

CHAPITRE F

SOUS-FONDATIONS ET FONDATIONS

TABLE DES MATIERES

	Pages
F. 1. TRAVAUX PRELIMINAIRES.....	1
F. 2. TRAVAUX PREALABLES	1
F. 2.1. POSE D'UNE GEOGRILLE OU D'UN GEOTEXTILE.....	1
F. 2.2. COMPACTAGE DU FOND DE COFFRE	1
F. 2.3. AMELIORATION DU FOND DE COFFRE.....	2
F. 2.4. REMPLACEMENT DE SOLS IMPROPRES A CONSTITUER LE FOND DE COFFRE	4
F. 3. SOUS-FONDTIONS	5
F. 3.1. DESCRIPTION.....	5
F. 3.2. CLAUSES TECHNIQUES.....	5
F. 3.3. SPECIFICATIONS	6
F. 3.4. VERIFICATIONS.....	7
F. 3.5. PAIEMENT	7
F. 4. FONDATIONS.....	8
F. 4.1. TRAVAUX PREALABLES : REPROFILAGE D'UNE SOUS-FONDATION OU FONDATION PREEXISTANTE	8
F. 4.2. FONDATION EN EMPIERREMENT	9
F. 4.3. FONDATION EN SABLE-CIMENT	12
F. 4.4. FONDATION EN SABLE-LAITIER.....	16
F. 4.5. FONDATION EN BETON MAIGRE OU BETON POUZZOLANIQUE	17
F. 4.6. FONDATION EN BETON MAIGRE POREUX.....	22
F. 4.7. FONDATION EN BETON SEC COMPACTE (BSC).....	25
F. 4.8. RETRAITEMENT DE CHAUSSEES EXISTANTES AU MOYEN DE CIMENT	28
F. 4.9. FONDATIONS EN PRODUITS DE SCALPAGE TRAITES	33
F. 4.10. FONDATION EN GRAVE-BITUME	35

F. 1. TRAVAUX PRELIMINAIRES

Préalablement à la mise en œuvre d'un géotextile ou de la sous-fondation, toute irrégularité du fond du coffre qui dépasse les tolérances admises au [E. 3.3.3](#) est nivelée et recompaquée.

Une estimation de la portance du fond de coffre peut être réalisée par le passage d'un essieu de minimum 11 tonnes.

En cas de déformation visible, la portance du fond de coffre est contrôlée conformément au [E. 3.3.3.1](#).

Le fond de coffre est débarrassé de toute trace d'eau stagnante et de matériaux indésirables.

Ces opérations constituent une charge d'entreprise.

F. 2. TRAVAUX PREALABLES

Les travaux préalables peuvent comprendre les travaux suivants :

- la pose d'une géogrille et/ou d'un géotextile ([F. 2.1](#))
- le compactage du fond de coffre ([F. 2.2](#))
- la stabilisation du fond de coffre ([F. 2.3](#))
- le remplacement de terrains impropres à constituer le fond de coffre ([F. 2.4](#)).

F. 2.1. POSE D'UNE GEOGRILLE OU D'UN GEOTEXTILE

F. 2.1.1. DESCRIPTION

La pose d'une géogrille est réalisée pour renforcer le fond de coffre; la pose d'un géotextile est exécutée pour renforcer le fond de coffre et éviter la remontée d'éléments fins indésirables dans la sous-fondation.

F. 2.1.2. CLAUSES TECHNIQUES

Les géogrilles répondent aux prescriptions du [C. 27](#).

Les bandes de géotextile répondent aux prescriptions du [C. 25](#).

Elles se posent avec recouvrement minimal de 50 cm. Toute circulation sur les membranes est interdite avant la mise en œuvre de matériaux de sous-fondation d'une épaisseur suffisante afin d'éviter le percement.

La pose d'une géogrille ou d'un géotextile n'est effectuée que sur ordre du fonctionnaire dirigeant.

F. 2.1.3. VERIFICATIONS ET PAIEMENT

Les vérifications portent sur le respect des recouvrements.

Le paiement s'effectue sur base de la surface recouverte du fond de coffre.

F. 2.2. COMPACTAGE DU FOND DE COFFRE

F. 2.2.1. CLAUSES TECHNIQUES

Le fond de coffre n'est compacté que sur ordre du fonctionnaire dirigeant, après vérification de la portance naturelle. L'entrepreneur prend toutes les dispositions pour maintenir la portance du sol. La restitution éventuelle de la portance naturelle est une charge d'entreprise.

Si la portance ne peut être atteinte par suite des caractéristiques du sol, l'entrepreneur en avertit le fonctionnaire dirigeant qui décide des mesures à prendre.

F. 2.2.2. SPECIFICATIONS

La compacité ou portance du fond de coffre répond aux prescriptions du [E. 3.3.3.1](#).

F. 2.2.3. VERIFICATIONS ET PAIEMENT

La conformité aux critères retenus de compacité ou de portance est vérifiée par les essais appropriés. Le fonctionnaire dirigeant détermine le nombre et l'emplacement des essais à réaliser.

Le paiement de la préparation du fond de coffre s'effectue sur base de la surface compactée.

F. 2.3. AMELIORATION DU FOND DE COFFRE

F. 2.3.1. DESCRIPTION

Amélioration sur une certaine épaisseur de la portance du sol par adjonction d'additif aux matériaux constituant le terrain et par compactage.

F. 2.3.2. CLAUSES TECHNIQUES

F. 2.3.2.1. MATERIAUX

L'additif utilisé est :

- du ciment conforme au [C. 8](#)
- de la chaux conforme au [C. 9.2.1](#)
- un mélange de ciment et de chaux conformes respectivement au [C. 8](#) et au [C. 9](#).

Le dosage et le choix de l'additif sont fixés par une étude préalable. A défaut, ils sont fixés de commun accord.

F. 2.3.2.2. EXECUTION

F. 2.3.2.2.1. EPANDAGE

Le sol est scarifié sur une épaisseur maximale de 30 cm et l'additif est épandu mécaniquement de manière uniforme. La répartition de l'additif ne s'écarte pas de plus de 10 % du dosage fixé. Cette régularité du dosage est obtenue indépendamment de la vitesse des engins.

Les engins d'épandage sont pourvus de dispositifs spéciaux pour réduire au maximum la production de poussière.

F. 2.3.2.2.2. MALAXAGE ET COMPACTAGE

Le malaxage s'exécute par bandes longitudinales successives. Chaque bande recouvre la précédente sur une largeur minimale de 10 cm. Le malaxage réalise un mélange homogène. La section traitée présente une structure uniforme sur toute l'épaisseur. La couche traitée est compactée.

Si la portance imposée n'est pas atteinte, le fond de coffre est recompacté (en cas d'utilisation de chaux) ou remplacé et compacté (en cas d'utilisation de ciment).

F. 2.3.2.3. PRESCRIPTIONS COMPLEMENTAIRES POUR LES MATERIAUX TRAITES A LA CHAUX

F. 2.3.2.3.1. EPANDAGE

Pour des tronçons limités où l'épandage mécanique est impossible, le fonctionnaire dirigeant peut autoriser la mise en œuvre de chaux éteinte en sacs répartis uniformément sur la surface à traiter. Les sacs sont crevés et vidés en place; l'épandage se fait prudemment à la pelle et au râteau. La production de poussière est limitée au maximum.

F. 2.3.2.3.2. MALAXAGE

Le délai entre le malaxage et le compactage est compris entre 2 et 4 heures en cas d'utilisation de chaux vive.

F. 2.3.2.3.3. CONDITIONS METEOROLOGIQUES

En cas de vent fort, de pluie persistante ou lorsque la température du sol à traiter est inférieure à 0° C, le traitement de sol est interrompu.

En cas de gel, les couches éventuellement décompactées lors du dégel sont recompactées au degré imposé; les matériaux éventuellement détremés sont retraités.

En cas de pluie soudaine intervenant en cours d'exécution, l'épandage est interrompu. Un premier malaxage et un lissage des surfaces déjà traitées sont effectués. A la reprise des travaux, le malaxage est achevé, avec épandage complémentaire d'additif, rendu nécessaire par la nouvelle teneur en eau. Les sols non traités le sont avec des dosages compatibles avec leur teneur réelle en eau.

F. 2.3.2.4. PRESCRIPTIONS COMPLEMENTAIRES POUR MATERIAUX TRAITES AU CIMENT

F. 2.3.2.4.1. EPANDAGE

Pour des tronçons limités où l'épandage mécanique est impossible, le fonctionnaire dirigeant peut autoriser la mise en œuvre de ciment en sacs répartis uniformément sur la surface à traiter. Les sacs sont crevés et vidés en place; l'épandage se fait à la pelle et au râteau.

F. 2.3.2.4.2. MALAXAGE

Le délai entre le malaxage et le compactage est de 2 heures au maximum.

F. 2.3.2.4.3. PROTECTION

La protection contre la dessiccation des matériaux traités au ciment s'effectue en deux phases :

- la 1e phase consiste en un arrosage modéré à l'eau de la surface du matériau traité; cet arrosage s'effectue immédiatement après le dernier passage du ou des engins de compactage
- la 2e phase s'effectue au plus tard en fin de journée; elle consiste en l'application :
 - d'une émulsion de bitume C60B3 conforme au [C. 12.8](#), à raison de 0,7 l/m²
 - d'un épandage de sable conforme au [C. 3.2](#), à raison de 3 kg/m².

Pour les sols, les empièvements, les sables stabilisés au ciment ainsi que pour les fondations des trottoirs et des éléments linéaires, cette protection peut être remplacée par le maintien humide de la surface pendant 72 heures.

La protection contre le gel est assurée efficacement pendant 7 jours après la mise en œuvre du matériau traité au ciment. La température au niveau supérieur de la couche traitée ne peut descendre en dessous de +1°C. En cas d'utilisation de CaCl₂, le § 5.2.7. de la norme NBN EN 206-1 est d'application.

F. 2.3.2.4.4. CONDITIONS METEOROLOGIQUES

En cas de vent fort, de pluie persistante ou lorsque la température de l'air mesurée sous abri, à 1,5m du sol, est inférieure à 1° C à 8 heures du matin ou inférieure ou égale à -3°C durant la nuit, le traitement de sol est interrompu.

En cas de gel, le recomptage des couches éventuellement décompactées lors du dégel est interdit.

En cas de pluie soudaine amenant le matériau traité à une teneur en eau située au-delà de la limite autorisée dans l'étude préalable, l'épandage est interrompu. Le malaxage et le compactage des surfaces où le ciment a été épandu sont effectués. La reprise du traitement se fait en accord avec le fonctionnaire dirigeant.

F. 2.3.2.5. PRESCRIPTIONS COMPLEMENTAIRES POUR TRAVAUX EN SITE SENSIBLE

Les prescriptions du [E. 3.4.2.3](#) sont d'application.

F. 2.3.3. SPECIFICATIONS

La compacité ou portance du fond de coffre répond aux prescriptions du [E. 3.3.3.1](#).

F. 2.3.4. VERIFICATIONS

Sont contrôlés en cours d'exécution :

- l'épaisseur de scarification
- le temps s'écoulant entre le malaxage et le compactage
- le respect des prescriptions d'exécution complémentaires (conditions météorologiques, épandage, malaxage, protection contre la dessiccation).
- granulométrie et vitesse d'hydratation de la chaux

La prise d'échantillon est d'un prélèvement par 200 tonnes de chaux ou d'un prélèvement minimum par semaine.

La conformité aux critères retenus de compacité ou de portance est vérifiée par les essais appropriés. Le fonctionnaire dirigeant détermine le nombre et l'emplacement des essais à réaliser.

