

Présentation du guide technique de réalisation des remblais et des couche de forme (GTR)

A partir de ce classement appelé communément **GTR** (**G**uide **T**echnique **R**outier), on distingue **quatre grandes classes géotechniques** de sol naturel présentant des propriétés spécifiques ainsi que des comportements **mécaniques** et **gélifs prévisibles** dans le temps :

- La **classe A** : les sols fins

Cette classe contient **quatre sous classes** : A1, A2, A3, A4 ;

- La **classe B** : les sols sableux et graveleux avec fines

Cette classe contient **six sous classes** : B1, B2, B3, B4, B5, B6 ;

- La **classe C** : les sols comportant des fines et des gros éléments

Cette classe contient **deux sous classes** : C1, C2 qui s'associent pour la fraction 0/50mm aux classes A1, A2, A3, A4 ou B1, B2, B3, B4, B5, B6.

- La **classe D** : les sols insensibles à l'eau

Cette classe contient **trois sous classes** : D1, D2, D3 ;

Terminologie

Sols

Il s'agit de matériaux naturels, constitués de grains pouvant se séparer aisément par simple trituration ou éventuellement sous l'action d'un courant d'eau. Ces grains peuvent être de dimensions très variables, allant des argiles aux blocs.

Les sols sont de nature géologique diverse : alluvions, colluvions, matériaux meubles sédimentaires,... ;

Ils correspondent aux classes A, B, C et D définies ci-après. **Leur pourcentage de matières organiques est inférieur ou égal à 3 %.**

Terminologie

Matériaux rocheux

Il s'agit des matériaux naturels comportant une structure qui ne peut être désagrégée par simple trituration ou sous l'action d'un courant d'eau ; leur utilisation implique une désagrégation mécanique préalable par minage ou emploi d'engin d'extraction de forte puissance.

Les matériaux rocheux correspondent à la classe R définie ci-après ; ils ont pour origine l'ensemble des roches sédimentaires, magmatiques et métamorphiques.

Terminologie

Sols organiques

Il s'agit de sols ayant un pourcentage de matières organiques supérieur à 3 %

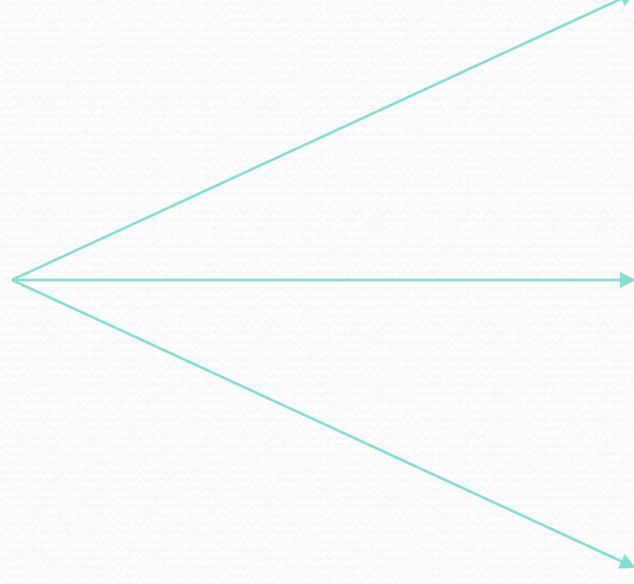
Sous-produits industriels

Il s'agit de matériaux, produits de l'activité humaine, d'origines diverses pouvant être utilisés en remblais et en couches de forme.

Les sols organiques, les sous-produits industriels correspondent à la classe F définie ci-après.

CLASSIFICATION DES SOLS ET DES ROCHES

SOLS



Sols meubles
(A, B, C, D)

Matériaux rocheux (R)

**Sols organiques et sous
produits industriels (F)**

Paramètres de classification des sols meubles

Paramètres de nature

Ce sont des paramètres intrinsèques ; ils ne varient pas, ou peu, ni dans le temps ni au cours des différentes manipulations que subit le sol au cours de sa mise en œuvre.

Les paramètres de nature considérés dans la classification des sols sont **la granularité, l'indice de plasticité et la valeur au bleu de méthylène du sol.**

Paramètres de nature

La granularité

Le D_{max}

Dimension maximale des plus gros éléments contenus dans le sol

Seuil retenu : 50 mm

Cette valeur permet de distinguer les sols fins, sableux et graveleux (**classe A, B et D**) (≤ 50 mm), des sols grossiers comportant des éléments blocailleux (**Classe C**) (> 50 mm).

Pour les sols de la classe C (sols comportant des fines et des gros éléments, deux sous-classes sont distinguées selon l'importance de la fraction 0/50 mm :

- la sous-classe C1 qui rassemble les matériaux à éléments «anguleux» possédant une importante fraction 0/50 mm (≥ 60 à 80 %) et l'ensemble des matériaux à éléments «roulés».
- la sous-classe C2 qui comprend les matériaux à éléments anguleux possédant une faible fraction 0/50 mm (≤ 60 à 80 %).

Pour tenir compte des caractéristiques de la fraction 0/50 mm, l'identification des sols de la classe C est précisée à l'aide d'un double symbole du type **C1Ai**, **C1Bi**, **C2Ai** ou **C2Bi**, Ai ou Bi étant la classe de la fraction 0/50 mm du matériau considéré.

Paramètres de nature

La granularité

- **Le tamisat à 80 µm
(ou pourcentage de fines)**

Ce paramètre permet de distinguer les sols riches en fines des sols sableux et graveleux

Seuils retenus :

- **35% : au-delà de 35 % de tamisât à 80 µm, les sols ont un comportement assimilable à celui de leur fraction fine.**
- **12% : c'est un seuil conventionnel permettant d'établir une distinction entre les matériaux sableux et graveleux pauvres ou riches en fines.**

Paramètres de nature

La granularité

Le tamisat à 2 mm

Ce paramètre permet d'établir la distinction entre les sols à tendance sableuse et les sols à tendance graveleuse.

Seuil retenu :

70% : Ce seuil permet de distinguer les sols sableux (plus de 70 % de tamisât à 2 mm) des sols graveleux (moins de 70 % de tamisât à 2 mm).

Paramètres de nature

L'argilosité

□ L'Indice de Plasticité (IP)

Seuils retenus :

- ✓ **12** : limite supérieure des sols faiblement argileux
- ✓ **25** : limite supérieure des sols moyennement argileux
- ✓ **40** : limite entre les sols argileux et très argileux.

L'argilosité

□ La Valeur de Bleu de Méthylène (VBS)

Seuils retenus :

- 0.1 : en dessous duquel sols insensibles à l'eau**
- 0.2 : au dessus duquel apparaît la sensibilité à l'eau**
- 1.5 : seuil distinguant les sols sablo limoneux des sols sablo argileux**
- 2.5 : seuil distinguant les sols limoneux peu plastiques des sols limoneux moyennement plastiques**
- 6 : seuil distinguant les sols limoneux des sols argileux**
- 8 : seuil distinguant les sols argileux des sols très argileux**

Paramètres de comportement mécanique

L'introduction dans la classification de ces paramètres résulte du fait que des sols de nature comparable peuvent se comporter de manière relativement différente sous l'action des sollicitations subies au cours de leur mise en oeuvre ou sous la circulation des engins de transport.

