



Structures et revêtements de voirie

Guide technique

Communauté urbaine Nantes
Métropole

44923 Nantes cedex 9

Tél. : 02 40 99 48 48

Fax. : 02 40 99 48 00

Etabli le	03-11-2006
Modifié le	29-01-2007 16 -04-2012 08-06-2012 01-08-2012
Indice	Projet- version6

1- Introduction	3
2 – La stratégie patrimoniale de voirie de Nantes-Métropole	4
2.1 La stratégie d’investissement	4
2.2- La stratégie de maintenance des chaussées	5
2.2.1 L’auscultation des chaussées	5
2.2.2. Programmation de l’entretien : table de décision.....	6
2.2.3. Entretien ponctuels	6
3 – Les structures types de chaussées	8
3-1 Fonctionnalités.....	8
3-2 Les différentes familles de structures de chaussées.....	9
3-3 Domaine d’emploi des structures de chaussées les plus courantes	10
4 – Dimensionnement des chaussées.....	11
4-1 La démarche du dimensionnement des chaussées	11
4-2 Calcul des structures – hypothèses et paramètres spécifiques à Nantes-Métropole.....	12
4.2.1 La durée de vie :	12
4.2.2 La plateforme	13
4.2.3 Prise en compte du trafic.....	15
4.2.4 Coefficient d’Agressivité Moyenne	15
4.2.5 Protection vis à vis du gel –dégel	16
4.2.6 Les conditions de chantier	17
RECAPITULATIF	18
5- Qualité des matériaux - Contrôles.....	19
5-1 Spécifications et exigences d’emploi des matériaux	19
5-2 Détermination des épaisseurs minimales des couches de GNT et GNT B.....	21
5-3 Contrôle de la qualité des chaussées neuves	22
6- Les revêtements	23
6-1 Choix de la couche de surface	23
6-2 Détermination des épaisseurs de la couche de surface en matériaux bitumineux	24
6-3 Contrôle et caractéristiques minimales exigibles	24
6.4 Cas des pierres naturelles	25
6-5 Revêtement en produits modulaires (pavés et dalles)	25

1

Introduction

Alors qu'il s'appuyait largement sur des extraits du catalogue des structures de chaussées urbaines, le choix des structures de chaussées sur le territoire de Nantes Métropole, résulte maintenant de logiciels de dimensionnement des structures identiques à ceux des entreprises qui proposent des structures calculées selon la méthode française de dimensionnement détaillée dans le « Guide Technique LCPC- SETRA Conception et Dimensionnement des Structures de Chaussées » à partir du logiciel de calcul ALIZE (STRUCT URB pour les calculs préliminaires).

Cette nouvelle approche permet de s'inscrire dans un cadre national partagé par la profession et fiable.

En s'appuyant sur la politique patrimoniale propre à Nantes-Métropole, le présent guide a pour objectif essentiel de fixer, dans ce cadre national, les hypothèses spécifiques à Nantes Métropole pour chacune des catégories de son réseau de voirie.

Il détaille la méthodologie de dimensionnement et les choix d'investissement adoptés par le maître d'ouvrage en cohérence avec sa stratégie d'entretien.

Le guide donne par ailleurs des recommandations sur les conditions d'utilisation et de mise en œuvre des matériaux tant en surface qu'en structure de chaussées.

Il présente notamment les limites d'utilisation des matériaux et dans quel cas ils peuvent être adaptés: pavés, chaussées en béton, etc.

Enfin, le guide est complété par une série de fiches matériaux élaborées en interne à partir de la capitalisation d'expérience sur des domaines peu ou non normés.

2 La stratégie patrimoniale de voirie

2.1 La stratégie d'investissement

Le caractère probabiliste de la méthode de dimensionnement des chaussées

Compte-tenu des nombreux aléas auxquels est soumis le comportement des chaussées, leur dimensionnement repose sur une approche probabiliste.

La notion de « durée de vie » d'une chaussée n'est pas très adaptée car d'une part, les dégradations qu'elle subit ne sont pas homogènes, d'autre part, des interventions sont généralement effectuées bien avant d'atteindre le stade de ruine.

C'est pourquoi, l'objectif qui peut être retenu est que la probabilité d'apparition de dégradations (d'une nature ou d'une amplitude donnée) avant une période de p années soit inférieure à une valeur fixée.

Cette probabilité de rupture est appelée le « risque de calcul » par rapport à la période de p années «durée initiale de calcul». Elle correspond à la probabilité qu'apparaissent au cours de la période de p années des désordres qui impliquent des renforcements de la structure assimilables à sa reconstruction en l'absence de toute intervention lourde sur la période considérée.

La stratégie d'investissement consiste alors:

- soit à fixer la durée de calcul et de comparer les dimensionnements obtenus pour un risque donné,
- soit à fixer le risque de calcul et de comparer les dimensionnements obtenus pour différentes périodes de calcul.

Le choix économique des différentes stratégies repose sur la comparaison de leur coût global actualisé (construction et entretien) sur une période suffisamment longue.

Trois cas peuvent être considérés :

- **Investissement initial faible**

La structure est conçue pour une durée courte (10-15 ans) qui correspond à celle de la durée de vie de la couche de surface.

L'entretien associé à cette stratégie est de type curatif : les caractéristiques se dégradent jusqu'à la quasi ruine, puis on procède au bout de cette période à une remise en état lourde en même temps que le renouvellement de la couche de surface.

Ce type de stratégie est envisageable pour des réseaux secondaires ou tertiaires pour lesquels on peut accepter un confort moindre et une interruption de la circulation pour la remise en état.

- **Aménagement progressif**

Entre les deux stratégies décrites précédemment, cette alternative consiste à accroître l'épaisseur du corps de chaussées par des rechargements successifs destinés à adapter la structure à l'évolution du trafic et à son agressivité (difficile à appliquer dans le contexte urbain souvent contraint de seuils et réseaux enterrés).

Dans cette stratégie, le dimensionnement de la plate-forme doit être prévu dès la première étape de construction avec une vision à long terme.

Le point sensible de cette stratégie est de pouvoir programmer le rechargement dès qu'il devient nécessaire. En cas de retard, la chaussée peut en effet subir des dégradations irréversibles nécessitant une remise en état lourde.

Economiquement, cette stratégie peut être intéressante dans un contexte avec un taux d'actualisation élevé.

Enfin, des études ont montré que cette stratégie est la plus consommatrice en matériaux et ne s'inscrit donc pas dans une logique de développement durable.

- **Investissement initial élevé**

Ce choix correspond à l'objectif de disposer de chaussées ne présentant pas de dégradations structurelles avant une longue période (20 ans, voire plus).

Le dimensionnement prévoit alors des épaisseurs de structures importantes permettant d'éviter leur endommagement par fatigue.

Il faut néanmoins veiller à assurer une bonne protection du corps de la chaussée en assurant un renouvellement régulier de la couche de surface dès que son état d'usure le justifie.

Pour être pertinente, cette stratégie d'investissement doit donc être associée à une stratégie d'entretien préventif.

Les avantages de ce choix sont un faible risque d'interruption du trafic et une gêne limitée aux usagers réduite aux périodes de renouvellement de la couche de surface.

Elle est donc particulièrement adaptée pour assurer un niveau de service élevé.

Economiquement, ce choix est pertinent dès lors que les taux d'actualisation sont faibles.

Enfin, d'un point de vue du développement durable, ce choix est également pertinent dans la mesure où, sur une longue durée, il conduit à une consommation réduite des matériaux.

C'est donc a priori cette dernière stratégie d'investissement qui est retenue sur le territoire de Nantes-Métropole. Les hypothèses qui en résultent directement notamment pour le choix de la durée de vie sont détaillées dans le chapitre 4 de ce guide.

2.2- La stratégie de maintenance des chaussées

L'entretien des chaussées est décliné suivant deux types d'intervention :

- La première relève du préventif qui inclut la surveillance et la protection des chaussées axée principalement sur l'étanchéité des couches de surface,
- La seconde nommée entretien curatif nécessite une programmation financière et vise à la remise en état des revêtements et structures de voirie.

2.2.1 L'auscultation des chaussées

Les fréquences d'auscultation sont déterminées par le logiciel PIVERT.

Stratégie de suivi de l'auscultation :

Fréquence des visites	NOTATION				
	A	B	C	D	E
PRIMAIRE ou nb PL >100	3 ans	3 ans	2 ans	1 an	1 an
SECONDAIRE ou nb PL >25	4 ans	4 ans	2 ans	2 ans	1 an
TERTIAIRE ou nb PL < 25	5 ans	5 ans	3 ans	2 ans	1 an

- La méthode d'auscultation basée sur le relevé des dégradations de surface est décrite dans la méthode d'essai LCPC n° 38.
- L'auscultation est effectuée par les référents PIVERT de chaque pôle, les informations sont ensuite intégrées dans la base de données PIVERT après vérification du diagnostic par le contrôleur du pôle
- Le laboratoire routier de Nantes Métropole procède au contrôle d'homogénéité des diagnostics sur environ 5 % des nouvelles données.

2.2.2. Programmation de l'entretien : table de décision

Programmation de l'entretien : table de décision

		RESEAU		
		Primaire	Secondaire	Tertiaire
		Trafic PL important	Trafic PL Moyen	Trafic PL faible
NOTATION	A	-	-	-
	B	-	-	-
	C	2 ans	3 ans	5 ans
	D	1 ans	2 ans	3 ans
	E	Immédiat	Immédiat	1 an

PIVERT permet de classer les dégradations en 3 catégories :

- réfection des revêtements de surface (notation C) ;
- renforcement de la chaussée et mise en œuvre de la couche de surface (notation D) ;
- reprise de la structure complète et revêtement de surface (notation E).

Pour ces deux dernières catégories, des investigations sur les structures sont nécessaires à partir de carottages et des mesures de déflexion pour déterminer précisément la nature des réparations à réaliser selon la méthodologie de dimensionnement décrite dans ce guide.

Les tronçons de chaussées notés C, D, E font l'objet de programmation dans le cadre des ERS et sont chiffrés dans PIVERT sous forme de ratios de référence.

2.2.3. Entretien ponctuels

Les entretiens ponctuels qui correspondent à une notation B dans la grille PIVERT visent à préserver l'étanchéité de la chaussée et doivent être réalisés en dehors d'une programmation de façon réactive pour conserver la sécurité et l'usage du domaine public.

Il s'agit principalement de mettre en œuvre les techniques suivantes :

❖ **Scellement des fissures (pontage, colmatage)**

Il s'agit d'une technique d'obturation des fissures visant à les rendre étanches

❖ **Imperméabilisation de surface ponctuelle (emploi partiel, point à temps)**

Elle est destinée à éviter que l'eau ne pénètre à l'intérieur du corps de chaussée et à empêcher le départ par arrachement des matériaux de surface. La pénétration d'eau peut être due aux fissures, aux arrachements par pelade ou plumage, ou enfin à la porosité du revêtement par usure (vieillesse du liant). Cette opération consiste à réaliser un enduit superficiel d'usure localisé, le plus souvent avec de l'émulsion de bitume et du gravillonnage.

❖ **Bouchage de nid de poule**

Il consiste à rendre à la chaussée son état initial en rebouchant les nids de poule dès la constatation de leur apparition. Le processus se décline par découpage, élimination des parties non liées, accrochage (épandage d'émulsion), remplissage, compactage (intense) et enfin traitement de la surface.