F. 2.3.5. PAIEMENT

Le paiement s'effectue sur base du volume de terres traitées et de la quantité d'additif utilisée conformément au dosage fixé.

Les travaux en site sensible font l'objet de postes spécifiques du métré.

F. 2.4. REMPLACEMENT DE SOLS IMPROPRES A CONSTITUER LE FOND DE COFFRE

F. 2.4.1. DESCRIPTION

Remplacement de sols impropres par des matériaux susceptibles de fournir la portance désirée.

F. 2.4.2. CLAUSES TECHNIQUES

Les matériaux de remplacement répondent aux prescriptions du [F. 3](#).

L'épaisseur du terrain impropre à remplacer est déterminée par le fonctionnaire dirigeant.

F. 2.4.3. SPECIFICATIONS

La compacité ou portance du fond de coffre répond aux prescriptions du [E. 3.3.3.1](#).

Si la compacité ou la portance imposée n'est pas atteinte, la couche est recomptée.

F. 2.4.4. VERIFICATIONS

Les contrôles d'exécution portent sur l'épaisseur du terrain à remplacer.

La conformité aux critères retenus de compacité ou de portance est vérifiée par les essais appropriés. Le fonctionnaire dirigeant détermine le nombre et l'emplacement des essais à réaliser.

F. 2.4.5. PAIEMENT

Le paiement s'effectue sur base du volume de terres remplacées. L'évacuation des déblais, la fourniture des matériaux de remplacement et la réalisation des remblais sont comprises dans le prix du volume excavé.

L'évacuation des matériaux non réutilisés se fait conformément au [D. 2](#) et fait l'objet de postes de la série D9000.

F. 3. SOUS-FONDATIIONS

F. 3.1. DESCRIPTION

La sous-fondation appartient à l'un des 4 types suivants :

- type 1 : en sable ou en cendrées; les 10 cm supérieurs peuvent être un mélange discontinu de pierres et de sable;
- type 2 : schiste rouge ou graves ou mélange de pierres, de sable et de fines (particules inférieures à 0,063 mm);
- type 3 : mélange effectué en centrale de cendres volantes, de chaux et de chlorure de calcium;
- type 4 : couche de pierrailles 20/150 fermée en partie supérieure au moyen d'un empierrement discontinu de type III E.

F. 3.2. CLAUSES TECHNIQUES

F. 3.2.1. MATERIAUX

Ils répondent aux prescriptions du chapitre C les concernant :

- eau : [C. 1](#)
- sable : [C. 3.4.2](#)
- pierres: [C. 4.4.1](#)
- graves : [C. 5](#)
- cendres volantes : [C. 7](#)
- ciment : [C. 8](#)
- chaux : [C. 9](#)
- chlorure de calcium en solution : [C. 10](#).

F. 3.2.2. EXECUTION

Les matériaux sont épanchés par couches et compactés mécaniquement. La dimension de l'élément pierreux le plus gros ne peut être supérieure aux 2/3 de l'épaisseur des couches mises en œuvre.

Si une ségrégation des matériaux est constatée au cours de l'épandage, ceux-ci sont remélangés.

L'arrosage éventuel des matériaux se fait pendant les opérations, de façon à obtenir une teneur en eau homogène.

Si la portance imposée n'est pas atteinte, la sous-fondation est recompactée.

Lorsque les niveaux réalisés ne correspondent pas aux niveaux prescrits ou lorsque les tolérances autorisées sont dépassées, la sous-fondation est rectifiée et recompactée.

Aux endroits où la tolérance est dépassée, la sous-fondation est rectifiée par régilage et compactage.

F. 3.3. SPECIFICATIONS

F. 3.3.1. GRANULARITE

- les 10 cm supérieurs du type 1 en cas d'utilisation d'un mélange discontinu répondent aux prescriptions suivantes :

Ouvertures des mailles (mm)	Passant (%)
63	100
31,5	30 à 100
2	20 à 50

- la sous-fondation de type 2 répond aux prescriptions suivantes :

Ouvertures des mailles (mm)	Passant (%)
125	100
80	70 à 100
20	30 à 70
2	15 à 60
0,063	0 à 7

- la valeur au bleu de méthylène est inférieure ou égale à 2 g de bleu de méthylène par kg de matériau sec de granulométrie 0/125 mm.

- la composition massique du type 3 est la suivante : 90 à 93,5 % de cendres volantes, 3,5 à 5 % de chaux et 3 à 6 % de chlorure de calcium. La teneur en eau du mélange est comprise entre wopt.- 3 % et wopt.+ 1 % (wopt. étant la teneur en eau optimale du mélange lors de l'essai Proctor modifié USCE estimée au moyen de l'essai Opticompact effectué sur les cendres volantes seules).

- la sous-fondation de type 4 répond aux prescriptions suivantes :

Ouverture de mailles (en mm)	Passant en %
150	100
80	50 à 70
20	0 à 3

- les 8 centimètres supérieurs sont composés d'un empierrement discontinu type III E conforme au [F. 4.2.2.2.2.](#)

F. 3.3.2. PORTANCE

Le coefficient de compressibilité M_1 est égal ou supérieur à 35 MPa (droite OC, voir [Fig. E. 3.3.3.1a ou 1b](#)).

F. 3.3.3. NIVEAU DE SURFACE

Les niveaux de surface de la sous-fondation respectent les profils en long et en travers prescrits. Des tolérances locales de 2 cm sont admises pour autant qu'elles soient compatibles avec les tolérances en moins des couches sus-jacentes.

F. 3.3.4. REGULARITE DE SURFACE

Les irrégularités de surface ne peuvent dépasser 2 cm.

F. 3.3.5. EPAISSEUR

La tolérance maximum sur l'épaisseur nominale de la sous-fondation est de 10 % sur les épaisseurs individuelles et l'épaisseur moyenne est supérieure ou égale à l'épaisseur nominale.

F. 3.3.6. TENEUR CONVENTIONNELLE EN MATIERES ORGANIQUES

La teneur conventionnelle en matières organiques est inférieure à 1 %.

F. 3.4. VERIFICATIONS

Sont contrôlés en cours d'exécution :

- la propreté de la couche de pose
- l'épaisseur des couches mises en œuvre
- l'homogénéité des matériaux épandus.
- le niveau de surface (vérifié par opérations topographiques)
- la régularité de surface (vérifiée à la règle de 3 m)
- la portance (vérifiée à l'essai à la plaque).

Sont contrôlés après exécution :

- les niveaux de surface
- la régularité de surface
- l'épaisseur.

Lorsque l'épaisseur n'est pas contrôlée en permanence durant l'exécution, un contrôle a posteriori de l'épaisseur de la sous-fondation est effectué par sondages en des endroits choisis aléatoirement sur chantier.

F. 3.5. PAIEMENT

Pour les sous-fondations à épaisseur constante, le paiement s'effectue sur base de la surface exécutée. Pour les sous-fondations à épaisseur variable, le paiement s'effectue sur base du volume des couches de sous-fondation réalisées.

Les surfaces des trappillons ou autres appareils ne sont pas déduites.

Pour les sous-fondations de type 4, le paiement s'effectue sur base de la surface exécutée ou sur base du volume de sous-fondation réalisé. Le coût des opérations relatives à la pénétration de la couche d'empierrement de type III E dans la couche en pierrailles 20/150 est compris dans le poste.

F. 4. FONDATIONS

F. 4.1. TRAVAUX PREALABLES : REPROFILAGE D'UNE SOUS-FONDATION OU FONDATION PREEXISTANTE

F. 4.1.1. DESCRIPTION

Reprofilage et compactage d'une sous-fondation existante.

Les travaux préalables ne sont effectués que lorsqu'une sous-fondation ou fondation est préexistante ou maintenue après démolition des couches supérieures d'une chaussée ou de toute autre partie revêtue existante.

F. 4.1.2. CLAUSES TECHNIQUES

F. 4.1.2.1. MATERIAUX

Les documents d'adjudication précisent la nature des matériaux à utiliser; à défaut, ces matériaux répondent aux prescriptions du [F. 3.2.1](#) en ce qui concerne le reprofilage d'une sous-fondation et du [F. 4.2.2.1](#) en ce qui concerne le reprofilage d'une fondation.

F. 4.1.2.2. EXECUTION

La sous-fondation ou la fondation est scarifiée jusqu'à une profondeur d'au moins 10 cm, puis recompactée. Le profilage et le compactage définitifs terminent l'opération.

La fourniture éventuelle de matériaux neufs due à un excès de démolition de la couche supérieure est une charge d'entreprise.

F. 4.1.3. SPECIFICATIONS

Les prescriptions de portance, de niveau et de régularité de surface du [F. 3.4](#) sont d'application en ce qui concerne le reprofilage d'une sous-fondation et celles du [F. 4.2.3](#) en ce qui concerne le reprofilage d'une fondation.

F. 4.1.4. VERIFICATIONS

Les prescriptions du [F. 3.4](#) sont d'application.

F. 4.1.5. PAIEMENT

Le paiement s'effectue sur base de la surface traitée. Les surfaces des trappillons ou autres appareils ne sont pas déduites.

Les matériaux d'apport sont payés à la tonne.

F. 4.2. FONDATION EN EMPIERREMENT

F. 4.2.1. DESCRIPTION

F. 4.2.1.1. EMPIERREMENTS A GRANULARITE CONTINUE DE TYPE I OU II

La fondation de type I est soit une grave de catégorie GR-I-D suivant le PTV 405, soit un mélange de pierres, de sable, d'éléments fins (< 0,063 mm) et d'eau.

La fondation de type II est soit une grave de catégorie GR-II-D suivant le PTV 405, soit un mélange de pierres, de sable, d'éléments fins (< 0,063 mm) et d'eau.

F. 4.2.1.2. EMPIERREMENTS A GRANULARITE CONTINUE DE TYPE I OU II TRAITES AUX ADDITIFS

Suivant la nature de l'additif utilisé, on distingue les types d'empierrements suivants :

- type I A ou II A : 50 à 80 kg/m³ de ciment
- type I B ou II B : 25 à 50 kg/m³ de chlorure de calcium
- type I C ou II C : 17 % à 25 % de laitier granulé et 1 % à 2 % de chaux
- type I D ou II D : 13 à 16 % de cendres volantes, 2 à 3,5 % de chaux et 1,2 à 2,4 % de chlorure de calcium.

Les pourcentages d'additifs sont exprimés par rapport à la masse des granulats secs.

F. 4.2.1.3. EMPIERREMENTS A GRANULARITE DISCONTINUE DE TYPE III

Ils sont composés d'une ou de plusieurs couches inférieures et d'une couche de finition.

Les couches inférieures sont composées

- de pierres concassées de calibre 20/56 ou 32/56
- de matières d'agrégation
- d'eau.

La couche de finition a une épaisseur nominale de 8 cm et est composée :

- pour le type III E :
 - de pierres concassées de calibre 20/32
 - de matières d'agrégation
 - d'eau
- pour le type III F : de matériaux de type I traités aux additifs conformes au [F. 4.2.1.2](#)
- pour le type III G :
 - de pierres concassées de calibre 20/32
 - de pierres concassées de calibre 4/7
 - de liant hydrocarboné.

F. 4.2.2. CLAUSES TECHNIQUES

F. 4.2.2.1. MATERIAUX

Ils répondent aux prescriptions du chapitre C les concernant :

- eau : [C. 1](#)
- ensemble sable + éléments fins : [C. 3.4.2](#)
- pierres: [C. 4.4.2](#)
- graves : [C. 5](#)
- cendres volantes : [C. 7](#)
- ciment : [C. 8](#)
- chaux vive : [C. 9](#)
- chlorure de calcium en solution : [C. 10](#)
- liant hydrocarboné : [C. 12](#)
- adjuvants : [C. 17](#).

