

AUSCULTATION DES CHAUSSEES
AERONAUTIQUES
APPLICATION DES RESULTATS A
L'AEROPORT DE CASABLANCA. MOHAMMED V

Omar ABBOUCHE
Chef de la Division Technique des
Bases Aériennes

PREAMBULE

Considérant que le transport aérien joue un rôle important dans le développement économique du pays, le Gouvernement Marocain a décidé de développer les infrastructures aéroportuaires susceptibles d'accueillir les voyageurs aériens dans les meilleures conditions. L'Administration de l'Air a réalisé un vaste programme de développement dans le cadre du plan de modernisation de l'aviation : extension et renforcement des ouvrages d'infrastructure à Rabat-Salé (1983), construction de l'aéroport d'Al-hoceima (1983), construction d'une nouvelle zone terminale à Marrakech-Ménara (1967), construction d'une nouvelle piste à Tanger-Boukhalef (1969), renforcement et allongement des pistes de Marrakech, d'Oujda et de Fès (1973) construction des aéroports de Tan-Tan, Guélmime Smara et Dakhla, construction d'une nouvelle aérogare à l'Aéroport de Casablanca-Mohammed V, construction d'une nouvelle piste et d'une aérogare à l'aéroport de Laâyoune Hassan Ier etc....

Sur le plan économique, l'essor de certaines provinces est également lié au développement des infrastructures aéroportuaires. La desserte du sud Marocain et des Provinces Sahariennes est assurée en partie par voie aérienne les activités de l'aéroport Laâyoune Hassan Ier chef-lieu d'une des principales provinces sahariennes, progresse depuis 1976 de 29% par an pour le trafic des passagers et de 28% pour celui du fret. Le transport aérien, en facilitant l'exportation de denrées périssables et de produits de l'artisanat constitue par ailleurs l'un des moteurs de l'expansion régionale.

Le Royaume du Maroc est actuellement doté de 35 plateformes aéronautiques ouvertes à la circulation aérienne publique, dont 10 aéroports internationaux, 8 réservés au trafic intérieur et le reste à des activités diverses telles que les interventions agricoles, les aéroclubs, etc...

La croissance du trafic global durant les dix dernières années a été de l'ordre de 7% par an, supérieure à la moyenne mondiale qui n'est que de 5%. Malgré la conjoncture économique mondiale défavorable actuelle, l'on constate que le trafic aérien au Maroc suit un taux de croissance normal et même spectaculaire pour certains aéroports, notamment l'aéroport d'Agadir-Inzégane pour lequel ce taux dépasse 12%

Le trafic annuel général enregistré en 1970 a été de 1.066 . 200 passagers, 9.200 tonnes de fret et 1.250 tonnes de poste, ce trafic s'est chiffré en 1985 respectivement à 3.850.000, 34.000 tonnes et 1.660 tonnes.

Par contre l'on constate que le nombre de mouvements d'avions ne suit pas la même progression, 105.600 mouvements en 1970 contre 116.200 en 1985. Ce faible taux de croissance s'explique d'une part, par le fait que les compagnies aériennes ont tendance à utiliser les avions de plus grande capacité et d'autre part, par des coefficients de remplacement plus élevés.

Soucieuse de l'importance du patrimoine que représentent les infrastructures aéronautiques, l'Administration n'a cessé de développer les moyens de gestion permettant une meilleure rationalisation des dépenses en liaison avec l'activité de chaque plateforme aéronautique.

Cette préoccupation est concrétisée dans une première phase (1984) par l'élaboration d'une étude de schéma directeur d'aménagement d'aéroports destinée à définir d'une part les normes nationales de conception et d'exploitation des installations terminales, et d'autre part, les actions à entreprendre sur les aéroports au cours des futurs plans de développement.

Dans une seconde phase, il a été procédé (1984) à l'évaluation de la portance des chaussées aéronautiques dans les principaux aérodromes du Royaume par utilisation de la méthode française dont le principe et la méthodologie seront développés dans les chapitres qui suivent.

CHAPITRE I EVALUATION DES CHAUSSEES AERONAUTIQUES

I- INTRODUCTION

Les infrastructures aéronautiques représentent un patrimoine important et méritent à ce titre une attention particulière tant sur le plan conception et construction que sur le plan gestion, exploitation et maintenance.

Ces ouvrages sont appelés à accueillir des personnes, des biens et du matériel dont le coût dépasse de loin celui des investissements. De ce fait les conditions de sécurité sur un aéroport et en particulier sur une piste sont primordiales.

Une fois un aéroport en service, les infrastructures devront être suivies de près afin de déterminer leur évolution qui résulte par suite des contraintes qu'elles subissent sous l'action conjuguée des agents atmosphériques et des charges dues aux avions.

Il convient donc pour les gestionnaires d'aéroports de pouvoir apprécier à un moment donné les qualités et la portance des chaussées, de prévoir les travaux d'entretien courant, de définir les travaux de renforcement nécessaires pour adapter les infrastructures à un trafic donné. Cette opération consiste à procéder à une auscultation des chaussées c'est à dire une évaluation de leurs caractéristiques. Ces caractéristiques se répartissent en deux grandes catégories :

Les caractéristiques structurelles et les caractéristiques fonctionnelles.

Les caractéristiques structurelles du complexe chaussée-sol de fondation conditionnent la tenue et la portance de la chaussée, c'est à dire sa faculté à transmettre au sol de fondation les charges dues aux avions en maintenant l'intégrité de la structure pendant une certaine durée de vie.

Les caractéristiques fonctionnelles concernent l'état de surface de la chaussée et sont en rapport avec ses possibilités d'utilisation par les aéronefs en toute sécurité.

- la qualité du profil en long et notamment l'uni de la surface de la chaussée conditionne les accélérations verticales que subissent les avions.
- la glissance qui conditionne et commande les possibilités du freinage des avions.
- l'état de surface (flaches, désenrobage, épauures) dont les défauts peuvent causer des dégâts aux avions (ingestion de gravillons par les réacteurs, éclatement des pneus ...)

II- METHODES D'AUSCULTATION

Il existe à travers le monde plusieurs méthodes d'auscultation des chaussées aéronautiques qui diffèrent les unes des autres selon qu'il s'agit de chaussées souples ou de chaussées rigides.

Ces différentes méthodes utilisent soit des essais destructifs soit des essais non destructifs. Parmi ces méthodes on peut citer :

A - Pour les chaussées souples

La méthode dite C.B.R. dont s'inspirent la nouvelle méthode de l'Administration Fédérale de l'Aviation (F.A.A) et la méthode Française, ces deux méthodes reposent sur le dimensionnement inverse par l'utilisation de la formule C.B.R. et le calcul de la roue simple équivalente par la formule de Boussine.

-la méthode basée sur la théorie multicouche élastique utilisée par la Hollande. Le dimensionnement est basé sur le système linéaire élastique multicouche caractérisé par les modules d'élasticité, les coefficients de poisson et les épaisseurs des différentes couches de la chaussée.

-la méthode Canadienne dont le principe est fondé sur les essais de plaque pratiqués sur le sol de fondation et sur la chaussée elle-même.

-la méthode L.C.N. du Royaume uni tente d'établir un système simple permettant de comparer facilement les charges imposées par un aéronef et la force portante de la chaussée.

-la méthode par classification des sols, basée sur la classification technique des terrains liés à leur comportement comme terrain de fondation et aux conditions d'utilisation.

B - Pour les chaussées rigides

Les méthodes d'auscultation des chaussées rigides se basent sur deux modèles de calcul; le modèle de Westergaard et le modèle multicouche élastique.

C - Méthode française d'évaluation de la portance

1 - Description de la méthode

Le principe consiste à appliquer une charge comparable à celle d'une roue d'avion et en mesurant la réponse de la chaussée sous diverses charges (déformation résiduelle admissible) on en déduit la charge admissible pour une roue isolée. La méthode et le matériel correspondant ont été étudiés et développés par le Service Technique des Bases Aériennes (S.T.E.A.) français.

a - Cas des chaussées souples

C'est le comportement à la fatigue du complexe chaussée-sol de fondation qui est étudié. On soumet la chaussée à des cycles de chargement/déchargement sous des charges croissantes de manière à encadrer la charge de service et l'on mesure le tassement résiduel après chaque cycle. De nombreuses

expérimentations ont montré que, pour des charges voisines de la charge de service, le tassement résiduel est une fonction linéaire du logarithme du nombre de cycles. Il suffit alors que chaque charge fasse l'objet de dix cycles : la valeur des tassements produits par les dix premiers cycles peut être extrapolée pour déterminer le tassement résiduel après dix milles cycles, valeur normalement prise en compte pour définir le nombre d'applications de la charge de service en un point de la chaussée au cours de sa durée de vie (10ans).

La courbe donnant le tassement résiduel après dix milles cycles en fonction des charges d'essais peut ainsi être tracée, un tassement résiduel maximal admissible est alors choisi expérimentalement selon la forme de la courbe et le type de chaussée, ce tassement étant toujours inférieur à 5mm. A ce tassement correspond la charge de service pour une roue isolée.

Les figures 1,2 et 3 présentent les résultats d'un essai typique sur une chaussée comportant une douzaine de centimètres de matériaux bitumineux surmontant des couches de chaussée et un sol de fondation non traités. La figure 1 présente l'enregistrement graphique de la déflexion sous la plaque d'essais en fonction de la charge appliquée après deux cycles préliminaires, on a effectué trois séries de dix cycles à 30,40 et 45 tonnes respectivement. La figure 2 montre l'extrapolation des tassements résiduels lus sur le graphique précédent. Les valeurs ainsi déterminées pour dix milles cycles sont portées sur la figure 3. Le critère de tassement maximal de 5mm, habituellement retenu pour une telle chaussée, conduit à une charge de service de 42 tonnes.

Pendant l'essai, sont également mesurées les déformations élastiques par une série de capteurs situés sur un rayon à partir de la plaque qui permettent d'obtenir la forme de la cuvette de déflexion. Ces renseignements sont utilisés dans certains cas pour compléter l'interprétation des résultats à partir de la déflexion résiduelle (en particulier lorsque la chaussée souple comporte des couches traitées au ciment ou au laitier)

b - Cas des chaussées rigides

On cherche à déterminer la charge produisant dans le béton une contrainte de traction égale à la contrainte admissible. L'essai est réalisé à l'endroit le plus fragile et l'expérience montre qu'il s'agit en général du coin de dalle. Toutefois, si le système de transfert de charge est en très bon état (c'est très rare), ce peut être le centre de la dalle.

On applique donc en général les charges sur une plaque située en coin de dalle et on mesure les déformations sur la bissectrice des joints de dalle à l'aide de quatre capteurs d'extensométrie (fig 7), de façon à obtenir le point d'allongement maximal. Cet allongement correspond à la contrainte maximale de traction par l'intermédiaire du module d'élasticité du béton.

Si la dalle casse (ce qu'on cherche à éviter), on en déduit immédiatement la charge de service par application d'un coefficient de sécurité.

Si la dalle ne casse pas on se fixe une valeur d'élongation maximale admissible et on applique des charges croissantes jusqu'à l'obtention de l'élongation fixée. A cette élongation correspond la charge de service. La difficulté réside évidemment dans la fixation de cette élongation maximale admissible. Suivant le cas, on procède pour cette détermination :

-a partir des essais de béton réalisés au moment du chantier lorsqu'on les connaît.

