

CHAUSSÉES EN BETON DE CIMENT

Abdelaziz DAHBI  
Directeur du Centre National  
d'Etudes et de Recherches  
Routières  
DRCR

Mohammed RHARBAOUI  
Directeur des Affaires Techniques

Mohammed HIMMI  
Service Etudes Spécifiques  
C N E R

## INTRODUCTION

La gamme d'utilisation des liants hydrauliques dans la technique de construction des chaussées a évolué et s'est diversifiée.

Les caractéristiques de ces chaussées traitées aux liants hydrauliques, varient selon le dosage en ciment et le mode de compactage :

- Compactage par pervibration : réservé au béton, de ciment dosage supérieur à 300 kg/m<sup>3</sup> (de 330 à 400 kg).

Avec un faible dosage au ciment on a un béton maigre qui s'utilise en couche de fondation dans les chaussées rigides.

- Compactage par rouleau :

.Fort dosage (200 à 300 Kg) : béton compacté (Bc)

.Dosage moyen (100 à 200Kg) : grave hydraulique résistante ( Gh )

.Faible dosage ( 70 - 100Kg ) : Grave ciment ( Gc )

Cette dernière technique, constituant une solution intermédiaire entre le béton de ciment et la grave non traité, a déjà fait l'objet d'une expérimentation au Maroc avec le béton de ciment ( en vraie grandeur : RP 3). Il en est de même du béton de ciment.

En effet, les matériaux traités aux liants hydrauliques et plus spécialement les chaussées rigides en béton de ciment, ont été développés dans divers pays depuis longtemps du fait de la crise de l'énergie ou plus exactement de la hausse successive du prix de bitume .

Un renversement de tendance en faveur du béton, reste possible du fait de la pénalisation des chaussées traditionnelles (structure souple) due à l'évolution rapide du prix des liants hydrocarbonés.

Pour la technique des chaussées en béton, il existe normalement un marché potentiel :

Les routes, les aérodromes, les voiries urbaines...

Le présent rapport a pour but de présenter la technique des chaussées en béton de ciment et les choix qui ont été faits au Maroc dans les différents cas de sol et de leur comparaison avec les structures souples équivalentes tant sur le plan financier que sur le plan de la consommation d'énergie. En fin du rapport, sont données certaines recommandations générales dont il faut tenir compte pour l'introduction d'une technique nouvelle de construction de chaussée telle que le béton de ciment.

## **1 - TECHNIQUE DES CHAUSSEES EN BETON**

Les réalisations actuelles de chaussées en béton au niveau mondial font appel essentiellement à deux catégories de techniques présentant des différences, tant au niveau de la conception qu'à celui de la réalisation, qu'à celui enfin du comportement, ce sont:

- chaussées en béton non armé (dalles courtes)
  - dalles goudjonnées : BNAG
  - dalles non goudjonnées : BNA
- chaussées en béton armé
  - armature en acier :
    - . avec joints goudjonnées (béton armé discontinu) BAD
    - . sans joint : (béton armé continu) : BAC
  - armature en fibres -(naturelles ou artificielles)

Dans le contexte technico-économique actuel au Maroc, les techniques du béton armé ne sont pas à envisager. La solution retenue est la technique des dalles courtes non armées dont la longueur ne dépasse pas 5m

Cette technique a l'avantage d'être la plus simple à réaliser donc peu coûteuse

### **A - Chaussées en béton**

#### 1 - fondation de la dalle de béton

Dans les chaussées rigides, la couche de fondation quand elle existe ou le sol support (plate-forme)ont une importance toute particulière, car il n'existe pas pour ce type de chaussées de couche de base distincte de la couche de roulement.

Le rôle de la fondation est de satisfaire les critères suivants :

- avoir une portance suffisante pour assurer sans dégradation la circulation de chantier.
- présenter un fin réglage de surface pour une bonne mise en oeuvre de la dalle de béton en épaisseur constante.
- fournir à la dalle de béton un support de matériaux cohérents, stable dans le temps, non sujet à l'érosion sous fort trafic.

- répartir les charges exercées par le trafic en compatibilité avec la qualité de support et l'intensité du trafic.

Outre le trafic, la vitesse de développement des dégradations des chaussées en béton de ciment dépend essentiellement de l'érodabilité de la couche de fondation de l'accotement et de la couche de forme de ces chaussées.

## 2) - Sollicitations de la dalle en béton de ciment

a. Le trafic : C'est plutôt le trafic lourd qui intervient dans le trafic des chaussées par son importance, par les dommages que son passage engendre et par l'agressivité de sa charge.

b. Le retrait hygrométrique . Ce retrait est causé par le départ de l'eau du mélange aussi bien à la phase plastique ( avant prise ) qu'à la phase solide ( après prise ) .

c. Contraction et gradient thermique : Le gradient de température, l'évaporation et le retrait thermique nocturne, provoquent les risques de fissuration de béton .

## 3) - Pompage des chaussées en béton

L'expulsion d'eau et de fines à travers les joints appelé pompage, est causé par l'effet dynamique dû au passage des essieux sur les joints transversaux. Ce phénomène est accentué en présence des fondations érodables et peut conduire à l'apparition de dénivellations entre les abouts de deux dalles adjacentes plus connues sous : " marches d'escaliers " .

Ce phénomène de mise en marche d'escalier, devrait être évité (ou du moins réduit) par des goudrons ou par une surcharge du côté voie lourde.

## B - Caractéristiques de la dalle en BC

### 1) - Qualité structurelle

Dépendante de la technique employée, BNA, BNAG, BAD, BAC.

### 2) Qualité de la surface de roulement

Dépendante essentiellement des éléments suivants :

. La largeur supplémentaire à la largeur normale de circulation "sur largeur" est à prévoir pour éviter la dégradation du bord de la dalle au contact "dalle-accotement " et limiter le pompage pour les forts trafics.

. La texture superficielle (macrotecture et microtexture ) a un niveau de rugosité qui dépend essentiellement de la méthode de mise en oeuvre de la texture : brossage , striage, cloutage ou dénudage.

Les joints réalisés sont de plusieurs types :

- joints de retrait-flexion : transversaux ou longitudinaux avec une profondeur de 1/3 à 1/5 de l'épaisseur de la dalle

- joints de construction :

- . transversaux (arrêt de bétonnage en fin de journée)
- . longitudinaux (bétonnage par bande ).

### 3) - Qualité de protection contre les effets de l'eau : drainage

la protection contre les effets de l'eau s'effectue :

. En évitant les entrées de l'eau par les joints, les fissures et les accotements .