Ces paramètres ne sont pris en compte que pour juger de l'utilisation possible des sols en couche de forme.

Paramètres de comportement mécanique

- Los Angeles (LA)
- Micro Deval en présence d'Eau (MDE)
- Friabilité des Sables (FS)

Seuils retenus:

- ✓ 45 pour les valeurs LA et MDE
- ✓ 60 pour les valeurs FS

Paramètres d'état

Il s'agit des paramètres qui ne sont pas propres au sol, mais fonction de l'environnement dans lequel il se trouve.

Pour les sols, le seul paramètre d'état considéré dans la présente classification est l'état hydrique ; son importance est capitale vis-à-vis de tous les problèmes de remblai et de couche de forme.

Paramètres d'état

L'état hydrique

- h : état humide
- m : état d'humidité moyen
- s : état sec
- ts : état très sec

Paramètres utilisés pour caractériser l'état hydrique

- La position de w_n par rapport à w_{OPN}
exprimé par le rapport w_n / w_{OPN}
- L'indice de consistance I_c
$$I_c = (W_L - w_n) / I_p$$
- L'Indice Portant Immédiat IPI
CBR immédiat sans surcharge ni immersion

Paramètres de classification des matériaux rocheux

Paramètres de classification des roches

- Classification des matériaux rocheux d'après la nature pétrographique de la roche
- Classification d'après les caractéristiques mécaniques : Dureté Los Angeles, Usure MICRO-DEVAL Humide
- Pour les matériaux évolutifs : classification suivant la fragmentabilité (FR) et la dégradabilité (DG)

Cas particulier des roches évolutives

Le caractère évolutif des roches est apprécié en laboratoire par :

- Le coefficient de fragmentabilité (FR) pour l'évolution granulométrique ;
- Le coefficient de dégradabilité (DG) pour l'évolution par altérabilité lors de cycles alternés d'humidification séchage ;
- Le degré de dissolution pour les roches salines.

PRESENTATION DES PRINCIPES DES ESSAIS FR ET DG

Figure 1 : Principe de l'essai de Fragmentabilité (FR)

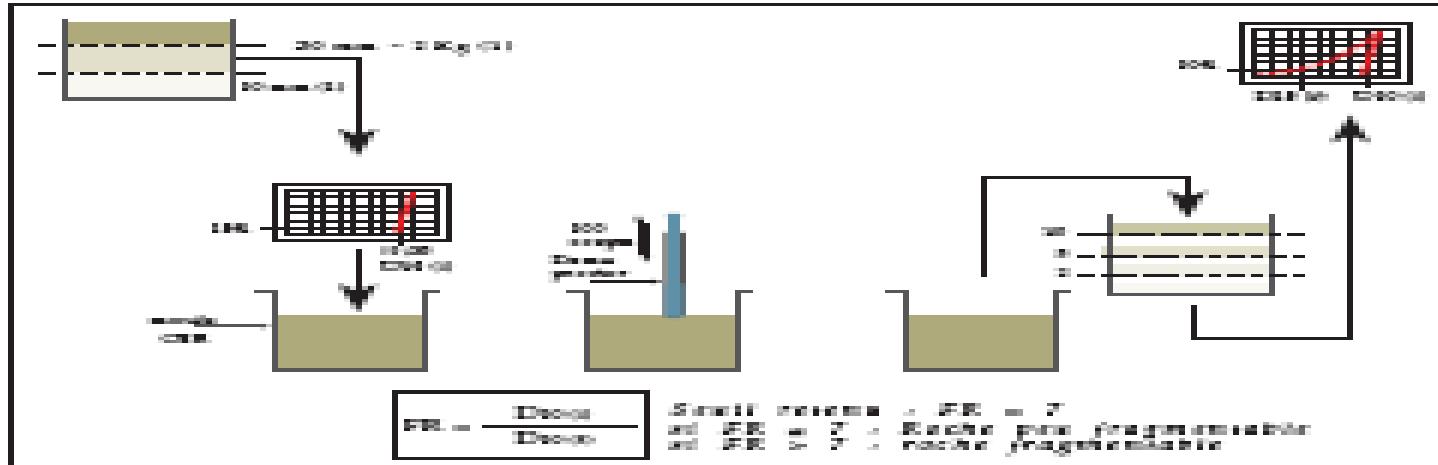
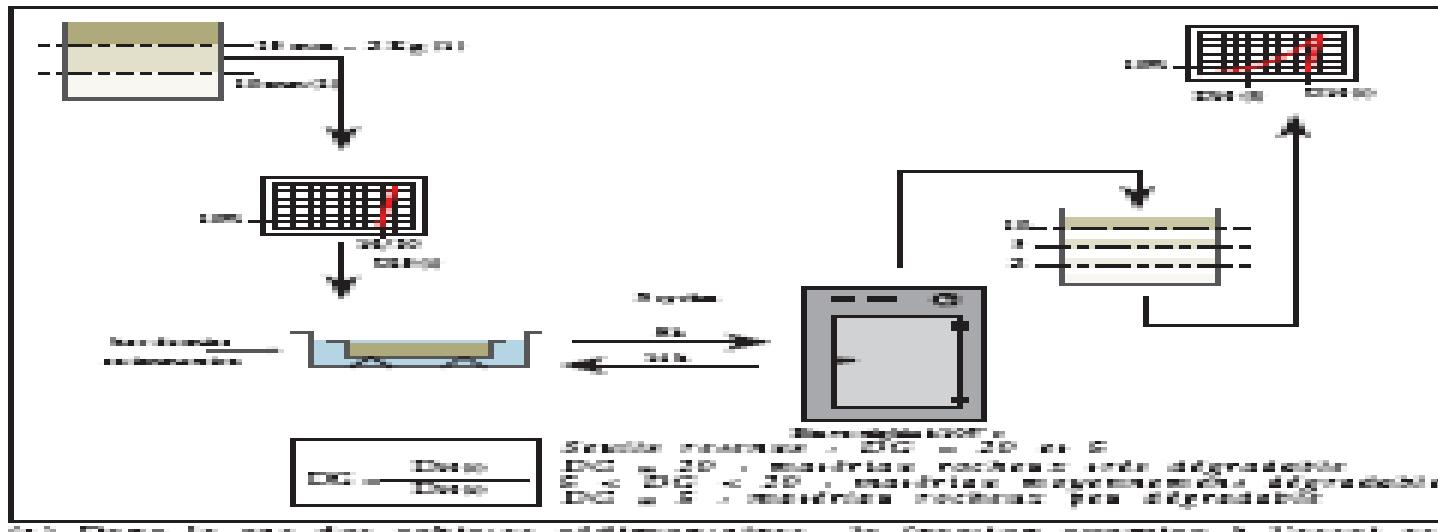


Figure 2: Principe de l'essai de Dégradabilité (DG)



Cas particulier des roches évolutives

Seuils retenus :

- FR = 7**
 - ✓ Si FR < 7 : **peu fragmentable**
 - ✓ Si FR > 7 : **fragmentable**

- DG = 20 et 5**
 - ✓ DG > 20 : **très dégradable**
 - ✓ $5 < DG < 20$: **moyennement dégradable**
 - ✓ DG < 5 : **peu dégradable**

