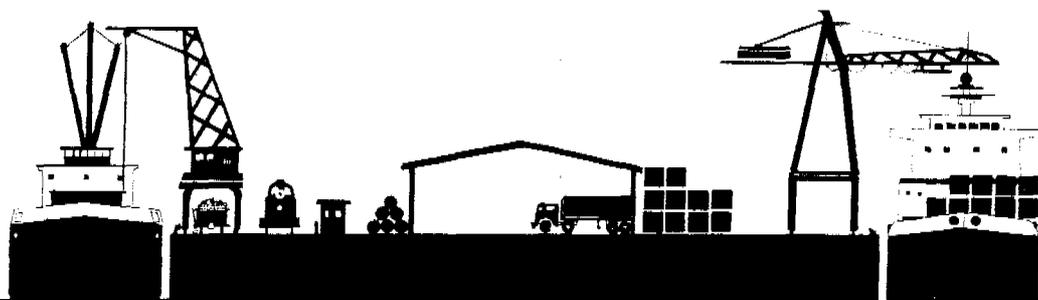


CNUCED MONOGRAPHIES SUR LA GESTION PORTUAIRE



UNITED NATIONS
1977

FRANCAIS
Original : ANGLAIS
ANGLAIS, ARABE, ESPAGNOL,
FRANCAIS, SEULEMENT

Monographies de la CNUCED sur la gestion portuaire

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

..

Monographie No 5

GESTION DES REVETEMENTS DE TERMINAUX A CONTENEURS

de

Marios Meletiou
B.Sc. (Tech), Honours, M.Sc.

Ingénieur principal du génie civil - Chef du Département de génie-civil

DIRECTION DES AFFAIRES PORTUAIRES CHYPRIOTES

et

John Knapton
B.Sc., PH.D., C. Eng., MICE, MIHT, FFB

de Nigel Nixon, Knapton and Partners

Autres monographies dans cette série :

- No 1 L'horaire de travail dans les ports : passage de la journée normale avec heures supplémentaires au travail à deux shifts
- No 2 Plans d'occupation des sols et zones portuaires : comment tirer le meilleur parti de l'infrastructure portuaire
- No 3 Pour une organisation efficace de la maintenance du matériel portuaire
- No 4 Programmation des opérations portuaires

La présente monographie exprime les vues de ses auteurs et ne reflète pas nécessairement celles du secrétariat de la CNUCED

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, qui est facilitée dans un environnement industriel avancé. Dans les pays en développement, ce n'est pas le cas et l'amélioration des ports se fait de façon très hésitante et souvent empirique. Il importe que les ports du tiers monde acquièrent l'efficacité de ceux des pays industrialisés, ou au 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, destinés aux cadres supérieurs, et pour fournir un matériel d'enseignement approprié aux instructeurs locaux de cadres moyens. 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 à l'intention expresse des autorités portuaires des pays en développement. Il existe actuellement très peu de documents de ce type.

A la suite de l'adoption par la Commission des transports maritimes de la CNUCED de la résolution 35 (IX), le secrétariat de la CNUCED a décidé de faire appel à la collaboration de l'Association internationale des ports, organisation non gouvernementale ayant un 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 que ces monographies 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 l'expérience grâce à laquelle ils ont pu atteindre leur niveau actuel en matière de technologie et de gestion portuaires. Les cadres supérieurs des ports des pays en développement ont utilement aidé à l'évaluation des monographies au stade de la rédaction.

Je suis sûr 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.

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 portuaires.

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

TABLE DES MATIERES

<u>Chapitre</u>	<u>Paragraphe</u>
APERCU GENERAL	(i)-(iii)
I. INTRODUCTION	1 - 13
1. Généralités	1 - 7
2. L'importance croissante des revêtements dans les terminaux à conteneurs	8 - 13
II. CHOIX DU TYPE DE REVETEMENT ADEQUAT	14 - 89
1. Généralités	14 - 17
2. Le choix du revêtement : deux méthodes possibles	18 - 34
2.1 Introduction	18 - 20
2.2 La méthode traditionnelle	21 - 24
2.3 La méthode recommandée	25 - 34
3. La relation entre le matériel de manutention des terminaux à conteneurs et les revêtements	35 - 89
3.1 Introduction	35 - 36
3.2 Evolution récente du matériel de manutention des conteneurs	37
3.3 Matériel imposant une charge au sol dans les terminaux	38 - 53
3.4 Classification des revêtements	54 - 55
3.5 Facteurs régissant le choix d'un revêtement	56 - 57
3.6 Choix possibles en matière de revêtement	58 - 89
3.6.1 Revêtement de bitume ou d'asphalte	62 - 64
3.6.2 Béton coulé sur place	65
3.6.3 Dalles en béton préfabriqué	66 - 68
3.6.4 Pavés en béton	69
3.6.5 Structure des revêtements très résistants	70 - 71
3.6.6 Lits de gravier	72 - 84
3.6.7 Systèmes mixtes	85 - 89

<u>Chapitre</u>	<u>Paragrapbes</u>
III. LA CONCEPTION DE REVETEMENTS TRES RESISTANTS POUR LES TERMINAUX A CONTENEURS	90 - 127
1. Introduction	90 - 91
2. Principes de conception	92 - 96
3. Technique d'analyse	97 - 99
4. Propriétés des matériaux	100 - 101
5. Evaluation de la charge appliquée	102 - 109
5.1 Charges par roue très élevées	104 - 105
5.2 Manutention sur de vastes superficies	106
5.3 Facteurs dynamiques à effet très marqué	107 - 108
5.4 Engins de types et de dimensions très divers	109
6. Calcul de la durée de vie utile d'un revêtement	110 - 114
7. L'utilisation des diagrammes de conception	115 - 122
8. Inclinaison de la surface	123 - 125
9. Installation de conduites souterraines ...	126 - 127
IV. CONTROLE PERIODIQUE DES REVETEMENTS	128 - 137
V. ENTRETIEN, REMISE EN ETAT ET AMELIORATION DES REVETEMENTS	138 - 151
VI. CONCLUSIONS	152 - 157

APERCU GENERAL

i) La présente monographie a pour but de familiariser le personnel responsable des revêtements dans les ports avec la notion de gestion de ces revêtements. Les fonctions de gestion d'un revêtement sont en fait nombreuses et interdépendantes : elles vont de la conception proprement dite à la remise en état ou à la démolition. Mais l'important, d'une manière générale, est que le gestionnaire comprenne les rapports existant entre tous les facteurs de dégradation d'un revêtement, de manière à pouvoir apporter une solution globale optimale au problème. Ce n'est que de cette façon qu'il pourra, par la suite, faire en sorte que les frais généraux des installations soient maintenus à un niveau le plus bas possible, car force est de reconnaître que le revêtement du sol d'un port occupe toujours une place déterminante dans les frais généraux afférents à son infrastructure. D'où l'importance capitale, aujourd'hui, d'optimiser les coûts de ce revêtement.

ii) Ce document ne se veut pas un manuel de conception, il vise simplement à communiquer, là où des données spécifiques peuvent se révéler nécessaires, certaines références utiles. Les auteurs y font mention, en particulier, de la publication de la British Ports Association intitulée "The Structural Design of Heavy Duty Pavements for Ports and Other Industries" (ci-après abrégée en "Manuel BPA").

iii) Les auteurs, Marios Meletiou (ingénieur du génie portuaire) et John Knapton (ingénieur conseil), sont des spécialistes des revêtements portuaires dont ils ont acquis une expérience dans le monde entier.

Chapitre I

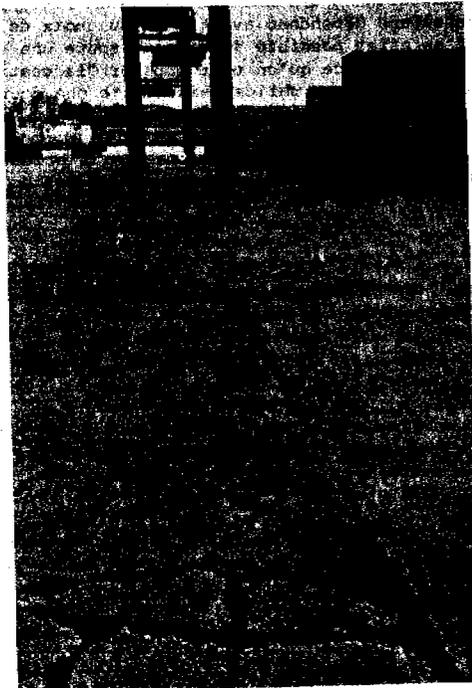
INTRODUCTION

1. Généralités

1. Tout revêtement, qu'il soit neuf ou ancien, peut, s'il est convenablement géré, être amené à jouer un rôle déterminant dans un terminal à conteneurs.
2. Le passé montre même, dans le cas des terminaux à conteneurs, que la conception et la construction de ce revêtement doivent être considérées indépendamment, de celles des revêtements classiques. Durant la période de croissance effrénée du trafic conteneurs, c'est-à-dire pendant les années 70, nombreux furent les ports qui, se lançant hardiment dans la conteneurisation, connurent des problèmes absolument catastrophiques avec leurs systèmes de revêtement. Leur revêtement traditionnel, valable pour le trafic traditionnel, fut sévèrement mis à mal lorsqu'il s'agit de manutentionner des conteneurs. Il en fut de même de nombreuses zones qui venaient d'être construites dans le seul souci de faire face à une imposante demande de manutention de conteneurs. Le pire, aujourd'hui, est que, malgré une technologie et des connaissances beaucoup plus poussées pour résoudre ce type de problèmes majeurs (ainsi que d'autres de moindre importance), les difficultés persistent dans de nombreux ports, de pays en développement comme de pays développés.
3. Toutefois, comme pour d'autres domaines du génie civil traditionnellement sujets à des problèmes du même ordre, la conception correcte d'un nouveau revêtement ou l'amélioration d'une surface existante pour les opérations de manutention des conteneurs dépendent avant tout du choix de la bonne méthode de gestion. Il est en effet possible de définir toute une série de mesures et de fonctions qui constituent ce qu'on peut appeler "la gestion du revêtement d'un terminal à conteneurs", une philosophie (voire une doctrine de base) portant remède à nombre de ces vieux maux.
4. L'objectif de cette monographie est de parcourir brièvement tout l'éventail des mesures et fonctions associées à la "gestion du revêtement des terminaux à conteneurs". Mais avant cela, il est essentiel de définir clairement ce qu'il faut entendre par "revêtement".
5. Un revêtement peut être défini comme étant une ou plusieurs couches d'un matériau choisi, coulées ou bâties sur le sol pour permettre d'y exercer certaines activités impossibles à réaliser sur un terrain naturel. C'est ainsi, notamment, que le matériel lourd de manutention ne saurait être utilisé sur un sol naturel, car il aurait tôt fait de le déformer et d'y creuser des ornières ou des nids de poule.
6. Qui plus est, pour permettre le travail par tous les temps, il faut que les eaux puissent être évacuées, soit par percolation (lits de gravier par exemple), soit - comme c'est plus souvent le cas - en les guidant vers un réseau de collecteurs.
7. Enfin, le revêtement doit pouvoir satisfaire aux exigences de chargement et de drainage pendant une longue période, qui peut aller jusqu'à 25 ans.



Revêtement bitumineux défoncé par le passage "canalisé" des chariots cavaliers dans des allées étroites séparant les rangées de conteneurs. Il avait été initialement conçu pour les charges moins lourdes du trafic des marchandises diverses.



Il n'est pas rare que des revêtements spécialement conçus pour la manutention des conteneurs soient eux aussi abîmés. Ce revêtement en béton non armé n'a pas plus de quatre ans.

2. L'importance croissante des revêtements dans les terminaux à conteneurs

8. Tout terminal à conteneurs moderne nécessite de grandes superficies revêtues pour permettre le gerbage et le déplacement des conteneurs; or, le coût de ce revêtement est souvent l'un des postes du budget d'équipement les plus importants pour un port. Parfois même, comme dans le cas d'un terminal à conteneurs, il peut représenter jusqu'à 25 % de l'investissement total. Qui plus est, l'entretien de ces superficies revêtues coûte cher si elles ne sont pas bien conçues, d'autant que leur reconstruction est souvent une opération longue et gênante. Nul doute que la réalisation de revêtements inadéquats finit toujours par avoir des conséquences négatives sur les opérations d'un terminal. C'est pourquoi il faut veiller à ce que la surface d'un terminal à conteneurs soit de bonne qualité et fiable, au même titre que le quai, les grues, le réseau électrique, etc.

9. En outre, toute erreur dans le choix et la conception du revêtement peut avoir de lourdes conséquences financières. Si la conception n'est pas assez exigeante, le revêtement peut devenir très rapidement inutilisable et sa réparation coûter plus cher que sa construction; si, au contraire, elle l'est trop, on immobilise inutilement des capitaux qui auraient pu servir à d'autres aménagements.

10. Dans les pays en développement, où les projets d'aménagement portuaire sont en général menés à bien grâce à des prêts de l'étranger, toute économie sur les frais de construction - pour autant qu'elle ne compromette pas l'intégrité de la conception et de la construction - est primordiale car elle contribuera à une meilleure affectation de ressources déjà limitées.

11. En bref, les raisons qui ont conduit à accorder une importance croissante aux revêtements des terminaux à conteneurs sont les suivantes :

- a) Les superficies à revêtir sont devenues plus grandes avec l'essor de la conteneurisation;
- b) Les charges manutentionnées sont plus lourdes et l'éventail des systèmes de manutention possibles (aux effets néfastes différents sur les revêtements) est plus grand;
- c) Il y a une meilleure prise de conscience des dépenses nécessaires (car il faut des revêtements plus résistants et donc plus coûteux);
- d) Ces dernières années, plusieurs cas de dégradation importante ont posé de graves problèmes de manutention des conteneurs et suscité, par là même, une prise de conscience de l'importance du revêtement;
- e) Enfin, il y a une plus grande liberté de choix dans les matériaux avec l'amélioration récente des méthodes de construction et des matériaux eux-mêmes.

12. L'importance croissante des revêtements dans les terminaux à conteneurs rend d'autant plus nécessaire la notion de "gestion".

La gestion des revêtements comprend les éléments suivants :

- a) Choix d'un type de revêtement adéquat,
- b) Conception économique,
- c) Contrôle périodique,
- d) Entretien ou remise en état d'un bon rapport coût/efficacité,
- e) Amélioration ou démolition des revêtements.

13. Ces cinq éléments de "gestion des revêtements" seront brièvement examinés dans les chapitres suivants.

Chapitre II

CHOIX DU TYPE DE REVETEMENT ADEQUAT

1. Généralités

14. Ce chapitre a pour but principal de montrer combien il importe que le choix du matériel de manutention des conteneurs et celui des matériaux de construction du revêtement soient effectués simultanément, comme s'il s'agissait de choisir un système complet de manutention des conteneurs et non tel ou tel élément isolé de ce système.

15. Mais que doit-on entendre par "système complet de manutention des conteneurs" ? Documentation non comprise, voici ses éléments constitutifs :

- a) le matériel,
- b) l'agencement,
- c) l'infrastructure (revêtements),
- d) les services.

16. Il va de soi que les éléments a) et b), qui sont interdépendants, déterminent largement le système d'exploitation et, partant, l'efficacité du terminal. Cependant, c'est le bon choix du type de matériel associé au bon choix des matériaux de revêtement qui ajouteront la touche finale nécessaire à l'efficacité et au succès de l'ensemble du système de manutention des conteneurs.

17. Or, qui dit "choix" dit, d'une manière générale, sélection parmi plusieurs solutions possibles en fonction des préférences personnelles. Le choix suppose donc une comparaison entre les diverses options. Mais dans le cas des systèmes de manutention des conteneurs, quelles sont exactement ces options ?

2. Le choix du revêtement : deux méthodes possibles

2.1 Introduction

18. Deux méthodes sont possibles : la méthode traditionnelle et la méthode moderne. Avec la première, on choisit d'abord le matériel de manutention des conteneurs pour ensuite concevoir un revêtement capable de résister.

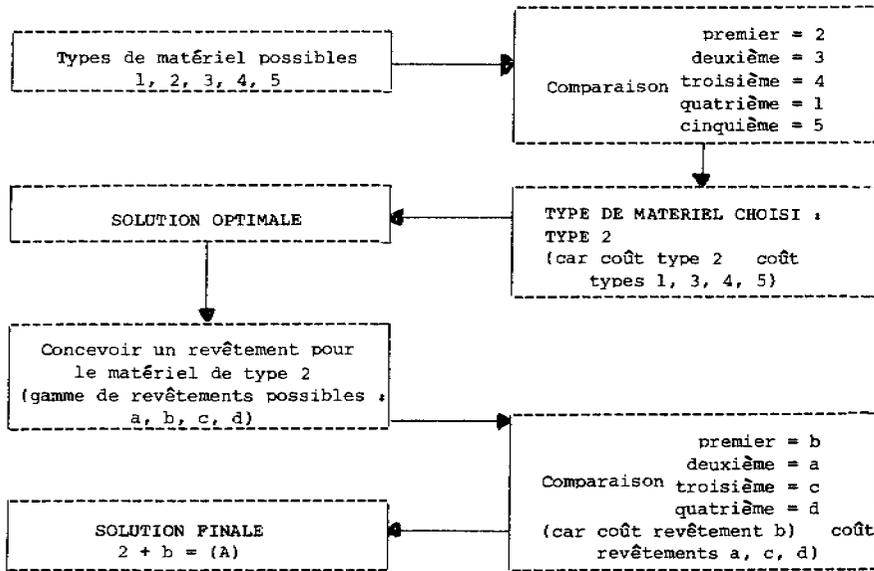
19. Dans la méthode moderne, qui est aujourd'hui recommandée, il s'agit au contraire de choisir en parallèle le matériel de manutention des conteneurs et le système de revêtement.

20. Si nous appliquons la méthode traditionnelle, la marche à suivre est donc celle-ci : premièrement, choix parmi tous les types de matériel disponibles, deuxièmement, choix parmi les types de revêtement possibles, en fonction du matériel adopté. Dans la méthode moderne, au contraire, les options à envisager sont des systèmes combinés de matériel et de revêtements.

2.2 La méthode traditionnelle

21. L'organigramme ci-après schématise la marche à suivre avec la méthode traditionnelle.

Méthode traditionnelle



L'option (A) peut en effet être la solution globale optimale, mais ne l'est pas forcément.

22. Avec cette méthode, on peut dire qu'une fois connu le type de matériel à employer, le choix du système de manutention des conteneurs est déjà fait en grande partie. C'est en effet dès ce stade intermédiaire du processus que l'on estime avoir trouvé "la solution optimale", et l'étape suivante ne fait que compléter celle, déterminante, du choix du matériel. Le travail suivant est à la fois simple et direct, car pour comparer les revêtements qu'on peut employer avec le type de matériel déjà choisi on prend en considération une certaine charge, un agencement identique et une superficie égale.