-En prélevant des éprouvettes de béton dans les dalles et en leur faisant subir des essais en laboratoire pour déterminer les caractéristiques. Cette méthode est chère.

-en fixant une valeur "raisonnable" de l'élongation maximale admissible. L'expérience montre que cette fixation a priori donne des résultats pratiquement comparables aux précédents (lorsque la comparaison est possible).

On outre, des capteurs de déplacements verticaux sont placés en coin de dalle et sur des dalles adjacentes pour apprécier la qualité des transferts de charge et détecter des ruptures éventuelles des dalles ou du système de transfert (fig 7)

2 - Description du matériel lourd utilisé pour les essais de portance

a - Caractéristiques générales

Le matériel d'essai est constitué d'un tracteur et d'une remorque ayant une masse à vide équipée de 20.000 kg et présentant un gabarit routier (fig4). La remorque est l'élément essentiel car elle sert de massif de réaction pour les essais. Elle est pourvue à cet effet de deux caissons permettant d'enmagasiner au total 40m³ d'eau ce qui porte alors sa masse à 60.000 kg. Elle renferme également l'essentiel du matériel permettant le chargement : vérin central situé sous son centre de gravité, groupe électrogène de 15 kVA alimentant le système de pompes hydrauliques et pneumatiques, etc... En position d'essai, la remorque repose sur quatre vérins situés à ses angles de façon à supprimer les phénomènes d'instabilité dus à l'élasticité des pneumatiques.

b - Système d'application de la charge

Les charges d'essais sont appliquées par le vérin central sous lequel est montée une plaque munie d'une semelle de caoutchouc rigide servant à améliorer la répartition des pressions sur la chaussée. L'effort appliqué est mesuré par un capteur intercalé entre l'extrémité du piston du vérin et la plaque d'essai (fig 6)

Un système d'asservissement électronique agissant sur une vanne de réglage de l'alimentation du vérin permet de piloter l'application de la charge. On peut ainsi obtenir des vitesses de montée en charge ajustables variant de 200 à 10.000 kg par seconde avec une précision de régulation de + 250 kg et réaliser des paliers. Il est également possible de programmer des cycles de chargement- déchargement qui s'effectuent alors de manière automatique.

c - Mesure des déplacements verticaux

Les déplacements verticaux sont mesurés à l'aide de capteurs électroniques supportés par une poutre en alliage métallique léger (fig6). Sa longueur de 9m permet à ses appuis sur la chaussée de se trouver suffisamment éloignés de la remorque pour ne pas être influencés par les variations de charge du vérin. Des trous dans la plaque d'essai permettent de mesurer l'enfoncement de la chaussée à l'endroit d'application de la charge.

d - Mesure des déformations horizontales

Les déformations horizontales, dont la mesure est nécessaire dans le cas des chaussées rigides, sont obtenues à l'aide de jauges électroniques simplement posées sur la chaussée (fig7)

e - Méthodologie des essais

Pour les chaussées souples deux diamètres de plaque de chargement peuvent être utilisés en fonction de la charge d'essai, de façon à ce que la pression moyenne appliquée à la chaussée reste dans le domaine des pressions habituelles des pneumatiques d'avions et n'excède pas 15 kg/cm². Pour les charges de 0 à 20.000 kg on utilise un diamètre de 42 cm et pour les charges de 20.000 à 50.000 kg, un diamètre de 65 cm. Pour les chaussées rigides, la pression intervenant assez peu, c'est la plaque de 42 cm qui est toujours utilisée.

Préalablement à chaque essai, on procède à un préchargement de 2.000 à 5.000 kg pour mettre en place la plaque et sa semelle. La première charge d'essai est choisie nettement en dessous de la valeur supposée de la charge de service. Les charges suivantes sont définies en fonction des tassements obtenus précédemment pour les chaussées souples ou des élongations mesurées pour les chaussées rigides.

Les cycles de chargement sont programmés pour un déroulement très précis comportant :

- la mise en charge à vitesse constante, en général 2.000 kg/s
- un palier où la charge maximale est maintenue (habituellement 10 secondes)
- le déchargement rapide.
- un palier à effort nul, soit d'une durée fixe (10 secondes), soit jusqu'à ce que la vitesse de remontée de la chaussée descende en dessous d'un certain seuil.

Les mesures sont enregistrées graphiquement en fonction de la charge (fig 1) et numériquement à certains moments précis où elles sont mises en mémoire du micro-ordinateur.

CHAPITRE II DEROULEMENT DE LA CAMPAGNE D'AUSCULTATION AU MAROC

I- DIFFERENTES PHASES DE LA CAMPAGNE D'AUSCULTATION

La campagne d'auscultation des chaussées aéronautiques entreprise en 1984 a englobé les aéroports de Tanger-Boukhalef, Fès-Saïss, Rabat-Salé, Casablanca- Mohammed V, Marrakech- Ménara et Agadir-Inzegane.

Cette opération, la première de son genre réalisée en collaboration avec le Service Technique des Bases Aériennes Français (S.T.B.A.) a nécessité l'immobilisation d'un matériel spécifique et d'un personnel spécialisé selon la méthodologie définie ci-dessus.

Cette campagne comprend les phases suivantes :

a - Mission préliminaire qui consiste en une prospection visuelle pour la détermination des caractéristiques fonctionnelles des chaussées à ausculter et la collecte de renseignements. Cette mission a été effectuée par la Direction des Bases Aériennes (Division Technique, Circonscription Nord et Circonscription Sud), l'autorité aéroportuaire, le S.T.B.A le Laboratoire Public d'Essais et d'études (L.P.E.E.) et le Centre National des Etudes Routières (C.N.E.R.).

Cette phase permet, compte tenu des contraintes d'exploitation, de déterminer les créneaux d'intervention possible.

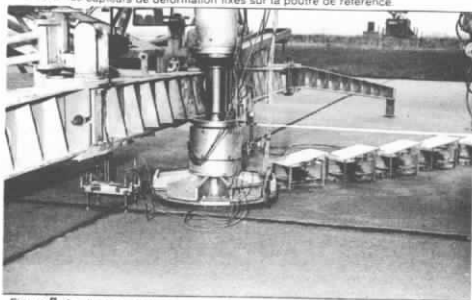
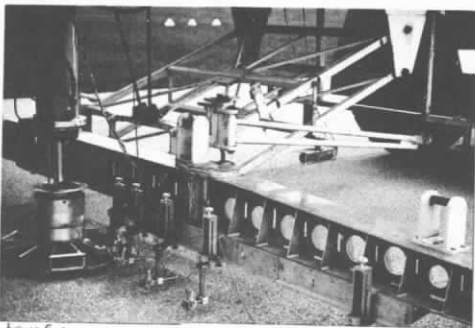
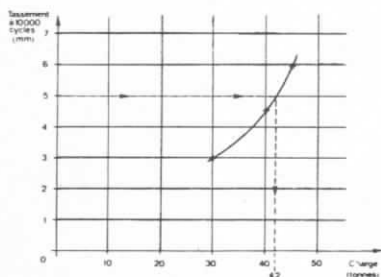
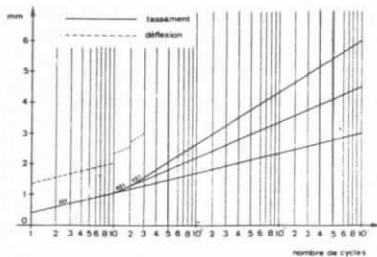
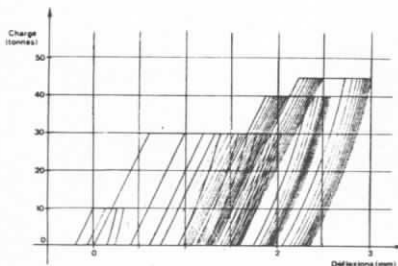
b - Marquage selon un processus bien défini des ouvrages à ausculter permettant le repérage de chaque point des chaussées.

c - Intervention du C.N.E.R. dont la mission est de déterminer les déflexions verticales à l'aide du deflectographe LACROIX et l'analyse du profil en long au moyen de L'APL 72

d - Exécution des essais de plaque à l'aide de la remorque S.T.B.A.

e - Définition des zones de comportement homogène qui feront l'objet de sondages en vue de la détermination des caractéristiques géotechniques des différents matériaux en place.

Cette phase fait appel à trois intervenants : le S.T.B.A pour la prise des essais in-situ et d'éprouvettes, le L.P.E.E pour la prise des échantillons et l'entreprise pour l'ouverture et la fermeture des sondages.



Les opérations d et e ci-dessus sont exécutées dans des créniaux définis préalablement à l'avance avec les compagnies aériennes desservant l'aéroport.

Sur les chaussées en béton, il a été prélevé des prismes par sciage sur les zones auscultées. Leurs dimensions étaient de 14 x 14 x 64 ou 56 cm. Ces prismes sont destinés à être écrasés pour la détermination de la résistance du béton à la traction par flexion.

II - RESULTATS

Les résultats issus des essais à la remorque se présentent sous la forme de la charge admissible de la chaussée pour une roue isolée d'avion, ensuite convertie en charge admissible pour les deux autres types d'attérisseurs à savoir le jumelé et le boggie.

Les résultats obtenus pour les différentes chaussées auscultées sont consignés dans les tableaux et graphiques ci-après.

AÉRODROME DE CASABLANCA MOHAMED V IMPLANTATION DES SONDAGES

Ech: 1/5000



0	BB 0/10
5	ENROBE BITUMINEUX 0/14
19	BINDER 0/20
31	TOUT VENANT 0/80
50	T.N

S1
PM 450

0	ENROBE 0/10
4.5	ENROBE 0/12.5
11	ENROBE BITUMINEUX 0/14
14	TOUT VENANT 0/80
37	T.N

S4
PM 1350

0	ENROBE BITUMINEUX 0/10
5	ENROBE BITUMINEUX 0/12.5
13	ENROBE BITUMINEUX 0/14
25	TOUT VENANT 0/80
46	T.N

S3
PM 2700

0	BB 0/10
5	ENROBE BITUMINEUX 0/14.5
13	ENROBE BITUMINEUX 0/14
21	BINDER 0/20
29	TOUT VENANT 0/80
54	T.N

S2
PM 3100

ENROBE BITUMINEUX 0/10
ENROBE BITUMINEUX 0/14
ENROBE BITUMINEUX 0/16
TOUT VENANT 0/80
T.N

ENROBE BITUMINEUX 0/10
ENROBE BITUMINEUX 0/14
ENROBE BITUMINEUX 0/16
ENROBE BITUMINEUX 0/16
GRAVE 0/40
TOUT VENANT 0/80
T.N

