

UN LOGICIEL AU SERVICE DES PLATE-FORMES INDUSTRIELLES

1- Préliminaire :

Cet article s'intéresse au dimensionnement des structures de chaussées utilisées dans les ports et autres industries et plus particulièrement à un logiciel développé par Colas du Maroc pour cette fin . Il décrit le principe de ces calculs de dimensionnement par la méthodologie du guide « Heavy Duty Pavements, The Structural Design Of Heavy Duty Pavements For Ports And Other Industries », 4e édition, publié par L'Association Interpave et préconisée par le **BPA** (British Ports Association). Cette méthodologie dite « BPA » étant basée sur des calculs fastidieux et des abaques, le logiciel développé par LCC a permis de réduire les temps de calcul tout en minimisant les marges d'erreurs.

Cette méthode de dimensionnement consiste à calculer l'épaisseur de la structure de chaussée dans un matériau structurant de référence en fonction d'une roue de référence et d'un trafic d'essieu équivalent. Les variantes sont alors mises au point par l'utilisation de coefficients d'équivalences propre à chaque matériau et référencés dans l'ouvrage « heavyduty pavements, the structural design of heavyduty pavements for ports and other industries ».

Les masses appliquées par chacune des roues de l'ensemble des engins circulant sont considérées. Une roue de référence est définie, celle-ci correspondant systématiquement à la roue la plus chargée.

La proximité entre roues et l'interaction qu'elle implique sur les contraintes et les déformations des matériaux sont prises en compte. Ainsi, les jumelages, les essieux tandem ou tridem et autre cas sont considérés dans la modélisation. Cette « surcharge » est calculée, d'une part, en fonction du module du sol support en utilisant la formule suivante, donnant la « profondeur effective » :

$$\text{Effective depth} = 300 \times (35\,000 / (\text{CBR} \times 10))^{1/3}$$

d'autre part, en fonction de la distance entre roues, en utilisant le tableau suivant :

Espacement des roues (mm)	Facteur de proximité pour une profondeur effective de :		
	1000mm	2000mm	3000mm
300	1.82	1.95	1.98
600	1.41	1.82	1.91
900	1.19	1.65	1.82
1200	1.02	1.47	1.71
1800	1.00	1.19	1.47
2400	1.00	1.02	1.27
3600	1.00	1.00	1.02
4800	1.00	1.00	1.00

Nous déterminons ainsi un coefficient de pondération de la masse de chaque roue : le coefficient de proximité.

La roue de référence établie et pondérée de son coefficient de proximité, le trafic équivalent

en nombre d'essieux équivalents est déterminé en multipliant le trafic réel par la somme des

coefficients d'équivalence d'essieu défini par :

Coefficient d'équivalence d'essieu = $(P / PR)^{3,75}$

où P est le poids de la roue de l'essieu considéré pondéré de son coefficient de proximité, PR le poids de la roue de référence de l'engin considéré pondéré de son coefficient de proximité.

Les effets dynamiques dus aux freinages, aux accélérations ainsi que les effets de virage et

d'irrégularités de surface sont pris en compte par l'intermédiaire d'un coefficient de pondération en utilisant le tableau suivant. La masse de la roue de référence de l'engin est

multipliée par ces coefficients.

Condition	Type de matériel	f _d
Freinage	ReachStacker/ Chariot élévateur	±30%
	Chariot cavalier	±50%
	Chariot à prise latérale	±20%
	Tracteur et remorque	±10%
	Portique sur pneus (RTG)	±10%
Braquage	ReachStacker/ Chariot élévateur	40%
	Chariot cavalier	60%
	Chariot à prise latérale	30%
	Tracteur et remorque	20%
	Portique sur pneus (RTG)	Zéro
Accélération	ReachStacker/ Chariot élévateur	10%
	Chariot cavalier	10%
	Chariot à prise latérale	10%
	Tracteur et remorque	10%
	Portique sur pneus (RTG)	±5%
Surface irrégulière	ReachStacker/ Chariot élévateur	20%
	Chariot cavalier	20%
	Chariot à prise latérale	20%
	Tracteur et remorque	20%
	Portique sur pneus (RTG)	±10%

Le trafic en nombre d'essieux équivalent, ainsi que la masse de la roue de référence pondérée de ses coefficients, permettent d'établir à l'aide des courbes « design charts » du guide « heavyduty pavements, the structural design of heavyduty pavements for ports and other industries » l'épaisseur minimum du matériau de référence nécessaire.