. En évitant l'érosion de la surface de fondation (érodabilité).

. En assurant l'évacuation des eaux se trouvant sous la dalle, en dehors de la chaussée par drainage. En présence de l'eau, la vitesse de dégradation ou de fatigue de la chaussée est plus rapide .

### C - Choix du mode de transfert de charge

Au niveau des joints transverseaux (de retrait-flexion) des dalles courtes (4 à 6 m) l'enjeu du choix entre goujonner et non goujonner est énorme, tant à cause du coût des dispositifs de transfert de charge que par les conséquences graves qui peuvent résulter de l'absence de ces dispositifs.

Les facteurs qui interviennent dans le choix du goujonage sont schématisés dans le tableau ci-après :

| CONDITIONS                                           | CHOIX | NE PAS GOUJONNER<br>(NG) | GOUJONNER<br>(G) |
|------------------------------------------------------|-------|--------------------------|------------------|
| TRAFIC                                               |       | FAIBLE                   | ELEVE            |
| CLIMAT                                               |       | ARIDE                    | NON ARIDE        |
| ERODABILITE DE LA<br>FONDATION                       |       | FAIBLE                   | FORTE            |
| DRAINAGE DE CONTACT-<br>BETON FONDATION              |       | EFFICACE                 | NON ASSURE       |
| EFFETS DES CIRCONSTANCES<br>TECHNIQUES OU ECONOMIQUE |       | LENTE                    | RAPIDE           |
| SUR LA MISE EN MARCHE<br>D'ESCALIER                  |       |                          |                  |

Tenant compte des 3 principaux intervenants (trafic, climat, érodabilité), on peut établir un tableau de choix comme suit selon les matériaux de fondation :

| SEVERITE<br><br>DU<br>CLIMAT | PLUVIOMETRIE        |                 |                 | Nbre de jours                    |                 |                |                     |                 |                      |
|------------------------------|---------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|----------------|---------------------|-----------------|----------------------|
|                              | S U D 50            |                 |                 | CENTRE NORD 150 j(pluie 1/10 mm) |                 |                |                     |                 |                      |
|                              | FAIBLE              |                 |                 | MOYENNE                          |                 |                | FORTE               |                 |                      |
| Support                      | Sol<br>sans<br>fond | Grave<br>ciment | Béton<br>maigre | Sol<br>sans<br>fond              | Grave<br>ciment | Béton<br>maigr | Sol<br>sans<br>fond | Grave<br>ciment | Béton<br>mai-<br>gre |
| Trafic V/j                   |                     |                 |                 |                                  |                 |                |                     |                 |                      |
| T 4                          | NG                  | NG              | NG              | NG                               | NG              | NG             | NG                  | NG              | NG                   |
| T 3 750                      | NG                  | NG              | NG              | G                                | NG              | NG             | G                   | NG              | NG                   |
| T 2 200                      | NG                  | NG              | NG              | G                                | NG              | NG             | NV                  | G               | NG                   |
| T 1 70                       | G                   | NG              | NG              | NV                               | G               | NG             | NV                  | G               | NG                   |
| T 0                          | G                   | G               | NG              | NV                               | G               | NG             | NV                  | G               | NG                   |

NV : La structure n'est plus convenable.

G : le goujonnage est nécessaire .

NG : à ne pas goujonner .

## II- FAISABILITE TECHNIQUE

### A - Les matériaux

#### 1) - Liant hydraulique : ciment

Il y a une dizaine d'années le Maroc s'est orienté vers le développement d'une industrie cimentière nationale, en vue de satisfaire les besoins de la consommation locale (figure n° 1).

La capacité totale de production actuelle de ciment au Maroc est de 6,15 millions de tonnes/an (5,19 Mt/an après la fermeture de l'usine "LAFARGE - CASA" ).

Avec une production totale de 3,85 Mt en 85 et 3,52 Mt en 83, les 9 usines, ouvertes actuellement, tournent à 57% de leur capacité (68% après fermeture de LAFARGE - CASA) pour une réalisation de 150 km de chaussées en béton en deux voies, la quantité de ciment nécessaire (0,10 Mt) ne présente que 3% de la consommation nationale .

La qualité de ciment produit ( CP A Z 325) ne pose aucun problème pour la fabrication de béton routier de haute résistance.

#### 2) - Les granulats

On trouve en général dans l'ensemble du Maroc, des ressources aptes à fournir des matériaux granulaires dont la grande partie est constituée du calcaire qui ne répond pas souvent aux spécifications actuelles pour chaussées souples mais qui peut être employé dans les chaussées en béton de ciment .

### B - L'environnement climatique et conditions géotechniques du sol.

Les conditions climatiques et du sol sont favorables pour la technique des chaussées en béton au Maroc, du fait de l'absence du gel et de la non sévérité du régime des pluies.

Pour une diminution de l'effet défavorable de certaines paramètres, des dispositions particulières peuvent s'imposer dans certains cas pendant la conception des structures et l'exécution des travaux.

Une faible variation de température journalière ou saisonnière présente l'avantage de limiter les mouvements aux joints dûs à la dilatation et au retrait du béton.

Il est à noter que les structures rigides sont déconseillées dans le cas de sols instables ou compréssibles sans dispositions particulières.

