entre les chainages 0+325 et 0+825

$$p_2 = \frac{18.96 - 15.35}{825 - 325} = 7.22 \times 10^{-3}$$

- entre les chainages 0+925 et 1+175

$$p_3 = \frac{20.88 - 19.54}{1175 - 925} = 5.36 \times 10^{-3}$$

- entre les chainages 1+325 et 2+000

$$p_4 = \frac{21.56 - 21.475}{2000 - 1325} = 0.1259 \times 10^{-3}$$

- entre les chainages 2+000 et 2+250

$$p_5 = \frac{22.02 - 21.56}{2250 - 2000} = 1.84 \times 10^{-3}$$

Toutes ces pentes de p_1 à p_5 respectent bien la norme fixée de 1%, la plus grande étant de 0.72 %

Calculons à présent les pentes du premier quart P_{q_1} et du dernier quart P_{q_d}

Le quart de la longueur de la piste est $\frac{2400}{4} = 600$ m
- le premier quart se situe entre les chainages 0+000 et 0+600

$$P_{q_1} = \frac{17.33 - 14.30}{600 - 0} = 0.5 \times 10^{-2}$$

- Le dernier quart se situe entre 1+800 et 2+400

$$P_{q_d} = \frac{22.29 - 21.53}{600} = 0.13 \times 10^{-2}$$

- Les pentes des premier et dernier quarts de la longueur de la piste sont inférieures à 0.8%. Elles restent donc dans la norme permise.

5.2.2 changements de pente longitudinale

a) Lorsqu'il est impossible d'éviter les changements de pente longitudinale, le changement entre deux pentes consécutives ne devrait pas excéder :

1.5% pour les catégories A et B

2% pour les catégories C et D.

Voyons ce que nous donne le calcul des variations de pentes en utilisant celles calculées précédemment.

Variation entre p_1 et p_2

$$\Delta p = (7.22 - 3.23)10^{-3} = 0.4\%$$

Variation entre p_2 et p_3

$$\Delta p = (5.36 - 7.22)10^{-3} = -0.2\%$$

Variation entre p_3 et p_4

$$\Delta p = (0.1258 - 5.36)10^{-3} = -0.52\%$$

Variation entre p_4 et p_5

$$\Delta p = (1.84 - 0.1258)10^{-3} = 0.17\%$$

b) Le passage d'une pente à une autre devrait être réalisé par des courbes de raccordement le long desquelles la pente ne varie pas de plus de :

- 0.1% par 30 m soit un rayon de courbure minimal de 30000 m lorsque la catégorie est A

- 0.2% par 30 m soit un rayon de courbure minimal de

- 15 000 pour la catégorie B
- 0.4% par 30m (rayon de courbure minimal de 7500m) lorsque la catégorie est C ou D.

Avant de passer au calcul des cotes des points de raccordement, faisons une petite mise au point pour dire qu'après avoir défini les nouvelles pentes de la piste, on est amené à calculer les nouvelles cotes du terrain à la suite de ces changements.

Cela correspond en fait, aux cotes du terrain lorsque seulement le reflashage est effectué (5^e ligne sur le profil en long). Ces valeurs seront utilisées pour les calculs de raccordement. Il ne faut pas confondre ces cotes avec celles du projet qui sont obtenues à partir du résultat final du reflashage et du renforcement (2^e ligne du profil en long). Nous définirons ces cotes plus loin.

Le calcul de la cote d'un point P_2 à partir de la cote d'un point P_1 sous une pente uniforme p et une longueur L entre ces deux points peut se faire suivant la formule

$$\text{Cote de } P_2 = \text{cote de } P_1 + p L$$

C'est cette formule qui nous a permis de calculer les cotes des points n'appartenant pas à la courbe de raccordement.

Pour revenir à la courbe de raccordement rappelons la formule qui donne la longueur de la courbe de raccordement obtenue à partir de

$$y = \frac{x^2}{2R}$$

$$y = \frac{x^2 (p-p')}{2L}$$

$$\text{et } y = \frac{x^2 (p-p')}{2L} = \frac{x^2}{2R} \Rightarrow$$

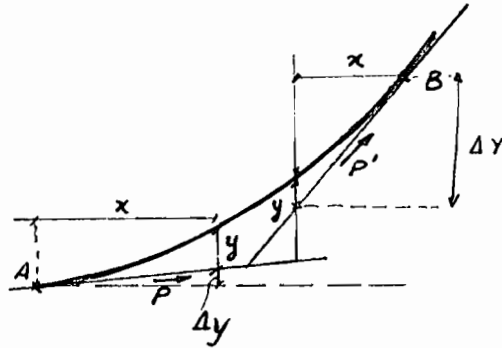
$$L = R (p-p')$$

R : rayon de courbure

p et p' les pentes des tangentes.

Pour le cas qui nous concerne, toutes les pentes sont toutes positives et suivant que p est supérieure ou inférieure à la pente p' on aura deux genres de raccordement:

① $p < p'$



$$y = \frac{1}{2} \left(\frac{p' - p}{L} \right) x^2$$

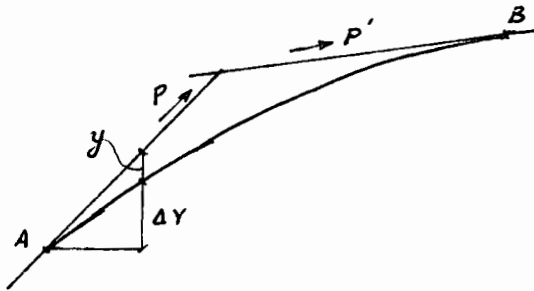
$$\Delta Y = x p \quad \text{ou} \quad x p'$$

L'altitude d'un point situé à une distance x du point A avec $x < \frac{L}{2}$ est calculée par la formule

$$\text{Altitude C} = \text{Altitude A} + \Delta Y + y$$

A gauche du point B, un point situé à une distance $x < \frac{L}{2}$ aura une altitude de la forme

$$\text{Altitude C}' = \text{Altitude B} - \Delta Y + y$$

② $P > P'$ 

$$y = \frac{x^2}{2L} (P - P')$$

$$\Delta Y = xP \quad \text{ou} \quad \Delta Y = xP'$$

L'altitude d'un point C situé à une distance x du point A avec $x < \frac{L}{2}$ est calculée par la formule

$$\text{Altitude de C} = \text{Altitude A} + \Delta Y - y$$

A gauche du point B, un point situé à une distance $x < \frac{L}{2}$ a une altitude de la forme

$$\text{Altitude C} = \text{Altitude B} - \Delta Y - y$$

A la page suivante, on a récapitulé les altitudes des points des courbes de raccordement (tableau 6)

Les calculs qui ont été faits sont placés en annexe A.

Raccordement	Pentes $\times 10^3$		Longueur de raccordement (m)	chainage	Altitude (m)
	P ₁	P ₂			
1 ^{er}	3.23	7.22	150	0+275	19.20
				0+300	15.30
				0+325	15.43
				0+350	15.56
				0+375	15.72
2 ^e	7.22	5.36	75	0+825	18.95
				0+850	19.10
3 ^e	5.36	0.126	175	1+225	21.11
				1+250	21.22
				1+275	21.31
				1+300	21.39
				1+325	21.44
				1+350	21.47
4 ^e	0.126	1.84	75	2+000	21.56
				2+025	21.61

Tableau 6 Altitudes des points des courbes de raccordement (détails: voir Annexe

5.2.3 distance de visibilité

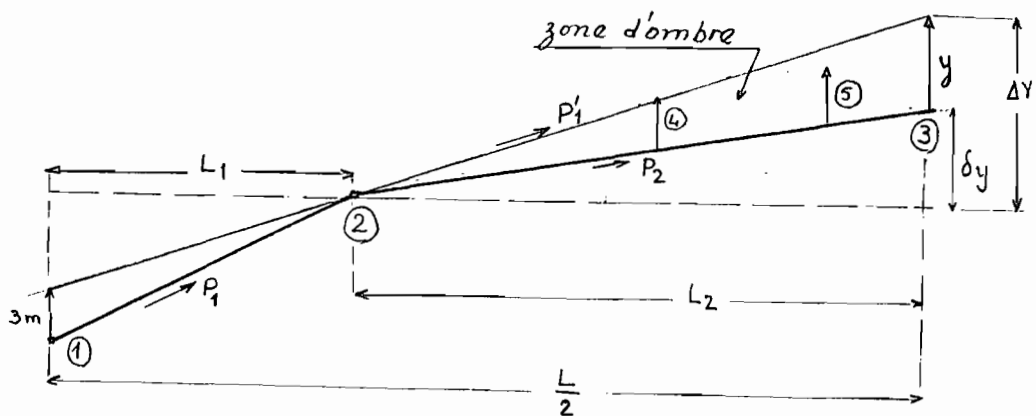
Lorsqu'ils sont inévitables, les changements de pente longitudinale devraient être tels que tout point situé à 3 mètres au dessus d'une piste soit visible de tout autre point situé également à 3 mètres au dessus de la piste jusqu'à une distance au moins égale à la moitié de la longueur de la piste.

Il est plus facile de voir le problème de la visibilité sous un côté pratique que théorique.

Pour cela, assimilons le regard d'un homme à un faisceau lumineux dont la trajectoire est rectiligne. Rappelons simplement que tout obstacle rencontré par un faisceau lumineux crée derrière lui une zone d'ombre. En faisant le parallèle avec l'œil humain, on peut dire que tout obstacle placé dans la direction du regard, cache ce qui vient après lui, partiellement ou totalement en fonction de ses dimensions.

Nous ne ferons pas la vérification pour tous les points situés sur une même pente mais on se limitera à la vérification du cas le plus critique entre deux changements de pente.

Reférons-nous au schéma ci après pour mieux comprendre ce qui suit



Rappelons que toutes les pentes sur tout le long de la piste sont positives et que le raisonnement qui est fait pour ce cas particulier sera différent si les pentes avaient des signes contraires. Les résultats qui seront trouvés sont donc applicables dans le cas où les pentes ont même signe positif et la pente p_2 inférieure à la pente p_1 .

Pour le cas où $p_2 > p_1$ il n'est pas nécessaire de faire la vérification. Il se passe comme s'il n'y avait pas d'obstacle car le champ de vision balaye toute la surface de pente p_2 . Il y a un autre cas où la vérification peut ne pas être faite; c'est celui où l'altitude d'un point ④ situé à 3m au dessus de la piste est plus élevée que l'altitude du raccordement qui constitue l'obstacle. On se situe ainsi dans une région où l'on domine l'obstacle.

On peut voir à partir du schéma précédent, considérant à 3m d'altitude aux points ④ et ⑤ que les points les plus près de l'obstacle sont forcément plus visibles que ceux qui sont plus éloignés. On peut donc voir le sommet d'un point ④ situé à 3m d'altitude sans pour autant pouvoir voir le sommet du point ⑤. Cela veut dire que si l'on voit le point ⑤, on est assuré de voir le point ④. Pour cette raison, nous considérerons le point situé en fin de pente p_2 comme plus critique que tous les autres.

Lorsque $p_2 < p_1$ le problème de visibilité se ramène à vérifier si, à 3m au dessus de la surface, tout point situé dans la zone d'ombre est visible sur une longueur égale à la moitié de la longueur de la piste.

Pour résoudre ce problème on peut envisager deux approches :

1) soit on fixe les longueurs L_1 et L_2 de sorte que $L_1 + L_2 = \frac{L}{2}$ et on trouve la hauteur de la zone d'ombre y au point ③ puis la comparer à 3m. On doit avoir $y < 3m$ pour conclure que le point 3 est visible;

2) soit on cherche la longueur L_2 qui correspond à une hauteur d'ombre $y = 3m$ et l'on vérifie si $L_1 + L_2 \geq \frac{L}{2}$

Choisissons la 1^{ère} solution avec comme paramètres:

L_1 : longueur entre le début de la pente p_1 et l'obstacle

P_1 : pente de la zone d'ombre

L_2 : longueur à partir de l'obstacle telle que $L_1 + L_2 = \frac{L}{2}$

A_i : Altitude d'un point i en mètres

Nous pouvons établir les formules suivantes à partir du schéma:

$$P_1 = \frac{A_2 - A_1 - 3}{L_1}$$

$$P_1 = \frac{\Delta Y}{L_2}$$

$$\delta y = P_2 L_2$$

En combinant ces 3 équations on a:

$$\begin{aligned} y = \Delta Y - \delta y &= \frac{L_2}{L_1} (A_2 - A_1 - 3) - P_2 L_2 \\ &= L_2 \left(\frac{A_2 - A_1 - 3}{L_1} - P_2 \right) \end{aligned}$$

$$y = L_2 \left(\frac{A_2 - A_1 - 3}{L_1} - P_2 \right)$$

$$P_2 < P_1 > 0$$

Nous pouvons à présent passer aux vérifications:
La longueur de la piste étant de 2410 m.

$$\frac{L}{2} = \frac{2410}{2} = 1205 \text{ m}$$

1^{er} obstacle: le raccordement entre les pentes
 $p_1 = 3.23 \times 10^{-3}$ et $p_2 = 7.22 \times 10^{-3}$ au chaînage 0+325
Comme $p_1 < p_2$ nous avons déjà dit que la vérification n'est pas nécessaire.

