

## **Récapitulatif sur le dimensionnement des structures de chaussées et la vérification au gel**

### **1. La norme sur le dimensionnement des structures de chaussées**

Le dimensionnement des différentes structures de chaussées est réalisé suivant la norme NF P98-086 « Dimensionnement structurel des chaussées routières : application aux chaussées neuves » (octobre 2011). En France, la température équivalente ( $\theta_{eq}$ ) pour le dimensionnement des chaussées est égale à 15°C.

### **2. Le trafic**

Le trafic poids lourds devant emprunter la chaussée durant sa durée de dimensionnement, exprimé par le nombre cumulé de poids lourds  $N_{PL}$  est converti en nombre équivalent NE de passages de l'essieu de référence. Le calcul est basé sur un coefficient d'équivalence appelé coefficient d'agressivité moyen du trafic, noté CAM dont les valeurs sont précisées dans le Tableau 1.

NE est calculé avec l'équation suivante :

$$NE = N_{PL} * CAM$$

Où  $N_{PL}$  est le nombre de poids-lourds calculé pour la durée de dimensionnement  $d$  et CAM est le coefficient d'agressivité moyen du trafic.

Le nombre de poids lourds sur la durée de dimensionnement  $N_{PL}$  est calculé de la façon suivante :

$$N_{PL} = MJA * 365 * C$$

Où

- MJA est le nombre de poids lourd par jour (Moyenne Journalière Annuelle)
- C est l'accroissement

Si le taux d'accroissement est arithmétique, alors

$$C = d + \frac{d * (d - 1) * \tau}{2}$$

Si le taux d'accroissement est géométrique, alors

$$C = \frac{(1 + \tau)^d - 1}{\tau}$$

Où :

- d est la durée de dimensionnement (ex : 20 ans pour les VRNS [Voie du réseau non structurant]) et 30 ans pour les VRS [Voie du réseau structurant])

- $\tau$  est le taux d'accroissement

Tableau 1. Valeurs des coefficients CAM

Alizé-Lcpc - Cam, valeurs de la norme NF P98-086 (annexe C informative)

**Classes de trafic**

Classe	T5	T4	T3	T3-	T3+	T2	T2-	T2+	T1	T1-	T1+	T0	T0-	T0+	TS	TS-	TS+	TEX
Mg	5	35	65	115	175	245	390	500	615	950	1550	2450	3875	5920				
TMJA	1	25	50	85	150	200	300		500	750	1200	2000	3000	5000			7000	

**Chaussées en milieu péri-urbain et rase campagne**

	Chaussées à caractère non autoroutier						Chaussées à caractère autoroutier					
	T5	T4	T3-	T3+	T2	T1	T0	T2	T1	T0	TS	TEX
Matériaux bitumineux	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5						0,8	
Mat. traités liants hydrau. et bétons	0,4	0,5	0,6	0,6	0,8						1,3	
Gnt et sol	0,4	0,5	0,6	0,75	1,0						1,0	

**Chaussées en milieu urbain**

	Voie de desserte	Voie de distribution	Voie principale à trafic lourd
Matériaux bitumineux	0,1	0,2	0,2
Mat. traités liants hydrau. et bétons	0,1	0,2	0,4
Giratoire	0,2	0,5	1,0

Cliquer le cas échéant sur la valeur choisie, pour la transférer dans la feuille de calcul des Valeurs admissibles

Annuler OK

### 3. Valeur admissible pour le dimensionnement des chaussées bitumineuses épaissees

Le mécanisme d'endommagement des structures bitumineuses épaissees, auquel est associé une expression de sollicitation admissible est l'endommagement par fatigue, pris en compte à travers leur déformation en extension horizontale admissible maximale  $\varepsilon_{t,adm}$  calculée selon l'équation suivante :

$$\varepsilon_{t,adm} = \varepsilon_6(10^\circ C; 25Hz) * \sqrt{\frac{E(10^\circ C; 10Hz)}{E(\theta_{eq}; 10Hz)}} * \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b * k_c * k_r * k_s$$

Où :

