

Chapitre 7 Etude du Compactage et des différents Matériels

1. Théorie du Compactage
2. Les différents matériels
3. Débit d'un compacteur
4. Méthode pratique GTR

Théorie sur le compactage

Objectifs du compactage

Trois objectifs principaux sont poursuivis lors de la réalisation des travaux routiers

- de terrassements
- de couches de forme
- d'assises de chaussées
- de couches de roulement

1

2

3

Supprimer les déformations ultérieures	Augmenter les caractéristiques mécaniques	Assurer l'imperméabilité
Tassements du remblai Tassements différentiels Déformations de chaussées Orniérage de couche de surface	Augmenter la portance et la traficabilité des couches de forme ou de remblai. Augmenter le module des assises non traitées Augmenter la résistance des assises traitées et des couches de roulement Permettre aux matériaux de résister au trafic routier	Le compactage est la première des protections contre l'agression de l'eau. Objectif important pour la couche de roulement, évitant les désordres sur les couches inférieures

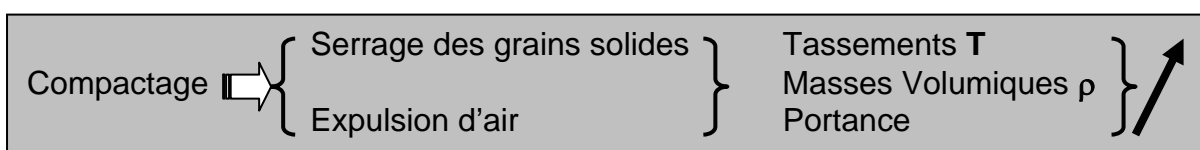
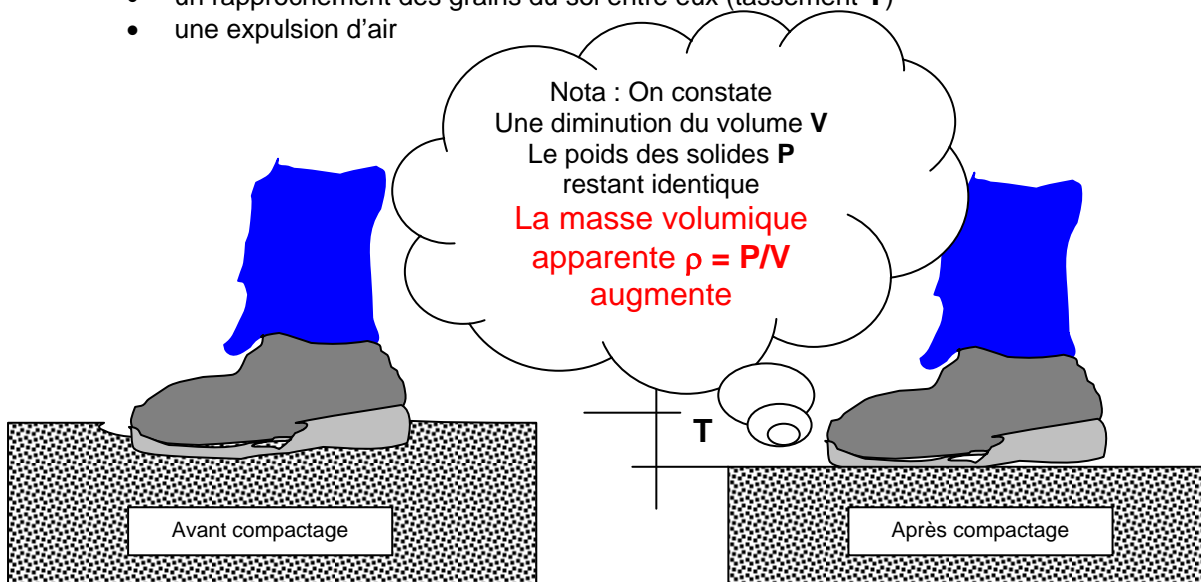
Action du compactage

Les sols et les matériaux routiers sont constitués

- de solides (grains de sol, granulats, sable....)
- de liquide (eau, bitume, émulsion....)
- d'air (emprisonné entre solides et liquides)

L'action du compactage se traduit par

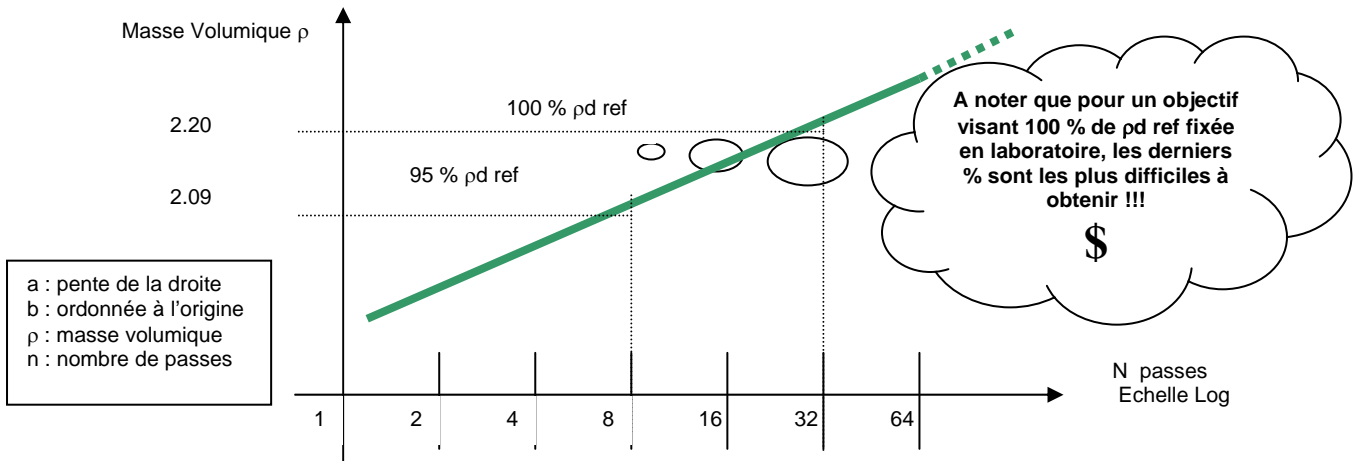
- un rapprochement des grains du sol entre eux (tassement **T**)
- une expulsion d'air



