

**TECHNIQUES DES CHAUSSEES  
AERONAUTIQUES A BASE DE  
LIANTS HYDRAULIQUES**

**DIRECTION DES BASES AERIENNES**

# **Thème : Réalisation des chaussées traitées aux liants hydrauliques**

## **PRESENTATION**

Le présent sujet se propose de présenter la réalisation dans une échelle opérationnelle de chaussées aéronautiques traitées à base de liants hydrauliques (photo 1), à partir de deux chantiers de travaux:

- Extension de la piste de l'aéroport de Tétouan Saniat R'Mel.  
Printemps Eté 93
- Elargissement et renforcement des infrastructures de l'aéroport d'ERRACHIDIA . Eté Automne 1993



(Photo 1)

# **ELARGISSEMENT ET RENFORCEMENT DES AIRES DE MOUVEMENT DE L'AEROPORT D'ERRACHIDIA**

## **I - DEFINITION DU PROJET (figure 1A)**

L'aéroport existant d'Errachidia, composé d'une piste de 3000 x 30, d'une bretelle de 200 x 15 et d'un parking de 220 x 75, était dimensionné pour les avions légers court courrier type ATR 42 de 20 T de charge.

L'opération de renforcement et d'extension a été réalisée dans le but de traiter des avions long courrier type B 747, de 400 T de charge.  
Les travaux ont consisté:

### **a - Pour les chaussées souples:**

#### **\* Piste**

Sur 3.000m x 30m renforcement par apport de 12cm GBB et 6cm BB  
Sur 3.000m x 7,5x2 élargissement chaussée neuve de 15 GNB, 12 cm GBB, 6 cm BB

#### **\*Bretelle**

Sur 210m x 15m renforcement par apport de 12cm GBB et 6cm BB  
Sur 210m x 4 x 2 élargissement chaussée neuve de 15 GNB, 12 cm GBB, 6 cm BB

#### **\* Accotements**

Création d'accotement latéralement à la piste sur 3.200 x 7,5 x 2, à la bretelle sur 210 x 10,5 x 2 et aux parking sur 7,5x 660m, ayant une structure composée de 15cm GNB et 4cm BB 0/10.

## **b - Pour les chaussées rigides**

### **1.1 Seuils de Piste**

Aux deux extrémités de la piste, réalisation des seuils 13 et 31 sur une longueur de 100 m et une largeur de 45 m comprenant:

- \* une couche de base en GNB d'épaisseur 20 cm
- \* une dalle en béton de 31 cm d'épaisseur.

### **1.2 - Raquettes de seuil**

Aux deux extrémités de piste, réalisation d'une raquette de seuil trapèzoidale (petit côté 80 m, grand côté 120 m, largeur 40 m), comprenant: une couche de base en GNB d'épaisseur 20 cm une dalle en béton de 31 cm d'épaisseur.

### **1.3 Parking**

#### **1.3.1- Renforcement du parking**

Sur le parking existant de dimension 220 m x 75 m, réalisation d'une dalle en béton de 31 cm d'épaisseur sur une chaussée existante composée de 5 BB, 15 GNF sur un sol de CBR = 8.

#### **1.3.2 - Extension du parking**

Sur une surface de 220 m par 35 m, réalisation de:

- \*une couche de base en GNB 20 cm d'épaisseur
- \* une dalle en béton de 31 cm d'épaisseur.

# **AMENAGEMENT ET EXTENSION DE L'AEROPORT DE TETOUAN SANIAT R'MEL**

## **LOT N° 1 : EXTENSION DE LA PISTE D'ENVOL**

### **1- DEFINITION DU PROJET**

La piste d'envol de l'aéroport de Tétouan, longue de 1700 mètres et de largeurs égale à 60 mètres, était insuffisante pour l'accueil des avions gros porteurs, moyen courrier du type Boeing 737. Les travaux ont consisté en:

#### **Lot 1: Travaux de réfection de l'existant**

Ces travaux ont consisté après une auscultation exhaustive du comportement de la structure en:

- injection sous chaussée du coulis de ciment sous les dalles de béton pour assurer la stabilité et la planéité de l'assise.
- travaux de réparation, par réfection des épaufrures et bords des coins de dalles, dégraissage, reprise des joints, ragréage des dalles et démolition et reconstruction des dalles démolies.

#### **Lot 2: Travaux d'extension ( figure 1B)**

\* Allongement sur 600 mètres de la piste pour en porter la longueur totale à 2300 mètres.

\* l'aménagement d'un prolongement occasionnellement roulant (P.O.R.) de 60 mètres de longueur

\* la création d'une bretelle d'accès de 200 mètres de longueur reliant la piste au parking avions

\* la rénovation du réseau d'assainissement sur la totalité de la piste.

## **1.1 - Description de la piste existante**

La piste existante présente en section courante un profil en toit à deux versants de pente transversale variable (de 0,5 % à 0,7 %). Le profil en long est pratiquement plat (pente légèrement descendante égale à 0,5%)

La structure de la chaussée existante est constituée d'une dalle en béton d'épaisseur 30 cm et d'une couche de fondation de 35 cm en blocage de pierres calcaires (de dimensions 100 à 200 mm) fermé par un tout-venant de plage de granulométrie 0/80. La maillage des dalles bétonnées est de 4 mètres (sens de la longueur de la piste) par 3 mètres.

Les joints de construction comportent un dispositif à rainure et languette.

L'assainissement de la piste est constitué de deux caniveaux à fente en béton situés de part et d'autre de la chaussées sur toute sa longueur. Les caniveaux sont interceptés tous les 120 mètres par des collecteurs bétonnés perpendiculaires à la piste, eux-mêmes dirigeant les eaux vers une colature principale de rejet.

## **2 - PROJET D'EXTENSION DE LA PISTE**

### **2.1 - Caractéristiques générales**

#### **2.1.1 - Profil en long**

Les critères de choix du profil en long étaient les suivants:

- les pentes du premier et dernier quarts de la piste doivent avoir une pente inférieure à 0,8%
- le raccordement altimétrique sur la piste existante
- la topographie du site, en pente vers raval de la piste
- la nécessité de mettre la piste hors d'eau, la zone d'extension de la piste étant inondable lors des fortes intempéries.
- l'optimisation des cubatures de terrassements

Le profil en long retenu présente une faible pente descendante égale à 0,1% sur l'extension de piste et à 0,3 sur le POR.

### **2.1.2 - Profil en travers (Fig. 1A)**

Le profil en travers type est constitué de deux versants en toit de pente transversale égale à 1% et de 22,50 m de largeur chacun, et de deux accotements ayant une pente transversale de 2,5 % et une largeur de 7,5 m.

La largeur totale de la piste est de 60 mètres.

### **2.1.3 - Assainissement de la chaussée (Fig. 2)**

Les accotements comportent sur leur bord extérieur une forme en V de 1,50 m de largeur et 7cm de profondeur constituant caniveau de collecte des eaux de ruissellement. Les caniveaux sont recoupés tous les 75 mètres par des regards à grilles reliés à des réseaux de conduites enterrées situées, parallèlement à la piste, à 3 m du bord..

Les conduites se déversent ensuite dans un collecteur de rejet principale.

### **2.1.4 - Aménagement de la bande de piste (Fig. 1A)**

La collecte des eaux de pluie sur la bande de piste est réalisée par un fil d'eau axe à 15 mètres du bord de l'accotement, de part et d'autre de la piste.

La pente longitudinale des fils d'eau est descendante vers le seuil de piste et le rejet des eaux se fait dans le collecteur principale de l'assainissement de piste.

La pente transversale descendante entre le bord de chaussée et le fil d'eau est de 2,5% maximum. Au-delà du fil d'eau, la pente transversale de la bande est fixée à 5% maximum jusqu'au niveau du terrain naturel.

## **2.2 - STRUCTURE DE LA CHAUSSEE**

### **2.2.1 - Caractéristiques du sol**

Les sondages de reconnaissance et les identifications réalisées par la LPEE ont permis de déterminer les caractéristiques des sols de plateforme:

- argiles marrons-verdâtres ou jaunes
- densité sèche comprise entre 1,90 et 2,05 T/m<sup>3</sup> -  
IP entre 15 % et 30 %
- classe A6 (classification AASHO)
- pourcentage d'éléments fins (passant au tamis de 80u) supérieur à 90 %
- facteur de portance CBR égal à 3.

Le sol constitutif de la plateforme est donc un matériau fin argileux, de très faible portance. Par ailleurs, la nappe phréatique a été décelée entre 0,50 et 1,00 m de la surface du terrain naturel.

### **2.2.2 - Coupe type de chaussée (Figure 3)**

La structure de chaussée projetée est la suivante:

#### **Piste et bretelle**

- une couche de forme en GNT 0/40 de 45 cm d'épaisseur minimale
- une couche de fondation en grave ciment 0/20 de 25 cm d'épaisseur
- une dalle béton de 30 cm d'épaisseur

#### **Accotements**

- une couche de forme en GNT 0/40 de 45 cm d'épaisseur minimale
- une couche de fondation en grave ciment 0/20 de 15 cm d'épaisseur
- une dalle béton de 15 cm d'épaisseur

### **2.2.3 - Couche de forme**

Le but de la couche de forme est d'améliorer la portance du sol et de constituer le remblai nécessaire à la mise hors d'eau de la piste.

Les exigences du C.P.S sont:

- granulométrie 0/40
- indice de plasticité inférieur à 6%
- épaisseur minimale 45 cm.

### **2.2.4 - Couche de fondation**

La couche de fondation a plusieurs rôles dont le principal est de transmettre au sol support (terrain naturel ou remblai) les charges qui lui sont appliquées en les diffusant sans se déformer, sans s'écraser ni se dégrader.

Elle doit en outre, contribuer à assurer la continuité de l'appui des dalles au droit des joints.

