

# Chaussées urbaines démontables

*Guide technique 2008*



# Chaussées urbaines démontables

Guide technique 2008

Décembre 2008

**Centre d'études sur les réseaux, les transports,  
l'urbanisme et les constructions publiques**



## Collection Références

Cette collection comporte les guides techniques, les ouvrages méthodologiques et les autres ouvrages qui, sur un champ donné, présentent de manière pédagogique ce que le professionnel doit savoir. Le Certu a suivi une démarche de validation du contenu et atteste que celui-ci reflète l'état de l'art. Il recommande au professionnel de ne pas s'écarter des solutions préconisées dans le document sans avoir pris l'avis d'experts reconnus.

Le Certu publie également les collections : débats, dossiers, rapports d'étude.

## Avertissement

Ce guide a été rédigé à la fin de l'opération de recherche du réseau des laboratoires des Ponts et Chaussées « Chaussées Urbaines Démontables », qui s'est déroulée sur la période 2004-2008. Il condense l'expérience acquise au travers de trois essais de laboratoire en semi-vraie grandeur et de deux chantiers expérimentaux. Cependant, au moment de la rédaction, le recul sur le comportement en service des chaussées construites était encore limité. À la lumière du suivi de ces chaussées et des retours d'expériences acquises sur d'autres réalisations, il pourra être utile de procéder à une mise à jour de ce guide, dans un délai de quelques années.

Des informations complémentaires sur la technique des chaussées urbaines démontables peuvent être trouvées à l'adresse suivante : <http://heberge.lcpc.fr/cud/>

## Remerciements

Cet ouvrage a été réalisé à l'initiative du LCPC et du Certu. Nous tenons à remercier les partenaires de l'opération de recherche ainsi que les auteurs pour leur engagement et leur professionnalisme dans la rédaction de ce guide.

Auteurs :

- Joseph Abdo (Cimbéton)
- Jean-Maurice Balay (LCPC)
- François de Larrard (LCPC, animateur du groupe de travail)
- Gilles Laurent (Cete Ouest)
- Antoine Leroux (Certu)
- Jean-Marie Masson (Mairie de Saint-Aubin-lès-Elbeuf)
- Philippe Pellevoisin (SCREG Île-de-France-Normandie)
- Gilles Petit (LRPC d'Autun)
- Thierry Sedran (LCPC)

Photos et dessins : LCPC

**Partenaires de l'opération de recherche  
« CHAUSSÉES URBAINES DÉMONTABLES »  
du réseau des laboratoires des Ponts et Chaussées**

Maîtres d'ouvrage	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ville de Saint-Aubin-lès-Elbeuf (76)</li><li>• Nantes-Métropole, Pôle Nantes-Chézine (44)</li></ul>
Réseau Scientifique et Technique du MEEDDAT	<ul style="list-style-type: none"><li>• Laboratoire central des Ponts et Chaussées (LCPC)</li><li>• Laboratoires régionaux des Ponts et Chaussées d'Autun, Nancy, Rouen, Trappes</li><li>• Centre d'expérimentation routière de Rouen (CER)</li><li>• Cete de Nantes</li><li>• Certu</li></ul>
Entreprises de construction routière	<ul style="list-style-type: none"><li>• SCREG Île-de-France Normandie (CUD de Saint-Aubin)</li><li>• Eurovia Atlantique (CUD de Nantes)</li></ul>
Préfabricants	<ul style="list-style-type: none"><li>• CMEG Caen (CUD de Saint-Aubin)</li><li>• BMI STRADAL Les Sorinières (CUD de Nantes)</li></ul>
Béton prêt à l'emploi	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lafarge Bétons (CUD de Nantes)</li></ul>
Soutiens divers	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cimbéton et CG76 (co-financement de la CUD de Saint-Aubin)</li><li>• Cimbéton, SPRIR de Normandie, Gaz de France, DDE 76, Viatech (groupe de travail de Saint-Aubin)</li></ul>

## Préambule

« Quel maître d'ouvrage ou gestionnaire d'un réseau routier urbain n'a pas été irrité, en regardant sa voirie récente, voire à peine ouverte à la circulation, de la trouver mutilée, éventrée par des interventions liées à la présence des réseaux souterrains ?

Quel usager, quel riverain n'est-il pas consterné par le spectacle des incohérences apparentes des interventions des entreprises, et par le gaspillage réel des deniers publics ?

Y a-t-il possibilité de mieux coordonner l'ensemble des travaux ? Certainement, mais l'expérience démontre que la meilleure concertation se trouve confrontée aux limites des politiques de chaque maître d'ouvrage, chacune répondant à des objectifs réels peu conciliables avec l'objectif global.

Que résulte-t-il de ce constat :

- une chaussée qui se trouve rapidement déformée par les ouvertures et fermetures répétées de tranchées, et cela quel que soit le soin apporté aux compactages ;
- des réfections provisoires ou définitives assurant rarement l'étanchéité de l'ensemble routier, et encore plus rarement l'homogénéité du revêtement de surface ;
- des gênes à l'usager, qui adopte des itinéraires alternatifs et pénalise l'activité commerciale locale, en particulier les petits commerces concernés par les liaisons domicile-travail ;
- des interventions multiples d'entretien, pesant sur le budget de fonctionnement (donc sans récupération du FCTVA), pénalisant *de facto* le budget d'investissement, véritable domaine créateur d'emploi ;
- une incompréhension légitime de tous les usagers et riverains.

Fallait-il se résigner ? Le fatalisme, heureusement, ne caractérise pas les maîtres d'ouvrage, concepteurs, gestionnaires, aménageurs et entreprises. La recherche de solutions permettant d'optimiser les financements et d'assurer une bonne conservation du patrimoine routier urbain est continue depuis de nombreuses années, mais avec des succès très mitigés. La technique des chaussées urbaines démontables, qui rappelle la technique des voies romaines, semble enfin répondre à la quadrature du cercle, et les opérations réalisées donnent des résultats tout à fait probants. La chaussée urbaine démontable apparaît ainsi comme un digne successeur des *via romana* dont la longévité nous laisse admiratifs... »

**Jean-Marie Masson**

*1<sup>er</sup> adjoint au maire de Saint-Aubin-lès-Elbeuf (Seine-Maritime),  
où s'est construite la première chaussée urbaine démontable.*

# Sommaire

<b>1. Généralités</b>	<b>6</b>
1.1 Définition	6
1.2 Intérêt	6
1.3 Technologies antérieures [1]	6
1.4 Expérience acquise dans le cadre de l'opération chaussées urbaines démontables du réseau des laboratoires des Ponts et Chaussées [8]	7
1.5 Les CUD sous l'angle du développement durable	8
1.5.1 Aspect économique [9]	8
1.5.2 Aspect social	10
1.5.3 Aspect environnemental	11
1.5.4 Conclusion	12
1.6 Possibilités de fonctionnalités complémentaires	12
<b>2. Pièces techniques du marché et commentaires</b>	<b>13</b>
2.1 Conception et dimensionnement	13
2.1.1 CUD à dalles indépendantes	13
2.1.2 CUD à dalles emboîtées	19
2.1.3 Traitement des émergences	25
2.2 Éléments de la structure CUD	26
2.2.1 Dalles et pavés	26
2.2.2 Matériau pour joints entre dalles	28
2.2.3 Gravillons pour lit de pose	28
2.2.4 Imprégnation gravillonnée	29
2.2.5 Grave-ciment excavable	29
2.2.6 Produit fluide de remblayage	31
2.3 Mise en œuvre des CUD (construction neuve)	31
2.3.1 Construction de l'assise	31
2.3.2 Lit de pose	32
2.3.3 Mise en œuvre des dalles indépendantes	32
2.3.4 Mise en œuvre des dalles emboîtées	33
2.4 Contrôle extérieur préconisé	34
2.5 Ouverture et fermeture d'une CUD	36
2.5.1 Démontage (dalles indépendantes)	36
2.5.2 Démontage (dalles emboîtées)	37
2.5.3 Excavation	38
2.5.4 Reconstruction de l'assise	38
2.5.5 Fermeture et remise en service	38
<b>3. Références</b>	<b>39</b>
<b>Annexe : données économiques 2008</b>	<b>40</b>

# 1. Généralités

## 1.1 Définition

**Par Chaussées urbaines démontables (CUD), on entend des chaussées pouvant être facilement ouvertes et refermées dans l'intervalle d'environ une demi-journée, à l'aide d'un matériel léger de type minipelle, afin d'accéder aux réseaux souterrains.** L'opération d'ouverture-refermeture ne doit pas compromettre les qualités d'usage de la chaussée (uni, adhérence avec les pneumatiques) ni son esthétique. Après passage d'une balayeuse, aucune trace durable ne doit subsister, révélant l'exécution récente de travaux.

## 1.2 Intérêt

L'intérêt principal des CUD réside dans la réduction de la durée des chantiers, et de la gêne aux usagers et aux riverains occasionnée par les travaux sur réseaux enterrés. Les coûts d'intervention sont aussi diminués (cf. § 1.5.1). La CUD autorise une réversibilité des travaux d'aménagement, permet d'adapter la chaussée à un changement de fonction (par exemple, lors de la création d'une rue piétonne) ; elle réduit la production de déchets liés aux travaux de maintenance et facilite la gestion de la fin de vie et du recyclage de la voirie.

Des fonctions supplémentaires sont imaginables (cf. § 1.6). *A contrario*, on peut également envisager une chaussée dont seule la couche supérieure serait démontable, la couche d'assise restant traditionnelle. Dans ce cas, la durée d'ouverture-refermeture serait éventuellement plus longue, les travaux plus gênants pour l'environnement proche, mais on garderait cependant l'avantage de l'absence de traces laissées par les travaux.

## 1.3 Technologies antérieures [1]

Les galeries multiréseaux constituent un moyen efficace d'éviter les ouvertures-fermetures de chaussée [2]. Cependant, si la technique est disponible, les obstacles économiques et juridiques à sa mise en œuvre sont parfois insurmontables, d'où l'intérêt d'une technique plus simple ne nécessitant pas une coordination de tous les opérateurs.

Un certain nombre de techniques, qui s'apparentent aux chaussées démontables, sont d'usage courant ou ont été expérimentées dans le passé, telles que :

les pavés et les dalles [3-7], dont certains sont démontables (lorsqu'ils sont joints au sable). Cependant, le temps nécessaire pour ouvrir et refermer les chaussées pavées, ainsi que la nécessité d'une main-d'œuvre qualifiée, empêchent le classement de cette technique dans la catégorie des CUD ;

- les chaussées basées sur l'usage de grands éléments préfabriqués en béton. Mais ces éléments sont généralement liés les uns aux autres, voire adhérents à leur support. Ainsi, leur démontage reste une opération destructive. Une technique de chaussée démontable a pourtant été identifiée, mais dans le contexte des sols industriels, pour lequel les trafics ne sont pas comparables à ceux rencontrés sur les voiries publiques. Par ailleurs, dans cette technique, seule la couche de surface était facilement démontable ;
- des chaussées comprenant un tapis souple déroulable (projet hollandais « Road to the Future »). Cette solution, dont la durabilité n'est pas documentée, a été conçue pour être rapidement déployée, mais la réversibilité de l'application ne figurait pas dans le cahier des charges initial. En outre, la longueur des sections continues nécessiterait

probablement des travaux de démontage assez lourds, lorsqu'on souhaiterait accéder à un emplacement ponctuel d'un réseau ;

- des plaques d'acier, souvent utilisées pour permettre un trafic en phase de chantier urbain. Mais cette solution est toujours provisoire et ne concerne généralement que quelques mètres carrés ;
- des pistes à usage militaire, constituée d'éléments métalliques légers, qui peuvent être rapidement déployées afin de permettre le passage de camions ou de véhicules blindés sur des terrains très meubles. Ces chaussées sont véritablement démontables, mais leur transposition dans le contexte urbain ne semble pas envisageable, car elles ne satisfont pas à la plupart des spécifications de chaussées urbaines (telles que l'uni, l'adhérence, l'aspect et la durabilité). Leur coût est, de plus, probablement prohibitif pour des applications civiles.

En conclusion, aucun concept *opérationnel* de CUD n'a, semble-t-il, été développé antérieurement, comme chaussées pérennes pouvant être facilement ouvertes et refermées de façon non destructive, adaptées au contexte urbain contemporain.

#### **1.4 Expérience acquise dans le cadre de l'opération chaussées urbaines démontables du réseau des laboratoires des Ponts et Chaussées [8]**

Le laboratoire central des Ponts et Chaussées a piloté une opération de recherche intitulée « Chaussées Urbaines Démontables » dans la période 2004-2008, à laquelle les auteurs de ce guide ont notamment contribué. Après la gestation du concept et sa confrontation au terrain par l'intermédiaire d'une enquête auprès des maîtres d'ouvrage, il a été décidé de lancer un projet de recherche-développement selon le processus suivant :

- identification d'un maître d'ouvrage proposant un site d'expérimentation ;
- construction, avec le maître d'ouvrage et des partenaires nationaux et locaux, d'un cahier des charges fonctionnel de la CUD, adapté au contexte local ;
- conception, dimensionnement, expérimentation et pré-validation en laboratoire d'une solution technique à même de répondre au cahier des charges dans les limites du budget du maître d'ouvrage ;
- préparation d'un marché de travaux, rédaction d'un CCTP et lancement d'un appel d'offres ouvert ;
- sélection d'une entreprise, qui devient alors partenaire de l'opération ;
- construction de la CUD ;
- réception du chantier, mise en service et suivi du comportement jusqu'à la fin de l'opération.