- $\varepsilon_6(10^\circ C; 25Hz)$  est le paramètre de la loi de fatigue du matériau bitumineux, représentant la déformation conduisant à une durée de vie de  $10^6$  cycles.  $\varepsilon_6$  est déterminé par l'essai normalisé de fatigue en flexion deux points (NF EN 12 697-24, annexe A). Cet essai est réalisé à  $10^\circ C$  et  $25Hz$ .
- $b$  est la pente de la loi de fatigue du matériau ( $-1 < b < 0$ ) ;
- $E(10^\circ C; 10Hz)$  est le module de rigidité obtenu selon la norme NF EN 12 697-26, annexe A, à  $10^\circ C$  et  $10Hz$

- $E(\theta_{eq}; 10Hz)$  est le module de rigidité obtenu selon la norme NF EN 12 697-26, annexe A, à  $\theta_{eq}$  et 10Hz
- $NE$  est le nombre de passages de l'essieu de référence
- $k_c, k_r, k_s$  sont des coefficients d'ajustement

Les valeurs caractéristiques des différents matériaux bitumineux sont données dans le tableau suivant

Tableau 2. Valeurs caractéristiques des différents matériaux bitumineux

nom	E (MPa)	Matériaux bitumineux						Variations E(10Hz) = f(température)					
		nu	Epsi6 (10°C)	-1/b	SN	Sh (m)	Kc	T= -10	T= 0°C	T= 10	T= 20	T= 30	T= 40
eb-bbsg1	5500	0,35	100	5	0,25	stdard	1,1	14800	12000	7315	3685	1300	1000
eb-bbsg2	7000	0,35	100	5	0,25	stdard	1,1	16000	13500	9310	4690	1800	1000
eb-bbsg3	7000	0,35	100	5	0,25	stdard	1,1	16000	13500	9310	4690	1800	1000
eb-bbme1	9000	0,35	100	5	0,25	stdard	1,1	17300	15400	11970	6030	3000	1900
eb-bbme2	11000	0,35	100	5	0,25	stdard	1,1	19500	18200	14630	7370	3800	2300
eb-bbme3	11000	0,35	100	5	0,25	stdard	1,1	19500	18200	14630	7370	3800	2300
bbm	5500	0,35	/	/	/	stdard	1,1	14800	12000	7315	3685	1300	1000
bbtm	3000	0,35	/	/	/	stdard	1,1	8500	7000	4200	1800	1000	800
bbdr	3000	0,35	/	/	/	stdard	1,1	8500	7000	4200	1800	1000	800
acr	5500	0,35	/	/	/	stdard	1,1	14800	12000	7315	3685	1300	1000
eb-gb2	9000	0,35	80	5	0,3	stdard	1,3	22800	18300	11880	6120	2700	1000
eb-gb3	9000	0,35	90	5	0,3	stdard	1,3	22800	18300	11880	6120	2700	1000
eb-gb4	11000	0,35	100	5	0,3	stdard	1,3	25000	20000	14300	7700	3500	1200
eb-eme1	14000	0,35	100	5	0,3	stdard	1	30000	24000	16940	11060	6000	3000
eb-eme2	14000	0,35	130	5	0,25	stdard	1	30000	24000	16940	11060	6000	3000

### Les valeurs des coefficients d'ajustement

#### Valeur de ks

Le coefficient ks est un coefficient qui prend en compte les hétérogénéités de la plateforme support. Il est fonction de la portance de la plateforme.

Tableau 3. Classe de portance à long terme de la plateforme support de chaussée

Module	20 MPa ≤ E < 50 MPa	50 MPa ≤ E < 80 MPa	80 MPa ≤ E < 120 MPa	120 MPa ≤ E < 200 MPa	E ≥ 200 MPa
Classe de plate-forme	PF1	PF2	PF2qs	PF3	PF4

Tableau 4. Valeurs de  $k_s$  prises en compte en fonction de la portance de la plateforme ou du module de la couche sous jacente à la couche de matériau lié correspondant

Portance ou Module	$E < 50 \text{ MPa}$	$50 \text{ MPa} \leq E < 80 \text{ MPa}$	$80 \text{ MPa} \leq E < 120 \text{ MPa}$	$E \geq 120 \text{ MPa}$
$k_s$	1/1,2	1/1,1	1/1,065	1

### Valeur de $k_c$

Le coefficient  $k_c$  est fonction du type de matériau utilisé en couche de base.