Les structures doivent avoir une épaisseur équivalente de matériaux structurants au moins

égale à la valeur déterminée par les courbes du « design chart » à laquelle est ajoutée l'épaisseur de référence des pavés béton, 8 cm, et l'épaisseur du sable sur lequel reposent ces pavés, 3 cm, ces deux matériaux étant la couche de surface implicite de la solution de base.

Cette épaisseur de matériaux structurants équivalents se calcule de la manière suivante :

Epaisseur équivalente = $\sum$ (épaisseur réelle / coefficient équivalence matériau)

La mise au point de solutions variantes s'effectue par l'utilisation des coefficients d'équivalence des matériaux suivants :

Groupe du matériau	Matériau privilégié pour la couche de base		Facteur d'équivalence du Matériau (MEF)
Mélanges traités au liant hydraulique	Résistance du matériau	Norme concernée	
	C _{1.5/2.0}	BS EN 14227-1	1.74
	C _{3/4}	BS EN 14227-1	1.38
	C _{5/6}	BS EN 14227-1	1.16
	C _{8/10}	BS EN 14227-1	1.00
	C _{12/15}	BS EN 14227-1	0.87
	C _{16/20}	BS EN 14227-1	0.79
	C _{20/25}	BS EN 14227-1	0.74
	C _{1.5/2.0}	BS EN 14227-2&3	1.74
	C _{3/4}	BS EN 14227-2&3	1.38
	C _{6/8}	BS EN 14227-2&3	1.10
	C _{9/12}	BS EN 14227-2&3	0.95
	C _{12/16}	BS EN 14227-2&3	0.85
	C _{15/20}	BS EN 14227-2&3	0.79
	C _{18/24}	BS EN 14227-2&3	0.76
	C _{21/28}	BS EN 14227-2&3	0.72
	C _{24/32}	BS EN 14227-2&3	0.68
	C _{27/36}	BS EN 14227-2&3	0.63
Béton	C8/10	BS8500-1	1.00
	C12/15	BS8500-1	0.87
	C16/20	BS8500-1	0.79
	C20/25	BS8500-1	0.74
	C25/30	BS8500-1	0.65
	C25/30	BS8500-1 avec 20kg/m ³ de fibres d'acier	0.60
	C25/30	BS8500-1 avec 30kg/m ³ de fibres d'acier	0.55
	C25/30	BS8500-1 avec 40kg/m ³ de fibres d'acier	0.50
	C28/35	BS8500-1	0.62
	C32/40	BS8500-1	0.60
	C32/40	BS8500-1 avec 20kg/m ³ de fibres d'acier	0.55
	C32/40	BS8500-1 avec 30kg/m ³ de fibres d'acier	0.50
	C32/40	BS8500-1 avec 40kg/m ³ de fibres d'acier	0.45
	C35/45	BS8500-1	0.58
Matériaux traditionnels traités au ciment	CBM1 (résistance minimale à la compression en cube à 7 jours de 4.5N/mm ²)		1.60
	CBM2 (résistance minimale à la compression en cube à 7 jours de 7.0N/mm ²)		1.20
	CBM3 (résistance minimale à la compression en cube à 7 jours de 10.0N/mm ²)		1.00
	CBM4 (résistance minimale à la compression en cube à 7 jours de 15.0N/mm ²)		0.80

	CBM5 (résistance minimale à la compression en cube à 7 jours de 20.0N/mm ²)	0.70
	Béton maigre sans fines pour chaussées perméables	1.00

Groupe du matériau	Matériau privilégié pour la couche de base	Facteur d'équivalence du Matériau (MEF)
Matériaux traités au bitume	HDM comme définie par le SHW DBM comme définie par le SHW <i>HRA comme définie par le SHW</i>	0.82 1.00 1.25
Matériaux non liés	Grave concassée de CBR $\geq$ 80% pour couche de fondation	3.00
Pavés en béton	Pavés en béton comme roulement (blocs de 80 mm et un lit de pose de 30mm)	1.00

Remarques :

.