F. 4.2.2.2. EXÉCUTION

F. 4.2.2.2.1. EMPIERREMENT A GRANULARITE CONTINUE

Les mélanges avec additifs sont effectués en centrale. Le transport de ces empièrrements s'effectue par camions bâchés. La mise en œuvre est interdite en cas de forte pluie. Les couches sont épandues mécaniquement, en épaisseur uniforme comprise entre 8 et 15 cm, et sont compactées. La dernière couche est soit mise en œuvre au finisseur soit réglée au moyen d'un autograde (scalpage guidé après mise en œuvre de la fondation compactée) soit mis en œuvre mécaniquement avec un système de guidage asservi.

Pour les empièrrements type I A ou II A, la protection s'effectue comme pour les sols stabilisés au ciment conformément au [F. 2.3.2.4.3](#).

La livraison est conforme au §7 de la norme NBN EN 206-1.

F. 4.2.2.2.2. EMPIERREMENT A GRANULARITE DISCONTINUE

L'empièrrement à granularité discontinue type III E est en pierres de calibre 32/56 ou 20/56 sauf les 8 derniers centimètres qui sont en pierres de calibre 20/32. L'utilisation de pierres de calibre 32/56 ou 20/56 est laissée au choix de l'entrepreneur, sauf prescription contraire des documents d'adjudication.

L'exécution de l'empièrrement est réalisée par l'une des deux méthodes suivantes :

1. Soit les pierres sont répandues mécaniquement sans matière d'agrégation et compactées par couches successives dont l'épaisseur est uniforme et ne dépasse pas 15 cm. Après épandage en surface de la matière d'agrégation, chaque couche est arrosée puis cylindrée. Cette opération est répétée jusqu'à fermeture de la couche traitée.
2. Soit la matière d'agrégation est mélangée en carrière.

L'exécution de la couche de finition du type III F se fait conformément au [F. 4.2.2.2.1](#).

Pour l'exécution de la couche de finition du type III G, une couche de pierres 2/7 et/ou 4/7 est uniformément répartie, à raison de 5 kg/m² sur la couche de finition de 8 cm en 20/32. Cette couche préalablement compactée est ensuite traitée en pénétration, à raison de minimum 4 kg/m² de liant résiduel répandu mécaniquement et de 15 kg/m² de pierres 2/7 et/ou 4/7 épandues mécaniquement et immédiatement cylindrées.

F. 4.2.3. SPECIFICATIONS

- la granularité est conforme au tableau suivant :

Ouvertures des mailles (mm)	Passant (en %)	
	Type I	Type II
50	-	100
32	100	80 à 100
20	80 à 100	60 à 90
7	40 à 70	40 à 70
2	20 à 45	20 à 45
0,400	5 à 25	5 à 25
0,063	0 à 8	0 à 8

- la fraction inférieure à 0,400 mm des mélanges (à l'exception des additifs) présente les limites d'Atterberg suivantes : $w_L \leq 25$ et w_P non mesurable.
- la teneur conventionnelle en matières organiques des mélanges est inférieure à 0,5 %.

- la teneur en matière d'agrégation avant mise en œuvre et en moyenne dans le type III E est comprise entre 20 et 35 %.
- l'indice de forme, mesuré selon la NBN B 11-203 sur la fraction pondérale la plus importante parmi les calibres simples supérieurs à 14 mm, est supérieur à 0,300.
- le coefficient de compressibilité M_1 est égal ou supérieur à 110 MPa (droite OD, voir [Fig. E. 3.3.3.1a ou 1b](#)).
- les niveaux de surface de la fondation respectent les profils en long et en travers prescrits. Des tolérances locales de 1 cm sont admises, pour autant qu'elles soient compatibles avec les tolérances en moins des couches sus-jacentes.
- les irrégularités de surface ne peuvent dépasser 1 cm.
- la tolérance maximum sur l'épaisseur nominale de la fondation est de 10 % sur les épaisseurs individuelles et l'épaisseur moyenne est supérieure ou égale à l'épaisseur nominale.

F. 4.2.4. VERIFICATIONS

F. 4.2.4.1. CONTROLES EN COURS D'EXECUTION

- la propreté de la surface de pose
- le dosage des matériaux
- l'épaisseur des couches mises en œuvre
- l'homogénéité des matériaux épandus
- le niveau de surface (vérifié par opérations topographiques)
- la régularité de surface (vérifiée à la règle de 3 m)
- la portance (vérifiée à l'essai à la plaque).

Dans le cas des fondations traitées au ciment, les essais à la plaque sont effectués à la demande du fonctionnaire dirigeant au plus tard dans les 2 heures qui suivent la mise en œuvre. Aux endroits où la portance imposée n'est pas atteinte, la fondation est rectifiée en accord avec le fonctionnaire dirigeant ou son délégué.

F. 4.2.4.2. CONTROLES APRES EXECUTION

- les niveaux de surface vérifiés par mesurages topographiques. Lorsque les niveaux réalisés ne correspondent pas aux niveaux prescrits ou lorsque les tolérances locales sont dépassées,
 1. la fondation non traitée au ciment est rectifiée et recompactée.
 2. dans le cas de fondation traitée au ciment, la fondation est rectifiée en accord avec le fonctionnaire dirigeant.
 En cas d'apport de matériaux, la fondation est scarifiée sur une profondeur minimale de 6 cm avant le recompactage.
- la régularité de surface est contrôlée à la règle de 3 m. Aux endroits où la tolérance est dépassée, la fondation est rectifiée comme défini ci-dessus pour les niveaux de surface.
- lorsque l'épaisseur n'est pas contrôlée en permanence durant l'exécution, un contrôle après exécution de l'épaisseur de la fondation est effectué par sondages en des endroits choisis aléatoirement sur chantier. Cet essai est effectué au plus tard dans les 24 heures qui suivent la mise en œuvre des fondations.

F. 4.2.5. PAIEMENT

Pour les fondations à épaisseur constante, le paiement s'effectue sur base de la surface exécutée. Pour les fondations à épaisseur variable, le paiement s'effectue sur base du volume des couches de fondation réalisées. Les surfaces des trappillons ou autres appareils ne sont pas déduites.

F. 4.3. FONDATION EN SABLE-CIMENT

F. 4.3.1. DESCRIPTION

Les fondations en sable-ciment sont du type I ou du type II.

La fondation de type I est un mélange homogène de sable, de ciment, d'eau et éventuellement de cendres volantes.

La fondation de type II est un mélange homogène de sable de concassage, de pierres, de ciment, d'eau et éventuellement de cendres volantes. La quantité de sable est de minimum 65 % de la masse totale sable + pierres.

F. 4.3.2. CLAUSES TECHNIQUES

F. 4.3.2.1. MATERIAUX

Ils répondent aux prescriptions du chapitre C les concernant :

- eau : [C. 1](#)
- sable : [C. 3.4.3](#)
- pierres : [C. 4.4.2](#)
- cendres volantes : [C. 7](#)
- ciment : [C. 8](#)
- chlorure de calcium : [C. 10](#)
- émulsions cationiques de bitume(s) : [C. 12.8](#).

F. 4.3.2.2. EXECUTION

Le mélange est effectué en centrale.

La quantité de ciment est de 100 kg/m³ minimum.

Un ajout de cendres volantes de maximum 5 % de la masse du mélange sec est autorisé.

La teneur en eau du mélange est comprise entre 6 et 11 % de la masse sèche des constituants.

Le transport s'effectue par camions bâchés. La livraison est conforme au §7 de la norme NBN EN 206-1.

Le mélange frais de sable stabilisé au ciment est mis en œuvre avec une consistance de terre humide et compacté dans les 2 heures de sa préparation.

La fondation est exécutée en couche d'épaisseur maximale de 20 cm.

En fin de journée, la fondation est limitée par un plan vertical au moyen d'un coffrage ou d'un madrier posé sur chant et contre lequel vient buter le sable stabilisé. Ce coffrage a la hauteur de la fondation et être solidement maintenu en place.

La mise en œuvre est interdite lorsque la température de l'air mesurée sous abri, à 1,5 m du sol, est ≤ à 1° C à 8 heures du matin ou ≤ à -3° C durant la nuit.

F. 4.3.2.3. PROTECTION CONTRE LA DESSICCATION

La protection contre la dessiccation s'effectue conformément au [F. 2.3.2.4.3](#)

F. 4.3.2.4. MISE EN SERVICE

Toute circulation est interdite sur le sable stabilisé au ciment pendant une période de 7 jours qui suit la mise en œuvre.

F. 4.3.2.5. JOINTS POUR FONDATIONS DE TYPE II

Les documents d'adjudication précisent si une préfissuration est requise et fixent le pas de celle-ci. Le mode de préfissuration est soumis à l'accord du fonctionnaire dirigeant au moins 15 jours avant le début des travaux.

F. 4.3.3. SPECIFICATIONS

F. 4.3.3.1. PORTANCE

Pour les fondations routières, le coefficient de compressibilité M_1 est supérieur ou égal à 110 MPa (droite OD, voir Fig. E. 3.3.3.1a ou 1b).

F. 4.3.3.2. RESISTANCE A LA COMPRESSION

F. 4.3.3.2.1. RESISTANCE A LA COMPRESSION POUR LES FONDATIONS DE TYPE I

La résistance moyenne à la compression R'_{bm} à 7 jours d'âge sur trois éprouvettes est :

- $R'_{bm} \geq 2$ MPa dans le cas de remplissage de fouilles et enrobage de tuyaux,
- $R'_{bm} \geq 3$ MPa dans le cas de fondation de route.

Si la résistance à 7 jours d'âge n'est pas atteinte, la résistance moyenne à la compression à 28 jours d'âge, contrôlée sur les trois éprouvettes restantes, est :

- $R'_{bm} \geq 3$ MPa dans le cas de remplissage de fouilles et enrobage de tuyaux,
- $R'_{bm} \geq 4,5$ MPa dans le cas de fondation de route.

F. 4.3.3.2.2. RESISTANCE A LA COMPRESSION POUR LES FONDATIONS DE TYPE II

Les résistances sont mesurées sur carottes de 100 cm² à au moins 90 jours d'âge. Les prescriptions concernent, par lot, la résistance moyenne R'_{bm} et les résistances individuelles R'_{bi} .

Résistance caractéristique R'_{bk}	10
Résistance moyenne minimum $R'_{bm,min}$ $n = 10$	$R'_{bk} + 1,645 S_R$
Résistance moyenne minimum $R'_{bm,min}$ $3 \leq n < 10$	$R'_{bk} + 2$
Résistance individuelle minimum $R'_{bi,min}$	$0,80 R'_{bm,min}$

$$\text{où } R'_{bm} = \frac{\sum_{i=1}^n R'_{bi}}{n}$$

$$S_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R'_{bi} - R'_{bm})^2}{n-1}}$$

Les résistances sont exprimées en MPa à 0,5 MPa près par excès ou par défaut.

F. 4.3.3.3. NIVEAU DE SURFACE

Les niveaux de surface de la fondation respectent les profils en long et en travers prescrits. Des tolérances locales de 1 cm sont admises pour autant qu'elles soient compatibles avec les tolérances des couches sus-jacentes.

F. 4.3.3.4. REGULARITE DE SURFACE

Les irrégularités de surface ne peuvent dépasser 1 cm.

F. 4.3.3.5. EPAISSEUR

La tolérance maximum sur l'épaisseur nominale de la fondation est de 10 % sur les épaisseurs individuelles et l'épaisseur moyenne est supérieure ou égale à l'épaisseur nominale.