2^e obstacle: raccordement entre $p_1 = 7.22 \times 10^{-3}$ et $p_2 = 5.36 \times 10^{-3}$
On peut prendre un avion situé au début de la piste sur la pente 3.23×10^{-3} .

$$\begin{array}{ll} L_1 = 825 \text{ m} & \rightarrow L_2 = 380 \text{ m} \\ A_1 = 14.30 \text{ m} & A_2 = 18.95 \\ & P_2 = 5.36 \times 10^{-3}. \end{array}$$

La hauteur d'ombre à une distance de 380 m à partir de l'obstacle est

$$y = 380 \left(\frac{18.95 - 14.30 - 3}{825} - 5.36 \times 10^{-3} \right) = -1.3 \text{ m}$$

$$y = -1.3 \text{ m} < 3 \text{ m.} \quad \text{o.k.}$$

Lorsque l'on se situe au début de la pente 7.22×10^{-3} , c'est-à-dire au chaînage 0+325

$$\begin{array}{ll} L_1 = 825 - 325 = 500 & \rightarrow L_2 = 705 \\ A_1 = 15.435 \text{ m} & A_2 = 18.95 \end{array}$$

$$y = 705 \left(\frac{18.95 - 15.435 - 3}{500} - 5.36 \times 10^{-3} \right) = -3.0 \text{ m}$$

$$y = -3.0 \text{ m} < 3 \text{ m} \quad \text{o.k.}$$

3^e obstacle : le raccordement entre les pentes 5.36×10^{-3} et 0.126×10^{-3} au chaînage $1+300$ m

• au chaînage $0+325$

$$L_1 = 1300 - 325 = 975 \quad \Rightarrow \quad L_2 = 230$$

$$A_1 = 15.43$$

$$A_2 = 21.39$$

$$P_2 = 0.126 \times 10^{-3}$$

$$y = 230 \left(\frac{21.39 - 15.43 - 3}{975} - 0.126 \times 10^{-3} \right) = 0.67 \text{ m.}$$

$$y = 0.67 \text{ m} < 3 \text{ m.} \quad \text{o.k.}$$

Au début de la pente de 5.36×10^{-3} au chaînage $0+850$

$$L_1 = 1300 - 850 = 450 \quad \Rightarrow \quad L_2 = 755$$

$$A_1 = 19.10$$

$$A_2 = 21.39$$

$$y = 755 \left(\frac{21.39 - 19.10 - 3}{450} - 0.126 \times 10^{-3} \right) = -1.29$$

$$y = -1.3 \text{ m} < 3 \text{ m} \quad \text{o.k.}$$

4^e obstacle : le raccordement entre les pentes 1.84×10^{-3} et 0.128×10^{-3} au chaînage $2+000$.

• au chaînage $0+850$

$$L_1 = 2000 - 850 = 1150 \quad \rightarrow \quad L_2 = 55 \text{ m}$$

$$A_1 = 19.10$$

$$A_2 = 21.56 \text{ m}$$

$$P_2 = 1.84 \times 10^{-3}$$

$$y = 55 \left(\frac{21.56 - 19.10 - 3}{1150} - 1.84 \times 10^{-3} \right) = -0.127$$

$$y = -0.13 < 3 \text{ m} \quad \text{o.k.}$$

. au chaînage 1+300

$$L_1 = 2000 - 1300 = 700 \quad \rightarrow \quad L_2 = 505 \text{ m}$$

$$A_1 = 21.39 \quad A_2 = 21.56$$

$$y = 505 \left(\frac{21.56 - 21.39 - 3}{700} - 1.86 \times 10^{-3} \right) = -2.97 \text{ m}$$

$$y = -3.0 \text{ m} < 3 \text{ m.} \quad \text{o.k.}$$

Les valeurs négatives de y signifient que la zone d'ombre passe en dessous de la chaussée et ce fait correspond au cas où $\frac{A_2 - A_1 - 3}{L_1} = p_1$ est supérieur à p_2 . Par exemple pour la valeur de $y = -3.0 \text{ m}$ on peut dire que si la chaussée était supposée transparente on aurait vu les points situés à 3 mètres plus bas que le niveau de la chaussée sur une longueur de L_2 après l'obstacle.

Les calculs précédents ont été faits dans le cas où le déplacement se fait dans le sens de la remontée de la piste. Il faudrait faire des vérifications dans le sens inverse.

Remarquons que nous pouvons utiliser la même formule de y en changeant seulement le signe de la pente. Nous pouvons faire la vérification seulement pour le raccordement entre les pentes 0.125×10^{-3} et 5.36×10^{-3} au chaînage 1+300.

. Au chaînage 2+000

$$A_1 = 21.57 \quad A_2 = 21.39$$

$$L_1 = 2000 - 1300 = 700 \quad L_2 = 505 \quad p_2 = -5.36 \times 10^{-3}$$

$$y = 505 \left(\frac{21.39 - 21.57 - 3}{700} + 5.36 \times 10^{-3} \right) = 0.4$$

$$y = 0.4 < 3 \text{ m.} \quad \text{o.k.}$$

• Au chaînage 2+400

$$A_1 = 22.29$$

$$A_2 = 21.39$$

$$L_1 = 1100$$

$$L_2 = 105$$

$$y = 105 \left(\frac{21.39 - 22.29 - 3}{1100} + 5.36 \times 10^{-3} \right) = 0.19$$

$$y < 0.19 \text{ m.}$$

O.K.

Sur l'ensemble de la piste la plus grande valeur que nous avons trouvée pour la hauteur de la zone d'ombre est de 0.68 m qui est une valeur inférieure de loin à 3 m. Ceci nous permet d'affirmer directement que la visibilité est bonne sur toute la longueur de la piste. Cette valeur nous permet de voir que même la norme fixée dans certains ouvrages de 1.5 m est satisfaite. Cette norme fixe la hauteur au dessus de la chaussée à 1.5 m au lieu de 3 m.

5.2.4 Distance entre changements de pente

Les ondulations et les changements de pente marqués sont à éviter. La distance entre les points d'intersection de deux courbes successives ne devrait pas être inférieure à la plus grande des valeurs suivantes.

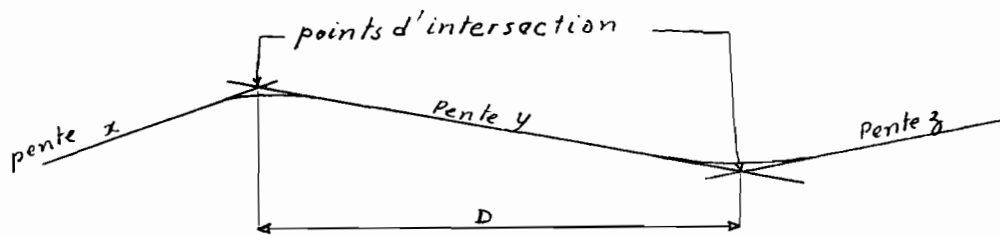
a) produit de la somme des valeurs absolues des changements de pente correspondants par la longueur appropriée ci-après:

30000 m pour la catégorie A

15000 m pour la catégorie B

5000 m pour les catégories C et D.

b) 45 m.



Sur la piste 12-30 de catégorie A la distance D ne devrait pas être inférieure à $30000(|x-y| + |y-z|)$ m.

- Pour les raccordements 1 et 2

$$D_{\min} = 30000 \left[|3.23 - 7.22| + |7.22 - 5.36| \right] \times 10^{-3} = 175 \text{ m}$$

La distance de raccordement est de $850 - 325 = 525$ m.

$$D_{\min} < 525 \text{ m} \quad \text{o.k.}$$

- Pour les raccordements 2 et 3

$$D_{\min} = 30000 \left[|5.36 - 0.126| + |7.22 - 5.36| \right] \times 10^{-3} = 213 \text{ m}$$

La distance de raccordement est de $1300 - 850 = 450$ m

$$D = 450 \text{ m} > D_{\min} = 212 \text{ m} \quad \text{o.k.}$$

- Pour les raccordements 3 et 4

$$D_{\min} = 30000 \left[|1.84 - 0.126| + |5.36 - 0.126| \right] \times 10^{-3} = 208 \text{ m}$$

La distance de raccordement $D = 2000 - 1300 = 700$ m

$$D = 700 \text{ m} > D_{\min} = 208 \text{ m} \quad \text{o.k.}$$

Les normes sur les distances de raccordement sont de loin inférieures aux distances de raccordement que nous avons définies sur notre profil en long.

5.2.5 Longueur de piste.

Voyons à présent si la piste 12-30 répond aux normes des longueurs des pistes principales résumées au tableau ci-après

Caractéristiques	catégorie A	catégorie B	catégorie C	catégorie D
Longueur de base des pistes principales				
• Minimum actuel	2100 m	1500 m	900 m	330 m
• Minimum à réserver	2500 m	1800 m	1000 m	740 m
• Optimum	3000 m	2100 m	1500 m	300 m

Quelle interprétation faut-il donner à ces longueurs ?

Pour raisons de manque d'espace ou financières on est amené quelques fois à avoir des longueurs de piste inférieures à celles souhaitées. L'esprit dans lequel est fait ce tableau est de donner une marge de tolérance sur les longueurs. Les longueurs sont qualifiées par les termes de : minimum actuel, minimum à réserver et optimum.

- Le minimum actuel est la longueur que doit nécessairement dépasser la piste pour qu'un aéroport puisse être classé dans une catégorie donnée ;
- le minimum à réserver est la longueur minimale à laquelle la piste doit être portée pour satisfaire aux besoins de la catégorie où elle est classée ;
- l'optimum est la longueur à laquelle la piste devrait pouvoir être portée pour que l'aéroport satisfasse à toutes les conditions de sa catégorie.

Par conséquent, un aéroport de catégorie A doit nécessaire-

ment pouvoir être doté d'une piste d'au moins 2500 m et le site de cet aéroport devrait permettre de porter cette longueur à 3000 m. En fait ce chiffre n'est plus jugé suffisant et l'on doit, pour la création d'un aéroport de catégorie A, s'efforcer de choisir un site permettant une longueur de piste de 3500 m.

Les longueurs qui sont données dans le tableau correspondent aux longueurs standard c'est-à-dire en conditions normales de pression atmosphérique 1013.2 millibars, de température 15°C et pour des pistes dont le profil en long est horizontal. Ces longueurs doivent donc subir une triple correction sur l'altitude, la pente et la température.

On adopte généralement la formule

$$L = L_0 \left(1 + \frac{N_1}{100} \right) \left(1 + \frac{N_2}{100} \right) \left(1 + \frac{N_3}{100} \right) \quad [1]$$

L = longueur corrigée

N_1 correction d'altitude

N_2 correction de température

N_3 correction de pente.

a) La correction d'altitude N_1 peut se faire suivant la formule

$$N_1 = \frac{300}{7h}$$

où h est l'altitude au dessus du niveau de la mer, exprimée en mètres, du point moyen de l'aérodrome.

Nous prendrons l'altitude de ce point comme étant celle de la moyenne des altitudes du point le plus haut et du plus bas de la piste.

$$h = \frac{22.40 + 14.31}{2} = 18.355 \text{ m} \quad \rightarrow \quad \underline{N_1 = 2.335}$$

b) La correction de température N_2 se calcule suivant:
la formule

$$N_2 = T - t$$

avec: T = température moyenne diurne du mois le plus chaud
de l'année

t = température en atmosphère standard à l'altitude
de l'aérodrome. Cette température est de 15°C au niveau
de la mer et diminue de $0^\circ 0065$ par mètre d'altitude
jusqu'à 11000m pour rester constante et égale à -56°S
au dessus de cette altitude.

La température T nous a été donnée par la station de la
météo nationale qui donne pour l'année 1984 une tempéra-
ture de 27.63°C au mois d'Août et pour 1983, 28.30° en
octobre; soit une température moyenne de 28°

$$t = 15^\circ - 0^\circ 0065 \times 18.355 = 14.88^\circ$$

$$N_2 = 28 - 14.88 = 13.12$$

$$\underline{N_2 = 13.12^\circ}$$

c) Correction N_3 de la pente.

Le problème des corrections de pente est assez complexe: l'accé-
lération de l'appareil lors de sa mise en vitesse est fonction des
caractéristiques du profil en long et même du mode de propulsion.

On ne tient toutefois pas compte en général de tous ces éléments
et on se limitera à considérer la pente moyenne p pour défi-
nir N_3 ainsi

$$N_3 = 3.5p \quad \text{si } p \leq 1\%$$

$$N_3 = 5p - 1.5 \quad \text{si } p > 1\%$$

$$p = \frac{22.40 - 14.41}{2400} = 0.33\%$$

$$\text{d'où } \underline{N_3 = 3.5 p = 1.16}$$

La correction sur la longueur revient enfin à

$$L = L_0 \left(1 + \frac{2.335}{100}\right) \left(1 + \frac{13.2}{100}\right) \left(1 + \frac{1.16}{100}\right)$$

$$\underline{L = 1.17 L_0}$$

En tenant compte que la longueur d'une piste secondaire de même catégorie qu'une piste principale peut être inférieure de 20%, on a finalement

$$L = 0.8 \times 1.17 L_0 = 0.936 L_0$$

$$\boxed{L = 0.936 L_0}$$

Pour la piste 12-30 les longueurs corrigées donnent

minimum actuel	0.936×2100	$= 1965 \text{ m}$
minimum à réserver	0.936×2500	$= 2340 \text{ m}$
optimum	0.936×3000	$= 2810 \text{ m}$

Notre piste 12-30 a une longueur qui respecte les normes souhaitées pour les pistes secondaires soit 1965 et 2340 m pour le minimum actuel et le minimum à réserver respectivement. Le site permet d'allonger la piste 12-30 d'environ 500 m en direction de la piste 01-19. Cette distance disponible pour l'allongement éventuel de la piste couvre la différence entre la longueur réelle et l'optimum soit $400 \text{ m} = (2810 - 2410)$

5.3 Profils en travers

Largeur des pistes: La largeur des pistes est fonction de la largeur de la voie des trains d'atterrissage. Pratiquement, la plupart des pistes de catégorie A et B que l'on construit actuellement sont larges de 45 m. Cette largeur standard devrait être portée à 60 m pour les besoins des avions futurs très lourds. La largeur de 60 m était celle préconisée antérieurement pour les pistes destinées aux atterrissages par mauvaise visibilité. Ces dernières années, la réduction de largeur de 60 m à 45 m est due au perfectionnement des aides à l'atterrissage, mais surtout au fait que les pistes étaient balisées par des éléments lumineux placés en bordure de celles-ci. On a intérêt à ce que ces éléments lumineux ne soient pas trop éloignés de l'axe pour que les pilotes aient une bonne visibilité sur ces lignes de balises.