Figure n° 1 : Evolution de la consommation et de l'importation de ciment

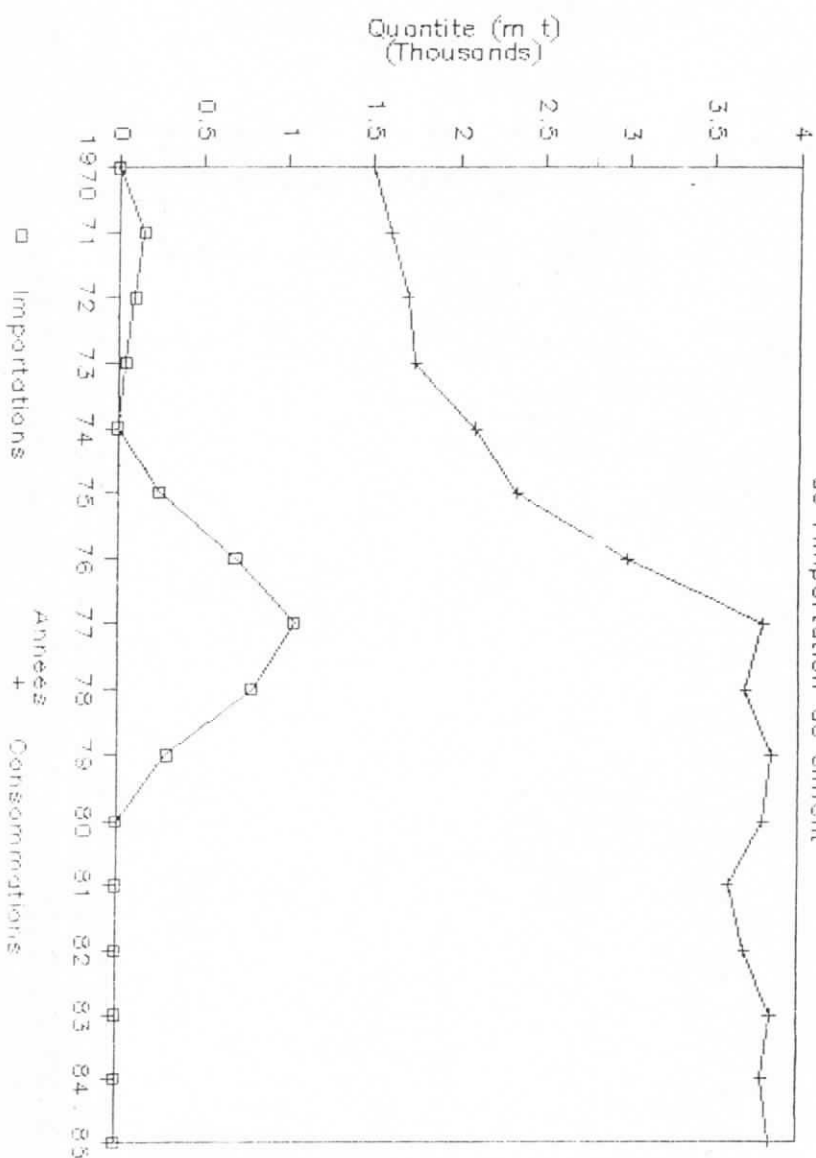
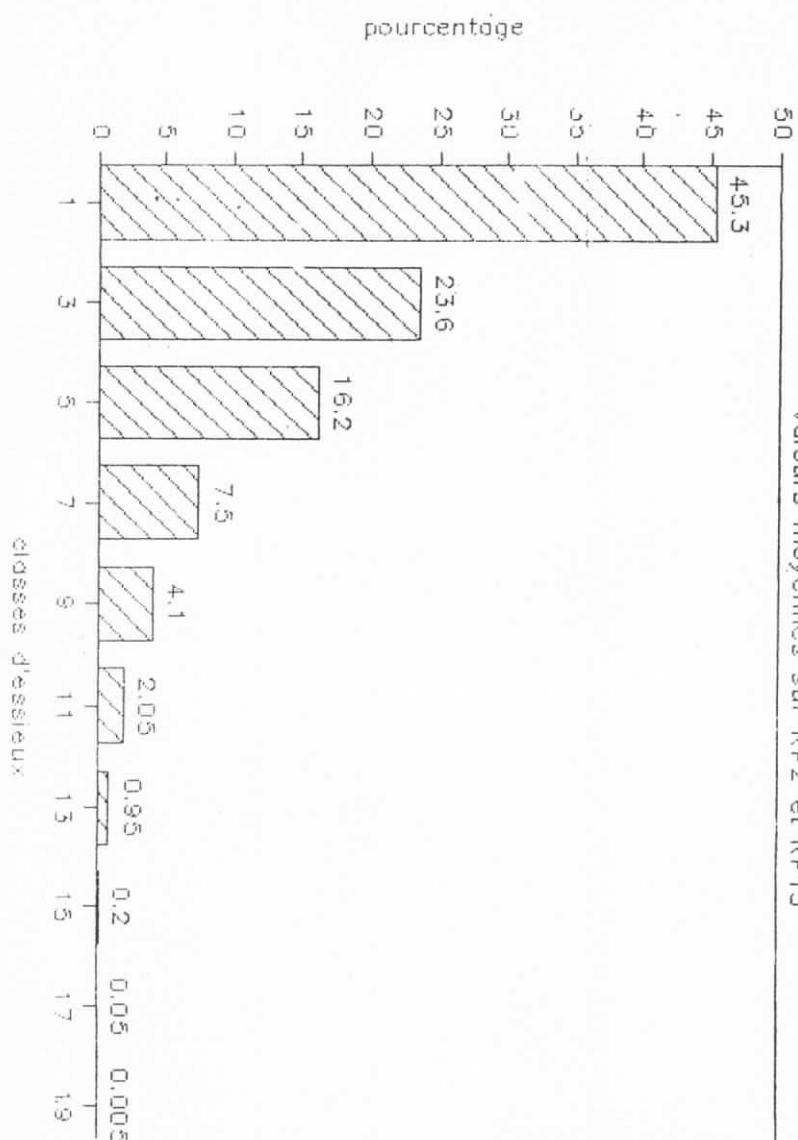


Figure n° 2 : Histogramme des poids d'essieux  
valeurs moyennes sur RP2 et RP13



## C - Le trafic

Le trafic et notamment le trafic poids lourd est l'un des paramètres prépondérants du dimensionnement des chaussées en béton.

La déduction du nombre d'essieux équivalents à l'essieu réglementaire de 13T, s'effectue à partir du spectre des essieux ( figure n°2 ). Une appréciation fine du trafic permettra sûrement de réaliser des économies de dépenses au niveau de dimensionnement ou d'éviter une dégradation rapide de la chaussée.

Pour ce faire, on doit disposer d'éléments fiables sur l'évaluation du trafic, de son évolution et de sa décomposition ( spectre du trafic ).

## D - Facteurs de réalisations

Pour un projet convenablement établi c'est à dire que l'étude a été correctement faite et que les spécifications exigées ont été bien respectées en ce qui concerne le choix des dosages et des caractéristiques des granulats et des liants, des erreurs ou des variations à la fabrication ou à la mise en oeuvre provoquent la destruction totale ou partielle ( par fatigue prématurée ) de la chaussée dans un délai plus court que celui prévu initialement.

\*A la fabrication Les problèmes pouvant apparaître sont :

- la qualité des granulats ( pollution... )
- le non respect de la composition définie au laboratoire et adaptée par les essais de convenance.

\* A la mise en oeuvre : On cherche à mettre convenablement en place l'épaisseur déjà définie, à ce stade les problèmes pouvant apparaître sont :

- le non respect de l'épaisseur : une faible sous épaisseur peut raccourcir considérablement la durée de vie de la chaussée en béton.
- Un compactage incorrect : Ceci peut conduire à des conséquences désastreuses sur la qualité de la chaussée.

Les deux principales sources de ces défauts ou erreurs sont soit le personnel, soit le matériel.

