

Chapitre III :

COMPACTAGE DES SOLS

Les tableaux de compactage donnent les conditions qui assurent la cohérence entre les facteurs définissant le cas de compactage, à savoir :

- le matériau tel que défini par la classification,
- le matériel de compactage utilisé (type d'engin - paramètres de construction et de fonctionnement, mode d'emploi),
- l'épaisseur compactée,
- l'objectif de compactage.

Cette approche est en accord avec la procédure de contrôle "en continu" des conditions de réalisation du compactage, dont l'intérêt par rapport au contrôle par mesure de la masse volumique n'est plus à démontrer.

3.1. Prescriptions pour le compactage :

Elles sont fixées selon la nature des ouvrages, afin de :

- limiter les tassements des corps de remblai et assurer leur stabilité,
- obtenir des caractéristiques suffisantes de raideur et de résistance pour les couches de forme.

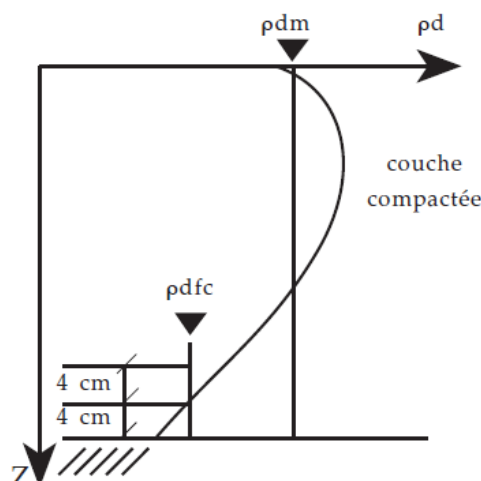
Deux objectifs de densification, désignés symboliquement par **q3** et **q4** sont définis :

- **q3** objectif ordinairement requis pour les couches de forme,
- **q4** objectif ordinairement requis pour les remblais.

Les prescriptions données dans les tableaux de compactage correspondent à la définition des modalités d'utilisation des compacteurs pour chaque couple : matériau - matériel.

Ces prescriptions ont été fixées à partir de nombreuses planches expérimentales accompagnées de mesures précises et répétées de la masse volumique en place, de l'observation du comportement d'ouvrages et d'un modèle mathématique calé sur ces données.

Avec la mise en œuvre par couche et les matériels actuels, on observe en effet une variation de la masse volumique sèche sur la hauteur de la couche compactée, comme l'illustre ci-dessous. Pour s'assurer d'un compactage correct, ceci conduit à considérer deux indicateurs :



- Variation de la masse volumique sèche sur la hauteur de la couche compactée -

- **pdm** : masse volumique sèche moyenne sur toute l'épaisseur de la couche compactée.
- **pdfc** : masse volumique sèche en fond de couche ; c'est-à-dire la valeur moyenne sur une tranche de **8 cm** d'épaisseur située à la partie inférieure de la couche compactée.

Les prescriptions moyennes des tableaux ont été établies pour atteindre les valeurs moyennes minimales suivantes de **pdm** et **pdfc** par nature d'ouvrage :

- **q3** : Objectif de densification pour le compactage des couches de forme :

$$\text{pdm} \geq 98,5 \% \text{ pd OPN et}$$

$$\text{pdfc} \geq 96 \% \text{ pd OPN}$$

- **q4** : Objectif de densification pour le compactage des remblais :

$$\text{pdm} \geq 95 \% \text{ pd OPN et}$$

$$\text{pdfc} \geq 92 \% \text{ pd OPN}$$

Ces valeurs sont à considérer comme des repères mais ne doivent pas être retenues comme prescriptions de compactage.

3.2. Données relatives aux matériaux :

Les matériaux sont identifiés en familles, classes et sous-classes d'états selon la classification définie dans le 1^{er} chapitre.

3.3. Données relatives aux compacteurs - classement et utilisation :

Les définitions et classifications données ci-après font l'objet de normes (P 98-736).

Les compacteurs pris en compte dans le **GTR** ont une largeur de compactage supérieure ou égale à **1,30 m**. Les petits compacteurs (rouleaux vibrants - plaques vibrantes - pilonneuses) ont un classement et des conditions d'utilisations qui sont précisées dans un autre document : note technique pour le compactage des remblais de tranchées (**SETRA - LCPC**). Les classes des plaques vibrantes les plus efficaces sont cependant intégrées dans le **GTR**, pour le rendre le plus complet possible.

Les différentes familles d'engins considérées ici sont :

- les compacteurs à pneus : **Pi**
- les compacteurs vibrants à cylindres lisses : **Vi**
- les compacteurs vibrants à pieds dameurs : **VPi**
- les compacteurs statiques à pieds dameurs : **SPi**
- les plaques vibrantes : **PQi**

i : est le n° de la classe ; il croît avec l'efficacité du compacteur à l'intérieur de chaque famille.

3.3.1. Les compacteurs à pneus (Pi) :

Le classement est fait selon la charge par roue **CR** :

- **P1** : **CR** entre 25 et 40 *kN*.
- **P2** : **CR** entre 40 et 60 *kN*.
- **P3** : **CR** supérieure à 60 *kN*.