Loi du logarithme

L'action du compactage est transmise en réalisant plusieurs passages de compacteur sur le matériau à compacter. Au fur et à mesure que le nombre de passes augmente, la masse volumique du matériau augmente linéairement suivant la loi logarithmique de la forme :

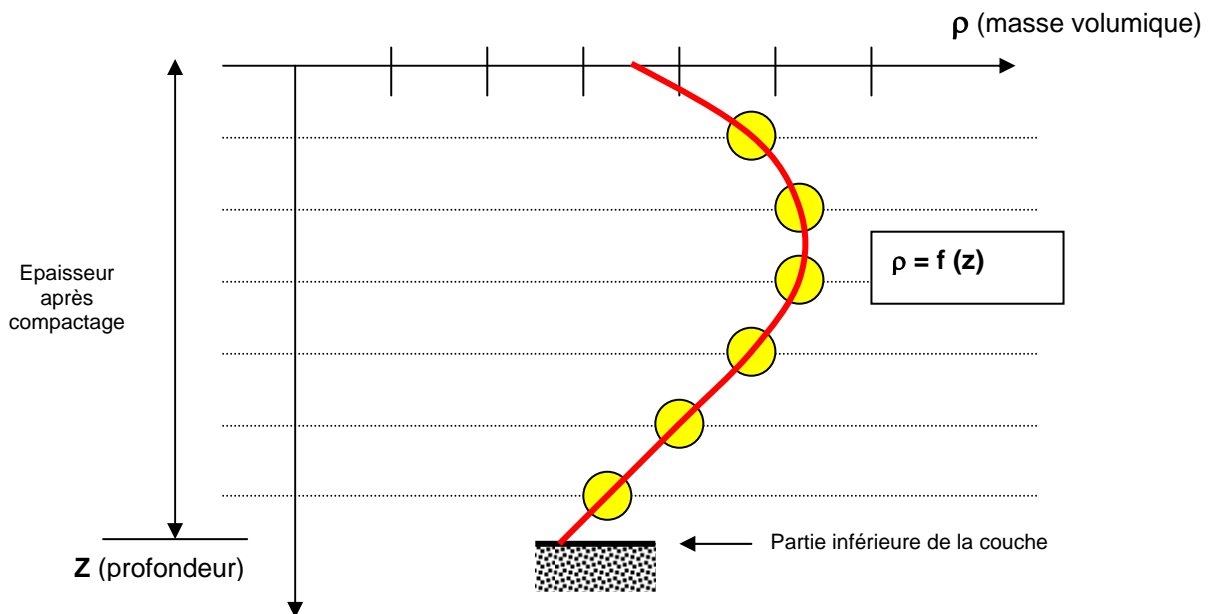
$$\rho = a \log n + b$$



Loi du gradient

La répartition de la masse volumique du matériau, à un état de compactage donné, montre que la masse volumique du matériau varie avec la profondeur suivant la courbe

$$\rho = f(z)$$

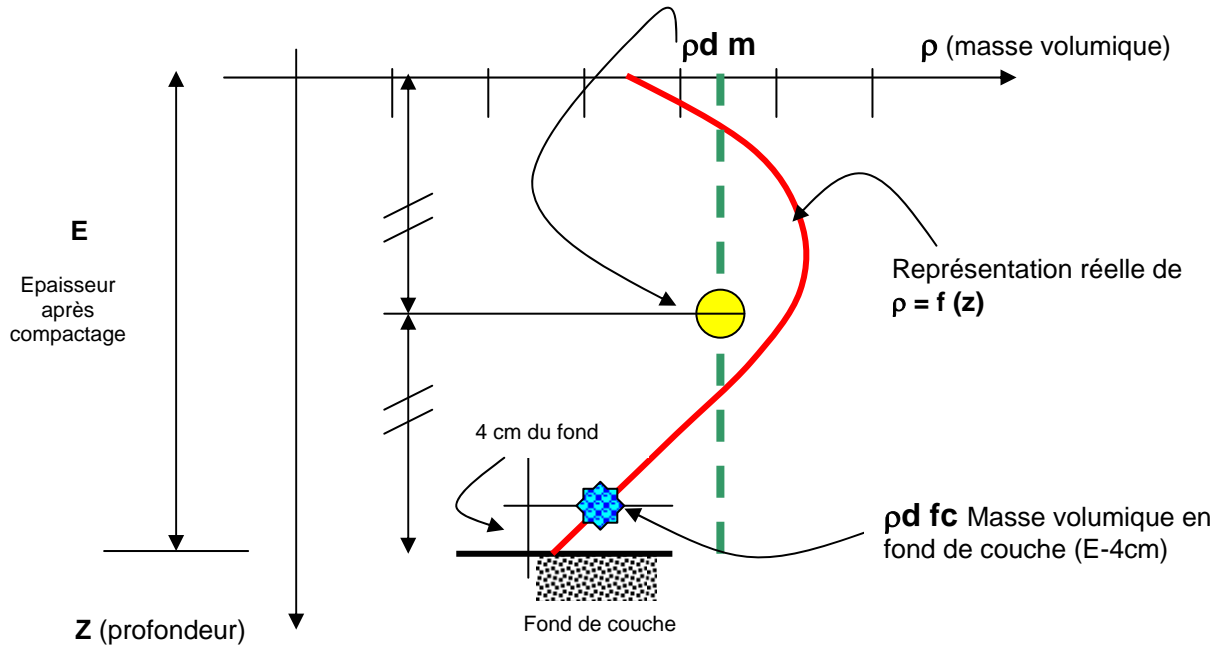


- Constats : Les minimums de densification se situent :
- en surface
 - à la partie inférieure de la couche (appelée masse volumique de fond de couche)
- pd_{fc}**

