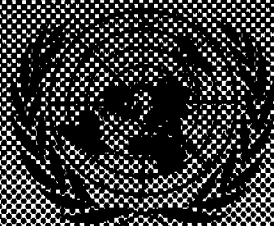
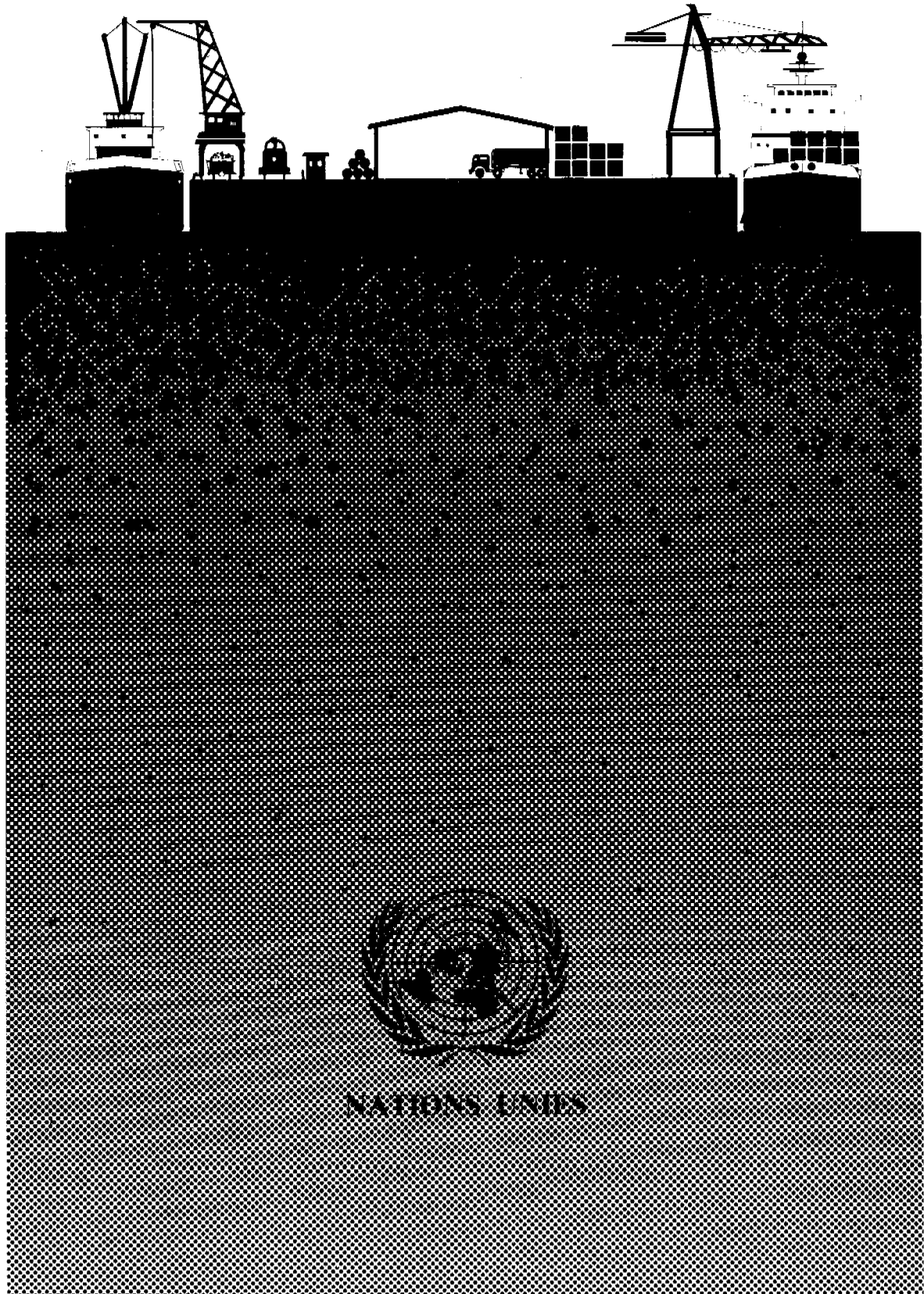


CNUCED  
MONOGRAPHIES  
SUR LA  
GESTION PORTUAIRE



NATIONS UNIES

# MONOGRAPHIES DE LA CNUCED SUR LA GESTION PORTUAIRE

*Série de monographies établies pour la CNUCED en collaboration  
avec l'Association internationale des ports (AIP)*

**Supplément à la monographie n° 5**

## **Gestion des revêtements de terminaux à conteneurs**

*par*

*Marios Meletiou  
B. Sc. (Tech.) Honours, M. Sc., M. B. A.  
Chef du Département de génie civil  
Direction des affaires portuaires chypriotes*

*et*

*John Knapton  
B. Sc., Ph. D., C. Eng., MICE, MIHT, FFB  
Directeur  
John Knapton Consulting Engineers Limited*



**NATIONS UNIES  
New York, 1990**

## NOTE

Les opinions exprimées dans le présent document sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement les vues de l'Organisation des Nations Unies. Les appellations employées et la présentation des données n'impliquent de la part du Secrétariat de l'Organisation des Nations Unies aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

\*

\* \*

### Autres monographies de cette série

- N° 1 L'horaire de travail dans les ports : passage de la journée normale avec heures supplémentaires au travail à deux shifts
- N° 2 Plans d'occupation des sols et zones portuaires : comment tirer le meilleur parti de l'infrastructure portuaire
- N° 3 Pour une organisation efficace de la maintenance du matériel portuaire
- N° 4 Programmation des opérations portuaires
- N° 5 Gestion des revêtements de terminaux à conteneurs
- N° 6 Mesure et évaluation du rendement et de la productivité des ports
- N° 7 Quelques conseils pour une gestion efficace des hangars

UNCTAD/SHIP/494(5)/Supp.1

## INTRODUCTION A LA SERIE

Dans les ports des pays industrialisés, les systèmes d'exploitation et le perfectionnement du personnel résultent de l'expérience acquise, de la compétition avec d'autres secteurs et de l'innovation, facilitée par un environnement industriel avancé. Tel n'est pas le cas dans les pays en développement, où l'amélioration des ports fait l'objet de maintes délibérations et revêt souvent un caractère empirique. Il importe que les ports du tiers monde acquièrent l'efficacité de ceux des pays industrialisés, ou du moins qu'ils tirent profit de l'expérience récente de ces derniers.

La formation professionnelle est un des moyens d'y parvenir. La CNUCED fait des efforts considérables pour organiser des cours et séminaires de formation dans le domaine portuaire, à l'intention des cadres supérieurs, et pour fournir aux instructeurs locaux de cadres moyens un matériel d'enseignement approprié. Nous avons estimé utile de publier, à titre complémentaire, des documents techniques clairs et précis, consacrés à des problèmes généraux de gestion et d'exploitation des ports et propres à intéresser expressément les autorités portuaires des pays en développement. Il existe actuellement très peu de documents de ce type.

A la suite de l'adoption de la résolution 35 (IX) par la Commission des transports maritimes de la CNUCED, le secrétariat de la CNUCED a décidé de faire appel à la collaboration de l'Association internationale des ports, organisation non gouvernementale dotée du statut consultatif auprès de la CNUCED, pour la préparation de ces documents techniques. La présente série de monographies de la CNUCED sur la gestion portuaire est le résultat de cette collaboration. Nous espérons qu'elles contribueront à améliorer la gestion, dont dépend dans une large mesure l'efficacité des ports des pays en développement.

A. BOUAYAD  
Directeur de la Division  
des transports maritimes  
de la CNUCED

## AVANT-PROPOS

Lorsque la CNUCED a décidé de faire appel à la collaboration de l'Association internationale des ports pour établir des monographies sur la gestion portuaire, l'idée a été accueillie avec enthousiasme comme offrant un moyen supplémentaire d'informer les autorités portuaires des pays en développement. Pour ces monographies, la Commission du développement international des ports de l'AIP a utilisé les ressources des ports des pays industrialisés membres de l'Association, qui ont bien voulu partager ainsi une expérience qui leur a permis d'atteindre leur niveau actuel en matière de technologie et de gestion portuaires. Les cadres supérieurs des ports des pays en développement ont fourni une aide appréciable dans l'évaluation des monographies au stade de la rédaction.

Je suis persuadé que cette série de monographies de la CNUCED sera utile aux autorités portuaires des pays du tiers monde, en leur fournissant des indicateurs pour la prise de décisions en vue de l'amélioration, du progrès technique et de l'utilisation optimale des ressources des ports existants.

L'Association internationale des ports espère poursuivre sa collaboration avec la CNUCED pour la préparation de nombreuses autres monographies dans cette série, qui devrait combler une lacune dans la documentation dont disposent actuellement les autorités concernées.

C. Bert Kruk  
Président de la Commission  
du développement international  
des ports de l'AIP

TABLE DES MATIERES

<u>Chapitre</u>	<u>Paragraphes</u>
APERCU GENERAL .....	i) - vii)
I. INTRODUCTION .....	1 - 10
II. NOUVEAUX MATERIAUX ET MODES DE CONSTRUCTION DES REVETEMENTS DE TERMINAUX A CONTENEURS .....	11 - 47
A. Introduction .....	11 - 12
B. Faits nouveaux concernant les pavés de béton .....	13 - 17
C. Revêtements en béton à fibres d'acier .....	18 - 32
1. Généralités .....	18 - 19
2. Fibres d'acier à bouts recourbés, collées en paquets .....	20 - 23
3. Propriétés et avantages des revêtements en béton armé à fibres d'acier .....	24 - 32
D. Revêtement flottant semi-rigide .....	33 - 41
E. Revêtements en béton compacté au rouleau .....	42 - 43
F. Version révisée du tableau comparatif des divers types de revêtement .....	44 - 47
III. NOUVELLES METHODES D'ENTRETIEN, DE REGENERATION ET ET DE RENOVATION .....	48 - 67
A. Matériau de réparation rapide pour les revêtements	48 - 62
B. Emploi de géotextiles de la nouvelle génération dans les techniques de recouvrement .....	63 - 67
IV. VERSION REVISEE DU MANUEL BPF DE CONCEPTION DES REVETEMENTS PORTUAIRES .....	68 - 79
A. Introduction .....	68
B. Nouvelle présentation des diagrammes de conception	69 - 70
C. Modifications techniques .....	71 - 79

APERCU GENERAL

- i) Le présent Supplément à la Monographie No 5 a pour objet d'informer le lecteur des progrès récents touchant au revêtement des terminaux à conteneurs, eu égard aux effets positifs qui devraient en résulter sur le plan de la gestion des revêtements dans les ports, thème central de la Monographie initiale.
- ii) La nouvelle édition du Manuel de la British Ports Federation (BPF), intitulé The Structural Design of Heavy Duty Pavements for Ports and Other Industries, a influé de manière décisive sur l'élaboration du présent supplément. Publié au début de 1989, cet ouvrage vise à familiariser les spécialistes du revêtement des installations portuaires avec des méthodes éprouvées de conception technique; la Monographie No 5 et son Supplément lui font pendant en présentant un aperçu d'ensemble des revêtements portuaires sous tous les aspects à prendre en considération pour en assurer la gestion efficace, depuis le stade du choix entre plusieurs formules jusqu'à celui de l'entretien et des améliorations. Ce supplément fait une large place aux nouveaux matériaux et procédés de construction mentionnés dans la deuxième édition du Manuel BPF, ainsi qu'à d'autres matériaux et procédés nouveaux récemment mis à l'essai ou en cours d'expérimentation dans certains ports, et il les passe en revue en se plaçant tout spécialement sous l'angle de la gestion des revêtements.
- iii) De l'avis général, les deux publications susmentionnées - le Manuel, intitulé The Structural Design of Heavy Duty Pavements for Ports and Other Industries et la Monographie No 5 - ont joué un rôle complémentaire en fournissant des renseignements pertinents sur les revêtements portuaires. Les auteurs de ce nouveau Supplément espèrent apporter là une contribution également positive. Marios Meletiou, principal rédacteur de la Monographie No 5 et de la présente publication, a collaboré étroitement avec John Knpton à la réalisation de ces deux ouvrages; il a, de même, coopéré avec lui à la mise au point de la nouvelle version du Manuel BPF.
- iv) Les auteurs ont examiné de manière systématique les progrès concrets réalisés dans le domaine des revêtements, ainsi que les nouveaux modes de conception et les modifications apportées aux théories existantes.
- v) Le Supplément présente donc un tour d'horizon complet des principales tendances qui se font jour dans la gestion des revêtements portuaires sur les plans tant théorique que pratique. Il devrait contribuer à mieux faire comprendre l'importance du revêtement dans le processus de gestion des ports.
- vi) Il convient d'appeler l'attention du lecteur sur le matériel didactique mis au point par la Banque mondiale et la CNUCED concernant l'exploitation et l'entretien des systèmes de manutention de conteneurs (Operating and Maintenance Features of Container Handling Systems). Ce matériel comprend une bande vidéo d'une durée de deux heures et un manuel de 90 pages environ, réalisés en 1987 par Portrain UK Ltd. Disponible en anglais seulement, il est en vente au secrétariat de la CNUCED et contient des renseignements pouvant aider les gouvernements et les autorités portuaires à choisir les équipements nécessaires pour des installations de manutention de conteneurs. Le secrétariat de la CNUCED a également mis au point des matériels didactiques sur l'aménagement des terminaux à conteneurs (IPP2) et sur la gestion d'un terminal à conteneurs (Trainmar 02.6); il est prêt à fournir tous renseignements sur la manière de les utiliser.
- vii) Les auteurs tiennent à remercier tous ceux qui ont contribué à l'élaboration du présent Supplément, et en particulier la revue spécialisée Port Development International, qui a concouru à l'ensemble de ce travail.

## Chapitre I

### INTRODUCTION

1. Ces dernières années, la question du revêtement des terminaux à conteneurs a pris une importance considérable, en raison de défaillances majeures de divers types qui ont soulevé de graves problèmes. Aux fins du présent Supplément, le terme "défaillance" couvre des aspects non seulement structurels, mais aussi financiers et opérationnels.

2. Ces défaillances représentent forcément un défi pour les spécialistes du génie portuaire, qui doivent alors rechercher de nouvelles méthodes de construction et des matériaux adaptés, affiner encore les méthodes de conception et offrir ainsi un choix plus large de types de revêtement, ainsi que des projets plus précis et plus réalistes. Le présent Supplément, qui aborde brièvement les idées et les tendances les plus récentes touchant aux revêtements pour terminaux portuaires à conteneurs, vise à compléter les renseignements fournis dans la monographie initiale sur les formules de revêtement actuellement disponibles.

3. La Monographie No 5 décrivait les matériaux et les méthodes de construction ci-après :

- Revêtement de bitume ou d'asphalte
- Béton coulé sur place
- Dalles en béton préfabriqué
- Pavés en béton
- Lits de gravier.

4. Depuis la publication de ce document, les auteurs ont obtenu des indications supplémentaires sur certaines des solutions présentées. Ils ont en outre reçu des informations relatives à de nouveaux systèmes, mis en oeuvre dans le secteur portuaire. Compte tenu de ces données d'expérience, on trouvera ci-après un certain nombre d'observations venant s'ajouter à celles qui figuraient dans la Monographie initiale sur ce sujet; le chapitre suivant fournit un aperçu des principales innovations.

#### Revêtement de bitume ou d'asphalte

5. L'expérience supplémentaire acquise avec ce type de revêtement ne fait ressortir aucun élément nouveau et confirme simplement ce dont il était fait état initialement.

#### Béton coulé sur place

6. La même remarque s'applique dans une large mesure au coulage du béton in situ, avec les seules restrictions suivantes :



- a) Il était auparavant recommandé de prévoir une forte résistance du béton (au moins  $30 \text{ N/mm}^2$ ) pour réduire l'effritement et l'écaillage dû aux impacts. Toutefois, une expérience plus poussée a permis de constater que la valeur recommandée devrait être de  $40 \text{ N/mm}^2$ . La deuxième édition du Manuel BPF comprend des diagrammes de conception fondés sur ce niveau accru de résistance.
- b) Les revêtements portuaires en béton coulé sur place sont à présent classés en deux grandes catégories : les revêtements en béton renforcé de type classique (maille de surface :  $4,34 \text{ kg/m}^2$ ) et un nouveau type de béton, renforcé de fibres d'acier. L'un et l'autre sont examinés dans la nouvelle édition du Manuel BPF, où les diagrammes de conception comportent deux courbes différentes correspondant à ces deux cas. Le revêtement en béton à fibres d'acier est décrit dans le chapitre qui suit.

#### Dalles en béton préfabriqué

7. Ce système s'avère périmé et ne constitue plus une solution réaliste. L'abandon de cette formule résulte des inconvénients relevés au paragraphe 67 de la Monographie initiale, qui sont résumés ci-dessous (voir par. 39).

#### Pavés en béton

8. Au fil des années, ce système de revêtement n'a cessé d'accroître sa "part de marché" dans les terminaux à conteneurs, notamment dans le nord de l'Europe occidentale, où il est même devenu une solution quasiment standard en matière de revêtement. Les faits nouveaux apparus dans ce domaine sont décrits dans le chapitre suivant.

#### Lits de gravier

9. On fait de plus en plus appel à la solution des lits de gravier pour les zones de gerbage de conteneurs et tout porte à croire que ce système continuera de progresser à l'avenir. Cette évolution découle de l'expérience positive qu'en ont faite les divers ports qui ont appliqué le système. Par exemple, au terme d'une deuxième phase d'agrandissement, les lits de gravier du port de Penang (Malaisie) couvrent à présent une surface équivalant à 3 000 emplacements d'EVP. D'après des cadres portuaires, ce système présente d'excellentes qualités techniques et opérationnelles, tout en permettant de réaliser d'importantes économies dans les coûts d'aménagement initial et d'entretien par rapport aux autres méthodes. En l'occurrence, les coûts de construction se sont chiffrés à  $\$M 10,76/m^2$ , au lieu de  $\$M 32,28/m^2$  pour le bitume et  $\$M 107,60/m^2$  pour des dalles de béton, techniques qui avaient été adoptées avant l'aménagement de lits de gravier (à la fin de 1985, le taux de change était de 2,43 ringgit ( $\$M$ ) pour un dollar des Etats-Unis).

