



Voirie et aménagements publics

Guide de conception des ouvrages réalisés à partir de pavés, dalles, bordures et caniveaux préfabriqués en béton

CERIB

Introduction

Toute réalisation d'ouvrages de voirie ou d'aménagements publics, affectés ou non à la circulation ou au stationnement, physiquement accessibles aux véhicules, nécessite une étude de conception. Selon le type, l'importance et la complexité de l'ouvrage, cette étude peut être limitée au choix des produits et de leurs conditions de mise en œuvre, intégrer un dimensionnement spécifique ou définir les dispositions constructives adaptées à respecter pour garantir la pérennité des investissements.

Ce guide de conception concerne les ouvrages réalisés à partir de pavés, dalles, bordures et caniveaux préfabriqués en béton.

Il expose :

Chapitre 1 : Types d'applications et exigences fonctionnelles	3
1.1 Applications	4
1.2 Exigences fonctionnelles	5
Chapitre 2 : Conception générale	9
2.1 Implantation et utilisation de l'espace	10
2.2 Esthétique et appareillage	16
2.3 Choix des caractéristiques des produits	22
2.4 Dimensionnement structurel (pavés et dalles)	28
2.5 Pose	30

Chapitre 3 : Conception détaillée	32
3.1 Implantation et utilisation de l'espace	34
3.2 Esthétique et appareillage	50
3.3 Choix des caractéristiques des produits	58
3.4 Pose	60
3.5 Maîtrise de la qualité.	63
3.6 Développement durable	68

Annexe 1 : Essais des produits de voirie préfabriqués en béton.	72
A.1.1 Conditions d'acceptation des produits sur chantier.	73
A.1.2 Caractéristiques géométriques.	78
A.1.3 Absorption d'eau	81
A.1.4 Résistance au gel/dégel	82
A.1.5 Résistance au fendage (pavés)	83
A.1.6 Résistance à la flexion (dalles, bordures)	84
A.1.7 Résistance à l'abrasion.	86
A.1.8 Résistance à la glissance.	87

Annexe 2 : Textes utiles	88
A.2.1 Normes.	88
A.2.2 Accessibilité de la voirie	88

Sommaire détaillé	89
------------------------------------	-----------

Ce document sera complété en 2009 par un guide d'éco-conception renforçant la prise en compte du développement durable pour la réalisation de voirie et d'aménagements urbains.

Chapitre 1 : Types d'applications et exigences fonctionnelles

Les ouvrages de voirie et les aménagements publics sont destinés à de nombreuses applications. Ils doivent répondre à différentes exigences fonctionnelles. Les produits modulaires en béton (pavés, dalles, bordures et caniveaux) peuvent apporter des solutions intéressantes conciliant esthétique, résistance et pérennité.

Ce chapitre présente différentes applications de ces produits et les exigences fonctionnelles qui doivent être satisfaites.

Sommaire de ce chapitre :

1.1	Applications.....	4
1.1.1	Les pavés.....	4
1.1.2	Les dalles.....	4
1.1.3	Les bordures et les caniveaux.....	4
1.2	Exigences fonctionnelles.....	5
1.2.1	L'esthétique et l'intégration dans l'environnement.....	5
1.2.2	La structuration de l'espace.....	5
1.2.3	L'insertion des personnes handicapées.....	5
1.2.4	La sécurité des utilisateurs.....	6
1.2.5	La tenue au trafic.....	6
1.2.6	La résistance aux sollicitations climatiques.....	7
1.2.7	La facilité de mise en œuvre.....	7
1.2.8	La facilité d'entretien.....	8
1.2.9	La durabilité et la pérennité.....	8
1.2.10	L'aptitude au recyclage.....	8
1.2.11	Le développement durable.....	8

1.1 Applications

1.1.1 Les pavés

Les pavés sont couramment employés comme revêtement de chaussées accueillant un trafic occasionnel ou continu, de zones piétonnes, de parkings, de zones de stationnement, d'aires industrielles mais aussi pour des ouvrages singuliers tels que passages piétons ou ralentisseurs. Ils sont utilisés comme revêtement de surface ou pour délimiter des zones au sol. Ils permettent, d'une façon générale, de répondre aux trois besoins suivants : le besoin fonctionnel, le besoin architectural, le besoin structurel.

Le besoin fonctionnel

Les pavés permettent d'assurer ou de contribuer à la lisibilité de l'espace public en matérialisant des zones dédiées ou des limites élaborées par les urbanistes, par exemple : zones de circulation automobiles, cyclables ou piétonnes ; itinéraires, cheminements et aires de jeux ; zones de stationnement ; aires minérales et surfaces végétales...

Le besoin architectural

Les pavés, à travers leurs formes, couleurs, textures et leurs appareillages, peuvent accentuer ou atténuer les effets de perspectives, permettant ainsi de changer la perception qu'a l'utilisateur de l'ouvrage et ainsi favoriser une esthétique ou une perception architecturale des aménagements urbains notamment.

Le besoin structurel

Les pavés peuvent, de par leurs caractéristiques mécaniques résister aux sollicitations rencontrées dans les différents usages cités ci-avant. Suivant leurs types, leur appareillage et leur mode de pose, ils pourront résister à des trafics routiers plus ou moins importants.

1.1.2 Les dalles

L'utilisation des dalles est pour sa part, entièrement dédiée aux surfaces. Elle est très répandue dans les zones piétonnes, les places ou les mails. Les dalles sont aussi utilisées pour des voies recevant un trafic léger. Comme les pavés, elles permettent de répondre aux trois besoins suivants : fonctionnel, architectural et structurel.

1.1.3 Les bordures et les caniveaux

Les bordures sont employées dans un grand nombre d'ouvrages de voirie : délimitation de routes, rues, trottoirs, d'allées ou d'aires d'activités, îlots directionnels et de refuge, chicanes... Elles servent aussi, par exemple, dans les parkings pour délimiter les places, et autour des zones pavées en tant que calage de rive. Les caniveaux peuvent également être employés

pour structurer l'espace sans dénivellation. Associées à des caniveaux, les bordures permettent de récupérer et évacuer les eaux de ruissellement.

1.2 Exigences fonctionnelles

Selon le type d'application, en voirie ou en aménagements publics, les produits modulaires, (pavés, dalles, bordures et caniveaux) doivent permettre de répondre à une ou plusieurs des exigences fonctionnelles suivantes :

- l'esthétique (à court et long terme) et l'intégration dans l'environnement,
- la structuration de l'espace,
- l'insertion des personnes handicapées,
- la sécurité des utilisateurs,
- la tenue au trafic,
- la résistance aux sollicitations climatiques,
- la facilité de mise en œuvre,
- la facilité d'entretien,
- la durabilité et la pérennité,
- l'aptitude au recyclage.

La prise en compte de ces exigences doit s'intégrer dans une démarche de développement durable.

Ces exigences fonctionnelles sont introduites ci-après. Le chapitre 2 « Conception Générale » présentera les solutions qu'offrent les produits modulaires en béton : pavés, dalles, bordures et caniveaux.

1.2.1 L'esthétique et l'intégration dans l'environnement

Les solutions esthétiques pour réaliser des ouvrages de voirie ou des aménagements publics sont très nombreuses. Il y a lieu de veiller à leur intégration dans l'environnement (quartier d'affaire, centre historique...), ce qui peut être exigé. L'Article R111-4 du code de l'urbanisme* précise que :

« le projet peut être refusé ou n'être accepté que sous réserve de l'observation de prescriptions spéciales s'il est de nature, par sa localisation et ses caractéristiques, à compromettre la conservation ou la mise en valeur d'un site ou de vestiges archéologiques ».

De plus, si la ville ou commune possède un Plan Local d'Urbanisme (PLU) ou une carte communale, d'autres exigences peuvent y être mentionnées.

1.2.2 La structuration de l'espace

La structuration de l'espace est un vaste champ d'étude qui touche plusieurs disciplines, notamment : l'urbanisme, l'architecture et la sociologie. L'ouvrage de voirie ou l'aménagement urbain doit participer à la vision globale de l'espace public. Ce dernier peut être représenté comme un ensemble d'espaces sensoriels (visuel, sonore, tactile) dans lequel un ou plusieurs individus doivent se

déplacer ou agir suivant la finalité du lieu. Il est important de résoudre la question de cette structuration à l'échelle qui convient. Travailler à l'échelle des objets qui doivent composer l'espace peut rapidement saturer la lisibilité, a contrario, il n'est souvent pas pertinent d'agir à la dimension d'un paysage trop vaste. Il est donc nécessaire de définir l'échelle perceptive de l'individu ou du groupe qui évoluera dans l'espace public que l'on souhaite aménager.

Au niveau de l'ouvrage, une notion intéressante est l'exposition (parfois appelée surexposition) qui a pour objectif de mettre en valeur un ou plusieurs éléments de l'espace, dans certains cas l'utilisateur lui-même, afin de leur donner une valeur symbolique.

1.2.3 L'insertion des personnes handicapées

L'insertion des personnes handicapées impose la prise en compte de l'accessibilité et de la sécurité des personnes à mobilité réduite, des non voyants et des mal voyants.

Depuis déjà plusieurs années, la démarche engagée pour rendre accessible à tous, en toute sécurité le cadre bâti, la voirie et les transports s'est traduit par une charte nationale de l'accessibilité, des lois, des arrêtés et des normes applicables. Il est utile de noter que la dénomination de personnes à mobi-

* Livre 1, titre 1, chapitre 1, section 1, sous section 1 « Localisation et desserte des constructions, aménagements, installations et travaux »

lité réduite englobe les situations permanentes (handicap, vieillesse...), temporaires (grossesse, accidentés...) ainsi que celles liées à des équipements (poussette, paquet encombrant...).

1.2.4 La sécurité des utilisateurs

La sécurité des utilisateurs impose la maîtrise de la glissance des voiries et des aménagements publics pour éviter que, même dans des conditions défavorables, pluie par exemple, les piétons ne glissent ou les véhicules ne dérapent sur les surfaces réalisées.

Des mesures spécifiques d'éveil de vigilance doivent également être prises pour favoriser la sécurité des personnes non voyantes ou mal voyantes.

1.2.5 La tenue au trafic

Le trafic détermine la plupart des choix concernant les produits modulaires de voirie (leur épaisseur et leurs caractéristiques mécaniques) et conditionne leur appareillage et leur blocage de rives. Les classes de trafic sont définies par la norme NF P 98-082 comme suit :

Classe de trafic	Nombre PL ⁽¹⁾ /Jour/Sens
T5	0 < PL ≤ 25
T4	25 < PL ≤ 50
T3	50 < PL ≤ 150
T2	150 < PL ≤ 300
T1	300 < PL ≤ 750

⁽¹⁾ Poids Lourds (PTAC ≥ 3,5 tonnes)

Pour la définition du trafic effectif sur l'ouvrage, lorsque la largeur de la chaussée est inférieure à 6 m, il faut tenir compte du trafic possible dans les deux sens et appliquer au résultat les coefficients pondérateurs suivants pour obtenir l'équivalent par sens de circulation et pour les deux sens cumulés

Largeur chaussée (m)	Coefficient pondérateur par sens de circulation	Coefficient pondérateur pour les deux sens de circulation cumulés
$L \leq 5$	1	2
$5 < L < 6$	0.75	1.50
$L \leq 6$	0.5	1.0

Ce coefficient prend en compte les effets transversaux des voies contiguës.

S'il n'est pas possible d'obtenir un comptage pertinent du nombre de poids lourds, l'estimation de la classe de trafic peut se baser sur un comptage des véhicules sans distinction de charge :

Classe de trafic	Équivalence en nombre de véhicules sans distinction de charge	Type de trafic
T5	0 < V ≤ 500	Voies piétonnes avec accès de véhicules de service et/ou livraison Parkings résidentiels ou urbains
T4	500 < V ≤ 700	Voies urbaines Parkings poids lourds
T3	700 < V ≤ 1500	
T2	1500 < V ≤ 3000	
T1	V > 3000	

L'évaluation du trafic pour les ouvrages constitués de dalles est particulière et tient compte de charges de trafic inférieures à celles définies par la norme NF P 98-082 :

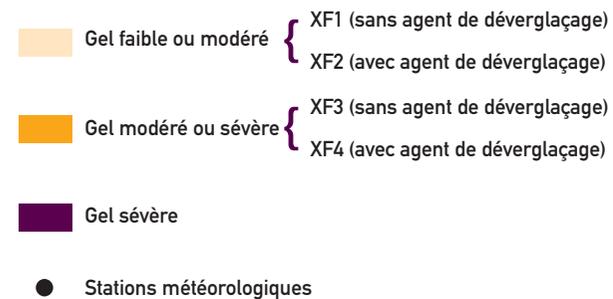
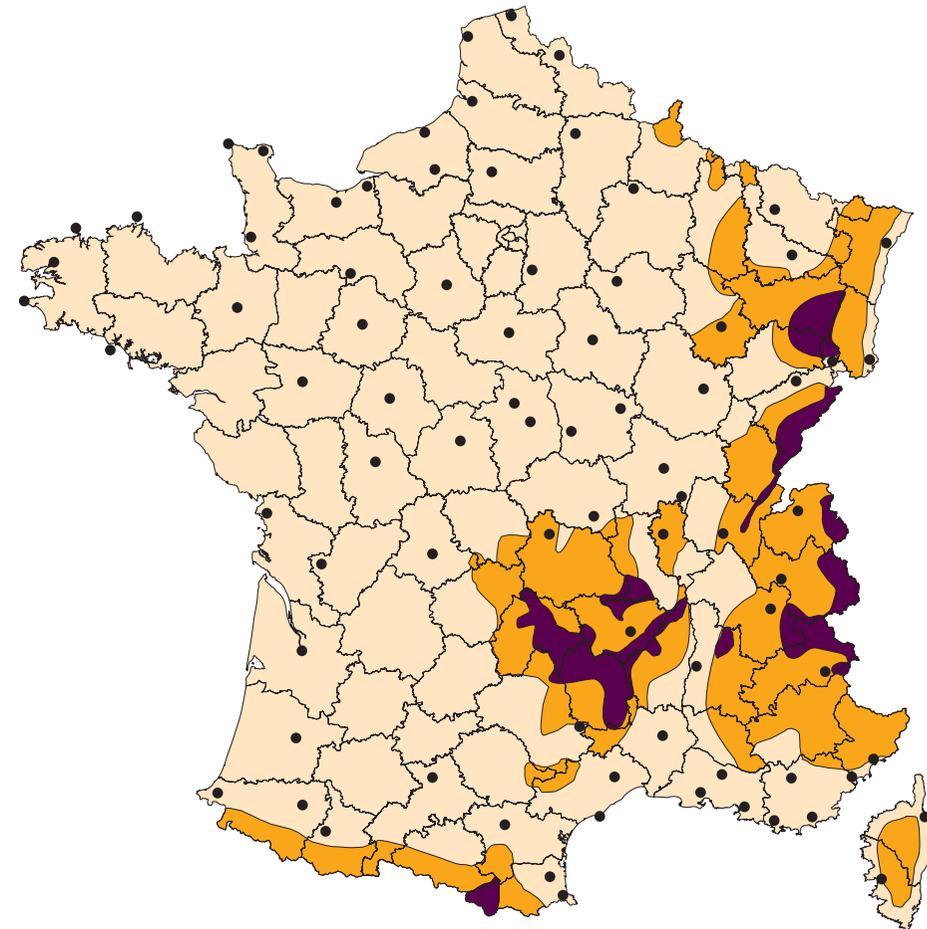
Type de trafic	Destination de la chaussée		Trafic maximal par jour
Léger	Piétons et/ou Véhicules légers de charge par roue ≤ 6 kN		100
	Véhicules de livraison de charge par roue ≤ 9 kN		200
Classes de trafic pouvant être assimilées aux classes T5 et T4 de la norme NF P 98-082	Véhicules de charge par roue ≤ 25 kN*	Circulation occasionnelle et à vitesse réduite	5 à vitesse ≤ 30 km/h
		Circulation normale	60
	Véhicules de charge par roue ≤ 65 kN*	Circulation occasionnelle et à vitesse réduite	5 à vitesse ≤ 30 km/h
		Circulation normale	60

1.2.6 La résistance aux sollicitations climatiques

Les ouvrages de voirie et les espaces publics sont soumis aux intempéries. La résistance requise au gel/dégel peut s'apprécier selon la carte ci-contre.

1.2.7 La facilité de mise en œuvre

La facilité de mise en œuvre conditionne la réalisation des ouvrages. Elle peut conditionner leur faisabilité qui doit prendre en compte l'approvisionnement des produits et leurs conditions de pose, le délai de pose et de remise en circulation notamment.



1.2.8 La facilité d'entretien

L'entretien conditionne la fonctionnalité et l'esthétique des ouvrages de voirie et des espaces publics. Cette opération englobe le nettoyage, mais également la maintenance et les réparations éventuelles, la possibilité et la facilité de remplacement d'éléments ainsi que les travaux nécessaires à la conservation dans le temps des caractéristiques de la surface.

1.2.9 La durabilité et la pérennité

Chaque projet d'aménagement urbain est réalisé pour une durée de service ou durée d'utilisation de projet définie dès la phase de conception. Cela signifie que l'ouvrage de voirie doit remplir son rôle pendant un nombre d'années fixé dès le départ dans le cahier des charges et intégrant les conditions d'exploitation et d'entretien. Les produits doivent donc répondre aux exigences fonctionnelles lors de la réalisation du projet mais aussi conserver leurs caractéristiques à un niveau acceptable pendant toute la durée de vie de l'ouvrage.

1.2.10 L'aptitude au recyclage

Dans une démarche de développement durable et de haute qualité environnementale, le devenir des produits en fin de vie doit être intégré dès la conception des ouvrages, tant pour leur choix que pour leur mode de pose et de dépose. La valorisation des produits en fin de vie et la réduction des déchets constituent un point essentiel.

1.2.11 Le développement durable

Les ouvrages de voirie et les aménagements publics s'inscrivent désormais dans une démarche de développement durable. Celle-ci porte sur les trois domaines que sont le social, la protection de l'environnement et l'économie. Les exigences fonctionnelles présentées ci-avant doivent être évaluées et appréciées dans cette optique.

Chapitre 2 : Conception générale

Ce chapitre présente les règles de conception générale des ouvrages de voirie et des aménagements publics réalisés en produits modulaires en béton : pavés, dalles, bordures et caniveaux. Celles-ci doivent être prises en compte dès le stade de l'avant-projet. Elles sont complétées par les règles de Conception détaillée (présentées au chapitre 3) pour la conception et la réalisation des ouvrages.

Ce chapitre traite :

2.1	Implantation et utilisation de l'espace	10
2.1.1	Rayons et courbures des aménagements	11
2.1.2	Pentes et différences de niveaux	11
2.1.3	Aménagements nécessaires à la sécurité et l'accessibilité des utilisateurs	13
2.1.4	Drainage des eaux de ruissellement	14
2.1.5	Délimitation des surfaces et blocage de rives.	15
2.2	Esthétique et appareillage.	16
2.2.1	Couleurs	16
2.2.2	Textures	18
2.2.3	Formes	19
2.2.4	Mariages des surfaces et des produits	20
2.2.5	Appareillage	20
2.3	Choix des caractéristiques des produits.	22
2.3.1	Caractéristiques géométriques	22
2.3.2	Résistance au gel/dégel	25
2.3.3	Absorption d'eau	25
2.3.4	Résistance mécanique.	25
2.3.5	Résistance à l'abrasion	27
2.3.6	Résistance à la glissance	27
2.4	Dimensionnement structurel (pavés et dalles)	28
2.4.1	Choix de la classe de trafic	28
2.4.2	Choix de la portance	28
2.4.3	Choix de l'assise	28
2.4.4	VoirIB	29
2.5	Pose	30
2.5.1	Type de pose	30
2.5.2	Lit de pose (pavés et dalles) et fondation (bordures et caniveaux)	31

2.1 Implantation et utilisation de l'espace

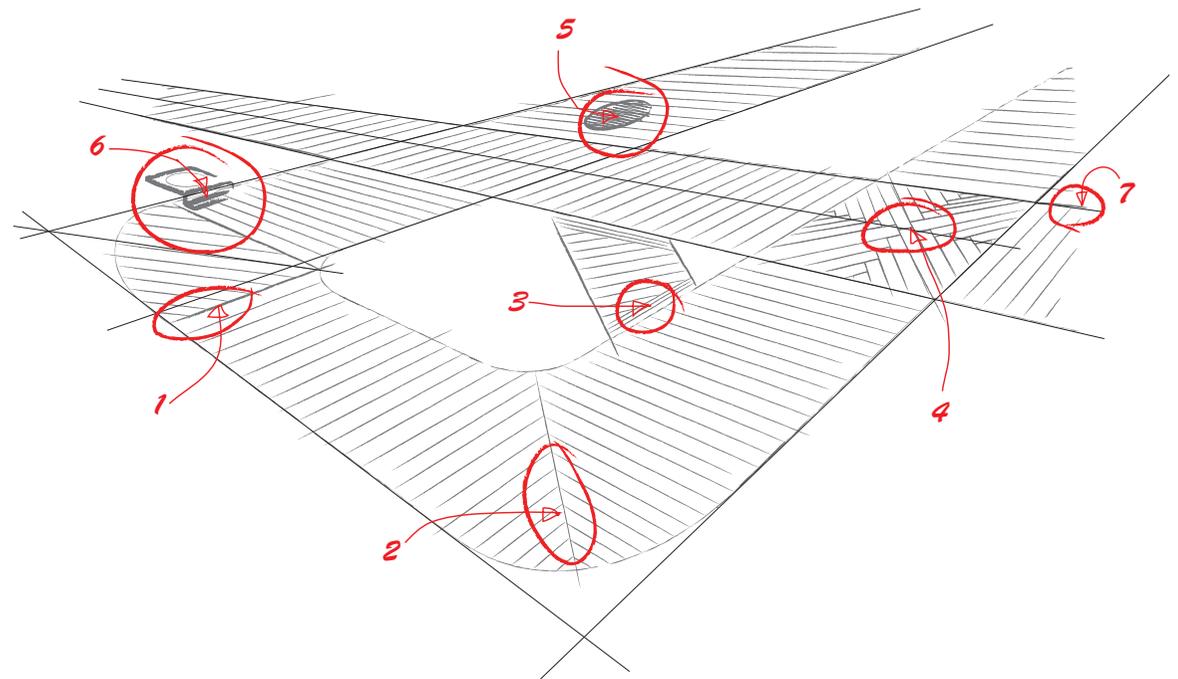
L'implantation de l'ouvrage ou de l'aménagement projeté nécessite de tenir compte d'impératifs techniques essentiels susceptibles de conditionner la faisabilité du projet.

Dès la définition de l'emprise de l'ouvrage, il y a lieu d'identifier les contraintes existantes :

- rayons et courbures des aménagements ;
- pentes et différences de niveaux ;
- aménagements nécessaires à la sécurité et l'accessibilité des utilisateurs ;
- drainage des eaux de ruissellement ;
- délimitation des surfaces et blocages de rives ;
- nature du sol ;
- ...

1. Raccordement par surface de transition
2. Raccordement en V
3. Raccordement par passerelles
4. Pose en croix de chevalier
5. Émergence
6. Avaloir
7. Blocage de rives

Schéma type d'un aménagement urbain



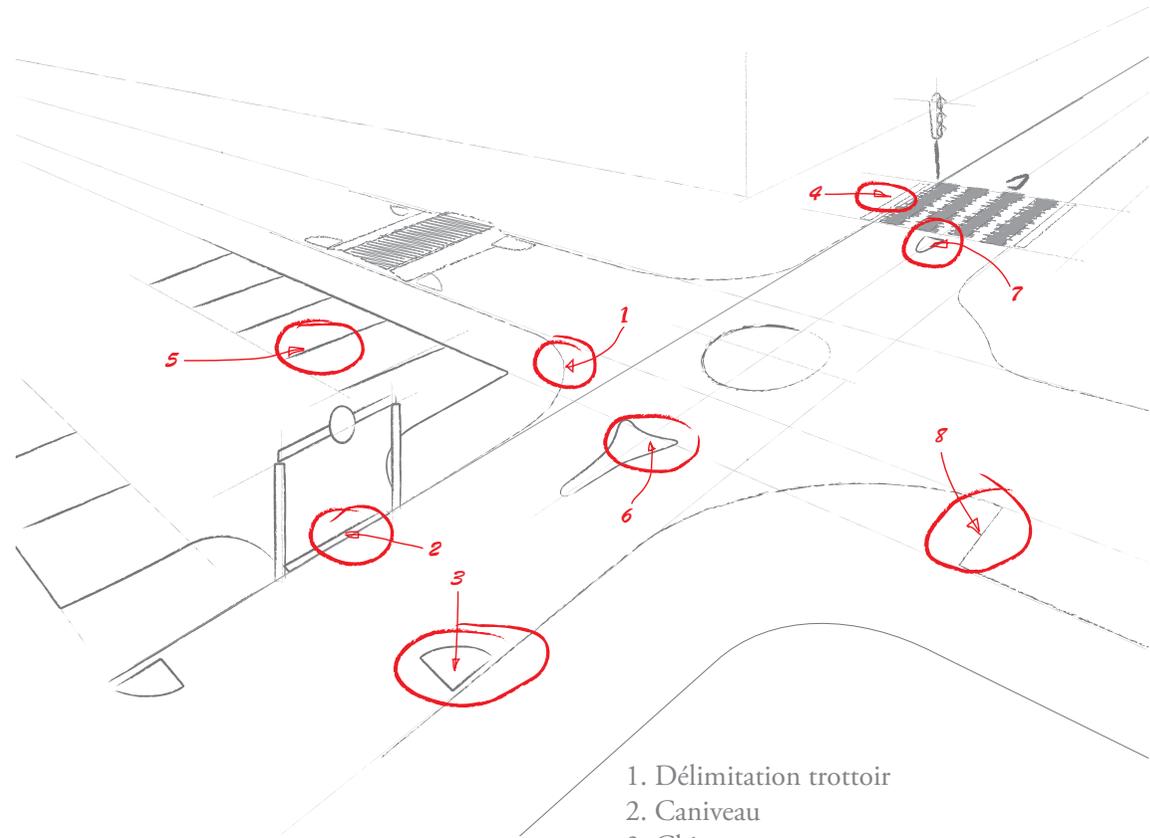
2.1.1 Rayons et courbures des aménagements

La définition géométrique et l'implantation des différentes surfaces d'un projet nécessitent de définir les rayons et courbures envisagés (ronds-points, intersections, implantation de la voirie...) et de les comparer aux solutions communément offertes par les produits.

Ainsi, pour des éléments d'un mètre de long les rayons de courbures minimaux réalisables peuvent varier de 12 m à 30 m selon les types de bordures et atteindre 40 à 50 m pour certains caniveaux.

Des rayons de courbures inférieurs sont réalisables mais nécessiteront de recourir à des coupes ou des éléments spéciaux (voir Chapitre 3 « Conception détaillée »).

Schéma type d'un aménagement urbain



1. Délimitation trottoir
2. Caniveau
3. Chicane
4. Bateau
5. Délimitation places de parking
6. Ilot directionnel
7. Ilot de refuge
8. Oreille de trottoir

2.1.2 Pentes et différences de niveaux

Les cheminements conduisent à gérer des différences de niveaux sur de courtes distances (transition trottoir/chaussée, transition entre deux zones dédiées...). Ces dernières se répartissent en trois catégories :

Dénivellation à reprendre (cm)	0	2	15
Catégories	Ressaut	Changement de niveaux	Rupture de niveaux

Les solutions associées à chaque catégorie sont :

- les ressauts qui peuvent être traités avec des arrondis ou des chanfreins,
- les changements de niveaux qui peuvent être réalisés avec des abaissements de bordures ou au moyen de bordures raccord,
- les ruptures de niveaux qui nécessitent, quant à elles, des rampes adaptées ou des équipements mécaniques de franchissement de niveau (doublés par une rampe ou un escalier).

La topographie des cheminements se répercute sur les bordures et les caniveaux. Les éléments posés doivent épouser le profil du trottoir et ainsi éviter les désaffleurements.

*Remarque**

Abaissement du niveau des bordures

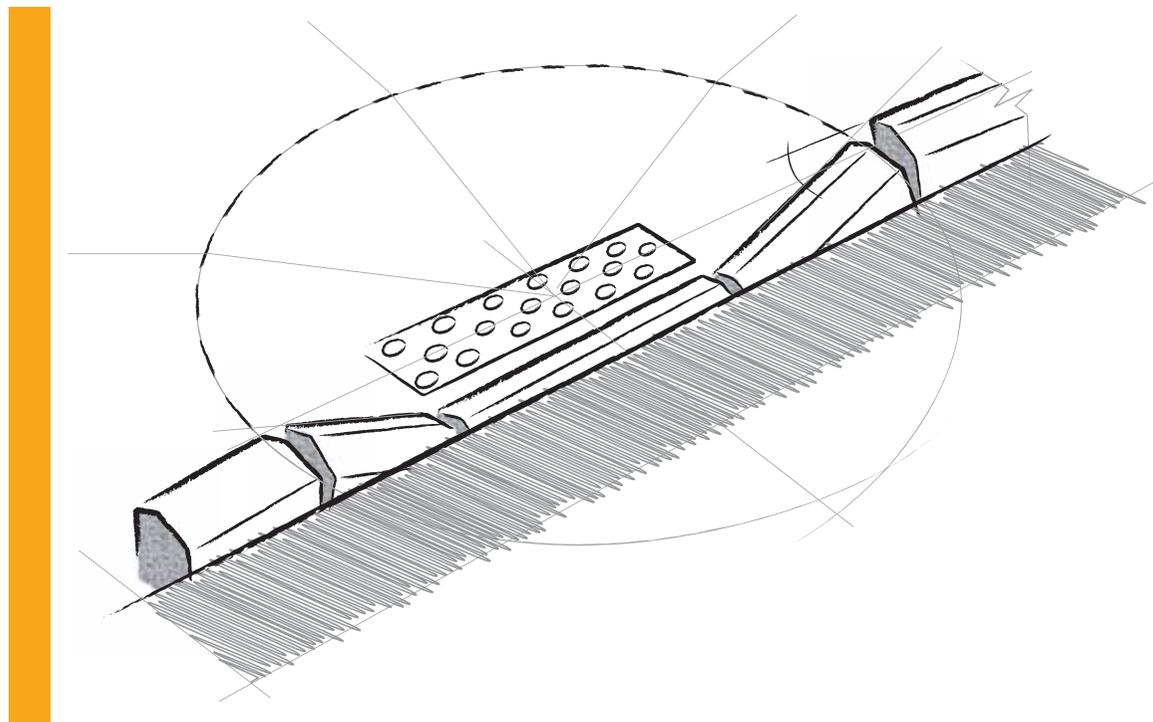
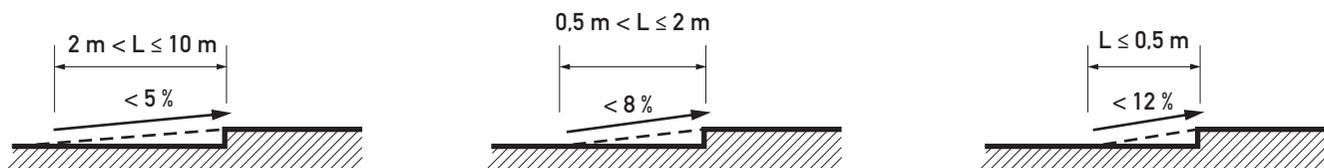


Schéma de principe de traitement des différences de niveaux



**Remarque* – L'arrêté du 15 janvier 2007 précise que lorsqu'il y a une différence de niveau dans le cheminement il faut la re-

prendre en mettant en place une pente qui doit être inférieure à 5 % sur une distance maximum de 10 m. Elle peut être exception-

nellement augmentée jusqu'à atteindre 8 % sur une longueur inférieure ou égale à 2 m et 12 % sur une longueur inférieure ou égale à 0,50 m.

