

# Classification des matériaux

par **Pierre ROSSI**

*Docteur en géologie. Responsable géotechnique  
de l'unité « Grands Travaux de Terrassement (Razel) »*

**Ludovic GAVOIS**

*Directeur du service géotechnique (GTM Terrassement)*

et **Guy RAOUL**

*Ingénieur de l'École spéciale des travaux publics,  
Ancien directeur de GTM Construction, coordinateur de ce dossier*

<b>1. Présentation du GTR .....</b>	<b>C 5 361 - 2</b>
<b>2. Apports innovants du guide GTR .....</b>	<b>— 2</b>
2.1 Classification des matériaux.....	— 2
2.2 Conditions de réutilisation en remblai et en couche de forme.....	— 2
2.3 Modalités de mise en œuvre et de compactage .....	— 2
<b>3. Classification des matériaux pour remblais et couches de forme.....</b>	<b>— 3</b>
3.1 Classification des matériaux selon leur nature.....	— 3
3.2 Classification des sols .....	— 4
3.3 Classification des matériaux rocheux .....	— 4
3.4 Classification des sols organiques et sous-produits industriels.....	— 6
<b>4. Conditions d'utilisation des matériaux en remblai .....</b>	<b>— 7</b>
<b>5. Condition d'utilisation des matériaux en couche de forme .....</b>	<b>— 7</b>
5.1 Terminologie .....	— 9
5.2 Nature et fonctions des structures .....	— 9
5.3 Conditions d'utilisation des matériaux en couche de forme .....	— 10
<b>6. Classement et dimensionnement des plates-formes.....</b>	<b>— 10</b>
6.1 PST et arase terrassement.....	— 10
6.2 Couche de forme et plate-forme support de chaussée.....	— 10
6.3 Dimensionnement de la couche de forme.....	— 14
<b>7. Compactage des remblais et des couches de forme .....</b>	<b>— 14</b>
<b>Pour en savoir plus.....</b>	<b>Doc. C 5 361</b>

**N**ous avons opté ici pour une présentation de la classification des matériaux selon le guide technique « Réalisation des remblais et des couches de forme ». Comme indiqué dans le dossier précédent [C 5 360], ce guide, plus particulièrement dédié aux travaux de terrassement d'infrastructures routières, constitue le document le plus complet qui étaye notre propos.

Le guide GTR s'appuie sur les retours d'expériences des chantiers concernant la réutilisation des matériaux et privilégie la mise en valeur des ressources rencontrées sur les sites, ce qui contribue à l'amélioration de l'économie et de la qualité environnementale des projets.

Dans sa première version de 1992, le guide GTR avait remplacé l'ancienne « Recommandation pour les terrassements routiers » (RTR) éditée en 1976.

Le guide GTR a fait l'objet de mises au point et de modifications mineures dans sa deuxième version rééditée en juillet 2000. Ce guide est aujourd'hui appliqué par l'ensemble de la profession (maîtrises d'ouvrages, maîtrises d'œuvres, ingénieries, entreprises) à la conception et à la construction d'ouvrages en terre dans le domaine des routes et autoroutes.

Dans les autres domaines, il est appliqué partiellement ou tient lieu pour le moins de règles de références, en complément à des prescriptions ou recommandations spécifiques à d'autres fonctions d'ouvrages.

Dans le domaine ferroviaire, il convient de citer le « Référentiel génie civil LGV ». Ce document en cours de révision intégrera une approche économique s'inspirant de références et de méthodes préconisées par le GTR qui n'est que partiellement appliqué dans ce cas.

Le présent dossier constitue une présentation synthétique et commentée de la classification selon le GTR auquel il conviendra de se reporter, plus particulièrement à son fascicule 2, pour une documentation plus détaillée.

## 1. Présentation du GTR

Le GTR comporte deux fascicules [1] :

- le fascicule 1 « Principes généraux » très utile à la compréhension de la méthodologie d'ensemble ;
- le fascicule 2 « Annexes techniques » qui constitue la partie opérationnelle du document dans laquelle on trouve, sous forme de tableaux, les éléments techniques nécessaires à l'étude et à la réalisation d'un projet.

Le guide s'intéresse à trois aspects :

- l'établissement d'une classification spécifique des matériaux répondant à une nécessité impérieuse en matière de construction d'ouvrages en terre ;
- les modalités de mise en œuvre des matériaux suivant l'utilisation concernée, remblai ou couche de forme ;
- des modalités pratiques d'exécution du compactage.

De ce fait, son application, enrichie d'informations et d'appréciations recueillies sur le terrain, est fondamentale pour élaborer et optimiser le mouvement des terres, en valorisant l'emploi des ressources du site.

Le GTR ne traite pas à ce stade des procédures et techniques de contrôle propres à la réalisation des remblais et des couches de forme (guide en cours d'élaboration). Actuellement, elles font l'objet de prescriptions spécifiques dans les marchés.

Soulignons également que le guide ne répond pas complètement à la résolution de certains éléments de conception des ouvrages en terre comme la stabilité des talus ou les dispositions constructives en matière de sols compressibles, par exemple, sur lesquels nous reviendrons dans les dossiers suivants.

## 2. Apports innovants du guide GTR

Le guide intègre l'acquis des expériences engrangées sur les chantiers et des progrès des techniques de réalisation.

### 2.1 Classification des matériaux

À titre documentaire, nous citons ci-après les principales améliorations apportées par le GTR par rapport à l'ancienne recommandation RTR de 1976 :

- la distinction nette entre les sols meubles et les terrains rocheux ;
- l'extension et la clarification du classement des matériaux de catégorie F : sols organiques et sous-produits industriels ;
- la prise en compte de la nature de la matrice (de la fraction fine argileuse ou sableuse) des sols grossiers ;

— l'utilisation de nouveaux paramètres plus significatifs (cf. définitions en [C 5 360]) pour juger des possibilités d'emploi des matériaux :

- paramètres d'identification des matériaux : la valeur au bleu de méthylène *VBS* pour les sols,
- paramètres d'états hydriques extrêmes : *th* (très humide) et *ts* (très sec),
- paramètres de comportement mécanique : *FS* (friabilité) pour les sables, *LA* (coefficient de Los Angeles) et *MDE* (coefficient micro-Deval en présence d'eau) pour les matériaux sablo-graveleux et les roches, *FR* (fragmentabilité) et *DG* (dégradabilité) pour les roches à caractère évolutif.

À noter également que la classification GTR propose, à partir de l'expérience acquise, de nouvelles fourchettes de valeurs d'essais déjà utilisés (l'indice de plasticité  $I_p$ , le pourcentage de passants granulométriques par exemple) à prendre en compte pour apprécier et différencier certaines catégories de matériaux.

### 2.2 Conditions de réutilisation en remblai et en couche de forme

#### ■ Remblai

Le GTR propose l'étude complémentaire de réutilisation de matériaux à caractère évolutif (roches carbonatées, argileuses, certaines roches siliceuses comme les poudingues...). Il recommande notamment l'application d'une nouvelle rubrique G concernant une action sur la granularité ( $D_{max}$ ) selon différentes techniques.

#### ■ Couche de forme

Le GTR développe notamment les possibilités d'amélioration des sols au niveau de la PST (partie supérieure des terrassements) et au niveau de la couche de forme, ce qui induit la valorisation, éventuellement par le traitement, de matériaux du site autrefois ignorés (sous-produits industriels, matériaux rocheux).

Citons particulièrement les applications suivantes :

- la classification de la PST (7 cas numérotés de 0 à 6) avec la prise en compte des paramètres de portance, de drainage et de traitement ;
- la définition des classes d'arase et de plate-forme pour leur prise en compte dans le dimensionnement des chaussées.

### 2.3 Modalités de mise en œuvre et de compactage

Le GTR innove avec la prise en compte :

- de la nature, de la puissance et de la vitesse d'avancement des compacteurs dans une nouvelle classification, avec notamment l'augmentation de la puissance de l'énergie de compactage pour les matériaux à l'état hydrique *s* (sec), les matériaux traités et les matériaux à caractère évolutif ;



3.2 Classification des sols

Elle comporte 4 classes :

- **A** sols fins ;
- **B** sols sableux et graveleux avec fines ;
- **C** sols comportant des fines et des gros éléments ;
- **D** sols insensibles à l'eau.