❖ **Reprofilage ponctuel**

Il s'agit de redonner à la chaussée un profil en travers correct pour éviter les rétentions d'eau et sécuriser notamment les traversées piétons et les circulations des deux roues, généralement par fraisage des zones affectées par de l'orniérage et du fluage rabottage,

et apport de matériaux performants. Se rapprocher du laboratoire pour le choix du matériau adapté.

❖ **Traitement des ressuges ponctuels**

Cette opération vise à supprimer l'excès de bitume à la surface de la chaussée, en réincorporant des gravillons dans l'excès de liant. Les principales techniques sont le cloutage (un gravillonnage à sec, puis en un enchâssement par cylindrage), le grenailage (projection de billes d'acier sur le revêtement, ce qui entraîne une « décohésion » du film de liant en excès)

❖ **Purge ponctuelle**

Elle consiste à substituer tout ou partie des matériaux du corps de chaussée par des matériaux de meilleure qualité. On distingue la purge superficielle – seule une partie des matériaux est remplacée – de la purge profonde – tous les matériaux sont remplacés (assise voire même plateforme). Il s'agit d'une opération onéreuse nécessitant une haute qualité de réalisation afin d'assurer sa durabilité.

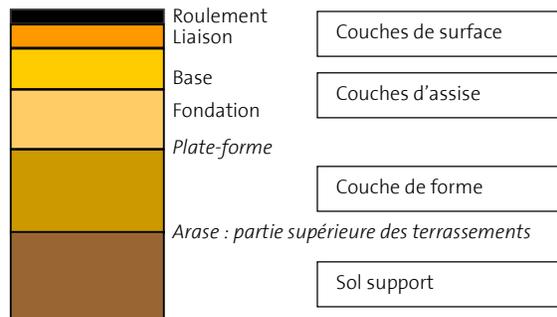
3

Les structure types de chaussées

3-1 Fonctionnalités

La chaussée a pour fonction principale d'assurer la circulation des usagers dans des bonnes conditions de sécurité et de confort en assurant la répartition des sollicitations mécaniques avec des déformations admissibles au niveau des sols supports.

Les corps de chaussées sont généralement constitués des couches suivantes mises en œuvre sur le sol support (partie supérieure des terrassements) :



- **La couche de forme:** cette couche de transition assure la protection du sol support pendant la phase de chantier et permet la circulation des engins.
- **La couche d'assise:** formée de la couche de fondation surmontée par la couche de base. Elle assure la résistance mécanique de la chaussée en répartissant les pressions dues au trafic sur la plate-forme avec des déformations inférieures aux limites admissibles.
- **La couche de surface:** formée de la couche de roulement et généralement d'une couche de liaison. Elle est déterminante pour la qualité d'usage de la chaussée mais contribue aussi à sa pérennité par sa fonction d'étanchéité.

Le dimensionnement des structures de chaussées consiste à déterminer les épaisseurs de ces différentes couches de matériaux en fonction de leur nature afin de répondre aux sollicitations auxquelles elles sont soumises.

Il est important de bien identifier les fonctions assurées par ces différentes couches. Les désordres et dégradations qu'elles subissent sont caractéristiques de leurs dysfonctionnements qui peuvent être induits par la répétition des efforts, les conditions environnementales, le vieillissement des matériaux, les conditions de mise en œuvre et l'absence de liaisons entre les différentes couches. Se référer au guide réalisé dans le cadre de l'« audit voirie » pour l'identification visuelle de ces désordres et leur diagnostic.

3-2 Les différentes familles de structures de chaussées

Le réseau communautaire se caractérise par une diversité des structures de chaussées que l'on classe principalement dans les familles présentées dans le tableau ci-après:

Types de structures	Comportement	Particularités
 <p>Chaussées bitumineuses Béton Bitumineux Graves Bitumes G.N.T.B Sol support</p>	<p>L'assise en matériaux non liés a une faible rigidité qui dépend du sol support et de son épaisseur. Les contraintes sont faiblement transmises latéralement et engendrent des déformations du sol qui peuvent à la longue se répercuter en déformation permanente de la chaussée (orniérage, flache, affaissement).</p>	<p>Ces chaussées sont particulièrement sensibles aux variations de l'état hydrique du sol qui peut conduire à des affaissements de rives en période humide et fissuration de retrait en période sèche.</p>
 <p>Chaussées bitumineuses épaisses Béton Bitumineux Graves Bitumes Graves Bitumes Sol support</p>	<p>Les matériaux bitumineux atténuent fortement les contraintes verticales transmises au sol support. L'endommagement par fatigue (fissures puis faïençage) est généralement postérieur aux dégradations de surface.</p>	<p>La qualité des interfaces entre les couches est importante pour ce type de structures.</p>
 <p>Chaussées pavées béton Pavés Sable G.N.T.B Sol support</p>	<p>La mise en œuvre de ce type de chaussées doit être conforme à la norme P 98-335.</p>	<p>Ces chaussées sont limitées aux trafics très faibles (inférieurs à T3)</p>
 <p>Chaussées rigides Dalle Béton de ciment + joint G.N.T.B Sol support</p>	<p>Les contraintes transmises au sol sont faibles. La sollicitation déterminante est la contrainte de traction par flexion de la base. Le béton subit le retrait thermique lors de la prise. La fissuration correspondante est maîtrisée par des joints transversaux ou des armatures continues. Temps de prise rendant difficile la mise en œuvre sous circulation.</p>	<p>Ces chaussées sont particulièrement sensibles au sous dimensionnement et ne pouvant être entretenues avec des tapis minces elles doivent être construites pour une longue durée. Le principal mode de dégradation est du à la fissuration. On peut la limiter par des sur-largeurs.</p>
 <p>Chaussées Semi-Rigides Béton Bitumineux Graves Ciment G.N.T.B Sol support</p>	<p>La couche hydraulique diffuse et atténue les contraintes verticales transmises au sol. Les couches bitumineuses permettent d'assurer les qualités d'uni et de continuité.</p>	<p>La couche hydraulique est sujette aux fissurations de retrait qui favorisent la pénétration d'eau. Il convient de protéger l'assise avec une couverture bitumineuse d'épaisseur suffisante (> 5 cm).</p>
 <p>Chaussées Souples Bicouche ou Béton Bitumineux G.N.T.B Sol support</p>	<p>Même comportement que les chaussées bitumineuses. Cependant, l'absence d'une couche en grave-bitume ne permet pas d'assurer les qualités d'uni et de continuité que permet ce matériau. La faible épaisseur de la structure la rend d'autant plus sensible aux déformations. Ce type de chaussées est réservé aux voies tertiaires et à très faible trafic.</p>	

3-3 Domaine d'emploi des structures de chaussées les plus courantes

Le tableau ci-après indique un domaine d'emploi favorable pour les différents types de structures d'un point de vue technique:

Types de structures/ Domaine d'emploi	Souples	Bitumineuses épaisses	Semi-rigides	Rigides	Chaussées pavés béton
Hierarchisation	Limitées aux voiries de desserte	Au cas par cas	Au cas par cas	Au cas par cas	Au cas par cas
Trafic	Faible inférieur à T3	Moyen à Fort supérieur à T1	Moyen [T1- T3]	Moyen à Fort supérieur à T1	Limitées aux trafics très faibles

4

Le dimensionnement des chaussées

4-1 La démarche du dimensionnement des chaussées

La démarche de dimensionnement des structures de chaussées s'effectue en sept étapes principales :

- 1- Pré-dimensionnement : il consiste à choisir la couche de roulement et un premier dimensionnement par comparaison à des structures connues avec des hypothèses similaires,
- 2- Calcul de la structure : on calcule les contraintes et déformations de la structure précédente après l'avoir modélisé.
- 3- Vérification en fatigue de la structure et de la déformation du support : par comparaison aux valeurs limites admissibles pour les hypothèses de calcul retenues notamment le trafic cumulé, les risques de ruptures et les caractéristiques mécaniques des matériaux. Un coefficient de calage peut être introduit à ce stade pour tenir compte des biais du modèle mathématique simplifié par rapport aux observations sur des chaussées du même type.
- 4- Ajustement des épaisseurs calculées : pour tenir compte des contraintes technologiques et réduire le nombre d'interface
- 5- Vérification au gel-dégel
- 6- Définition du profil en travers de la chaussée : le dimensionnement étant obtenu pour bord droit de la voie la plus chargée, il reste à déterminer le reste du profil en travers.
- 7- Prise en compte des conditions de chantier

D'une manière plus générale, même si les calculs l'autorisent, il convient d'être très vigilant sur l'épaisseur totale de la structure. En particulier, il est nécessaire de vérifier que cette dernière est supérieure ou égale aux minima imposés par les normes. Il faut aussi tenir compte des facteurs suivants :

- **la protection des réseaux enterrés** en s'assurant qu'elle est d'épaisseur suffisante: les conditions d'implantation des ouvrages ou équipements en souterrain sont indiquées à l'article 4.2.1 du règlement de voirie communautaire, les distances minimales entre la génératrice supérieure de l'ouvrage et le niveau fini de la chaussée ou trottoir sont indiqués en annexe 7 du règlement de voirie. En cas d'impossibilité de respecter ces valeurs, la couverture doit être au moins égale à l'épaisseur de la structure de chaussée, majorée de 0,10m et augmentée de la distance de mise en place du dispositif avertisseur ;
- **la protection par rapport au gel**: les structures doivent être hors gel ;
- **les sollicitations pendant la phase de chantier**: la circulation des engins alors que la structure définitive n'est pas réalisée peut être particulièrement agressive ;
- **l'évolutivité des fonctions et des trafics** supportés en particulier dans le cas d'aménagement de zones d'activité: une attention particulière est également nécessaire dans le cas de réalisation de chaussées provisoires ;
- **les contraintes techniques de mise en œuvre**: il est notamment recommandé d'être attentif à l'arrachage de matériaux par la circulation des engins qui dans le cas de couches de faible épaisseur peut rapidement conduire à des situations ne répondant plus aux conditions théoriques des calculs de dimensionnement retenus. Pour des raisons identiques, il est notamment recommandé de réaliser la couche de surface en deux couches (couche de liaison et de couche de roulement)

pour obtenir des bonnes caractéristiques. Il est aussi recommandé de vérifier l'application des couches d'accrochage afin de réduire les risques de défaut de liaison ;

- **les conditions de gestion et d'exploitation ultérieures:** il sera recherché des structures minimisant la gêne aux usagers lors de la réalisation des opérations d'entretien en réduisant ces dernières et leurs durées autant que possible tout au long de la durée de vie de la structure. Concernant les tranchées, il convient d'être attentif à l'épaisseur des matériaux en béton bitumineux ou hydrauliques mis en œuvre. Les techniques de sciage sur des épaisseurs d'enrobés trop importantes sont en effet très pénalisantes pour la circulation.

4-2 Calcul des structures – hypothèses et paramètres spécifiques à Nantes-Métropole

Le dimensionnement mécanique d'une structure de chaussée a pour but de fixer les épaisseurs des différentes couches de matériaux constituant la chaussée, afin de lui permettre, tout au long de la durée de service choisie de résister aux agressions d'ordre mécanique appliquées par le trafic.

Pour gérer plus précisément les épaisseurs de structures de chaussées nous recommandons dans une première approche d'utiliser le logiciel STRUC-URB plus adapté au milieu urbain.