2.1.3 Aménagements nécessaires à la sécurité et l'accessibilité des utilisateurs

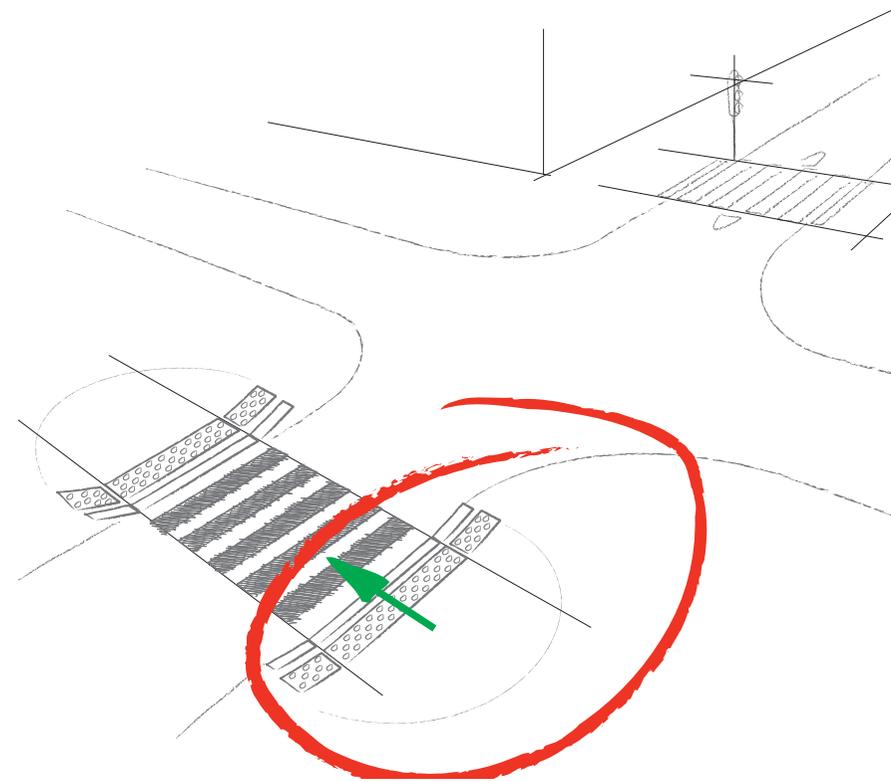
La sécurité et l'accessibilité des utilisateurs, nécessitent des aménagements spécifiques qu'il convient d'intégrer dès l'avant-projet car ils conditionneront l'utilisation des espaces et ils influenceront sur la faisabilité du projet. Il existe des solutions techniques en produits modulaires en béton (pavés, dalles, bordures, caniveaux...).

Passage de traversée de piétons

L'implantation d'un passage de traversée de piétons doit prendre en compte la sécurité des utilisateurs :

- lorsque la largeur de la chaussée à traverser est supérieure à 12 m, un îlot de refuge doit être prévu afin de permettre l'arrêt des piétons en cours de traversée (voir Chapitre 3 « Conception détaillée ») ;
- dans le cas d'une intersection de deux voies de circulation non perpendiculaires, un passage de traversée de piétons perpendiculaire à la voie minimise la longueur de traversée. Toutefois, les personnes non voyantes peuvent éprouver quelques difficultés à se représenter la situation car le niveau sonore des véhicules circulant sur la voie non traversée indique leur rapprochement ou leur éloignement.

Schéma de principe d'une traversée de piétons



Stationnement

L'aménagement d'une zone de stationnement nécessite de prévoir un certain nombre de places aménagées pour une utilisation par des personnes handicapées (voir Chapitre 3 « Conception détaillée »).

Circulation automobile

La circulation automobile peut nécessiter des aménagements spécifiques :

- îlots directionnels pour améliorer les conditions de circulation ;
- dispositifs de protection dans les zones de circulations dangereuses ;
- dispositifs de ralentissement du trafic par surélévation par exemple.

2.1.4 Drainage des eaux de ruissellement

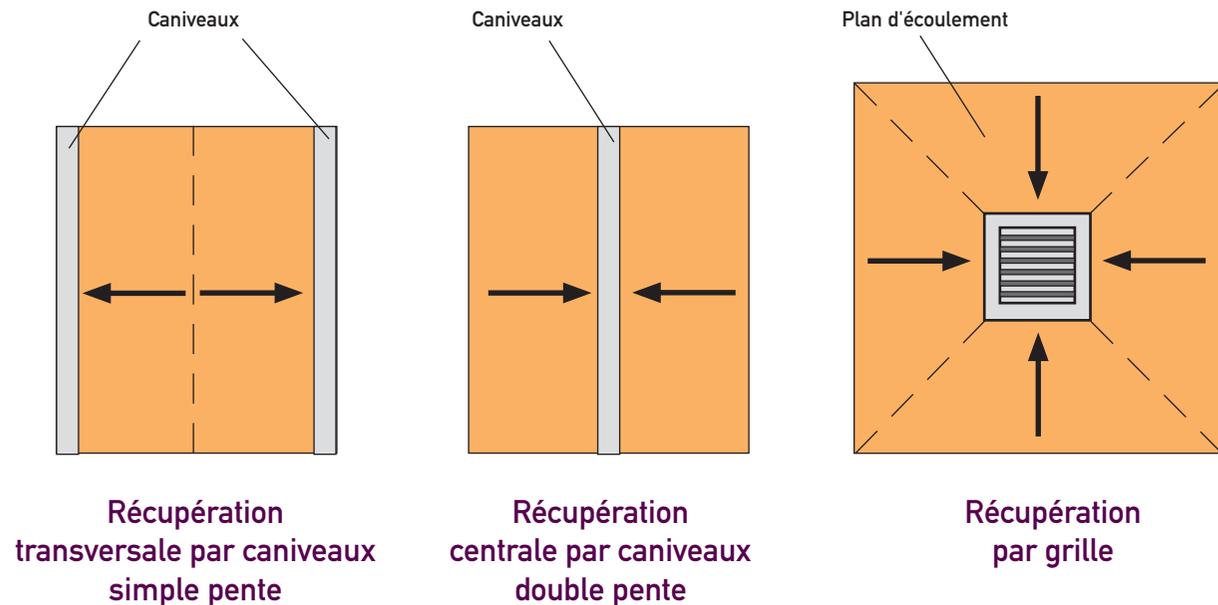
Suivant la politique de gestion des eaux de ruissellement et les niveaux admissibles de rejets au milieu naturel, il peut être décidé de mettre en place un revêtement équipé d'un système de collecte de surface (pentes, caniveaux, avaloirs, grilles...) qui acheminera l'eau vers un système d'évacuation (collecteur...) ou de privilégier l'infiltration dans la structure. Ce choix est conditionné par la perméabilité des sols de l'assise et de la plate-forme.

Perméabilité des sols de l'assise et de la plate-forme (m/s)	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}
Mode de restitution des eaux de ruissellement	Mise en place d'un système d'évacuation complet	Infiltration possible complétée par la mise en place d'un dispositif d'évacuation complémentaire		Infiltration possible	

Collecte de surface et évacuation des eaux de ruissellement

L'étude hydraulique des écoulements superficiels doit conduire au dimensionnement, à la quantification et au positionnement des éléments du système de collecte. Plusieurs solutions sont possibles (figures ci-contre).

L'évacuation des eaux se fait généralement vers une canalisation, pluviale ou unitaire, dont le dimensionnement est un compromis raisonnable entre le coût de réalisation et l'acceptation d'une inondation occasionnelle d'une surface plus ou moins étendue de la voirie.



Drainage des eaux dans la structure

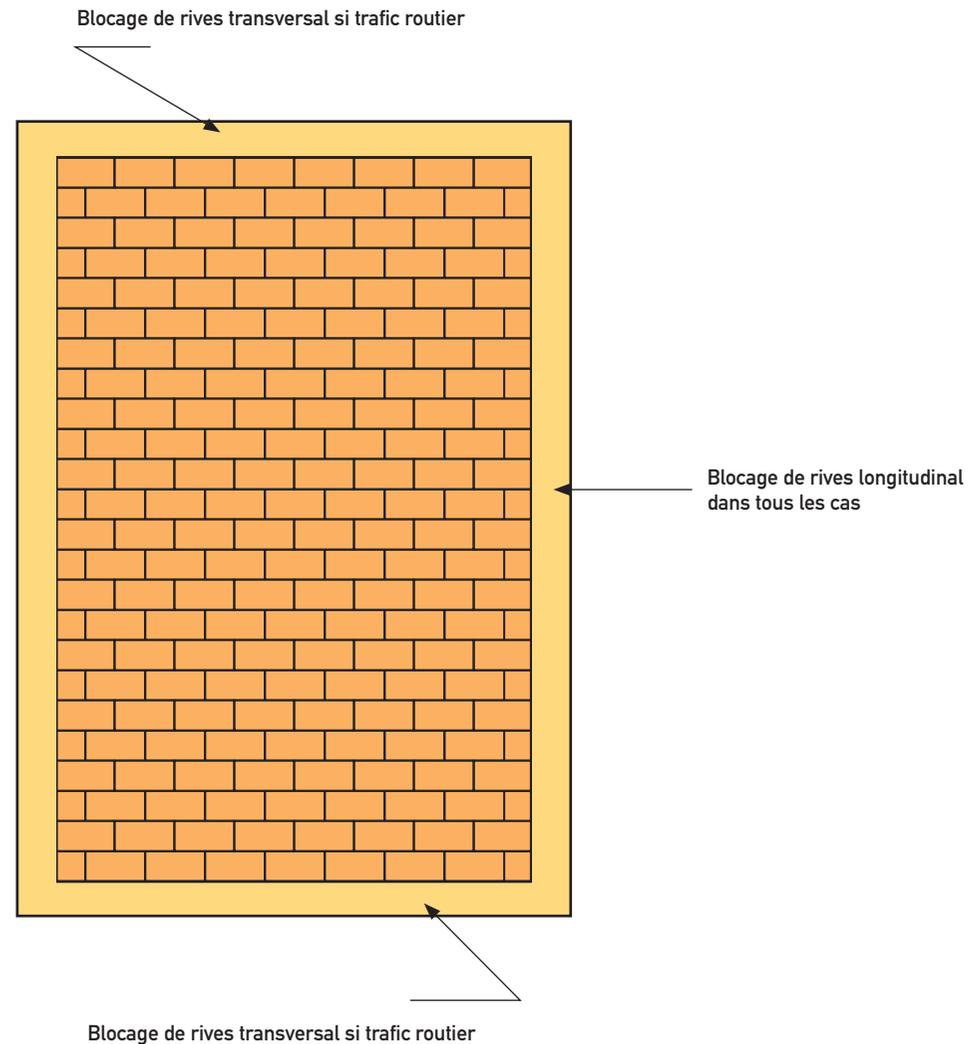
Lorsque les conditions géotechniques le permettent, les eaux de surfaces peuvent être évacuées par infiltration. Il est crucial que le lit de pose soit drainé pour éviter que l'eau y stagne et offrir ainsi une perméabilité suffisante. Il en est de même des sols de l'assise et de la plate-forme.

2.1.5 Délimitation des surfaces et blocage de rives

La délimitation des différentes surfaces qui composent l'aménagement doit tenir compte de la nécessité d'un blocage des rives. En effet, le trafic routier engendre des efforts horizontaux (freinage, accélération, changement de direction...). Il est donc important de ceinturer les zones pavées ou dallées pour éviter que les éléments ne se désolidarisent. Ce blocage peut prendre la forme de bordures, de caniveaux, de pavés scellés ou de longrines en béton.

Lorsque des surfaces sont revêtues de matériaux différents, la structure de chaussée doit intégrer, si nécessaire, des zones de transition (voir Chapitre 3 « Conception détaillée »).

Schéma de principe de blocage de rives



2.2 Esthétique et appareillage

Les produits préfabriqués en béton couvrent une vaste gamme de couleurs, textures et formes.

Ceci favorise la liberté de création des espaces urbains par une animation géométrique (par le choix des formes, des appareillages et du calepinage), le jeu des couleurs, des teintes et de la luminosité des surfaces.

2.2.1 Couleurs

Les bétons utilisés en préfabrication permettent d'obtenir un grand panel de couleurs. Les principaux paramètres à étudier pour ce faire sont :

- la couleur des granulats ;
- l'ajout de pigments ;
- la couleur du ciment.

La couleur des granulats

La qualité du granulat est prépondérante principalement pour les bétons dont la surface est traitée (lavée, désactivée, polie, grenillée, brossée, acidée, bouchardée...). Les différentes natures et les nombreuses provenances des granulats permettent d'obtenir de multiples couleurs. Le tableau suivant en présente quelques unes :

Couleur	Nature	Dénomination	Provenance
Blanc	Marbre	Carrare	Italie
		Jura	Ain
	Quartz	Inzinzac	Morbihan
	Calcaire	Pierre d'Ecuelle	Seine et Marne
Jaune	Siliceux	Rhin	Bas-Rhin
	Alluvions siliceuses	Palvadeau	Vendée
		Saint Gillis	Belgique
Marbre	Tournus	Allemagne	
Jaune Ocre	Silico-calcaire	Sienne	Italie
Orange	Calcaire	Vergèze	Gard
Beige	Calcaire	Saint Martin Belle roche	Saône-et-Loire
		Brignoles	Var
		Comblanchien	Côte-d'or
Rose	Quartzite	Hauteville	Ain
		Frehel	Sarthe
		Voegtlinshoffen	Haut Rhin
Rouge	Grès-quartzite	Pléhérel	Côtes-D'armor
		Granite	Roche en Brenil
		Roche en Brenil	Côte d'or
Bleu	Porphyre	Ligron	Deux-Sèvres
		Montauté	Nièvre
	Grès	Mouen	Calvados
		Vosges	Bas Rhin
Bleu	Calcaire	Vitrolles	Bouches du Rhône
	Marbre	Bleu Turquin	Haute Garonne
	Syénite	Labrador bleu (blue pearl)	Norvège
	Micro diorite	Meilleraie	Vendée
	Calcaire	Pierre bleue de Givet	Ardennes
	Porphyre	Rivolet	Rhône
Saint Nabord		Bas-Rhin	
Vert	Schiste	Men Avor	Morbihan
Gris	Marbre	Boulonnais	Pas-de-Calais
	Calcaire	Vallée Heureuse	
	Quartzite	Perrières	Calvados
Noir	Basalte	Raon l'Etape	Vosges

L'ajout de pigments

Les pigments sont également utilisés pour obtenir les couleurs souhaitées. Ils sont généralement disponibles sous trois formes : en poudre, en granulés (microbilles) ou en suspension aqueuse (liquide ou pâteuse) et représentent 1 à 5 % de la masse du ciment. Le tableau ci-contre en présente quelques-uns :

La couleur du ciment

La couleur du ciment ne vient généralement qu'en complément de l'une ou des deux autres solutions présentées (couleur des granulats et ajout de pigments). Plus particulièrement, lors de l'emploi de pigments jaunes, verts ou bleus un ciment blanc est dans la plupart des cas utilisé. Pour les teintes rouges, brunes ou noires un ciment gris peut convenir.

Couleur	Nature
Blanc	Pigment synthétique à base de dioxyde de titane
Jaune	Pigment synthétique à base d'oxyde de fer ou d'hydroxydes
Jaune vif	Pigment synthétique complexe à base de titane, nickel et antimoine
Ocre	Pigment naturel à base d'ocres
Ocre clair	Pigment synthétique complexe à base de titane, chrome et antimoine
Rouge	Pigment synthétique à base d'oxyde de fer ou d'hydroxydes
	Pigment naturel à base de terres ou d'ocres
	Pigment naturel à base de fer ou de ferromanganèses
Bleu	Pigment synthétique complexe à base de cobalt, chrome et aluminium
Vert	Pigment synthétique à base de dioxyde de chrome
Vert clair	Pigment synthétique complexe à base de cobalt, nickel, zinc, titane et aluminium
Brun	Pigment naturel à base de terres
	Pigment naturel à base de fer ou de ferromanganèses
	Pigment synthétique à base d'oxyde de fer ou d'hydroxydes
Noir	Pigment synthétique à base d'oxyde de fer ou d'hydroxydes
	Pigment synthétique à base de noir de carbone

Remarque – Il est important d'avoir en tête que les pigments sont « retenus » dans le liant. L'abrasion de ce dernier fera ressortir les granulats et leur couleur.

2.2.2 Textures

Les surfaces des éléments préfabriqués en béton peuvent être traitées sur béton frais ou béton durci afin de former différentes textures.

Surfaces traitées à l'état frais	
Types d'aspect	Obtention et description de l'aspect
Brossé, strié	Brossage ou décapage faisant apparaître partiellement les granulats
Lavé	Lavage au jet d'eau faisant apparaître partiellement les granulats

Surfaces traitées à l'état durci	
Types d'aspect	Obtention et description de l'aspect
Désactivé	Mise en place d'un désactivant sur la paroi du moule avant coulage. La surface est ensuite décapée au jet d'eau ou brossée pour faire apparaître les granulats.
Acidé	Attaque plus ou moins profonde de la surface à l'acide, puis rinçage à l'eau pour faire apparaître les grains fins ou les gros granulats.
Gommé	Sablage extrêmement fin de la surface pour procéder à une homogénéisation de l'aspect ou à un nettoyage.
Sablé	Surface attaquée à l'aide d'un jet de sable faisant apparaître plus ou moins les granulats.
Bouchardé	Attaque de la surface à l'aide d'une boucharde faisant éclater la surface du béton pour offrir un aspect rugueux plus ou moins prononcé. Ce traitement fait ressortir la structure interne des gros granulats.
Poncé	Parement attaqué superficiellement à la meule abrasive, dégageant partiellement les sables.
Grésé	Parement attaqué en profondeur à la meule abrasive pour faire ressortir la texture du béton. La surface est rugueuse et conserve les traces de l'outil.
Poli (mat ou brillant)	Obtention par polissage d'une surface unie, sans rayure apparente. Selon les granulats employés et le traitement final, la surface peut être mate ou brillante, exempte ou non de bullage.
Flammé ou brûlé	La surface est éclatée par l'action de la chaleur d'une flamme sur quelques millimètres pour faire ressortir les granulats.
Éclaté	Parement cassé par fendage faisant apparaître l'ensemble des constituants avec cassure des gros granulats.
Vieilli	Parement artificiellement vieilli par passage dans un tambour rotatif.

2.2.3 Formes

Pavés

Les pavés préfabriqués en béton peuvent prendre des formes très variées et s'adapter ainsi à la spécificité de chaque aménagement. En voici quelques types :



Dalles

Les dalles sont la plupart du temps carrées ou rectangulaires.



Bordures et caniveaux

Les profils des bordures et caniveaux préfabriqués en béton ont été définis pour répondre à un usage (voir Paragraphe 2.3 « Choix des produits »). La diversité des profils, normalisés ou non, permet en outre de répondre à des exigences esthétiques d'aménagement.



2.2.4 Mariages des surfaces et des produits

Les aménagements publics peuvent marier les types de surfaces pour combiner par exemple les éléments de type minéral et végétal.

Il est également possible de composer des surfaces en associant des dalles et des pavés. Il y a lieu toutefois de veiller à ce que les produits soient compatibles (épaisseurs notamment).

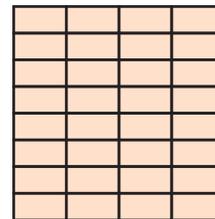
Exemples de mariages dalles/pavés



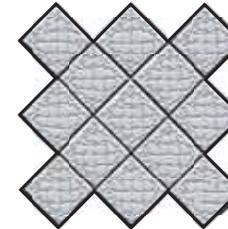
2.2.5 Appareillage

L'appareillage représente le motif constitué par l'assemblage des pavés ou des dalles. Il permet de répondre à des considérations esthétiques. Toutefois, l'appareillage a également un rôle mécanique (voir Chapitre 3 « Conception détaillée ») qui peut conduire à exclure certaines solutions esthétiques envisagées.

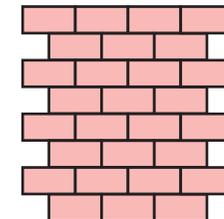
Les différents appareillages sont nombreux et dépendent de la forme des produits. En voici quelques exemples :



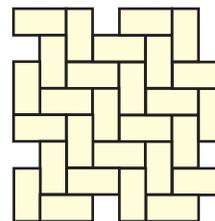
Pose à joints droits



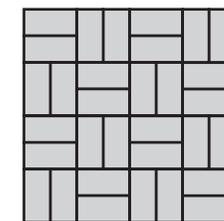
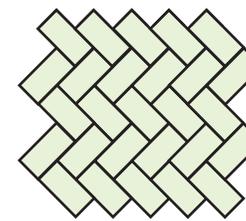
Pose en losange



Pose à joints croisés

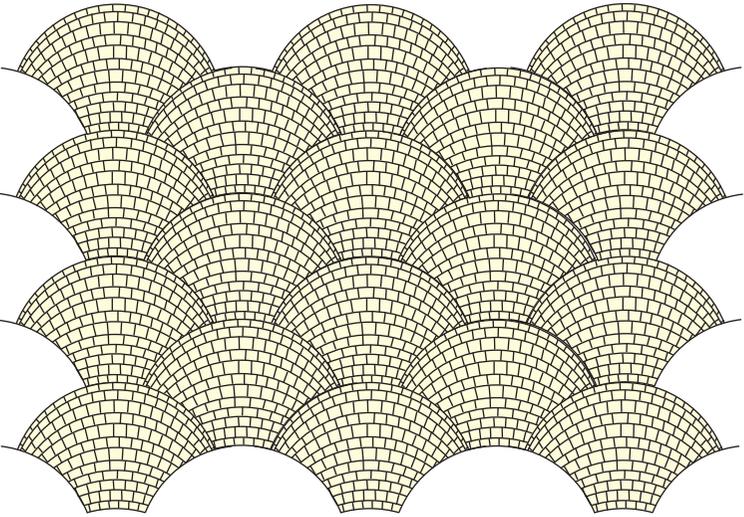


Pose en chevron

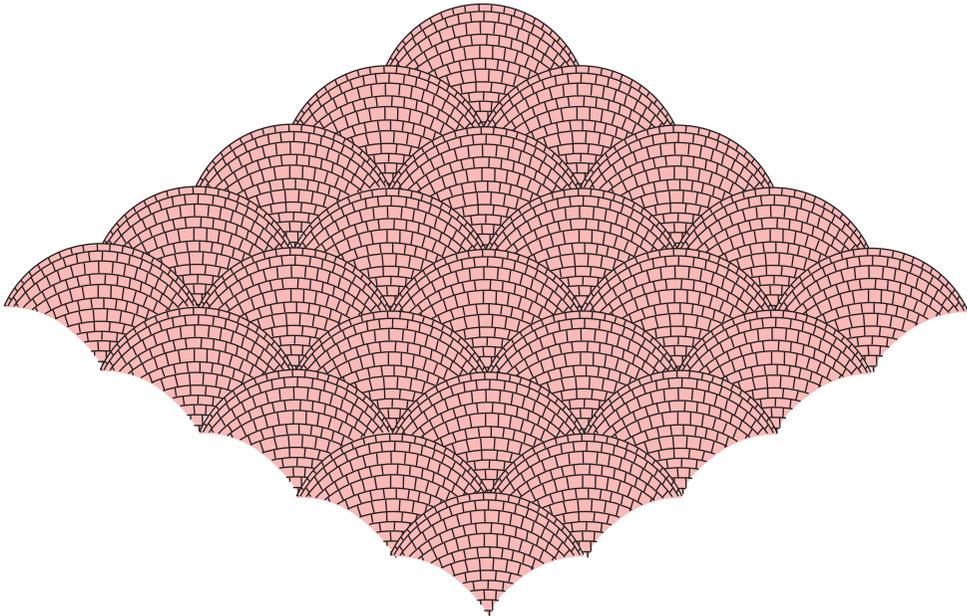


Pose en parquet

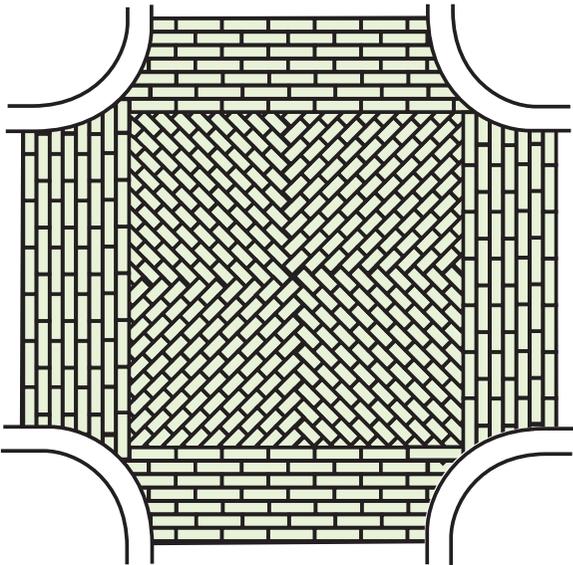
Des appareillages peuvent aussi être élaborés à une échelle plus importante



Pose en queue de paon



Pose en écaille ou en éventail



Pose en croix de chevalier

2.3 Choix des caractéristiques des produits

Ce chapitre présente les caractéristiques que doivent respecter les produits pour répondre aux exigences fonctionnelles définies précédemment. Pour chaque caractéristique normative du produit, il est mentionné les exigences fonctionnelles auxquelles elle permet de répondre, les essais prévus par les normes et les niveaux de performance :

- NF EN 1338 pour les pavés ;
- NF EN 1339 pour les dalles ;
- NF EN 1340 et NF P 98-340/CN pour les bordures et caniveaux.

2.3.1 Caractéristiques géométriques

Exigences fonctionnelles

La géométrie du produit participe à l'esthétique de l'ouvrage. Elle contribue à la facilité des opérations de mise en œuvre des éléments (mise en place, dressage...) et donc indirectement à la sécurité des utilisateurs (planéité).

La géométrie influence également sur la tenue au trafic (résistance mécanique induite par l'épaisseur des produits). Il faut donc vérifier deux paramètres : l'épaisseur nominale minimum pour les pavés et les dalles ainsi que la tolérance dimensionnelle d'une façon générale (voir annexe A.1.2).

Essais prévus par la norme

Les mesures des produits se font à l'aide d'un matériel capable d'effectuer des mesurages avec une précision de 0,5 mm.

Niveaux de performance

Les épaisseurs nominales minimum des pavés et des dalles sont définies par la norme NF P 98-335 et les référentiels des marques  en fonction du trafic :

- Épaisseur nominales minimum pour les pavés :

Classe de trafic	Utilisation de pavés béton	Épaisseur minimum des pavés (mm)
T5	Courante	60
T4		80
T3		80
T2	Nécessite une étude détaillée	100
T1		100

Le référentiel de la marque  applicable aux pavés de voirie (NF 072) retient deux épaisseurs nominales minimum pour les pavés : 60 mm (classe T5) et 80 mm (classe T3-4).

- Épaisseur nominales minimum pour les dalles :

Classe de trafic	Utilisation de dalles béton	Épaisseur minimum des dalles (mm)
T5	Courante	50
T4		100*
T3	Non	-
T2		-
T1		-

* 80 mm sous réserve d'une étude détaillée

Pour les charges de trafic léger, il n'est pas défini d'épaisseurs minimales des dalles mais il convient de respecter les exigences relatives à la résistance à la flexion.

Le référentiel de la marque  applicable aux dalles de voirie (NF 187) définit six classes de dalles correspondant aux trafics T5 et T4 mais aussi aux trafics légers.

Classes d'appellation 	Destination de la chaussée		Trafic maximal par jour
S4	Piétons et/ou Véhicules légers de charge par roue ≤ 6 kN		100
T7	Véhicules de livraison de charge par roue ≤ 9 kN		200
T11	Véhicules de charge par roue ≤ 25 kN	Circulation occasionnelle et à vitesse réduite	5 à vitesse inférieure ou égale à 30 km/h
U14		Circulation normale	60
U25	Véhicules de charge par roue ≤ 65 kN	Circulation occasionnelle et à vitesse réduite	5 à vitesse inférieure ou égale à 30 km/h
U30		Circulation normale*	60

* Cette classe de trafic peut être assimilée aux classes T5 et T4 de la norme NF P 98-082.