F. 4.3.4. VERIFICATIONS

F. 4.3.4.1. ESSAIS EN COURS D'EXECUTION

Les contrôles portent sur:

- la propreté de la surface de pose
- le dosage des matériaux
- l'épaisseur des couches mises en œuvre
- l'homogénéité des matériaux épandus
- le niveau de surface
- la régularité de surface
- portance : la vérification de la portance est effectuée par des essais à la plaque. Ces essais sont effectués dans les 2 heures qui suivent la mise en œuvre des fondations en ce qui concerne le type II.

F. 4.3.4.2. ESSAIS APRES EXECUTION

F. 4.3.4.2.1. NIVEAUX DE SURFACE

Les niveaux sont vérifiés par mesurages topographiques. Lorsque les niveaux réalisés ne correspondent pas aux niveaux prescrits ou lorsque les tolérances locales sont dépassées, l'entrepreneur est tenu de retravailler la fondation, suivant une méthode approuvée par le fonctionnaire dirigeant.

F. 4.3.4.2.2. REGULARITE DE SURFACE

Les irrégularités de surface sont mesurées à la règle de 3 m. Aux endroits où la tolérance est dépassée, la fondation est rectifiée suivant une méthode approuvée par le fonctionnaire dirigeant.

F. 4.3.4.2.3. RESISTANCES A LA COMPRESSION

Les résistances à la compression simple sont mesurées, sur carottes extraites du revêtement par forage.

Le nombre de carottes à prélever est conforme au [G. 1.4.2.1.1](#).

Pour le type I, la résistance à la compression simple est contrôlée sur des éprouvettes d'essai Proctor standard. Six éprouvettes sont fabriquées et conservées en laboratoire dans une chambre humide. Pour le type II, les carottes sont conservées en laboratoire, en atmosphère humide saturée, à une température de 20° C pendant au moins 10 jours avant les essais.

F. 4.3.4.2.4. EPAISSEUR

Lorsque l'épaisseur n'est pas contrôlée en permanence durant l'exécution, un contrôle après exécution de l'épaisseur de la fondation est effectué par sondages en des endroits choisis aléatoirement sur chantier.

F. 4.3.5. PAIEMENT

F. 4.3.5.1. MESURAGES

Pour les fondations à épaisseur constante, le paiement s'effectue sur base de la surface exécutée. Pour les fondations à épaisseur variable, le paiement s'effectue sur base du volume des couches de fondation réalisées.

Les surfaces des trappillons ou autres appareils ne sont pas déduites.

L'opération de préfissuration fait l'objet de postes au mètre et est payée sur base de la longueur de joint réalisé.

F. 4.3.5.2. REFACTION POUR MANQUEMENT

F. 4.3.5.2.1. RESISTANCE A LA COMPRESSION DES FONDATIONS DE TYPE I

Si la valeur moyenne de la résistance à la compression à 28 jours d'âge sur trois éprouvettes n'est pas atteinte mais qu'elle est \geq à 60 % de la valeur exigée, une réfaction est appliquée sur la production représentative comme suit: entre 60 % et 100 % de la résistance demandée, le nouveau prix unitaire est calculé linéairement de 0 % (0,00 €) à 100 % du prix de l'offre.

Si la valeur moyenne obtenue est $<$ à 60 % de la résistance à la compression exigée, le travail de la section considérée est refusé. La fondation est démolie et remplacée aux frais de l'entrepreneur (y compris les matériaux déjà posés tels les tuyaux ou revêtements éventuels).

F. 4.3.5.2.2. RESISTANCE A LA COMPRESSION DES FONDATIONS DE TYPE II

– Résistance individuelle

Lorsque dans un lot, la résistance individuelle R'_{bi} d'une carotte est inférieure à la résistance moyenne minimum $R'_{bi,min}$ fixée au F. 4.3.3.2.2, la section correspondante peut être acceptée moyennant application d'une réfaction calculée comme suit :

$$R_{Ri} = p.S' \cdot \left(\frac{R'_{bi,min} - R'_{bi}}{0,15R'_{bm,min}} \right)^2$$

où R_{Ri} = réfaction liée à la résistance individuelle à la compression simple (€).

p = prix unitaire de la fondation (€/m²).

S' = surface de la section correspondante (m²).

Si $R'_{bi} < 0,85 R'_{bi,min}$, la section est refusée.

– Résistance moyenne

Lorsque la résistance moyenne à la compression R'_{bm} d'un lot est inférieure à la résistance moyenne minimum $R'_{bm,min}$ fixée au F. 4.3.3.2.2, le lot peut être accepté moyennant l'application d'une réfaction calculée comme suit:

– chantier de catégorie A (n = 10)

$$R_{Rm} = p.S \cdot \left(\frac{R'_{bm,min} - R'_{bm}}{1,645S_R} \right)^2$$

– chantier de catégorie B (n < 10)

$$R_{Rm} = p.S \cdot \left(\frac{R'_{bm,min} - R'_{bm}}{10} \right)^2$$

où R_{Rm} = réfaction liée à la résistance à la compression d'un lot (€).

S = surface du lot (m²).

Si $R'_{bm} < R'_{bk}$, le lot est refusé.

F. 4.4. FONDATION EN SABLE-LAITIER

F. 4.4.1. DESCRIPTION

La fondation est composée d'un mélange homogène de sable de concassage, pierres concassées, laitier granulé, eau et chaux vive.

F. 4.4.2. CLAUSES TECHNIQUES

F. 4.4.2.1. MATERIAUX

Ils répondent aux prescriptions suivantes :

- eau : [C. 1](#)
- laitier granulé : [C. 3.3.1](#)
- sable : [C. 3.4.3](#)
- pierres: [C. 4.4.2](#)
- chaux : [C. 9](#)
- émulsions cationiques de bitume(s) : [C. 12.8](#).

La granularité du mélange pierres concassées, sable de concassage et laitier granulé est donnée ci-après.

Tamis (ouverture en mm)	Passant (%)
6,3	100
4,0	80 à 100
2,0	45 à 70
1,0	25 à 45
0,063	5 à 15

Le sable-laitier contient 15 à 20 % de laitier granulé et 0,5 à 2 % de chaux vive.

F. 4.4.2.2. EXECUTION

Le mélange est effectué en centrale.

La fondation est exécutée en couche d'épaisseur maximale de 20 cm.

En fin de journée, la fondation est limitée par un plan vertical au moyen d'un coffrage ou d'un madrier posé sur chant et contre lequel vient buter le sable-laitier. Ce coffrage a la hauteur de la fondation et être solidement maintenu en place.

Le transport s'effectue par camions bâchés. La livraison est conforme au § 7 de la norme NBN EN 206-1.

La mise en œuvre est interdite lorsque la température de l'air mesurée sous abri, à 1,5 m du sol est \leq à 1° C à 8 heures du matin ou \leq à - 3° C durant la nuit.

La protection contre la dessiccation s'effectue conformément au [F. 2.3.2.4.3](#).

Toute circulation est interdite sur le sable-laitier pendant une période de 3 jours après la mise en œuvre.

F. 4.4.3. SPECIFICATIONS

Les prescriptions du [F. 4.3.3.2.1](#) sont d'application.

F. 4.4.4. VERIFICATIONS

Les prescriptions du [F. 4.3.4](#) sont d'application.

F. 4.4.5. PAIEMENT

Les prescriptions du [F. 4.3.5](#) sont d'application

F. 4.5. FONDATION EN BETON MAIGRE OU BETON POUZZOLANIQUE

F. 4.5.1. DESCRIPTION

Les fondations en béton maigre sont du type I ou II.
Les fondations en béton pouzzolanique sont du type III ou IV.

Le type I est un mélange de :

- pierres naturelles ou concassés de béton et/ou concassés de débris d'enrobés bitumineux
- sables dont la granularité est éventuellement corrigée par addition de laitier granulé (au maximum 20 % de la masse de sable)
- ciment : le ciment est à haute résistance aux sulfates (HSR) et à teneur limitée en alcalis (LA) en cas d'utilisation de concassés de débris de béton
- eau
- éventuellement cendres volantes ou filler
- éventuellement adjuvants, moyennant l'accord du fonctionnaire dirigeant.

Le type II est un mélange de laitier granulé, de ciment et d'eau.

Le type III est un mélange de :

- pierres naturelles ou concassés de béton et/ou concassés de débris d'enrobés bitumineux
- sables
- cendres volantes
- chaux
- chlorure de calcium
- eau.

Le type IV est un mélange de sables, de cendres volantes, de chaux, de chlorure de calcium et d'eau.

F. 4.5.2. CLAUSES TECHNIQUES

F. 4.5.2.1. MATERIAUX

Ils répondent aux prescriptions du chapitre C les concernant.

- eau : [C. 1](#)
- laitier granulé : [C. 3.3.1](#)
- sable : [C. 3.4.4](#)
- pierres : [C. 4.4.3](#)
- cendres volantes : [C. 7](#)
- ciment : [C. 8](#)
- chaux : [C. 9](#)
- chlorure de calcium : [C. 10](#)
- émulsions type A cationiques de bitume(s) : [C. 12.8](#).
- adjuvants : [C. 17](#).

F. 4.5.2.2. EXECUTION

F. 4.5.2.2.1. COMPOSITION

Lorsque le béton maigre n'est pas fourni à performance spécifiée suivant la norme NBN EN 206-1, l'entrepreneur fournit, au moins quinze jours avant le début du bétonnage :

- les certificats BENOR ou équivalent ou à défaut les certificats d'origine des composants (pierres, sable, ciment, adjuvants éventuels,...)
- une étude de la composition du béton, certifiée par un laboratoire agréé, reprenant :
 - la composition en masse des pierres et sable
 - la teneur en ciment et en eau
 - la consistance du béton frais
 - la masse volumique du béton à l'état sec
 - le type, les caractéristiques et le dosage des adjuvants
- l'emplacement de la centrale à béton.

Lorsque le béton maigre est fourni à performance spécifiée suivant la NBN EN 206-1, il est de classe de résistance C12/15 pour les fondations de chaussées et/ou zones d'immobilisation et de classe de résistance C16/20 pour les fondations de trottoirs, éléments linéaires et localisés.

F. 4.5.2.2.2. FABRICATION

Les mélanges sont effectués dans une centrale de malaxage dont la capacité est suffisante pour suivre la cadence du chantier. L'entrepreneur ne peut modifier la composition du béton en cours de bétonnage sans l'accord préalable du fonctionnaire dirigeant.

La durée de malaxage, comptée à partir de l'introduction du dernier matériau dans le malaxeur (eau comprise), est supérieure à une minute.

Pour les bétons maigres, la teneur en ciment est au minimum de 100 kg/m³, la teneur en eau effective ne dépasse pas 8 % de la masse du mélange sec et la teneur éventuelle en cendres volantes ne peut dépasser 8 % de la masse des granulats secs.

Pour le béton pouzzolanique, la composition massique des additifs, par rapport à la masse totale des granulats secs, est la suivante: 11,5 à 16,5 % de cendres volantes, 3 à 4 % de chaux et 0,6 à 1,2 % de chlorure de calcium.

F. 4.5.2.2.3. TRANSPORT

La livraison est conforme au § 7 de la norme NBN EN 206-1. Le béton frais est transporté, de la centrale au chantier, par des camions-bennes bâchés. Tout autre moyen de transport n'est autorisé qu'avec l'accord du fonctionnaire dirigeant. Si le transport par camion-malaxeur a été autorisé, le malaxeur tourne en vitesse de malaxage pendant au moins 2 minutes avant le déversement du béton. Les adjuvants autorisés sont introduits, au plus tard, avant la période de malaxage précédant le déversement du béton.

F. 4.5.2.2.4. MISE EN OEUVRE

La mise en œuvre du béton est faite mécaniquement en une seule couche.