On a  $k_c = 1$  pour un EME (enrobé à module élevé) et  $k_c=1.3$  pour une GB (grave bitume)

### Valeur de $k_r$

Le coefficient  $k_r$  est obtenu avec l'équation suivante :

$$k_r = 10^{-ub\delta}$$

Avec :

- $u$  est la valeur de la variable aléatoire de la loi normale centrée réduite associée au risque  $r$
- $b$  est la pente de la droite de fatigue du matériau de la couche considérée
- $\delta$  est obtenu avec l'équation suivante

$$\delta = \sqrt{S_N^2 + \left(\frac{c * S_h}{b}\right)^2}$$

Avec :

- Le coefficient  $c$  est égal à  $2 \text{ m}^{-1}$
- $S_N$  est l'écart type sur le logarithme décimal du nombre de cycle entraînant la rupture par fatigue dont les valeurs, sont donnée dans le Tableau 2
- $S_h$  est l'écart type sur l'épaisseur totale des couches de matériaux d'assises mises en œuvre. Il est exprimé en mètres ; sa valeur est fonction de l'épaisseur totale de l'assise. Ses valeurs sont données ci-dessous.

On a alors :

$$S_h = 0.01 \text{ m} \text{ si } h \leq 0.10 \text{ m}$$

$$S_h = 0.01 + 0.3 * (h - 0.01) \text{ si } 0.10 \text{ m} < h < 0.15 \text{ m}$$

$$S_h = 0.025 \text{ m} \text{ si } h \geq 0.15 \text{ m}$$

Les valeurs de risque  $r$  sont données dans le Tableau 5.

Tableau 5. Valeur du risque  $r$

Classes de trafic																		
Classe	T5	T4	T3	T3-	T3+	T2	T2-	T2+	T1	T1-	T1+	T0	T0-	T0+	TS	TS-	TS+	TEX
Mg	5	35	65	115		175	200	245	390	500	615	950	1200	1550	2450	3875		5920
TMJA	1	25	50	85	150	200	300		500	750		1200	2000	3000	5000		7000	

Chaussées en milieu péri-urbain et rase campagne									
	T5	T4	T3	T2	T1	T0	TS	TEX	
Structures bitumineuses épaisse et semi-rigides	MB	30%	30%	25%	12%	5%	2%	1%	1%
	MTLH	25%	25%	12%	7,5%	5%	2,5%	1%	1%
Structures inverses	MB	30%	30%	25%	12%	5%	2%	1%	1%
	MTLH	25%	25%	24%	15%	10%	5%	2%	1%
Structures mixtes	MB	30%	30%	25%	12%	5%	2%	1%	1%
	MTLH	50%	50%	35%	20%	10%	3%	2%	1%
Structures béton	CdBase/Roulement	25%	25%	15%	7,5%	5%	2,8%	1%	1%
	CdFond sauf BAC et BCg	25%	25%	25%	15%	10%	5,6%	2%	2%
	CdFond pour BAC et BCg	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%

Chaussées en milieu urbain		
Voie de desserte	Voie de distribution	Voie principale à trafic lourd
25%	25%	5%

Cliquer le cas échéant sur la valeur choisie, pour la transférer dans la feuille de calcul des Valeurs admissibles

Les principales valeurs de  $u$  associées au risque  $r$  sont définies dans le Tableau 6.

Tableau 6. Valeurs de  $u$  associées au risque  $r$

$r$ (%)	$u$	$r$ (%)	$u$	$r$ (%)	$u$
1	-2,326	5,6	-1,590	23	-0,739
1,5	-2,170	7,5	-1,439	24	-0,706
2	-2,054	10	-1,282	25	-0,674
2,5	-1,960	11,5	-1,200	30	-0,524
2,8	-1,911	12	-1,175	35	-0,385
3	-1,881	15	-1,036	40	-0,253
5	-1,645	20	-0,842	50	0

#### 4. Valeur admissible pour le dimensionnement des chaussées rigides

Le mécanisme d'endommagement des structures rigides, auquel est associé une expression de sollicitation admissible est l'endommagement par fatigue des matériaux traités aux liants hydrauliques et des bétons de ciments, pris en compte à travers leur contrainte de traction horizontale admissible maximale  $\sigma_{t,adm}$  calculée selon l'équation suivante :

$$\sigma_{t,adm} = \sigma_6 * \left( \frac{NE}{10^6} \right)^b * k_c * k_r * k_s * k_d$$