Pour tenir compte des largeurs de chaussées, on peut utiliser les tableaux suivants :

Largeur de chaussée inférieure ou égale à 5 m

Caractéristiques trafic						Pavés	Dalles	
Type trafic	Type véhicule	Charge par roue (daN)	Nombre de véhicules par jour et par sens	Nombre de véhicules cumulés dans les deux sens	Vitesse	Épaisseur mini	Classe	Épaisseur mini
Léger	VL	≤ 600	≤ 50	≤ 100	Normale	60	S4	40
	VL	≤ 900	≤ 100	≤ 200	Normale	60	T7	40
T5	PL	≤ 2500	$\leq 2,5$	≤ 5	Réduite (≤ 30 km/h)	60	T11	50
	PL	≤ 2500	$\leq 12,5$	≤ 25	Normale	60	U14	50
	PL	≤ 6500	$\leq 2,5$	≤ 5	Réduite (≤ 30 km/h)	60	U25	50
	PL	≤ 6500	≤ 25	≤ 25	Normale	60	U30	50
T4	PL	≤ 2500	de 13 à 25	de 26 à 50	Normale	80	U14	100 ⁽²⁾
	PL	≤ 6500	de 13 à 25	de 26 à 50	Normale	80	U30	100 ⁽²⁾
T3	PL	≤ 2500	de 25,5 à 30	de 51 à 60	Normale	80	U14	100
	PL	≤ 6500	de 51 à 150	de 51 à 150	Normale	80	NON	NON
T2	PL	-	de 75,5 à 150	de 151 à 300	Normale	100 ⁽¹⁾	NON	NON
T1	PL	-	de 150,5 à 375	de 301 à 750	Normale	100 ⁽¹⁾	NON	NON

⁽¹⁾ Nécessite une étude détaillée

⁽²⁾ 80 mm sous réserve d'une étude détaillée

Largeur de chaussée entre 5 m et 6 m

Caractéristiques trafic						Pavés	Dalles	
Type trafic	Type véhicule	Charge par roue (daN)	Nombre de véhicules par jour et par sens	Nombre de véhicules cumulés dans les deux sens	Vitesse	Épaisseur mini	Classe	Épaisseur mini
Léger	VL	≤ 600	≤ 67	≤ 100	Normale	60	S4	40
	VL	≤ 900	≤ 133	≤ 200	Normale	60	T7	40
T5	PL	≤ 2500	≤ 3	≤ 5	Réduite (≤ 30 km/h)	60	T11	50
	PL	≤ 2500	≤ 16	≤ 25	Normale	60	U14	50
	PL	≤ 6500	≤ 3	≤ 5	Réduite (≤ 30 km/h)	60	U25	50
	PL	≤ 6500	≤ 16	≤ 25	Normale	60	U30	50
T4	PL	≤ 2500	de 17 à 34	de 26 à 50	Normale	80	U14	100 ⁽²⁾
	PL	≤ 6500	de 17 à 34	de 26 à 50	Normale	80	U30	100 ⁽²⁾
T3	PL	≤ 2500	de 34 à 40	de 51 à 60	Normale	80	U14	100
	PL	≤ 6500	de 34 à 100	de 51 à 150	Normale	80	NON	NON
T2	PL	-	de 100 à 200	de 151 à 300	Normale	100 ⁽¹⁾	NON	NON
T1	PL	-	de 200 à 500	de 301 à 750	Normale	100 ⁽¹⁾	NON	NON

Largeur de chaussée supérieure à 6 m

Caractéristiques trafic					Pavés	Dalles	
Type trafic	Type véhicule	Charge par roue (daN)	Nombre de véhicules cumulés dans les un ou deux sens	Vitesse	Épaisseur mini	Classe	Épaisseur mini
Léger	VL	≤ 600	≤ 100	Normale	60	S4	40
	VL	≤ 900	≤ 200	Normale	60	T7	40
T5	PL	≤ 2500	≤ 5	Réduite (≤ 30 km/h)	60	T11	50
	PL	≤ 2500	≤ 25	Normale	60	U14	50
	PL	≤ 6500	≤ 5	Réduite (≤ 30 km/h)	60	U25	50
	PL	≤ 6500	≤ 25	Normale	60	U30	50
T4	PL	≤ 2500	de 26 à 50	Normale	80	U14	100 ⁽²⁾
	PL	≤ 6500	de 26 à 50	Normale	80	U30	100 ⁽²⁾
T3	PL	≤ 2500	de 51 à 60	Normale	80	U14	100
	PL	≤ 6500	de 51 à 150	Normale	80	NON	NON
T2	PL	-	de 151 à 300	Normale	100 ⁽¹⁾	NON	NON
T1	PL	-	de 301 à 750	Normale	100 ⁽¹⁾	NON	NON

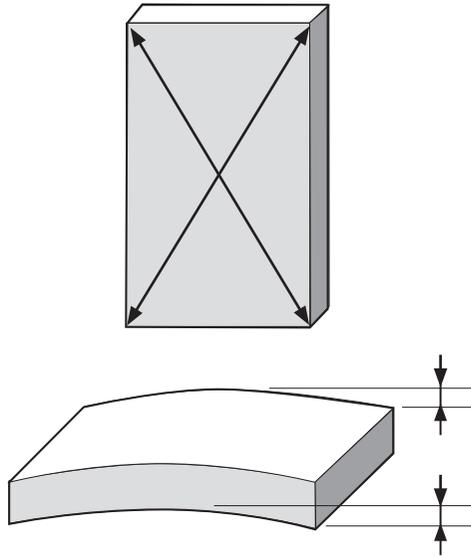
⁽¹⁾ Nécessite une étude détaillée

⁽²⁾ 80 mm sous réserve d'une étude détaillée

2.3.2 Résistance au gel/dégel

Exigences fonctionnelles

La résistance au gel/dégel répond aux exigences de résistance aux sollicitations climatiques et peut compléter l'absorption d'eau.



Essais prévus par la norme

L'impact du gel/dégel est mesuré en étudiant l'écaillage d'une surface déterminée d'un échantillon dont l'âge est compris entre 28 et 35 jours (voir annexe A.1.4).

Niveaux de performance

Un seul niveau est défini pour les pavés, dalles, bordures et caniveaux :

Classe	Marquage selon NF EN 1338, NF EN 1339 et NF EN 1340	Perte de masse (kg/m ²)
3	D	≤ 1 en moyenne avec aucun résultat individuel > 1,5

La marque **NF** reprend cette classe lorsque le risque de gel doit être pris en compte.

2.3.3 Absorption d'eau

Exigences fonctionnelles

L'absorption d'eau répond aux exigences de résistance aux sollicitations climatiques et de pérennité.

Essais prévus par la norme

Pour évaluer la résistance au gel-dégel et, pour les produits drainants mesurer leur aptitude à l'infiltration (le cas échéant au stockage) des eaux de ruissellement. L'objectif est donc de déterminer le pourcentage d'eau qu'un élément peut contenir (voir annexe A.1.3).

Niveaux de performance

Les normes spécifient (pavés, dalles, bordures et caniveaux) :

Classe	Marquage selon NF EN 1338, NF EN 1339, NF EN 1340	Absorption d'eau % en masse
1	A	Aucune performance mesurée
2	B	≤ 6 en moyenne

La marque **NF** impose la classe la plus haute pour tous ces produits.

2.3.4 Résistance mécanique

La résistance mécanique des produits s'effectue par fendage pour les pavés et par flexion pour les dalles, bordures et caniveaux.

2.3.4.1 Résistance au fendage des pavés

Exigences fonctionnelles

La résistance au fendage répond à l'exigence de tenue au trafic.

Essais prévus par la norme

Pour déterminer la résistance au fendage un essai est réalisé sur pavé (voir annexe A.1.5).

Niveaux de performance

La résistance en traction par fendage doit être supérieure ou égale à 3,6 MPa. Aucun test individuel ne doit être inférieur à 2,9 MPa, et aucune charge de rupture inférieure à 250 N/mm.

2.3.4.2 Résistance à la flexion des dalles, bordures et caniveaux

Exigences fonctionnelles

La résistance à la flexion répond à l'exigence de tenue au trafic.

Essais prévus par la norme

La résistance d'une dalle ou d'une bordure se mesure à l'aide d'un essai de flexion en 3 points sur l'échantillon (voir annexe A.1.6).

Niveaux de performance

Pour les dalles, la norme NF EN 1339 définit les trois classes de résistance suivantes :

Classe	Marquage selon NF EN 1339	Valeur caractéristique (MPa)	Valeur minimale des résultats individuels (MPa)
1	S	3,5	2,8
2	T	4	3,2
3	U	5	4

La marque **NF** reprend les marquages qu'elle divise en catégories indiquant la charge de rupture. Cela permet d'optimiser l'utilisation, découpage plus fin en catégorie d'utilisations pour une pose sur lit de sable :

Classe d'appellation	Résistance à la flexion (MPa)	Charge de rupture (kN)	Véhicules de charge par roue (daN)	Nb véhicules max par jour par sens
S4	3,5	4,5	≤ 600	100
T7	4	7	≤ 900	200
T11		11	≤ 2 500	5 à vitesse réduite
U14	5	14		≤ 6 500
U25		25	5 à vitesse réduite	
U30		30	60	

Pour les bordures la norme NF EN 1340 définit les trois classes de résistance suivantes :

Classe	Marquage selon NF EN 1340	Valeur caractéristique (MPa)	Valeur minimale (MPa)
1	S	3,5	2,8
2	T	5,0	4,0
3	U	6,0	4,8

La marque **NF** reprend les trois classes en spécifiant un domaine d'emploi recommandé :

Classe de résistance mécanique NF	Valeur caractéristique (MPa)	Domaine d'emploi recommandé
S	3,5	Lorsqu'on peut avoir la certitude que les éléments ne seront soumis qu'à des efforts réduits
T	5,0	Emploi courant
U	6,0	Voiries urbaines à circulation intense. Chaque fois que des efforts particulièrement importants sur les bordures peuvent être escomptés

Remarque – Les seules bordures dimensionnées pour un franchissement routier sont celles de type A. Mais toutes les bordures doivent pouvoir résister à un franchissement occasionnel (stationnement de voitures par exemple).

2.3.5 Résistance à l'abrasion

Exigences fonctionnelles

La résistance à l'abrasion permet de répondre à l'exigence esthétique et de pérennité. Elle influence également indirectement l'exigence de tenue au trafic puisque l'abrasion diminue l'épaisseur du produit.

Essais prévus par la norme

L'essai de référence est celui de la machine d'abrasion à disque large (voir annexe A.1.7). Si les conditions l'exigent un essai de remplacement peut être envisagé : l'essai de Böhme.

Niveaux de performance

Pour les pavés et les bordures, les normes définissent les classes suivantes :

Classe	Marquage selon NF EN 1338 et NF EN 1340	Prescription	
		Essai à la machine disque large	Essai Böhme
1	F	Aucune performance mesurée	Aucune performance mesurée
2	H	≤ 23 mm	≤ 20 000 mm ³ / 5 000 mm ²
3	I	≤ 20 mm	≤ 18 000 mm ³ / 5 000 mm ²

Pour les dalles la norme définit les classes suivantes :

Classe	Marquage selon NF EN 1339	Prescription	
		Essai à la machine disque large	Essai Böhme
1	F	Aucune performance mesurée	Aucune performance mesurée
2	G	≤ 26 mm	≤ 26 000 mm ³ / 5 000 mm ²
3	H	≤ 23 mm	≤ 20 000 mm ³ / 5 000 mm ²
4	I	≤ 20 mm	≤ 18 000 mm ³ / 5 000 mm ²

Quel que soit l'élément (pavé, dalle, bordure ou caniveau), la marque  définit une classe d'abrasion ≤ 23 mm (marquage **CE** « H »).

Cette résistance à l'abrasion n'est pas mentionnée car elle est toujours présente.

2.3.6 Résistance à la glissance

Exigences fonctionnelles

La résistance à la glissance permet de répondre à l'exigence de sécurité des utilisateurs.

Essais prévus par la norme

L'essai décrit dans l'annexe E des normes NF EN 1338 (Pavés) et 1339 (Dalles), ainsi que dans l'annexe I de la norme NF EN 1340 (Bordures et caniveaux) utilise un pendule de frottement qui permet de mesurer la résistance à la glissance (voir annexe A.1.8).

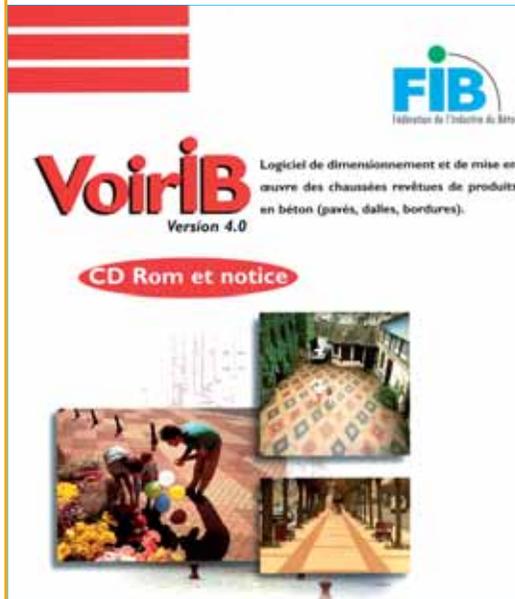
Niveaux de performance

Cet essai n'est à réaliser que pour les éléments qui ont été meulés ou polis pour obtenir une surface très lisse. Dans ce cas, il faut spécifier la valeur de résistance à la glissance au pendule. Dans tous les autres cas les éléments en béton sont réputés posséder une résistance à la glissance satisfaisante.

Il convient de noter que la norme NF P 98-335 précise que le risque de glissement est avéré lorsque la valeur moyenne de résistance au glissement mesurée au pendule SRT est inférieure à 35. On considère généralement qu'il n'y a pas de risque de glissement pour des valeurs supérieures à 40.

2.4 Dimensionnement structurel (pavés et dalles)

La conception mécanique peut être traitée en utilisant le logiciel VoirIB développé par le CERIB.



2.4.1 Choix de la classe de trafic

Comme expliqué au chapitre 1, le comptage du trafic est exprimé en nombre de poids lourds par jour et par sens de circulation. Cependant le dimensionnement d'une structure de chaussée est basé sur le trafic cumulé qui va la solliciter au cours de sa durée de service. Ce trafic est exprimé en nombre d'essieux équivalents et se calcule à l'aide de la formule qui suit :

$$N_e = MJA \times 365 \times C \times CAM$$

avec :

N_e : Nombre d'essieux équivalents

MJA : Moyenne Journalière Annuelle initiale

C : facteur de cumul

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

où :

d : durée de service (années)

t : taux d'accroissement du trafic sur la période considérée (%)

CAM : Coefficient d'Agressivité Moyenne

2.4.2 Choix de la portance

Généralement, pour déterminer la portance du sol support l'une des trois méthodes suivantes est utilisée :

- essai à la plaque statique : module EV2 (norme NF P 94-117-1);
- essai de Westergaard : coefficient de réaction (projet de norme NF P 94-117-3);
- indice portant CBR (norme NF P 94-078).

2.4.3 Choix de l'assise

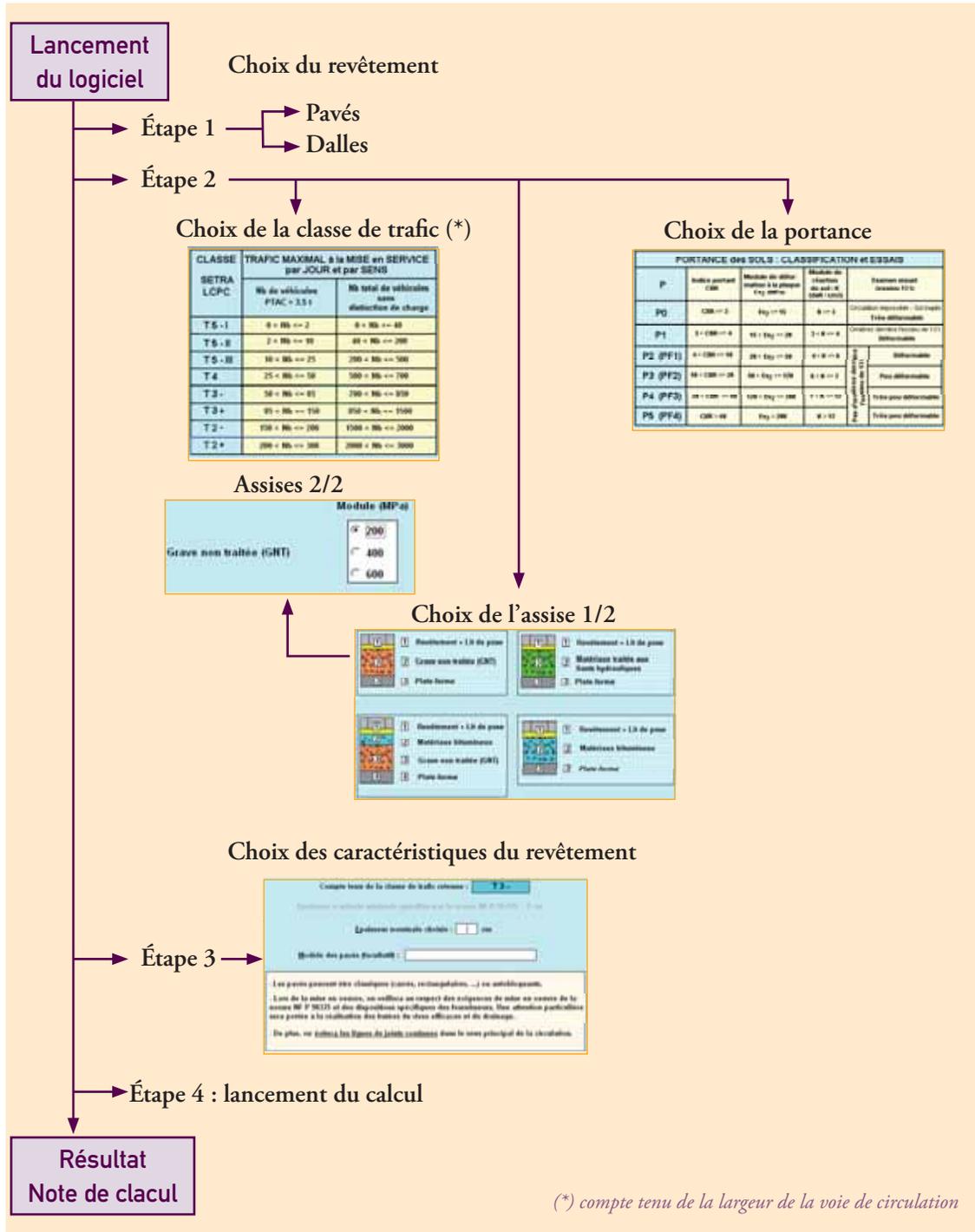
La structure de la chaussée peut être souple, mixte ou rigide.

Le logiciel VoirIB permet de traiter les assises suivantes :

- matériaux non traités (grave non traitée) ;
- matériaux traités aux liants hydrauliques (grave ciment, béton de ciment, sable ciment, sable laitier, grave laitier) ;
- matériaux bitumineux (grave bitume, émulsion bitume) ;
- structures mixtes (grave non traitée, matériaux bitumineux).

2.4.4 VoirIB

Les données d'entrée nécessaires à la conception sont synthétisées ci-après :



2.5 Pose

Le choix du type de pose est conditionné :

- d'une part par le poids des produits et la cadence de pose, qui orienteront vers une pose mécanisée ou manuelle ;
- d'autre part par les sollicitations et les conditions d'exploitation prévues pour les ouvrages qui conditionnent la nature de leur lit de pose et des joints.

Le mode de pose doit être pris en compte dès l'avant projet pour tenir compte des délais de réalisation mais aussi des emprises nécessaires au chantier et des interactions avec les infrastructures existantes (les réseaux notamment).

2.5.1 Type de pose

Pose mécanisée

La pose se fera par « plaque » d'éléments. Il sera donc nécessaire de s'assurer que ce type de pose est compatible avec la complexité de l'appareillage choisi.

De plus la pose mécanisée nécessite un compactage léger (pré-compactage) du lit de pose pour éviter un orniérage au passage de l'engin de pose.

L'engin de pose doit toujours circuler sur les produits posés et non sur le lit de pose.

Pose manuelle

La pose se fait en partant du point bas lorsque la pente est significative. De plus, suivant l'appareillage, la progression de pose sera différente.



2.5.2 Lit de pose (pavés et dalles) et fondation (bordures et caniveaux)

Pavés

Les pavés se posent généralement sur un lit de sable ou gravillons (granulométrie 2/4 notamment).

Dans les situations où le risque d'entraînement des éléments constituant le lit de pose est important, il est possible de recourir à du sable stabilisé au ciment. Certaines pratiques (nettoyage sous pression des surfaces, eau de ruissellement et pente prononcée...) peuvent conduire également à utiliser du sable stabilisé.

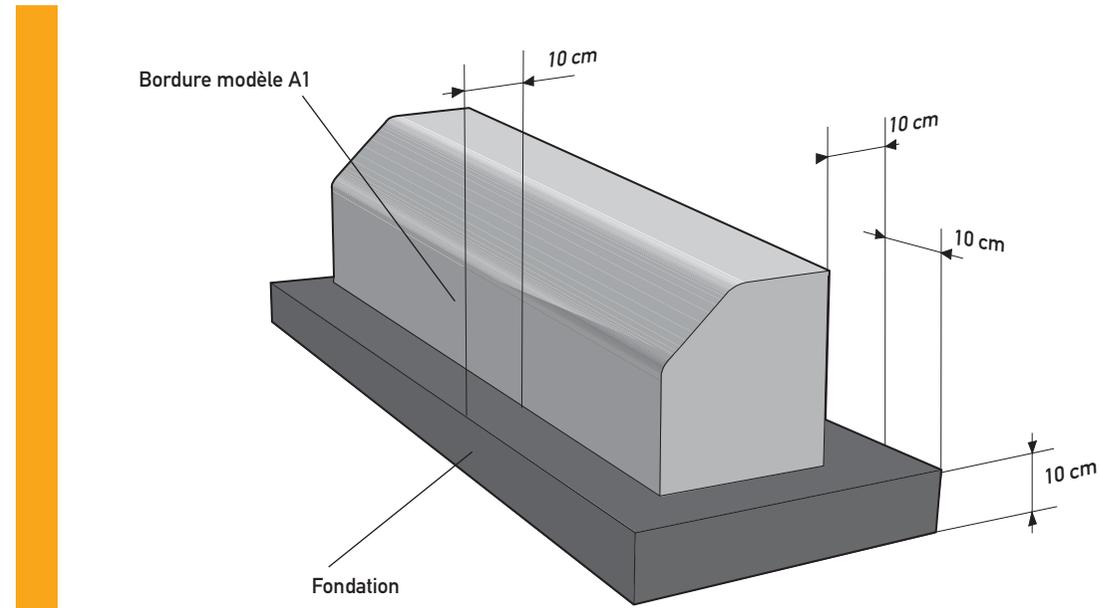
Le mortier est réservé à des ouvrages très singuliers et très ponctuels pour lesquels les deux premières solutions ne peuvent être utilisées.

Dalles

Les dalles se posent essentiellement sur sable (le cas échéant stabilisé) ou sur mortier.

Elles sont également posées parfois sur plots. Dans ce cas, une attention particulière doit être portée au niveau du dimensionnement des dalles puisque leur fonctionnement ne sera pas le même sur appui ponctuel (plot) ou surfacique (sable, sable stabilisé ou « mortier adhérent »). L'annexe informative D de la norme NF P 98-335 donne à ce sujet une méthode de dimensionnement mécanique des dalles posées sur plot.

Schéma de fondation minimum pour les bordures franchissables A1



Bordures et caniveaux

Les bordures et les caniveaux sont posés sur fondation béton (classe C16/20 minimum) d'épaisseur minimale 10 cm de largeur au moins égale à la largeur de la bordure + 10 cm minimum de part et d'autre.

Chapitre 3 : Conception détaillée

Ce chapitre présente les règles détaillées de conception des ouvrages à partir de pavés, dalles et bordures préfabriqués en béton. Il reprend et complète les sujets abordés dans le chapitre 2 « Conception générale ».

Ce chapitre traite de :

3.1	Implantation et utilisation de l'espace	34
3.1.1	Rayons de courbure minimaux.	34
3.1.2	Pentes et différences de niveaux	35
3.1.3	Aménagements nécessaires à la sécurité et l'accessibilité des utilisateurs	38
3.1.4	Drainage des eaux de ruissellement	44
3.1.5	Délimitation des surfaces et blocage de rives.	48
3.2	Esthétique et appareillage	50
3.2.1	Types de pavés et de dalles et profils des bordures.	50
3.2.2	Appareillage	53
3.3	Choix des caractéristiques des produits	58
3.4	Pose	60
3.4.1	Lit de pose (pavés et dalles)	60
3.4.2	Largeur de joints (pavés et dalles)	60
3.4.3	Fondation des bordures	60
3.4.4	Calage des bordures	62
3.5	Maîtrise de la qualité	63
3.5.1	Travaux préalables au chantier	64
3.5.2	Conformité des produits	64
3.5.3	Contrôles des ouvrages	64
3.5.4	Mise en service	65
3.5.5	Entretien	65
3.5.6	Nettoyage de la surface pavée ou dallée	65
3.5.7	Regarnissage des joints	66
3.5.8	Démontage et remplacement des pavés et dalles en béton	66
3.6	Développement durable	68
3.6.1	Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES)	68
3.6.2	Extraits de la FDES pavés	69

Coupe de chaussée

1. Blocage de rives (§ 3.1.5)
2. Drainage (§ 3.1.4)
3. Appareillage (§ 3.2.2)
4. Dispositifs d'about (§ 3.2.2)
5. Lit de pose (§ 3.4.1)
6. Largeur des joints (§ 3.4.2)

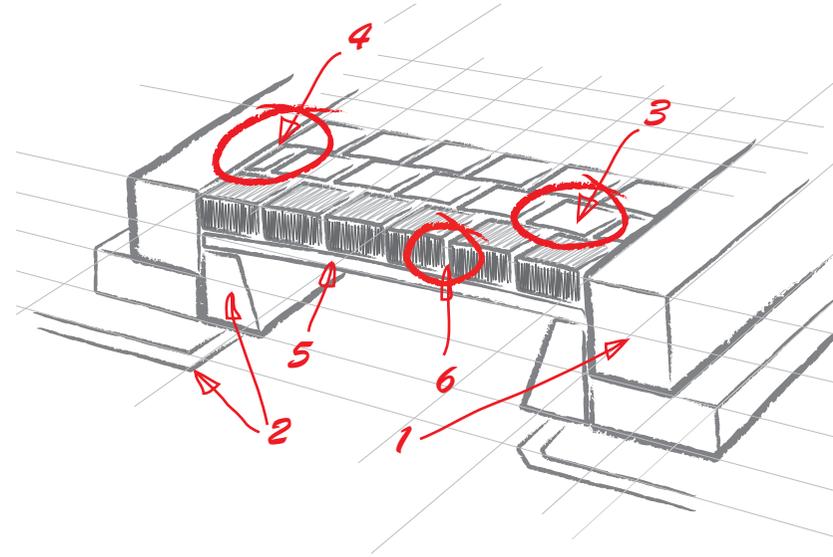
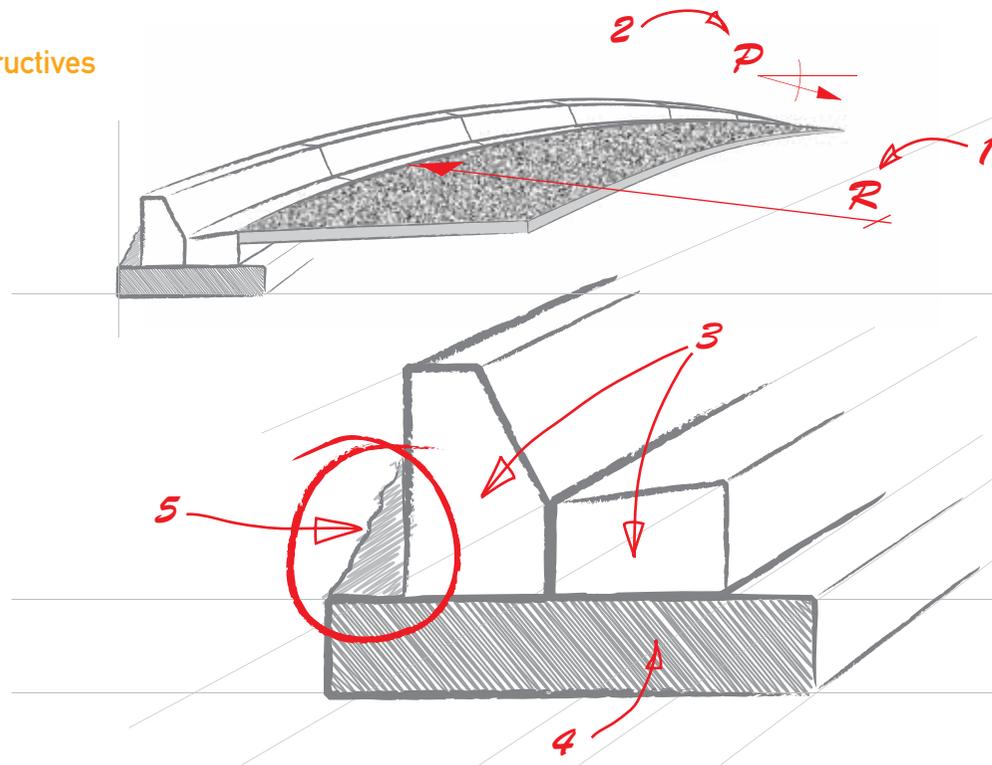


Schéma type de dispositions constructives

1. Rayon de courbure (§ 3.1.1)
2. Rampes et pentes (§ 3.1.2)
3. Choix du profil (§ 3.2.1)
4. Fondation (§ 3.4.3)
5. Système de calage (§ 3.4.4)

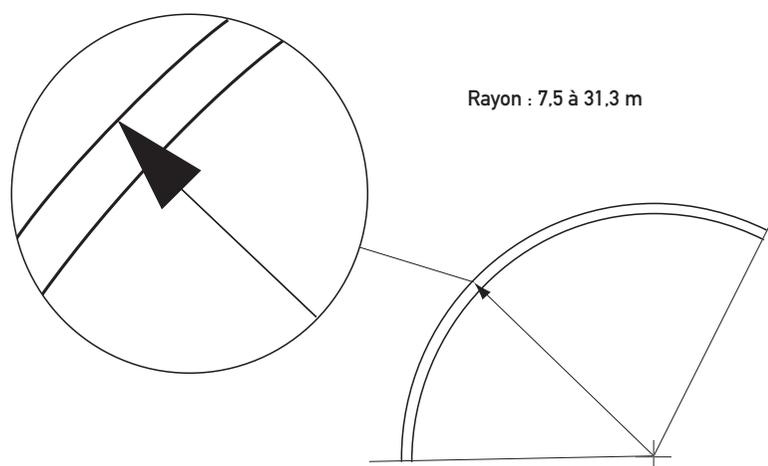


3.1 Implantation et utilisation de l'espace

3.1.1 Rayons de courbure minimaux

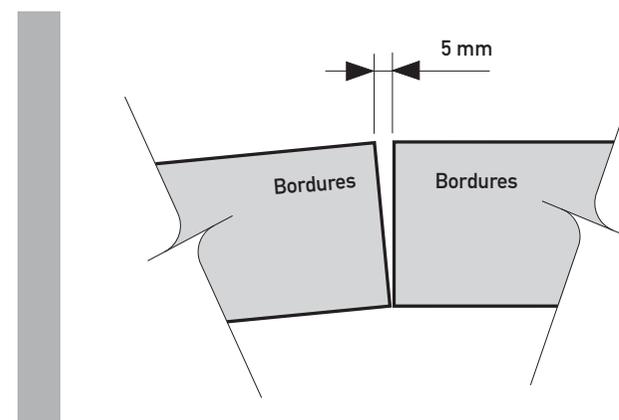
Sur la base d'éléments d'un mètre de longueur, les rayons de courbure minimaux sont :

Largeur de l'élément (cm)	Rayon de courbure mini (m)	Type d'élément (bordures et caniveaux)
12	7,5	T1
15	9,4	A2, T2
17	10,6	T3
20	12,5	A1, T4, CS1
25	15,6	I1, I2, CS2, CS3
30	18,8	I3, I4, CS4
40	25	CC1
50	31,3	CC2



Ces valeurs tiennent compte des tailles maximales des joints, entre les éléments spécifiés, par le fascicule 31 du CCTG¹ « Bordures et caniveaux en pierre naturelle ou en béton et dispositifs de retenue en béton », et limite leur ouverture à 5 mm.