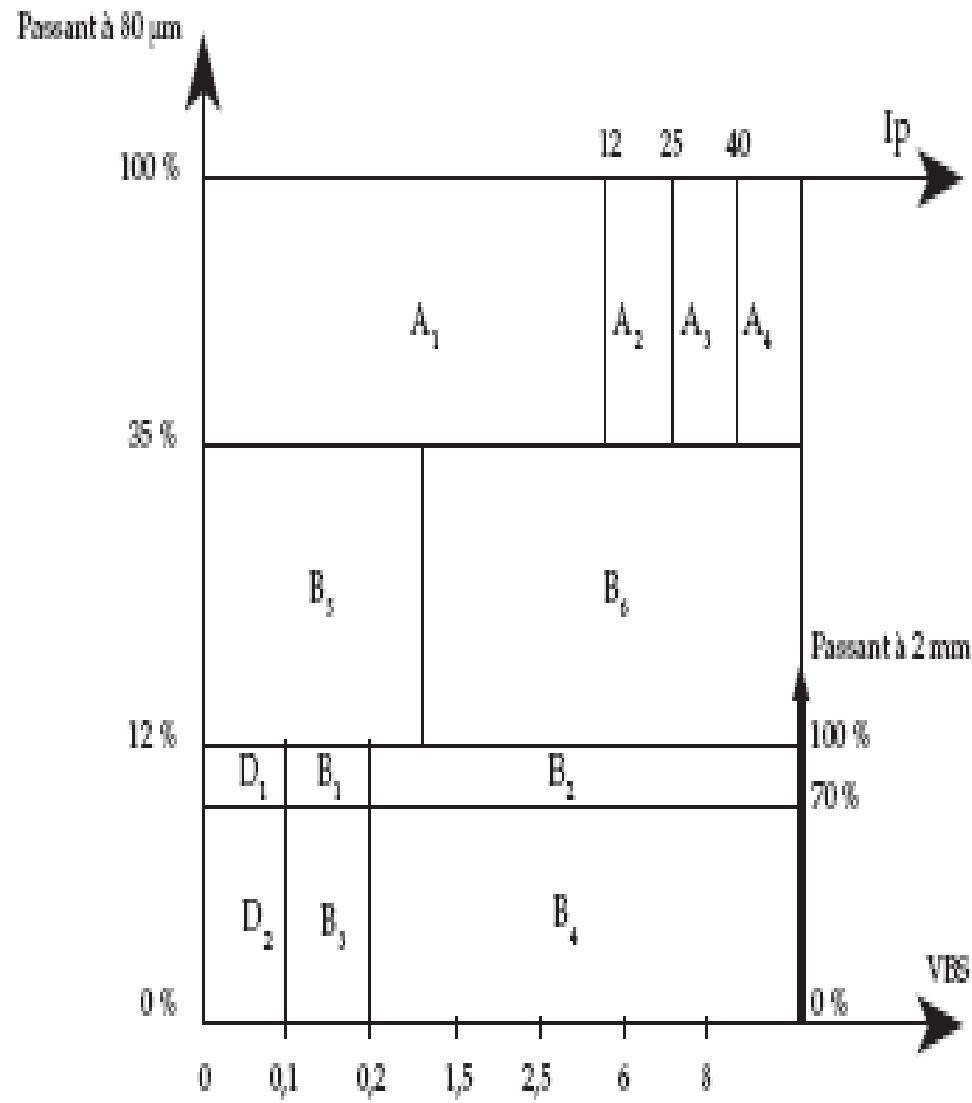
Classification des sols meubles

Classe	Type de sol	Sous-classe
La classe A $D_{max} \leq 50 \text{ mm}$ et tamisat à $80\mu\text{m} > 35\%$	les sols fins (silts, limons, argiles, etc....)	A1, A2, A3 et A4 Suivant l'importance de la plasticité
La classe B $D_{max} \leq 50 \text{ mm}$ et tamisat à $80\mu\text{m} \leq 35\%$	les sols sableux ou graveleux avec fines	B1, B2 B3, B4, B5, et B6 Suivant l'importance et les caractéristiques des fines et l'importance de la fraction sableuse
La classe C $D_{max} > 50 \text{ mm}$	Matériaux d'éboulis, Tv grossiers,..	C1 et C2 CiAi ou CiBi ou CiDi
La classe D $D_{max} \leq 50 \text{ mm}$ et tamisat à $80\mu\text{m} \leq 12\%$ et une VBS < 0.1	Sables et graves propres	D1 (Sables propres) D2 (Graves propres)

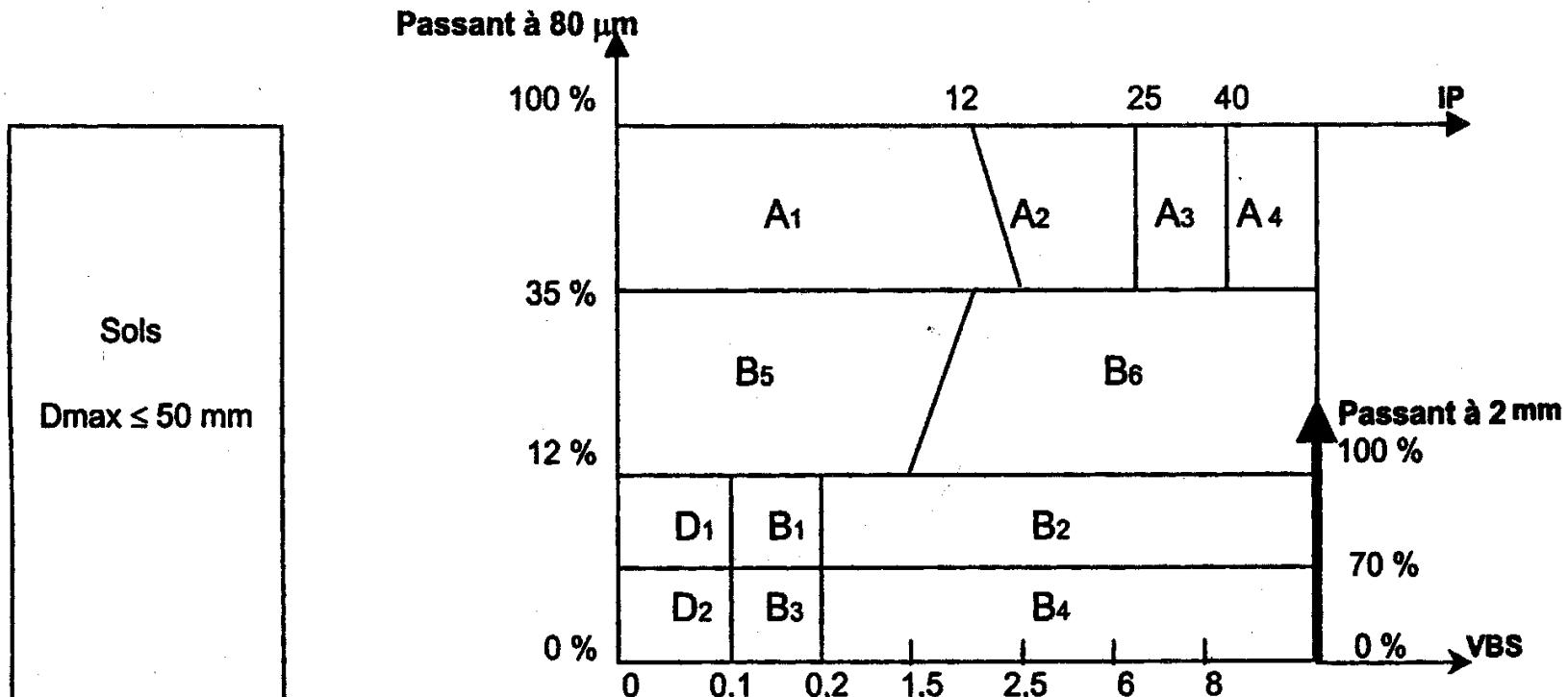
Classification des sols meubles (suite)

