

Chapitre IV :

CONDITIONS D'UTILISATION DES MATÉRIAUX

4.1. Conditions d'utilisation des matériaux en remblai :

4.1.1. 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 premier chapitre.

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.

4.1.2. Présentation des tableaux des conditions d'utilisation des matériaux en remblai :

Pour chaque classe ou sous-classe de matériaux définie dans la classification indiquent les conditions de mise en œuvre à respecter en fonction de la situation météorologique constatée au moment où le matériau est mis en remblai. Ne sont indiquées dans ces tableaux que les conditions particulières qui sont considérées comme nécessaires dans chaque cas à l'obtention de la qualité.

Les tableaux comportent cinq colonnes :

- **dans la 1ère colonne** est indiqué le cas envisagé, défini par la classe, la sous-classe et l'état du matériau.
- **la 2ème colonne** comporte, dans un but pédagogique, des observations générales sur le comportement du matériau considéré.
- **la 3ème colonne** concerne la situation météorologique durant l'extraction et la mise en remblai.
- **dans la 4ème colonne** figurent les conditions d'utilisation en remblai. Ces conditions s'appliquent au cas de matériau indiqué dans la première colonne dans l'hypothèse de la situation météorologique portée dans la troisième.
- **dans la 5ème colonne** figurent des codes correspondants aux différentes conditions d'utilisation. L'utilité de ces codes est notamment de permettre une formulation rapide des conditions d'emploi lorsqu'une grande variété de sols doit être prise en compte dans un projet ainsi qu'une détection immédiate des éléments qui différencient deux ou plusieurs solutions.

4.1.3. Commentaires sur les conditions d'utilisation présentées dans les tableaux :

Les conditions d'utilisation en remblai présentées dans les tableaux se groupent en sept rubriques symbolisées par une lettre.

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

4.1.4. Tableau récapitulatif des conditions pouvant être imposées pour utiliser les différents matériaux en remblai :

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 Régala	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 ($\leq 5m$)
	2	Remblai de hauteur moyenne ($\leq 10m$)

4.1.5. Exemple de tableau des conditions d'utilisation des matériaux en remblai :

(GTR : Fascicule 2 « Annexes Techniques » ; Annexe 2, page 25)

A_i (états th, h, m)

Sol	Observations générales	Situation météorologique		Conditions d'utilisation en remblai	Code E G W T R C H
A _i th	Sols normalement inutilisables en l'état La réduction de teneur en eau par une mise en dépôt provisoire ou drainage préalable (plusieurs mois) peut être envisageable après étude spécifique et permettrait de les ramener en A _i h				NON
A _i h	Ces sols sont difficiles à mettre en oeuvre en raison de leur portance faible	+	pluie faible	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisantes	NON
	Ils sont sujets au matelassage	=	ni pluie, ni évaporation importante	Solution 1 : traitement T : traitement avec un réactif adapté C : compactage moyen	0 0 0 1 0 2 0
	Le matelassage est à éviter au niveau de l'arase-terrassement	-	évaporation importante	Solution 1 : utilisation en l'état C : compactage faible H : remblai de faible hauteur (≤ 5m)	0 0 0 0 0 3 1
				Solution 2 : aération E : extraction en couches minces W : réduction de la teneur en eau par aération R : couches minces C : compactage moyen H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10m)	1 0 1 0 1 2 2
				Solution 3 : traitement T : traitement avec un réactif adapté C : compactage moyen	0 0 0 1 0 2 0
A _i m	Ces sols s'emploient facilement mais sont très sensibles aux conditions météorologiques qui peuvent très rapidement interrompre le chantier à cause d'un excès de teneur en eau ou au contraire conduire à un matériau sec difficile à compacter	++	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 (≤ 10m)	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 : arrosage superficiel W : arrosage superficiel pour maintien de l'état C : compactage moyen	0 0 3 0 0 2 0
				Solution 2 : utilisation en l'état C : compactage intense H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10m)	0 0 0 0 0 1 2
				Solution 3 : extraction frontale E : extraction frontale C : compactage intense	2 0 0 0 0 1 0