Elle s'oppose par son poids au gonflement éventuel du terrain naturel et continue à assurer la protection du terrain naturel contre le gel offre une surface stable pendant la période des travaux et s'oppose à la remontée des fines par pompage au droit des joints.

La couche de fondation d'une épaisseur de 25 cm est traitée au ciment en centrale et répond aux prescriptions suivantes:

- granulométrie 0/20
- compacité en place > 98% de l'OPM
- traction par fendage > 0,5 MPa à 7 jours
- le dosage théorique des 4% de ciment.

### **2.2.5 - Dalle en béton**

La dalle en béton constitue à la fois les couches de base et de roulement de la chaussée rigide.

Elle doit répondre aux critères suivants :

- Résistance mécanique élevée pour résister aux charges des avions.

La résistance du béton à la traction mesurée par flexion à 28 jours doit être de 6 MPa.

- Les constituants du béton sont un sable fin 0/5 d'ES supérieur à 75, des gravillons 5/20 et des cailloux 20/40 présentant un coefficient Los Angeles inférieur à 30.

Le dosage en ciment est de 350 Kg par mètre cube.

- Les adjuvants utilisés sont des produits "plastifiants" et des entraîneurs d'air. Les plastifiants améliorent la maniabilité du béton et du fait de la réduction d'eau qu'ils procurent, la résistance du béton. Les entraîneurs d'air donnent au béton des propriétés tixotropiques permettant d'accélérer le décoffrage.

- Le rapport E/C doit être de l'ordre de 0,45. L'affaissement au cône d'Abrams (Slump test) doit être égal à 2 cm.

- Les dalles béton doivent présenter une bonne résistance superficielle à l'usure du trafic, ce qui nécessite emploi de sable siliceux.

- La surface des dalles doit être rendue rugueuse pour éviter les problèmes d'aquaplanage des roues d'avion (une profondeur au sable de 1 mm est recommandée).

-L'épaisseur de la dalle à Tetouan a été obtenue par calcul optimisé à partir du module de réaction, modifié du sol support et du trafic de base, et s'est établie à 28 cm. Cependant, pour des raisons d'homogénéité, elle a été portée à 30 cm, épaisseur de la dalle existante.

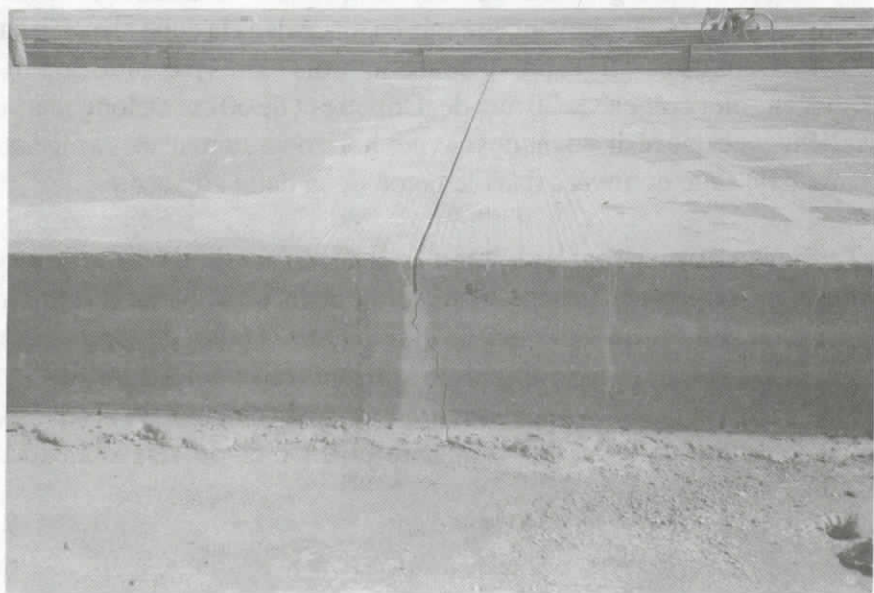
Pour Errachidia, le calcul optimisé à partir de l'avion de base a permis de fixer l'épaisseur de la dalle à 31 cm.

### **2.3.1- Plan de dallage (Photo 2)**

La piste, de 45 mètres de largeur, est réalisée en 8 bandes longitudinales de 5,625 m de large, recoupée tous les 5 m par des joints transversaux de retrait-flexion.



(Photo 2)



(Photo 3)

Le maillage de 5,625 x 5 mètres a été adopté pour maintenir un joint dans l'axe de la piste et respecter la règle d'Eisenman (la plus grande dimension de datte doit être inférieure à 25 fois l'épaisseur).

Les accotements, de 7, 50 m de largeur, sont construits en deux bandes, l'une de 4 m de large et l'autre de 3, 50 m incluant le caniveau d'assainissement.

## **JOINTS**

Il faut réaliser des joints pour permettre une localisation nette des fissures inhérentes à la nature du matériau. L'exécution des joints est une opération délicate à laquelle il faut apporter une grande attention.

### **2.3.2 - Joints de construction longitudinaux (figure 4) et transversaux (figure 5)**

**Longitudinaux :** ce sont les joints séparant deux bandes adjacentes. Un assemblage par rainure et languette ou en forme de profil ondulé est réalisé pour la transmission des charges entre les dattes. Des fers de liaison destinés à la liaison entre deux bandes peuvent être mis en place dans la zone circulée par les atterrisseurs. Dans ce cas, il est prévu de sceller trois barres par datte de 5 m. Les barres sont en acier crénelé de 20 mm de diamètre et de 60 cm de longueur. Elles sont scellées avec une résine dans des cavités horizontales réalisées à mi-hauteur de la datte déjà faite et noyées dans le béton de la datte adjacente.

**Transversaux:** ce sont les joints d'arrêt de répandage en fin de journée ou en cas de panne prolongée. La datte est retailée de façon à obtenir un bord franc. Des fers de liaison (de 16 à 20 mm de diamètre de 0,60 m de long et espacés d'environ 0,60 m) sont introduits dans le le béton frais pour assurer la jonction et le transfert de charge entre les dattes à la reprise du chantier. A la reprise, une finition à la main est toujours nécessaire et un trait de scie est exécuté à l'emplacement du joint.

### **2.3.3 - Joints de dilatation (Fig. 6)**

Les sections courantes ne comportent généralement pas de joints de dilatation, sauf en cas de conditions climatiques extrêmes. Des joints particuliers sont prévus pour éviter des efforts horizontaux (par exemple à la jonction d'une piste et d'une bretelle ou au niveau d'un ouvrage important sous chaussées). Ces joints ont environ 30 mm d'épaisseur, ils sont goujonnés et constitués par un corps de joint compressible. La partie supérieure est remplie d'un produit pour joints.

### **2.3.4 - Joints de retrait-flexion (Photo 3)**

Ce sont des joints destinés à localiser les fissures du béton. Ils sont perpendiculaires à l'axe de la bande ou légèrement obliques et leur espacement est généralement compris entre 5 et 7,5 m suivant l'épaisseur des dalles.

Ils sont sciés sur une largeur d'environ 5 mm. Leur profondeur peut être égale au 1/6 ou au 1/5 de l'épaisseur de la dalle. Toutefois si le béton présente des risques accentués de fissuration (mise en oeuvre en période chaude ou nature des agrégats) il est recommandé de porter cette profondeur au 1/4 de l'épaisseur. Il est délicat de choisir le moment optimal pour scier les joints: le béton doit être suffisamment dur pour supporter le matériel mais il ne faut pas scier trop tard sinon le retrait aura déjà amorcé une fissuration erratique. La fourchette de temps pendant lequel il est possible d'effectuer le sciage est très variable, elle dépend de la nature du granulat, du dosage en ciment, des conditions climatiques, etc., elle peut varier de 12 à 24 h. Une grande vigilance est nécessaire en particulier lors des journées chaudes et ensoleillées.

Le Goujonnage des joints transversaux de retrait-flexion peut-être réalisé dans les bandes supportant fréquemment les trains d'atterrissage, le but des goujons étant d'améliorer le transfert de charge entre deux dalles sans empêcher le retrait. Les goujons sont en général constitués par des fers de 25 mm de diamètre, enduits de bitume et mise en place à mi-hauteur de la dalle tous les 30 cm environ. Pendant le bétonnage, ils sont maintenus à remplacement voulu par ces supports métalliques (paniers). La présence des goujons nécessite un sciage des joints à une profondeur plus grande pour que la fissuration se fasse bien dans

la zone de goujonage ( $1/4$  de la hauteur de la dalle au lieu de  $1/5$  ou  $1/6$ ). Par ailleurs, il peut être utile d'exécuter un joint de retrait-flexion longitudinal au milieu de chaque bande, si la largeur de celle-ci dépasse 7, 50 m pour une épaisseur de dalle de 30 cm. Cette précaution est à envisager tout particulièrement quand le sol support, notamment des abords, est sensible à l'eau. Dans les zones de raccordement avec d'autres voies (congrès) les dalles ont des formes irrégulières. Il est souhaitable de les ferrailer légèrement (0,05% de section d'acier dans deux directions perpendiculaires).

Le transfert de charge des dalles au niveau des joints de retrait-flexion résulte de l'engrènement des deux faces, l'une sur l'autre. Lorsque la fondation est soigneusement réalisée et résistante, le goujonage des joints de retrait-flexion n'est pas indispensable.

### **2.3.5 - Garnissage des joints (Fig. 7)**

L'étanchéité des joints est primordiale en raison des grandes surfaces revêtues et des faibles pentes. Les joints doivent être garnis soigneusement pour éviter la pénétration de l'eau vers la couche de fondation.

Les produits utilisés sont en général à base de bitume et coulés à chaud. Il existe également des produits spéciaux non bitumineux, coulés à froid et des produits préformés, en néoprène par exemple.

Dans le sciage des joints, il faut distinguer:

- le sciage pour amorcer la fissuration, qui doit être d'une largeur la plus faible possible tout en étant compatible avec le matériel en principe 6 mm maximum;

- le sciage avec au moins 8 mm de largeur pour créer une réserve suffisante afin de pouvoir y couler le produit d'obturation.