### 1) - Personnel

Comme toute technique nouvelle, la chaussée en béton nécessite une formation spécifique.

Etant donné qu'on doit avoir sur le chantier en nombre suffisant, un personnel "de conduite" qui soit compétent, stable et conscient, il est indispensable de trouver ce personnel et de le former.

Il est aussi indispensable de disposer d'une équipe de contrôle, compétente et très incorporée à la marche générale du chantier.

La technicité et l'expérience sont à apprendre au personnel (même pour les petits travaux en volume).

La régularité entre fabrication, transport et mise en oeuvre constitue une opération aussi importante que les autres.

## 2) - Matériel de réalisation

Le matériel nécessaire à la réalisation des chaussées en béton doit assurer:

- Une vibration interne du béton (pervibration).
- Un coffrage latéral, au moins pour quelques dizaines de secondes en cas de coffrages glissants.
- Un sciage des joints.
- Un striage de la surface de la chaussée.

Le matériel de mise en oeuvre du béton dans les chaussées est de deux types ( tableau n° 1) :

\*à coffrage fixe : régles vibrants, poutres à chariots ou finisseurs sur coffrages.

\* à coffrage glissant : finisseurs ( légers, moyens ou lourds).

Le Pac type du matériel nécessaire à la fabrication et à la mise en oeuvre du béton peut être arrêté comme suit :

| Opération      | Grands chantiersBCA                                                                | Petits chantiers BCB                                                  |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Fabrication    | Centrale de BC (80)<br>Groupe électrogène<br>220 kva<br>Chargeuse à pneus<br>10T   | Centrale (20m <sup>3</sup> )<br>ou bétonnières.<br>Groupe électrogène |
| Mise en oeuvre | Machine à coffrage<br>glissant<br>Machine sciage<br>Appareil de cure et<br>striage | Règle vibrante<br>Couteau vibrant(joint)<br>Appareil de cure          |

La comparaison de ces deux ateliers sur le plan financier au niveau de l'investissement en millions de dh est la suivante :

| Chantier | Grands chantiers<br>(BCA) | Petits chantier<br>(BCB) | Atelier<br>pour GB<br>et BB |
|----------|---------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Montant  | 8,2                       | 1,4                      | 11,3                        |
| en MDH   |                           |                          |                             |

#### E - Choix des structures

La technique choisie est celle des dalles courtes non armées d'une longueur ne dépassant pas 5 m. Le choix entre le goujonnage ou le non goujonnage de ces dalles est fonction des conditions de climat, du type de fondation et du niveau de trafic.

L'approche poursuivie pour le dimensionnement se base sur le comportement des structures ( théorie des plaques élastiques) et l'influence de la fatigue en flexion alternée de la dalle de BC sous l'action du trafic et de la température.

Tableau n°1: Matériel de mise en place du béton de ciment.

|                                                            |                                     |                                      |                                          |                                    |                                     |                                   |
|------------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
|                                                            | Règle vibra-<br>nte.                | Poutres à cha-<br>riots.             | Finisseurs sur<br>coffrages              | Finisseurs<br>coffr gliss<br>léers | Finisseurs<br>coffr gliss<br>moyens | Finisseurs<br>gliss.<br>Lourds    |
| Principe de<br>fonctionnement                              | Manuelle<br>Ext. dirigée<br>Intégré | Automatique<br>Mixte<br>Intégré      | Auto.séparé<br>Extér.ou Inter<br>Intégré | Automatique<br>Interne<br>Intégré  | Automatique<br>Interne<br>Intégré   | Automatique<br>Interne<br>Intégré |
| Contraintes<br>d'utilisation                               | Peu contrai<br>très aisée<br>2 à 4  | Régulière<br>moyen. contrai<br>3 à 5 | Peu contrai<br>très contrai<br>3 à 5     | Cont régul<br>Autonome<br>4        | Cont. Régul<br>Autonome<br>4        | Cont régul<br>Autonome<br>4       |
| Alimentation<br>Maintenance<br>Main d'oeuvre<br>Avancement | 70h/km                              | 30h/ km                              | 30h/km                                   | 10h/km                             | 10h/km                              | 10h/km                            |
| performances                                               | STD 8h/j                            |                                      |                                          |                                    |                                     |                                   |
| Cadences(m <sup>2</sup> /j)                                | 400 à 600                           | 1000 à 1500                          | 500 à 1500/h                             | 600 m <sup>3</sup> /j              | 500 à 800m <sup>3</sup> /j          | 300 à 1000m <sup>3</sup> /j       |
| Cadences(m <sup>3</sup> /h)                                | 10 à 15m <sup>3</sup> /h            | 30 à 50 m <sup>3</sup> /h            | 40 à 120 m <sup>3</sup>                  | 120 à 60m <sup>3</sup> /h          | 180 à 120m <sup>3</sup> /j          | 120                               |
| Tolérances                                                 | Aéroport<br>2 à 20 cm               | +10mm/3m<br>6 à 20m                  | Aéroport<br>2 à 12 m                     | Aéroport<br>0,10 à 3,00m           | Aéroport<br>3 à 8 m                 | Aéroport<br>5 à 15 m              |
| larg.travail                                               | 10 à 25 cm                          | 10 à 20 cm                           | 10 à 40 cm                               | 10 à 80 cm                         | 10 à 45 cm                          | 10 à 45 cm                        |
| Epais.s dalle                                              | Bonnes                              | Moyennes                             | Excellentes                              | Excellentes                        | Excellentes                         | Excellentes                       |
| Résistances                                                |                                     |                                      |                                          |                                    |                                     |                                   |

tableau n°1 suite

|                                                                             |                                      |                       |                           |                          |                                                                               |                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Type de chantier                                                            | pte. voirie<br>Répa route<br>Radiers | routes<br>Gds radiers | routes<br>Pistes aéroport | Route<br>voirie<br>V R D | dala. Indus<br>dallage<br>pour exten<br>sion Aéroport<br>Autoroutes<br>Routes | Aéroports<br>Autoroutes<br>Grands canaux   |
| BUDGET<br>Y C frais<br>douaniers<br>= 36% (10% +<br>7,5% + 15%)<br>début 86 | 70 à<br>270 KDH                      | 1100 à<br>2000 KDH    | 540 à<br>2000 KDH         | 1300 à<br>1600 KDH       | 2000 à<br>3400 KDH                                                            | 3400 à<br>5400 KDH                         |
| MATERIEL<br>ANNEXE A<br>PREVOIR                                             | NON                                  | OUI<br>joints         | OUI<br>joints             | NON                      | OUI<br>Aliment<br>latérale<br>Curling                                         | OUI<br>Alimentation<br>latérale<br>Curling |

|                             |                                        |                                                                              |
|-----------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Dénomination                | structure souple<br>(GNT)              | Structure rigide<br>(BC)                                                     |
| Géométrie                   | G N T<br>plate-forme                   | Grave drainante<br>plate-forme                                               |
| Facteur de dimensionnements | Contraintes verticales sur la GNT      | Contraintes de flexion au poinçonnement, érodabilité des couches inférieures |
| Autres facteurs             | Imperméabilité                         | Déplacement des dalles comportement au joint, conditions d'appui.            |
| Difficultés                 | Adaptations du modèle valeurs limitées | Liaisons entre dalles, effet thermique                                       |

#### 1) - Fiches provisoires de structures types

Les structures provisoires sont consignées dans les deux fiches suivantes (figures 3 et 4).