4.2. Conditions d'utilisation des matériaux en couche de forme :

4.2.1. Conception de la couche de forme :

A. Définition et nature de la couche de forme :

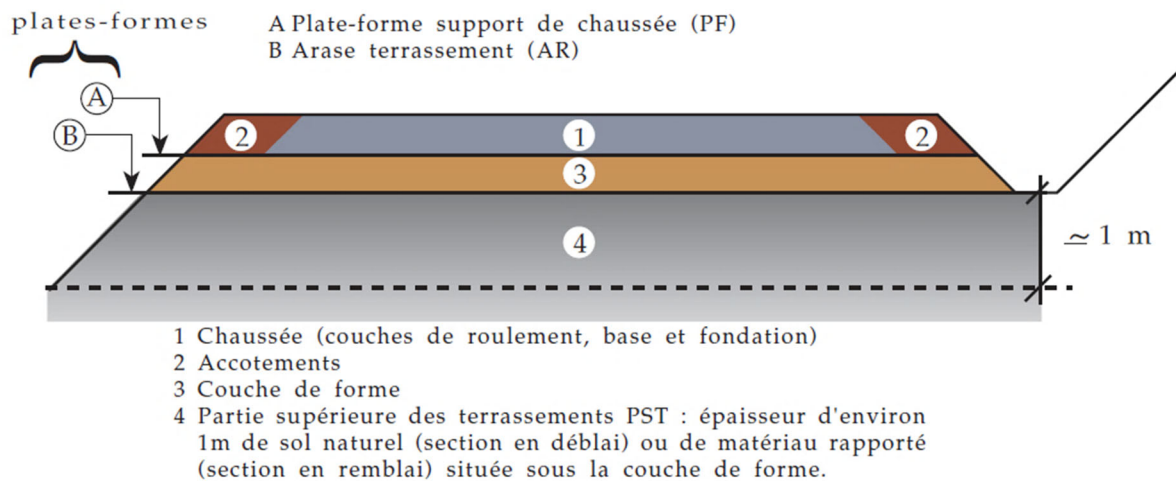
La couche de forme est une structure plus ou moins complexe permettant d'adapter les caractéristiques aléatoires et dispersées des matériaux de remblai ou du terrain en place, aux caractéristiques mécaniques, géométriques, hydrauliques et thermiques prises comme hypothèses dans la conception de la chaussée.

La surface supérieure de cette structure d'adaptation constitue la "plate-forme support de chaussée" (**PF**).

On désigne par Partie Supérieure des Terrassements ou **PST** la zone supérieure (environ un mètre d'épaisseur) des terrains en place (cas des profils en déblai) ou des matériaux rapportés (cas des profils en remblai). La plate-forme de la **PST** est l'Arase de terrassement **AR** (figure ci-dessous).

Selon les cas de chantier (nature des sols, climat, environnement hydrogéologique, trafic de chantier...) la couche de forme se présentera sous des formes différentes. Elle peut être :

- inexistante car inutile lorsque les matériaux constituant le remblai ou le sol en place ont eux-mêmes les qualités requises,
- limitée à l'apport d'une seule couche d'un matériau ayant les caractéristiques nécessaires ; c'est le concept traditionnel de la couche de forme,
- constituée d'une superposition de couches de matériaux différents répondant à des fonctions distinctes, incluant par exemple un géotextile, des matériaux grossiers, une couche de fin réglage, un enduit gravillonné... Cette association conçue rationnellement permet de former une structure d'adaptation dont la surface présente les caractéristiques requises pour une plate-forme support de chaussée.



B. Fonctions et conception de la couche de forme :

La couche de forme répond à la fois à des objectifs de court terme (vis-à-vis de la phase de réalisation de la chaussée) et de long terme (lorsque l'ouvrage est en service). Selon les cas de chantier, on cherchera à assurer, avec la couche de forme, l'ensemble ou certaines des fonctions suivantes.

A court terme :