10. Les ports/terminaux dans lesquels des lits de gravier sont actuellement utilisés ou en construction sont les suivants (par ordre chronologique approximatif de construction) :

- Ashdod (Israël)
- Limassol (Chypre)
- Hong Kong - Kwai Chung TS - MTL (Hong Kong)
- Rotterdam - Quick Dispatch (Pays-Bas)
- Düsseldorf - DCD (République fédérale d'Allemagne)
- Penang - PPC (Malaisie)
- Haïfa (Israël)
- Nhava Sheva (Inde)
- Singapour - projet pilote (Singapour)
- Isle of Grain (Royaume-Uni)
- Rotterdam - ECT (New SeaLand Terminal) (Pays-Bas).

D'après des informations récentes, la solution des lits de gravier serait actuellement envisagée pour des ports de Turquie, des Caraïbes et des Emirats arabes unis.

## Chapitre II

### NOUVEAUX MATERIAUX ET MODES DE CONSTRUCTION DES REVETEMENTS DE TERMINAUX A CONTENEURS

#### A. Introduction

11. L'introduction de matériaux et de modes de construction nouveaux pour le revêtement des terminaux à conteneurs est, par la force des choses, un lent processus. Or la période qui a suivi la publication de la Monographie initiale a été à cet égard particulièrement féconde. Un certain nombre d'innovations - concernant aussi bien les matériaux que les méthodes - méritent tout particulièrement d'être signalées ici. Les auteurs ont déjà mentionné l'une d'elles - le béton à fibres d'acier - dans la nouvelle édition du Manuel de conception BPF. Deux autres techniques, le revêtement flottant semi-rigide et le béton compacté par cylindrage, semblent également se prêter à des applications intéressantes dans ce domaine.

12. Il convient de noter que, dans chacun de ces trois cas, les systèmes en question ont été effectivement utilisés dans un environnement portuaire. Tous trois remplissent donc les conditions requises pour figurer dans le présent supplément. Les concepteurs de terminaux à conteneurs doivent en être informés, pour pouvoir éventuellement y recourir dans les cas où ils sont le mieux adaptés à leurs exigences particulières.

#### B. Faits nouveaux concernant les pavés de béton

13. Utilisés pour la première fois dans des ports d'Europe septentrionale, les pavés de béton sont désormais considérés dans le monde entier comme un important matériau de surface pour les revêtements industriels. Lors de leur introduction en Amérique du Nord, il a fallu trouver des techniques d'installation permettant d'économiser de la main-d'oeuvre, si bien que des modèles ont été spécialement conçus en vue d'une pose mécanique. L'unité représentée sur la figure 1 en est un exemple. Sa forme permet de la mettre en place à l'aide d'une machine et, grâce aux échancrures latérales permettant leur emboîtement, 30 unités peuvent être saisies simultanément et basculées directement de la palette sur le sol. Des nouveautés sont également apparues dans les modèles rectangulaires, qui demeurent le type de pavé le plus courant. En particulier, on y a ajouté des pièces d'écartement incorporées pour éviter la fissuration et l'écaillage des pavés. Ces pièces se présentent généralement sous la forme indiquée à la figure 2.

14. Dans la plupart des cas, des machines du genre de celles qui sont représentées à la figure 3 permettent d'installer 700 m<sup>2</sup> de pavés par poste de 8 heures. Elles peuvent fonctionner en parallèle, de sorte que la vitesse potentielle de pose est pratiquement illimitée - elle dépend de la préparation du chantier et de l'approvisionnement en pavés plutôt que de la mise en place proprement dite.

Figure 1

Pavé en béton à échancrures latérales

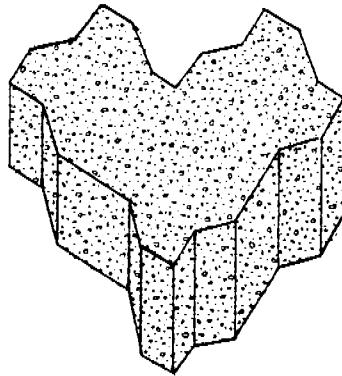


Figure 2

Pavé rectangulaire à pièces d'écartement incorporées

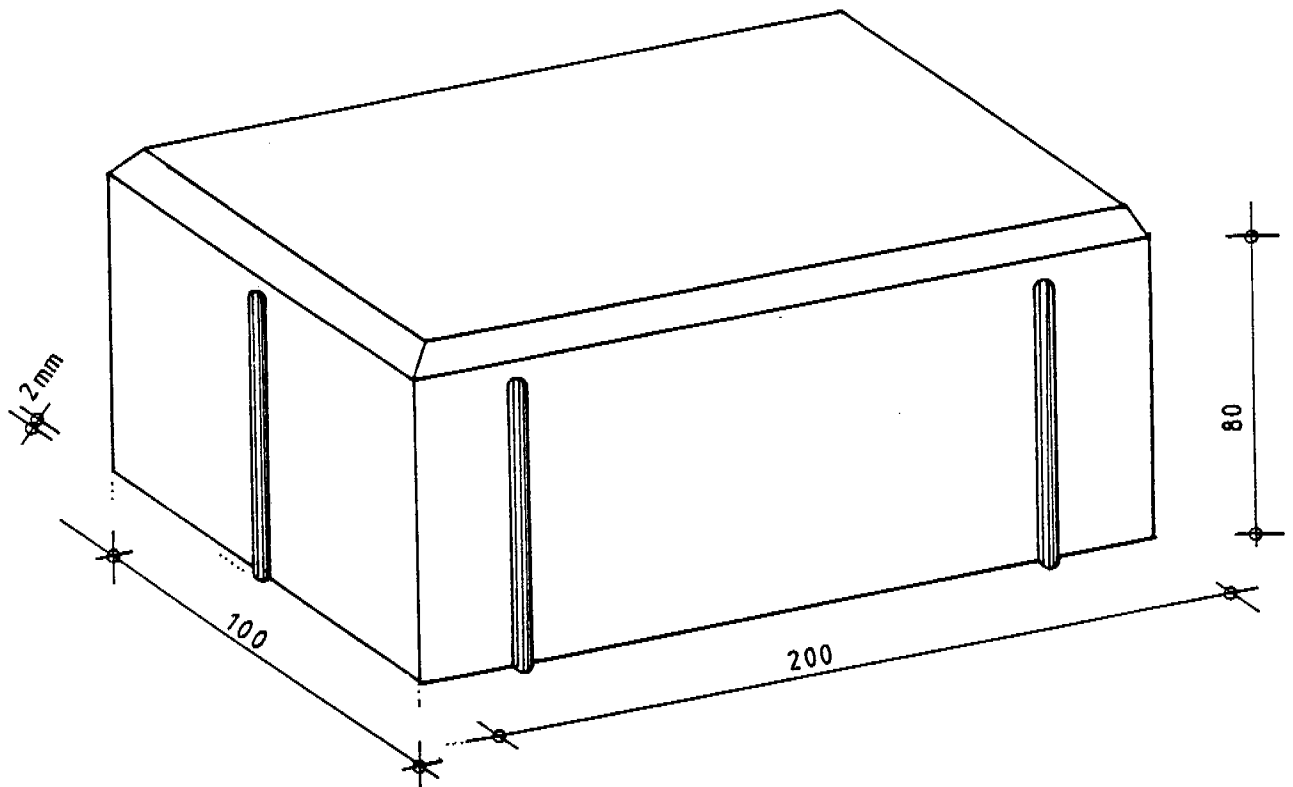
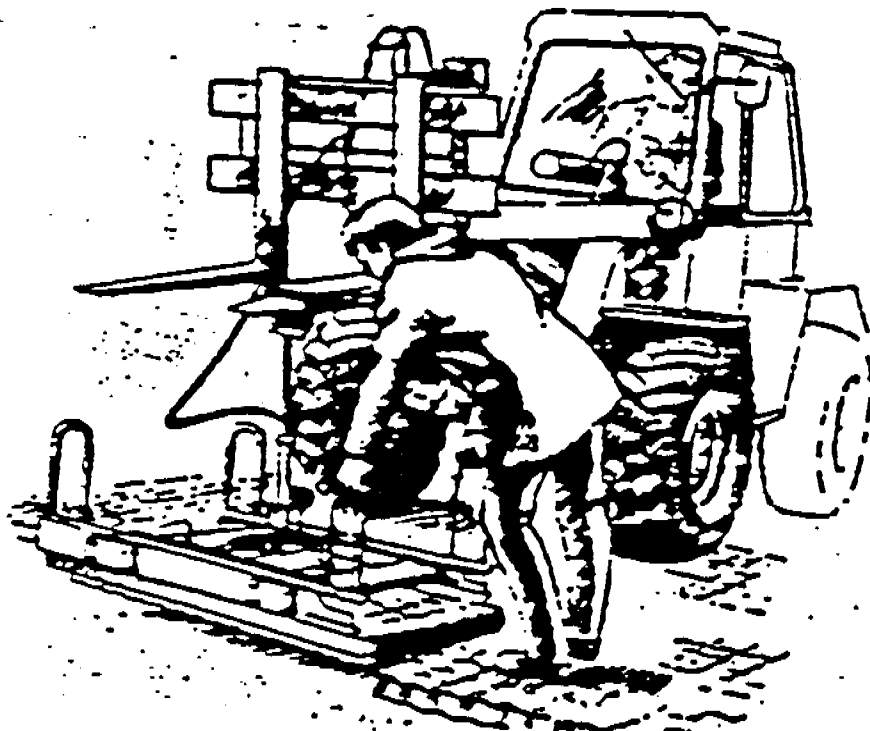
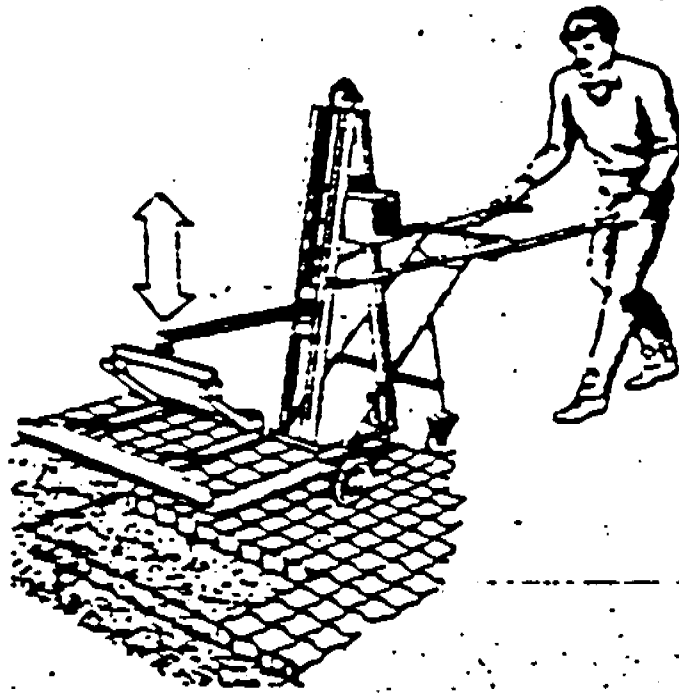


Figure 3

Machines servant à poser des pavés en béton



15. Avec l'accroissement des charges que les revêtements ont à supporter, l'épaisseur des pavés tend également à augmenter, et les éléments de 80 mm d'épaisseur - naguère quasi universels - sont à l'occasion remplacés par des pavés de 100 mm, voire 120 mm. D'après les observations faites par les auteurs, les pavés rectangulaires de 80 mm d'épaisseur pour une section de 100 mm de large et 200 mm de long ont donné satisfaction dans tous les cas de charge normale, en particulier pour les opérations de manutention de conteneurs.

16. Un système de pavés flottants semi-rigides a été récemment introduit à Valence (Espagne); il est décrit dans la section D du présent chapitre.

17. L'on doit signaler également l'élaboration de normes nationales et la création d'un groupe chargé de mettre au point une norme européenne. En général, ces normes spécifient la résistance des pavés (à la compression ou à un effort de flexion) et leur durabilité. La principale différence entre les normes nationales tient à la manière dont elles prennent en compte les critères de durabilité. Certaines précisent la teneur minimale en ciment, tandis que d'autres prévoient des essais de résistance au gel et au dégel. La corrélation entre résistance et durabilité n'a pas encore été établie.

### C. Revêtements en béton à fibres d'acier

#### 1. Généralités

18. L'introduction du béton à fibres d'acier dans le secteur portuaire est de nature à améliorer sensiblement le rapport coût-utilité et l'efficacité des revêtements en béton, ce qui permettrait de rendre ce type de revêtement plus compétitif. Le système consiste à ajouter des fibres d'acier aux constituants traditionnels du béton que sont le ciment, les granulats fins et grossiers et l'eau, ce qui donne un matériau composite possédant des qualités mécaniques et physiques nettement supérieures à celles du béton ordinaire.

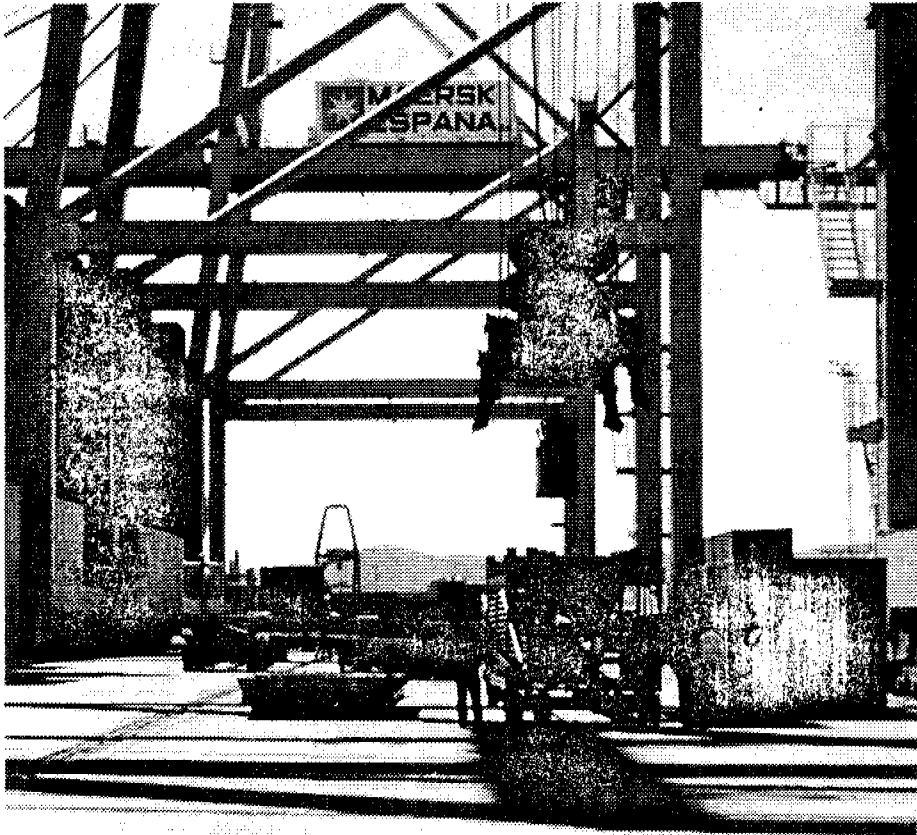
19. Les bons résultats obtenus, au cours des dix dernières années, grâce à l'application de cette nouvelle technique dans un grand nombre de revêtements industriels et aéroportuaires - soumis à des charges du même ordre que les revêtements portuaires - ont montré les avantages considérables que le béton à fibres d'acier présente par rapport au béton classique et à d'autres revêtements traditionnels. Depuis peu ces avantages sont largement reconnus dans les milieux portuaires; des revêtements très résistants de ce type ont ainsi été adoptés dans un certain nombre de ports tels que Gand (Belgique), Limassol (Chypre) et Algésiras (Espagne), où ils ont été mis en service dès 1985 (voir la figure 4).

#### 2. Fibres d'acier à bouts recourbés, collées en paquets

20. Les fibres les plus efficaces et qui donnent généralement les meilleurs résultats dans le béton armé sont des fils d'acier tréfilé (ordinairement de 0,6 mm de diamètre et 80 mm de long), recourbés aux extrémités (ce qui assure un solide ancrage mécanique dans le béton). Elles sont collées ensemble en petites plaquettes, ce qui permet d'éviter l'effet "d'agglutination" et ne pose aucun problème lors du malaxage, contrairement à ce qui peut se passer avec des fibres séparées/éparses.

Figure 4

Revêtement en béton à fibres d'acier sur le terminal  
à conteneurs d'Algésiras



21. Ces plaquettes, composées chacune d'une trentaine de fibres (voir la figure 5), sont ajoutées aux autres granulats; aucun appareillage particulier n'est requis pour le malaxage, à part le matériel normalement employé pour cette opération. Le collage des fibres donne des plaquettes compactes et permet de mélanger des fibres plus longues, assurant ainsi une armature de meilleure qualité. Ces plaquettes peuvent être mélangées aux granulats secs ou au béton déjà gâché. Dès le début du processus de malaxage, les plaquettes se répartissent dans toute la masse du mélange et, la colle étant soluble dans l'eau, les fibres d'acier se séparent à nouveau les unes des autres sous l'effet de l'humidité du mélange et par frottement avec les autres granulats (voir la figure 6). On obtient ainsi un mélange homogène.

22. Ces fibres de forme spéciale sont faites de fil d'acier étiré à froid et ont une résistance type à la traction de  $1\ 200\ \text{N/mm}^2$ . Elles peuvent être incorporées au mélange dans une proportion correspondant à 60 % environ de la quantité requise pour des fibres droites.

23. On notera que les observations qui suivent concernent des fibres d'acier du type particulier décrit ci-dessus, sur lequel les auteurs possèdent des renseignements de première main; elles ne s'appliquent donc pas forcément à d'autres modèles de fibres d'acier.