ENROBE BITUMINEUX 0/10
EB 0/14
EB 0/16
EB 0/16
TOUT VENANT 0/80
T.N

ENROBE BITUMINEUX 0/10
EB 0/14
EB 0/16
TOUT VENANT 0/80
T.N

S7

S6
PM 2400

S5
PM 3100

OUVRAGE	ZONE HOMOGÈNE	CARACTERISTIQUES DE LA CHAUSSEE	CHARGES ADMISSIBLES
Bretelle de liaison	Bretelle D - et bretelle 2	EEO = 62 cm C.B.R.= 10	29 t/R S.I 37 T/j 65 t/B
	Bretelles E - et 3	EE o = 61 cm C.B.R.= 8	23 t/R S.I 28 t/j 50 t/B
	Bretelle F	EEO = 62 cm C.B.R.= 6	16 t/R S.I 21 T/j 37 t/B
Aires de stationnement	Zone Nord Postes de - stationnement	EEO = 55 cm C.B.R.=8	18t/R S.I 24 T/j 43 t/B
	Ligne axiale	EEO = 55 cm C.B.R.= 6	12 t/R S.I 17 t/j 32 t/B
	ZoneCentrale Aire 1	EEO = 65 cm C.B.R. = 6	18t/R S.I 23t/j 40t/B
	Aire 2	EEO = 61 cm C.B.R. = 7	18t/R S.I 25t/J 43t/B
	Aire 3	EEO = 53 cm C.B.R. = 9	20t/R S.I 27t/j 48t/B
	Zone Sud (Sauf aires elliptiques)	EEO = 49 cm C.B.R. = 9	17 t/R S.I 23 t/J 42 t/B
	Zone 1 PMo àPM 600	EEO = 65 cm C.B.R. = 7	21 t/R S.I 27 t/j 47 t/B
	Zone 2 PM 600 à PM 2775	EEO = 63 cm C.B.R.= 8	25 t/R S.I 31 t/J 53 t/B
	Zone 3 PM 2775 à PM 2920	EEO = 55 cm C.B.R. = 9	22 t/R S.I 28 t/j 50 t/B
	Zone 4 PM 2920 à PM 3205	EEO = 70 cm C.B.R.= 6	20 t/R S.I 26 t/j 44 t/B
Piste 17-35	Zone 5 PM 3205 à PM 3350	EEO = 65 cm C.B.R. = 5	14 t/R S.I 19 t/j 33 t/B
	Zone 1 PM 0 à PM 1900	EEO = 65 cm C.B.R. = 7	21 t/R S.I 27 t/J 47 t/B
	Zone 2 PM 1900 à P- M 2600	EEO = 60 cm C.B.R.= 8	21 t/R S. I 28 t/j 49 t/B
Voie de circulation-parallèle (A)	Zone 3 PM 2600 à PM 3350	EEO = 62 cm C.B. R. = 8	24 t/R S.I. 30 t/J 52 t/B
	Bretelles de liaison Bretelle B	EEO = 65 cm C.B.R. = 7	21 t/R 27 t/j 47 t/B
	Bretelle C et Bretelle 1	EEO = 65 cm C.B.R. = 7	21 t/R S.I 27 t/j 47 t/B

EEO = épaisseur équivalente résiduelle

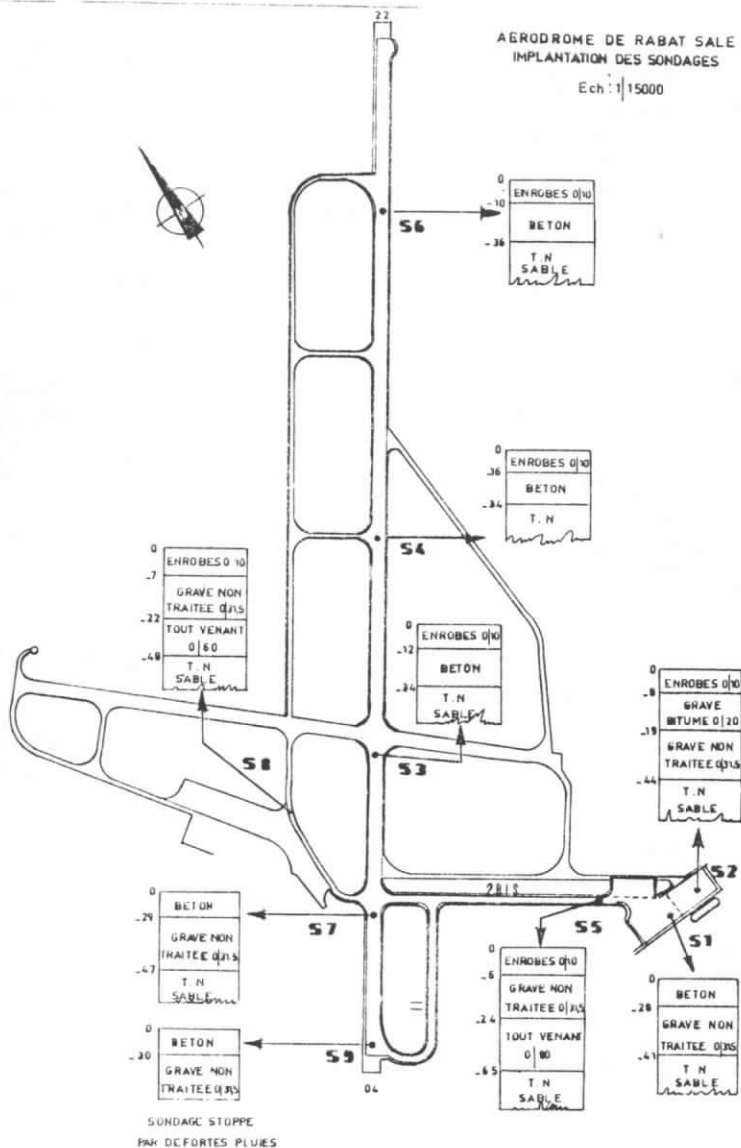
-Rsi= route simple isolée

- J = 2 roues jumelées exemple : B 727.

- L = Loggi exemple : B 747

AERODROME DE RABAT SALE IMPLANTATION DES SONDAGES

Ech : 1/15000



AEROPORT DE RABAT-SALE

OUVRAGE	ZONE HOMOGÈNE	CARACTERISTIQUES DE LA CHAUSSEE	CHARGES ADMISSIBLES
	Zone 1 (rigide)		45 t/R S.I
	-PM 0 au PM	h = 30 cm	46 t/j
	466 -PM 3300	k = 60 MN/m ³	87 t/B
	au PM 3500	T _b = 4 MPa	
	Zone 2 (rigide)		38 t/R S.I
	-PM 466 au	h = 29 cm	40 t/j
	PM 600	k = 55 MN/m ³	73 t/B
		T _b = 3,7 MPa	
	Zone 3		18 t/R S.I
	-PM 600 au	EEO = 48 cm	25 t/j
	PM 3050	C.B.R = 10	46 t/B
	Zone 4		43 t/R S.I
	-PM 3050 au	EEO = 73 cm	49 t/j
	PM 3300	C.B.R = 10	81 t/B
Voie de circulation parallèle (n°11)		h = 30 cm	45 t/R S.I
		k = 60 MN/m ³	46 t/j
		T _b = 4 MPa	87 t/B
	Zone 1		38 t/R S.I.
	-PM 0 au PM	h = 29 cm	40 t /B
	220 zone -	k = 55 MN/m ³	73 t /B
	civile	T _b = 3,7 MPa	
	Zone 2		32 t/R S.I
	-PM 220 au PM	EEO = 63 cm	39 t/j
	(n°2 bis) 800 zone civile	C.B.R = 10	66 t/B

h = épaisseur de la dalle.

k = module de réaction de la fondation.

T_b = résistance du béton où la traction par flexion.

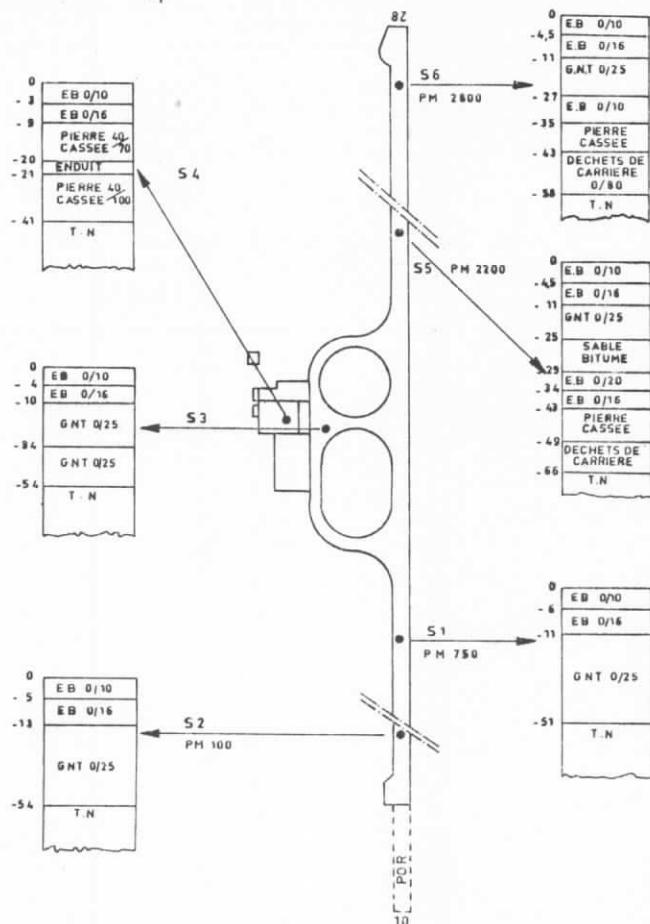
AEROPORT RABAT-SALE

OUVRAGE	ZONE HOMOGÈNE	CARACTERISTIQUE DE LA CHAUSSEE	CHARGES ADMISSIBLES
Aires de station- nement	C1	h = 28 cm k = 60 MN/m ³ T _b = 3,7 MPa	36 t/R S.I 39 t/j 72 t/B
	C2	EEO = 54 cm C.B.R = 10	23 t/R S.I 30 t/J 54 t /B
	C3	EEO = 56 cm C.B.R = 10	25 t/R S.I 32 t/j 56 t/ B