Si on revenait à une largeur de 60 m il est probable que pour répondre au problème de visibilité du balisage, les éléments lumineux devront être encastrés dans le revêtement de la piste, pour former des lignes de feux qui seraient elles, suffisamment rapprochées pour être mieux vues par le pilote.

5.3.1 Pentes transversales

Le profil en travers doit présenter des pentes assez fortes et une forme telles que les eaux s'écoulent facilement mais doivent être assez réduites pour ne pas gêner la circulation des avions. Dans ces conditions, on est amené à prévoir, soit des profils en travers à une seule pente, soit des profils convexes avec rejet des eaux sur les côtés. Dans les deux cas, la pente du profil en travers ne doit pas dépasser 1.5%. Pour les pistes de catégories inférieures revêtues en béton bitumineux, on tolère une pente de 2%.

A partir des profils en travers fournis par les services de l'ASECNA et établis sur les 18m centraux à tous les 250m le long de la piste, nous avons pu remarquer que la piste était à une pente.

La repère de nivellement est de 22.256 I. G. N (inscription trouvée au pied sud de la tour de contrôle à 0,5m du sol côté Ouest des marches)

La progression du nivellement se fait dans le sens de la remontée de la piste et les distances négatives sont une façon de représenter les points situés à gauche de l'axe.

En complétant les profils en travers pour couvrir toute la largeur de la piste, nous avons calculé les pentes transversales moyennes à chaque section (voir tableaux de la page suivante)

$$\text{ch } 0+000 \quad P_0 = \frac{14.499 - 14.139}{30 + 28.90} = 0.6\%$$

$$\text{ch } 0+250 \quad P_{10} = \frac{15.088 - 14.824}{30 + 29} = 0.45\%$$

$$\text{ch } 0+500 \quad P_{20} = \frac{16.528 - 16.288}{30 + 29} = 0.40\%$$

$$\text{ch } 0+750 \quad P_{30} = \frac{18.50 - 18.17}{30 + 29} = 0.56\%$$

$$\text{ch } 1+000 \quad P_{40} = \frac{20.05 - 19.80}{30 + 29} = 0.42\%$$

$$\text{ch } 1+250 \quad P_{50} = \frac{21.36 - 21.05}{30 + 29} = 0.50\%$$

$$\text{ch } 1+500 \quad P_{60} = \frac{21.46 - 21.23}{30 + 19} = 0.47\%$$

$$\text{ch } 1+750 \quad P_{70} = \frac{21.52 - 21.28}{30 + 29} = 0.41\%$$

$$\text{ch } 2+000 \quad P_{80} = \frac{21.66 - 21.39}{30 + 29} = 0.46\%$$

chainage	distance du centre	Lecture sur le niveau	Niveau de l'appareil	Altitude
	0.00	1.611	22.837	21.226
	- 30	1.785		21.052
1+250	- 19	1.712		21.125
	19	1.518		21.319
	29	1.500		21.397
	0.00	1.524	22.919	21.395
	- 30	1.692		21.227
1+500	- 19	1.665		21.274
	19	1.455		21.464
	29	-		-
	0.00	1.560	22.978	21.418
	- 30	1.694		21.284
1+750	- 19	1.630		21.348
	19	1.504		21.474
	29	1.459		21.519
	0.00	1.543	23.103	21.560
	- 30	1.712		21.391
2+000	- 19	1.648		21.455
	19	1.475		21.628
	29	1.438		21.665
	0.00	1.532	23.550	22.02
	- 29	1.779		21.77
2+250	- 19	1.670		21.88
	19	1.506		22.06
	29	1.458		22.09

chainage	distance % au centre	Lecture sur le niveau	Niveau de l'appareil	Altitude
	0.00	1.578	15.857	14.279
0+000	- 30.0	1.718		14.139
	+ 28.90	1.358		14.499
	0.00	1.568	16.531	14.983
	- 30	1.727		14.824
0+250	- 19	1.685		14.868
	19	1.515		15.036
	29	1.463		15.088
	0.00	1.618	18.088	16.470
	- 30	1.800		16.288
0+500	- 19	1.725		16.363
	18	1.596		16.492
	29	1.560		16.528
	0.00	1.648	19.963	18.315
	- 30	1.788		18.175
0+750	- 19	1.772		18.191
	19	1.550		18.413
	29	1.462		18.501
	0.00	1.603	21.547	19.964
	- 30	1.741		19.802
1+000	- 19	1.690		19.857
	19	1.522		20.025
	29	1.494		20.053

Tableau 7: Relevés topographiques et
Calculs d'altitude

$$\text{ch } 2+250 \quad P_{90} = \frac{22.09 - 21.77}{29+29} = 0.67\%$$

Les pentes du terrain naturel sont donc inférieures de loin à la moyenne permise de 1.5% et semblent être un peu faible pour pouvoir écouler les eaux pluviales rapidement.

On pourrait être amené à choisir une valeur supérieure. Seulement il faudra tenir compte des nouvelles cotes du projet qui ont été trouvées après le renforcement. Les valeurs de cote sont celles du renforcement des points de l'axe de la piste c'est-à-dire de ceux des centres des profils en travers. C'est donc partant du centre de chaque section qu'on doit ajuster la pente pour ne pas modifier sa cote de projet.

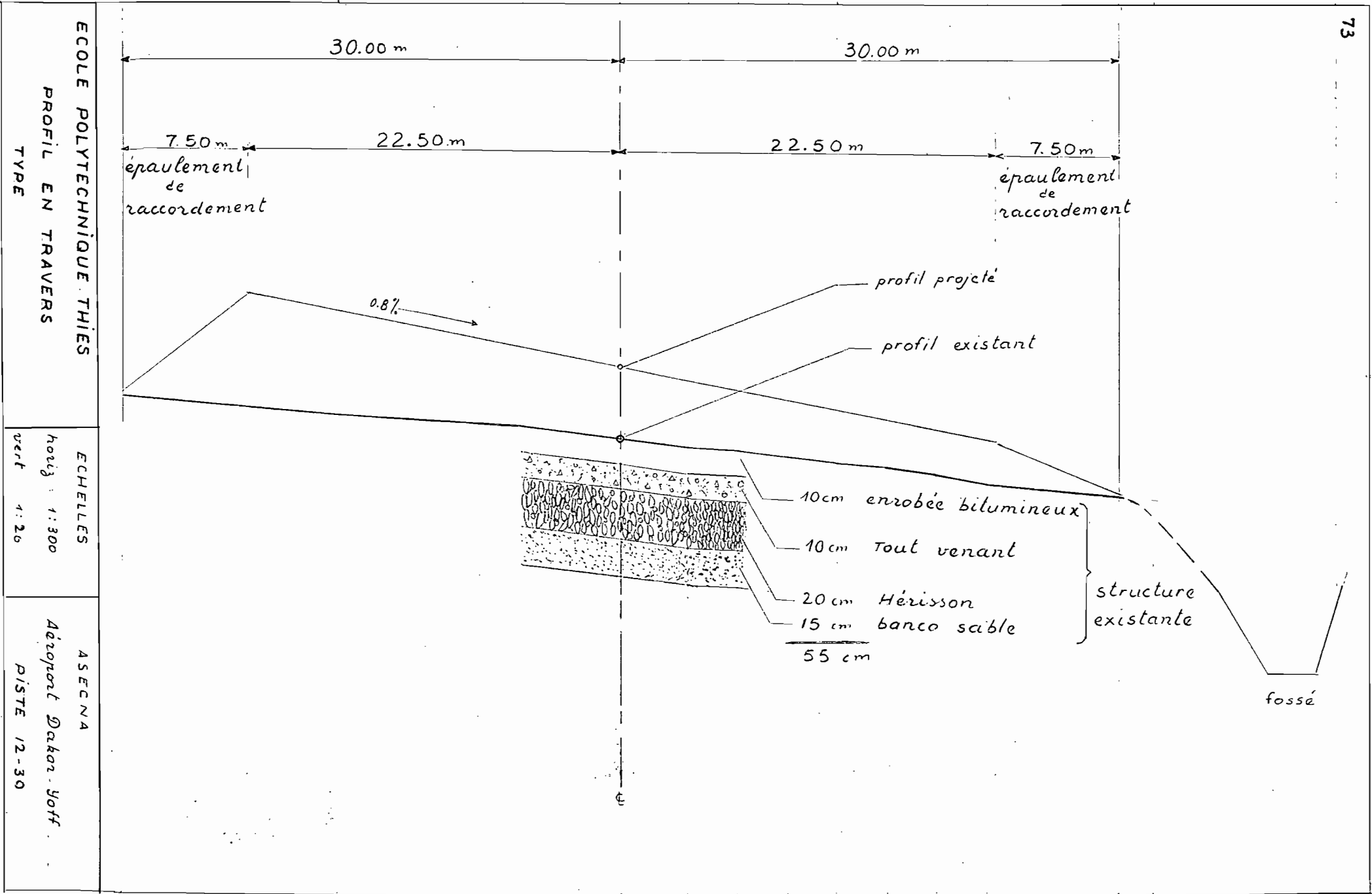
Après essai, on a trouvé que des valeurs de pente supérieures à 0.8% donnent des renforcements trop faibles et difficiles à réaliser sur un côté, et trop grands de l'autre. Pour améliorer l'écoulement des eaux on doit choisir des pentes supérieures à celles du terrain. Une valeur de 0.8% serait une sorte de solution de compromis. On va garder cette valeur de 0.8% pour toutes les sections transversales tout au long du profil en long de la piste. On devrait garder à l'esprit que cette pente doit être modifiée aux intersections avec d'autres pistes où il conviendrait d'assurer une transition régulière.

Avec donc une pente de 0.8% et à partir de la cote de projet du centre de la section, on peut calculer la valeur du renforcement à chaque point d'une section qui est la différence entre la cote du projet définie par la pente de 0.8% et la cote du terrain naturel.

Le renforcement se limitera aux 45m centraux qui sont les plus sollicités par les charges des avions (voir le profil en travers type) Le tableau 8 suivant a été dressé à partir des profils en travers. En tenant compte du reflashage on se retrouve avec un renforcement moyen de 17.3 cm. (Profils en travers voir annexe C)

chainage	Profil	Distance par rapport au centre (m)										
		-22.5	-19	-9	-6	-3	0	3	6	9	19	22.5
0+000	P ₀	14.5	14.5	15.0	13.5	13.0	13.0	10.5	12.0	11.0	7.0	5.5
0+250	P ₁₀	34.5	32.5	26.0	25.5	25.0	24.0	24.5	23.0	23.0	20.0	18.5
0+500	P ₂₀	37.0	37.0	29.0	28.0	27.5	25.0	24.5	22.5	21.0	20.5	20.0
0+750	P ₃₀	25.5	26.0	24.0	22.0	21.5	21.0	19.5	18.5	17.0	20.0	17.0
1+000	P ₄₀	17.0	15.0	12.0	11.0	8.5	8.0	8.5	7.5	6.0	2.0	1.0
1+250	P ₅₀	18.5	16.0	15.5	14.0	13.5	12.0	12.0	11.5	10.0	6.0	5.5
1+500	P ₆₀	—	28.0	22.0	21.0	21.5	21.0	20.5	19.0	18.0	17.0	16.0
1+750	P ₇₀	32.0	31.0	26.5	25.0	24.5	22.0	18.5	16.0	15.0	13.0	12.0
2+000	P ₈₀	22.0	20.0	15.0	15.0	14.5	12.0	12.5	11.5	9.0	8.0	7.0
2+250	P ₉₀	23.0	21.5	15.5	15.0	13.0	11.0	10.0	8.0	7.0	7.5	8.0

Tableau 8 Renforcement des sections en travers (cm)



ECOLE POLYTECHNIQUE THIES
PROFIL EN TRAVERS
TYPE

ECHELLES
horiz : 1:300
vert : 1:20

ASECNA
Aéroport Dakar Yoff
PISTE 12-30

chap IV Drainage

Les études d'évacuation des eaux doivent être effectuées sur deux plans: d'une part, pour les eaux souterraines, c'est-à-dire ne provenant pas de l'aérodrome, et d'autre part, pour les eaux de surface (c'est-à-dire celles qui tombent sur l'aérodrome).

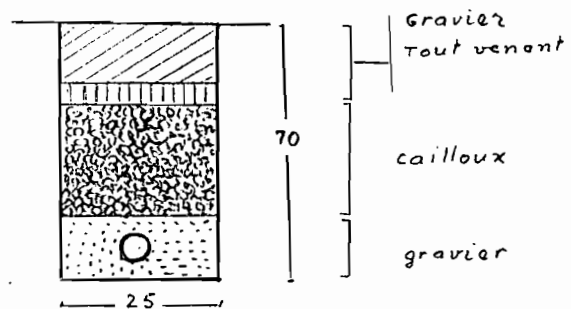
1 Les eaux de surface

Pour traiter ce chapitre il faut disposer des renseignements pluviométriques dans la région de Dakar-Yoff (cf chapitre sur le climat).