#### 2) - Coupe transversale de la chaussée

##### \* Largeur des chaussées

Les largeurs des chaussées recommandées par l'instruction sur les caractéristiques géométriques des routes en rase campagne peuvent être maintenues provisoirement pour les chaussées en béton avec des surlargeurs adaptées.

#### . chaussées bidirectionnelles à 2 voies de circulation :

- .- largeur de 6 m pour un trafic léger (surlargeur : 0,5m)
- .- largeur de 7 m dans le cas général (surlargeur: 1m)

#### . Chaussées bidirectionnelles à une seule voie de circulation :

- .- largeur de 4 m dans le cas général (surlargeur: 0,5m)
- .- largeur de 3 m pour un trafic léger (surlargeur: 0,5m)

##### \* Pente transversale

La pente transversale à donner à la structure rigide pourra être ramenée à 1,5 % ou 2 %.

##### \* les accôttements

Les structures types provisoires des accôttements pour les chaussées en béton; établies en tenant compte des principales fonctions des accotements sont proposées dans le tableau n° 2 et la figure n°5.

Fiche des structures types en béton de ciment - 1 - Zone humide et semi - humide (Fig. 3 )

| Traffic poids lourds<br>par jours dans 2 sens | T0<br>> 1600                                                                          | T1<br>700 < T < 1600                                                                             | T2<br>250 < T < 700                                                                              | T3<br>50 < T < 250                                                                                   | T4<br>< 50                                                                            |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| S 0                                           | Structure<br>-Distance entre joints<br>-Type de joints<br>-Dispositions particulières | 23cm<br>BC<br>20cm<br>GNB<br>sol<br>5<br>Goujonnés<br>Traitement du<br>sol ou couche<br>de forme | 20cm<br>BC<br>20cm<br>GNB<br>sol<br>5<br>Goujonnés<br>Traitement du<br>sol ou couche<br>de forme | 18cm<br>BC<br>20cm<br>GNB<br>sol<br>4<br>Non Goujonnés<br>Traitement du<br>sol ou couche<br>de forme | 18cm<br>BC<br>sol<br>4<br>Non Goujonnés<br>Traitement du<br>sol ou couche<br>de forme |
| S 1                                           | Structure<br>-Distance entre joints<br>-Type de joints<br>-Dispositions part.         | 23cm<br>BC<br>20cm<br>GNB<br>sol<br>5<br>Goujonnés<br>Traitement du<br>sol ou couche<br>de forme | 20cm<br>BC<br>20cm<br>GNB<br>sol<br>5<br>Goujonnés<br>Traitement du<br>sol ou couche<br>de forme | 18cm<br>BC<br>20cm<br>GNB<br>sol<br>4<br>Non Goujonnés<br>Traitement du<br>sol ou couche<br>de forme | 18cm<br>BC<br>sol<br>4<br>Non Goujonnés<br>Traitement du<br>sol ou couche<br>de forme |
| S 2                                           | Structure<br>-Distance entre joints<br>-Type de joints<br>-Dispositions part.         | 23cm<br>BC<br>20cm<br>GNB<br>sol<br>5<br>Goujonnés<br>Traitement du<br>sol ou couche<br>de forme | 20cm<br>BC<br>20cm<br>GNB<br>sol<br>5<br>Goujonnés<br>Traitement du<br>sol ou couche<br>de forme | 18cm<br>BC<br>20cm<br>GNB<br>sol<br>4<br>Non Goujonnés<br>Traitement du<br>sol ou couche<br>de forme | 18cm<br>BC<br>sol<br>4<br>Non Goujonnés<br>Traitement du<br>sol ou couche<br>de forme |
| S 3                                           | Structure<br>-Distance entre joints<br>-Type de joints<br>-Dispositions part.         | 22cm<br>BC<br>20cm<br>GNB<br>sol<br>5<br>Goujonnés<br>Traitement du<br>sol ou couche<br>de forme | 20cm<br>BC<br>20cm<br>GNB<br>sol<br>5<br>Goujonnés<br>Traitement du<br>sol ou couche<br>de forme | 18cm<br>BC<br>20cm<br>GNB<br>sol<br>4<br>Non Goujonnés<br>Traitement du<br>sol ou couche<br>de forme | 18cm<br>BC<br>sol<br>4<br>Non Goujonnés<br>Traitement du<br>sol ou couche<br>de forme |
| S 4                                           | Structure<br>-Distance entre joints<br>-Type de joints<br>-Dispositions part.         | 22cm<br>BC<br>20cm<br>GNB<br>sol<br>5<br>Goujonnés<br>Traitement du<br>sol ou couche<br>de forme | 20cm<br>BC<br>20cm<br>GNB<br>sol<br>5<br>Goujonnés<br>Traitement du<br>sol ou couche<br>de forme | 18cm<br>BC<br>20cm<br>GNB<br>sol<br>4<br>Non Goujonnés<br>Traitement du<br>sol ou couche<br>de forme | 18cm<br>BC<br>sol<br>4<br>Non Goujonnés<br>Traitement du<br>sol ou couche<br>de forme |

(Fig. 4)

