

*GUIDE TECHNIQUE DE CONCEPTION ET
DE DIMENSIONNEMENT DES
STRUCTURES DE CHAUSSEES
METROPOLITAINES*

Version Mars 2017

Version	Date	Rédacteur	Vérifié par	Observations
1	1994	C. Babillotte et C Soulie (CETE Lyon)	/	-/
2	1998	C. BERDIER (INSA) J RAMPIGNON (GD LYON)	/	/
3	2009	J RAMPIGNON (GD LYON)	N. AZAMBRE (GD LYON)	Modifications de forme
4	2016	P. GABORIT (GINGER CEBTP) N. AZAMBRE (Métropole Lyon)	D. PILET (GINGER CEBTP) S. GROLLIER (Métropole Lyon)	Modifications des hypothèses de dimensionnement, prise en compte des voies intégrées dans le cadre de la métropole

Ce document comporte 57 pages et 2 annexes.

SOMMAIRE

1. OBJET	4
2. structure type d'une chaussée	4
3. Principe de dimensionnement d'une chaussée ou d'un élargissement	5
4. Conception de la plateforme.....	6
4.1. Caractérisation du sol en place.....	6
4.1.1. Classement géotechnique des sols naturels.....	6
4.1.2. Les paramètres de nature	8
4.1.3. Les paramètres d'état.....	9
4.1.4. Les paramètres de comportement mécanique	9
4.2. Conception de la plate-forme support de chaussée (PFSC).....	10
4.2.1. Phase 1 : Partie supérieure des terrassements (PST).....	11
4.2.2. Phase 2 : Dimensionnement de la couche de forme	15
5. Conception des couches d'assise	20
5.1. Paramètres de dimensionnement	20
5.1.1. Types de sections dimensionnées (vocations)	20
5.1.2. Trafic	22
5.1.3. Durée de service	23
5.1.4. Risque de dimensionnement	23
5.1.5. Coefficient d'Agressivité Moyen (CAM).....	23
5.2. Choix des structures	24
5.2.1. Les structures en grave ciment (Groupe 1)	24
5.2.1. Les structures en enrobé à module élevé (Groupe 2).....	25
5.2.2. Les structures en grave bitume (Groupe 3).....	25
5.2.3. Les structures souples (Groupe 4)	25
5.2.4. Utilisation des dimensionnements du guide	26
5.3. Catalogue des corps de chaussée.....	28
5.3.1. Voie de transit - PF1+ ($30 \leq EV2 \leq 50\text{MPa}$)	28
5.3.2. Voie de transit - PF2 ($50 \leq EV2 \leq 80\text{MPa}$)	28
5.3.3. Voie de transit - PF2qs ($80 \leq EV2 \leq 120\text{MPa}$).....	29
5.3.4. Voie de transit - PF3 ($120 \leq EV2 \leq 200\text{MPa}$).....	29
5.3.5. Voie de liaison - PF1+ ($30 \leq EV2 \leq 50\text{MPa}$).....	30
5.3.6. Voie de liaison - PF2 ($50 \leq EV2 \leq 80\text{MPa}$)	30

5.3.7.	Voie de liaison - PF2qs ($80 \leq EV2 \leq 120\text{MPa}$).....	31
5.3.8.	Voie de liaison - PF3 ($120 \leq EV2 \leq 200\text{MPa}$).....	31
5.3.9.	Voie de distribution - PF1+ ($30 \leq EV2 \leq 50\text{MPa}$).....	32
5.3.10.	Voies de distribution - PF2 ($50 \leq EV2 \leq 80\text{MPa}$).....	32
5.3.11.	Voie de distribution - PF2qs ($80 \leq EV2 \leq 120\text{MPa}$).....	33
5.3.12.	Voie de distribution - PF3 ($120 \leq EV2 \leq 200\text{MPa}$).....	33
5.3.13.	Voies de desserte - PF1+ ($30 \leq EV2 \leq 50\text{MPa}$)	34
5.3.14.	Voies de desserte - PF2 ($50 \leq EV2 \leq 80\text{MPa}$).....	34
5.3.15.	Voies de desserte - PF2qs ($80 \leq EV2 \leq 120\text{MPa}$).....	35
5.3.16.	Voies de desserte - PF3 ($120 \leq EV2 \leq 200\text{MPa}$).....	35
5.3.17.	Voies TC - PF2 ($50 \leq EV2 \leq 80\text{MPa}$).....	36
5.3.18.	Voies TC - PF2qs ($80 \leq EV2 \leq 120\text{MPa}$)	36
5.3.19.	Voies TC - PF3 ($120 \leq EV2 \leq 200\text{MPa}$)	37
6.	Vérification au gel.....	38
6.1.	Définitions.....	38
6.2.	Principe.....	38
6.3.	Méthode de vérification au gel.....	41
6.3.1.	Détermination de la quantité de gel admissible au niveau de la PST	41
6.3.2.	Détermination de l'indice de gel admissible (IA)	44
6.3.3.	Choix de l'indice de gel de référence (IR)	44
6.3.4.	Conclusion de la démarche.....	46
6.4.	Exemple de vérification au gel.....	46
6.4.1.	Données.....	46
6.4.2.	Dimensionnement de la structure de chaussé.....	46
6.4.1.	Calcul de la quantité de gel admissible	47
6.4.2.	Calcul de l'indice de gel admissible et vérification au gel.....	48
6.5.	Tableau récapitulatif des symboles et de leur signification.....	50
Annexe 1.	Hypothèses de calcul des structures.....	51
Annexe 2.	Calcul des indices de gel de référence.....	55

1. OBJET

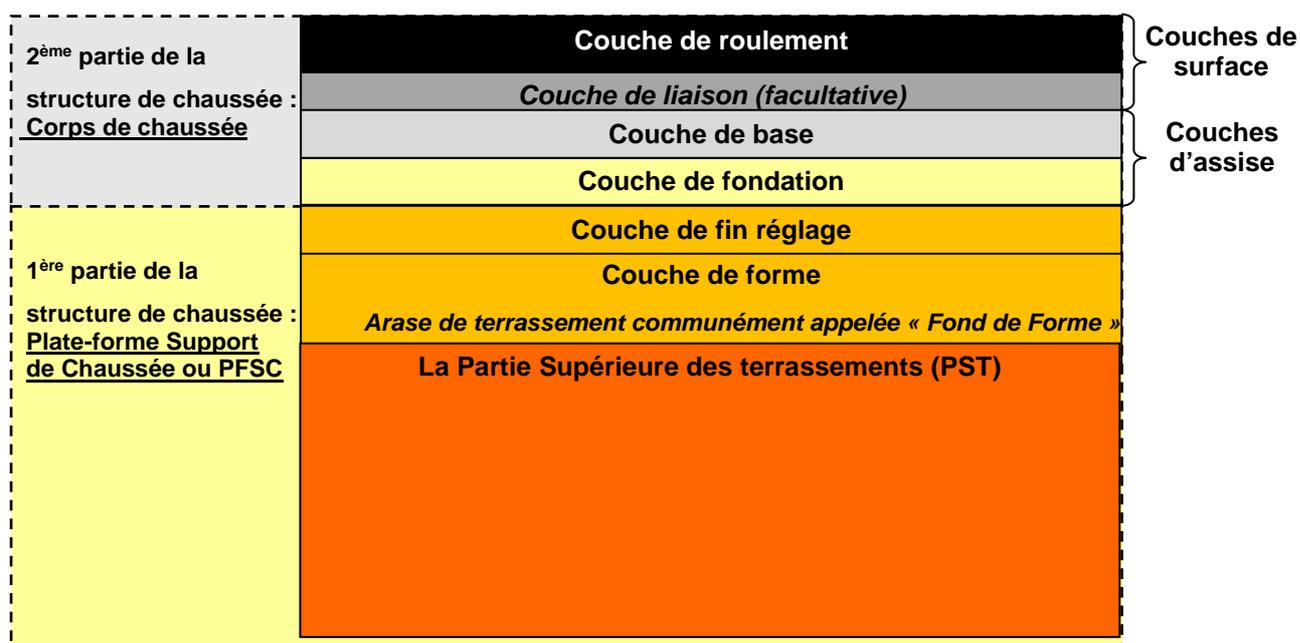
Suite à une analyse critique du « guide technique de conception et de dimensionnement des structures de chaussées communautaires » de 2009 dont la première version datait de 1994, le laboratoire de la voirie a entrepris de réaliser une nouvelle version du guide dans le nouveau contexte Métropolitain (intégration des voies ex-RD).

Les hypothèses de dimensionnement ont été mises à jour au regard des diverses typologies de voies présentes sur le territoire de la Métropole et les calculs de vérification au gel ont été revus au regard des évolutions de norme et des relevés météorologiques récents.

Ce guide, à l'usage des prescripteurs, maitres d'œuvres internes et externes de la Métropole est un document de référence pour la rédaction des CCTP.

2. STRUCTURE TYPE D'UNE CHAUSSÉE

Le schéma ci-dessous précise toutes les couches susceptibles de composer une chaussée. Il sera détaillé dans les paragraphes suivants quels sont les matériaux et les épaisseurs de chaque couche en fonction de la localisation géographique et de l'usage de la chaussée.



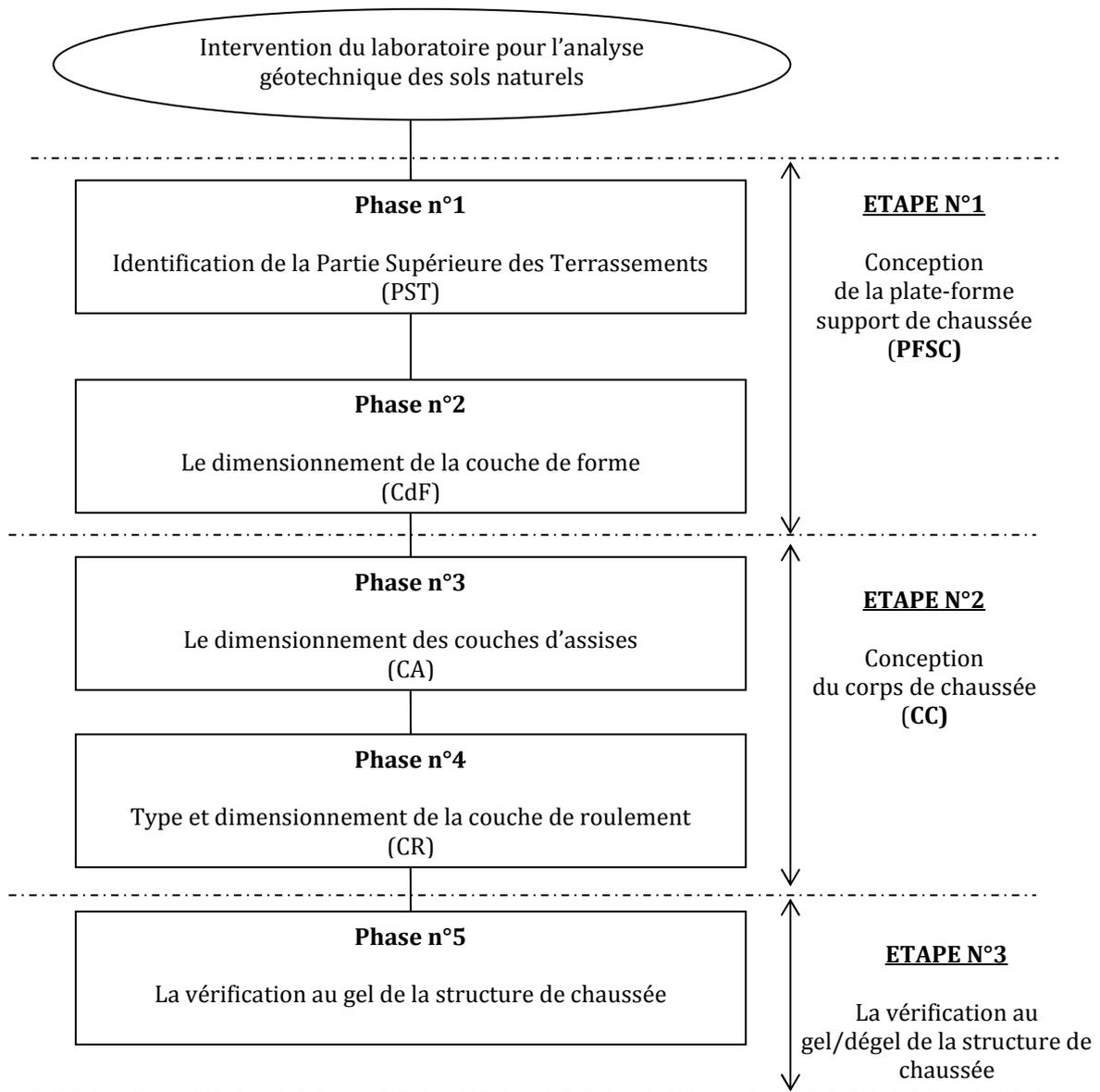
3. PRINCIPE DE DIMENSIONNEMENT D'UNE CHAUSSÉE OU D'UN ÉLARGISSEMENT

Avant la conception de la chaussée, le laboratoire doit intervenir pour effectuer des sondages et des prélèvements de sols naturels en place, dans le but de les analyser et les classer suivant la norme NF P 11-300.

La conception d'une chaussée neuve ou d'un élargissement comprend ensuite 3 grandes étapes :

- **étape 1** : la conception de la plate-forme support de chaussée ;
- **étape 2** : la conception du corps de chaussée ;
- **étape 3** : la vérification au gel/dégel par calcul de la future structure de chaussée.

L'algorithme suivant résume toutes les étapes de cette démarche.



4. CONCEPTION DE LA PLATEFORME

4.1. Caractérisation du sol en place

4.1.1. Classement géotechnique des sols naturels

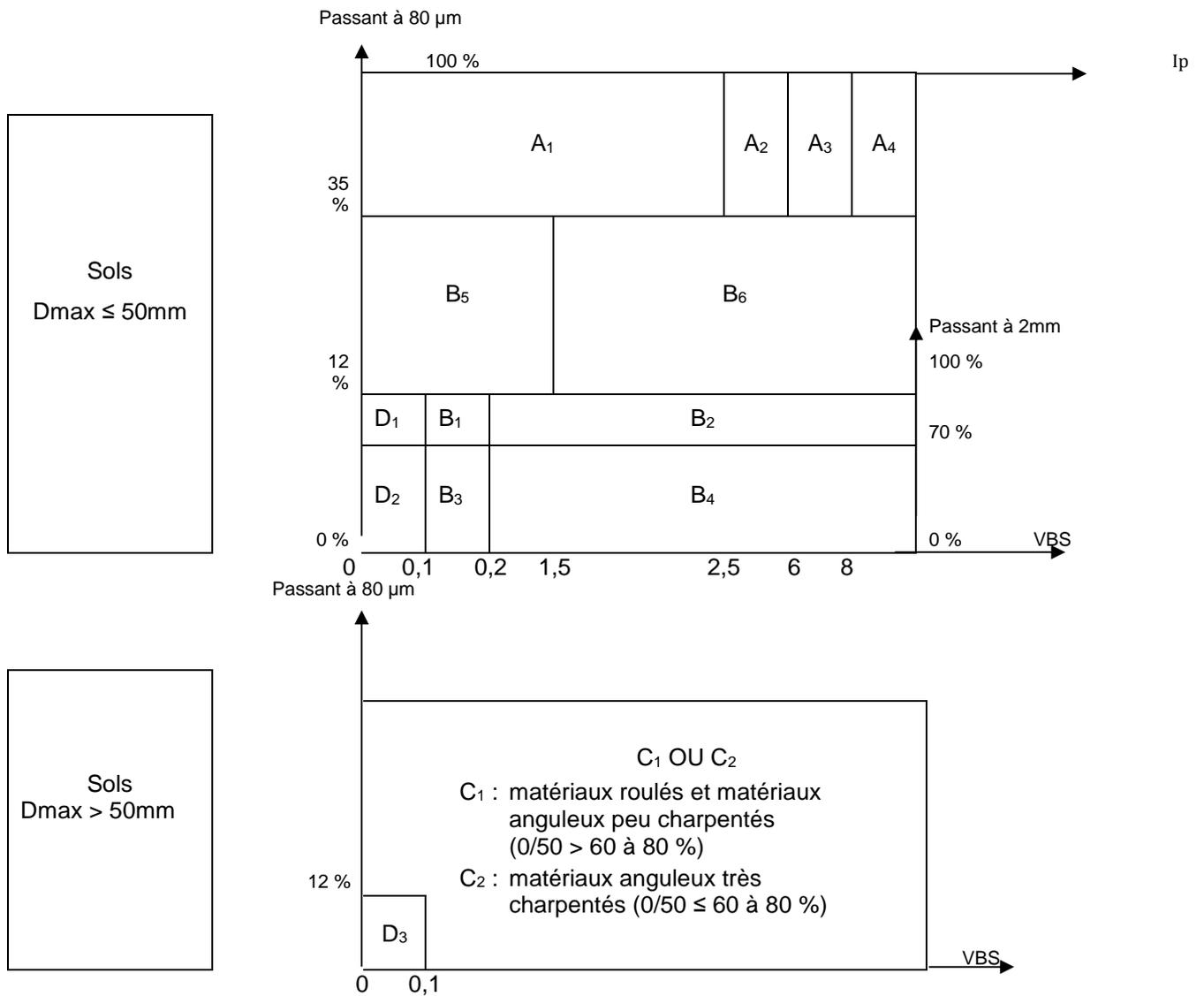
La détermination de la classe géotechnique du sol en place, s'effectue selon la norme NF P 11-300 à partir d'essais de laboratoire pratiqués sur un prélèvement représentatif de ce dernier effectué sur site dans des conditions adéquates.