1.1 Drainage des zones perméables

Le drainage se fait suivant le système de drainage agricole composé de drains parallèles et légèrement obliques par rapport aux courbes de niveau. Ces drains se jettent dans un premier collecteur qui se jette lui-même dans un collecteur principal qui évacue les eaux jusqu'au point de débversement définitif.

Le drain élémentaire est formé d'une tranchée à parois verticales de 0.25 m de largeur et 0.70 m de profondeur au fond de laquelle on place un drain (fig ci contre)



Tranchée drainante élémentaire

La tranchée est ensuite remplie de matériaux perméables jusqu'au niveau du sol. Les drains sont constitués par des canalisations de 8 ou 10 cm de diamètre, soit

en béton poreux ou perforé, soit le plus souvent en plastique perforé.

1.1.1 Calcul des tranchées drainantes

Dans les calculs, on tient compte du débit du drain mais aussi de la capacité du réseau de drainage.

Les pluies les plus défavorables sont alors les pluies de longue durée. On utilise souvent la pluie dite de Belgrand qui est celle correspondant à 45 mm d'eau en une heure. Pour nos régions, les pluies sont souvent très intenses et de courte durée, nous utiliserons une pluie de 60 mm par heure (cf la pluie du 19 juillet 1979 dans le chapitre: Climat).

On peut accepter que ces zones peuvent être inondées pendant un certain temps et le calcul est alors le suivant:

. On peut espacer les drains de 10 m dans des tranchées de 2.5×7 dm dont la capacité est de 30% et une capacité d'imbibition des parois de 20 l/m^2

. La capacité d'accumulation du système à l'hectare drainé par 100 drains est de

$$100 \times 100 \times 0.3 \times 2.5 \times 7 + 2 \times 20 \times 0.7 \times 100 \times 100 = 80500 \text{ l}$$

et la pluie déversée sur l'hectare considérée:

$$0.60 \times 100 \times 10000 = 600000 \text{ l}$$

En tenant compte des pertes par évaporation, infiltration etc... pour 50%, le drainage recevra 600000×0.5 soit 300000 l dont $300000 - 80500 = 219500$ litres seront évacués par les drains.

Les drains doivent donc véhiculer un débit de $\frac{219500}{3600} = 60 \text{ l/ha/sec}$

Si on admet que ^{pour} les zones non revêtues, l'évacuation peut se faire en deux heures, les drains doivent pouvoir évacuer 30 l/ha/s. Ce chiffre est généralement admis pour les terrains jusqu'à 50 m des pistes.

1.2 Drainage des zones imperméables

Les zones sont essentiellement les pistes, les voies de circulation et les aires de stationnement. Pour assainir ces zones, on doit d'abord collecter les eaux tombant et les pouvoir les évacuer ensuite.

On doit éviter que les eaux pénètrent dans ou sous la chaussée, soit à travers les revêtements, soit latéralement, par infiltration à partir des accotements.

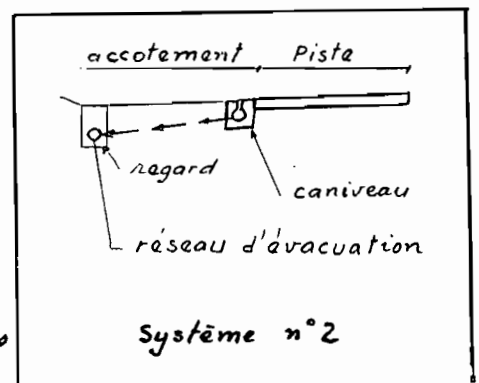
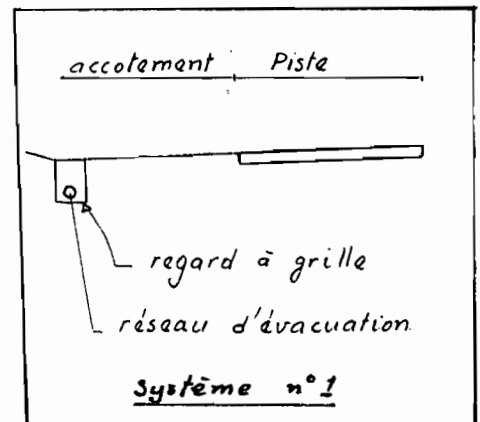
On distingue deux systèmes :

- Dans le premier, on laisse l'eau ruisseler sur l'accotement vers les points bas du terrain où elle sera captée par des regards à grille et évacuée par un réseau de canalisation ordinaire.

Ce système a l'avantage d'être économique mais lorsque le terrain est érodable, il peut se produire une saignée et une détérioration du sol.

- Dans le deuxième système, on recueille les eaux provenant du revêtement dans des caniveaux reliés au réseau d'évacuation par des buses.

Comme les avions sont amenés quelques



fois à rouler en bordure, il faut couvrir les revêtements de matériaux qui pourront résister aux poids des avions.

L'infiltration sous les revêtements des eaux tombées sur les accotements sera arrêtée par un drain d'isolement. Ce drain comme pour les zones perméables, est parallèle à la piste et à environ 1 m du bord de la piste sous l'accotement. La profondeur est telle que les eaux qui tombent au voisinage des revêtements, n'auront pas la possibilité de s'infiltrer sous l'ouvrage et de détremper le sol de fondation. Il faut alors une profondeur minimale de 30 cm au dessous de la plate forme.

2 Les eaux souterraines

Il est évidemment souhaitable qu'une piste ne baigne pas dans l'eau, c'est-à-dire que le niveau de la nappe phréatique soit sensiblement inférieur au niveau du fond de fouille. Lorsque le niveau de la nappe phréatique est assez rapproché de la surface du sol, il est fréquent qu'une des premières précautions à prendre pour assurer l'assainissement des installations soit d'essayer d'abaisser le niveau de la nappe.

Quand on dispose d'un point bas d'évacuation, le problème ne se pose pas. Si maintenant le niveau de la nappe est rapproché du terrain naturel, on peut être amené à relever le niveau de la piste par des remblais jusqu'à ce que la nappe soit à au moins 30 cm en dessous du niveau du fond de forme. A partir de ce moment, on doit veiller à l'élimination des remontées capillaires dans le cas des sols limoneux ou argileux. Pour lutter contre ces remontées capillaires, la meilleure solution consiste à interposer sous la chaussée une couche anti capillaire formée de gros grains (gravier, sable)

chap V Balisage

Le terme balisage regroupe le balisage proprement dit formé de repères visuels artificiels fixes servant à guider les aéronefs dans leurs manoeuvres et la signalisation constituée de signaux utilisés pour donner aux aéronefs des consignes de façon à contrôler la circulation aérienne. Le balisage doit être le même dans tous les pays du monde.

On distingue :

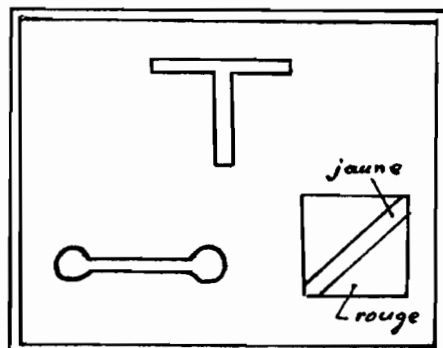
- le balisage de jour et la signalisation de jour ;
- le balisage et la signalisation lumineux en deux espèces :
 - le balisage pour utilisation de nuit ;
 - le balisage pour utilisation par mauvaise visibilité.

1 Balisage et signalisation de jour

1.1 Dispositions applicables à tous les aérodromes

- a) L'aérodrome doit être identifié par son nom dont les caractères blancs d'au moins 3 m de hauteur sont visibles dans toutes les directions. Il doit aussi avoir au moins une manche à vent pour indiquer la direction du vent
- b) Des aires à signaux, placés à côté de la tour de contrôle de préférence, dans un fond noir délimité de muret blanc doivent comporter :

- un T mobile dont la barre verticale indique le sens d'atterrissage
- un panneau d'interdiction d'atterrir (carré rouge à diagonales jaunes)
- un panneau "Attention" (précautions spéciales à prendre : carré rouge à une



aire à signaux 25 x 25 m

diagonale jaune)

- un panneau indiquant qu'il est obligatoire d'atterrir, de décoller et de circuler uniquement sur les pistes ou voies balisées (haltere blanc).

- c) Les projecteurs de signalisation permettent de communiquer avec les appareils émunis de radio et avec les personnes qui au sol, encombrant les aires de manoeuvre. Ils peuvent être braqués à la main et émettre des feux rouges ou blancs ou verts
- d) de balisage des obstacles massifs se fait à l'aide d'un damier blanc et rouge ou orange. Pour les obstacles minces, on utilise des bandes alternativement blanches et rouge ou orange - les lignes électriques sont signalées par des boules ou ou cônes alternativement blancs et rouges.
- e) Les zones inutilisables (hors service) sont délimitées par des fanions rouges.

1.2 Aérodrome avec piste

- a) Chaque extrémité de piste comporte un numéro de deux chiffres indiquant en dizaines de degrés l'azimut magnétique de l'axe de la piste (exemple 12 - 30). Pour des pistes parallèles on fait la différence dans l'identification en ajoutant aux chiffres l'une des lettres suivantes: R, pour la piste de droite; L, pour la piste de gauche et C, pour la piste du centre.
- b) L'axe de la piste est matérialisée (obligatoirement pour les pistes à instruments) par des marques d'axe de piste formées par des traits de 30 m de long et 0.90 m de large espacés de 30 m
- c) Le seuil de la piste qui délimite celle-ci (et obligatoire pour les pistes aux instruments) est signalé par une série de bandes de 30 m de long parallèles et symétriques par rapport à l'axe. On doit aussi délimiter les pistes latéralement.

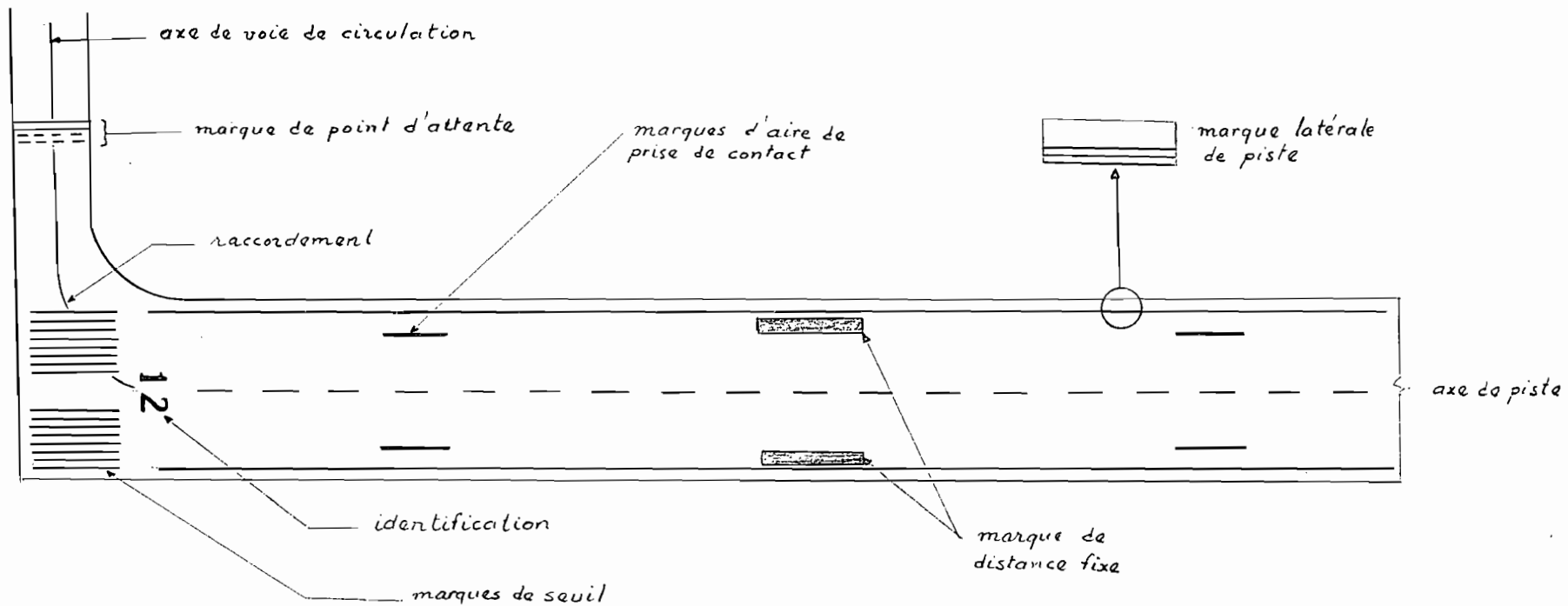


fig 4 Balisage et signalisation du jour

2 Balisage et signalisation lumineuse

Lorsqu'un aéroport doit être ouvert la nuit, du point de vue balisage et signalisation, le problème de l'installation électrique devient sérieux et l'est plus lorsqu'on doit faire le balisage pour atterrissage par mauvaise visibilité.

2.1 Dispositions applicables à tous les aéroports

- a). On doit supprimer tous les feux à proximité et qui, en raison de leur intensité et de leurs couleurs, risqueraient de prêter à confusion ou d'empêcher que les feux aéronautiques ne soient visibles.
- b). Un aéroport peut être repéré à distance par un phare à éclats de grande puissance. Pour identifier l'aéroport, on utilise un phare moins puissant placé sur l'aéroport et qui émet en morse un indicatif propre au terrain.
- c). Les signaux de l'aire à signaux et la manche à vent sont éclairés avec leurs couleurs conventionnelles.
- d). Les zones hors service: sont balisées par des feux rouges
- e). Les obstacles dont le balisage est nécessaire sont signalés de nuit par des feux rouges délimitant l'obstacle. Lorsque l'obstacle est étendu, on y installe un phare à éclats rouges.