23. Autrement dit, avec la méthode traditionnelle, une fois qu'on connaît le type de matériel à utiliser, l'étape suivante consiste à voir quels types de revêtements sont compatibles avec le matériel choisi, puis à en comparer les coûts. Le tableau de comparaison de coûts ci-après se réfère aux types de revêtement les plus courants, mais pour une même charge, un même agencement et une même superficie.

Tableau 1

Tableau de comparaison de coûts pour les types de revêtement les plus courants

Coût de construction	Coût d'entretien		
	Faible	Intermédiaire	Elevé
Faible	Lits de gravier		
Intermédiaire	Pavés en béton préfabriqués	Asphalte	
Elevé	Chapes de béton coulées sur place Systèmes mixtes	Dalles en béton préfabriquées Systèmes mixtes	

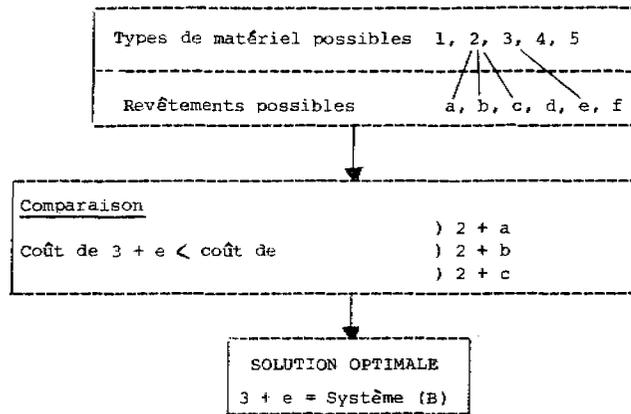
24. Le tableau ci-dessus n'a qu'une valeur générale et ne tient pas compte des conditions locales particulières.

2.3 La méthode recommandée

25. Contrairement à la méthode traditionnelle qui fait envisager le choix du matériel avant celui du revêtement, la méthode recommandée, c'est-à-dire le choix d'un système complet de manutention des conteneurs (avec choix simultané du matériel et du revêtement) n'est pas facile à mettre en pratique. Il faut savoir, par exemple, que les agencements et superficies de revêtement nécessaires, voire les chargements, ne sont pas les mêmes pour tous les types de matériel.

26. Par conséquent, aussi simple que puisse paraître l'organigramme pour cette nouvelle méthode, le processus est en fait plus difficile et il exige une connaissance plus approfondie des aspects à la fois opérationnels et techniques.

Méthode recommandée



27. Avec cette méthode, non seulement les paramètres à considérer augmentent en nombre, mais encore ils deviennent plus complexes. C'est pourquoi, tenant compte de la relation entre le matériel de manutention et les revêtements, du coût de chaque type de revêtement (construction et entretien) et de l'expérience acquise avec de nombreux cas de ce genre dans le monde entier, nous avons établi le tableau 2 ci-après, à titre de première indication pour le concepteur de terminaux à conteneurs. Ainsi, le concepteur n'aura pas à considérer toutes les combinaisons de revêtements et de matériel possibles mais pourra se limiter aux deux, voire trois, qui lui sembleront les plus valables.



Solution recommandée pour les aires de stationnement des remorques

Tableau 2

Degré d'adéquation des revêtements pour différentes opérations
ou zones d'activité, compte tenu du rapport coût-efficacité
et des performances à attendre

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

10 = solution recommandée)

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

28. Nous avons tenu compte, dans ce tableau 2, d'une question essentielle, à savoir l'incidence que les travaux d'entretien peuvent avoir sur les opérations de manutention des conteneurs. Le concepteur d'un terminal à conteneurs peut être amené à choisir entre des systèmes de revêtement à faible coût de construction mais nécessitant un entretien fréquent et/ou coûteux, et des systèmes de revêtement à coût de construction élevé mais exigeant un entretien minime qu'il s'agisse du coût ou de la fréquence. En tout état de cause, il faut bien savoir que la solution idéale (celle d'opérations de manutention ininterrompues pendant toute la durée de vie utile du parc à conteneurs) n'est pas réalisable avec la plupart, sinon la totalité des revêtements.

29. L'expérience montre, par ailleurs, que les besoins d'entretien d'un revêtement ne sont pas entièrement fonction du degré d'adéquation de sa conception, ils dépendent, en grande partie, de la nature du revêtement lui-même. Il est donc possible, par un choix judicieux de ce revêtement, de réduire à un minimum les interruptions d'activité pour effectuer les travaux d'entretien.

30. Il existe certains types de revêtement (asphalte par exemple) qui, pour aussi exigeante qu'ait été leur conception, nécessitent à un moment ou à un autre d'importants travaux d'entretien. Il en est d'autres, en revanche, (lits de gravier par exemple), dont les besoins d'entretien restent minimes même si la conception a été moins exigeante.

31. Considérant l'opinion qui prévaut généralement parmi de nombreux exploitants de terminaux à conteneurs, la position adoptée dans le tableau 2 est qu'il faut veiller davantage à réduire au minimum les interruptions d'activité, car elles peuvent parfois s'avérer très coûteuses et même, dans une certaine mesure, nuire à la réputation du port si elles se répètent trop souvent.

32. Il est à noter, cependant, que dans certains cas particuliers, l'opinion susmentionnée n'est pas valable. C'est le cas, par exemple, lorsque l'aire de gerbage disponible se trouve avoir, pour une raison quelconque, une surface beaucoup plus grande que celle réellement nécessaire, ce qui permet d'y réaliser les travaux d'entretien en plusieurs étapes sans perturber la manutention des conteneurs. Mais même dans ce cas, le déplacement progressif des opérations d'une partie de l'aire à une autre pour faciliter les travaux d'entretien obligera à s'écarter de la routine journalière, d'où des dépenses additionnelles. Il faut donc s'interroger aussi sur les raisons qui ont fait aménager une superficie plus grande que celle réellement nécessaire et le surcroît de dépenses qui en découle. Nous en venons alors naturellement à la question générale des conditions locales.

33. A cet égard, il convient de souligner que le concepteur de terminaux à conteneurs ne doit pas s'en tenir strictement aux notes données à chaque type de revêtement dans le tableau 2. Il doit y voir seulement un point de départ. Ces notes sont en effet tributaires des conditions locales, auxquelles il faut toujours accorder toute l'importance qui convient. Il y a donc lieu de penser que des systèmes de revêtement qui, dans le tableau comparatif, ne présentent entre eux qu'une différence de notation minime, d'un ou deux points, verront leur position relative modifiée dans la liste du fait de conditions locales exceptionnelles.

34. Comme nous l'avons souligné plus haut, nous nous sommes fondés entre autres, pour établir les critères généraux du tableau 2, sur la relation entre le matériel de manutention des terminaux à conteneurs et les revêtements. Cette relation fait précisément l'objet de la prochaine partie du chapitre.

3. La relation entre le matériel de manutention des terminaux à conteneurs et les revêtements

3.1 Introduction

35. Si jusqu'ici beaucoup de revêtements de terminaux à conteneurs n'ont guère donné satisfaction, c'est surtout, bien souvent, parce qu'ils avaient été construits selon des méthodes traditionnelles de conception qui ne tenaient aucun compte de la relation étroite existant entre le matériel de manutention des conteneurs et la surface sur laquelle il allait servir. Or, la lecture de ce chapitre amène précisément à la conclusion suivante : une importance particulière doit être accordée à la compatibilité entre les matériaux de revêtement et le matériel de manutention des conteneurs qui sera utilisé sur ces matériaux. Aujourd'hui, on peut dire que c'est là un paramètre financier et opérationnel fondamental pour tous les terminaux à conteneurs modernes et efficaces. Il est regrettable, néanmoins, de voir que par conservatisme ou par manque d'information sur les derniers progrès accomplis dans ce domaine, on ait encore tendance, dans bien des cas, à préférer les méthodes traditionnelles de conception et de construction. Inévitablement, ces méthodes traditionnelles de revêtement s'avèrent inadaptées aux opérations de manutention des conteneurs et donnent, très souvent hélas, des résultats catastrophiques.

36. Il existe de nombreux types de revêtement, chacun pouvant être adapté à certaines conditions précises ou tout simplement préféré par tel ou tel port. Toutefois, avant de chercher à combiner un matériel de manutention des conteneurs avec tel ou tel système de revêtement, il est toujours bon de considérer d'abord l'éventail des choix offerts dans les deux domaines.

3.2 Evolution récente du matériel de manutention des conteneurs

37. Avec l'apparition des conteneurs, une nouvelle génération de matériel de manutention est née et s'est développée, aux caractéristiques invariablement nouvelles par rapport au matériel de manutention traditionnel destiné à d'autres types de chargements. Plus, peut-être, que tout autre facteur, la taille et le poids imposants de ce nouveau matériel ont eu un effet préjudiciable sur la longévité et l'entretien des revêtements. On l'a constaté à maintes reprises, par exemple, lorsque des zones, déjà revêtues et conçues pour d'autres opérations, furent utilisées comme parcs à conteneurs.

3.3 Matériel imposant une charge au sol dans les terminaux

38. Mis à part les conteneurs eux-mêmes, les différents types de matériel qui imposent une charge au sol dans un terminal à conteneurs sont les suivants :

- a) Remorques de terminal;
- b) Systèmes multi-remorques;
- c) Elévateurs à fourche;
- d) Chariots à prise frontale;
- e) Chariots à prise latérale;

- f) Chariots cavaliers;
- g) Portiques de parc (sur rails ou sur pneus);
- h) Grues mobiles;
- i) Chariots gerbeurs à fourche télescopique.

39. Le tableau 3 ci-après indique les charges au sol résultant du gerbage des conteneurs, considération dont il faut tenir compte dans la conception d'une aire affectée aux conteneurs.

Tableau 3

Charges au sol résultant du gerbage des conteneurs

Hauteur de gerbage (nombre d'unités)	Réduction de la masse brute (%)	Contrainte en surface (N/mm ²)	Charge au sol (kg) pour chaque mode de gerbage		
			Conteneurs gerbés séparément	Conteneurs gerbés en rangées	Conteneurs gerbés en blocs compacts
1	0	2.59	7 620	15 240	30 480
2	10	4.67	13 720	27 430	54 860
3	20	6.23	18 290	36 580	73 150
4	30	7.27	21 340	42 670	85 340
5	40	7.78	22 860	45 720	91 440

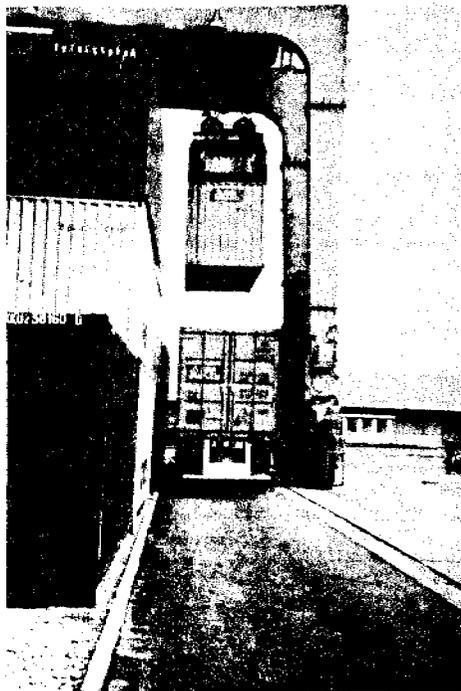
40. La conception d'un revêtement de parc à conteneurs desservi par le matériel de manutention susmentionné n'est cependant pas chose facile.

41. Les dégâts (D) occasionnés à un revêtement, exprimés en fonction de la charge par roue (W) et de la contrainte en surface ou pression exercée par pneumatique (P), se traduisent par l'équation suivante :

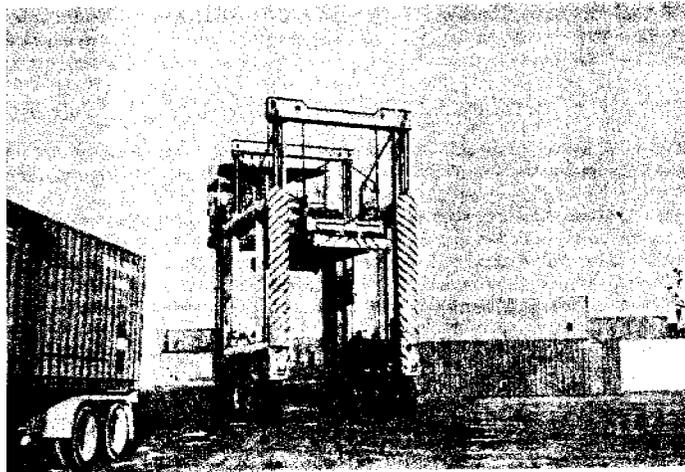
$$D = W^{3,75} \times P^{1,25}$$

42. Cette équation suppose que les dégâts sont proportionnels à la charge par roue élevée à la puissance 3,75.

43. Toutefois, avec les revêtements portuaires, contrairement aux revêtements routiers, on ne peut pas partir de l'hypothèse que toute charge par roue plus élevée nécessitera forcément un revêtement plus solide et donc plus onéreux. Cela tient au fait que les caractéristiques opérationnelles de chaque type de matériel jouent un rôle déterminant dans la conception du revêtement.



Les trois types de revêtement requis pour l'utilisation d'un portique de parc sur pneus. A noter, en particulier, l'emploi d'un revêtement de gravier (peu coûteux) sur les aires de gerbage des conteneurs. En principe, 62 % de la superficie totale de l'installation peuvent recevoir un revêtement de gravier.



L'utilisation du chariot cavalier exige que tout le revêtement soit conçu de manière à supporter une charge maximale par roue de 12,5 t., valeur qui peut être accrue de 60 % par les effets dynamique.

44. Par exemple, avec un portique de parc la charge par roue peut parfois aller jusqu'à 48 tonnes, mais les chariots cavaliers dont les huit roues habituelles peuvent supporter respectivement une charge maximale de 12,5 tonnes, ou même les élévateurs à fourche pour lesquels cette valeur unitaire maximale peut atteindre 22 tonnes, exigent en général un revêtement beaucoup plus coûteux que pour les portiques de parc.

45. En voici la raison : l'utilisation des portiques de parc diffère, sous maints aspects, de celle des autres types de matériel de gerbage des conteneurs. Deux différences essentielles ont en tout cas une incidence directe sur les normes de conception et de construction du revêtement sur lequel le matériel va servir :

a) les portiques de parc se déplacent uniquement sur des voies bien définies (couloirs dans le cas des portiques sur pneus, ou rails pour les autres modèles). Cela signifie qu'ils ne pénètrent jamais dans les aires de gerbage proprement dites, contrairement aux autres engins de gerbage qui doivent circuler sur tout le parc à conteneurs;

b) les portiques de parc circulent presque toujours à vide (hormis les rares cas où ils se déplacent chargés, mais à faible vitesse et sur de courtes distances, pour transférer des conteneurs à des rangées adjacentes). En effet, c'est toujours la remorque qui est amenée au portique à l'endroit voulu sur l'aire de gerbage. Le portique sert donc surtout à lever ou abaisser les conteneurs et non à les transporter horizontalement. En revanche, d'autres engins de gerbage sont constamment appelés à effectuer des opérations de levage/descente et de transport horizontal, car ce sont eux qui doivent aller à la rencontre de remorques en attente à un certain point du parc pour charger ou décharger ces conteneurs.

46. Ces deux différences d'utilisation entraînent une conception radicalement distincte du revêtement des parcs à conteneurs. En effet, si l'on veut utiliser des portiques, il faut envisager trois types de revêtements différents dans le parc à conteneurs :

a) celui de l'aire de gerbage, qui devra être conçu pour supporter la charge statique totale imposée par des conteneurs gerbés sur la plus grande hauteur possible;

b) celui des voies de passage des portiques, qui devra être conçu pour supporter les charges par roue imposées par les opérations de levage/descente et de déplacement de ces engins;

c) celui des zones de manoeuvre des tracteurs de terminal et des remorques, qui devra être conçu pour supporter les charges par roue imposées par l'utilisation de ces engins.

47. Si, par contre, l'un quelconque des autres types de matériel existants est utilisé, l'ensemble du parc à conteneurs devra alors être conçu de manière homogène et pouvoir supporter la combinaison de charges par roue ou de charges statiques la plus élevée pour tout le matériel susceptible d'être présent dans le parc (conteneurs gerbés, remorques, élévateurs à fourche, chariots cavaliers, etc.).

48. Etant donné les caractéristiques des portiques montés sur rails ou sur pneus (voir figure 1), on conçoit aisément que la superficie à prévoir pour supporter les charges par roue élevées ne représente environ que 2,2 % ou 7,4 % respectivement de la surface totale du parc à conteneurs. Soixante-neuf ou 62 % de la superficie constitueront les aires de gerbage qui n'auront à supporter que la charge statique des conteneurs, tandis que les 28,8 ou 30,6 % restants devront être dotés d'un revêtement conçu pour supporter les charges par roue relativement faibles des remorques et des tracteurs de terminal.

49. Il ressort de ce qui précède que lorsqu'on utilise des portiques de parc, la plus grande partie du revêtement peut être d'une construction relativement peu coûteuse.

50. En revanche, les chariots cavaliers à charge par roue de 12,5 tonnes exigent en général des revêtements beaucoup plus onéreux. Outre ce qui a été indiqué plus haut (transport horizontal des conteneurs), le coût augmente en fonction de la configuration typique des parcs desservis par ce type d'engin. Le réseau de voies de passage ne permet pas un isolement commode et donc conçues pour supporter uniquement la charge statique résultant du conteneur. De plus, les chariots cavaliers gerbant les conteneurs sur de longues rangées, leurs roues passent toujours au même endroit et finissent par défoncer le revêtement. Très souvent, elles y creusent des ornières profondes car il n'y a aucun effet d'aplanissement. La figure 2 montre comment les dégâts relatifs causés au revêtement varient selon la largeur de la voie.

51. Il faut savoir en outre que les chariots cavaliers provoquent des dégâts très importants aux revêtements lors des virages et des freinages.

52. Mais de tout le matériel de manutention des conteneurs, ce sont les élévateurs à fourche et les chariots à prise frontale qui abiment le plus les revêtements.

53. Comparés à tous les autres engins de manutention des conteneurs, c'est l'élévateur à fourche qui a le LCI ("Load Classification Index", voir par. 105) le plus élevé à vitesse normale, lors du freinage, des virages, en accélération et sur les surfaces irrégulières (les dégâts les plus graves étant causés par les virages). Pour illustrer son effet destructeur relativement important, il est intéressant de noter que la charge par roue de 22 tonnes qui est transmise au revêtement par l'essieu avant d'un tel engin manutentionnant un conteneur de 40 pieds dépasse légèrement la charge maximale par roue transmise au revêtement d'un aéroport par un Boeing 747B lors du décollage.

