

# **Dimensionnement des épaisseurs de couche de forme pour PF2qs**

**Complément au GTR et au GTS**

# Sommaire

<b>Contexte.....</b>	<b>2</b>
<b>1 - Dimensionnement d'une couche de forme composée de matériaux non traités en PF2qs .....</b>	<b>3</b>
<b>2 - Dimensionnement d'une couche de forme constituée de matériaux traités aux liants hydrauliques et/ou à la chaux en PF2qs .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 - Traitement aux liants hydrauliques éventuellement associés à la chaux.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 - Cas des matériaux A<sub>3</sub> traités à la chaux seule.....</b>	<b>4</b>
<b>3 - Performances mécaniques de la plate-forme.....</b>	<b>6</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>7</b>
<b>Abréviations, symboles, définitions.....</b>	<b>8</b>

## Contexte

La méthode française de dimensionnement des structures de chaussées neuves prend en considération :

- les paramètres précisés en amont du projet (durée de dimensionnement initiale, classe de trafic, etc.) ;
- les propriétés des matériaux de chaussée et la qualité de leur mise en œuvre ;
- les propriétés de la plate-forme support de chaussée, avec notamment sa classe à long terme.

Les classes de plate-forme sont définies dans le Guide des terrassements routiers (GTR) [1] de 2000. Ce guide distingue quatre classes selon les plages de valeur de leur module de déformation : la PF1 (entre 20 et 50 MPa), la PF2 (entre 50 et 120 MPa), la PF3 (entre 120 et 200 MPa) et la PF4 (>200 MPa).

La norme dimensionnement des structures de chaussées neuves [NF P 98-086](#) de 2011 a divisé la classe PF2 en deux classes : la PF2 (entre 50 et 80 MPa) et la PF2qs (PF2 de qualité supérieure, entre 80 et 120 MPa), ces classes sont notées PF2- et PF2+ dans certains guides régionaux de chaussées à faible trafic et PF<sub>2</sub> et PF<sub>23</sub> dans certains guides relatifs aux structures autoroutières.

La nouvelle classe PF2qs évoquée dans la norme [NF P 98-086](#) n'est pas prise en compte dans le GTR. Or, l'épaisseur de la couche de forme dépend de la classe de plate-forme visée.

Cette note d'information propose donc de compléter le GTR en préconisant l'épaisseur de la couche de forme selon :

- les caractéristiques du matériau (traité ou non traité) ;
- les cas de la partie supérieure de terrassement (PST1, PST2, PST3 et PST4) ;
- la portance au niveau de l'arase des terrassements (AR1 et AR2).  
afin de s'assurer de l'obtention des performances d'une classe PF2qs.

Les valeurs des épaisseurs ont été obtenues par deux approches :

- une approche théorique utilisant :

- Soit la formule de Gress pour les sols non traités : 
$$h = 0,7 \times \log \left[ \frac{\left( \frac{1}{e} - \frac{1}{E} \right)}{\left( \frac{1}{X} - \frac{1}{E} \right)} \right] + 0,3 \times \left( \frac{1}{e} - \frac{1}{X} \right)$$

Où h est l'épaisseur de la couche de forme calculée par la formule de Gress pour une classe de matériaux non traités donnée (m) ;

E : le module intrinsèque du matériau (MPa) ;

e : le module de déformation du sol support de la couche de forme (Module de l'arase de terrassement) (MPa) ;

X : le module de déformation de la plate-forme (80 MPa dans le cas d'une PF2qs) (MPa).

- Soit le logiciel ALIZE - LCPC pour les sols traités à la chaux et/ou aux liants hydrauliques.
- une approche empirique, issue de retours d'expérience du Cerema via une enquête.

# 1 - Dimensionnement d'une couche de forme composée de matériaux non traités en PF2qs

Les valeurs des épaisseurs préconisées de couche de forme en matériaux non traités permettant d'obtenir les performances d'une classe PF2qs sont surlignées dans le tableau suivant. Les conditions d'utilisation en couche de forme de certaines classes doivent être conformes au GTR [1] (Traitement avec un correcteur granulométrique, élimination de la fraction 0/d, élimination de la fraction grossière, etc).

La **valeur de référence** pour la PF2qs correspond à la **valeur maximale** de la fourchette donnée dans le tableau, sauf à disposer d'éléments spécifiques (planche d'essais ou retour d'expérience validé) autorisant une épaisseur minorée, comprise dans l'intervalle défini.