- Un compacteur lourd à pneus -

3.3.2. Les compacteurs vibrants à cylindres lisses (Vi)

A. Classement et utilisation :

Le classement est effectué à partir du paramètre $(M1/L) \times \sqrt{A0}$ et d'une valeur minimale pour **A0**. **M1/L** exprimé en kg/cm et **A0** en mm conduisent aux cinq classes définies ci-après.

V1 : $(M1/L) \times \sqrt{A0}$	{ entre 15 et 25 { supérieur à 25	et $A0 \geq 0,6$ et $A0$ entre 0,6 et 0,8
V2 : $(M1/L) \times \sqrt{A0}$	{ entre 25 et 40 { supérieur à 40	et $A0 \geq 0,8$ et $A0$ entre 0,8 et 1,0
V3 : $(M1/L) \times \sqrt{A0}$	{ entre 40 et 55 { supérieur à 55	et $A0 \geq 1,0$ et $A0$ entre 1,0 et 1,3
V4 : $(M1/L) \times \sqrt{A0}$	{ entre 55 et 70 { supérieur à 70	et $A0 \geq 1,3$ et $A0$ entre 1,3 et 1,6
V5 : $(M1/L) \times \sqrt{A0}$	supérieur à 70	et $A0 \geq 1,6$

- **M1** : masse totale s'appliquant sur la génératrice d'un cylindre (vibrant ou statique) en kg .
- **L** : longueur de la génératrice du cylindre (vibrant ou statique) en cm .
- **A0** : est l'amplitude théorique à vide.

A0 peut être contrôlée par la méthode des coussins "Essai de vérification du moment des excentriques des compacteurs vibrants".

Les compacteurs vibrants possèdent souvent plusieurs valeurs d'amplitude théorique à vide (variation du moment des excentriques) et/ ou plus rarement peuvent être lestés.

Un matériel donné peut donc, éventuellement, être placé dans différentes classes selon la valeur de **A0** et /ou de **M1/L**.

A l'exception des classes **V1** et **V2**, une fourchette de vitesses de translation est admise, qui influe sur les modalités de compactage.

B. Monocylindres et tandems :

Les deux morphologies les plus répandues sont les monocylindres désignés par **VMi** et les tandems par **VTi**. (**Vi** = classe d'efficacité définie précédemment).



- Un compacteur vibrant mono-cylindre lisse -

3.3.3. Les compacteurs mixtes :

Ils sont constitués d'un cylindre vibrant et d'un train de pneus dont le nombre peut être considéré comme suffisant pour contribuer au compactage en recouvrant l'ensemble de la largeur de génératrice du cylindre (intervalle entre surfaces de contact $\leq$ largeur d'un pneu).



- Un compacteur mixte -

On les considère comme la somme d'un compacteur vibrant monocylindre **VMi** et d'un compacteur à pneus **Pi**.

3.3.4. Les compacteurs vibrants à pieds dameurs (VPi) :

Ce sont généralement des versions dérivées des compacteurs vibrants à cylindres lisses. Leur classement reprend les mêmes critères.



- Un compacteur vibrant à pieds dameurs -

Dans le cas où la version à pieds dameurs est proposée en option, son classement peut différer de celui du compacteur vibrant à cylindre lisse auquel il s'apparente, du fait de différences de masse et d'amplitude.

3.3.5. Les compacteurs statiques à pieds dameurs (SPi) :

Le classement est fait 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 supérieur à 60 kg/cm
et inférieur à 90 kg/cm



- Un compacteur statique à pieds dameurs -

Pour les compacteurs équipés d'une lame, la part de temps consacrée au poussage et au réglage des sols n'est pas prise en compte dans le compactage.

3.3.6. Les plaques vibrantes (PQi) :

L'ensemble des plaques est classé **PQ1** à **PQ4**. Elles sont classées à partir de la pression statique sous la semelle **Mg/S** exprimée en *kPa* (**Mg** représente le poids de la plaque).

Les plus petites plaques (PQ1 - PQ2) ne sont pas prises en compte. Celles considérées ici sont :

PQ3 : Mg/S entre 10 et 15 kPa
PQ4 : Mg/S supérieur à 15 kPa

S : est la surface de contact plaque/sol et non la surface hors tout.



- Plaques vibrantes -

3.4. Règles de compactage :

3.4.1. Les tableaux de compactage :

Les tableaux de compactage sont établis pour un matériau “moyen” à l’intérieur de la classe et la sous-classe correspondantes. Par contre, ils correspondent à l’emploi d’un compacteur situé à la frontière basse de la classe d’efficacité considérée.

Une case non renseignée dans les tableaux signifie que le compacteur considéré ne permet pas d’atteindre les objectifs définis en 3-1 pour une couche de plus de 0,20 m.

Une valeur “plancher” de 0,30 m, plus réaliste, est adoptée pour l’optimisation des débits dans le cas des vibrants.