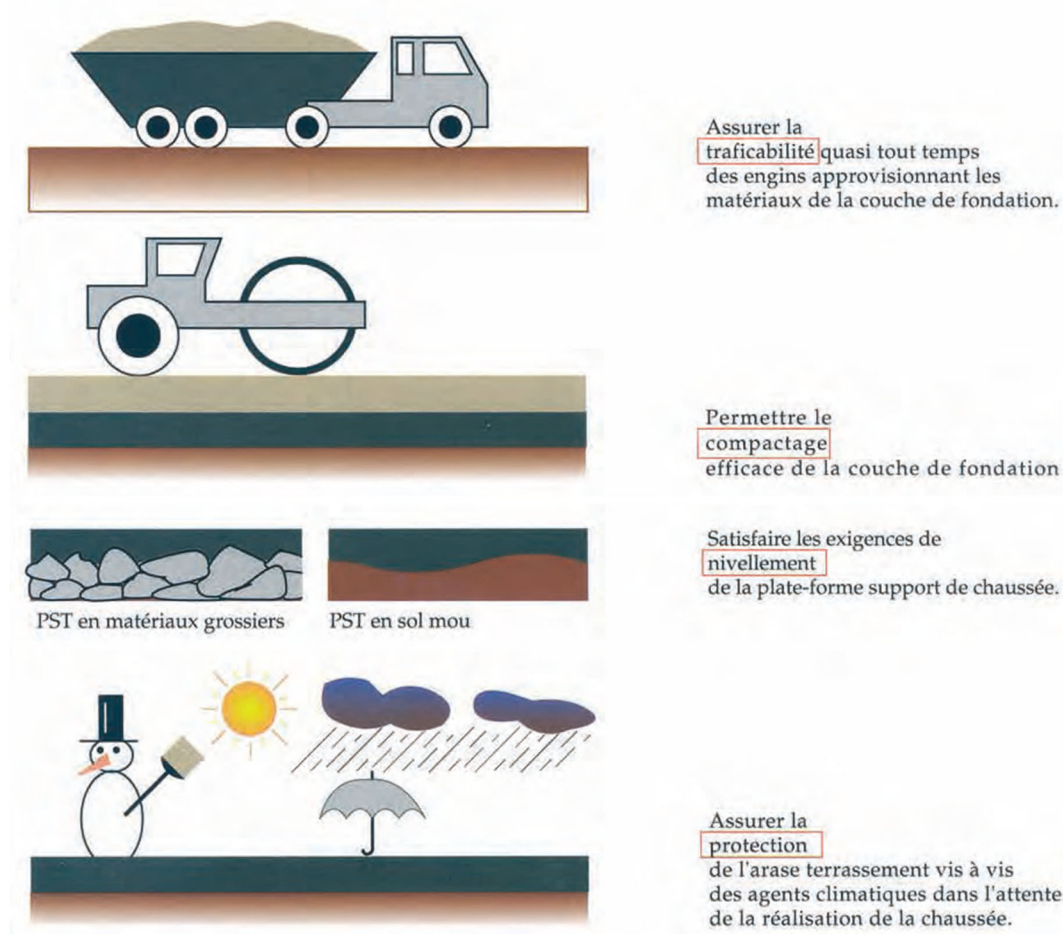
- un nivellement de la plate-forme support de chaussée permettant de réaliser la couche de fondation dans les tolérances d'épaisseur fixées,
- une portance suffisante, compte tenu en particulier des aléas météorologiques, pour une exécution correcte du compactage des couches de chaussées et l'obtention d'un bon uni,
- une protection du sol support vis-à-vis des intempéries,
- une traficabilité permettant la circulation, dans de bonnes conditions, des engins approvisionnant les matériaux de la couche de fondation,
- éventuellement supporter le trafic de chantier pour d'autres besoins.

A long terme :

- l'homogénéisation de la portance du support pour concevoir des chaussées d'épaisseur constante,

- le maintien dans le temps, en dépit des fluctuations de l'état hydrique des sols supports sensibles à l'eau, d'une portance minimale pouvant être estimée avec une précision suffisante au stade du dimensionnement de la structure de chaussée,
- une amélioration de la portance de la plate-forme pour optimiser le coût de l'ensemble couche de forme - structure de chaussée,
- la protection thermique des sols supports gélifs,
- une contribution au drainage de la chaussée,
- etc.

Les fonctions "à court terme" de la couche de forme



C. Critères associés à la construction de la chaussée :

Pour la réalisation des couches de chaussée, les exigences minimales préconisées antérieurement sont maintenues :

- la plate-forme support de chaussée doit être nivelée avec une tolérance de $\pm 3 \text{ cm}$,
- la déformabilité de la plate-forme, au moment de la mise en œuvre des couches de chaussée, doit être telle que :
 - le module **EV2** déterminé à la plaque, ou le module équivalent à la dynaplaque soit supérieure à 50 MPa
 - ou
 - la déflexion relevée au déflectographe Lacroix ou à la poutre Benkelman sous essieu de 13 tonnes soit inférieure à 2 mm.

4.2.2. Matériaux de couche de forme :

Pour qu'un matériau puisse être employé en couche de forme il faut qu'il satisfasse aux critères définis ci-après. Certains matériaux pourront être utilisés en l'état, d'autres pourront être rendus aptes à un emploi en couche de forme moyennant une modification de leur nature et/ou de leur état par une technique appropriée.