HDM= Macadam pour voies Lourdes

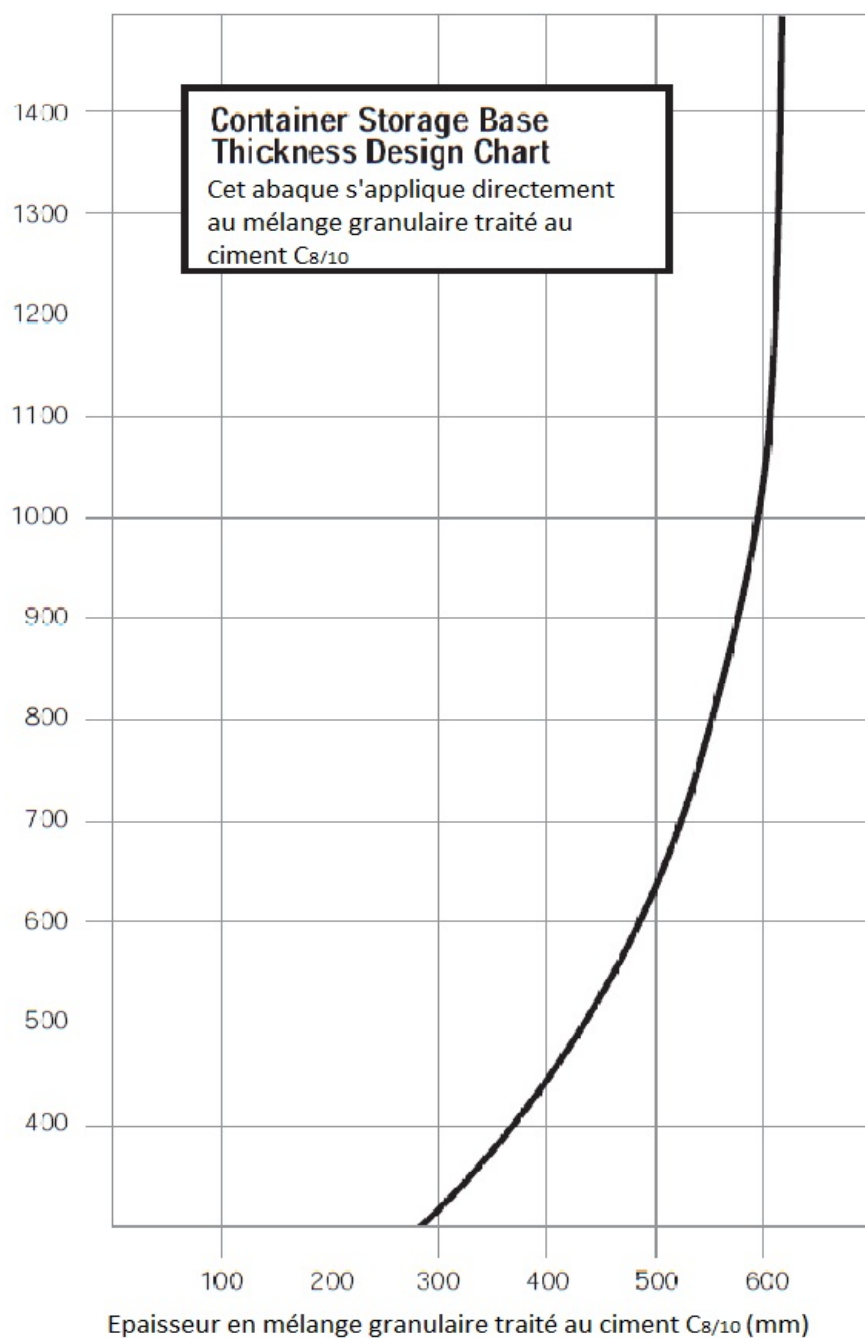
DBM= Macadam en bitume dense

HRA= Asphalte à chaud

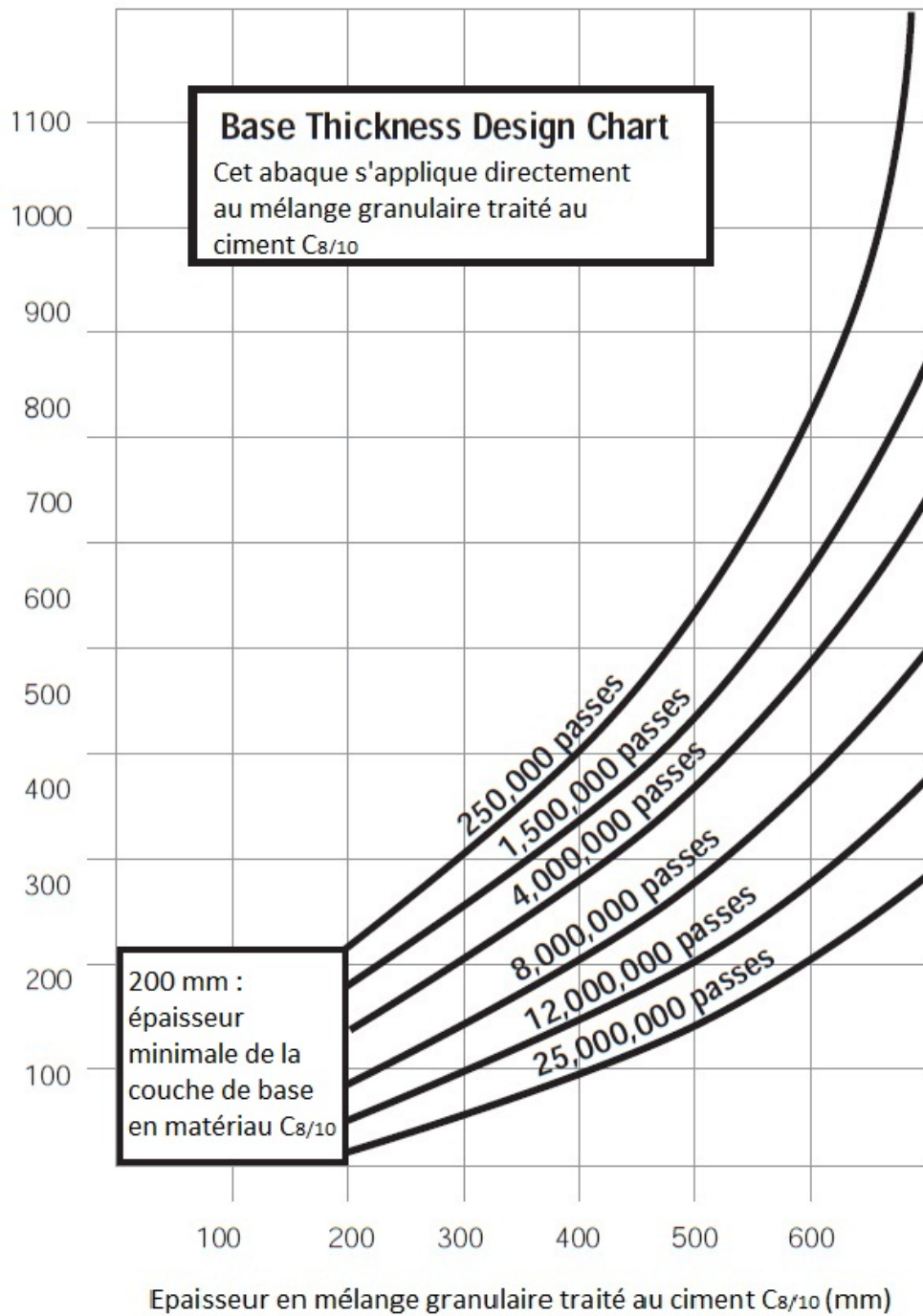
SHW= UK Highways Agency 'Specification for Highway Works'

Abaques de dimensionnement :

Charge équivalente par roue SEWL (KN)



Charge équivalente par roue SEWL (KN)



2- Exemple de calcul par la méthode « BPA »

Le calcul manuel par cette méthode est un calcul répétitif avec un changement à chaque fois des données d'entrée sur le trafic et d'autres hypothèses .

Nous allons donc traité un cas réel afin de mettre en évidence les étapes de calcul et le dimensionnement de la structure de chaussée . Il s'agit du port de Lomé au TOGO .