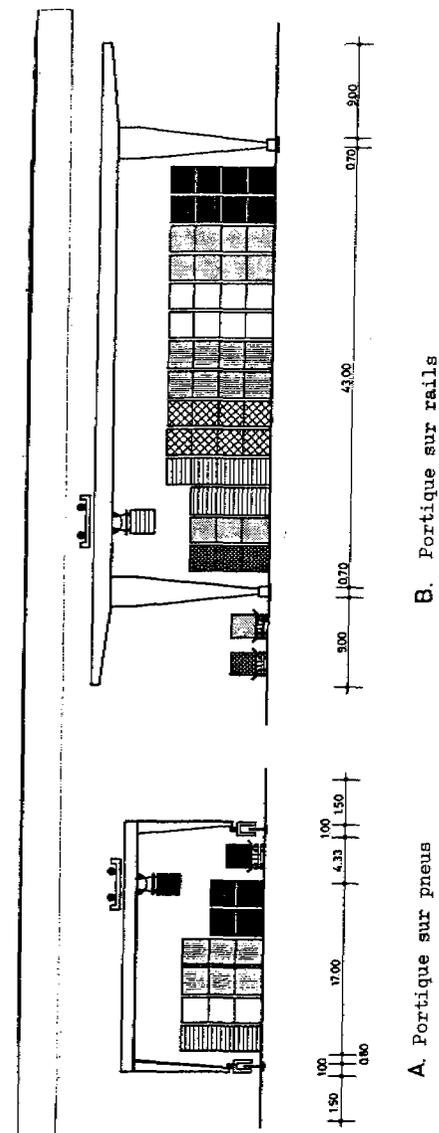
3.4 Classification des revêtements

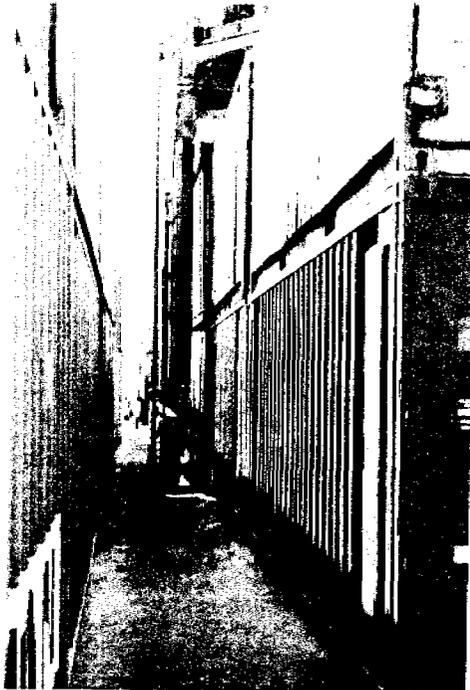
54. Il existe plusieurs façons de classer les revêtements. En voici quelques-unes :

a) Classification en fonction de la souplesse

- i) Souple,
- ii) Intermédiaire,
- iii) Rigide.

Figure 1
Caractéristiques des portiques de parc sur pneus et des portiques de parc sur rails

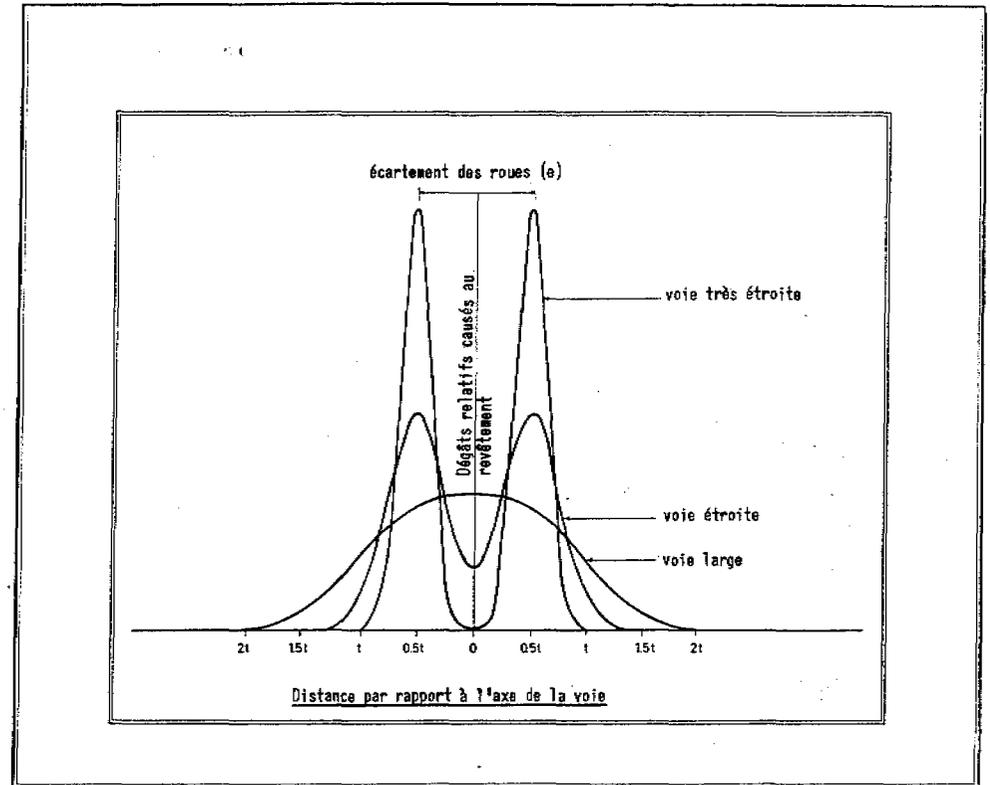




Les allées entre les conteneurs sont étroites (en principe 1,5 m) et le passage répété des chariots cavaliers à charge par roue élevée les abîme gravement. Les ornières de plus de 10 cm sont chose courante et on risque alors une détérioration prématurée du revêtement et des difficultés d'exploitation.

Figure 2

Effet de l'élargissement des voies de passages des engins sur la dégradation du revêtement



Lorsque l'engin circule sur des voies étroites, les dégâts occasionnés au revêtement augmentent. Or, pour des chariots cavaliers opérant dans les aires de gerbage, l'écartement des roues est pratiquement égal à la largeur de la voie.

b) Classification en fonction du type de liant

- i) Liant hydrocarboné, (bitume),
- ii) Ciment,
- iii) Liant hydraulique.

c) Classification en fonction des couches

- i) Monolithique,
- ii) Systèmes à deux ou plusieurs couches,
- iii) Constructions sandwich.

d) Classification en fonction de l'aspect superficiel

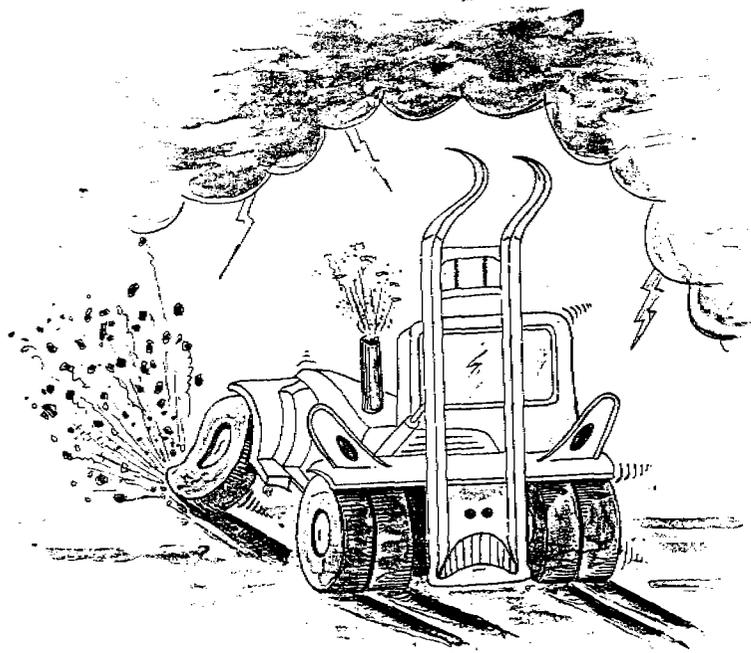
- i) Asphalte,
- ii) Dalles en béton,
- iii) Pavés en béton,
- iv) Granulaire.

55. La classification ci-dessus est loin d'être complète, beaucoup de combinaisons sont encore possibles. Cependant, comme les usagers des terminaux ne voient généralement que la surface elle-même et non la structure, pour les besoins de la présente monographie, c'est cet aspect qui a été choisi, car il est le plus courant et le plus accessible aux profanes.

3.5 Facteurs régissant le choix d'un revêtement

56. Lorsqu'il s'agit de choisir un revêtement, la question fondamentale est de savoir ce que l'on attend de ce dernier. De nombreux facteurs entrent alors en ligne de compte, mais il faudrait considérer en particulier les critères suivants :

- a) Construction peu coûteuse,
- b) Entretien peu coûteux,
- c) Haute fiabilité,
- d) Durée de vie calculée,
- e) Type de trafic - vitesse des véhicules, charges par roue (facteurs de charge dynamiques, c'est-à-dire freinage, virages, accélération, surface irrégulière), modèles de pneus, pression exercée par les pneus et effet de défonçage,
- f) Chargement statique - charges concentrées (forme et type de support),
- g) Force de choc,
- h) Configuration et mode d'exploitation du port,
- i) Pollution de surface (huiles pour systèmes hydrauliques, sels anti-verglas),



Les chariots à prise frontale ont une charge sur l'essieu avant qui peut atteindre 100 tonnes et sont donc très dangereux pour les revêtements.

- j) Résistance de la couche de forme ou du sol de fondation;
- k) Tassement prévu (à court et à long terme);
- l) Climat (précipitations, température, gel);
- m) Utilisations et développements futurs;
- n) Matériaux locaux disponibles;
- o) Pentes admissibles dans certaines directions en ce qui concerne l'utilisation du matériel, le gerbage et les eaux de pluie;
- p) Délais de construction possibles;
- q) Caractéristiques de la surface (plane, régulière, nette, toujours sèche, jamais glissante, absolument horizontale, sans la moindre discontinuité).

57. La surface idéale pourrait être décrite comme étant celle qui répondrait à tous les critères susmentionnés, ainsi qu'à d'autres qu'on pourrait certainement ajouter pour la rendre encore plus idéale et ... irréalisable. Dans la pratique, toutefois, chaque conception doit être un compromis entre plusieurs exigences contradictoires. Tout l'art du choix d'un revêtement consiste donc à rechercher, dans la liste des critères susmentionnés, ceux qui sont les plus importants et à faire en sorte qu'ils bénéficient du rang de priorité approprié. Ouoi qu'il en soit, il sera impossible de satisfaire pleinement à chacun de ces critères et le choix du revêtement devra surtout faire appel au bon sens et à l'expérience du concepteur, de manière à équilibrer des exigences éventuellement contradictoires.

3.6 Choix possibles en matière de revêtement des terminaux à conteneurs

58. Beaucoup de facteurs peuvent influencer le choix final : le cahier des charges, les données relatives au sous-sol, les systèmes de manutention, les matériaux disponibles, la main-d'oeuvre disponible, l'expérience de l'entrepreneur, les niveaux de prix relatifs, les budgets et, enfin et surtout, les goûts, les préjugés et même les habitudes.

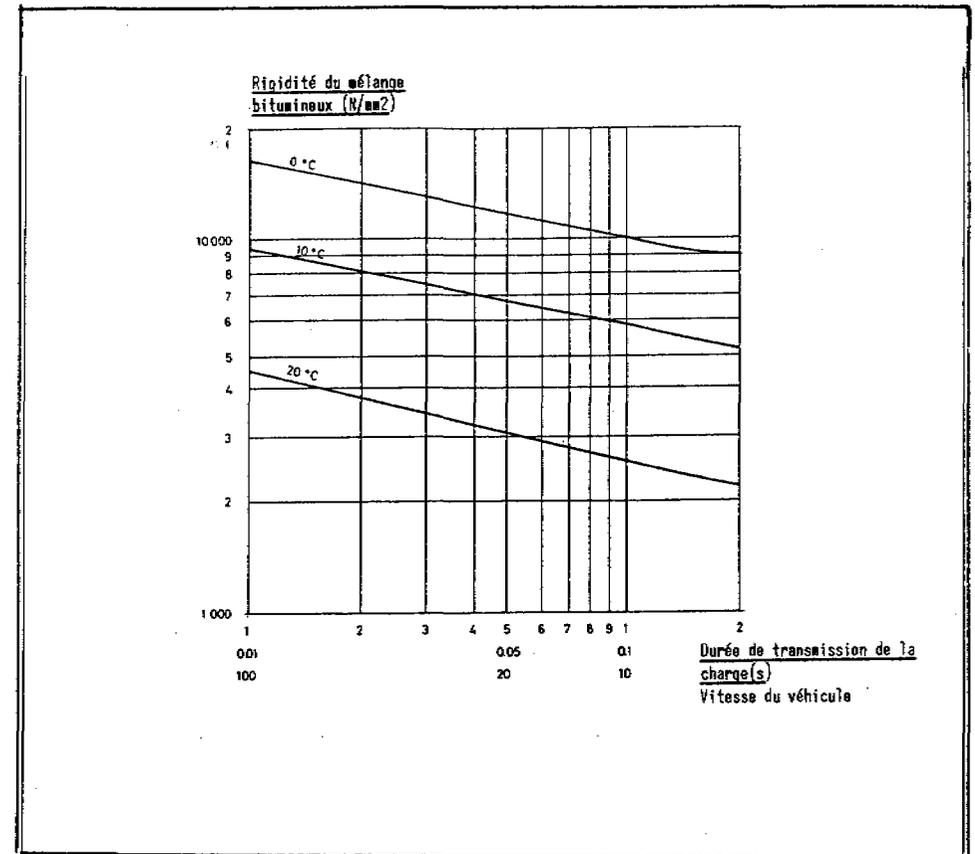
59. Dire qu'il existe une solution type pour chaque situation particulière ne serait pas sérieux. En revanche, on peut affirmer en toute confiance que ces dernières années, l'éventail des solutions possibles s'est élargi.

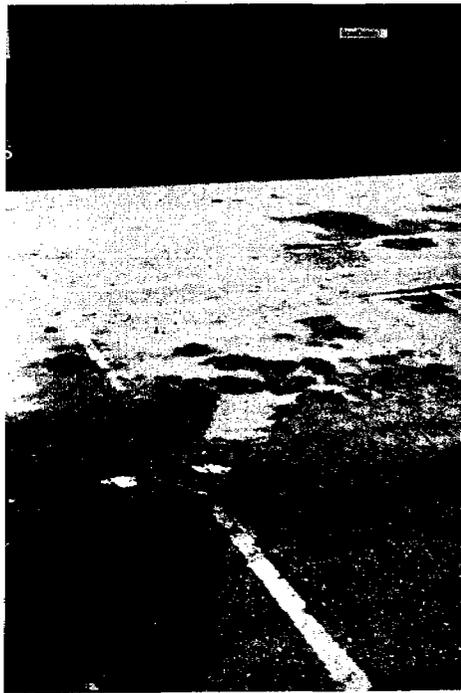
60. Sans chercher à en dresser un inventaire complet, nous nous sommes efforcés, dans les pages qui suivent, de récapituler brièvement les types de revêtement habituellement utilisés pour les parcs à conteneurs.

61. Les commentaires que nous y faisons ont cependant un caractère général et ne tiennent pas compte des conditions locales.

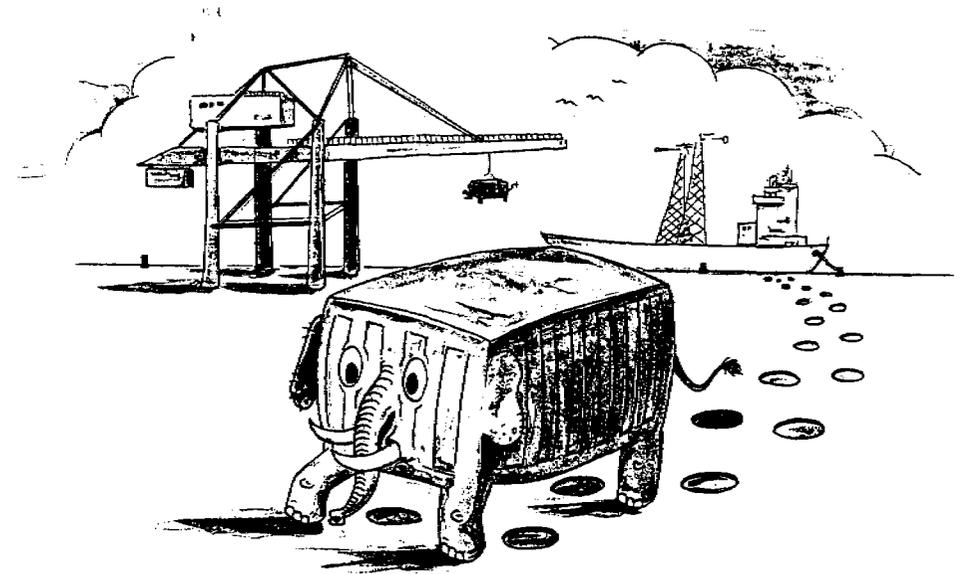
Figure 3

Effet de la vitesse des véhicules et de la température du revêtement sur la rigidité des mélanges bitumineux





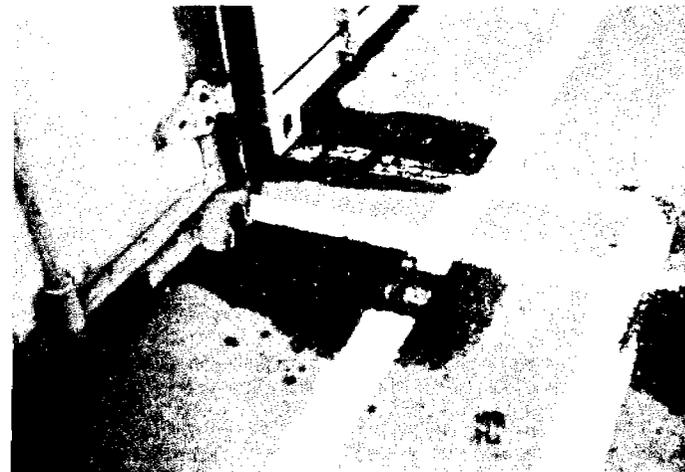
Dégradation de l'asphalte occasionnée par les fuites d'huile du matériel de manutention.