Pour les éléments linéaires préfabriqués et les trottoirs, l'épandage du béton peut être exécuté manuellement.

Le béton est mis en œuvre, compacté et protégé contre la dessiccation endéans les 2 heures qui suivent sa fabrication.

La mise en œuvre est interdite lorsque la température de l'air mesurée sous abri, à 1,5 m du sol, est \leq à 1° C à 8 heures du matin ou \leq à -3° C durant la nuit.

En fin de journée, la fondation est limitée par un plan vertical au moyen d'un coffrage ou d'un madrier posé sur chant et contre lequel vient buter le béton. Ce coffrage a la hauteur de la fondation et être solidement maintenu en place.

F. 4.5.2.2.5. PROTECTION CONTRE LA DESSICCATION ET LE GEL

La protection contre la dessiccation et le gel s'effectue conformément au [F. 2.3.2.4.3](#).

F. 4.5.2.2.6. MISE EN SERVICE

Toute circulation sur le béton est interdite pendant les 7 jours qui suivent la mise en œuvre.

F. 4.5.2.2.7. JOINTS

Les prescriptions du F. 4.3.2.5 sont d'application.

F. 4.5.3. SPECIFICATIONS

F. 4.5.3.1. RESISTANCE A LA COMPRESSION SIMPLE

Les carottes sont conservées en laboratoire, en atmosphère humide saturée, à une température de 20° C pendant au moins 10 jours avant les essais.

Les résistances sont mesurées sur carottes de 100 cm² à au moins 90 jours d'âge. Les prescriptions concernent, par lot, la résistance moyenne R'_{bm} et les résistances individuelles R'_{bi} .

	Fondation de chaussées et/ou zones d'immobilisation	Fondation de trottoirs, éléments linéaires et localisés
Résistance caractéristique R'_{bk}	10	13
Résistance moyenne minimum $R'_{bm,min}$ $n = 10$	$R'_{bk} + 1,645 S_R$	$R'_{bk} + 1,645 S_R$
Résistance moyenne minimum $R'_{bm,min}$ $3 \leq n < 10$	$R'_{bk} + 2$	$R'_{bk} + 2$
Résistance individuelle minimum $R'_{bi,min}$	$0,80 R'_{bm,min}$	$0,80 R'_{bm,min}$

$$\text{où } R'_{bm} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} R'_{bi}}{n}$$

$$S_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (R'_{bi} - R'_{bm})^2}{n-1}}$$

Les résistances sont exprimées en MPa à 0,5 MPa près par excès ou par défaut.

Lorsque la fondation des éléments linéaires est attenante et est réalisée simultanément à la fondation de la chaussée, les prescriptions relatives à la fondation de chaussées et/ou zone d'immobilisation sont d'application.

F. 4.5.3.2. EPAISSEUR

Les prescriptions concernent, par lot, l'épaisseur moyenne E_m et les épaisseurs individuelles E_i exprimées en mm à 0,5 mm près par excès ou par défaut.

Epaisseur individuelle minimum $E_{i,min}$	$0,90 E_{nom}$
Epaisseur moyenne minimum $E_{m,min}$	E_{nom}

où E_{nom} est l'épaisseur nominale (mm) fixée aux documents d'adjudication

$$E_m = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} E_i}{n}$$

n = nombre d'échantillons

F. 4.5.3.3. NIVEAU DE SURFACE

Les niveaux de surface de la fondation respectent les profils en long et en travers prescrits. Des tolérances locales de 1 cm sont admises pour autant qu'elles soient compatibles avec les tolérances des couches sus-jacentes.

F. 4.5.3.4. REGULARITE DE SURFACE

Les irrégularités de surface ne peuvent dépasser 1 cm.

F. 4.5.4. VERIFICATIONS

F. 4.5.4.1. ESSAIS EN COURS D'EXECUTION

Les contrôles portent sur:

- le matériel
- la propreté du fond de coffre
- l'alignement et la fixation des coffrages ou des fils de guidage ainsi que sur leur niveau
- les épaisseurs probables du béton par mesure par rapport au niveau du fond de coffre
- l'observation des conditions atmosphériques
- le dosage des matériaux
- la protection du béton
- le niveau de surface
- la régularité de surface.

F. 4.5.4.2. ESSAIS APRES EXECUTION

F. 4.5.4.2.1. RESISTANCE A LA COMPRESSION SIMPLE

Les prescriptions du [F. 4.3.4.2.3](#) sont d'application.

Pour les fondations des éléments linéaires, il est prélevé aléatoirement au moins 1 carotte par 200 m avec un minimum de 3 carottes.

Pour les fondations des trottoirs, il est prélevé aléatoirement au moins 1 carotte par 500 m² avec un minimum de 3 carottes.

F. 4.5.4.2.2. EPAISSEUR

Cette vérification s'effectue sur les carottes prélevées pour la vérification des résistances à la compression.

F. 4.5.4.2.3. NIVEAU DE SURFACE

Les prescriptions du [F. 4.3.4.2.1](#) sont d'application.

F. 4.5.4.2.4. REGULARITE DE SURFACE

Les prescriptions du [F. 4.3.4.2.2](#) sont d'application.

F. 4.5.5. PAIEMENT

F. 4.5.5.1. MESURAGES

En ce qui concerne la fondation des éléments linéaires, le paiement s'effectue sur base de la longueur ou du volume selon les prescriptions des documents d'adjudication.

Les prescriptions du [F. 4.3.5](#) sont d'application.

F. 4.5.5.2. REFACTION POUR MANQUEMENT

F. 4.5.5.2.1. EPAISSEUR

F. 4.5.5.2.1.1. Epaisseur individuelle

Lorsque, dans un lot, l'épaisseur individuelle E_i d'une carotte est inférieure à l'épaisseur minimum fixée au F. 4.5.3.2, la section correspondante peut être acceptée moyennant application d'une réfaction calculée comme suit :

$$R_{Ei} = p \cdot S' \cdot \left(\frac{0,90E_{nom} - E_i}{0,10E_{nom}} \right)^2$$

où R_{Ei} = réfaction liée à l'épaisseur individuelle (€)
 p = prix unitaire du béton (€/m²)
 S' = S/n
 S = la surface du lot en m²
 n = le nombre de carottes prélevées dans le lot

Si $E_i < 0,80 E_{nom}$, la section est refusée ou acceptée moyennant une réfaction égale à $p \cdot S'$.

F. 4.5.5.2.1.2. Epaisseur moyenne

Lorsque l'épaisseur moyenne d'un lot est inférieure à l'épaisseur nominale, le lot peut être accepté moyennant l'application d'une réfaction calculée comme suit :

$$R_{Em} = p \cdot S \cdot \left(\frac{E_{nom} - E_m}{0,10E_{nom}} \right)^2$$

où R_{Em} = réfaction liée à l'épaisseur moyenne (€)
 S = surface du lot (m²)

Si $E_m < 0,90 E_{nom}$, le lot est refusé ou accepté moyennant une réfaction égale à $p \cdot S$.

F. 4.5.5.2.2. RESISTANCE A LA COMPRESSION

F. 4.5.5.2.2.1. Résistance individuelle

Lorsque dans un lot, la résistance individuelle R'_{bi} d'une carotte est inférieure à la résistance moyenne minimum $R'_{bi,min}$ fixée au F.4.5.3.1, la section correspondante peut être acceptée moyennant application d'une réfaction calculée comme suit :

$$R_{Ri} = p \cdot S' \cdot \left(\frac{R'_{bi,min} - R'_{bi}}{0,15R'_{bi,min}} \right)^2$$

où R_{Ri} = réfaction liée à la résistance individuelle à la compression simple (€).
 p = prix unitaire du béton (€/m²).
 S' = S/n
 S = la surface du lot en m²
 n = le nombre de carottes prélevées dans le lot

Si $R'_{bi} < 0,85 R'_{bi,min}$, la section est refusée ou acceptée moyennant une réfaction égale à $p \cdot S'$.

F. 4.5.5.2.2. Résistance moyenne

Lorsque la résistance moyenne à la compression R'_{bm} d'un lot est inférieure à la résistance moyenne minimum $R'_{bm,min}$ fixée au F. 4.5.3.1, le lot peut être accepté moyennant l'application d'une réfaction calculée comme suit :

- chantier de catégorie A ($n = 10$)

$$R_{Rm} = p.S. \left(\frac{R'_{bm,min} - R'_{bm}}{1,645S_R} \right)^2$$

- chantier de catégorie B ($n < 10$)

$$R_{Rm} = p.S. \left(\frac{R'_{bm,min} - R'_{bm}}{2} \right)^2$$

où R_{Rm} = réfaction liée à la résistance à la compression d'un lot (€).
S = surface du lot (m²).

Si $R'_{bm} < R'_{bk}$, le lot est refusé ou accepté moyennant une réfaction égale à p.S.

F. 4.6. FONDATION EN BETON MAIGRE POREUX

F. 4.6.1. DESCRIPTION

Le béton maigre poreux est composé d'un mélange :

- de matériaux pierreux tels que pierres concassées, graviers roulés
- de ciment
- d'eau.

F. 4.6.2. CLAUSES TECHNIQUES

F. 4.6.2.1. MATERIAUX

Ils répondent aux prescriptions du chapitre C les concernant :

- eau : C. 1
- laitier granulé : C. 3.3.1
- pierres : C. 4.4.3
- ciment : C. 8.

F. 4.6.2.2. EXECUTION

F. 4.6.2.2.1. COMPOSITION

L'entrepreneur fournit, au moins quinze jours avant le début du bétonnage :

- les certificats BENOR ou équivalent ou à défaut les certificats d'origine des composants (pierres, ciment)
- une étude de la composition du béton, certifiée par un laboratoire agréé, reprenant :
 - la composition en masse des pierres
 - la teneur en ciment et en eau
 - la consistance du béton frais
 - la masse volumique du béton à l'état sec
- l'emplacement de la centrale à béton.

Le choix de la composition est laissé à l'entrepreneur. Néanmoins, celle-ci ne contient pas de sable et la teneur en ciment est d'au moins 200 kg/m³

A titre indicatif, une composition du béton poreux à mettre en œuvre en proportions est la suivante :

- 7/20 mm : 1.130 kg
- 2/7 mm : 565 kg
- ciment : 200 kg minimum
- eau : environ 100 litres.

L'entrepreneur ne peut modifier la composition du béton en cours de bétonnage sans l'accord préalable du fonctionnaire dirigeant.

F. 4.6.2.2.2. FABRICATION

Les mélanges sont effectués dans une centrale de malaxage. Le transport s'effectue par camions bâchés. La livraison est conforme au § 7 de la NBN EN 206-1.

F. 4.6.2.2.3. MISE EN OEUVRE

La mise en œuvre du béton et la finition de la surface sont exécutées mécaniquement en une seule couche.

Le béton est mis en œuvre, compacté et protégé contre la dessiccation endéans les 2 heures qui suivent sa fabrication

L'épandage s'effectue en continu par une machine qui règle la hauteur du matériau foisonné au niveau qui permettra, après compactage, d'atteindre la cote désirée.

Le compactage est puissant afin d'atteindre la couche en profondeur.

La mise en œuvre est interdite lorsque la température de l'air mesurée sous abri, à 1,5 m du sol, est \leq à 1° C à 8 heures du matin ou \leq à - 3° C durant la nuit.

En fin de journée, la fondation est limitée par un plan vertical au moyen d'un coffrage ou d'un madrier posé sur chant et contre lequel vient buter le béton. Ce coffrage a la hauteur de la fondation et est solidement maintenu en place.