Classe	Type de sol	Sous-classe
<p>Les sols Tirseux $W_I - W_r > 42$ (Indice d'instabilité volumétrique)</p>	Sols fins caractérisés par un fort gonflement	<p>TxA3 : pour les sols avec $IP \leq 40$ TxA4 : pour les sols avec $IP > 40$</p>
<p>Les sols Tuffacés Taux de $Ca CO_3$</p>	Sols calcifiés	<p>Tf : si $50\% \leq Ca CO_3 \leq 70\%$ Tc : si $Ca CO_3 > 70\%$ Soit TfAi ou TfBi Soit TcAi ou TcBi</p>

Sols
 $D_{max} \leq 50$ mm



CLASSIFICATION GMTR DES SOLS MEUBLES



- Les A_i et/ou B_i peuvent être parfois :
 - α des tufs fortement carbonaté TcA_i ou TcB_i si CaCO₃ > 70%
 - α des tufs faiblement carbonaté TfA_i ou TfB_i si 50% ≤ CaCO₃ ≤ 70%
- Les A₃ et les A₄ peuvent être parfois :
 - α des tirsés dont : WI-Wr > 42 avec WI > 53 et Wr < 13

Classification des matériaux rocheux

<p>Roches Sédimentaires</p>	Roches carbonatées	- Craies	R₁
	Roches argileuses	- Grès calcaire - Calcarénite - Encroûtements calcaires - Calcaires marneux - Calcschistes - Calcaires durs - Calcaires dolomitiques	R₂
	Roches siliceuses	- Marnes - Schistes sédimentaires - Flyschs marneux - Argilites - Pelites	R₃
	Roches salines	- Grès argileux - Grès siliceux - Poudingues - Brèches	R₄
		- Gypse - Gypse marneux - Sel gemme	R₅

Classification des matériaux rocheux (suite)

<p>Roches Magmatiques et Métamorphiques</p>	<ul style="list-style-type: none">- Granite- Basalte- Diorite- Quartzite <p>Autres roches éruptives et métamorphiques dures</p>	R₆
--	---	----------------------

Exemple d'application

Dmax (mm)	> 50 mm	> 2mm	< 0,080mm	WL	WP	VBS	w	wopn	IPI
6,3	0	11	77	32	21		4,5	8,5	
100	19	25	8			0,18			
100	15	23	68	27	13		2	9	
63	35	31	22	30	20	0,16			18
20	0	22	10			0,08			
85	10	15	28	35	18				8
35	0	53	11			1,8	10,3	10,8	

Exemple d'application

Sol n°	Classe
1	A ₁ s
2	C ₁ B ₁
3	C ₁ A ₂ ts
4	C ₂ B ₅ m
5	D ₁
6	C ₁ B ₆ h
7	B ₄ m

D _{max} ≤ 50 mm et tamisat à 80 µm ≤ 35%	B Sols sableux et graveleux avec fines	<ul style="list-style-type: none"> - tamisat à 80 µm ≤ 12% - tamisat à 2 mm ≤ 70% - VBS > 0,2 ou ES ≤ 25 	B ₄ Graves argileuses (peu argileuses)...	<p>Ils sont plus graveleux que les sols B₂ et leur fraction sableuse est plus faible. Pour cette raison, ils sont en général perméables. Ils réagissent assez rapidement aux variations de l'environnement hydrique et climatique (humidification - séchage). Lorsqu'ils sont extraits dans la nappe, il est assez peu probable, en climat océanique, que leur état hydrique puisse s'améliorer jusqu'à devenir "moyen".</p> <p>Leur emploi en couche de forme sans traitement avec des LH nécessite, par ailleurs, la mesure de leur résistance mécanique (Los Angelès, LA, et/ou Micro Deval en présence d'eau, MDE).</p>	$7 < IPI \leq 15$ ou $1,10 w_{OPN} \leq w_n < 1,25 w_{OPN}$	B ₄ h	LA ≤ 4; LA > 4
					$0,9 w_{OPN} \leq w_n < 1,10 w_{OPN}$	B ₄ m	LA ≤ 4; LA > 4
					$0,6 w_{OPN} \leq w_n < 0,9 w_{OPN}$	B ₄ s	LA ≤ 4; LA > 4
		<ul style="list-style-type: none"> - tamisat à 80 µm compris entre 12 et 35% - VBS ≤ 1,5 ou Ip ≤ 12 	B ₅ Sables et graves très silteux...	<p>La proportion de fines et la faible plasticité de ces dernières, rapprochent beaucoup le comportement de ces sols de celui des sols A₁.</p> <p>Pour la même raison qu'indiquée à propos des sols A₁, il y a lieu de préférer le critère VBS au critère Ip, pour l'identification des sols B₅.</p> <p>Leur emploi en couche de forme sans traitement avec des LH nécessite de connaître leur résistance mécanique (Los Angelès, LA, et/ou Micro Deval en présence d'eau, MDE).</p>	$IPI \leq 5$ ou $w_n \geq 1,25 w_{OPN}$	B ₅ th	LA ≤ 4; LA > 4
					$5 < IPI \leq 12$ ou $1,10 w_{OPN} \leq w_n < 1,25 w_{OPN}$	B ₅ h	LA ≤ 4; LA > 4
					$12 < IPI \leq 30$ ou $0,9 w_{OPN} \leq w_n < 1,10 w_{OPN}$	B ₅ m	LA ≤ 4; LA > 4
		<ul style="list-style-type: none"> - tamisat à 80 µm compris entre 12 et 35% - VBS > 1,5 ou Ip > 12 	B ₆ Sables et graves, argileux à très argileux	<p>L'influence des fines est prépondérante ; le comportement du sol se rapproche de celui du sol fin ayant même plasticité que les fines du sol avec toutefois une plus grande sensibilité à l'eau due à la présence de la fraction sableuse en plus grande quantité.</p>	$0,6 w_{OPN} \leq w_n < 0,9 w_{OPN}$	B ₆ s	LA ≤ 4; LA > 4
					$w_n < 0,6 w_{OPN}$	B ₆ ts	LA ≤ 4; LA > 4
					$IPI \leq 4$ ou $w_n \geq 1,3 w_{OPN}$ ou $lc \leq 0,8$	B ₆ th	
				<p>$4 < IPI \leq 10$ ou $0,8 < lc \leq 1$ ou $1,1 w_{OPN} \leq w_n < 1,3 w_{OPN}$</p>	$4 < IPI \leq 10$ ou $0,8 < lc \leq 1$ ou $1,1 w_{OPN} \leq w_n < 1,3 w_{OPN}$	B ₆ h	
					$10 < IPI \leq 25$ ou $1 < lc \leq 1,2$ ou $0,9 w_{OPN} \leq w_n < 1,1 w_{OPN}$	B ₆ m	
					$0,7 w_{OPN} \leq w_n < 0,9 w_{OPN}$ ou $1,2 < lc \leq 1,3$	B ₆ s	
					$w_n < 0,7 w_{OPN}$ ou $lc > 1,3$	B ₆ ts	

Les paramètres inscrits en **caractères gras** sont ceux dont le choix est à privilégier.