AERODROME DE FES-SAÏSS
IMPLANTATION DES SONDAGES

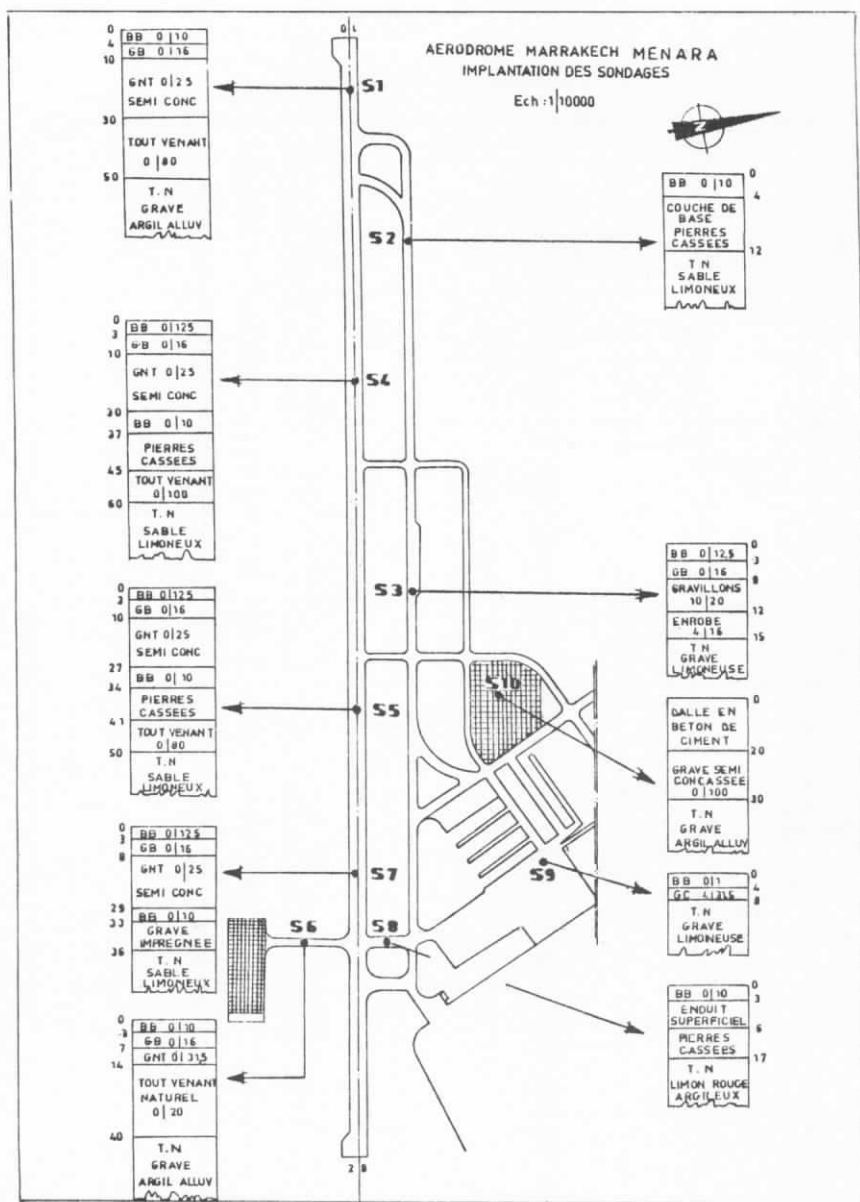


0m échelle 300m



AEROPORT DE FES-SAISS

OUVRAGE	ZONE HOMOGÈNE	CARACTERISTIQUE DE LA CHAUSSEE	CHARGES ADMISSIBLES
P	Zone 1+4		22 t/ R S.I
I	-PM 0 au PM	EEO = 60 cm	28 t/ j
S	800	C.B.R. = 8	49 t/ B
T	-PM 1700 au		
E	PM 3200		
	Zone 2+3		24 t/R S.I
10/28	-PM 800 au P	EEO = 60 cm	32 t/j
	M 1050 -PM	C.B.R. = 9	56 t/B
	1050 au PM		
	1700		
Voie de circulation	Répertoriée		26 t/ R S.I.
		EEO = 51 cm	34 t/j
		C.B.R. = 12	61 t/B
Bretelle 2	Répertoriée- B 2		29 t/R S.I.
		EEO = 60 cm	36 t/ j
		C.B.R. = 10	62 t/B
Bretelles 1+3	Répertoriées B1,B3		31 t/R S.I
		EEO = 62 cm	38 t/j
		C.B.R. = 10	65 t/B
Aires de stationnement	Répertoriée AS 2		22 t/R S.I
		EEO = 52 cm	29 t/j
		C.B.R = 10	53 t/B
	Répertoriées AS3		26 t/R S.I
		EEO = 51 cm	34 t/j
		C.B.R. = 12	61 t/B
	Répertoriée AS 4		16 t/R S.I
		EEO = 51 cm	22 t/j
		C.B.R. = 8	40 t/B
	Répertoriée AS 1		32 t/R S.I
		k = 60 MN /m3	36 t/j
		h = 31 cm	67 t/B
		T _b = 3,1 MPa	

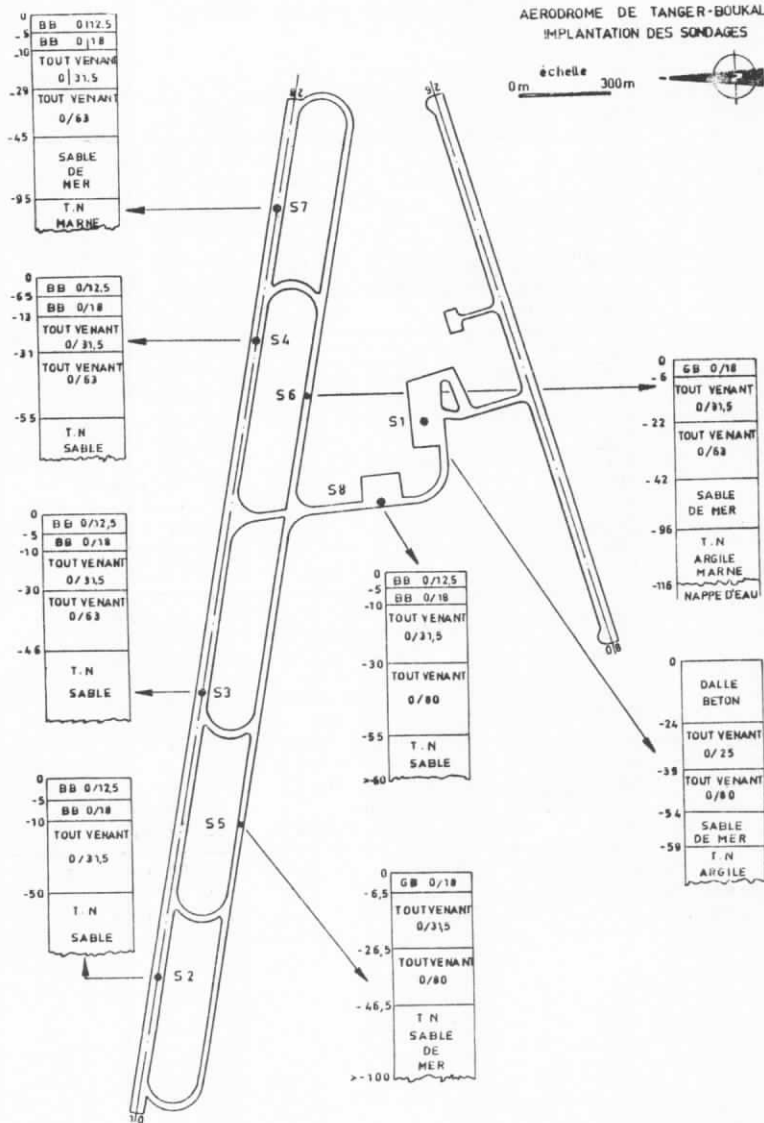


AEROPORT DE MARRAKECH-MENARA

OUVRAGE	ZONE HOMOGÈNE	CARACTERISTIQUE DE LA CHAUSSEE	CHARGES ADMISSIBLES
P I S T E 10/28	Zone 1 -PM 0 au PM 280	EEO = 45 cm C.B.R. = 12	20 t/R S.I 28 t/j 62 t/B
	Zone 2 -PM 280 au P M 380-PM2512 au PM 2612	EEO = 58 cm C.B.R. = 15	45 t/R S.I 53 t/j 91 t/B
	Zone 3 -PM 380 au PM 1000	EEO = 55 cm C.B.R. = 12	31 t/R S.I 38 t/j 67 t/B
	Zone 4 -PM 1000 au PM 2150	EEO = 50 cm C.B.R. = 14	26 t/R S.I 33 t/j 59 t/B
	Zone 5 PM 2150 au PM 2512	EEO = 40 cm C.B.R. = 14	20 t/R S.I 28 t/j 52 t/B
	Zone 6 PM 2612 au PM 3125	EEO = 92,5 cm C.B.R. = 6	37 t/R S.I 41 t/j 65 t/B
Aire de stationnement Civile	Partie Ouest	k = 100 MN/m3 h = 25 cm T _b = 3,7 MPa	34 t /R S.I 36 t/j 71 t/B
	Partie Est	k = 70 MN/m3 h = cm T _b = 3,7 MPa	40 t/R S.I 50 t/j 87 t/B
Bretelle civile		EEO = 43 cm C.B.R. = 12	18 t/R S.I 26 t/j 49 t/B

AERODROME DE TANGER-BOUKALEF
IMPLANTATION DES SONDAGES

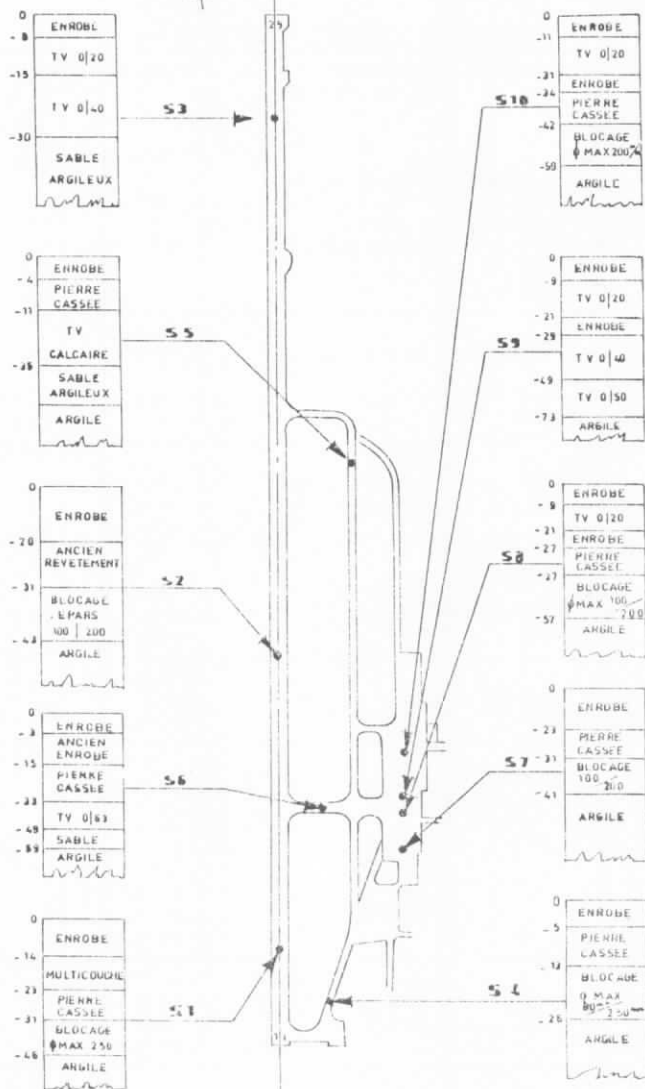
0m échelle 300m



AEROPORT DE TANGER-BOUKHALEF

OUVRAGE	ZONE HOMOGENE	CARACTERISTIQUES DE LA CHAUSSEE	CHARGES ADMISSIBLES
Piste	Zone 1		
	-PM 0 au PM 500		29 t/R.S.I
	-PM 1000 au PM 1450	EEO = 60 cm	36 t/j
	-PM 2050 au PM 2800	C.B.R = 10	62 t/B
	-PM 3200 au PM 3500		
10 - 28	Zone 2		
	-PM 500 au PM 1000	EEO = 60 cm	22 t/R S.I 28 t/j
	-PM 1450 au PM 2050	C.B.R = 8	49 t/B
	Zone 3		
	-PM 2800 PM 3200	EEO = 60 cm C.B.R = 7 cm	19 t/R.S.I 24 t/j 43 t/B
voie de circulation parallèle	Zone 1		
	-PM 0 au PM 2600	EEO = 50 cm	20t/R.S.I
	-PM 3350 au PM 3800	C.B.R = 10	27t/j 49t/B
	Zone 2		
	-PM 2600 au PM 3350	EEO = 49 cm C.B.R = 8	15t/R.S.I 21t/j 38t/B
Bretelle -1-		EEO = 50 cm	20 t/R S.I
Bretelle -2-		C.B.R = 10	27 t/j 49 t/B
Bretelle -3-		EEO = 49 cm C.B.R = 8	15 t/R S.I 21 t/j 38 t/B
Bretelle centrale		EEO = 60 cm C.B.R = 10	29 t/R S.I 36 t/j 62 t/B
Aire de stationnement AS 1		k = 70 MN/m3 h = 31 cm Tb = 2,9 MPa	31 t/R S.I 35 t/j 65 t/B
Aire de stationnement AS 2		k = 50 MN/m3 h = 24 cm Tb = 2,5 MPa	13 t/R S.I 16 t/j 32 t/B