Classe de PF	Classe du matériau de la couche de forme	AR1			AR2	
		PST1	PST2	PST3	PST3	PST 4
PF2	R <sub>11</sub> , R <sub>22</sub> , R <sub>42</sub> , R <sub>62</sub>	0,70	0,50	0,40	0,30	*
	B <sub>11</sub> , B <sub>41</sub> , C <sub>1</sub> B <sub>21</sub> , C <sub>1</sub> B <sub>41</sub> , C <sub>1</sub> B <sub>51</sub> , C <sub>2</sub> B <sub>21</sub> , C <sub>2</sub> B <sub>41</sub> , C <sub>2</sub> B <sub>51</sub> , D <sub>11</sub>	0,80	0,50	0,40	0,30	*
	R <sub>21</sub> , R <sub>41</sub> , R <sub>61</sub>	0,60	0,50	0,40	0,30	*
	B <sub>31</sub> , C <sub>1</sub> B <sub>11</sub> , C <sub>1</sub> B <sub>31</sub> , C <sub>2</sub> B <sub>11</sub> , C <sub>2</sub> B <sub>31</sub> , D <sub>21</sub> D <sub>31</sub>	0,75	0,50	0,40	0,30	*
PF2qs**	B <sub>31</sub> , C <sub>1</sub> B <sub>31</sub> , C <sub>2</sub> B <sub>31</sub> , D <sub>21</sub> , D <sub>31</sub> , R <sub>21</sub> , R <sub>41</sub> , R <sub>61</sub> , C <sub>1</sub> B <sub>11</sub> , C <sub>2</sub> B <sub>11</sub> , R <sub>11</sub> , R <sub>42</sub> , R <sub>62</sub>	0,75 à <b>1,00</b>	0,65 à <b>0,75</b>	0,55 à <b>0,65</b>	0,35 à <b>0,40</b>	0,30 à <b>0,40</b>

**Tableau 1** : Épaisseur préconisée de la couche de forme (en m) en fonction de la plate-forme visée (PF2 et PF2qs), de la classe du matériau de la couche de forme, du cas de PST (PST1, 2, 3 et 4) et de l'arase de terrassement (AR1 et 2).

\* Une couche de forme conduisant à une PF2 peut se limiter à une couche de protection superficielle. Dans ce cas la couche traitée doit satisfaire aux spécifications des couches de forme définies dans le GTS (étude de formulation).

\*\* Le dimensionnement dépend de la qualité des matériaux de couche de forme. En l'absence d'information, telle que la réalisation d'une planche d'essais au début du chantier ou un retour d'expérience validé avec un matériau de même nature dans des conditions de chantier similaires, l'épaisseur maximale est à retenir.

En complément du GTR, pour la PF2qs, dans les cas AR1 et PST3/AR2, une réduction d'une épaisseur de l'ordre de 10 cm peut être admise si un géotextile adapté est intercalé entre la couche de forme et la PST.

Les valeurs d'épaisseur pour une plate-forme PF3 conformément aux règles de surclassement du GTR sont données dans le tableau 2. Néanmoins, **l'expérience a montré que pour certains matériaux, l'obtention d'une PF3 avec ces valeurs d'épaisseur est difficile**. Ces valeurs s'entendent donc sous réserve de vérification de la plate-forme support de chaussée, réserve d'ailleurs valable quelle que soit la plate-forme.

Classe de PF	Classe du matériau de la couche de forme	AR1	AR2
PF3	B <sub>31</sub> , C <sub>1</sub> B <sub>31</sub> , C <sub>2</sub> B <sub>31</sub> , D <sub>21</sub> , D <sub>31</sub> , R <sub>21</sub> , R <sub>41</sub> , R <sub>61</sub> , C <sub>1</sub> B <sub>11</sub> , C <sub>2</sub> B <sub>11</sub> , R <sub>11</sub> , R <sub>42</sub> , R <sub>62</sub>	<b>0,80</b>	<b>0,50</b>

**Tableau 2** : Épaisseur préconisée de la couche de forme (en m) pour une plate-forme PF3 en fonction de la classe du matériau de la couche de forme et de l'arase de terrassement (AR1 et 2) conformément aux règles de surclassement du GTR (cf. tableau 13, chapitre 3, fascicule 1 du GTR).

## 2 - Dimensionnement d'une couche de forme constituée de matériaux traités aux liants hydrauliques et/ou à la chaux en PF2qs

### 2.1 - Traitement aux liants hydrauliques éventuellement associés à la chaux

Les valeurs des épaisseurs préconisées de couche de forme en matériaux traités aux liants hydrauliques éventuellement associés à la chaux permettant d'obtenir les performances d'une classe PF2qs sont surlignées dans le tableau suivant :

Classe de l'arase		AR1 (> 35 MPa*)				AR2		
Classe mécanique du matériau de couche de forme	3	***	****	30 cm	40 cm	***	25 cm	30 cm
	4	30 cm	****	35 cm	45 cm**	25 cm	30 cm	35 cm
	5	35 cm	45 cm**	50 cm**	55 cm**	30 cm	35 cm	45 cm**
Classe de plate-forme obtenue		PF2	PF2qs	PF3	PF4	PF2qs	PF3	PF4

**Tableau 3** : Épaisseur préconisée de la couche de forme (en cm) selon la PF visée (PF2, PF2qs, PF3 et PF4), la classe mécanique du matériau traité aux liants hydrauliques éventuellement associés à la chaux (Classe 3, 4 et 5) et l'arase de terrassement (AR1 ou AR2).