### 3. Propriétés et avantages des revêtements en béton armé à fibres d'acier

24. L'incorporation de fibres d'acier au béton modifie les propriétés du matériau composite obtenu. La ductilité des fibres et leur bonne résistance à la traction compensent les insuffisances du béton sur ces deux plans et renforcent les propriétés mécaniques et physiques du mélange. Des propriétés telles que la résistance à la fatigue, la résistance aux chocs (voir la figure 7) et la dureté en sont nettement améliorées. En outre, la résistance à la traction et à la flexion du béton armé à fibres d'acier est beaucoup plus élevée. La solidité des fibres et leur capacité de résister à la propagation des fissures dépendent essentiellement de leur adhérence au béton (forme des fibres), ainsi que de leur espacement (densité et répartition des fibres).

25. La ductilité du béton à fibres est supérieure à celle du béton ordinaire. Ainsi que le montre la figure 8, il conserve, après une fissuration initiale, une aptitude considérable à supporter des charges. Pour le béton ordinaire, la première fissure est synonyme de résistance ultime; dans le cas du béton fibreux, en revanche, les fissures ne peuvent pas s'étendre sans allongement ou décollement des fibres. Il faut par conséquent une énergie additionnelle avant que la contrainte ultime ne soit atteinte et qu'il y ait fracture complète. Une fois que la contrainte ultime est atteinte, la portance commence à décroître, mais à ce niveau il ne se produit pas non plus de rupture totale.

26. Le béton armé à fibres d'acier présente également des qualités de résistance à l'écaillage et à l'usure qui dépassent celles du béton ordinaire. Il n'existe pas de mesure quantitative de la résistance à l'écaillage mais, sur le plan qualitatif, cette propriété est mise en évidence par les résultats d'essais de charge dynamique et explosive. Ceux-ci montrent que le béton à fibres ne se désintègre pas sous l'effet d'une telle charge, mais garde sa cohésion grâce aux fibres.



Figure 5

Fibres d'acier collées en plaquettes

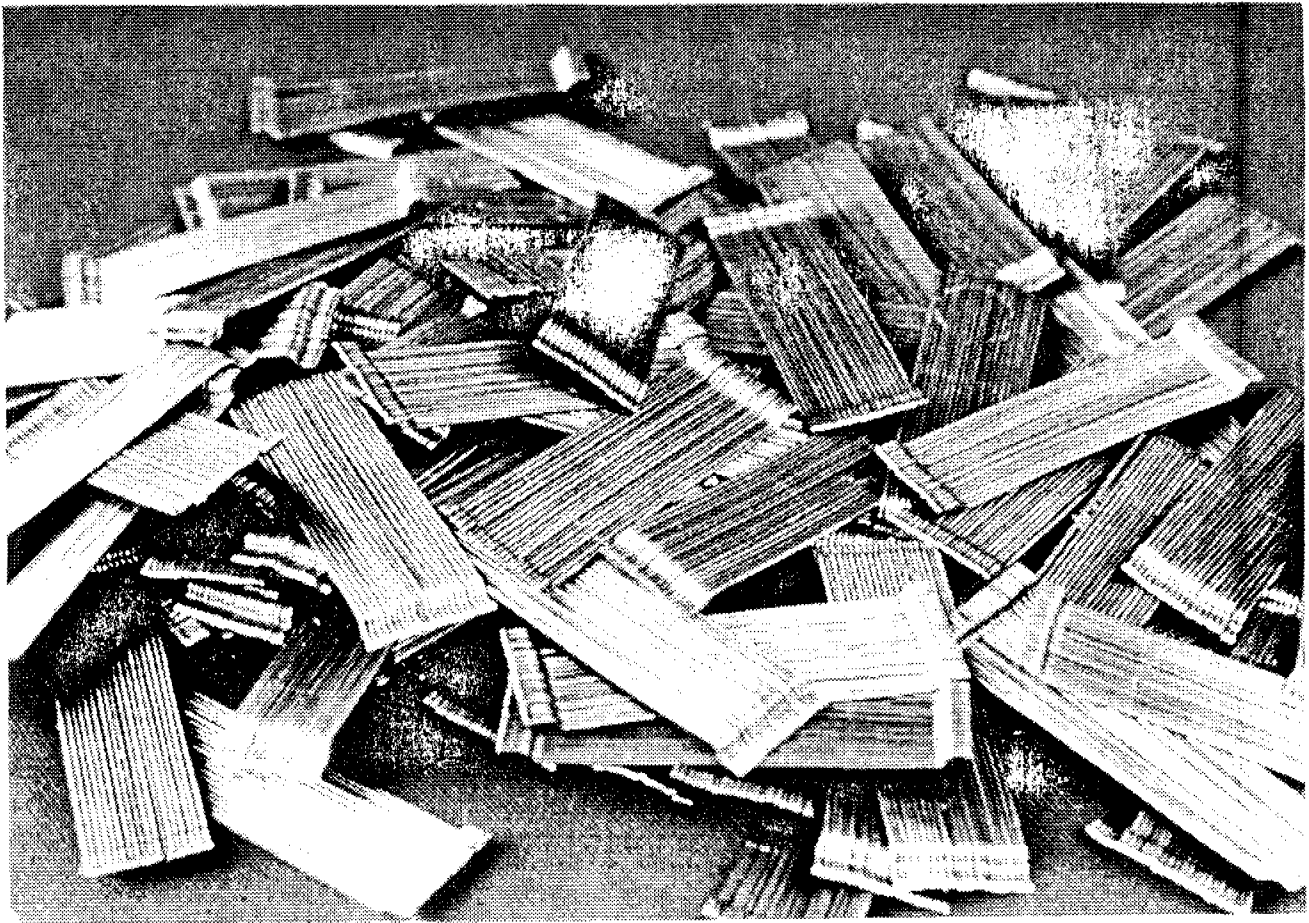


Figure 6

Gâchée de béton faisant apparaître la dispersion  
des fibres d'acier



Figure 7

Résistance aux chocs de divers bétons

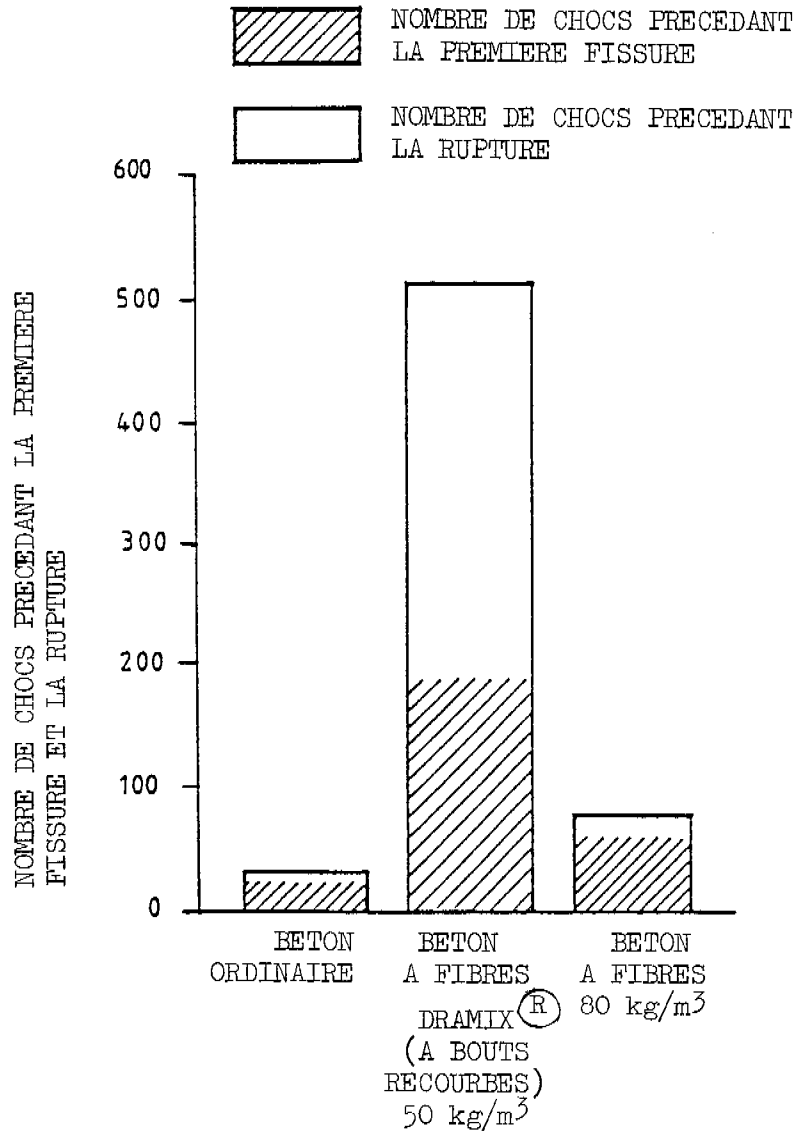
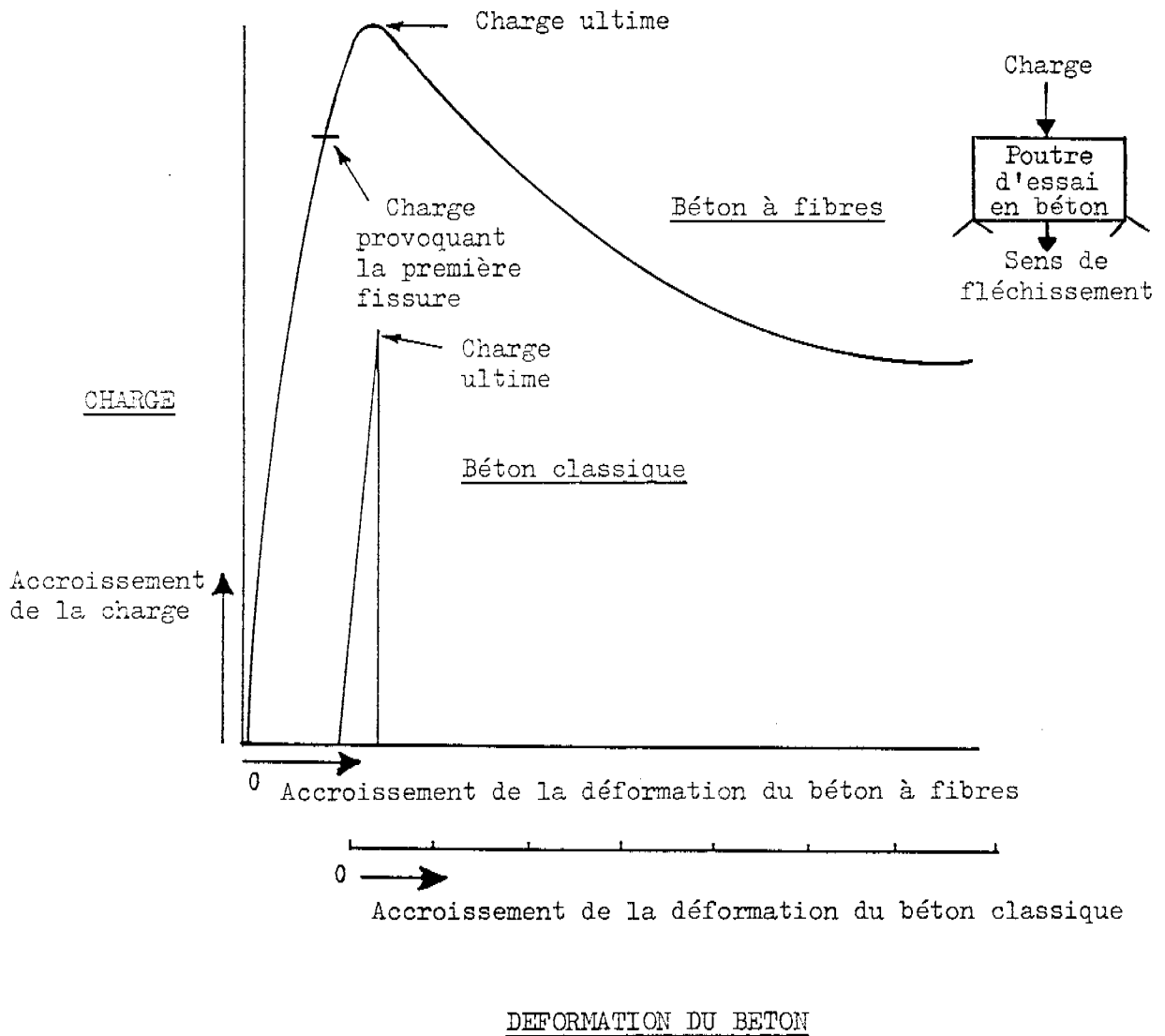


Figure 8

Courbes types de déformation en fonction de la charge.  
béton classique et béton à fibres



27. Les sollicitations imposées aux revêtements portuaires sont nombreuses et très importantes; en ce qui concerne les charges, on peut néanmoins les regrouper en deux catégories :

- Charges dynamiques provenant des véhicules et notamment des gros engins de manutention (ce sont les engins de manutention des conteneurs qui exercent les plus lourdes charges);
- Charges statiques concentrées ou charges uniformes appliquées par les conteneurs ou par d'autres types de colis stockés dans les ports.

28. Un revêtement portuaire supportant de fortes charges est normalement soumis à des contraintes de traction qui s'exercent sur les faces supérieure et inférieure de la dalle de béton. La localisation de ces contraintes peut varier lorsque les zones de chargement sont déplacées. Il n'est guère aisé cependant d'absorber de telles contraintes en renforçant le béton au moyen d'une armature appropriée (fers à béton ou treillis). Dans la pratique, il n'est pas toujours facile de placer un treillis et de le maintenir dans la bonne position au moment du coulage du béton, surtout s'il y a deux armatures superposées. Dans le cas de revêtements en béton armé traditionnel, on coule habituellement la dalle en deux temps, de manière à faciliter le bon positionnement de l'armature. Les fibres d'acier renforcent par contre le béton dans la masse. De ce fait, le revêtement peut absorber des contraintes du même ordre sur les faces supérieure et inférieure de la dalle.

29. Le coulage direct du béton en une seule fois sur la couche de base compactée, couverte de feuilles de polyéthylène, peut se traduire par des gains de temps appréciables. On évite du même coup les problèmes de stockage et de positionnement de l'armature. De plus, il est toujours possible de réduire l'épaisseur du revêtement, en raison de la meilleure résistance du matériau à la flexion et à la fatigue. En comparaison de l'installation d'un revêtement traditionnel en béton, ce procédé permet non seulement d'abaisser le coût des matériaux, mais aussi de réduire le temps de construction et de réaliser d'importantes économies de main-d'oeuvre.

30. En outre, les contraintes de retrait étant alors mieux absorbées et réparties, il devient possible d'augmenter l'écart entre les joints de 50 % ou plus par rapport à un revêtement en béton ordinaire, ce qui permet du même coup de réaliser des économies supplémentaires. Ainsi, dans le port de Limassol, l'écartement des joints a été porté de 5 à 7,5 mètres (voir la figure 9).

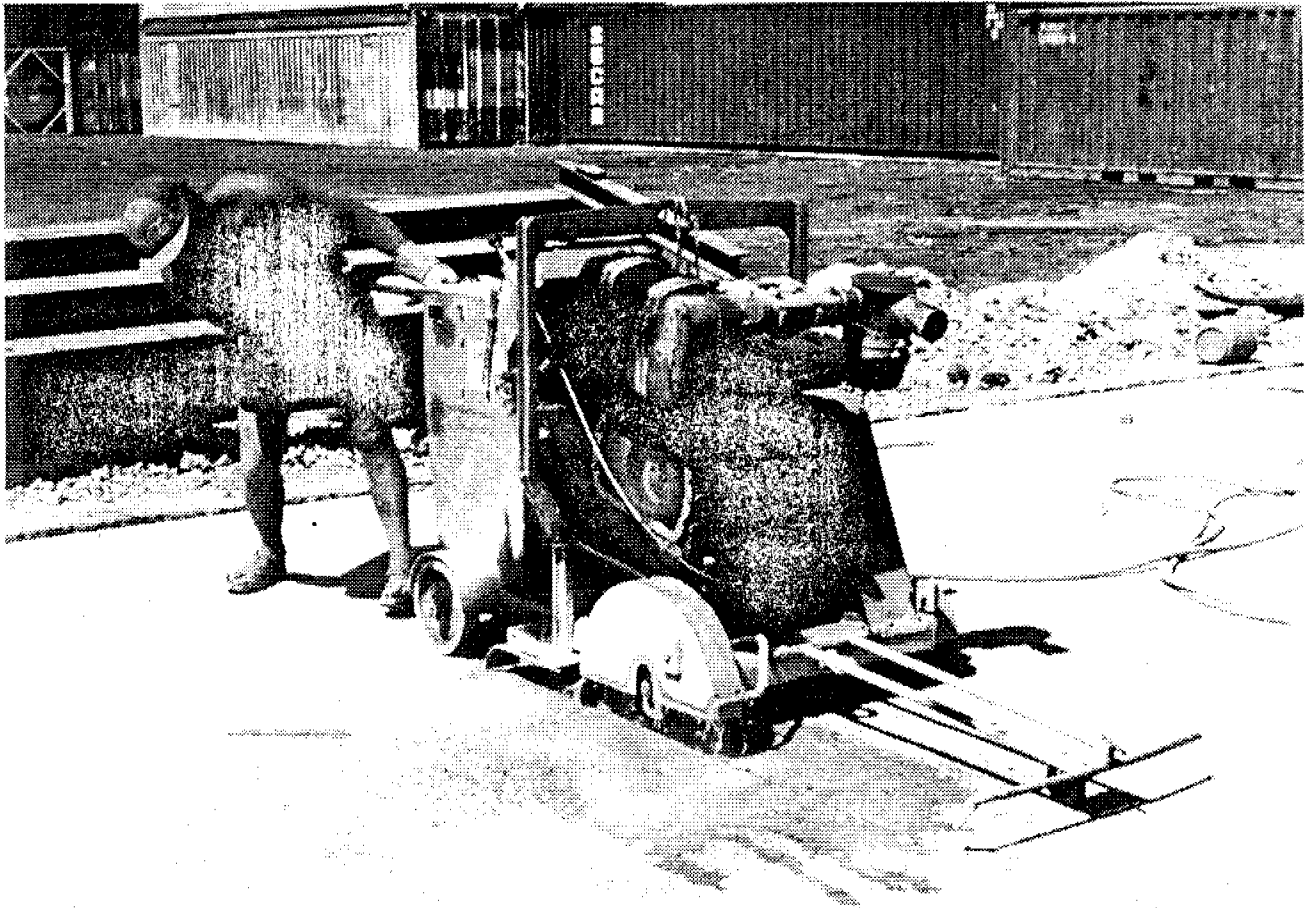
31. En principe, la pose d'une chape en béton armé de fibres d'acier peut être envisagée dans les deux cas suivants :

- a) Nouveaux revêtements posés sur des surfaces préparées;
- b) Chapes relativement minces, liées ou non au revêtement existant et destinées soit à en modifier le niveau, soit à le renforcer ou à le remettre en état.