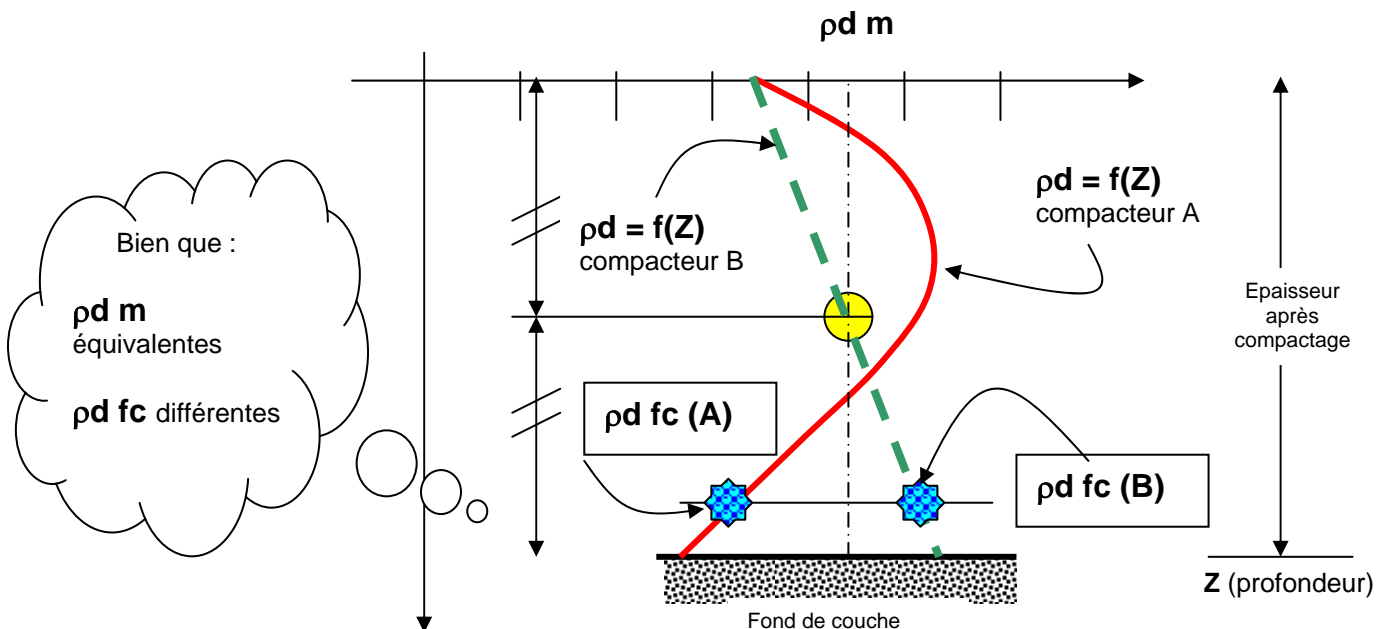
Le compactage n'est pas toujours uniforme sur toute l'épaisseur de la couche compactée

Dans la recherche d'un compactage optimal on va s'intéresser en termes de densification à 3 facteurs :

- **$\rho d m$** : La masse volumique sèche moyenne sur l'épaisseur de la couche compactée
- **$\rho = f(Z)$** : La répartition de la masse volumique sur l'épaisseur compactée
- **$\rho d f c$** : La masse volumique sèche à l'inférieur de la couche compactée

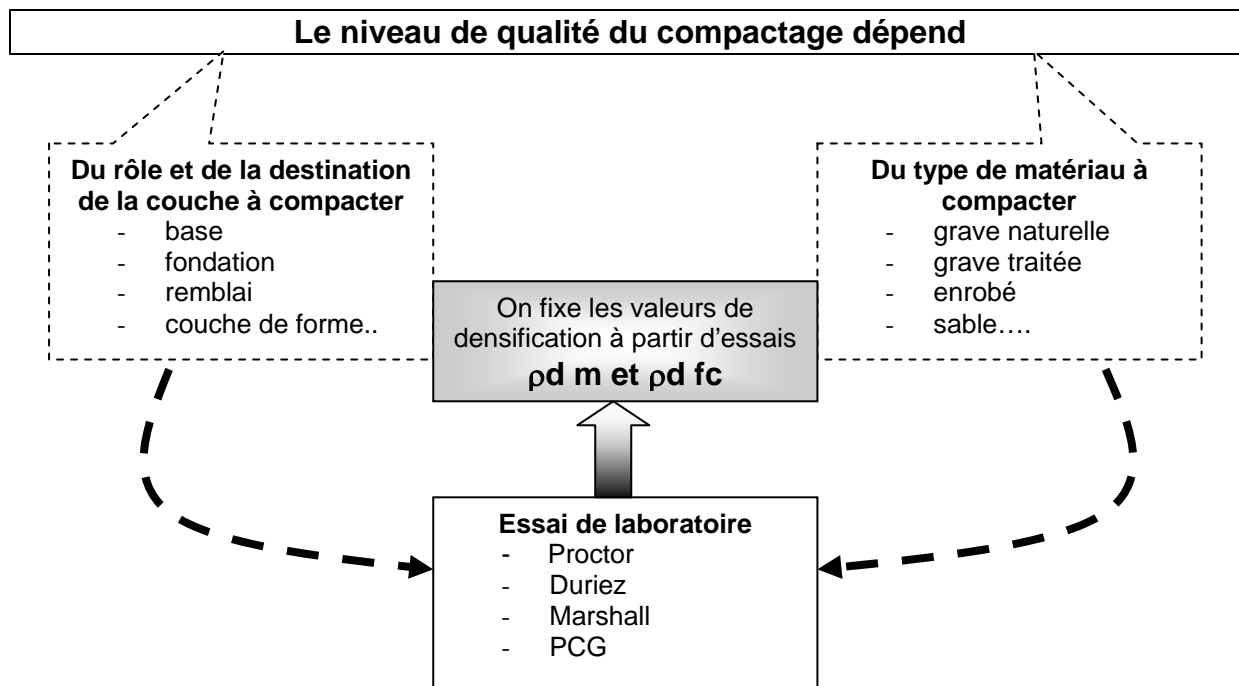


**Attention : Ne pas se limiter à cette étude seulement !!!
Comparons le compactage réalisé par deux compacteurs différents**