2.2 Aéroport doté de piste

Il existe une différence entre le balisage de nuit par bonne visibilité et le balisage de nuit par mauvaise visibilité. Le rapport des puissances des feux est de l'ordre de 1 à 10.

Dans le premier cas, on utilise des feux à basse intensité

(lampes ordinaires) dont le réseau électrique est simplement en dérivation ou en série. Un seul poste de transformation à partir du réseau de haute tension (environ 5500 volts) peut suffire. Dans le second cas, on utilise des projecteurs à haute intensité. Lorsque le balisage doit se faire sur 2500 à 3500 m, il sera nécessaire de prévoir 3 à 4 postes de transformation pour alimenter les câbles.

Il est nécessaire de disposer de groupes électrogènes automatiques qui puissent alimenter le réseau du balisage en cas de panne du secteur sans qu'il faille l'intervention de quelqu'un.

2.2.1 Les feux de piste: Les pistes sont balisées de nuit par deux rangées de feux placés soit le long du bord de la piste, soit dans le cas des pistes très larges à 45 m l'une de l'autre. Pour éviter que les ailes des avions n'accrochent les feux, on doit les placer aussi bas que possible. Ils doivent être espacés d'au maximum 60 m et de couleur blanche. Les feux de seuil de piste sont verts et débordent de part et d'autre de la piste laissant une zone libre dans l'axe. Les feux à basse intensité pour le balisage par bonne visibilité sont omnidirectionnels alors que ceux de haute intensité pour la mauvaise visibilité sont unidirectionnels.

2.2.2 Aides visuelles complémentaires

Pour faciliter l'approche finale et le contact ainsi que le roulement au sol, le balisage précédent doit être complété par les séries de feux suivantes:

- Les aides visuelles complémentaires pour l'atterrissage par bonne visibilité sont des feux groupés pour constituer:
 - deux barres de distance fixe situées à environ 300 m en

aval du seuil et comportant des feux blancs ;

- une barre de présignalisation de seuil située à 60 m à l'amont du seuil avec feux rouges du côté de l'approche seulement;
- un balisage d'approche formé d'une ligne de feux blancs situés dans le prolongement de l'axe à l'amont du seuil sur 450 m et complétée par une barre de feux de même nature perpendiculairement à l'axe et à 300 m du seuil en amont.

• Les aides complémentaires pour l'atterrissage par mauvaise visibilité comportent, à l'extrémité de la piste, des dispositions analogues. quelque fois, la barre de présignalisation est complétée par des barrettes latérales de présignalisation.

- La ligne d'approche a en principe 1050 m de longueur et se compose de projecteurs espacés de 30 m et de 3 barres transversales distantes de 300 ; 600 et 900 m à l'amont du seuil de la piste et de longueurs croissantes telles que les extrémités convergent vers le point de l'axe de la piste situé à 300 m du seuil

• Sur certains grands aéroports sujets au brouillard, le dispositif d'approche est complété par des feux à éclats placés auprès des feux axiaux et s'allument en séquence de manière à être vus sous forme d'un éclat blanc se déplaçant à grande vitesse dans la direction de l'atterrissage.

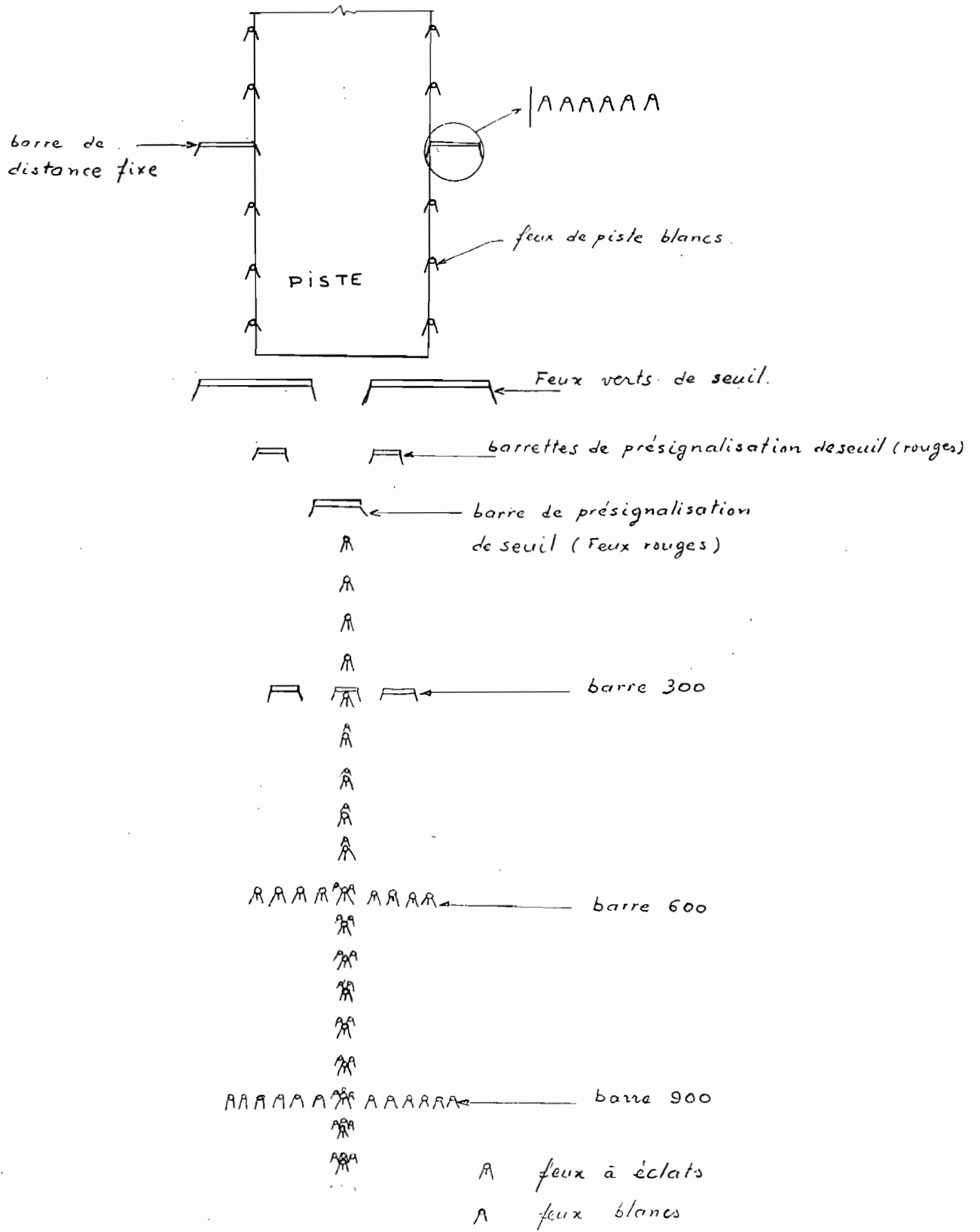


fig 5 Balisage et dispositif lumineux d'approche
(haute intensité).

chap VI Recommandations - conclusion

Comme cela a été déjà souligné, la connaissance de la capacité portante du sol a une influence directe sur le calcul de l'épaisseur de la chaussée. Lorsque la capacité portante du sol est surestimée, il résultera des calculs une épaisseur faible comparée à celle qu'elle devait être si la capacité était bien estimée. Dans l'autre cas, c'est-à-dire lorsque la capacité portante est sous estimée, l'épaisseur sera plus grande que l'épaisseur requise ce qui occasionnera des surplus de dépenses bien que la chaussée soit plus résistante.

Pour avoir une valeur plus représentative de la capacité portante, on peut faire des prélèvements d'échantillons de sol assez rapprochés (tous les 20 m par exemple). La représentativité des échantillons sera d'autant meilleure qu'ils seront faits en quinconce ce qui permettra de toucher toutes les parties de la piste : la longueur, le centre et les côtés.

- Les profils en travers sur lesquels nous avons travaillé sont trop distancés (250 m). Pour plus de précision sur le calcul des autres points des sections en travers comprises entre 250 m, on devrait faire des profils en travers à tous les 25 m au maximum.

- Pour ce qui concerne le contrôle de l'état de la piste, il faut tout d'abord faire un travail d'inspection périodique pour pouvoir suivre l'évolution du comportement de la chaussée face aux sollicitations répétées. Plus la fréquence des visites est grande, plus on pourra limiter les dégâts et agir en conséquence avant qu'il ne soit tard.

Chaque fois que les dégradations commenceront à s'accroître, il faudra restreindre l'utilisation de la piste à certains appareils lourds dont les charges ne font qu'aggraver le processus de dégradation.

. Pour éviter que les chaussées des autres pistes fonctionnelles ne soient atteintes du phénomène de fatigue avant la durée de vie utile, suite aux nombreuses sollicitations, il faudrait essayer de faire le renforcement de la piste 12-30 dans les plus brefs délais et l'ouvrir à nouveau au trafic pour décongestionner la circulation. Rappelons qu'il faut l'utiliser seulement quand les vents y sont favorables pour l'atterrissage et le décollage.

Est-il besoin de rappeler aussi, cela va de soi, qu'une fois la piste renforcée et remise en service, les fossés de drainage devraient être eux aussi remis en condition en les recréant à une profondeur de 30 cm au moins au dessous de la plate-forme soit à 1 m au minimum par rapport à la surface de la chaussée. Cela contribuera de beaucoup à diminuer la remontée capillaire importante qui est observée dans le sol argileux de la piste 12-30.

Annexe A

- Calculs des raccordements

1^{er} raccordement

$$p = 3.23 \cdot 10^{-3}$$

$$p' = 7.22 \cdot 10^{-3}$$

$$A = p - p' = 3.99 \cdot 10^{-3}$$

Raccordement du type (1)

La longueur minimale de raccordement $L = R(p - p')$

$$L = 30000 \times 3.99 \cdot 10^{-3} = 120 \text{ m.}$$

On peut choisir une longueur de raccordement de

$$L = 150 \text{ m}$$

entre les chainages 0+250 et 0+400

• au chaînage 0+275

$$x = 25 \quad \Rightarrow \quad y = \frac{25^2}{2} \times \frac{3.99 \cdot 10^{-3}}{150} = 0.0083$$

$$\Delta y = 3.23 \cdot 10^{-3} \times 25 = 0.08075$$

$$\begin{aligned} \text{Altitude } 0+275 &= \text{Altitude } 0+250 + \Delta y + y \\ &= 15.11 + 0.08075 + 0.0083 = \underline{15.20 \text{ m}} \end{aligned}$$

• au chaînage 0+300

$$x = 50 \quad \rightarrow \quad y = \frac{50^2}{300} \times 3.99 \cdot 10^{-3} = 0.0332$$

$$\Delta y = 3.23 \cdot 10^{-3} \times 50 = 0.1615$$

$$\text{Alt } 0+300 = 15.11 + 0.1615 + 0.0332 = \underline{15.30 \text{ m}}$$

• chaînage 0+325

$$x = 75 \quad \rightarrow \quad y = \frac{75^2}{300} \times 3.99 \cdot 10^{-3} = 0.075$$

$$\Delta y = 75 \times 3.23 \cdot 10^{-3} = 0.2422$$

$$\text{Alt } 0+325 = 15.91 + 0.075 + 0.2422 = \underline{15.43 \text{ m}}$$

A gauche de B

• chaînage 0+375

$$x = 25$$

$$y = 0.0083$$

$$\Delta Y = 25 \times 7.22 \times 10^{-3} = 0.1805$$

$$\text{Alt}_{0+375} = \text{Alt}_{0+400} - \Delta Y + y = 15.89 - 0.1805 + 0.0083 = 15.72$$

$$\underline{\text{Alt}_{0+375} = 15.72 \text{ m}}$$

• chaînage 0+350

$$x = 50$$

$$y = 0.0332$$

$$\Delta Y = 50 \times 7.22 \times 10^{-3} = 0.361$$

$$\text{Alt}_{0+350} = 15.89 - 0.361 + 0.0332 = 15.56$$

$$\underline{\text{Alt}_{0+350} = 15.56 \text{ m}}$$

2° raccordement

$$p = 7.22 \times 10^{-3}$$

$$p' = 5.36 \times 10^{-3}$$

$$p - p' = 1.86 \times 10^{-3}$$

$p > p'$; on a un raccordement suivant le modèle (2).

longueur minimale de raccordement L

$$L = 30.000 \times 1.86 \times 10^{-3} = 55 \text{ m}$$

On peut raccorder sur une longueur $L = 75 \text{ m}$ entre les chaînages 0+800 et 0+875 m.

• ch 0+825

$$x = 25 \rightarrow y = \frac{25^2}{2} \times \frac{1.86}{75} \times 10^{-3} = 0.00775$$

$$\Delta Y = 25 \times 7.22 \times 10^{-3} = 0.1805$$

$$\text{Alt}_{0+825} = \text{Alt}_{0+800} + \Delta Y - y = 18.78 + 0.1805 - 0.00775 = 18.95$$

$$\underline{\text{Alt}_{0+825} = 18.95 \text{ m}}$$

• ch 0+850 à gauche du point B.

$$x = 25 \rightarrow y = 0.00775$$

$$\Delta y = 25 \times 5.36 \times 10^{-3} = 0.134$$

$$\text{Alt}_{0+850} = \text{Alt}_{0+875} - \Delta y - y = 19.24 - 0.134 - 0.00775 = 19.10$$

$$\underline{\text{Alt}_{0+850} = 19.10 \text{ m}}$$

3° raccordement

$$p = 5.36 \times 10^{-3}$$

$$p' = 0.12 \times 10^{-3} \quad p - p' = 5.24 \times 10^{-3}$$

Le raccordement sera de type 2

La longueur minimale de raccordement

$$L_{\min} = 30000 \times 5.24 \times 10^{-3} = 157 \text{ m}$$

Nous pouvons faire un raccordement sur $L = 175 \text{ m}$ entre les chainages 1+200 et 1+375.