			$\rho_d > 1,7$	craie dense	R_{11}
Roches sédimentaires	Roches carbonatées	R ₁ Craie	$1,5 < \rho_d \leq 1,7$ et $w_n \geq 27$	craie de densité moyenne	$R_{12}h$
			$1,5 < \rho_d \leq 1,7$ et $22 \leq w_n < 27$		$R_{12}m$
			$1,5 < \rho_d \leq 1,7$ et $18 \leq w_n < 22$		$R_{12}s$
			$1,5 < \rho_d \leq 1,7$ et $w_n < 18$		$R_{12}ts$
			$\rho_d \leq 1,5$ et $w_n \geq 31$		$R_{13}h$
			$\rho_d \leq 1,5$ et $26 \leq w_n < 31$		$R_{13}m$
			$\rho_d \leq 1,5$ et $21 \leq w_n < 26$	craie peu dense	$R_{13}s$
			$\rho_d \leq 1,5$ et $16 \leq w_n < 21$		$R_{13}ts$
			$\rho_d \leq 1,5$ et $w_n < 16$		

		$\rho_d \leq 1,5$ et $w_n < 16$		$R_{13,ts}$
R_2	<p>Cette classe regroupe l'ensemble de la gamme des matériaux calcaires rocheux.</p> <p>Leurs caractéristiques prédominantes, vis-à-vis de leur utilisation dans des remblais ou des couches de forme, sont la friabilité et éventuellement, pour les plus fragmentables d'entre eux, la gélivité.</p> <p>D'une manière générale, ces matériaux ne sont pas des matériaux rocheux évolutifs et ne posent pas de problèmes particuliers dans leur emploi en remblai. En couche de forme, leur friabilité peut conduire, par attrition ou désagrégation, à la formation de fines pouvant conférer à l'ensemble du matériau un comportement sensible à l'eau sous circulation des engins.</p>	MDE ≤ 45	calcaire dur	R_{21}
		MDE > 45 et $\rho_d > 1,8$	calcaire de densité moyenne	R_{22}
		$\rho_d \leq 1,8$	calcaire fragmentable	R_{23}

			FR ≤ 7 et DG > 20	peu fragmentable, très dégradable	R ₃₁
			FR ≤ 7 et 5 < DG ≤ 20	Roche argileuse peu fragmentable, moyen ¹ dégradable	R ₃₂
			FR ≤ 7 et DG ≤ 5	Roche argileuse : peu fragmentable, peu dégradable	R ₃₃
			FR > 7 et $\begin{cases} w_n \geq 1,3 w_{OPN} \\ \text{ou } IPI < 2 \end{cases}$		R _{34 th}
			FR > 7 et $\begin{cases} 1,1 w_{OPN} \leq w_n < 1,3 w_{OPN} \\ \text{ou } 2 \leq IPI < 5 \end{cases}$		R _{34 h}
			FR > 7 et $0,9 w_{OPN} \leq w_n < 1,1 w_{OPN}$		R _{34 m}
			FR > 7 et $0,7 w_{OPN} \leq w_n < 0,9 w_{OPN}$		R _{34 s}
			FR > 7 et $w_n < 0,7 w_{OPN}$		R _{34 ts}
Roches siliceuses	R ₄	Grès Poudingues Brèches	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	roches siliceuses dures	R ₄₁
			LA > 45 ou MDE > 45 et FR ≤ 7	roches siliceuses de dureté moyenne	R ₄₂
			FR > 7	roches siliceuses fragmentables	R ₄₃
Roches salines	R ₅	Gypse Sel gemme Anhydrite	teneur en sel $\begin{cases} \leq 5 \text{ à } 10\% \text{ dans le cas du sel gemme*} \\ \leq 30 \text{ à } 50\% \text{ dans le cas du gypse*} \end{cases}$	roches salines peu solubles	R ₅₁
			teneur en sel soluble $\begin{cases} > 5 \text{ à } 10\% \text{ dans le cas du sel gemme*} \\ > 30 \text{ à } 50\% \text{ dans le cas du gypse*} \end{cases}$	roches salines très solubles	R ₅₂
* suivant que la fragmentabilité est plus ou moins grande					

Roches magmatiques et métamorphiques	R_y	<p>Les matériaux entrant dans cette classe peuvent avoir des caractéristiques mécaniques très différentes ; en particulier, leur fragmentabilité et leur friabilité peuvent varier très largement (de faible à très élevée).</p> <p>Les matériaux de la classe R_y et la majorité de ceux de la classe R_{y2} ne s'altèrent pas au sein des ouvrages, sous l'effet des contraintes mécaniques et de l'eau ; mais en revanche, ceux de la classe R_{y3} ont un comportement voisin des classes R_y ou R_{y2}.</p>	LA \leq 45 et MDE \leq 45	Roches magmatiques et métamorphiques dures	R_{y1}
			LA $>$ 45 ou MDE $>$ 45 et FR \leq 7	Roches magmatiques et métamorphiques de dureté moyenne	R_{y2}
			FR $>$ 7	Roches magmatiques et métamorphiques fragmentables ou altérées	R_{y3}

CONDITIONS D'UTILISATION DES MATERIAUX EN REMBLAI

PRINCIPES RETENUS

Les conditions d'utilisation des sols, des matériaux rocheux, des sous-produits industriels sont celles qu'il y a lieu de respecter pour autoriser l'emploi en remblai des différentes classes et sous-classes de matériaux qui sont distinguées dans la classification présentée dans le chapitre précédent.

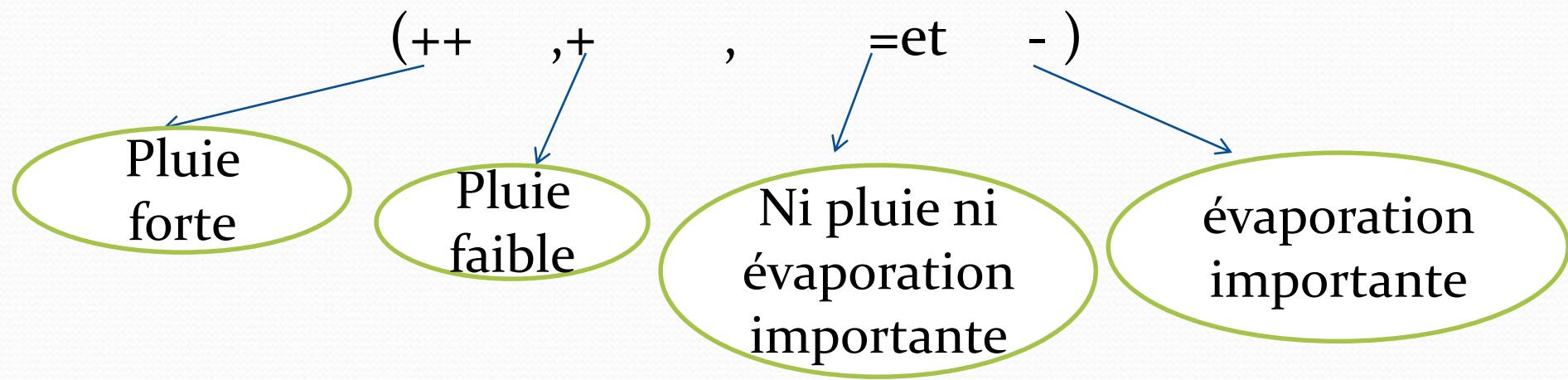
Ces conditions sont exprimées, en exigences techniques directement intégrables dans les cahiers des charges des marchés pour obtenir la qualité généralement recherchée pour ces ouvrages.