A partir de ce classement défini dans le **GTR (Guide Technique Routier)**, **quatre grandes classes géotechniques** de sol naturel sont distinguées présentant des propriétés spécifiques ainsi que des comportements **mécaniques** et **gélifs prévisibles** dans le temps :

- **Classe A** : les sols fins. Cette classe contient **quatre sous classes** : **A1, A2, A3, A4** ;
- **Classe B** : les sols sableux et graveleux avec fines. Cette classe contient **six sous classes** : **B1, B2, B3, B4, B5, B6** ;
- **Classe C** : les sols comportant des fines et des gros éléments. Cette classe contient **deux sous classes** : **C1, C2** qui s'associent pour la fraction 0/50 mm aux classes A1, A2, A3, A4 ou B1, B2, B3, B4, B5, B6 ;
- **Classe D** : les sols insensibles à l'eau. Cette classe contient **trois sous classes** : **D1, D2, D3**.

L'ensemble de ces matériaux se retrouve le plus souvent dans la réalisation d'une chaussée neuve ou d'un élargissement, notamment au niveau de la partie supérieure des terrassements (**PST**).

Il existe une cinquième classe de matériaux, la **classe R** pour les matériaux rocheux, cette dernière fait l'objet d'une classification différente fonction de la nature pétrographique de la roche et de ses caractéristiques mécaniques.



Matériaux rocheux	Roches sédimentaires	Roches carbonatées	Craies	R ₁
			Calcaires	R ₂
		Roches argileuses	Marnes, argilites, pélites...	R ₃
		Roches siliceuses	Grès, poudingues, brèches...	R ₄
	Roches salines	Sel gemme, gypse	R ₅	
	Roches magmatiques et métamorphiques	Granites, basaltes, andésites, gneiss, schistes métamorphiques et ardoisiers...		R ₆
Matériaux particuliers	Sols organiques et sous-produits industriels			F

Tableau synoptique de classification des matériaux selon leur nature

4.1.2. Les paramètres de nature

Il existe deux paramètres de nature : la granularité et l'argilosité.

La granularité (norme : NF P 94-056)

La granularité est un paramètre permettant de classer les sols naturels d'après la dimension des éléments qu'ils contiennent.

Trois seuils pour la classification sont retenus :

- Le **tamisât à 50 millimètres** : dimension maximale des plus gros éléments contenus dans le sol. Il permet de faire la scission entre les sols de classe **Ai, Bj, D1, D2** ne comprenant pas de gros éléments et les sols de classe **C1, C2** ou **D3** comprenant de gros éléments;
- Le **tamisât à 0,08 millimètre** ou passant à 80 microns (80µm) permet de distinguer les sols riches en fines et d'évaluer par la suite leur sensibilité à l'eau ;
- Le **tamisât à 2 millimètres** ou passant à 2mm permet de distinguer les sols à tendance sableuse, des sols à tendance graveleuse.

L'argilosité

La proportion d'argile rend les sols plus ou moins sensibles à l'eau. Un sol argileux change rapidement de comportement en présence d'eau. Pour caractériser l'argilosité des sols on utilise deux paramètres :

- l'indice de plasticité (**Ip**) ;
- la valeur au bleu de méthylène du sol (**VBS**).

L'indice de plasticité (Ip) exprimé en pourcentage (%) est la différence entre les valeurs de limites de liquidité (**WL**) et de plasticité (**Wp**) :

$$I_p = WL - W_p$$

De manière générale l'indice de plasticité (**Ip**) est plus sensible que la valeur au bleu (**VBS**) en présence d'un sol vraiment argileux. C'est à la fois un paramètre d'identification et de comportement du matériau argileux.

La valeur au bleu de méthylène du sol (VBS) est déterminée par l'essai au bleu de méthylène. Elle est mesurée sur la fraction 0/5mm et s'exprime en grammes de bleu pour cent grammes de la fraction 0/50mm du sol sec étudié (g de bleu/100g de sol sec). Elle est notée **VBS**.

La valeur au bleu révèle la présence d'argile et exprime globalement la quantité de celle-ci contenue dans l'échantillon de sol analysé

4.1.3. Les paramètres d'état

Ils dépendent de l'environnement hydrogéologique du site. Pour les sols meubles sensibles à l'eau, le seul paramètre d'état considéré dans la présente classification est **l'état hydrique**.

En plus du classement géotechnique du sol, l'état hydrique joue un rôle essentiel au niveau des possibilités de réutilisation des matériaux et au niveau de l'obtention de la qualité de compactage des matériaux constituant le sol naturel en place. La norme NF P 11-300 considère **cinq états hydriques** définis comme suit :

- **État hydrique très humide (th)** : c'est un état d'humidité très élevée ne permettant plus la réutilisation du sol dans des conditions technico-économiques normales ;
- **État hydrique humide (h)** : c'est un état d'humidité élevée autorisant toutefois la réutilisation du sol à condition de respecter certaines dispositions particulières (aération, traitement...) estimées comme normales dans le contexte technico-économique actuel ;
- **État hydrique moyen (m)** : c'est l'état d'humidité optimal correspondant à l'Optimum Proctor (minimum de conditions à respecter à la mise en œuvre) ;
- **État hydrique sec (s)** : c'est un état d'humidité faible mais autorisant encore la mise en œuvre en prenant des dispositions particulières (arrosage, sur compactage,...) estimées comme normales dans le contexte technico-économique actuel ;
- **État hydrique très sec (ts)** : c'est un état d'humidité très faible n'autorisant plus la réutilisation du sol dans des conditions technico-économiques normales. Cet état hydrique est peu courant sous nos latitudes.

Pour caractériser l'état hydrique d'un sol, un des paramètres suivant est retenu :

- Teneur en eau naturelle (NF P 94-050), associée à l'étude Proctor normal (NF P 94-093) ;
- Indice portant immédiat (NF P 94-078) ;
- Indice de consistance (NF P 94-051).

L'état hydrique du sol naturel en place peut être influencé par les éléments suivants :

- les conditions hydrogéologiques (nappe) ;
- les conditions météorologiques lors du chantier de terrassements.

4.1.4. Les paramètres de comportement mécanique

Ces paramètres sont pris en considération pour juger de l'utilisation possible des sols en couche de forme. Les paramètres de comportement considérés dans la classification sont les coefficients **Los Angeles (LA)** (norme NF P 18-573) et **micro-deval en présence d'eau (MDE)** (norme NF P 18-572) mesurés sur la fraction 10/14mm (ou à

défaut sur la fraction 6,3/10mm) et le coefficient de friabilité des sables (FS) mesuré sur la fraction 0/1 ou 0/2mm (norme NF P 18-576).

Les seuils retenus sont :

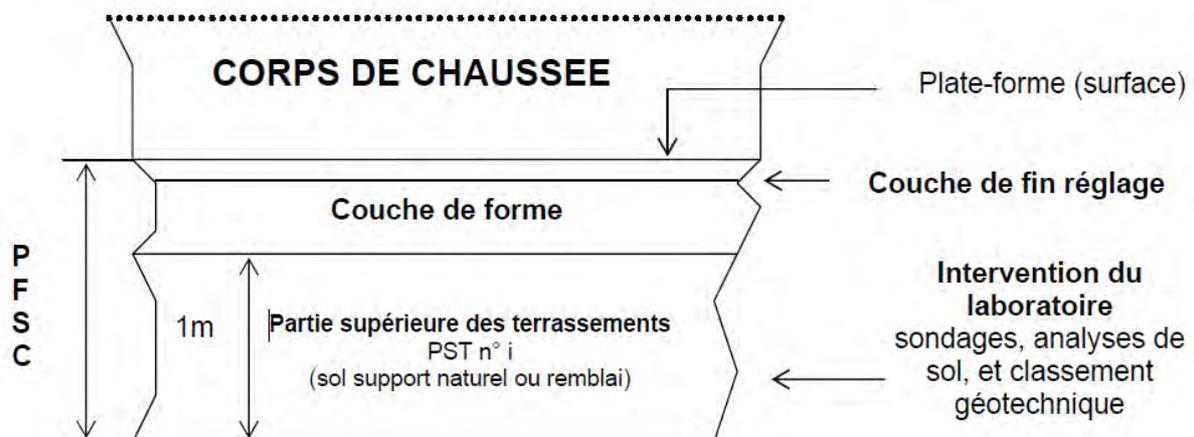
- 45 pour les valeurs LA et MDE
- 60 pour les valeurs FS

L'essai Los Angeles permet d'évaluer la résistance des granulats à la fragmentation, l'essai Micro Deval permet d'évaluer leur résistance à l'usure par attrition en présence d'eau.

4.2. Conception de la plate-forme support de chaussée (PFSC)

La plate-forme support de chaussée (PFSC) comprend de bas en haut 3 couches :

- la partie supérieure des terrassements (**PST**), qui concerne le premier mètre environ ;
- la couche de forme (**CdF**) ;
- la couche de fin réglage (**CfR**).



La plate-forme (PF) doit répondre aux objectifs suivants :

- garantir une portance à court terme, **supérieure à 50MPa**, nécessaire à l'obtention de la qualité de compactage ou de densification des matériaux du corps de chaussée, mais également à long terme ;
- permettre la traficabilité nécessaire aux engins de chantier ;
- assurer la protection de la **PST** contre les intempéries lors du chantier de construction de la chaussée ;
- assurer la protection du sol naturel contre le gel lors d'hiver rigoureux.

Rappel :

La portance de la plate-forme (**PF**) est l'aptitude des couches sous-jacentes à résister aux contraintes et aux déformations appliquées par la circulation et transmises par l'intermédiaire des couches supérieures constituant le corps de chaussée.

À **court terme**, la portance de la plate-forme désigne les valeurs estimées ou mesurées sur le chantier lors de la **réalisation**.

À **long terme**, elle désigne les valeurs retenues pour le dimensionnement et visées lors de la **conception**.

4.2.1. Phase 1 : Partie supérieure des terrassements (PST)

La classe de la partie supérieure des terrassements (PST^{n°i})

La détermination de **la classe de la partie supérieure des terrassements symbolisée par un numéro n° i (PST)** nécessite la connaissance de la classe géotechnique du sol naturel en place et de son état hydrique si ce dernier est sensible à l'eau (norme : NF P 11-300).

A partir des résultats obtenus précédemment, il sera nécessaire de maintenir ou d'améliorer l'état hydrique des sols naturels in situ.

L'environnement hydrique et ses conséquences sur les performances mécaniques de la **Partie Supérieure des Terrassements (PST)**, conduisent à définir **7 classes** de PST (PST n° 0 à n° 6).

La première classe de PST, la PST n° 0 représente la plus défavorable. Elle doit faire l'objet d'une opération spécifique de purge localisée, accompagnée parfois de rabattement de nappe ou de traitement à la chaux et/ou au ciment. Cette dernière technique plutôt réservée aux zones périurbaines permet de reclasser la section traitée dans une des classes de PST immédiatement supérieures.

La classe (AR_j) de l'arase des terrassements

L'arase des terrassements correspond à la plate-forme de la PST, la classe traduit la portance de la PST.

La **classe d'arase** est déterminée à partir de l'état hydrique du sol naturel en place. Si l'accès à l'emprise de la future chaussée ainsi qu'à l'arase (AR) sont possibles et si les conditions de traficabilité sont remplies, il sera possible de mesurer la portance en place au moyen de l'essai de chargement à la plaque selon la norme NF P 94-117.1 qui reprend en partie le mode opératoire du Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussées (LCPC) dans le but de déterminer le module élastique EV2 au second chargement.

En cas d'impossibilité liée à la profondeur de l'arase par rapport au projet ou à sa traficabilité, la portance du sol sera estimée au regard de l'état hydrique du matériau et des dispositions prises pour drainer les eaux ou améliorer le sol par traitement (cf tableau n°4).

Classe d'arase ARj	Les Portances du sol naturel support Ps (mesurée ou estimée)
AR0	Ps < 20 MPa
AR1	20 MPa ≤ Ps < 50 MPa
AR2	50 MPa ≤ Ps < 120 MPa
AR3	120 MPa ≤ Ps < 200 MPa
AR4	Ps ≥ 200 MPa

Rappel : 1 MPa ≅ 10 bars

Les conditions de maintien du sol naturel en place

Faut-il maintenir en place le sol naturel au niveau de la **PST** ?

Seuls, les résultats des analyses géotechniques effectuées sur les prélèvements d'échantillons représentatifs de sol naturel en place permettent d'orienter la démarche. À partir de la classe géotechnique du matériau constituant la **PST** et de son état hydrique, la prise de décision s'opère selon le **tableau 5** ci-après.

Le maintien ou l'amélioration de l'état hydrique du sol naturel (PST)

Pour maintenir l'état hydrique d'un sol support sensible à l'eau, deux moyens sont à disposition :

- tenir compte des conditions hydrogéologiques du site et météorologiques au cours du chantier, puis en fonction de celles-ci travailler à l'avancement ;
- agir sur l'épaisseur et le profil transversal géométrique de la couche de forme, pour constituer un « toit » facilitant l'évacuation des eaux de ruissellement.

Pour améliorer l'état hydrique d'un sol support sensible à l'eau, deux types d'actions peuvent être entreprises :

- effectuer des traitements à la chaux et/ou aux liants hydrauliques ;
- prendre des dispositions de drainage.

Tableau n° 4 : EXTRAIT DU GTR, fascicule I §3.3.2 : RAPPEL DES DIFFERENTS CAS POSSIBLES DE P.S.T

Cas de P.S.T	Schéma	Description	Classe de l'arase	Commentaires
P.S.T. n°0		Sols A, B ₁ , B ₂ , B ₃ , B ₄ , C ₁ , se trouvant dans un état hydrique (h) 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 (fosés 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 ₃ , B ₄ , C ₁ , R ₁₂ , R ₁₃ , R ₂₄ 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 ₃ , B ₄ , C ₁ , R ₁₂ , R ₁₃ , R ₂₄ 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, et D, 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 ₂₁ , R ₁₁ , R ₃₁ , R ₂₇ , R ₃₇ , R ₂₃ , R ₄₁ , R ₂₂ , R ₂₂ ainsi que certains matériaux C ₂₁ , 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.