D'autre part, le rapport des dimensions de la section du joint, compte tenu de sa forme, est important et conditionne sa tenue.

Le rapport  $e/L$  dépend des caractéristiques mécaniques du produit (élasticité, adhérence aux supports), il est général égal à  $1/2$ . (Voir schéma)

Un rapport trop grand ( $e > L/2$ ) peut provoquer un décollement du produit des parois.

Un rapport trop petit ( $e < L/2$ ) entraîne une fissuration du produit au milieu de la section du joint.

La forme adéquate est donnée:

Par la mise en place d'un fond de joint à une profondeur calibrée et régulière  $P$ ;

le ménisque supérieur qui se forme au cours du refroidissement, ou de la polymérisation du produit.

De plus, le fond de joint permet au joint de se déformer dans deux directions, au lieu d'une, au cours de la dilatation des dalles et ainsi ne pas dépasser le niveau de celles-ci.

Les produits utilisés doivent adhérer fortement aux parois de béton et conserver leur élasticité dans le temps.

La mise en oeuvre du produit dans les joints sciés est parfois difficile en raison de la faible largeur de la fente. Toute précaution doit être prise pour que le produit pénètre bien dans la profondeur du joint sans former une sorte de pont en surface car, dans ce cas, le produit d'épaisseur trop faible se rompt rapidement et laisse l'eau pénétrer facilement. Il faut également veiller à ce que la surface du joint soit au même niveau que celui des dalles: s'il reste un bourrelet, cela se sent lors du roulage des avions en engendrant des vibrations.

### 3 - PROVENANCE DES MATERIAUX

#### 3.1 - Granulats et sable pour béton

##### a) Errachidia

Trois classes d'agréats sont prévues, un sable d'oued 0/5 (Oued FERHO de TINJDAD) et deux gravettes 5/20 et 20/40.

Les gravettes proviennent du concassage d'un tout-venant d'oued de la région d'Errachidia (carrière Moka). La station de concassage est installée à l'entrée de la ville, sur la RP 21 en provenance de Midelt.

Les différentes caractéristiques enregistrées au cours des essais d'identification sont consignées dans le tableau ci-après:

| CLASSE GRANULAIRE                    | GRAVETTES<br>20/50 | GRAVETTES<br>5/20 | SABLE DE<br>L'OUED 0/5 |
|--------------------------------------|--------------------|-------------------|------------------------|
| Masse spécifique (t/m <sup>3</sup> ) | 2.75               | 2.75              | 2.67                   |
| Masse volumique (t/m <sup>3</sup> )  | 1.36               | 1.38              | 1.60                   |
| Coefficient de forme (%)             | 12                 | 21                | --                     |
| Equivalent de sable (%)              | --                 | --                | 86                     |
| Los Angeles (%)                      | 24                 | 23                | --                     |

## **b) Tétouan**

Les gravillons 5/20 et les cailloux 20/40 proviennent des carrières de calcaire à Dar Ben Karriche El Bahai sur la route RP 28 de Tétouan à Chefchaouen.

Le calcaire présente les avantages suivants:

- \* une bonne liaison avec la pâte de ciment conduit à des résistances élevés
- \* un faible coefficient de dilatation thermique et la réserve d'eau engendrée par sa porosité diminuent le retrait et les risques de fissuration
- \* le sciage des joints est facilité.

Deux sables sont utilisés: l'un en provenance de la carrière de calcaire de Ben Karriche et l'autre en provenance de l'embouchure de l'oued Hajera (sable de mer).

Le sable calcaire présente un ES supérieur à 80 et une granulométrie continue 0/5.

Le sable de mer de granulométrie 0/1 et d'ES supérieur à 80, est destiné à améliorer la dureté du mortier de surface de la piste.

### **3.2 - Matériaux pour couche de forme**

Les matériaux destinés aux couches de forme proviennent des carrières calcaires de Ben Karriche.

### **3.3 - Matériaux pour couche de fondation en grave ciment**

Les matériaux utilisés pour la couche de fondation en grave-ciment proviennent de la carrière de calcaire de Ben Karriche. ne sont constitués de deux classes granulaires: sable 0/5 et gravillon 5/20 .

### **3.4 - Ciment**

L'approvisionnement en ciment Portland artificiel CPJ 45 pour la réalisation de la grave-ciment et des dalles en béton s'effectue à partir de la cimenterie de Tétouan, CEMENTOS MARROQUIES et CADEM Meknés.

### **3.5 - Aciers**

Les aciers doux et HLE pour barres de liaison et goudjons des dalles proviennent des fournisseurs habituels de l'entreprise.

### **3.6 Eau de gachage**

L'eau de gachage des bétons et de la grave-ciment provient de l'eau distribuée par la ville de Tétouan ou d'Errachidia.

Pour se faire, une demande de branchement a été déposée auprès des services de la RAD de Tétouan et de l'ONEP d'Errachidia.

## **4- ETUDES ET ESSAIS**

### **4.1- Etudes topographiques**

La zone de l'extension de piste a été nivelée sur une bande de 600 m de longueur et de 150 m de largeur, et le renforcement des parkings de point tous les 5 m.

Les documents suivants ont été établis:

- \* profil en long dans l'axe de la piste avec un point tous les 5 m
- \* profils en travers tous les 10 m
- \* plan de dallage au 1/250

## 4.2 - Essais

Préalablement aux travaux d'exécution de la grave-ciment et des dalles béton, les essais suivants ont été réalisés:

- études de composition de la grave-ciment et du béton - (Essais d'étude en laboratoire), confiées au LPEE.

- après obtention des résultats d'étude concluants, réglage de la centrale à béton et essais de convenance du béton.

- après réglage de la centrale à béton, exécution des planches d'essai ou épreuves de convenance de répandage : elles sont exécutées à raide du matériel devant être employé sur le chantier.

Les planches d'essai permettent notamment de définir:

### **Pour la grave ciment:**

- \* l'épaisseur de la couche de fondation à mettre en oeuvre avant compactage
- \* le nombre de passes des compacteurs vibrants et pneus

### **Pour les dalles béton:**

- \* la tenue des bords des dalles
- \* le surfaçage du béton le serrage du béton par vibration
- \* la pose des goudjons au droit des joints de construction
- \* le triage de la surface
- \* le répandage du produit du cure
- \* le sciage des joints (en particulier, définition du temps d'attente pour le 1er sciage des joints de retrait)

Ces planches d'essai servent de référence pour l'exécution du chantier.

### 4.3 - Formulations

Les études de formulation de la grave-ciment et du béton ont donné les résultats suivants :

#### 4.3.1- Grave-ciment

Mélange 3,5% ciment CPJ 45

41,5% sable 0/5

55% gravette 5/20

| Fuscau |     |      |      |    |      |      |      |      |
|--------|-----|------|------|----|------|------|------|------|
| Tamis  | 20  | 100  | 6,3  | 4  | 2    | 0,5  | 0,2  | 0,08 |
| Maxi   | 100 | 80   | 66   | 56 | 43   | 26   | 17   | 10   |
| Mini   | 85  | 55   | 42   | 32 | 23   | 11   | 7    | 4    |
| Etude  | 100 | 65,6 | 51,8 | 43 | 29,8 | 14,2 | 10,9 | 9,5  |

15

- une compacité définie par 98% de la densité  $\gamma_d = 2,36 \text{ T/m}^3$  ou  $C > 0,85\%$
- une teneur en eau de 6,5% à la mise en oeuvre
- des résistances de traction directe  $R_t > 0,3 \text{ Mpa}$  à 7 jours ou par fendage  $R_t = 1,68 R_t$  soit  $> 0,5 \text{ MPa}$

### 4.3.2 - Béton

#### **Pour Tétouan**

| DESIGNATION                | DOSAGE EN KG | DOSAGE EN L |
|----------------------------|--------------|-------------|
| Gravettes 20/40            | 830          | 590         |
| Gravettes 8/20             | 560          | 395         |
| Sable de carrière (0/3)    | 340          | 240         |
| Sable d'Oued (0/5)         | 315          | 225         |
| Ciment CPJ 45 TAMUDA       | 350 Kg       |             |
| Eau de gachage             | 160 L        |             |
| G/S                        | 1.94         |             |
| E/C                        | 0.45         |             |
| Affaissement au cône       | 2 cm         |             |
| Poids du m3 de béton frais | 2550 Kg      |             |
| Teneur en air occlus frais | 3.50%        |             |

Les proportions pondérales et volumiques de la composition du béton sont les suivantes

#### **Pour Errachidia**

| DESIGNATION                | DOSAGE EN KG | DOSAGE EN L |
|----------------------------|--------------|-------------|
| Gravettes 20/40            | 820          | 600         |
| Gravettes 5/20             | 575          | 420         |
| Sable d'Oued               | 630          | 390         |
| Ciment CPJ 45 CADEM        | 350 Kg       |             |
| Eau de gachage             | 145 L        |             |
| G/S                        | 2.12         |             |
| E/C                        | 0.41         |             |
| Affaissement au cône       | 2.5 cm       |             |
| Poids du m3 de béton frais | 2520 Kg      |             |

Les performances mécaniques du béton d'étude ont donné à l'essai de traction par flexion:

- Rt à 7 jours = 47,5 bars
- Rt à 28 jours = 63 bars

## 5 - INSTALLATIONS DE CHANTIER

### 5.1 Installations de chantier (Photo 4)

Les installations générales de chantier ont été implantées sur un terrain situé dans l'emprise de l'aéroport, à proximité du parking avions, à Errachidia et à l'extrémité de la piste à Tétouan. Elles comprennent les bureaux, l'atelier mécanique, les zones de stockage des matériaux et raie de fabrication des bétons. Elles ont été alimentées en eau à partir d'un branchement sur le réseau de l'ONEP et en électricité par un groupe électrogène de 300 kVa.