• ch 1+225

$$x = 25 \rightarrow y = \frac{25^2}{2} \times \frac{5.24 \times 10^{-3}}{175} = 0.00936$$

$$\Delta y = 25 \times 5.36 \times 10^{-3} = 0.134$$

$$\begin{aligned} \text{Alt}_{1+225} &= \text{Alt}_{1+200} + \Delta y - y \\ &= 20.99 + 0.134 - 0.00936 = 21.11 \end{aligned}$$

$$\underline{\text{Alt}_{1+225} = 21.11 \text{ m}}$$

• ch 1+250

$$x = 50 \rightarrow y = \frac{50^2}{350} \times 5.24 \times 10^{-3} = 0.0374$$

$$\Delta y = 50 \times 5.36 \times 10^{-3} = 0.268$$

$$\text{Alt}_{1+250} = 20.99 + 0.268 - 0.0374 = 21.22$$

$$\underline{\text{Alt}_{1+250} = 21.22 \text{ m}}$$

• ch 1+275

$$x = 75 \rightarrow y = \frac{75^2}{350} \times 5.26 \times 10^{-3} = 0.0842$$

$$\Delta y = 75 \times 5.36 \times 10^{-3} = 0.402$$

$$\text{Alt}_{1+275} = 20.99 + 0.402 - 0.0842 = 21.31$$

$$\underline{\text{Alt}_{1+275} = 21.31 \text{ m}}$$

A droite du point B

• ch 1+350

$$x = 25 \rightarrow y = 0.00936$$

$$\Delta y = 25 \times 0.12 \times 10^{-3} = 0.003$$

$$\text{Alt}_{1+350} = \text{Alt}_{1+375} - \Delta y - y$$

$$= 21.48 - 0.003 - 0.00936 = 21.47$$

$$\underline{\text{Alt}_{1+350} = 21.47 \text{ m.}}$$

• ch 1+325

$$x = 50 \rightarrow y = 0.0374$$

$$\Delta y = 50 \times 0.12 \times 10^{-3} = 0.006$$

$$\text{Alt}_{1+325} = 21.48 - 0.006 - 0.0374 = 21.44 \text{ m}$$

$$\underline{\text{Alt}_{1+325} = 21.44 \text{ m}}$$

• ch 1+300

$$x = 75 \rightarrow y = 0.0842$$

$$\Delta y = 0.12 \times 10^{-3} \times 75 = 0.0091$$

$$\text{Alt}_{1+300} = 21.48 - 0.0091 - 0.0842 = 21.39$$

$$\underline{\text{Alt}_{1+300} = 21.39 \text{ m}}$$

4^e raccordement

$$p = 0.12 \times 10^{-3}$$

$$p' = 1.84 \times 10^{-3}$$

$$p' - p = 1.72 \times 10^{-3}$$

Le raccordement sera de type 1 puisque $p < p'$

• Longueur minimale de raccordement

$$L_{\min} = 30000 \times 1.72 \times 10^{-3} = 52 \text{ m}$$

• On raccordera sur une longueur $L = 75 \text{ m}$ entre les chaînages $1+975$ et $2+050 \text{ m}$.

• ch $2+000$

$$x = 25 \quad \rightarrow \quad y = \frac{25^2}{2} \times \frac{1.72}{75} \times 10^{-3} = 0.0072$$

$$\Delta y = 25 \times 0.12 = 0.003$$

$$\begin{aligned} \text{Alt}_{2+000} &= \text{Alt}_{1+975} + \Delta y + y \\ &= 21.55 + 0.003 + 0.0072 = 21.56 \end{aligned}$$

$$\underline{\text{Alt}_{2+000} = 21.56 \text{ m.}}$$

A gauche du point B

• ch $2+025$

$$x = 25 \quad \rightarrow \quad y = 0.0072$$

$$\Delta y = 25 \times 1.84 \times 10^{-3} = 0.046$$

$$\begin{aligned} \text{Alt}_{2+025} &= \text{Alt}_{2+050} - \Delta y + y \\ &= 21.65 - 0.046 + 0.0072 = 21.61 \end{aligned}$$

$$\underline{\text{Alt}_{2+025} = 21.61 \text{ m}}$$

Après le reflashage il suffit seulement d'ajouter un renforcement de 11 cm pour obtenir les cotes du projet de renforcement (2^e ligne sur le profil en long)

$$2^{\text{e}} \text{ ligne} = 5^{\text{e}} \text{ ligne} + 11 \text{ cm}$$

Annexe B

Données statistiques du vent

***** POURCENTAGE DE FREQUENCE DES VENTS HORAIRES *****

* DAKAR
 * NOMBRE D OBSERVATIONS = 4464 PERIODE 1970-1975 JANVIER VENTS CALMES = 0.828

DD/FF	01-03	04-06	07-10	11-16	17-21	22-27	28-33	34-40	41-47	48-55	SUP55	TOTAL
*01-02	0.157	1.815	17.182	16.532	0.426	0.022						36.134
*03-04	0.067	1.501	13.441	11.582	0.426							27.016
*05-06	0.022	0.291	2.039	2.106	0.045							4.503
*07-08		0.090	0.314	0.202	0.045							0.650
*09-10			0.246	0.246	0.045							0.538
*11-12			0.067	0.067								0.134
*13-14			0.022	0.022								0.045
*15-16			0.045	0.022								0.067
*17-18			0.045									0.045
*19-20		0.022	0.045									0.067
*21-22		0.022	0.022									0.045
*23-24		0.022	0.045									0.067
*25-26		0.045										0.067
*27-28	0.112	0.336	0.067									0.515
*29-30	0.067	0.448	0.134									0.650
*31-32	0.022	1.030	1.053	0.224								2.330
*33-34	0.134	1.434	2.800	1.546								5.914
*35-36	0.090	1.949	9.767	8.445	0.134							20.385
*TOTAL	0.672	9.028	47.334	40.995	1.120	0.022						99.171

***** POURCENTAGE DE FREQUENCE DES VENTS HORAIRES *****

* DAKAR
 * NOMBRE D OBSERVATIONS = 4056 PERIODE 1970-1975 FEVRIER VENTS CALMES = 1.010

DD/FF	01-03	04-06	07-10	11-16	17-21	22-27	28-33	34-40	41-47	48-55	SUP55	TOTAL
*01-02	0.025	1.085	16.445	17.850	1.529							36.933
*03-04		0.518	8.087	11.021	0.567	0.074						20.260
*05-06		0.074	0.370	0.789								1.233
*07-08		0.025	0.148	0.049	0.025							0.247
*09-10			0.074	0.173								0.247
*11-12				0.025								0.025
*13-14												
*15-16												
*17-18												
*19-20												
*21-22												
*23-24												
*25-26												
*27-28		0.049	0.025									0.074
*29-30	0.025	0.937	0.616	0.049								1.627
*31-32	0.074	0.863	1.405	0.197								2.539
*33-34	0.123	1.824	4.832	1.874	0.025							8.679
*35-36	0.074	1.652	11.958	12.821	0.616							27.120
*TOTAL	0.321	7.027	43.960	44.847	2.761	0.074						98.989

***** POURCENTAGE DE FREQUENCE DES VENTS HORAIRES *****

* DAKAR
 * NOMBRE D OBSERVATIONS = 4464 PERIODE 1970-1975 MARS VENTS CALMES = 0.156 *

DD/FF	01-03	04-06	07-10	11-16	17-21	22-27	28-33	34-40	41-47	48-55	SUP55	TOTAL
01-02		0.269	8.557	19.467	2.666	0.045						31.004
03-04		0.291	2.285	6.407	0.986							9.969
05-06		0.045	0.179	0.246								0.470
07-08		0.022	0.090	0.045								0.157
09-10			0.045	0.022								0.067
11-12												
13-14				0.022								0.022
15-16				0.022								0.022
17-18												
19-20												
21-22												
23-24												
25-26		0.022		0.022								0.044
27-28		0.045										0.045
29-30		0.179	0.291	0.090								0.560
31-32	0.022	0.941	2.151	0.470								3.584
33-34		1.299	7.997	5.130	0.067							14.493
35-36	0.045	1.478	14.987	21.886	0.986	0.022						39.404
TOTAL	0.067	4.592	36.582	53.831	4.704	0.067						99.843

***** POURCENTAGE DE FREQUENCE DES VENTS HORAIRES *****

* DAKAR
 * NOMBRE D OBSERVATIONS = 4320 PERIODE 1970-1975 AVRIL VENTS CALMES = 1.319 *

DD/FF	01-03	04-06	07-10	11-16	17-21	22-27	28-33	34-40	41-47	48-55	SUP55	TOTAL
01-02	0.023	0.208	9.602	18.565	3.241	0.069						27.708
03-04		0.093	1.481	2.500	0.208	0.046						4.329
05-06			0.139	0.023								0.162
07-08												
09-10					0.023							0.023
11-12		0.023										0.023
13-14												
15-16												
17-18	0.023	0.023	0.023									0.069
19-20		0.023										0.023
21-22	0.023		0.023	0.023								0.069
23-24		0.023	0.185									0.208
25-26	0.069	0.046	0.093									0.208
27-28	0.046	0.139	0.185									0.370
29-30	0.116	0.301	0.347	0.116								0.880
31-32	0.255	1.713	2.292	0.833								5.093
33-34	0.116	1.412	5.694	5.648	0.301							13.171
35-36	0.046	1.343	12.292	29.792	2.847	0.023						46.343
TOTAL	0.718	5.347	28.356	57.500	6.620	0.139						98.661

***** POURCENTAGE DE FREQUENCE DES VENTS HORAIRES *****												
* DAKAR												
* NOMBRE D OBSERVATIONS = 4464												
PERIODE 1970-1975 MAI												
VENTS CALMES = 1.500 *												
DD/FF	01-03	04-06	07-10	11-16	17-21	22-27	28-33	34-40	41-47	48-55	SUP55	TOTAL
*01-02	0.022	0.381	2.666	9.655	0.918	0.067						13.710
*03-04	0.045	0.179	0.672	1.703	0.067							2.666
*05-06		0.067	0.045	0.134								0.246
*07-08		0.067										0.067
*09-10			0.022									0.022
*11-12		0.045	0.022									0.067
*13-14		0.067	0.022	0.022								0.112
*15-16	0.022											0.022
*17-18	0.022			0.022								0.045
*19-20		0.134	0.022	0.067								0.224
*21-22		0.314	0.515	0.112	0.022							0.963
*23-24	0.045	0.515	0.358	0.112								1.030
*25-26	0.090	0.515	0.650	0.112								1.366
*27-28	0.090	1.165	0.851	0.179								2.285
*29-30	0.314	1.703	1.322	0.090								3.427
*31-32	0.448	2.509	5.869	1.837	0.022							10.685
*33-34	0.269	2.330	10.125	7.975	0.022							20.721
*35-36	0.157	1.523	12.612	25.381	1.165							40.838
*TOTAL	1.523	11.514	35.775	47.401	2.218	0.067						98.499

***** POURCENTAGE DE FREQUENCE DES VENTS HORAIRES *****												
* DAKAR												
* NOMBRE D OBSERVATIONS = 4320												
PERIODE 1970-1975 JUIN												
VENTS CALMES = 4.583 *												
DD/FF	01-03	04-06	07-10	11-16	17-21	22-27	28-33	34-40	41-47	48-55	SUP55	TOTAL
*01-02	0.139	0.417	1.157	2.130	0.139							3.981
*03-04	0.139	0.463	0.694	0.486								1.782
*05-06		0.162	0.023	0.069	0.023							0.278
*07-08	0.046	0.046	0.069	0.046								0.208
*09-10		0.162	0.208	0.046		0.023						0.440
*11-12	0.046	0.139	0.046	0.046		0.023						0.301
*13-14	0.069	0.023		0.069								0.162
*15-16		0.093	0.046									0.139
*17-18	0.139	0.093	0.185	0.139	0.023							0.579
*19-20		0.093	0.231	0.208	0.023							0.556
*21-22	0.023	0.255	0.532	0.324								1.134
*23-24	0.162	0.579	1.111	0.532								2.384
*25-26	0.255	1.597	4.282	1.551	0.023							7.708
*27-28	0.417	2.685	4.352	1.157								8.611
*29-30	0.625	4.375	5.972	1.250	0.023							12.245
*31-32	0.440	5.486	11.667	3.333	0.069							20.995
*33-34	0.417	3.958	11.644	6.019								22.037
*35-36	0.093	1.065	5.787	4.838	0.093							11.875
*TOTAL	3.009	21.690	48.009	22.245	0.417	0.046						95.417