Où

- $\sigma_6$  est le paramètre représentant la contrainte conduisant à une durée de vie en fatigue par flexion de  $10^6$  cycles sur des éprouvettes dont le mürissement est de 360 jours
- $b$  est la pente de la loi de fatigue du matériau ( $-1 < b < 0$ )
- $NE$  est le nombre de passages de l'essieu de référence
- $k_c, k_r, k_s, k_d$  sont des coefficients d'ajustement

Les valeurs caractéristiques des différents matériaux traités aux liants hydrauliques et des bétons sont données dans le Tableau 7 et dans le Tableau 8 pour les bétons de ciment.

Tableau 7. Valeurs de référence des paramètres de calcul pour les graves traitées aux liants hydrauliques et bétons compactés routiers

Matériau	E (MPa)	$\sigma_6$ (MPa)	- 1/b	$S_N$	$S_h$ (m)	$R_{360}$ min (MPa)
Grave Ciment (T3)	23 000	0,75	15	1	0,03	1,15
Grave Liant Hydraulique Routier (T3)						
Grave Cendre Volante Hydraulique (T3)						
Grave Ciment (T4)	25 000	1,20	15	1		1,80
Grave Liant Hydraulique Routier (T4)						
Grave Laitier Granulé (T2)	15 000	0,60	12	1		0,90
Grave Laitier Prébroyé (activée à la chaux) (T2)						
Grave Laitier Prébroyé (T3) (activant sulfatique ou calcique)	20 000	0,70	14	1		1,05
Grave Laitier Cendre Volante – Chaux (T3)	22 000	0,80	13	1		1,2
Grave Cendre Volante Silicoalumineuse-Chaux (T4)	30 000	1,40	16	1		2,10
Grave Pouzzolane Chaux (T2)	15 000	0,6	12	1		0,9
Béton Compacté Routier (T4)	25 000	1,20	15	1		1,80
Béton Compacté Routier (T5)	28 000	1,85	15	1		2,80

Tableau 8. Valeurs de référence des paramètres de calcul pour les bétons de ciment.

Classe	BC2	BC3	BC4	BC5	BC6
Module (MPa)	20 000	24 000	30 000	35 000	40 000
$\sigma_6$ référence (MPa)	1,37	1,63	1,95	2,15	2,60
$-1/b$	14	15	15	16	16
$S_N$	1	1	1	1	1

#### Les valeurs des coefficients d'ajustement

#### Valeur de $k_s$

Le coefficient  $k_s$  est un coefficient qui prend en compte les hétérogénéités de la plateforme support. Il est fonction de la portance de la plateforme.

Tableau 9. Classe de portance à long terme de la plateforme support de chaussée

Module	$20 \text{ MPa} \leq E < 50 \text{ MPa}$	$50 \text{ MPa} \leq E < 80 \text{ MPa}$	$80 \text{ MPa} \leq E < 120 \text{ MPa}$	$120 \text{ MPa} \leq E < 200 \text{ MPa}$	$E \geq 200 \text{ MPa}$
Classe de plate-forme	PF1	PF2	PF2qs	PF3	PF4

Tableau 10. Valeurs de  $k_s$  prises en compte en fonction de la portance de la plateforme ou du module de la couche sous jacente à la couche de matériau lié correspondant

Portance ou Module	$E < 50 \text{ MPa}$	$50 \text{ MPa} \leq E < 80 \text{ MPa}$	$80 \text{ MPa} \leq E < 120 \text{ MPa}$	$E \geq 120 \text{ MPa}$
$k_s$	1/1,2	1/1,1	1/1,065	1

#### Valeur de $k_c$

Le coefficient  $k_c$  est fonction du type de matériau utilisé en couche de base.

Tableau 11. Valeurs du coefficient  $k_c$  pour les matériaux traités aux liants hydrauliques

Matériau	$k_c$
Grave ciment de classe T3 ou T4	
Grave liant hydraulique routier de classe T3	1,4
Sols traités aux liants hydrauliques	
Autres MTLH	1,5

### Valeur de kd

La valeur du coefficient kd est donnée dans le Tableau 12 :

Tableau 12. Valeurs du coefficient kd pour le dimensionnement des chaussées rigides.