### 5.2 - Préparation des bétons (Photo 5)

La préparation de grave-ciment des bétons de dallage a été réalisée par deux centrales LAMBERT de type MOB 60 placées en parallèle.

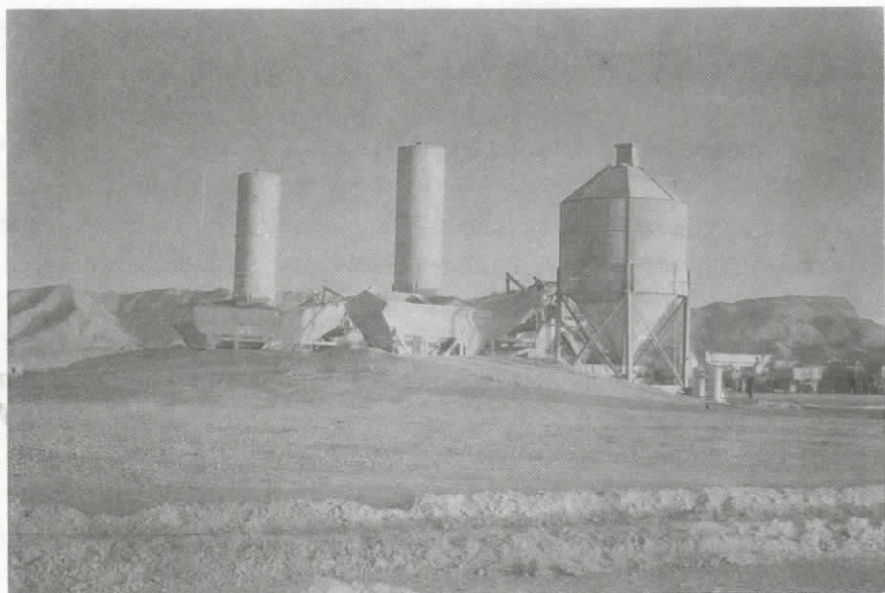
Chaque centrale comprend:

- \* 4 trémies de réception des granulats et sables de contenance 5 m<sup>3</sup> unitaire
- \* 1 silo à ciment incorporé de capacité utile de 30 tonnes
- \* 2 vis à ciment 60 tonnes/heure à débits parallèles
- \* 1 transporteur peseur pour les granulats, de portée 3000 kg
- \* 2 pesages ciment et eau de portée 750 kg et 250 kg
- \* 1 turbo malaxeur de cuve 1875 litres (1,25 m<sup>3</sup> de béton en place), à axe vertical.

Les centrales sont équipées de pompes doseuses pour l'introduction des adjuvants dans le béton. Le dosage des agrégats, du ciment et de l'eau s'effectue dans des trémies-basculés à pesage électronique. Le débit de chaque centrale pour 50 cycles à l'heure est de 60 mètres cubes/heure de béton en place.

Les silos de stockage de ciment de 150 tonnes de capacité chacun sont reliés à la centrale par vis à ciment de débit 60 T/H.

Les trémies réceptrices de granulats sont alimentées à partir des stocks par un chargeur CATERPILLAR de type 930.



(Photo 4)



(Photo 5)

## 6 - EXECUTION DES TRAVAUX

### 6.1 - Terrassements (Photos 6 et 7)

Le décapage de la terre végétale est effectué par une niveleuse, les terres mises en cordon latéral étant rechargées puis évacuées en décharge.

Le déblai pour encaissement de la chaussée, exécuté par un chargeur, est évacué par des camions en dépôt provisoire en vue de sa réutilisation en remblai des bords de piste.

La préparation du fond de forme a fait apparaître des difficultés de réalisation (présence de la nappe phréatique et effet de "coussin de caoutchouc" lors du compactage), le sol argileux, saturé d'eau, se déformant en bourrelets.

Pour pallier au phénomène, il a été décidé

- de traiter la couche inférieure du remblai, soit 25 cm en tout-venant naturel 0/80 pour améliorer la portance du sol avec une compacité de 87 % de l'OPM
- d'interposer un géotextile Bidim dans la zone adjacente à la dalle existante
- de fixer la compacité de la couche de forme en GNF 0140 à 92 de l'OPM
- de purger les zones trop humides et de remplacer le sol argileux par du tout-venant brut 0/80.

### 6.2 - Couche de forme (Photo 8)

La couche de forme GNT 0/40 approvisionnée par camions semi-remorques, est mise en place par niveleuse et compacteur, avec humidification par camion citerne équipé de rampe d'arrosage.

### 6.3 - Couche de fondation

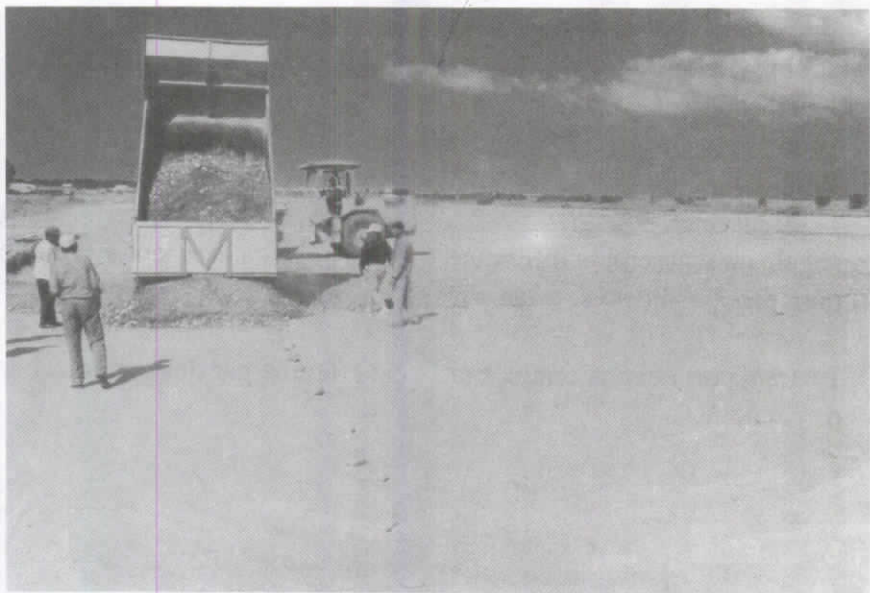
#### Chaussées neuves (Tétouan) (Photo 9)

Les matériaux pour grave-ciment traités en centrale à béton ont une teneur en eau égale ou légèrement inférieure (0,5 à 1 point) à la teneur en eau donnant l'optimum proctor modifié, fixée par les études de laboratoire.

Le transport des matériaux traités est effectué par des camions benne de 8 m<sup>3</sup> de capacité.



(Photo 6)



(Photo 7)



(Photo 8)

La couche support est préalablement arrosée avant le répandage des matériaux traités.

Ceux-ci sont mis en place par un finisseur, muni d'un palpeur électronique

Les couches de fondation sont réalisées en bandes de même sens que les bandes béton, les joints de construction étant disposés dans l'axe des dalles pour éviter la superposition des joints de grave-ciment et des dalles béton qui pourrait favoriser le phénomène de "pompage" au niveau des joints.

Le matériau est répandu en une seule couche.

Le compactage est effectué par des rouleaux vibrants (largeur 2,20 m - Poids 13 tonnes), suivant le nombre de passes défini par les planches d'essais et par compacteur.

La surface est fermée par passages de compacteur à pneus de 27 tonnes.

Après exécution, la grave-ciment est maintenue humide par pulvérisation d'eau par camions citernes équipés de rampes d'arrosage.

Enfin, un enduit d'imprégnation est réalisé sur la grave-ciment dans le but de désolidariser la dalle en béton de son support et ainsi d'éviter la remontée dans la dalle des fissurations de retrait de la couche de fondation

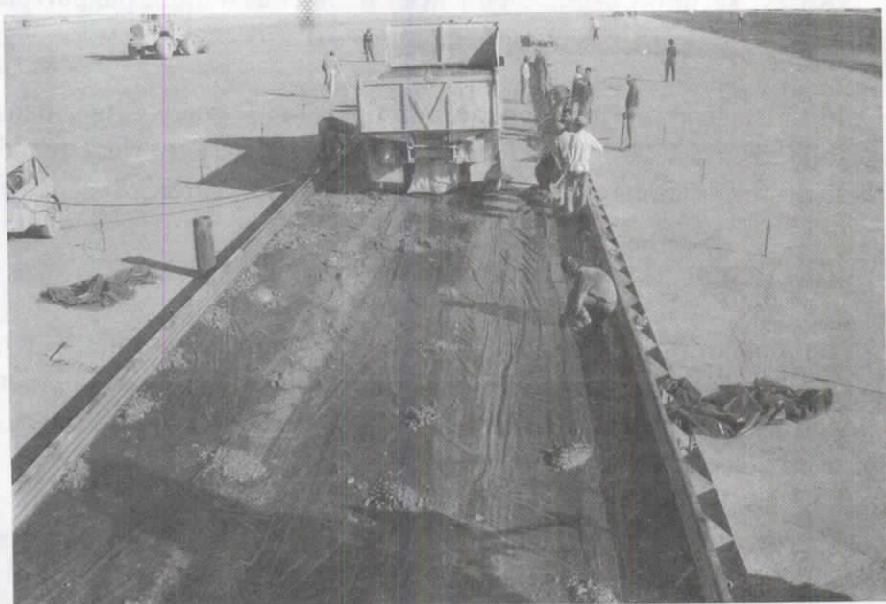
### **Renforcement (Errachidia) (Photo 10)**

La couche de fondation en GNB mise en place pour les seuils, les raquettes et l'extension du parking, a été imprégnée au cut-back 0/1. Cette imprégnation, en imperméabilisant la surface, évite une perte d'eau du béton de revêtement à sa mise en place, à travers le tout-venant.