Elles ont été définies dans le double souci :

- d'une part, de viser le juste niveau de qualité technique nécessaire compte tenu des possibilités des matériels d'exécution actuels et des pratiques habituelles,
- d'autre part, de tenir compte des coûts moyens des différentes techniques et méthodes utilisées actuellement dans les pays industrialisés. De ce fait il est possible que certaines conditions d'utilisation non envisagées dans le présent document puissent être retenues et donner satisfaction dans des contextes technico-économiques différents où ne s'appliquent pas les mêmes règles de délais de construction, de niveau de service ou de coût. En particulier, dans cet esprit, on a considéré que les matériaux sensibles à l'eau se trouvant dans un état hydrique très humide (th) ou très sec (ts) n'étaient pas réutilisables normalement dans les remblais ou les couches de forme (cf. 1.2.1).

PRESENTATION DES TABLEAUX

- 1^{ère} colonne : la classe, la sous-classe et l'état hydrique du matériau
- 2^{ème} colonne : observations générales sur le comportement du matériau
- 3^{ème} colonne : situation météorologique



- 4ème colonne : conditions d'utilisation en remblai
- 5ème colonne : codes des conditions d'utilisation

E : Extraction,
G : Action sur la granularité,
W : action sur la teneur en eau,
T : Traitement,
R : Régalage,
C : Compactage,
H : Hauteur des remblais.

Rubrique	Code	Conditions d'utilisation
E Extraction	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Extraction en couches (0,1 à 0,3m)
	2	Extraction frontale (pour un front de taille > 1 à 2m)
G Action sur la granularité	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Elimination des éléments > 800mm
	2	Elimination des éléments > 250 mm pour traitement
	3	Fragmentation complémentaire après extraction
W Action sur la teneur en eau	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Réduction de la teneur en eau par aération
	2	Essorage par mise en dépôt provisoire
	3	Arrosage pour maintien de l'état
	4	Humidification pour changer d'état
T Traitement	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Traitement avec un réactif ou un additif adaptés
	2	Traitement à la chaux seule
R Régalage	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Couches minces (20 à 30 cm)
	2	Couches moyennes (30 à 50 cm)
C Compactage	1	Compactage intense
	2	Compactage moyen
	3	Compactage faible
H Hauteur des remblais	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Remblai de hauteur faible (< 5m)
	2	Remblai de hauteur moyenne (< 10m)

Exemple de tableau de conditions d'utilisation des matériaux en remblai

A₁ (états s et ts), A₂ (états th et h)

Sol	Observations générales	Situation météorologique	Conditions d'utilisation en remblai						Code E G W T R C H
A₂h	<p>Ces sols sont difficiles à mettre en œuvre en raison de leur portance faible.</p> <p>La mise en dépôt provisoire et le drainage préalable ne sont habituellement pas des solutions envisageables dans le climat français moyen.</p> <p>Le matelassage est à éviter au niveau de l'arase-terrassement.</p>	+ = -	pluie faible	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisantes					NON
			ni pluie, ni évaporation importante	Solution 1 : traitement	T : traitement à la chaux	C : compactage faible	0	0	0 2 0 2 0
				Solution 2 : utilisation en l'état	C : compactage faible	H : remblai de faible hauteur (≤ 5 m)	0	0	0 0 0 3 1
			évaporation importante	Solution 1 : aération	E : extraction en couches	W : réduction de la teneur en eau par aération	1	0	1 0 1 2 2
				R : couches minces	C : compactage moyen	H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	0	0	0 2 0 2 0
				Solution 2 : traitement	T : traitement à la chaux	C : compactage moyen			

				C : compactage intense	
B _s	<p>Ces sols sont très difficiles à compacter, du fait de leur faible teneur en eau. En conséquence il convient :</p> <ul style="list-style-type: none"> - soit de compacter intensément avec un arrosage superficiel - soit d'humidifier le matériau dans sa masse pour le ramener en B_m <p>Cette humidification est encore relativement facile à réaliser</p>	++	pluie forte	<p>Situation ne permettant pas la mise en remblai, avec des garanties de qualité suffisantes</p>	NON
		+	pluie faible	<p>E : extraction en couche R : couches minces C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)</p>	1 0 0 0 1 1 2
		=	ni pluie, ni évaporation importante	<p>Solution 1 : humidification W : humidification pour changer d'état R : couches minces C : compactage moyen</p>	0 0 4 0 1 2 0
				<p>Solution 2 : utilisation en l'état C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)</p>	0 0 0 0 0 1 2
		-	évaporation importante	<p>Solution 1 : extraction frontale et arrosage E : extraction frontale W : arrosage pour maintien de l'état C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)</p>	2 0 3 0 0 1 2
				<p>Solution 2 : humidification W : humidification pour changer d'état R : couches minces C : compactage moyen</p>	0 0 4 0 1 2 0

B₆m	Ces sols ne posent pas de problème d'utilisation en remblai sauf par pluie forte En l'absence de pluie, ils présentent en général une bonne traficabilité du fait de la présence d'une fraction granulaire importante	++	pluie forte	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisantes	NON
	+	pluie faible	E : extraction frontale C : compactage moyen H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	2 0 0 0 0 2 2	
	=	ni pluie, ni évaporation importante	C : compactage moyen	0 0 0 0 0 2 0	
	-	évaporation importante	Solution 1 : utilisation en l'état C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	0 0 0 0 0 1 2	
	Solution 2 : arrosage pour maintien de l'état W : arrosage pour maintien de l'état C : compactage moyen	0 0 3 0 0 2 0			
	Solution 3 : extraction frontale E : extraction frontale C : compactage intense	2 0 0 0 0 1 0			

C₁A₁s C₁B₅s	Ces sols sont difficiles à compacter	++	pluie forte	Situation ne permettant pas de maîtriser l'humidification des sols nécessaire pour permettre leur utilisation et risquant de conduire rapidement à des excès de teneur en eau	
	L'humidification pour changer d'état exigeant un malaxage au moins grossier du sol peut être rendue difficile par la présence des blocs. Si ce malaxage ne peut être réalisé il convient alors de laisser percoler l'eau à partir de la surface après avoir réalisé une scarification. Dans ce cas il convient d'observer un temps de percolation de plusieurs heures			Solution 1 : utilisation en l'état C : compactage intense H : remblai de hauteur faible (≤ 5 m)	
		+	pluie faible	Solution 2 : extraction en couches E : extraction en couches R : couches minces C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	1
				Solution 1 : utilisation en l'état C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	
		=	ni pluie, ni évaporation importante	Solution 2 : humidification W : humidification pour changer d'état R : couches minces C : compactage moyen	0