Ce processus a été déroulé à deux reprises. Dans un premier temps, la ville de Saint-Aubin-lès-Elbeuf (Seine-Maritime) s'est déclarée candidate et a offert de réaliser une rue démontable droite d'environ 100 m de long, à l'occasion de la requalification de l'ancien site industriel Manopa en ensemble immobilier. Une technique de chaussée à dalles indépendantes a alors été développée et testée sur le manège de fatigue des structures routières du LCPC de Nantes. Le comportement de la chaussée sous trafic lourd ayant été jugé satisfaisant, l'appel d'offres relatif à la construction de la CUD de Saint-Aubin a été lancé, aboutissant à l'achèvement de la chaussée à l'été 2007.

En parallèle, la communauté de communes de Nantes-Métropole a également signifié son intérêt pour le concept. La création d'un lotissement dans l'ouest de la ville (secteur Chantenay-Chézine) a conduit à dresser un cahier des charges, sur la base duquel deux techniques de CUD ont été conçues. La première, à base de dalles posées sur des traverses en bois, a été expérimentée au CER (Centre d'expérimentations routières) de Rouen, et n'a pas conduit d'emblée à une solution satisfaisante. Le développement a alors été interrompu, compte tenu des espoirs suscités par une seconde technique, consistant à concevoir des dalles emboîtées horizontalement les unes dans les autres. Une maquette a été testée au LRPC d'Autun et a donné satisfaction, à quelques défauts de dimensionnement près, apparemment faciles à corriger. Nantes-Métropole a alors lancé un marché de préfabrication de dalles, en vue de faire exécuter en CUD une portion de la voie d'accès à son dépôt de matériaux de la Janvraie, situé sous le pont de Cheviré sur la rive droite de la Loire. Ce chantier s'est déroulé au mois de juin 2008.

Ainsi, ce ne sont pas moins de cinq CUD de tailles et de conceptions diverses qui ont été fabriquées et mises en œuvre pendant ce projet de recherche. Le présent guide synthétise l'expérience acquise, autour de deux solutions techniques : la CUD à dalles indépendantes (type Saint-Aubin) et la CUD à dalles emboîtées (type Nantes).

## **1.5 Les CUD sous l'angle du développement durable**

Aujourd'hui, il n'est plus possible pour un maître d'ouvrage de choisir une technique de voirie sur le seul critère économique. Il importe au contraire de faire une analyse aussi exhaustive que possible, afin de tendre vers la solution la plus favorable pour l'intérêt collectif, avec toutes les difficultés d'un tel exercice, compte tenu de la variété des critères et des points de vue d'acteurs. Cette partie vise à fournir une aide à l'élaboration d'une déclinaison des différents critères liés au développement durable, que favorise une attention équilibrée aux champs économiques, sociaux et environnementaux.

### **1.5.1 Aspect économique [9]**

#### **– Éléments à prendre en compte**

Les éléments à prendre en compte sont, entre autres, les suivants :

- le trafic de la voie ;
- la densité des réseaux sous chaussée et le nombre potentiel d'interventions par an, ou par périodes de 3 ans ;
- le coût de la chaussée classique, éminemment variable suivant les choix de l'aménageur, l'importance apportée à l'esthétique, etc. ;
- le coût de la CUD. Celui-ci peut être évalué dans un premier temps en fonction du prix des techniques mises en œuvre sur les chantiers expérimentaux de Saint-Aubin-lès-Elbeuf et de Nantes-Métropole, puis, au fur et à mesure de la réalisation de nouveaux chantiers, des prix constatés ;
- l'importance commerciale de la rue et/ou l'importance stratégique de desserte des riverains ;
- la sensibilité environnementale de la zone concernée.

À partir de ces éléments, un calcul global pour chaque type de chaussée peut être mené, la décision finale du maître d'ouvrage restant d'ordre politique.

## – Coûts de construction et d'entretien

La première étape du calcul économique consiste à calculer le coût de la construction de la CUD. Celui-ci inclut notamment les postes suivants :

- la réalisation de longrines longitudinales et transversales ;
- l'assise ;
- la couche de cure gravillonnée ;
- le lit de pose ;
- la fourniture à pied d'œuvre des dalles et pavés (si nécessaire) ;
- la mise en œuvre des dalles, y compris le sablage des joints ou le colmatage par application d'un produit d'étanchéité.

Ces coûts sont, bien entendu, fortement influencés par le contexte économique du moment et par le contexte local. Nous donnons en annexe (tableau 9) des estimations de prix unitaires pour un chantier, dans l'hypothèse d'un certain degré de banalisation de la technique. Ils sont susceptibles d'évolution, d'une part en fonction de la conjoncture économique, d'autre part en fonction de l'évolution de la technique et de son développement.

Il s'agit ensuite de comptabiliser le coût des interventions futures liées à la maintenance des réseaux sous chaussée. Le calcul de coût d'une intervention doit prendre en compte les étapes données dans le tableau 1. Le résultat de ce calcul est donné en annexe (tableau 10), toujours dans le contexte de l'été 2008.

Ensuite, le gestionnaire de la voirie doit estimer le nombre d'interventions prévisible sur la durée de vie conventionnelle de la chaussée (par exemple 30 ans). Faute de statistiques précises et pertinentes dans le contexte étudié, on peut estimer qu'un tiers de la surface de la chaussée sera ouverte et refermée pendant cette fenêtre temporelle. Compte tenu du caractère démontable de la CUD, la durée d'intervention élémentaire, pour une surface de 10 m<sup>2</sup>, serait de l'ordre d'une demi-journée, contre environ 2,5 jours pour une chaussée non démontable. Ces temps peuvent cependant s'écarter de ces valeurs, selon la nature des travaux à effectuer.

En plus des interventions liées aux réseaux, la couche de roulement, selon sa nature, peut nécessiter un renouvellement, compte tenu de dégradations liées au trafic et aux intempéries. Ainsi, les couches d'enrobés de surface sont généralement renouvelées tous les 7 à 15 ans.

Tableau 1 : tâches élémentaires à chiffrer pour l'évaluation des coûts d'intervention sur réseau. On traite ici des travaux de génie civil, et non de la maintenance du réseau elle-même.

Opération à réaliser	CUD (durée 0,5 j)	Chaussée classique (durée totale 2,5 j)
Démolition surface	Enlèvement des dalles, mise en attente à proximité	Sciage, enlèvement et mise en dépôt des matériaux
Démolition assise	Enlèvement et mise en dépôt des matériaux d'assise	Enlèvement et mise en dépôt des matériaux d'assise
Reconstruction assise	Mise en œuvre du matériau fluide de remblayage, sans compactage	Approvisionnement des matériaux, compactage
Reconstruction surface	Mise en place du lit de pose et des dalles existantes	Réfection provisoire, puis réfection définitive à 6 mois

À ces coûts d'intervention sur chaussée, on peut ajouter ceux imputables aux aspects sociaux et environnementaux (voir les paragraphes suivants).

#### – Bilan global

Avec les éléments indiqués précédemment, le maître d'ouvrage peut élaborer une grille de décision économique, prenant en compte le coût de premier investissement, les coûts d'entretien et les coûts des travaux sur réseaux, sachant qu'en général seuls les deux premiers types lui incombent directement, les autres étant pris en charge par les opérateurs sur réseaux. L'analyse montre que, si le coût de premier investissement est, en général, plus élevé pour une CUD que pour une chaussée non démontable, la prise en compte des coûts des travaux d'entretien et des travaux sur réseaux sur une durée de 30 ans rend les coûts des deux solutions comparables. Les autres aspects liés au développement durable sont en général favorables aux CUD, comme on va le voir par la suite.

### 1.5.2 Aspect social

#### – Point de vue de l'usager de la route

La disponibilité de la chaussée pour la circulation se trouve mise à mal lors de la construction initiale, des opérations d'entretien de la chaussée et de maintenance des réseaux. La gêne ou l'interruption du trafic engendre un rallongement de la durée des trajets et une augmentation de la fatigue et du stress ressentis par l'usager.

À l'étape de la construction, il n'est pas sûr que la CUD apporte un gain ; cela dépend des techniques avec lesquelles elle sera comparée. Par contre, pour ce qui concerne l'entretien de la chaussée, les couches de roulement en enrobé bitumineux ou en enduit d'usure ont une durée de vie de l'ordre de 7 à 15 ans. En 30 ans, on aura donc 2 à 4 réfections générales de la chaussée, alors que la durabilité des dalles en béton ne laisse pas prévoir ce type de travaux pour les CUD, sur la durée considérée (sauf problème particulier). Et surtout, comme dit plus haut, la durée d'une ouverture/refermeture de chaussée pour entretien du réseau passera de 2,5 à 0,5 jours.

Ainsi, à l'échelle d'une rue de 100 m, le nombre de jours d'interruption de la circulation peut être évalué selon le tableau 2.

Tableau 2 : nombre de jours d'interruption de trafic sur une durée de 30 ans, pour une rue de 100 m x 5 m (soit 50 portions de surface de 10 m<sup>2</sup> dont le tiers sera ouvert).

	CUD	Chaussée non démontable
Réfection générale de couche de roulement	-	3 x 2 = 6
Interventions sur réseaux	16 x 0,5 = 8	16 x 2,5 = 40
TOTAL	8	46

#### – Point de vue du riverain

Le résident riverain subit une gêne lors des travaux urbains, qui créent du bruit, des vibrations, de la poussière, le perturbent dans ses déplacements, peuvent aussi rendre problématique le stationnement de son véhicule et enfin nuisent à l'esthétique de la ville

environnante. Le choix de la CUD par le maître d'ouvrage, non seulement réduit fortement la durée totale cumulée des travaux (cf. tableau précédent), mais diminue aussi leur impact élémentaire, compte tenu de la possibilité d'intervention à l'aide d'une minipelle mécanique, rendant inutile le marteau-pneumatique ; de même, le remblayage de la tranchée à l'aide d'un matériau autocompactant évite l'emploi du compacteur, générateur de bruit et de vibrations.

Le commerçant riverain, non seulement subit à titre personnel les mêmes dommages que le résident, mais voit souvent son chiffre d'affaire réduit par les travaux, ce qui le conduit parfois à exiger des dédommagements du maître d'ouvrage. Pour une chaussée classique, et dans le contexte d'une rue très commerçante de centre-ville, ce coût externe peut représenter jusqu'à 30 % du cumul des coûts de la construction et des interventions sur réseau [9]. Avec la CUD, il pourra être divisé par 5.

#### – Point de vue du travailleur du BTP

Au stade de la construction, une grande partie des travaux est transférée du chantier à l'usine de préfabrication, dans laquelle le travailleur est mieux protégé des intempéries et moins menacé par les accidents du travail. Sur le chantier, lors des interventions sur réseau, la non-utilisation du marteau-pneumatique et du compacteur, et la moindre génération de poussière sont favorables à sa santé.

#### – Point de vue du citadin et image de la ville

L'habitant, même s'il n'est pas riverain, et même s'il n'emprunte pas la chaussée avec un véhicule, est sensible à la qualité architecturale de la ville. Le caractère furtif des ouvertures/fermetures de CUD et l'absence de stigmates laissés sur la chaussée préservent l'homogénéité d'aspect des aménagements publics et favorisent l'image de propreté et de confort de vie de la cité.

#### – Point de vue du gestionnaire de la voirie

Le gestionnaire voit déjà son travail facilité par l'utilisation d'une technique séduisante pour la population, et donc moins génératrice de plaintes des usagers et riverains et de leurs associations de défense. La durabilité des éléments modulaires, réduisant l'entretien, diminue le nombre d'opérations de maintenance à organiser ainsi que leur coût cumulé et rend moins nécessaire le suivi rapproché de l'état de sa voirie. Par ailleurs, la CUD lui offre une flexibilité, compte tenu de son caractère réversible et déplaçable, qui lui permet de maintenir un état de service optimum, compte tenu de la facilité des opérations d'entretien ponctuel (à condition de disposer d'une réserve d'éléments modulaires, destinée à remplacer les dalles ou pavés localement endommagés).

### 1.5.3 Aspect environnemental

#### – Préservation de la ressource non renouvelable

Les structures de CUD préconisées dans le présent guide sont à base de matériaux hydrauliques (béton pour les dalles, grave-ciment pour l'assise). Elles font donc peu appel aux produits de la filière pétrole, dont on sait qu'ils seront de plus en plus rares. En termes de granulats, l'absence de renouvellement de la couche de roulement réduit d'autant la consommation de granulats ayant la qualité requise pour ce type d'application. Enfin, la réduction des temps d'intervention sur chantier et des temps de parcours des usagers de la voirie, va dans le sens d'une diminution globale des consommations de carburants.