Le tableau synoptique de la figure 1 offre une bonne compréhension de la classification en fonction des paramètres de nature :

- $I_p$  indice de plasticité ;
- $VBS$  valeur au bleu de méthylène du sol ;
- seuils de granulométries.

La classification est effectuée par ailleurs selon l'état hydrique (sauf classe D) et selon le comportement (sauf classe A).

Pour une connaissance complète et détaillée, il est nécessaire de se référer au fascicule II du GTR qui présente la totalité des tableaux de classification des sols.

À titre d'exemple est extrait celui de la classe A (tableau 1).

3.3 Classification des matériaux rocheux

Le tableau synoptique (figure 1) représente aussi, mais de façon beaucoup plus succincte, la classification selon la nature des matériaux rocheux.

Il nous est apparu intéressant d'extraire la classification complète de la classe R correspondant à ces matériaux, d'autant plus qu'elle est inédite (tableau 2).

Tableau 1 – Classe A – Sols fins							
Classement selon la nature					Classement selon l'état hydrique		
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous-classe fonction de la nature	Caractères principaux (2)	Paramètres et valeurs de seuils retenus (1)	Sous-classe	
$D_{\max} \leq 50\text{ mm}$ et tamisat à $80\text{ }\mu\text{m} > 35\text{ }\%$	A sols fins	$VBS \leq 2,5$ ou $I_p \leq 12$	A <sub>1</sub>  Limons peu plastiques, loess, silts alluvionnaires, sables fins peu pollués, arènes peu plastiques...	Ces sols changent brutalement de consistance pour de faibles variations de teneur en eau, en particulier lorsque leur $W_N$ est proche de $W_{OPN}$ . Le temps de réaction aux variations de l'environnement hydrique et climatique est relativement court mais, la perméabilité pouvant varier dans de larges limites selon la granulométrie, la plasticité et la compacité, le temps de réaction peut tout de même varier assez largement. Dans le cas de ces sols fins peu plastiques, il est souvent préférable de les identifier par la valeur de bleu de méthylène $VBS$ , compte tenu de l'imprécision attachée à la mesure de $I_p$ .	$IPI \leq 3$ ou $W_N \geq 1,25\text{ }W_{OPN}$	A <sub>1</sub> th	
					$3 < IPI \leq 8$ ou $1,10\text{ }W_{OPN} \leq W_N < 1,25\text{ }W_{OPN}$	A <sub>1</sub> h	
					$8 < IPI \leq 25$ ou $0,9\text{ }W_{OPN} \leq W_N < 1,10\text{ }W_{OPN}$	A <sub>1</sub> m	
					$0,7\text{ }W_{OPN} \leq W_N < 0,9\text{ }W_{OPN}$	A <sub>1</sub> s	
					$W_N < 0,7\text{ }W_{OPN}$	A <sub>1</sub> ts	
					$IPI \leq 2$ ou $I_c \leq 0,9$ ou $W_N \geq 1,3\text{ }W_{OPN}$	A <sub>2</sub> th	
		$12 < I_p \leq 25$ ou $2,5 < VBS \leq 6$	A <sub>2</sub>  Sables fins argileux, limons, argiles et marnes peu plastiques, arènes...	Le caractère moyen des sols de cette sous-classe fait qu'ils se prêtent à l'emploi de la plus large gamme d'outils de terrassement (si la teneur en eau n'est pas trop élevée). Dès que $I_p$ atteint des valeurs $\geq 12$ , il constitue le critère d'identification le mieux adapté.	$2 < IPI \leq 5$ ou $0,9 < I_c \leq 1,05$ ou $1,1\text{ }W_{OPN} \leq W_N < 1,3\text{ }W_{OPN}$	A <sub>2</sub> h	
					$5 < IPI \leq 15$ ou $1,05 < I_c \leq 1,2$ ou $0,9\text{ }W_{OPN} \leq W_N < 1,1\text{ }W_{OPN}$	A <sub>2</sub> m	
					$1,2 < I_c \leq 1,4$ ou $0,7\text{ }W_{OPN} \leq W_N < 0,9\text{ }W_{OPN}$	A <sub>2</sub> s	
					$I_c > 1,4$ ou $W_N < 0,7\text{ }W_{OPN}$	A <sub>2</sub> ts	
					$IPI \leq 1$ ou $I_c \leq 0,8$ ou $W_N \geq 1,4\text{ }W_{OPN}$	A <sub>3</sub> th	
					$1 < IPI \leq 3$ ou $0,8 < I_c \leq 1$ ou $1,2\text{ }W_{OPN} \leq W_N < 1,4\text{ }W_{OPN}$	A <sub>3</sub> h	
		$25 < I_p \leq 40$ ou $6 < VBS \leq 8$	A <sub>3</sub>  Argiles et argiles marneuses, limons très plastiques...	Ces sols sont très cohérents à teneur en eau moyenne et faible, et collants ou glissants à l'état humide, d'où difficulté de mise en œuvre sur chantier (et de manipulation en laboratoire). Leur perméabilité très réduite rend leurs variations de teneur en eau très lentes, en place. Une augmentation de teneur en eau assez importante est nécessaire pour changer notablement leur consistance.	$3 < IPI \leq 10$ ou $1 < I_c \leq 1,15$ ou $0,9\text{ }W_{OPN} \leq W_N < 1,2\text{ }W_{OPN}$	A <sub>3</sub> m	
					$1,15 < I_c \leq 1,3$ ou $0,7\text{ }W_{OPN} \leq W_N < 0,9\text{ }W_{OPN}$	A <sub>3</sub> s	
					$I_c > 1,3$ ou $W_N < 0,7\text{ }W_{OPN}$	A <sub>3</sub> ts	
					Valeurs seuils des paramètres d'état, à définir à l'appui d'une étude spécifique.	A <sub>4</sub> th	
		A <sub>4</sub> h					
		A <sub>4</sub> m					
		A <sub>4</sub> s					

(1)  $W_N$  : teneur en eau naturelle,  $W_{OPN}$  : teneur en eau optimum Proctor normal,  $I_c$  : indice de consistance.

(2) Les paramètres inscrits en gras sont ceux dont le choix est à privilégier.

Tableau 2 – Classe R – Matériaux rocheux (évolutifs et non évolutifs)