AÉRODROME D'AGADIR INZEGANE
IMPLANTATION DES SONDAGES



AEROPORT D'AGADIR INEZEGANE

OUVRAGE	ZONE HOMOGÈNE	CARACTERISTIQUE DE LA CHAUSSEE	CHARGES ADMISSIBLES
Piste 11 - 29	Zone 1 -du PM 0 au PM 600	EEO = 60 cm C.B.R = 8cm	22t/R.S.I 28t/j 49t/B
	Zone 2 -du PM 600 au PM 1800	EEO = 60 cm C.E.R = 9	26t/R.S.I 32t/j 56t/B
	Zone 3 -du PM 1800 au PM 2250		38 t/R.S.I
	Zone 4 -du PM 2300 au PM 2900		30 t/R.S.I
Voie de circulation parallèle		EEO E = 33 cm C.B.R = 13	12t/R.S.I 19t/j 37 t/B
Bretelle centrale		EEO = 58 cm C.B.R = 9	26t/R.S.I 32t/j 56t/B
Aire de stationnement	Postes 1 et 2	EEO = 60 cm C.B.R = 8	21t/R.S.I 27t/j 47t/B
	Postes 3 et 4	EEO = 70 cm C.B.R = 8	30t/R.S.I 36t/j 61t/B
	Poste 5	EEO = 60 cm C.B.R = 9	26t/R.S.I 32t/j 56t/B

CHAPITRE III

APPLICATION DES RESULTATS DE LA CAMPAGNE D'AUSCULTATION A L'AEROPORT DE CASABLANCA MOHAMMED V

I - HISTORIQUE

L'aéroport de Casablanca Mohammed V conçu et construit à des fins militaires par les américains dans les années 40, se situe dans le plateau de la Chaouia de constitution suivante :

- tuf blanc à nodules calcaires
- tuf ocre plus ou moins argileux
- argile non altérée (rouge)

Les infrastructures de cet ouvrage sont composées de :

- une piste d'envol orientée Nord-Sud de 3 720 m de long revêtue sur 90 m de large
- une voie de circulation parallèle de même longueur que la piste revêtue sur 45 m de large
- un réseau de 6 bretelles de liaison reliant la piste, la voie de circulation parallèle et l'aire de stationnement
- une aire de stationnement inscrite dans un rectangle de 1.000 m x 300 m offrant une capacité globale de 26 postes

L'ensemble des aires définies ci-dessus ont une structure souple à l'exception des 365 premiers mètres du seuil sud (35) de la piste d'envol dont la structure est constituée par une dalle en béton de ciment.

Le sol support est constitué par un tuf marneux plus ou moins graveleux caractérisé par un indice C.B.R variant de 6 à 9.

Les structures souples se présentaient comme suit :

- couche de roulement en béton bitumineux (6 à 12 cm)
- couche de liaison en binder (6 à 12 cm)
- couche de base en tout-venant (15 à 30cm)
- sol support en tuf

Les structures rigides se présentaient comme suit:

- dalle de béton de 40cm d'épaisseur avec dispositif de transfert de charges à rainure et languette.
- Couche de fondation en tout-venant 0/315 de 10 à 15 cm d'épaisseur.
- sol support en tuf

Avant sa mise en exploitation en aéroport civil en 1969, des travaux de reconversion ont eu lieu dans les années 60 et qui consistaient à la remise en état des diverses installations et le traitement des chaussées par reprofilage et colmatage des fissures.

A la suite de la croissance du trafic commercial et de la mise en service des avions moyens et longs courriers plus pénalisant en charge, des travaux de renforcement ont été effectués sur la quasi totalité des aires en service.

-1975, renforcement de la piste d'envol et des voies de circulation par du béton bitumineux sur des épaisseurs variant de 5 à 14 cm.

-1983, renforcement de la voie axiale de zone nord des parking-avions et parking attenant au pavillon Royal sur des épaisseurs variant de 6 à 20 cm en grave bitume et en béton bitumineux.

-en plus de diverses interventions ponctuelles sur l'ensemble des aires.

Par ailleurs, les résultats de la campagne d'auscultation entreprise en 1984 (cf chapitre II) ont mis en évidence une insuffisance de portance en égard au trafic à traiter. Ainsi, il a été décidé en 1986 de procéder dans un premier temps aux travaux de renforcement de la piste d'envol.

II- DONNEES DE BASE:

La détermination du renforcement a été faite par utilisation de la méthode de dimensionnement optimisée éditée par le S.T.B.A. français.

Les données suivantes ont été prises en considération:

-les portances déduites de la campagne d'auscultation sont prises en compte étant donné leur caractère purement pratique.

-les structures en place des chaussées déterminées par sondages sont également prises en compte.

-les C.B.R des sols de fondation déduits par la méthode inverse du dimensionnement à partir des deux données ci-dessus sont retenus.

- la consultation des exploitants de l'aéroport, confirme que les charges au décollage et à l'atterrissage des avions varient entre 90 à 100% des charges maximales. Pour des raisons de sécurité et de pérennité des ouvrages, les charges à prendre en compte dans les calculs sont considérées maximales.

-de la configuration de l'aire de mouvement et le sens préférentiel de son utilisation, il résulte que l'ensemble des parties des aires aéronautiques reçoit 90 à 100% des mouvements des avions. Pour la simplification des calculs et à défaut de prévisions de trafic en terme de mouvements par type d'appareil, les mouvements d'avions sont pris à 100% (au décollage et à l'atterrissage) sur l'ensemble des aires à l'exception des 600 premiers mètres du seuil nord (17) qui reçoivent 100% des atterrissages et 10% des décollages.

Le trafic annuel des avions ayant un effet significatif sur les chaussées s'établit comme suit(trafic 1984).

!TYPE D'APPAREIL	!NOMBRE DE	!MASSE MAXIMALE	!MASSE MAXIMALE
!	!MOUVEMENTS	!AU DECOLLAGE	!A L'ATTERIS-
!	!ANNUELS	!(Tonne)	! SAGE (Tonnes)
!E. 747-200	! 500	! 373,6	! 286
!L.1011-500	! 520	! 225,9	! 167
!A. 300-B4	! 1.000	! 158,4	! 134
!DC. 8-63	! 244	! 161	! 117
!B. 707-320	! 800	! 152,5	! 112
!B. 727-200	! 10.000	! 84,4	! 70
!B. 737-200	! 5.200	! 52,6	! 47
!DC. 9-80	! 1.200	! 64	! 58

III - ETUDE DE RENFORCEMENT DE LA PISTE D'ENVOL

Compte tenu des données disponibles et hypothèses formulées ci-dessus, le dimensionnement des différentes zones homogènes de la piste d'envol a été élaboré par application de la méthode optimisée relative aux chaussées souples éditée par le S.T.B.A.

A - Principe de la méthode

La méthode consiste à trouver, en procédant par itérations successives, l'épaisseur équivalente (EE*) qui conduirait au trafic équivalent (N') optimal (le plus proche de 10 mouvements/jour) en prenant comme valeur initiale l'épaisseur en place (EEO)

B - Calcul du trafic équivalent à partir d'une épaisseur choisie

Pour chaque itération, le calcul s'opère de la manière suivante:

-On évalue le trafic équivalent de chaque avion comme suit :

*calcul de la charge admissible Poi à partir de l'abaque propre de l'avion, compte tenu du C.B.R du sol support et de l'épaisseur, équivalente de chaussée choisie (EE)

*calcul du rapport $Ri = Pi/Poi$, Pi étant la charge réelle appliquée par l'avion

DBA/DT A.M.P.C.R/87

*calcul du coefficient d'équivalence $Cpi = 105(Ri - 1)$ qui permet d'obtenir le trafic équivalent $N'i = Cpi Ni$, Ni étant le nombre de mouvements réels de l'avion i

*le trafic équivalent total N' est égal à la somme des trafics équivalents de chaque avion

C - Détermination de l'épaisseur de renforcement

L'épaisseur équivalente de renforcement est alors:

$$EER = EE* - EEO$$

les tableaux ci après illustrent les dernières itérations conduisant pour chaque zone à l'épaisseur équivalente de renforcement dont les résultats peuvent être résumés comme suit :

! ZONES	! EEO (cm)	: CBR	: EE* (cm)	: EER (cm)	!
! 1	! 65	: 7	: 75	: 10	!
! 2	! 63	: 8	: 78	: 15	!
! 3	! 55	: 9	: 70	: 15	!
! 4	! 70	: 6	: 97	: 27	!
! 5	! 65	: 5	: 112	: 47	!