R₁₁	Ces matériaux se réemploient sans difficulté à condition que l'on obtienne à l'extraction une granulométrie assez continue et dont le diamètre des plus gros éléments ne gêne pas le réglage en couche mince ou moyenne. Des difficultés de circulation pour les engins à pneus peuvent cependant apparaître en cas de pluie du fait de la formation d'une pellicule glissante en surface.	++ + OU -	pluie forte pluie faible pas de pluie	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisantes R : couches moyennes C : compactage moyen R : couches moyennes C : compactage intense

R₂₁	Matériaux rocheux sains	++			0 1 0 0 0 2 0
R₄₁	Ces matériaux habituellement insensibles à l'eau, sont utilisables en remblais quelles que soient les conditions météorologiques	+ = ou -	toutes conditions météorologiques	G : élimination des éléments > 800 mm C : compactage moyen	
R₆₁					
n	Matériaux rocheux de dureté	Les conditions dépendant de la nature et de l'état du sol obtenu au chantier. Pas			

R₂₃
R₄₃
R₆₃

Matériaux rocheux "destructurés", évoluant en cours de chantier vers un sol fin souvent sensible à l'eau

Les conditions dépendent de la nature et de l'état du sol obtenu en chantier. A priori, ces matériaux peuvent se classer :

- pour R₂₃ : principalement en C, Bi ou D,
- pour R₄₃ : principalement en C, Bi, Bi, D, ou D,
- pour R₆₃ : toutes classes possibles

Dans chaque cas le géotechnicien doit préciser le sol le plus probable auquel on aboutit en fin de mise en œuvre

On se référera alors aux conditions d'utilisation de ce sol en y ajoutant systématiquement l'obligation d'une fragmentation complémentaire

Compactage des remblais

Prescriptions pour le compactage

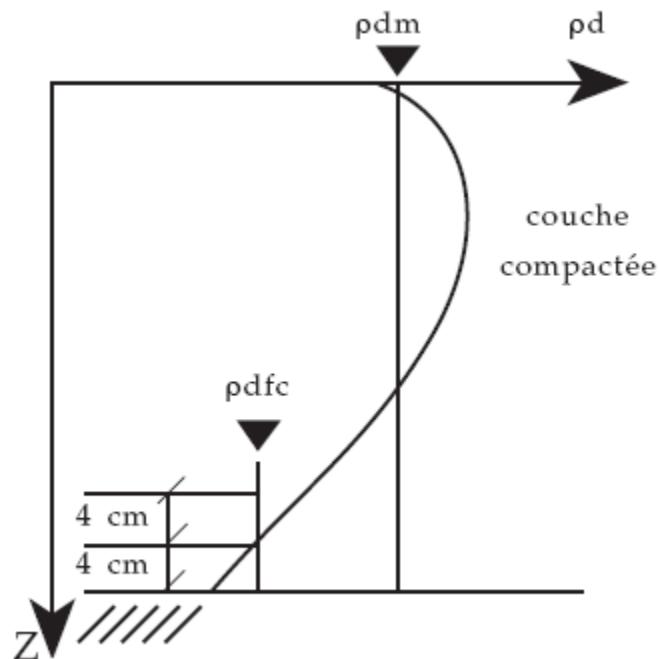
Elles sont fixées afin de :

- -limiter les tassements des corps des remblais et assurer leur stabilité
- Obtenir des caractéristiques suffisantes pour la mise en œuvre de la CDF

Deux objectifs de densification sont définis:

1. q 3: objectif requis pour la CDF
2. q4: objectif requis pour les remblais

répartition de la densité en fonction de la profondeur



Classement des compacteurs

- 1- compacteur à pneu (Pi)

ils sont classés 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

Classement des compacteurs

- 2- compacteur vibrant à cylindres lisses (Vi)
le classement se fait à partir du paramètre $(M_1/L)\sqrt{A_o}$ et
d'une valeur minimale pour A_o

M_1/L est exprimé en Kg/cm et A_o en mm conduisent aux
cinq classes définies ci-après:

$$V1 : (M1/L) \times \sqrt{A_0} \quad \begin{cases} \text{entre 15 et 25} & \text{et } A_0 \geq 0,6 \\ \text{supérieur à 25} & \text{et } A_0 \text{ entre 0,6 et 0,8} \end{cases}$$

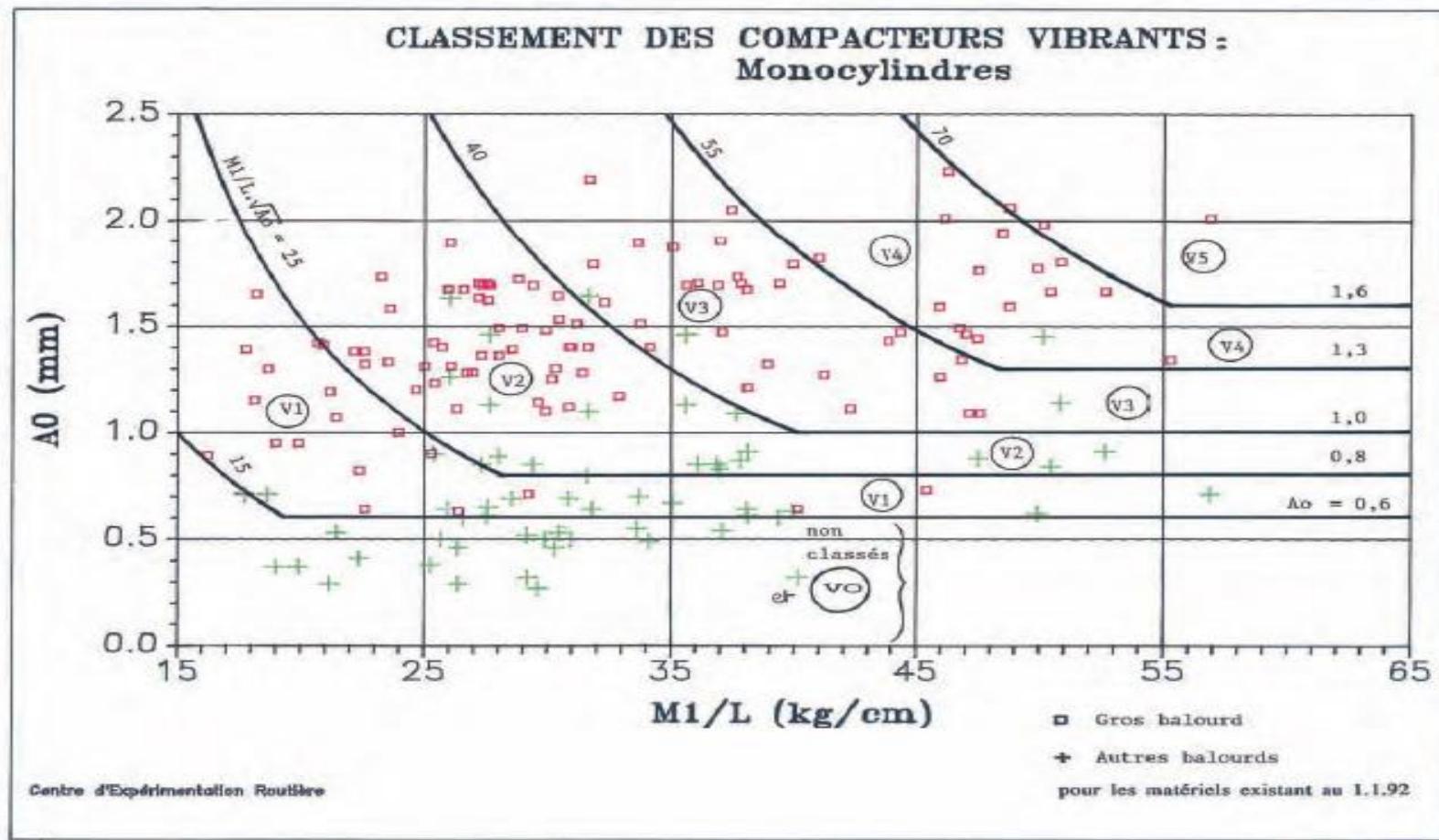
$$V2 : (M1/L) \times \sqrt{A_0} \quad \begin{cases} \text{entre 25 et 40} & \text{et } A_0 \geq 0,8 \\ \text{supérieur à 40} & \text{et } A_0 \text{ entre 0,8 et 1,0} \end{cases}$$