Vue en plan



Pour réaliser des rayons de courbure plus faibles il est possible de recourir à des éléments courbes ou des éléments découpés. Cette dernière solution augmentera le nombre de joints et diminuera ainsi le rayon de courbure réalisable. Il faudra cependant porter une attention particulière aux opérations de découpe qui entraîneront dans la plupart des cas des pertes (parties de bordures inutilisables car trop petites...) des manipulations et un équipement supplémentaires.

⁽¹⁾ *Cahier des Clauses Techniques Générales*

3.1.2 Pentes et différences de niveaux

Arrondis et chanfreins

Les ressauts (différences de niveau inférieures à 2 cm) peuvent être repris par des chanfreins et des arrondis qui peuvent être intégrés dans le profil de la bordure. Le ressaut peut, exceptionnellement, se monter à 4 cm si la bordure est chanfreinée dans une proportion de 1 pour 3.

Schéma de principe pour les arrondis

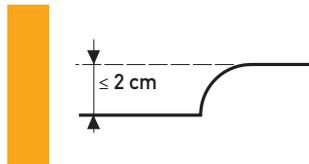
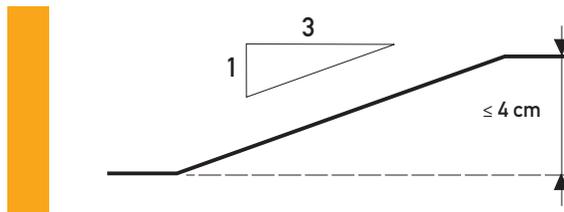


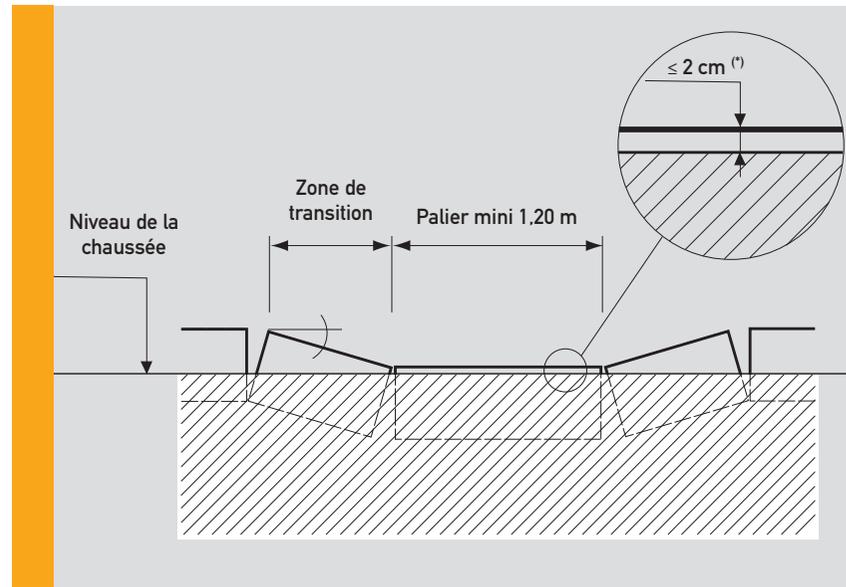
Schéma de principe pour les chanfreins



Abaissement du niveau des bordures

Pour les dénivelés plus importants, par exemple pour réaliser un bateau ou un passage de traversée de piétons, l'abaissement du niveau des bordures peut être nécessaire. La dénivellation entre le haut de la bordure abaissée et la chaussée ne doit pas dépasser 2 cm. Cette dénivellation est traitée en ressaut (voir paragraphe précédent).

Schéma type d'un abaissement de bordures



(*) 4 cm si la bordure est chanfreinée dans une proportion de 1 pour 3

L'article 1 de l'arrêté du 15 Janvier 2007 impose un abaissement des bordures sur une longueur d'au moins 1,20 mètre (distance nécessaire au passage de fauteuils roulants) au niveau des passages de traversée des piétons. En fonction de la hauteur du trottoir par rapport à la chaussée plusieurs solutions sont possibles pour la composition de la zone de transition :

Éléments de bordure constituant la pente	Pente maxi autorisée (%)	Abaissement (cm)	Ressaut (cm)	Hauteur trottoir abaissable (cm)
1 élément de 1 m	8	8	2	10
1 élément de 1 m	8	8	4(*)	12

(*) si la bordure est chanfreinée dans une proportion de 1 pour 3

Lorsque la place manque (intersection proche...) :

Éléments de bordure constituant la pente	Pente maxi autorisée (%)	Abaissement (cm)	Ressaut (cm)	Hauteur de trottoir abaissable (cm)
Un demi-élément de 1 m	12	6	4	10
Une découpe de 0,4 m ⁽¹⁾	12	3	4	7

Lorsque la zone de transition peut être plus longue :

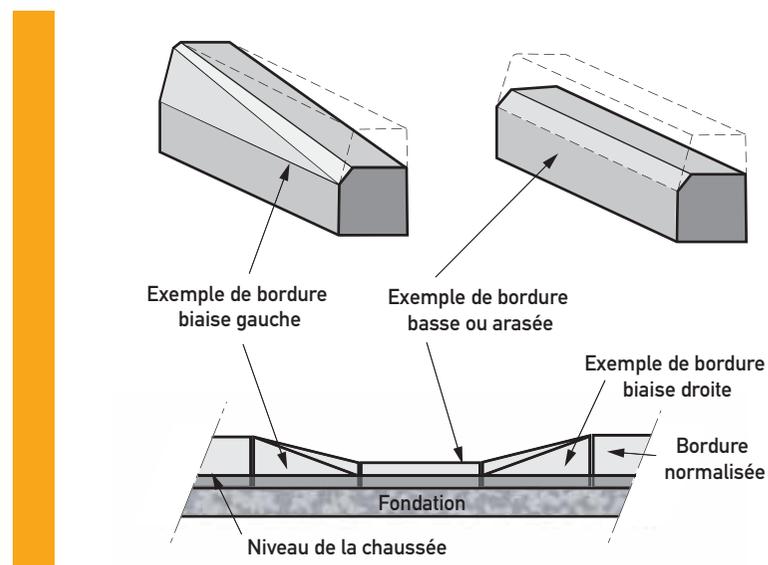
Éléments de bordure constituant la pente	Pente maxi autorisée (%)	Abaissement (cm)	Ressaut (cm)	Hauteur de trottoir abaissable (cm)
Deux éléments de 1 m	8	14	2	16
Un élément et demi de 1 m	8	12	4	16
Un élément de 1 m et une découpe de 0,4 m ⁽¹⁾	8	11	4	15

⁽¹⁾ La découpe d'une bordure de 1 m permet d'obtenir un élément de 0,40 m pour la pente et un élément de 0,60 m pour le palier abaissé. Celui-ci est constitué de 2 éléments de 0,60 m ce qui permet d'obtenir la largeur minimale requise de 1,20 m.

Il existe aussi des bordures spéciales :

- Bordures de raccordement (aussi appelées biaises), qui assurent la transition entre le niveau courant de la bordure et son niveau abaissé.
- Bordures basses (aussi appelées arasées suivant la hauteur apparente de la bordure), qui permettent de réaliser un abaissement sans avoir à impacter la fondation sous les bordures (pas de différence de niveau).

Utilisation de bordures de raccordement

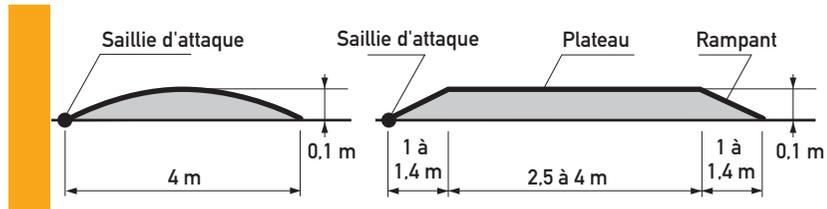


Ralentisseurs

Les ralentisseurs sont implantés sur la largeur totale de la voirie (ce qui n'est pas le cas des coussins ralentisseurs). Les dimensions géométriques des ralentisseurs sont définies par la norme NF P 98-300 qui définit la hauteur à respecter, les pentes et emprises.

Ces ouvrages peuvent être réalisés en pavés, notamment pour la réalisation du plateau. Un blocage des rives transversales à la circulation est nécessaire (voir Paragraphe 3.1.5).

Ralentisseurs



Pentes maximales des ouvrages pavés et dallés

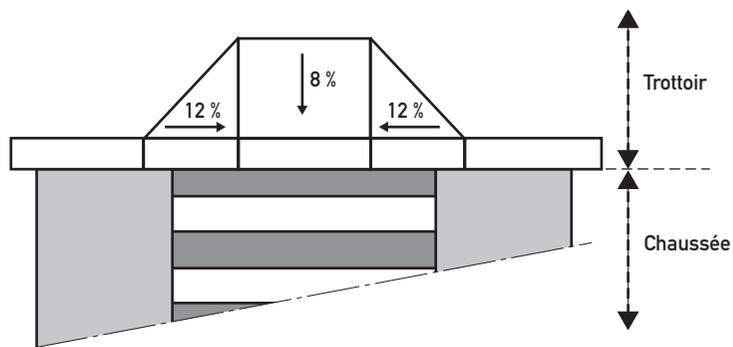
Lorsque les surfaces pavées ou dallées présentent une forte pente (de l'ordre de 10 % ou plus), une pose sur sable présente des risques de migration de matériau et de déstructuration du lit de pose. Les poses sur sable stabilisé ou sur mortier (sous réserve d'une faible surface) peuvent alors être utilisées. Il y a lieu de s'assurer du bon blocage des rives.

3.1.3 Aménagements nécessaires à la sécurité et l'accessibilité des utilisateurs

Passage de traversée de piétons

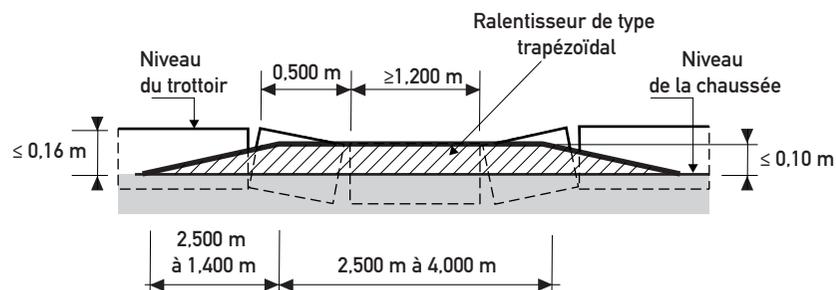
Lorsque les passages de traversée de piétons sont au niveau de la chaussée, il y a lieu d'aménager des pentes permettant l'utilisation par les personnes à mobilité réduite (voir Paragraphe 3.1.2).

Schéma de principe d'un passage traversée piétonne



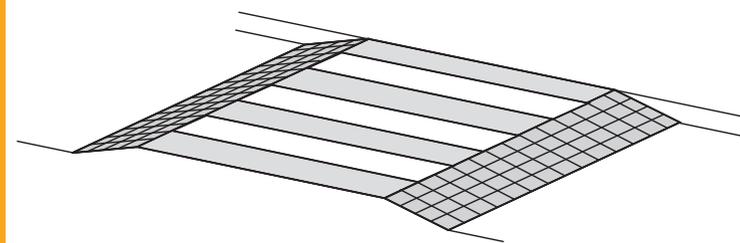
Lorsque les passages sont surélevés, l'abaissement des bordures pourra prendre la forme décrite sur le schéma suivant :

Schéma de principe d'un passage traversée piétonne surélevée



Sous réserve d'un calage de rive efficace, il est aussi possible de réaliser les pentes de transition en pavés. Cette disposition facilite le guidage des personnes mal ou non voyantes à la manière des bandes d'éveil de vigilance.

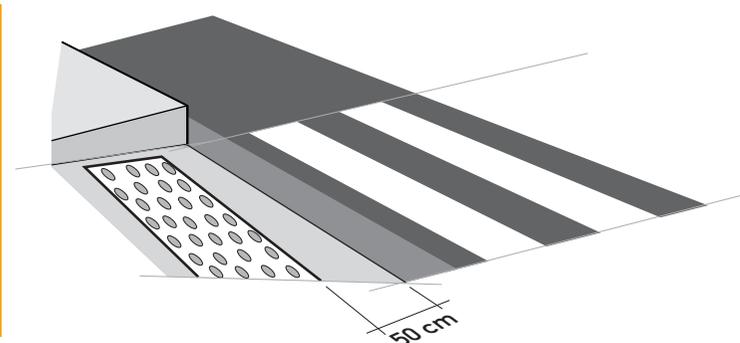
Schéma de passage de traversée de piétons surélevé avec des pentes pavées



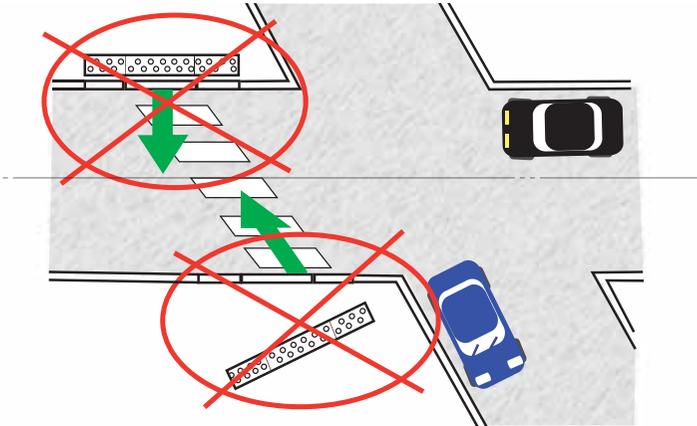
Pour la réalisation de passages de traversée de piétons, l'arrêté du 15 janvier 2007 impose la règle suivante : la bande d'éveil de vigilance (BEV) doit être placée à une distance de 50 cm du nez du trottoir. Cette distance délimite le « pas de freinage ».

De plus, la norme NF P 98-350, impose un positionnement de la bande parallèle à la chaussée. Elle doit être présente sur toute la longueur de bordure abaissée.

Positionnement des Bandes d'Éveil de Vigilance (BEV)

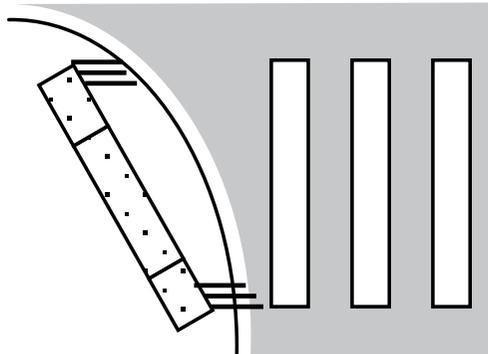


L'implantation des bandes d'éveil de vigilance est normalisée et les dispositions suivantes sont proscrites :



Cas 1 : la bande d'éveil de vigilance est parallèle au bord du trottoir et le passage piéton n'est pas perpendiculaire au bord du trottoir

Cette implantation n'est pas autorisée par la norme NF P 98-350. Elle ne permet pas à la personne mal ou non voyante de se rendre compte que le passage piéton n'est pas perpendiculaire au trottoir. La personne risque donc de ne pas retrouver le trottoir d'en face. Il existe néanmoins des techniques permettant de réduire les risques au niveau des passages existants (éléments de guidage).



Cas 2 : la bande d'éveil de vigilance est perpendiculaire au passage piéton et le passage piéton n'est pas perpendiculaire au bord du trottoir

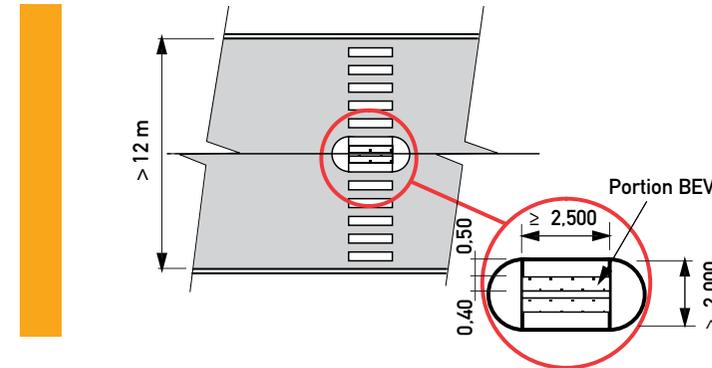
Cette configuration n'est pas autorisée par la norme NF P 98-350 qui impose une implantation de la bande d'éveil de vigilance parallèle à l'axe de la chaussée.

Ilot de refuge

Lorsque le passage de traversée de piétons est d'une longueur supérieure à 12 m, un îlot de refuge doit être prévu.

Les règles applicables sont :

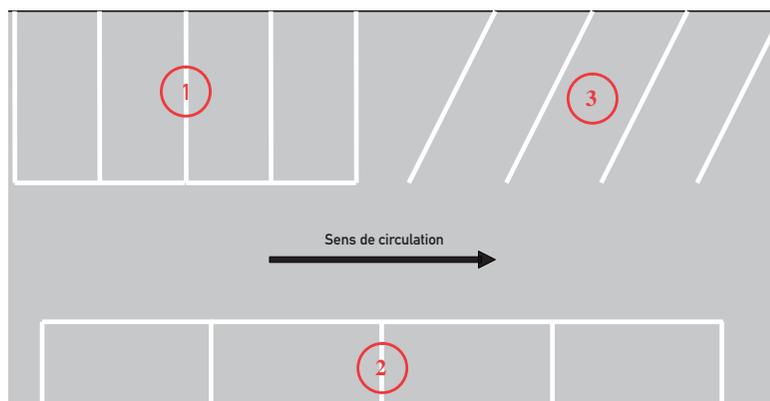
- la zone de refuge circulable doit avoir une longueur au moins égale à la largeur du passage piéton matérialisé au sol ($\geq 2,50$ m),
- la largeur de la zone de refuge doit être d'au moins deux mètres pour qu'une personne en fauteuil roulant puisse y être en sécurité.



Tant que l'on n'a pas une distance supérieure à 50 cm entre les deux BEV, l'espace intermédiaire doit être comblé avec des portions de BEV (comme dans l'exemple ci-dessus).

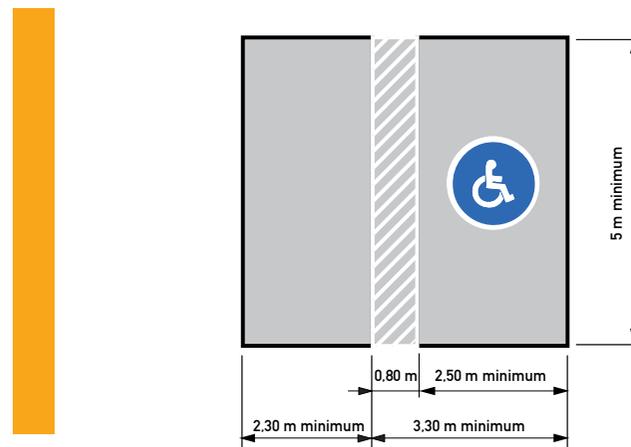
Stationnement

Les places de stationnement sont généralement disposées en bataille (1), en créneau (2) ou en épi (3).



Les dimensions minima d'une place de stationnement standard sont : largeur de 2,30 m et longueur 5 m. Le long d'un mur la largeur se portera à 2,50 m.

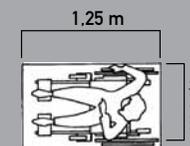
Une place de stationnement est dite aménagée pour les personnes handicapées si elle comporte, latéralement à l'emplacement prévu pour la voiture, une bande d'une largeur minimale fixée par arrêté, libre de tout obstacle, protégée de la circulation automobile et reliée par un cheminement praticable à l'entrée de l'installation (extrait de l'article 5 du décret n° 78-109 du 1^{er} Février 1978). Sa largeur est de 2,50 m auxquels s'ajoutent les 80 cm de la bande d'accès.



Circulation

Différents dispositifs peuvent être mis en œuvre pour garantir la sécurité de la circulation. Ceux-ci peuvent être réalisés en utilisant des produits modulaires en béton préfabriqués.

Rappel – Les dimensions « enveloppe » d'une personne en fauteuil roulant sont d'après la norme NF P 98-350 « Cheminement – Insertion des handicapés » :

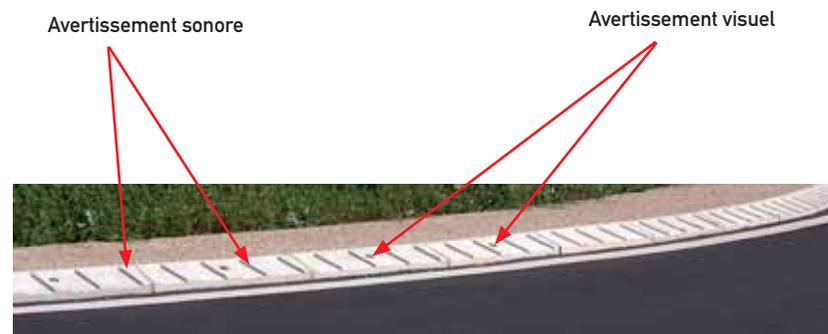


Ilots directionnels pour améliorer les conditions de circulation

Les îlots directionnels permettent de structurer les espaces de circulation et de canaliser les flux.



Ils peuvent être réalisés à partir de bordures spécialement prévues pour cet emploi (bordure de type I). Le profil des bordures peut permettre leur emploi comme avertisseur acoustique afin d'alerter les conducteurs les chevauchant. Il peut être complété, le cas échéant, par un avertisseur visuel.



Dispositifs de séparation de voies

La séparation de voies de circulation automobile ou la matérialisation de pistes cyclables en bord de voie peuvent être réalisées par l'emploi de produits préfabriqués en béton.

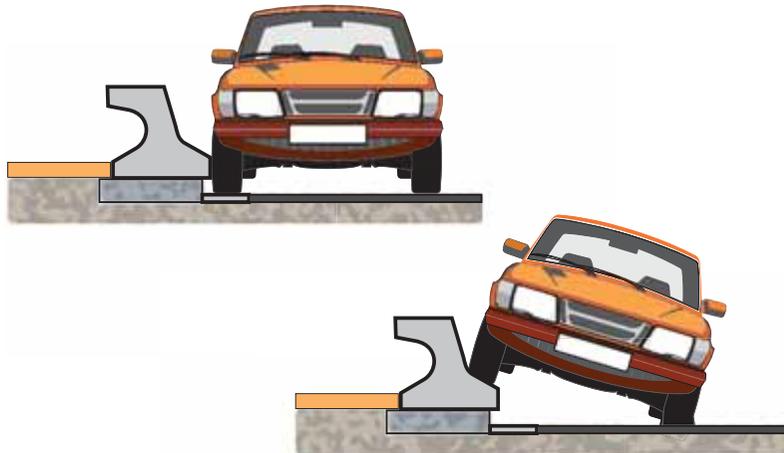


Dispositifs de protection dans les zones de circulation dangereuse

Les éléments de protection urbains (EPU) permettent de protéger les piétons dans les zones de circulation dangereuse et de canaliser les véhicules en intégrant des dispositifs chasse-roues.



EPU : Guidage et protection



Coussins ralentisseurs

Afin de limiter la vitesse des véhicules des coussins ralentisseurs préfabriqués en béton peuvent être utilisés.



3.1.4 Drainage des eaux de ruissellement

La conception du drainage des eaux de ruissellement se base sur les paramètres topographiques, les données pluviométriques, les décisions d'aménagement urbain et les contraintes d'acheminement et de rejet des eaux au milieu naturel. Pour chaque étape il est possible d'énoncer les règles suivantes :

Étape	Désignation	Conseil(s)
1	Identifier la surface dont les eaux de ruissellement doivent être drainées et les éventuelles zones complémentaires dont les eaux se déversent sur la surface	Déterminer les plans et les chemins de ruissellement, les sens d'écoulement, les points bas et les exutoires. Il est possible de découper la surface en différents secteurs indépendants.
2	Déterminer l'évènement pluvieux dimensionnant	Voir « Dimensionnement du système d'évacuation »
3	Calculer le débit à capter	Fonction de l'imperméabilité de la surface et du coefficient de ruissellement
4	Dimensionner et implanter les ouvrages de collecte des eaux de ruissellement	Implanter les avaloirs et grilles aux points bas Il peut être nécessaire d'en placer à des points intermédiaires pour éviter, dans le cas de fortes pentes, que l'effluent ne produise une érosion mécanique due à sa vitesse. Une trop forte pente peut aussi rendre plus difficile l'engouffrement des eaux dans les avaloirs et grilles

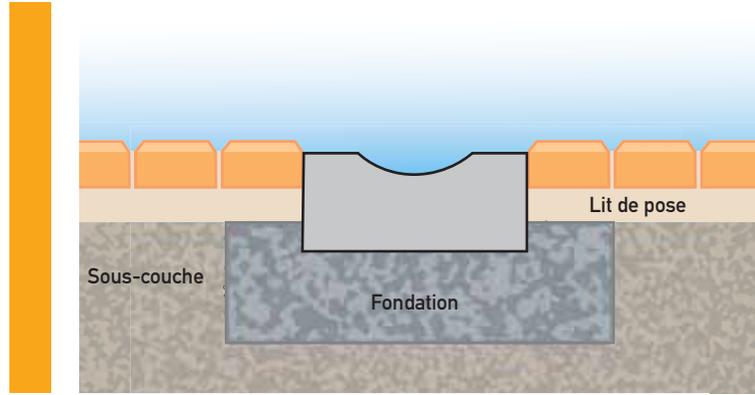
Pentes des surfaces des ouvrages

D'une manière générale, la résultante des pentes en long et en travers doit en tout point être supérieure à 2 % pour permettre un bon drainage des eaux de ruissellement. Le raccordement parabolique en sommet de chaussée doit être de largeur restreinte pour ne pas offrir une surface plane trop importante.

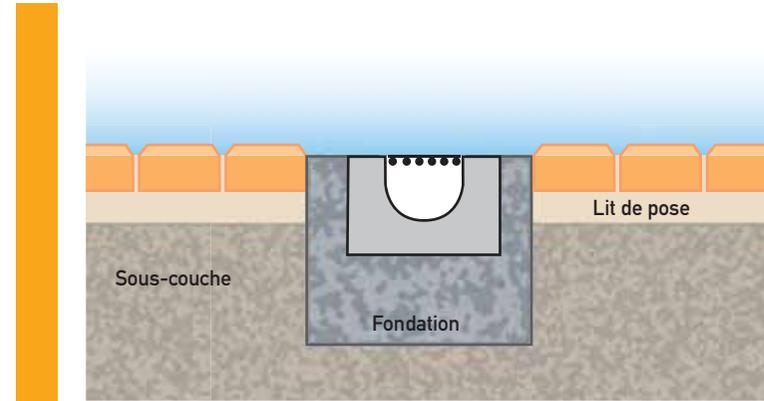
Dispositifs de collecte superficielle des eaux de ruissellement

Les eaux de ruissellement peuvent être collectées par l'emploi de caniveaux préfabriqués en béton, de caniveaux à fente, de caniveaux à grilles ou par l'emploi de pavés.