### – Réduction des déchets

Les opérations d'entretien et de maintenance sur les chaussées classiques conduisent à transformer le volume des matériaux enlevés en gravats, généralement évacués du chantier, au moins pour ce qui concerne la couche de roulement. Dans le cas des CUD, la couche de surface est démontée et remontée sans production de déchets, si ce n'est éventuellement le matériau de joint. L'assise est reconstituée à l'aide d'un matériau de remplissage de tranchées, qui peut être fabriqué à partir du déblai ; la technique existe, même si elle n'est pas encore courante.

### – Bilan carbone et émissions des moteurs thermiques

Le bilan carbone est *a priori* moins favorable pour les structures à base de matériaux hydrauliques, telles que les CUD, comparées à des matériaux bitumineux. Cependant, le calcul doit être fait en tenant compte des phases d'entretien et de maintenance, et des impacts sur le trafic, dont on sait qu'il peut générer 20 fois plus d'émissions polluantes que la construction de la chaussée qui le supporte.

## 1.5.4 Conclusion

Les CUD sont globalement bien placées par rapport aux chaussées classiques pour la plupart des critères participant du développement durable. Pour affiner l'analyse dans un contexte particulier, le réseau scientifique et technique de l'Équipement a développé la grille RST02 [10]. Des approches plus quantitatives, dans lesquelles on ajoute aux coûts de construction et d'entretien différents coûts externes, sont également disponibles [11]. La participation des différents bénéficiaires, et notamment des opérateurs sur réseaux, aux coûts d'investissement de la CUD, même si elle se heurte à des obstacles juridiques, est une piste de réflexion, à situer dans la tendance actuelle de développement des partenariats public-privé (PPP).

## 1.6 Possibilités de fonctionnalités complémentaires

Le caractère de démontabilité de la couche supérieure de la chaussée offre une synergie avec plusieurs familles de chaussées spéciales étudiées et utilisées ces vingt dernières années :

- les chaussées poreuses [12]: la surface de ces chaussées est caractérisée par une forte perméabilité à l'eau et une texture ouverte permettant l'atténuation des ondes acoustiques. Mais ces chaussées, surtout lorsqu'elles sont placées en site urbain, présentent une tendance marquée au colmatage, ce qui limite fortement leur emploi. Même s'il existe des techniques de décolmatage en place (par utilisation d'eau sous pression), la profondeur décolmatée ne dépasse guère quelques centimètres, et le matériau se trouve parfois fragilisé par la maintenance. Avec des dalles démontables poreuses, on pourrait envisager un enlèvement, suivi d'un décolmatage en usine, plus efficace et se traduisant par une moindre gêne à l'utilisateur ;
- chaussées à fonction dépolluante par effet photocatalytique [13]: on expérimente depuis quelque temps l'incorporation d'oxydes métalliques (notamment le dioxyde de titane  $TiO_2$ ) à la surface de matériaux cimentaires. En combinaison avec le rayonnement naturel (solaire) ou artificiel (ultraviolet), on note une réduction de la teneur de l'air ambiant en oxydes d'azote ( $NO_x$ ), notamment lors des pics de pollution. Cependant, ces photocatalyseurs sont très coûteux, et on peut penser que leur usage ne se développera que si l'on arrive à les appliquer en fine couche.

Les dalles de CUD étant préfabriquées, il est facile de les couler en deux couches (cf. § 2.2.1), la couche supérieure étant la seule à contenir du  $TiO_2$ . De plus, la durabilité du béton en couche de roulement doit permettre un long usage des vertus dépolluantes de la chaussée ;

- chaussées à marquage horizontal évolutif : l'exploitation de la route conduit parfois à des changements provisoires de fonctionnalités des voiries (déviations, événements culturels conduisant à un afflux du public, etc.). Une chaussée démontable permettrait de changer périodiquement les marquages, de façon rapide, réversible et non destructive.

On pourrait également avec les CUD revisiter le concept de chaussée réservoir, dans la mesure où le problème principal de cette technique réside dans le colmatage progressif des couches poreuses sous chaussée, couches qui deviendraient facilement accessibles pour être purgées. Cependant, l'assise nécessiterait alors une conception particulière, différente de celle proposée dans ce document.

## 2. Pièces techniques du marché et commentaires

Avertissement : le présent guide technique vise à faciliter la reproduction, dans un contexte pouvant légèrement différer de l'original, des deux technologies développées lors du projet résumé au § 1.4. Ces techniques pourront évoluer dans l'avenir, et des conceptions très différentes, susceptibles de remplir les mêmes fonctions, sont sans doute imaginables. Cependant, du point de vue des auteurs, le respect des dispositions suivantes est à même de favoriser l'obtention d'une chaussée satisfaisant les besoins des usagers et des maîtres d'ouvrage, à un coût raisonnable. *A contrario*, de nombreuses techniques de chaussées modulaires ont été mises en œuvre dans le passé et n'ont pas donné satisfaction après quelques années de trafic, faute d'études et d'expérimentations suffisantes en amont des chantiers.

Dans ce qui suit, la colonne de gauche contient des informations pouvant être utilisées directement pour la rédaction des marchés de CUD, alors que celle de droite est constituée de conseils et de commentaires visant à éclairer et à justifier les spécifications proposées.

### 2.1 Conception et dimensionnement

#### 2.1.1 CUD à dalles indépendantes

**TEXTE**

La chaussée comprend :

- une plate-forme de type PF2 ou PF3 ;
- une assise en grave-ciment excavable, recouverte d'une émulsion gravillonnée dont la teneur en bitume résiduel doit être d'au moins 400 à 650 g/m<sup>2</sup> ;
- un lit de pose en matériau granulaire ;
- des dalles hexagonales en béton armé (ferraillage classique ou fibres métalliques) ;
- des joints en élastomère coulé séparant les dalles en partie supérieure.

La coupe de la structure apparaît sur la figure 1, et la forme des dalles est donnée dans la figure 2. Elles présentent une surépaisseur sur leur pourtour, afin de réduire le plus possible les mouvements des dalles lors du passage des véhicules.

**COMMENTAIRES**

*Les CUD à dalles indépendantes peuvent s'envisager en chaussée neuve, pour un tracé en plan rectiligne ou à grand rayon de courbure, la surface étant plane et comportant une pente transversale unique d'au moins 2 % pour l'écoulement des eaux. L'absence de liaison mécanique facilite l'opération de démontage-remontage, mais limite le trafic de calcul à 50 poids-lourds par jour (soit 500 000 PL pour une période de 30 ans), dans l'état actuel des connaissances.*

*La portance de la plate-forme est de préférence de type PF2, afin de préserver la démontabilité. Une plate-forme de portance PF3 est cependant envisageable, à condition d'être obtenue à l'aide de matériaux non traités.*

*La forme hexagonale des dalles permet, au moins en partie courante, de remplir le plan avec des polygones dont tous les angles sont obtus. À risque de rupture de coin identique, l'hexagone conduit à une épaisseur significativement plus faible que le carré (ou le rectangle).*

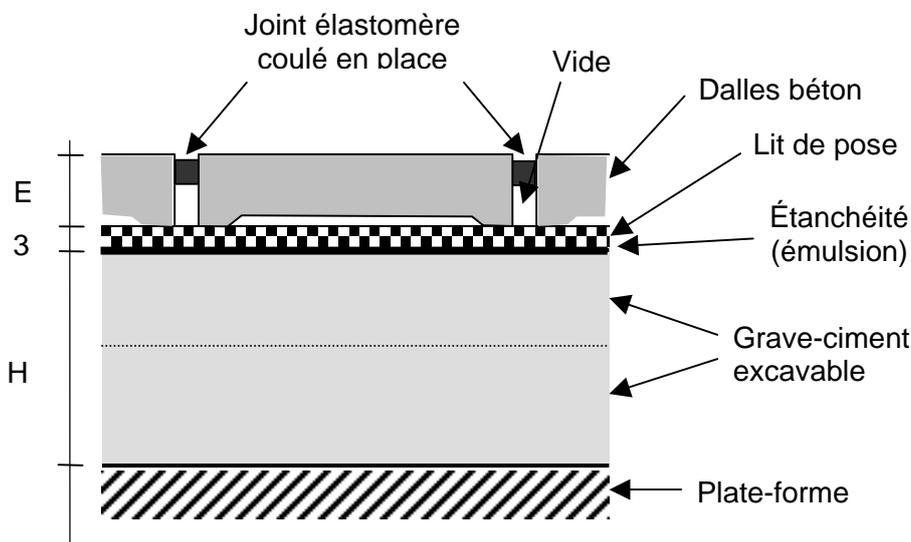
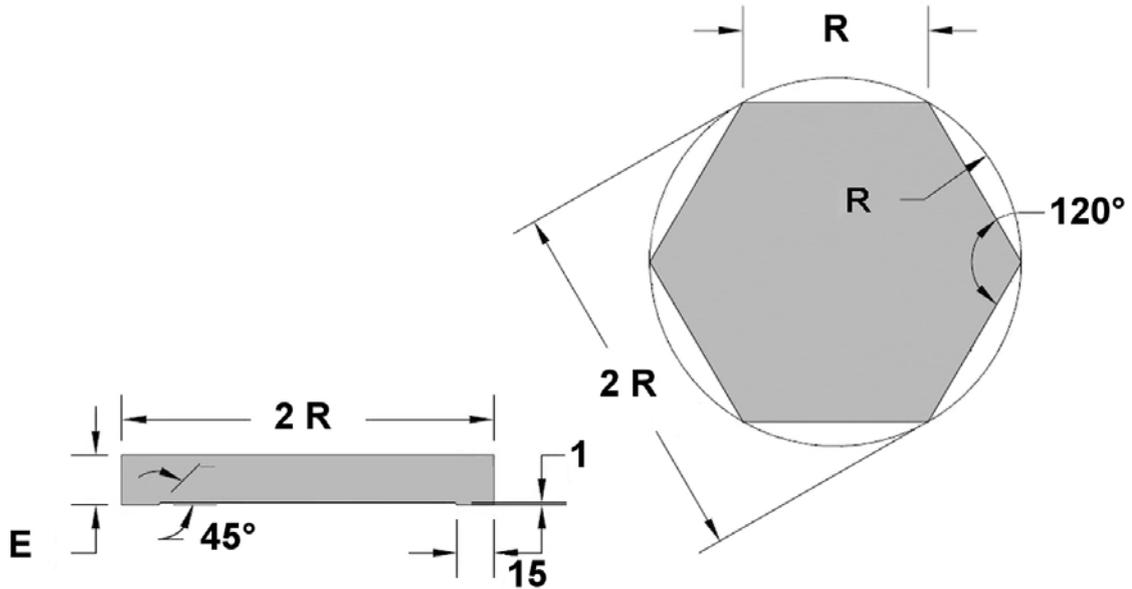


Figure 1: coupe verticale de la CUD à dalles indépendantes.

Figure 2 : dessin des dalles en béton armé (cotes exprimées en cm). Les valeurs de R et de E sont ajustées aux dimensions de la chaussée et au trafic, selon les tableaux 3 et 4.



Une fois le trafic et le rayon des dalles fixés, les épaisseurs de l'assise (H) et des dalles (E) sont déterminées par application de la méthode de dimensionnement Setra-LCPC [14], qui prend en compte la contrainte maximale sollicitant les matériaux sous le passage des poids lourds et la résistance de ces matériaux aux sollicitations de fatigue. Les résistances en traction des matériaux sont données dans les § 2.2.1 et 2.2.5, et le module élastique de la grave-ciment excavable est pris égal à 4 800 MPa. Les épaisseurs choisies conduisent à une probabilité de rupture par fatigue de l'assise inférieure ou égale à 30 %, cette valeur étant réduite à 10 % pour les dalles. Le calcul des contraintes sous trafic nécessite une modélisation tridimensionnelle, compte tenu du caractère discontinu de la structure. Dans ce calcul, on suppose que les dalles portent exclusivement sur la surépaisseur périphérique. Les tableaux 3 et 4 donnent des combinaisons de dimensions admissibles, pour les matériaux décrits dans les § 2.2.1 et 2.2.5.

*On admet une probabilité de rupture supérieure dans l'assise, car une fissuration locale de cette couche ne mettrait pas forcément en cause les qualités d'usage de la chaussée.*

*Le renforcement du béton (armatures ou fibres) n'est pas pris en compte dans le calcul, mais permet d'accroître la longévité des éléments et la sécurité des opérateurs lors des opérations de levage.*

*La masse élémentaire des dalles est à prendre en compte dans la conception. En effet, elle ne doit pas dépasser la capacité de levage des engins destinés à démonter la chaussée, avec une marge de sécurité de 20 %. Par contre, une masse trop faible pourrait engendrer des mouvements des dalles excessifs lors du passage des poids lourds.*

Tableau 3 : dimensions des dalles et épaisseur de l'assise, pour une plate-forme de type PF2. \* masses moyennes pour le rayon intermédiaire de la classe, et une densité prise égale à 2,40.