SOLS NATURELS SUPPORTS				État hydriques du sol	PST n° i	Classe d'ARAs e AR j	Portance du sol Ps exprimée en MPa (mesurée ou estimée)	Commentaire
Sols fins	Sols sableux et graveleux avec fines	Sols comportant fines et gros éléments	Sols insensibles à l'eau					
A1 ; A2 A3 ; A4	B2 ; B4 ; B5 ; B6	C1	/	th	PST n° 0	AR 0	Ps < 20	Mise en œuvre d'une opération de purge / substitution et/ou de drainage, pour opérer un reclassement de l'arase en AR1
A1 ; A2 A3 ; A4	B2 ; B4 ; B5 ; B6	C1 ; C2	/	h	PST n° 1	AR 1	20 ≤ Ps < 50	Deux démarches possibles pour passer à une classe d'arase supérieure : - soit un traitement à la chaux, - soit mettre en œuvre une couche de forme en matériau granulaire en intercalant un géotextile anti contaminant
A1 ; A2 A3 ; A4	B2 ; B4 ; B5 ; B6	C1 ; C2	/	m	PST n° 2	AR 1	20 ≤ Ps < 50	Réalisation d'un rabattement de nappe à une profondeur suffisante si possible, on est alors ramené au cas de la PST n° 3 - la couche de forme est indispensable
A1 ; A2 A3 ; A4	B2 ; B4 ; B5 ; B6	C1 ; C2	/	m	PST n° 3	AR 1	20 ≤ Ps < 50	- Pas de mesure de drainage, - La couche de forme est indispensable
						AR 2	50 ≤ Ps < 120	Classement en AR2 si on effectue des dispositions de drainage pour l'évacuation des eaux à la base de la chaussée afin d'éviter leur infiltration
A1 ; A2 A3 ; A4	B2 ; B4 ; B5 ; B6	C1	/	h	PST n° 4	AR 2	50 ≤ Ps < 120	Traitement durable des matériaux de la PST n° 1 à la chaux et/ou aux liants hydrauliques. Possibilités en fonction du projet de réaliser une couche de forme.
/	B1	/	D1	/	PST n° 5	AR 2	50 ≤ Ps < 120	Matériaux sableux insensibles à l'eau. Ces valeurs de portance à long terme peuvent être assimilées aux valeurs mesurées à court terme (AR3) La nécessité d'une couche de forme sur cette PST ne s'impose pas.
						AR 3	120 ≤ Ps < 200	
/	B3	C2	D2 ; D3	/	PST n° 6	AR 3 AR 4	120 ≤ Ps < 200 Ps > 200	Matériaux insensibles à l'eau (mêmes remarques que précédemment)

Tableau n° 5 : TABLEAU DE SYNTHÈSE DES CORRESPONDANCES ENTRE LA CLASSE GEOTECHNIQUE DU SOL, SON ETAT HYDRIQUE ET LA CLASSE DE LA PARTIE SUPERIEURE DES TERRASSEMENTS (PST n° i) ASSOCIEE A LA CLASSE D'ARASE (ARj)

4.2.2. Phase 2 : Dimensionnement de la couche de forme

La couche de forme permet d'adapter les caractéristiques du terrain en place ou des matériaux de remblai constituant la **PST** aux caractéristiques mécaniques, géométriques du projet d'une part et aux données hydrogéologiques et thermiques du site d'autre part prises comme contraintes pour la conception de la chaussée. Elle doit répondre à la fois à des objectifs de court terme (permettre la construction du corps de chaussée) et de long terme (garantir la pérennité de l'ouvrage par le biais d'une bonne portance à long terme) Elle doit permettre également par l'homogénéité de sa portance, de réaliser un corps de chaussée d'épaisseur constante sur toute la longueur du chantier.

La classe de la plate-forme (PFI) visée à long terme

Les paramètres d'entrée pour la détermination de la plate-forme visée à long terme résultent d'une part, de l'étude géotechnique, incluant la classification des sols, réalisée par le laboratoire et d'autre part, de la classe de la partie supérieure de terrassements (**PST n°i**) et de l'arase (**AR j**).

Quatre classes de plate-forme sont retenues, caractérisées par leur portance :

Classe de plate-forme PFI	Portance de la PFI module EV2
PF1+	$30 \text{ MPa} \leq \text{EV2} < 50 \text{ MPa}$
PF2	$50 \text{ MPa} \leq \text{EV2} < 80 \text{ MPa}$
PF2qs	$80 \text{ MPa} \leq \text{EV2} < 120 \text{ MPa}$
PF3	$120 \text{ MPa} \leq \text{EV2} < 200 \text{ MPa}$

A partir de la plage de portance du sol (**Ps**) de la classe d'arase (**ARj**), la classe de plate-forme correspondante ou la plage immédiatement supérieure est visée comme le montre le tableau suivant :

ARASE DE TERRASSEMENT		PLATE-FORME VISEE	
Classe d'arase ARj	Portance du sol Ps en MPa	Classe de plate-forme PFi	Module EV2 en MPa
AR0	Ps < 20	PF1+	30 ≤ EV2 < 50
		Déconseillé (Effet « <i>enclume</i> » non obtenu)	
		PF2	50 ≤ EV2 < 80
AR1	20 ≤ Ps < 50	PF2	50 ≤ EV2 < 80
AR2	50 ≤ Ps < 120	PF2qs	80 ≤ EV2 < 120
AR3	120 ≤ Ps < 200	PF3	120 ≤ EV2 < 200

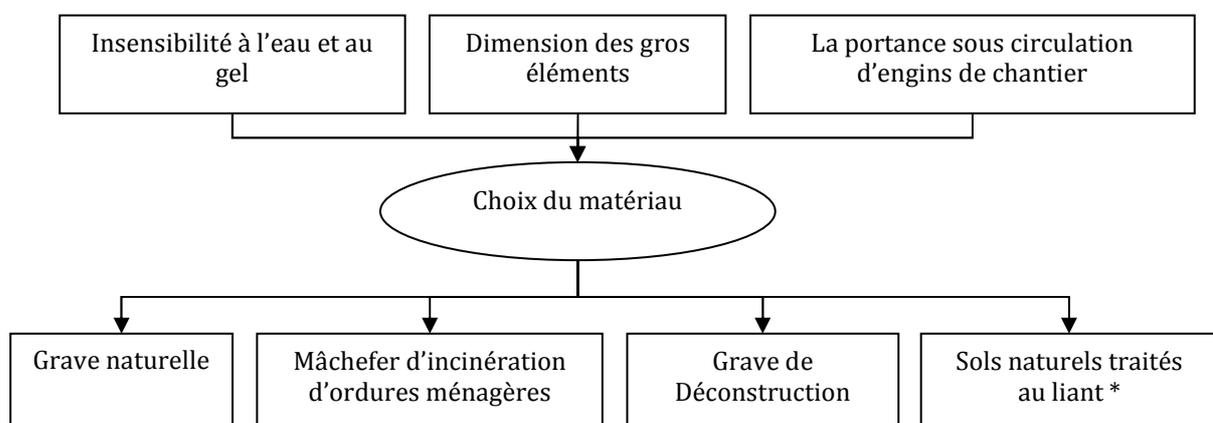
Si la classe d'arase correspond à AR0 ou AR1, la classe de plate-forme immédiatement supérieure est visée à long terme, c'est-à-dire la **PF2**. Par contre pour les autres classes d'arase : AR2, AR3 et AR4, la classe de plate-forme égale ou immédiatement supérieure sera visée. Dans ce dernier cas le choix s'effectuera en fonction d'autres paramètres tels que la vocation de la voie.

Le type de matériau à mettre en œuvre pour la couche de forme

Pour la mise en œuvre d'une couche de forme, une attention particulière doit être accordée au choix du matériau.

Les matériaux choisis doivent satisfaire différents critères :

- insensibilité à l'eau et au gel ;
- dimension des plus gros éléments (D_{max}) à cause de la contrainte de nivellement de la plate-forme (+ ou - 3cm) ;
- la portance sous circulation des engins de chantier.



* L'utilisation de matériaux naturels de classe A ou B en couche de forme est possible mais la sensibilité à l'eau de ces matériaux nécessite un traitement en place ou en centrale avec de la chaux et/ou un liant hydraulique. Une étude préalable d'aptitude au traitement conformément à la norme NF P 94-100 doit être réalisée en préalable ainsi qu'une étude de comportement au jeune âge pour définir les dosages et les liants les plus adaptés aux matériaux.

L'épaisseur de la couche de forme

L'épaisseur de la couche de forme dépend de plusieurs paramètres :

- la classe de la **PST n° i** et de l'arase (**ARj**) ;
- la classe de la plate-forme (**PFi**) visée à long terme ;
- la classe géotechnique du matériau constituant la future couche de forme.

Si la PST est performante et constituée de matériaux insensibles à l'eau et non gélif, la couche de forme n'est pas indispensable.

La mise en œuvre d'un géotextile

Deux cas de figure justifient la mise en œuvre d'un géotextile :

- en cas de drainage de l'ouvrage ;
- pour stopper les remontées de fines argilo-limoneuses entraînées par l'effet capillaire.

Lorsqu'un drainage de l'arase des terrassements est nécessaire, un géotextile drainant est mis en place, accompagné de **l'implantation d'un exutoire au point bas de l'ouvrage**.

La décision d'installer un géotextile anti-contaminant sera prise en fonction du résultat de la valeur au bleu du sol in situ :

- Si la valeur au bleu du sol (**VBS**) en place ou (**PST**) est inférieure ou égale à 0,10g/100g de sol sec, le géotextile est inutile ;
- Si la valeur au bleu (**VBS**) du sol en place (**PST**) est supérieure à 0,10g/100g de sol sec, la mise en place d'un géotextile est pertinente.

Remarque : la pose d'un géotextile entraîne une diminution de l'épaisseur de la couche de forme.

Le dimensionnement de la couche de forme en Grave Naturelle, Grave de Déconstruction ou en MIDND s'effectuera selon les **tableaux 6 et 7** ci-après.

Tableau n° 6 : EPAISSEURS DE COUCHE DE FORME CONSTITUEE EN GRAVE NATURELLE PROPRE GN (D21 ou D31) ou GRAVE DE DECONSTRUCTION (GD1sol) Mixte ou Béton

ARASE DE TERRASSEMENT	PLATE-FORME SUPPORT DES TERRASSEMENTS		CLASSE DE PLATE-FORME VISEE et TYPE DE MATERIAU							
			PF 1 +		PF2		PF2qs		PF3	
			GD1B	GN ou GD1M	GD1B	GN ou GD1M	GD1B	GN ou GD1M	GN	GD1B
AR1 20 à 50 MPa	PST n°1	Matériaux sensibles - Mauvaise portance à court et à long terme	35cm ou G+20cm	40cm ou G+25cm	65cm ou G+45cm	70cm ou G+50cm	85cm ou G+65cm	90cm ou G+70cm	/	/
	PST n°2	Matériaux sensibles -Bonne portance à court terme et mauvaise portance à long terme	25cm ou G + 15cm	30cm ou G + 20cm	45cm ou G+35cm	50cm ou G+40cm	65cm ou G+55cm	70cm ou G+60cm	80cm ou G+70cm	/
	PST n°3	Matériaux sensibles - Bonne portance à court terme hypothéquée par une sensibilité aux venues d'eaux pluviales	15cm	20cm	35cm ou G+25cm	40cm ou G+30cm	45cm ou G+35cm	50cm ou G+40cm	65cm ou G+55cm	/
AR2 50 à 120 MPa			/	/	25cm ou G+20cm	30cm ou G+25cm	35cm ou G+30cm	40cm ou G+35cm	65cm	65cm
	PST n°4	Matériaux traités à la chaux ou aux liants hydrauliques (1)	/	/	/	/	25cm	30cm	45cm	45cm
	PST n°5	Plate-forme de bonne portance posant des problèmes de traficabilité	/	/	/	/	/	/	35cm	35cm
AR3 120 à 200 MPa	PST n°6	Plate-forme de bonne portance posant des problèmes de traficabilité et/ou de réglage	/	/	/	/	/	/	Couche de fin réglage	Couche de fin réglage

Remarque : Les épaisseurs indiquées **incluent la couche de fin réglage**

G : Geotextile

(1) avec mise en œuvre d'un enduit de cure destiné à éviter la dessiccation de surface du matériau traité

↑
Effet enclume

Tableau n° 7 : EPAISSEURS DE COUCHE DE FORME CONSTITUEE EN GRAVE DE MACHEFERS (MIDND)

ARASE DE TERRASSEMENT	PLATE-FORME SUPPORT DES TERRASSEMENTS		CLASSE DE PLATE-FORME VISEE			
			PF1 +	PF2	PF2qs	PF3
AR1 20 à 50 MPa	PST n° 1	Matériaux sensibles - Mauvaise portance à court et à long terme	/	80cm ou géotextile + 70cm	/	/
	PST n° 2	Matériaux sensibles - Bonne portance à court terme et mauvaise portance à long terme	/	60cm ou géotextile + 50cm	80cm ou géotextile + 60cm	/
	PST n° 3	Matériaux sensibles - Bonne portance à court terme. Portance à long terme hypothéquée par une sensibilité aux venues d'eaux pluviales	/	45cm ou géotextile + 35cm	60cm ou géotextile + 50cm	/
/			35cm ou géotextile + 25cm	45cm ou géotextile + 35cm	/	
AR2 50 à 120 MPa	PST n°4	Matériaux traités à la chaux ou aux liants hydrauliques (1)	/	/	/	/
	PST n° 5	Plate-forme de bonne portance posant des problèmes de traficabilité	/	/	/	/
AR3 120 à 200 MPa	PST n° 6	Plate-forme de bonne portance posant des problèmes de traficabilité et/ou de réglage	/	/	/	

Remarque : Les épaisseurs indiquées **incluent la couche de fin réglage**

↑
Effet enclume

5. CONCEPTION DES COUCHES D'ASSISE

5.1. Paramètres de dimensionnement

Les paramètres de dimensionnement retenus sont récapitulés en annexe 1.

5.1.1. Types de sections dimensionnées (vocations)

Pour chaque catégorie de voie de l'agglomération, il existe une relation entre la situation géographique (centre-ville, périphérie, zone rurale, ...), la vocation de la voie et la présence plus ou moins importante de réseaux enterrés.

En effet, les voies de transit, interurbaines ou périurbaines comportent beaucoup moins de réseaux enterrés que n'en comportent les voies de desserte ou de distribution par exemple. Ce paramètre a une incidence non négligeable sur la politique d'investissement/entretien du fait du risque beaucoup plus faible d'interventions sur les réseaux par l'intermédiaire de tranchées. En conséquence, des travaux routiers plus durables seront réalisés sur les voiries moins sujettes à interventions sur les réseaux enterrés.

D'autre part, les voies de transit, ZI, liaison présentent des trafics importants et donc leur immobilisation pour des travaux d'entretien a un impact important sur les conditions de circulation. Aussi, il est fait le choix d'un investissement plus durable sur ces voiries pour minimiser la fréquence des travaux d'entretien.