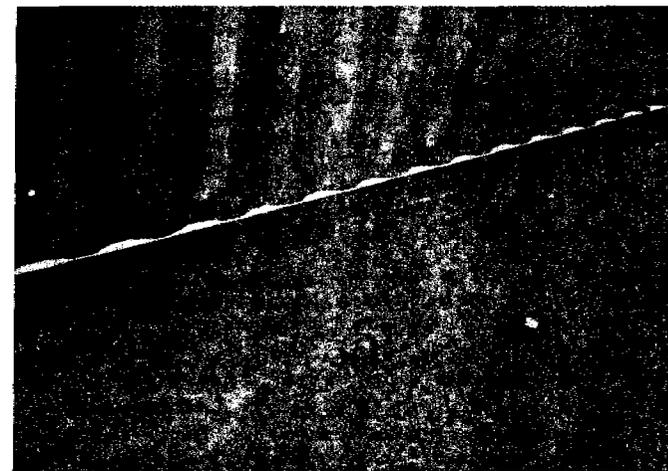
Les conteneurs peuvent peser jusqu'à 30 tonnes, voire plus, et tout ce poids est transmis au revêtement par l'intermédiaire de quatre petites pièces de coin dépassant de 12,5 mm sous la base du conteneur.



Exemple courant d'empreinte laissée sur le revêtement par une pièce de coin.



L'eau stagnant dans les empreintes laissées par les pièces de coin peut accélérer la dégradation du revêtement.



L'enfoncement des pièces de coin dans la surface finit par placer la base du conteneur en contact avec le revêtement, ce qui peut les acérer l'un et l'autre.

3.6.1 Revêtement de bitume ou d'asphalte

62. Parce qu'il était jusqu'ici couramment utilisé pour les revêtements routiers ou aéroportuaires, d'un coût peu élevé et facile à poser, le bitume paraissait tout à fait indiqué pour les revêtements portuaires. Mais les résultats ont été dans l'ensemble décevants. L'asphalte cylindré, comme celui qu'on utilise pour les routes, est trop mou pour supporter les charges par roue élevées, les fortes contraintes en surface et les faibles vitesses des véhicules sans subir lui-même de graves dommages sous forme d'ornières ou d'empreintes. Ces piètres résultats enregistrés dans le secteur portuaire sont dus à trois caractéristiques du mélange asphaltique :

a) la rigidité, ou résistance, d'un matériau bitumineux décroît à mesure que la température augmente;

b) la rigidité d'un mélange bitumineux décroît à mesure que la durée de transmission de la charge augmente (c'est-à-dire que plus la vitesse du véhicule est faible, plus la rigidité diminue);

c) la pollution de surface par les huiles et lubrifiants dissout le liant bitumineux; le revêtement risque donc plus facilement de se détacher et devient plus sensible au gel.

63. Les deux premières caractéristiques sont à l'origine des ornières et empreintes qui se forment en été. C'est là un problème particulièrement important dans les climats chauds.

64. Mais le pire problème, dans les terminaux à conteneurs, est celui posé par les roues de sellette d'attelage des remorques. Ces roues, de petit diamètre, pénètrent facilement dans un revêtement mou où elles peuvent s'enfoncer jusqu'à plus de 75 mm, le laissant exposé au gel et à la désintégration mécanique. Un autre problème, tout aussi grave, se pose dans les aires de gerbage, avec les pièces de coin des conteneurs : la charge statique étant exercée de nombreuses fois pratiquement au même endroit, les empreintes laissées par les pièces de coin sont parfois très profondes, au point que le fond du conteneur finit par être en contact avec le sol. Par ailleurs, bien que les revêtements d'asphalte soient considérés comme souples, un tassement différentiel excessif provoque la fissuration de la couche reliée et finit par la détruire. Il n'existe pas de solution bon marché à ce problème dans les zones à fort tassement; aussi préfère-t-on souvent à l'asphalte des revêtements plus durables tels que les dalles ou les pavés en béton. En outre, si l'asphalte avait été, jusqu'à récemment, le matériau de revêtement le moins cher, ces dernières années, le prix du bitume ayant fortement augmenté, le coût du revêtement d'asphalte a été ramené à des niveaux plus comparables à ceux des autres revêtements.

3.6.2 Béton coulé sur place

65. Le béton coulé sur place est un revêtement rigide qui donne une surface très durable et résistante, capable de supporter de fortes contraintes. En outre, il est lisse, ce qui lui confère une excellente viabilité et une bonne qualité antidérapante. Les chapes en béton ignorent les déformations permanentes résultant de la concentration des charges et résistent en général

aux chocs violents. Les matériaux nécessaires se trouvent sur place dans presque tous les pays du monde et le matériel de construction ainsi que la main-d'oeuvre ne posent, la plupart du temps, aucun problème. De plus, les fuites d'huile et la chaleur n'ont aucun effet sur la surface mais il y a là encore des inconvénients qu'il faut mentionner. Il existe des situations qui rendent en effet impossible l'utilisation de ce revêtement. Les facteurs en cause sont les suivants :

a) Le béton coulé sur place ne peut s'adapter au tassement du sol sans se fissurer considérablement. En général, les chapes ne peuvent remplir correctement leurs fonctions que si elles sont coulées sur des zones reconnues comme très stables, où aucun tassement n'est prévu. Malheureusement, c'est rarement le cas lors de l'aménagement de ports modernes, où les nouvelles zones d'activité sont en général créées sur des terrains remblayés,

b) Il convient de prévoir une certaine dilatation thermique et de prendre quelques précautions quant au mode de construction;

c) Une forte résistance du béton (au moins 30 N/mm²) est nécessaire pour réduire l'effritement et l'écaillage dû aux impacts;

d) Il est très difficile de réparer les chapes cassées ou déformées;

e) Il est également très difficile et coûteux de remettre la surface en état, d'y creuser des tranchées pour les câbles ou d'accéder au sous-sol pour les canalisations souterraines.

3.6.3 Dalles en béton préfabriqué

66. La surface en béton dur est l'idéal dans les zones portuaires qui supportent de fortes charges, et l'on peut se ménager la souplesse nécessaire en utilisant un matériau de surface en béton préfabriqué susceptible d'être soulevé puis posé à nouveau en cas de tassement du terrain. La réponse est la dalle en béton préfabriquée qui donne toutes les garanties de rigidité. Les dalles ont en général 2 m² de surface, sont armées et renforcées aux arêtes par une moulure d'acier pour empêcher tout écaillage en cas de fortes contraintes en surface localisées. Elles sont posées sur une couche de sable compacté pour donner un support uniforme. La couche de base est en principe granulaire et l'évacuation des eaux doit se faire librement pour éviter la saturation et les pompages après des périodes de forte pluie. Les dalles en béton offrent plusieurs avantages :

a) Bon contrôle de la qualité dans les usines;

b) Résistance totale obtenue par le durcissement en usine;

c) Peu de matériel nécessaire pour la pose;

d) Possibilités d'utilisation immédiate;

e) Soulèvement et remise en place faciles en cas de tassement du terrain.

67. Mais, comme tout autre système de revêtement, les dalles en béton préfabriquées présentent certains inconvénients :

a) Elles coûtent très cher et comme elles sont grandes et lourdes (environ 1,25 t chacune), leur transport est cher aussi;

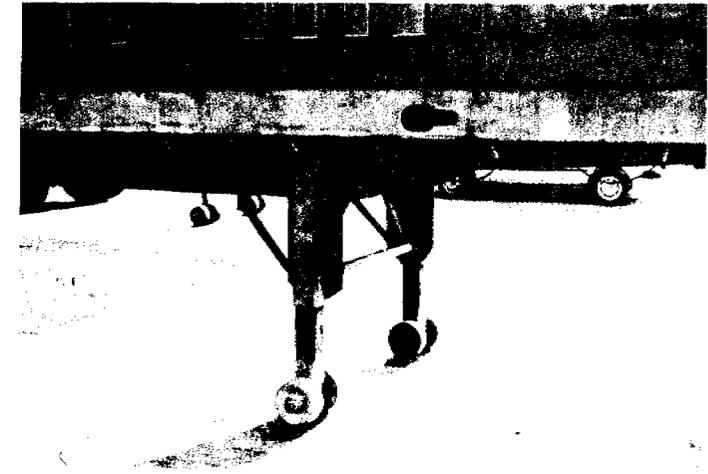
b) Etant, par définition, plus grandes que l'écartement des roues des engins de manutention et que les conteneurs avec leurs pièces de coin, elles subissent de très importants mouvements de flexion/cintrage. Si le sous-sol s'est tassé, les dalles peuvent finir par se rompre dans les angles;

c) Le tassement différentiel d'une dalle à l'autre doit aussi être contrôlé, car des arêtes trop proéminentes peuvent être dangereuses pour le déplacement des engins de manutention et poser également des problèmes d'évacuation des eaux de pluie en surface.

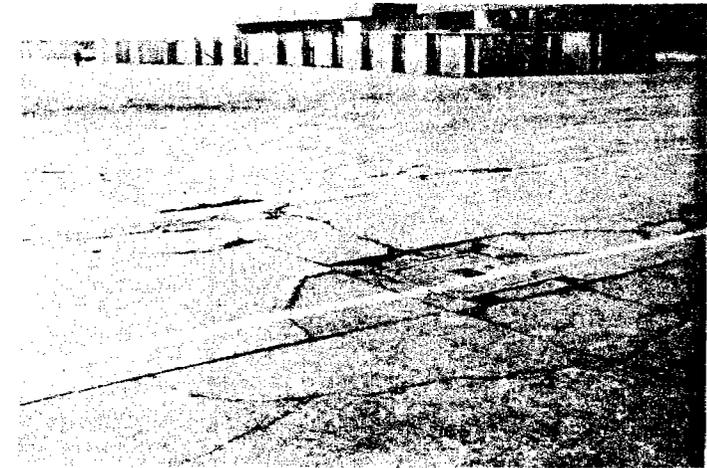
68. On ne peut cependant pas dire que l'expérience des dalles en béton a toujours été négative. Dans bien des cas, malheureusement, le coût de construction élevé n'a pas été compensé par de bons résultats. En général, les coûts de revient sont nettement plus élevés qu'avec les pavés en béton préfabriqués.

3.6.4 Pavés en béton

69. Les pavés en béton ont aujourd'hui fait leurs preuves en tant que mode de revêtement efficace dans le secteur portuaire, où ils offrent les mêmes avantages que les dalles. Ils ont une surface très durable et résistante, tout en conservant la même souplesse de mouvement que les revêtements d'asphalte. Ils sont de petite dimension et, pour autant qu'ils soient suffisamment épais, ne se fissurent pas sous la contrainte de traction. La structure étant déjà "fragmentée" par elle-même à cause des nombreux espacements entre les pavés, le revêtement peut s'adapter sans dommages à de fortes déformations. De plus, en cas de tassement, les pavés peuvent être soulevés et replacés en quelques heures. Au départ, ces pavés étaient posés à la main mais récemment, une méthode mécanique a été mise au point. Ils sont placés sur une couche de sable nivelé, mais non compacté. La surface est ensuite vibrée pour donner le profil définitif et faire remonter le sable dans les joints, transformant ainsi l'ensemble des blocs en une structure homogène, ce qui confère à la surface toute sa résistance et sa continuité. Une fois que les pavés sont reliés entre eux et "calés" par le sable, la résistance de la couche de surface devient élevée. De même, les pavés étant fabriqués en béton de haute qualité, la durabilité de cette surface est excellente, le revêtement peut supporter sans problèmes les charges très élevées imposées par les roues des sellettes d'attelage des remorques et les pièces de coin des conteneurs. Dans certains pays, le coût initial de construction est en principe un peu plus élevé que celui des structures en asphalte, mais, comme les revêtements en pavés de béton ne demandent que très peu d'entretien, le coût de revient peut en fait s'avérer moins élevé. En outre, la méthode mécanique introduite récemment donne un rendement de pose de 700 m² par machine/jour. L'économie ainsi réalisée aurait permis de ramener, dans certains cas, les coûts du revêtement en pavés de béton à des niveaux inférieurs à ceux d'un revêtement équivalent en bitume.



Le béton coulé sur place peut supporter de fortes contraintes en surface comme celles qu'exercent les roues de sellette d'attelage des remorques.



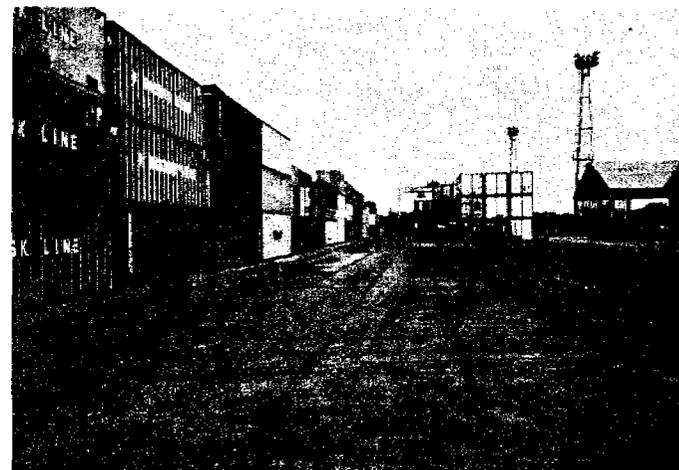
Fissuration de dalles en béton résultant d'un tassement de la couche de forme.



Un béton de mauvaise qualité ne durera pas longtemps dans une installation de manutention de conteneurs.



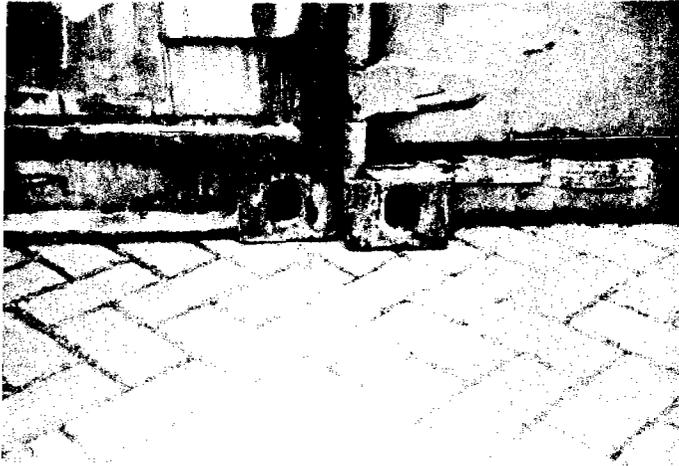
Les réparations des revêtements en béton coulé sur place sont coûteuses et perturbent les activités.



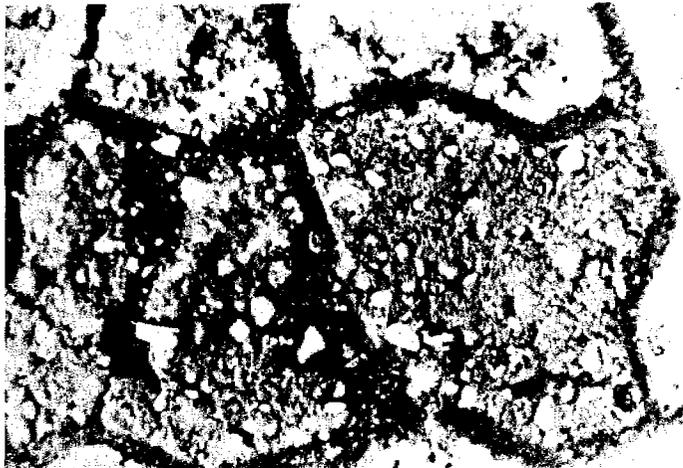
Les dalles en béton préfabriquées de 2 m x 2 m étaient d'un usage courant dans les ports durant les années 50 mais l'investissement initial élevé et leurs piètres performances les rendent aujourd'hui moins compétitives que d'autres types de revêtement.



L'affaissement inégal des dalles ("tassement différentiel") a souvent posé un problème dans les ports; non seulement il constituait un danger, mais il occasionnait aussi des dégâts au matériel, sans compter que les dalles elles-mêmes pouvaient se rompre et favoriser l'accumulation d'eau.



Les pavés en béton préfabriqué rectangulaires ont été utilisés pour la première fois dans les parcs à conteneurs dans les années 70. Ils sont aujourd'hui la solution préférée pour de nombreux ports du monde entier.



Les pavés en béton préfabriqué à imbrications donnent de moins bons résultats que les rectangulaires.

3.6.5 Structure des revêtements très résistants

70. L'expérience et la recherche ont montré que le meilleur moyen de faire en sorte que les revêtements supportent les fortes charges imposées par les conteneurs était de les doter d'une couche portante très solide. C'est pourquoi nous recommandons que les quatre types de revêtement décrits dans les paragraphes précédents (revêtements d'asphalte, de béton coulé sur place, dalles en béton et pavés en béton) soient structurés comme indiqué à la figure 3.

71. Il est à noter que dans les revêtements très résistants, la couche de surface contribue relativement peu à la résistance globale et c'est la couche portante, très épaisse, qui en est la cause principale.

3.6.6. Lits de gravier

72. La plupart, sinon la totalité, des inconvénients des revêtements sont liés à la nécessité d'obtenir une surface lisse et carrossable. La pratique a cependant montré que pour réaliser convenablement une telle surface au moindre coût, il fallait utiliser le bitume ou le ciment en association avec des agrégats. Néanmoins, l'emploi de ces deux matériaux très utiles n'est pas sans poser de nombreux problèmes (notamment, fissuration, attaque de la couche de surface par les huiles, difficulté d'accès aux canalisations souterraines, réparations et entretien coûteux). Dès lors qu'une surface lisse n'apparaît plus comme une condition fondamentale, il n'y a plus de raison d'utiliser ces deux agrégats coûteux. Cette exigence disparaît quand la surface n'a pas à supporter de charges dynamiques et le seul endroit dans ce cas est la partie de l'aire de gerbage qui est située entre les palées des portiques.

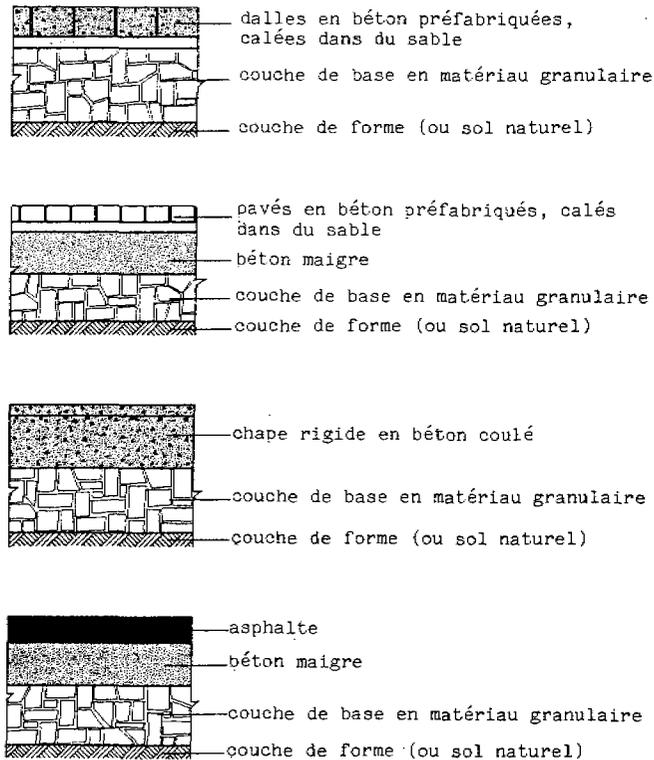
73. Récemment, un type de revêtement très simple et peu coûteux a été essayé avec succès dans ce genre de situation : le lit de gravier.