$$V3 : (M1/L) \times \sqrt{A_0} \quad \begin{cases} \text{entre 40 et 55} & \text{et } A_0 \geq 1,0 \\ \text{supérieur à 55} & \text{et } A_0 \text{ entre 1,0 et 1,3} \end{cases}$$

$$V4 : (M1/L) \times \sqrt{A_0} \quad \begin{cases} \text{entre 55 et 70} & \text{et } A_0 \geq 1,3 \\ \text{supérieur à 70} & \text{et } A_0 \text{ entre 1,3 et 1,6} \end{cases}$$

$$V5 : (M1/L) \times \sqrt{A_0} \quad \text{supérieur à 70} \quad \text{et } A_0 \geq 1,6$$

Une illustration graphique est donnée par la figure



Essai pour la détermination de A0

A0 peut être contrôlée par la méthode des coussins selon la norme NFP 98-761 "Essai de vérification du moment des excentriques des compacteurs vibrants".

La mesure de l'amplitude à vide A0 peut être réalisée à l'aide d'un vibrographe en faisant vibrer le compacteur sur des coussins pneumatiques (cf norme NFP 98 761).



Les paramètres définissant les modalités de compactage sont :

1-Le paramètre Q/S

Le nombre indiqué dans la partie supérieure de chaque case des tableaux représente une valeur du rapport Q/S

Q: représente le rythme de production de l'atelier

S: représente le rythme d'utilisation d'un compacteur

2- l'épaisseur compactée:

La valeur d'épaisseur compactée indique une valeur maximale.

Les paramètres définissant les modalités de compactage sont (suite):

3-La vitesse de translation

Ce paramètre influe sur l'efficacité des compacteurs en profondeur.

Les valeurs indiquées sont généralement des valeurs maximales à $\pm 10\%$.

Exemple de tableau

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			
	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	0.065				
	e	0.25	0.35	0.45	0		0.25	0.30	0.40	0.30	0.50	0.30	0.60	0		0.25	0.30	0.30	0.30	0.20	0.30	0	
	V	5.0	5.0	5.0	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	0		
Code 2	N	6	6	5	7		5	7	4	6	3	6	7		4	3	3	5	5	5			
	Q/L	225	325	475	80		165	130	300	170	400	200	80		215	350	520	320	560	5			
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		0.035				
	e	0.20		0.30	0		0.20	0.30		0.30	0.40		0.30	0.45		0.20	0.30	0.30	0.30	0.25			
	V	0		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)

0

compacteur ne convient pas

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

(†) 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).

2. Lecture des tableaux - Exemples d'application

* Cas des compacteurs P_i , $V1$, $V2$, Vpi , SPi et PQi (colonne unique).

Exemple : Sol B1, en remblai (qualité q4)

Modalités		Compacteur P_i
code 2 Le code à retenir provient des tableaux d'utilisation des sols (fonction de l'état hydrique et de la météo).	Q/S	0,060
	e	0,35
	V	5,0
	N	6
		Q/L
		300

Valeur (en m) constante quel que soit le choix d'épaisseur

e réel compacté $\leq e$ (en m)
c'est : la vitesse maximale pour les vibrants km/h
la vitesse moyenne pour les autres matériels

Nombre d'applications de charge :
arrondi supérieur de e réel/(Q/S), donné pour e tableau,
Si $e = 0,30$ alors $N = 5$
Débit par mètre de largeur
 $Q_{prat}/ = k \times (Q/L) \times L \times (N/n)$
Si $k = 0,6$ $L = 2$ m $N/n = 1$
 $Q_{prat} = 360 \text{ m}^3/\text{h}$

* Cas des compacteurs $V3$ à $V5$ (colonne dédoublée : encadrement des conditions possibles)

Exemple : SOL B1, en remblai

Modalités		Compacteur $V3$	
code 2	Q/S	0,135	
	e	0,30	0,80
	V	5	2
	N	3	6
		Q/L	675 270

Valeur constante quel que soit le choix du couple épaisseur/vitesse

Colonne de droite : choix V faible 2,0 km/h privilégiant e élevée (0,80 m)

Colonne de gauche : choix du débit maximal, avec V élevée bornée à 5 km/h au maximum et e fixée à 0,30 m

même règles de calcul que précédemment dans chaque colonne

On observe qu'une vitesse plus élevée s'accompagne nécessairement d'une épaisseur réduite, à cause du gradient de densité plus accentué dans la couche. Mais, moyennant le respect de ces conditions, le débit est cependant plus élevé.
Il est bien entendu interdit de panacher les chiffres en provenance des deux colonnes (l'épaisseur la plus élevée avec la vitesse la plus élevée).

Dans le cas où l'épaisseur nominale prévue (ou retenue) pour le chantier (e chantier) est comprise entre les deux épaisseurs ci-dessus, il est possible de déterminer les conditions optimales de comptage en calculant :

- la vitesse moyenne du compacteur vibrant à partir de la relation $V \times e = \text{cste}$ (les valeurs prises en compte sont celles données colonne de droite : V minimale et e maximale) :

$$V = \frac{X+V \times e}{e \text{ chantier}}$$

- Q/L à partir de la relation :

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

- N est toujours pris égal à : $\frac{e \text{ chantier}}{Q/S}$

Les valeurs ainsi calculées sont alors utilisées à titre de prescriptions comme si elles étaient directement lues dans les tableaux.

Ainsi dans l'exemple précédent, si l'épaisseur prévue pour le chantier est 0,50 m, il sera défini :

Modalités		V3
code 2	Q/S	0,135
	e	0,50
	V	3
	N	4
	Q/L	405

$$V = \frac{0,80 \times 2}{0,5} = 3,2 \text{ arrondi à } 3$$

$$V = \frac{0,5}{0,135} = 3,7 \text{ arrondi à } 4$$

$$Q/L = 1000 \times 3 \times 0,135 = 405$$

Exemple pratique