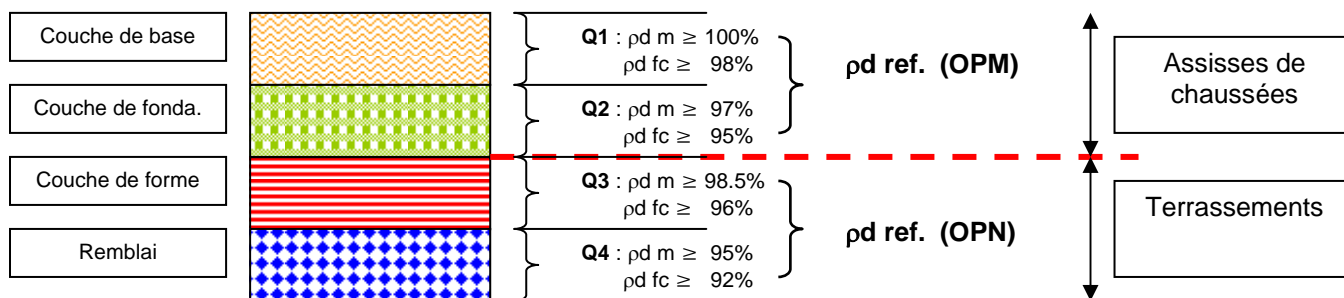


Une appréciation de la qualité du compactage réalisé ne pourra être correcte qu'en examinant ou en contrôlant les 2 facteurs $\rho d m$ et $\rho d f c$

Les objectifs de la qualité



Cas des assises de chaussées et de terrassements



On peut observer que plus on se rapproche de la surface de la chaussée, plus les exigences sur la qualité sont sévères

Adéquation du compactage

Cette relation prendra en compte :

- la diversité des sols et des matériaux utilisés en construction routière
- la diversité des matériels de compactage et leur efficacité
- les objectifs de qualité différents suivant le rôle de la couche à compacter
- le niveau de la couche dans la structure de chaussée

**Matériaux
/
Matériel**

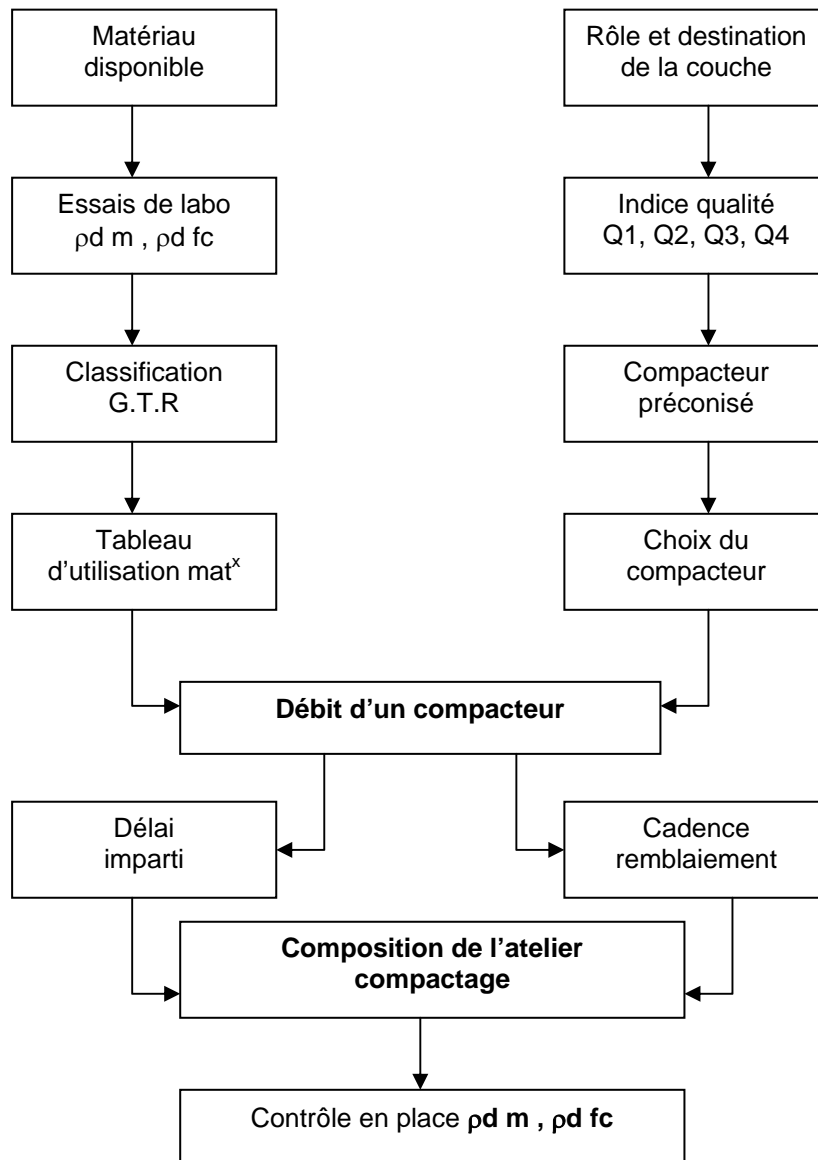
Il sera nécessaire :