C'est ainsi que les voies de l'agglomération sont classées d'après leur vocation en 5 grandes catégories :

- **les voies de transit, interurbaines ou périurbaines et les voies de Z.I. ;**
- **les voies de liaison, structurantes ou pénétrantes ;**
- **les voies de distribution ;**
- **les voies de desserte;**
- **les voies dédiées aux véhicules de transport en commun.**

Le tableau suivant présente les différents types de voies et leurs caractéristiques :

Voie	Situation	Vocation	Trafic	Exemple
Transit	Périphérie d'agglomérations	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Liaison de pôles d'activité ▪ Rocade (contournement des centres urbains) ▪ Desserte des Zones Industrielles importantes 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Trafic important ▪ Forte proportion de PL 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Boulevard urbain Est (BUE) ▪ Accès à la Z.I. de CORBAS ▪ Ex-voies départementales
Liaison	Zone agglomérée	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Structurer l'agglomération ▪ Assurer les liaisons internes à l'agglomération 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Trafic moyen à important ▪ Proportion de PL variable ▪ Proportion de bus important 	<p>LYON</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Avenue Lacassagne ▪ Rue Garibaldi ▪ Avenue Berthelot ▪ Quais du Rhône <p>VILLEURBANNE</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cours Emile Zola
Distribution	Zone urbanisée	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Irrigation des quartiers 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Trafic modéré ▪ Peu de poids lourds et de faible dimension ▪ Proportion de bus modérée 	<p>LYON</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rue Baraban ▪ Rue Vaubecour <p>CALUIRE</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rue de Margnoles <p>BRON</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rue de la Pagère <p>PIERRE- BENITE</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rue Voltaire
Desserte	Quartier/ lotissement	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desserte fine des riverains à l'intérieur du quartier 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Trafic très modéré ▪ Peu de poids lourds et de faible dimension ▪ Pas de bus 	<p>LYON</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rue David <p>VILLEURBANNE</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rue des fleurs <p>BRON</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rue Pierre Curie
Transport en commun	Tout type	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Voie dédiées recevant des véhicules de transport en commun dites Transport en Commun Site Propre (TCSP) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Trafic bus moyen à fort 	<p>LYON</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Avenue Lacassagne, allée Achille Lignon <p>VAULX EN VELIN</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rue Robespierre <p>CALUIRE</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Avenue Leclerc

5.1.2. *Trafic*

Définition du trafic pour le dimensionnement

Le trafic exprime pour une voie de circulation le nombre de passages de véhicules dans une période déterminée et pour une voie de circulation.

Les chaussées sont dimensionnées par rapport au trafic poids lourds (PL), car seuls les véhicules lourds, ont un effet significatif sur la fatigue des chaussées.

Cet effet est très largement fonction de la charge par essieu des véhicules : un essieu chargé à 13 tonnes est en moyenne 4 à 5 fois plus agressif qu'un essieu chargé à 10 tonnes.

Les véhicules légers par contre ont un effet négligeable sur les chaussées, ils provoquent uniquement une usure de la couche de roulement. Ainsi, le seul trafic qui sera pris en compte est le trafic lourd : poids lourds (charge supérieure à 3,5t) et transport en commun (TC).

Classes de trafic

La classe de trafic (T_i) est déterminée à partir du trafic poids lourds (P.T.C.A. > 3,5 tonnes) journalier moyen (MJA) de la voie la plus chargée pendant l'année de mise en service pour un sens donné.

Le trafic est déterminé en fonction du projet de voirie à dimensionner :

- soit par voie de circulation ;
- soit sur la voie la plus chargée ;
- soit sur la voie concernée.

Le trafic peut être déterminé :

- Soit par comptage journalier puis extrapolé à l'année. Pour les véhicules de transport en commun, le trafic est accessible de manière fiable à partir du plan des lignes et des fiches horaires. Le Trafic Moyen Journalier Annuel (TMJA) est ensuite obtenu en divisant le trafic annuel par 365.
- Soit par évaluation du trafic en fonction du type de section et des utilisateurs potentiels de la voirie.

À partir du TMJA, les différentes classes de trafic suivantes sont ensuite retenues :

		TMJA (PL/j/sens)						
Limite de classe		750	300	150	50	25	10	
Type de voie	Transit	T0	T1	T2	T3			
	Liaison		T1	T2	T3	T4		
	Distribution				T3	T4	T5	
	Desserte					T4	T5	T6
	TC		T1	T2	T3			

5.1.3. *Durée de service*

La durée de service ou durée de vie, est la période pendant laquelle aucun entretien structurel n'est théoriquement à prévoir.

5.1.4. *Risque de dimensionnement*

Le risque de calcul r sur une période de p années est la probabilité pour qu'apparaissent au cours de ces p années des désordres qui impliqueraient des travaux de renforcement assimilables à une reconstruction d'une partie de la chaussée en l'absence de toute intervention d'entretien structurel.

5.1.5. *Coefficient d'Agressivité Moyen (CAM)*

L'essieu de référence en France à partir duquel les chaussées sont dimensionnées est l'essieu simple de 13 tonnes à roues jumelées.

Dans la mesure où le trafic réel n'est pas uniquement composé de ce type d'essieu, il convient de convertir le trafic réel à nombre d'essieux équivalent de 13 tonnes à l'aide d'un coefficient appelé coefficient d'agressivité.

Ce coefficient est déterminé de manière empirique sur les différents types de voirie à partir de stations de pesage.

Sur certaines zones du tracé des voiries, zones dites « sensibles » l'agressivité des poids lourds va augmenter du fait d'une variation de la répartition des charges et des vitesses. Ces zones sont les ronds-points, les zones sinueuses et les zones d'accélération/freinage tels que les carrefours ou les arrêts de bus. Sur ces sites particuliers, le coefficient d'agressivité sera multiplié par 2.

5.2. Choix des structures

Les structures sont données par type de voie, par portance de plateforme, par type de structure et par classe de trafic.

Pour mémoire, la classe de plateforme doit être vérifiée (Point d'arrêt) au moyen d'essais à la plaque selon la norme NF P 94-117.1 et le mode opératoire du LCPC, le rapport de compactage $K = EV2/EV1$ doit être inférieur à 2,0

Pour chaque vocation de voies définie précédemment, il est proposé trois groupes de corps de chaussée, correspondant à des matériaux d'assise différents :

Groupe 1

- tout en grave ciment (GC)

Groupe 2

- tout en enrobé à module élevé (EME).

Groupe 3

- tout en grave bitume (GB) ;
- en grave bitume (GB) sur de la grave non traitée (GNT).

Groupe 4

- tout en grave non traitée (GNT).

5.2.1. Les structures en grave ciment (Groupe 1)

Les structures à assise traitée aux liants hydrauliques (Grave Ciment) sont proposées pour les chaussées à trafic intense fortement sollicitées soit les voies de transit et de liaison pour les trafics T0 à T2.

Les épaisseurs sont déterminées en fonction de la classe de trafic poids lourds et pour une classe de plate-forme PF.

Ces structures sont composées d'une couche de grave ciment reposant sur la plateforme et revêtue d'une ou deux couches de surface bitumineuse.

Ces structures supportent un fort trafic sans déformation. Elles sont de plus très durables.

Elles présentent néanmoins deux inconvénients :

- un temps de prise de quelques jours doit être respecté après la mise en œuvre durant lequel la chaussée ne doit pas être circulée ;
- des fissures de retrait transversales de la couche de grave ciment apparaissent espacées de 5 à 30 m. Ces fissures remontent avec le temps à travers la couche de roulement bitumineuse.

5.2.1. Les structures en enrobé à module élevé (Groupe 2)

La démarche est strictement similaire à celle décrite pour les structures en grave-bitume. S'agissant d'un matériau plus performant, les épaisseurs sont plus faibles mais en contrepartie, les exigences de portance sont plus fortes sur la plate-forme.

Ainsi, aucune structure de corps de chaussée en EME ne sera mise en œuvre sur une plateforme de type PF1+ et PF2. L'EME sera donc appliqué sur des plateformes de portance supérieure ou égale à la classe PF2qs.

Des structures sont proposées pour toutes vocations de voies (hors desserte) et pour tous trafics supérieurs à 50 PL/jour/sens (plage de T3 à T0).

Ce type de structure permet de réduire les épaisseurs à mettre en œuvre. Outre le côté financier, la réduction des épaisseurs peut présenter un intérêt en site urbain, du fait des diverses contraintes de niveaux (réseaux, bordures, caniveaux,...).

Remarque : Lors de la réfection définitive de tranchées, les EME et les BBME ne peuvent être utilisés car leur mise en œuvre doit être mécanisée avec du matériel lourd.

5.2.2. Les structures en grave bitume (Groupe 3)

Les structures en Grave Bitume (GB) sont proposées pour toutes les catégories de voiries et pour les trafics poids lourds (plage de T5 à T0).

Les épaisseurs sont déterminées en fonction de la classe de trafic poids lourds et pour une classe de plate-forme PF.

Deux types de structures de corps de chaussée sont ainsi définis :

- les structures avec fondation en matériau bitumineux (GB/GB), d'épaisseurs totales réduites, mais s'accommodant mal, en contrepartie, des supports médiocres (portance, résistance au gel) ;
- les structures avec fondation en matériau non lié (GB/GNT), d'épaisseurs plus importantes, mais s'adaptant mieux aux supports médiocres.

5.2.3. Les structures souples (Groupe 4)

Les structures souples comportent une couverture bitumineuse relativement mince (inférieure à 15cm), parfois réduite à un enduit superficiel d'usure (ESU) de chaussées.

Elles ne sont proposées que pour les trafics PL les plus faibles (classes T6 à T4, moins de 50 PL/jour/sens) ce qui exclut les voies de transit, interurbaines ou périurbaines.

Elles sont déterminées en fonction de la classe de trafic PL et pour une classe de plateforme PFi.

La fondation de ce type de structure est constituée de grave non traitée (GNT), d'une épaisseur totale pouvant varier de 15 à 50cm, en une ou deux couches. L'épaisseur par couche varie de 15 à 25cm. À partir de 25 cm d'épaisseur, la mise en œuvre se fait en 2 couches.

Pour les meilleures classes de plates-formes (PF3), la composition du corps de chaussée peut se limiter à une simple couche de roulement associée à une couche de fin réglage pour les plus faibles classes de trafics PL (T5 à T6).

5.2.4. Utilisation des dimensionnements du guide

Chaque dimensionnement est présenté sous la forme suivante :

Exemple : 5 cm BBSG
 8 cm GB3
 9 [11] cm GB3
 20/25 cm GNT
 25 cm GNT

Le premier chiffre désigne l'épaisseur à mettre en œuvre dans le cas général. Le second entre crochet [x] indique l'épaisseur pour les zones sensibles (zones sinueuses, carrefour ou arrêts de bus).

Attention, les épaisseurs de GNT employées dans les tableaux de dimensionnement constituent la couche de fondation et s'entendent donc en plus de l'épaisseur de couche de forme, déterminée en début du présent guide.

Pour les trafics inférieurs ou égaux à T3, la GNT peut être remplacée par une Grave de Déconstruction Non Traitée (GDNT).

L'ensemble des dimensionnements a été réalisé en prenant une couche de roulement constituée de BBSG. Un dimensionnement particulier devra être effectué en cas de changement d'épaisseur ou de nature de couche de roulement.

Dans la mesure du possible les matériaux seront mis en œuvre en couches d'épaisseur croissante. Les épaisseurs minimales et maximales suivantes devront être respectées :

Produit		Épaisseur moyenne d'utilisation (cm)	Épaisseur minimale en tous points (cm)
GB (NF P 98-150-1)	0/14	8 à 14	6
	0/20	10 à 16	8
EME (NF P 98-150-1)	0/10	6 à 8	5
	0/14	7 à 13	6
	0/20	9 à 15	8
GNT (NF P 98-086)	0/14	10 à 32	/
	0/20	15 à 32	/

NOTE IMPORTANTE : les structures proposées sont issues de calculs théoriques avec des hypothèses prédéfinies. Elles peuvent être optimisées et/ou adaptées au cas du site étudié.

5.3. Catalogue des corps de chaussée

5.3.1. Voie de transit - PF1+ ($30 \leq EV2 \leq 50MPa$)

Type de structure		Tout GC	Tout EME	Tout GB	GB sur GNT
Classe de trafic	T0	5 cm BBSG 5 cm BBSG 34 cm GC	5 cm BBSG 7 [8] cm EME2 8 [8] cm EME2 8 [9] cm EME2	5 cm BBSG 9 [11] cm GB3 10[11] cm GB3 11[12] cm GB3	5 cm BBSG 12 cm GB3 11 [14] cm GB3 25 cm GNT 25 cm GNT
	T1	7 cm BBSG 34 cm GC	5 cm BBSG 10 cm EME2 10[13] cm EME2	5 cm BBSG 9 cm GB3 9 cm GB3 9 [12] cm GB3	5 cm BBSG 10 cm GB3 10 [13] cm GB3 20 cm GNT 25 [25] cm GNT
	T2	6 cm BBSG 33 [34] cm GC	5 cm BBSG 9 cm EME2 9 [11] cm EME2	5 cm BBSG 8 cm GB3 8 cm GB3 8 [11] cm GB3	5 cm BBSG 8 cm GB3 9 [11] cm GB3 20 [25] cm GNT 25 cm GNT
	T3	6 cm BBSG 32 [33] cm GC	5 cm BBSG 8 cm EME2 8 [10] cm EME2	5 cm BBSG 11 cm GB3 11 [13] cm GB3	5 cm BBSG 7 cm GB3 7 [9] cm GB3 20 [25] cm GNT 25 cm GNT

5.3.2. Voie de transit - PF2 ($50 \leq EV2 \leq 80MPa$)

Type de structure		Tout GC	Tout EME	Tout GB	GB sur GNT
Classe de trafic	T0	5 cm BBSG 5 cm BBSG 30 [31] cm GC	5 cm BBSG 10 cm EME2 11 [13] cm EME2	5 cm BBSG 8 [10] cm GB3 10 cm GB3 10 [10] cm GB3	5 cm BBSG 11 cm GB3 10 [13] cm GB3 20 cm GNT 25 [25] cm GNT
	T1	7 cm BBSG 30 cm GC	5 cm BBSG 9 cm EME2 9 [11] cm EME2	5 cm BBSG 8 cm GB3 8 cm GB3 8 [11] cm GB3	5 cm BBSG 8 cm GB3 9 [12] cm GB3 25 [20] cm GNT 25 cm GNT
	T2	6 cm BBSG 30 cm GC	5 cm BBSG 8 cm EME2 8 [9] cm EME2	5 cm BBSG 10 [11] cm GB3 11 [13] cm GB3	5 cm BBSG 7 cm GB3 7 [10] cm GB3 25 [20] cm GNT 25 cm GNT
	T3	6 cm BBSG 29 cm GC	5 cm BBSG 13 [7] cm EME2 [8] cm EME2	5 cm BBSG 9 cm GB3 10 [12] cm GB3	5 cm BBSG 11 [13] cm GB3 20 [25] cm GNT 25 cm GNT

[*] : Épaisseur à prendre en compte sur les zones sensibles



Structure déconseillée

5.3.3. Voie de transit - PF2qs ($80 \leq EV2 \leq 120MPa$)

Type de structure		Tout GC	Tout EME	Tout GB	GB sur GNT
Classe de trafic	T0	5 cm BBSG 5 cm BBSG 28 cm GC	5 cm BBSG 9 cm EME2 10 [12] cm EME2	5 cm BBSG 9 cm GB3 9 cm GB3 7 [10] cm GB3	5 cm BBSG 9 cm GB3 10 [13] cm GB3 25 [20] cm GNT 25 cm GNT
	T1	7 cm BBSG 28 cm GC	5 cm BBSG 8 cm EME2 8 [10] cm EME2	5 cm BBSG 11 cm GB3 11 [13] cm GB3	5 cm BBSG 8 cm GB3 8 [10] cm GB3 20 [25] cm GNT 25 cm GNT
	T2	6 cm BBSG 28 cm GC	5 cm BBSG 13 [8] cm EME2 0 [8] cm EME2	5 cm BBSG 9 cm GB3 10 [12] cm GB3	5 cm BBSG 12 [7] cm GB3 0 [8] cm GB3 25 cm GNT 25 cm GNT
	T3	6 cm BBSG 27 cm GC	5 cm BBSG 11 [13] cm EME2	5 cm BBSG 8 cm GB3 9 [11] cm GB3	5 cm BBSG 9 [11] cm GB3 25 cm GNT 25 cm GNT