A. Critères à satisfaire :

Les critères à prendre en considération concernent :

- l'insensibilité à l'eau,
- la dimension des plus gros éléments,
- la résistance sous circulation des engins de chantier,
- l'insensibilité au gel, le cas échéant.

B. Techniques de préparation et de protection des matériaux pour emploi en couche de forme :

Ces techniques sont répertoriées et codifiées dans le tableau ci-dessous. Ce tableau est à l'image de celui relatif aux conditions d'utilisation des sols en remblai, mais ne comporte pas de rubrique sur les conditions de compactage. Le compactage exigé pour une couche de forme sera toujours poussé pour obtenir la qualité **q3** (objectif ordinairement requis pour les couches de forme), quels que soient les matériaux et la technique d'amélioration utilisée. Les valeurs des paramètres **e** et **Q/S** définissant le niveau de compactage requis sont données dans les tableaux compactage.

Les techniques considérées se rangent en quatre rubriques.

Tableau récapitulatif des techniques de préparation des matériaux pour emploi en couche de forme :

Rubrique	Code	Technique de préparation des matériaux
G Action sur la granularité	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Elimination de la fraction 0/d sensible à l'eau
	2	Elimination de la fraction grossière empêchant un malaxage correct du sol
	3	Elimination de la fraction grossière empêchant un réglage correct de la plate-forme
	4	Elimination 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
W 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
T 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
	6	Traitement avec un correcteur granulométrique
S 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

C. Conditions d'utilisation des matériaux en couche de forme :

A₃, A₄

Classe de sol	Observations générales	Situation météo- rologique		Conditions d'utilisation en couche de forme	Code GWTS	Epaisseur préconisée de la couche de forme e (en m.) et classe PF de la plateforme support de chaussée				
						PST n° 1	PST n° 2	PST n° 3		PST n° 4
						AR 1	AR 1	AR 1	AR 2	AR 2
A _{3h}	La sensibilité à l'eau et la plasticité élevée des sols de cette classe implique un traitement associant chaux et liant hydraulique pour pouvoir les utiliser en couche de forme. 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.	+	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	Solution 1 : T : Traitement mixte : chaux + liant hydraulique	0 0 3 2		e = 0,35 PF2	e = 0,35 PF2	e = 0,35 PF3	e = 0,35 PF3
				Solution 2 : T : Traitement à la chaux seule	0 0 4 2		(2) e = 0,5 PF2	(2) e = 0,5 PF2	(3)	(3)
A _{3m}	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	Solution 1 : W : Arrosage pour maintien de l'état hydrique	0 1 3 2		e = 0,35 PF2	e = 0,35 PF2	e = 0,35 PF3	e = 0,35 PF3
				T : Traitement mixte : chaux + liant hydraulique						
				Solution 2 : W : Arrosage pour maintien de l'état hydrique		0 1 4 2				
		T : Traitement à la chaux seule								
	-	évaporation importante	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant(s)	NON						
A _{3s}	Sols normalement inutilisables en couche de forme									
A ₄	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 appliquera les règles de surclassement définies au § 3.4.2 du fascicule I "Principes généraux".

4.2.3. Dimensionnement de la couche de forme :

A. Démarche pour fixer l'épaisseur :

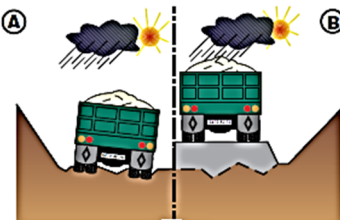
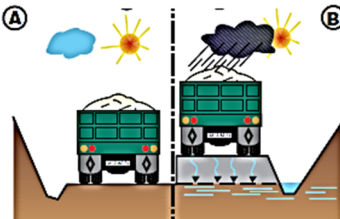
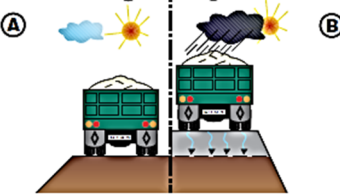
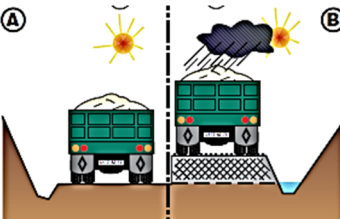
L'épaisseur de la couche de forme est déterminée au terme de la démarche suivante : La classification géotechnique des sols et les conditions hydriques intéressant le mètre supérieur supportant la couche de forme, zone appelée "Partie Supérieure des Terrassements" (PST), permettent de distinguer 7 cas, présentés dans le tableau ci-dessous. A chaque PST est associée une ou deux classe(s) de portance à long terme de l'arase de terrassement, notée (s) **ARi**. Pour chaque cas de PST et pour les différents matériaux de couche de forme, il est alors recommandé une épaisseur de couche de forme.