## Fiche des structures type en béton de ciment

- 2 - Zone aride et semi - aride

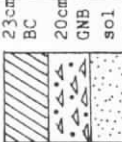
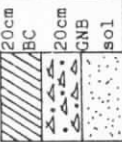
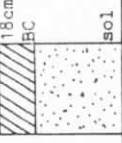
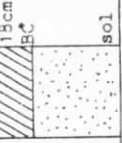
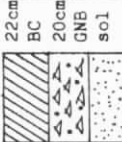
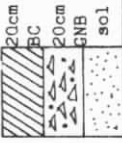
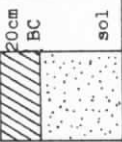
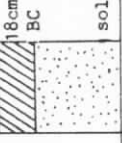
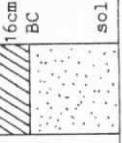
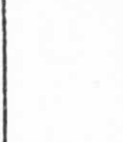
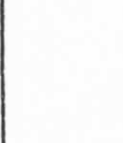
| Trafic poids lourds<br>par jours dans 2 sens |                                                                             | T0<br>> 1600                                                                        | T1<br>700 < T < 1600                                                               | T2<br>250 < T < 700                                                                | T3<br>50 < T < 250                                                                 | T4<br>< 50                                                                         |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| S 1                                          | Structure                                                                   |   |   |   |   |   |
|                                              | -Distance entre joints<br>-Type de joints<br>-Dispositions<br>particulières | 5<br>Goujonnés<br>-                                                                 | 5<br>Goujonnés<br>-                                                                | 4<br>Non Goujonnés<br>-                                                            | 4<br>Non Goujonnés<br>-                                                            | 4<br>Non Goujonnés<br>-                                                            |
| S 2                                          | Structure                                                                   |   |   |   |   |   |
|                                              | -Distance entre joints<br>-Type de joints<br>-Dispositions<br>particulières | 5<br>Goujonnés<br>-                                                                 | 5<br>Goujonnés<br>-                                                                | 4<br>Non Goujonnés<br>-                                                            | 4<br>Non Goujonnés<br>-                                                            | 4<br>Non Goujonnés<br>-                                                            |
| S 3                                          | Structure                                                                   |  |  |  |  |  |
|                                              | -Distance entre joints<br>-Type de joints<br>-Dispositions<br>particulières | 5<br>Goujonnés<br>-                                                                 | 5<br>Goujonnés<br>-                                                                | 4<br>Non Goujonnés<br>-                                                            | 4<br>Non Goujonnés<br>-                                                            | 4<br>Non Goujonnés<br>-                                                            |

TABLEAU N° 2 STRUCTURE D'ACCOTEMENTS

|                 |                  |                 |         |         |         |
|-----------------|------------------|-----------------|---------|---------|---------|
| *****           | *****            | *****           | *****   | *****   | *****   |
| ! Zone climati- | ! Zone humide et | ! Zone aride et | !       | !       | !       |
| ! que           | ! Sub - humide   | ! Semi - aride  | !       | !       | !       |
| *****           | *****            | *****           | *****   | *****   | *****   |
| ! Classe du sol | ! S0             | ! S1-S2! S3-S4! | ! S1-S2 | ! S3-S4 | !       |
| *****           | *****            | *****           | *****   | *****   | *****   |
| ! T             | ! TO             | ! 1-1 [*]       | ! 1-1   | ! 1 - 1 | ! 1 - 1 |
| ! R             | *****            | *****           | *****   | *****   | *****   |
| ! T1            | ! 1-1 [*]        | ! 1-1           | ! 1 - 1 | ! 1 - 1 | ! 1 - 1 |
| ! A             | *****            | *****           | *****   | *****   | *****   |
| ! T2            | ! 1-1            | ! 1-1           | ! 1 - 2 | ! 1 - 1 | ! 1 - 2 |
| ! F             | *****            | *****           | *****   | *****   | *****   |
| ! T3            | ! 2-1            | ! 2-1           | ! 2 - 2 | ! 2 - 2 | ! 2 - 2 |
| ! I             | *****            | *****           | *****   | *****   | *****   |
| ! T4            | ! 2-2            | ! 2-2           | ! 2 - 2 | ! 2 - 2 | ! 2 - 2 |
| ! C             | !                | !               | !       | !       | !       |
| *****           | *****            | *****           | *****   | *****   | *****   |

- Code x-y: x = 1 si la couche superficielle de l'accotement est en GNF.

x = 2 si toute la structure de l'accotement est en MS.

y = 1 si la chaussée contient une fondation

y = 2 s'il n'y a pas de fondation

- [\*] si l'accotement est revêtu, la GNF est remplacée par GNB

### 3 - Scénarios de renforcement et de l'entretien périodique des structures rigides (BC)

| ! Trafic en V/j | !       | ! Intervention                | !        |
|-----------------|---------|-------------------------------|----------|
| !               | ! Année | !                             | ! Nature |
| 50              | 15      | Garnissage des joints         | !        |
| 750             | 30      | Enduit superficiel monocouche | !        |
|                 | 10      | Renforcement                  | !        |
|                 |         | Garnissage des joints         | !        |
|                 | 20      | Enduit superficiel bicouche   | !        |
|                 |         | Garnissage des joints         | !        |
| 4500            | 30      | Enduit superficiel bicouche   | !        |
|                 |         | Renforcement                  | !        |

### Remède pour des problèmes spécifiques

|                                  |                         |                              |
|----------------------------------|-------------------------|------------------------------|
| ! Etanchéité et drain-<br>! nage | ! Accottements          | ! Mouvements<br>! des dalles |
| ! <u>Etanchéité :</u>            | ! <u>Accottements :</u> | ! <u>joints :</u>            |
| ! . Qualité des joints           | ! . Matériaux dra-      | ! . Goujonnage dal-          |
| ! (1) (2)                        | ! inants (1) (2)        | ! les (1)                    |
| ! . Entretien (1) (2)            | ! Béton poreux          | ! . Coefficient dila-        |
|                                  | ! (1) (2)               | ! tation, (1) (2)            |
| ! . Surlargeur (1) (2)           | ! . Feuille plast-      | ! Augmentation de            |
|                                  | ! que, (faible          | ! l'inertie des              |
|                                  | ! trafic) (1) (2)       | ! dalles (1) (2)             |
| ! <u>Drainage :</u>              | ! Béton ( Fort          | ! <u>Bords :</u>             |
| ! Matériaux drainants            | ! trafic) (1) (2)       | ! . Augmentation             |
| ! accottements (1) (2)           |                         | ! d'inertie (1)              |
| ! Drain latéral (1) (2)!         |                         | ! . Surlargeur (1) (2)!      |

(1) valable pour : DNA ( dalles non armées non goujonnées)  
 (2) valable pour BNAG ( dalles non armées goujonnées)

### III - FAISABILITE ECONOMIQUE

Le choix d'une structure économique doit s'effectuer en cherchant économie de dépense (C + E : construction et entretien) une économie de devise (D% : part de devise ).

Comme le Maroc ne cesse de freiner la sortie de devises, la pénalisation de l'achat de ces devises peut être prise en compte par un coefficient de rareté de devise  $K = 1 + a$  avec  $a > 0$ .