Trafic cumulé (nombre de poids lourds)	R (rayon des dalles = longueur de l'arête, en cm)	E (épaisseur des dalles, en cm)	M (masse des dalles en kg*)	H (épaisseur de l'assise en cm)
200 000 < N ≤ 500 000	80 < R ≤ 90	24	1068	65
	70 < R ≤ 80	22	779	65
	60 ≤ R ≤ 70	21	545	65
50 000 < N ≤ 200 000	80 < R ≤ 90	22	982	57
	70 < R ≤ 80	20	716	57
	60 ≤ R ≤ 70	19	503	57
N ≤ 50 000	80 < R ≤ 90	21	946	54
	70 < R ≤ 80	19	680	54
	60 ≤ R ≤ 70	18	477	54

Tableau 4 : dimensions des dalles et épaisseur de l'assise, pour une plate-forme de type PF3.

Trafic cumulé (nombre de poids lourds)	R (rayon des dalles = longueur de l'arête, en cm)	E (épaisseur des dalles, en cm)	M (masse des dalles en kg)	H (épaisseur de l'assise en cm)
200 000 < N ≤ 500 000	80 < R ≤ 90	24	1192	54
	70 < R ≤ 80	22	878	54
	60 ≤ R ≤ 70	21	629	54
50 000 < N ≤ 200 000	80 < R ≤ 90	22	1091	47
	70 < R ≤ 80	20	806	47
	60 ≤ R ≤ 70	19	577	47
N ≤ 50 000	80 < R ≤ 90	21	1045	43
	70 < R ≤ 80	19	758	43
	60 ≤ R ≤ 70	18	544	43

Le rayon des dalles est dicté par le calepinage de la chaussée. Ce dernier est conçu par répétition du motif hexagonal et par son complément à l'aide de demi-dalles en rive (cf. figure 3). Autant que possible, les dalles ont deux arêtes orientées normalement par rapport à l'axe de la chaussée, de façon à éviter que les demi-dalles de rive ne comportent des angles aigus, qui constitueraient des points de faiblesse lors des opérations de démontage/remontage.

*Une chaussée rectiligne comportera au moins deux types d'éléments : des hexagones entiers, et des demi-hexagones coupés selon un petit diamètre (disposés en rive).*

*Si on arrête la CUD par un joint rectiligne transversal, on est obligé de couper également des hexagones dans le sens de leur grand diamètre, d'où apparition d'angles aigus ( $60^\circ$ ). Une meilleure disposition consiste à laisser les dalles entières et à assurer le joint avec une bande de béton coulé en place, formant longrine (cf. figure 4).*

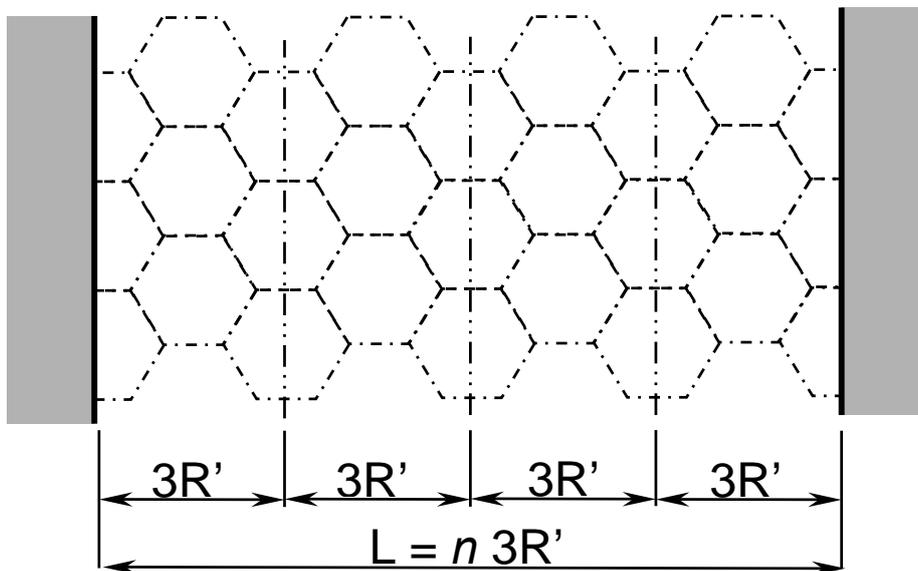


Figure 3 : exemple de calepinage d'une CUD à dalles indépendantes. Pour déterminer la longueur de référence  $R'$ , on doit prendre en compte l'épaisseur des joints.

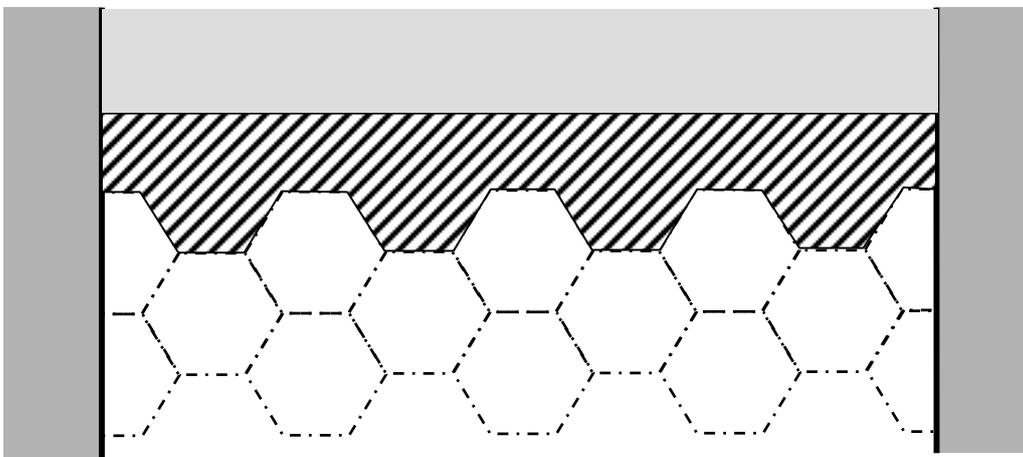


Figure 4 : fin de CUD à dalles indépendantes sur une poutre transversale en béton coulé en place (hachurée).

Il est impératif de constituer des limites fixes autour de l'emprise de la CUD, afin d'éviter les mouvements horizontaux des dalles, qui ne manqueraient pas de se produire suite aux efforts de freinage ou d'accélération communiqués par les poids lourds circulant sur la chaussée. Selon le contexte, ces limites peuvent être constituées par une longrine périphérique, par des bordures de trottoir convenablement fondées ou par des éléments de structures pré-existantes (bâtiment, chaussée en béton, etc.).

Des drains horizontaux sont mis en place au niveau de la surface supérieure de l'assise, sur au moins deux côtés de la chaussée afin de recueillir les eaux qui s'écouleraient entre les dalles.

Un principe de conception des rives apparaît dans la figure 5. Une longrine périphérique (non démontable) d'au moins 20 cm de large est tout d'abord construite.

Les longrines longitudinales servent de coffrage latéral à l'assise, au lit de pose et aux dalles. Un drain horizontal longitudinal est mis en place du côté du point bas. Si elle affleure, la longrine peut servir de caniveau. Il est également possible d'arrêter la longrine au niveau du haut de la couche d'assise. Le lit de pose et la dalle sont alors calés par la bordure et son support.

La figure 6 présente une conception envisageable pour l'extrémité de la CUD, dans laquelle les dalles sont bloquées par une longrine transversale.

Il est à noter que la nature granulaire et l'épaisseur du lit de pose conduisent à un tassement dans le temps, sous l'effet du trafic, de l'ordre de 5 à 8 mm. Ce tassement doit être pris en compte dans la spécification du niveau haut initial de la CUD.

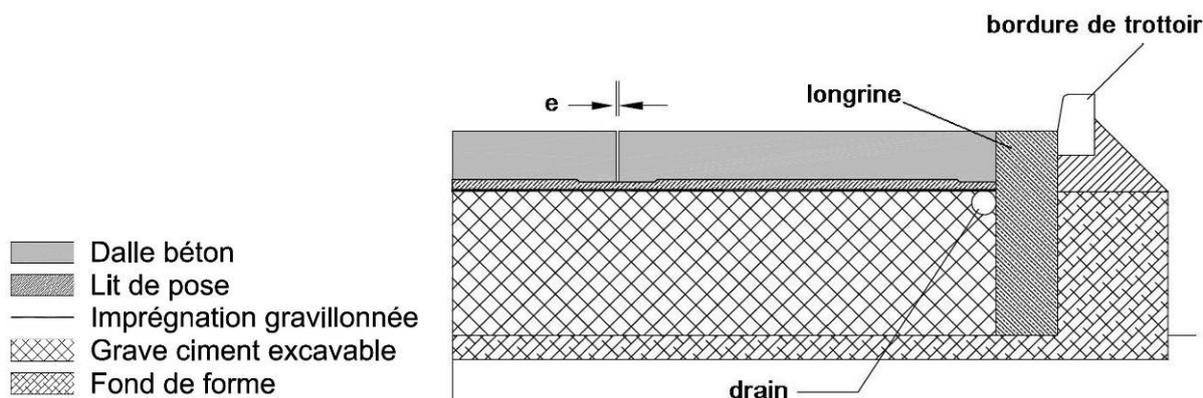


Figure 5 : coupe transversale de principe des rives de la CUD à dalles indépendantes

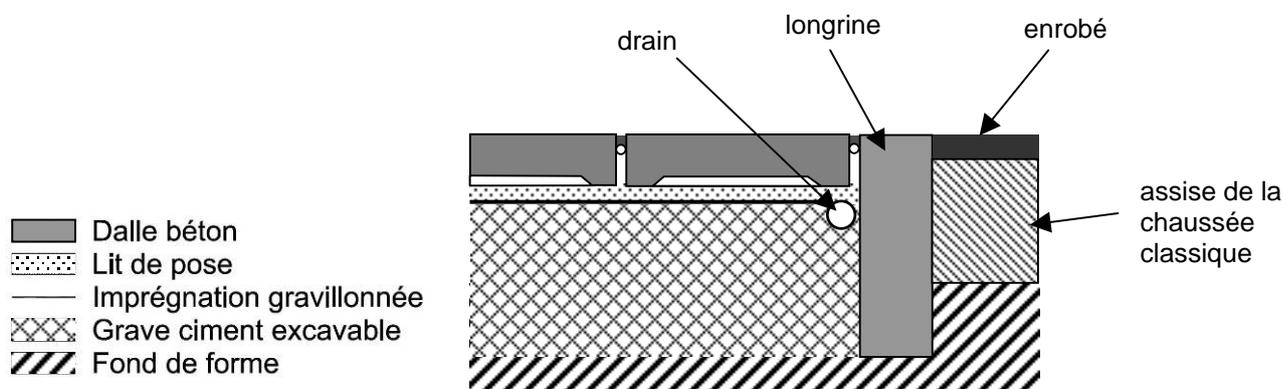


Figure 6 : coupe longitudinale de principe d'une extrémité de CUD à dalles indépendantes

## 2.1.2 CUD à dalles emboîtées

La chaussée comprend :

- une plate-forme de type PF2 ou PF3 ;
- une assise en grave-ciment excavable, recouverte d'une émulsion gravillonnée dont la teneur en bitume résiduel doit être d'au moins 400 à 650 g/m<sup>2</sup> ;
- un lit de pose en gravillons ;
- des dalles hexagonales en béton armé de fibres, munies de clés;
- des joints remplis de sable.

La coupe de la structure apparaît sur la figure 7, et la forme des dalles est donnée dans la figure 8. Les clés en béton réalisent la continuité de la structure. Des chanfreins sont prévus sur les arêtes horizontales inférieures des dalles, afin de faciliter le ripage horizontal sur le lit de sable, lors des opérations de démontage-remontage. Les faces verticales supérieures rentrantes sont munies d'écarteurs afin d'éviter les contacts béton/béton au sommet des dalles.