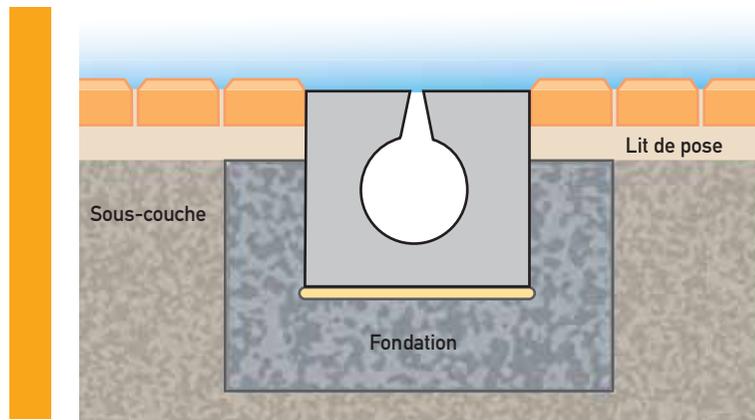
Caniveaux préfabriqués en béton



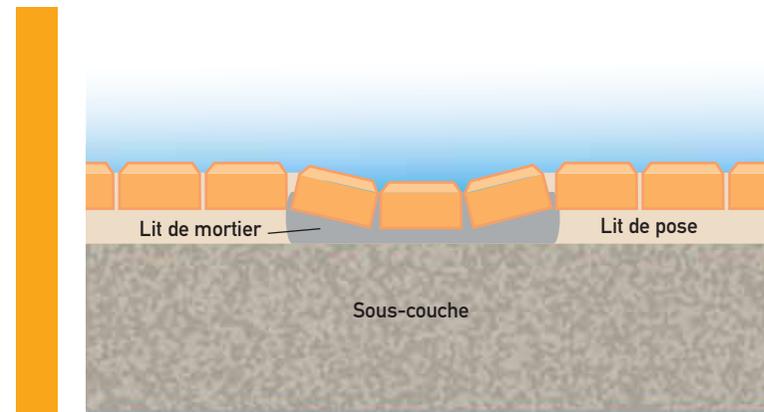
Caniveaux à grille



Caniveaux à fentes



Caniveaux en pavés



Dimensionnement du système d'évacuation

En l'absence de données spécifiques au projet, les recommandations de la norme EN 752 « Réseaux d'évacuation et d'assainissement à l'extérieur des bâtiments » peuvent être utilisées pour prévenir les mises en charge des réseaux :

Lieux d'installation	Fréquence de calcul des orages	
Type de zone	Période de retour 1 en « n » années	Probabilité de dépassement pour 1 année quelconque
Rurale	Annuel (1 / an)	100 %
Résidentielle	Biennal (1 / 2 ans)	50 %
Centre ville / Zones Industrielles / Commerciales	Quinquennal (1 / 5 ans)	20 %
Métro, passages souterrains	Décennal (1 / 10 ans)	10 %

Il peut être utile aussi de considérer les risques d'inondation admissibles (recommandations de l'ancienne norme NF EN 752-4) :

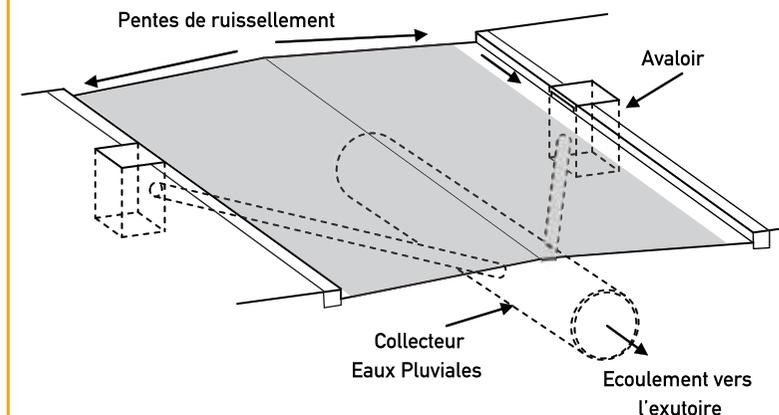
Type de zone	Orage inondant	
Rurale	Décennal	
Résidentielle	Vicennal (20 ans)	
Industrielle, Commerciale, Centre ville	Avec contrôle inondation	Tricennal (30 ans)
	Sans contrôle inondation	-
Métro, passages souterrains	Quinquagennal (50 ans)	

L'impact d'une inondation exceptionnelle de l'ouvrage de voirie à réaliser doit être pris en compte. En effet l'entraînement possible du matériau de joint peut nécessiter de prévoir un regarnissage exceptionnel.

Remarque – Une des méthodes permettant d'approcher le débit de pointe est la méthode rationnelle :

$$Q = \frac{C.i.A}{360}$$

Schéma de principe d'un système d'évacuation des eaux pluviales



Q : Débit de pointe (m^3/s)

C : Coefficient de ruissellement (généralement compris entre 0,7 et 0,9 pour les pavages)

i : Intensité de la pluie (mm/h) pendant la durée du temps de concentration *

A : Surface de collecte (ha).

* Temps du plus long parcours d'une goutte de l'aire de collecte pour arriver à l'exutoire choisi.

Drainage des eaux dans la structure

Le drainage de la structure de voirie est indispensable pour prévenir tout risque de décompaction entraînant une perte de portance de l'assise ou du lit de pose.

Si la perméabilité de la plate-forme n'est pas suffisante (inférieure à 10^{-5} m/s), un dispositif de drainage est nécessaire. Il pourra être utile de mettre en place un système filtrant de type géotextile ou autre pour éviter l'entraînement d'éléments fins dans le réseau.

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

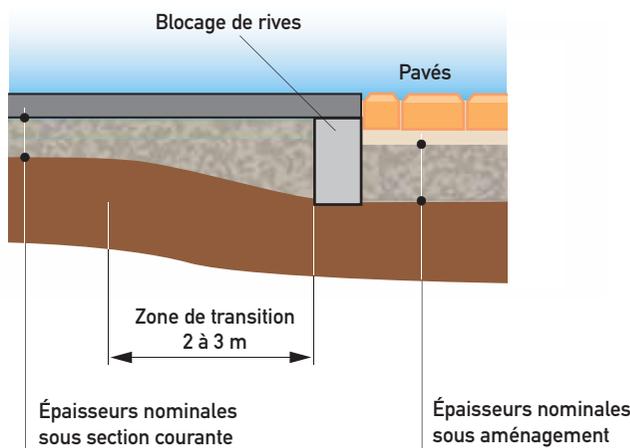
Une pente minimale des drains de 2 mm/m est nécessaire pour assurer la vidange du drain (Annexe informative F de la norme NF P 98-335).

3.1.5 Délimitation des surfaces et blocage de rives

En l'absence de toute circulation, la délimitation des surfaces peut s'effectuer au moyen de bordures ou de bordurettes. L'appareillage des pavés et des dalles doit être adapté au contour des surfaces pour ne pas créer de zones sensibles de résistance mécanique moindre (voir Paragraphe 3.2.2).

Lorsque les surfaces pavées jouxtent d'autres revêtements de chaussée, des zones de transition doivent être prévues. Elles ont pour objet d'assurer une rigidité constante de la structure pour prévenir toute dégradation à la jonction des surfaces revêtues de matériaux différents.

Le principe pour une transition entre revêtement bitumineux et revêtement modulaire (pavés) est le suivant :



Les assises sont déterminées pour chacun des revêtements et la zone de transition a une longueur de 2 à 3 m.

Lorsque les zones sont circulées, un blocage des rives doit être mis en place.

Blocage de rives longitudinal et transversal

Le blocage doit se faire longitudinalement dans tous les cas. Il est généralement réalisé par les bordures délimitant la surface pavée ou dallée.

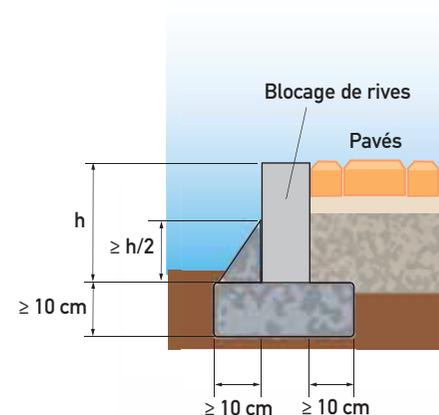
Un blocage supplémentaire perpendiculaire au sens de circulation est obligatoire en cas de trafic routier quelle que soit son importance.

La norme NF P 98-335 précise une section supérieure ou égale à 350 cm^2 pour remplir la fonction d'élément de blocage des rives (Annexe informative G). Les bordures et caniveaux qui répondent à cette exigence, Modèles A1, T3, T4, I2, I4, CS3, CS4, CC1, CC2 (NF P 98-340/CN) sont :

Le blocage de rives au moyen de bordures (le plus souvent associées à des caniveaux), doit respecter les règles minimales suivantes :

- dimensions minimales de la fondation ;
- calage des bordures.

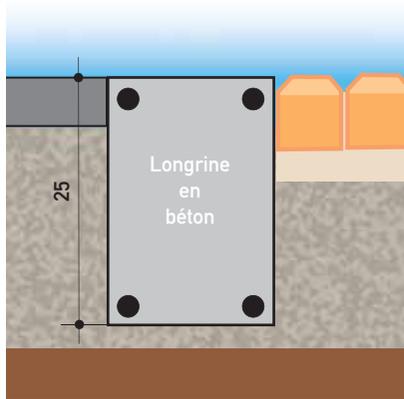
L'emprise doit tenir compte de la section de la bordure mais également de celle de la fondation et de l'espace nécessaire au calage



Remarque – Le calage de rives peut se traduire par le remplacement des bordures en place pour pouvoir obtenir la section minimum.

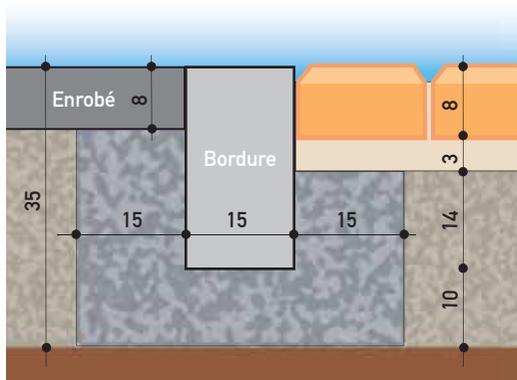
Si le calage est réalisé à l'aide d'une longrine en béton coulé en place, la section à décaisser est sensiblement celle de la longrine (section $\geq 350 \text{ cm}^2$).

Exemple de calage de rives par longrines



Le calage peut également se faire à l'aide de bordures complètement enterrées. Les éléments doivent être scellés ou encastrés dans une fondation qui dépassera de 15 cm de part et d'autre de la bordure, avec une épaisseur de 10 cm au moins.

Exemple de calage de rives par bordures enterrées

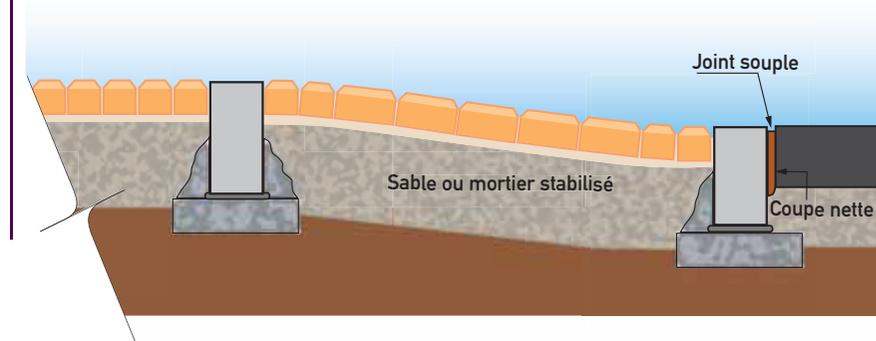


Blocage de rives transversal des ralentisseurs

Le blocage de rives des ralentisseurs est indispensable pour prévenir toute dégradation due aux sollicitations importantes générées par l'impact et le ralentissement des véhicules.

Il s'effectue au moyen de longrines ou bordures encastrées dans un enrobage en béton.

Exemple de blocage de rives d'un ralentisseur



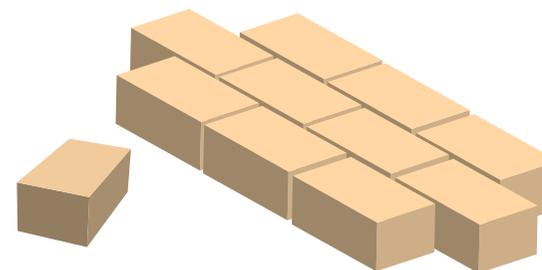
3.2 Esthétique et appareillage

Le choix des types de pavés, dalles ou bordures et de leur appareillage est effectué pour répondre à une exigence esthétique. Toutefois, dans tous les cas, il convient de vérifier que les produits et leur appareillage permettent de garantir la résistance mécanique de l'ouvrage.

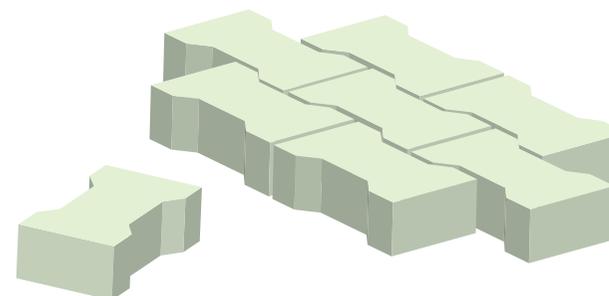
3.2.1 Types de pavés et de dalles et profils des bordures

Pavés

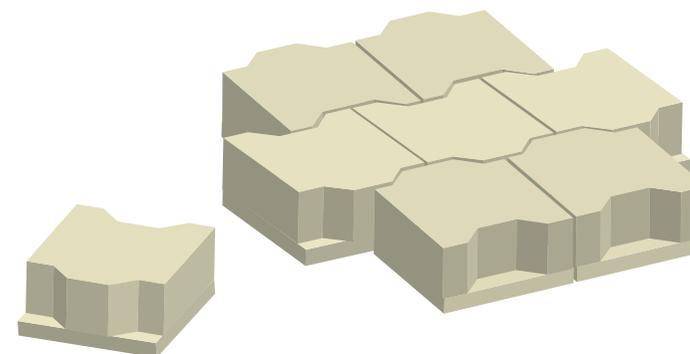
Les pavés peuvent être rectangulaires ou non. Les pavés autobloquants, de forme non rectangulaire, présentent l'avantage de multiplier les discontinuités des lignes de joints, ce qui favorise la tenue d'ensemble des revêtements pavés. L'emploi de pavés à épaulements permet de respecter une largeur minimale de joint favorable à la prévention des détériorations par épaufures.



Pavés rectangulaires

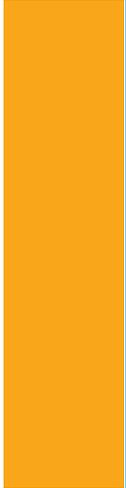
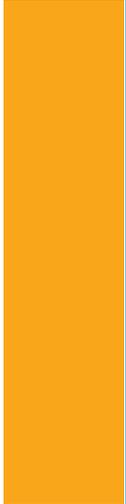
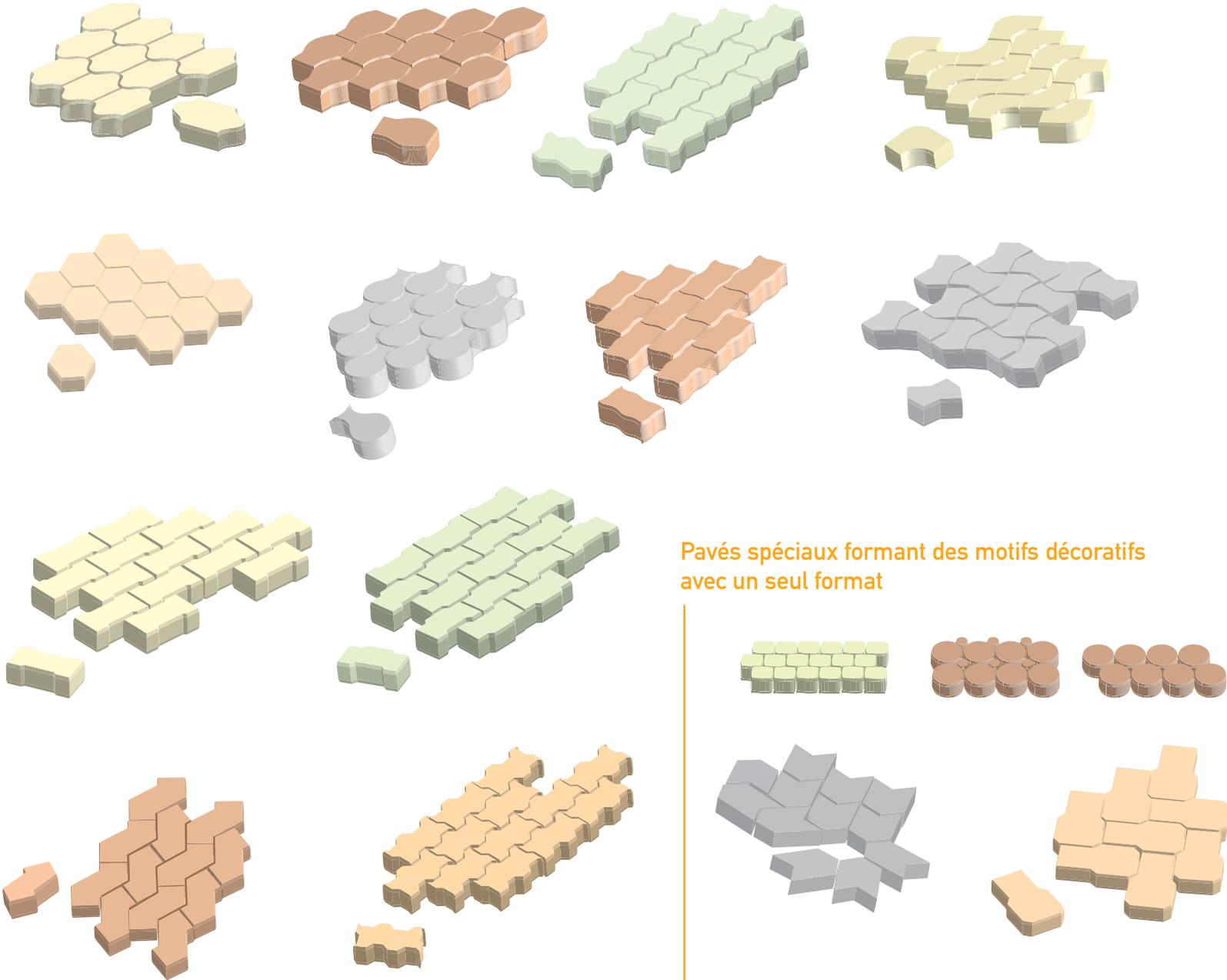


Pavés à emboîtements



Pavés à emboîtement et épaulement

Exemples de formes de pavés et d'appareillage



Dalles

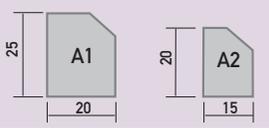
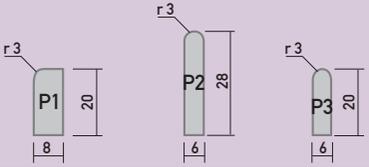
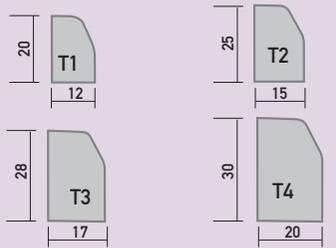
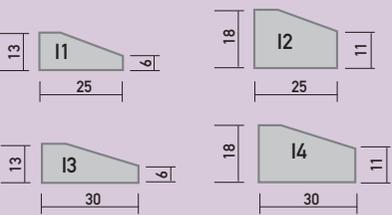
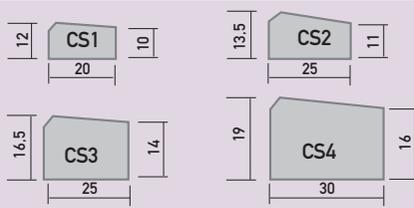
Comme pour les pavés il existe différents types de dalles. Leur forme est généralement carrée ou rectangulaire.

Bordures

Le profil des bordures peut traduire un choix esthétique. Toutefois, chaque profil de bordures est associé à une condition d'utilisation qu'il convient de respecter. Celle-ci est définie dans le complément national NF P 98-340/CN :

Le choix de ces profils et les niveaux de performance qui leur sont associés sont vérifiés dans le cadre de la marque .

Il existe aussi un certain nombre de bordures non normalisées : bordures de fortes dimensions essentiellement utilisées en aménagements urbains, les bordures de calage de rive, les bordures anti-stationnement, les bordures chasse-roue...

Type	Modèle	Utilisation
Type A		Bordures d'accotements de routes ou autoroutes, franchissable après réalisation complète de la voirie
Type P		Bordures pour parcs de stationnement, allées, terrains de sport
Type T		Bordures de trottoirs plus spécialement destinées aux voiries urbaines
Type I		Bordures d'îlots directionnels qui peuvent être : - simplement posées sur la chaussée (I1 et I3) - encastrées dans la chaussée (I2 et I4)
Type CS		Caniveaux simple pente destinés à être utilisés : - avec des bordures de type A - avec des bordures de type T
Type CC		Caniveaux double pente

3.2.2 Appareillage

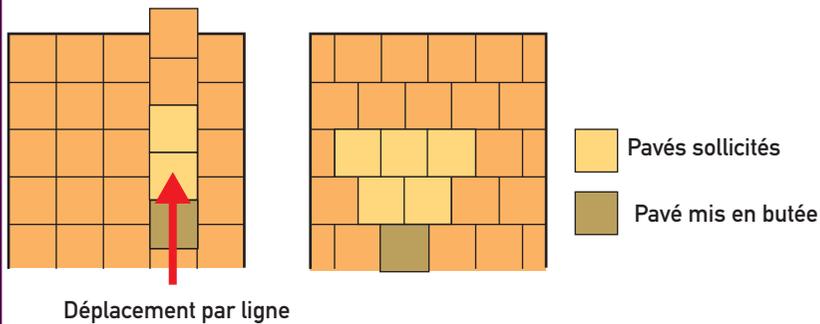
L'appareillage des zones pavées est conditionné par :

- les conditions de circulation ;
- le raccordement au pourtour des surfaces pavées ;
- le raccordement de plusieurs surfaces pavées ;
- le raccordement à des ouvrages singuliers émergents tels que regards de visite, boîte de branchement ou chambres de réseaux divers.

Appareillage et conditions de circulation

L'appareillage des pavés conditionne la tenue des ouvrages à la circulation, notamment dans les zones de démarrage et de freinage telles que les approches de feux tricolores ou les arrêts de bus.

Plus la circulation est importante, plus il est important de prévenir les déplacements des pavés par leur appareillage pour prévenir les lignes de joints continus. Par un appareillage approprié, on prévient le déplacement par lignes ou colonnes de pavés ou dalles (voir schéma ci-dessous) engendré par la continuité des joints. La discontinuité permet à l'élément sollicité de se mettre en butée sur plusieurs éléments disposés en quinconce.

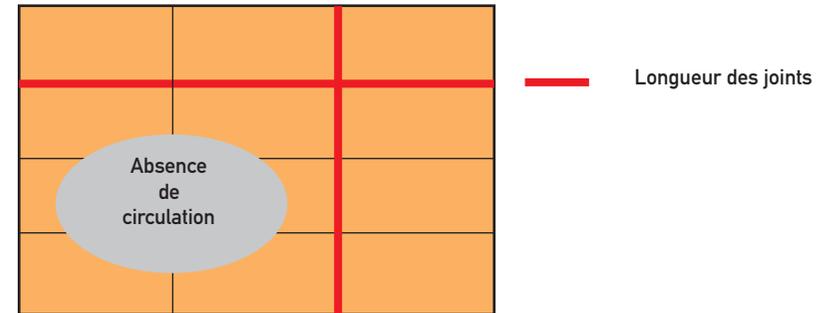


Les appareillages peuvent donc se répartir en trois grandes familles qui sont :

- les lignes de joints continus ;
- les lignes de joints discontinues suivant un axe ;
- les lignes de joints discontinues suivant les deux axes.

Les lignes de joints continus

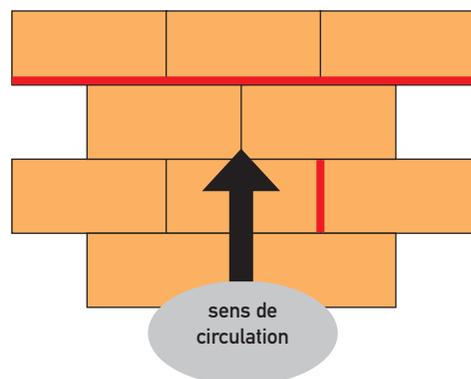
Cet appareillage (pose à joints croisés), le plus simple, n'est possible qu'en l'absence de trafic routier.



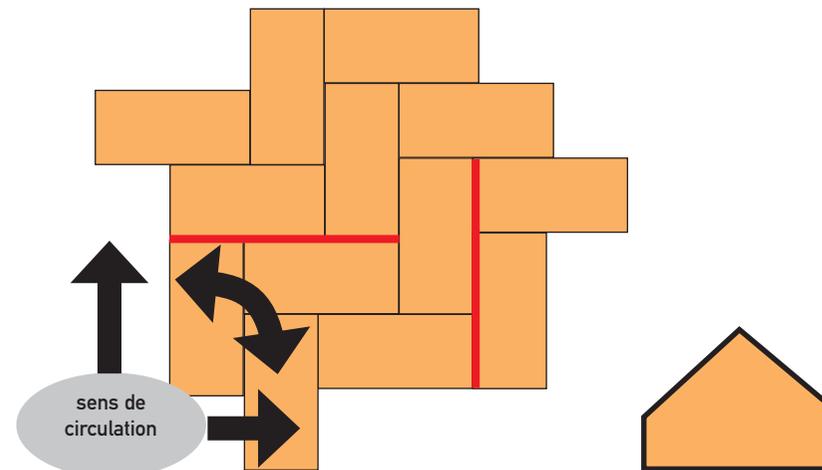
Les lignes de joints discontinues suivant un axe

Ce type d'appareillage convient aux zones où la circulation est canalisée dans une seule direction.

Le raccordement d'about se fait généralement avec des éléments plus petits (produit découpé) ou plus grands (boutisse).



Ils peuvent comprendre, suivant l'orientation du motif, des éléments d'about particuliers pour le raccordement aux rives appelés mitres (ou parfois chapelles).



Les lignes de joints discontinues suivant les deux axes

Ces appareillages (pose en épi, chevron...) minimisent les longueurs de joints (la longueur du joint est égale à la largeur additionnée à la longueur de l'élément posé). Ils sont adaptés aux zones de circulation multidirectionnelle.

L'association de plusieurs tailles de pavés rend possible la réalisation d'appareillages plus complexes. Il est intéressant de retenir les principes suivants :

Utilisation	Appareillage
Zone piétonne	Tout appareillage possible
Classe de trafic T5	Ligne de joint discontinue dans le sens principal de circulation
Classe de trafic T4	
Classe de trafic T3	Disposition en chevron

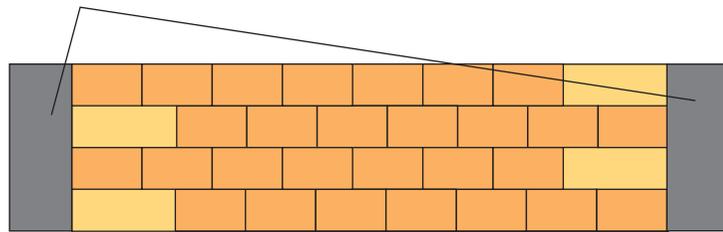
Remarque – Il est possible pour un trafic plus important de poser cet appareillage en diagonale par rapport au sens de circulation.

Raccordement rectiligne au pourtour des surfaces pavées

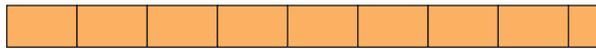
L'ajustement des largeurs pavées aux emprises à revêtir s'effectue au moyen de boutisses* ou en procédant à des coupes de pavés.

Il est recommandé de limiter le nombre de coupes ou de boutisses. Les deux exemples présentés ci-dessous illustrent le fait que, quelle que soit la configuration, on peut se limiter à une coupe ou une boutisse par ligne posée.

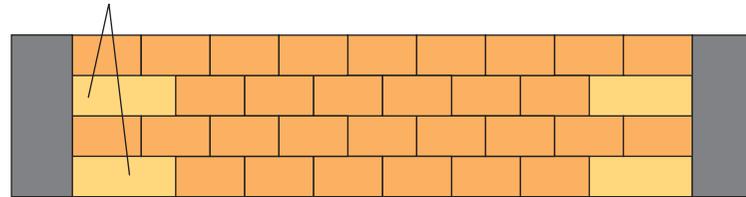
Blocage de rives



Longueur équivalente : 8 pavés et demi



Boutisses*

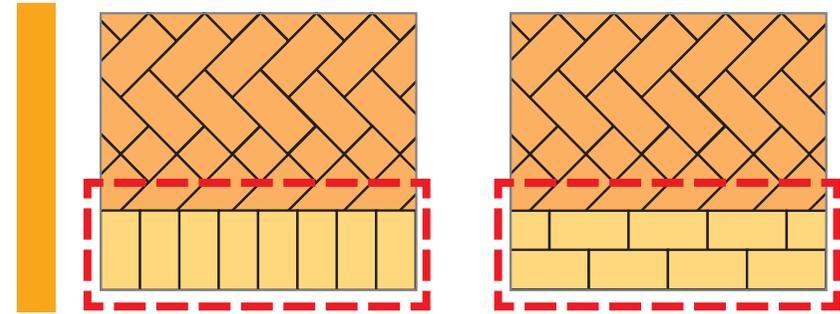


Longueur équivalente : 9 pavés



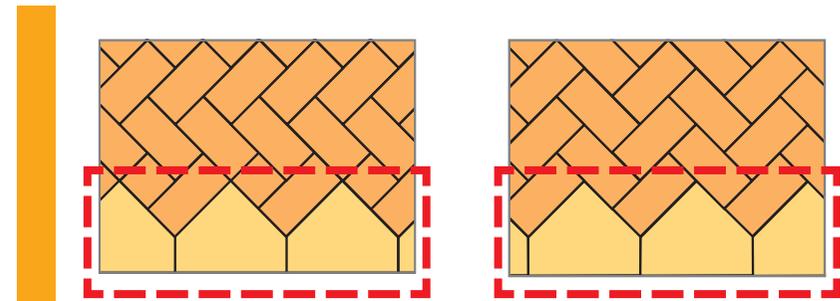
Il est aussi possible de poser une ou deux rangées d'éléments, entiers de préférence, dans les zones de rives puis de réaliser l'appareillage approprié. Ceci permet de réaliser la zone d'interface plus résistante mécaniquement en évitant les éléments de géométrie et de taille variables.

Exemples de rangées de stabilisation



La pose en chevron peut donner lieu à plusieurs configurations des zones de rives. Deux exemples sont présentés ci-dessous.

Exemples d'agencements pavés/mitres

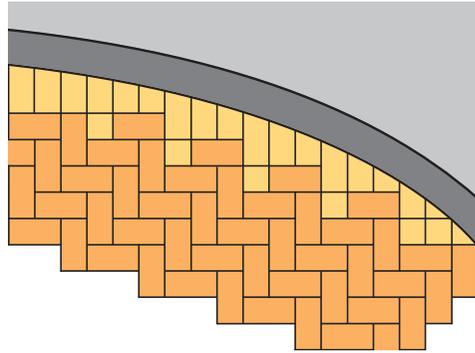


La découpe de pavés est pratiquement inévitable, sauf cas très simples. La partie du pavé découpé que l'on pose doit représenter plus de la moitié d'un pavé complet. De plus, les angles aigus engendrés par la découpe ne doivent pas être trop prononcés. Il est aussi possible d'utiliser des éléments particuliers (par exemple des boutisses). Il faudra prévoir un supplément de pavés pour pouvoir répondre aux remplacements ultérieurs ainsi que pour absorber les pertes qu'induit la découpe.