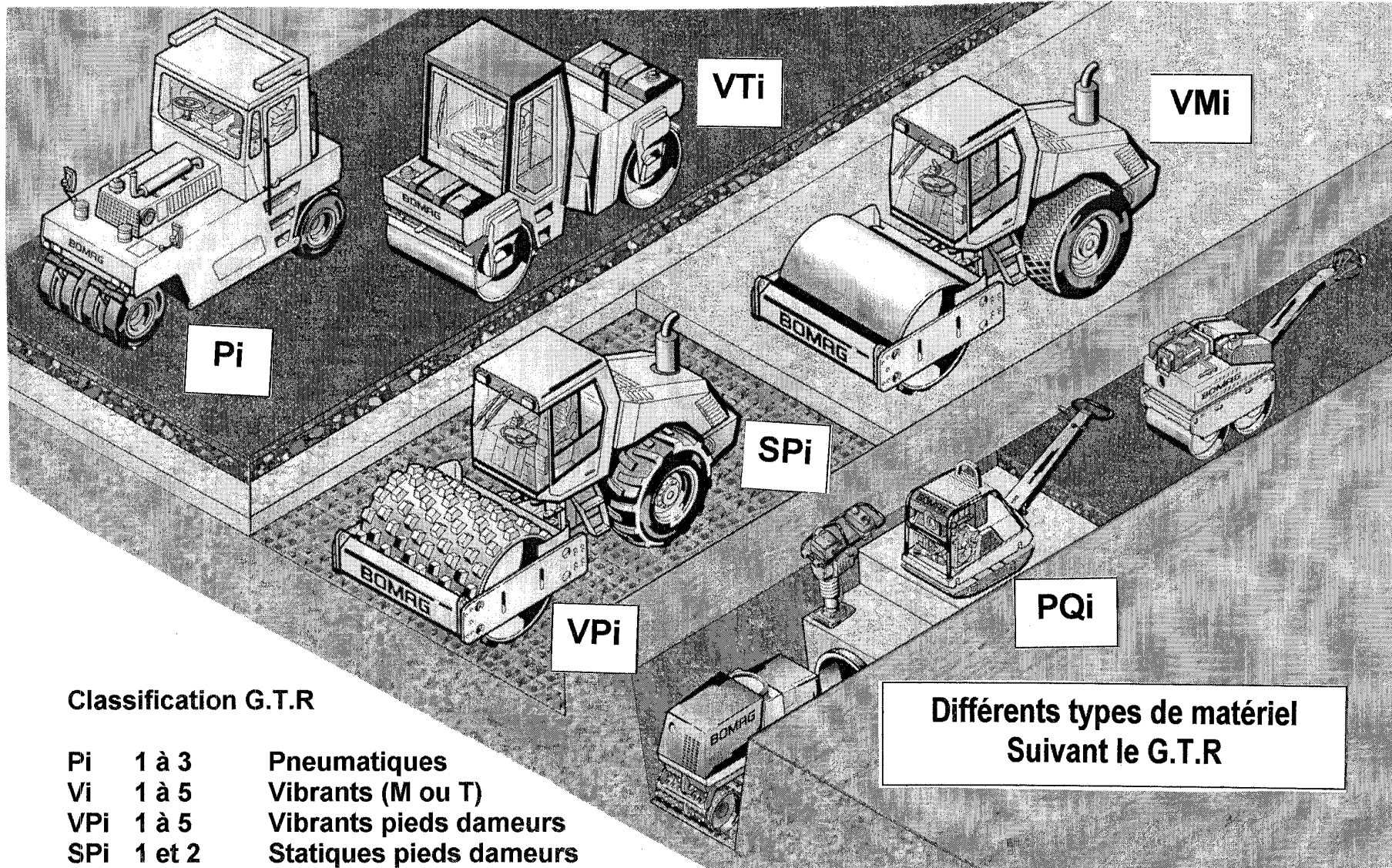
- d'identifier les caractéristiques des sols et matériaux
- d'étudier leur aptitude ou leur comportement au compactage
- de connaître les compacteurs
- leur classification, leur efficacité, leur rendement

→ **Labo**

→ **Matériel**

Schématisation





Classification G.T.R

Pi	1 à 3	Pneumatiques
Vi	1 à 5	Vibrants (M ou T)
VPi	1 à 5	Vibrants pieds dameurs
SPi	1 et 2	Statiques pieds dameurs
PQi	3 et 4	Plaques vibrantes

**Différents types de matériel
Suivant le G.T.R**

Les Matériels de Compactage

Classification et utilisation (étude par rapport au GTR)

Remarques préliminaires :

- Les définitions et classifications ci-après font l'objet de normes (NF P 98-736)
- Les compacteurs pris en compte dans ce document ont une largeur supérieure ou égale à 1.30m
- Les petits compacteurs (rouleaux vibrants – plaques vibrantes – pilonneuses) ne sont pas considérés dans la classification GTR
- Seules les plaques vibrantes les plus efficaces sont intégrées

Les différentes familles d'engins considérées ici sont :

- | | | |
|---|-----|--|
| • Les compacteurs à pneus : | Pi | - i est le n° de la classe, il croît avec l'efficacité du compacteur |
| • Les compacteurs vibrants : | Vi | |
| à cylindres lisses | VPi | |
| à pieds dameurs | SPi | |
| • Les compacteurs statiques à pieds dameurs : | PQi | |
| • Les plaques vibrantes : | | |

Les compacteurs à pneus (Pi)

Pour terrassements moyens ou pour des matériaux routiers « à surfacer »

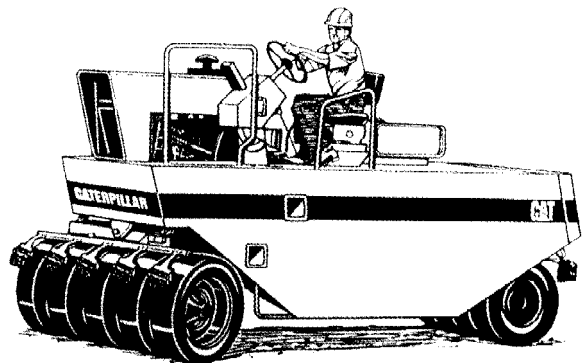
Très mobiles ils sont utilisés pour des sols argileux sableux, les graves fines et moyennes. Tout lui est autorisé (terrassement, couche forme, chaussée, enrobé...) mais moins efficace que les vibrants.