STRUC-URB propose de dimensionner les chaussées urbaines selon la démarche française de dimensionnement appelée « méthode rationnelle ». Cette démarche générale est détaillée dans le Guide Technique LCPC-SETRA « Conception et Dimensionnement des Structures de Chaussées ».

4.2.1 La durée de vie :

Compte tenu des considérations exposées dans le chapitre 2 en matière de stratégie globale d'investissement et d'entretien, la durée de vie de calcul choisie pour les structures de chaussées est fixée entre 20 et 30 ans suivant trafics (30 ans pour les voies primaires et secondaire avec trafic BUS ; 20 ans pour les autres voies). C'est la période pendant laquelle, sous réserve que les hypothèses d'évolution soient respectées, il ne doit pas être nécessaire de procéder à une remise en état ou un renforcement lourd des couches qui constituent la chaussée à l'exception des renouvellements de surfaces (tapis).

En matière de voirie urbaine, cette durée peut être considérée comme une valeur moyenne. A titre indicatif, la Communauté Urbaine de Lille et la Ville de Rennes retiennent une durée de 20 ans, la Ville de Paris une durée de 50 ans et le Conseil général des Hauts de Seine une durée de 20 ans.

Cette durée se justifie par la prise en compte de plusieurs paramètres :

- l'audit voirie actualisé en continu a montré des faibles taux de renouvellement effectif des couches de surface avec un âge moyen de ces dernières estimé à 20 ans,
- la difficulté de réaliser des travaux de renforcement en milieu urbain sans décaissement,
- la recherche d'une gêne minimale aux usagers en limitant les interventions aux renouvellements des couches de surface durant cette période,
- l'évolutivité des usages assurés par les voiries notamment les réalisations de couloirs bus mais aussi les déviations de leur itinéraire lors de chantiers.

En terme économique, le coût de ce choix ne semble pas disproportionné par rapport aux enjeux rappelés ci-dessus. A titre indicatif, le choix d'une durée de vie de moitié soit 15 ans revient à diminuer d'environ cinq centimètres l'épaisseur de la structure. (à calculer au cas par cas suivant l'épaisseur de structure et la performance des matériaux)

En termes de « risque de rupture », le même raisonnement conduit à limiter au minimum cette probabilité en adoptant la valeur de 5% quelle que soit la catégorie de voirie. En effet, en milieu urbain il est difficile d'accepter des risques différenciés en fonction des

trafics. Il s'agit là-aussi d'une valeur moyenne. A titre indicatif, la Communauté Urbaine de Lille a choisi 7% et la Ville de Paris 2%.(attention aux voies bus, surlargeurs et giratoires)

4.2.2 La plateforme

La plate-forme support est constituée:

- du sol support désigné par partie supérieure des terrassements (PST) et dont la surface constitue l'arase de terrassement ;
- d'une couche de forme éventuelle.

Sa fonction est double:

- pendant le chantier: protéger le sol support des intempéries et supporter la circulation des engins,
- à long terme : supporter la chaussée et elle participe ainsi à son dimensionnement.

Ainsi, elle doit satisfaire deux types d'exigence :

- à court terme, pendant le chantier:
 - o traficabilité : dans le cas de sols sans cohésion non traités, un indice portant immédiat (norme NF P 94-078) au moins égal à 37 MPa est exigé,
 - o nivellement : pour garantir l'épaisseur des couches et l'uni il doit être effectué avec une tolérance de +/- 3 cm par rapport à la ligne rouge des terrassements. Un contrôle suffisamment dense devra être prévu (tous les 10 mètres environ),
 - o déformabilité : permettant le compactage correct des couches de chaussées avec des valeurs au moment à la mise en œuvre :
 - du module EV2 déterminé à la plaque, ou du module équivalent à la dynaplaque, supérieur à 50 MPa, ou,
 - de la déflexion inférieure à 2 mm.

Lors de petits chantiers, pour des chaussées à faible trafic, il peut être admis des exigences de traficabilité et de portance un peu plus faibles, à partir de 30 MPa environ, si la couche de fondation est en grave non traitée ou faite avec certains matériaux traités aux liants hydrauliques ou à la chaux comme les sables ou limons sous réserves de mesures correctives.

- à long terme:

La plate-forme doit être caractérisée par une classe de portance de niveau supérieur ou égale à 50MPa.

Attention : la vérification par des essais effectués en surface de la plate-forme n'a de sens que si les matériaux de support sont insensibles à l'eau ou si les conditions hydriques sont représentatives du long terme.

La détermination de la classe de portance résulte:

- de la nature du sol support (PST) et de l'environnement hydrique pour les conditions les plus défavorables de mise en œuvre,
- de la nature des matériaux et de l'épaisseur de la couche de forme retenues.

Se référer à la norme (NF P 11-300) pour la classification des matériaux et/ou au Guide Technique de Réalisation des remblais et des couches de forme pour déterminer les épaisseurs de couches de forme nécessaires.

Classification des sols en fonction de leur portance

PF	P ⁽¹⁾	Examen Visuel (essieu de 13 tonnes)	Indice portant CBR	Module de déformation à la plaque EV ₂ (Mpa)	Déflexion sous l'essieu de 13 t (en mm)
	P ₀	Circulation impossible, sol inapte, très déformable	CBR ≤ 3		
	P ₁	Ornières derrière l'essieu de 13 t déformable	3 < CBR ≤ 6	15 < EV ₂ ≤ 20	6,9 à 5,17
PF1	P ₂	Pas d'ornières derrière l'essieu de 13 tonnes	Déformable	20 < EV ₂ ≤ 50	5,17 à 2,07
PF2-	P ₃		Peu déformable	50 < EV ₂ ≤ 80	2,07 à 1,29
PF2+				80 < EV ₂ ≤ 120	1,29 à 0,86
PF3	P ₄		Très peu déformable	20 < CBR ≤ 50	120 < EV ₂ ≤ 200
Pex	P ₅		CBR > 50	EV ₂ > 200	< 0,52

(1) Portance à long terme du sol en place (notée P) selon l'échelle de portance SETRA/LCPC

Cas de réhabilitation, renforcement

Une chaussée existante est construite sur un support consolidé par le temps, qui sauf en présence de graves défauts de drainage, présente un minimum de portance, augmentée par l'apport de la partie restante de l'ancienne chaussée. Pour déterminer les épaisseurs d'assise à rapporter après fraisage pour reconstruire cette chaussée, et en l'absence de toute autre information, on retiendra une classe de portance PF1.

Avant tout dimensionnement, il faut réaliser des :

- carottages pour connaître les épaisseurs et la nature des matériaux en place,
- et des mesures de déflexions.

La classe de portance à retenir après fraisage sera déterminée à partir de la déflexion (valeur caractéristique) et de l'épaisseur de chaussée en place selon les tableaux ci-après :

Chaussée souple ou bitumineuse		
Épaisseur totale en place		Classe de portance
> 30 cm	< 30 cm	
75 < d < 170	100 < d < 210	PF1
50 < d < 75	70 < d < 100	PF2
35 < d < 50	50 < d < 70	PF2+
d < 35	d < 50	PF3

Chaussée en matériaux hydrauliques ou en béton		
Épaisseur totale en place		Classe de portance
> 30 cm	< 30 cm	
50 < d < 100	60 < d < 110	PF1
35 < d < 50	40 < d < 60	PF2
25 < d < 35	30 < d < 40	PF2+
d < 25	d < 30	PF3

Il sera ensuite possible de déterminer une structure de chaussée à rapporter après fraisage de la structure en place et qui définira donc l'épaisseur de fraisage à prévoir.

- si l'épaisseur à fraiser est au moins de 10 cm inférieure à l'épaisseur de chaussée en place : la solution est adaptée.
- si l'épaisseur à fraiser est proche ou supérieure à l'épaisseur de chaussée: on augmente le fraisage de 15 cm pour rapporter une couche de GNTB suffisante avant la mise en œuvre de la nouvelle structure.

4.2.3 Prise en compte du trafic

Les paramètres à prendre en compte pour le dimensionnement sont les suivants:

- le trafic total
- le trafic poids lourds ou de bus (véhicules ayant une distance entre l'essieu avant et l'essieu arrière supérieure à 3,40 mètres) par jour et par sens (MJA) à la date de mise en service
- le taux de croissance prévisionnel de ce trafic (t) : retenir les valeurs des études particulières ou à défaut la valeur du PDU ou 2% en l'absence de données précises
- la durée de service prévue (retenir p = 30 ans)

L'ensemble de ces paramètres permet de calculer le trafic cumulé (exprimé en nombre d'essieux équivalents) sur la durée de service retenue en appliquant la formule arithmétique suivante :

$$\text{NPL} = 365 \times \text{MJA} \times [(1+t)^p - 1]/t$$

On pourra également se référer au classement des voies par catégories adopté jusqu'en 1998 au niveau national et la correspondance métropolitaine adoptée notamment dans le règlement de voirie :

Trafic	Très faible		Faible		Moyen		Fort	X
Classe de trafic (Références nationales)	T5		T4	T3	T2	T1	To	TS
PL voie la plus chargée	0	25	50	150	300	750	2000	5000
Classification métropolitaine	Tu4		Tu3		Tu2		Tu1	Tuo
PL voie la plus chargée	0	25	150		750		2000	
Tous véhicules par jour dans les 2 sens	0	1500	6 000		30 000			

En l'absence de données on pourra retenir les valeurs moyennes des classes de trafic indiquées ci-dessus.

4.2.4 Coefficient d'Aggressivité Moyenne

La valeur du coefficient d'agressivité moyen CAM est appliquée pour la détermination du nombre d'essieux équivalents de 130 kN, noté NE qui servira à déterminer l'épaisseur de la chaussée (norme NF P98-082).

$$\text{NE} = \text{NPL} \times \text{CAM}$$

La valeur du CAM dépend de la composition du trafic, de la configuration des essieux (isolé, tandem, tridem), du type de roues (simples ou jumelées), de la charge des essieux, mais aussi de la nature des matériaux constituant la structure (un PL donné ne provoque pas le même endommagement selon qu'il circule sur une chaussée bitumineuse ou hydraulique).

Dans le logiciel STRUCTURB, une valeur de CAM est proposée par défaut en fonction de la nature de l'aménagement (section courante ou giratoire), du type de voie et du type de structure.

Ce coefficient peut être modifié par l'utilisateur si celui-ci dispose d'éléments fiables (analyse du trafic, mesures, etc.), Les valeurs de CAM pour les voies bus tiennent compte des 2 éléments suivants, qui ont des conséquences opposées : d'une part la « canalisation » du trafic qui tend à augmenter le CAM, et d'autre part le fait que les bus ne sont pas en surcharge, ce qui tend à le diminuer.

Au delà de la connaissance du nombre de véhicules circulant sur la chaussée, l'agressivité du trafic dépend des charges réelles roulantes. La connaissance précise de ce paramètre nécessite des campagnes de pesées. En l'absence de ces données pour les chaussées souples ou bitumineuses et par mesure de simplification il est proposé de retenir les Coefficients d'Aggressivité Moyens (CAM) suivants :

- 0,5 pour les trafics faibles à moyens (inférieurs à 750PL)
- 0,7 pour les trafics forts PL et bus
- 1,0 pour les voies réservées au trafic canalisé bus

Une étude spécifique sera nécessaire pour les giratoires, les zones d'activités ou les ZAC.