L'intérêt national est de comparer les coûts globaux des structures M qui tiennent compte de toutes les dépenses tel que  $M = (C + E) (1 + a D)$ .

La prise en compte de l'entretien et du critère des devises dans les dépenses entraînent une diminution relative de la structure rigide comparée à la souple d'environ 10% à 20%.

Les autres principaux facteurs qui déterminent le choix de la technique de construction de chaussées sont :

- La valeur résiduelle de la chaussée après l'expiration de la durée de vie prévisible de chaussée.
- Les coûts directs aux usagers résultant de la variation de la qualité du niveau de service offert.

#### A - Indicateurs de choix entre structures

Au niveau des travaux routiers, la structure rigide en béton de ciment, est plus avantageuse dans les cas suivants :

Plimire no 5 : Schémas types de structures d'accotements

| type | schéma type                                                               |
|------|---------------------------------------------------------------------------|
| 1-1  | <p>[1] si l'accotement est revêtu GNIE est remplacé par GNIE imprégné</p> |
| 2-1  | <p>1050 mm</p>                                                            |
| 1-2  |                                                                           |
| 2-2  |                                                                           |

[1] MD\_matériaux drainants ..... MS\_matériaux sélectionnés

- Le trafic lourd et intense : (N cumulé est fort). par le fait que la courbe de fatigue est très plate.

- Le sol est peu portant : (SI et S2 ) avec absence de compressibilité et de tassement différentiel : grâce à sa forte capacité à répartir les charges.

-Le prix du bitume a tendance à être plus cher

-Le milieu est agressif où les charges sont immobiles: (stationnement des charges lourdes).

Les deux principaux blocs de paramètres aidant à effectuer un choix entre les structures sont les suivants:

a- les paramètres technico-économiques ( tableau n°3)

b- les paramètres économiques ( tableau n° 4).

**Tableau n° 3 : les paramètres technico- économiques favorables au choix**

| STRUCTURES<br>PARAMETRES | CHAUSSEES<br>SOUPLES(GNT) | CHAUSSEES<br>RIGIDES(BC)                           | CHAUSSEES<br>SEMI-RIG-<br>DES ( GC )          |
|--------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| TRAFIC                   | T4                        | ++                                                 | +                                             |
|                          | T3                        | ++                                                 | ++                                            |
|                          | T2                        | +                                                  | ++                                            |
| SOL                      | S1                        | +                                                  | ++                                            |
|                          | S2                        | ++                                                 | ++                                            |
|                          | S3                        | ++                                                 | +                                             |
|                          | S4                        | ++                                                 | +                                             |
| CLIMAT                   | Température<br>élevée     | +                                                  | ++                                            |
|                          | Pluie<br>abondante        | -                                                  | +                                             |
| DEGRADATIONS             | Faiencage<br>Déformation  | Pompage<br>Erosion de<br>la fondati-<br>on Rupture | Ramificat-<br>ion, des<br>fissures<br>Rupture |

++ paramètre très favorable au choix de la structure.

+ paramètre favorable au choix de la structure.

- paramètre défavorable au choix de la structure.

**Tableau n° 4 : Les paramètres économiques favorables au choix**

| STRUCTURES<br>PARAMETRES                           | CHAUSSEES<br>SOUPLES(GNT) | CHAUSSEES<br>RIGIDES(BC) | CHAUSSEES<br>SEMI-RIGIDES<br>(GC) |
|----------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| FINANCEMENT<br>IMMEDIAT REDUIT                     | ++                        | +                        | +                                 |
| CHOIX :Présent<br>(consommation)                   | ++                        | +                        | +                                 |
| NATIONAL :Avenir<br>(investissement)               | +                         | ++                       | ++                                |
| SUBVENTION EXTERNE<br>DE L'INVESTISSEMENT          | +                         | ++                       | ++                                |
| TAUX D'ACTUALISATION<br>EST FAIBLE (T 7 % )        | +                         | ++                       | ++                                |
| POURCENTAGE ELEVE DE<br>SURCHARGE<br>(S 13t) 1,5 % | +                         | -                        | -                                 |

++ paramètre très favorable aux choix de la structure  
 + paramètre favorable aux choix de la structure  
 - paramètre défavorable aux choix de la structure.

Ces différents critères permettent de choisir les techniques les plus adaptées à un domaine d'emploi spécifique avec un coût minimum.

Le choix final de la technique à utiliser, doit intégrer (moyennant des pondérations adéquates) l'ensemble des facteurs aussi bien favorables que défavorables.

#### B - Comparaison économique

Une comparaison économique des structures souples et rigides à la base d'une estimation du coût de construction et de l'entretien est proposée dans le tableau n°5 .

Pour ce faire, ont été prises en considération les structures en béton (cf figure 3 et 4 ) et les structures souples équivalentes pour une durée de vie de 30 ans ( tableau n° 5 ).

De la même façon, une comparaison de la consommation d'énergie, à la construction des chaussées souples a été établie (tableau n° 6 ).

La décomposition de prix des produits élaborés selon les principaux constituants est la suivante :

| Produit | Part devise | Granulats | Liants | Transport | prestations:<br>dont(main-<br>d'oeuvre) |
|---------|-------------|-----------|--------|-----------|-----------------------------------------|
| B C(m3) | 34 %        | 10 %      | 52 %   | 14 %      | 24 %(5,4 %)                             |
| GNT     | 42 %        | 32 %      | -      | 27 %      | 41 %(5,0 %)                             |

### CONCLUSION DE L'ANALYSE ECONOMIQUE

De cette analyse technico-économique, on retient trois éléments essentiels à savoir :

1- En moyenne, le coût des chaussées rigides est plus élevé que celui des chaussées souples (3 % à 55 %).

2- Dans des conditions favorables (données locales et localisations des travaux) et en tenant compte de l'entretien, la structure rigide devient économique surtout sur les sols de faible portance et pour des forts trafics.

3-L'existence des chaussées en béton de ciment présente un intérêt immédiat, au niveau des utilisations spécifiques et de la concurrence.