74. Il est un préjugé fréquent qui voudrait que les solutions simples et peu coûteuses soient forcément des solutions mauvaises et inadéquates, or il se trouve que le système du lit de gravier, bien que simple et peu coûteux, n'est absolument pas une solution "au rabais" au sens où l'on entend habituellement cette expression. Système simple, le lit de gravier est très facile à décrire. C'est une couche d'une certaine épaisseur de gravier (concassé ou naturel), classé selon certaines catégories, posé, nivelé et compacté à même le support. Ce support peut être soit le sol naturel après préparation, soit un remblai ou matériau de remplissage répondant aux conditions et paramètres de conception spécifiques à l'endroit considéré (couche de forme).

75. Le gravier doit être en pierre dure, de préférence d'un calibre inférieur à 50 mm pour éviter qu'il ne s'en répande sur les zones pavées adjacentes après être resté incrusté sous les pièces de coin durant la manutention des conteneurs. On a observé toutefois que, dans de rares cas, il y avait aussi eu un certain déversement de gravier sur les zones pavées adjacentes car des cailloux minuscules et par conséquent très légers étaient restés collés sous des conteneurs rendus quelque peu gluants par la présence de graisse ou de vieille peinture écaillée. Des essais sur le terrain ont néanmoins montré que les cailloux de poids spécifique courant et d'un calibre supérieur à 20 mm ne restaient pas collés au conteneur. Nous recommandons par conséquent un calibre compris entre 25 et 50 mm.

Figure 3

Structures recommandées pour les revêtements très résistants. Il s'agit des quatre catégories de revêtement suggérées dans le manuel BPA.



76. Le lit de gravier, en raison de la taille très réduite de ses éléments constitutifs, forme une surface qui se comporte à la manière d'un coussin. Cela signifie qu'il peut adopter un profil de surface compatible avec celui de la face inférieure des conteneurs gerbés. En effet, les pièces de coin, qui ne dépassent que de 12,5 mm du conteneur, s'enfoncent dans le gravier si bien que ce sont les conteneurs eux-mêmes qui finissent par reposer sur toute leur face inférieure.

77. En outre, compte tenu du vide entre les cailloux, la zone de contact effectif représente en principe 70 % environ de la surface des sections d'acier qui dépassent sous le conteneur et en soutiennent le fond; elle est d'à peu près 5 m².

Il est à noter, à cet égard, que la masse brute maximale d'un conteneur de 20 pieds est de 20,17 tonnes, tandis que celle d'un conteneur de 40 pieds est de 30,40 tonnes.

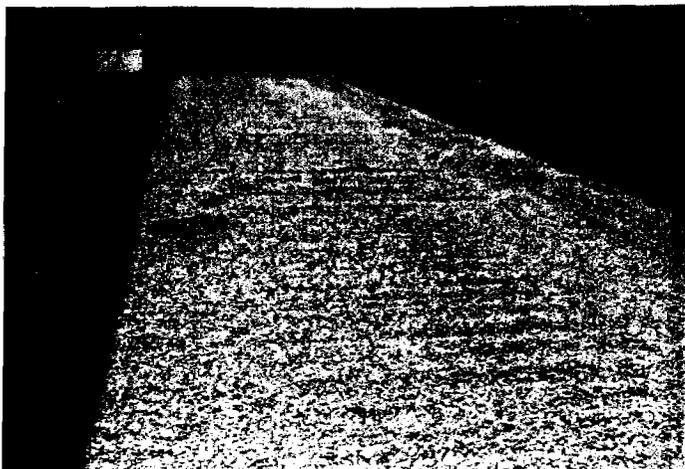
78. Dans le cas des lits de gravier, c'est en fait le conteneur de 20 pieds qui offre les pires conditions de charge au sol, car celui de 40 pieds qui occupe une surface deux fois plus grande se retrouve avec une masse brute maximale inférieure de moitié à la sienne. Dans le cas des revêtements en béton ou en asphalte, comme les conteneurs reposent sur leurs pièces de coin, les valeurs sont inversées et c'est le conteneur de 40 pieds qui offre les pires conditions de charge au sol car il pèse plus que le conteneur de 20 pieds, mais n'a comme lui que quatre pièces de coin.

79. Le tableau 4 ci-après indique les charges et contraintes maximales exercées pour certaines hauteurs de gerbage sur un lit de gravier. Une comparaison du tableau 4 avec le tableau 3 qui concerne les surfaces en asphalte ou en béton révèle que les contraintes en surface exercées, dans le cas du lit de gravier, sont entre 46 et 34 fois inférieures pour des hauteurs de gerbage allant de 1 à 5 unités respectivement.

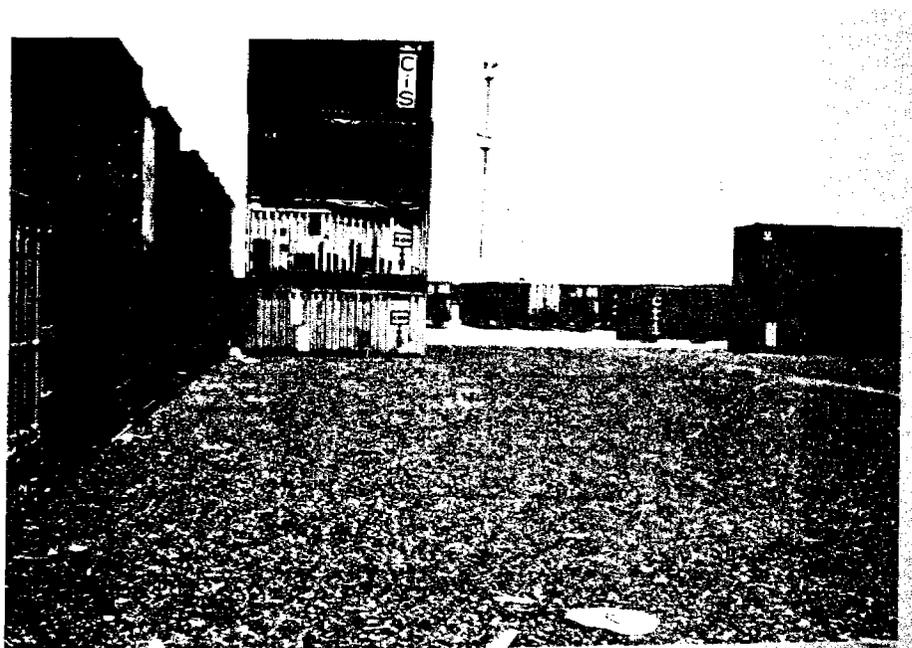
Tableau 4

Charges imposées aux revêtements de gravier par la pile de conteneurs

Hauteur de gerbage (nombre d'unités)	Réduction de la masse brute (en pourcentage)	Lits de gravier	
		Charge (kg)	Contrainte en surface (N/m ²)
1	0	20 000	0,056
2	10	38 000	0,107
3	20	54 000	0,15
4	30	68 000	0,190
5	40	80 000	0,224



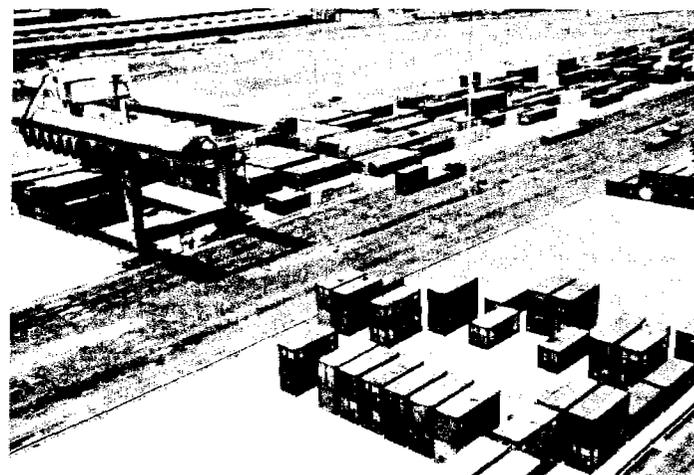
Le lit de gravier adopte un profil de surface compatible avec la face inférieure des conteneurs, de sorte que la contrainte en surface est minimisée.



Des conteneurs pleins ont été gérés par quatre sur des lits de gravier dans le port d'Ashdod, en Israël, pendant une période de dix ans. Au cours de cette période, les coûts d'entretien ont été nuls et les conteneurs n'ont subi aucun dégât.



Lits de gravier dans le port de Limassol (Chypre) peu après la construction.



Après l'expérience très réussie avec les lits de gravier à Ashdod, la Direction des affaires portuaires d'Israël a adopté le même système de revêtement pour son nouveau terminal du port d'Haïfa.

80. Au vu de ce qui précède, on est en droit de se demander si le fond des conteneurs est conçu pour en supporter la masse brute, plus celle de quatre autres empilés sur eux. Seuls les fabricants peuvent répondre. Mais ce que nous pouvons dire ici c'est que nous n'avons jamais vu de conteneur endommagé pour avoir été gerbé sur du gravier.

81. Le tableau 5 présente une comparaison des coûts de construction, dans divers pays, entre les lits de gravier et les revêtements d'asphalte (type de revêtement le plus classique). Tous les coûts - qui concernent l'année 1982 - ont été obtenus auprès d'entrepreneurs ou de consultants participant ou ayant participé à des projets dans ces pays. Pour plus de facilités, ils ont été convertis en dollars des Etats-Unis sur la base des taux de change en vigueur au moment de la préparation du tableau. Toutefois, le but de la comparaison n'est pas d'indiquer des coûts exacts, mais d'en donner un ordre de grandeur.

Tableau 5

Coûts de construction des lits de gravier et des revêtements en asphalte

	Coût par m ² d'un revêtement en asphalte de 10 cm d'épaisseur, avec couche portante granulaire de 20 cm et couche de forme de 15 cm (dollars)	Coût par m ² d'un lit de gravier de 40 cm d'épaisseur (dollars)	Economie approximative (en pourcentage) avec le lit de gravier
Chypre	11	3.5	68 %
Grèce	9	3.0	67 %
Malaisie	11.5	4	65 %
Inde	20	7	65 %
Royaume-Uni	20	8.2	59 %
Indonésie	17.3	7.7	57 %
Oman	17	8.4	50 %
Pays-Bas	18.3	9.8	46 %
Arabie saoudite	17	8.2	45 %
Emirats arabes unis	16.5	9	45 %

82. Sur un parc de 100 000 m² où l'on utilise des portiques sur rails, il faut compter 69 000 m² environ pour les aires de gerbage. Le gravier ferait donc économiser, aux prix de 1982, 897 000 dollars en Inde, 814 000 au Royaume-Uni ou 517 500 à Chypre.

83. Outre l'économie énorme qu'il permet de réaliser au niveau du coût initial, le lit de gravier ne coûte presque rien à l'entretien, lequel est minime, voire nul. Il faut seulement le débarrasser de ses débris de temps en temps : à l'occasion d'un projet exécuté dans le port de Penang, en Malaisie, des aires de gerbage sur lit de gravier avaient été délimitées à la peinture de marquage routier et après deux années d'utilisation les marques étaient encore nettement visibles.

84. Peu coûteux à construire et à entretenir, le lit de gravier a encore d'autres avantages importants :

a) Evacuation des eaux

Contrairement aux autres systèmes de revêtement, le lit de gravier permet une évacuation très peu coûteuse et satisfaisante des eaux de pluie grâce à sa capacité naturelle d'absorption.

L'évacuation verticale étant possible sur toute la superficie, il n'est pas nécessaire de prévoir des fosses de décantation, des bouches d'égout, etc.

Trois systèmes d'évacuation ont été mis au point pour les lits de gravier selon la perméabilité relative du sol de fondation jusqu'au niveau de la nappe maritime : l'évacuation entièrement libre, l'évacuation libre avec drains de moellons verticaux et l'évacuation partiellement libre à drains horizontaux perforés situés sous la couche de gravier.

Les lits de gravier peuvent aussi, dans certains cas, servir temporairement de zone de stockage d'urgence pour retenir la quantité d'eau qui viendrait à excéder la capacité du système d'évacuation sous-jacent en cas d'orages d'une intensité exceptionnelle.

En outre, il est possible d'évacuer sur les lits de gravier l'eau provenant des zones adjacentes à revêtement différent, ce qui évite de devoir drainer celles-ci, d'où un surcroît d'économies.

b) Inclinaison de la surface

L'évacuation verticale étant possible avec ce système, la surface du revêtement peut être complètement horizontale. Cela signifie que les conteneurs gerbés seront aussi horizontaux, ce qui rendra la tâche plus facile aux conducteurs de portiques, d'où de meilleurs résultats possibles au niveau du débit.

c) Trafic et sécurité

Le lit de gravier ne se prête pas au passage occasionnel d'autres trafics portuaires et extérieurs, ce qui a pour avantage de canaliser le trafic général et de maintenir une circulation essentiellement à sens unique. Cela est primordial à la fois pour la sécurité (minimisation du risque d'accidents) et pour l'efficacité des opérations portuaires, notamment en ce qui concerne le transport horizontal des conteneurs.



Portique de parc sur pneus opérant par dessus un lit de gravier (port de Penang).

d) Possibilité d'accroître la hauteur de gerbage ou d'employer des portiques à palées plus courtes

Les aires de gerbage ne doivent pas nécessairement se trouver à une hauteur précise par rapport aux zones environnantes revêtues différemment, car ces dernières fonctionnent de manière entièrement indépendante. Il suffit qu'elles soient en contrebas de ces zones, essentiellement pour des raisons d'évacuation des eaux. Si le niveau de la nappe phréatique le permet, les aires de gerbage sur lit de gravier peuvent être construites nettement plus bas que les voies de passage des portiques à condition de les entourer de longerons de bordure qui soient plus hauts. On a alors le choix entre accroître la hauteur de gerbage sous les portiques ou, si cela n'est pas nécessaire, réduire la hauteur de leurs palées.

e) Généralités

Le lit de gravier pour gerbage des conteneurs ne va pas sans portique de parc. Cette combinaison offre cependant une solution efficace et économique au problème du gerbage intensif et bien ordonné tel que l'exige tout terminal à conteneurs moderne et bien géré. Etant donné que les portiques de parc opèrent toujours dans un terminal à conteneurs spécialisé, où les aires de gerbage sont exclusivement affectées au trafic de conteneurs, on peut dire que le lit de gravier est effectivement la solution la plus économique pour la surface de ces aires de gerbage. On pense même qu'avec l'introduction de systèmes automatisés associés aux portiques de parc dans les terminaux à conteneurs - systèmes qui exigent une configuration bien définie et fixe des terminaux pour permettre l'installation des lignes souterraines de transmission -, les cas où l'on pourra recourir à la méthode du lit de gravier seront de plus en plus nombreux à l'avenir.

En fait, si l'on considère les avantages du gravier, il est intéressant de voir combien de terminaux à conteneurs auraient pu s'en servir mais ne l'ont pas fait. On dénombre aujourd'hui, dans le monde entier, 119 terminaux à conteneurs utilisant les portiques pour le gerbage (31 en Europe, 3 en Afrique, 8 au Moyen-Orient, 32 en Extrême-Orient/Asie, 9 en Australie, 30 en Amérique du Nord et 6 en Amérique centrale/Amérique du Sud), compte tenu évidemment d'une certaine marge d'erreur due au fait que des installations nouvelles, notamment, peuvent n'avoir adopté que récemment le système des portiques. Toujours est-il que les cas où le système des lits de gravier a été adopté sont rares.

Il n'est pas certain que les concepteurs des terminaux à conteneurs susmentionnés n'aient pas envisagé le lit de gravier comme solution possible ou que, n'étant tout simplement pas au courant de cette option, ils aient décidé d'utiliser à la place des revêtements classiques plus coûteux. Les recherches montrent toutefois que, dans la plupart des pays, ce système étant nouveau, il reste méconnu.

3.6.7 Systèmes mixtes

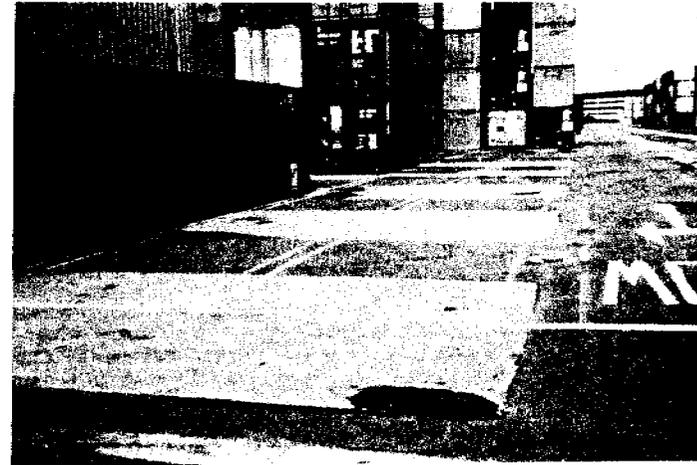
85. Il est souvent arrivé que les résultats obtenus avec certains types traditionnels de revêtement dans les zones portuaires soient loin d'être satisfaisants. Aussi s'est-on efforcé d'apporter, ici et là, diverses améliorations à ces techniques de construction existantes.

86. C'est ainsi que dans certains cas on a combiné un revêtement rigide avec un revêtement souple, en intercalant tous les six mètres, sur une surface d'asphalte, des bandes spéciales de revêtement résistant en béton pour recevoir les pièces de coin des conteneurs. C'était là certainement une solution satisfaisante au problème de l'enfoncement de ces pièces, mais malheureusement plutôt coûteuse. En outre, l'expérience a montré qu'en l'occurrence les inconvénients du système rigide en béton venaient parfois s'ajouter à ceux du système souple en asphalte.

87. Qui plus est, dans ce type de système mixte, il y a souvent des problèmes d'accumulation d'eau de pluie par suite du tassement différentiel inévitable à l'interface béton/asphalte. On est donc fondé à dire qu'en essayant de résoudre le problème de l'enfoncement des pièces de coin on en a créé un autre, mais qui est tout de même moins grave.