Dans l'un et l'autre cas, mais principalement dans le second, le fait de pouvoir poser une chape moins épaisse qu'avec d'autres types de revêtement d'une tenue et d'une résistance analogues présente un grand intérêt pour les spécialistes du génie portuaire.

Figure 9

Confection des joints dans un revêtement en béton à fibres  
dans le port de Limassol



32. Les avantages d'un revêtement en béton à fibres d'acier sont récapitulés ci-après :

- a) Résistance accrue à la traction, à la flexion (notamment la flexion effective), à la compression et au cisaillement;
- b) Résistance plus élevée à l'écaillage;
- c) Meilleure résistance à la fatigue;
- d) Plus grande dureté;
- e) Meilleure résistance aux chocs (charges statiques et dynamiques);
- f) Ductilité (capacité de déformation) accrue;
- g) Meilleure aptitude à supporter des charges en cas de fissuration;
- h) Meilleure résistance à la formation et à la propagation des fissures;
- i) Facilité de mise en place à l'aide d'une machine à coffrages glissants et d'autres engins normalement utilisés pour la construction des routes (figure 10);
- j) Economies d'entretien et vie utile plus longue;
- k) Solidité initiale plus importante et mise en service rapide;
- l) Simplification des travaux nécessaires pour maintenir les niveaux relatifs lors de la confection des chapes, du fait de la moindre épaisseur de la dalle;
- m) Distance plus grande entre les joints de dilatation.

D. Revêtement flottant semi-rigide

33. Ce système de revêtement supportant de fortes charges et récemment mis au point (voir la figure 11) a de nombreuses similitudes avec celui des dalles en béton préfabriquées mentionné plus haut, qui n'est du reste plus utilisé. Il en conserve tous les avantages, mais ne présente aucun de ses inconvénients. Cette structure, de conception ingénieuse, comporte également plusieurs atouts importants.

Figure 10

Coulage d'une dalle en béton à fibres d'acier avec une machine à coffrages glissants au nouveau terminal à conteneurs du port du Pirée

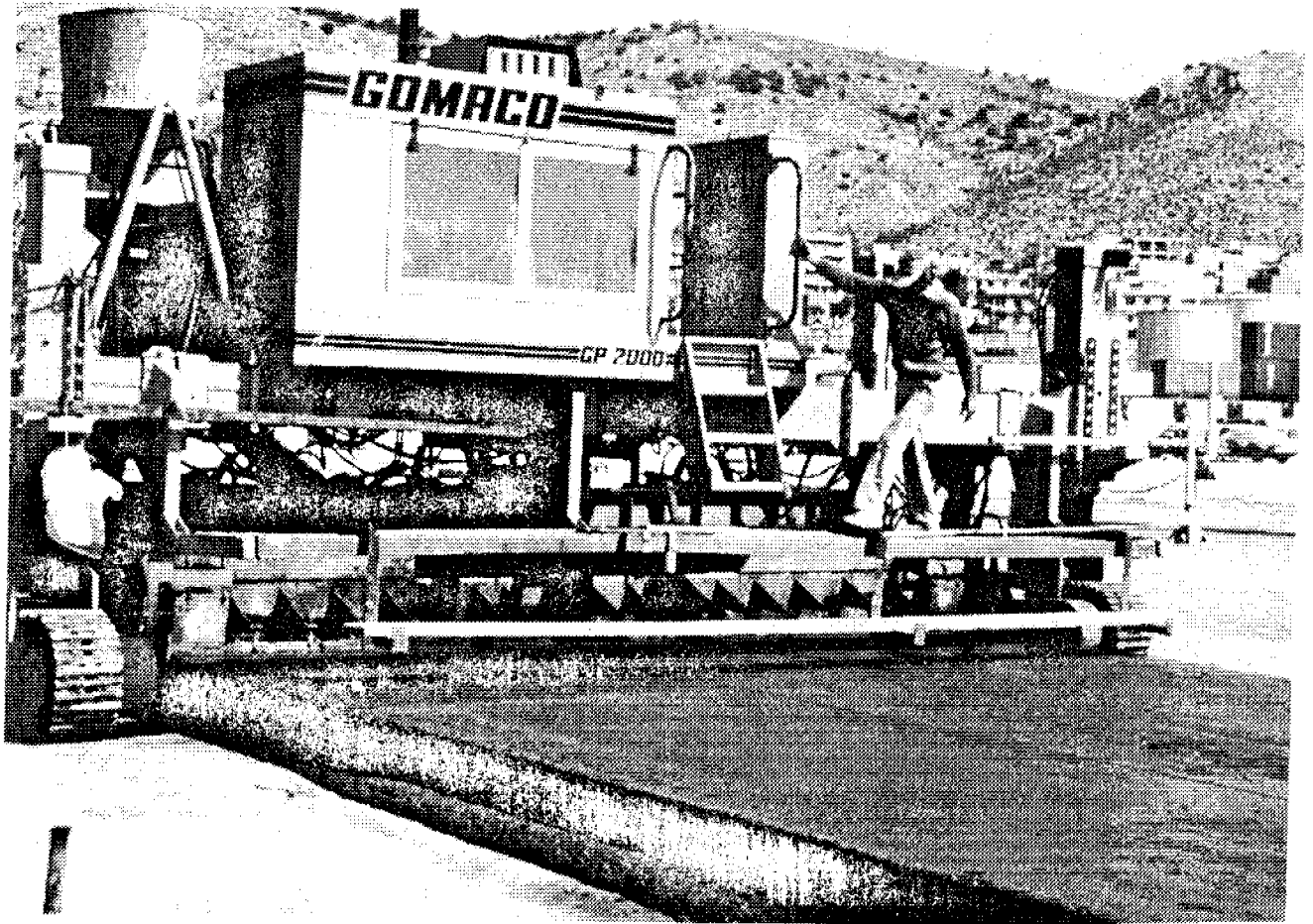
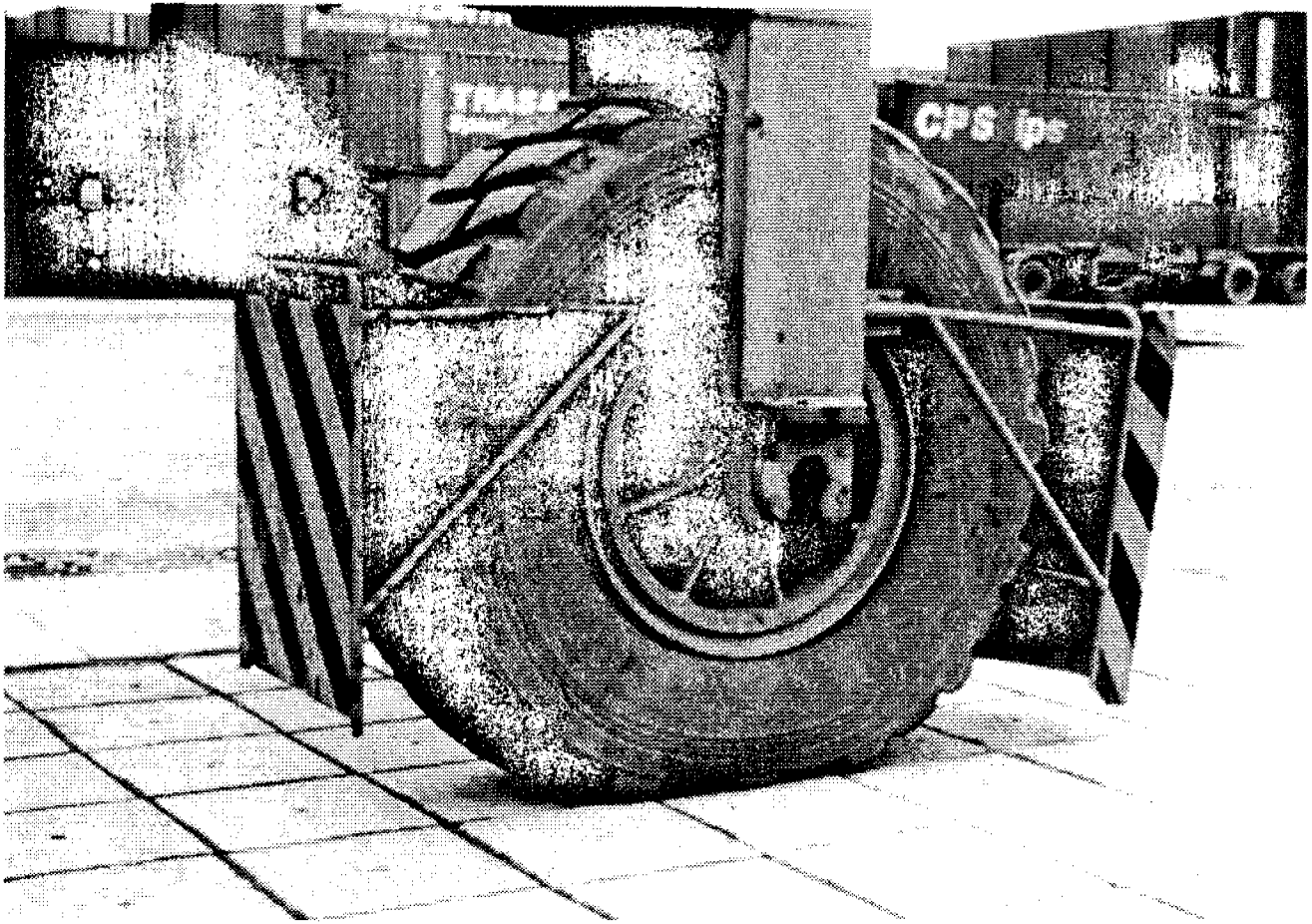




Figure 11

Essai sur le terrain d'un système de revêtement flottant semi-rigide  
dans le port de Valence



34. Le revêtement flottant semi-rigide se compose des éléments de base ci-après :

- Des éléments préfabriqués en béton, armé ou ordinaire (cas le plus fréquent); la figure 12 en montre les dimensions et la forme. Ils peuvent être renforcés à l'aide de fibres d'acier noyées dans la masse, ce qui permet d'utiliser des sections plus fines et plus légères offrant une plus grande résistance aux chocs, une meilleure ductilité, etc.
- Des joints de caoutchouc, dont la forme et la dimension apparaissent sur la figure 13. Ils sont disposés en alternance autour d'éléments adjacents, dans des rainures ou gorges spécialement aménagées à cet effet en cours de fabrication. Ces joints servent à réunir les éléments, à absorber les déformations de la couche de sable sous-jacente lorsqu'une charge est appliquée en surface, à assurer l'étanchéité du revêtement (c'est-à-dire à prévenir les infiltrations d'eau dans la couche de base à travers les joints), ainsi qu'à transférer et à répartir la charge entre plusieurs éléments adjacents pour atténuer la pression exercée sur le sol.
- Du sable : les éléments en béton sont disposés sur une couche de sable qui fournit une assise uniforme (voir la figure 14). Leur cavité interne est elle-même remplie de sable par l'orifice prévu à cet effet (celui-ci sert aussi pour la manutention et il est obturé après la mise en place), ce qui donne une assise et une stabilité supplémentaires aux éléments. En cas de tassement inégal ou excessif, il est possible d'injecter à nouveau du sable par ces orifices, après enlèvement du bouchon (généralement constitué d'un matériau bitumineux ou autre, facile à enlever mais imperméable).

35. L'injection du sable par les orifices se fait aisément à l'aide d'une foreuse à vis qui permet le remplissage de toutes les cavités (voir la figure 15). La phase finale de l'opération consiste à faire passer un rouleau vibrant sur le revêtement (figure 16).

36. Les éléments en béton de haute qualité assurent la rigidité requise. En même temps, cependant, le système lui-même présente un degré élevé de flexibilité grâce aux joints de caoutchouc, étroitement ajustés. Aussi est-il qualifié de semi-rigide.

37. On parle aussi de revêtement "flottant" en raison de l'effet de ressort produit par l'action combinée des joints de caoutchouc et du lit de sable : lors de l'application d'une charge, l'élément porteur et ceux qui l'entourent se tassent légèrement et, une fois la charge enlevée, le revêtement revient à son niveau initial.

Figure 12

Elément en béton préfabriqué pour revêtement  
flottant semi-rigide

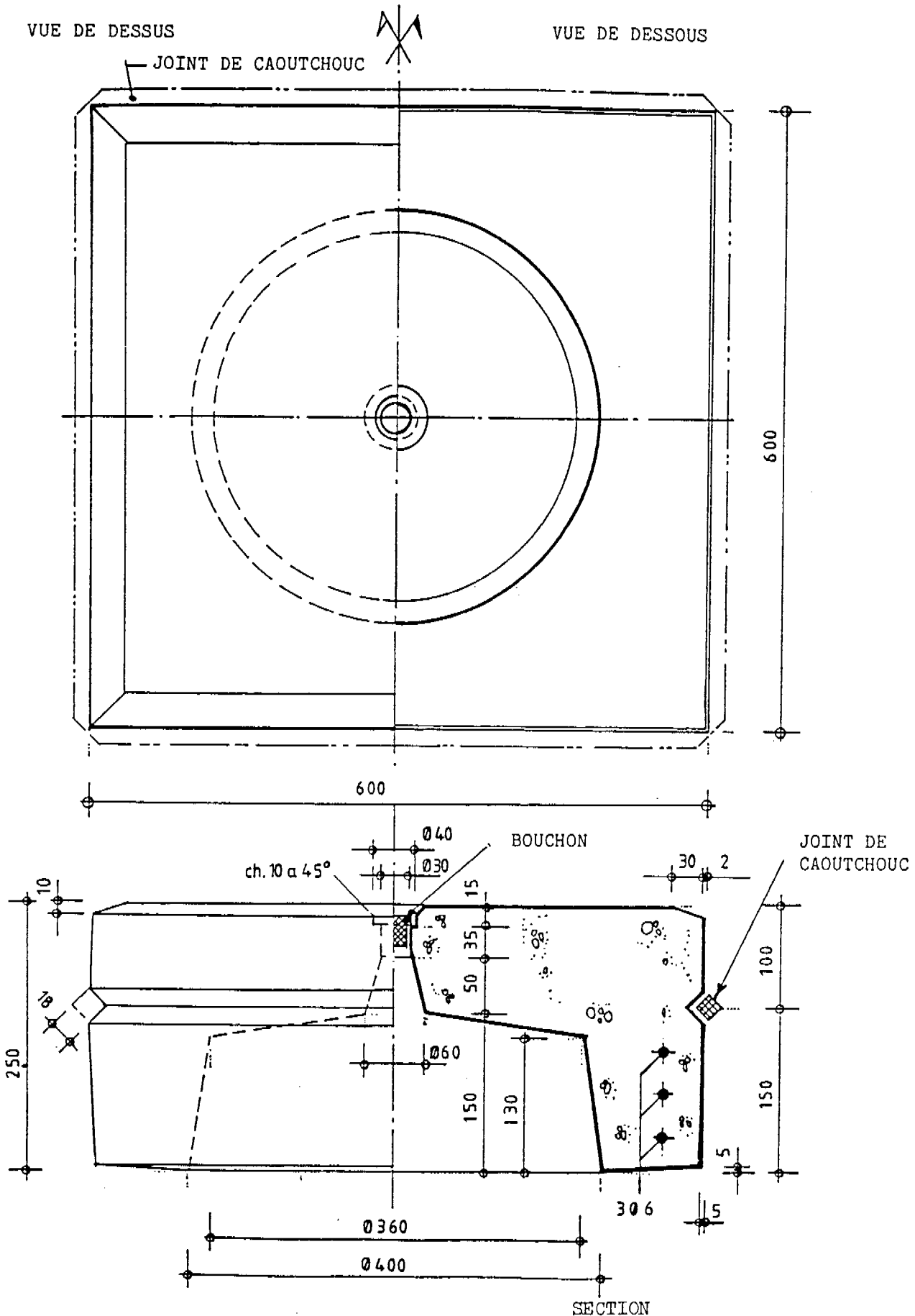


Figure 13

Joints de caoutchouc pour revêtement flottant semi-rigide



Figure 14

Installation d'éléments préfabriqués sur un lit de sable  
(avec mise en place alternée des joints de caoutchouc)