***** POURCENTAGE DE FREQUENCE DES VENTS HORAIRES *****												
* DAKAR												
* NOMBRE D OBSERVATIONS = 4464												
PERIODE 1970-1975 JUILLET												
***** VENTS CALMES = 4.905 *****												
DD/FF	01-03	04-06	07-10	11-16	17-21	22-27	28-33	34-40	41-47	48-55	SUP55	TOTAL
01-02	0.090	0.694	1.075	0.560								2.419
03-04		0.291	0.358	0.269	0.022							0.941
05-06	0.022	0.090	0.179	0.090	0.022							0.403
07-08	0.045	0.314	0.403	0.090		0.022						0.874
09-10	0.022	0.157	0.246	0.090								0.515
11-12		0.067	0.134	0.090	0.022	0.045	0.022					0.381
13-14	0.022	0.112	0.246	0.179	0.022							0.582
15-16	0.022	0.246	0.134	0.045								0.448
17-18	0.157	0.381	0.224	0.090								0.851
19-20	0.179	0.560	0.627	0.157								1.523
21-22	0.157	1.254	1.187	0.538								3.136
23-24	0.157	1.725	2.375	0.874								5.130
25-26	0.246	2.867	4.211	1.142								8.468
27-28	0.314	3.808	7.684	1.971								13.777
29-30	0.358	5.332	7.437	1.232								14.359
31-32	0.403	5.645	11.044	3.338								20.430
33-34	0.336	3.315	7.975	2.330								13.956
35-36	0.179	1.613	3.831	1.277								6.900
TOTAL	2.711	28.472	49.373	14.359	0.090	0.067	0.022					95.094

***** POURCENTAGE DE FREQUENCE DES VENTS HORAIRES *****												
* DAKAR												
* NOMBRE D OBSERVATIONS = 4464												
PERIODE 1970-1975 AOUT												
***** VENTS CALMES = 10.035 *****												
DD/FF	01-03	04-06	07-10	11-16	17-21	22-27	28-33	34-40	41-47	48-55	SUP55	TOTAL
01-02	0.179	0.941	1.030	0.134	0.022		0.022					2.330
03-04	0.157	0.762	0.851	0.179		0.022						1.971
05-06	0.067	0.448	0.403	0.112								1.030
07-08	0.134	0.560	0.291	0.291		0.022						1.299
09-10	0.045	0.358	0.291	0.157								0.851
11-12	0.045	0.470	0.358	0.112	0.022							1.008
13-14	0.045	0.291	0.246	0.269	0.022							0.874
15-16	0.067	0.694	0.448	0.336	0.045							1.591
17-18	0.224	0.784	0.739	0.672								2.419
19-20	0.179	1.075	2.263	1.120	0.090	0.045						4.772
21-22	0.090	1.815	3.114	1.389	0.022							6.429
23-24	0.269	1.792	2.061	1.165	0.045							5.332
25-26	0.246	3.136	4.122	0.896								8.401
27-28	0.582	5.152	4.368	0.627								10.730
29-30	0.582	4.727	5.757	1.210								12.276
31-32	0.582	5.152	8.266	1.478								15.479
33-34	0.090	2.487	4.391	1.120								8.087
35-36	0.336	1.277	2.509	0.963								5.085
TOTAL	3.920	31.922	41.510	12.231	0.269	0.090	0.022					89.964

***** POURCENTAGE DE FREQUENCE DES VENTS HORAIRES *****												
* DAKAR												
* NOMBRE D OBSERVATIONS = 4320												
PERIODE 1970-1975 SEPTEMBRE												
VENTS CALMES = 13.217												
DD/FF	01-03	04-06	07-10	11-16	17-21	22-27	28-33	34-40	41-47	48-55	SUP55	TOTAL
*01-02	0.069	1.181	2.616	1.852	0.023							5.741
*03-04	0.046	0.486	1.181	0.532	0.023	0.046						2.315
*05-06	0.139	0.370	0.231	0.116	0.069	0.023	0.023					0.972
*07-08	0.185	0.440	0.255	0.208		0.069	0.046					1.204
*09-10	0.139	0.463	0.301	0.185		0.023						1.111
*11-12	0.093	0.370	0.440	0.162	0.069							1.134
*13-14	0.069	0.046	0.231	0.255	0.069							0.671
*15-16	0.208	0.556	0.301	0.278	0.023	0.023						1.389
*17-18	0.139	0.926	0.880	0.440	0.093							2.477
*19-20	0.255	1.366	1.481	0.648	0.116	0.023						3.889
*21-22	0.486	1.597	1.875	0.440	0.093							4.491
*23-24	0.347	1.829	2.083	0.370			0.023					4.653
*25-26	0.370	2.894	2.755	0.509	0.023							6.551
*27-28	0.394	2.315	3.009	0.486								6.204
*29-30	0.718	3.657	3.519	0.625	0.046							8.565
*31-32	0.394	3.796	5.463	1.157	0.069							10.880
*33-34	0.231	3.032	6.065	1.528	0.023							10.800
*35-36	0.509	2.569	7.083	3.495								13.657
*TOTAL	4.792	27.894	39.769	13.287	0.741	0.208	0.093					86.782

***** POURCENTAGE DE FREQUENCE DES VENTS HORAIRES *****												
* DAKAR												
* NOMBRE D OBSERVATIONS = 4464												
PERIODE 1970-1975 OCTOBRE												
VENTS CALMES = 9.072												
DD/FF	01-03	04-06	07-10	11-16	17-21	22-27	28-33	34-40	41-47	48-55	SUP55	TOTAL
*01-02	0.202	1.994	3.226	3.741	0.246							9.409
*03-04	0.202	0.963	1.277	1.703	0.202	0.022						4.368
*05-06	0.067	0.314	0.426	0.067								0.874
*07-08	0.022	0.179	0.134	0.112			0.022					0.470
*09-10	0.022	0.269	0.134	0.157		0.022						0.605
*11-12	0.022	0.112	0.112	0.202	0.022							0.470
*13-14	0.067	0.090	0.179	0.045	0.022							0.403
*15-16	0.045	0.179	0.067	0.134			0.022					0.448
*17-18	0.067	0.202	0.224	0.246		0.022						0.762
*19-20	0.045	0.403	0.470	0.134								1.053
*21-22	0.336	0.851	0.986	0.224								2.397
*23-24	0.426	1.815	1.725	0.179								4.144
*25-26	0.717	2.307	1.927	0.179								5.130
*27-28	0.605	3.360	1.680	0.112								5.757
*29-30	0.694	3.405	2.531	0.224								6.855
*31-32	0.896	5.309	6.340	0.717								13.262
*33-34	0.560	5.466	9.207	2.509	0.022							17.764
*35-36	0.336	3.360	7.594	5.354	0.112							16.756
*TOTAL	5.332	30.578	38.239	16.039	0.627	0.067	0.045					90.927

***** POURCENTAGE DE FREQUENCE DES VENTS HORAIRES *****

* DAKAR

* NOMBRE D OBSERVATIONS = 4320 PERIODE 1970-1975 NOVEMBRE VENTS CALMES = 3.912 *

DD/FF	01-03	04-06	07-10	11-16	17-21	22-27	28-33	34-40	41-47	48-55	SUP55	TOTAL
01-02	0.139	2.500	11.319	13.657	0.602	0.069						28.287
03-04	0.116	0.995	6.481	7.616	0.440							15.648
05-06		0.394	1.042	1.111	0.069							2.616
07-08	0.023	0.023	0.301	0.116								0.463
09-10	0.023	0.069	0.046	0.046	0.023							0.208
11-12				0.093	0.023							0.116
13-14												
15-16	0.023											0.023
17-18	0.046	0.023										0.069
19-20			0.023	0.046								0.069
21-22	0.023	0.046		0.046								0.116
23-24		0.023	0.116	0.023								0.162
25-26	0.046	0.046	0.023									0.116
27-28	0.069	0.255	0.116									0.440
29-30	0.208	0.810	0.139									1.157
31-32	0.347	2.153	1.782	0.324								4.606
33-34	0.208	3.079	6.343	2.639	0.023							12.292
35-36	0.208	3.310	14.167	11.898	0.116							29.699
TOTAL	1.481	13.727	41.898	37.616	1.296	0.069						96.088

***** POURCENTAGE DE FREQUENCE DES VENTS HORAIRES *****

* DAKAR

* NOMBRE D OBSERVATIONS = 4464 PERIODE 1970-1975 DECEMBRE VENTS CALMES = 1.680 *

DD/FF	01-03	04-06	07-10	11-16	17-21	22-27	28-33	34-40	41-47	48-55	SUP55	TOTAL
01-02	0.067	2.375	13.575	17.047	0.605							33.669
03-04	0.067	1.456	10.663	9.789	0.762	0.022						22.760
05-06	0.022	0.269	1.568	1.971								3.831
07-08		0.090	0.426	0.336								0.851
09-10			0.157	0.336	0.045							0.538
11-12			0.090	0.067								0.157
13-14			0.045	0.067								0.112
15-16		0.045	0.022	0.045								0.112
17-18		0.045	0.067	0.045								0.157
19-20			0.022									0.022
21-22		0.045										0.045
23-24	0.090	0.202	0.022									0.314
25-26	0.045	0.112	0.157	0.045								0.358
27-28	0.022	0.112	0.112									0.246
29-30	0.157	0.291	0.134									0.582
31-32	0.157	0.762	0.470									1.389
33-34	0.179	1.344	3.472	2.263	0.045							7.303
35-36	0.179	2.106	10.999	12.186	0.403							25.874
TOTAL	0.986	9.252	42.003	44.198	1.859	0.022						98.320

Annexe C :