Ce coefficient correspond pour chaque véhicule identifié comme un poids lourd, au nombre d'essieux équivalents de 13 tonnes. Il sera appliqué comme pondération du trafic cumulé pour le calcul du nombre d'essieux équivalent (NE) sur la durée de service :

$$NE = NPL \times CAM$$

4.2.5 Protection vis à vis du gel –dégel

Le réseau urbain maillé ne peut souffrir d'interruption de circulation. Il doit donc être très bien protégé du gel/dégel en le dimensionnant par rapport à un hiver rigoureux exceptionnel, sauf pour les voies de dessertes qui peuvent être dimensionnées par rapport à un hiver rigoureux non exceptionnel.

La vérification au gel - dégel consiste à comparer :

- l'indice de gel atmosphérique choisi comme référence, IR, qui caractérise la rigueur de l'hiver vis à vis *duquel on souhaite protéger la chaussée*,
- à l'indice de gel admissible de la chaussée, IA, qui s'évalue en fonction de la sensibilité au gel du sol support, de la protection thermique apportée par la chaussée et les couches non gélives de son support et de la rigidité de la structure de chaussée. Cet indice de gel admissible correspond à une limite en deçà de laquelle les phénomènes de gonflement au gel et de perte de portance au dégel sont suffisamment modérés pour qu'ils n'entraînent pas de désordres significatifs.

L'indice de gel admissible IA calculé pour la chaussée dimensionnée avant prise en compte du gel est comparé à l'indice de gel de référence corrigé IR.

- Si $IA \geq IR$ la vérification au gel est positive et la structure de chaussée supportera l'indice de gel de l'hiver de référence sans endommagement significatif.
- Si $IA < IR$ la vérification au gel est négative et les périodes de gel d'indice supérieur à IA pourront entraîner un endommagement significatif de la structure. Une chaussée présentant une protection au gel dégel supérieure peut être étudiée :
 - en choisissant, si possible, un autre type de chaussée. Du moins résistant au plus résistant au phénomène de gel dégel, les différents types de chaussée se classent dans l'ordre suivant : EME - GB - BB/GNT - GB/GH - béton - GH - GH/SH - SH -
 - en augmentant l'épaisseur de matériaux non gélif de la plate-forme support de la chaussée
 - en choisissant une chaussée plus épaisse en passant à un trafic supérieur ou à une classe de portance inférieure.

En milieu urbain l'imperméabilisation des sols et la présence de bordures et trottoirs limitent les risques de dégradation du fait de ce facteur. On vérifiera néanmoins selon la méthode française de dimensionnement des chaussées la bonne tenue des structures proposées au gel/dégel bien que dans la pratique des règles forfaitaires comme une épaisseur de matériau non gélif (corps de chaussée plus plate-forme) supérieure à 60 cm permette de s'en affranchir (selon les régions).

Pour Nantes Métropole nous retiendrons les paramètres suivant :

- Station météo de référence Nantes (44)

- Type d'hiver Rigoureux Non Exceptionnel sauf pour le réseau de transport en commun ou la prise en compte d'hiver Rigoureux Exceptionnel devra être étudiée.
- Sol support peu gélif sauf en présence de fossés ou nappes d'eau pouvant infiltrer la structure de chaussée ou la plateforme sensible à l'eau.

4.2.6 Les conditions de chantier

Les chantiers urbains très fréquemment phasés et encombrés d'émergences ne permettent pas la mise en œuvre des matériaux dans les conditions optimales prescrites par les guides, en conséquence, les projeteurs suivant le site des travaux pourront opter pour des conditions standard (Q1) ou difficile voire dégradées (Q2). Le marché devra toujours exiger des qualités conformes aux normes.

Pour les chantiers de giratoires, il n'y a qu'une seule série de résultats correspondant aux conditions standard de mise en œuvre ; cependant les épaisseurs calculées sont majorées de 15 % pour tenir compte d'une manière forfaitaire des difficultés inhérentes aux chantiers de giratoires, à savoir, réalisation sous circulation, mise en œuvre en faibles quantités, mauvaise adaptation des matériels d'épandage et de compactage, et surtout dispersion des épaisseurs de mise en œuvre.

RECAPITULATIF

Pour Nantes Métropole, les hypothèses de dimensionnement prises en compte sont les suivantes :

1- Durée de service :

- 30 ans pour les réseaux des voiries principales et de diffusion qui sont circulées par les transports en commun
- 20 ans pour les voiries de dessertes et de diffusion hors trafic transport en commun.

2 - Plateforme : La portance la plus fréquemment rencontrée est de classe PF2 soit supérieure à 50 MPa et représente le minimum requis pour construire une structure sans ajouter des difficultés de mise en œuvre. Se référer au paragraphe 4.2.2 pour la détermination de ces valeurs.

3 – Prise en compte du trafic Poids Lourds et Transports en commun (véhicules de plus de 35 KN de poids total autorisé en charge norme NF P 98-082 ; les bus articulés sont pris en compte pour deux PL) : le calcul est réalisé par jour et par sens à la date de la mise en service. Il est indispensable de procéder à des comptages ou à des études de circulation pour obtenir un dimensionnement fiable.

Croissance du trafic: L'utilisateur du logiciel Struct-Urb peut choisir entre 0 et 5 %. Le taux de croissance moyen à Nantes Métropole correspond à environ 2 % ; un projeteur pourra justifier l'application de taux différents.

4 – Coefficient d'Aggressivité Moyen (CAM) :

Une valeur de CAM est proposée par défaut en fonction de la nature de l'aménagement (section courante ou giratoire), du type de voie et du type de structure. Ce coefficient peut être modifié par l'utilisateur si celui-ci dispose d'éléments fiables (analyse du trafic, mesures, etc.) (cf paragraphe 4.2.4).

5 –Vérification au gel

Pour Nantes Métropole nous retiendrons les paramètres suivant :

Station météo de référence Nantes (44)

Type d'hiver Rigoureux Non Exceptionnel sauf pour le réseau de transport en commun ou la prise en compte d'hiver Rigoureux Exceptionnel devra être étudiée.

Sol support peu gélif sauf en présence de fossés ou nappes d'eau pouvant infiltrer la structure de chaussée ou la plateforme sensible à l'eau.

6 - Les conditions de chantier :

Les projeteurs pourront opter suivant le site des travaux pour des conditions standard (Q1) ou difficiles voir dégradées (Q2).

Pour les giratoires, majorer les épaisseurs calculées de 15 % pour tenir compte d'une manière forfaitaire des difficultés inhérentes à ces chantiers .

Pour les études des dimensionnements des structures qui relèvent d'une plus grande précision ou de propositions de variantes mécaniquement équivalentes les projeteurs pourront utiliser le logiciel ALIZE disponible à la DEP/service voirie et qui offre la possibilité de redimensionner une chaussée existante.

Par ailleurs, des structures et des matériaux plus élaborés sont souvent proposés par les entreprises. Avant leur emploi, il convient de s'assurer de leur comportement dans le temps en disposant d'analyses tangibles de leur évolution.

5

Qualité des matériaux - contrôles

5-1 Spécifications et exigences d'emploi des matériaux

Le tableau ci-après présente les principales dispositions relatives à l'emploi de matériaux prévus dans les normes applicables pour la construction de voirie. Les matériaux non normés ne peuvent être utilisés qu'après l'accord préalable du laboratoire de Nantes Métropole. Par ailleurs, certains matériaux font l'objet de fiches d'informations de Nantes Métropole complétant ce guide.

Matériaux de corps de chaussées	Normes	Exigences d'emploi	Spécifications de mise en oeuvre
Constituants de base			
Granulats	NF EN 12620 + XP P 18-545		
Liants hydrauliques			
- ciments normalisés	NF EN 197-1		
- cendres hydrauliques	NF P 98-112		
- liants spéciaux à usage routier	Produits non normalisés – Se référer à la norme Graves-liant spécial NF P 98-122 et aux avis techniques		
Liants hydrocarbonés dont : - bitumes purs	EN 12-591 T 65-001		
Graves non traitées			
- GNT « A » obtenues en une seule fraction sans rajout d'eau - GNT « B » obtenues par recombinaison de plusieurs fractions granulaires malaxées et humidifiées en centrale (anciennement GRH)	EN P 13 -285	L'emploi des GNT dans les structures souples est à limiter aux trafics faibles et moyens selon la portance de plate-forme (T < T ₂ sur PF1, T < T ₁ sur PF 2 et supérieures). L'emploi de GNT en couche de base est limité aux trafics inférieurs à T ₃ . Pour les trafics moyens (T ₁ et T ₂) on n'utilisera que de la GNT B.	
Graves traités aux liants hydrauliques			
- Graves-ciment (NF P 98 –116) - Graves-pouzzolanes- chaux (NF P 98-117) - Graves laitier (NF P 98-118) - Graves cendres volantes chaux (NF P 98-119) - Graves cendres hydrauliques (NF P 98-120) - Graves liant spécial routier (NF P 98-122) - Graves laitier cendres volantes chaux (NF P 98 – 123) - Bétons compactés routiers et les graves traitées aux liants hydrauliques et pouzzolaniques à haute performance (NF P 98-128)	NF P 98-115 (exécution des corps de chaussées)	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Chaussées à moyen et fort trafic (> T₃)</u> : <ol style="list-style-type: none"> 1. Granularité : classe 1 2. Performances mécaniques : classe G2 et supérieure pour les couches de base et fondation • <u>Chaussées à faible trafic (< T₃)</u> : Une plus large gamme de matériaux est admise 	L'épaisseur minimale doit être de 15 cm. L'épaisseur maximale compactée en une seule couche peut atteindre 35cm. Il faut veiller à des épaisseurs évitant le feuillette ou la fragmentation des gravillons.