2-1 :Hypothèses de calcul

Les différentes données et hypothèses sont:

Le trafic dimensionnant:

Zones	Trafics connus		
	Reach Stacker (RS)	In Terminal Trailer (ITT)	conteneurs empilés(*) (SC)
Zone A	/	/	6 conteneurs
Zone B	250000	/	/
Zone C	/	535991	/
Zone D	/	120600	/

(*) le « trafic » relatif aux conteneurs correspond en fait à la hauteur de conteneur empilés en blocks

Majorations dynamique:

- RS = +70%

Le CBR du sol en place est de 10%

Nous traiterons par la suite la zone B d'évolution du reachsteaker (RS) par exemple.

2-2 Dimensionnement

- ✓ Véhicule dimensionnant : RS en charge maximale
- ✓ Nombre de passage d'essieu de référence : 250 000
- ✓ Charge de la roue de référence : 305 kN
- ✓ Coefficient de proximité : 1,82
- ✓ Majorations : 70 %, soit un coefficient 1,70
- ✓ Charge de la roue de référence corrigée : $197.5 \times 1,82 \times 1,70 = 611 \text{ kN}$
- ✓ Epaisseur équivalente (design chart p84 du manuel Heavy Duty Pavement) :
- ✓ 15 GNT + 56 cm GC4 (C8/10) + 3 cm (sable) + 8 cm (Pavés Béton)

La structure retenue est la suivante :

Solution	Matériaux	GNT	GC4(*)	Sable	Pavés Béton	Epaisseur équivalente	Epaisseur réelle
	Coefficient équivalence	3	1	1	1	72cm	82cm
	Epaisseur	15cm	56cm	3cm	8cm		

2-3 Détail de calcul:

Calcul des différents coefficients propres aux RS:

En charge

- ✓ La charge appliquée par l'**essieu avant** sur la chaussée est de **79 tonnes**
- ✓ La charge appliquée par l'**essieu arrière** sur la chaussée est de **26 tonnes**

A vide

- ✓ La charge appliquée par l'**essieu avant** sur la chaussée est de **45 tonnes**
- ✓ La charge appliquée par l'**essieu arrière** sur la chaussée est de **30 tonnes**

Tableau résumant les distances entre les différents essieux:

distances	Essieu1	Essieu2
Essieu1	0m	6m
Essieu2	6m	0m

La **distance** entre essieux **avant et arrière** : **6 m**

L'essieu avant est jumelé avec un **entraxe de 0,6 m**

Les essieux avant et arrière sont de **largeur 4,2 m**

Tableau résumant les calculs des coefficients de proximité:

Coef. proximité	Essieu 1	Essieu 2
Essieu 1	$\approx$ $1+0,82+0+0$	$\approx 0+0$
Essieu 2	$\approx 0+0$	$\approx 1+0$
Somme des coef. de proximité par essieu	$\approx 1,82$	≈ 1

Tableau résumant les charges par roue non pondérées et pondérées de leurs coefficients de proximité respectif:

	Roue Essieu 1	Roue Essieu 2
Charge à 30t	19,75 tonnes	13 tonnes
Charges à 30t pondérées	35,95 tonnes	13 tonnes
A vide	11,25 tonnes	15 tonnes
A vide pondéré	20,5 tonnes	15 tonnes

La roue de référence est une roue de l'**essieu 1**.

Tableau résumant les coefficients d'équivalence d'essieu:

	Essieu 1	Essieu 2
Coef. Equivalence à 30 t	1	$(13/35,95)^{3,75}$ ≈ 0
Coef. Equivalence à vide	1	$(15/20,5)^{3,75}$ $\approx 0,31$

Dans le cas des RS, le nombre d'essieux équivalents à considérer est donc:

Nombre d'essieux = Le trafic RS x 1 quand le RS est chargé

Nombre d'essieux = Le trafic RS x 1,31 quand le RS est vide

3- Calcul par le logiciel « BPA »