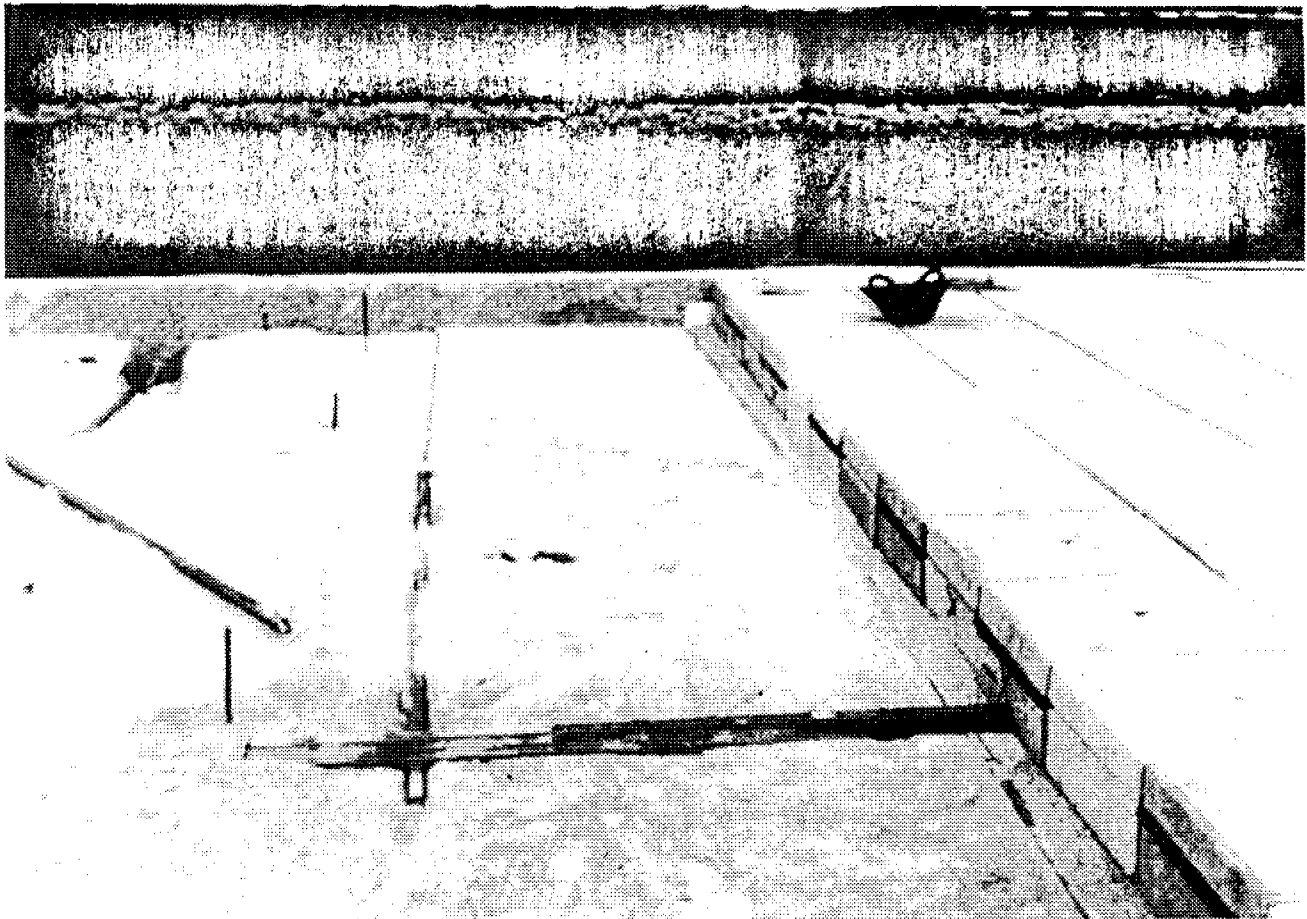


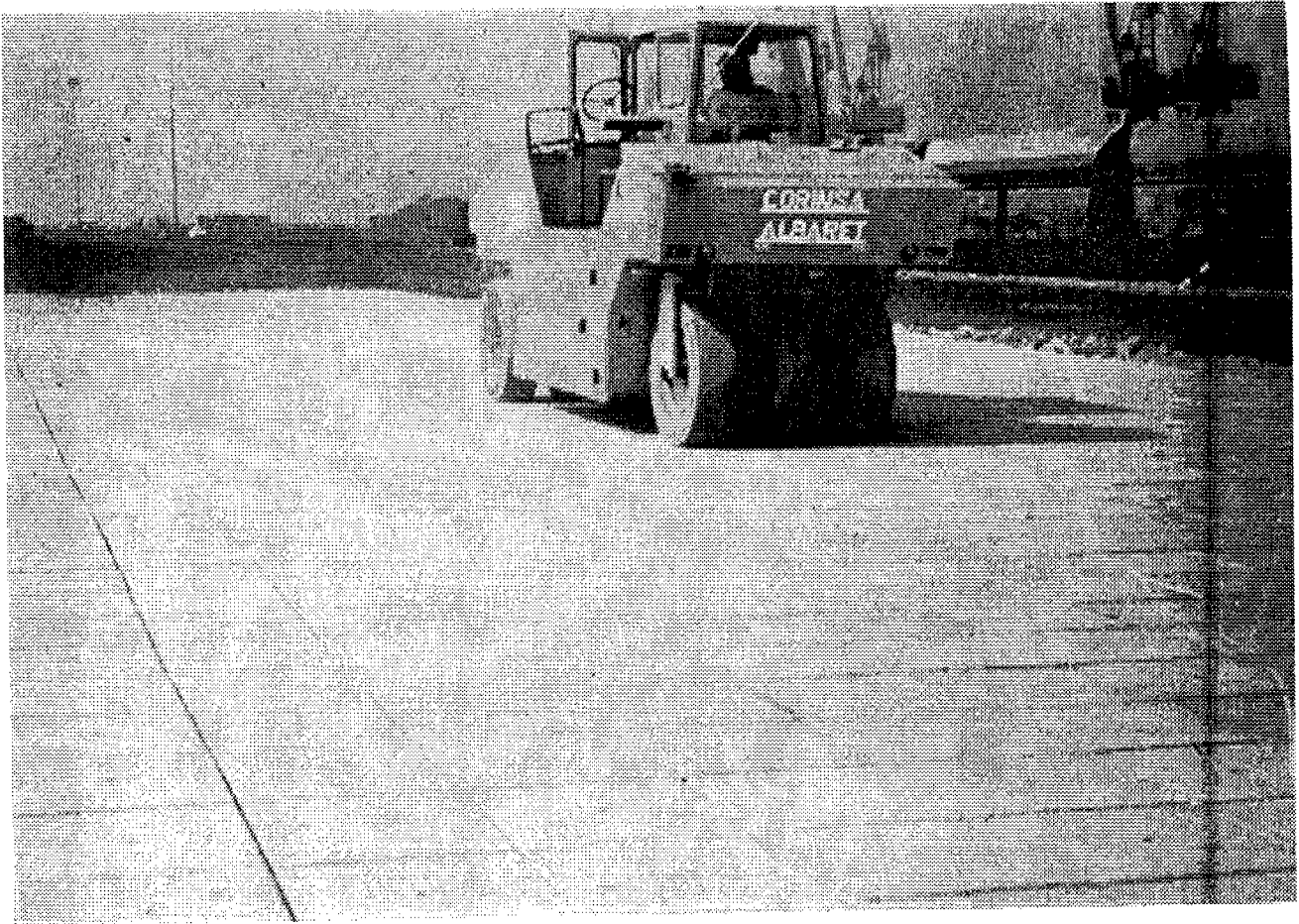
Figure 15

Injection de sable à l'aide d'une foreuse à vis



Figure 16

Tassement d'un revêtement flottant semi-rigide  
à l'aide d'un rouleau vibrant



38. Les essais de longue durée pratiqués avec ce type de revêtement sur le nouveau quai Est du port de Valence (Espagne) ont clairement démontré cet effet de ressort, ainsi que l'aptitude du système à supporter sans dommage de lourdes charges tant mobiles que statiques. Un des auteurs du présent document a pu s'assurer personnellement des bons résultats qu'il donnait. Il est plus facile aussi, à ce stade, de déterminer avec précision pourquoi et comment les inconvénients du système de dalles en béton préfabriquées sont réduits à un minimum et ses avantages portés à un maximum.

39. Les défauts du système initial, qui avaient été mis en évidence au paragraphe 67 de la Monographie antérieure, sont brièvement récapitulés ci-après :

- a) Prix de revient élevé, dû à la grande taille des dalles. Les nouveaux éléments sont plus petits (60 x 60 cm, contre 200 x 200 cm pour des dalles en béton préfabriquées) et leur poids est d'environ 170 kg (au lieu de 1 300 kg), soit une réduction à 1/11 pour la superficie et à 1/7,6 pour le poids.
- b) Fissuration en travers des angles, due aux importantes contraintes de flexion que subissent les éléments - qui sont de plus grande dimension que l'écartement des roues des engins de manutention - et au tassement du sol : ce phénomène de fissuration est encore aggravé par l'action de pompage qui s'exerce sous l'effet de la pénétration de l'eau sous les dalles. Les dimensions horizontales des nouveaux éléments (60 x 60 cm) correspondent grosso modo à la surface de contact des roues de la plupart des engins classiques de manutention des conteneurs, de sorte que les éléments sont davantage soumis à une pression directe plutôt qu'à un effort de flexion. Cette pression est transmise directement à la couche de forme en sable, qui est pratiquement prisonnière à l'intérieur de la cavité des éléments; les pertes latérales de sable sont ainsi réduites à un minimum, si bien que dans tous les cas la surface portante est préservée. En outre, la présence de joints de caoutchouc assure l'étanchéité du système.
- c) Tassement différentiel d'une dalle à l'autre : ce risque est éliminé grâce au joint de caoutchouc, qui rend les éléments solidaires les uns des autres.

40. Les avantages des dalles flottantes semi-rigides sont les suivants :

- Bon contrôle de la qualité en usine;
- Résistance complète obtenue par durcissement hors chantier;
- Pose requérant un matériel restreint;
- Possibilité d'utilisation immédiate;
- Capacité de déformation;
- Possibilité de rétablir les niveaux requis sans enlever le revêtement;



- Facilité des opérations de dépose et de remise en place pour l'installation de conduites souterraines;
- Simplicité d'entretien;
- Suppression des revêtements provisoires sur les terrains récemment remblayés ou soumis à d'importants tassements.

Les ingénieurs qui ont mis au point et testé ce système assurent que son coût est comparable à celui des autres formules.

41. Compte tenu de ce qui précède, il est évident que ce nouveau type de revêtement destiné à supporter de fortes charges semble très prometteur. Néanmoins, avant d'inclure cette formule dans le tableau comparatif des solutions susceptibles d'être adoptées pour des opérations différentes et compte tenu du rapport coût-efficacité et des performances escomptées (voir la section F du présent chapitre), il y aurait lieu de disposer de renseignements complémentaires, notamment sur le prix de revient. Or on n'en saura davantage sur ce système que lorsque celui-ci aura été adopté dans un nombre suffisant de ports et appliqué non seulement à titre expérimental, mais à grande échelle.

#### E. Revêtements en béton compacté au rouleau

42. Le béton compacté au rouleau est un matériau dérivé du béton sec (ou béton de consistance "terre humide"), initialement utilisé dans la construction des grands barrages. Comme son nom l'indique, il subit un compactage au rouleau comme dans le cas des matériaux de base classiques à granulats, traités au ciment. La principale différence avec ces derniers tient au fait que sa surface est immédiatement utilisable comme surface de roulement. En gros, le béton compacté au rouleau présente des propriétés analogues à celles d'un béton classique de revêtement au ciment Portland, mis à part les caractéristiques suivantes :

- a) Absence d'affaissement. Immédiatement après la pose le revêtement est assez rigide pour pouvoir supporter le matériel de compactage, tout en se prêtant suffisamment à l'effort de tassement exercé par ce dernier.
- b) Résistance. Le béton compacté au rouleau doit acquérir une résistance suffisante pour pouvoir être utilisé comme principal élément de structure d'un revêtement. Pour cela, sa résistance minimale à la compression au bout de 28 jours doit être d'environ  $30 \text{ N/mm}^2$ . Dans certains cas, surtout en Amérique du Nord, le critère retenu est la résistance à la flexion, souvent fixée à  $3 \text{ N/mm}^2$ .
- c) Durabilité. A la différence du béton normalement utilisé pour les revêtements, on ne peut impulser de l'air dans du béton compacté au rouleau. Cependant, il semble que le procédé de mise en place maintienne dans le matériau suffisamment de bulles d'air pour le rendre résistant au gel. L'utilisation de ce type de béton en Amérique du Nord a montré qu'il conservait une tenue satisfaisante dans des conditions modérées de gel/dégel.

- d) Matériaux. La stabilité du béton frais durant le compactage est fonction de la granulométrie de l'agrégat. Les granulats bien calibrés comme ceux que l'on utilise dans les enrobés bitumineux se sont avérés être les mieux adaptés. On utilise généralement des granulats d'une grosseur maximale de 20 mm, et les bons agrégats contiennent normalement une plus forte proportion d'éléments passant au tamis de 75 microns que le béton ordinaire au ciment Portland. Un pourcentage de fines non plastiques compris entre 5 et 10 % est considéré comme acceptable. Celles-ci peuvent jouer un rôle utile comme matière minérale de remplissage qui aide à obtenir en surface une texture plus serrée. Cela permet non seulement d'améliorer la durabilité du revêtement, mais aussi de réduire parfois la quantité de ciment utilisé. Dans le cas d'un revêtement en deux couches, on peut employer pour la partie inférieure des granulats d'une grosseur maximale de 40 mm, encore qu'un léger phénomène de ségrégation puisse alors se produire.

43. Plusieurs méthodes de conception structurelles ont été mises au point aux Etats-Unis pour l'emploi de béton compacté au rouleau. La Portland Cement Association (PCA) a élaboré une technique de conception fondée sur l'effort à supporter et sur des contraintes théoriques. Pour s'en procurer le descriptif, il convient de s'adresser à : PCA, 5420 Old Orchard Road, Skokie, Illinois, 60077 (Etats-Unis). On peut aussi recourir au Manuel BPF pour la mise au point de revêtements de ce type, en utilisant à cet effet les diagrammes applicables aux revêtements rigides en béton. En effet, la résistance à la flexion qui caractérise le béton compacté au rouleau est analogue à celle de tout revêtement en béton.

F. Version révisée du tableau comparatif des divers types de revêtement

44. Les différents types de revêtement possibles pour un terminal à conteneurs, décrits soit dans la Monographie, soit dans le présent Supplément, sont les suivants :

- a) Revêtement de bitume ou d'asphalte;
- b) Béton classique coulé sur place;
- c) Dalles en béton préfabriquées;
- d) Pavés en béton;
- e) Lits de gravier;
- f) Béton à fibres d'acier, coulé sur place;
- g) Revêtement flottant semi-rigide;
- h) Béton compacté au rouleau;
- i) Systèmes mixtes.

45. Le tableau 2 de la monographie initiale indiquait dans quelle mesure certains revêtements convenaient à différentes opérations ou zones d'activité, en fonction de leur rapport coût-efficacité et de leurs performances.

A la lumière des renseignements complémentaires obtenus par les auteurs - qu'il s'agisse d'une expérience de première main ou d'études de cas - et des nouvelles techniques introduites dans le domaine des revêtements portuaires, ce tableau a été révisé et est présenté ci-dessous. Il convient de l'examiner en se référant à tous les éléments d'information présentés dans la Monographie initiale, et notamment aux observations formulées aux paragraphes 27 à 34. En ce qui concerne la version révisée du tableau, il faut également tenir compte des observations ci-après.

46. Pas plus que dans la version initiale du tableau, les types de revêtements décrits comme des "systèmes mixtes" n'ont été inclus car, ainsi qu'il est indiqué aux paragraphes 85 à 89 de la Monographie initiale, le nombre des formes que peuvent prendre les revêtements de cette catégorie paraît illimité. Il serait difficile de les présenter sous la forme d'un tableau. Pour les raisons exposées au paragraphe 39, les dalles en béton préfabriquées n'y figurent pas non plus.

47. Deux des nouvelles techniques de revêtement portuaire, à savoir le "béton compacté au rouleau" et le "revêtement flottant semi-rigide" n'ont pas été incluses dans la version révisée du tableau pour les raisons suivantes. En dépit d'essais techniques laissant entrevoir les possibilités que l'une et l'autre présentent, elles n'ont pas encore été suffisamment employées dans les terminaux à conteneurs, qu'il s'agisse du nombre d'applications ou de la durée des essais. De ce fait, vu le caractère limité de leur application à ce jour, les auteurs n'ont pas été en mesure d'en analyser globalement le rapport coût-efficacité ni les performances à l'échelle mondiale. Pour autant, une telle situation ne devrait pas dissuader les spécialistes du génie portuaire de considérer ces deux systèmes de revêtement comme des options possibles. D'ici quelques années ceux-ci devraient, du reste, pouvoir figurer dans le tableau.

Tableau révisé

Types de revêtements adaptés à différentes opérations ou zones d'activité,  
compte tenu de leur rapport coût-efficacité et de leurs performances

(Légende : 1 = à éviter si possible  
10 = solution recommandée  
5 = solution raisonnable)

Type d'opération ou de zone d'activité	Asphalte	Dalles classiques en béton coulées sur place	Béton à fibres d'acier coulé sur place	Pavés en béton	Lits de gravier
Gerbage de conteneurs	1	3	6	7	10
Aires de stationnement des remorques	2	7	7	7	-
Allées entre les rangées de conteneurs pour le passage des chariots cavaliers	1	5	7	7	-
Aires de triage pour chariots cavaliers	4	6	7	7	-
Aires de triage pour élévateurs à fourche	2	6	6	6	-
Aires de triage pour véhicules routiers	8	6	8	8	-
Aires de travail pour grues mobiles	2	7	8	5	-
Aires affectées aux portiques de parc	1	3	4	4	10
Aires d'entretien	1	8	10	5	-

Note : Pour lire ce tableau, prière de se reporter aux paragraphes 14 à 34 de la Monographie No 5 et aux paragraphes 44 à 48 du présent Supplément.

### Chapitre III

#### NOUVELLES METHODES D'ENTRETIEN, DE REGENERATION ET DE RENOVATION

##### A. Matériau de réparation rapide pour les revêtements

48. Les revêtements en général, mais surtout ceux des ports, subissent d'importantes détériorations de surface, en raison des charges extrêmement lourdes qui leur sont appliquées (voir la figure 17). Dans la plupart des cas, les nids-de-poule, fissures, affaissements, effritements, dégradations superficielles et ruptures de joints qui apparaissent dans les revêtements en asphalte ou en béton échappent à l'attention, ou sont même négligés sans que l'on se rende compte de leurs conséquences potentielles. Les dommages ainsi occasionnés sur la couche de surface des revêtements portuaires ont de multiples causes : fourches des chariots élévateurs, pièces de coin des conteneurs, roues de sellette d'attelage des remorques, vérins stabilisateurs des grues mobiles, charges dynamiques exercées par les engins de manutention des conteneurs, chocs résultant d'erreurs de manutention des marchandises, arêtes vives de certaines cargaisons ou de leurs emballages, etc.