Sables traités aux liants hydrauliques			
	NF P 98-113	<ul style="list-style-type: none"> Propreté des sables : en assise VBS au plus égal à 0,4 Stabilité immédiate : pour des trafics forts, IPI au moins égal à 50. On peut admettre une valeur d'au moins 35 pour les faibles trafics en fondation. Performances mécaniques : ne pas utiliser les matériaux de classe inférieure à S1 	L'épaisseur de sable traité mis en œuvre en une seule couche peut varier de 18 à 45 cm. Afin d'éliminer la partie superficielle feuilletée par le compactage, la couche de base est mise en œuvre avec une épaisseur excédentaire de 2-3 cm qui est ensuite enlevée. Le maintien de la teneur en eau pendant la phase de prise et la protection superficielle de l'assise en sable traité doivent être assurés par un enduit.
Les matériaux traités aux liants hydrocarbonés à chaud	NF P 98-130 à 150		
- Graves Bitumes (enrobés bitumineux utilisés en couche de base ou fondation)	NF P 98 - 138	La teneur en liant réduite des classes 1 conduit à un enrobage imparfait et une sensibilité à l'eau. Une GB 0/14 exige une teneur en liant supérieure à celle d'une GB 0/20. Une augmentation de la teneur en liant améliore la tenue en fatigue. C'est pourquoi il est intéressant d'utiliser une GB de classe 3 en fondation dans des structures entièrement bitumineuse ou à structure inverse.	Les épaisseurs de mise en œuvre sont entre : <ul style="list-style-type: none"> - 8 et 12 cm pour les GB 0/14 - 10 et 15 cm pour les GB 0/20 les fortes épaisseurs rendant difficiles l'obtention d'un uni satisfaisant
- Enrobés à Module Elevé	NF P 98-140	Le comportement est lié pour une part prépondérante au liant. Les bitumes, parfois modifiés, sont d'un grade dur mais ne sont pas normalisés. Et il n'y a donc pas de spécifications s'y rapportant.	Les épaisseurs de mise en œuvre des couches sont entre: <ul style="list-style-type: none"> - 6 et 10 cm EME 0/10 - 7 et 12 cm EME 0/14 - 10 et 15 cm EME 0/20
- Les divers bétons bitumineux et autres enrobés à chaud	Les caractéristiques de ces matériaux utilisables en couche de surface sont détaillées au paragraphe suivant.		
Les sables-bitume (D < 6 mm)		Emploi limité aux couches de fondation sauf pour les chaussées à faible trafic où ils peuvent être mis en couche de base	
Les Graves-Emulsion	NF P 98-121	Ce matériau est à réserver aux chaussées à trafic moyen à faible (T < T1)	L'épaisseur des couches doit être inférieure à 15 cm pour un bon compactage et évacuation de l'eau.
Le Béton de Ciment	NF P 98-170	Le choix s'opère en fonction des objectifs de maniabilité, caractéristiques mécaniques, maîtrise du retrait, et des caractéristiques d'adhérence et d'usure pour les couches de roulement. En couche de base pour des trafics supérieurs à T3 choisir des bétons de classe au moins égale à 4. pour les faibles trafics on peut envisager des classes 3.	Lorsque le serrage du béton est assuré par une vibration de surface, l'épaisseur maximale de mise en œuvre est de 15 cm. Les machines équipées d'aiguilles vibrantes permettent des épaisseurs de 10 à 50 cm.

5-2 Détermination des épaisseurs minimales des couches de GNT et GNT B

5-2.1 Chaussées souples et bitumineuses épaisses

- Cas des chaussées à faible trafic :

L'épaisseur de la couche de base en GNT est fixée à 15 cm jusqu'à un trafic équivalent de 130 000 essieux et à 20 cm au-delà.

- Cas des autres chaussées souples ou bitumineuses épaisses :

Pour les chaussées avec une couche de fondation en GNT B non traitée, les épaisseurs minimales sont :

- 15 cm sur une plate-forme PF3
- 25 cm sur une PF2
- 45 cm sur une PF1

5-2.2 Chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques

- Cas des structures comportant deux couches d'assise :

Les épaisseurs minimales de la couche de fondation sont :

- avec les graves-laitier, graves-cendres volantes et graves pouzzolanes-chaux :
 - 15 cm en T3 et T2
 - 18 cm en T1 et T0
- avec les graves-ciment :
 - 15 cm en T3
 - 18 cm en T2
 - 20 cm en T1 et T0

L'épaisseur minimale de la couche de base est au moins égale à celle de fondation.

- Cas des structures avec une seule couche d'assise en matériau traité aux liants hydrauliques :

L'épaisseur minimale est de 25 cm pour des matériaux de classe G2 ou G3 pour un trafic cumulé supérieur à 106. Cette épaisseur minimale peut être réduite jusqu'à 20cm pour les chaussées à faible trafic. Granulométrie à préciser.

5-3 Contrôle de la qualité des chaussées neuves

REALISATION D'UNE CHAUSSEE NEUVE

ETAPE N°1	
Réalisation de la plateforme support de chaussée	
Point d'arrêt N°1	Réception de la plateforme
Contrôle de la portance des plates-formes à la charge de l'entreprise	
Méthode N°1	Mesures du module sous chargement statique à la plaque
Essai de plaque de diamètre 60 cm	Norme NF P94-117-1
Nombre de point d'auscultation	non précisé dans la norme
Recommandation pour les Terrassement Routier (RTR) fascicule 4	Par profil, tous les 50 m, 2 mesures de part et d'autre de l'axe de chaussée, avec au moins 2 mesures tous les 400 m ²
Méthode N°2	Mesure du module sous chargement dynamique à la plaque
Essai à la dynaplaque	Norme NF P94-117-2
Nombre de point d'auscultation	non précisé dans la norme
Recommandation pour les Terrassement Routier (RTR) fascicule 4	Par profil, tous les 20 m, 2 mesures de part et d'autre de l'axe de chaussée, avec au moins 1 mesure tous les 100 m ²
ETAPE N°2	
Réalisation du corps de chaussée	
Point d'arrêt N°2	Réception du corps de chaussée
Vérification réalisée par le Maitre d'Œuvre des épaisseurs des couches de base et/ou de fondation	
ETAPE N°3	
Réalisation des couches de surface	
Point d'arrêt N°3	Réception du corps de chaussée et de la structure entière
Vérification réalisée par le Maitre d'Œuvre des épaisseurs des couches bitumineuses	

6-1 Choix de la couche de surface

Le choix de la couche de surface doit résulter de la prise en compte des différents objectifs qu'elle doit assurer :

- la sécurité et le confort des usagers : caractérisés par ses qualités d'uni et d'adhérence mais aussi la photométrie,
- la protection du corps de la chaussée par ses fonctions d'imperméabilisation ou de drainabilité,
- les aspects esthétiques et environnementaux notamment la réduction du bruit de roulement mais aussi la nettoyabilité et la couleur,
- les aspects d'entretien et de réparabilité: cet aspect est particulièrement important en milieu urbain en raison des nombreuses interventions dues à la présence de réseaux. Il sera mis en œuvre des matériaux dont on peut disposer en petites quantités facilement et à tout moment.

Le tableau ci-après extrait du Guide technique « conception et dimensionnement des structures de chaussée – édition LCPC – Setra 1994 » donne des éléments indicatifs pour le choix de la couche de roulement en fonction de ces objectifs :

Objectifs	Caractéristiques	Enduits superficiels ESU	Enduits épais	Enrobés coulés à froid ECF	BBUM	Sable enrobé clouté	BBTM	Asphalte clouté	BBC 0/6	BB drainant	BBM	BBC 0/10	BBSG	BBME	Béton de ciment		
															Strié	Dénudé	Clouté
Sécurité	Normes NFP	98-160					98-137	98-145	98-133	98-134	98-132	98-133	98-130	98-141	98-170		
	Épaisseur (cm)			<1,5	<2	<2	2 à 3	2 à 4	3	3 à 4	3 à 5	5 à 7	5 à 9	5 à 9			
	Adhérence initiale	++	++	0 à +	+	+	+	+	+	+(1)	+	+	0	0	0	+	+
	Adhérence à 5 ans	0 à +	+	0 à -	?	-	+	-	0	+	0	0	0 à -	0	-	0 à +	0
	Drainabilité surface	+	+	-	0 à -	0 à -	0	-	0 à -	0	++	0	-	-	0	0 à +	0
Confort	Amélioration de l'uni	-	--	--	-	-	0	-	0	+	+	+	+	+	(2)+	(2)+	(2)+
	Silence	- à --	--	0	0 à +	-	+	-	-	++	0 à +	-	0 à +	0 à +	--	- à 0	--
	Photométrie	++	++							++			-	-	+	+	+
Possibilité d'apport structurel	Imperméabilité de surface	+	++	-	+	0 à +	+	++	+	(3)	+	+	++	++	(4)	(4)	(4)
	Anti-remontée de fissures	-	0	--	-	-	-	-	-	0	0	+	+	+			
	Orniérage	(5)	(5)		+	-	+	0	0	++	0	0	0	++	++	++	++
Légende		(1) L'adhérence à faible vitesse des enrobés drainants à leur mise en service est en général moyenne car elle est perturbée par la présence d'un film de liant à la surface des granulats. Après décapage par le trafic, l'adhé-		rence à faible vitesse s'améliore. A vitesse élevée, les valeurs de CFL sont bonnes.		(2) L'uni des chaussées en béton est relativement indépendant de l'uni de la couche support. L'amélioration d'uni		(3) Par définition, les enrobés drainants ne sont pas imperméables. Si le corps de chaussée doit être protégé, il y a lieu de mettre en œuvre		un dispositif assurant cette fonction avant repandage de l'enrobé drainant.		(4) Des fissures d'importance variable selon les techniques apparaissent en surface des chaussées en béton de ciment.		(5) Pour ces techniques, il ne s'agit pas véritablement d'orniérage, mais plutôt d'un phénomène de lissage et de poinçonnement du support.			

Tableau III.1. Éléments indicatifs pour le choix de la couche de roulement

Le tableau suivant regroupe les différentes techniques d'enrobés à chaud utilisables en couches de surface en indiquant les normes relatives à leurs spécifications et les conditions minimales d'usage pour chacune d'entre elles :

Matériaux	Norme	Classe ou type	Granularité	Teneur en liant minimale	Epaisseur nominale (cm)
BB semi-grenus BBSG	NF P 98-130	-	0/10 0/14	3,5 3,3	6 à 7 7 à 9
BB minces BBM	NF P 98-132	BBM a à d selon la granulométrie Classe 1 à 3 selon résultats à l'orniéristeur	0/10 0/14	3,6 3,3	3 à 4 3,5 à 5
BB cloutés BBC	NF P 98-133	-	0/6,3 0/10	3,8 3,6	3 6
BB drainants BBDr	NF P 98-134	-	0/10 et 0/14 0/6,3	-	4 3
BB très minces BBTM	NF P 98-137	-	Type 1 ou 2 selon résultats à la PCG	0/10 ou 0/6	2 à 2,5
BB à module élevé BBME	NF P 98-141	Classe 1 à 3	0/10 0/14	-	6 à 7 7 à 9
Asphaltes coulés	NF P 98-145	-	0/14 0/10 0/6	-	3,5 à 4 2,5 à 3,5 2 à 2,5

La couche de surface en enrobés bitumineux sera réalisée de préférence sur une couche d'assise liée pour faciliter l'entretien. Les différentes couches sont liées entre elles et à la couche de base par une ou plusieurs couches d'accrochage adaptées aux matériaux.

- BBME : à éviter sur les structures hydrauliques ou non traitées.
- BBM : à utiliser avec des liants modifiés (ou module élevé) sinon recours aux BBSG
- BBDr : déconseillés en milieu urbain en raison notamment de leur colmatage rapide et des difficultés d'entretien sauf pour des cas particuliers comme la réalisation des chaussées réservoirs.
- BBTM : peut réduire les nuisances phoniques en granulométrie 0/6,3.

Choix de Nantes-Métropole

La solution de base la plus courante est le BBSG 0/10 qui offre une grande plage d'utilisation.

Sur les giratoires et leurs abords, il est préconisé des bétons bitumineux plus performants pour traiter les problèmes de traction.

6-2 Détermination des épaisseurs de la couche de surface en matériaux bitumineux

Le dimensionnement de la couche de surface doit être examiné sous l'angle de la résistance à l'orniérage et à la fissuration essentiellement à partir de considérations de mise en œuvre technologiques.

6-3 Contrôle et caractéristiques minimales exigibles

Les caractéristiques des revêtements de surface notamment l'adhérence sont d'abord liés à l'obtention d'un bon niveau d'uni longitudinal. Ce dernier sera obtenu par le respect des règles de l'art et des spécifications de mise en œuvre dès les couches inférieures.