5.3.4. Voie de transit - PF3 ($120 \leq EV2 \leq 200MPa$)

Type de structure		Tout GC	Tout EME	Tout GB	GB sur GNT
Classe de trafic	T0	5 cm BBSG 5 cm BBSG 25 cm GC	5 cm BBSG 8 cm EME2 8 [10] cm EME2	5 cm BBSG 12 cm GB3 10 [13] cm GB3	5 cm BBSG 9 cm GB3 9 [12] cm GB3 20 cm GNT 25 [20] cm GNT
	T1	8 cm BBSG 25 cm GC	5 cm BBSG 13 [8] cm EME2 0 [8] cm EME2	5 cm BBSG 9 cm GB3 10 [13] cm GB3	5 cm BBSG 14 [8] cm GB3 0 [9] cm GB3 25 [20] cm GNT 25 cm GNT
	T2	6 cm BBSG 25 [26] cm GC	5 cm BBSG 11 [13] cm EME2	5 cm BBSG 8 cm GB3 9 [11] cm GB3	5 cm BBSG 11 [14] cm GB3 20 [30] cm GNT 20 [0] cm GNT
	T3	6 cm BBSG 24 [25] cm GC	5 cm BBSG 9 [11] cm EME2	5 cm BBSG 14 [8] cm GB3 0 [8] cm GB3	5 cm BBSG 9 [10] cm GB3 30 [25] cm GNT 0 [25] cm GNT

[*] : Épaisseur à prendre en compte sur les zones sensibles

5.3.5. Voie de liaison - PF1+ ($30 \leq EV2 \leq 50MPa$)

Type de structure		Tout GC	Tout EME	Tout GB	GB sur GNT	Tout GNT
Classe de trafic	T1	7 cm BBSG 32 [33] cm GC	5 cm BBSG 8 cm EME2 9 [11]cm EME2	5 cm BBSG 12 cm GB3 11 [13] cm GB3	5 cm BBSG 10 cm GB3 10 [12] cm GB3 20 cm GNT	/
	T2	6 cm BBSG 32 [33] cm GC	5 cm BBSG 7 [8] cm EME2 8 [9] cm EME2	5 cm BBSG 9 cm GB3 11 [13] cm GB3	5 cm BBSG 9 cm GB3 9 [11] cm GB3 20 cm GNT	/
	T3	6 cm BBSG 31 [32] cm GC	5 cm BBSG 13[7] cm EME2 [7] cm EME2	5 cm BBSG 9 cm GB3 9 [11] cm GB3	5 cm BBSG 7 [8] cm GB3 8 [9] cm GB3 20 cm GNT	8 cm BBSG 20 cm GNT2 20 cm GNT2 20 cm GNT2
	T4	6 cm BBSG 30 [31] cm GC	/	5 cm BBSG 7 [8] cm GB3 8 [9] cm GB3	5 cm BBSG 12 [14] cm GB3 20 cm GNT	5 cm BBSG 20 cm GNT2 30 cm GNT2

5.3.6. Voie de liaison - PF2 ($50 \leq EV2 \leq 80MPa$)

Type de structure		Tout GC	Tout EME	Tout GB	GB sur GNT	Tout GNT
Classe de trafic	T1	7 cm BBSG 29 [30] cm GC	5 cm BBSG 8 cm EME2 7 [8] cm EME2	5 cm BBSG 10 cm GB3 10 [12] cm GB3	5 cm BBSG 8 cm GB3 9 [11] cm GB3 20 cm GNT	/
	T2	6 cm BBSG 29 [30] cm GC	5 cm BBSG 13[7] cm EME2 [7] cm EME2	5 cm BBSG 8 [9] cm GB3 9 [11] cm GB3	5 cm BBSG 14 [8] cm GB3 [9] cm GB3 20 cm GNT	/
	T3	6 cm BBSG 28 [29] cm GC	5 cm BBSG 11[12]cmEME2	5 cm BBSG 7 [8 cm GB3 8 [9] cm GB3	5 cm BBSG 12 [14] cm GB3 20 cm GNT	8 cm BBSG 20 cm GNT2 30 cm GNT2
	T4	6 cm BBSG 27 cm GC	/	5 cm BBSG 12 [14] cm GB3	5 cm BBSG 9 [11] cm GB3 20 cm GNT	5 cm BBSG 20 cm GNT2 25 cm GNT2

[*] : Épaisseur à prendre en compte sur les zones sensibles

Structure déconseillée

5.3.7. Voie de liaison - PF2qs ($80 \leq EV2 \leq 120MPa$)

Type de structure		Tout GC	Tout EME	Tout GB	GB sur GNT	Tout GNT
Classe de trafic	T1	7 cm BBSG 27 cm GC	5 cm BBSG 13 [7]cm EME2 [7] cm EME2	5 cm BBSG 9 cm GB3 9 [11] cm GB3	5 cm BBSG 8 cm GB3 7 [9] cm GB3 20 cm GNT	/
	T2	6 cm BBSG 27[28]cm GC	5 cm BBSG 11[12]cm EME2	5 cm BBSG 7 [8] cm GB3 8 [9] cm GB3	5 cm BBSG 12 [14] cm GB3 20 cm GNT	/
	T3	6 cm BBSG 26[27]cm GC	5 cm BBSG 9 [11]cm EME2	5 cm BBSG 13 [7] cm GB3 [8] cm GB3	5 cm BBSG 9 [11] cm GB3 20 [15] cm GNT	8 cm BBSG 20 cm GNT2 15 cm GNT2
	T4	6 cm BBSG 25 cm GC	/	5 cm BBSG 10 [12] cm GB3	5 cm BBSG 7 [8] cm GB3 20 cm GNT	5 cm BBSG 15 cm GNT2 10 cm GNT2

5.3.8. Voie de liaison - PF3 ($120 \leq EV2 \leq 200MPa$)

Type de structure		Tout GC	Tout EME	Tout GB	GB sur GNT	Tout GNT
Classe de trafic	T1	7 cm BBSG 24 [25] cm GC	5 cm BBSG 11 [13]cm EME2	5 cm BBSG 7 [8] cm GB3 8 [9] cm GB3	5 cm BBSG 12 [13] cm GB3 20 cm GNT	/
	T2	6 cm BBSG 24 [25] cm GC	5 cm BBSG 9[11] cm EME2	5 cm BBSG 12 [7] cm GB3 [8] cm GB3	5 cm BBSG 9 [11] cm GB3 20 cm GNT	/
	T3	6 cm BBSG 23 [24] cm GC	5 cm BBSG 8 [9] cm EME2	5 cm BBSG 10 [12] cm GB3	5 cm BBSG 7 [9] cm GB3 20 cm GNT	8 cm BBSG 20 cm GNT2 10 cm GNT2
	T4	6 cm BBSG 22 [23] cm GC	/	5 cm BBSG 8 [9] cm GB3	5 cm BBSG 7 cm GB3 5 [10] cm GNT	5 cm BBSG 20 cm GNT2

[*] : Épaisseur à prendre en compte sur les zones sensibles

5.3.9. Voie de distribution - PF1+ ($30 \leq EV2 \leq 50MPa$)

Type de structure		Tout EME	Tout GB	GB sur GNT	Tout GNT
Classe de trafic	T3	5 cm BBSG 9 [12] cm EME2	5 cm BBSG 12 [14] cm GB3	5 cm BBSG 10 [13] cm GB3 20 cm GNT	5 [6] cm BBSG 30 cm GNT2 20 [30] cm GNT2
	T4	5 cm BBSG 7 [8] cm EME2	5 cm BBSG 10 [12] cm GB3	5 cm BBSG 7 [9] cm GB3 20 cm GNT	5 cm BBSG 20 cm GNT2 25 [30] cm GNT2
	T5	5 cm BBSG 6 [7] cm EME2	5 cm BBSG 8 [10] cm GB3	5 cm BBSG 7 [8] cm GB3 10 cm GNT	5 cm BBSG 15 cm GNT2 25 [30] cm GNT2

5.3.10. Voies de distribution - PF2 ($50 \leq EV2 \leq 80MPa$)

Type de structure		Tout EME	Tout GB	GB sur GNT	Tout GNT
Classe de trafic	T3	5 cm BBSG 7 [10] cm EME2	5 cm BBSG 10 [12] cm GB3	5 cm BBSG 7 [11] cm GB3 20 cm GNT	5 [6] cm BBSG 20 cm GNT2 15 [30] cm GNT2
	T4	5 cm BBSG [8] cm EME2	5 cm BBSG 8 [9] cm GB3	5 cm BBSG 7 cm GB3 10 cm GNT	5 cm BBSG 20 cm GNT2 15 cm GNT2
	T5	/	5 cm BBSG 7 [8] cm GB3	/	5 cm BBSG 15 cm GNT2 10 [15] cm GNT2

[*] : Épaisseur à prendre en compte sur les zones sensibles

Structure déconseillée

5.3.11. Voie de distribution - PF2qs ($80 \leq EV2 \leq 120MPa$)

Type de structure		Tout EME	Tout GB	GB sur GNT	Tout GNT
Classe de trafic	T3	5 cm BBSG 6[8] cm EME2	5 cm BBSG 8 [10] cm GB3	5 cm BBSG 7 [9] cm GB3 10 cm GNT	5 [6] cm BBSG 15 [20] cm GNT2 10 [20] cm GNT2
	T4	/	5 cm BBSG 7 cm GB3	/	5 cm BBSG 15 cm GNT2 10 cm GNT2
	T5	/	/	/	5 cm BBSG 10 [15] cm GNT2 10 cm GNT2

5.3.12. Voie de distribution - PF3 ($120 \leq EV2 \leq 200MPa$)

Type de structure		Tout EME	Tout GB	GB sur GNT	Tout GNT
Classe de trafic	T3	5 cm BBSG [7] cm EME2	5 cm BBSG 7 [8] cm GB3	/	5 [6] cm BBSG 10 [15] cm GNT2 10 [15] cm GNT2
	T4	/	/	/	5 cm BBSG 20 cm GNT2
	T5	/	/	/	5 cm BBSG 15 cm GNT2

[*] : Épaisseur à prendre en compte sur les zones sensibles

5.3.13. Voies de desserte - PF1+ ($30 \leq EV2 \leq 50MPa$)

Type de structure		Tout EME	Tout GB	GB sur GNT	Tout GNT
Classe de trafic	T4	/	5 cm BBSG 10 [12] cm GB3	5 cm BBSG 7 [9] cm GB3 20 cm GNT	4 cm BBSG 15 [20] cm GNT2 30 cm GNT2
	T5	/	5 cm BBSG 8 [10] cm GB3	5 cm BBSG 7 [8] cm GB3 10 cm GNT	4 cm BBSG 15 cm GNT2 25 [30] cm GNT2
	T6	/	/	/	4 cm BBSG 15 cm GNT2 10 [15] cm GNT2

5.3.14. Voies de desserte - PF2 ($50 \leq EV2 \leq 80MPa$)

Type de structure		Tout EME	Tout GB	GB sur GNT	Tout GNT
Classe de trafic	T4	/	5 cm BBSG 8 [9] cm GB3	5 cm BBSG 7 cm GB3 10 cm GNT	5 cm BBSG 20 cm GNT2 15 cm GNT2
	T5	/	5 cm BBSG 7 [8] cm GB3	/	5 cm BBSG 15 cm GNT2 10 [15] cm GNT2
	T6	/	/	/	5 cm BBSG 20 cm GNT2

[*] : Épaisseur à prendre en compte sur les zones sensibles

5.3.15. Voies de desserte - PF2qs ($80 \leq EV2 \leq 120MPa$)

Type de structure		Tout EME	Tout GB	GB sur GNT	Tout GNT
Classe de trafic	T4	/	5 cm BBSG 7 cm GB3	/	5 cm BBSG 15 cm GNT2 10 cm GNT2
	T5	/	/	/	5 cm BBSG 10 [15] cm GNT2 10 cm GNT2
	T6	/	/	/	5 cm BBSG 15 cm GNT2

5.3.16. Voies de desserte - PF3 ($120 \leq EV2 \leq 200MPa$)

Type de structure		Tout EME	Tout GB	GB sur GNT	Tout GNT
Classe de trafic	T4	/	/	/	5 cm BBSG 20 cm GNT2
	T5	/	/	/	5 cm BBSG 15 cm GNT2
	T6	/	/	/	5 cm BBSG 10 cm GNT2

[*] : Épaisseur à prendre en compte sur les zones sensibles

5.3.17. Voies TC - PF2 (50 ≤ EV2 ≤ 80MPa)

Type de structure		Tout EME	Tout GC	Tout GB	GB sur GNT
Classe de trafic	T0	5 cm BBSG 10 cm EME2 10 [12] cm EME2	7cm BBSG 32[45]cm GC	5 cm BBSG 8 [9] cm GB3 9 [9] cm GB3 9 [11] cm GB3	5 cm BBSG 13 cm GB3 10 [13] cm GB3 25 cm GNT
	T1	5 cm BBSG 8 cm EME2 9 [11] cm EME2	7cm BBSG 30[31]cm GC	5 cm BBSG 12[11] cm GB3 11[14] cm GB3	5 cm BBSG 10 cm GB3 10 [12] cm GB3 20 [25] cm GNT
	T2	5 cm BBSG 7 [8] cm EME2 8 [9] cm EME2	6cm BBSG 30[31]cm GC	5 cm BBSG 10 cm GB3 10 [13] cm GB3	5 cm BBSG 8 cm GB3 9 [12] cm GB3 20 cm GNT
	T3	5 cm BBSG 12 [7] cm EME2 [7] cm EME2	6cm BBSG 29[29]cm GC	5 cm BBSG 9 cm GB3 9 [11] cm GB3	5 cm BBSG 8 cm GB3 7 [9] cm GB3 20 cm GNT

5.3.18. Voies TC - PF2qs (80 ≤ EV2 ≤ 120MPa)

Type de structure		Tout EME	Tout GC	Tout GB	GB sur GNT
Classe de trafic	T0	5 cm BBSG 9 cm EME2 9 [11] cm EME2	5cm BBSG 5cm BBSG 28[28]cm GC	5 cm BBSG 8 cm GB3 8 cm GB3 8 [11] cm GB3	5 cm BBSG 10 cm GB3 11 [13] cm GB3 20 [25] cm GNT
	T1	5 cm BBSG 7 [8] cm EME2 8 [9] cm EME2	7cm BBSG 28[28]cm GC	5 cm BBSG 11 cm GB3 10 [12] cm GB3	5 cm BBSG 9 cm GB3 9 [11] cm GB3 20 cm GNT
	T2	5 cm BBSG 13 [7] cm EME2 [8] cm EME2	7cm BBSG 28[28]cm GC	5 cm BBSG 9 cm GB3 9 [11] cm GB3	5 cm BBSG 8 cm GB3 7 [9] cm GB3 20 cm GNT
	T3	5 cm BBSG 10 [12] cm EME2	6cm BBSG 27[27]cm GC	5 cm BBSG 8 cm GB3 8 [10] cm GB3	5 cm BBSG 13 [14] cm GB3 20 cm GNT

[*] : Épaisseur à prendre en compte sur les zones sensibles (arrêt de bus)

5.3.19. Voies TC - PF3 ($120 \leq EV2 \leq 200MPa$)

Type de structure		Tout EME	Tout GC	Tout GB	GB sur GNT
Classe de trafic	T0	5 cm BBSG 7 [8] cm EME2 8 [9] cm EME2	5cm BBSG 5cm BBSG 25[25]cm GC	5 cm BBSG 10 [11] cm GB3 11 [13] cm GB3	5 cm BBSG 9 cm GB3 10 [12] cm GB3 20 cm GNT
	T1	5 cm BBSG 12 [7] cm EME2 [8] cm EME2	7cm BBSG 28[28]cm GC	5 cm BBSG 9 cm GB3 9 [11] cm GB3	5 cm BBSG 7 [8] cm GB3 8 [10] cm GB3 20 cm GNT
	T2	5 cm BBSG 10 [12] cm EME2	6cm BBSG 25[26]cm GC	5 cm BBSG 8 cm GB3 8 [10] cm GB3	5 cm BBSG 12 [7] cm GB3 [8] cm GB3 20 cm GNT
	T3	5 cm BBSG 8 [10] cm EME2	6cm BBSG 24 [25]cm GC	5 cm BBSG 13 [7] cm GB3 [8] cm GB3	5 cm BBSG 9 [11] cm GB3 20 cm GNT

[*] : Épaisseur à prendre en compte sur les zones sensibles (arrêt de bus)

6. VÉRIFICATION AU GEL

L'appréciation de la tenue de la chaussée lors des phases gel/dégel est établie par une vérification menée séparément et après l'étude de la tenue mécanique sous trafic poids lourds.