DBA/DT A.M.P.C.R/87

AEROPORT : MOHAMED V

PISTE 17-35

ZONE : 1 CBR = 7

EE = 75 cm

DECOLLAGE

TYPES D'AVIONS:	P	:	Po	:	P/Po	:	CP	:	Mv	Re:Mv	Eq
B. 747-200	: 374	:	312	:	1,197	:	9,71	:	25	:	243
L 1 011-500	: 226	:	178	:	1,269	:	22,16	:	26	:	576
A 300-B4	: 158	:	144	:	1,100	:	3,16	:	50	:	158
B 707-320	: 153	:	138	:	1,105	:	3,35	:	40	:	134
B 727-200	: 84,4	:	82	:	1,029	:	1,40	:	500	:	700
B 737-200	: 52,6	:	75	:	0,701	:	0,03	:	260	:	8
DC 9-80	: 64	:	78	:	0,821	:	0,13	:	60	:	8
DC 8-63	: 161	:	126	:	1,278	:	24,48	:	12	:	294

TOTAL(1):2.129

ATTERISSAGE

TYPES D'AVIONS:	P	:	Po	:	P/Po	:	CP	:	MV	Rl:Mv	Eq
B. 747-200	: 286	:	312	:	0,197	:	0,38	:	250	:	96
L 1 011-500	: 167	:	178	:	0,938	:	0,49	:	260	:	128
A 300-B4	: 134	:	144	:	0,931	:	0,45	:	500	:	225
DC 8-63	: 117	:	126	:	0,929	:	0,44	:	122	:	54
B 707-320	: 112	:	138	:	0,812	:	0,11	:	400	:	46
B 727-200	: 70	:	82	:	0,854	:	0,19	:	5 000	:	957
DC 737-200	: 47	:	75	:	0,627	:	0,01	:	2.600	:	35
DC 9-80	: 58	:	78	:	0,744	:	0,05	:	600	:	31

TOTAL(2):1.577

TOTAL GENERAL(1)+(2)=3 706

Epaisseur équivalente nécessaire EE* =75cm
 Epaisseur équivalente en place EEO =65cm
 Epaisseur équivalente de renforcement EER =10cm

DBA/DT A.M.P.C.R/87
AEROPORT: MOHAMMED V
ZONE : 2 CBR = 8

PISTE 17-35
EE = 78cm

DECOLLAGE

TYPES D'AVIONS:	P	:	Po	:	P/Po	:	CP	:	Mv	:	Re:Mv	Eq
E. 747-200	: 374	:	374	:	1,000	:	1,00:	:	250	:	250	
L 1 011-500	: 226	:	216	:	1,046	:	1,69:	:	260	:	441	
A 300-B4	: 153	:	161	:	0,984	:	0,83:	:	500	:	415	
B 707-320	: 153	:	161	:	0,945	:	0,53:	:	400	:	213	
B 727-200	: 84,4	:	103	:	0,819	:	0,13:	:	5,000	:	625	
B 737-200	: 52,6	:	92	:	0,572	:	0,01:	:	2,600	:	19	
DC 9-80	: 64	:	98	:	0,653	:	0,02:	:	600	:	11	
DC 8-63	: 161	:	155	:	1,039	:	1,56:	:	122	:	191	

TOTAL(1):2,176

ATTERISSAGE

TYPES D'AVIONS:	P	:	Po	:	P/Po	:	CP	:	Mv	:	Rl:Mv	Eq
E. 747-200	: 286	:	374	:	0,766	:	0,07:	:	250	:	17	
L 1 011-500	: 167	:	216	:	0,773	:	0,07:	:	260	:	19	
A 300-B4	: 134	:	161	:	0,832	:	0,15:	:	500	:	73	
DC 8-63	: 117	:	155	:	0,755	:	0,06:	:	112	:	7	
B 707-320	: 112	:	161	:	0,694	:	0,03:	:	400	:	12	
B 727-200	: 70	:	103	:	0,68	:	0,03:	:	5,000	:	125	
B 737-200	: 47	:	92	:	0,511	:	0,00:	:	2,600	:	9	
DC 9-80	: 58	:	98	:	0,592	:	0,01:	:	600	:	5	

TOTAL(2):277

TOTAL GENERAL(1)+(2)=2.453

Epaisseur équivalente nécessaire EE* =78 cm
Epaisseur équivalente en place EEo =63 cm
Epaisseur équivalente de renforcement EER =15 cm

BA/DT A.M.P.C.R/87

AEROPORT: MOHAMMED V

ZONE : 3 CBR = 9

PISTE 17-35

EE = 70cm

DECOLLAGE

TYPES D'AVIONS:	P	:	Po	:	P/Po	:	CP :Mv	Re:Mv	Eq
E. 747-200	: 374	:	374	:	1,000	:	1,00:	250	: 250
L 1 011-500	: 226	:	207	:	1,091	:	2,86:	260	: 744
A 300-B4	: 158	:	168	:	0,943	:	0,52:	500	: 259
B 707-320	: 153	:	163	:	0,936	:	0,48:	400	: 191
B 727-200	: 84,4	:	97	:	0,87	:	0,22:	5,000	: 11
B 737-200	: 52,6	:	85	:	0,619	:	0,01:	2,600	: 32
DC 9-80	: 64	:	90	:	0,711	:	0,04:	600	: 22
DC 8-63	: 161	:	147	:	1,095	:	2,99:	122	: 365

TOTAL(1):3,005

ATTERISSAGE

TYPES D'AVIONS:	P	:	Po	:	P/Po	:	CP :Mv	Rl:Mv	Eq
E. 747-200	: 286	:	374	:	0,766	:	0,07:	250	: 17
L 1 011-500	: 167	:	207	:	0,807	:	0,11:	260	: 28
A 300-B4	: 134	:	168	:	0,798	:	0,10:	500	: 49
DC 8-63	: 117	:	147	:	0,796	:	0,10:	112	: 12
B 707-320	: 112	:	163	:	0,687	:	0,03:	400	: 11
B 727-200	: 70	:	97	:	0,722	:	0,04:	5,000	: 203
B 737-200	: 47	:	85	:	0,553	:	0,01:	2,600	: 15
DC 9-80	: 58	:	90	:	0,644	:	0,02:	600	: 10

TOTAL(2):359

TOTAL GENERAL(1)+(2)=3.364

Epaisseur équivalente nécessaire EE* =70 cm

Epaisseur équivalente en place EEo =55 cm

Epaisseur équivalente de renforcement EER =15 cm

DBA/DT A.M.P.C.R/87
 AEROPORT: MOHAMMED V
 ZONE : 4 CBR = 6

PISTE 17-35
 EE : 95cm

DECOLLAGE

TYPES D'AVIONS:	P	Po	P/Po	CP	Mv	Re	Mv	Eq
E. 747-200	: 374	: 364	: 1,026	: 1,35	: 250	: 339		
L 1 011-500	: 226	: 204	: 1,107	: 3,44	: 260	: 895		
A 300-B4	: 158	: 158	: 1,00	: 1,00	: 500	: 500		
B 707-320	: 153	: 153	: 1,00	: 1,00	: 400	: 400		
B 727-200	: 84,4	: 97	: 0,87	: 0,22	: 5,000	: 1,121		
B 737-200	: 52,6	: 93	: 0,566	: 0,01	: 2,600	: 17		
DC 9-80	: 64	: 84	: 0,762	: 0,06	: 600	: 39		
DC 8-63	: 161	: 147	: 1,095	: 2,99	: 122	: 365		

TOTAL(1): 3.714

ATTERISSAGE

TYPES D'AVIONS:	P	Po	P/Po	CP	Mv	Rl	Mv	Eq
E. 747-200	: 286	: 364	: 0,786	: 0,08	: 250	: 21		
L 1 011-500	: 167	: 204	: 0,819	: 0,12	: 260	: 32		
A 300-B4	: 134	: 158	: 0,846	: 0,17	: 500	: 85		
DC 8-63	: 117	: 147	: 0,796	: 0,10	: 122	: 12		
B 707-320	: 112	: 153	: 0,734	: 0,05	: 400	: 19		
B 727-200	: 70	: 97	: 0,722	: 0,04	: 5,000	: 203		
B 737-200	: 47	: 93	: 0,505	: 0,00	: 2,600	: 9		
DC 9-80	: 58	: 84	: 0,69	: 0,03	: 600	: 17		

TOTAL(2): 406

TOTAL GENERAL(1)+(2)=4.120

Epaisseur équivalente nécessaire EE* = 97 cm
 Epaisseur équivalente en place EEO = 70 cm
 Epaisseur équivalente de renforcement EEr = 27 cm

DBA/7T A.M.P.C.R/87
 AEROPORT: MOHAMMED V
 ZONE : 5 CBR = 5

PISTE 17-35
 EE = 115 cm

DECOLLAGES

TYPES D'AVIONS:	P	:	Po	:	P/Po	:	CP	:	Mv	Re:Mv	Eq
E. 747-200	: 374	:	374	:	1,000	:	1,00:	:	250	:	250
L 1 011-500	: 226	:	217	:	1,043	:	1,65:	:	260	:	429
A 300-B4	: 158	:	161	:	0,982	:	0,81:	:	500	:	407
B 707-320	: 153	:	157	:	0,971	:	0,72:	:	400	:	288
B 727-200	: 84,4	:	103	:	0,816	:	0,12:	:	5,000	:	603
B 737-200	: 52,6	:	97,2	:	0,541	:	0,01:	:	2,600	:	13
DC 9-80	: 64	:	90	:	0,711	:	0,04:	:	600	:	22
DC 8-63	: 161	:	158	:	1,022	:	1,28:	:	122	:	156

TOTAL(1):2.188

ATTERISSAGE

TYPES D'AVIONS:	P	:	Po	:	P/Po	:	CP	:	Mv	Rl:Mv	Eq
E. 747-200	: 286	:	374	:	0,766	:	0,07:	:	250	:	17
L 1 011-500	: 167	:	217	:	0,771	:	0,07:	:	260	:	19
A 300-B4	: 134	:	161	:	0,831	:	0,14:	:	500	:	71
DC 8-63	: 117	:	158	:	0,742	:	0,05:	:	122	:	6
B 707-320	: 112	:	157	:	0,713	:	0,04:	:	400	:	15
B 727-200	: 70	:	103	:	0,677	:	0,02:	:	5.000	:	121
B 737-200	: 47	:	97,2	:	0,484	:	0,00:	:	2,600	:	7
DC 9-80	: 58	:	90	:	0,644	:	0,02:	:	600	:	10

TOTAL(2):273

TOTAL GENERAL(1)+(2)=4.120

Epaisseur équivalente nécessaire EE* = 112 cm
 Epaisseur équivalente en place EEO = 65 cm
 Epaisseur équivalente de renforcement EER = 47 cm

IV - STRUCTURES DE RENFORCEMENT.

Sur la base d'un renforcement classique en béton bitumineux dont le coefficient d'équivalence est de 2, les épaisseurs réelles de renforcement compte tenu de l'épaisseur minimale de mise en oeuvre sont les suivantes :

- zone 1 (PM	0 à 600)	:	6	cm
- zone 2 (PM	600 à 2.775)	:	6	cm
- zone 3 (PM	2.775 à 2.920)	:	6	cm
- zone 4 (PM	2.920 à 3.305)	:	14	cm
- zone 5 (PM	3.205 à 3.355)	:	24	cm

Pour les zones 1, 2 et 3 les structures de renforcement restent compatibles avec les conditions de mise en oeuvre et les sujétions de raccordement. Quant aux zones 4 et 5 pour lesquelles les épaisseurs de renforcement sont importantes, le recours au béton bitumineux soulève des difficultés de mise en oeuvre et de raccordement sans évoquer les conséquences résultant du comportement des couches épaisses de béton bitumineux (orniérage fluage etc...) préjudiciables à la stabilité de l'ouvrage.

En conséquences, pour les zones 4 et 5, il s'est avéré judicieux de les reprendre complètement selon l'une des deux variantes suivantes :

A - Variante 1 : structure souple

Conformément aux résultats de l'étude de renforcement, l'épaisseur équivalente nécessaire sur la base d'un indice C.B.R. de 5 est de 112 cm pour la zone 5. La composition correspondante en épaisseur réelle est de :

- couche de forme en matériaux d'apport	40	cm
- couche de fondation en GNB	25	cm
- couche de base en GNA	25	cm
- couche de liaison en GBB	15	cm
- couche de roulement en BB	8	cm
épaisseur totale	113	cm

Cette solution nécessite un décaissement de l'ancienne structure et une purge jusqu'à une profondeur totale de 105 cm

B - Variante 2 : structure rigide

Pour cette variante l'étude, a été complétée par une série de sondages exécutés par le L.P.E.E et mettant en évidence les données suivantes:

- le sol support est caractérisé par un module de réaction $K_0 = 56 \text{ MN/m}^3$

- la structure en place de la chaussée est composée par :

- . une couche TV 0/80 d'épaisseur variable entre 12 cm et 30 cm

- . une couche en matériaux liés d'épaisseur variable entre 15 et 25 cm

DBA/DT A.M.P.C.R/87

Compte tenu du trafic fréquentant la piste, l'avion de calcul est le Boeing 727-200 à pleine charge ce qui conduit à la structure rigide suivante :

- couche de fondation en TV de 30 cm

- dalle de béton de 31 cm (résistance à la traction par flexion du béton $T_{bf} = 3 \text{ MPa}$).