Classement selon la nature			Classement selon l'état hydrique et le comportement		
Nature pétrographique de la roche		Caractères principaux	Paramètres et valeurs de seuils retenus	Sous-classe	
Roches sédimentaires	Roches carbonatées	<p>R<sub>1</sub> Craie</p> <p>La craie est un empilement de particules de calcite dont les dimensions sont de l'ordre de 1 à 10 µm. Cet empilement constitue une structure d'autant plus fragile que la porosité est grande (ou inversement que la densité sèche est faible). Les mesures et constatations de chantier ont montré que au cours des opérations de terrassement, il y a formation d'une quantité de fines en relation directe avec la fragilité de l'empilement. Lorsque la craie se trouve dans un état saturé ou proche de la saturation, l'eau contenue dans les pores se communique aux fines produites, leur conférant le comportement d'une pâte, qui s'étend rapidement à l'ensemble du matériau, empêchant la circulation des engins et générant des pressions interstitielles dans les ouvrages. Inversement, lorsque la teneur en eau est faible, la craie devient un matériau rigide, très portant mais difficile à compacter. Enfin, certaines craies, peu denses et très humides, peuvent continuer à se fragmenter, après mise en œuvre, sous l'effet des contraintes mécaniques et du gel, principalement.</p>	$\rho d > 1,7$	Craie dense	R <sub>11</sub>
			$1,5 < \rho d \leq 1,7$ et $W_N \geq 27$	Craie de densité moyenne	R <sub>12h</sub>
			$1,5 < \rho d \leq 1,7$ et $22 \leq W_N < 27$		R <sub>12m</sub>
			$1,5 < \rho d \leq 1,7$ et $18 \leq W_N < 22$		R <sub>12s</sub>
			$1,5 < \rho d \leq 1,7$ et $W_N < 18$		R <sub>12ts</sub>
			$\rho d \leq 1,5$ et $W_N \geq 31$	Craie peu dense	R <sub>13th</sub>
			$\rho d \leq 1,5$ et $26 \leq W_N < 31$		R <sub>13h</sub>
			$\rho d \leq 1,5$ et $21 \leq W_N < 26$		R <sub>13m</sub>
			$\rho d \leq 1,5$ et $16 \leq W_N < 21$		R <sub>13s</sub>
			$\rho d \leq 1,5$ et $W_N < 16$		R <sub>13ts</sub>
	R <sub>2</sub> Calcaires rocheux divers Exemples : — calcaires grossiers ; — travertins ; — tufs et encroûtements, etc...	<p>Cette classe regroupe l'ensemble de la gamme des matériaux calcaires rocheux. 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. 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>	$MDE \leq 45$	Calcaire dur	R <sub>21</sub>
			$MDE > 45$ et $\rho d > 1,8$	Calcaire de densité moyenne	R <sub>22</sub>
			$\rho d \leq 1,8$	Calcaire fragmentable	R <sub>23</sub>
	Roches argileuses	<p>R<sub>3</sub> Marnes Schistes sédimentaires Argillites Pelites</p> <p>Les matériaux de cette classe se caractérisent par le fait qu'ils possèdent une structure (le plus souvent carbonatée) plus ou moins résistante, dans laquelle sont emprisonnés, en proportion très variable (entre 5 et 95 % d'après ce qui est généralement admis), des minéraux argileux susceptibles d'être gonflants. Ils se fragmentent plus ou moins à la mise en œuvre, en libérant des fines, plastiques et sensibles à l'eau. La destruction de leur structure peut se poursuivre après la mise en œuvre sous l'action des contraintes mécaniques de l'eau et du gel. Cette évolution se produit d'autant plus, que les matériaux ont été moins fragmentés à la mise en œuvre, et que la granularité obtenue à ce stade est homogène. Pour les plus fragmentables d'entre eux (classe R<sub>34</sub>), il convient de caractériser l'état de leur fraction 0/50 mm.</p>	$FR \leq 7$ et $DG > 20$	Roche argileuse : peu fragmentable, très dégradable	R <sub>31</sub>
			$FR \leq 7$ et $5 < DG \leq 20$	Roche argileuse : peu fragmentable, moyennement dégradable	R <sub>32</sub>
			$FR \leq 7$ et $DG \leq 5$	Roche argileuse : peu fragmentable, peu dégradable	R <sub>33</sub>
			$FR > 7$ et $\begin{cases} W_N \geq 1,3 W_{OPN} \\ \text{ou } IPI < 2 \end{cases}$	Roche argileuse fragmentable	R <sub>34th</sub>
			$FR > 7$ et $\begin{cases} 1,1 W_{OPN} \leq W_N < 1,3 W_{OPN} \\ \text{ou } 2 \leq IPI < 5 \end{cases}$		R <sub>34h</sub>
			$FR > 7$ et $0,9 W_{OPN} \leq W_N < 1,1 W_{OPN}$		R <sub>34m</sub>
			$FR > 7$ et $0,7 W_{OPN} \leq W_N < 0,9 W_{OPN}$		R <sub>34s</sub>
			$FR > 7$ et $W_N < 0,7 W_{OPN}$		R <sub>34ts</sub>

(1) Suivant que la fragmentabilité est plus ou moins grande.

Tableau 2 – Classe R – Matériaux rocheux (évolutifs et non évolutifs) (suite)					
Classement selon la nature			Classement selon l'état hydrique et le comportement		
Nature pétrographique de la roche		Caractères principaux	Paramètres et valeurs de seuils retenus	Sous-classe	
Roches siliceuses	R <sub>4</sub> Grès Poudingues Brèches	Les matériaux de cette classe peuvent être assimilés à des conglomérats de grains de sable (cas des grès) ou de galets (cas des brèches et poudingues), liés entre eux par un ciment naturel de silice ou de calcite. La résistance plus ou moins grande de cette cimentation confère à ces matériaux des comportements variables (risques de réarrangements après mise en œuvre lorsqu'ils ne sont pas suffisamment compactés, en particulier). Si ces roches sont très fragmentables, leur évolution ultime s'arrête aux grains élémentaires cimentés. Certaines d'entre elles contiennent également une fraction argileuse suffisante pour leur conférer un comportement voisin des matériaux de la classe R <sub>34</sub> .	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	Roches siliceuses dures	R <sub>41</sub>
			LA > 45 ou MDE > 45 et FR ≤ 7	Roches siliceuses de dureté moyenne	R <sub>42</sub>
			FR > 7	Roches siliceuses fragmentables	R <sub>43</sub>
Roches salines	R <sub>5</sub> Gypse Sel gemme Anhydrite	Du point de vue mécanique, les matériaux de cette classe s'apparentent à ceux des classes R <sub>2</sub> et R <sub>3</sub> , mais en outre ils sont plus ou moins solubles dans l'eau et induisent, de ce fait, dans les ouvrages, des risques de désordre qui seront d'autant plus grands que : — la solubilité du sel soluble est grande ; — sa proportion contenue dans l'ensemble du matériau est élevée ; — la fragmentabilité à la mise en œuvre est faible (grande perméabilité de l'ouvrage).	Teneur en sel soluble { ≤ 5 à 10 % dans le cas du sel gemme (1) ≤ 30 à 50 % dans le cas du gypse (1)	Roches salines peu solubles	R <sub>51</sub>
			Teneur en sel soluble { > 5 à 10 % dans le cas du sel gemme (1) > 30 à 50 % dans le cas du gypse (1)	Roches salines très solubles	R <sub>52</sub>
Roches magmatiques et métamorphiques	R <sub>6</sub> Granite, basalte, trachyte, andésite... Gneiss, schistes métamorphiques, schistes ardoisiers...	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). Les matériaux de la classe R <sub>61</sub> et la majorité de ceux de la classe R <sub>62</sub> 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 <sub>63</sub> ont un comportement voisin des classes R <sub>34</sub> ou R <sub>43</sub> .	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	Roches magmatiques et métamorphiques dures	R <sub>61</sub>
			LA > 45 ou MDE > 45 et FR ≤ 7	Roches magmatiques et métamorphiques de dureté moyenne	R <sub>62</sub>
			FR > 7	Roches magmatiques et métamorphiques fragmentables ou altérées	R <sub>63</sub>

(1) Suivant que la fragmentabilité est plus ou moins grande.

La première étape consiste à définir la nature pétrographique de la roche.

La deuxième étape, qui étudie le comportement mécanique de la roche et l'incidence de l'état hydrique, est complexe car leurs effets peuvent être différents durant les phases successives du terrassement.

Les difficultés inhérentes aux **matériaux évolutifs** sont également à souligner.

Les paramètres utilisés, outre les états hydriques et les masses volumiques ( $\rho_d$  : masse volumique apparente d'un échantillon de roche déshydraté), sont :

- le coefficient Los Angeles (LA) ;
- le coefficient micro-Deval en présence d'eau (MDE) ;
- le coefficient de fragmentabilité (FR) ;
- le coefficient de dégradabilité (DG) ;
- la teneur en éléments solubles (% NaCl, gypse...) limitée au cas des roches solubles ;
- l'indice portant immédiat (IPI).

### 3.4 Classification des sols organiques et sous-produits industriels

Cette dernière catégorie constitue la classe F des sols organiques et sous-produits industriels que l'on trouve en France. Il s'agit de

matériaux particuliers dont les critères de possibilité d'emploi sont différents et spécifiques suivant la famille considérée.

Le classement GTR comprend 9 familles. Une définition générale de ces familles est présentée (tableau 3).