La drainabilité du revêtement est assurée par sa macrotecture. Elle dépend de la dimension des granulats, de la formule du revêtement et de la mise en œuvre (compactage). Elle est caractérisée par la mesure de profondeur exprimée en valeurs de hauteur de sable vraie (HSv) dont l'essai est défini par la norme (NFP 98-216-1). Plus la largeur de voies est importante, plus les longueurs d'écoulement des eaux sont longues et nécessitent des macrotectures élevées.

La microtexture, elle, caractérise les microaspérités de surface qui permettent d'obtenir le bon contact avec le pneumatique. Elle dépend de nombreux paramètres dont la formulation et la qualité des constituants. Il convient de se référer aux normes des matériaux routiers pour le choix des formulations et les spécifications de mise en œuvre. Elle est mesurée par l'essai S.R.T. (norme NFP 18-578).

6.4 Cas des pierres naturelles

Il est rappelé que les revêtements en pierres naturelles ne jouent aucun rôle structural et que les principes de dimensionnement exposés en amont de ce document restent applicables.

Les pierres naturelles sont susceptibles de glissance. La norme XPB 10-601 définit les prescriptions d'emploi applicables aux pierres naturelles en fonction de leur destination et les conditions de réception applicables aux fournitures mais ne fait pas référence à la glissance.

Le CERTU a édité un document « Guide de mise en œuvre » où il est fait référence à des caractéristiques d'adhérence pour les pavés et dalles quel que soit le traitement de surface.

Le tableau ci-après indique les valeurs minimales à respecter :

	Document CERTU	Valeurs relevées sur divers chantiers dans les grandes villes mini/maxi	Comparaison avec un BBTM 0/6,3
HS Vraie	> 0,5	/	> 0,6
S.R.T.	0,45	0,4 / 0,6	Moyenne 0,8

En conformité avec le guide des aménagements « motards », le coefficient de rugosité (SRT) des revêtements routiers devra être supérieur ou égal à 0,45.

Concernant les cheminements piétons se référer au guide de l'accessibilité de l'espace public pour les spécifications et le choix des revêtements.

6-5 Revêtement en produits modulaires (pavés et dalles)

La mise en œuvre de ces produits et leurs spécifications doit être conforme à la norme NF P98-335 à laquelle il convient de se référer.

Des extraits de cette norme qu'il a paru utile de rappeler dans le cadre de ce guide sont disponibles en annexes.

7 Annexes

Revêtement en produits modulaires (pavés et dalles)

La mise en œuvre de ces produits et leurs spécifications sont détaillées dans la norme P 98-335 à laquelle il convient de se référer.

Les éléments qui suivent sont des extraits de cette norme qu'il a paru utile de rappeler dans le cadre de ce guide.

Annexe normative E : Choix des revêtements modulaires et de leur mode de pose en fonction du trafic

Produits Pavés ⁽²⁾	Trafic PL ≥ 35kN de PTAC ⁽¹⁾				
	T5	T4	T3	T2	T1
	01 à 25	26 à 50	51 à 150	151 à 300	301 à 750
Pavés en béton - Pavés d'épaisseur nominale 6 cm posé sur sable (classe d'appellation T5) - Pavés d'épaisseur nominale 8 cm posé sur sable (classe d'appellation T3-4) - Pavés d'épaisseur nominale 10 cm posé sur sable (classe d'appellation T3-4 épaisseur supérieure à 100mm)	<i>oui</i> <i>oui</i> <i>oui</i>	non <i>oui</i> <i>oui</i>	non <i>oui</i> <i>oui</i>	non non <i>oui</i> ⁽⁴⁾	non non <i>oui</i> ⁽⁴⁾
Pavés en pierre naturelle - Epaisseur nominale 8 cm pose sur mortier ou béton - Epaisseur nominale 10 cm ou supérieure pose sur mortier ou béton : ⇒ Rapport Surface en cm ² / épaisseur en cm > 25 ⇒ Rapport Surface en cm ² / épaisseur en cm ≤ 25 - Epaisseur nominale 8 cm pose sur sable - Epaisseur nominale 10 cm ou supérieure pose sur sable : ⇒ Rapport Surface en cm ² / épaisseur en cm > 25 ⇒ Rapport Surface en cm ² / épaisseur en cm ≤ 25	<i>oui</i> <i>oui</i> <i>oui</i> <i>oui</i> <i>oui</i>	<i>oui</i> <i>oui</i> <i>oui</i> <i>oui</i> <i>oui</i>	⁽⁵⁾ ⁽⁵⁾ ⁽⁵⁾ <i>oui</i> <i>oui</i>	non ⁽⁵⁾ ⁽⁵⁾ non <i>oui</i> ⁽⁴⁾	non non ⁽⁵⁾ non <i>oui</i> ⁽⁴⁾
Pavés en terre cuite - Epaisseur nominale 6 cm pose sur mortier ou béton - Epaisseur nominale 8 cm ou supérieur pose sur mortier ou béton - Epaisseur nominale 6 cm pose sur sable - Epaisseur nominale 8 cm ou supérieur pose sur sable	<i>oui</i> <i>oui</i> <i>oui</i> <i>oui</i>	non ⁽⁵⁾ non <i>oui</i>	non ⁽⁵⁾ non <i>oui</i>	non non non non	non non non non

Produits Dalles ⁽⁶⁾	Trafic PL ≥ 35kN de PTAC ⁽¹⁾		
	T5	T4	T3
	1 à 25	26 à 50	51 à 150
Dalles en béton - Epaisseur nominale 5 cm pose sur sable - Epaisseur nominale 5 cm pose sur mortier ou béton - Epaisseur nominale 8 cm pose sur sable - Epaisseur nominale 8 cm pose sur mortier ou béton - Epaisseur nominale 10 cm pose sur sable - Epaisseur nominale 10 cm pose sur mortier ou béton	<i>oui</i> <i>oui</i> <i>oui</i> <i>oui</i> <i>oui</i> <i>oui</i>	non non ⁽⁴⁾ <i>non</i> <i>oui</i> <i>non</i> ⁽⁴⁾	non non non non <i>non</i> <i>non</i>
Dalles en pierre naturelle (avec tolérances sur épaisseur < 5mm) * - Epaisseur nominale 6 cm pose sur mortier ou béton - Epaisseur nominale 6 cm pose sur sable - Epaisseur nominale 8 cm pose sur mortier ou béton - Epaisseur nominale 8 cm pose sur sable - Epaisseur nominale 10 cm ou supérieure pose sur sable - Epaisseur nominale 10 cm ou supérieure pose sur mortier ou béton	<i>oui</i> <i>oui</i> <i>oui</i> <i>oui</i> <i>oui</i> <i>oui</i>	non non ⁽⁵⁾ <i>oui</i> <i>oui</i> ⁽⁵⁾	non non non non <i>non</i> ⁽⁵⁾ <i>non</i>

Compatibilité assises, mode de pose, jointoiment		
Assises	Nature du lit de pose	Type de joint
Souples (non traitées)	Sable ⁽³⁾	Joints souples (sables, sables stabilisés, produits bitumineux, etc., joints rigides interdits)
Bitumineuses épaisses (déflexion < 50/100 mm) Semi-rigides ou mixtes (déflexion < 40/100 mm) Rigides (déflexion < 15/100 mm)	Sable ⁽³⁾	Joints souples (sables, sables stabilisés, mélange bitumineux, etc., joints rigides interdits)
	Mortier ou béton traditionnel	Mortier (hydraulique ou organique) ou mastic bitumineux
	Mortier ou béton spécial, organique ou mixte	Mortier spécial de jointement

- (1) le trafic à prendre en compte est fonction de la largeur de la chaussée, si $L < 5m$ 100% du trafic des deux sens (MJA : moyenne journalière annuelle), si $5 < L < 6m$ 75% et si $L > 6m$ 50%
- (2) l'appareillage retenu devra lutter efficacement contre les efforts de trafic (joints rompus, arceaux, chevrons, emplois d'éléments autobloquants, etc...)
- (3) ou sable stabilisé en cas de forte pente ou de techniques de nettoyage agressives, ou gravillons pour des revêtements en pavés drainants
- (4) Une étude de conception particulière doit justifier le choix des produits modulaires. Elle précise notamment les appareillages, les blocages de rive et les blocages longitudinaux, la vérification de dimensionnement des produits, les conditions de drainage, les conditions d'exploitation, etc. Elle atteste de la cohérence et la qualité du système global (assises, lit de pose, revêtements, conditions d'exécution) et définit le processus qualité de la mise en oeuvre.
- (5) Une étude de conception particulière doit justifier le choix des produits modulaires. Elle précise notamment les appareillages, les blocages de rive et les blocages longitudinaux, la vérification de dimensionnement des produits, les conditions de drainage, les conditions d'exploitation, la pertinence de l'emploi de mortiers ou bétons spéciaux en lit de pose et en jointement, etc. Elle atteste de la cohérence et la qualité du système global (assises, lit de pose, revêtements, conditions d'exécution) et définit le processus qualité de la mise en oeuvre.
- (6) Charge de rupture caractéristique minimale : 25 kN (classe U25 pour les dalles en béton)
- (7) La pose sur mortiers ou sur bétons des dalles en pierre naturelle d'épaisseur nominale > 8cm et pour lesquelles les variations d'épaisseur sont inférieures à 15mm, est admise pour la réalisation de voies, places et espaces publics sur lesquels le trafic est inférieur à 50 PL par jour.

Annexe	informative	F :	travaux	de	drainage
--------	-------------	-----	---------	----	----------

Lorsque la perméabilité du sol est supérieure à 10^{-5} m/s, l'infiltration est possible et ne nécessite pas un traitement particulier.

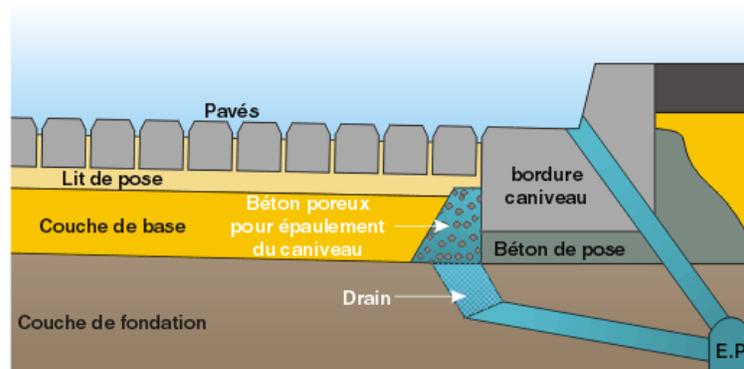
Lorsque la perméabilité du sol et/ou des assises est comprise entre 10^{-5} m/s et 10^{-7} m/s, il faut envisager pour évacuer les eaux de la structure de chaussée un complément à l'infiltration. Le dispositif de drainage complémentaire (par exemple un raccordement au réseau par un orifice calibré ou une évacuation par un système de drains diffuseurs) doit permettre l'évacuation d'un débit déterminé.

Lorsque la perméabilité du sol et/ou des assises est inférieure à 10^{-7} m/s (voir Annexe F), il faut mettre en œuvre un dispositif de drainage pour évacuer les eaux de la structure de chaussée.

Les systèmes de drainage doivent permettre d'évacuer un débit déterminé, de prévenir leur propre colmatage, permettre leur entretien afin d'assurer leur pérennité ainsi que celle de la structure de chaussée .