La surface des enrobés du parking existant présentait des fissures et un faïençage très prononcés. Pour empêcher la remontée des fissures du support dans la dalle béton, il a été intercalé une feuille de plastique polyane entre la dalle et la fondation. (PHOTO).



(Photo 9)



(Photo 10)

#### 6.4 - Béton de dalle (Photo 11 et 12)

Le transport du béton entre les centrales à béton et la machine de répandage est assuré par camions de 8 m<sup>3</sup> de capacité, soit 5 m<sup>3</sup> de béton en place.

La mise en place du béton est réalisée par:

a) une machine à coffrage glissant (SLIPFORM PAVER) de grande capacité, spécifiquement conçue pour la mise en place du béton en grand rendement et fonctionnant comme suit:

- \* le béton déversé par les camions benne devant la caisse de la machine est distribué par un répartiteur coulissant réglable en hauteur

- \* la mise en place du béton est effectuée par vibration à l'aide d'une série de pervibrateurs hydrauliques de fréquence réglable.

- \* le moulage du béton est réalisé par la plaque d'extrusion de la machine au moment où le béton est rendu liquide par la vibration

- \* une talocheuse mécanique, placée à l'arrière de la machine, élimine les bulles d'air produites par la vibration et fait ressortir de la dalle le mortier permettant le traitement de surface.

La machine est montée sur 4 chenilles indépendantes. Elle est commandée automatiquement par des palpeurs de cordeau donnant la direction et le nivellement par l'intermédiaire d'électrovannes agissant sur vérins.

Les cordeaux sont constitués de fils métalliques tendus sur supports espacés de 5 mètres.

Les premières bandes longitudinales sont coulées entre les coffrages fixes à face ondulée sinusoïdale de manière à éviter le risque de déformation des bords de dalle. En effet, les pistes d'aéroport ne doivent présenter ni bosses ni flaches (la tolérance est de 3 mm sous la règle de 3m).

Lors du coulage des bandes longitudinales intermédiaires, la machine prend appui sur le béton précédemment coulé qui est protégé par des bandes caoutchouc placées sur le parcours des chenilles.

b) une plateforme de travail indépendante et automotrice pour effectuer les retouches éventuelles et la finition derrière la machine.

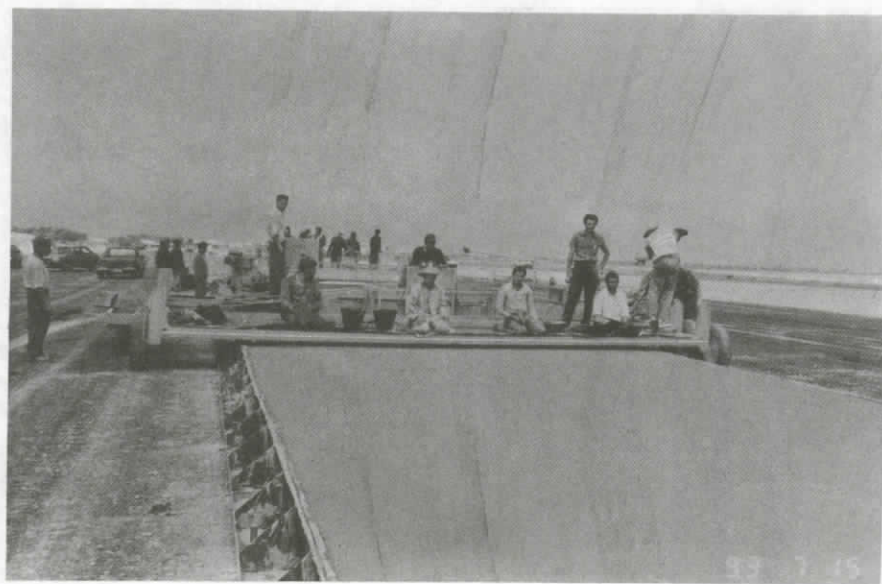
### **6.5 - Striage transversal (Photo 13)**

La rugosité de la surface du béton est obtenue par un striage transversal sur béton frais.

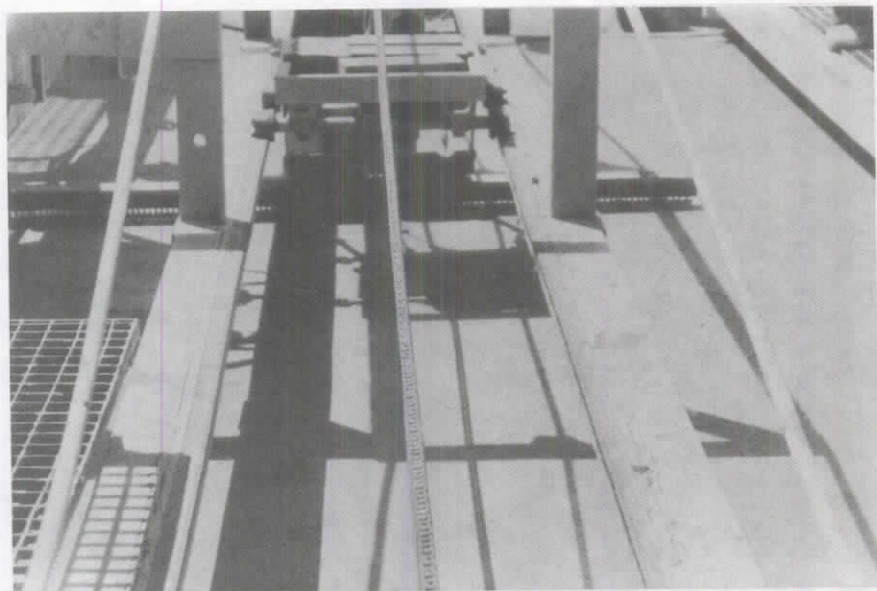
Le striage a pour but d'améliorer le drainage et la rugosité des dalles. Il est réalisé à partir d'une plateforme de travail (Worhnan's Platform) indépendante automotrice équipée de roues à pneumatiques circulant à l'extérieur de la bande coulée. Cette plateforme supporte un chariot coulissant transversalement aux dalles qui entraîne sur la surface du béton un strieur à brins plastiques spécialement conçu pour cet usage.



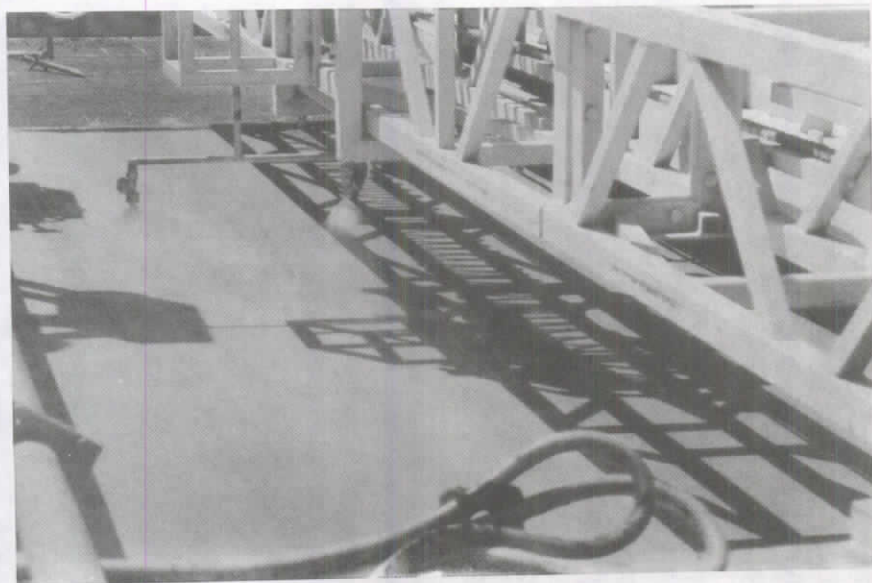
(Photo 11)



(Photo 12)



(Photo 13)



(Photo 14)

## **6.6 - protection de la surface du béton produit de cure (Photo 14)**

Afin de protéger la surface du béton d'une évaporation trop rapide entraînant la dessiccation du béton, un film imperméable est pulvérisé.

Ce film, réalisé, doit être appliqué dès la disparition du brillant c'est-à-dire la laitance de ressuage à la surface du béton (surface mate).

Le répandage s'effectue à l'aide d'une plateforme de travail identique à celle utilisée pour le striage, équipée d'une machine automotrice à pulvérisant sous pression.

Le dosage prévu est de 200 g/m<sup>2</sup>.

la protection est complétée sur les flancs des dalles par application manuelle avec pistolet à air.

## **6.7 - Exécution des joints**

### **6.7.1 - Joints de construction longitudinaux (Figure 4 et Photo 15)**

Après l'exécution des premières bandes de bétonnage, les trous pour scellement des barres de liaison sont forcés à mi-hauteur des flancs de dalle. Les barres sont en acier crénelé de 20 mm de diamètre et de 60 cm de longueur. Elles sont scellées à la résine dans les trous de foration des premières bandes et noyées dans des dalles adjacentes.

Les joints sont sciés en dernière phase par scie à sols à disque diamanté sur 4 cm de profondeur et 10 mm de largeur.

Remplissage en produit de joint.

### **6.7.2 - Joints de construction transversaux (Figure 5)**

Ces joints sont réalisés lors des arrêts en fin de répandage.

La dalle bétonnée est réalisée et coffrée de façon à obtenir un bord franc vertical.

Des goudjons en acier doux de 16 mm de diamètre, de 60 cm de longueur et espacés de 60 cm, sont introduits dans le béton frais pour assurer la jonction et le transfert des charges à la reprise de bétonnage.

Les joints sont sciés en dernière phase sur 4 cm de profondeur et 10 mm de largeur.

Remplissage en produit de joint.

### **6.7.3 - Joints de raccordement avec l'ancienne piste (Figure 6)**

A la jonction de la zone d'extension avec la piste existante, a été créée une dalle de transition en béton armé de 5 m de largeur, 20 cm d'épaisseur sur toute la largeur de la piste.