Vitesse maxi 6 km/h

Vitesse moyenne de travail entre 3.5 et 5 km/h

Classification d'après la Charge par Roue (CR)

P1	$25\text{kN} < \text{CR} \leq 40\text{kN}$
P2	$40\text{kN} < \text{CR} \leq 60\text{kN}$
P3	$60\text{kN} < \text{CR}$



Les compacteurs statiques (à pieds dameurs)

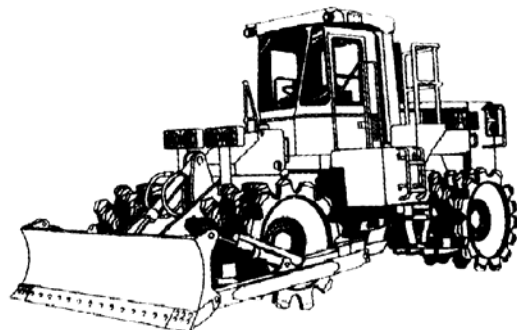
Pour gros terrassements souvent tandem, parfois équipé d'une lame

Vitesse maxi 12 km/h

Vitesse moyenne de travail 6 km/h

Classification selon la charge statique moyenne par unité de largeur du ou des cylindres à pieds (M1/L)

SP1 :	M1/L entre 30 et 60 kg/cm
SP2 :	M1/L > à 60 kg/cm et < 90 kg/cm



Les plaques vibrantes (PQi)

Utilisation pour petits travaux ou à proximité d'ouvrages.

Classification de PQ1 à PQ4

Mg représente le poids de la plaque

Le GTR prend en compte :

S représente la surface de contact plaque/sol

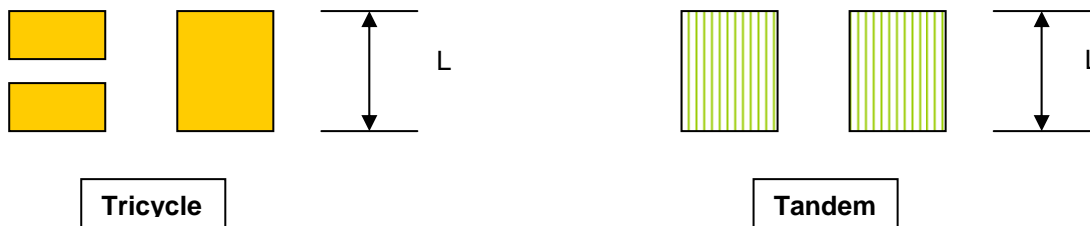
PQ3 : Mg/S entre 10 et 15 kPa

PQ4 : Mg/S > à 15 kPa

Les compacteurs statiques (à cylindre lisse)

De moins en moins utilisés sauf pour le cylindrage d'enduits superficiels et le compactage d'enrobés très minces < à 4 cm.

Les morphologies tandem ou tricycle sont les plus couramment rencontrées.



Les compacteurs vibrants (Vi cylindres lisses ou Vpi cylindres à pieds d'ameurs)

Pratiquement pour toute utilisation :

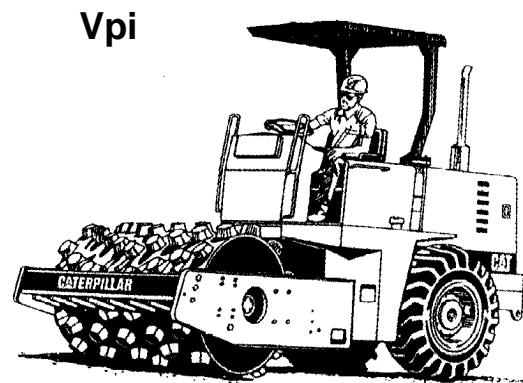
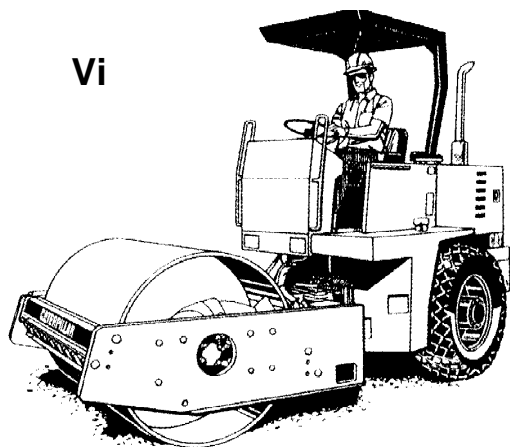
- Matériaux très flottants avec objectif élevé
- Matériaux forte épaisseur ou granulométrie (remblais, enrochements, couches de forme...)
- Enrobés à compacter vite (température)
- Enduit superficiel : emploi discutable

Vitesse maxi 12 km/h

Vitesse moyenne de travail entre 3 et 5 km/h

Classification d'après la charge statique **M** appliquée par largeur de cylindre **L** et d'après l'**amplitude** de la vibration à vide (NF P 98-761)

Cinq classes **V1 à V5** avec deux sous-classes **Vmi** (vibrant mono-cylindre) **Vti** (vibrant tandem)



Désignation	Description	Utilisation
Mono axe tracté	Un seul cylindre lisse ou à pieds d'ameurs relié à un châssis avec moteur thermique pour la vibration	Remblai en forte épaisseur
Automobile monocylindre	Un seul cylindre lisse ou à pieds d'ameurs accouplé à un essieu sur pneus	Assises de chaussées Couches de forme Remblais
Tandem	Deux cylindres vibrants reliés par une articulation centrale	Assises de chaussées Enrobés
Mixte vibrant-pneus	Automobile monocylindre avec un train arrière de 3 ou 4 pneus	Assises de chaussées Enrobés

Débit d'un compacteur

Définition

Le débit théorique d'un compacteur est la quantité horaire de matériau Q qu'il est capable de densifier à l'objectif qualité demandé exprimée :