La couche de TV 0/80 en place ne pouvant être utilisée comme couche de fondation de la dalle de béton (épaisseur variable et qualité moyenne), il s'est avéré nécessaire d'introduire un matériau plus noble pour assurer et une bonne assise de la dalle et la non érodabilité de la fondation, en l'occurrence, une grave-ciment 0/20. Le TV 0/80 en place devant être réutilisé après criblage comme sous-couche. Ainsi la structure retenue est la suivante :

- sous-couche en TV 0/60	: 15 cm
- grave-ciment 0/20	: 15 cm
- dalle de béton	: 31 cm

C - Choix de la structure

L'étude comparative des deux variantes a conduit à l'adoption de la structure rigide et ce pour les considérations suivantes :

- moindre différentiel de coût (+ 16%).
- durée de vie de 20 ans au lieu de 10 pour la structure souple.
- coûts d'entretien réduits.
- continuité de la structure rigide déjà en place au delà de la zone 5 compte tenu du taux d'utilisation de cette partie de la piste, la plus sollicitée tant au décollage qu'à l'atterrissage.

D - Aspect construction

1 - Grave-ciment

La grave-ciment est fabriquée à la centrale, mise en oeuvre à la machine (slip-form) puis compactée à 97% de l'OPM.

a - Formulation

Compte tenu du rôle de la couche de fondation dans les chaussées en béton, les études de laboratoire ont permis la définition de la formule à retenir.

DBA/DT A.M.P.C.R/87

! Désignation nature et provenance	! Dosage	! Caractéristiques
!Ciment de classe CPAZ 325 de CINO-	5%	
!UCA de Bouskoura		
!Sable de mer de Sidi Bouknadel	10%	ES # 89
!0/0,63		
!Sable de concassage calcarinite de	44%	ES 30
!Bouskoura 0/5		
!Gravette quartzite de Bouskoura	46%	L.A 30
! 5/20		
!Eau de gachage	6%	
!Densité OPM imposée	2,21t/m ³	
!Résistance à La traction par fen-		tf 1,4 MPa
! dage		

b - Contrôle

Les essais de contrôle ont porté sur les caractéristiques suivantes :

- qualité des matériaux et granulométrie.
- compactage.
- dosage en ciment.
- dosage en eau.
- résistance à la traction par fendage.

2 - Béton de ciment

Le béton est fabriqué en centrale, mis en oeuvre à la machine (slip-form) munie de dispositif de pervibration entre coffrages fixes sur une largeur de 5 m (cf annexe 1)

Le transfert de charges à travers les joints longitudinaux est assuré par :

- l'ondulation du joint obtenue par coffrage (amplitude 1,8 cm, période 7,5 cm)
- goudonnage par 20 espacés de 0,60 m
- Le traitement de surface consiste en un balayage transversal suivi d'une pulvérisation d'un produit de cure.

Les joints de retrait-flexion sont dépourvus de goujons et obtenus par sciage tous les 5 m (cf annexe 2)

a - Formulation

En vue de respecter les exigences du CPS quant aux caractéristiques du béton, plusieurs formulations ont été étudiées à partir des matériaux suivants :

Désignation	nature et provenance	granulométrie	caractéristiques
Ciment	C.P.A.A.Z. 325, usine CINOUC de Bouskoura		Tf7j=6,6MPa Tf28=7,5MPa
Sable fin	Sable de mer (Casablanca et Bouskoura)	0/0,63	ES # 89
Sable grossier	Sable de Concassage calcaire (Oued akrech)	0/5	ES # 68
Gravettes			
G1	Quartzite (Bouskoura)	16/40	(MDS = 4,2
G2	" "	8/20	(MDH = 10,4
			(L A = 15 à 21
G3	Calcaire (Oued Akrech)	8/16	(MDS = 6,6
			(MDH = 11
			(L A = 17
Adjuvants	BV 40 (SIKA) Sikaf fluid		

La formule retenue fut celle qui présentait les meilleures performances :

-gravette G1 16/40	:42%
-Gravette G3 8/16	:25%
-Sable grossier 0/5	:11%
-Sable de mer 0/0,63	:22%
-Dosage en ciment	:350 kg/m ³
-Dosage en eau	:160 L/m ³
-BV 40	:0,2 à 0,4%
-Sikaf fluid	:0,5 à 0,75%

b - Contrôle

Les essais de contrôle ont porté également pour le béton sur les caractéristiques suivantes :

- qualité des matériaux et granulométrie
- dosage en ciment CPAZ 325 (350 kg/m³)

- dosage en eau (160l/m³)
- résistance à la traction par flexion à 3j, 7j et 28j
(T_{tf28} 5,5 MPa)
- affaïssement au cône d'Abrahams 1 à 3 cm)
- teneur en air occlu (3 à 6 %)
- contrôle de nivellement (-+ 0,5 cm)

Les résultats des essais de contrôle, lors du déroulement des travaux ont été satisfaisants.

CONCLUSION

La campagne d'auscultation dont le but principal est l'évaluation de la portance résiduelle des chaussées aéronautiques des principaux aéroports du Royaume a permis dans un premier temps de résoudre l'épineux problème de communication, aux pilotes, des charges admissibles, conformément à la nouvelle méthode "ACN-PCN" recommandée et adoptée par l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (O.A.C.I.) en novembre 1981, et dans un deuxième temps, la définition et la programmation des travaux de renforcement nécessaires dans chaque plateforme en égard aux trafics attendus.

Aussi, faut-il rappeler que l'application des résultats de cette campagne à l'étude du renforcement de la piste d'envol de l'aéroport de Casablanca-Mohammed V est une concrétisation pratique conduisant à retenir la structure rigide sur la partie de la piste considérée comme la plus sollicitée et prolongeant la partie en béton déjà existante ayant fait preuve de résistance depuis sa construction dans les années 40.

Cette initiative s'inscrit dans le cadre de vouloir relancer la technique du béton de ciment tombée en désuétude depuis le début des années 70 (construction des aires de stationnement aux aéroports de Marrakech-Ménara, Fès-Saïs et Tanger-Boukhalef)

L'évaluation des chaussées demeure le seul moyen pratique permettant à l'autorité aéroportuaire de suivre l'évolution du patrimoine que constituent les infrastructures, et de pouvoir agir en temps opportun en programmant les investissements de façon optimale.