\* Le module de déformabilité minimal de l'arase pour permettre la réalisation d'une couche de forme en sol traitée est de 35 MPa.

\*\* L'obtention de la compacité recherchée en fond de couche conduit généralement à une mise en œuvre en 2 couches.

\*\*\* En raison de l'importance du contraste des modules, la réalisation d'une couche de forme en matériau traité de classe mécanique 3, sur une arase AR1 ou AR2, n'est pas autorisée en dessous d'une épaisseur de 30 cm pour une AR1 et de 25 cm pour une AR2.

\*\*\*\* L'épaisseur minimale permet un reclassement dans la classe supérieure.

Dans la pratique, les solutions de couche de forme traitées aux liants hydrauliques visent prioritairement l'obtention de plates-formes de performances élevées (PF3 ou PF4), ce qui permet d'optimiser les structures de chaussées.

Il est recommandé de limiter l'obtention d'une PF2 ou PF2qs d'une couche de forme traitée à des chantiers spécifiques (voiries à faibles trafic, zone d'emprise restreinte, etc.).

### 2.2 - Cas des matériaux A<sub>3</sub> traités à la chaux seule

Les valeurs des épaisseurs préconisées de couche de forme en matériaux A<sub>3</sub> traités à la chaux seule permettant d'obtenir les performances d'une classe PF2qs sont surlignées dans le tableau suivant :

Classe de l'arase		AR1			AR2	
Cas de PST		PST1	PST2	PST3	PST3	PST4
Cas d'un sol de classe A <sub>3</sub> traité à la chaux seule****	PF2 [1]	*	50 cm	50 cm	**	**
	PF2qs***	*	60 cm	60 cm	45 cm	45 cm
	PF3 [1]	*	70 cm	70 cm	50 cm	50 cm

**Tableau 4** : Epaisseur préconisée de la couche de forme (en cm) selon la PF visée, le cas de PST et l'arase de terrassement

\* Sur cette PST, la mise en œuvre d'un matériau traité répondant à une qualité "couche de forme" n'est pas réalisable.

\*\* Solution de couche de forme peu appropriée sauf à vouloir rechercher un surclassement en PF2qs ou PF3.

\*\*\* Sous réserve de l'obtention de  $I_{CBR} \geq 20$ ,  $I_{CBR} / IPI \geq 1$  et  $R_c \geq 2.5$  MPa, ainsi que la réalisation d'une étude de gonflement au gel selon [NF P98-234-2](#) pour les sols traités à la chaux seule.

\*\*\*\*L'obtention de la compacité recherchée en fond de couche conduit généralement à une mise en œuvre en 2 couches.

### 3 - Performances mécaniques de la plate-forme

A défaut d'autres valeurs, le guide du traitement des sols (GTS) [2] propose des seuils de déflexion par classe de plate-forme (pour les classes PF2, PF3 et PF4) en fonction du type de traitement et à 28 jours de cure (cf. Tableau 5). Cette note d'information complète ce tableau en y ajoutant la classe PF2qs.

Pour certaines infrastructures (autoroutes, lignes ferroviaire à grande vitesse, etc.), les référentiels techniques proposent des seuils différents, plus faibles, de ceux du GTS.

Couche de forme	Non traitée**	Traitée à la chaux seule**	Traitée au liant hydraulique (éventuellement associé à la chaux)
PF2*	2,0	1,2	0,8
PF2qs	1,25	1,0	0,7
PF3*	0,9	0,8	0,6
PF4*	/	/	0,5

**Tableau 5** : Déflexion maximale (mm) sous un essieu de 130 KN

\* Valeurs issues du GTS

\*\* Il est rappelé que la mesure au déflectographe (ou d'une méthode équivalente) est peu adaptée pour la réception des couches de formes non traités.

L'analyse en continu des mesures de déflexion à l'aide d'un déflectographe (ou d'une méthode équivalente) permet de définir des zones homogènes. Ces zones homogènes sont notamment caractérisées par la déflexion caractéristique ( $d_c$ ). La déflexion caractéristique correspond à la moyenne arithmétique des valeurs de déflexion mesurées ( $d_m$ ) sur la zone homogène, augmentée de deux fois l'écart type ( $\sigma$ ), conformément à la norme [NF P98-200-1](#) ( $d_c = d_m + 2\sigma$ ).