Le goudjonnage du joint de dilatation est constitué de barres en acier de diamètre 20 mm, de longueur 60 cm espacées de 30 cm et mises en place à la résine dans des trous forcés dans la dalle existante.

Lors du coulage à la reprise, les barres sont enfilées dans un tube plastique et munies d'une réservation de 5 cm dans leur prolongement, afin de permettre la fibre dilatation des dalles.

Lors du coulage de la dalle, le joint de dilatation est constitué d'un corps de joint compressible en polystyrène expansé de 20 mm d'épaisseur. La partie supérieure du joint est garnie par le produit de joint.

### **6.7.4 - Joints de retrait-flexion transversaux (Photo 16)**

Ces joints sont réalisés perpendiculairement à l'axe des bandes longitudinales de bétonnage, avec un espacement de 5 m.

Ils sont sciés, à l'aide d'une scie à sol à disque diamanté, sur une profondeur égale au 1/4 de l'épaisseur du béton soit 75 mm, et une largeur de 3 mm. La planche d'essai permet de déterminer le moment optimal pour scier les joints: le béton doit être assez résistant pour ne pas désagréger sous la lame et le sciage doit avoir lieu avant l'apparition des fissures de retrait.

La partie supérieure du joint est sciée à nouveau sur 4 cm de profondeur et 1 cm de largeur pour créer la réserve du produit d'obturation (Accoplast V).

### **6.7.5 - Garnissage des joints (Figure 7)**

Le produit utilisé pour le garnissage des joints est à base de brai de houille, de polymères de synthèse, de charges minérales et de différents adjuvants et stabilisants.

Avant garnissage, les joints sont brossés et nettoyés à l'air comprimé. Un fond de joint comprimant est mis en place avant l'application de l'accoplast pour permettre à ce dernier de se dilater dans les deux sens et de ne pas déborder en surface sous l'effet du mouvement des dalles. Le produit est préparé à raide d'un fondoir à bain d'huile équipé d'un malaxeur. La température d'application du produit est de 120°C. La mise en oeuvre se fait par pompe pneumatique.

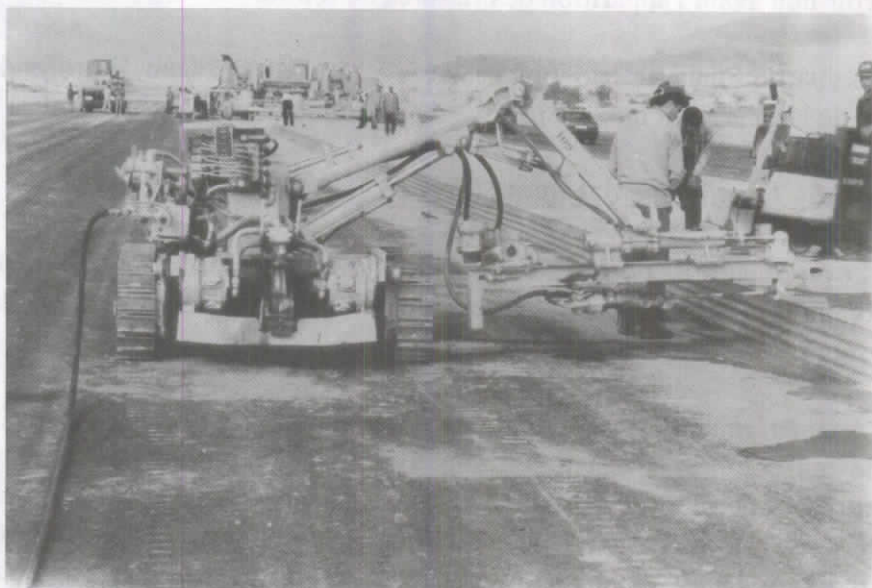
### **6.8 - Accotements et caniveaux d'assainissement**

L'épaisseur des dalles en béton des accotements étant de 15 cm, le béton utilisé correspond à la classe B2 du C.P.C, de caractéristiques suivantes:

- \* granulométrie 0/25
- \* dosage en ciment 350 kg/m<sup>3</sup>
- \* résistance nominale à 28 j
  - 270 bars à la compression
  - 22 bars à la traction

Les accotements sont exécutés par bandes longitudinales de façon identique aux dalles de piste, à l'aide de la machine Paver GOMACO et des plateformes de travail.

La forme en "V" du caniveau d'assainissement a été confectionnée en coffrage métallique directement soudé sur la place d'extension de la machine. De cette manière, le caniveau a été coulé en continu avec la dalle béton de l'accotement.



(Photo 15)



(Photo 16)

## **6.9 - Aménagement de la bande**

La bande de piste a été par la suite nivelée et réglée par bulldozer et niveleuse, suivant les pentes du projet des fils d'eau latéraux. Les terres excédentaires ont été évacuées en décharge.

## **7 - DEROULEMENT DU CHANTIER**

### **Pour Tétouan**

L'ordre de service de commencer les travaux a été donné le 20 Avril 1993.

Les problèmes d'emprise, puis les intempéries ont décalé le démarrage effectif des travaux au 4 juin 1993.

Les terrassements et la mise en place de la couche de forme ont été achevés le 20 juin 1993.

La couche de fondation en grave-ciment de la piste a été réalisée du 20 juin au 7 juillet 1993.

La dalle en béton de la piste, le 15 juillet 1993, a été achevée le 30 juillet 1993.

La production moyenne journalière a été de 550 m<sup>3</sup>, avec des pointes de 750 m<sup>3</sup> par jour, représentant 450 ml de bande ou 2500 m<sup>2</sup> de béton.

Les accotements et la bretelle ont été réalisés en 10 jours du 16 au 25 août 1993.

Les délais très courts impartis ont été respectés et le premier appareil Boeing 737 s'est posé le 30 juillet 1993, comme prévu, sur la nouvelle piste de l'Aéroport de Tétouan qui est resté ouvert à la circulation aérienne pendant toute la durée des travaux.

## **Pour Errachidia**

Les travaux de réalisation de la chaussée rigide ont débuté le 26 septembre 1993 par la planche d'essai.

La construction de la dalle béton a dure 22 jours comme suit:

- \* seuil 31, soit 8 300 m<sup>2</sup>, du 2/10 au 6.10.93
- \* parking avion, soit 24 200 m<sup>2</sup>, du 7.10 au 18.10.93
- \* seuil 13, soit 8 300 m<sup>2</sup>, du 19.10 au 23.10.93

La cadence moyenne de réalisation est de 1 850 m<sup>2</sup> de dalle par jour (370 ml de bandes longitudinales).

La cadence maximale de production de béton a été de 780 m<sup>3</sup> représentant 2 500 m<sup>2</sup> de dallage.

## **8 - CONTROLE DES TRAVAUX**

### **8.1- couche de forme en GNT**

Le tout-venant 0/80 placé en première couche de remblai est caractérisé par une densité sèche maximale  $\gamma_d$  max de 2,33 T/m<sup>3</sup> et une teneur en eau optimale de 6,5 %.

La compacité moyenne obtenue est de 89,8 % (pour 87% exigé).

Le tout-venant 0/40 de couche de forme, caractérisé par une densité sèche  $\gamma_d$  max de 2,32 T/m<sup>3</sup> et une teneur en eau optimale de 6%, a atteint une compacité moyenne de 94,6% (pour 92% exigé).

### **8.2 - Couche de fondation en grave-ciment 0/20**

L'essai Proctor Modifié de référence de la grave-ciment a réalisée avec 4% de ciment et donne les caractéristiques suivantes:

- densité sèche maximale:  $\gamma_d \text{ max} = 2,35 \text{ T/m}^3$
- teneur en eau optimale:  $w \text{ optimale} = 7\%$

Les essais de traction directe par fendage réalisés à 7 jours ont donné les performances mécaniques suivantes:

|                  | DENSITE<br>EN T/m <sup>2</sup> | TRACTION<br>EN MPa | VALEUR<br>MOYENNE<br>MPa |
|------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------|
| Nombre de valeur | 30                             | 30                 | 10                       |
| Valeurs moyennes | 2,29                           | 0,67               | 0,67                     |
| Maximum          | 2,31                           | 1,00               | 0,93                     |
| Minimum          | 2,27                           | 0,51               | 0,52                     |
| Ecart type       | 0,012                          | 0,15               | 0,15                     |

La résistance à la traction moyenne obtenue est comprise entre 0,52 et 0,93 MPa, conforme aux exigences de CPS (0,5 MPa).

La compacité obtenue sur les éprouvettes varie de 96,6 à 98,3 % avec une moyenne de 97,5 %.

### 8.3 - Béton de ciment

Les essais de convenue réalisés ont donné les résultats suivants:

## Tétouan

- rapport  $E/C = 0,42$
- rapport  $G/S = 1,86$
- slump test = 1,5 cm
- densité = 2,58 T/m<sup>3</sup>
- traction par flexion à 7 jours = 47,5 bars

Les résultats de résistance à la traction à 7 jours confirmant celui de l'étude, le démarragedes travaux de dallage a été ordonné.

Les analyses sur béton frais des dalles de la piste et des bretelles ont donné les valeurs moyennes suivantes:

- rapport  $E/C = 0,44$
- rapport  $G/S = 1,91$
- slump test = 1,9 cm

## Errachidia

- rapport  $E/C = 0,42$
- rapport  $G/S = 1,94$
- slump test = 2,7 cm
- densité = 2,52 T/m<sup>3</sup>
- traction par flexion à 7 jours = 47 bars

Le résultats de résistance à la traction à 7 jours a confirmé celui de l'étude.

Les analyses sur béton frais des dalles de la piste et des bretelles ont donné les valeurs moyennes suivantes:

- rapport  $E/C = 0,45$
- rapport  $G/S = 2,02$
- slump test = 2,6 cm

Les résistances à 28 jours ont été supérieures aux valeurs recommandées (60 bars).