*Les CUD à dalles emboîtées peuvent s'envisager en chaussée neuve, pour un tracé en plan rectiligne ou à grand rayon de courbure, la surface étant plane et comportant une pente transversale pour l'écoulement des eaux. La continuité mécanique entre dalles pourrait, à terme, autoriser un trafic jusqu'à 150 PL/j, soit 1 500 000 passages sur une durée de 30 ans. Le maintien de l'uni de la chaussée dans le temps devrait également être favorisé. Par contre, l'opération de démontage-remontage est moins facile que dans le cas des dalles indépendantes et doit impérativement commencer en rive de la chaussée (cf. § 2.5).*

*La prescription d'un béton armé de fibres se justifie par la difficulté de fabrication d'une cage d'armature adaptée à la géométrie plus complexe des dalles emboîtées (par rapport aux dalles indépendantes).*

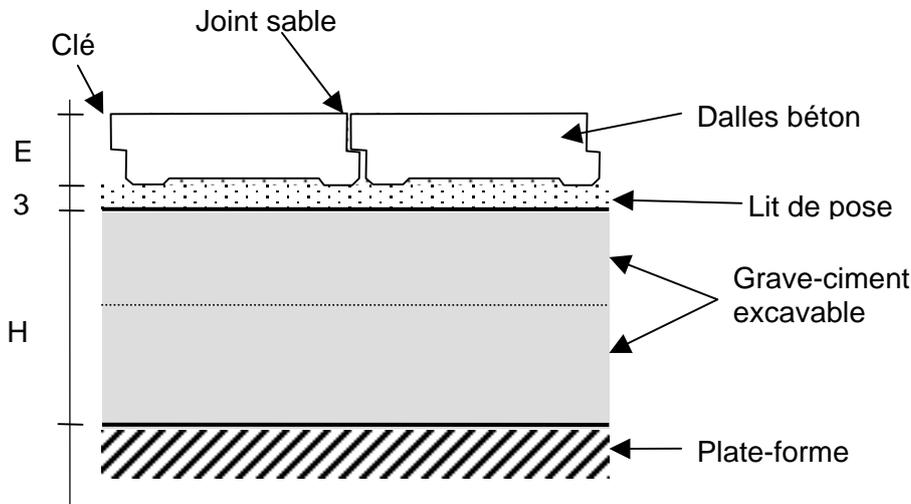


Figure 7 : coupe verticale de la CUD à dalles emboîtées (cotes en cm)

Une fois le trafic et le rayon des dalles fixés, les épaisseurs de l'assise (H) et des dalles (E) sont déterminées par application de la méthode de dimensionnement Setra-LCPC [14], qui prend en compte la contrainte maximale sollicitant les matériaux sous le passage des poids lourds et la résistance de ces matériaux aux sollicitations de fatigue. Les caractéristiques mécaniques des

*On admet une probabilité de rupture supérieure dans l'assise, car une fissuration locale de cette couche ne mettrait pas forcément en cause les qualités d'usage de la chaussée.*

*La masse élémentaire des dalles est à prendre en compte dans la conception. En effet, elle ne doit pas dépasser la capacité de levage des*

matériaux sont données dans les § 2.2.1 et 2.2.5, et le module élastique de la grave-ciment excavable est pris égal à 4 800 MPa. Les épaisseurs choisies conduiront à une probabilité de rupture par fatigue de l'assise inférieure ou égale à 30 % (ou 50 % pour les faibles trafics), cette valeur étant réduite à 10 % pour les dalles. Dans ces calculs, on admet que les dalles sont en flexion sur trois appuis constitués par les clés des dalles adjacentes, compte tenu des incertitudes existant sur la répartition des contraintes à l'interface entre dalles et lit de pose. Les clés des dalles sont vérifiées à l'effort tranchant, et l'on réduit la contrainte de cisaillement admissible en tenant compte du nombre de chargements, selon une loi de fatigue similaire à celle qu'on utilise en dimensionnement des chaussées continues.

Les tableaux 5 et 6 donnent des combinaisons de dimensions admissibles, pour les matériaux décrits dans les § 2.2.1 et 2.2.5.

*engins destinés à démonter la chaussée, avec une marge de sécurité de 20 %. Par contre, une dimension trop faible augmente le nombre de dalles et les temps de démontage/remontage.*

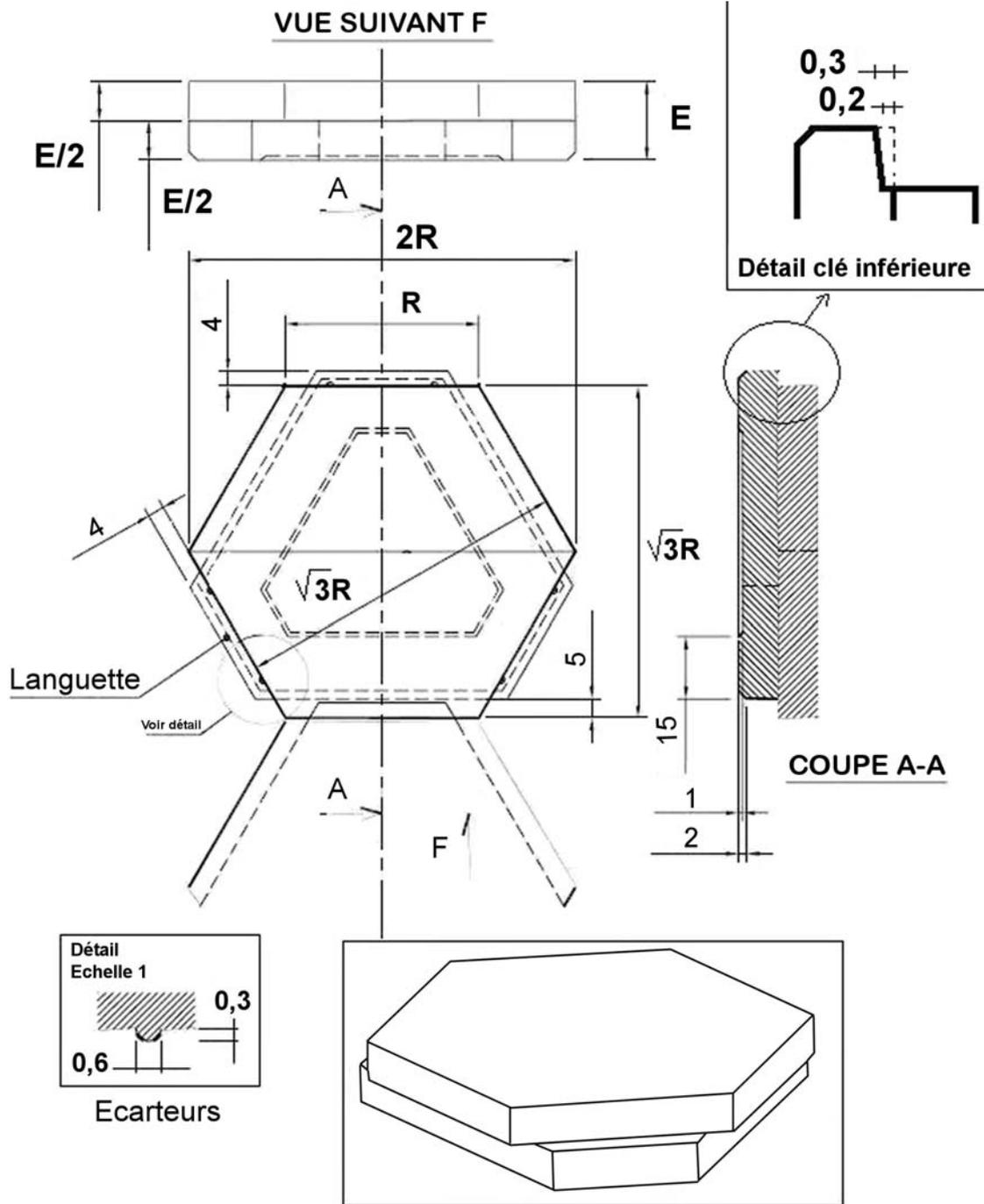


Figure 8 : dessins des dalles en béton de fibre (cotes exprimées en cm). Les valeurs de R et de E sont ajustées aux dimensions de la chaussée et au trafic, selon les tableaux 5 et 6. L'épaisseur des clés de béton inférieures est réduite de 2 à 3 mm, afin de faciliter le montage des dalles.

Tableau 5 : dimensions des dalles et épaisseur de l'assise, pour une plate-forme de type PF2.

Trafic (nombre de poids lourds)	R (rayon des dalles = longueur de l'arête, en cm)	E (épaisseur des dalles, en cm)	M (masse des dalles en kg)	H (épaisseur de l'assise en cm)
500 000 < N ≤ 1 500 000*	60 < R ≤ 70	30	793	66
	50 < R ≤ 60	28	530	66
	40 ≤ R ≤ 50	26	330	66
200 000 < N ≤ 500 000	60 < R ≤ 70	27	706	57
	50 < R ≤ 60	25	474	57
	40 ≤ R ≤ 50	24	297	57
50 000 < N ≤ 200 000	60 < R ≤ 70	24	643	51
	50 < R ≤ 60	23	429	51
	40 ≤ R ≤ 50	21	266	51
N ≤ 50 000	60 < R ≤ 70	22	585	47
	50 < R ≤ 60	21	390	47
	40 ≤ R ≤ 50	19	241	47

\* La construction d'une CUD pour cette classe de trafic doit être considérée comme un chantier expérimental, compte tenu de l'expérience disponible à la date de rédaction de ce guide.

Tableau 6 : dimensions des dalles et épaisseur de l'assise, pour une plate-forme de type PF3.

Trafic (nombre de poids lourds)	R (rayon des dalles = longueur de l'arête, en cm)	E (épaisseur des dalles, en cm)	M (masse des dalles en kg)	H (épaisseur de l'assise en cm)
500 000 < N ≤ 1 500 000*	60 < R ≤ 70	30	793	54
	50 < R ≤ 60	28	530	54
	40 ≤ R ≤ 50	26	330	54
200 000 < N ≤ 500 000	60 < R ≤ 70	27	706	47
	50 < R ≤ 60	25	474	47
	40 ≤ R ≤ 50	24	297	47
50 000 < N ≤ 200 000	60 < R ≤ 70	24	643	41
	50 < R ≤ 60	23	429	41
	40 ≤ R ≤ 50	21	266	41
N ≤ 50 000	60 < R ≤ 70	22	585	38
	50 < R ≤ 60	21	390	38
	40 ≤ R ≤ 50	19	241	38

\* La construction d'une CUD pour cette classe de trafic doit être considérée comme un chantier expérimental, compte tenu de l'expérience disponible à la date de rédaction de ce guide.

Le rayon des dalles est dicté par le calepinage de la chaussée. Ce dernier est conçu par répétition du motif hexagonal et par son complément à l'aide de demi-dalles en rive. Compte tenu de la nécessité de pouvoir démonter une partie courante de la chaussée, il est nécessaire d'orienter les dalles de telle façon que deux arêtes de chaque dalle soient parallèles à l'axe de la chaussée (voir figure 9).

*Une chaussée rectiligne comporte au moins trois types d'éléments : des hexagones entiers et des demi-hexagones coupés selon un grand diamètre (disposés en rive, un type par moitié). Sauf à utiliser une longrine d'extrémité coulée en place (cf. figure 4), il faut également prévoir des demi-hexagones coupés selon leur petit diamètre (disposés en extrémité de CUD, également un type par moitié). À noter que dans l'établissement du plan-masse, il est nécessaire de prendre en compte les joints entre dalles. Compte tenu d'une dimension nominale des écarteurs de 3 mm (voir figure 8), l'ouverture moyenne des joints entre dalles est de l'ordre de 5 mm.*

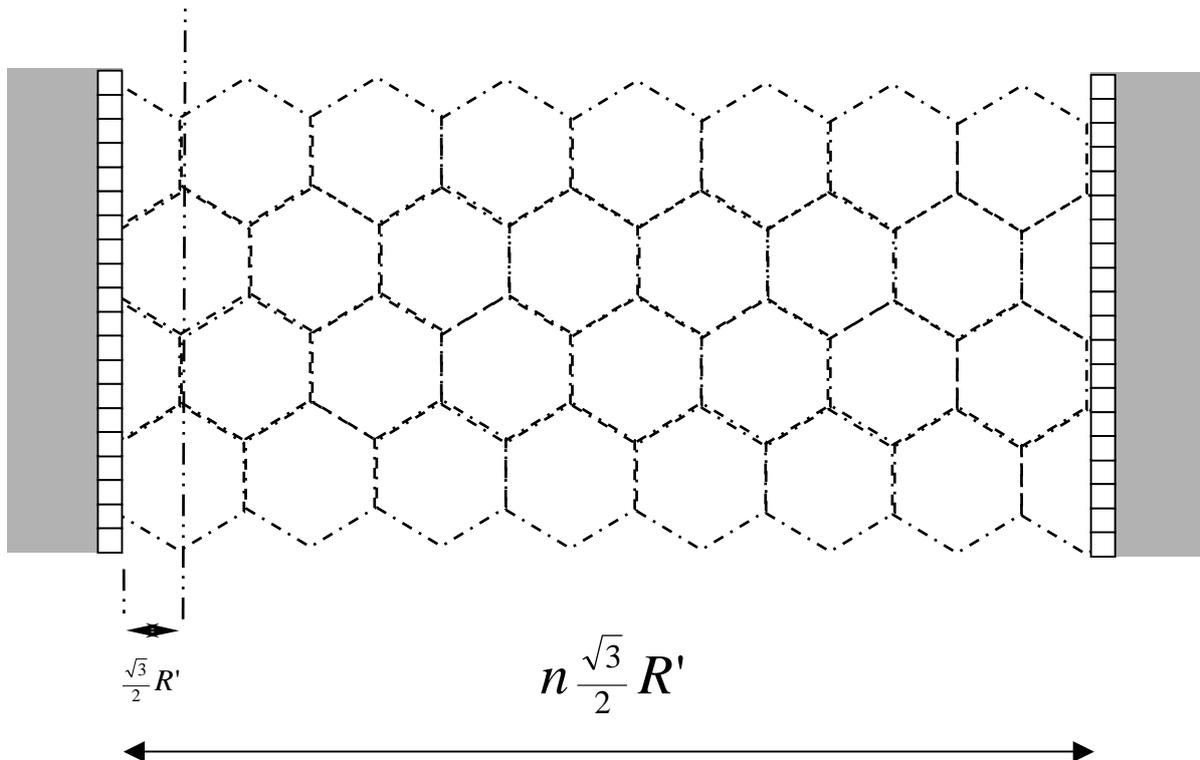


Figure 9 : exemple de calepinage d'une CUD à dalles emboîtées. La longueur de référence  $R'$  prend en compte la dimension de l'arête et la largeur des joints.