88. En général, ce système mixte s'est révélé très coûteux par rapport aux autres options.

89. La deuxième méthode utilisée pour accroître la durabilité du revêtement en asphalte, sa rigidité effective et sa résistance à l'attaque des huiles est l'addition au bitume d'époxydes ou d'autres substances. Il est possible en effet, avec de tels mélanges, de combiner la souplesse de l'asphalte avec la rigidité du béton pour donner une couche d'usure semi-rigide, robuste, qui soit en même temps résistante à la chaleur, aux huiles et à la pénétration. Cette méthode constitue un moyen satisfaisant d'améliorer la durabilité de l'asphalte, mais les coûts de construction sont très élevés, bien souvent, d'ailleurs, ces mélanges ne s'avèrent pas aussi économiques que certains autres revêtements et peuvent même être absolument prohibitifs.



Système mixte avec bandes de béton alternant avec l'asphalte, de manière à éviter l'enfoncement des pièces de coin.



Dans ce système mixte, de petits supports en béton sont placés pour recevoir les pièces de coin des conteneurs. Notez le tassement différentiel qui a provoqué une accumulation d'eau de pluie.

Chapitre III

LA CONCEPTION DE REVÊTEMENTS TRÈS RÉSISTANTS
POUR LES TERMINAUX À CONTENEURS

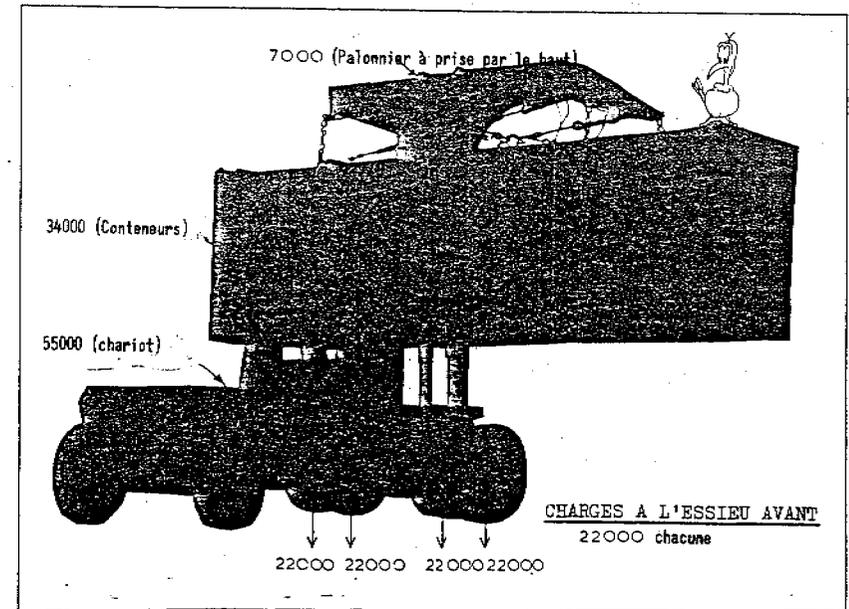
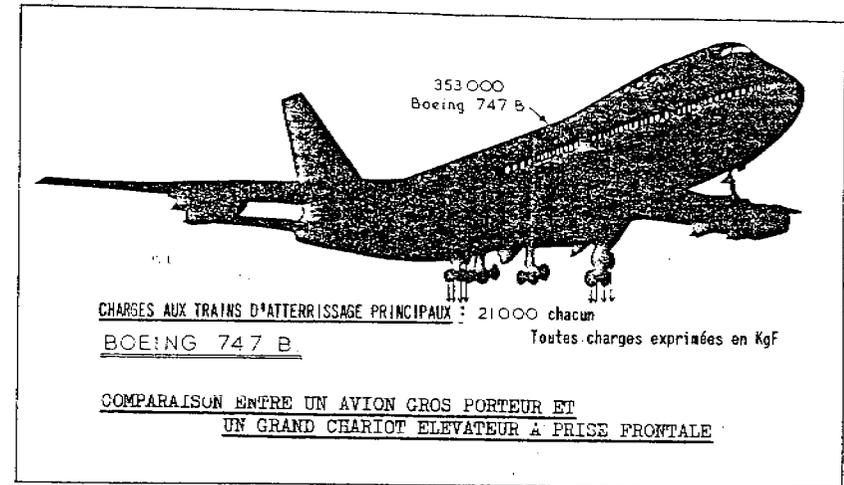
1. Introduction

90. Il est intéressant de noter que les charges imposées aux revêtements portuaires par le matériel de manutention des conteneurs sont aujourd'hui du même ordre que celles qu'exercent les plus gros avions sur les revêtements d'aéroports. Ainsi, un Boeing 747B pèse jusqu'à 353 tonnes au moment du décollage lorsqu'il exerce ses forces les plus destructrices sur le revêtement (l'impact à l'atterrissage est moindre car la plus grande partie du poids est absorbée par les ailes). La quasi-totalité de ce poids est supportée par 16 roues situées sous les ailes, de sorte que le revêtement subit des charges par roue de 21 tonnes. Un chariot élévateur frontal équipé d'un palonnier télescopique à prise par le haut et manutentionnant un conteneur de 40 pieds pesant 34 tonnes, imprime, sur chacune des quatre roues de son essieu avant des charges de 20 à 25 tonnes, c'est-à-dire supérieures à celles du Boeing. Les revêtements d'aéroports font l'objet d'études de conception systématiques depuis plus de 30 ans, alors qu'il n'y a pas plus de dix ans que l'on s'occupe des revêtements portuaires sur lesquels les charges au sol peuvent être égales, voire supérieures, à celles des aéronefs.

91. La méthode de conception présentée ci-après est celle qui a servi de base à l'élaboration du manuel de conception des revêtements très résistants de la British Ports Association. Simple à utiliser, elle a fait ses preuves depuis plusieurs années dans la construction de revêtements efficaces et économiques, aussi bien dans les pays développés que dans les pays en développement. Elle consiste, d'une part, à calculer les contraintes résultant d'un régime de charge déterminé et, d'autre part, à évaluer les contraintes que les matériaux d'un revêtement peuvent supporter. Un revêtement est réputé correctement conçu dès lors que les contraintes réelles et les contraintes admissibles sont similaires. Le manuel de la BPA contient des diagrammes de conception, si bien que les calculs numériques y sont réduits au minimum, l'utilisateur pouvant comparer rapidement plusieurs modèles possibles à partir de matériaux différents.

2. Principes de conception

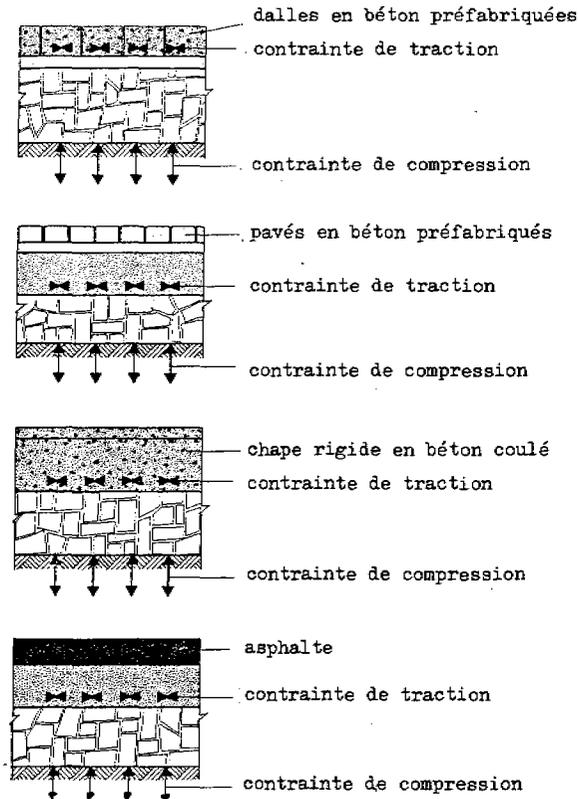
92. Le principe de base de la conception est de s'assurer que le revêtement, une fois conçu, restera utilisable aussi longtemps qu'un régime de charge déterminé lui sera imposé pendant sa durée de vie calculée. Dans la plupart des installations de manutention des conteneurs, les revêtements sont soumis à deux régimes de charge différents : d'abord, empilage des conteneurs en blocs compacts, et ensuite, va-et-vient des engins le long de ces blocs. Certains systèmes de manutention exigent que le matériel (par exemple les chariots cavaliers) évolue à l'intérieur même des blocs, ce qui peut accroître considérablement le coût du revêtement car l'aire d'entreposage doit alors être conçue pour les deux régimes de charge.



Comparaison entre les charges par roue d'un chariot élévateur à prise frontale typique manutentionnant un conteneur de 40 pieds plein et celles d'un avion gros porteur. Comme on peut le voir, ces charges sont analogues. Il arrive même fréquemment que celles des chariots élévateurs soient supérieures.

Figure 4

Localisation des contraintes critiques dans chacun des quatre types de revêtement



93. Un revêtement très résistant peut être endommagé et mis hors service à la suite de contraintes de compression verticales excessives au niveau du terrain de fondation, ou à la suite de contraintes de traction horizontales excessives au niveau de la couche portante. La figure 4 montre la localisation de ces contraintes critiques dans chacune des catégories de revêtement. La contrainte de compression verticale admissible au niveau du terrain de fondation est donnée par l'équation :

$$E_v = 21600/N^{0.28}$$

où E_v est la contrainte de compression verticale admissible pour le terrain de fondation (microcontrainte), et N le nombre de répétitions de l'application de la charge.

94. Par exemple, s'il y a une répétition, le maximum admissible est une compression égale à 21 600 microcontraintes, soit 0,0216 contraintes; en revanche, s'il y a 10 000 répétitions, la compression admissible n'est que de 1 638 microcontraintes.

95. La contrainte de traction horizontale maximale admissible est donnée par l'équation :

$$E_h = \frac{F_C \times 993\,500}{6 \times E_b \times 1\,022 \times N \times 0\,0502}$$

où E_h = contrainte de traction horizontale radiale admissible pour la couche portante (microcontrainte),

F_C = résistance caractéristique à la compression du matériau de la couche portante (N/mm^2),

N = nombre de répétitions de l'application de la charge

et où, lorsque F_C est à $7 N/mm^2$, $E_b = 4\,000 \times F_C$

lorsque F_C est à $7 N/mm^2$, $E_b = 16\,800 \times F_C^{0.25}$.

96. La figure 5 montre la relation entre E_h et N pour quatre valeurs de F_C .

3. Technique d'analyse

97. Pour déterminer si un revêtement envisagé satisfait aux deux critères de disponibilité technique, il est nécessaire de déterminer les contraintes effectives qu'il subit en deux emplacements critiques lorsqu'il est soumis à une charge de surface. Les contraintes effectives sont calculées grâce à une technique d'analyse dans laquelle chaque couche composant le revêtement est transformée en une épaisseur équivalente du terrain de fondation. Cette transformation repose sur le principe selon lequel il est possible d'effectuer une analyse précise du revêtement si une couche de revêtement réelle est remplacée par une couche composée de matériaux différents et ayant une épaisseur différente, étant entendu que ces deux couches ont une résistance

à la flexion identique. Or, pour que deux couches de matériaux aient une résistance à la flexion identique, il faut que les résultats de la division

$$\frac{h^3 \times E}{1 - \nu^2}$$

(où E = module d'élasticité, h = épaisseur de la couche et ν = coefficient de Poisson) soient identiques dans les deux cas.

98. Ainsi, une couche d'épaisseur h_1 , à module d'élasticité E_1 et à coefficient de Poisson ν_1 peut, pour les besoins de l'analyse, être remplacée par une épaisseur h_2 d'un matériau différent à module d'élasticité E_2 et à coefficient de Poisson ν_2 , selon la formule :

$$h_2 = h_1 \times \sqrt[3]{\frac{E_1 \times (1 - \nu_2^2)}{E_2 \times (1 - \nu_1^2)}}$$

99. Après avoir ainsi transformé chaque couche du revêtement, on calcule les contraintes à la limite de chacune d'elles, puis on compare ces contraintes avec les contraintes maximales du matériau qui composera effectivement le revêtement. A partir de là on détermine les épaisseurs de couche requises. Après la procédure de transformation, le revêtement a été remplacé par un corps isotrope homogène semi infini et équivalent, de sorte qu'une analyse selon la théorie de Boussinesq peut être effectuée pour déterminer les tensions et par conséquent les contraintes.

4. Propriétés des matériaux

100. Comme les deux critères de conception et l'analyse elle-même reposent sur la théorie de l'élasticité, des constantes d'élasticité (module d'élasticité et coefficient de Poisson) devront être affectées aux quatre éléments du revêtement, à savoir la couche de forme, la couche de base, la couche portante et la couche de surface. Dans le cas d'un revêtement rigide classique en béton, le béton est considéré comme la couche portante et la couche de surface disparaît donc de l'analyse.

101. Quant à la couche de forme, les ingénieurs préféreront généralement se référer à sa résistance à travers le California Bearing Ratio (CBR), des relations ayant été établies entre le module d'élasticité, le coefficient de Poisson et ce CBR.

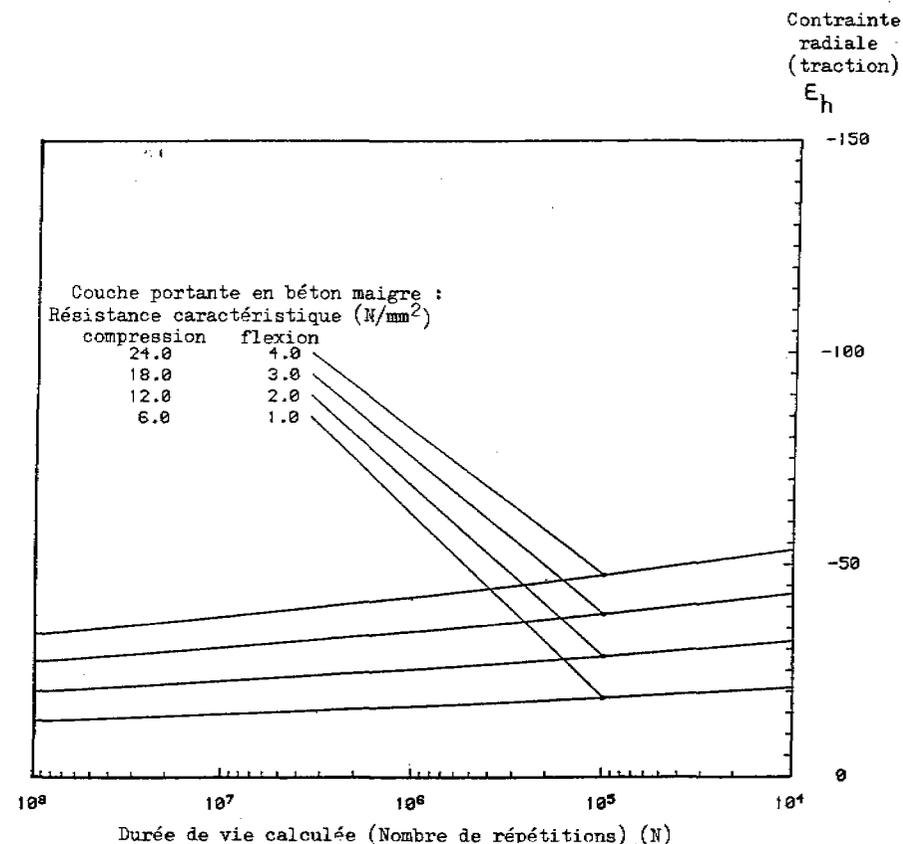
5. Evaluation de la charge appliquée

102. On a aussi mis au point une méthode réaliste d'évaluation de l'effet d'endommagement exercé par le matériel de manutention des conteneurs. Elle retient certains paramètres propres aux revêtements des terminaux, à savoir :

- a) charges par roue très élevées (jusqu'à 25 000 kg);
- b) manutention sur de vastes superficies;
- c) facteurs dynamiques à effet très marqué;
- d) engins de types et de dimensions très divers.

Figure 5

Relation entre la contrainte radiale et la durée de vie calculée



103. Ces paramètres distinguent les revêtements portuaires des revêtements routiers et éliminent d'emblée le recours aux méthodes empiriques de conception de ces derniers. Par ailleurs, l'extrapolation des méthodes de conception des revêtements routiers a conduit à une dégradation prématurée de nombreux revêtements de terminaux à conteneurs parce que ces méthodes n'étaient pas adaptées aux conditions portuaires.

5.1 Charges par roue très élevées

104. La méthode de conception reposant sur l'évaluation des contraintes admissibles et effectives, les charges élevées sont traitées directement et il n'est pas nécessaire de remplacer une charge élevée effective par une charge type. Afin d'attribuer à tel ou tel engin de manutention un indice d'endommagement, on procède de la façon suivante : pour chacune des roues situées sur un côté de l'engin, on calcule cet indice à l'aide de l'équation

$$D = \left(\frac{W}{12\ 000} \right)^{3,75} \times \left(\frac{P}{0,8} \right)^{1,25}$$

où D = dommages causés au revêtement, W = charge par roue (kg) et P = pression ou contrainte exercée par pneu (N/mm²).

105. Cette équation utilise la règle dite des dommages à la puissance 4, qui veut que les dégâts causés aux revêtements varient en fonction de la charge appliquée, de la pression exercée et du nombre de répétitions de l'application de la charge et de la pression. Cette équation donne les dommages (D) causés aux revêtements, exprimés dans une unité de mesure qui a été conçue lors de l'élaboration de la méthode de conception. Cette unité est la Port Area Wheel Load (PAWL), un PAWL pouvant être défini comme le dommage occasionné à un revêtement par une répétition d'une roue de 12 000 kg exerçant une pression en surface de 0,8 N/mm². Pour chacune des roues situées sur un côté de l'engin (certains engins ont des charges par roue différentes selon le côté, auquel cas on choisit le côté le plus lourd), on calcule les PAWL et l'engin se voit attribuer un indice de classement de charge (Load Classification Index, LCI) d'après le tableau de correspondance ci-dessous (tableau 6). Un LCI classé A correspond à un engin relativement peu destructeur; les véhicules routiers classiques entrent dans cette catégorie. Les LCI maximums ont été déterminés de manière que les engins de manutention les plus lourds couramment utilisés entrent dans les catégories F, G ou H selon leur mode d'utilisation.