## CONCLUSION

Les chaussées rigides sont généralement préconisées pour le revêtement des aires aéronautiques présentant des conditions d'utilisation particulières:

- chaussée pouvant être attaquées par des hydrocarbures ou par la chaleur émanant du souffle des réacteurs d'avion

- zones exposées à des efforts tangentiels importants (freinage, virages très serrés) pouvant provoquer des arrachements de revêtement - zones exposées à des charges statiques qui peuvent provoquer le fluage des enrobés et la formation d'ornières

Les zones justiciables d'une chaussée rigide sont donc les suivantes:

- \* les aires de stationnement: parking avions
- \* les aires d'attente en extrémité de piste: seuils
- \* les aires de manoeuvre en extrémité de piste: raquettes et bretelles

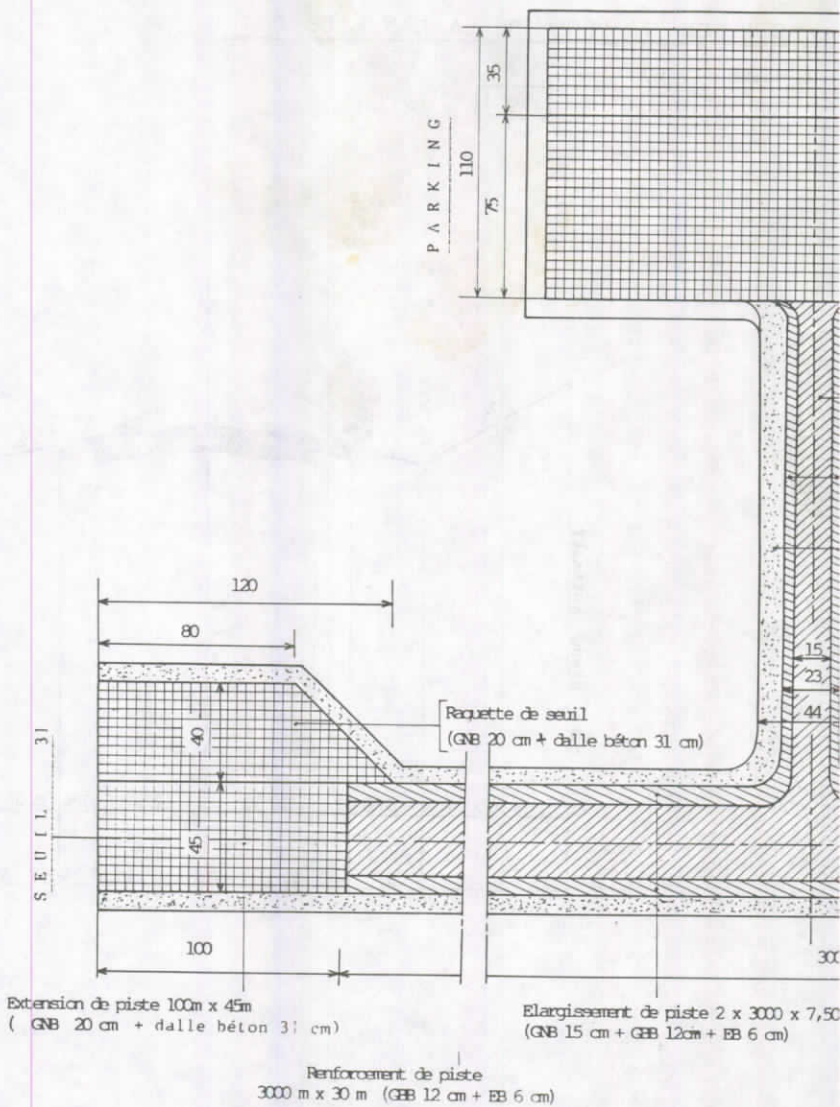
Ainsi dans le cadre des travaux d'élargissement et de renforcement des aires de manoeuvre de l'Aéroport d'Errachidia, les zones parking et seuils de piste ont été réalisées en chaussées rigide.

D'autre part, lorsque les sols, support de la chaussée, sont de portance faible (indice CBR inférieur à 10), la construction de la chaussée rigide devient plus rentable que celle de la chaussée souple.

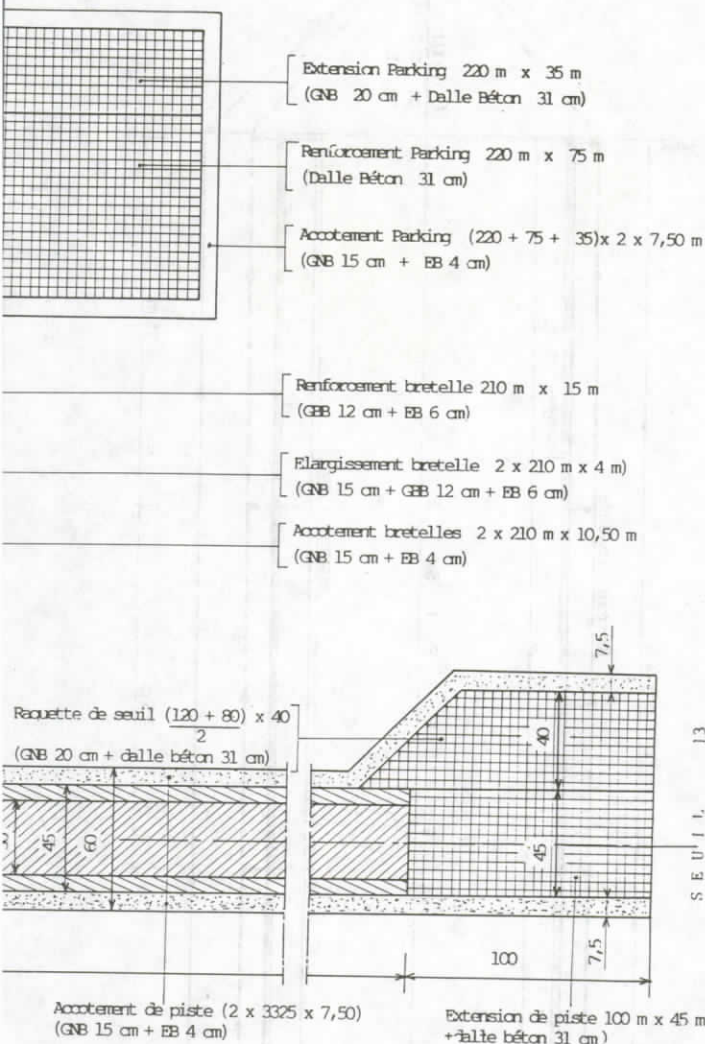
C'est le cas de l'extension de la piste d'envol de l'aéroport de Tétouan, dont les sols ont un indice portant CBR égal à 3, et pour laquelle le dimensionnement d'une chaussée souple, pour la charge du Boeing 737, conduit à une épaisseur équivalente de 100 cm, et sa construction est presque impossible. En effet, l'état des routes construites, dans la région, en chaussée souple sur ce type de sol gonflant et peu portant est toujours très dégradé, ornières, défaut d'uni, glissement, à la limite acceptable pour les routes, mais incompatible avec les contraintes de profil en long et de profil en large très exigeant des chaussées d'aéroports.

Par ailleurs, les chaussées rigides ont une durée de vie très longue, alors que les chaussées souples nécessitent un renforcement tous les 10 ans avec un traitement antikérozène et des réfection fréquentes de fissures, ... En résumé, la technique des chaussées en béton hydraulique devrait trouver au Maroc un large éventail d'application notamment dans le domaine des infrastructures aéronautiques.