	<b>kd</b>
<b>Couche de base-roulement</b>	
BCg/Bm ou BCg/MTLH	1/1,47
BAC/Bm ou BCg/GB3	1/1,37
BAC/GB3	1/1,07
Autres structures	1/1,7
<b>Couche de fondation</b>	
Toutes structures (y compris béton maigre) sauf dalles épaisses	1

Pour les matériaux traités aux liants hydrauliques, les valeurs de kd sont :

- 1/1.25 pour les matériaux hydrauliques de classe T4 et pour le béton compacté de classe T4 ou T5
- 1 pour tous les autres matériaux

### Valeur de kr

Le coefficient kr est obtenu avec l'équation suivante :

$$k_r = 10^{-ub\delta}$$

Avec :

- u est la valeur de la variable aléatoire de la loi normale centrée réduite associée au risque r
- b est la pente de la droite de fatigue du matériau de la couche considérée
- $\delta$  est obtenu avec l'équation suivante

$$\delta = \sqrt{S_N^2 + \left(\frac{c * S_h}{b}\right)^2}$$

Avec :

- Le coefficient c est égal à  $2m^{-1}$
- Sn est l'écart type sur le logarithme décimal du nombre de cycle entraînant la rupture par fatigue dont les valeurs, sont donnée dans le Tableau 7. Sn est égal à 1.

- $Sh$  est l'écart type sur l'épaisseur totale des couches de matériaux d'assises mises en œuvre. Il est exprimé en mètres ; sa valeur est déterminée en fonction du matériel mis en œuvre et en fonction de la position de la couche dans la chaussée. Ses valeurs sont définies dans le Tableau 13 pour les bétons de ciment et dans le Tableau 7 pour les graves traitées aux liants hydrauliques.

*Tableau 7*

Tableau 13. Valeur du paramètre  $Sh$  pour les bétons de ciment

Couche de chaussée	Type de matériel		
	A	B	C
Couche de fondation et dalles épaisses	0,03 m	0,03 m	0,03 m
Couche de base/roulement	0,03 m	0,02 m	0,01 m

Avec matériel de type A : vibration de surface sur coffrage fixe

Matériel de type B : utilisation d'une batterie d'aiguilles vibrantes sur coffrage fixe, associée à une vibration de surface

Matériel de type C : machine à coffrage glissant répondant aux caractéristiques de la norme NFP98-734

Les valeurs de risque  $r$  sont données dans le Tableau 14.

Tableau 14. Valeur du risque  $r$

Classes de trafic																		
Classe	T5	T4	T3	T3-	T3+	T2	T2-	T2+	T1	T1-	T1+	T0	T0-	T0+	TS	TS-	TS+	TEX
Mg	5	35	65	115		175	200	245	390	500	615	950	1550	2450	3875		5920	
TMJA	1	25	50	85	150	200	300					1200	2000	3000	5000		7000	

Chaussées en milieu péri-urbain et rase campagne								
	T5	T4	T3	T2	T1	T0	TS	TEX
Structures bitumineuses épaisse et semi-rigides	MB	30%	30%	25%	12%	5%	2%	1%
	MTLH	25%	25%	12%	7,5%	5%	2,5%	1%
Structures inverses	MB	30%	30%	25%	12%	5%	2%	1%
	MTLH	25%	25%	24%	15%	10%	5%	1%
Structures mixtes	MB	30%	30%	25%	12%	5%	2%	1%
	MTLH	50%	50%	35%	20%	10%	3%	2%
Structures béton	CdBase/Roulement	25%	25%	15%	7,5%	5%	2,8%	1%
	CdFond sauf BAC et BCg	25%	25%	25%	15%	10%	5,6%	2%
	CdFond pour BAC et BCg	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%

Chaussées en milieu urbain		
Voie de desserte	Voie de distribution	Voie principale à trafic lourd
25%	25%	5%

Cliquer le cas échéant sur la valeur choisie, pour la transférer dans la feuille de calcul des Valeurs admissibles

Annuler OK

Les principales valeurs de  $u$  associées au risque  $r$  sont définies dans le Tableau 15.