6.1. Définitions

Pour pratiquer cette vérification, il est indispensable de retenir certaines définitions en l'occurrence :

- L'indice de gel atmosphérique admissible (**IA**), calculé pour chaque chaussée, correspond à une limite en deçà de laquelle les phénomènes de perte de portance et de gonflement sont suffisamment modérés pour qu'il n'apparaisse pas de désordres et qu'il n'y ait pas lieu d'introduire de restriction de circulation.
Pour une chaussée, l'indice de gel atmosphérique admissible (IA) correspond à l'indice de gel atmosphérique que peut supporter chaque année une chaussée sans subir un endommagement excessif sous l'action du trafic en période de dégel.
- L'hiver de référence (**IR**) est l'hiver contre les effets duquel la chaussée doit être protégée pour une région donnée.

6.2. Principe

La vérification au gel/dégel intervient **seulement** lorsque la structure de chaussée est complètement dimensionnée par rapport aux sollicitations mécaniques du trafic poids lourds (PL) et si le sol support naturel présente un caractère gélif.

Cette **vérification** peut éventuellement engendrer une augmentation de l'épaisseur de la couche de forme. Cette vérification pour une structure de chaussée neuve donnée ou élargissement de voie, consiste à **comparer**, pour une rigueur d'hiver donnée, le **gel transmis** à la base de la structure au **gel admissible** à la surface du sol support gélif (**arase**).

Le schéma suivant permet de synthétiser la démarche de vérification au gel :

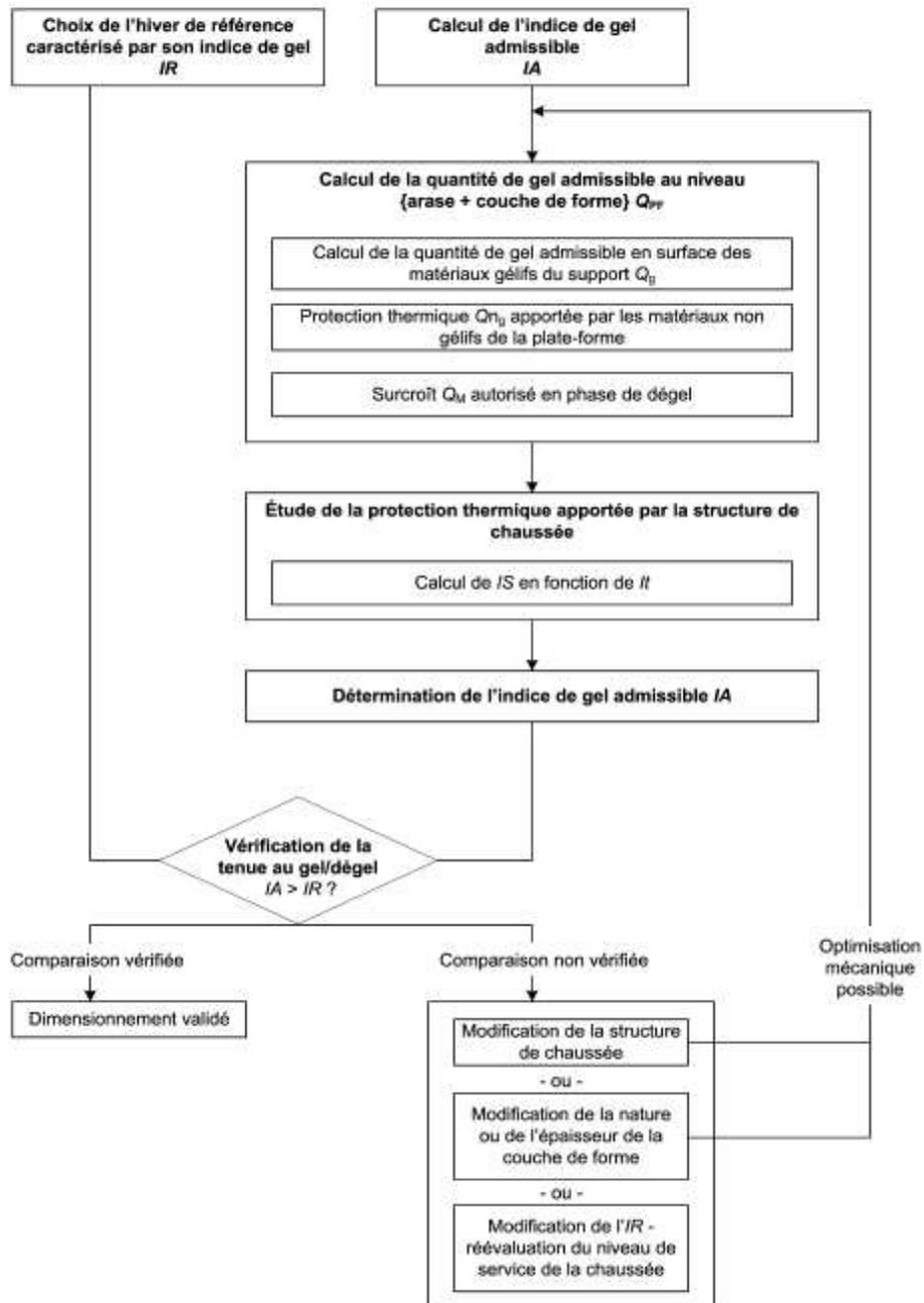
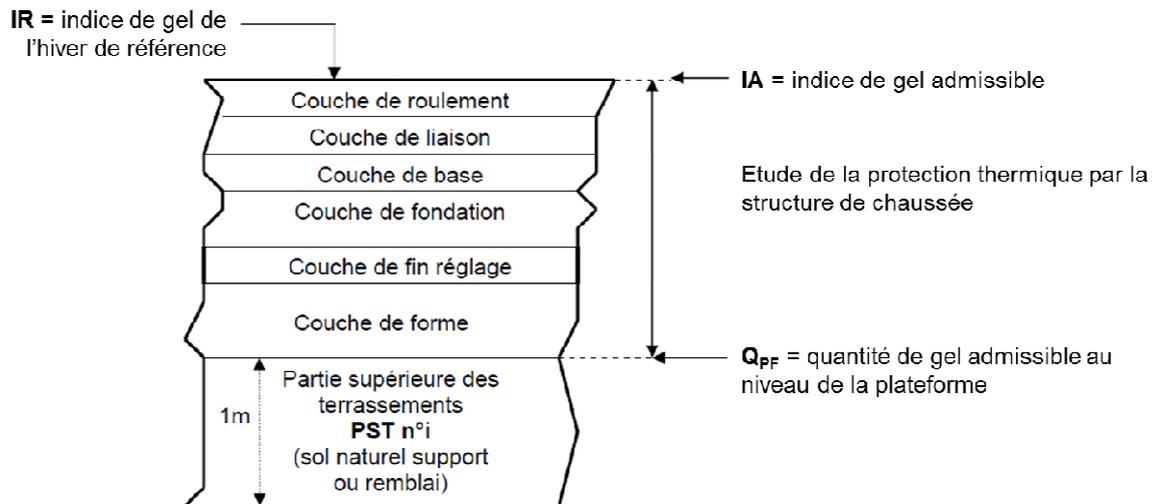


Figure extraite de la norme NF P 98-086 - Dimensionnement structurel des chaussées routières - Application aux chaussées neuves

Le gel transmis à la base d'une structure neuve ou élargissement de voie est fonction des couches qui la composent et de l'indice de gel atmosphérique de référence **IR** pour lequel la chaussée doit être protégée.



Remarque :

La méthode décrite ci-après est une adaptation de la norme NF P 98-086 appliquée aux chaussées de l'agglomération du Grand Lyon et des matériaux qui y sont couramment utilisés. Elle se présente sous une forme plus simple et comporte en contrepartie quelques approximations.

Pour vérifier la résistance au gel d'une chaussée, une comparaison entre les grandeurs suivantes doit être effectuée :

- L'Indice de gel de l'hiver de référence noté **IR** ;
- la quantité de gel transmis à la base de la structure de chaussée neuve noté **Q_{PF}** ;
- le gel admissible à la surface du sol naturel support gélif noté **IA**.

6.3. Méthode de vérification au gel

6.3.1. Détermination de la quantité de gel admissible au niveau de la PST

La quantité de gel QPF tenue pour admissible au niveau de la Partie Supérieure des Terrassements est calculée selon l'équation suivant :

$$Q_{PF} = Q_{ng} + Q_g + Q_M$$

- où : Q_{PF} est la quantité de gel admissible au niveau de la PST exprimée en $(^{\circ}\text{C.jour})^{1/2}$;
 Q_{ng} est la quantité de gel correspondant à la protection thermique des couches non gélives exprimée en $(^{\circ}\text{C.jour})^{1/2}$;
 Q_g est la quantité de gel admissible en surface des couches gélives exprimée en $(^{\circ}\text{C.jour})^{1/2}$;
 Q_M est la quantité de gel mécanique exprimée en $(^{\circ}\text{C.jour})^{1/2}$.

Détermination de Q_{ng}

La protection thermique apportée par les matériaux non gélifs de la couche de forme est fonction de leur nature et de leur épaisseur.

Q_{ng} est calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$Q_{ng} = A_{ng} \frac{h_{ng}^2}{h_{ng} + 0.1}$$

- où : Q_{ng} est la quantité de gel correspondant à la protection thermique apportée par les couches non gélives de la plate-forme exprimée en $(^{\circ}\text{C.jour})^{1/2}$;
 h_{ng} est l'épaisseur de matériaux non gélifs de la plateforme exprimée en mètres (m) ;
 A_{ng} est le coefficient dépendant de la nature du matériau de la couche de forme exprimé en $(^{\circ}\text{C.jour})^{1/2} \cdot \text{m}^{-1}$ dont les valeurs sont fournies dans le tableau ci-dessous.

	GNT et matériaux de type D	Matériaux de type A ou C1A traités	Matériaux de type B ou C1B traités au liants hydrauliques	Cendres volantes
A_{ng}	12	14	13	17

Attention : une couche de GNT mise en œuvre en couche de fondation n'entre pas dans la composition de la plateforme.

Détermination de Q_g

L'essai de gonflement permet d'apprécier la gélivité du sol naturel support. Selon la classe géotechnique déterminée de l'arase de la chaussée, la quantité de gel admissible à la surface des matériaux gélifs (Q_g) est la suivante (hypothèse Grand Lyon) :

- $Q_g = \infty$, pour un **support non gélif (SnG)** (dans ce cas précis la vérification au gel n'est pas à effectuer) ;
- $Q_g = 2,5$, pour un **support peu gélif (SpG)** ;
- $Q_g = 0$, pour un **support très gélif (StG)**.

Remarque : en l'absence de résultats d'essai de gonflement au gel sur le matériau de l'arase de terrassement, les classes de sensibilité au gel mentionnées ci-après pourront être prises en compte :

D1, D2, D3 : Support non gélifs (SnG)

A3, A4, B1, B3 : Support peu gélifs (SpG)

A1, A2, B2, B4, B5, B6, R1, R3 : Support très gélifs (StG)

Détermination de Q_M

Q_M est un coefficient correspondant à la résistance mécanique de la structure fonction de l'aptitude de la chaussée à supporter sans endommagement excessif une perte de portance du sol naturel support au dégel.

Ce paramètre est directement fonction de l'épaisseur totale en centimètres des couches traitées et non traitées.

Pour les chaussées peu épaisses dont l'épaisseur totale des couches liées est inférieure ou égale à 20 cm, $Q_M = 0$.

Pour les chaussées dont l'épaisseur totale des couches liées est supérieure à 20cm :

Le module équivalent des couches liées est déterminé à partir de l'équation :

$$E_{eq} = \frac{\sum_i E_i h_i}{\sum_i h_i}$$

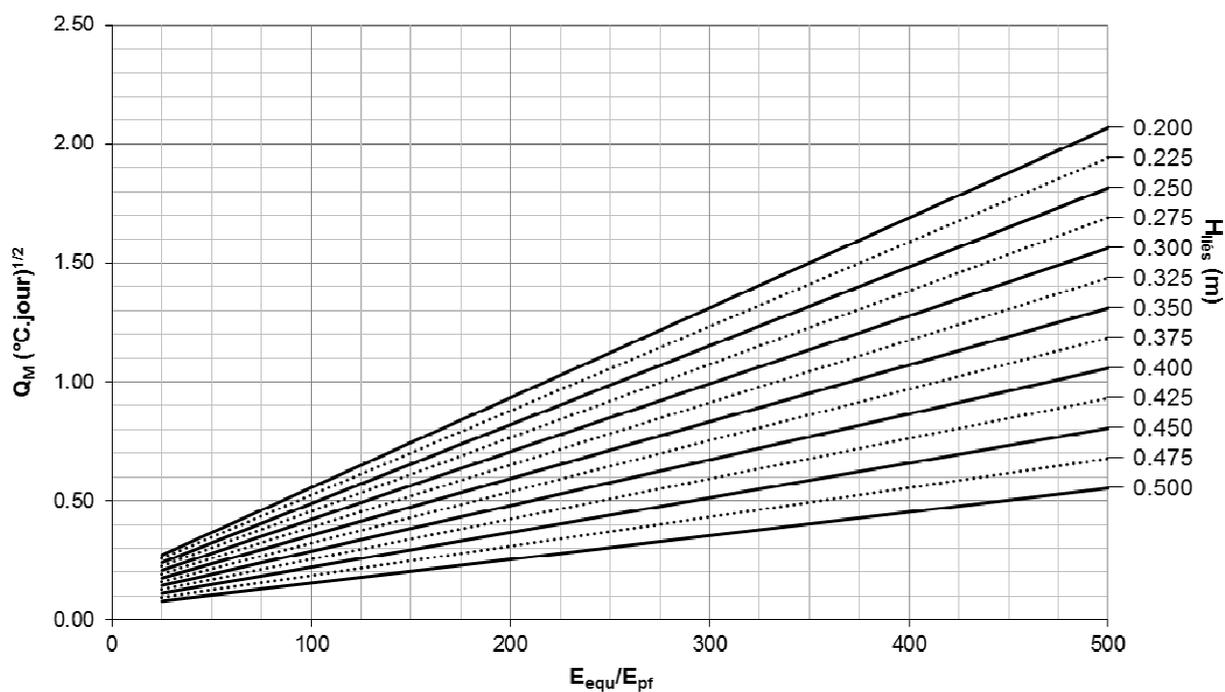
où : E_i est le module de la couche liée i ;

h_i est l'épaisseur de la couche liée i .