B. Les différents cas de Partie Supérieure des Terrassements (PST) :

Le tableau ci-dessous distingue, selon la nature des matériaux et l'environnement hydrique, 7 catégories de Partie Supérieure des Terrassements notées de **PST n° 0** à **PST n° 6**. Le cas de la **PST n° 0** correspond à une situation impropre à la réalisation d'une plateforme.

Les classes de portance de l'arase de terrassement introduites pour chaque cas de **PST** sont associées aux caractéristiques du sol support dites à long terme, c'est à-dire représentatives des conditions hydriques

défavorables que pourra connaître la plate - forme, pendant la durée de service de la chaussée (à l'exception du problème de gel-dégel traité à part). Le choix entre les classes **ARi** proposées est à faire selon les indications données dans la colonne commentaires du tableau.

Cas de P.S.T	Schéma	Description	Classe de l'arase	Commentaires
P.S.T. n°0		Sols A, B ₂ , B ₄ , B ₅ , B ₆ , C ₁ se trouvant dans un état hydrique (th). Contexte 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.	AR0	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.
P.S.T. n°1		Sols Matériaux des classes A, B ₂ , B ₄ , B ₅ , B ₆ , C ₁ , R ₁₂ , R ₁₃ , R ₃₄ et certains matériaux C ₂ , R ₄₃ et R ₆₃ dans un état hydrique (h). Contexte. 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).	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).
P.S.T. n°2		Sols Matériaux des classes A, B ₂ , B ₄ , B ₅ , B ₆ , C ₁ , R ₁₂ , R ₁₃ , R ₃₄ et certains matériaux C ₂ , R ₄₃ et R ₆₃ dans un état hydrique (m). Contexte 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).	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.
P.S.T. n°3		Sols Mêmes matériaux que dans le cas de PST 2. Contexte 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).	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 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.
P.S.T. n°4		Sols Mêmes matériaux qu'en PST 1 sous réserve que la granularité permette leur traitement. Contexte 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.	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).
P.S.T. n°5		Sols B ₁ et D ₁ et certains matériaux rocheux de la classe R ₄₃ . Contexte PST en matériaux sableux fins insensibles à l'eau, hors nappe, posant des problèmes de traficabilité.	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.
P.S.T. n°6		Sols Matériaux des classes D ₃ , R ₁₁ , R ₂₁ , R ₂₂ , R ₃₂ , R ₃₃ , R ₄₁ , R ₄₂ , R ₆₂ ainsi que certains matériaux C ₂ , R ₂₃ , R ₄₃ et R ₆₃ . Contexte PST en matériaux graveleux ou rocheux insensibles à l'eau mais posant des problèmes de réglage et/ou de traficabilité.	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.

(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.

C. Épaisseur préconisée pour la couche de forme :

L'épaisseur préconisée pour la couche de forme est fixée de sorte qu'elle :

- satisfasse aux divers critères de résistance permettant une mise en œuvre correcte des couches de chaussée,
- assure la pérennité d'une valeur minimale de portance à long terme de la plateforme. Cette épaisseur préconisée dépend :
- du cas de **PST** et de la portance à long terme au niveau de l'arase des terrassements,
- des caractéristiques du matériau constituant la couche de forme.

4.2.4. Classement des plates-formes pour le dimensionnement des structures de chaussée :

A. Portance à long terme de la plate-forme :

Pour le dimensionnement des structures de chaussée, la portance à long terme de la plate-forme support de chaussée est déterminée à partir du couple **PST** - couche de forme.

On distingue 4 classes de portance des plates-formes définies par des plages de valeur de module de déformation réversible, selon le découpage donné par le tableau suivant :

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

A défaut de pouvoir établir un diagnostic précis, on retiendra pour les calculs de chaussée, comme module d'Young du sol support les valeurs suivantes :

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

Pour les classes de plate-forme définies précédemment, on retiendra comme module d'Young dans le calcul pour représenter l'effet mécanique de la plate-forme support de chaussée, les valeurs correspondant à la limite basse de la classe :

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