Ech. 1/2000 è

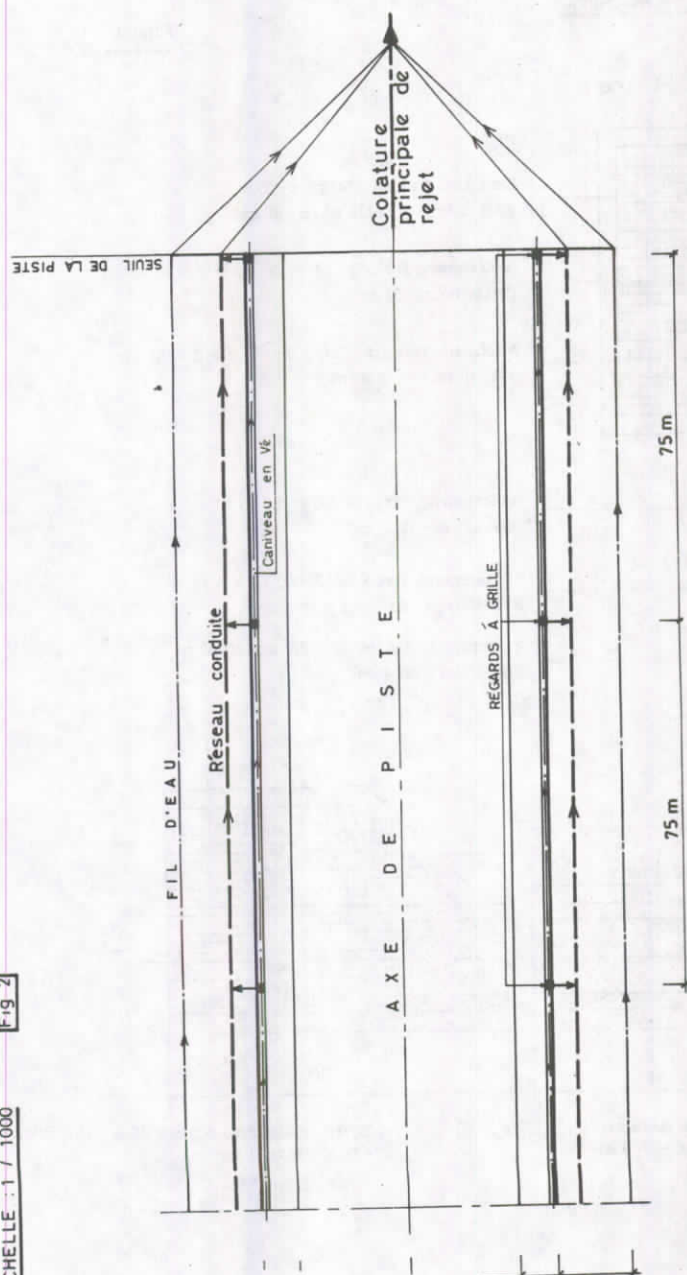


AEROPORT DE TETOUAN EXTENSION DE LA PISTE

PRINCIPE D'ASSAINISSEMENT

ECHELLE 1 / 1000

Fig 2

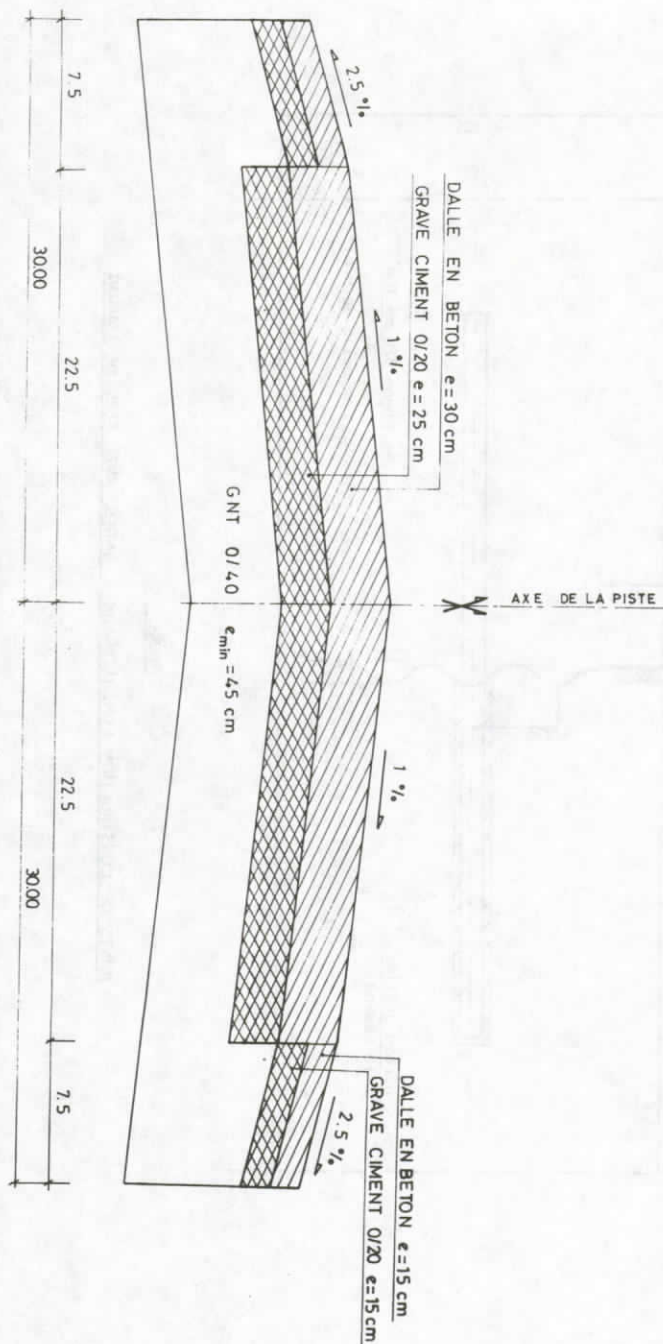


AEROPORT DE TETOUAN - EXTENSION DE LA PISTE -

PROFIL EN TRAVERS DE LA PISTE

ECHELLE : 1 / 250

Fig 3



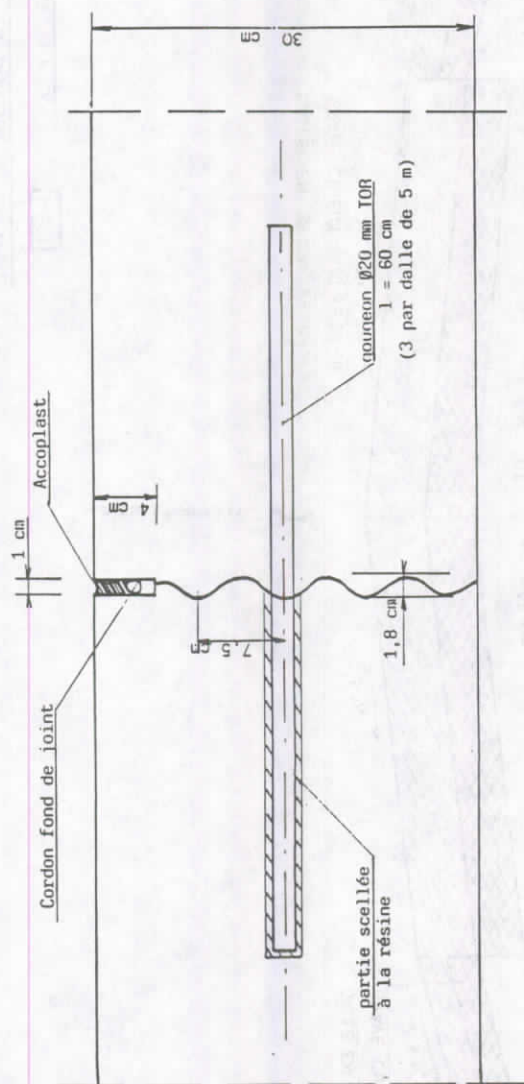


FIGURE 4

JOINTS DE CONSTRUCTION LONGITUDINAUX A ONDES, AVEC FERS DE LIAISON

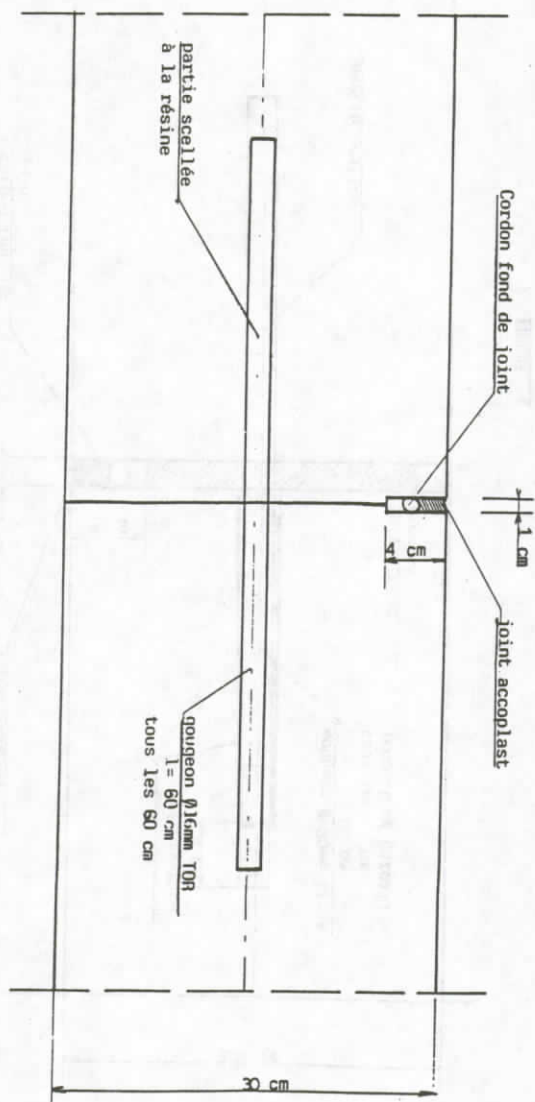


FIGURE 5  
JOINT DE CONSTRUCTION TRANSVERSAL GOUJONNÉ

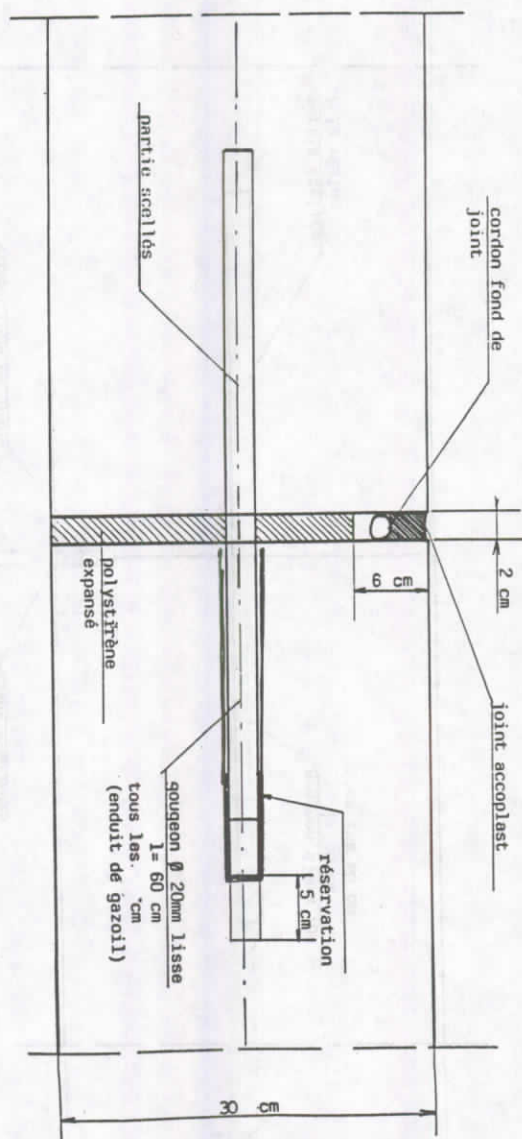


FIGURE 6

JOINT DE DILATATION GOUJONNÉ DANS LA CHAUSSEE RIGIDE