Il est impératif de constituer des limites fixes autour de l'emprise de la CUD, afin d'éviter les mouvements horizontaux des dalles, qui ne manqueraient pas de se produire suite aux efforts de freinage ou d'accélération communiqués par les poids lourds circulant sur la chaussée. Selon le contexte, ces limites peuvent être constituées par une longrine périphérique, par des bordures de trottoir convenablement fondées ou par des éléments de structures pré-existants (bâtiment, chaussée en béton, etc.).

*Un principe de conception des rives apparaît dans la figure 10. Une longrine périphérique (non démontable) d'au moins 20 cm de large est tout d'abord construite.*

*Les longrines longitudinales servent de coffrage latéral à l'assise et au lit de pose. Un drain horizontal longitudinal est mis en place du côté du point bas. Il est également possible de faire affleurer la longrine au niveau de la couche de roulement. Le lit de pose et la dalle sont alors également calés par la longrine.*

Des drains horizontaux sont mis en place au niveau de la surface supérieure de l'assise, sur au moins deux côtés de la chaussée afin de recueillir les eaux qui s'écouleraient entre les dalles.

Une ligne de pavés d'épaisseur identique à celle des dalles vient les bloquer sur les bords longitudinaux de la chaussée. L'enlèvement de cette ligne de pavés permet le ripage horizontal des dalles et leur démontage.

La figure 11 présente une conception envisageable pour l'extrémité de la CUD, dans laquelle les dalles sont bloquées par une longrine transversale.

Il est à noter que la nature granulaire et l'épaisseur du lit de pose conduisent à un tassement dans le temps, sous l'effet du trafic, de l'ordre de 5 à 8 mm. Ce tassement doit être pris en compte dans la spécification du niveau haut initial de la CUD.

Les pavés peuvent avoir pour dimension 15 cm x 15 cm x E (épaisseur des dalles). Comme les dalles, ils sont munis d'écarteurs, pour éviter un contact direct entre faces, qui rendrait le démontage malaisé et engendrerait des risques d'épaufrures. Afin de faciliter le démontage de la chaussée (cf. § 2.5.2), il est souhaitable de prévoir un modèle spécial, pour un pavé sur dix, dont un exemple est indiqué sur la figure 12. Ce pavé comporte une dépouille et un anneau, de façon à pouvoir être facilement démonté.

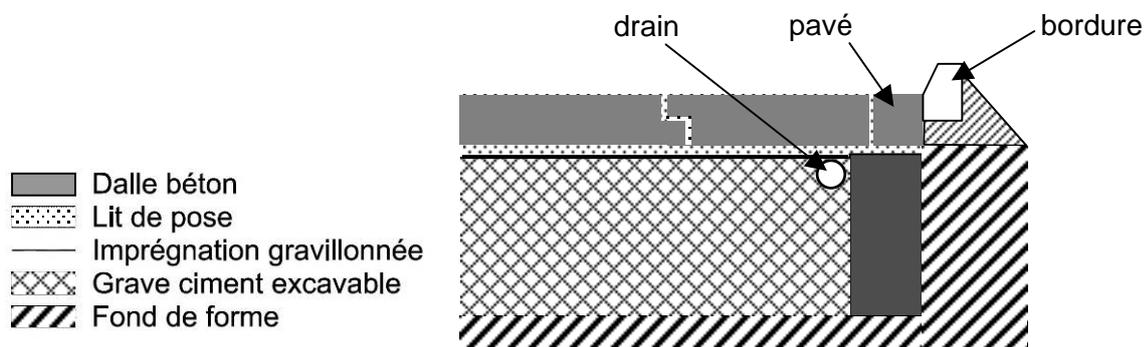


Figure 10 : coupe transversale de principe des rives de la CUD à dalles emboîtées.

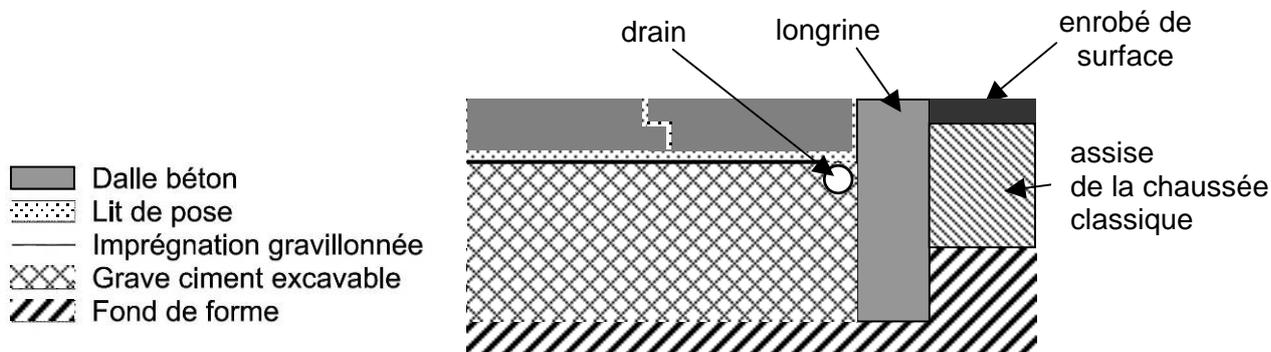


Figure 11 : coupe longitudinale de principe d'une extrémité de CUD à dalles emboîtées.

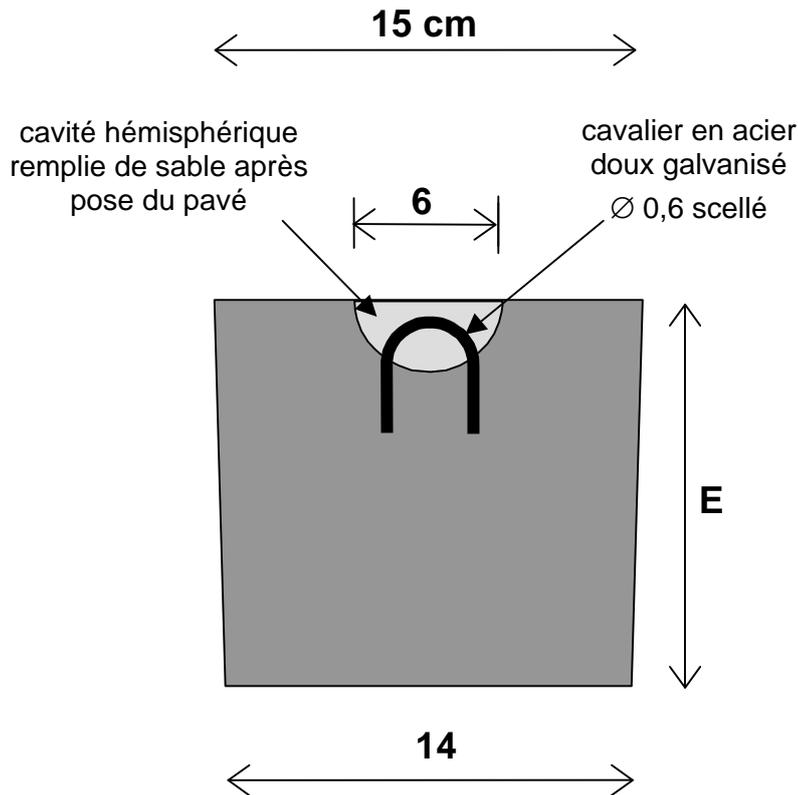


Figure 12 : exemple de pavé spécial conçu pour faciliter le démontage de la chaussée.

### 2.1.3 Traitement des émergences

Les bouches et regards d'accès aux réseaux souterrains sont de préférence placés sur les trottoirs ou sous les dalles de la CUD, sauf si la rapidité d'intervention nécessite absolument de placer des émergences dans l'emprise de la chaussée. Dans ce cas, on choisit des regards de forme carrée ou rectangulaire ; les dalles sont sciées sur chantier, en pleine épaisseur, de façon à ménager une réservation correspondant à l'emprise de l'émergence. Pour les CUD à dalles emboîtées, l'émergence est entourée d'une ligne de pavés, afin de rendre possible le démontage de la chaussée (cf. figure 13).

*Des émergences sont en général imposées par les opérateurs en charge des réseaux de gaz ou d'eau potable.*



Figure 13 : exemple d'un regard pratiqué dans une CUD à dalles emboîtées. L'émergence est entourée d'une ligne de pavés, dont l'enlèvement permet le ripage horizontal et le démontage des dalles.

## 2.2 Éléments de la structure CUD

### 2.2.1 Dalles et pavés

Les dalles sont soit en béton armé, soit en béton renforcé de fibres métalliques. Les pavés seront en béton non armé ou armé de fibres métalliques. Ces éléments modulaires sont préfabriqués et homogènes dans leur épaisseur (monocouche), sauf si l'on prévoit une couche de surface, afin d'obtenir une texture ou une couleur particulière (éléments bicouche). Le ou les bétons entrant dans la fabrication des éléments sont conformes au paragraphe suivant.

- **Béton**

Le béton est de type BC 5, conforme aux exigences XF4 de la norme NF EN 206-1 et contient à ce titre de l'air entraîné.

En l'absence de fibres, il est prescrit une résistance moyenne en traction par fendage à 28 jours, mesurée sur éprouvettes de dimensions 16x32 conservées dans l'eau à 20 °C, supérieure ou égale à 3,3 MPa en études, et à 2,7 MPa en contrôles (cf. § 2.4).

*Compte tenu du caractère démontable de la chaussée, il est conseillé de fabriquer un surplus d'éléments, de façon à disposer d'un volant de pièces de rechange en cas de ruptures lors des opérations de démontage-remontage.*

*Le béton peut être mis au point en utilisant la méthodologie du LCPC [15]. Une composition typique est donnée ci-après, à titre indicatif :*

- gravillons 10/20 : 358 kg/m<sup>3</sup>
- gravillons 5/10 : 592 kg/m<sup>3</sup>
- sable 0/4 : 793 kg/m<sup>3</sup>
- ciment CEM II 42,5 R : 417 kg/m<sup>3</sup>
- plastifiant réducteur d'eau : 1,08 kg/m<sup>3</sup>
- entraîneur d'air : 0,85 kg/m<sup>3</sup>
- eau : 187 kg/m<sup>3</sup>

Dans le cas d'un renforcement par fibres métalliques, le béton doit avoir une résistance moyenne en compression à 28 jours, mesurée sur éprouvettes de dimensions 16x32 cm conservée dans l'eau à 20 °C, supérieure ou égale à 38 MPa en études, et à 32 MPa en contrôles. Les fibres sont des fibres métalliques à crochet d'une longueur au moins égale au double de la taille maximale du granulats. Leur élanement (rapport longueur/dimension transversale) est d'au moins 60. Leur dosage n'est pas inférieur à 40 kg/m<sup>3</sup> de béton.

### • Préfabrication

La température du béton lors du traitement thermique éventuel restera inférieure à 60 °C. La surface non coffrée des éléments fait l'objet d'une cure, afin de favoriser la bonne hydratation du béton de peau. Après fabrication, les dalles sont stockées pour mûrissement, en les protégeant d'un séchage trop rapide, et ne sont pas exposées à la circulation avant l'âge de 28 jours.

Les tolérances dimensionnelles des dalles sont les suivantes :

± 0,2 cm sur l'épaisseur des dalles (mesurée sur leur pourtour) ;

± 0,5 cm sur la longueur des arêtes horizontales ;

± 0,5 cm sur la planéité de la face supérieure, mesurée à la règle d'1,50 m, sur les trois diagonales ;

± 0,2 cm sur la planéité de la face inférieure, mesurée par la même méthode ;

± 0,2 cm sur la dépouille des faces verticales.

Les arêtes moulées comportent des chanfreins de 0,2 cm ou un arrondi de rayon égal à 0,2 cm.

### • Traitement de surface

La Profondeur Moyenne de Texture (PMT) des surfaces horizontales supérieures des dalles et pavés obéit aux recommandations de la circulaire Adhérence des chaussées routières [16]. Si le levage des dalles est opéré à l'aide d'une ventouse, la PMT reste inférieure ou égale à 0,6 mm, ce qui est en général compatible avec les exigences d'adhérence en milieu urbain.