F. 4.6.2.2.4. PROTECTION CONTRE LA DESSICCATION, LA PLUIE ET LE GEL

Immédiatement après la finition de la surface, et au plus tard 30 minutes après mise en œuvre du béton, celui-ci est protégé contre la dessiccation et la pluie (au moyen d'une feuille plastique. Si le revêtement n'est pas mis en œuvre, cette protection est maintenue durant un minimum de 72 heures.

La protection contre le gel est assurée efficacement pendant 7 jours après la mise en œuvre. La température au niveau supérieur de la couche en béton maigre poreux ne peut descendre en dessous de + 1°C. En cas d'utilisation de CaCl₂, le §.5.2.7 de la norme NBN EN 206-1 est d'application.

F. 4.6.2.2.5. MISE EN SERVICE

Toute circulation sur le béton est interdite pendant les 7 jours qui suivent la mise en œuvre.

F. 4.6.3. SPECIFICATIONS

F. 4.6.3.1. RESISTANCE A LA COMPRESSION SIMPLE

Les résistances sont mesurées sur carottes de 100 cm² à au moins 90 jours d'âge. Les prescriptions concernent, par lot, la résistance moyenne R'_{bm} et les résistances individuelles R'_{bi} .

Résistance caractéristique R'_{bk}	11
Résistance moyenne minimum $R'_{bm,min}$ $n = 10$	$R'_{bk} + 1,645 S_R$
Résistance moyenne minimum $R'_{bm,min}$ $3 \leq n < 10$	$R'_{bk} + 2$
Résistance individuelle minimum $R'_{bi,min}$	$0,80 R'_{bm,min}$

$$\text{où } R'_{bm,min} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} R'_{bi}}{n}$$

$$S_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (R'_{bi} - R'_{bm})^2}{n-1}}$$

Les résistances sont exprimées en MPa à 0,5 MPa près par excès ou par défaut.

F. 4.6.3.2. POROSITE EFFICACE ET PERMEABILITE

La porosité efficace et la perméabilité sont mesurées sur carottes de 100 cm² extraites de la fondation.

Les prescriptions concernent, par lot, la porosité efficace individuelle P_i et la porosité efficace moyenne P_m .

Porosité efficace individuelle minimale $P_{i,min} = 6,5 \%$

Porosité efficace moyenne minimale $P_{m,min} = 8,0 \%$

Lorsque les résultats de porosité efficace sont insuffisants, la perméabilité du béton maigre poreux est déterminée. Celle-ci est supérieure à 4.10^{-4} m/s sur toutes les carottes

F. 4.6.3.3. EPAISSEUR

Les prescriptions du F. 4.5.3.2 sont d'application.

F. 4.6.3.4. NIVEAU DE SURFACE

Les prescriptions du F. 4.5.3.3 sont d'application.

F. 4.6.3.5. REGULARITE DE SURFACE

Les prescriptions du F. 4.5.3.4 sont d'application.

F. 4.6.4. RECEPTIONS TECHNIQUES

Les prescriptions du F. 4.5.4 sont d'application.

F. 4.6.5. PAIEMENT

F. 4.6.5.1. MESURAGES

Les prescriptions du F. 4.5.5.1 sont d'application.

F. 4.6.5.2. REFACTION POUR MANQUEMENT

Les prescriptions du F. 4.5.5.2 sont d'application. En ce qui concerne la résistance à la compression, $R_{bk} = 11 \text{ MPa}$

En outre, le béton dont la porosité efficace n'est pas satisfaisante est refusé sauf si les essais de perméabilité sont satisfaisants.

F. 4.7. FONDATION EN BETON SEC COMPACTE (BSC)

F. 4.7.1. DESCRIPTION

La fondation en béton sec compacté est une fondation mise en œuvre à la niveleuse et au rouleau, de composition semblable au béton maigre de type I mais avec une teneur en ciment plus élevée et une fraction granulométrique plus petite (0/20). Elle permet une mise en service rapide.

F. 4.7.2. CLAUSES TECHNIQUES

F. 4.7.2.1. MATERIAUX

Ils répondent aux prescriptions du chapitre C les concernant :

- eau : [C. 1](#)
- sable : [C. 3.4.4](#)
- pierres : [C. 4.4.3](#)
- cendres volantes : [C. 7](#)
- ciment : [C. 8](#)
- chlorure de calcium : [C. 10](#)
- émulsions cationiques de bitume(s) : [C. 12.8](#)
- adjuvant : [C. 17](#).

F. 4.7.2.2. EXECUTION

F. 4.7.2.2.1. COMPOSITION

La fondation en béton sec compacté est un mélange homogène de sable, de pierres, d'eau, de ciment et éventuellement de cendres volantes et/ou d'adjuvants.

Les bétons secs compactés sont de deux types : les BSC 20 et BSC 30 définis ci-après.

Au moins 15 jours avant le début du bétonnage, l'entrepreneur fournit la composition en tenant compte des éléments suivants :

- pour un BSC 20, la teneur en ciment est d'au moins 200 kg/m^3
- pour un BSC 30, elle est d'au moins 250 kg/m^3
- la quantité de cendres volantes est de maximum 5 % de la masse des granulats secs
- la teneur en eau permet un compactage optimal. Généralement, la teneur en eau est légèrement inférieure à l'Optimum Proctor modifié et est comprise entre 4 et 7 % de la masse des matériaux secs.

F. 4.7.2.2.2. FABRICATION

Les mélanges sont effectués dans une centrale de malaxage dont la capacité est suffisante pour suivre la cadence du chantier. L'entrepreneur ne peut modifier la composition du béton en cours de bétonnage sans l'accord préalable du fonctionnaire dirigeant.

La durée de malaxage, comptée à partir de l'introduction du dernier matériau dans le malaxeur (eau comprise), est supérieure à 1 minute.

F. 4.7.2.2.3. TRANSPORT

Le transport s'effectue en camions bâchés. La livraison est conforme au § 7 de la norme NBN EN 206-1.

Le béton frais est transporté, de la centrale au chantier, par des camions-bennes bâchés. Tout autre moyen de transport n'est autorisé qu'avec l'accord du fonctionnaire dirigeant. Si le transport par camion-malaxeur a été autorisé, le malaxeur tourne en vitesse de malaxage pendant au moins 2 minutes avant le déversement du béton.

Les adjuvants autorisés sont introduits, au plus tard, avant la période de malaxage précédant le déversement du béton.

F. 4.7.2.2.4. MISE EN OEUVRE

La mise en œuvre du béton est faite mécaniquement en une seule couche à la niveleuse ou au finisseur. La mise en œuvre est interdite lorsque la température de l'air mesurée sous abri, à 1,5 m du sol, est \leq à 1° C à 8 heures du matin ou \leq à -3° C durant la nuit.

Le compactage est assuré par un rouleau à pneus d'une masse d'au moins 2,7 t par roue et un rouleau vibrant à jante lisse dont la masse linéique d'au moins un cylindre est supérieure à 30 kg/cm de génératrice. Le compactage est assuré de façon à atteindre au minimum 97 % de l'Optimum Proctor modifié.

Le béton est mis en œuvre, compacté et protégé contre la dessiccation endéans les 2 heures qui suivent sa fabrication.

En fin de journée, la fondation est limitée par un plan vertical au moyen d'un coffrage ou d'un madrier posé de chant et contre lequel vient buter le béton. Ce coffrage a la hauteur de la fondation et est solidement maintenu en place.

F. 4.7.2.2.5. PROTECTION CONTRE LA DESSICCATION ET LE GEL

La protection contre la dessiccation et le gel s'effectue conformément au [F. 2.3.2.4.3](#) immédiatement après la mise en œuvre.

F. 4.7.2.2.6. JOINTS

Dans le béton sec compacté, des amorces de fissuration sont réalisées tous les 4 m sur une profondeur d'au minimum 1/3 de l'épaisseur de la fondation.

F. 4.7.2.2.7. MISE EN SERVICE

Toute circulation de moins de 3,5 t est permise immédiatement après la fin de la mise en œuvre. La circulation lourde est interdite pendant les 5 jours qui suivent la mise en œuvre.

F. 4.7.3. SPECIFICATIONS

F. 4.7.3.1. RESISTANCE A LA COMPRESSION

Les carottes sont conservées en laboratoire, en atmosphère humide saturée, à une température de 20° C pendant au moins 10 jours avant les essais.

Les résistances sont mesurées sur carottes de 100 cm² à au moins 90 jours d'âge. Les prescriptions concernent, par lot, la résistance moyenne R'_{bm} et les résistances individuelles R'_{bi} .

	BSC 20	BSC 30
Résistance caractéristique R'_{bk}	18	26
Résistance moyenne minimum $R'_{bm,min}$ $n = 10$	$R'_{bk} + 1,645 S_R$	$R'_{bk} + 1,645 S_R$
Résistance moyenne minimum $R'_{bm,min}$ $3 \leq n < 10$	$R'_{bk} + 2$	$R'_{bk} + 4$
Résistance individuelle minimum $R'_{bi,min}$	$0,80 R'_{bm,min}$	$0,80 R'_{bm,min}$

$$\text{où } R'_{bm} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} R'_{bi}}{n}$$

$$S_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (R'_{bi} - R'_{bm})^2}{n-1}}$$

Les résistances sont exprimées en MPa à 0,5 MPa près par excès ou par défaut.

F. 4.7.3.2. EPAISSEUR

Les prescriptions du [F. 4.5.3.2](#) sont d'application.

F. 4.7.3.3. NIVEAU DE SURFACE

Les prescriptions du [F. 4.5.3.3](#) sont d'application.

F. 4.7.3.4. REGULARITE DE SURFACE

Les prescriptions du [F. 4.5.3.4](#) sont d'application.

F. 4.7.4. RECEPTIONS TECHNIQUES

F. 4.7.4.1. ESSAIS EN COURS D'EXECUTION

Les prescriptions du [F. 4.5.4.1](#) sont d'application.

F. 4.7.4.2. ESSAIS APRES EXECUTION

F. 4.7.4.2.1. RESISTANCE A LA COMPRESSION SIMPLE

La résistance à la compression simple est mesurée sur 3 carottes, par journée de bétonnage.

F. 4.7.4.2.2. EPAISSEUR

Les prescriptions du [F. 4.5.4.2.2](#) sont d'application.

F. 4.7.4.2.3. NIVEAU DE SURFACE

Les prescriptions du [F. 4.3.4.2.1](#) sont d'application.

F. 4.7.4.2.4. REGULARITE DE SURFACE

Les prescriptions du [F. 4.3.4.2.2](#) sont d'application.

F. 4.7.5. PAIEMENT

F. 4.7.5.1. MESURAGES

Les prescriptions du [F. 4.3.5](#) sont d'application.

F. 4.7.5.2. REFACTION POUR MANQUEMENT

F. 4.7.5.2.1. EPAISSEUR

Les prescriptions du F. 4.5.5.2.1 sont d'application.

F. 4.7.5.2.2. RESISTANCE A LA COMPRESSION

F. 4.7.5.2.2.1. Résistance individuelle

Les prescriptions du F. 4.5.5.2.2.1 sont d'application.

F. 4.7.5.2.2.2. Résistance moyenne

Lorsque la résistance moyenne à la compression R'_{bm} d'un lot est inférieure à la résistance moyenne minimum $R'_{bm,min}$ fixée au F. 4.7.3.1, le lot peut être accepté moyennant l'application d'une réfaction calculée comme suit:

- chantier de catégorie A ($n = 10$)

$$R_{Rm} = p.S. \left(\frac{R'_{bm,min} - R'_{bm}}{1,645S_R} \right)^2$$

- chantier de catégorie B ($n < 10$) pour les BSC 20

$$R_{Rm} = p.S. \left(\frac{R'_{bm,min} - R'_{bm}}{2} \right)^2$$

- chantier de catégorie B ($n < 10$) pour les BSC 30

$$R_{Rm} = p.S. \left(\frac{R'_{bm,min} - R'_{bm}}{4} \right)^2$$

où R_{Rm} = réfaction liée à la résistance à la compression d'un lot (€).