Le GTR définit la classification et les possibilités d'utilisation de ce type de matériaux sur la base de caractéristiques géotechniques et, pour certains, suivant leur origine, de caractéristiques spécifiques (d'ordre biochimique, par exemple). Il conviendra de vérifier particulièrement les caractéristiques des matériaux pouvant présenter des risques de pollution dans certaines conditions, de façon à éviter toute nuisance à l'environnement, dans le respect des normes en vigueur.

Le classement des matériaux est établi à partir de la prise en compte de paramètres divers adaptés à la famille concernée :

- la teneur en matières organiques (%MO) ;
- l'indice portant immédiat (IPI) ;
- les teneurs en eau naturelle et optimum Proctor normal ( $W_N$  et  $W_{OPN}$ ) ;
- la teneur en chlorure de sodium (NaCl) ;
- la teneur en éléments toxiques solubles ;
- la perte au feu à 500 °C (PF) ;
- la granularité définie par le  $D_{50}$  ;
- l'évaluation visuelle.

Tableau 3 – Classification générale des sols organiques et sous-produits industriels (classe F)

Famille de matériaux	Symbole	Paramètre(s) considéré(s) comme significatif(s) vis-à-vis du réemploi
Matériaux naturels renfermant des matières organiques	F <sub>1</sub>	Teneur en matières organiques puis examen de leurs caractéristiques géotechniques de manière analogue aux sols A, B ou C.
Cendres volantes silico-alumineuses	F <sub>2</sub>	Rapport entre leur teneur en eau naturelle et leur teneur en eau optimum Proctor normal et valeur de l' <i>IPI</i> à la teneur en eau naturelle.
Schistes houillers	F <sub>3</sub>	Taux de combustion et examen de leurs caractéristiques géotechniques de manière analogue aux sols A, B, C, D ou aux matériaux rocheux.
Schistes des mines de potasse	F <sub>4</sub>	Teneur en NaCl et, pour ceux à faible teneur, examen de leurs caractéristiques géotechniques de manière analogue aux sols A, B ou C.
Phosphogypse	F <sub>5</sub>	Mode d'obtention comportant ou non une neutralisation à la chaux, examen de la granulométrie et de la teneur en eau.
Mâchefers d'incinération d'ordures ménagères	F <sub>6</sub>	Taux d'imbrûlés et d'éléments solubles, qualité du déferailage, du criblage et de l'homogénéisation, durée du stockage, présence ou non de cendres volantes de combustion.
Matériaux de démolition	F <sub>7</sub>	Qualité du déferailage et de l'homogénéisation, présence d'éléments indésirables (plâtres, bois...), granulométrie.
Laitiers de hauts fournaux	F <sub>8</sub>	Caractéristiques géotechniques de manière analogue aux sols B, C, D, ou aux matériaux rocheux.
Autres sous-produits industriels	F <sub>9</sub>	Paramètres à définir à l'appui d'une étude spécifique.

Pour une documentation plus détaillée, on se référera aux tableaux présentés dans le fascicule II du GTR. Soulignons également qu'un prochain dossier dans cette rubrique sera consacré à un exposé sur le comportement particulier de certains matériaux, notamment ceux de la classe F.

## 4. Conditions d'utilisation des matériaux en remblai

La classification GTR permet de définir les modalités d'utilisation des matériaux en remblai en tenant compte de leur **état hydrique** constaté à l'extraction et de la **situation météorologique** qui modifie cet état au moment de la mise en œuvre des matériaux.

**Nota** : à noter que l'application du GTR concerne des hauteurs de remblai jusqu'à 15 m environ. Pour les remblais de grande hauteur ( $h \geq 15$  m), il est préconisé de réaliser des études complémentaires de stabilité de l'ouvrage.

Selon le GTR, les différentes situations météorologiques sont désignées par les signes ++, +, = et -. Ces symboles expriment le sens dans lequel a tendance à varier la teneur en eau en fonction de la situation météorologique :

- ++** exprime que la situation météorologique a pour effet d'accroître la teneur en eau du matériau de manière brutale et imprévisible. Ce cas est traduit dans les tableaux par l'expression « **pluie forte** » ;
- +** exprime que la situation météorologique a pour effet d'accroître la teneur en eau de manière lente et relativement prévisible. Ce cas est traduit dans les tableaux par l'expression « **pluie faible** » ;
- =** exprime que la situation météorologique n'a pas d'action sensible sur la teneur en eau du matériau considéré. Ce cas est traduit dans les tableaux par l'expression « **ni pluie – ni évaporation importante** » ;
- exprime que la situation météorologique a pour effet de diminuer la teneur en eau du matériau (il s'agit toujours d'une diminution qui peut être considérée comme relativement prévisible sous les climats français). Ce cas est traduit dans les tableaux par l'expression « **évaporation importante** ».

Une documentation appropriée permettant une étude plus approfondie des effets de la climatologie figure dans un autre guide, la recommandation « *Météorologie et terrassement* » éditée par le SETRA et le LCPC. Nous reviendrons sur ces notions dans un prochain dossier.

Les modalités d'utilisation des matériaux en remblai imposent des **conditions** qui concernent l'extraction, la granularité, la teneur en eau, le traitement, le réglage, le compactage et la hauteur des remblais.

À titre d'exemple, nous avons extrait du GTR le tableau d'application de ces règles aux sols fins de type A<sub>3</sub>, particulièrement délicats en utilisation. Le tableau 4 expose toutes les possibilités envisageables de réutilisation des matériaux de cette sous-classe.

L'interprétation et l'application de ce tableau nécessitent l'utilisation du tableau 5 qui explicite les différents stades codifiés des conditions pouvant être imposées pour l'utilisation des différents matériaux en remblai.

## 5. Conditions d'utilisation des matériaux en couche de forme

Suivant la définition proposée par le GTR, la couche de forme est une structure permettant d'adapter les caractéristiques aléatoires et dispersées des matériaux de remblais ou de déblais aux caractéristiques à caractère pérenne requises dans la conception de la chaussée.

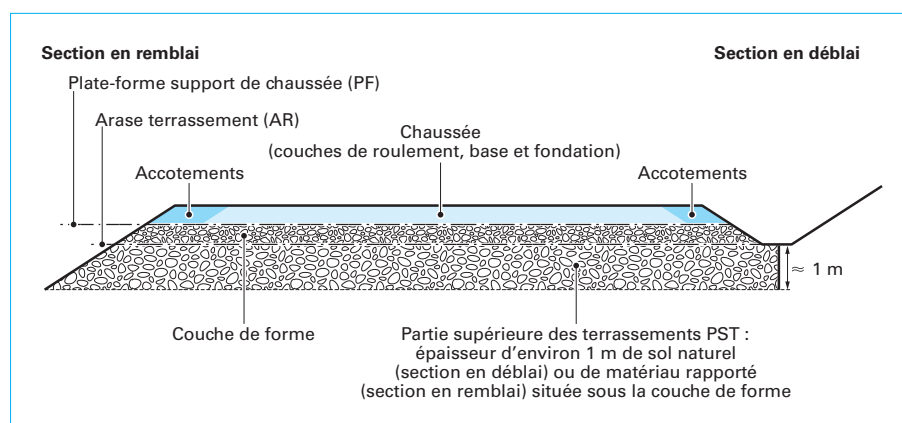
Le calcul et le choix de la structure de chaussée résultent de l'étude économique de l'ensemble terrassement/couche de forme/chaussée qui est réalisée pour optimiser le projet. Cette étude devra être validée sur le terrain en s'appuyant notamment sur des reconnaissances géotechniques et des planches d'essais.

La couche de forme constitue une couche support de la chaussée. Il est important de souligner que sa conception est indissociable des caractéristiques de la couche constituée par la partie supérieure des terrassements (PST).