Tableau 15. Valeurs de  $u$  associées au risque  $r$

$r$ (%)	$u$	$r$ (%)	$u$	$r$ (%)	$u$
1	-2,326	5,6	-1,590	23	-0,739
1,5	-2,170	7,5	-1,439	24	-0,706
2	-2,054	10	-1,282	25	-0,674
2,5	-1,960	11,5	-1,200	30	-0,524
2,8	-1,911	12	-1,175	35	-0,385
3	-1,881	15	-1,036	40	-0,253
5	-1,645	20	-0,842	50	0

## 5. Valeur admissible pour le dimensionnement des chaussées souples

Le mécanisme d'endommagement des chaussées souples, auquel est associé une expression de sollicitation admissible est l'endommagement par cumul des déformations permanentes dans les

matériaux non traités, pris en compte à travers leur déformation verticale réversible maximale admissible  $\varepsilon_{Z,adm}$  calculée selon l'équation suivante :

$$\varepsilon_{Z,adm} = A * (NE)^b$$

Où :

- NE est le nombre de passages de l'essieu de référence
- A et b sont des paramètres fonction du niveau de trafic, du type de matériau et de la structure.

On a  $b = -0.222$

Et  $A = 12\ 000$  si  $NE > 250\ 000$

Et  $A = 16\ 000$  si  $NE < 250\ 000$

La structure est représentée par un massif multi-couche élastique, les couches étant collées entre elles. L'épaisseur et la nature de la couche de surface sont choisies en fonction du trafic.

L'épaisseur de la couche de base est fixée à 0.15m si NE est inférieur à 100 000 et à 0.2m si NE est supérieur à 100 000.

Le dimensionnement porte sur la seule couche de fondation. Celle-ci est subdivisée en couche de 0.25m d'épaisseur maximale à partir de la plate-forme.

Un module de rigidité est affecté à chaque sous-couche, croissant de la plate-forme vers la couche de base. L'équation suivante indique la progression des modules.

$$E_{GNT}\{\text{sous couche } i\} = k \cdot E_{GNT}\{\text{sous couche } i - 1\}$$

Dans le cas d'une GNT de type 1 (module 600 MPa),  $k=3$ .

Dans le cas d'une GNT de type 2 (module 400 MPa),  $k=2.5$

Dans le cas d'une GNT de type 3 (module 200 MPa),  $k=2$

Ces chaussées sont vérifiées par le calcul vis-à-vis du seul critère de déformation permanente de la plate-forme.

## 6. Vérification au gel-dégel des structures

### 6.1. Sensibilité au gel du support de chaussée

#### 6.1.1. Sensibilité au gel des matériaux du support de chaussée

La classification des matériaux de la plateforme en trois catégories, non gélifs (SGn), peu gélifs (SGp) et très gélifs (SGt) est déterminée en fonction de la pente de gonflement au gel, suivant le Tableau 16.

$p$  est la pente à l'essai de gonflement exprimée en  $\text{mm}/(\text{°C.heure})^{1/2}$

Tableau 16. Classification des matériaux vis-à-vis de leur gélivité

Pente de l'essai ( $\text{mm} / (\text{°C.h})^{1/2}$ )	$p \leq 0,05$	$0,05 < p \leq 0,4$	$p > 0,4$
Classification des matériaux	SGn	SGp	SGt

#### 6.1.2. Découpage du support de la chaussée

Il y a trois configurations possibles du massif sous la plateforme

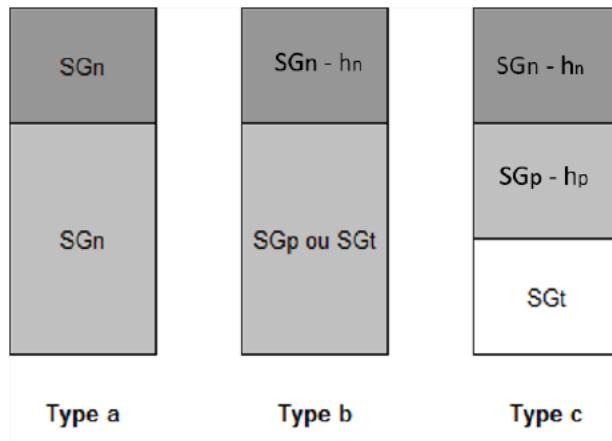


Figure 1. Configurations types du massif [sol support et couche de forme]