Profils en travers

P0

P10

14.30

14.25

14.10

15.00

14.90

m

20

10

0

-10

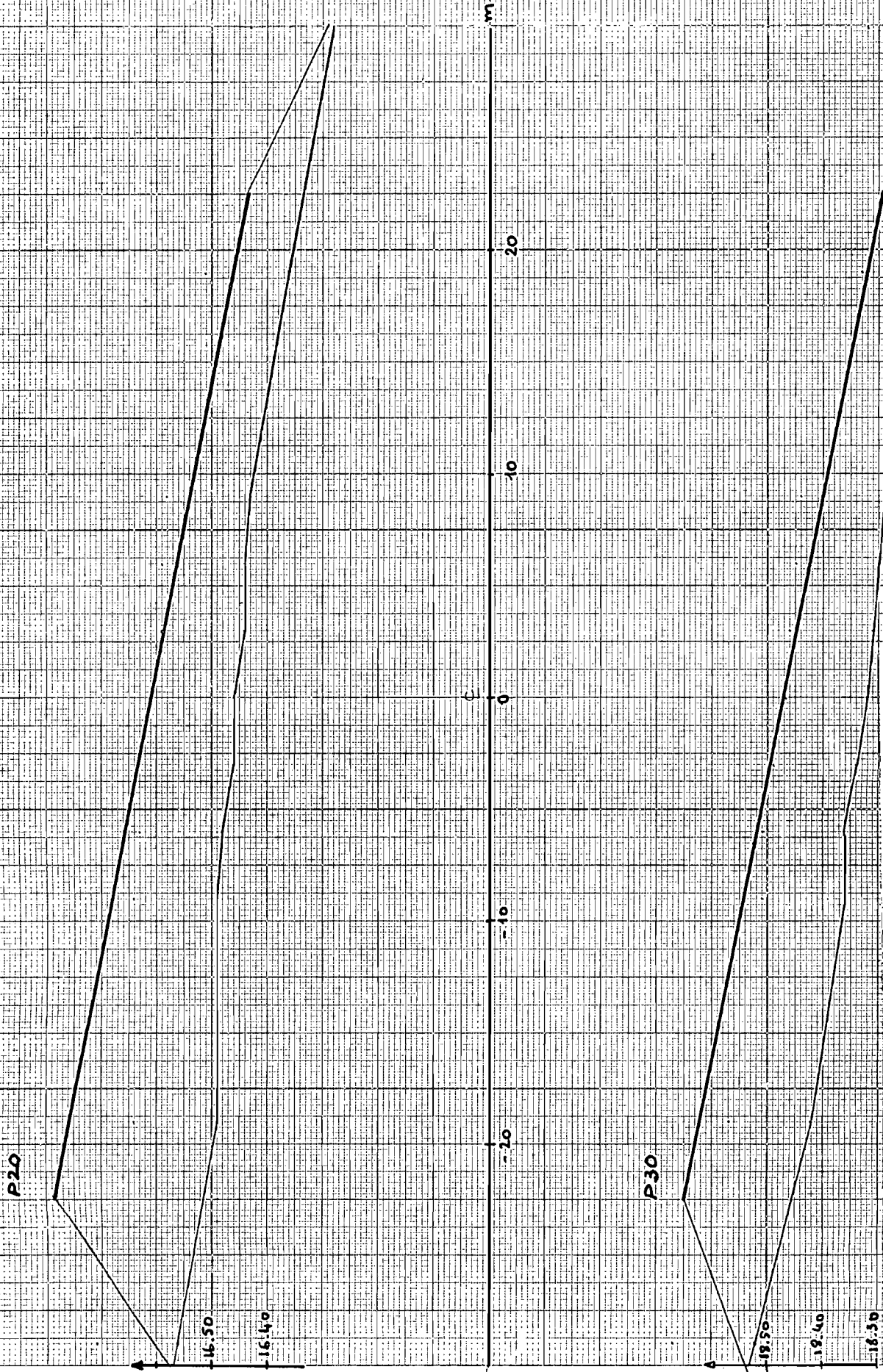
-20

vert 1:10
 éch. Hor 1:250
 ASEENA
 Aéroport Dakar - Joff
 PISTE 12-30

ECOLE POLYTECHNIQUE THIES

PROFILS EN TRAVERS
 PK: 0+000 - 0+250

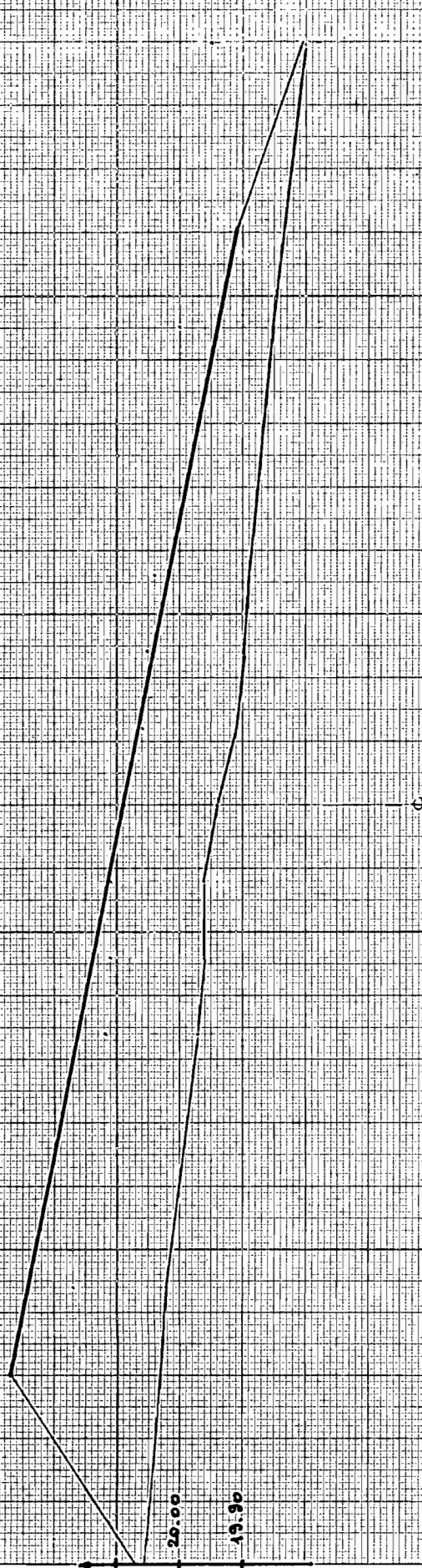
30
25
20
15
10
5
0



vent 1:10
 éch Hor 1:250
 ASECNA
 Aéroport Dakar - Joff
 PISTE 12-30

ECOLE POLYTECHNIQUE THIES
 PROFILS EN TRAVERS
 P.K. : 0+500 - 0+750

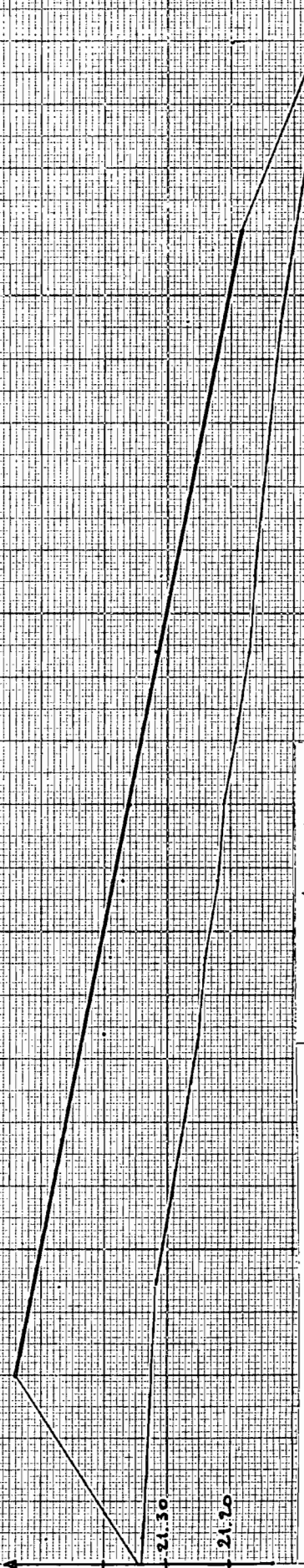
P40



20.00

19.90

P50



21.30

21.20

ECOLE POLYTECHNIQUE THIES

PROFILS EN TRAVERS
PK : 1+000 - 4+250

éch vert 1:10
Hor 1:250

ASECNA

Aéroport Dakar-Joff

PISTE 12-30

30 20 10 0 -10 -20 30 20 10 0 -10 -20

P 60

P 70

21.40

21.30

21.60

21.50

21.40

m

20

10

0

-10

-20

éch vert 1:10
Hor 1:250

ASECNA

Aéroport Dakar - Joff
PISTE 12 - 30

ECOLE POLYTECHNIQUE THIES

PROFILS EN TRAVERS

PK: 1+500 - 1+750

5

01

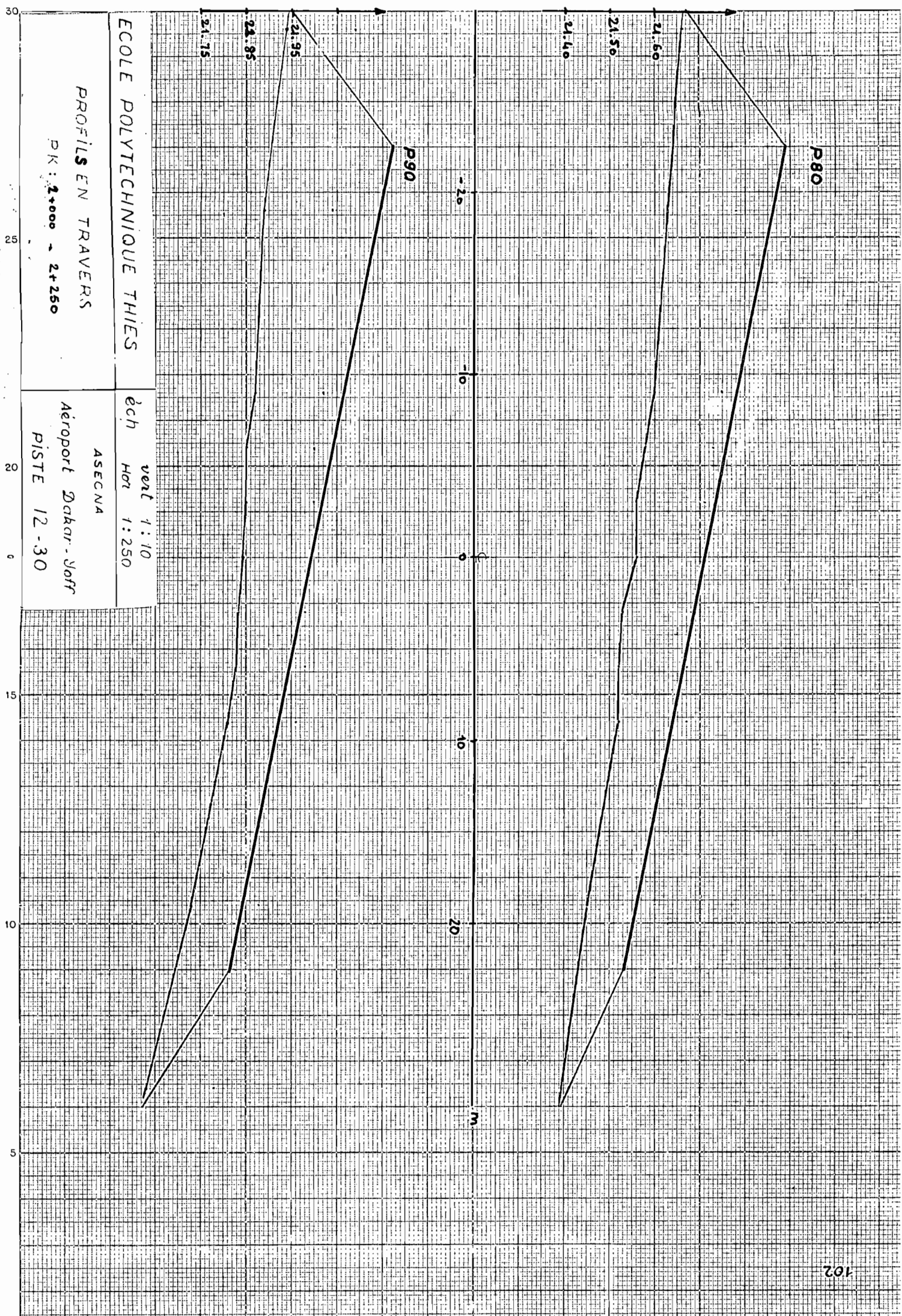
15

0

20

30

30



ECOLE POLYTECHNIQUE THIES

PROFILS EN TRAVERS

PK : 1+000 - 2+250

éch vert 1:10
Hor 1:250

ASECNA

Aéroport Dakar - Joff
PISTE 12-30

30
25
20
15
10
5

-20
-10
0
10
20
m

P90

P80

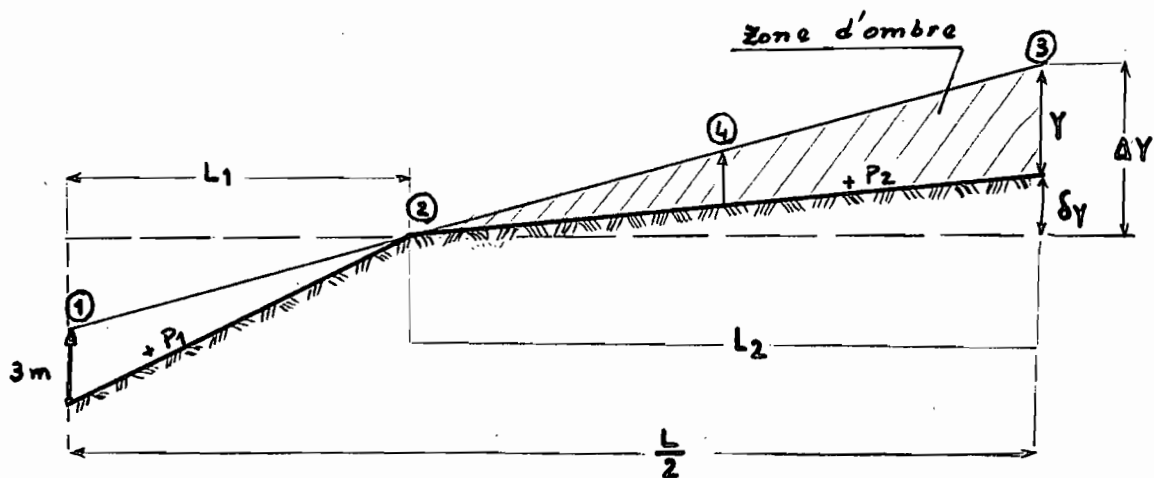
Bibliographie

- [1] GEORGES MEUNIER
Conception, construction et gestion des aérodrômes.
Editions Eyrolles, 61, Boulevard Saint Germain,
Paris 5^e, 1969
- [2] O.A.C.I Doc 9157 - AN / 901
Manuel de conception des aérodrômes
1^{ère} partie : Pistes
Deuxième édition 1984
- [3] Dr. J. HODE KEYSER ing
Principales méthodes de dimensionnement des
chaussées pour aéroport
Université de Montréal.
Centre de recherche et de contrôle appliqués à la
construction 1978
- [4] ASECNA
Note de synthèse relative à la piste 12-30 de
l'aéroport de Dakar-Yoff 04 / 08 / 87
- [5] JOSEPH. E. BOWLES
Engineering properties of soils and their measurement
6^e édition
1978

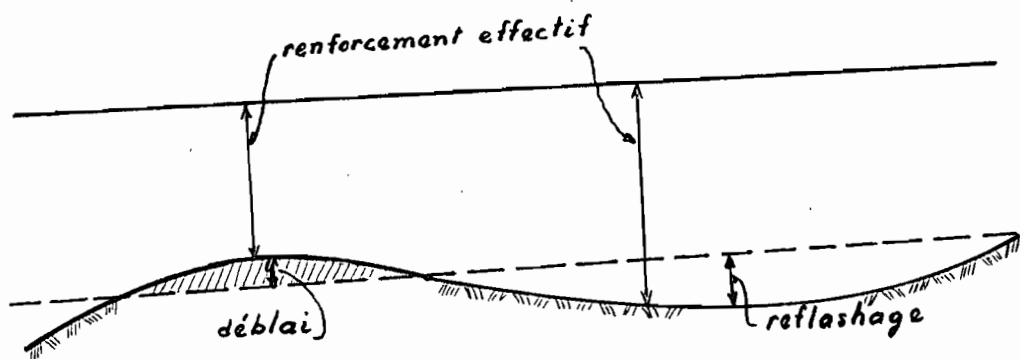
Visibilité : 3 m au dessus de la piste

sur une longueur $\frac{L}{2}$ de la piste.

- ④ par rapport à ③
- 3m en amont et comparer Y à 3m en aval.
- Valeur max : $Y = 0.68 \text{ m}$



Reflashage - Renforcement



Cote du projet = Renforcement 11cm + cote du terrain après reflashage.

Renforcement effectif = Cote du projet - cote du terrain naturel...

Classification

Celle de l'O.A.C.I basée sur la longueur de piste principale.
pour piste secondaire réduire de 10 à 20% la longueur principale.

A :	piste	de	2550 m	et plus
B :	"	de	2150 m	à 2550 m
C :	"	de	1800	à 2150
D :	"	de	1500	à 1800
E :	"	de	1280	à 1500
F :	"	de	1080	à 1280
G :	"	de	900	à 1080

<u>Aéroport</u>	<u>Catégories</u>
international	A, B, C
principal	A à F
secondaire	D à G

Dakar - Yoff : aéroport international

- La piste 12-30 :
- secondaire
 - orientation 120-300°
 - Longueur 2410 m largeur 60 m.
 - deux bretelles d'accès 30x100 et 30x230 m.
 - Composition (2^e partie)

Conçue pour recevoir des DC 6 et mise en service en 1956

Désaffectée depuis 1977, elle sert d'aire de stationnement aux avions de l'armée française