Les valeurs de module E pour chaque type de matériaux sont fournies dans le tableau ci-dessous :

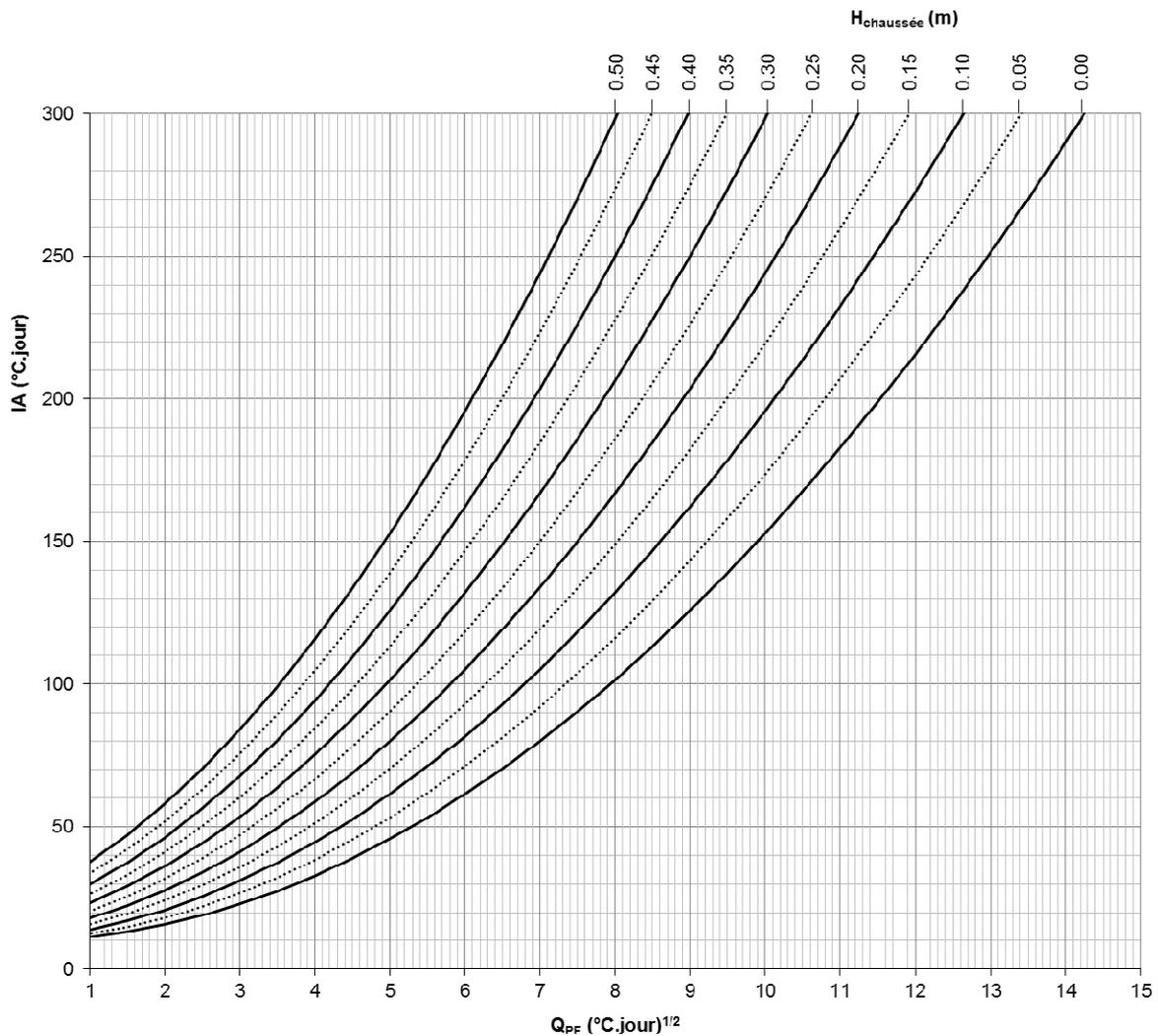
Matériau	Module E (MPa)
EME2	14 000
GB3	9 000
GC	23 000
BBSG	7 000

QM est ensuite déterminé à partir de l'abaque suivant en fonction de l'épaisseur totale des couches liées $H_{liés}$ et du rapport E_{eq}/E_{pf} où E_{pf} est le module de la plateforme.



6.3.2. Détermination de l'indice de gel admissible (IA)

L'indice de gel admissible **IA** à la surface de la chaussée est déterminé en fonction de l'épaisseur totale du corps de chaussée $H_{\text{chaussée}}$ et de la quantité de gel admissible à la surface de la plateforme Q_{pf} à l'aide de l'abaque suivant :



6.3.3. Choix de l'indice de gel de référence (IR)

L'indice de gel atmosphérique de référence (**IR**) à prendre en compte pour la vérification des chaussées communautaires est l'indice de l'hiver rigoureux non exceptionnel choisi pour la période 1985-2015. L'indice à prendre en compte est choisi selon la carte ci-après selon la zone concernée.

6.3.4. Conclusion de la démarche

La comparaison de l'indice de gel admissible de la chaussée (**IA**) obtenu à partir de l'abaque à l'indice de gel atmosphérique de référence (**IR**) déterminé à partir de la zone géographique tirée de la carte du Grand Lyon, permet de mettre en évidence deux cas :

1er cas : $IA \geq IR$ la structure de chaussée choisie **convient**.

2ème cas : $IA < IR$ la structure de chaussée choisie **ne convient pas**.

Dans ces conditions il conviendra de choisir :

- soit un autre corps de chaussée constitué de matériaux différents tout en respectant la même vocation de voie, classe de trafic PL et de plate-forme
- soit augmenter l'épaisseur de la couche de forme.

6.4. Exemple de vérification au gel

6.4.1. Données

A Dardilly, sur une voie structurante, une chaussée neuve doit être construite. Il n'y a pas de cas particulier sensible sur la chaussée (type rond-point ou zone sinueuse).

Le trafic est estimé à 200 poids lourds par jour et par sens. La portance de la plate-forme est comprise entre 90 et 100MPa.

Le sol support est réputé très gélif (SG_T).

Il est prévu une couche de forme en grave naturelle 0/80 propre, de classe géotechnique D3, de 40 cm d'épaisseur.

6.4.2. Dimensionnement de la structure de chaussé

- Vocation : Voie de liaison ;
- Le trafic poids lourds appartient à la classe T2 (150 à 300 PL/jour/sens) ;
- La plate-forme est de classe PF2qs (80 MPa \leq EV2 < 120 MPa) ;
- Au plan du gel, la commune de Dardilly se situe en zone 2, d'où IRz2 = 90°C.jour.

En se référant aux planches de structures, pour une voie de liaison ou structurante, et pour le couple (PF2qs, T2), les structures suivantes peuvent être choisies :

- **EME** : 11 EME + 5 BBSG
- **GC** : 27 GC + 6 BBSG
- **GB** : 7 GB3 + 8 GB3 + 5 BBSG
- **GB/GNT** : 20 GNT + 12 GB3 + 5 BBSG

6.4.1. Calcul de la quantité de gel admissible

La quantité de gel admissible est calculé à l'aide de la formule $Q_{pf} = Q_{ng} + Q_g + Q_M$.

Calcul de Q_{ng}

La première étape consiste à calculer la protection thermique apportée par les matériaux non gélifs.

La couche de forme est constituée d'une couche de forme en grave naturelle 0/80 propre, de classe géotechnique D3, de 40 cm d'épaisseur. Le matériau est alors considéré comme non gélif. Le coefficient A_{ng} vaut donc 12 et l'épaisseur de matériaux non gélifs h_{ng} est de 0.4 m.

Q_{ng} vaut donc :

$$Q_{ng} = A_{ng} \frac{h_{ng}^2}{h_{ng} + 0.1} = 12 \frac{0.4^2}{0.4 + 0.1} = 3.84 (\text{°C.jour})^{\frac{1}{2}}$$

Calcul de Q_g

La deuxième étape consiste à calculer la quantité de gel admissible en surface des couches gélives.

L'énoncé précise que le sol support est réputé très gélif (SGT) :

$$Q_g \text{ vaut donc } 0 (\text{°C.jour})^{1/2}$$

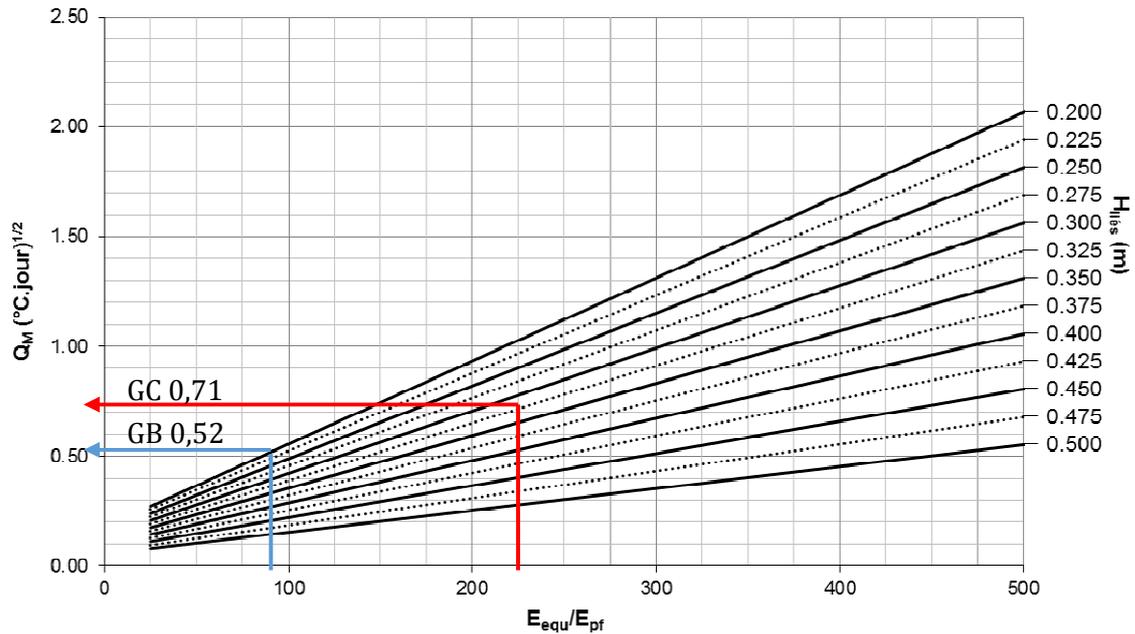
Calcul de Q_M

La troisième étape consiste à calculer la quantité de gel mécanique admissible par la structure de chaussée. A cette étape, le type de structure choisi entre en compte.

Le tableau suivant fourni les différentes valeurs de E_{eq} , E_{eq}/E_{pf} , H et Q_M en prenant $E_{pf} = 90$ MPa.

Structure	E_{eq} (MPa)	E_{eq}/E_{pf}	$H_{liés}$ (m)	Q_M (°C.jour) ^{1/2}
EME	11 813	131	0,16	0
GC	20 091	223	0,33	0,71
GB	8 500	94	0,20	0,52
GB/GNT	8 412	93	0,17	0

Pour rappel, si $H_{liés} < 0.2$, $Q_M = 0$.



Calcul de Q_{pf}

La quantité de gel admissible par la plateforme est donnée dans le tableau suivant :

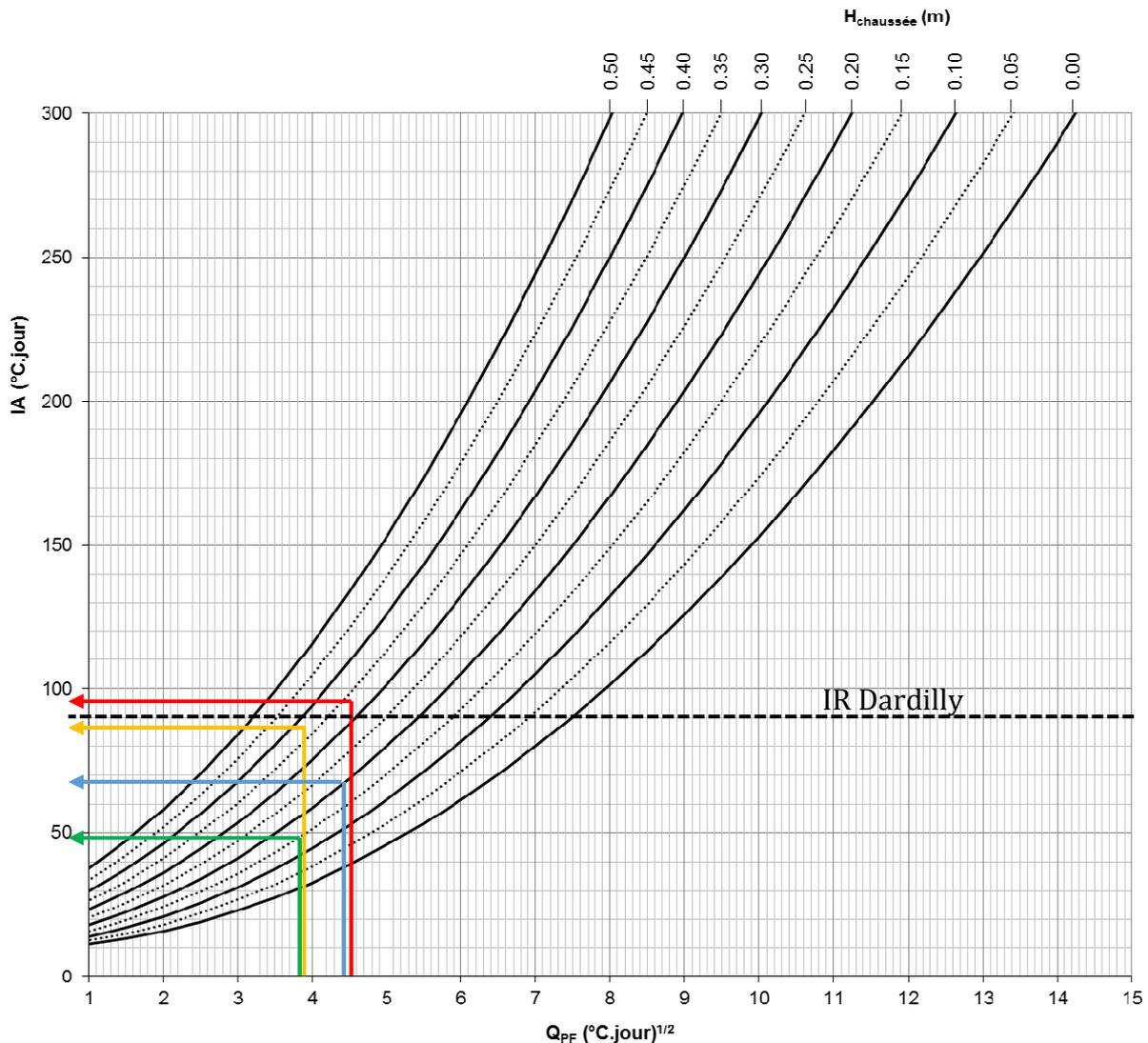
Structure	Q _{ng} (°C.jour) ^{1/2}	Q _g (°C.jour) ^{1/2}	Q _M (°C.jour) ^{1/2}	Q _{pf} (°C.jour) ^{1/2}
EME	3,84	0	0	3,84
GC			0,71	4,55
GB			0,52	4,36
GB/GNT			0	3,84

6.4.2. Calcul de l'indice de gel admissible et vérification au gel

La quantité de gel admissible IA est calculée à partir de Q_{pf} et de l'épaisseur du corps chaussée, fournies pour chaque type de structure dans le tableau suivant.