* Pavé de grande longueur (dans notre exemple la longueur de la boutisse est égale à une fois et demi la longueur du pavé standard)

Raccordement courbe au pourtour des surfaces pavées

Pour les raccords courbes, il y a lieu de limiter au maximum les éléments de petites dimensions ou les angles aigus de coupe en adaptant l'appareillage.

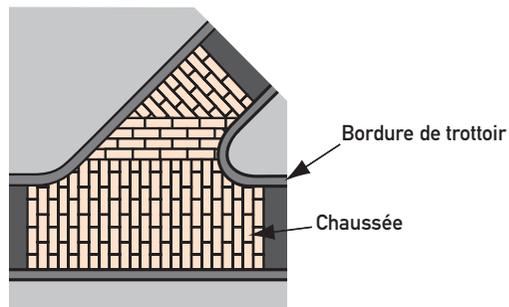


Appareillages des raccords de plusieurs surfaces pavées

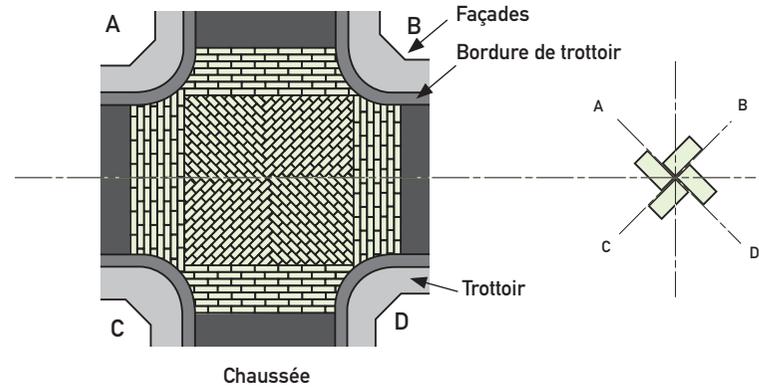
Selon l'appareillage choisi il est possible de raccorder deux zones pavées dans des directions différentes en utilisant l'une des techniques suivantes :

Raccordement en passerelle de deux voies à angle aigu

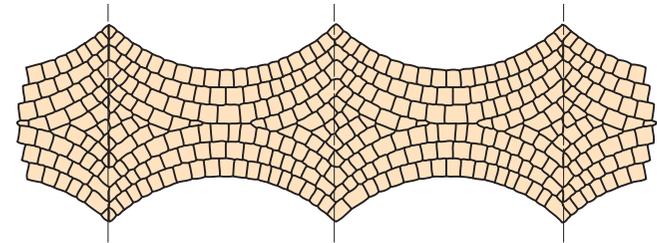
Dans la passerelle, les rangées de pavés sont parallèles à la bordure de trottoir de l'une des rues.



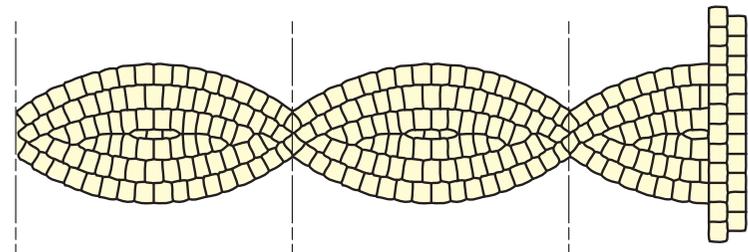
Raccordement en croix de chevalier pour un carrefour



Raccordement en as de carreau de deux surfaces pavées en point haut



Raccordement en œil de bœuf de deux surfaces pavées en point bas

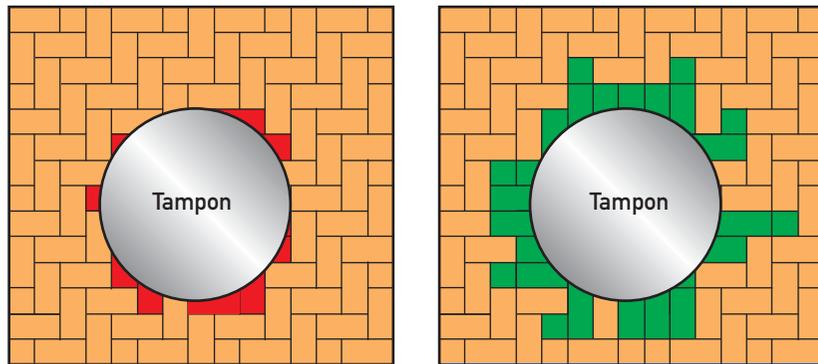


Raccordement à des ouvrages singuliers émergents

Le détail de l'appareillage doit permettre de prendre en compte les règles suivantes :

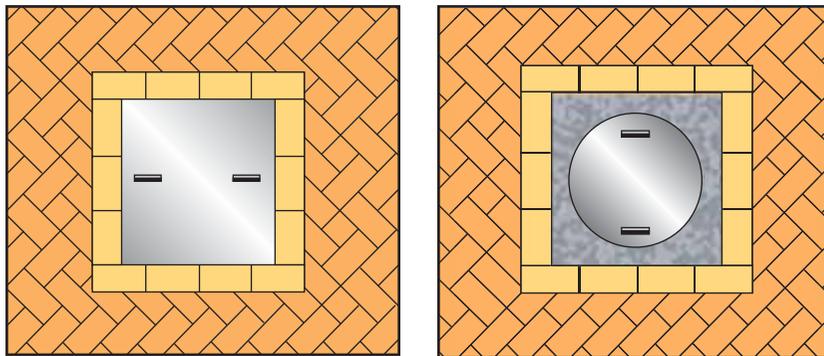
- réduire au minimum le nombre d'éléments de petites dimensions ;
- la taille des plus petits éléments doit être au moins égale à la moitié d'un produit entier ;
- éviter les angles trop aigus (fragilisation de l'élément).

Voici quelques exemples de traitement d'un tampon émergent d'une zone pavées :

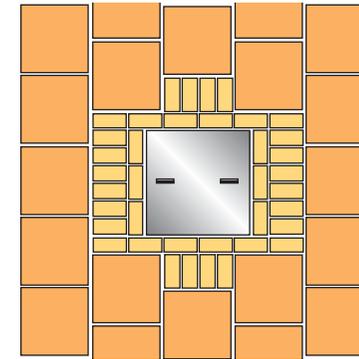


Pavage incorrect

Pavage correct



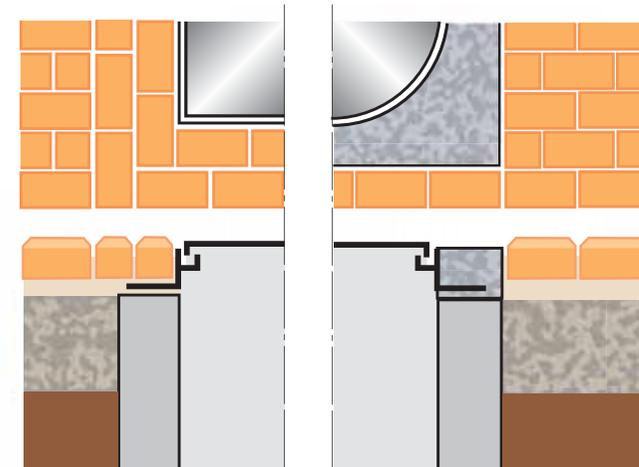
Exemples de surfaces pavées



Exemple de surface dalée

Un mortier ou un béton adaptés pour s'accorder avec la couleur et le traitement de surface des éléments préfabriqués est parfois coulé pour éviter des découpes trop complexes. Il y a lieu néanmoins de tenir compte du retrait de ces produits qui est susceptible de créer des fissures en rives.

Le schéma en coupe ci-dessous précise le mode de réalisation du raccordement à une chambre d'inspection ou un regard, carré d'une part, circulaire d'autre part.



Regard ou boîte d'inspection

3.3 Choix des caractéristiques des produits

Le choix des produits a été traité dans le Chapitre 2 « Conception générale ». Le détail des essais se trouve en annexe 1 de ce document.

Le choix des pavés et des dalles dépend des conditions de trafic, du type de pose des produits et de leur appareillage. La norme NF P 98-335 donne les prescriptions suivantes :

Pour le choix des épaisseurs de pavés :

Produits Pavés ⁽²⁾	Trafic PL ≥ 35 kN de PTAC ⁽¹⁾				
	T5	T4	T3	T2	T1
	1 à 25	26 à 50	51 à 150	151 à 300	301 à 750
Pavés d'épaisseur nominale 6 cm posé sur sable (classe d'appellation T5)	oui	non	non	non	non
Pavés d'épaisseur nominale 8 cm posé sur sable (classe d'appellation T3-4)	oui	oui	oui	non	non
Pavés d'épaisseur nominale 10 cm posé sur sable (classe d'appellation T3-4 épaisseur > à 100 mm)	oui	oui	oui	(4)	(4)

Pour le choix des épaisseurs de dalles :

Produits Dalles ⁽⁵⁾	Trafic PL ≥ 35 kN de PTAC ⁽¹⁾		
	T5	T4	T3
	1 à 25	26 à 50	51 à 150
Épaisseur nominale 5 cm pose sur sable	oui	non	non
Épaisseur nominale 5 cm pose sur mortier ou béton	oui	non	non
Épaisseur nominale 8 cm pose sur sable	oui	(4)	non
Épaisseur nominale 8 cm pose sur mortier ou béton	oui	non	non
Épaisseur nominale 10 cm pose sur sable	oui	oui	non
Épaisseur nominale 10 cm pose sur mortier ou béton	oui	(4)	non

Pour les types de pose (assise, lit de pose et joints) :

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 bitumeux, etc, joints rigides interdits)
Bitumineuses épaisses (déflexion < 50/100 mm)	Sable ⁽³⁾	Joints souples (sables, sables stabilisés, mélange bitumeux, etc, joints rigides interdits)
Semi-rigides ou mixtes (déflexion < 40/100 mm)	Mortier ou béton traditionnel	Mortier (hydraulique ou organique) ou mastic bitumeux
Rigides (déflexion < 15/100 mm)	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 $L \leq 5$ m 100 % du trafic des deux sens (MJA : moyenne journalière annuelle), si $5 < L < 6$ m 75 % et si $L \geq 6$ m 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 rives 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 de la qualité du système global (assises, lit de pose, revêtements, conditions d'exécution) et définit le processus qualité de la mise en œuvre.
- 5) Charge de rupture caractéristique minimale : 25 kN (classe U25 pour les dalles en béton).

3.4 Pose

Les prescriptions détaillées concernant la pose des produits modulaires préfabriqués en béton sont présentées dans les carnets de chantier édités par le CERIB (téléchargement sur le site du CERIB, www.cerib.com).

Les éléments complémentaires qui suivent sont à prendre en compte dans la conception des ouvrages.

3.4.1 Lit de pose (pavés et dalles)

Nous rappellerons simplement que l'épaisseur d'un lit de pose en sable est de $3 \text{ cm} \pm 1 \text{ cm}$. Le respect de cette épaisseur conditionne la pérennité des ouvrages circulés.

3.4.2 Largeur de joints (pavés et dalles)

Les joints entre les pavés et dalles doivent transmettre les efforts horizontaux générés par le trafic routier : accélération, freinage, manœuvres. Ils préviennent aussi le risque d'épaufrure qui surviendrait si les éléments étaient directement en contact les uns avec les autres.

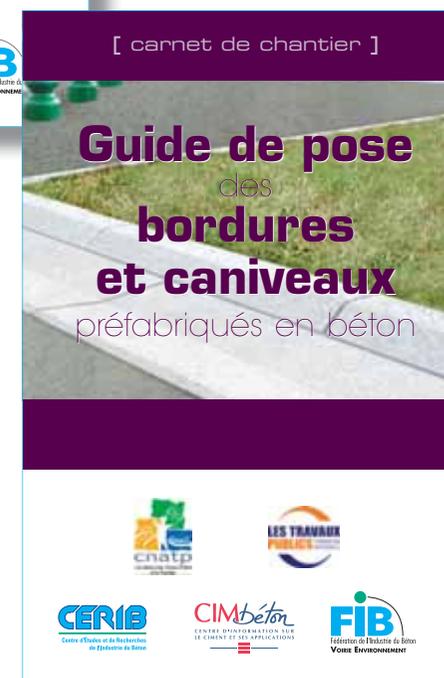
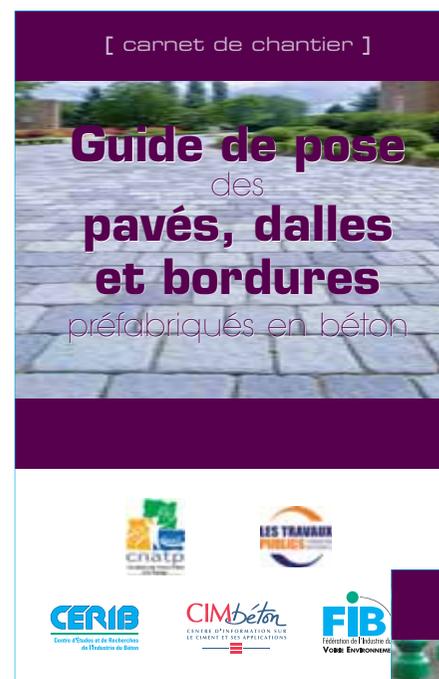
L'épaisseur du joint doit se choisir en fonction du sable de garnissage et de la complexité de l'appareillage. Dans le cas de couche drainante, il faut minimiser les éléments fins pour le remplissage du joint.

Pour s'assurer d'obtenir l'espacement correct entre les pavés, il est possible de choisir des pavés à épaulement. Ces derniers possèdent des tenons d'écartement qui garantissent un espacement minimum entre les éléments.

3.4.3 Fondation des bordures

Les dimensions et caractéristiques des fondations présentées au Chapitre 2 « Conception générale » sont généralement applicables aux ouvrages.

Dans certains cas spécifiques, lorsque les bordures sont posées sur des sols de faibles portances et soumises à des circulations lourdes, il peut être nécessaire de vérifier le dimensionnement de la fondation (le béton étant de classe minimale C16/20).



Les hypothèses de dimensionnement sont les suivantes :

- La charge appliquée est égale à 65 kN (surface d'application : 25 cm × 25 cm) majorée d'un coefficient dynamique routier valant 1,3 ;
- La diffusion des contraintes dans les matériaux est bitriangulaire (angle de 45° dans la bordure et de 33° dans le béton de fondation). La charge est appliquée sur une des extrémités de la bordure en considérant le joint contigu vide.

Le dimensionnement de la fondation se fait en trois étapes :

■ Étape 1 :

Le sol de fondation étant connu, on détermine la contrainte de calcul admissible du sol. Celle-ci est égale à la contrainte ultime de ce sol divisée par un coefficient de sécurité, généralement égal à 2 :

$$\sigma_c = \frac{\sigma_u}{2}$$

avec :

σ_c : contrainte admissible du sol (MPa)

σ_u : contrainte ultime du sol (MPa)

La contrainte ultime peut être approchée par un essai au pénétromètre. Les contraintes de calcul déduites de l'expérience pour les fondations superficielles (DTU 13-12) sont rappelées ci-dessous :

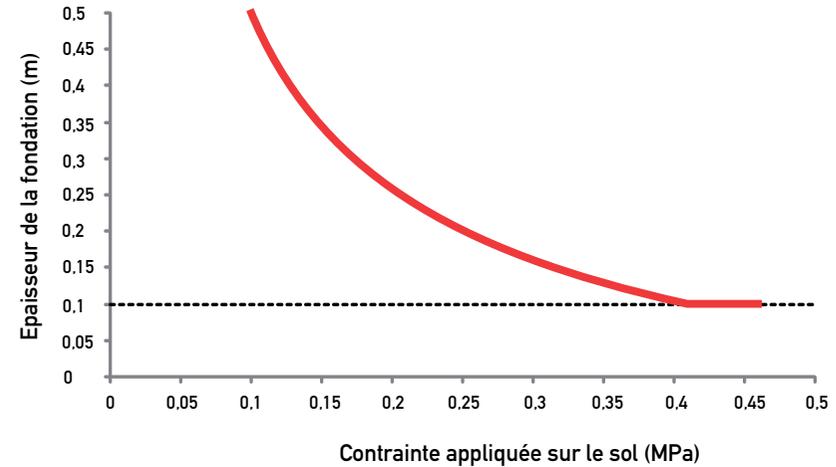
Nature du sol	Contrainte de calcul du sol q (MPa)
Roches peu fissurées saines non désagrégées et de stratification favorable	0,75 à 4,5
Terrains non cohérents à bonne compacité	0,35 à 0,75
Terrains non cohérents à compacité moyenne	0,20 à 0,40
Argiles *	0,10 à 0,30

* Certaines argiles très plastiques ne sont pas visées dans ce tableau.

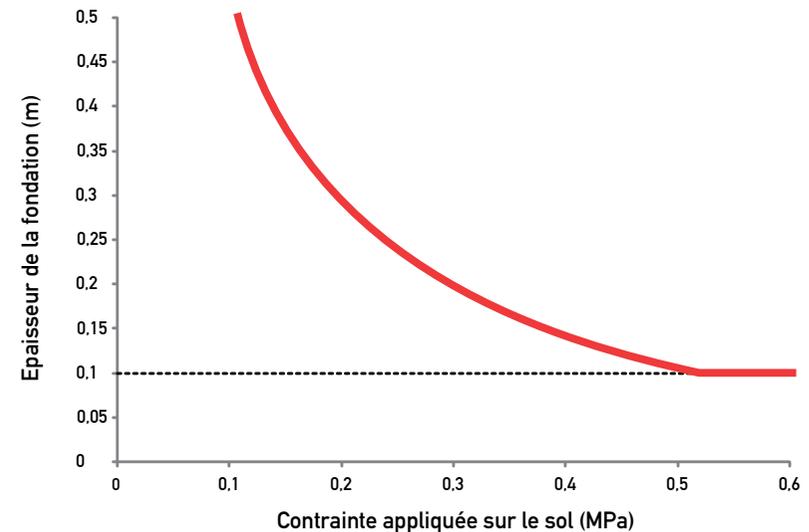
■ Étape 2 :

L'épaisseur de fondation en béton est déterminée au moyen des courbes ci-après :

Pour les bordures de type A1



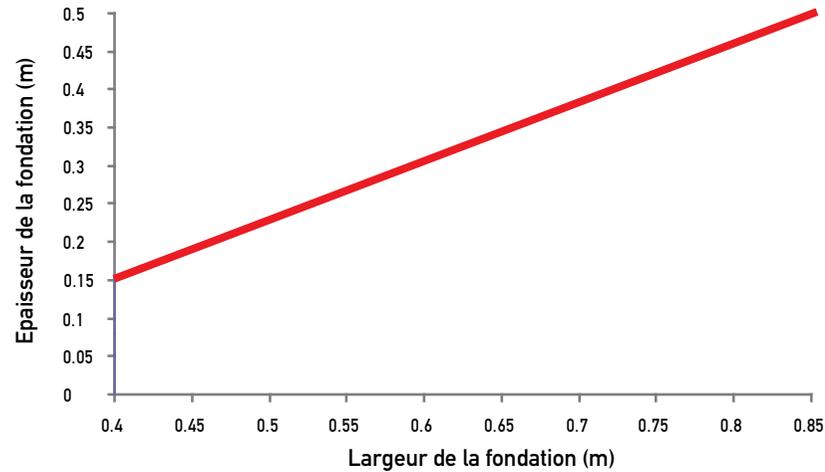
Pour les bordures de type A2



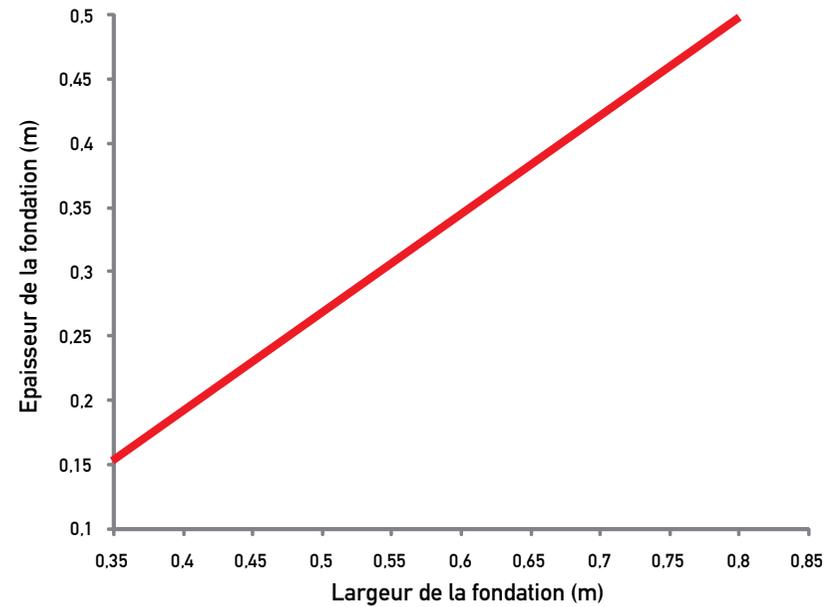
■ Étape 3 :

La largeur de la fondation est déterminée sur la base de son épaisseur pour permettre la diffusion des charges.

Pour les bordures A1



Pour les bordures A2



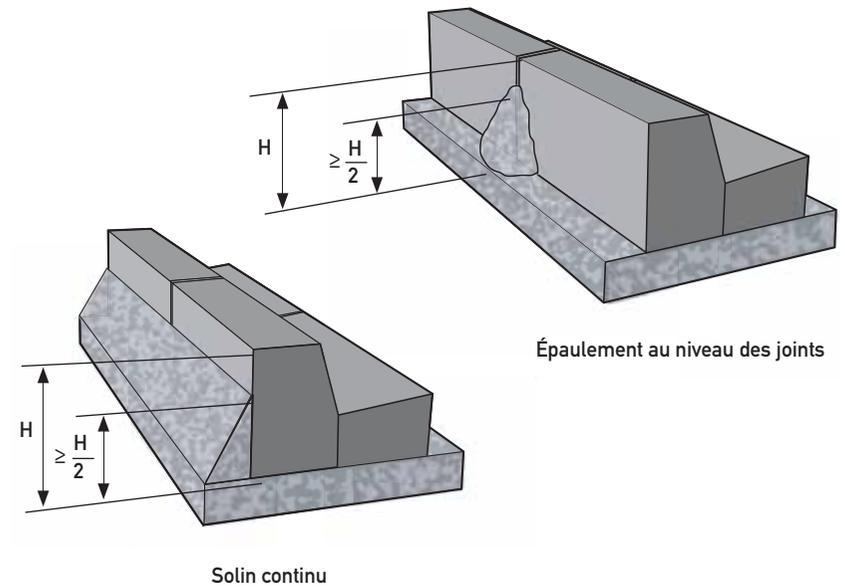
3.4.4 Calage des bordures

Le calage des bordures a pour objet de prévenir tout basculement lors de leur franchissement ou en cas de contact par les roues des véhicules.

Il existe deux techniques de calage :

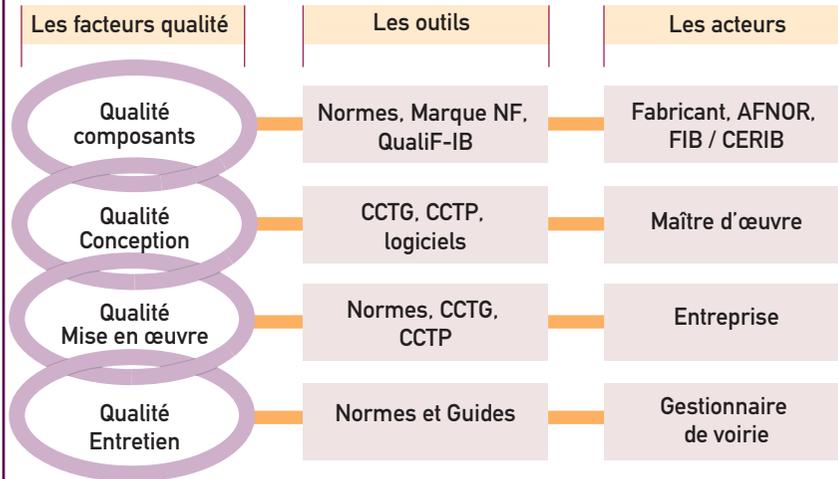
- le solin continu ;
- l'épaulement au niveau des joints.

La hauteur du solin ou de l'épaulement doit être supérieure ou égale à la moitié de la hauteur de la bordure.



3.5 Maîtrise de la qualité

La maîtrise de la qualité des ouvrages de voirie ou des aménagements publics doit être intégrée à la conception du projet. Elle est conditionnée par le respect de tous les maillons de la chaîne de la qualité :



La maîtrise de la qualité des ouvrages a des conséquences directes sur la planification des opérations, notamment pour prendre en compte :

- les travaux préalables au chantier ;
- la vérification de la conformité des produits ;
- les contrôles des ouvrages ;
- la mise en service des ouvrages.

La formalisation des points clés de la réalisation et des points d'arrêt contribue à la maîtrise de la qualité.

Le PAQ (Plan d'Assurance Qualité) de l'entrepreneur définit et décrit tous les éléments généraux du système qualité mis en place en termes de moyens, d'organisation et de procédures. Il reprend et complète le SOPAQ (Schéma Organisationnel du Plan d'Assurance Qualité) ou le Manuel qualité de l'entrepreneur.

Le CCTP (Cahier des Clauses Techniques Particulières) précisera s'il impose ou non la fourniture d'un PAQ. Pour les petits chantiers (inférieurs à 15 jours par exemple), le PAQ peut être constitué par des extraits du Manuel qualité de l'entrepreneur. Le Manuel Qualité de l'entrepreneur peut avoir été établi dans le cadre d'une démarche de certification de son Système de Management de la Qualité selon la norme NF EN ISO 9001.

Le contrôle extérieur est réalisé par le maître d'œuvre, indépendamment de l'entrepreneur.

3.5.1 Travaux préalables au chantier

Les travaux préalables à la mise en œuvre des matériaux modulaires (pavés, dalles) peuvent comprendre notamment :

- la reconnaissance des assises ;
- la mise en place, éventuelle, de dispositifs de protection de la zone à réaliser ;
- la vérification du nivellement et la réalisation du piquetage de la zone à réaliser ;
- les travaux éventuels de réparation et de reprise des assises ;
- le repérage des joints de construction des assises et supports (retrait, dilatation et isolement) et la vérification que la continuité de ces dispositifs constructifs pourra être assurée dans le revêtement ;
- la réalisation des dispositifs de drainage ;
- la vérification des dispositifs de drainage et leur raccordement avec les ouvrages de collecte pour s'assurer qu'ils éviteront des départs de matériaux (notamment pour la pose de lit de sable, sable stabilisé et plus généralement sur matériaux drainants non ou peu liés) ;
- la préparation des aires de stockage des matériaux et produits.

Dans le cadre d'un projet global d'aménagement, il y aura lieu d'identifier les travaux préalables applicables à l'opération et leur incidence sur la planification du chantier.

3.5.2 Conformité des produits

Les caractéristiques techniques des produits modulaires (pavés, dalles, bordures, caniveaux) doivent être définies au CCTP (Cahier des Clauses Techniques Particulières) du marché. Lorsque des choix de modèles, de teintes ou de texture doivent intervenir après passation du marché, ils s'effectuent par le maître d'œuvre sur présentation des Fiches Techniques des Produits accompagnés, le cas échéant, d'échantillons.

En phase de réalisation, la vérification de la conformité des produits s'impose.

Pour les produits disposant de la marque , et qui sont donc contrôlés régulièrement par un organisme tierce partie (généralement le CERIB),

la vérification porte uniquement sur la conformité à la commande, le marquage, l'aspect, l'intégrité des produits et les quantités.

La réception des produits  sur chantier n'impose donc pas de délais spécifiques.

Pour les produits ne disposant pas de la marque , l'acceptation des produits repose sur l'acceptation par le maître d'ouvrage devant se baser sur une réception par lots consistant à vérifier par des essais les spécifications des normes (tolérances dimensionnelles, résistance mécanique, résistance à l'abrasion, résistance au gel-dégel...). L'ensemble des contrôles devant être réalisés est défini par les annexes A (pavés), B (dalles) et C (bordures) de la norme NF P 98-335 (voir Annexe 1 du présent document). Il est à noter que la réception des produits ne disposant pas de la marque  peut être longue (supérieure à 28 jours).

3.5.3 Contrôles des ouvrages

La qualité des ouvrages de voirie et d'espaces publics est conditionnée par la mise en œuvre de contrôles à chaque étape de la réalisation. Les contrôles peuvent être formalisés dans un plan d'assurance qualité soumis au maître d'œuvre.

L'essentiel des contrôles à mener est défini par la norme NF P 98-335 pour la mise en œuvre des produits modulaires et repris dans les carnets de chantier édités par le CERIB (voir Paragraphe 3.4 du présent document). Ils portent sur :

- le nivellement des ouvrages ;
- la planimétrie des ouvrages ;
- la propreté du revêtement ;
- l'intégrité des produits ;
- le respect des textures et des teintes prescrites ;
- le respect du calepinage et de l'appareillage ;
- la qualité du remplissage des joints ;
- la régularité, la largeur et le désaxement des joints ;
- l'écoulement correct des eaux de ruissellement.

Ces contrôles doivent être complétés par les opérations de réception des assises.

3.5.4 Mise en service

La mise en service des ouvrages nécessite que ceux-ci permettent leur utilisation sans dommage notamment par une mise en circulation prématurée.

Les délais suivants sont à prendre en compte pour les pavés et les dalles :

- pose sur lit de sable et joints en sable (ou sable stabilisé ou gravier) : la mise en service peut être immédiate ; une opération de regarnissage des joints dans un délai d'un mois après la mise en service doit être exécutée par l'entreprise ;
- pose sur mortier ou béton et joints mortier : la mise en circulation doit intervenir après un délai de dix jours à une température ambiante supérieure à 10 °C pour les mortiers et bétons traditionnels.