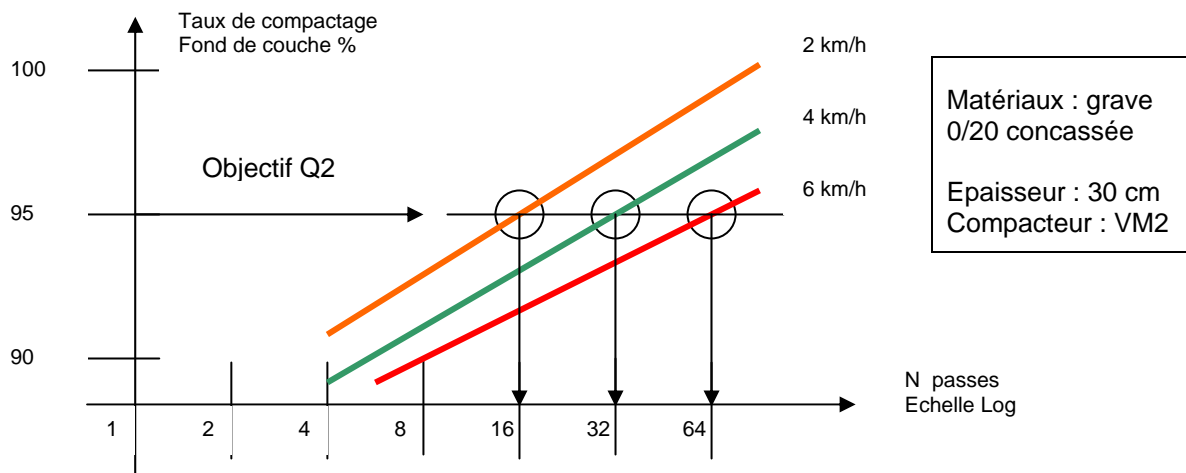
- En t/h (tonne/heure) pour les chaussées et enrobés
- En m3/h (m3/heure) pour les terrassements

$$Q = \frac{L \cdot V \cdot e \cdot \rho_d}{N}$$

Q : quantité de matériau à compacter (m3) ou (T)
 L : largeur du compactage (m)
 V : vitesse du compacteur (m/h)
 e : épaisseur de matériau après compactage
 ρd : masse volumique apparente après n passes (t/m3=
 N : nombre de passes nécessaires pour atteindre ρd (objectif qualité)

Commentaires

On serait tenter pour augmenter le débit d'un compacteur d'augmenter la vitesse et l'épaisseur de matériau mais l'efficacité de densification en profondeur diminue avec la vitesse et l'épaisseur



Influence de la vitesse sur la masse volumique fond de couche ρd fc

Les différents coefficients k1 et k2

Coefficient de rendement Débit pratique

K1 : de 0.5 à 0.8 suivant chantier (manœuvres, arrêts, encombrement...)

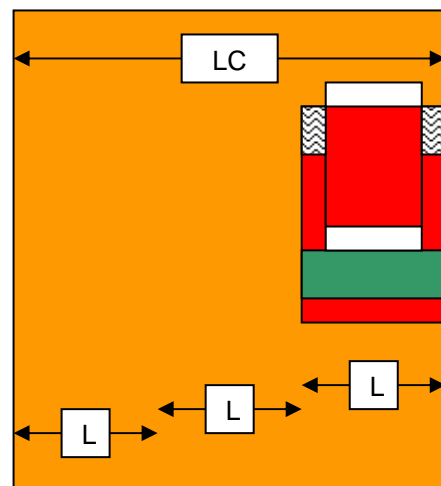
K2 : = $\frac{LC}{a \cdot L}$

a : nombre de largeur de compacteur pour balayer la largeur à compacter arrondi au supérieur

LC : largeur de chaussée à compacter

L : largeur du compacteur

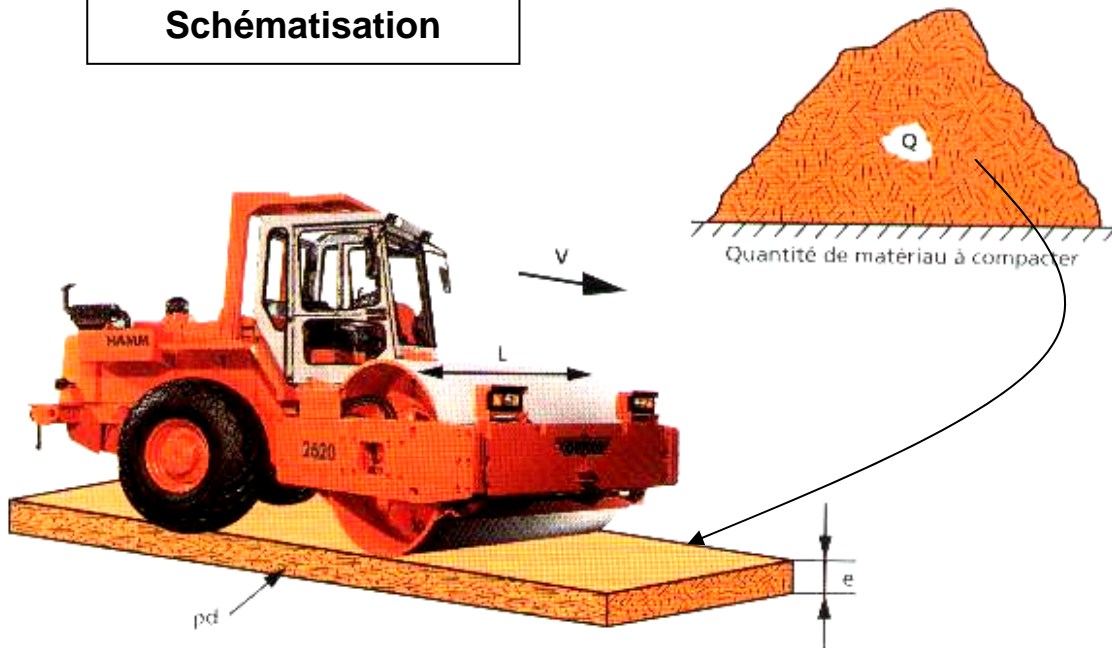
Nota : K2 rarement pour terrassement, plutôt pour chaussée



Définition de K2

Les différents paramètres pour le débit des compacteurs

Schématisation



Débit pratique

Volume réel compacté (m³/h)

$$Q = \frac{L \cdot V \cdot e}{N} \times K1 \times K2$$

Tonnage réel compacté (t/h)

$$Q = \frac{L \cdot V \cdot e \cdot \rho_d}{N} \times K1 \times K2$$

Méthode pratique pour les remblais et les couches de forme (GTR)

Le GTR (Guide des Terrassements Routiers) édite des tableaux permettant de déterminer les débits des compacteurs en fonction de leur classe et de la nature des matériaux