Tableau 4 – Conditions d'utilisation des matériaux en remblai

Sol	Observations générales	Situation météorologique		Conditions d'utilisation en remblai	Code (1) E G W T R C H							
A <sub>3</sub> th	Sols normalement inutilisables en l'état				NON							
A <sub>3</sub> h	Sols difficiles à mettre en œuvre en raison : — de leur caractère collant ou glissant dû à leur grande plasticité et à leur faible perméabilité ; — de leur portance faible. La mise en dépôt provisoire n'est pas une solution dans le climat français moyen. Le drainage préalable ne permet pas de réduire utilement la teneur en eau <i>W</i> .	++	Pluie forte	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisantes	NON							
		+	Pluie faible	C : compactage faible H : remblai de hauteur faible (≤ 5 m)	0	0	0	0	0	3	1	
		=	Ni pluie, ni évaporation importante	Solution 1 : traitement T : traitement à la chaux C : compactage moyen	0	0	0	2	0	2	0	
				Solution 2 : utilisation en l'état C : compactage faible H : remblai de hauteur faible (≤ 5 m)	0	0	0	0	0	3	1	
		–	Évaporation importante	Solution 1 : traitement T : traitement à la chaux C : compactage moyen	0	0	0	2	0	2	0	
		Solution 2 : aération E : extraction en couches W : réduction de la teneur en eau par aération R : couches minces C : compactage moyen H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	1	0	1	0	1	2	2			
A <sub>3</sub> m	La plasticité de ces sols entraîne pour les remblais des risques de glissement d'autant plus grands que les remblais sont élevés, même dans les meilleures conditions ( <i>W</i> , météo) de mise en œuvre	++	Pluie forte	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisantes	NON							
		+	Pluie faible	C : compactage moyen H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	0	0	0	0	0	2	2	
		=	Ni pluie, ni évaporation importante	C : compactage moyen H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	0	0	0	0	0	2	2	
		–	Évaporation importante	Solution 1 : arrosage superficiel W : arrosage superficiel pour maintien de l'état R : couches minces C : compactage moyen H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	0	0	3	0	1	2	2	
				Solution 2 : utilisation en l'état C : compactage intense H : remblai de hauteur faible (≤ 5 m)	0	0	0	0	0	1	1	
A <sub>3</sub> s	Comme ci-dessus, la plasticité de ces sols, entraîne pour les remblais des risques de glissement d'autant plus grands que les remblais sont élevés. La forte cohésion de ces sols exige un fractionnement et un compactage énergique en couches minces. La portance élevée ne doit pas faire illusion vis-à-vis des tassements ultérieurs possibles. Le changement d'état pour humidification dans la masse ne constitue pas une modalité réaliste	++	Pluie forte	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisantes	NON							
		+	Pluie faible	E : extraction en couches R : couches minces C : compactage intense H : remblai de faible hauteur (≤ 5 m)	1	0	0	0	1	1	1	
		=	Ni pluie, ni évaporation importante	W : arrosage superficiel pour maintien de l'état R : couches minces C : compactage intense H : remblai de hauteur faible (≤ 5 m)	0	0	3	0	1	1	1	
		–	Évaporation importante	E : extraction frontale W : arrosage superficiel pour maintien de l'état R : couches minces C : compactage intense H : remblai de hauteur faible (≤ 5 m)	2	0	3	0	1	1	1	
A <sub>3</sub> ts	Sols normalement inutilisables en l'état				NON							
(1) L'interprétation et l'application de ce tableau nécessitent l'utilisation du tableau 5 qui explicite les différents stades codifiés des conditions pouvant être imposées pour l'utilisation des différents matériaux en remblai.												

(1) L'interprétation et l'application de ce tableau nécessitent l'utilisation du tableau 5 qui explicite les différents stades codifiés des conditions pouvant être imposées pour l'utilisation des différents matériaux en remblai.



**Figure 2 – Chaussée : PST, couche de forme et plates-formes**

**Tableau 5 – Récapitulatif des conditions pouvant être imposées pour utiliser les différents matériaux en remblai (tableau 4)**

Rubrique	Code	Conditions d'utilisation
<b>E</b> Extraction	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Extraction en couches (0,1 à 0,3 m)
	2	Extraction frontale (pour un front de taille > 1 à 2 m)
<b>G</b> Action sur la granularité	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Élimination des éléments > 800 mm
	2	Élimination des éléments > 250 mm pour traitement
	3	Fragmentation complémentaire après extraction
<b>W</b> 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
<b>T</b> Traitement	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Traitement avec un réactif ou un additif adaptés
	2	Traitement à la chaux seule
<b>R</b> Régilage	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Couches minces (20 à 30 cm)
	2	Couches moyennes (30 à 50 cm)
<b>C</b> Compactage	1	Compactage intense
	2	Compactage moyen
	3	Compactage faible
<b>H</b> Hauteur des remblais	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Remblai de hauteur faible ( $\leq 5$ m)
	2	Remblai de hauteur moyenne ( $\leq 10$ m)

## 5.1 Terminologie

Le schéma de la figure 2, tiré du GTR, permet de définir et de visualiser la partie supérieure des terrassements (PST) et la couche de forme qui constituent les couches supports d'une chaussée ainsi que les plates-formes correspondantes, l'arase terrassement (AR) et la plate-forme support de chaussée (PF).

## 5.2 Nature et fonctions des structures

### 5.2.1 PST et arase terrassement

Le niveau supérieur de la PST d'environ 1 m d'épaisseur constitue l'arase terrassement.

Le projet nécessite de viser un niveau de qualités requises pour cette plate-forme que le GTR a répertorié en différentes classes (cf. tableau 8). Dans la majorité des cas, l'arase terrassement fait l'objet d'une réception de travaux.

Les classes envisageables dépendent en premier lieu de la nature des matériaux rencontrés et de leur environnement hydrique. Mais les caractéristiques peuvent être améliorées par différentes techniques ou dispositions constructives, notamment :

- sélection des matériaux rapportés en remblai de PST ;
- dispositifs de drainage ;
- traitements à la chaux et/ou aux liants hydrauliques en déblai ou en remblai.

À noter que, dans la pratique, l'amélioration ne porte pas obligatoirement sur toute l'épaisseur de la PST, particulièrement en déblai et que les zones de transition déblai/remblai ainsi que les profils mixtes (pentes transversales) doivent faire l'objet d'études particulières.

En phase travaux, la PST en cours de confection et l'arase terrassement devront présenter des niveaux de portance suffisants pour assurer une traficabilité correcte des transports de matériaux.

L'apport des matériaux de couche de forme sera impérativement réalisé dans des conditions optimales, ce qui implique que la portance de l'arase des terrassements satisfasse à des seuils de modules de déformation.

À long terme, à partir de certaines classes de portance, l'arase terrassement participe, en association avec la couche de forme, à la structure de chaussée et concourt à l'optimisation du dimensionnement des couches de structure.

### 5.2.2 Couche de forme et plate-forme support de chaussée

Suivant les classes de matériaux reconnues sur le projet, la couche de forme est conçue, soit en matériaux naturels granulaires,

soit en matériaux traités, traitement à la chaux seule ou traitement mixte chaux-ciment ou liant hydraulique routier.

Lorsque les sites rencontrés comportent des gisements de matériaux rocheux aptes à être utilisés en couche de forme, celle-ci peut être le cas échéant conçue en matériaux extraits par déroctage (minage, fractionnement au marteau hydraulique ou rippage) et, éventuellement, élaborés par des opérations de criblage et de concassage.

Un choix économique entre les différentes solutions envisageables sera fait.

La couche de forme peut être limitée à l'apport d'une seule couche d'un matériau ou constituée d'une superposition de couches de matériaux différents incluant, par exemple, une couche « dimensionnante » de matériaux grossiers et une couche de réglage en matériaux plus fins facilitant la précision du nivellement de la plate-forme.

L'emploi d'un géotextile à la base de la couche, d'un enduit gravillonné sur la surface de la plate-forme support, peut être préconisé.

La couche de forme doit répondre à des objectifs à court terme et à long terme.

#### ■ Objectifs à court terme

Les objectifs à court terme sont énumérés ci-dessous :

- portance et nivellement de la plate-forme support de la chaussée ;
- protection du sol vis-à-vis des conditions météorologiques ;
- amélioration des conditions de traficabilité.