Pour les bordures et les caniveaux, la mise en circulation doit intervenir après un délai de sept jours à une température ambiante supérieure à 10 °C.

3.5.5 Entretien

Les pavés et les dalles en béton présentent de très bonnes caractéristiques de résistance mécanique, de résistance aux agressions climatiques (gel-dégel) et à l'abrasion. Ces caractéristiques font l'objet d'un contrôle régulier dans le cadre de la certification , garantissant l'aptitude à l'emploi des produits certifiés et permettant ainsi un entretien réduit.

Les principales tâches d'entretien peuvent se répartir dans les trois catégories suivantes :

- nettoyage de la surface pavée ou dallée ;
- regarnissage des joints ;
- démontage et remplacement des pavés et dalles en béton.

3.5.6 Nettoyage de la surface pavée ou dallée

La fréquence et la méthode de nettoyage (manuelle ou mécanisée) de l'ouvrage pavé ou dallé dépend de l'importance de sa surface, de ses

conditions d'exploitation (trafic routier ou piéton, marché hebdomadaire, artères principales, axes secondaires...) et dans une moindre mesure de sa position géographique (bord de mer, montagne...). Les conditions météorologiques ainsi que les contraintes saisonnières (évacuation des feuilles mortes, de la neige) sont aussi à prendre en compte.

Les principales techniques employées sont le nettoyage par balayeuse (avec aspiration ou non) et le nettoyage par eau sous pression.

Afin de limiter le dégarnissage des joints en sable, le nettoyage des zones pavées ne doit être réalisé initialement que par brossage manuel. Les balayeuses mécaniques ne doivent être employées que lorsque les joints se sont stabilisés, surtout si celles-ci sont équipées d'un système d'aspiration. Une stabilisation chimique (par liant polyuréthane par exemple) permet l'emploi plus rapide de ce type de matériel d'usage courant.

Lorsqu'un lavage à l'eau sous pression est pratiqué, la pression doit être au plus de 4 à 5 MPa et l'angle d'attaque doit être inférieur à 30 degrés par rapport à la surface afin de limiter le plus possible le dégarnissage des joints en sable.

L'utilisation de jets d'eau ou de jets de vapeur sous haute pression (supérieure à 10 MPa) sur des revêtements à joints sensibles (sable, sable stabilisé, joints mortier fissurés) doit être limitée sous peine de les détériorer rapidement.

A titre préventif et après un nettoyage soigneux de l'ensemble d'une surface pavée ou dallée, il peut être opportun de procéder à son imperméabilisation au moyen de produits spéciaux. Ces produits d'étanchéité sont en général utilisés pour des raisons esthétiques et fonctionnelles. Ils améliorent en effet l'esthétique du revêtement en intensifiant sa couleur et même en lui donnant un aspect brillant.

D'un point de vue fonctionnel, ils contribuent à empêcher la pénétration des taches, à stabiliser le sable de jointoiment entre les pavés ou dalles soumis à des techniques de nettoyage agressives, à maintenir le sable dans les joints soumis à d'importants flux d'eau et à empêcher la croissance des mauvaises herbes dans les joints.

Ces produits spéciaux, généralement à base de silane, de siloxane, de résine acrylique ou d'uréthane, sont appliqués selon les instructions du fournisseur en respectant les règles minimales suivantes :

- attendre un minimum de deux mois et de préférence laisser passer un hiver avant d'imperméabiliser une surface afin de permettre aux éventuelles efflorescences de remonter à la surface (une application trop hâtive comporte en effet le risque de voir ces efflorescences apparaître sous la surface du produit) ;
- s'assurer que la surface est parfaitement nettoyée ;
- la durée de vie de ces produits est souvent limitée, s'assurer que la couche précédente soit complètement usée avant de répéter le traitement.

Le logiciel VoirIB répertorie les différents modes de traitement des salissures les plus fréquentes.

3.5.7 Regarnissage des joints

Les joints contenant du sable doivent être vérifiés régulièrement et regarnis le cas échéant pour qu'ils continuent à assurer le contact entre les produits.

Un regarnissage périodique des joints peut être à prévoir en fonction des conditions d'utilisation et d'entretien du revêtement. Il se pratique de la même façon que lors de la pose initiale.

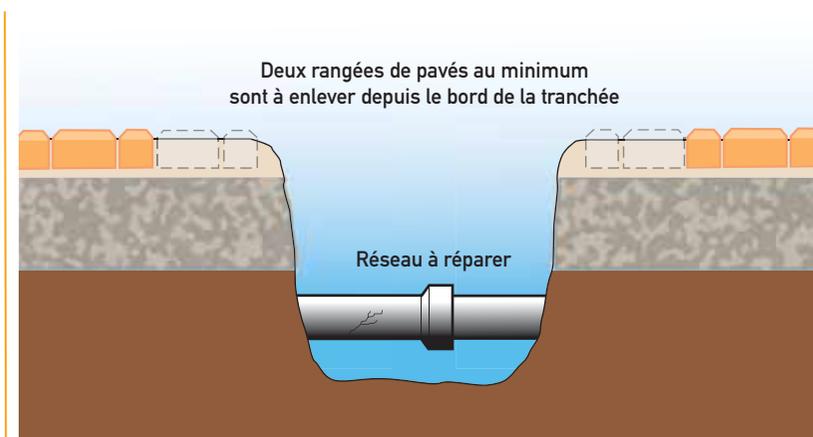
La granulométrie du sable de joint doit être inférieure à celle du lit de : généralement 0/2 ou 0/4.

Lorsque le mode de nettoyage est intensif, des joints en sable stabilisé au mortier ou avec des liants organiques (polyuréthane par exemple) peuvent être utilisés. Les joints doivent rester souples et par conséquent le dosage en ciment ne doit pas excéder 100 kg/m^3 comme spécifié dans la norme NF P 98-335.

3.5.8 Démontage et remplacement des pavés et dalles en béton

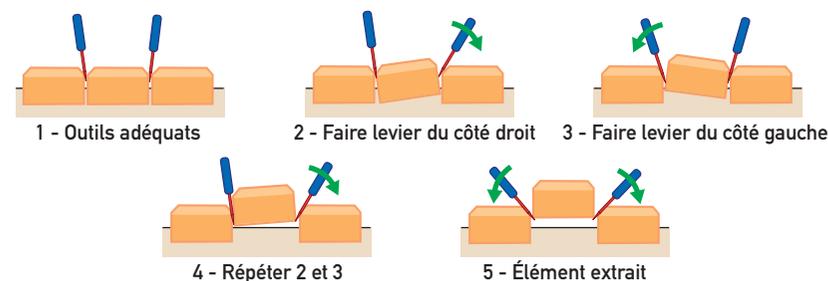
Lors d'une intervention de voirie (pose ou réparation d'un réseau ou d'une canalisation par exemple) il peut être nécessaire de déposer le revêtement de la chaussée ou du trottoir pour accéder à la zone d'intervention.

Ouverture de la tranchée



La nature démontable des revêtements modulaires tels que les pavés et les dalles permet de les enlever et de les stocker afin de pouvoir les remettre en place une fois les travaux achevés. Dans ce cas il est possible d'appliquer la méthode suivante :

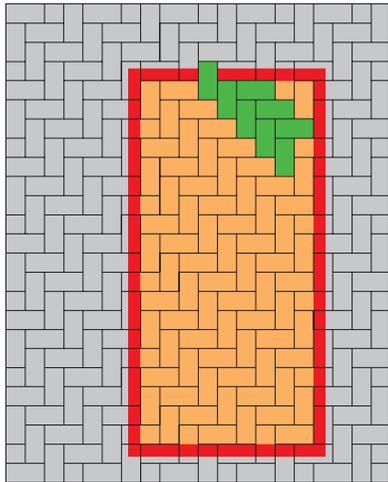
Méthode non destructive d'enlèvement d'un pavé



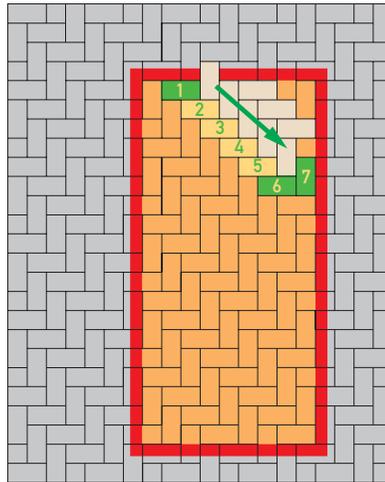
Afin de réaliser ces interventions, il pourra être utile de prévoir un pourcentage de pavés supplémentaires pour tenir compte des remplacements ponctuels d'éléments ou de désordres exceptionnels.

Il peut être nécessaire de casser les premiers pavés, notamment lors d'une pose en chevrons ou pour des autobloquants. Il y a lieu de retirer les pavés dans l'ordre présenté ci-après :

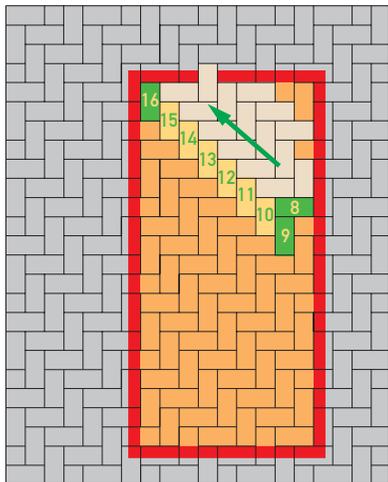
 Pavés pouvant nécessiter d'être cassés pour les produits autobloquants ou la pose en chevrons.



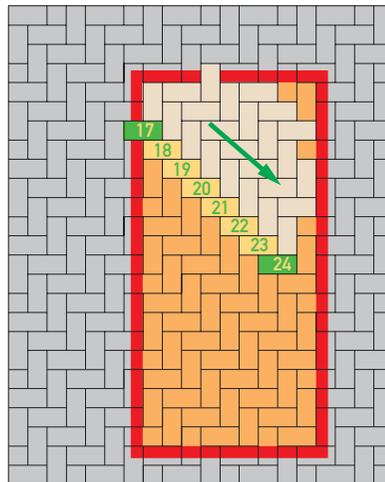
Étape 1.



Étape 2.



Étape 3.

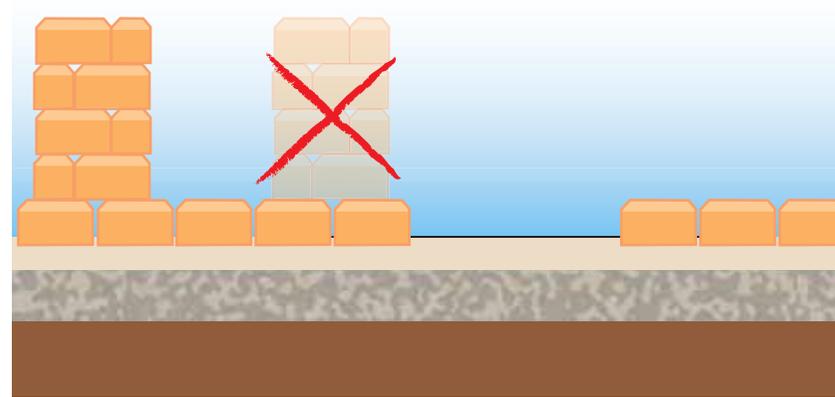


Étape 4.

La repose des pavés nécessitera de respecter l'ensemble des spécifications de pose à neuf (planéité des assises, lit de pose, joints, damage après pose, réception).

Préalablement à leur ré-emploi, les pavés seront brossés si nécessaire pour retirer tous débris ou particules de sol fixés sur le produit.

Les pavés déposés doivent être stockés à au moins 50 cm du bord de l'emprise déposée :



3.6 Développement durable

La conception des voiries et aménagements publics peut s'intégrer dans une démarche de développement durable combinant les approches économiques, sociales et environnementales. Cette approche est globale et doit tenir compte des impacts tout au long du cycle de vie des ouvrages.

Les Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES) des produits (pavés, dalles, bordures, caniveaux...) constituent un des éléments d'appréciation.

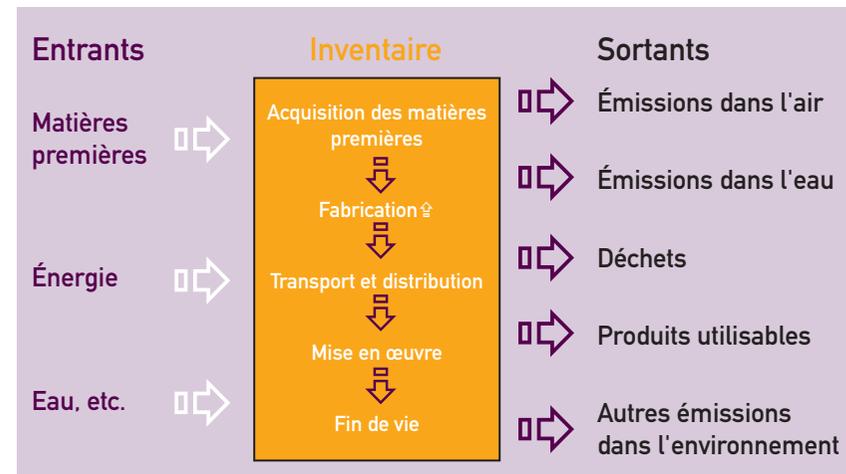


3.6.1 Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES)

Des Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES) ont été élaborées pour les produits préfabriqués en béton et plus particulièrement les pavés, conformément à la norme NF P 01-010.

Une FDES est une étude de l'impact environnemental et sanitaire du produit étudié (pavé, dalle, mur de soutènement...) lors de la totalité de son cycle de vie. L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) comprend différentes étapes : obtention des matières premières, fabrication du produit, transport, mise en œuvre, vie en œuvre, dépose et recyclage éventuel.

L'Analyse de Cycle de Vie (ACV) peut être synthétisée par la figure ci-après :



3.6.2 Extraits de la FDES pavés

L'analyse de cycle de vie des pavés a été menée pour l'unité fonctionnelle suivante :

- 1 mètre carré de pavé de voirie de 6 cm conforme à la NF EN 1338 posé sur sable selon la norme NF P 98-335 avec une Durée de Vie Typique de 50 ans.

Synthèses des indicateurs environnementaux de la FDES

	N°	Impact environnemental		Valeur		Unité		
				par UF ⁽¹⁾	par mètre carré de revêtement ⁽²⁾			
Consommation de ressources	1	Consommation de ressources énergétiques :						
		Énergie primaire totale		3,80	190,12	MJ		
		dont énergie récupérée ⁽²⁾		0,4	19,96	MJ		
		Énergie renouvelable		0,29	14,56	MJ		
		Énergie non renouvelable		3,51	175,42	MJ		
	2	Indicateur d'épuisement des ressources (ADP)		$1,24 \cdot 10^{-3}$	$6,22 \cdot 10^{-2}$	kg équivalent antimoine		
	3	Consommation d'eau		1,69	84,73	Litres		
Pollution des sols + divers	4	Déchets solides	Éliminés	Valorisés		kg		
				Déchets dangereux		$4,55 \cdot 10^{-4}$	$2,27 \cdot 10^{-2}$	kg
				Déchets non dangereux (DIB)		$3,79 \cdot 10^{-3}$	0,19	kg
				Déchets inertes		2,94	147	kg
				Déchets radioactifs		$3,24 \cdot 10^{-0}$	$1,62 \cdot 10^{-3}$	kg
Pollution de l'air	5	Changement climatique		0,39	19,51	kg éq. CO ₂		
	6	Acidification atmosphérique		$1,5 \cdot 10^{-3}$	$7,52 \cdot 10^{-2}$	kg éq. SO ₂		
	7	Pollution de l'air		35,48	1 774,05	m ³		
Pollution de l'eau	8	Pollution de l'eau		0,17	8,39	m ³		
	9	Destruction de la couche d'ozone stratosphérique		$6,46 \cdot 10^{-19}$	$3,23 \cdot 10^{-17}$	kg CFC ⁻¹¹ éq.		
	10	Formation d'ozone photochimique		$1,52 \cdot 10^{-4}$	$7,62 \cdot 10^{-3}$	kg d'éthylène éq.		

(1) Les valeurs sont exprimées pour l'unité fonctionnelle (U.F.), c'est à dire 1 m² de revêtement pavé pour une annuité sur la base d'une durée de vie typique de 50 ans.

(2) Les valeurs sont exprimées pour 1 m² de revêtement pavé pendant toute sa durée de vie.

Les informations complémentaires sont apportées :

Consommation des ressources naturelles

Plus de 99 % en masse des ressources non énergétiques consommées correspondent à des matériaux minéraux extraits pour la production des granulats du béton, pour le lit de pose (d'origine alluvionnaire, roche sédimentaire ou éruptive) et pour la production de ciment (calcaire et argile).

Consommation d'eau

Les consommations d'eau correspondent à l'eau totale puisée dans le milieu. L'eau est consommée à 73 % durant la phase de production et à 19,5 % durant la phase de mise en œuvre. Une grande partie de cette eau (54 %) est utilisée en carrière pour le lavage des granulats. Cette eau est restituée au milieu naturel après épuration des éléments « polluants » qui ne sont pour l'essentiel que des matières minérales en suspension.

Emissions dans l'air

Le tableau ci-dessous présente l'impact respectif (en %) sur les émissions dans l'air, de la production, du transport, de la mise en œuvre, de la vie en œuvre et de la fin de vie.

Désignation	Phases				
	Production	Transport	Mise en œuvre	Vie en œuvre	Fin de vie
Dioxyde de carbone	88	12			
Hydrocarbures	55	28	9	1,5	6,5
Oxyde d'azote	60	25,5	8	0,5	6
Oxyde de soufre	93	6		1	
Poussière	64,5	3,5	25	6	1

Emissions dans l'eau

Demande Chimique en Oxygène (DBO) : 75 % des émissions ont lieu lors de la phase de production, 22 % lors de la phase de fin de vie.

Matière En Suspension (MES) : 41 % des émissions ont lieu lors de la phase de production, 57 % lors de la phase de fin de vie.

Métaux : 49,5 % des émissions ont lieu lors de la phase de production, 32 % lors du transport du produit, 10 % lors de la phase de mise en œuvre et 8 % lors de la phase de fin de vie.

Production de déchets valorisés

La majorité des déchets valorisés (82 %) correspond au sable du lit de pose comptabilisé comme matière récupérée après la dépose des pavés.

Production de déchets éliminés

Les déchets sont, pour plus de 99 %, des déchets inertes de béton correspondant à l'élimination du produit en fin de vie. Ne nécessitant pas d'opérations de tri, ces déchets inertes de béton peuvent être aisément recyclés, après traitement, comme granulats secondaires. Dans le cadre de cette fiche, ces déchets de fin de vie sont considérés comme partant intégralement en décharge de classe 3. Ceci est conforme à la norme NF P 01-010, puisque la part des déchets traités actuellement par les filières de recyclage est encore limitée.

En France, la filière de traitement et de recyclage des déchets inertes de démolition est toutefois en fort développement. Il est à noter que les tableaux de valeur comportent des déchets radioactifs. Ces derniers ont pour origine le processus de production d'électricité en centrales nucléaires.

ANNEXES

71

Annexe 1 : Essais de produits de voirie préfabriqués en béton

Cette annexe présente les conditions d'acceptation des produits de voirie préfabriqués en béton (pavés, dalles, bordures et caniveaux) sur chantier et les principes des essais réalisés.

Le détail des modes opératoires et des exigences est mentionné dans les normes de produits :

- NF EN 1338 : Pavés en béton - Prescriptions et méthodes d'essai, AFNOR, Février 2004.
- NF EN 1339 : Dalles en béton - Prescriptions et méthodes d'essai, AFNOR, Février 2004.
- NF EN 1340 : Éléments pour bordures de trottoir en béton - Prescriptions et méthodes d'essai, AFNOR, Février 2004.
- NF P 98-340/CN : Éléments pour bordures de trottoir en béton - Prescriptions et méthodes d'essai - Complément national à la NF EN 1340 : produits industriels en béton - Bordures et caniveaux – Profils, AFNOR, Mars 2004.

Sommaire de cette annexe :

A.1.1	Conditions d'acceptation des produits sur chantier	73
A.1.2	Caractéristiques géométriques	78
A.1.2.1	Pavés et dalles	78
A.1.2.2	Bordures	78
A.1.3	Absorption d'eau	81
A.1.3.1	Pavés et dalles	81
A.1.3.2	Bordures	81
A.1.4	Résistance au gel/dégel.	82
A.1.5	Résistance au fendage (pavés).	83
A.1.6	Résistance à la flexion (dalles, bordures).	84
A.1.6.1	Dalles	84
A.1.6.2	Bordures	84
A.1.7	Résistance à l'abrasion	86
A.1.8	Résistance à la glissance	87

A.1.1 Conditions d'acceptation des produits sur chantier

Selon la norme NF P 98-335, les conditions d'acceptation des produits sur chantier à vérifier lorsqu'ils ne disposent pas de la marque  sont :

Pavés en béton

Classe d'appellation	Épaisseur nominale (mm)	Pose
T3-T4	≥ 80	En chevrons ou à lignes de joints discontinues, sur sable ou sable stabilisé
T5	≥ 60	Sur sable ou sable stabilisé

Tableau 1 – Classes d'appellation des pavés en béton

SPÉCIFICATIONS GÉNÉRALES			
Caractéristiques		Spécifications	Modalités d'essai
Caractéristiques visuelles	Aspect, texture et couleur	§ 5.4 de NF EN 1338	Annexe J de NF EN 1338
Caractéristiques géométriques	Épaisseur de la couche de parement	≥ 4 mm	Annexe C de NF EN 1338
	Longueur et largeur	- pour les pavés d'épaisseur < 100 mm : ± 2 mm - pour les pavés d'épaisseur ≥ 100 mm : ± 3 mm	
	Épaisseur	- pour les pavés d'épaisseur < 100 mm : ± 3 mm DE PLUS : aucun résultat < 57 mm pour les pavés de classe d'appellation T5 aucun résultat < 77 mm pour les pavés de classe d'appellation T3-4 - pour les pavés d'épaisseur ≥ 100 mm : ± 4 mm	
	Différence entre 2 mesurages de l'épaisseur sur un même pavé	≤ 3 mm	
	Planéité et courbure si longueur et/ou largeur > 300 mm	Tableau 3 de NF EN 1338	
	Pour les diagonales > 300 mm	Différence entre 2 diagonales ≤ 3 mm (classe K de NF EN 1338)	
Résistance mécanique	Résistance à la rupture en traction par fendage (MPa)	Valeur caractéristique : 3,6 Borne : 2,9	Annexe F de NF EN 1338
	Charge de rupture	Aucun résultat < 250 N/mm	
Résistance aux agressions climatiques	Absorption d'eau	≤ 6 % en masse (classe B de NF EN 1338)	Annexe E de NF EN 1338
Résistance à l'abrasion	Essai au disque large	≤ 23 mm (classe H de NF EN 1338)	Annexe G de NF EN 1338
Résistance à la glissance et au dérapage	Uniquement pour les produits polis ou meulés	Déclaration de la valeur obtenue par l'essai	Annexe I de NF EN 1338
PERFORMANCE OPTIONNELLE			
Résistance renforcée au gel/dégel avec sels de déverglaçage		Perte de masse gel/dégel + sel ≤ 1,0 kg/m ² en moyenne avec aucun résultat individuel > 1,5 kg/m ²	Annexe D de NF EN 1338

Tableau 2 – Spécifications des pavés en béton

Dalles en béton

Classe de résistance		S4	T7	T11	U14	U25	U30
Résistance à la flexion (MPa)	T _{0,95}	3,5	4,0	4,0	5,0	5,0	5,0
Charge de rupture (kN)	P _{0,95}	4,5	7,0	11,0	14,0	25,0	30,0
Destination VOIRIE	Pose sur sable ou mortier	Véhicules de charge par roue < 6 kN	Véhicules de charge par roue < 9 kN	Véhicules de charge par roue < 25 kN		Véhicules de charge par roue < 65 kN	
				Circulation occasionnelle et à vitesse réduite	Circulation normale	Circulation occasionnelle et à vitesse réduite	Circulation normale
	Pose sur plots	/	Accès piétons exclusivement		Véhicules de charge par roue < 9 kN circulant à vitesse réduite et à raison de 40 véhicules/jour/sens au maximum (aires de stationnement,...)	/	/
			Usage modéré sur petite surface et hauteur des plots ≤ 15 cm	Usage collectif ou public			

Tableau 3 – Classes d'appellation des dalles en béton

SPÉCIFICATIONS GÉNÉRALES			
Caractéristiques		Spécifications	Modalités d'essai
Caractéristiques visuelles	Aspect, texture et couleur	§ 5.4 de NF EN 1339	Annexe J de NF EN 1339
Caractéristiques géométriques	Épaisseur de la couche de parement	≥ 4 mm	Annexe C de NF EN 1339
	Longueur et largeur	- pour les dalles d'épaisseur ≤ 600 mm : ± 2 mm - pour les dalles d'épaisseur > 600 mm : ± 3 mm	
	Épaisseur	± 3 mm	
	Différence entre 2 mesurages de la longueur, de la largeur et de l'épaisseur d'une même dalle	≤ 3 mm	
	Planéité et courbure si longueur et/ou largeur > 300 mm	Tableau 3 de NF EN 1339	
	Pour les diagonales > 300 mm	Différence entre 2 diagonales ≤ 3 mm (classe K de NF EN 1339)	
Résistance mécanique*	Résistance à la flexion (MPa)	6 classes telles que définies au tableau 3 du présent document	Annexe F de NF EN 1339
	Charge de rupture (kN)		
Résistance aux agressions climatiques	Absorption d'eau	≤ 6 % en masse (classe B de NF EN 1339)	Annexe E de NF EN 1339
Résistance à l'abrasion	Essai au disque large	≤ 23 mm (classe H de NF EN 1339)	Annexe G de NF EN 1339
Résistance à la glissance et au dérapage	Uniquement pour les produits polis ou meulés	Déclaration de la valeur obtenue par l'essai	Annexe I de NF EN 1339
PERFORMANCE OPTIONNELLE			
Résistance renforcée au gel/dégel avec sels de déverglaçage		Perte de masse gel/dégel + sel ≤ 1,0 kg/m ² en moyenne avec aucun résultat individuel > 1,5 kg/m ²	Annexe D de NF EN 1339

* Une usine titulaire du droit d'usage pour un modèle de dalle dans une classe de résistance donnée peut, en cas de résultats non conformes à cette classe, déclasser la production concernée sans requête particulière auprès de l'organisme certificateur, à condition que les produits répondent à la nouvelle classe visée.

Tableau 4 – Spécifications des dalles en béton

Bordures en béton

SPÉCIFICATIONS GÉNÉRALES																
Caractéristiques		Spécifications			Modalités d'essai											
Caractéristiques visuelles	Aspect, texture et couleur	§ 5.4 de NF EN 1340			Annexe J de NF EN 1340											
Caractéristiques géométriques	Définition des profils	§ 4 et Annexe A de NF P 98-340/CN			/											
	Longueur	+ 1 % avec : ± 4 mm pour L < 0,4 m et ± 10 mm pour L > 1 m			Annexe C de NF EN 1340 + Annexe B de NF P 98-340/CN Possibilité de vérification des dimensions transversales à l'aide de gabarits											
	Faces vues	± 3 % avec : ± 3 mm pour dimensions < 100 mm et ± 5 mm pour dimensions > 170 mm														
	Faces cachées	± 5 % avec : ± 3 mm pour dimensions < 60 mm et ± 10 mm pour dimensions > 200 mm														
	Différence entre 2 mesurages d'une même dimension sur 1 produit	≤ 5 mm														
	Emboîtement chanfrein - dépouille	Valeurs à déclarer et tolérer par le fabricant														
	Épaisseur de la couche de parement	≥ 4 mm														
Planéité et rectitude (faces vues planes et bords rectilignes)	Tableau 1 de NF EN 1340															
Résistance mécanique	Résistance à la flexion	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Classe</th> <th>Valeur caractéristique (MPa)</th> <th>Borne (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>S</td> <td>3,5</td> <td>2,8</td> </tr> <tr> <td>T</td> <td>5,0</td> <td>4,0</td> </tr> <tr> <td>U</td> <td>6,0</td> <td>4,8</td> </tr> </tbody> </table>	Classe	Valeur caractéristique (MPa)	Borne (MPa)	S	3,5	2,8	T	5,0	4,0	U	6,0	4,8	Annexe F de NF EN 1340	
Classe	Valeur caractéristique (MPa)	Borne (MPa)														
S	3,5	2,8														
T	5,0	4,0														
U	6,0	4,8														
Résistance à la glissance et au dérapage	Uniquement pour les produits polis ou meulés	Déclaration de la valeur obtenue par l'essai			Annexe I de NF EN 1340											
PERFORMANCES OPTIONNELLES																
Résistance aux agressions climatiques	- Classe B de EN 1340 - Classe D de EN 1340	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Classe</th> <th>Absorption d'eau (%)</th> <th>Perte de masse gel/dégel + sels (kg/m²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>B</td> <td>≤ 6</td> <td>/</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>≤ 6</td> <td>Moyen < 1,0 et aucun résultat individuel > 1,5</td> </tr> </tbody> </table>	Classe	Absorption d'eau (%)	Perte de masse gel/dégel + sels (kg/m ²)	B	≤ 6	/	D	≤ 6	Moyen < 1,0 et aucun résultat individuel > 1,5	Absorption d'eau : Annexe E de NF EN 1340 Perte de masse par gel/dégel + sels : Annexe D de NF EN 1340				
Classe	Absorption d'eau (%)	Perte de masse gel/dégel + sels (kg/m ²)														
B	≤ 6	/														
D	≤ 6	Moyen < 1,0 et aucun résultat individuel > 1,5														
Résistance à l'abrasion	Classe H de EN 1340 et par mesure au disque large	≤ 23 mm			Annexe G de NF EN 1340											

Tableau 5 – Spécifications éléments de bordures en béton

A.1.2 Caractéristiques géométriques

A.1.2.1 Pavés et dalles

Épaisseur minimum

Les normes ne préconisent pas d'essai concernant l'épaisseur des produits cependant elles imposent une résistance au fendage (pavés) et une résistance à la flexion (dalles). Cela induit une épaisseur minimum en fonction du trafic que les produits vont devoir supporter.