Le calcul statistique de l'écart type nécessite un grand nombre de données. La définition de la déflexion caractéristique n'est donc possible que sur des sections de longueur suffisante pour faire passer un déflectographe. Le cas échéant, la déflexion caractéristique permet de détecter les anomalies par rapport au seuil défini.

Dans le cas où la section à contrôler est plus petite (où seules des mesures ponctuelles à la poutre Benkelman sont réalisées), la détermination d'une déflexion caractéristique n'est pas possible. Les seuils de réception stipulés dans le marché doivent donc être exprimés en valeur absolue. Ces seuils doivent être fixés par un géotechnicien en se basant sur l'expérience du comportement des matériaux utilisés. Ils peuvent être plus faibles que ceux définis par le GTS.

# Bibliographie

## Guides techniques, méthode d'essai et notes d'information

- [1] Sétra-LCPC (2000) - Guide technique - Réalisation des remblais et des couches de forme Fascicule 1 : principes généraux et Fascicule 2 : annexes techniques **(GTR)**.
- [2] Sétra-LCPC (2000) - Guide technique – Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques – Application à la réalisation des remblais et des couches de forme **(GTS)**.

## Normes

NF P 98-086 ; (2011), Dimensionnement structurel des chaussées routières - Application aux chaussées neuves

NF P98-234-2 ; (1996), Essais relatifs aux chaussées - Comportement au gel - Partie 2 : essai de gonflement au gel des sols et matériaux granulaires traités ou non de D inférieur ou égal 20 mm.

NF P98-200-1 ; (1991), Essais relatifs aux chaussées - Mesure de la déflexion engendrée par une charge roulante - Partie 1 : définitions, moyens de mesure, valeurs caractéristiques.

## Abréviations, symboles, définitions

AR	Arase des terrassements ;
$d_c$	Déflexion caractéristique sur une section : $d_c = d_m + 2\sigma$ , avec $\sigma$ l'écart type des déflexions sur la section considérée ;
$d_m$	Déflexion moyenne : moyenne arithmétique des mesures de déflexion réalisées en des points régulièrement répartis sur une section unitaire d'une certaine longueur ;
GTR	Guide technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme ;
GTS	Guide technique pour le traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques ;
$I_{CBR}$	Indice portant CBR ;
IPI	Indice portant immédiat ;
PST	Partie supérieure des terrassements ;
PF	Plate-forme support de chaussée ;
$R_c$	Résistance à la compression (MPa).

Cette note d'information « Chaussées - Plates-Formes - Assainissement » est publiée dans

## la collection « Références » du Cerema

Cette collection regroupe l'ensemble des documents de référence portant sur l'état de l'art dans les domaines d'expertise du Cerema (recommandations méthodologiques, règles techniques, savoir-faire...), dans une version stabilisée et validée. Destinée à un public de généralistes et de spécialistes, sa rédaction pédagogique et concrète facilite l'appropriation et l'application des recommandations par le professionnel en situation opérationnelle.

Les notes d'information sont destinées à fournir une information rapide sur un sujet donné. Elles font l'état de connaissances, d'études, de réflexion, d'expériences ou de techniques à la date de leur parution, sachant que leur actualité et leur contenu doivent être appréciés en fonction d'évolutions réglementaires ou techniques plus récentes.

### Collection Références

ISSN : 2276-0164  
ISBN :  
978-2-37180-152-3

*Ce document ne peut engager la  
responsabilité de son rédacteur  
ni du Cerema.*

*Les sociétés citées le cas  
échéant dans cette série  
le sont à titre d'exemple  
d'application jugé nécessaire à la  
bonne compréhension du texte et  
à sa mise en pratique.*

©2017 – Cerema  
La reproduction totale ou  
partielle du document doit  
être soumise à l'accord  
préalable du Cerema

### Rédacteurs

Yasmina BOUSSAFIR (IFSTTAR), Nicolas BUCHART (Cerema Ouest), Sébastien HERVE (Cerema Ouest), Thibaut LAMBERT (Cerema Est), Alexandre LEDUC (Cerema Infrastructures de transport et matériaux), Thomas LENOIR (IFSTTAR), Anthony MATYNIA (Cerema Infrastructures de transport et matériaux), Mathieu PRETESEILLE (Cerema Infrastructures de transport et matériaux).

### Remerciement

Merci à Rolf KOBISCH (IFSTTAR) pour son aide dans la rédaction de ce document.

Aménagement et développement des territoires, égalité des territoires - Villes et stratégies urbaines - Transition énergétique et changement climatique - Gestion des ressources naturelles et respect de l'environnement - Prévention des risques - Bien-être et réduction des nuisances - Mobilité et transport - Gestion, optimisation, modernisation et conception des infrastructures - Habitat et bâtiment