49. De tels dégâts, pour superficiels et peu étendus qu'ils soient généralement, risquent - s'ils ne sont pas réparés immédiatement et totalement - de dégrader sérieusement et même de détériorer totalement la structure même des revêtements, entraînant en fin de compte des travaux de remise en état onéreux et de nature à perturber sérieusement les opérations portuaires. De plus, les nids-de-poule se transforment souvent en dangereuses chausse-trapes et sont pour les véhicules et les engins de manutention une source d'avaries, voire d'accidents graves.

50. Il faudrait en conséquence que les autorités compétentes prennent, par prudence, des mesures correctives en temps opportun; en effet, dès que la surface du revêtement commence à s'abîmer, ce dernier se dégradera en très peu de temps et risquera de devenir à brève échéance totalement impraticable, surtout en cas d'intempéries.

51. Dans ce contexte, il est clair que deux éléments importants plaident en faveur d'une réparation immédiate des défauts et des dégâts de surface mentionnés ci-dessus. Il s'agit, premièrement, d'entretenir en permanence pour les véhicules une surface de roulement plane et régulière afin de minimiser les risques d'accidents et, deuxièmement, d'éviter de devoir entreprendre ultérieurement des travaux d'entretien coûteux et à plus grande échelle, pouvant contrecarrer du même coup les opérations portuaires.

52. L'expérience acquise avec le temps montre que des défauts de surface de quelques centimètres carrés seulement se transforment en quelques mois en larges nids-de-poule de plusieurs mètres carrés. Cependant, bien que les spécialistes du génie portuaire aient pleinement conscience des conséquences d'une telle situation, les dépenses de temps et d'argent liées à la mobilisation des moyens nécessaires pour appliquer les matériaux d'entretien traditionnels (goudronneuses, marteaux-piqueurs, compresseurs, camions, rouleaux, bétonnières, main-d'oeuvre qualifiée, etc.) - sans commune mesure avec les minimes réparations requises - ont exercé un effet dissuasif sur l'exécution correcte de ce type d'entretien préventif.

Figure 17

Exemples typiques de dégâts superficiels subis par  
des revêtements portuaires

Dégâts causés par les fourches des chariots élévateurs

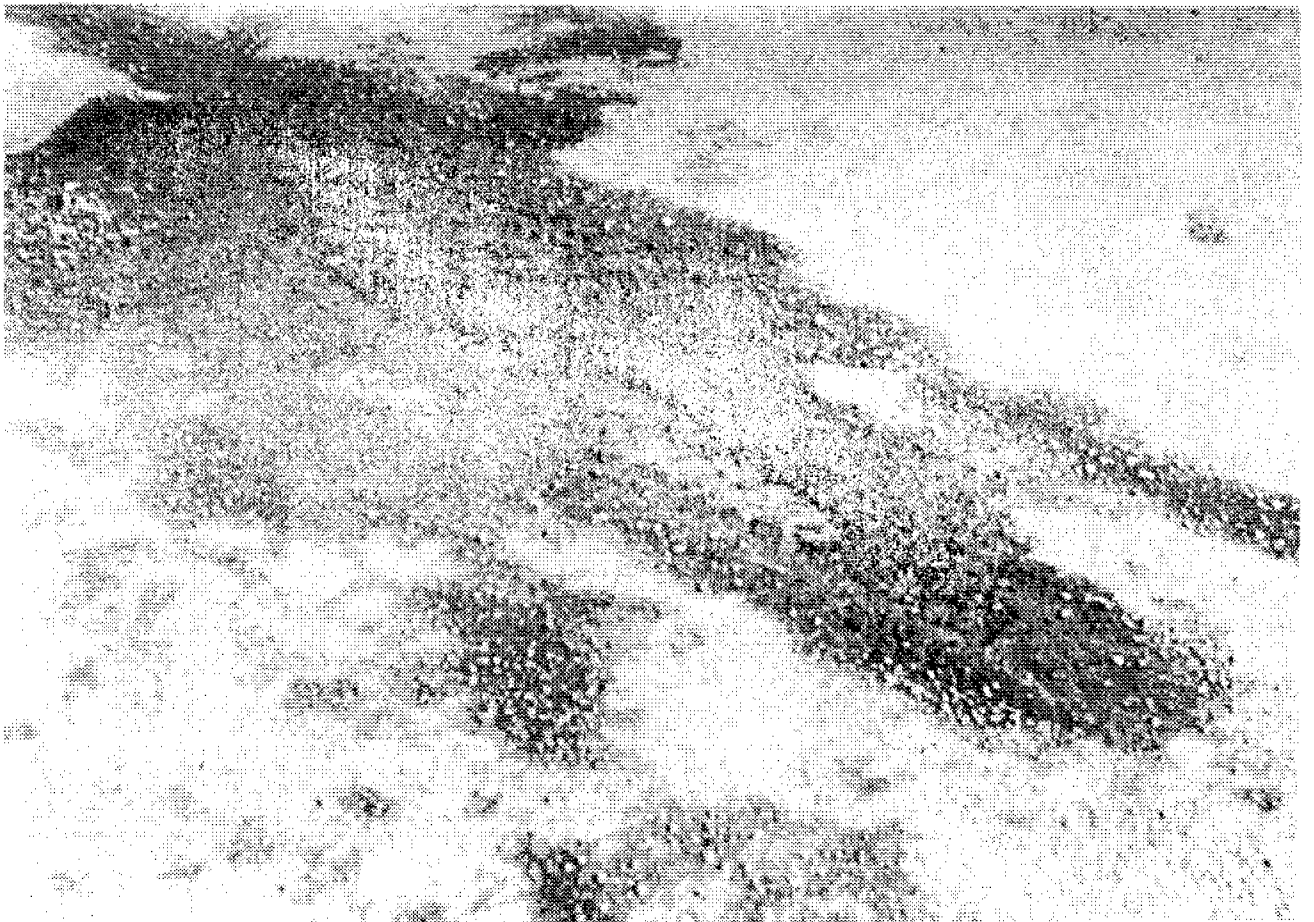


Figure 17 (suite)

Exemples typiques de dégâts superficiels subis par  
des revêtements portuaires

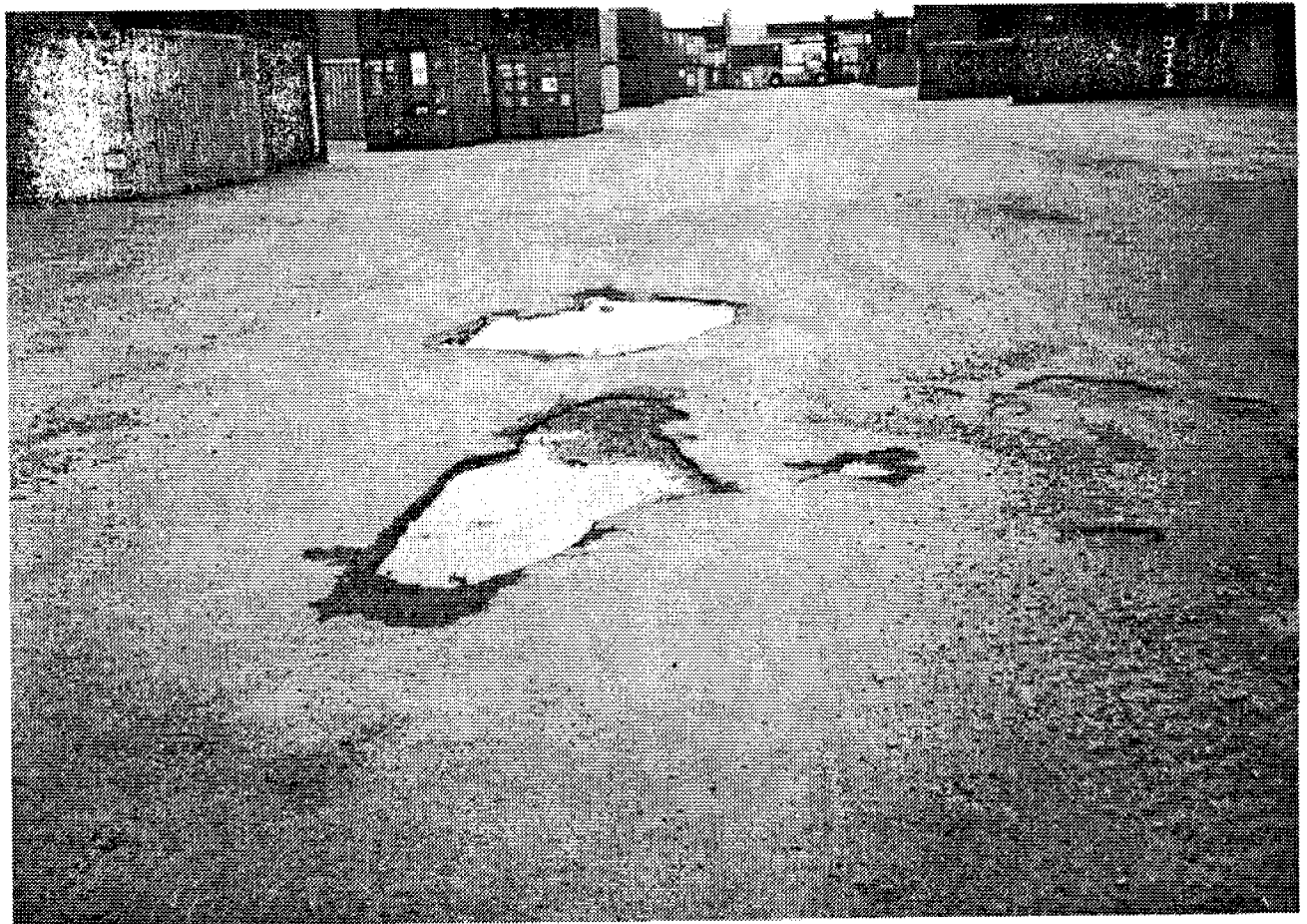
Dégâts observés autour d'un couvercle de trou d'homme



Figure 17 (suite)

Exemples typiques de dégâts superficiels subis par  
des revêtements portuaires

Dégâts causés par les engins lourds de manutention des conteneurs





53. Fort heureusement, une telle situation n'a pas échappé à l'attention des milieux spécialisés, qui au cours des dix dernières années ont mis au point un matériau très utile qui résout ce problème d'une manière à la fois efficace et économique. Comme son nom l'indique (en anglais : Instant Road Repair, ou IRR), ce matériau de réfection "instantanée" des routes permet de réparer des revêtements en très peu de temps. En outre, il a donné des résultats très probants dans l'élimination des différences de niveau dues à ce que le tassement n'est pas le même pour le revêtement et pour d'autres structures plus rigides (regards, trous d'homme, etc.).

54. Maintenant que l'IRR a pleinement fait ses preuves dans le monde entier et compte tenu en particulier des bons résultats - observés par un des auteurs - obtenus depuis plus de dix ans avec le produit de marque Emcol dans les ports de Limassol et de Larnaka, à Chypre, il semble opportun de faire connaître et de diffuser une telle expérience auprès d'autres "gestionnaires de revêtements des terminaux à conteneurs".

55. Les caractéristiques techniques et autres de l'IRR, ainsi que la méthode couramment employée dans les ports chypriotes pour réparer les nids-de-poule et autres dégradations de surface des revêtements de bitume ou de béton, sont brièvement décrites ci-après. Cependant, il est à signaler que l'expérience positive de Chypre se rapporte exclusivement au produit Emcol; les renseignements qui suivent ne valent donc pas nécessairement en totalité ou en partie pour d'autres types d'IRR.

56. L'IRR est conçu pour permettre une réparation immédiate et durable des nids-de-poule, affaissements et fractures des surfaces en macadam goudronné, en asphalte et en béton. Conditionné en seaux ou en sacs de 25 kg, d'une durée de conservation de dix et quatre mois respectivement, ce produit est prêt à l'emploi et ne nécessite aucun chauffage, malaxage, prétraitement des surfaces à réparer (creusement, utilisation d'enduits d'accrochage, etc.), ni ajouts avant ou après l'application. Il n'est pas nécessaire d'employer un rouleau, les seuls outils requis étant un balai et une pelle.

57. A la différence des matériaux classiques, l'IRR peut être utilisé par une chaleur ou un froid intenses (de 60 °C à - 40 °C) et dans diverses conditions hygrométriques (neige, glace, fortes pluies, humidité). La préparation des surfaces à réparer est donc minimale. L'idéal est d'en éliminer au préalable toutes traces d'eau, d'huile ou de gravats. Toutefois, dans les nombreux cas où il n'a pas été possible de le faire, les réparations ont toujours tenu parfaitement.

58. L'IRR est versé directement du paquet dans le trou à remplir - quelles qu'en soient la taille, la forme ou la profondeur - de manière à déborder de celui-ci, puis compacté avec le dos d'une pelle ou, s'il est jugé préférable, à l'aide d'une dame. La durée de l'opération ne prend pas plus de trois minutes en moyenne et la surface réparée est immédiatement praticable, qu'il s'agisse de passage de piétons ou des engins les plus lourds (matériel de manutention des conteneurs, par exemple) - sans décollement de matière, empreintes de pneus ni autres dégâts (voir la figure 18). Pour des trous profonds on peut combler la cavité en partie avec des granulats bien damés que l'on couvrira ensuite d'IRR.

Figure 18

Procédure de réparation instantanée des chaussées

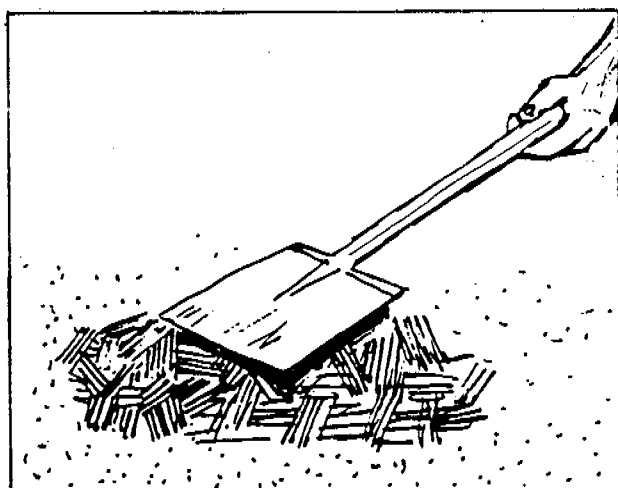
1 Eliminer à l'aide d'un balai tous gravats ou flaques d'eau ou d'huile



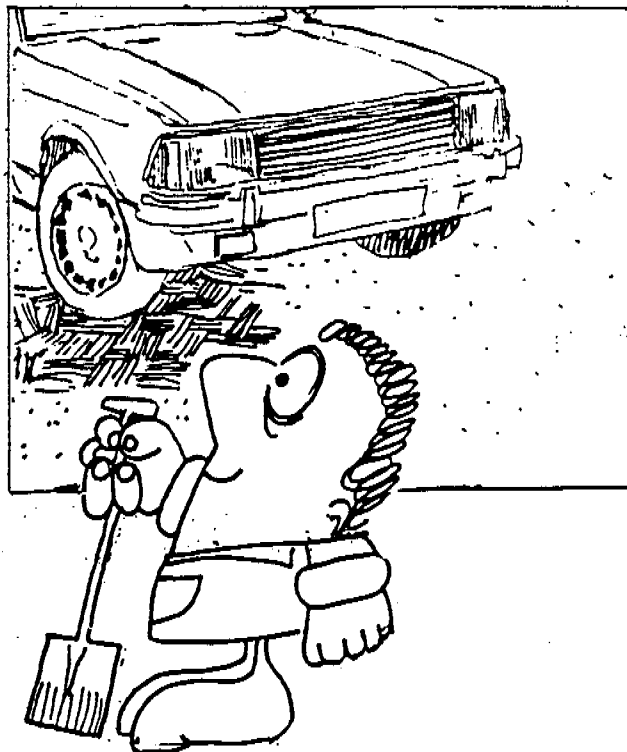
2 Remplir la totalité du trou en faisant légèrement déborder le matériau



3 Aplatir avec une pelle ou une dame



4 La surface réparée est immédiatement praticable par les plus lourds véhicules



59. Une fois la réparation achevée, le produit conserve sa souplesse pendant quelques heures; il durcit ensuite sous l'effet conjoint du séchage à l'air et du compactage. La surface réparée ne fait apparaître aucune dépression, ni résidus pierreux, ni contraction, et le matériau s'accroche très bien à des structures métalliques, à des trous d'homme, etc. (voir la figure 19).

60. Des réparations de ce genre soumises à de grandes variations de température et à un trafic intense et continu et contrôlées depuis une dizaine d'années ont apparemment tenu jusqu'à ce jour sans que se manifeste aucune détérioration. Dans la même zone, les matériaux de réparation traditionnels peuvent perdre leur efficacité en 24 heures et des travaux de réparation doivent alors être effectués plusieurs fois par an.

61. Le fabricant ne fait pas état de la résistance du produit aux fuites de combustible, mais cette résistance semble attestée par des renseignements concordants et par l'expérience acquise à Chypre.

62. Si l'on veut comparer le coût de l'IRR avec celui des matériaux traditionnels de colmatage à chaud et à froid, il serait erroné de retenir le prix à la tonne comme seul critère. Tous les éléments de coût doivent au contraire être pris en considération : matériel requis (marteau-piqueur, compresseur, camion, rouleau, feux de signalisation), gaspillage de matériaux, nombre d'heures de travail, solidité des réparations, arrêts de circulation, perturbation des opérations portuaires, sans oublier en outre que les surfaces à remettre en état sont en fait plus petites. La pratique a montré que d'importantes économies peuvent être réalisées si l'on emploie l'IRR de préférence à des méthodes de réparation traditionnelles.