Tableau 6

Relation entre les classes de PAWL et le LCI

PAWL	LCI
Inférieur à 2	A
2 - 4	B
4 - 8	C
8 - 16	D
16 - 32	E
32 - 64	F
64 - 128	G
128 - 256	H

5.2 Manutention sur de vastes superficies

106. La relation entre l'écartement des roues d'un véhicule et la largeur de voie effective sur laquelle il opère régit le nombre de répétitions de charge auxquelles un point isolé de revêtement est soumis. De ce fait, lorsqu'on évalue le nombre de répétitions pour lesquelles un revêtement devrait être conçu, on procède à une réduction mathématique du total des mouvements sur les voies de la manière suivante : quand la largeur de voie effective est plus grande que 5,5 fois l'écartement des roues, on considère que seul un tiers des mouvements se produisent en un point donné, quand elle est comprise entre 5,5 et trois fois l'écartement des roues, le chiffre est porté à 50 % des mouvements, quand elle est inférieure à trois fois l'écartement des roues, le nombre de répétitions est égal au nombre de mouvements. Ces valeurs de réduction ont été calculées à partir d'observations de la répartition latérale des charges des engins de manutention se déplaçant sur des voies de largeurs différentes.

5.3 Facteurs dynamiques à effet très marqué

107. En évaluant le PAWL pour chaque roue, il faut prendre comme hypothèse une certaine charge par roue (W, exprimée en kq). Cette charge devrait tenir compte de l'effet de transfert de masse induit par la dynamique. Les facteurs dynamiques ont déjà été définis, il suffit donc de multiplier les charges statiques par roue par ces facteurs avant de calculer les PAWL. Le tableau 7 indique les facteurs dynamiques adoptés pour divers types d'engins et pour diverses conditions d'utilisation. Lorsque deux ou trois conditions d'utilisation s'appliquent simultanément, les facteurs dynamiques doivent être multipliés entre eux et le résultat multiplié ensuite par les charges statiques.

108. Il est à noter que l'effet des facteurs dynamiques est très marqué et que ces facteurs ne devraient être appliqués simultanément que lorsqu'il y a des raisons précises pour cela. Ils peuvent obliger à augmenter de 50 % l'épaisseur du revêtement. Quand les mouvements des véhicules peuvent être déterminés à l'avance, il est possible de concevoir des superficies considérables de revêtement ne subissant pas d'effets dynamiques.

Tableau 7

Facteurs dynamiques pour différentes catégories d'engins de manutention

Type d'engin	Type d'opération ou de situation			
	Freinage	Virage	Accélération	Surface irrégulière
Chariots élévateurs à prise frontale	1.3	1.4	1.1	1.2
Chariots cavaliers	1.5	1.6	1.1	1.2
Chariots élévateurs à prise latérale	1.2	1.3	1.1	1.2
Tracteurs et remorques	1.1	1.3	1.1	1.2

5.4 Engins de types et de dimensions très divers

109. La méthode de conception, qui repose sur une analyse de l'élasticité axée sur la fatigue des matériaux, ne se limite pas à telle ou telle catégorie particulière d'engins de manutention. Même le matériel dont la mise au point n'est pas encore faite peut être classé assez facilement. Un autre facteur à prendre en compte est la proximité des roues. Les contraintes supplémentaires imputables à des roues peu espacées obliques, elles aussi, à augmenter fortement l'épaisseur du revêtement pour certains types d'engins (par exemple les chariots élévateurs à brise frontale qui ont deux ou trois roues à chaque extrémité de leur essieu avant). Quant aux roues jumelles montées côte à côte, on considère qu'elles en forment une seule, dont la charge est égale à la somme des charges unitaires. Pour les autres types de roues, le tableau 8 ci-après indique les facteurs de proximité par lesquels il faut multiplier les PAWL respectifs avant de les ajouter entre eux pour déterminer le LCI. Ces facteurs de proximité sont fonction de l'espacement longitudinal des roues et, dans une moindre mesure, du PAWL de l'engin.

Tableau 8

Facteurs de proximité pour divers espacements longitudinaux des roues et divers PAWL

Espacement longitudinal des roues (mm)	Facteurs de proximité pour divers effets d'endommagement							
	2 PAWL	4 PAWL	8 PAWL	16 PAWL	32 PAWL	64 PAWL	128 PAWL	256 PAWL
500	1.94	1.95	1.96	1.96	1.97	1.98	1.98	1.98
1000	1.80	1.84	1.85	1.86	1.87	1.89	1.92	1.93
2000	1.40	1.45	1.51	1.58	1.62	1.64	1.72	1.75
4000	1.00	1.01	1.05	1.09	1.14	1.21	1.28	1.33

6. Calcul de la durée de vie utile d'un revêtement

110. La durée de vie utile d'un revêtement s'exprime par le nombre de mouvements de la charge critique qu'il peut supporter avant de devenir inutilisable.

111. La charge critique est la charge conteneurisée transitant par le port, qui exerce l'effet d'endommagement maximal (effet critique d'endommagement) sur le revêtement. Cet effet critique résulte lui-même à la fois de la valeur de la charge et de sa fréquence de répétition, c'est-à-dire du nombre de fois que des conteneurs ayant cette même charge transitent par le port pendant une période déterminée; pour le calculer on détermine l'effet d'endommagement qu'exercent les charges par roue avec chaque charge conteneurisée possible (c'est-à-dire en partant d'une charge nulle pour l'engin à vide pour arriver

aux 34 000 kg du conteneur de 40 pieds, plein et ayant le poids brut maximal admissible, soit 35 classes de charge par paliers de 1 000 kg) et on le multiplie par la fréquence en pourcentage des passages de chacune de ces charges conteneurisées par le terminal.

112. La charge conteneurisée qui exerce l'effet proportionnel d'endommagement le plus élevé est la charge critique, et l'effet d'endommagement de cette charge critique est l'effet critique d'endommagement. Toutefois, avant d'effectuer ces calculs, il est essentiel de connaître les pourcentages de conteneurs de poids différent transitant par le port. Il suffit, pour cela, d'un simple recensement et d'un simple calcul statistique.

113. La durée de vie utile (L) d'un revêtement se calcule à partir du nombre de mouvements de la charge critique, comme suit :

$$L = \frac{\left(\begin{array}{l} \text{nombre total de mouvements} \\ \text{des engins de manutention} \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{l} \text{effet moyen} \\ \text{d'endommagement} \end{array} \right)}{\text{effet critique d'endommagement}}$$

114. L'effet moyen d'endommagement s'obtient en multipliant chacun des 35 effets d'endommagement par son pourcentage statistique correspondant, puis en divisant par 100 la somme de ces 35 produits.

7. L'utilisation des diagrammes de conception

115. Le manuel BPA contient une collection de 120 diagrammes de conception qui permet à l'utilisateur de comparer rapidement plusieurs solutions possibles. Cette méthode présente des avantages et des inconvénients. Le principal avantage est l'économie de temps, qui encourage à comparer un plus grand nombre de solutions possibles. Elle permet aussi d'examiner la sensibilité d'une conception déterminée aux changements dans la durée de vie utile, la résistance du sol ou l'ampleur de la charge. Par exemple, les diagrammes montrent que des variations relativement fortes dans le nombre de répétitions (par exemple leur doublement ou leur réduction de moitié) n'entraînent qu'une modification de quelques millimètres seulement de l'épaisseur du revêtement, alors que de faibles variations en pourcentage dans l'ampleur de la charge obligent à modifier davantage cette épaisseur. Un autre avantage est l'élimination virtuelle des risques d'erreur grossière. On voit mal en effet comment un utilisateur pourrait se tromper de plus de quelques millimètres.

116. Le calcul, en revanche, conduit à une précision apparente très élevée, mais on a toujours la crainte d'avoir commis une erreur d'appréciation. En effet, les diagrammes de conception constituent un espace dans lequel l'utilisateur se déplace en prenant conscience du fait que, chaque fois qu'il approche d'une limite, il opère dans une situation peu orthodoxe.

117. Les diagrammes de conception ont aussi leurs inconvénients. Leur élaboration coûte cher et il se pourrait même que, dans le cas du manuel BPA, cela ait dissuadé certains concepteurs occasionnels de l'acheter (alors que c'est eux probablement qui en avaient le plus besoin).

118. De même, les solutions qu'ils peuvent présenter ne concernent que quelques combinaisons abstraites de variables de conception. En matière de revêtements, plus peut-être dans d'autres domaines, cela ne pose pas vraiment de problème, car beaucoup d'éléments de conception ne sont qu'une simple conjecture savante. En particulier, il est nécessaire de connaître la résistance du sol sous la forme d'un California Bearing Ratio (CBR). On mesure ainsi la résistance du matériau au cisaillement. Or, dans de nombreux ports, le CBR varie tout au long de l'existence d'un revêtement et dans des proportions difficiles à prévoir. De même, le diagramme de conception d'un revêtement dépend de la connaissance que le concepteur a du mode de conduite des engins de manutention et du comportement de leurs pneumatiques. Or, le même engin à deux endroits différents peut être manoeuvré différemment. On peut imaginer des ports qui imposent des limitations de vitesse ou qui nécessitent des coups de frein violents ou des virages nombreux. Qui plus est, les spécifications des pneus sont fréquemment modifiées et il n'est pas rare qu'un véhicule soit équipé de deux ou plusieurs pneus entièrement différents. D'ailleurs, le modèle de pneu peut varier considérablement et aller du modèle théorique entièrement rigide - où toute augmentation provisoire de la charge se traduit par un changement de pression, sans aucune modification de la zone de contact - au modèle théorique entièrement souple pour lequel c'est l'inverse qui se produit.

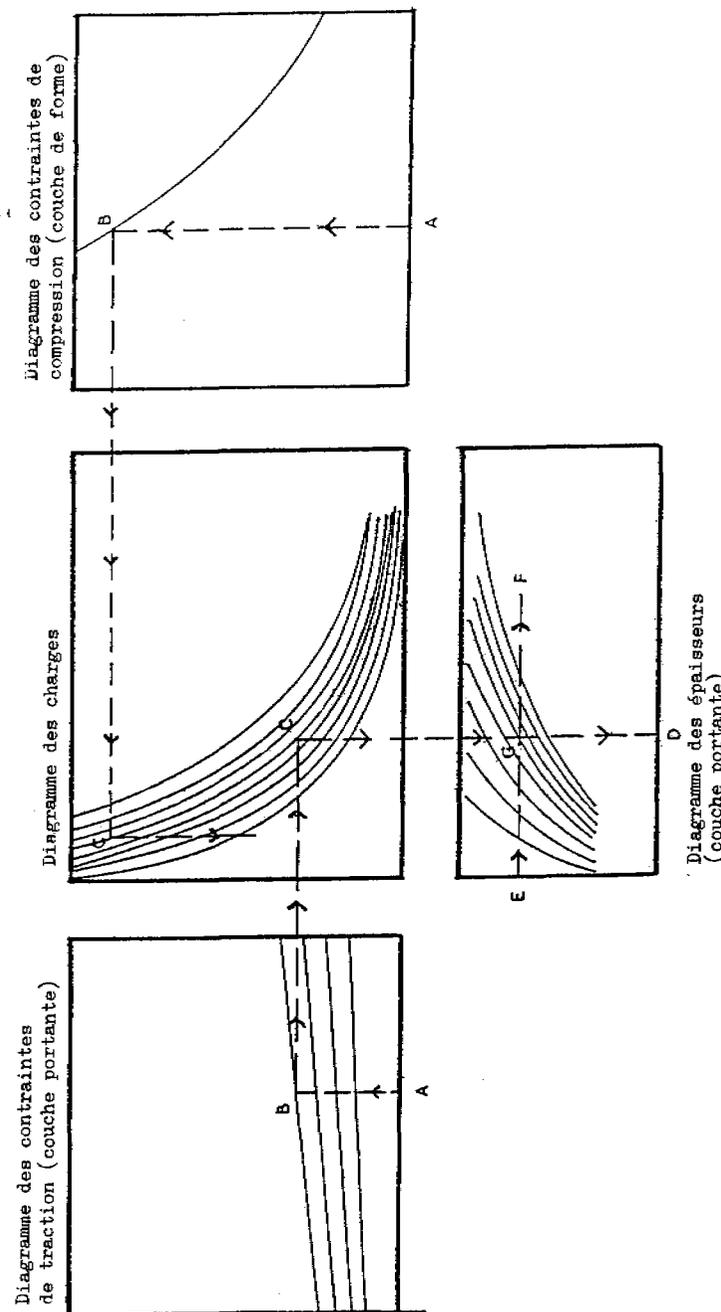
119. Compte tenu de tous les facteurs présents, les diagrammes sont considérés comme la méthode la plus adéquate pour concevoir des revêtements très résistants. Plus de 500 exemplaires du manuel BPA sont actuellement utilisés dans plus de 40 pays, et, aux dires de ses utilisateurs, la méthode apporte des solutions valables à tout concepteur local désireux de tirer pleinement parti de ses matériaux locaux.

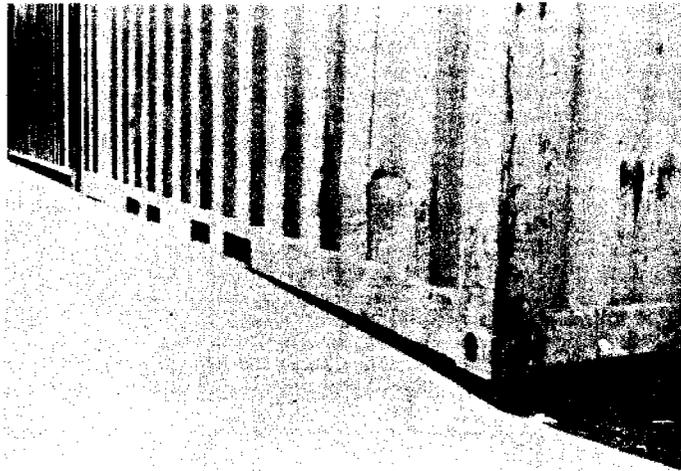
120. On trouvera à la figure 6 un exemple de diagramme BPA.

121. La façon la plus directe d'utiliser un tel diagramme est de commencer au point A, ce qui signifie qu'il faut choisir un chiffre pour le nombre de répétitions de la charge envisagée.

122. Faute de données précises, on peut estimer que le chiffre de 2 millions de répétitions devrait suffire pour la plupart des revêtements, il correspondrait en effet à une durée de vie utile de 25 ans dans une installation de manutention typique et active. A partir de A, on trace une ligne verticale jusqu'à l'une des quatre courbes pratiquement plates qui figurent le béton maigre (couche portante), l'intersection sera, disons, au point B. On trace ensuite une ligne horizontale depuis B jusqu'à la courbe appropriée d'indice de classement des charges (LCI), l'intersection étant le point C (voir la section 5 de ce chapitre pour le calcul du LCI). On projette ensuite une ligne verticale depuis C à travers la famille de courbes du diagramme inférieur. Après, on trace depuis E une ligne horizontale correspondant au module d'élasticité du matériau de la couche portante. Cette ligne coupe la verticale précédente au point G. Chacune des courbes de la famille correspond à un contour d'épaisseur de la couche portante. Le point D indique l'épaisseur requise pour la couche portante.

Figure 6
Exemple de diagramme de conception des revêtements portuaires extrait du manuel BPA





Le changement de pente met le conteneur en porte-à-faux, ce qui risque de l'endommager.



L'absence de pente suffisante favorise l'accumulation d'eau.

8. Inclinaison de la surface

123. A l'exception des lits de gravier pour lesquels une évacuation verticale des eaux est possible, une certaine inclinaison de surface doit être prévue pour tous les types de revêtement afin de canaliser les eaux de pluie vers les égouts. Cette inclinaison, tout en garantissant une évacuation efficace de l'eau de pluie sur la couche de surface, risquera néanmoins de perturber les opérations. Cela est très important en ce qui concerne l'utilisation des tracteurs de port, et notamment du système multi-remorques, car plus la pente est marquée plus le tracteur doit être puissant. La souplesse d'ensemble est parfois compromise par de telles pentes dans des directions différentes. De même, si l'inclinaison des aires de quaiage est prononcée, on aboutit à une situation où les conteneurs ne reposent pas adéquatement sur leurs quatre pièces de coin, au point parfois de se trouver en porte-à-faux sur une certaine longueur. Inversement, une surface plane favorise l'accumulation d'eau, ce qui, là encore, perturbe les opérations.

124. En fait, l'inclinaison de la surface constitue un compromis entre ce qui est possible du point de vue du génie civil et ce qu'acceptera un concepteur de matériel de manutention.

125. L'expérience a montré que les revêtements inclinés d'environ 1 % (mais pas moins) avaient donné entière satisfaction à tous points de vue dans les terminaux à conteneurs.

9. Installation de conduites souterraines

126. La prestation satisfaisante de divers services (par exemple : eau, téléphone et électricité) est un des préalables indispensables au bon fonctionnement d'un terminal à conteneurs. Ces services, qui doivent être distribués à divers endroits dans tout le terminal, ont inévitablement à traverser toutes les zones d'activité de celui-ci. Il importe également qu'ils ne subissent aucune avarie du fait des activités en question. Le seul moyen d'éviter cela est d'installer l'infrastructure nécessaire à ces services, de telle manière que leur interférence avec les surfaces sur lesquelles se déroulent les opérations du terminal soit réduite au minimum. L'expérience a montré que le mieux était de faire passer tous les câbles ou tuyaux dans des conduites conçues à cet effet. Ce système garantit la facilité d'accès aux services pour l'entretien, les réparations ou les extensions, sans qu'il soit nécessaire d'ouvrir le revêtement, de gêner par là même les activités et d'encourir des frais supplémentaires de remise en état de la surface. Les buses en béton conviennent très bien mais coûtent très cher. Qui plus est, il faut parfois les choisir très lourdes, ce qui les rend difficiles à manipuler. Un autre type de conduite s'est révélé bien moins coûteux et plus commode : le tuyau en matière plastique enrobé de béton maigre. Les câbles ou les conduites d'eau peuvent être passés dans des tuyaux en plastique de plus grand diamètre, mais cela ne peut se faire que si des trous de visite sont prévus à des distances appropriées et aux endroits où la direction des conduites change. Avec ce système, néanmoins, il est toujours recommandé d'installer jusqu'à 40 % de tuyaux supplémentaires vides en vue de futures extensions. Si ces tuyaux en plastique sont placés à la profondeur voulue sous les revêtements et protégés comme il convient par du béton, le système devrait donner entière satisfaction et ne poser aucun problème.

Il faudra cependant qu'un soin particulier soit apporté à la protection des conduites d'eau, car toute fuite importante sous la surface risquerait de modifier les propriétés de la couche de forme et d'endommager le revêtement. Cela est très dangereux car le cas le plus fréquent est celui du revêtement qui cède brusquement sous le poids d'un engin de manutention en cours de déplacement.

127. Dans les terminaux à conteneurs, il est recommandé que les conduites, bouches d'égout, fosses de décantation, etc., soient conçues pour supporter des charges par roue de 30 tonnes, et même plus s'il le faut.