### 6.2. Quantité de gel $Q_g$ admissible, au sommet des matériaux gélifs du support

**Cas a :**  $Q_g=0$

**Cas b :**

$$Q_g = 4 \text{ si } 0.005 < p \leq 0.25$$

$$Q_g = \frac{1}{p} \text{ si } 0.25 \leq p \leq 1$$

$$Q_g = 0 \text{ si } 1 < p$$

Où

$Q_g$  est la quantité de gel admissible en surface des couches gélives exprimées en  $(^{\circ}\text{C.jour})^{1/2}$

$p$  est la pente à l'essai de gonflement exprimée en  $\text{mm}/(^{\circ}\text{C.heure})^{1/2}$

**Pour la configuration de type c :** la quantité de gel  $Q_g$  admissible en surface de la couche gélive est déterminée selon l'équation suivante :

$$\text{si } h_p < 0.2 \text{ m, } Q_g = Q_g(SG_t) + \frac{h_p}{0.2} * (Q_g(SG_p) - Q_g(SG_t))$$

$$\text{si } h_p \geq 0.2 \text{ m, } Q_g = Q_g(SG_p)$$

Où

$Q_g$  est la quantité de gel admissible en surface des couches gélives exprimées en  $(^{\circ}\text{C.jour})^{1/2}$

$h_p$  est l'épaisseur de matériaux peu gélifs exprimées en mètres (m)

$Q_g(SG_p)$  est la quantité de gel admissible des matériaux peu gélifs exprimée en  $(^{\circ}\text{C.jour})^{1/2}$

$Q_g(SG_t)$  est la quantité de gel admissible des matériaux très gélifs exprimée en  $(^{\circ}\text{C.jour})^{1/2}$

### 6.3. Protection thermique $Q_{ng}$ apportée par les matériaux non gélifs de la plateforme

Calcul  $Q_{ng}$

$$Q_{ng} = A_n * \frac{h_n^2}{(h_n + 10)}$$

$Q_{ng}$  est la quantité de gel correspondant à la protection thermique apportée par les couches non gélives de la plateforme exprimée en  $(^{\circ}\text{C.jour})^{1/2}$ . Dans le cas où la couche de forme est constituée des matériaux qui ne sont pas non gélifs, la valeur de  $Q_{ng}$  est égale à 0.

$h_n$  est l'épaisseur de matériaux non gélifs exprimée en centimètres (cm)

$A_n$  est le coefficient dépendant de la nature du matériau de la couche de forme exprimé en  $(^{\circ}\text{C.jour})^{1/2} \cdot \text{m}^{-1}$  et dont les valeurs sont données dans le Tableau 17.

Tableau 17. Valeur de  $A_n$  en fonction de la nature des matériaux en couche de forme

Matériau(*)	A	B, C	D, GNT	CV, SH	LTCC
$A_n$	0,15	0,13	0,12	0,17	0,14

(\*) A, B, C et D : classes de sols non traités définis par la norme NF P 11-300.

GNT : grave non traitée.

SH : sables traités aux liants hydrauliques.

LTCC : limon traité à la chaux-ciment

#### 6.4. Quantité de gel admissible à la base de la chaussée : QB

La quantité de gel admissible à la base de la chaussée, QB, est donné par l'équation suivante :

$$QB = Q_g + Q_{ng}$$

Où

$Q_{ng}$  est la quantité de gel correspondant à la protection thermique apportée par les couches non gélives de la plateforme exprimée en  $(^{\circ}\text{C.jour})^{1/2}$ .

$Q_g$  est la quantité de gel admissible en surface des couches gélives exprimées en  $(^{\circ}\text{C.jour})^{1/2}$

QB constitue une donnée d'entrée des abaques du catalogue des structures de chaussées pour la vérification au gel. Ces abaques permettent l'obtention de IA, indice de gel de la chaussée.

La vérification au gel est satisfaite si la valeur admissible IA d'indice de gel de la chaussée est supérieure ou égale à la valeur de l'indice de gel IR choisi en référence.