S = surface du lot (m^2).

$\alpha = 1$

Si $R'_{bm} < R'_{bk}$, le lot est refusé.

F. 4.8. RETRAITEMENT DE CHAUSSEES EXISTANTES AU MOYEN DE CIMENT

F. 4.8.1. DESCRIPTION

Le retraitement en place consiste à mélanger en place l'empierrement existant avec du ciment, éventuellement de l'eau et un matériau d'apport destiné à corriger la granularité du mélange et/ou à augmenter l'épaisseur de la fondation.

Si l'empierrement existant est recouvert d'un revêtement hydrocarboné, l'épaisseur de celui-ci n'excède pas le tiers de celle de la couche à traiter.

Le retraitement au ciment ne s'applique pas aux routes en béton, ni aux pavages.

Si 10 % au moins des matériaux en place ont un calibre supérieur à 80 mm, un concassage préalable des matériaux est prévu.

F. 4.8.2. CLAUSES TECHNIQUES

F. 4.8.2.1. MATERIAUX

Ils répondent aux prescriptions du chapitre C les concernant :

- ciment : [C. 8](#)
- émulsions cationiques de bitume(s) : [C. 12.8](#).

Le squelette inerte est constitué du matériau en place et, éventuellement, d'un matériau d'apport. Les proportions sont déterminées sur base des résultats des essais en laboratoire décrits ci-après.

La courbe granulométrique des matériaux correspond à la courbe de Talbot d'équation :

$$Y = \left(\frac{d}{D}\right)^{0,4} \cdot 100$$

dans laquelle : Y = % de passant au tamis d
d = maille du tamis (en mm)
D = dimension du plus gros élément (en mm)

La tolérance est de $\pm 5\%$ sur le pourcentage de passant au tamis d.

Lorsque les matériaux en place ne répondent pas à ce critère de granularité, un matériau d'apport correctif est nécessaire.

Les matériaux d'apport répondent aux prescriptions du chapitre [F. 4.5.2.1](#).

F. 4.8.2.2. COMPOSITION

La composition du mélange est fournie par l'entrepreneur sur base d'une étude certifiée par un laboratoire agréé.

L'entrepreneur fournit au laboratoire les échantillons des matériaux prélevés in situ (au moins 200 kg par échantillon) et des matériaux d'apport qu'il compte utiliser (au moins 100 kg). Les prélèvements sont effectués à raison d'au moins un sondage par 500 m de route d'un seul tenant et par demi-chaussée, en alternance.

La profondeur du sondage est égale à l'épaisseur du matériau à traiter.

Si la structure et/ou les matériaux sont hétérogènes, le nombre de prélèvements peut être augmenté.

Le rapport du laboratoire précise :

- la granularité des matériaux prélevés in situ y compris la teneur en éléments inférieurs à 0,063 mm
- la teneur en matières organiques
- la granularité des matériaux d'apport éventuels
- la granularité du mélange (matériaux in situ + matériaux d'apport)
- la courbe Proctor modifié du mélange avec une teneur en ciment de 6 % de la masse sèche
- la quantité de ciment nécessaire pour obtenir une résistance minimale à la compression à 7 jours de 8 MPa sur des éprouvettes de format CBR compactées à l'énergie Proctor modifié et à la teneur en eau optimale définie à l'alinéa ci-dessus (wOPM,6%cim).
- la résistance à l'immersion est obtenue suivant la méthode ci-dessous :
 - deux séries de trois éprouvettes Proctor modifié sont fabriquées aux teneurs en ciment et en eau fixées par l'essai de résistance à la compression.
 - après 7 jours de conservation en atmosphère humide (95 % humidité relative et 20° C) une série d'éprouvettes est immergée sous eau, l'autre est maintenue en atmosphère humide.
 - à 14 jours, les deux séries sont soumises à l'essai de compression. La résistance moyenne des éprouvettes immergées est supérieure ou égale à 70 % de celle des éprouvettes témoins.

Le dosage de ciment par rapport à la masse totale des matériaux est fixé à 6 %, si la méthode fournit une valeur inférieure.

F. 4.8.2.3. EXECUTION

F. 4.8.2.3.1. PREPARATION

Toute mise en œuvre est précédée d'un nettoyage du revêtement avec évacuation des matières terreuses et/ou organiques.

F. 4.8.2.3.2. DISTRIBUTION DES MATERIAUX D'APPORT, DU CIMENT ET DE L'EAU

La mise en œuvre est interdite lorsque la température de l'air mesurée sous abri, à 1,5 m du sol, est \leq à 1° C à 8 heures du matin ou \leq à -3° C durant la nuit.

La distribution des matériaux d'apport est régulière et homogène; elle ne s'écarte pas de plus de 2 % en valeur absolue des quantités prescrites. Les matériaux d'apport sont mis en œuvre au finisseur sur l'épaisseur prescrite mesurée après compactage et sont compactés avant fragmentation et malaxage.

Le ciment est soit épandu devant l'engin de retraitement au moyen d'une épandeuse dont le débit est asservi à la vitesse d'avancement, soit injecté sous forme d'un coulis au droit du tambour de fragmentation.

La tolérance sur la quantité de ciment est de maximum 5 % en valeur relative de la quantité imposée. Le réglage de la teneur en eau est effectué de manière à ne pas s'écarter de plus de 1 % de l'optimum Proctor modifié défini au cours des essais.

F. 4.8.2.3.3. FRAGMENTATION ET MALAXAGE

Le traitement est effectué par la fragmentation et par le malaxage en une seule passe sur toute l'épaisseur imposée. Les deux fonctions, fragmentation et malaxage, sont parfaitement dissociées. Un malaxeur indépendant traite et homogénéise l'ensemble des matériaux. Celui-ci peut être remplacé par un finisseur qui suit immédiatement la machine de fragmentation et assure l'homogénéisation et le répannage uniforme du produit retraité.

En cas de traitement de chaussée en place, l'engin de fragmentation a une puissance minimale, en mètre linéaire de rotor, de 100 kw/h et un rotor de fragmentation qui tourne dans le sens inverse de l'avancement en soulevant les éléments qui viennent buter contre une barre de fractionnement et ramène ces éléments soit directement dans le malaxeur, soit en un cordon central devant le finisseur.

En cas de présence d'enrobés hydrocarbonés en épaisseur inférieure au 1/3 de la couche à traiter, le fraisage préalable des enrobés avec maintien du matériau en place est autorisé.

F. 4.8.2.3.4. COMPACTAGE ET FINITION

Pour des épaisseurs de matériaux traités inférieures ou égales à 25 cm, l'atelier de compactage comprend au moins un rouleau vibrant à jante lisse dont la masse linéique d'au moins un cylindre est supérieure à 30 kg/cm de génératrice.

Pour des épaisseurs supérieures à 25 cm, l'atelier de compactage comprend en plus un rouleau à pneus d'une masse d'au moins 2,7 t par roue. Dans ce cas, le compactage débute avec le rouleau à pneus.

F. 4.8.2.3.5. PROTECTION

La protection s'effectue conformément au [F. 2.3.2.4.3.](#)

F. 4.8.2.3.6. MISE EN SERVICE

Le trafic léger (\leq 3,5 t) est admis 4 heures après la seconde phase de la protection. Le trafic normal n'est admis qu'après la pose de la couche de surface ou du revêtement.

F. 4.8.2.3.7. JOINTS

Les prescriptions du [F. 4.3.2.5](#) sont d'application.

F. 4.8.3. SPECIFICATIONS

F. 4.8.3.1. PORTANCE

Le coefficient de compressibilité M1 est supérieur ou égal à 110 MPa (droite OD, voir [Fig. E. 3.3.3.1a](#) ou [1b](#)). Cet essai est effectué au plus tard dans les 24 heures qui suivent la mise en œuvre.

F. 4.8.3.2. RESISTANCE A LA COMPRESSION SIMPLE

La résistance moyenne R'_{bm} minimum et la résistance individuelle R'_{bi} minimum des carottes, à au moins 90 jours d'âge sur carottes de 200 cm² extraites du revêtement, sont :

$$R'_{bm,min} = 8 \text{ MPa}$$

$$R'_{bi,min} = 5 \text{ MPa}$$

où
$$R'_{bm} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} R'_{bi}}{n}$$

n = le nombre de carottes

F. 4.8.3.3. EPAISSEUR

Les prescriptions du [F. 4.5.3.2](#) sont d'application.

F. 4.8.3.4. NIVEAU DE SURFACE

Les niveaux de surface respectent les profils en long et en travers. Des tolérances locales de 2 cm sont admises.

F. 4.8.3.5. REGULARITE DE SURFACE

Les irrégularités de surface ne dépassent pas 1,5 cm.

F. 4.8.4. VERIFICATIONS

F. 4.8.4.1. ESSAIS EN COURS D'EXECUTION

Les contrôles portent sur:

- la vérification des matériaux d'apport et leur correspondance avec les matériaux d'apport étudiés en laboratoire
- le matériel de mise en œuvre
- la profondeur de piochage, de la fragmentation et du malaxage
- la quantité et la régularité de la distribution du matériau d'apport éventuel et du ciment
- l'homogénéité du mélange en largeur et en profondeur
- la teneur en eau du mélange
- le compactage (nombre de passes du ou des rouleaux)
- la protection par humidification puis par émulsion
- l'uni de surface.

F. 4.8.4.2. ESSAIS APRES EXECUTION

Les prescriptions du [F. 4.3.4.2.3](#) sont d'application à l'exception de la surface des carottes qui est de 200 cm².

F. 4.8.5. PAIEMENT

F. 4.8.5.1. MESURAGES

Le paiement s'effectue sur base de la surface traitée et des quantités des matériaux d'apport et de ciment mis en œuvre conformément au dosage fixé ou adopté.

L'opération de préfissuration fait l'objet de postes spécifiques au métré et est payée sur base de la longueur de joint réalisé.

Les surfaces des trappillons ou autres appareils ne sont pas déduites.

F. 4.8.5.2. REFACTION POUR MANQUEMENT

F. 4.8.5.2.1. EPAISSEUR

F. 4.8.5.2.1.1. Epaisseur individuelle

Lorsque, dans un lot, l'épaisseur individuelle E_i d'une carotte est inférieure à l'épaisseur minimum fixée au F. 4.5.3.2, la section correspondante peut être acceptée moyennant application d'une réfaction calculée comme suit :

$$R_{Ei} = p \cdot S' \cdot \left(\frac{0,90E_{nom} - E_i}{0,10E_{nom}} \right)^2$$

où R_{Ei} = réfaction liée à l'épaisseur individuelle (€)
 p = prix unitaire du béton (€/m²)
 S' = surface de la section correspondante (m²)

Si $E_i < 0,80 E_{nom}$, la section est refusée.

F. 4.8.5.2.1.2. Epaisseur moyenne

Lorsque l'épaisseur moyenne d'un lot est inférieure à l'épaisseur nominale, le lot peut être accepté moyennant l'application d'une réfaction calculée comme suit :

$$R_{Em} = p \cdot S \cdot \left(\frac{E_{nom} - E_m}{0,10E_{nom}} \right)^2$$

où R_{Em} = réfaction liée à l'épaisseur moyenne (€)
 S = surface du lot (m²)

Si $E_m < 0,90 E_{nom}$, le lot est refusé.