**Tableau n°5: Synthèse des comparaisons entre structures souples et rigides**

| T  | S  | STRUCTURES SOUPLES |        | STRUCTURES RIGIDES |       | RAPPORTS |         |
|----|----|--------------------|--------|--------------------|-------|----------|---------|
|    |    | C.C.S              | C.E.S  | C.C.R              | C.E.R | CCR/CCS  | CGR/CGS |
| T1 | S0 | 2.580,20           | 590,60 | 2.301,40           | 74,40 | 0,89     | 0,75    |
|    | S1 | 1.920,00           | 569,60 | 2.213,90           | 74,80 | 1,15     | 0,92    |
|    | S2 | 2.034,90           | 515,80 | 2.231,40           | 74,80 | 1,10     | 0,90    |
|    | S3 | 1.885,60           | 515,80 | 2.148,50           | 74,80 | 1,14     | 0,93    |
|    | S4 | 1.709,60           | 515,30 | 2.166,00           | 74,80 | 1,27     | 1,01    |
| T2 | S0 | 1.770,00           | 285,90 | 2.097,00           | 57,70 | 1,18     | 1,05    |
|    | S1 | 1.461,20           | 256,10 | 2.009,50           | 57,70 | 1,38     | 1,20    |
|    | S2 | 1.365,00           | 263,80 | 2.012,00           | 57,70 | 1,47     | 1,27    |
|    | S3 | 1.357,00           | 317,30 | 1.794,00           | 57,70 | 1,32     | 1,11    |
|    | S4 | 1.250,50           | 282,10 | 1.812,00           | 57,70 | 1,45     | 1,22    |
| T3 | S0 | 1.115,40           | 124,80 | 1.149,00           | 29,50 | 1,03     | 0,95    |
|    | S1 | 716,00             | 123,60 | 1.085,20           | 29,50 | 1,52     | 1,33    |
|    | S2 | 716,00             | 123,60 | 1.085,20           | 29,50 | 1,52     | 1,33    |
|    | S3 | 600,50             | 123,60 | 933,70             | 29,50 | 1,55     | 1,33    |
|    | S4 | 616,80             | 123,60 | 939,90             | 29,50 | 1,52     | 1,31    |
| T4 | S0 | 892,90             | 106,40 | 982,90             | 29,50 | 1,10     | 1,01    |
|    | S1 | 716,00             | 123,60 | 806,20             | 29,50 | 1,13     | 1,00    |
|    | S2 | 624,30             | 129,50 | 947,40             | 29,50 | 1,52     | 1,30    |
|    | S3 | 620,50             | 123,60 | 896,90             | 29,50 | 1,45     | 1,24    |
|    | S4 | 616,70             | 123,60 | 883,20             | 29,50 | 1,43     | 1,23    |

**LEGENDE :**

|         |   |                                                        |
|---------|---|--------------------------------------------------------|
| T       | : | Classes de trafic                                      |
| S       | : | Classes de sol                                         |
| C.C.S   | : | Coût de construction des structures souples            |
| C.C.R   | : | Coût de construction des structures rigides            |
| C.E.S   | : | Coût d'entretien des structures souples                |
| C.E.R   | : | Coût d'entretien des structures rigides                |
| CCR/CCS | : | Rapport des coûts de construction (R/S)                |
| CGR/CGS | : | Rapport des coûts de construction et d'entretien (R/S) |

CONSUMMATION D'ENERGIE A LA CONSTRUCTION  
COMPARAISON SOUPLE -RIGIDE

|     |    | ENERGIE CONSOMMEE<br>(K. THERMIE / KM) |        | RAPPORTS-<br>ER / ES |
|-----|----|----------------------------------------|--------|----------------------|
|     |    | *****                                  |        |                      |
| T S |    | RIGIDE                                 | SOUPLE |                      |
| T1  | S0 | 7.337                                  | 8.048  | 0,91                 |
|     | S1 | 7.732                                  | 9.113  | 0,85                 |
|     | S2 | 3.132                                  | 6.603  | 1,17                 |
|     | S3 | 7.384                                  | 5.603  | 1.32                 |
|     | S4 | 7.384                                  | 6.311  | 1,17                 |
| T2  | S0 | 7.758                                  | 6.136  | 1,26                 |
|     | S1 | 7.618                                  | 5.327  | 1,42                 |
|     | S2 | 7.618                                  | 4.917  | 1,55                 |
|     | S3 | 6.431                                  | 4.412  | 1,46                 |
|     | S4 | 6.431                                  | 3.908  | 1,64                 |
| T3  | S0 | 3.163                                  | 2.467  | 1,28                 |
|     | S1 | 3.063                                  | 1.857  | 1,65                 |
|     | S2 | 3.063                                  | 1.857  | 1,65                 |
|     | S3 | 2.537                                  | 1.411  | 1,80                 |
|     | S4 | 2.337                                  | 1.161  | 2,04                 |
| T4  | S0 | 2.437                                  | 2.358  | 1,03                 |
|     | S1 | 2.337                                  | 1.857  | 1,26                 |
|     | S2 | 2.227                                  | 1.262  | 1,85                 |
|     | S3 | 2.138                                  | 1.211  | 1,76                 |
|     | S4 | 2.138                                  | 1.161  | 1,84                 |

LEGENDE :

T : Classe de trafic

S : Classe de sol.

ER: Énergie consommée en structure rigide.

ES: Énergie consommée en structure souple.

## RECOMMANDATIONS

La détermination d'une stratégie d'investissement dans le domaine du transport et d'autant plus importante que les ressources font défaut.

C'est grâce à une stratégie nationale déterminée de construction et d'entretien qui soutient l'expérimentation et favorise l'équipement en matériel spécialisé que le choix de l'introduction des nouvelles techniques peut s'effectuer.

Une fois que le premier choix au niveau décisionnel est opéré, c'est l'expérimentation qui doit permettre le développement de la technique, l'évaluation des critères de base de choix et la maîtrise du prix de revient de la chaussée qui reste pour le décideur les critères déterminants du choix. En effet, la diversification des techniques recherchée ne peut s'effectuer convenablement qu'avec :

- L'établissement d'une politique cohérente d'innovation technologique comprenant :

. Un plan d'expérimentation et un plan de promotion des techniques.

.La coordination entre les administrations utilisateurs de la technique.

.La coordination entre les intervenants habituels (administration, laboratoire, entreprise).

Pour la technique des chaussées rigides en béton de ciment (en grave traitée au liant hydraulique en général), constituant une alternative très valable, les principales actions à mener pour introduire la structure et lui faciliter l'ouverture du marché sont :

### 1- L'information des ingénieurs :

L'établissement des notes d'information sur des problèmes techniques, par des services où des groupes de travail, permettra d'élargir le champ de l'information.

### 2- La mise en oeuvre d'un plan de qualité

Ce plan permettra de mieux apprécier la rapport qualité/prix.

### 3- L'assouplissement des conditions de choix des structures

Une comparaison économique entre différentes structures doit être exigée au niveau de l'étude.

### 4- L'expérience d'une grande rigueur technique et financière au niveau de la réalisation.