Structure	H _{chaussée} (m)	Q _{pf} (°C.jour) ^{1/2}	IA °C.jour
EME	0,16	3,84	48
GC	0,33	4,55	96
GB	0,20	4,36	69
GB/GNT	0,37	3,84	88

La chaussée dimensionnée se situe à Dardilly, en zone 2, où IR_{z2} = 90°C.jgel.



CONCLUSION

Seule la structure GC répond parfaitement aux contraintes thermiques du site (commune de Dardilly située en zone 3) c'est à dire : $IA > IRz3 = 90^{\circ}\text{C.jour}$.

Pour que les structures GB, EME et GB/GNT satisfassent aux conditions de gel, il faut que IA soit supérieure à 90°C.jour . La démarche inverse à l'exemple est donc menée pour déterminer l'épaisseur de couche de forme non gélive à mettre en œuvre :

- 58 cm de couche de forme pour la structure EME (soit 18 cm de plus que prévu initialement) ;
- 49 cm de couche de forme pour la structure GB (soit 9 cm de plus que prévu initialement) ;
- 41 cm de couche de forme pour la structure GB/GNT (soit 1 cm de plus que prévu initialement).

6.5. Tableau récapitulatif des symboles et de leur signification

Symboles des paramètres	Signification	Unité
E	Module des différentes couches liées de la chaussée	MPa
H_{chaussée}	Épaisseur totale du corps de chaussée (couches liées et non liées)	m
H_{liées}	Épaisseur totale des couches liées de la chaussée	m
IA	Indice de gel Admissible de la chaussée	°C.jgel
IR	Indice de gel atmosphérique de Référence par zones géographiques contre lequel la chaussée doit être protégée	°C.jgel
Q_g	Quantité de gel admissible en surface des couches gélives	(°C.jour) ^{1/2}
Q_M	Quantité de gel admissible par la structure de chaussée du fait de sa résistance mécanique	(°C.jour) ^{1/2}
Q_{ng}	Quantité de gel correspondant à la protection thermique des couches non gélives	(°C.jour) ^{1/2}
Q_{pf}	Quantité de gel admissible au niveau de la plate-forme de chaussée	(°C.jour) ^{1/2}

ANNEXE 1. HYPOTHÈSES DE CALCUL DES STRUCTURES

Pour calculer les différentes structures de chaussée, les hypothèses suivantes ont été prises :

Classe de trafic

Pour chaque classe de trafic Poids Lourds, un trafic correspondant à la moyenne géométrique :

	TMJA						
Limite de classe	750	300	150	50	25	10	
Classe de trafic PL	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Trafic pour le calcul	1200	475	210	90	35	16	3

Durée de service et accroissement de trafic

Pendant la durée de service, le trafic va augmenter avec un accroissement géométrique τ . Cette valeur est fournie par l'exploitant de la section. A défaut de données plus précises, les taux d'accroissement seront pris comme définis dans le tableau suivant.

Le facteur de cumul C est ensuite calculé selon la formule :

$$C = d \cdot \left(1 + \frac{\tau \cdot (d - \tau)}{2} \right)$$

avec d : durée de service en années
 τ : taux d'accroissement géométrique

Les valeurs de C sont données dans le tableau ci-dessous :

Voies	Taux d'accroissement	Durée de service	Facteur de cumul C
Voies de transit	2 %	20 ans	24,0
Voies de liaison	2 %	15 ans	17,2
Voies de distribution	2 %	10 ans	11,0
Voies de desserte	2 %	10 ans	11,0
Voies TC	2%	15 ans	17,2

Trafic cumulé

Le trafic cumulé TC est calculé avec la formule suivante : $TC = TMJA \cdot 365 \cdot C$

Pour les différentes classes de trafic et types de voies, le trafic cumulé est donné dans le tableau suivant :

Trafic cumulé TC		Classe						
		T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Type de voie	transit	10 512 000	4 161 000	1 839 600	788 400			
	liaison		2 982 050	1 318 380	565 020	219 730		
	distribution				361 350	140 525	64 240	
	desserte					140 525	64 240	12 045
	TC	7 533 600	2 982 050	1 318 380	565 020	219 730	100 448	

Coefficient d'agressivité CAM

L'essieu de référence de dimensionnement est l'essieu simple à roue jumelées de 13 tonnes. Un coefficient d'agressivité CAM est donc défini afin de convertir de trafic cumulé en nombre essieu de référence NE. La formule de conversion est la suivante :

$$NE = TC \cdot CAM$$

Les valeurs de CAM pour les différentes voies et type de matériaux sont les suivants :

Voies	CAM ENROBE	CAM Matériaux traités	CAM GNT ET SOL
Voies de transit	0,5	0,8 pour trafic T0, T1 et T2 0,6 pour trafic T3	1
Voies de liaison	0,2	0,4	0,6
Voies de distribution	0,1	/	0,6
Voies de desserte	0,1	/	0,5
Voies TC	0,5	/	1

Pour les différentes classes de trafic et types de voies, le nombre d'essieux équivalents est donné dans le tableau suivant (pour les enrobés seulement) :

Nbre d'essieux équivalent NE			Classe						
			T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Type de voie	transit	Enrobé	5 255 124	2 080 153	919 647	394 134			
		GNT et sol	10 510 248	4 160 307	1 839 293	788 269			
	liaison	Enrobé		598 040	264 397	113 313	44 066		
		GNT et sol		1 794 119	793 190	339 938	132 198		
	distribution	Enrobé				36 128	14 050	6 423	
		GNT et sol				216 771	84 300	38 537	
	desserte	Enrobé					14 050	6 423	1 204
		GNT et sol					70 250	32 114	6 021
	TC	Enrobé	3 766 800	1 495 099	660 991	283 282	110 165	50 361	
		GNT et sol	7 533 600	2 990 199	1 321 983	566 564	220 330	100 722	

Pour les cas particuliers (zones de virage, arrêt de bus, rond-point, zones de freinage et d'arrêt...), le dimensionnement est réalisé avec un CAM doublé en bornant le CAM à 1 pour les couches de GNT et sol. Le nombre d'essieu équivalent est donc le suivant :

Nbre d'essieux équivalent NE			Classe [cas particulier]						
			T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Type de voie	transit	Enrobé	10 510 248	4 160 307	1 839 293	788 269			
		GNT et sol	10 510 248	4 160 307	1 839 293	788 269			
	liaison	Enrobé		1 196 079	528 793	226 626	88 132		
		GNT et sol		2 990 199	1 321 983	566 564	220 330		
	distribution	Enrobé				72 257	28 100	12 846	
		GNT et sol				361 284	140 499	64 228	
	desserte	Enrobé					28 100	12 846	2 409
		GNT et sol					140 499	64 228	12 043
	TC	Enrobé	7 533 600	2 990 199	1 321 983	566 564	220 330	100 722	
		GNT et sol	7 533 600	2 990 199	1 321 983	566 564	220 330	100 722	

Récapitulatif des paramètres de dimensionnement retenus :

Voies	Durée de service	Accroissement du trafic	Risque	CAM ENROBE *	CAM GNT ET SOL*	CAM Matériaux traités	
						≤T3	>T3
Voies de transit	20 ans	2%	5 %	0,5	1	0,8	0,6
Voies de liaison	15 ans	2%	5 %	0,2	0,6	0,4	/
Voies de distribution	10 ans	2%	25 %	0,1	0,6	/	/
Voies de desserte	10 ans	2%	25 %	0,1	0,5	/	/
Voies TC	15 ans	2%	5 %	0,5	1	/	/

** sur les zones sensibles (zones sinueuses, carrefours ou arrêts de bus), le coefficient d'agressivité est multiplié par 2.*

Calcul des indices de gel de référence

Les indices de gel ont été calculés selon la norme NF P 98-080-1 annexe A.

Le territoire du Grand Lyon peut être découpé en trois zones avec des conditions climatiques différentes :

Zone	Représentativité	Communes
Zone A	Cœur de ville très urbanisé en plaine	Tous les arrondissements de Lyon Villeurbanne, Vaulx en Velin, Décines, Bron, St Priest, Vénissieux, St Fons, La Mulatière, Oullins
Zone B	Plateaux péri-urbain et couronne semi-urbanisée	Caluire et Cuire, Ecully, Tassin, Rilleux, Chassieu...
Zone C	Zones péri-urbaines	Limonest, Saint Genis, Givors, Grigny, Saint Germain...

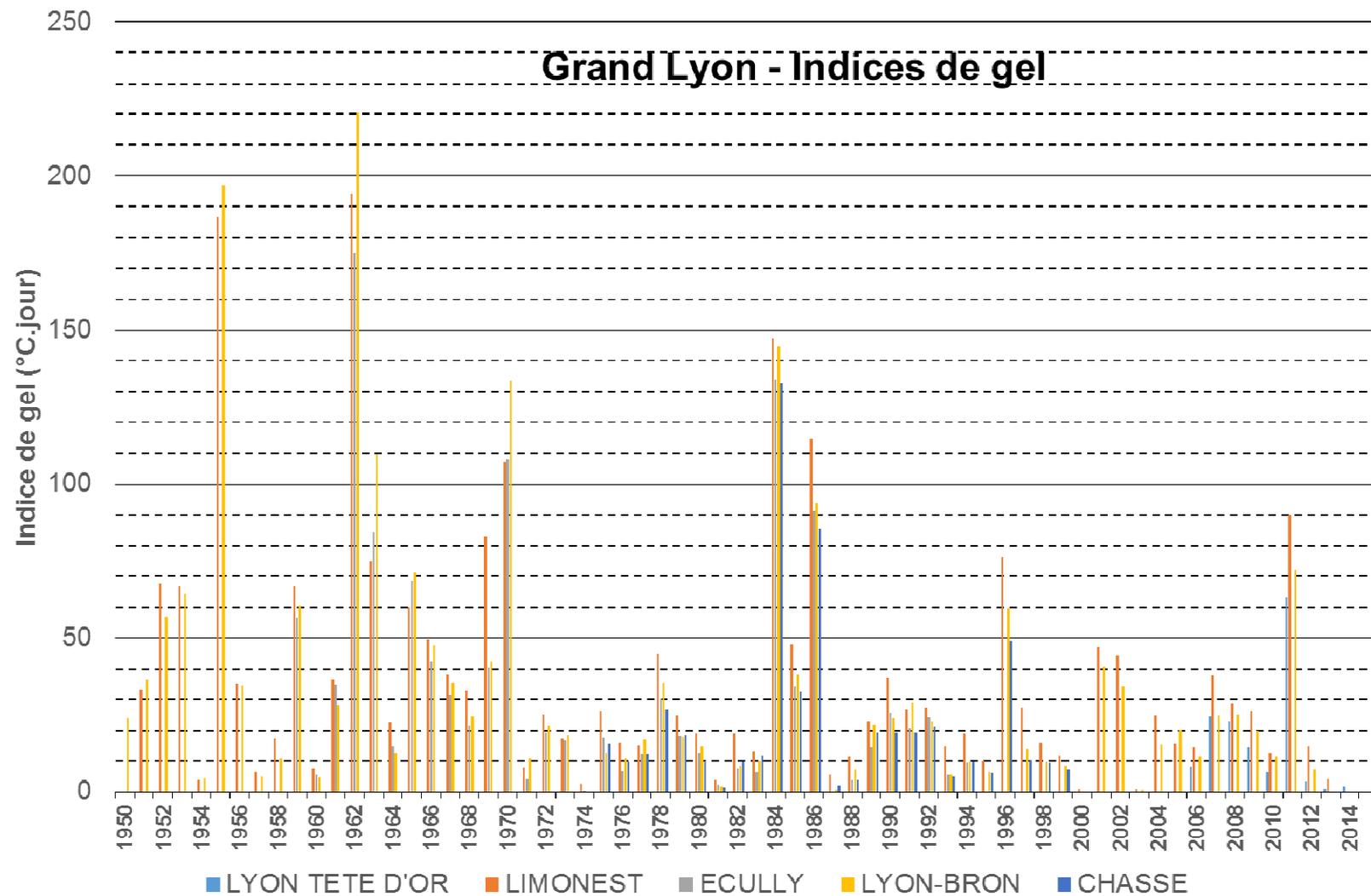
Les stations météo ont été choisies en fonction de leur emplacement et de la durée d'enregistrement des données :

Station	Zone	Période d'enregistrement
LYON - BRON	Zone A	1950 - 2015
LYON - TÊTE D'OR	Zone A	2007 - 2015
ECULLY	Zone B	1959 - 1995
CHASSE	Zone C	1975 - 2000
LIMONEST	Zone C	1951 - 2014

Bien que la durée d'enregistrement de la station Tête d'Or soit faible, les données ont été conservées pour représenter les températures au cœur du milieu urbain.

Le graphique ci-dessous présente les indices de gel annuels calculés sur l'ensemble des stations.

Une baisse régulière des indices de gel peut être constatée avec des pics de moins en moins élevés.



Les indices de gel des hivers rigoureux exceptionnels et non exceptionnels sont définis de la manière suivante :

- IR_{HRE} (hiver rigoureux exceptionnel) : indice de gel le plus élevé sur l'ensemble de la période de mesure ;
- IR_{HRNE} (hiver rigoureux non exceptionnel) : indice du gel numéro n/5 triés dans l'ordre décroissant avec n le nombre d'année de mesure des températures.

Selon le catalogue de dimensionnement des chaussées de 1998, les indices de gel en vigueur pour la station de Lyon-Bron et leurs équivalents (année identique) pour les autres stations sont donnés dans le tableau suivant :

Station	Zone	IR_{HRNE}	IR_{HRE}
LYON – BRON	Zone A	110 °C.jour (hiver 1964)	220 °C.jour (hiver 1963)
LYON – TÊTE D'OR	Zone A	-	-
ECULLY	Zone B	108 °C.jour (hiver 1971)	175 °C.jour (hiver 1963)
CHASSE	Zone C	85 °C.jour (hiver 1987)	133 °C.jour (hiver 1985)
LIMONEST	Zone C	115 °C.jour (hiver 1987)	194 °C.jour (hiver 1963)

A la vue de l'évolution global des indices de gel présentés sur le graphique, la prise en compte exclusive des dernières années les plus récentes permet de diminuer de manière significative les indices de gel (période de mesure = 30 dernières années soit 1985-2015). Il est donc convenu de retenir 2 zones pour la Métropole de Lyon selon le découpage ci dessous

Station	Zone	IR _{HRNE}	IR _{HRE}	IR _{HRNE} retenu
LYON – BRON	Zone 1	60 °C.jour (hiver 1997)	220 °C.jour (hiver 1963)	60 °C.jour
LYON – TÊTE D'OR		63 °C.jour (hiver 2012)	-	
ECULLY	Zone 2	91 °C.jour (hiver 1987)	175 °C.jour (hiver 1963)	90 °C.jour
CHASSE		85 °C.jour (hiver 1987)	85 °C.jour (hiver 1985)	
LIMONEST		90 °C.jour (hiver 2012)	194 °C.jour (hiver 1963)	

Le fait de baisser l'indice de gel en zone 1 de 110 à 60 °C.jour a pour conséquence de diminuer les épaisseurs de couche de forme à mettre en œuvre. Par exemple, pour une chaussée composée de 15 cm d'enrobé, les épaisseurs de couche de forme à mettre en œuvre pour assurer une protection au gel sont les suivant :

- Cas IR_{HRNE}= 110°C.jour : 64 cm de couche de forme ;
- Cas IR_{HRNE}= 60°C.jour : 46 cm de couche de forme.

Le gain d'épaisseur de couche de forme est donc de 18 cm.