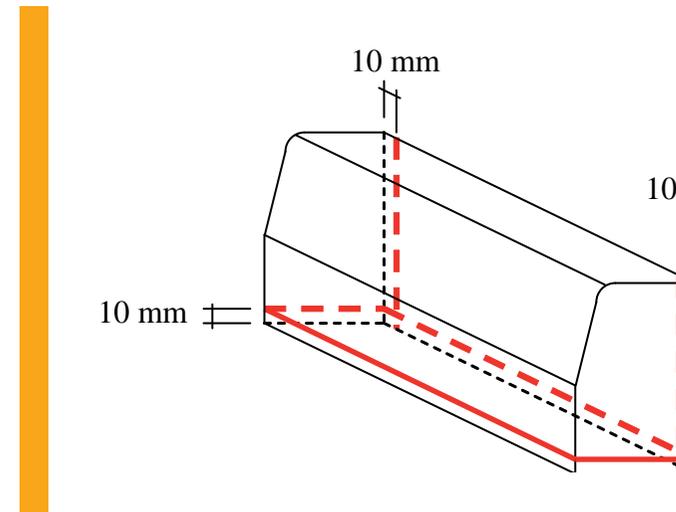
Tolérance dimensionnelle

L'essai consiste à mesurer au millimètre près les dimensions caractéristiques de l'élément (longueur, largeur, épaisseur, diagonales, chanfreins), au dixième de millimètre près les planéités et courbures. Pour les éléments ayant un parement il faudra mesurer ce dernier.

A.1.2.2 Bordures

Il y a quatre catégories de mesures : les dimensions hors-tout (longueur, largeur, hauteur), la dépouille, le profil en creux, la planéité et la courbure, la couche de parement.

Mesure des dimensions hors-tout



Remarque Générale – Une arête décrite comme à angle droit peut être biseautée ou arrondie, ses dimensions horizontales et verticales ne doivent pas excéder 2 mm. Une arête biseautée de plus de 2 mm doit être décrite comme chanfreinée. Ses dimensions doivent être déclarées par le fabricant.

Tolérances dimensionnelles pour les pavés

Les tolérances dimensionnelles sont :

Épaisseur pavé (mm)	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Épaisseur (mm)
< 100	± 2	± 2	± 3
≥ 100	± 3	± 3	± 4

La différence entre deux mesurages d'épaisseur sur un même pavé doit être ≤ à 3 mm.

Les différences maximales admissibles entre la mesure de deux diagonales d'un pavé rectangulaire lorsque ces dernières excèdent 300 mm sont :

Classe	Marquage selon NF EN 1338	Différence maximale (mm)
1	J	5
2	K	3

Les écarts admissibles au niveau de la planéité et la courbure sont :

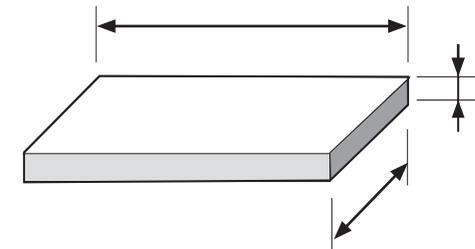
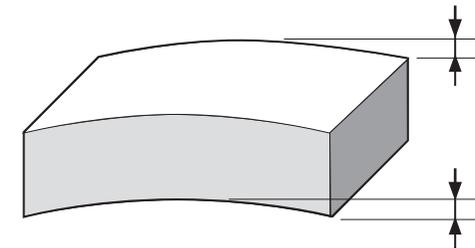
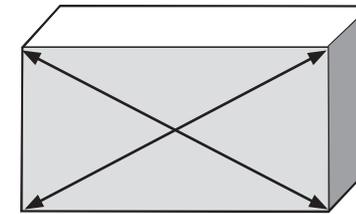
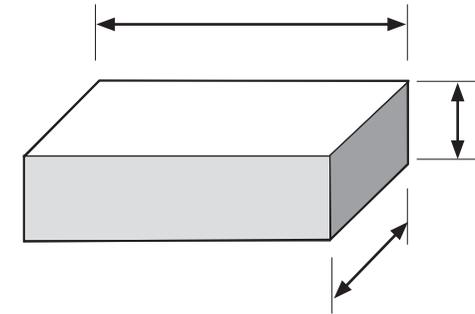
Longueur du calibre (mm)	Écart maximal de convexité (mm)	Écart maximal de concavité (mm)
300	1,5	1
400	2	1,5

Lorsque la forme du pavé n'est pas rectangulaire les tolérances doivent être données par les fabricants.

Tolérances dimensionnelles pour les dalles

Classe	Marquage selon NF EN 1339	Dimensions de fabrication ⁽¹⁾ vérifiées	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Épaisseur (mm)
1	N	Toutes	± 5	± 5	± 3
2	P	≤ 600 mm	± 2	± 2	± 3
		> 600 mm	± 3	± 3	± 3
3	R	Toutes	± 2	± 2	± 2

La différence entre deux mesurages de la longueur, la largeur, l'épaisseur sur une même dalle doit être ≤ 3 mm.



⁽¹⁾ Dimension spécifiée par le fabricant.

Les différences maximales admissibles entre la mesure de deux diagonales d'une dalle rectangulaire lorsque ces dernières excèdent 300 mm sont :

Classe	Marquage selon NF EN 1339	Diagonale (mm)	Différence maximale (mm)
1	J	≤ 850	5
		> 850	8
2	K	≤ 850	3
		> 850	6
3	L	≤ 850	2
		> 850	4

Les écarts admissibles au niveau de la planéité et la courbure sont :

Longueur du calibre (mm)	Écart maximal de convexité (mm)	Écart maximal de concavité (mm)
300	1,5	1
400	2	1,5
500	2,5	1,5
800	4	2,5

Tolérances dimensionnelles pour les bordures et les caniveaux

Les tolérances sur les sections transversales des profils sont données dans l'annexe A du complément national NF P 98-340/CN.

Faces vues : ± 3 % au millimètre près avec au moins 3 mm sans dépasser 5 mm.

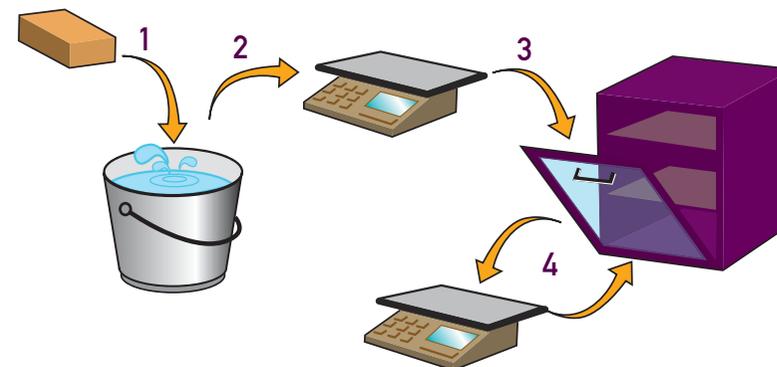
Faces cachées : ± 5 % au millimètre près avec au moins 3 mm sans dépasser 10 mm.

Différence entre deux mesurages d'une même dimension sur un seul élément : ≤ 5 mm.

A.1.3 Absorption d'eau

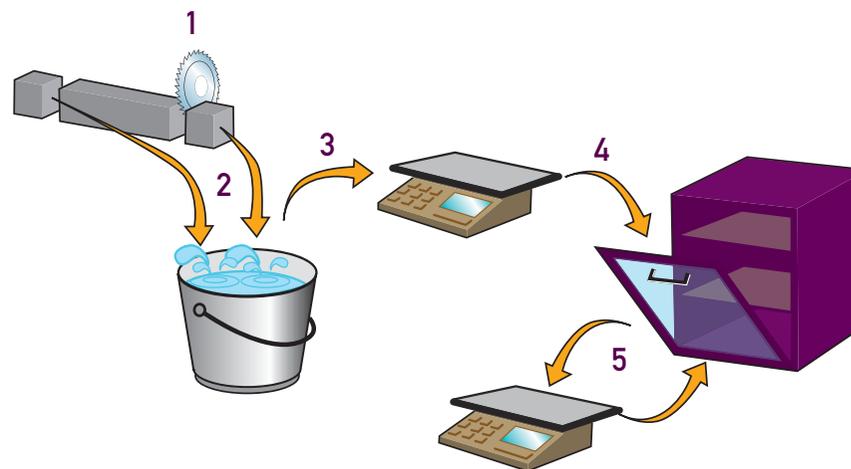
A.1.3.1 Pavés et dalles

Pour connaître le pourcentage d'eau qu'un élément peut contenir il faut prendre un échantillon de 5 kg maxi, immergé pendant au moins 3 jours (Phase 1) et pesé toutes les 24 h jusqu'à ce que sa masse n'augmente plus (Phase 2). L'échantillon est ensuite séché dans une étuve pendant au moins trois jours (Phase 3) et pesé toutes les 24 h jusqu'à ce que sa masse ne diminue plus (Phase 4). Une formule donne ensuite l'absorption d'eau en fonction des deux masses mesurées.



A.1.3.2 Bordures

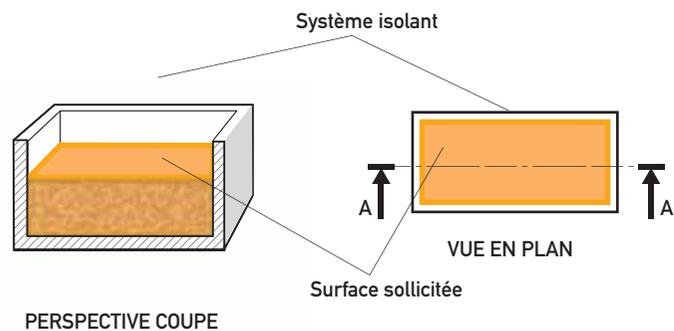
L'essai consiste à mesurer la quantité d'eau que l'élément peut absorber. Pour cela deux échantillons, dont la masse doit être comprise entre 2,5 et de 5 kg sont prélevés à chaque extrémité de l'élément (Phase 1). Ils sont immergés pendant au moins 3 jours (Phase 2) et pesés toutes les 24 h jusqu'à ce que leur masse n'augmente plus (Phase 3). Ils sont ensuite séchés dans une étuve pendant au moins trois jours (Phase 4) et pesés toutes les 24 h jusqu'à ce que leur masse ne diminue plus (Phase 5). Une formule donne ensuite l'absorption d'eau en fonction des masses mesurées.



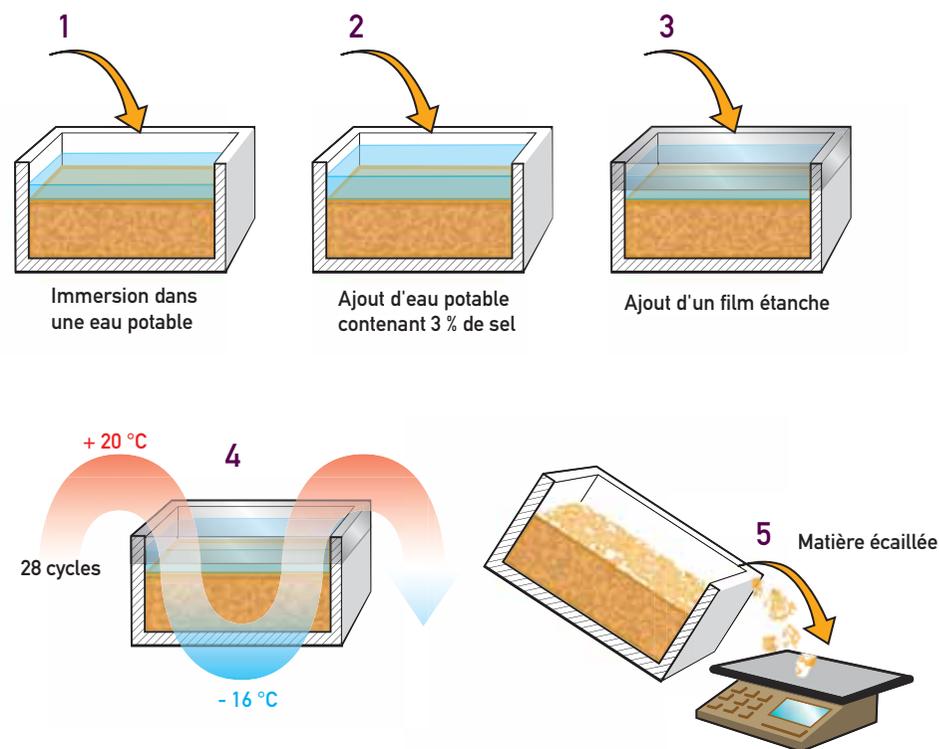
Remarque – Les échantillons ne doivent pas être en contact pendant les phases d'immersion et de séchage.

A.1.4 Résistance au gel/dégel

L'impact du gel/dégel est mesuré en étudiant l'écaillage d'une surface déterminée d'un échantillon dont l'âge est compris entre 28 et 35 jours. Ce dernier est placé dans un système isolant et des joints sont réalisés pour que seule la surface supérieure soit sollicitée. Il doit être immergé dans une solution spécifique puis soumis à 28 cycles d'environ 24 heures. On pèse ensuite la matière écaillée.

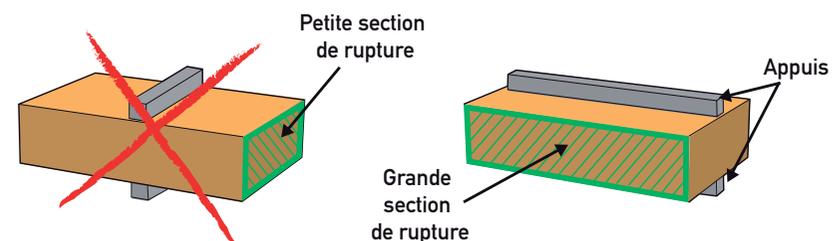


L'essai se déroule selon les étapes qui suivent :



A.1.5 Résistance au fendage (pavés)

L'essai consiste à placer un pavé, préalablement immergé environ 24 h, en tenaille entre deux appuis alignés verticalement (un au-dessus et un en-dessous). Les appuis seront placés parallèlement à la plus grande longueur afin d'obtenir la section de rupture la plus grande.



Les deux appuis se rapprochant l'un de l'autre font travailler l'échantillon en compression jusqu'à la rupture.



Essai de fendage sur un pavé

A.1.6 Résistance à la flexion (dalles, bordures)

A.1.6.1 Dalles

La résistance d'une dalle se mesure à l'aide d'un essai de flexion en 3 points (2 points d'appui, 1 point de chargement) sur l'échantillon. L'échantillon est une dalle ou un morceau de dalle scié pour obtenir deux bords rectilignes parallèles. Le chargement augmente de façon régulière jusqu'à la rupture.



Essai de flexion sur une dalle

A.1.6.2 Bordures

L'essai décrit dans l'annexe F de la NF EN 1340 est un essai de flexion en trois points qui doit être exempt de torsion. Il permet d'obtenir la résistance aux sollicitations auxquelles sera soumise la bordure (chocs, charges routières pour les bordures franchissables...).



Essai de flexion sur une bordure de type T

Il y a trois cas de figures :

- si $L \geq 4H + 200$ mm alors $D = 100$ mm ;
- si $4H + 200$ mm $> L \geq 5H$ alors $D = H/2$;
- si $L < 5H$ alors l'essai est irréalisable.

L'élément est immergé au moins 24 h dans l'eau. Il est sorti et essuyé juste avant l'essai. On applique la charge sur la plus grande longueur de la section. Nous augmentons la contrainte de façon régulière jusqu'à rupture de l'élément. Une formule nous donne alors la résistance de l'élément testé

$$T = \frac{P \times L \times y}{4 \times I}$$

Charge de rupture (N) → P

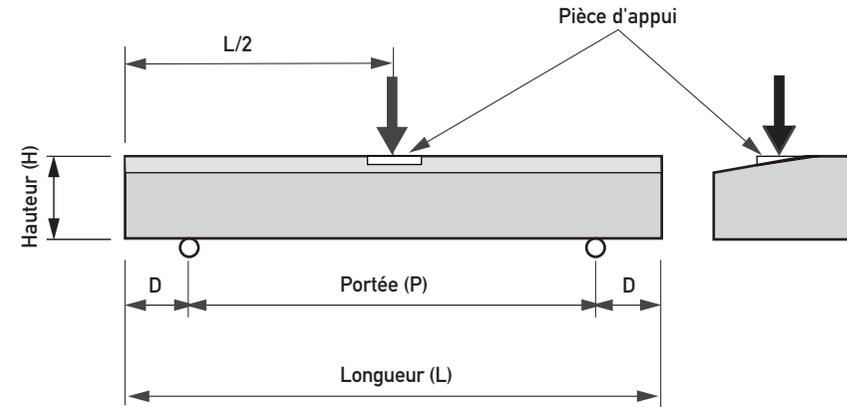
Portée (mm) → L

Distance entre le centre de gravité et la fibre de traction extrême → y

Moment d'inertie de la surface de rupture → I

Résistance (MPa) → T

Schéma de principe

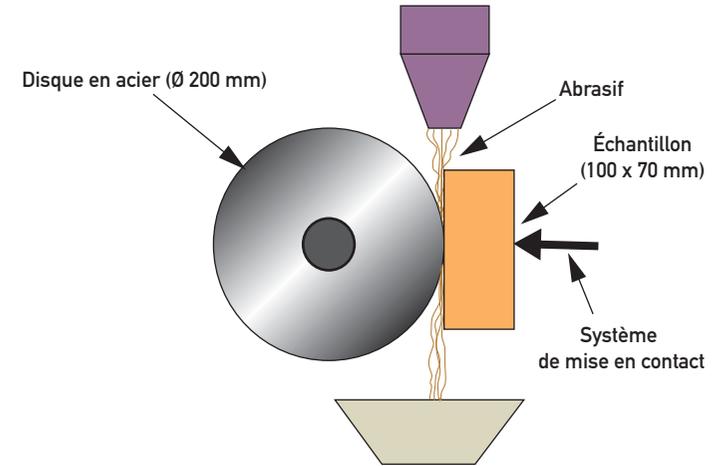


A.1.7 Résistance à l'abrasion

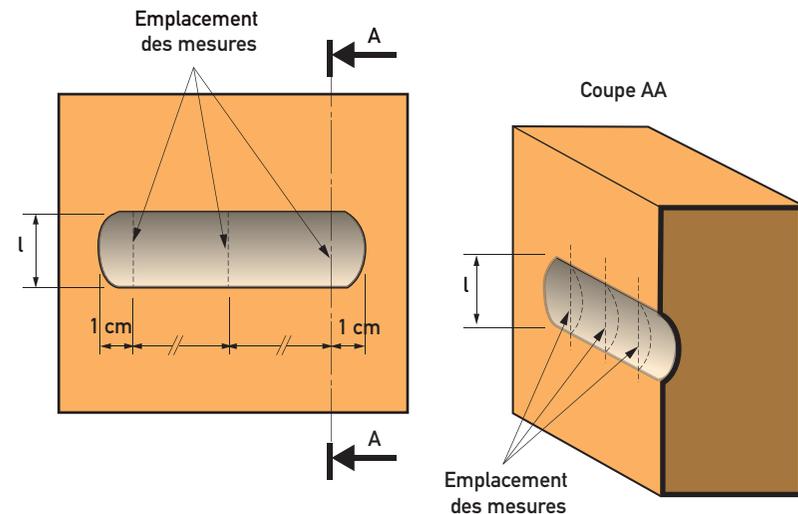
L'essai de référence est celui de la machine d'abrasion à disque large présentée ci-contre. Si les conditions l'exigent un essai de remplacement peut être envisagé : l'essai de Böhme.

L'essai consiste à faire tourner environ 75 fois un disque en acier en l'espace d'une minute. Ce dernier est en contact avec l'échantillon testé. Pendant tout l'essai un abrasif (corindon par exemple) est, de façon gravitaire, introduit au niveau de la surface de contact entre le disque et l'échantillon. Nous mesurons ensuite la largeur (l) de l'empreinte qui s'est creusée dans l'échantillon.

Machine d'abrasion à disque large



Échantillon de mesures



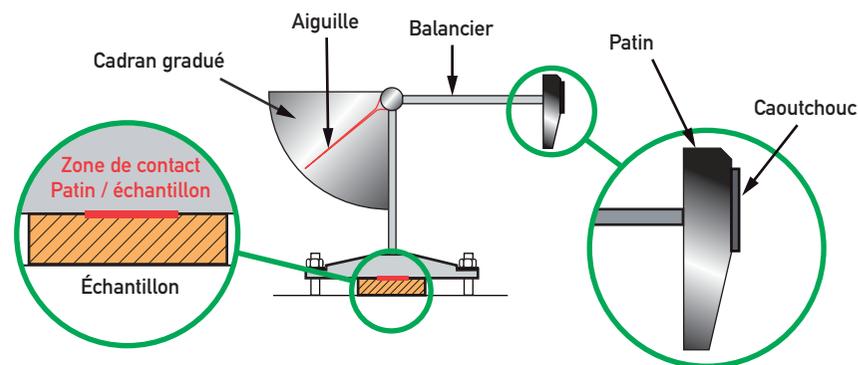
A.1.8 Résistance à la glissance

L'essai décrit dans l'annexe I de la NF EN 1338 et NF EN 1339 fait appel à un pendule de frottement qui permet de mesurer la résistance à la glissance. Il se base sur l'atténuation du mouvement pendulaire, généré lors de l'essai, qui sera fonction du frottement entre le patin en caoutchouc et l'échantillon. L'échantillon doit être immergé au moins 30 minutes dans l'eau juste avant l'essai. L'essai se fait cinq fois et le résultat est une moyenne des trois dernières mesures. L'échantillon et le patin sont humidifiés entre chaque mesure. La valeur USRV est la moyenne pendulaire de cinq essais (25 mesures).

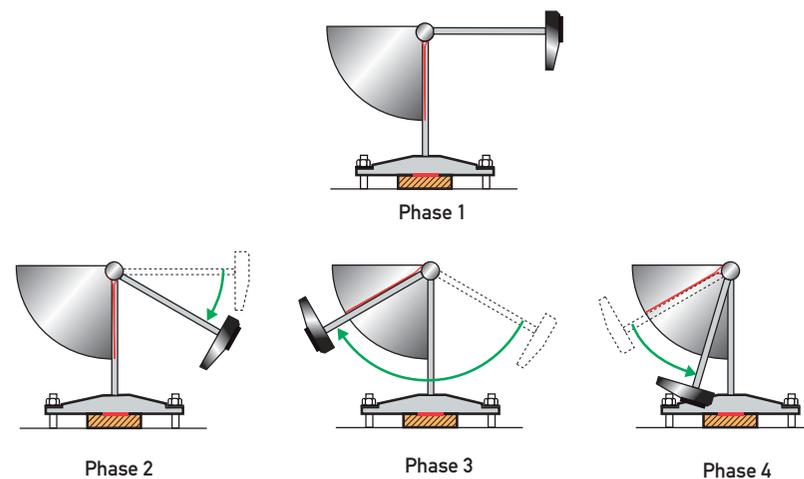
La mesure est simple : le balancier est placé à l'horizontal au niveau de la partie droite du pendule (Phase 1). Il est ensuite lâché (Phase 2). Le mouvement généré le fait entrer en contact avec l'échantillon puis remonter dans la partie gauche du pendule entraînant avec lui l'aiguille qui était positionnée à la verticale de l'échantillon. Le balancier redescend après avoir positionné l'aiguille au point maximum de sa remontée (Phase 3).

Remarque – Il faut l'attraper lorsqu'il redescend pour éviter tout contact superflu avec l'échantillon.

Pendule de frottement



Déroulement d'une mesure



Annexe 2 : Textes utiles

Sommaire de cette annexe :

A.2.1 Normes.	88
A.2.2 Accessibilité de la voirie	88

A.2.1 Normes

Désignation	Normes		
	Produit	Mise en œuvre	Divers
Pavés	NF EN 1338	NF P 98-335 Fascicule 31	NF P 98-350
Dalles	NF EN 1339		NF P 98-351
Bordures	NF EN 1340 NF P 98-340/CN		NF P 98-350

- NF EN 1338 : Pavés en béton - Prescriptions et méthodes d'essai, AFNOR, Février 2004.
- NF EN 1339 : Dalles en béton - Prescriptions et méthodes d'essai, AFNOR, Février 2004.
- NF EN 1340 : Éléments pour bordures de trottoir en béton - Prescriptions et méthodes d'essai, AFNOR, Février 2004.
- NF P 98-340/CN : Éléments pour bordures de trottoir en béton - Prescriptions et méthodes d'essai - Complément national à la NF EN 1340 : produits industriels en béton - Bordures et caniveaux - Profils, AFNOR, Mars 2004.
- NF P 98-335 : Chaussées urbaines - Mise en œuvre des pavés et dalles en béton, des pavés en terre cuite et des pavés et dalles en pierre naturelle, AFNOR, Mai 2007.
- NF P 98-350 : Cheminement - Insertion des handicapés - Cheminement piétonnier urbain, conditions de conception et d'aménagement des cheminements pour l'insertion des personnes handicapées, AFNOR, Février 1988.

- NF P 98-351 : Cheminements - Insertion des handicapés - Éveil de vigilance - Caractéristiques et essais des dispositifs podotactiles au sol d'éveil de vigilance à l'usage des personnes aveugles ou mal voyantes, AFNOR, Février 1989.
- Référentiel de certification pour la marque  pavés de voirie en béton (NF 072).
- Référentiel de certification pour la marque  dalles de voirie et toiture en béton (NF 187).
- Référentiel de certification pour la marque  bordures et caniveaux en béton (NF 043).

A.2.2 Accessibilité de la voirie

Textes de loi

- Loi du 11 février 2005.
- Décret du 21 décembre 2006.
- Arrêté du 15 janvier 2007 portant application du décret n° 2006-1658 du 21 décembre 2006 relatif aux prescriptions techniques pour l'accessibilité de la voirie et des espaces publics.

Guides

- « Recommandations concernant les surfaces tactiles au sol pour personnes aveugles ou malvoyantes », CERTU, Février 2003.

Sommaire détaillé

Introduction	1
Chapitre 1 : Types d'applications et exigences fonctionnelles	3
1.1 Applications	4
1.1.1 Les pavés	4
1.1.2 Les dalles	4
1.1.3 Les bordures et les caniveaux	4
1.2 Exigences fonctionnelles	5
1.2.1 L'esthétique et l'intégration dans l'environnement	5
1.2.2 La structuration de l'espace	5
1.2.3 L'insertion des personnes handicapées	5
1.2.4 La sécurité des utilisateurs	6
1.2.5 La tenue au trafic	6
1.2.6 La résistance aux sollicitations climatiques	7
1.2.7 La facilité de mise en œuvre	7
1.2.8 La facilité d'entretien	8
1.2.9 La durabilité et la pérennité	8
1.2.10 L'aptitude au recyclage	8
1.2.11 Le développement durable	8
Chapitre 2 : Conception générale	9
2.1 Implantation et utilisation de l'espace	10
2.1.1 Rayons et courbures des aménagements	11
2.1.2 Pentés et différences de niveaux	11
2.1.3 Aménagements nécessaires à la sécurité et l'accessibilité des utilisateurs	13
2.1.4 Drainage des eaux de ruissellement	14
2.1.5 Délimitation des surfaces et blocage de rives	15
2.2 Esthétique et appareillage	16
2.2.1 Couleurs	16
2.2.2 Textures	18
2.2.3 Formes	19

2.2.4 Mariages des surfaces et des produits	20
2.2.5 Appareillage	20
2.3 Choix des caractéristiques des produits	22
2.3.1 Caractéristiques géométriques	22
2.3.2 Résistance au gel/dégel	25
2.3.3 Absorption d'eau	25
2.3.4 Résistance mécanique	25
2.3.5 Résistance à l'abrasion	27
2.3.6 Résistance à la glissance	27
2.4 Dimensionnement structurel (pavés et dalles)	28
2.4.1 Choix de la classe de trafic	28
2.4.2 Choix de la portance	28
2.4.3 Choix de l'assise	28
2.4.4 VoirIB	29
2.5 Pose	30
2.5.1 Type de pose	30
2.5.2 Lit de pose (pavés et dalles) et fondation (bordures et caniveaux)	31
Chapitre 3 : Conception détaillée	32
3.1 Implantation et utilisation de l'espace	34
3.1.1 Rayons de courbure minimaux	34
3.1.2 Pentés et différences de niveaux	35
3.1.3 Aménagements nécessaires à la sécurité et l'accessibilité des utilisateurs	38
3.1.4 Drainage des eaux de ruissellement	44
3.1.5 Délimitation des surfaces et blocage de rives	48
3.2 Esthétique et appareillage	50
3.2.1 Types de pavés et de dalles et profils des bordures	50
3.2.2 Appareillage	53
3.3 Choix des caractéristiques des produits	58

3.4	Pose	60
3.4.1	Lit de pose (pavés et dalles)	60
3.4.2	Largeur de joints (pavés et dalles)	60
3.4.3	Fondation des bordures	60
3.4.4	Calage des bordures	62
3.5	Maîtrise de la qualité	63
3.5.1	Travaux préalables au chantier	64
3.5.2	Conformité des produits	64
3.5.3	Contrôles des ouvrages	64
3.5.4	Mise en service	65
3.5.5	Entretien	65
3.5.6	Nettoyage de la surface pavée ou dallée	65
3.5.7	Regarnissage des joints	66
3.5.8	Démontage et remplacement des pavés et dalles en béton	66
3.6	Développement durable	68
3.6.1	Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES)	68
3.6.2	Extraits de la FDES pavés	69
	Annexes	71
	Annexe 1 : Essais des produits de voirie préfabriqués en béton	72
A.1.1	Conditions d'acceptation des produits sur chantier	73
A.1.2	Caractéristiques géométriques	78
A.1.3	Absorption d'eau	81
A.1.4	Résistance au gel/dégel	82
A.1.5	Résistance au fendage (pavés)	83
A.1.6	Résistance à la flexion (dalles, bordures)	84
A.1.7	Résistance à l'abrasion	86
A.1.8	Résistance à la glissance	87
	Annexe 2 : Textes utiles	88
A.2.1	Normes	88
A.2.2	Accessibilité de la voirie	88
	Sommaire détaillé	89



BP 30059 - 28231 Épernon cedex - France
Tél. +33 2 37 18 48 00 - Fax +33 2 37 83 67 39 - cerib@cerib.com - www.cerib.com