*Si le béton est désactivé, et la vitesse des véhicules supérieure à 50 km/h, une limitation de la taille maximale du granulats à 10 mm permet de réduire le bruit de roulement.*

*Le coulage des dalles peut s'effectuer à l'horizontale, face vue dessus, ce qui facilite le traitement de surface (cf. paragraphe suivant) et le contrôle de la forme géométrique de la sous-face. Les arêtes supérieures des dalles et des pavés nécessitent alors un traitement mécanique (meulage) afin d'éviter les épaufrures en phase de transport, de mise en place ou de service.*

*Le coulage peut aussi se faire à l'envers, d'où un contrôle plus aisé de la planéité de la face supérieure et de la qualité des arêtes vues.*

*Une macrotecture trop importante (valeur supérieure à 1 mm) rend hasardeuse la préhension des dalles au moyen d'une ventouse. Cette macrotecture peut être obtenue par balayage, désactivation chimique, bouchardage... Dans le cas des bétons de fibres, il conviendra cependant de s'assurer que la désactivation n'aboutit pas à des sorties des extrémités des fibres, qui rendraient la surface agressive pour les usagers ou les pneus.*

## 2.2.2 Matériau pour joints entre dalles

### • Cas des dalles indépendantes : élastomère coulé

Un élastomère est coulé sur un fond de joint, entré préalablement en force entre les dalles afin de servir de coffrage au joint.

Le matériau du joint est un mastic polymère autonivelant, dont la prise en peau intervient au bout de quelques heures. Une fois durci, la reprise élastique (selon la norme NF EN ISO 7389) est supérieure à 70 % et la dureté Shore supérieure ou égale à 30. Le joint doit accepter des déplacements relatifs de l'ordre de 3 mm en cisaillement ou traction, adhérer au béton et à lui-même et résister à l'eau, aux huiles et carburants. Il est également découpable à l'aide d'un outil manuel de type *cutter*, et arrachable à la main lors du démontage des dalles.

*Ce joint a pour fonction d'assurer une certaine étanchéité et surtout d'éviter le remplissage des espaces entre dalles par des éléments solides qui viendraient gêner le démontage ultérieur de la chaussée. Le fond de joint n'obéit à aucune spécification particulière, si ce n'est qu'il doit être capable d'empêcher l'écoulement du joint en partie inférieure avant que l'élastomère ne fasse prise.*

### • Cas des dalles emboîtées : sable

Après mise en place des dalles, les joints sont remplis avec un sable 0/2 mm. Celui-ci est conforme à la norme NF EN 13242. Le pourcentage en masse de passant au tamis de 0,063 mm est inférieur ou égal à 22 (catégorie f22). La valeur de l'essai au bleu de méthylène MB mesurée conformément à la norme NF EN 933-9 est inférieure ou égale à 2,5, ou la valeur de l'équivalent sable SE mesuré selon la norme NF EN 933-8 est supérieure ou égale à 50.

*Contrairement au cas des dalles indépendantes, on recherche ici un bon remplissage du joint, afin d'amortir les mouvements engendrés par le passage des véhicules et susceptibles de provoquer du bruit.*

## 2.2.3 Gravillons pour lit de pose

### • Cas des dalles indépendantes

Le lit de pose est composé de gravillons de roche massive de granularité 6/10 ou 5,6/11,2, satisfaisant aux critères de la norme EN 13043. Les valeurs prescrites de propriétés mécaniques sont les suivantes : LA (Los Angeles)  $\leq 20$ , MDE (Micro-Deval en présence d'eau)  $\leq 15$ , PSV (coefficient de polissage accéléré)  $\geq 50$ .

L'épaisseur du lit de pose est de  $3 \pm 1$  cm.

*Le respect de ces spécifications, qui visent à garantir la durabilité et le frottement interne du lit de pose, est essentiel pour assurer la stabilité des dalles soumises à la circulation des poids lourds, notamment en présence d'eau.*

### • Cas des dalles emboîtées

Le lit de pose est composé de gravillons 2/4 mm satisfaisant aux critères de la norme EN 13043. La valeur de l'essai Los Angeles du matériau satisfait à la condition suivante : LA  $\leq 25$ .

L'épaisseur du lit de pose est de  $3 \pm 1$  cm.

*Dans le cas des dalles emboîtées, le lit de pose a pour fonction de favoriser la mise en place et l'appui homogène des dalles, après ripage de ces dernières. Le matériau doit être suffisamment fin pour éviter l'écoulement du sable des joints dans sa porosité.*

## 2.2.4 Imprégnation gravillonnée

L'émulsion de bitume utilisée pour l'imprégnation est une émulsion à rupture rapide et doit être conforme à la norme NF EN 13808.

*Les caractéristiques de l'émulsion doivent être compatibles avec une application sur un matériau traité aux liants hydrauliques, notamment en termes de pH ( $\geq 4$ ).*

*Le granulats utilisé est généralement de roche massive et de granularité 4/6.*

## 2.2.5 Grave-ciment excavable

### • Formulation

La grave-ciment excavable, conforme à la norme produit NF EN 14227-1 (sauf en ce qui concerne le dosage en ciment), est de type T0. Elle comprend des gravillons de taille maximale égale à 10 mm, du sable, du ciment CEM I ou un ciment composé ne comprenant que du calcaire (comme addition au *clinker*), une addition calcaire (éventuellement comprise dans le sable), un adjuvant entraîneur d'air et de l'eau. Sa teneur en air après mise en place est d'au moins 4 %. Ses performances mécaniques à 28 jours, mesurées sur cylindres 16x32 moulés au moment de la fabrication et conservés à 20 °C dans leurs moules étanchés, satisfont les critères suivants :

- pour la résistance en traction par fendage

$$R_{t28} \geq 0,16 \text{ MPa (en études)}$$

$$R_{t28} \geq 0,14 \text{ MPa (en contrôles) ;}$$

- pour la résistance en compression

$$R_{c28} \leq 2,3 \text{ MPa (en études)}$$

$$R_{c28} \leq 2,5 \text{ MPa (en contrôles).}$$

*Dans la mise au point de ce matériau, la difficulté est d'assurer simultanément la portance suffisante de la couche et son caractère excavable avec des moyens de chantier légers (typiquement une pelle excavatrice de 7,5 t). Les additions minérales à caractère pouzzolanique et/ou à durcissement lent (cendres volantes, laitiers) sont proscrites afin d'éviter une croissance trop importante des résistances après 28 jours. Par ailleurs, la présence d'un entraîneur d'air s'est avérée nécessaire pour se prémunir du risque de gonflement par cryosuccion [8].*

*Le principe de formulation de la grave excavable est le suivant :*

- choix d'un  $D_{max} \leq 10$  mm pour favoriser l'excavabilité ;
- granularité conforme à l'annexe B de la norme NF EN 14227-1. Une optimisation complémentaire du squelette granulaire peut être réalisée à l'aide des outils proposés par le LCPC [15] ;
- dosage en ciment CEM I de l'ordre de 1 % ;
- dosage en filler calcaire suffisant pour compléter le rôle de remplissage du ciment (utilisation possible d'un logiciel d'aide à la formulation [15]) ;
- détermination de la densité sèche et de la teneur en eau à l'optimum Proctor sans entraîneur d'air :  $\rho_{d OPM}$  et  $W_{OPM}$ , respectivement ;
- choix d'un agent entraîneur d'air puissant et introduction d'un dosage massif (typiquement 1,5 fois le dosage maximum conseillé par la fiche technique, le dosage étant calculé par rapport à la masse du ciment et de l'addition minérale (et non par rapport au ciment seul) ;

– choix d'une teneur en eau  $W \approx W_{OPM} - 1 \%$  (cette valeur pourra être ajustée pour avoir un temps de vibrocompactage de quelques secondes en laboratoire) et d'une densité sèche  $\rho_d = 0,96 \rho_{d\ OPM}$ . On fait ici l'hypothèse que toute baisse de densité est due à l'air entraîné, et donc que la teneur en air entraîné exprimée en % est égale à

$$100 \left( 1 - \frac{\rho_d}{\rho_{d\ OPM}} \right)$$

On note que la teneur en air entraîné ne peut pas être mesurée comme sur un béton à l'aide d'un aéromètre, car cet essai ne fait pas la différence entre vides de compactage et air entraîné. Pour s'assurer que la baisse de densité est due à l'air entraîné, on moule en laboratoire une éprouvette par vibro-compression à une densité supérieure à  $\rho_d$ . À la fin du moulage, la surface de l'éprouvette doit monter à la façon d'un soufflé, car l'air entraîné se détend. Si ce n'est pas le cas, on augmente le dosage en agent entraîneur d'air. A contrario, si le matériau gonfle pour  $\rho_d$ , il est possible de diminuer le dosage d'agent entraîneur d'air.

Une fois la formule fixée, on moule des éprouvettes pour vérifier les performances mécaniques à 28 jours. Il est prudent de faire de même pour des formules dérivées dans lesquelles le dosage de ciment varie, afin de bien encadrer les performances visées.

Une composition typique est donnée ci-après, à titre indicatif :

- gravillons 5,6/11,2 : 567 kg/m<sup>3</sup>
- gravillons 2/6,3 : 399 kg/m<sup>3</sup>
- sable alluvionnaire 0/4 : 924 kg/m<sup>3</sup>
- ciment CEM I 52,5 N : 25,2 kg/m<sup>3</sup>
- filler calcaire : 185 kg/m<sup>3</sup>
- agent entraîneur d'air : 0,6 kg/m<sup>3</sup>
- eau d'ajout : 115 kg/m<sup>3</sup>

La présence d'air entraîné peut conduire à des matériaux sensibles au matelassage.

### • Fabrication industrielle

La grave-ciment est fabriquée dans une installation industrielle ayant prouvé sa capacité à maîtriser un très faible dosage en ciment (de l'ordre de 25 kg/m<sup>3</sup> avec une précision de  $\pm 2,5$  kg/m<sup>3</sup>).

Les centrales continues de matériaux routiers ne semblent pas à même de garantir ce type de précision. Par contre, deux graves-ciment excavables ont été fabriquées en usine de béton prêt-à-l'emploi avec un écart-type sur la masse de ciment enregistrée égal à 1,3 kg/m<sup>3</sup> (chantier de Saint-Aubin-lès-Elbeuf) et 2,2 kg/m<sup>3</sup> (chantier de Nantes).

## 2.2.6 Produit fluide de remblayage

En cas d'ouverture de la chaussée pour accès à un réseau, la couche d'assise est reconstituée à l'aide d'un matériau autocompactant (produit fluide de remblayage) non essorable [17]. On spécifie pour ce matériau une résistance en compression à long terme, mesurée sur éprouvette 16x32 cm, comprise entre 1 et 2 MPa.

*Le risque lié à l'obtention de faibles résistances sur ce matériau est moindre que dans le cas de la grave-ciment excavable, du fait du confinement exercé par cette dernière sur le matériau de remblayage. Il importe cependant que le matériau soit suffisamment résistant pour ne pas compromettre la stabilité des bords d'une éventuelle fouille ultérieure.*

## 2.3 Mise en œuvre des CUD (construction neuve)

La nécessité d'un blocage des dalles en rives de la CUD a été soulignée au § 2.1. Lors de la construction d'une section rectangulaire, il est conseillé de construire deux côtés adjacents du blocage et de ne fermer le cadre qu'après avoir mis toutes les dalles en place, de façon à pouvoir absorber le cumul d'éventuels défauts dimensionnels des éléments modulaires et de leurs joints.

### 2.3.1 Construction de l'assise

L'assise est construite en deux couches. La tolérance de planéité de la surface supérieure est de 1,5 cm, mesurée à la règle de 5 m.

En termes de compactage, on doit viser :

$$0,98 \rho_d \leq \rho_m \leq 1,01 \rho_d$$

et

$$0,97 \rho_d \leq \rho_{fc} \leq 1,01 \rho_d$$

avec

$\rho_m$  : valeur moyenne de la densité moyenne sur toute l'épaisseur de la couche compactée,

$\rho_{fc}$  : valeur moyenne de la densité fond de couche,

$\rho_d$  : densité nominale déterminée en laboratoire lors de l'étude de formulation de la grave-ciment excavable.

*Une attention particulière est portée à la cure de la surface supérieure. En effet, le séchage du matériau est très rapide, compte tenu de son faible dosage en ciment, et des défauts d'hydratation en partie supérieure pourraient provoquer des faiblesses sous les appuis des dalles, d'où un mauvais comportement de la chaussée. On veille donc à garder cette couche supérieure humide jusqu'à l'application de l'enduit de cure.*

*On recommande de prévoir une planche d'essai, avec prélèvement du matériau d'assise et vérification des performances en laboratoire, avant construction de l'assise de la CUD et, si possible, essai d'excavation à 28 jours ou plus tard, à l'aide d'une pelle mécanique représentative des engins disponibles pour les opérateurs sur réseau.*

*La planche permet également de définir un atelier de compactage, grâce à un suivi de la densité in situ. Les graves excavables, contenant de l'air entraîné, se compactent facilement ; quelques passes sans vibration sont en général suffisantes pour les compacter. La planche de convenue est importante pour éviter des surcompactages (avec risque de diminution de l'excavabilité) et pour détecter un éventuel matelassage.*

### 2.3.2 Lit de pose

Le lit de pose est lissé à la règle. La tolérance de planéité après lissage est de 0,5 cm.