B. Emploi de géotextiles de la nouvelle génération dans les techniques de recouvrement

63. La nécessité ressentie partout dans le monde de réduire les coûts de réparation considérables des anciens revêtements a récemment lancé la nouvelle technologie des géotextiles pour la mise au point d'une technique très efficace de recouvrement au moyen d'enrobés asphaltiques. Les recouvrements d'asphalte visant à prévenir le phénomène de réflexion des fissures en surface est ainsi devenu un important domaine d'application pour les géotextiles.

64. La formation de fissures secondaires ou la propagation verticale des craquelures apparaissant à la surface d'un revêtement asphaltique ne sont pas chose rare. Les fissures de ce type résultent généralement d'une perte de résistance aux contraintes de flexion, du vieillissement naturel de la surface sous l'action de nombreux facteurs très divers liés à l'environnement et d'un certain nombre d'autres mécanismes. Elles ont pour effet de rendre moins étanche la couche de surface, qui laisse ainsi pénétrer l'humidité et l'eau de pluie dans la couche portante, d'où une réduction de sa résistance au cisaillement. Cela se traduit par la formation d'ornières, de fissures longitudinales concentrées sur les voies de passage et de nids-de-poule, sans parler des dégâts dus au gel.

Figure 19

Exemples de réparations effectuées à l'aide du matériau  
de réfection instantanée des chaussées (IRR)

Revêtement d'asphalte entourant des couvercles de trous d'homme

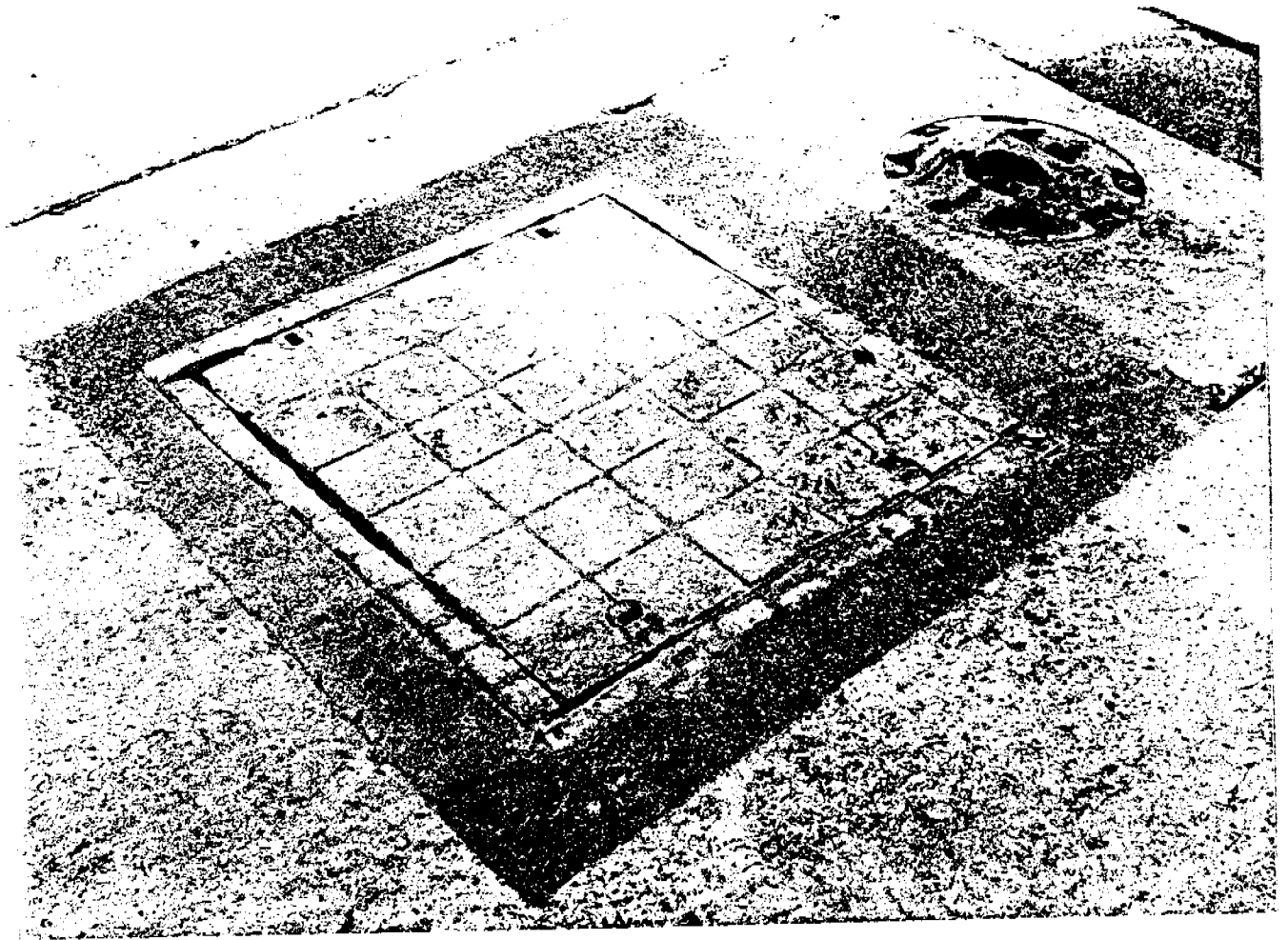
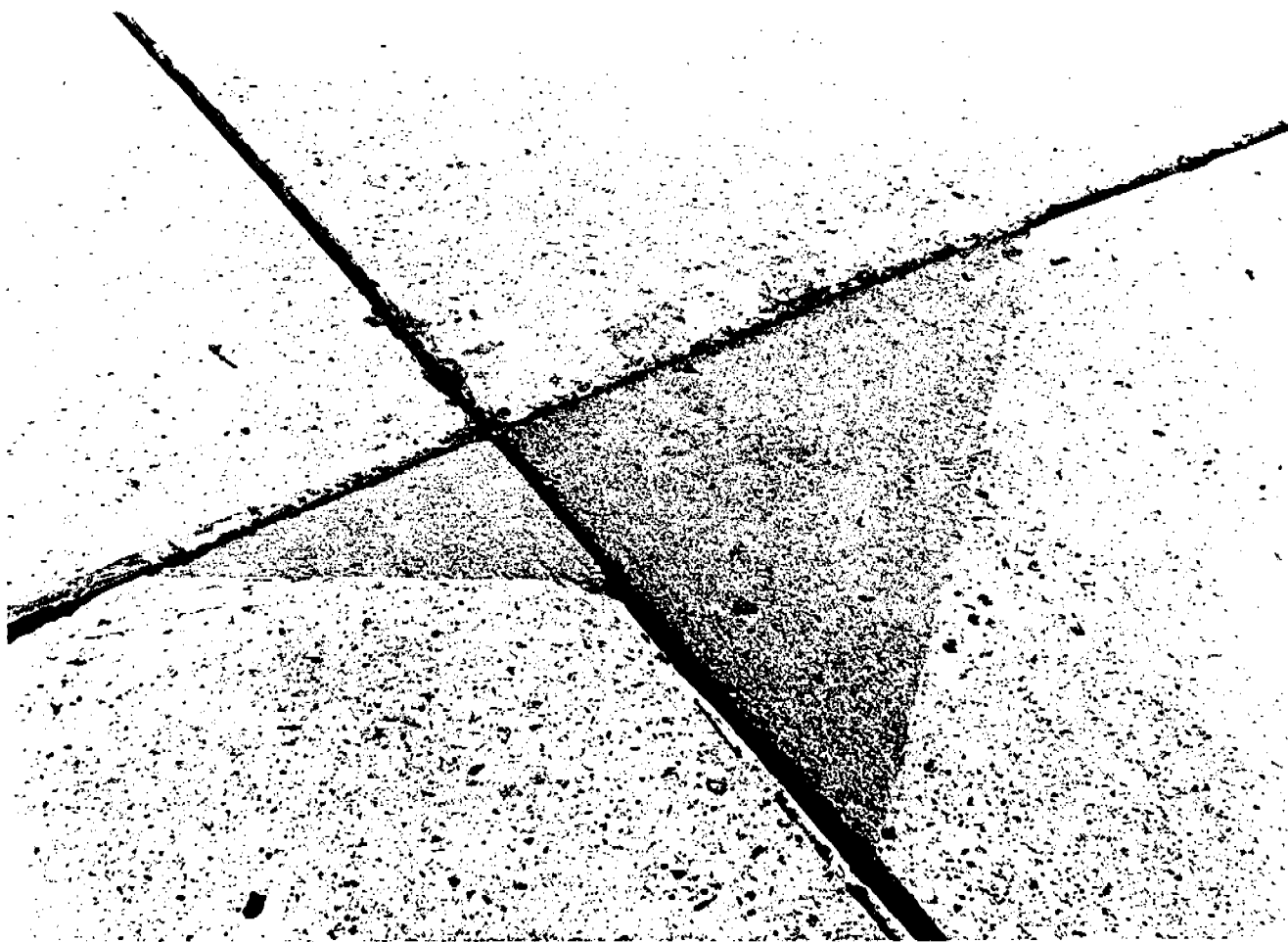


Figure 19 (suite)

Exemples de réparations effectuées à l'aide du matériau  
de réfection instantanée des chaussées (IRR)

Coins d'un revêtement en béton



65. Si la couche fissurée du revêtement est rénovée au moyen d'un resurfaçage, la réflexion des fissures, c'est-à-dire leur propagation de l'ancienne surface de revêtement à la nouvelle, peut entraîner la formation de fissures tertiaires dans la nouvelle couche de surface. Celles-ci sont également provoquées par l'action combinée des contraintes de température et de circulation et amoindrissent elles aussi l'étanchéité de la surface bitumineuse, et donc la résistance au cisaillement du matériau dont est constitué la couche portante.

66. C'est ce qui s'est produit dans les ports de Larnaka et de Limassol à Chypre, où l'un des auteurs est responsable de l'entretien et de la construction : le resurfaçage classique des revêtements asphaltiques vieillissants, pratiqué pendant de nombreuses années, s'est avéré être un simple palliatif, dans la mesure où la configuration des fissures marquant les anciennes surfaces réapparaissait sur les nouvelles en quelques mois, généralement à la suite d'un changement climatique saisonnier (voir la figure 20 a)). Cependant, depuis la mise en place d'une membrane géotextile dans la couche d'enrobage appliquée pour régénérer des revêtements asphaltiques vétustes dans les deux ports cités, le problème de la réflexion des fissures est résolu (voir la figure 20 b)). Dans l'un et l'autre cas, on a utilisé un géotextile de polypropylène non tissé, aiguilleté, thermosondable et imprégné d'asphalte, du type feutre composite PGM14 (voir la figure 21), qui donne d'excellents résultats.

67. Ce genre de matériau, d'une grande simplicité d'emploi (voir la figure 22), remplit deux fonctions essentielles lorsqu'il est utilisé pour empêcher la contamination des fissures dans l'enrobé : une fonction d'étanchéité et une fonction de renforcement. Les propriétés d'étanchéité du géotextile PGM14 et la résistance accrue à la flexion que présentent les nouveaux enrobés d'asphalte appliqués dans les ports de Larnaka et de Limassol ont apparemment contribué de manière décisive à allonger la durée de vie utile des revêtements asphaltiques existant dans ces deux ports. Les résultats des essais sur le terrain pratiqués depuis plus de 12 ans dans d'autres endroits ont permis de constater, de manière empirique, que le facteur d'allongement de la durée de vie des revêtements se situait entre 2 et 3.

Figure 20

Etat de différentes couches de surface au port de Larnaka

a) Six mois après une opération de resurfaçage sans géotextiles



Figure 20 (suite)

Etat de différentes couches de surface au port de Larnaka

b) Quatre ans après un resurfaçage avec pose d'une membrane de géotextile

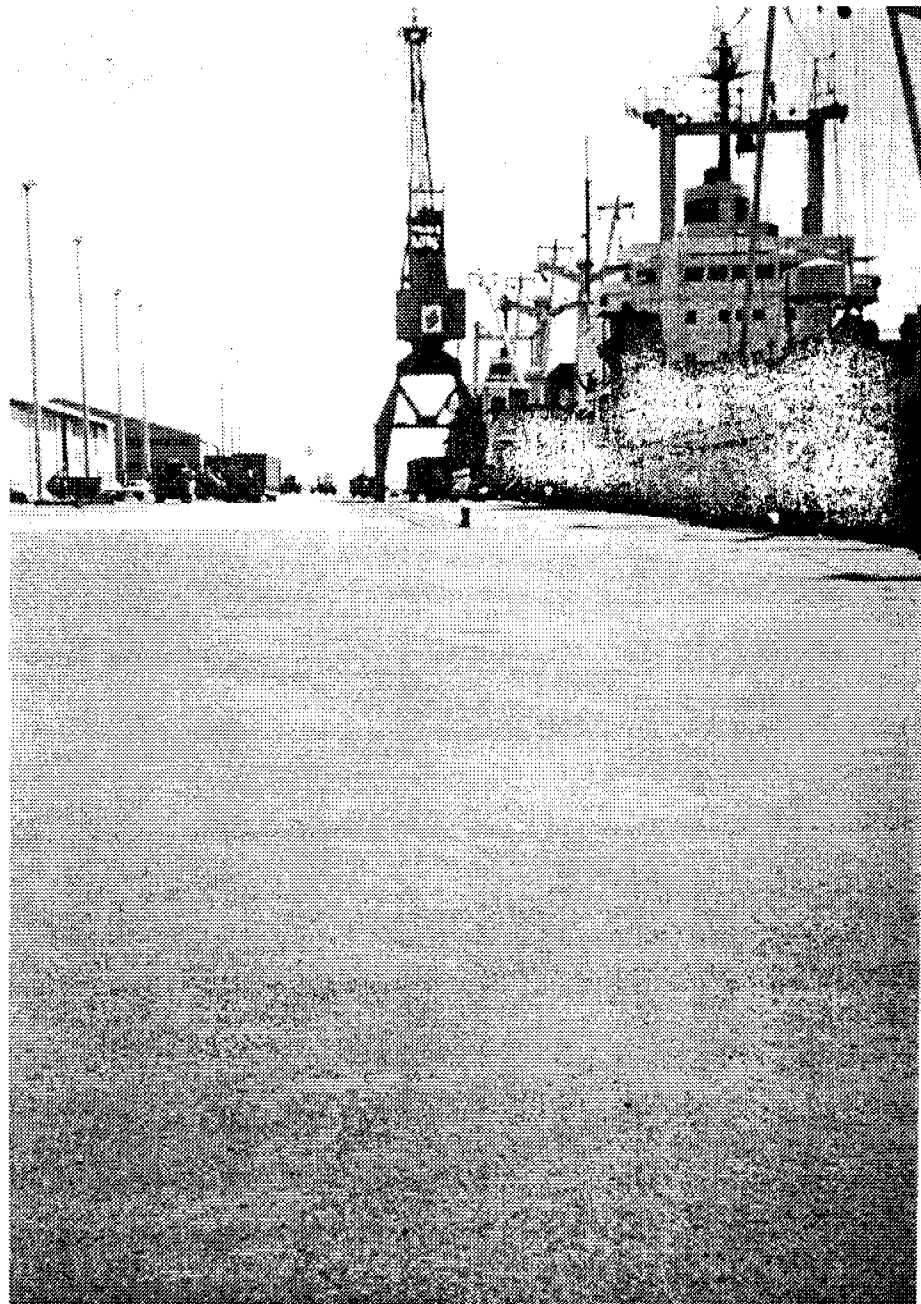


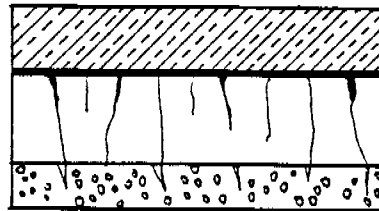


Figure 21

Deux méthodes employées pour appliquer un enrobé à base d'asphalte dans les portes de Limassol et de Larnaka

PREMIERE METHODE

APPLICABLE A UN REVETEMENT EN BETON D'ASPHALT FISSURE ET USE



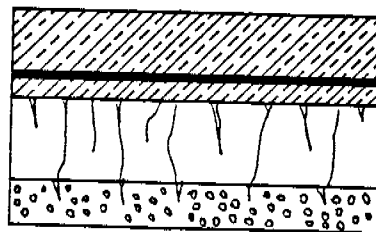
NOUVEAU REVETEMENT  
FEUTRE COMPOSITE PGM 14

ANCIEN REVETEMENT

COUCHE DE FORME

DEUXIEME METHODE

APPLICABLE A UN REVETEMENT EN BETON D'ASPHALTE SERIEUSEMENT FISSURE ET DEGRADE



NOUVEAU REVETEMENT  
FEUTRE COMPOSITE PGM 14  
COUCHE DE NIVELLEMENT

ANCIEN REVETEMENT

COUCHE DE FORME

Figure 22

Pose d'une membrane de géotextile après vaporisation d'un enduit  
d'accrochage sur la couche de surface



## Chapitre IV

### VERSION REVISEE DU MANUEL BPF DE CONCEPTION DES REVETEMENTS PORTUAIRES

#### A. Introduction

68. La deuxième édition du Manuel de la British Ports Federation a été publiée en 1989, l'édition de 1984 étant épuisée. Cela a été l'occasion de remanier la présentation des diagrammes de conception des revêtements et d'introduire plusieurs modifications techniques. Avant de donner un aperçu de ces révisions et de ces modifications, citons la phrase suivante, extraite de la préface de l'édition de 1989 du Manuel BPF : "La publication des Nations Unies intitulée Gestion des revêtements de terminaux à conteneurs fait pendant au présent Manuel, en le complétant".

#### B. Nouvelle présentation des diagrammes de conception

69. La présentation des diagrammes de conception a été modifiée essentiellement de façon à réduire le format du Manuel sans pour autant nuire à sa précision. Cet objectif a été atteint par quatre moyens. Premièrement, les deux graphiques représentant, sur chaque figure, les contraintes admissibles ont été enlevés et incorporés comme diagrammes distincts au début du principal jeu de diagrammes. Cela a permis de réduire des deux tiers la taille du Manuel.