Les paramètres auxiliaires

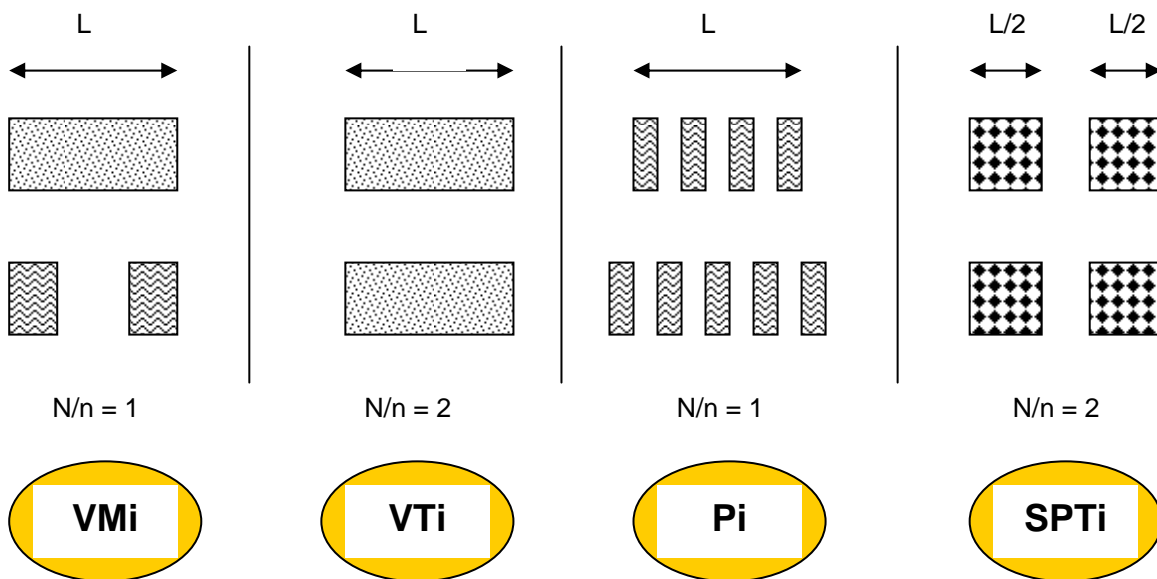
- Le nombre de passe n et le nombre d'applications de charge N

Une passe est par définition un aller et retour de compacteur

La valeur N indiquée dans les tableaux est le nombre d'applications de charge
La valeur N correspond au rapport de $e / (Q/S)$ arrondi à l'entier supérieur.

- Définition de la largeur de compactage L

Elle correspond à la largeur compactée et est illustrée ci-dessous



- Le débit par unité de largeur de compactage Q/L

Il correspond au débit théorique (avant application du coefficient de rendement $K1$)

$$Q/L = 1000 \times (Q/S) \times V$$

Q/L m³/h
 Q/S m
 V km/h

La valeur fournie est indicative pour des matériaux moyens et une utilisation de matériel dans des conditions normales. Q/L est à recalculer si les conditions d'utilisation sont différentes de celles du tableau (vitesse par exemple...)

Elle permet de prévoir le débit pratique attendu pour un compacteur donné par :

$$Q_{\text{prat}} = k \times (Q/L) \times L \times N/n$$

Etude de cas : Dossier Rectification de Virages

Nous allons étudier le remblai de zone R1 du dossier Rectification de Virages étudié en projet.

Rappels des données (CF corrigé : Mouvement des terres, structures de chaussée)

Quantité de matériau à remblayer : 44 840 m³ (hors bretelle du Bief)
 Nature du remblai (CCTP) : **R61**, R62 ou C2 B5
 Couche de forme : 50 cm tout venant 0/200 provenant du R6 de D1
 Compactage par couches de 30 cm

Hypothèses

L'entreprise dispose de trois types de compacteurs **DYNAPAC** dans son parc matériel

Type	Largeur de travail	Classement	Masse
CA 152D	1.676 m	VM2	7.300 t
CA 252D	2.130 m	VM2	10.050 t
CA 302D	2.130 m	VM3	12.500 t

Valeurs issues de

- la documentation technique (à disposition dans la salle)
- du site Internet DYNAPAC adresse dynapac.com (à disposition salle chef de travaux)

Pour traiter l'exemple de la zone R1 du dossier, nous partirons sur la base que l'entreprise utilise le compacteur **CA 302D** pour un matériau **R61**. (rendement $k = 0.7$)

Analyse du tableau de compactage pour l'utilisation du matériau en remblai R61 (cf page96 du GTR)

Extrait du tableau correspondant à notre cas (R61 / VM3)

		V3		Remarques
		0.09		
Q/S				
Energie de compactage moyenne	e	0.30	0.55	Valeur constante (en m) quelque soit le choix d'épaisseur Valeurs extrêmes en relation avec V Colonne de droite e élevée V faible Colonne de gauche débit maximal avec V élevée et e fixée à 0.30 m Nombre d'application de charges (= arrondi > de e réel / (Q/S) si e = 0.40 m N = 0.40/0.09 = 4.44 soit 5 Et V = V x e (colonne droite) / e (chantier) Soit (2 x 0.55) / 0.40 = 2.75 km/h
	V	3.5	2	
	N	4	7	
	Q/L	315	180	Débit par mètre de largeur Q/L = 1000 x V x (Q/S) Débit pratique Qprat = k x (Q/L) x L x (N/n)

Pour le remblai R1

$$Q_{prat} = k \times (Q/L) \times L \times (N/n)$$

Avec : $k = 0.7$
 $Q/L = 315$
 $L = 2.13$
 $N/n = 1$

$$Q_{prat} = 0.7 \times 315 \times 2.13 \times 1 = 470 \text{ m}^3/\text{h}$$

On peut ainsi évaluer le nombre de compacteurs nécessaires connaissant soit :

- la cadence de chantier (débit de remblayage)
- la cadence de l'usine de traitement
- tout en tenant compte du délai imparti

En R1 : 44840 m³ soit avec un seul compacteur un délai de $44840 / (470 \times 8) = 12$ jours