F.1 Drainage

Le drainage des ouvrages singuliers réalisé en revêtement modulaire est indispensable.



Exemple de dispositif de drainage

Remarques

Les assises de ces ouvrages sont réalisées de préférence en matériaux rigides ou semi-rigides.

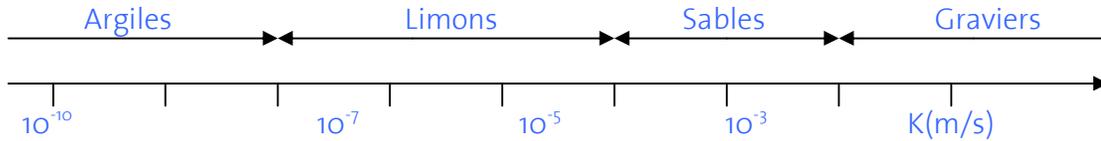
Afin de limiter la transmission des vibrations dues au trafic, les aménagements piétons se prolongeant sur les trottoirs contigus sont à désolidariser des bâtiments environnants par des joints souples.

F.2 Définition d'un drain

Tout conduit non étanche, souterrain ou à ciel ouvert (fossé, tranchée), collecteur et évacuateur par gravité de l'eau d'une partie de la zone saturée du sol ou du sous-sol jusqu'à une profondeur voulue. Au sens restreint désigne plus particulièrement un conduit enterré. (Par exemple, du béton poreux, des granulats entourés d'un géotextile « chaussette », des caniveaux drainants sont considérés comme un drain)

F.3 Evaluation de la perméabilité des sols

En première approche, la perméabilité des sols peut être appréciée en fonction de la nature du sol :



En cas de doute dans l'évaluation de la perméabilité des sols, une mesure sur site pourra être effectuée par exemple selon la méthode de Porchet décrite dans la circulaire 97-49 du 22 mai 1997.

F.4 Choix de l'interface entre sol et structure de chaussée de voirie

Le choix de l'interface entre sol et structure de chaussée de voirie tient compte des classes de trafic :

Trafic	Sol		Perméabilité $\geq 10^{-5}$ m/s
	Perméabilité $< 10^{-5}$ m/s		
	Sensibilité à l'eau du sol élevée	Sensibilité à l'eau du sol faible	
T5	géotextile	géotextile	géotextile
T4	geomembrane	géotextile	géotextile
T3 à T1	geomembrane	étanchéité	géotextile

F.5 Pente des drains

La pente minimale d'un drain pour assurer sa vidange est de 2 mm/m.

Annexe informative G : Ouvrages singuliers : traversées piétonnières, ralentisseurs, coussins et plateaux

G.1 Textes de référence

Il convient de respecter les textes de référence relatifs à la signalisation horizontale des passages piétons :

- Circulaire n° 96-55 du 1er juillet 1996 relative à la signalisation des passages pour piétons.
- Article 118 Passages pour piétons de 7ème partie de l'instruction interministérielle sur la signalisation routière.

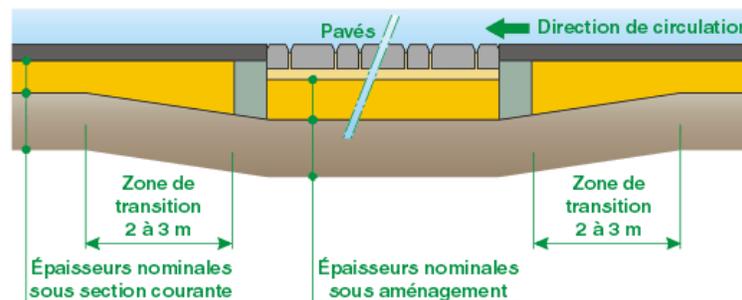
Si le passage piéton est surélevé, la norme NF P 98-300 et le décret n° 94-447 du 27 mai 1994 s'appliquent.

On pourra également se reporter au guide du CERTU « Guide des coussins et plateaux ».

G.2 Zones de transition

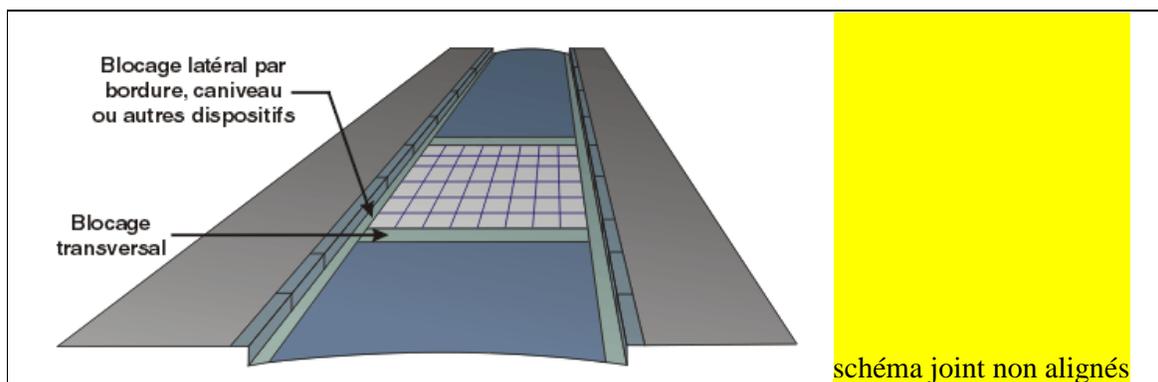
La réalisation de zones de transition qui permettent de passer progressivement de la structure en section courante, à la structure de l'aménagement piéton est impérative.

Leur longueur est de 2 à 3 mètres et étendue à 5 mètres dans le cas des stations chrono bus revêtues de BCMC. Leur épaisseur doit varier en continu et être correctement dimensionnée en tout point.



G.3 Blocage de rives

Le blocage de rives sur toute la périphérie de l'ouvrage est impératif.



Le blocage latéral peut être assuré par les bordures ou caniveaux.

Le blocage transversal (perpendiculaire au sens de circulation) est effectué :

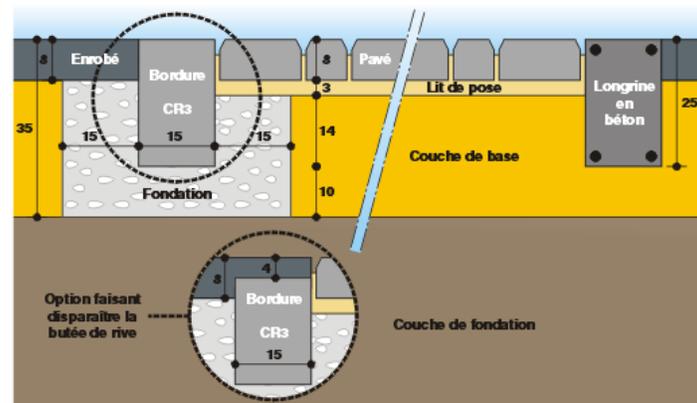
- pour les faibles trafics par la structure bitumineuse sciée ;
- en général, par des bordures en béton ou des longrines coulées en place (leur section au moins égale à 350 cm² doit être adaptée au trafic).

Les dispositifs de blocage restent apparents ou sont recouverts par la couche de revêtement adjacent.

G.4 Réalisation

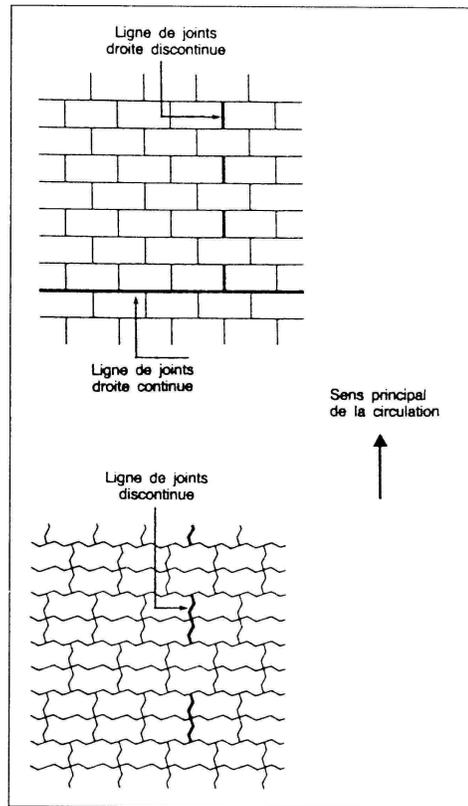
Le phasage général des travaux est le suivant :

- Décaissement de la chaussée sur la profondeur résultant du dimensionnement de l'ouvrage et de la zone de transition. Les butées de rive réalisées au moyen de bordures préfabriquées nécessitent une sur-profondeur de fouille d'environ 10 cm ainsi qu'une sur-largeur de 15 cm de part et d'autre.
- Mise en œuvre et de la couche de fondation.
- Mise en œuvre des butées de rive.
- Mise en œuvre et de la couche de base.
- Mise en œuvre du revêtement modulaire.
- Il faut veiller à ne pas poser de modules inférieurs à un demi-pavé.

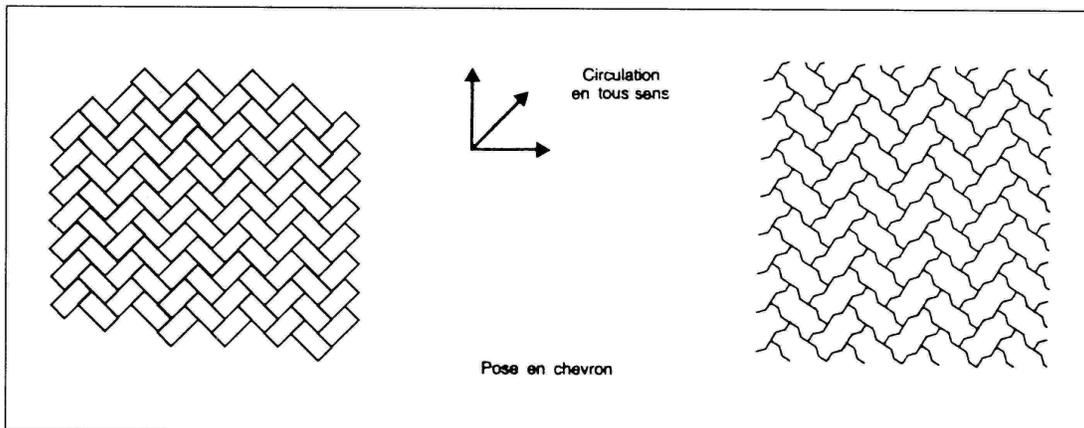


Annexe informative H : Appareillage des éléments modulaires

H.1 Lignes de joints



H.2 Pose en chevrons

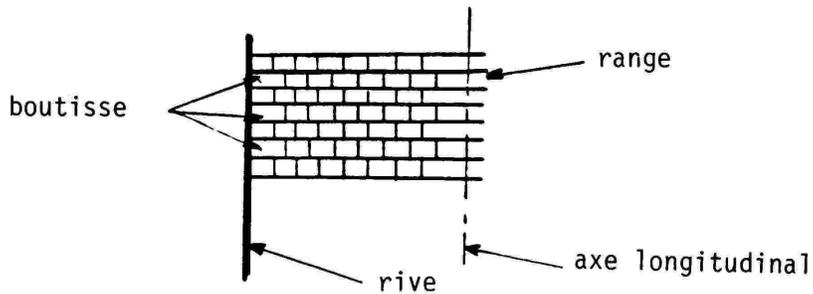


H.3 Exemples d'appareillage

Pose de pavés en rangées droites

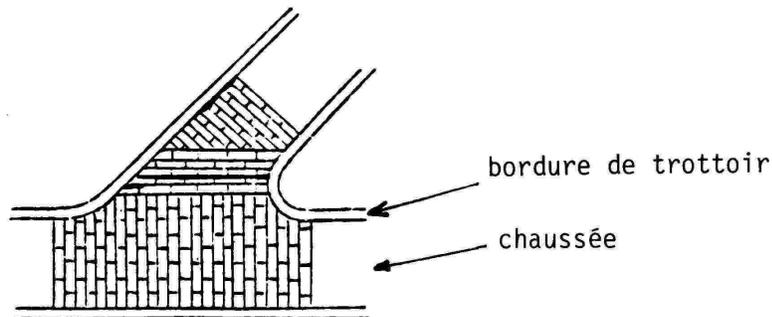
Les joints des pavés sont croisés d'une rangée à l'autre, de manière que la liaison concerne au moins le tiers de la longueur des pavés.