F. 4.8.5.2.2. RESISTANCE A LA COMPRESSION

F. 4.8.5.2.2.1. Résistance individuelle

Lorsque, dans un lot, la résistance individuelle R'_{bi} d'une carotte est inférieure à la résistance moyenne minimum $R'_{bi,min}$ fixée au F. 4.5.3.1, la section correspondante peut être acceptée moyennant l'application d'une réfaction calculée comme suit :

$$R_{Ri} = p \cdot S' \cdot \left(\frac{R'_{bi,min} - R'_{bi}}{0,15R'_{bi,min}} \right)^2$$

où R_{Ri} = réfaction liée à la résistance individuelle à la compression simple (€).
 p = prix unitaire du béton (€/m²).
 S' = surface de la section correspondante (m²).

Si $R'_{bi} < 0,85 R'_{bi,min}$, la section est refusée.

F. 4.8.5.2.2.2. Résistance moyenne

Lorsque la résistance moyenne à la compression R'_{bm} d'un lot est inférieure à la résistance moyenne minimum R'_{bmmin} fixée au F. 4.5.3.1, le lot peut être accepté moyennant l'application d'une réfaction calculée comme suit:

$$R_{Rm} = p.S \left(\frac{R'_{bm,min} - R'_{bm}}{0,15R'_{bm,min}} \right)^2$$

où R_{Rm} = réfaction liée à la résistance à la compression d'un lot (€)
 S = surface du lot (m²)

Si $R'_{bm} < 0,85 R'_{bm,min}$, le lot est refusé.

F. 4.9. FONDATIONS EN PRODUITS DE SCALPAGE TRAITES

F. 4.9.1. DESCRIPTION

Le produit de scalpage est un matériau qui peut être, suivant le cas :

- issu du précriblage lors de l'exploitation d'une roche massive
- issu du précriblage d'une installation de traitement de déchets inertes de construction

Son utilisation est prévue pour les routes du réseau III, trafic faible à moyen, régulier ou saisonnier telles que :

- voirie rurale ou forestière
- piste cyclable
- plate-forme de travail
- piste cavalière.

F. 4.9.2 CLAUSES TECHNIQUES

F. 4.9.2.1. MATERIAUX

- produits de scalpage : C. 4.3.12 ou C. 4.3.14
- ciment : C. 8
- chaux vive : C. 9.2.1.

F. 4.9.2.2. COMPOSITION

La granularité du produit de scalpage, avant traitement, répond aux prescriptions du C. 4.3.12 ou C. 4.3.14.

L'utilisation de ciment Low Alkali (LA) est exigée.

Le produit est traité avec un pourcentage de chaux vive et/ou de ciment (calculé par rapport au poids du matériau sec) déterminé par une étude en laboratoire.

F. 4.9.2.3. ETUDES PRELIMINAIRES

L'entrepreneur fournit, au moins quinze jours avant le début de la mise en œuvre des produits une étude préliminaire dressée par un laboratoire agréé reprenant :

1. dans le cas d'un traitement à la chaux :

la détermination du comportement du matériau effectuée par la mesure de l'I.P.I. (indice portant immédiat).

L'indice portant immédiat est supérieur ou égal à 25 % et le rapport de l'indice CBR après immersion de quatre jours dans l'eau à l'IPI, est supérieur à 1.

Suivant les conditions climatiques du moment, il peut être envisagé un arrosage in situ afin d'obtenir la teneur en eau correspondant à 100 à 102 % de l'optimum "Proctor normal" lors du compactage.

2. dans le cas d'un traitement au ciment :

un rapport du laboratoire précise :

- la granularité des matériaux y compris la teneur en éléments inférieurs à 0,063 mm
- la teneur en matières organiques
- la courbe Proctor modifié du mélange avec une teneur en ciment de 6 % de la masse sèche
- la quantité de ciment nécessaire pour obtenir une résistance minimale à la compression à 7 jours de 8 MPa sur des éprouvettes de format CBR compactées à l'énergie Proctor modifié et à la teneur en eau optimale définie à l'alinéa ci-dessus ($W_{OPM,6\%cim}$).
- la résistance à l'immersion qui est déterminée suivant la méthode ci-dessous :
 - deux séries de trois éprouvettes Proctor modifié sont fabriquées aux teneurs en ciment et en eau fixées par l'essai de résistance à la compression.
 - après 7 jours de conservation en atmosphère humide (95 % humidité relative et 20° C) une série d'éprouvettes est immergée sous eau, l'autre est maintenue en atmosphère humide.
 - à 14 jours, les deux séries sont soumises à l'essai de compression. La résistance moyenne des éprouvettes immergées est supérieure ou égale à 70 % de celle des éprouvettes témoins.

Le dosage de ciment par rapport à la masse totale des matériaux est fixé à 6 %, si la méthode fournit une valeur inférieure.

F. 4.9.2.4. FABRICATION

La fabrication du produit de scalpage traité est effectuée par mélange en carrière ou en centrale.

F. 4.9.2.5. MISE EN OEUVRE

La mise en œuvre est effectuée conformément au [F. 3.2.2](#). Toutefois, la dernière couche est soit mise en œuvre au finisseur soit réglée au moyen d'un autograde (scalpage guidé après mise en œuvre de la fondation compactée) soit mise en œuvre mécaniquement avec un système de guidage asservi.

F. 4.9.2.5.1 PRESCRIPTION COMPLEMENTAIRE AU CIMENT

Les prescriptions du [F. 2.3.2.3](#) sont d'application

F. 4.9.2.5.2 PRESCRIPTION COMPLEMENTAIRE A LA CHAUX

Les prescriptions du [F. 2.3.2.3](#) sont d'application

F. 4.9.2.6 PROTECTION

Les prescriptions du [F. 2.3.2.4](#) sont d'application

F. 4.9.3. SPECIFICATIONS

- Les documents d'adjudication fixent la portance de la fondation. A défaut, le coefficient de compressibilité M_1 est égal ou supérieur à 80 MPa.
Cet essai est effectué au plus tard dans les 2 heures qui suivent la mise en œuvre.
- Les niveaux de surface de la fondation respectent les profils en long et en travers prescrits. Des tolérances locales de 1 cm sont admises, pour autant qu'elles soient compatibles avec les tolérances en moins des couches sus-jacentes.
- Les irrégularités de surface ne peuvent dépasser 1 cm.
- La tolérance maximum sur l'épaisseur nominale de la fondation est de 10 % sur les épaisseurs individuelles et l'épaisseur moyenne est supérieure ou égale à l'épaisseur nominale.

F. 4.9.4. VERIFICATIONS

F. 4.9.4.1. CONTROLES EN COURS D'EXECUTION

- la propreté de la surface de pose
- l'épaisseur des couches mises en œuvre
- l'homogénéité des matériaux épandus (par examen visuel)
- le niveau de surface (vérifié par opérations topographiques)
- la régularité de surface (vérifiée à la règle de 3 m)
- la portance (vérifiée à l'essai à la plaque).

Dans le cas des fondations traitées au ciment, les essais à la plaque sont effectués au plus tard dans les 2 heures qui suivent la mise en œuvre. Aux endroits où la portance imposée n'est pas atteinte, la fondation est rectifiée en accord avec le fonctionnaire dirigeant ou son délégué.

F. 4.9.4.2. CONTROLES APRES EXECUTION

Les niveaux de surface sont vérifiés par mesurages topographiques.

Lorsque les niveaux réalisés ne correspondent pas aux niveaux prescrits ou lorsque les tolérances locales sont dépassées,

- La fondation non traitée au ciment est rectifiée et recompactée.
- Dans le cas de fondation traitée au ciment, la fondation est rectifiée en accord avec le fonctionnaire dirigeant.
- En cas d'apport de matériaux, la fondation est scarifiée sur une profondeur minimale de 6 cm avant le recompactage.
- La régularité de surface est contrôlée à la règle de 3 m. Aux endroits où la tolérance est dépassée, la fondation est rectifiée comme défini ci-dessus pour les niveaux de surface.
- Lorsque l'épaisseur n'est pas contrôlée en permanence durant l'exécution, un contrôle après exécution de l'épaisseur de la fondation est effectué par sondages en des endroits choisis aléatoirement sur chantier. Cet essai est effectué au plus tard dans les 24 heures qui suivent la mise en œuvre des fondations.

F. 4.9.5. PAIEMENT

La fourniture, le traitement et la mise en œuvre des produits de scalpage traité sont payés au m³.

F. 4.10. FONDATION EN GRAVE-BITUME

F. 4.10.1. DESCRIPTION

La grave-bitume est composée d'un mélange de pierres, de graves, de sables, de filler et de bitume.

F. 4.10.2. CLAUSES TECHNIQUES

Les clauses techniques du chapitre G. 2 relatives au béton bitumineux type BB-IIIA (dans le cas d'une grave-bitume 0/20) ou type BB-IIIB (dans le cas d'une grave-bitume 0/14) sont d'application, si elles ne sont pas modifiées ou complétées par les prescriptions ci-dessous.

F. 4.10.2.1. MATERIAUX

- sables : C. 3.4.6
- pierres : C. 4.4.5
- graves : C. 5
- filler : C. 11
- bitume : C. 12.1

F. 4.10.2.2. COMPOSITION

Type	GB-1	GB-2
Granularité	0/20	0/14
Composition en masse (%)		
Pierres	65 à 69	64 à 68
Sables	23,5 à 27,5	24 à 28
Filler	6,5 à 8,5	7 à 9
Teneur en liant (%)	3,5 à 4,3	3,5 à 4,5
Type de liant	B35/50 ou B50/70	B35/50 ou B50/70
Epaisseur nominale (cm)	10 à 15	8 à 12

F. 4.10.2.3. ETUDES PRELIMINAIRES

Les exigences vérifiées dans l'étude Marshall concernent la stabilité, le fluage et le rapport stabilité/fluage.

F. 4.10.2.4. FABRICATION

En cas d'utilisation de bitume B35/50, la température du mélange à la sortie de la centrale est comprise entre 155 à 180° C.

F. 4.10.2.5. MISE EN OEUVRE

Les spécifications relatives aux joints ne sont pas d'application.

F. 4.10.3. SPECIFICATIONS

Les clauses techniques du G. 2.3 relatives au béton bitumineux type BB-IIIA (dans le cas d'une grave-bitume 0/20) ou type BB-IIIB (dans le cas d'une grave-bitume 0/14) sont d'application, si elles ne sont pas modifiées ou complétées par les prescriptions ci-dessous.

En cas d'épaisseur nominale prescrite, la tolérance individuelle en plus et en moins est de 10 mm.

Le pourcentage de vides moyen est inférieur ou égal à 11 % pour les routes de réseaux I et II et à 14 % pour les routes de réseau III.

Le pourcentage de vides individuel est inférieur ou égal à 14 % pour les routes de réseaux I et II et à 17 % pour les routes de réseau III.

Les prescriptions relatives à la compacité relative ne sont pas d'application.

Seule la régularité de surface est considérée comme caractéristique de surface. Les dénivellations mesurées à la règle de 3 m ne peuvent dépasser 1 cm.

Les niveaux de surface de la fondation respectent les profils en long et en travers prescrits. Des tolérances locales de 1 cm sont admises.

F. 4.10.4. VERIFICATIONS

Les prescriptions du [G. 2.4](#) relatives au béton bitumineux type BB - III A (dans le cas d'une grave-bitume 0/20) ou du type BB - III B (dans le cas d'une grave-bitume 0/14) sont d'application.

F. 4.10.5. PAIEMENT

Les prescriptions du [G. 2.5](#) relatives au béton bitumineux type BB - III A (dans le cas d'une grave-bitume 0/20) ou du type BB - III B (dans le cas d'une grave-bitume 0/14) sont d'application à l'exception des réfections pour manquement où seules les réfections relatives aux épaisseurs individuelles et aux pourcentages de vides moyens et individuels sont prises en considération.