#### ■ Objectifs à long terme

Les objectifs à long terme sont :

- pérennisation des caractéristiques mécaniques ;
- homogénéisation de la portance de la plate-forme ;
- protection thermique des sols supports gélifs ;
- participation au dimensionnement de la chaussée ;
- contribution au drainage de la chaussée.

### 5.3 Conditions d'utilisation des matériaux en couche de forme

Les propositions du guide GTR sont basées sur l'étude du couple PST/couche de forme.

Deux notions successives sont à considérer :

- en premier lieu, les conditions d'utilisation en couche de forme envisageables pour les différentes classes de matériaux. C'est l'objet du présent paragraphe 5 ;
- en deuxième lieu, les critères relatifs à la participation de la couche de forme au dimensionnement de la structure de la chaussée, que nous aborderons dans le paragraphe 6.

#### Exemple d'application des conditions d'utilisation en couche de forme

De même que, pour la réutilisation des sols en remblai, nous avons extrait du guide GTR, à titre d'exemple, le tableau 6 qui indique les conditions d'utilisation des sols de classe A<sub>3</sub>.

La mise en œuvre en couche de forme des sols A<sub>3</sub>, nécessite la connaissance de leur état hydrique et de la situation météorologique au moment des travaux.

Les conditions d'utilisation sont liées à différentes techniques de préparation, l'action sur la granularité, l'action sur la teneur en eau, le traitement et la protection superficielle. Chaque technique comporte plusieurs possibilités codifiées, comme indiqué dans le tableau 7.

Les tableaux d'application par classes de matériaux comportent une colonne supplémentaire par rapport à ceux concernant l'utilisation en remblai. À des classes de PST et d'arase correspondantes sont associées des épaisseurs de couche de forme pour obtenir des classes de plate-forme souhaitées. Des possibilités de surclassement de portance des plates-formes sont envisageables en fonction de certaines règles (se référer au fascicule I du GTR).

L'approche du dimensionnement résultant de l'application de ce tableau doit être complétée et validée par les études de structure de chaussée qui se basent sur d'autres guides ou documents cités dans le paragraphe suivant.

## 6. Classement et dimensionnement des plates-formes

Le dimensionnement des couches de forme est fondé d'une part sur l'appréciation de nombreux paramètres (caractéristiques intrinsèques et/ou mécaniques des matériaux, gélivité...) et fait appel d'autre part à des disciplines complémentaires, notamment celles qui concernent les études de trafic, la conception des chaussées proprement dites, qui ne sont pas développées ici.

Le présent paragraphe ne présente que les grandes lignes qui permettent de distinguer les différentes classes de plates-formes en matériaux naturels et en matériaux traités.

### 6.1 PST et arase terrassement

■ **La PST** est différenciée en 7 cas, en déblai ou en remblai, répertoriés dans le tableau 8 tiré du fascicule 1 du GTR. Les cas de PST sont définis en termes qualitatifs et rapportés à des regroupements de classes de matériaux ainsi qu'à des conditions hydriques. Ils sont corrélés à une ou deux classes d'arase codifiées AR<sub>i</sub>, en tenant compte des améliorations apportées par différentes techniques indiquées dans la colonne commentaires (drainage, traitement, substitution, apport d'un géotextile).

■ **L'arase des terrassements**, qui constitue le sol support de la couche de forme, doit respecter les **seuils minimaux** suivants avant la mise en œuvre de cette dernière :

- pour une couche de forme granulaire :  $EV2 \geq 15$  à 20 MPa ;
- pour une couche de forme traitée :  $EV2 \geq 35$  MPa.

Ces seuils correspondent aux valeurs déterminées par des essais de déformation statique à la plaque EV2. Un autre type d'essai permet d'évaluer la portance des arases : le module dynamique mesuré à la dynaplaque. Les définitions de ces essais sont précisées en [Doc. C 5 361].

### 6.2 Couche de forme et plate-forme support de chaussée

La détermination des différentes classes de plates-formes est assujettie en premier lieu au respect des fonctions assurées par la couche de forme (cf. § 5.2.2) mais également à la satisfaction d'un certain nombre de critères que nous citons pour l'essentiel ci-après :

#### 6.2.1 Conditions du sol support avant la mise en œuvre de la couche de forme

Ces conditions doivent respecter les seuils minimaux indiqués précédemment au paragraphe 6.1.

Tableau 6 – Détermination de l'épaisseur de la couche de forme

Classe de sol	Observations générales	Situation météo- rologique (4)		Conditions d'utilisation en couche de forme	Code  GWTS	Épaisseur préconisée de la couche de forme <i>e</i> (en m) et classe PF de la plate-forme support de chaussée					
						PST n° 1	PST n° 2	PST n° 2 + 3		PST n° 4	
						AR1	AR1	AR1	AR2	AR2	
A <sub>3h</sub>	La sensibilité à l'eau et la plasticité élevée des sols de cette classe impliquent un traitement associant chaux et liant hydraulique pour pouvoir les utiliser en couche de forme.	+	Pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant(s)	NON	(1)					
		= ou -	Pas de pluie	<b>Solution 1</b> T : traitement mixte : chaux + liant hydraulique  S : application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté	0032		<i>e</i> = 0,35 PF2	<i>e</i> = 0,35 PF2	<i>e</i> = 0,35 PF3	<i>e</i> = 0,35 PF3	
				<b>Solution 2</b> T : traitement à la chaux seule  S : application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté	0042		(2) <i>e</i> = 0,5 PF2	(2) <i>e</i> = 0,5 PF2	(3)	(3)	
A <sub>3m</sub>	Pour les plus plastiques d'entre eux, un traitement à la chaux seule peut être envisagé, notamment s'il n'y a pas de risques d'apparition de gel peu après la réalisation. Ces sols se traitent exclusivement en place. Lorsqu'ils sont dans un état humide, la chaux est très efficace pour faciliter leur malaxage et ajuster leur état hydrique. Lorsqu'ils sont dans un état sec, leur emploi en couche de forme est à déconseiller en raison de la difficulté qu'il y a à les humidifier de manière homogène.	++	Pluie forte	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant(s)	NON						
		+ ou =	Faible pluie ou faible évaporation	<b>Solution 1</b> W : arrosage pour maintien de l'état hydrique  T : traitement mixte : chaux + liant hydraulique  S : application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté	0132		<i>e</i> = 0,35 PF2	<i>e</i> = 0,35 PF2	<i>e</i> = 0,35 PF3	<i>e</i> = 0,35 PF3	
				<b>Solution 2</b> W : arrosage pour maintien de l'état hydrique  T : traitement à la chaux seule  S : application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté	0142		(2) <i>e</i> = 0,5 PF2	(2) <i>e</i> = 0,5 PF2	(3)	(3)	
				-	Évaporation importante		Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant(s)	NON			
A <sub>3s</sub>	Sols normalement inutilisables en couche de forme										

- (1) Sur cette PST, la mise en œuvre d'un matériau traité répondant à une qualité « couche de forme » n'est pas réalisable. Procéder d'abord à un traitement selon une technique « remblai » et se rapporter alors au cas de PST n° 4 si l'effet du traitement est durable et aux cas de PST n° 2 ou 3 s'il ne l'est pas.
- (2) Mise en œuvre en 2 couches.
- (3) Solution de couche de forme peu appropriée, sauf à vouloir rechercher un surclassement en PF3 ou PF4, auquel cas on applique les règles de surclassement définies au § 3.4.2 du fascicule I « Principes généraux ».
- (4) Se reporter au paragraphe 4.