On obtient cette découpe en plaçant alternativement une boutisse (un pavé et demi) à l'extrémité de chaque rangée.



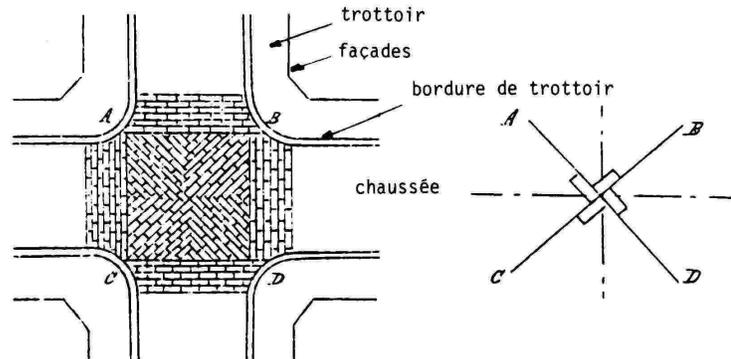
Pose de pavés en "passerelle"

Dans la passerelle, les rangées de pavés sont parallèles à la bordure de trottoir de l'une des rues.



Pose de pavés en "croix de Chevalier"

Ce plan de pose est utilisé pour réaliser le revêtement des carrefours pavés.



Pose de pavés en arc de cercle et en redans

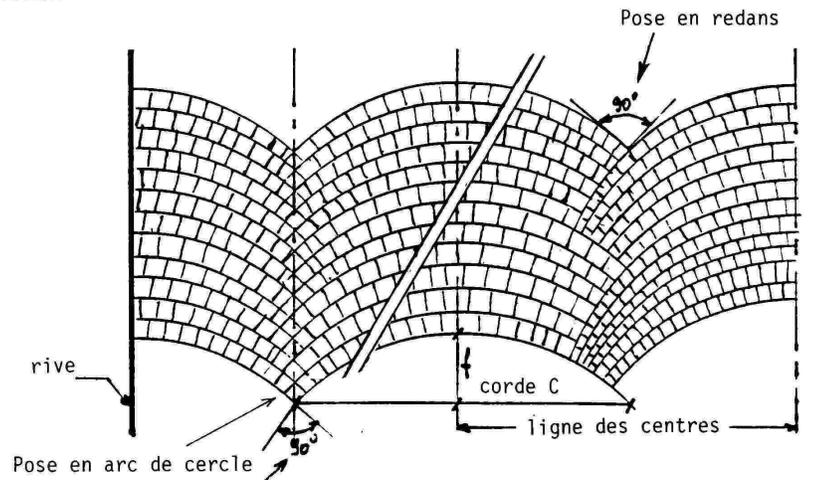
Ces dispositifs ne peuvent être convenablement réalisés qu'avec de petits pavés (mosaïque).

Dans les zones où la déclivité dépasse 5 %, l'arc des pavés doit être tracé de manière à avoir son centre vers le point bas afin d'éviter le desserrage des joints.

Le pavage doit être commencé par les naissances pour se terminer à la clef. Les pavés utilisés aux naissances sont de dimensions légèrement inférieures à celles des pavés utilisés à la clef ; au besoin, les pavés doivent être retailés à la demande sur le chantier. Les joints doivent être aussi réduits que possible.

Les arcs se raccordent entre eux à angle droit ; sur chaque rive, un demi arc se raccorde également à angle droit sur les rangées longitudinales.

Les centres des arcs sont alignés sur des lignes parallèles à l'axe longitudinal de la zone.



Pour des pavés 8/10

Pour des pavés 12/12 à 14/14

Pour des pavés 4/6 et 6/8

la flèche \approx 3,5 pavés

la flèche \approx 3,5 pavés

la flèche \approx 3,5 pavés

la corde varie de 1,20 à 1,50 m

la corde varie de 1,50 à 2,00 m

la corde varie de 0,80 à 1,10 m

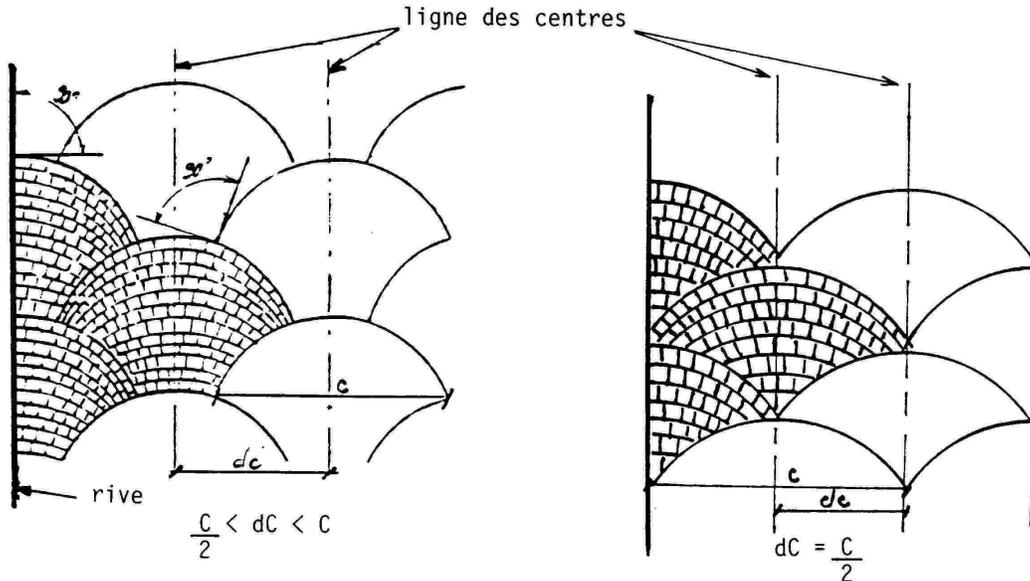
Pose de pavés en queue de paon (dessin à gauche)

Dans ce dispositif, l'écartement entre les lignes des centres varie entre la demie corde et la corde.

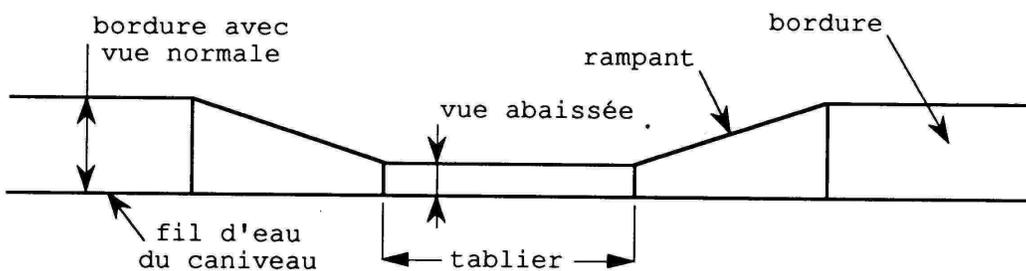
Lorsque l'écartement des lignes des centres se rapproche de la longueur de la demie corde du grand arc, la disposition devient en éventail ou en écaille.

Pose de pavés en écailles ou en éventail (dessin à droite)

Pour éviter l'apparition d'une ligne de moindre résistance à l'intersection des arcs, on décale les points de rencontre des arcs.



Pose de bordures en bateau au droit des entrées charretières

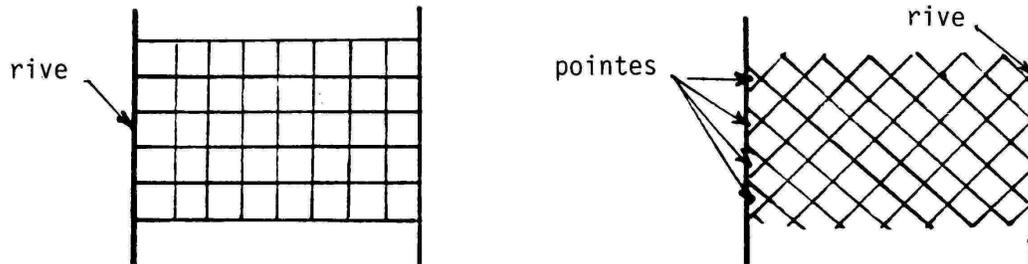


ATTENTION : il convient de veiller dans ces différents schémas au respect des prescriptions du guide de l'accessibilité de Nantes Métropole.

Pose de pavés en panneau et en losange

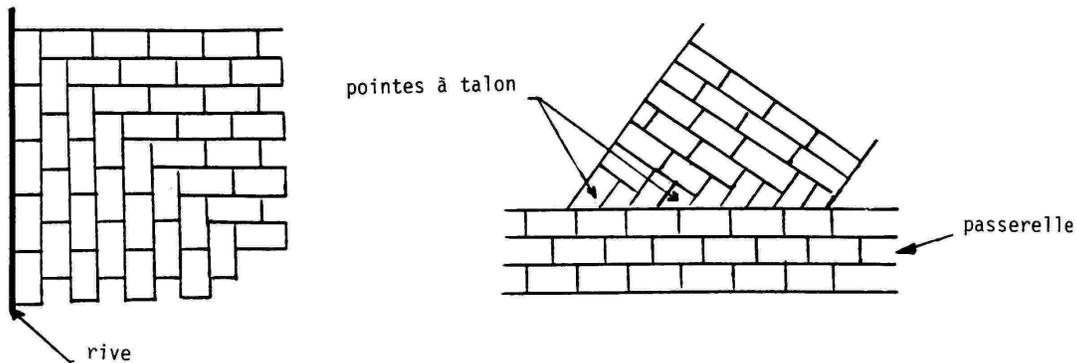
Les joints sont alignés dans les deux directions (à déconseiller pour une chaussée).

Lorsque les lignes de joints sont obliques par rapport à l'axe longitudinal, le pavage est dit en losange.



Pose de pavés en V ou en chevrons

Appareillage utilisé pour le raccordement de deux voies perpendiculaires.



Raccordement en crémaillère

Raccordement d'un pavage échantillon sur une passerelle dont les deux voies se rencontrent et forment un angle aigu. Ce raccordement nécessite la coupe de pavés.

NOTES