A N N E X E 1
=====



PHOTO 1 : Démolition du revêtement souple existant



PHOTO 2 : Démolition du dalles cassées



PHOTO 3 : Enlevement du TV 0/80 existant

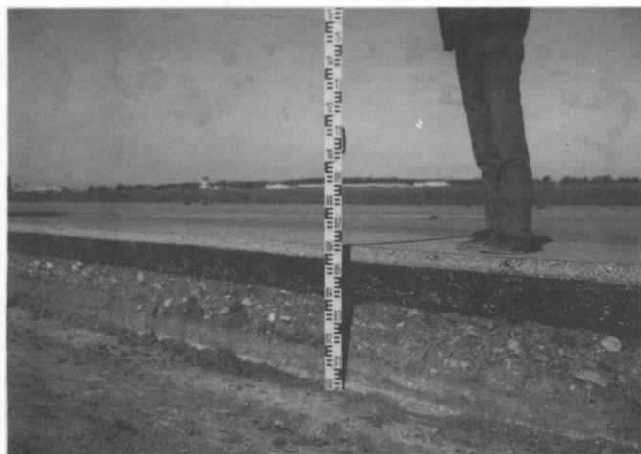


PHOTO 4 : Coupe type, structures en place



PHOTO 8 : Mise en place de la grave ciment
à la machine Slip forme RAHCO



PHOTO 9 : Comactage de la grave ciment

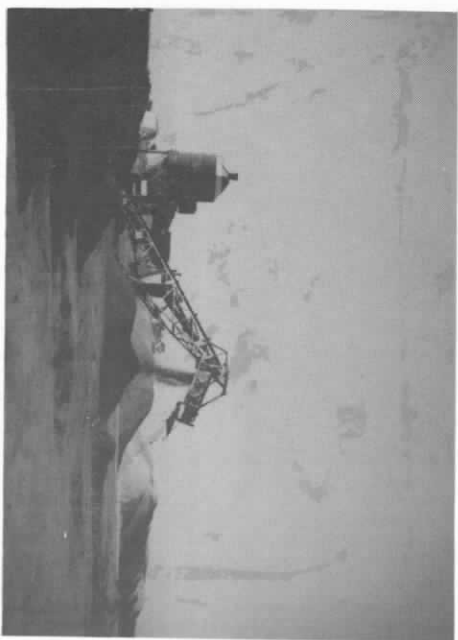


PHOTO 5 : TV 0/80 criblage avant remise en place

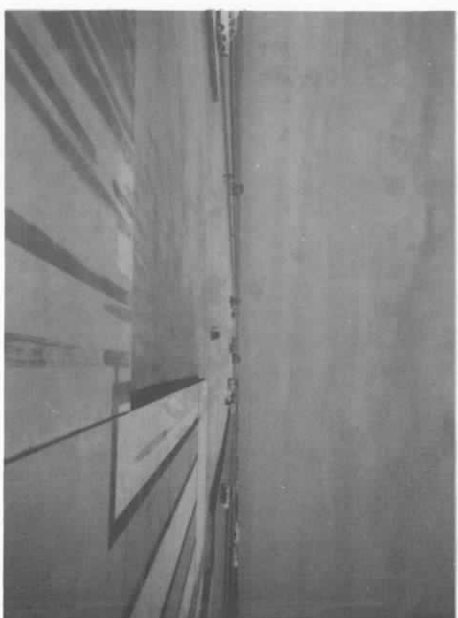


PHOTO 6 : Compactage du fond de forme en tuf

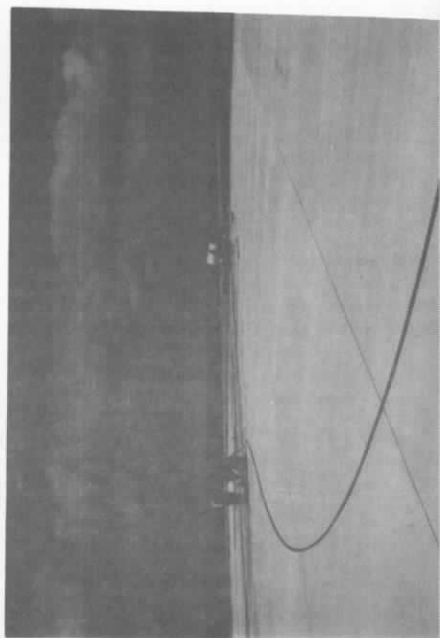




PHOTO 14 : Striage du béton frais pour balayage



PHOTO 15 : Pulvérisation du produit de cure sur béton frais



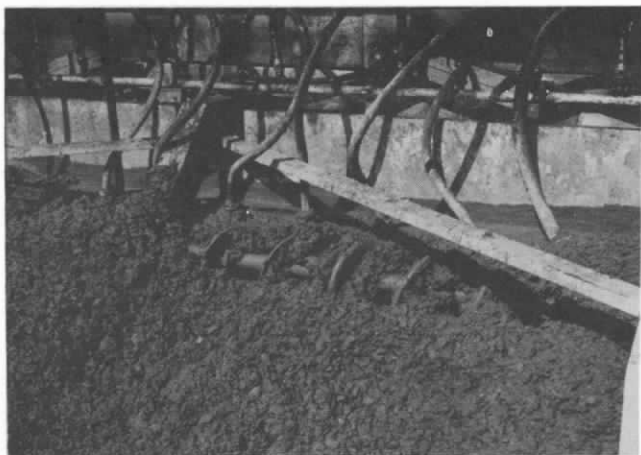


PHOTO 10 : Mise en oeuvre du béton devant de la machine



PHOTO 11 : Mise en oeuvre et pervibration du béton

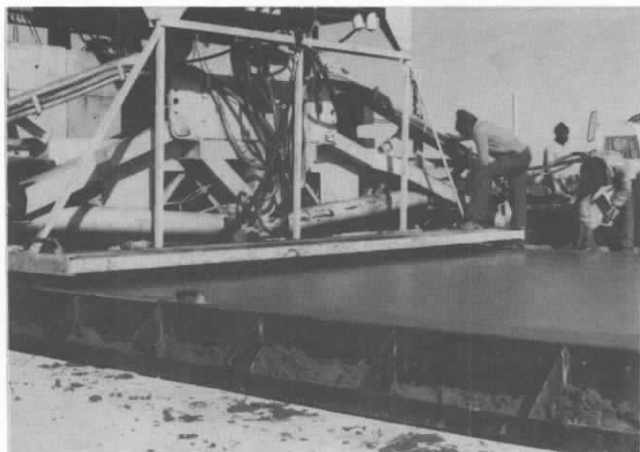


PHOTO 12 : Béton à la sortie entre coffrage fixes

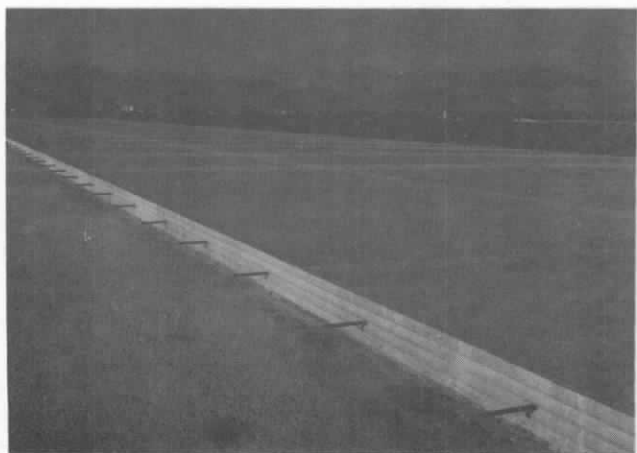


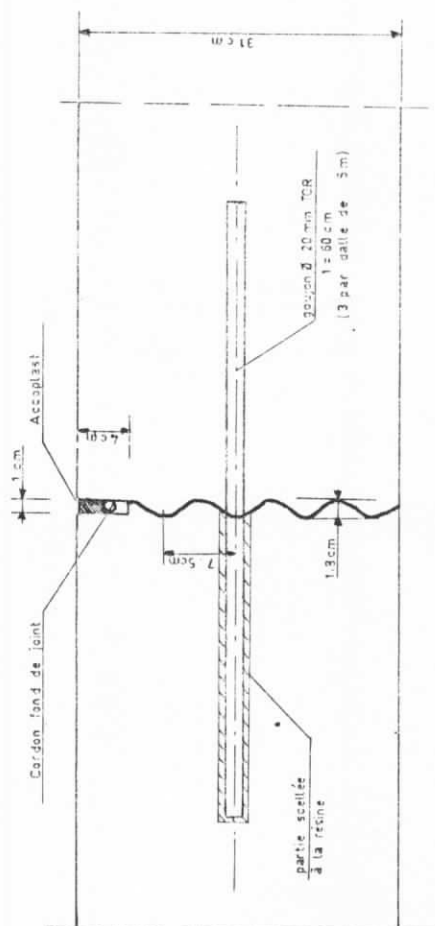
PHOTO 13 : Mise en place des goujons aux joints de construction

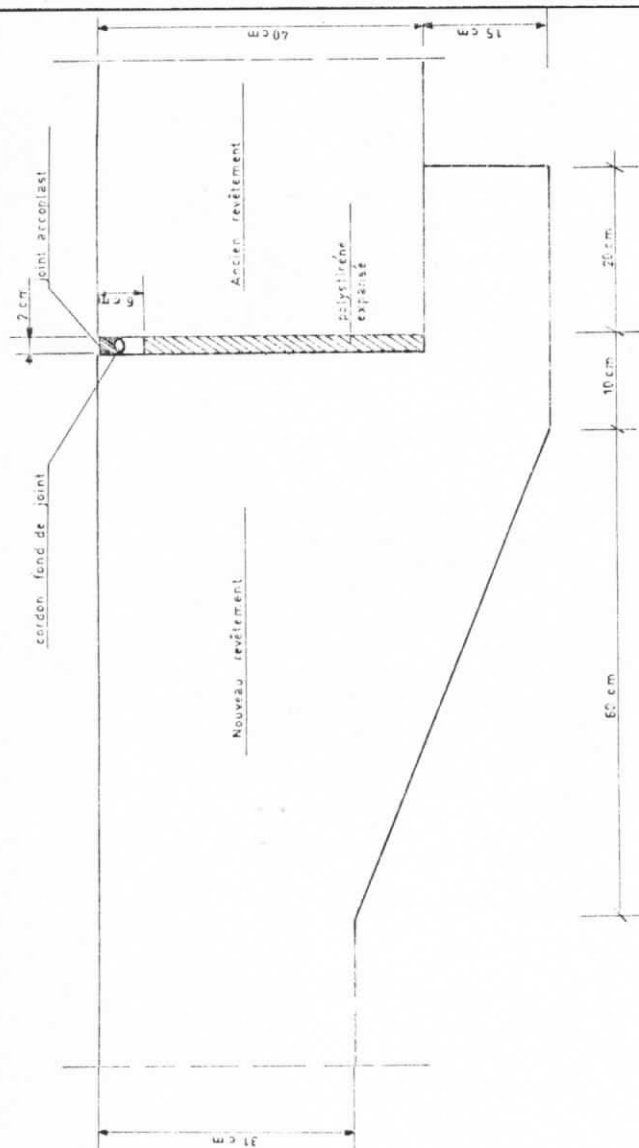
A N N E X E 2
=====

EXECUTION DES JOINTS

JOINT DE CONSTRUCTION LONGITUDINAL

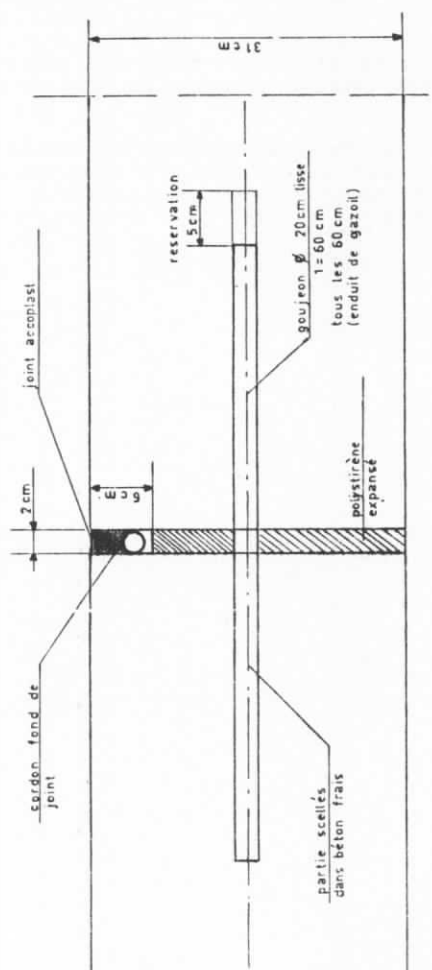
A ONDES GEOMORPHIQUES



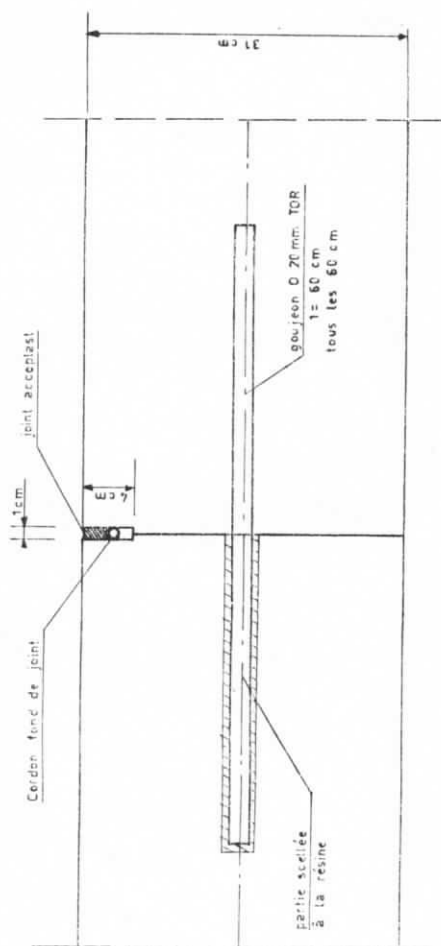


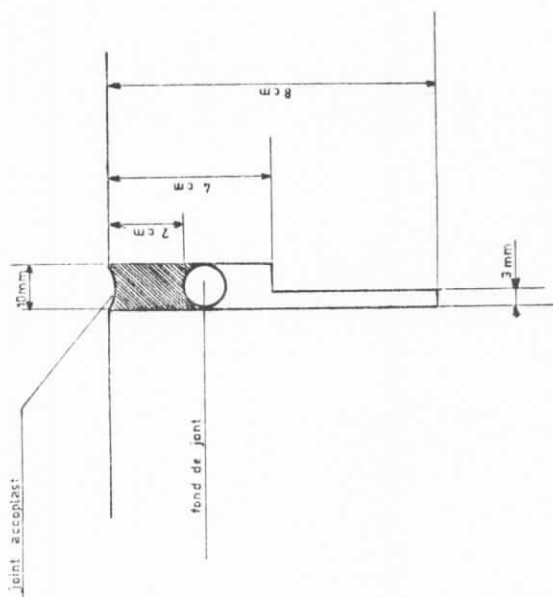
JOINT DE RACCORDEMENT A L'ANCIEN DALLAGE

JOINT DE DILATATION TRANSVERSAL GOUJONNE



JOINT DE CONSTRUCTION TRANSVERSAL GOUJONNE





GARNISSAGE DES JOINTS DE RETRAIT-FLEXION