Etape 1 : on renseigne le CBR

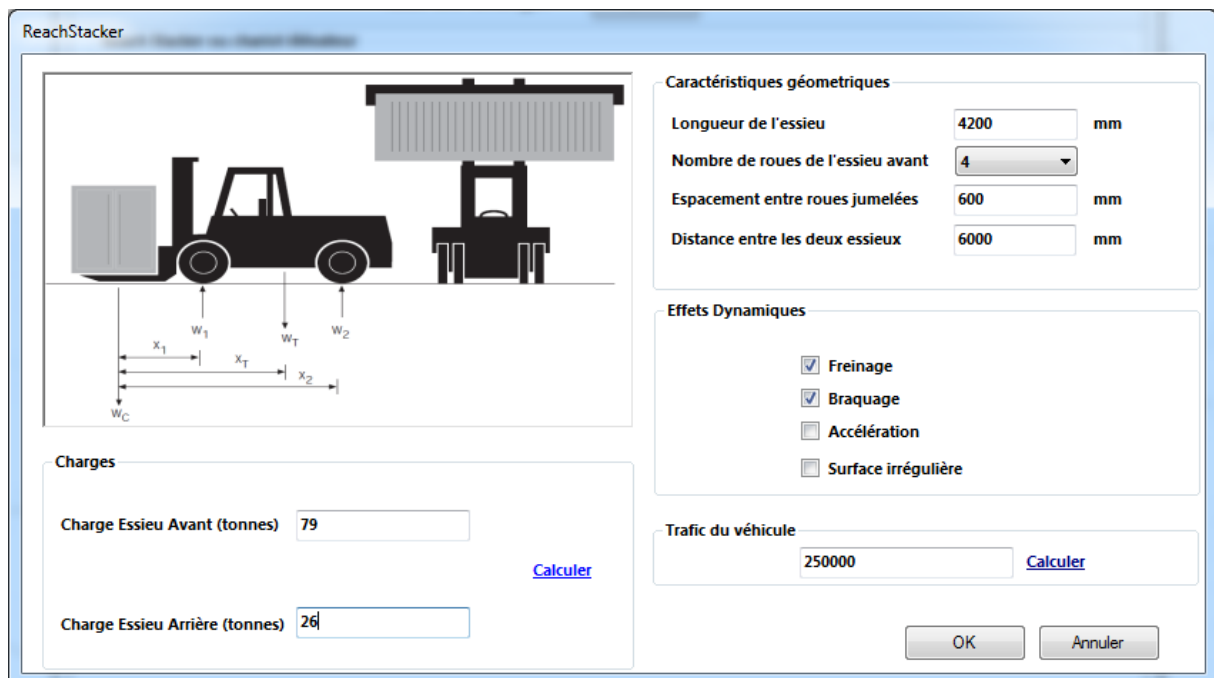


CBR

CBR du Sol Support

OK

Etape 2 : On définit la charge



ReachStacker

Caractéristiques géométriques

Longueur de l'essieu mm

Nombre de roues de l'essieu avant

Espacement entre roues jumelées mm

Distance entre les deux essieux mm

Effets Dynamiques

☒ Freinage

☒ Braquage

☐ Accélération

☐ Surface irrégulière

Trafic du véhicule [Calculer](#)

OK Annuler

Charges

Charge Essieu Avant (tonnes) [Calculer](#)

Charge Essieu Arrière (tonnes)

Etape 3 : Calcul de la structure

Fichier CBR du sol Définir les charges Matériaux Résultats

Profondeur effective (mm) 2114.19

Charges

	Charge (KN)	Trafic
Reach Stackers ou chariot élévateur	623.815595372873	255126.356636547

Données de calcul

Charge normalisée 624 KN Trafic normalisé 255126

Epaisseur Equivalente totale (mm) 814 HBM C8/10

Epaisseur (mm)

Matériau

Roulement 110 Blocs de pavés de 80 mm + 30 mm de lit de pos

Couche de base 554 HBM C8/10 Diviser en plusieurs couches

Couche de fondation 150 Grave concassée de CBR ≥ 80% pour couche de

Couche de forme Non nécessaire

La structure donc retenue d'après le calcul du logiciel et après arrondissement des épaisseurs est de:

Solution	Matériaux	GNT	GC4(*)	Sable	Pavés Béton	Epaisseur équivalente	Epaisseur réelle
	Coefficient équivalence	3	1	1	1	72cm	82 cm
	Epaisseur	15cm	56cm	3cm	8cm		