**Tableau 7 – Récapitulatif des techniques de préparation des matériaux pour emploi en couche de forme (1)**

Rubrique	Code	Technique de préparation des matériaux
<b>G</b> Action sur la granularité	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Élimination de la fraction 0/d sensible à l'eau
	2	Élimination de la fraction grossière empêchant un malaxage correct du sol
	3	Élimination de la fraction grossière empêchant un réglage correct de la plate-forme
	4	Élimination de la fraction 0/d sensible à l'eau et de la fraction grossière empêchant un réglage correct de la plate-forme
	5	Fragmentation de la fraction grossière pour l'obtention d'éléments fins
<b>W</b> Action sur la teneur en eau	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Arrosage pour maintien de l'état hydrique
	2	Humidification pour changer d'état hydrique
<b>T</b> Traitement	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Traitement avec un liant hydraulique
	2	Traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux
	3	Traitement mixte : chaux + liant hydraulique
	4	Traitement à la chaux seule
	5	Traitement avec un liant hydraulique et éventuellement un correcteur granulométrique
<b>S</b> Protection superficielle	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Enduit de cure éventuellement gravillonné
	2	Enduit de cure gravillonné éventuellement clouté
	3	Couche de fin réglage

(1) d diamètre maximal variable suivant la nature des matériaux, les conditions de mise en œuvre à respecter et les objectifs de fonctionnement de la couche de forme (portance, ancrage, réglage...).

## 6.2.2 Critères associés à la construction de la chaussée

■ **Nivellement de la plate-forme** support de chaussée avec une tolérance de précision pour laquelle le GTR indique une valeur de  $\pm 3$  cm. Dans la pratique, des seuils de tolérance plus restrictifs (par exemple  $\pm 1$  cm) pourront être prescrits, particulièrement lorsqu'il s'agira de matériaux traités.

■ **Déformabilité de la plate-forme** avant la mise en œuvre des couches de chaussée respectant des seuils mesurés sur différents types d'essais.

La portance des couches constituant une couche de forme et d'une plate-forme support de chaussée, au stade de la réception notamment, peut s'apprécier sur les résultats des types d'essais suivants (cf. définition en [Doc. C 5 361]) :

- le module de déformation statique à la plaque EV2 ;
- le module dynamique mesuré à la dynaplaque ;
- la déflexion mesurée sous un essieu de 13 t.

Ces essais sont utilisés dans la construction de couches de forme dans les ouvrages d'infrastructures (routières, ferroviaires, aéroportuaires...).

## 6.2.3 Critères relatifs aux matériaux de couche de forme

Les matériaux de couche de forme doivent répondre aux critères énoncés ci-après.

### ■ Matériaux granulaires

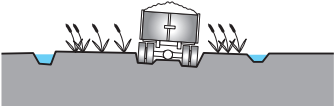
- Insensibilité à l'eau.
- Dimension des plus gros éléments (courbe granulométrique continue,  $D_{max}$ ,...).
- Résistance mécanique sous circulation des engins (LA, MDE,...).
- Insensibilité au gel le cas échéant (essais de gélifraction, de cryosuccion).

### ■ Matériaux traités

Pour ce type de couches de forme, on se reportera plus particulièrement au dossier spécifique suivant, dans cette rubrique les Techniques de l'Ingénieur, relatif au traitement des sols, et à l'utilisation du guide technique « *Traitements des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques* » [2].

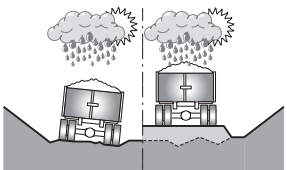
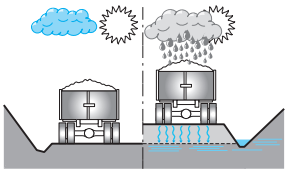
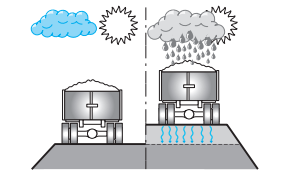
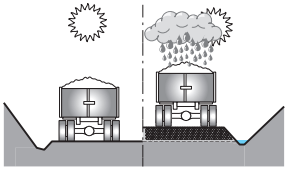
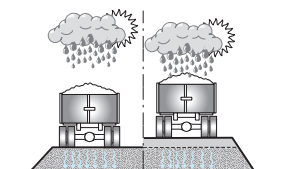
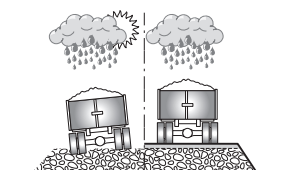
Le traitement approprié de certains matériaux s'avère indispensable pour permettre l'obtention des critères énoncés ci-avant pour les matériaux granulaires. À ce titre, les critères suivants doivent être visés.

**Tableau 8 – Différents cas possibles de PST**

Cas de PST	Schéma (1)	Description	Classe de l'arase	Commentaires
PST n° 0		<b>Sols</b> A, B <sub>2</sub> , B <sub>4</sub> , B <sub>5</sub> , B <sub>6</sub> , C <sub>1</sub> se trouvant dans un état hydrique (th). <b>Contexte</b> Zones tourbeuses, marécageuses ou inondables. PST dont la portance risque d'être quasi nulle au moment de la réalisation de la chaussée ou au cours de la vie de l'ouvrage.	<b>AR0</b>	La solution de franchissement de ces zones doit être recherchée par une opération de terrassement (purge, substitution) et/ou de drainage (fossés profonds, rabattement de la nappe...) de manière à pouvoir reclasser le nouveau support obtenu au moins en classe AR1.

(1) (A) Comportement de la PST à la mise en œuvre de la couche de forme. (B) Situation pendant la « phase de construction » de la chaussée.

Tableau 8 – Différents cas possibles de PST (suite)

Cas de PST	Schéma (1)	Description	Classe de l'arase	Commentaires
PST n° 1		<p><b>Sols</b> Matériaux des classes A, B<sub>2</sub>, B<sub>4</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub>, C<sub>1</sub>, R<sub>12</sub>, R<sub>13</sub>, R<sub>34</sub> et certains matériaux C<sub>2</sub>, R<sub>43</sub> et R<sub>63</sub> dans un état hydrique (h).</p> <p><b>Contexte</b> PST en matériaux sensibles de mauvaise portance au moment de la mise en œuvre de la couche de forme (A) et sans possibilité d'amélioration à long terme (B).</p>	AR1	Dans ce cas de PST, il convient : — soit de procéder à une amélioration du matériau jusqu'à 0,5 m d'épaisseur par un traitement principalement à la chaux vive et selon une technique remblai. On est ramené au cas de PST 2, 3 ou 4 selon le contexte ; — soit d'exécuter une couche de forme en matériau granulaire insensible à l'eau de forte épaisseur (en admettant une légère réduction si l'on intercale un géotextile anticontaminant à l'interface PST – couche de forme).
PST n° 2		<p><b>Sols</b> Matériaux des classes A, B<sub>2</sub>, B<sub>4</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub>, C<sub>1</sub>, R<sub>12</sub>, R<sub>13</sub>, R<sub>34</sub> et certains matériaux C<sub>2</sub>, R<sub>43</sub> et R<sub>63</sub> dans un état hydrique (m).</p> <p><b>Contexte</b> PST en matériaux sensibles à l'eau, de bonne portance au moment de la mise en œuvre de la couche de forme (A). Cette portance peut cependant chuter à long terme sous l'action des infiltrations des eaux pluviales et d'une remontée de la nappe (B).</p>	AR1	Bien que les exigences requises à court terme pour la plate-forme support puissent être éventuellement obtenues au niveau de l'arase, il est cependant quasiment toujours nécessaire de prévoir la réalisation d'une couche de forme. Si l'on peut réaliser un rabattement de la nappe à une profondeur suffisante, on est ramené au cas de PST 3.
PST n° 3		<p><b>Sols</b> Mêmes matériaux que dans le cas de PST 2.</p> <p><b>Contexte</b> PST en matériaux sensibles à l'eau, de bonne portance au moment de la mise en œuvre de la couche de forme (A) mais pouvant chuter à long terme sous l'action de l'infiltration des eaux pluviales (B).</p>	AR1 AR2	En l'absence de mesures de drainage à la base de la chaussée et d'imperméabilisation de l'arase, même situation que celle décrite dans le cas de PST 2. Classement en AR2 si des dispositions constructives de drainage à la base de la chaussée et d'imperméabilisation de l'arase permettent d'évacuer les eaux et d'éviter leur infiltration dans la PST.
PST n° 4		<p><b>Sols</b> Mêmes matériaux qu'en PST 1 sous réserve que la granularité permette leur traitement.</p> <p><b>Contexte</b> PST en matériaux sensibles à l'eau (en remblai ou rapportés en fond de déblai hors nappe) améliorés à la chaux ou aux liants hydrauliques selon une technique « remblai » et sur une épaisseur de 0,30 à 0,50 m. L'action du traitement est cependant durable.</p>	AR2	La portance de l'arase peut être localement élevée mais la dispersion n'autorise pas un classement supérieur. La décision de réalisation d'une couche de forme sur cette PST dépend du projet et des valeurs de portance de l'arase mesurées à court terme (après prise du liant).
PST n° 5		<p><b>Sols</b> B<sub>1</sub> et D<sub>1</sub> et certains matériaux rocheux de la classe R<sub>43</sub>.</p> <p><b>Contexte</b> PST en matériaux sableux fins insensibles à l'eau, hors nappe, posant des problèmes de traficabilité.</p>	AR2 AR3	La portance de l'arase de cette PST dépend beaucoup de la nature des matériaux. Classement en AR3 si le module EV2 de l'arase est supérieur à 120 MPa. Les valeurs de portance à long terme peuvent être assimilées aux valeurs mesurées à court terme. La nécessité d'une couche de forme sur cette PST ne s'impose que pour satisfaire les exigences de traficabilité.
PST n° 6		<p><b>Sols</b> Matériaux des classes D<sub>3</sub>, R<sub>11</sub>, R<sub>21</sub>, R<sub>22</sub>, R<sub>32</sub>, R<sub>33</sub>, R<sub>41</sub>, R<sub>42</sub>, R<sub>62</sub> ainsi que certains matériaux C<sub>2</sub>, R<sub>23</sub>, R<sub>43</sub> et R<sub>63</sub>.</p> <p><b>Contexte</b> PST en matériaux graveleux ou rocheux insensibles à l'eau mais posant des problèmes de réglage et/ou de traficabilité.</p>	AR3 AR4	Classement en AR3 si EV2 ≥ 120 MPa et en AR4 si EV2 ≥ 200 MPa. Les valeurs de portance à long terme peuvent être assimilées aux valeurs mesurées à court terme. La nécessité d'une couche de forme ne s'impose que pour les exigences à court terme (nivellement et traficabilité) et peut donc se réduire à une couche de fin réglage.