La canalisation souterraine facilite la maintenance et permet de prévoir une certaine marge d'expansion future.

Chapitre IV

CONTROLE PERIODIQUE DES REVETEMENTS

128. Pour beaucoup de types de revêtement, une fois que la dégradation commence c'est le revêtement tout entier qui va devenir très rapidement inutilisable, surtout si les conditions météorologiques sont rigoureuses. Seuls des travaux de réparation effectués à temps permettront d'en prolonger la durée de vie utile à moindres frais.

129. Logiquement, on serait en droit d'attendre d'un revêtement bien conçu et bien construit qu'il reste utilisable pendant toute la durée de vie calculée par le concepteur. Or, il n'en est pas ainsi, même un revêtement bien conçu peut souvent être endommagé prématurément par des charges excessives, voire des contraintes internes anormales dans des conditions météorologiques rigoureuses. Un revêtement peut donc rester utilisable pour toute sa durée de vie calculée ou pour une partie seulement.

130. Toute administration portuaire prudente devrait donc faire procéder périodiquement à un contrôle de l'état des revêtements afin d'y déceler suffisamment tôt les dégradations éventuelles. La fréquence des contrôles variera en fonction de l'intensité de l'activité sur l'installation, de son emplacement et de certaines conditions locales comme les variations climatiques ainsi que d'autres facteurs.

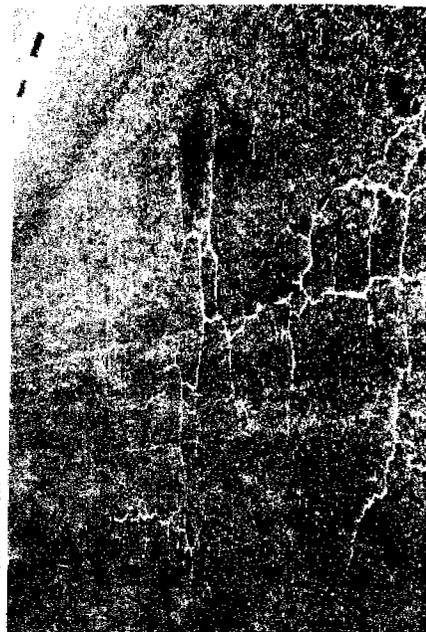
131. L'état d'un revêtement se vérifie sur deux plans :

- a) l'état des matériaux eux-mêmes, et
- b) la profondeur des ornières ou du tassement localisés.

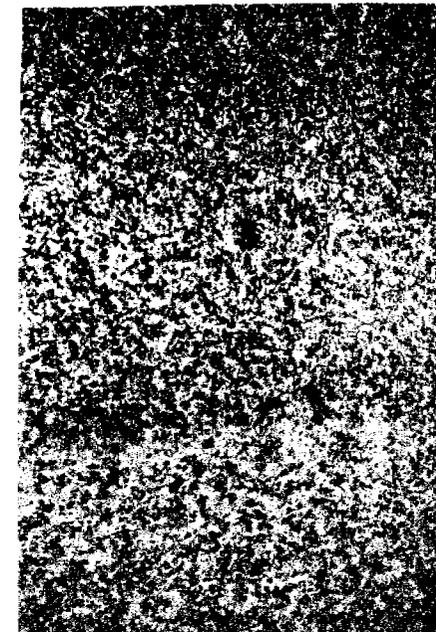
132. En général, le contrôle de l'état des matériaux se limite uniquement à un bilan de la fissuration et de l'écaillage de la surface, c'est-à-dire à une simple inspection visuelle. Comme il peut être difficile d'évaluer le degré de fissuration des couches inférieures d'un revêtement, il convient toujours d'émettre des hypothèses prudentes. Néanmoins, en cas de forte présomption d'une dégradation anormale des couches inférieures, il faut vérifier l'état réel en profondeur par des carottages ou des sondages. Le contrôle de l'état des matériaux a été normalisé dans la mesure où on attribue aujourd'hui des coefficients standard ("condition factors") à ces matériaux selon leur degré de fissuration et d'écaillage. Les différents degrés de fissuration sont indiqués à la figure 7 et les coefficients correspondants sont les suivants :

<u>Etat du matériau</u>	<u>Coefficients</u>
Comme neuf	1.0
Légèrement fissuré	0.8
Fortement fissuré	0.5
Entièrement fissuré, craquelé ou écaillé	0.2

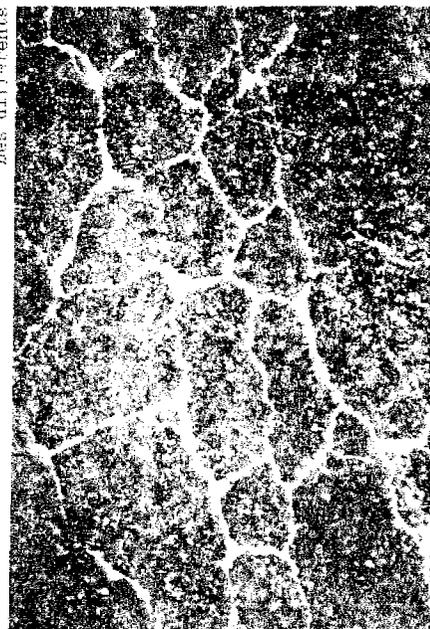
Figure 7
Les différents degrés de fissuration



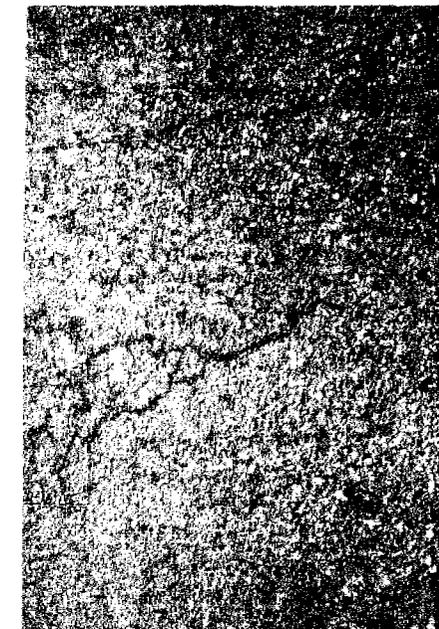
Fortement fissuré



Comme neuf



Entièrement fissuré



Légèrement fissuré

133. Le contrôle destiné à vérifier la profondeur des ornières ou du tassement localisés a aussi été normalisé.

134. Il est recommandé de procéder, immédiatement après la construction d'une nouvelle aire, à un relevé des niveaux à l'aide d'instruments précis au millimètre près. Ce relevé devrait se faire de la manière suivante :

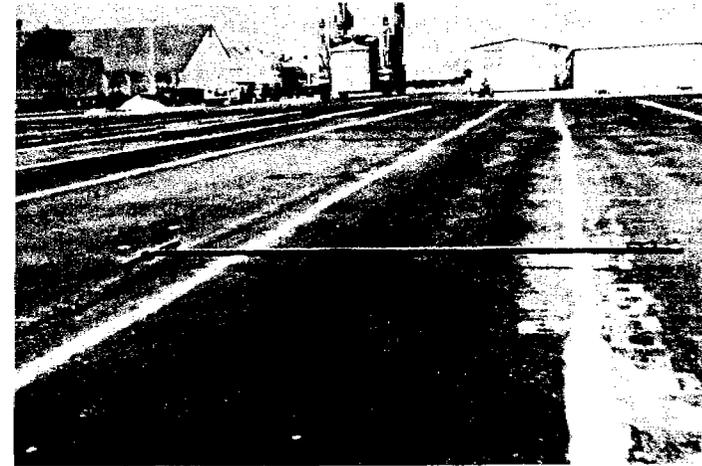
- a) revêtement en béton rigide ou en dalles de béton préfabriquées : un relevé à chacun des angles de chaque aire ou de chaque dalle;
- b) revêtement en bitume ou en pavés de béton : un relevé tous les 100 m² de revêtement, à des emplacements qu'il sera possible de retrouver par la suite.

135. Dans le cas des revêtements en bitume ou en pavés de béton, un deuxième relevé devrait être effectué immédiatement après la construction, sur une ou plusieurs zones représentatives et selon un quadrillage par mètre. La profondeur des ornières et du tassement est mesurée par rapport à une règle de 3 m posée à même le revêtement. Si le revêtement s'est déformé, il convient d'y effectuer des carottages pour déterminer quelles couches ont été endommagées.

136. Les coefficients à appliquer selon la profondeur des ornières ou du tassement sont les suivants :

<u>Profondeur des ornières ou du tassement localisés</u>	<u>Coefficients</u>
0 à 10 mm	1.0
11 à 20 mm	0.9
21 à 40 mm	0.6
41 mm et plus	0.3

137. Bien que n'étant d'aucune utilité particulière au stade du contrôle proprement dit, tous les coefficients indiqués ci-dessus (pour les deux évaluations) jouent un rôle majeur dans la conception des travaux de réparation, car ils servent à déterminer la résistance résiduelle d'un revêtement résistant. Cette résistance résiduelle sera exploitée par le concepteur de manière que les dispositions nécessaires soient prises pour que les réparations coûtent le moins cher possible.



Mesure de la déformation d'un revêtement par rapport à une règle de 3 m posée sur sa surface.

Chapitre V

ENTRETIEN, REMISE EN ETAT ET AMELIORATION DES REVETEMENTS

138. S'il est vrai que le coût initial joue un grand rôle dans le choix du type de revêtement pour une situation donnée, force est de reconnaître également que les dépenses d'entretien renouvelables sont tout aussi importantes. On pourrait citer à cet égard nombre de cas où les dépenses d'entretien pendant toute la durée de vie utile escomptée d'un revêtement en ont largement dépassé le coût initial.

139. Comme pour de nombreux types d'infrastructure, la condition fondamentale d'un entretien minimum est la qualité du choix, de la conception et de la construction. Néanmoins, malgré toutes les mesures prises pour que la construction première d'un revêtement soit convenablement réalisée, il faut toujours s'attendre à une certaine maintenance nécessaire. Soulignons à cet égard que lorsque les dépenses d'entretien deviennent considérables, il faut envisager un gros travail de réfection ou d'amélioration du revêtement, voire son remplacement pur et simple.

140. On définit habituellement l'entretien comme étant "la fonction qui consiste, jour après jour, à maintenir une installation en bon état de fonctionnement". Toutefois, les responsabilités d'un "gestionnaire de revêtements de terminal à conteneurs" doivent s'étendre au-delà de l'interprétation étroite de cette définition. Il ne faut pas, en effet, que ses efforts se limitent au simple maintien de l'installation "en bon état de fonctionnement" en veillant aux défauts éventuels. Le gestionnaire doit aussi accomplir beaucoup d'autres tâches et éviter notamment de s'engager dans de grandes réparations qui, tout en garantissant ou en prolongeant la durée de vie utile escomptée du revêtement, perturberont les opérations du terminal.

141. La solution, pour cela, est celle du contrôle périodique des revêtements (thème abordé brièvement dans le chapitre précédent). En fait, ce "contrôle périodique" constitue le point de départ d'un bon "programme de gestion des revêtements", qui doit être mis en oeuvre dès le lendemain du jour où la construction du revêtement est achevée. Ce programme peut se décomposer en cinq grandes phases :

- a) Contrôle périodique,
- b) Entretien préventif,
- c) Réparation des dégâts et des défaillances,
- d) Remise en état ou amélioration,
- e) Démolition et reconstruction.

142. Ces cinq phases couvrent toutes les étapes du cycle de vie d'un revêtement. Aussi leur bonne exécution détermine-t-elle largement sa durée utile.

143. Le contrôle périodique conduit donc à l'entretien préventif, destiné à faire en sorte que tout début de dégradation soit constaté à temps pour permettre au "gestionnaire de revêtements" de prendre les mesures mineures qui s'imposent et d'éviter ainsi de grosses réparations ultérieures. L'entretien préventif consiste donc à prévenir les défaillances en agissant avant que se produise une perturbation coûteuse des opérations. On a constaté depuis longtemps que cet entretien préventif était extrêmement important, non seulement parce qu'il réduisait les dépenses totales d'entretien et augmentait la fiabilité de l'installation, mais aussi parce qu'il maintenait ou même prolongeait la durée de vie escomptée du revêtement.

144. Si, par contre, le contrôle périodique n'est pas effectué convenablement - ou ne l'est pas du tout - la phase d'entretien préventif risque de devenir trop brève, voire inexistante, et les travaux de réparation devront être entrepris plus tôt qu'il ne faudrait. En outre, si les dégâts et les défaillances ne sont pas réparés adéquatement, la nécessité de remettre en état ou d'améliorer le revêtement peut se faire sentir beaucoup plus vite que prévu au départ. Enfin, si cette nécessité de remise en état ou d'amélioration n'est pas constatée à temps et que le renforcement d'un revêtement existant est retardé, la seule solution possible risque d'être la démolition et la reconstruction.

145. Il ressort de ce qui précède que chacune des cinq phases du "programme de gestion des revêtements" influe sur toutes les autres, et que l'ensemble de ces phases a une incidence directe sur la durée de vie utile des revêtements d'un terminal et donc sur le terminal lui-même. Les exploitants de terminaux devraient donc accorder autant de sérieux à l'entretien de leurs revêtements qu'à l'entretien de leur matériel de manutention.

146. Les raisons de la dégradation du revêtement d'un terminal à conteneurs relèvent en général d'une des catégories suivantes :

- a) Age,
- b) Charges excessives et mauvaise utilisation,
- c) Conditions météorologiques,
- d) Tassement du sol,
- e) Accidents,
- f) Revêtement installé avec négligence,
- g) Mauvais choix de revêtement.

147. Les raisons les plus fréquentes d'une remise en état ou d'une amélioration sont les suivantes :

- a) Revêtement devenu inutilisable,
- b) Changement de mode d'exploitation - matériel plus lourd,

- c) Changement de mode d'exploitation - niveaux de la couche de surface ou agencement révisés,
- d) Amélioration des propriétés de la couche de surface (par exemple, revêtement trop dérapant ou infiltration d'eau excessive).

148. La remise à neuf d'un revêtement exige une évaluation de l'état de celui-ci afin de tirer parti de sa résistance résiduelle. Il est en général rentable d'utiliser ce revêtement existant comme principal élément de structure du nouveau.

149. Parfois, un revêtement peut être remis en état en enlevant la couche supérieure et en la remplaçant par un matériau similaire ou différent, de même épaisseur. Bien qu'il soit peu probable que cette méthode apporte une résistance additionnelle, elle pourra constituer une solution fort peu coûteuse dans les cas où la couche de surface existante aura été endommagée alors que les autres couches restent satisfaisantes. Cependant, la méthode la plus rentable pour renforcer un revêtement est en général celle du recouvrement. Mais son principal inconvénient est de relever le niveau de la surface du revêtement, de sorte qu'il faut vérifier à nouveau le mode d'évacuation des eaux, les bordures et d'autres détails.

150. Une fois évaluée la résistance résiduelle d'un revêtement, la technique de conception du recouvrement doit permettre de choisir l'épaisseur et les propriétés des matériaux de renfort. La technique de conception du recouvrement proposée dans la présente monographie est celle décrite dans le manuel BPA, et repose sur la "méthode d'analyse des composants et la méthode de transformation du revêtement".

151. L'opération de renforcement peut être destinée à prolonger la durée de vie du revêtement ou à permettre à un revêtement existant de supporter un matériel de manutention plus destructeur. Cette seconde raison intéresse particulièrement les terminaux à conteneurs, car il est fréquent que de nouveaux progrès dans le matériel de manutention nécessitent des revêtements plus solides. Le tableau 9 indique des techniques de recouvrement possibles pour quatre types de revêtement existants.

Tableau 9

Techniques de recouvrement possibles pour quatre types de revêtement existants

Dalles en béton	Pavés en béton	Béton rigide	Asphalte
1. Enlever les dalles, reniveler le sable et replacer les dalles	Enlever les pavés, reniveler le sable et replacer les pavés	Couler une fine couche de matériau lié sur les chapes	Couler de l'asphalte supplémentaire
2. Enlever les dalles, renforcer la couche portante et replacer les dalles	Enlever les pavés, renforcer la couche portante et replacer les pavés	Couler du béton sur les anciennes chapes	Placer des pavés en béton
3. Enlever les dalles, enlever le sable et couler de l'asphalte	Enlever les pavés, enlever le sable, renforcer la couche portante et couler de l'asphalte	Couler de l'asphalte sur les anciennes chapes	Couler une couche de matériau non lié sur l'ancienne surface
4. Enlever les dalles, enlever le sable et couler du béton	Enlever les pavés, enlever le sable et couler du béton	Placer des pavés en béton sur les anciennes chapes	Renforcer, puis couler une nouvelle couche de surface
5. Enlever les dalles, enlever le sable et placer des pavés en béton	Enlever les pavés, reniveler le sable et poser des dalles		

Chapitre VI

CONCLUSIONS

152. Jusqu'ici, la tradition a toujours voulu que l'on choisisse le matériel de manutention des conteneurs en fonction des besoins d'exploitation, pour concevoir ensuite un système de revêtement capable de résister aux atteintes infligées par le matériel choisi.

153. Or, cette monographie permet de conclure qu'il est utile d'accorder autant d'attention au revêtement, notamment à la relation entre le matériel de manutention du terminal et son revêtement. Le choix du matériel de manutention des conteneurs et celui du système de revêtement devraient donc être envisagés en parallèle.

154. Le revêtement est une partie intégrante essentielle du terminal, au même titre que son système de manutention des conteneurs.

155. Il est évident qu'il n'existe pas de solution type pour le revêtement d'un terminal classique, même dans le cas d'un terminal particulier, le choix sera toujours un compromis. Le plus important est que l'on soit au courant des choix possibles et des facteurs pertinents.

156. Il est heureux que les concepteurs de terminaux puissent aujourd'hui tirer parti de techniques et méthodes nouvelles en matière de conception et de construction des revêtements.

157. Avec l'évolution récente de ces méthodes de conception des revêtements portuaires et l'introduction de nombreux matériaux et procédés nouveaux, l'ingénieur a aujourd'hui beaucoup plus de choix et de moyens précis pour évaluer les solutions. En fait, il est maintenant moins un technicien qu'un gestionnaire. Sa contribution à la bonne marche financière de son port est désormais primordiale et il est impératif que le coût du cycle de vie de ses revêtements soit aussi bas que possible. A une époque de concurrence croissante, son port sera financièrement désavantagé si les frais généraux liés à la conception, à l'entretien, à l'amélioration et à la remise en état des revêtements sont plus élevés que ceux du port lui-même. Nous espérons que cette monographie encouragera tous les responsables de revêtements portuaires à avoir une vision la plus large possible de leur tâche.