70. Deuxièmement, les diagrammes ont été imprimés recto-verso, la taille du document étant ainsi encore réduite de moitié. Troisièmement, les diagrammes correspondant aux indices CBR (California Bearing Ratio, indice portant californien de la couche de forme) de 2 %, 4 %, 6 %, 7 %, 15 % et 20 % ont été supprimés, les seuls qui subsistent étant ceux de 1 %, 3 %, 5 %, 10 % et 30 %. L'expérience a montré qu'il n'en résulterait aucune erreur appréciable, et l'économie d'espace équivaut cette fois encore à plus de la moitié. Quatrièmement, les diagrammes correspondant à une couche de base de 150 mm d'épaisseur ont été supprimés, d'où une économie supplémentaire de 25 %. Au total, l'ensemble de ces modifications a permis de réduire à 1/16 l'épaisseur du Manuel qui est à présent publié en édition brochée de format A4. Par là même, son coût en a été notablement abaissé.

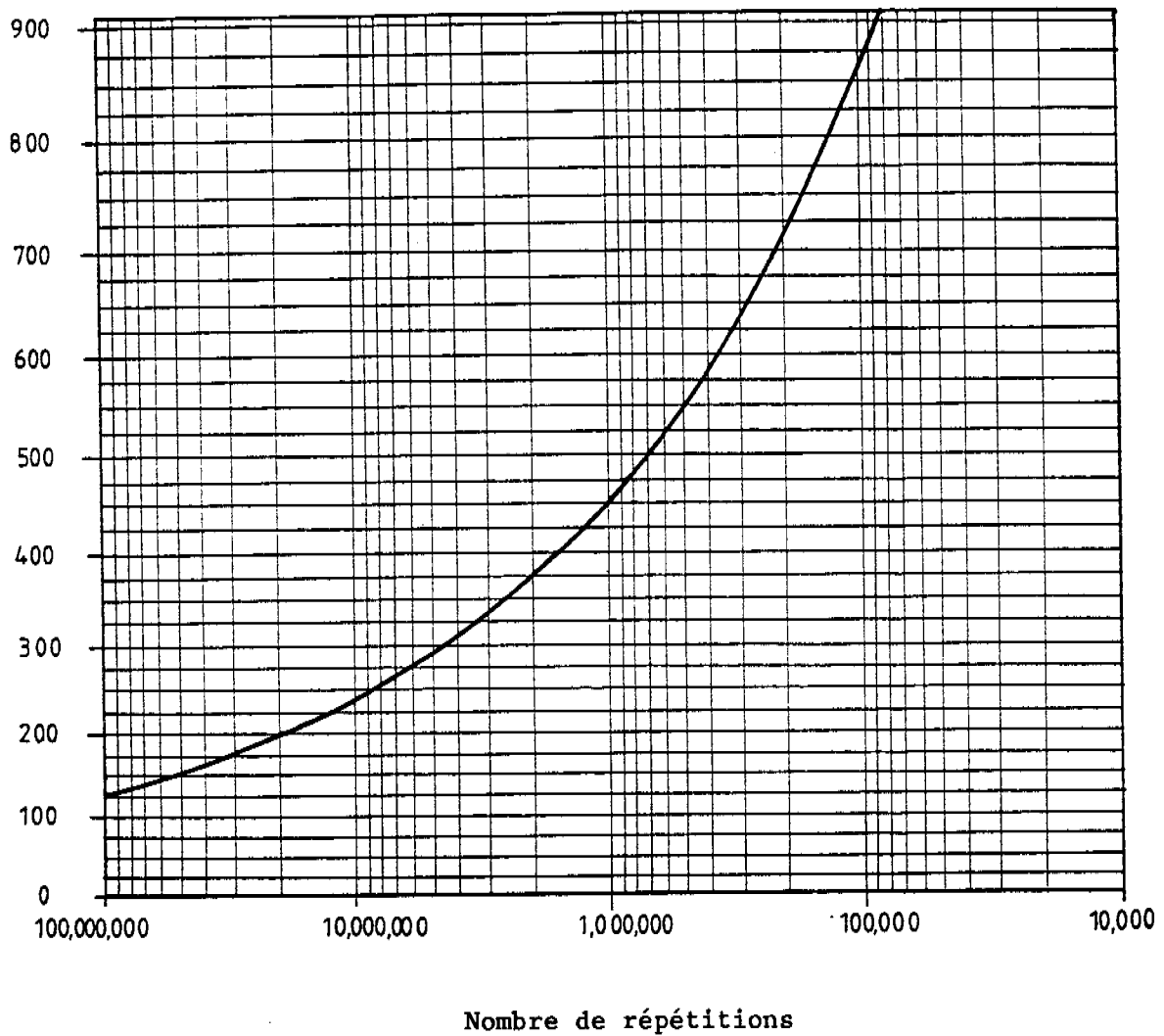
#### C. Modifications techniques

71. Parmi les modifications techniques apportées au Manuel BPF dans cette deuxième édition, citons en premier lieu, l'inclusion de diagrammes de conception concernant des revêtements entièrement souples à couche portante granulaire. La raison de cette innovation tient à ce que le Manuel est à présent diffusé aux Etats-Unis, où les revêtements industriels de ce type sont d'un usage courant. Pour la conception des couches portantes en matériau granulaire, un nouveau diagramme (voir la figure 23) a été introduit : il met en évidence la relation entre la contrainte de compression verticale admissible et le nombre de répétitions de la charge. Par exemple, pour une couche portante granulaire soumise à un million de répétitions, la contrainte de compression verticale ne peut pas être supérieure à 450 microcontraintes (soit 0,00045 contrainte). La procédure de conception est identique à celle des couches portantes stabilisées au ciment (béton maigre) et des dalles en béton rigide; autrement dit, les valeurs correspondant à chaque cas sont

Figure 23

Contrainte de compression admissible pour les couches  
portantes en matériau granulaire

Contrainte de  
compression  
verticale  
(microcontraintes)



en béton rigide; autrement dit, les valeurs correspondant à chaque cas sont déterminées d'après les diagrammes appropriés, représentant l'indice de classement des charges (LCI) et l'épaisseur de la couche portante. Pour le calcul de l'épaisseur requise dans le cas d'une couche portante granulaire, on a tracé une ligne horizontale distincte correspondant au module d'élasticité de ce type de matériau, considéré comme étant de 1 000 N/mm<sup>2</sup>. Dans le cas d'une telle structure, le Manuel recommande que son indice CBR ne soit pas inférieur à 80 %.

72. La deuxième modification, également destinée à répondre aux besoins des Etats-Unis, réside dans l'emploi conjoint d'unités de mesure anglo-saxonnes et du système métrique. Notons à ce propos que le Manuel a été introduit aux Etats-Unis par l'American Association of Port Authorities.

73. Troisième modification, le ramaniement de la méthode de calcul du "facteur de proximité" pour les engins qui ont des roues disposées côte à côte (d'où une interaction des contraintes exercées par chacune d'elles). Le Manuel utilise une technique qui permet d'évaluer la contrainte critique exercée directement sous une roue en tenant compte de celle qui provient d'une roue voisine. Dans le Manuel de 1984, on appliquait pour cela un "facteur de proximité", servant à multiplier la charge d'une roue unique en fonction de la disposition des roues voisines. Or la contrainte supplémentaire engendrée par celles-ci dépend non seulement de l'ampleur de la charge et de l'espacement des roues, mais aussi de l'épaisseur du revêtement envisagé, étant donné que le point d'interaction critique se situe non loin de la partie inférieure du revêtement. Le Manuel révisé tient compte pour la première fois de l'épaisseur de celui-ci et permet donc d'évaluer plus précisément l'effet de la proximité des roues.

74. Il importe tout d'abord de prévoir, avant la phase de conception, l'épaisseur définitive du revêtement. L'équation ci-après donne la valeur approximative de sa profondeur effective, depuis sa surface jusqu'à la face inférieure de la couche portante. La profondeur effective correspond à la profondeur de matériau de la couche de forme qui absorberait la charge de manière analogue au revêtement à l'étude. L'équation en question se présente sous la forme suivante :

$$\text{Profondeur effective} = 300 \sqrt[3]{\frac{3\,500}{\text{CBR} \times 10}}$$

75. Une fois cette valeur obtenue, le facteur de proximité peut être déterminé d'après le tableau suivant :

Espacement des roues (mm)	Facteur de proximité pour une profondeur effective de		
	1 000 mm	2 000 mm	3 000 mm
300	1,82	1,95	1,98
600	1,47	1,82	1,91
900	1,19	1,65	1,82
1 200	1,02	1,47	1,71
1 800	1,00	1,19	1,47
2 400	1,00	1,02	1,27
3 600	1,00	1,00	1,02
4 800	1,00	1,00	1,00

Les valeurs intermédiaires peuvent être obtenues par interpolation, à partir des valeurs figurant aussi bien sur les lignes que dans les colonnes.

76. Prenons par exemple un chariot élévateur à fourche équipé de trois roues à chaque extrémité de son essieu avant. Le point critique se situerait dans ce cas juste en-dessous de celle du milieu. Si leur écartement est de 600 mm et la profondeur effective - d'après les calculs - de 2 000 mm, le facteur de proximité à appliquer pour chacune des deux roues latérales est de 1,82. A supposer que la charge de chacune des trois roues soit de 10 000 kg, la charge équivalente unique serait de :

$$10\ 000 + 8\ 200 + 8\ 200 = 26\ 400\ \text{kg},$$

soit 12 % de moins que si toute la charge était transmise par l'intermédiaire d'une seule roue.

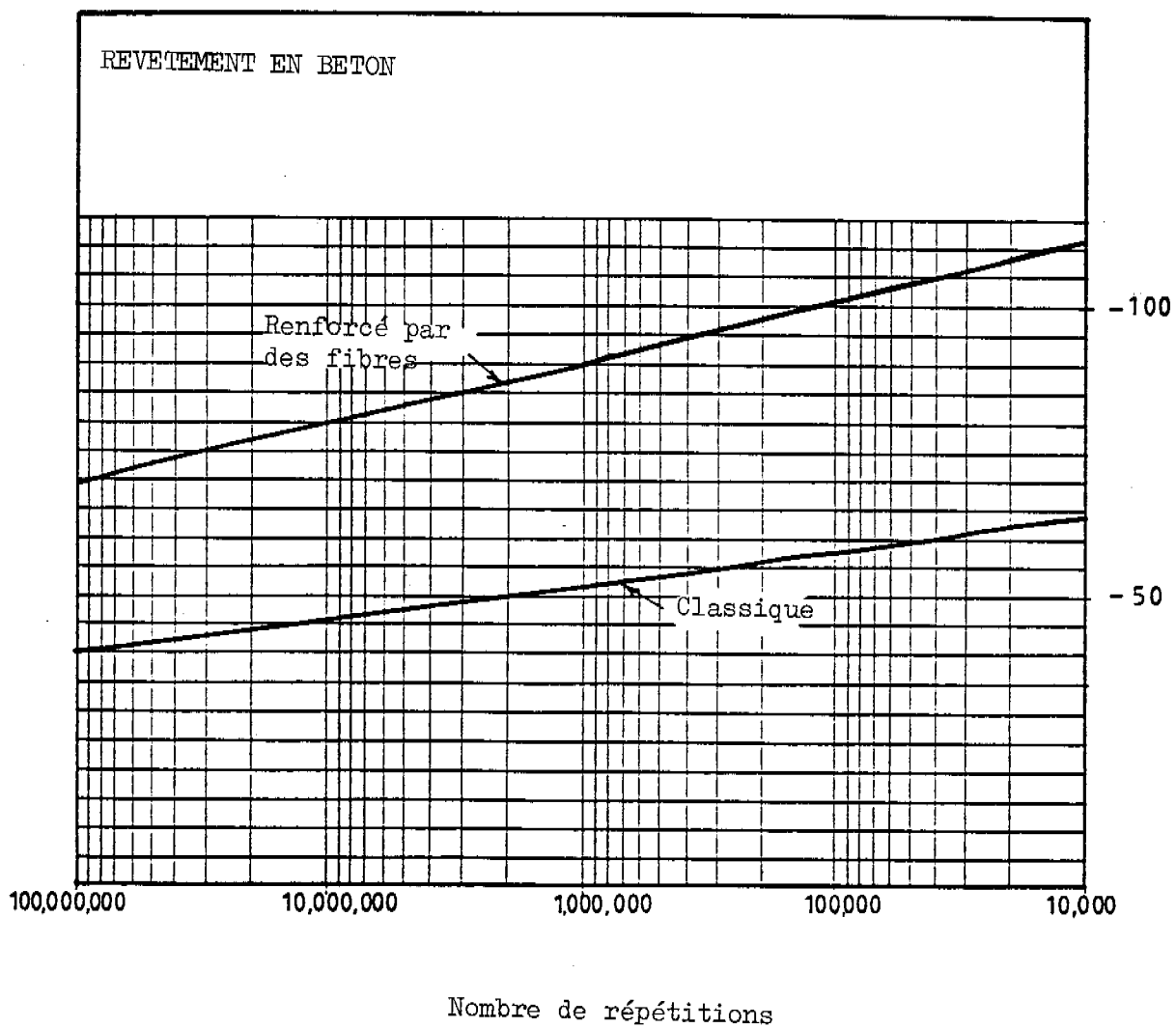
77. La quatrième innovation du Manuel réside dans l'introduction d'un nouveau matériau composite dans la conception et la construction des revêtements portuaires, à savoir le béton à fibres d'acier, décrit dans la section C du chapitre II du présent document. En augmentant la résistance du béton rigide à la traction tout en maintenant son module d'élasticité à un niveau constant, les fibres permettent d'utiliser des dalles plus minces. De même que le diagramme C du Manuel (voir la figure 23) aide l'utilisateur à déterminer la contrainte limite des couches portantes granulaires, le diagramme B (voir la figure 24) indique la contrainte de traction radiale admissible (en microcontraintes) aussi bien pour le béton classique que pour un matériau renforcé par des fibres. Dans ce dernier cas, il s'agit de fibres d'acier galvanisé ayant une résistance à la traction d'au moins  $1\ 000\ \text{N/mm}^2$  et pourvues aux extrémités de crochets d'ancrage permettant une meilleure adhérence. Compte tenu des résultats de certains essais réalisés par des fabricants, le Manuel admet que la contrainte radiale (de traction) peut être augmentée de 75 %. Cela étant, comme le souligne ledit Manuel (chap. 1.8.4.3), "la solution du béton renforcé de fibres doit, dans tous les cas, être examinée conjointement avec l'ingénieur-conseil ou le fabricant de fibres".

78. En effet, vu la multiplicité des variables en jeu (matière, dimension, forme, proportion de fibres, etc.), il est impossible de normaliser les paramètres de conception et d'utiliser un diagramme unique. Aussi les concepteurs de revêtements portuaires ne doivent-ils pas perdre de vue que les performances du béton à fibres d'acier peuvent être, suivant les cas, supérieures ou inférieures à celles que présuppose le diagramme de contrainte inclus dans l'ouvrage (voir la figure 24), ce qui mène à utiliser alors des dalles plus minces, ou au contraire plus épaisses. En comparant ces deux types de conception (à savoir le revêtement en béton traditionnel et la formule du béton à fibres d'acier) il convient de tenir compte non seulement de la différence d'épaisseur qui en résulte, mais aussi de tous les avantages supplémentaires qu'offre le second procédé (dureté supérieure, résistance aux chocs, ductilité, etc.), ainsi qu'il ressort de la section C.3 du chapitre II du présent document.

Figure 24

Contrainte de traction admissible pour les chapes  
en béton rigides

Contrainte  
de traction  
radiale  
(microcontraintes)



79. Enfin, - et c'est peut-être là la modification la plus importante - le Manuel introduit une version simplifiée de l'indice de classement des charges (Load Classification Index, LCI), permettant de calculer plus rapidement les dommages causés aux revêtements par les engins de manutention. L'expérience de ces dernières années le prouve. C'est la manutention des conteneurs de 20 000, 21 000, 22 000 ou 23 000 kg qui abîme le plus les revêtements; en effet, les dégâts les plus importants sont causés par l'action conjuguée du poids et du nombre de répétitions de la charge; de ce fait, la charge occasionnelle d'un conteneur de plus de 23 000 kg endommage moins un revêtement que l'effet cumulé de nombreux conteneurs d'un poids inférieur. A titre d'illustration, un exemple est présenté au chapitre 3.1 du Manuel.

---



---

### كيفية الحصول على منشورات الأمم المتحدة

يمكن الحصول على منشورات الأمم المتحدة من المكتبات ودور التوزيع في جميع أنحاء العالم . استعلم عنها من المكتبة التي تتعامل معها أو اكتب الى : الأمم المتحدة ، قسم البيع في نيويورك أو في جنيف .

#### 如何购取联合国出版物

联合国出版物在全世界各地的书店和经营处均有发售。请向书店询问或写信到纽约或日内瓦的联合国销售组。

#### HOW TO OBTAIN UNITED NATIONS PUBLICATIONS

United Nations publications may be obtained from bookstores and distributors throughout the world. Consult your bookstore or write to: United Nations, Sales Section, New York or Geneva.

#### COMMENT SE PROCURER LES PUBLICATIONS DES NATIONS UNIES

Les publications des Nations Unies sont en vente dans les librairies et les agences dépositaires du monde entier. Informez-vous auprès de votre libraire ou adressez-vous à : Nations Unies, Section des ventes, New York ou Genève.

#### КАК ПОЛУЧИТЬ ИЗДАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ

Издания Организации Объединенных Наций можно купить в книжных магазинах и агентствах во всех районах мира. Наводите справки об изданиях в вашем книжном магазине или пишите по адресу: Организация Объединенных Наций, Секция по продаже изданий, Нью-Йорк или Женева.

#### COMO CONSEGUIR PUBLICACIONES DE LAS NACIONES UNIDAS

Las publicaciones de las Naciones Unidas están en venta en librerías y casas distribuidoras en todas partes del mundo. Consulte a su librero o diríjase a: Naciones Unidas, Sección de Ventas, Nueva York o Ginebra.

---