(1) (A) Comportement de la PST à la mise en œuvre de la couche de forme. (B) Situation pendant la « phase de construction » de la chaussée.

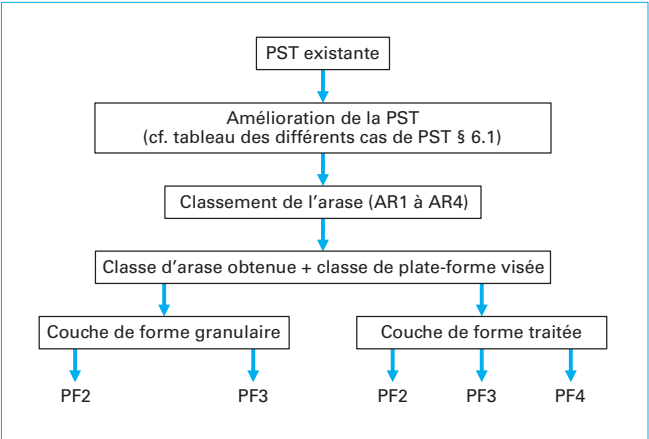


Figure 3 – Cheminement nécessaire au bon dimensionnement d’une couche de forme

- Insensibilité à l’eau par le traitement à la chaux seule ou traitement mixte chaux plus ciment ou chaux plus liant hydraulique routier, en vérifiant que la valeur de l’indice portant californien au CBR sous immersion à 4 jours (*CBR<sub>i</sub>*) rapportée à celle de l’indice portant immédiat (*IP<sub>i</sub>*) soit supérieur à 1.
- Respect du *D<sub>max</sub>* pour des raisons de réglage de la plate-forme (PF) et de malaxage homogène des matériaux (élimination de la ségrégation) et également pour des raisons de résistance au gel (gélifraction).
- Résistance mécanique (résistance à la compression *R<sub>c</sub>*, résistance à la traction *R<sub>t</sub>*, modules...).
- Insensibilité au gel (seuil d’essai de résistance à la traction type brésilien *R<sub>tb</sub>* ≥ 0,25 MPa, ou essai de cryosuccion).

6.3 Dimensionnement de la couche de forme

Le dimensionnement de la couche de forme est lié à l’environnement géologique et économique du projet sur lequel elle doit être exécutée.

La classe de plate-forme visée au projet est atteinte sur le chantier grâce à l’amélioration envisagée de la PST (cf. tableau 8 des différents cas possibles de PST) en vue d’obtenir le classement le plus approprié de l’arase support de la future couche de forme.

Le schéma ci-dessous (figure 3) synthétise et illustre le cheminement nécessaire au bon dimensionnement d’une couche de forme.

6.3.1 Détermination de l’épaisseur de la couche de forme

L’épaisseur préconisée de la couche de forme dépend :

- des cas de PST et de la portance à long terme de l’arase des terrassements ;
- des caractéristiques des matériaux constituant la couche de forme ;
- de l’objectif de classe de plate-forme que l’on se fixe.

La détermination de l’épaisseur de la couche de forme est expliquée dans le fascicule 1 du GTR et détaillée dans les tableaux du fascicule 2. Un exemple de dimensionnement concernant les sols *A<sub>3</sub>* a été donné dans le tableau 6 du présent document.

6.3.2 Intégration dans le calcul des structures de chaussées

Nous précisons cependant que les données fournies par le GTR conduisent aux différentes possibilités de dimensionnement technique des couches de forme. D’autres notions, liées à leur intégration dans le calcul des structures de chaussées, peuvent influencer sur ce dimensionnement. Notamment, en fonction des conditions climatiques d’un site donné exprimées sous la forme d’indices de gel, l’épaisseur de la couche de forme doit faire l’objet d’un calcul plus approfondi, basé sur les prescriptions d’autres guides et documents, plus particulièrement :

- le catalogue des structures de chaussées neuves [3] ;
- le guide technique de conception et dimensionnement des structures de chaussées [4] ;
- le guide technique de dimensionnement des renforcements des chaussées souples [5] ;
- le manuel de conception des chaussées d’autoroutes [6] ;
- le logiciel de calcul Alizé.

La détermination du dimensionnement économique de l’ensemble des structures sera réalisée par des études corrélées du « couple » couche de forme/couches de chaussées, tenant compte des contraintes particulières du projet et optimisant l’emploi des ressources du site. Ces études permettront de fixer l’objectif final de classe de plate-forme PF.

Les classes de plates-formes prises en compte dans les calculs de dimensionnement en fonction des modules de déformation réversibles sont rappelées par le GTR.

■ Classes des arases

Les portances à long terme des arases figurent ci-après (cf. fascicule 1 du GTR).

Module de calcul..... (MPa)	20	50	120	200
Classe de l'arase terrassement	AR1	AR2	AR3	AR4

■ Classes des plates-formes

Les portances à long terme des plates-formes figurent ci-après (cf. fascicule 1 du GTR).

Module de calcul..... (MPa)	20	50	120	200
Classe de plate-forme	PF1	PF2	PF3	PF4

Le cas particulier des couches de forme en matériaux traités est exposé dans le dossier suivant, qui développe les points les plus importants relatifs à l’ensemble de la problématique du traitement des matériaux.

7. Compactage des remblais et des couches de forme

Le dernier volet du guide GTR est consacré aux modalités d’exécution du compactage. Ce sujet sera développé dans les dossiers à paraître concernant l’exécution des travaux.

Les auteurs remercient Monsieur Hervé Havard, ingénieur-conseil, anciennement Adjoint du Directeur technique « Géotechnique du LCPC ».