3.4.2. Les paramètres définissant les modalités de compactage :

A. Le paramètre Q/S :

Le nombre indiqué dans la partie supérieure de chaque case des tableaux représente une valeur du rapport Q/S, exprimé en m^3/m^2 , dans lequel Q est le volume de sol compacté pendant un temps donné (par exemple un jour, ou une heure), et S la surface balayée par le compacteur pendant le même temps.

- Q représente le rythme de production de l’atelier de terrassement.
- S représente le rythme d’utilisation d’un compacteur.

B. L’épaisseur compactée :

La valeur d’épaisseur compactée indiquée est une valeur maximale : l’épaisseur réelle doit lui être inférieure ou égale. Les valeurs d’épaisseurs maximales de couches ne sont fixées que par rapport à la seule opération de compactage ; elles ne tiennent pas compte en particulier des contraintes pouvant être imposées le cas échéant sur le réglage (couches minces pour parfaire la fragmentation ou l’aération du matériau...).

C. La vitesse de translation :

Les prescriptions relatives à la vitesse de translation sont à examiner différemment selon la famille de compacteur.

3.4.3. Exemple de tableau des modalités de compactage :

Le tableau ci-dessous (GTR : Fascicule 2 « Annexes Techniques » ; Annexe 4, page 86), reproduit les modalités de compactage à appliquer pour l'utilisation des sols $A_1 - C_1A_1$ en remblai. On remarque en particulier que pour les compacteurs **V3**, **V4**, **V5**, il existe deux vitesses de translation possibles auxquelles correspondent des modalités de compactage différentes.

3.4.4. Condition à satisfaire pour un bon compactage :

Outre le respect des valeurs de Q/S et des épaisseurs maximales des couches, il importe de s'assurer :

- d'une bonne organisation du chantier notamment pour garantir l'homogénéité du matériau approvisionné, la répartition de l'effort de compactage (plan de balayage et cadence d'approvisionnement) et le délai de compactage dans le cas de sol traité au ciment par exemple.

L'attention est attirée sur la nécessité de donner aux conducteurs d'engins des consignes précises et adaptées aux objectifs de qualité. Dans certains cas (zones exigües par exemple) ces consignes peuvent conduire à diminuer le Q/S donné par les tableaux.

- du fonctionnement correct des compacteurs.

A₁, C₁A₁ (*)

Compacteur Modalités		P1	P2	P3	V1	V2	V3		V4		V5		VP1	VP2	VP3	VP4	VP5	SP1	SP2	PQ3	PQ4
Energie de compactage faible	Q/S	0.080	0.120	0.180	0.055	0.085	0.125		0.165		0.205		0.055	0.085	0.165	0.205	0.265	0.070	0.100		0.065
	e	0.30	0.45	0.60	0.25	0.35	0.30	0.50	0.35	0.65	0.40	0.80	0.25	0.30	0.30	0.35	0.40	0.25	0.40		0.20
			(1)	(1)					(1)	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	0	(1)
	V	5.0	5.0	5.0	2.0	2.5	4.0	2.5	5.0	2.5	5.0	2.5	2.0	3.0	4.0	5.0	5.0	8.0	8.0		1.0
Code 3	N	4	4	4	5	5	3	4	3	4	2	4	5	4	2	2	2	4	4		3
	Q/L	400	600	900	110	215	500	315	825	415	1025	515	110	255	660	1025	1325	560	800		65
Energie de compactage moyenne	Q/S	0.045	0.065	0.095		0.040	0.065		0.085		0.100			0.040	0.085	0.100	0.130	0.040	0.070		
	e	0.25	0.35	0.45		0.25	0.30	0.40	0.30	0.50	0.30	0.60		0.25	0.30	0.30	0.30	0.20	0.30		
					0								0	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	0	0
	V	5.0	5.0	5.0		2.0	2.5	2.0	3.5	2.0	4.0	2.0		2.0	2.5	3.5	4.0	8.0	8.0		
Code 2	N	6	6	5		7	5	7	4	6	3	6		7	4	3	3	5	5		
	Q/L	225	325	475		80	165	130	300	170	400	200		80	215	350	520	320	560		
Energie de compactage intense	Q/S		0.035	0.050		0.025	0.040		0.050		0.065			0.025	0.050	0.065	0.085		0.035		
	e		0.20	0.30		0.20		0.30	0.30	0.40	0.30	0.45		0.20	0.30	0.30	0.30		0.25		
		0			0								0					0		0	0
	V		5.0	5.0		2.0		2.0	2.5	2.0	3.0	2.0		2.0	2.0	2.5	3.0		8.0		
Code 1	N		6	6		8		8	6	8	5	7		8	6	5	4		8		
	Q/L		175	250		50		80	125	100	195	130		50	100	165	255		280		

Q/S (m)
e (m)
V (km/h)
N -
Q/L (m³/h.m)

(*) Impose que Dmax < 2/3 de l'épaisseur de la couche compactée.

(1) S'assurer de la traficabilité du compacteur.

(2) Prévoir une opération annexe pour effacer les empreintes lorsqu'il y a risque de pluie en fin de journée (rabotage des centimètres supérieurs, ou emploi d'un autre type de compacteur si celui-ci apporte l'effet souhaité).

0 compacteur ne convenant pas