*Après lissage, le lit de pose ne doit plus recevoir de circulation de piétons ni d'engins.*

### 2.3.3 Mise en œuvre des dalles indépendantes

- **Pose des dalles**

La distance entre dalles, mesurée au droit des joints verticaux, est de  $1 \pm 0,4$  cm. Les décalages entre plans supérieurs de dalles adjacentes ne doivent pas dépasser 0,5 cm. Le parallélisme des rangées de dalles doit être vérifié tous les 5 m au moins.

*La préhension des dalles peut s'effectuer à l'aide d'une ventouse – à condition que les spécifications de macrotexture précisées au § 2.2.1 soient satisfaites – ou à l'aide d'élingues. Dans ce dernier cas, il conviendra de proposer un système d'accrochage pérenne, compte tenu des risques de vandalisme, et qui ne compromette pas la sécurité de l'utilisateur. Quelle que soit la technique de préhension utilisée, les risques pour les travailleurs liés au levage d'éléments lourds doivent être bien appréhendés, et couverts par des mesures de sécurité appropriées.*

*La pose des dalles se fait à l'avancement, le véhicule de levage circulant sur les dalles déjà posées. Un système de gabarits en bois permet de maîtriser l'espacement entre dalles.*

- **Réalisation des joints**

Les espaces entre dalles sont laissés vides, sauf la partie supérieure, cachetée par un joint élastomère coulé sur un fond de joint (cf. figure 14). La hauteur du joint est de  $1,5 \pm 0,5$  cm, et il forme entre deux dalles un creux de profondeur comprise entre 0 et 0,4 cm.

*Ce joint a pour fonction d'assurer une certaine étanchéité et surtout d'éviter le remplissage des espaces entre dalles par des éléments solides qui viendraient gêner le démontage ultérieur de la chaussée. Le matériau est appliqué manuellement, à l'aide d'une pompe. Le fond de joint peut avoir été fixé sur les dalles en usine.*

*Dans cette technique, le garnissage des joints au sable est à proscrire, car incompatible avec un démontage facile.*

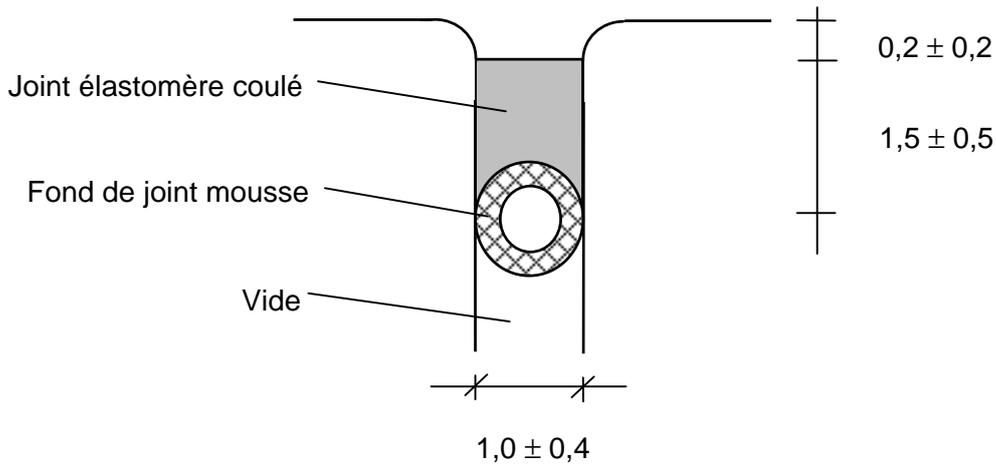


Figure 14 : principe et dimensions du joint en élastomère coulé.

### 2.3.4 Mise en œuvre des dalles emboîtées

#### • Pose des dalles

Après un réglage soigneux du lit de pose, on commence par poser une ligne de pavés, en ménageant des joints d'environ 5 mm d'ouverture. Puis les dalles sont posées par lignes successives, en partant d'un bord longitudinal de la chaussée. Afin de limiter au maximum les mouvements ultérieurs de la chaussée soumise au trafic, l'arrangement des dalles est serré au maximum. L'ouverture des joints ne doit pas dépasser 7 mm.

*L'ouverture des joints entre pavés peut être contrôlée à l'aide d'une cale d'épaisseur en bois.*

*La préhension des dalles peut s'effectuer à l'aide d'une ventouse – à condition que les spécifications de macrotexture précisée au § 2.2.1 soient satisfaites – ou à l'aide d'élingues. Dans ce dernier cas, il conviendra de proposer un système d'accrochage pérenne, compte tenu des risques de vandalisme, et qui ne compromette pas la sécurité de l'usager. Quelle que soit la technique de préhension utilisée, les risques pour les travailleurs liés au levage d'éléments lourds doivent être bien appréhendés, et couverts par des mesures de sécurité appropriées.*

#### • Réalisation des joints

Après la pose des pavés et des dalles, les joints sont garnis à l'aide d'un sable 0/2, puis arrosés, afin de bien faire descendre le sable dans le demi-joint supérieur (voir figure 15).

*Le sable est réparti horizontalement par balayage. Il peut être nécessaire de répéter les opérations de répandage-balayage-arrosage après quelques jours de trafic, les vibrations ayant pour effet de tasser le sable dans les joints. Par ailleurs, la forme géométrique des dalles emboîtées ménage des alvéoles situées sous les sommets des dalles, qui peuvent se remplir partiellement de sable.*

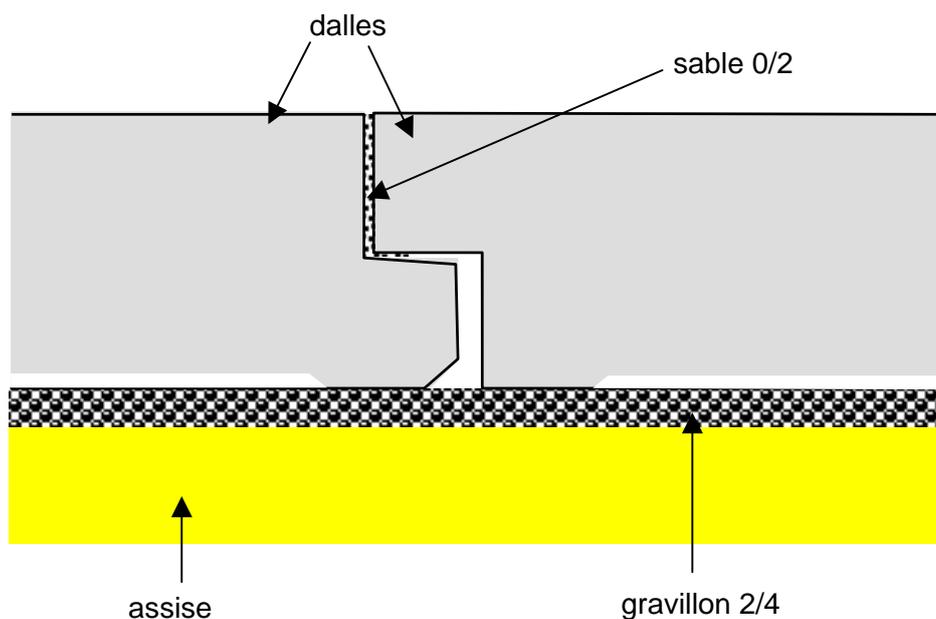


Figure 15 : garnissage d'un joint entre dalles emboîtées.

## 2.4 Contrôle extérieur préconisé

En complément du contrôle intérieur de l'entreprise, le maître d'ouvrage pourra mettre en œuvre un plan de contrôle extérieur, selon les tableaux 7 et 8 ci-dessous.

*L'attention de la maîtrise d'œuvre est attirée sur l'importance de l'examen du plan d'assurance de la qualité de l'entreprise, dans lequel on doit trouver des dispositions relatives à toutes les clauses du CCTP.*

*Il est également conseillé de recueillir les enregistrements de pesées de la centrale lors de la fabrication de la grave-ciment excavable, afin, notamment, de s'assurer du contrôle du dosage en ciment (cf. § 2.2.5).*

Tableau 7 : plan de contrôle extérieur sur les matériaux.

Objet du contrôle	Grandeur à contrôler	Type d'essai/mesure	Spécification	Fréquence
Béton des dalles/pavés (cas d'un marché spécifique <sup>1</sup> )	Teneur en air du béton frais	Mesure de la teneur en air à l'air-mètre	4-6 %	En début de fabrication, puis tous les 50 à 100 m <sup>2</sup> de chaussée
	Teneur en fibres au m <sup>3</sup> (bétons fibrés)	Mesure par analyse du béton frais	≥ 40 kg/m <sup>3</sup>	
	Résistance en traction par fendage à 28 jours (bétons sans fibres)	Essai de fendage sur cylindre (trois éprouvettes)	≥ 2,7 MPa (valeur caractéristique)	
	Résistance en compression à 28 jours (bétons fibrés)	Essai de compression sur cylindre (trois éprouvettes)	≥ 32 MPa (valeur caractéristique)	
Dalles (cas d'un marché spécifique)	Dimensions	Au mètre souple	cf. § 2.2.1	À l'usine, pour chaque lot correspondant à 50-100 m <sup>2</sup> de chaussée
	État de surface (hauteur au sable)	Profondeur moyenne de texture (PMT)	cf. § 2.2.1	
Pavés (cas d'un marché spécifique)	Dimensions	Au double décimètre	± 0,3 cm (arêtes horizontales) ± 0,2 cm (arêtes verticales)	
Sable pour joints	Granularité (cas des dalles emboîtées)	Analyse granulométrique	0/2	En début de chantier + lors d'éventuels changements d'origine des constituants
Gravillons du lit de pose	Granularité	Analyse granulométrique	dalles indépendantes : 6/10 ou 5,6/11,2 dalles emboîtées : 2/4	En début de chantier + lors d'éventuels changements d'origine des constituants
	Résistance aux chocs (dans le cas des dalles indépendantes)	Essai Los Angeles	≤ 20	
Grave-ciment excavable	Résistance en traction par fendage à 28 jours à la densité nominale	Essai de fendage sur cylindre. Prélèvement sur chantier et moulage de 3 éprouvettes en laboratoire	≥ 0,14 MPa	Chaque jour de fabrication
	Résistance en compression à 28 jours à la densité nominale	Essai de compression sur cylindre. Prélèvement sur chantier et moulage de 3 éprouvettes en laboratoire	≤ 2,5 MPa	
Produit fluide de remblayage	Résistance en compression à 28 jours	Essai de compression sur cylindre	≥ 1,0 MPa ≤ 2,0 MPa	

<sup>1</sup> Dans le cas d'un marché comprenant la fourniture et la pose des dalles et pavés, l'entreprise effectue ce type de contrôles dans le cadre de son plan qualité. Par contre, si les marchés de fourniture et de pose sont attribués à des groupements différents, ces dispositions sont conseillées dans le cadre du contrôle extérieur du marché de fourniture des dalles et pavés.

Tableau 8 : plan de contrôle extérieur sur la structure.

Objet du contrôle	Grandeur à contrôler	Type d'essai/mesure	Spécification	Fréquence
Plate-forme	Module élastique	Essai à la plaque, à la dynaplaque ou au portancemètre (ou mesure de déflexion si la couche de forme est traitée)	$\geq 50$ MPa (PF2) $\geq 120$ MPa (PF3)	Au moins un essai par 100 m <sup>2</sup>
Assise	Densité	Gammadensimètre	$0,98 \rho_d \leq \rho_m \leq 1,01 \rho_d$ et $0,97 \rho_d \leq \rho_{fc} \leq 1,01 \rho_d$	Planche de vérification (début de chantier)
	Épaisseur moyenne	Calculée à partir des bons de pesée et de la densité	Selon projet (cf. tableaux 1 et 2)	Par couche et par journée
	Planéité	À la règle de 3 m	1,5 cm	Sur deux profils en long
Couche de cure	Couleur de la surface	Contrôle visuel	Application homogène	Après la fin de mise en œuvre de la couche supérieure
Surface de la chaussée finie	Largeur des joints	Contrôle visuel et mesure si problème	dalles indépendantes : $1 \pm 0,4$ cm dalles emboîtées : $0,5 \pm 0,2$ cm	À la réception de la chaussée
	Planéité	À la règle de 3 m, sur deux profils en long	$\pm 0,5$ cm	
	Cote finale par rapport aux surfaces environnantes (trottoirs, chaussée classique...)	Contrôle visuel et mesure si problème	$\pm 0,5$ cm	

## 2.5 Ouverture et fermeture d'une CUD

### 2.5.1 Démontage (dalles indépendantes)

On détermine d'abord les dalles à démonter et on les numérote de façon à les reposer ultérieurement selon le même arrangement. Puis on coupe manuellement le joint élastomère en pleine épaisseur à l'aide d'une lame (type *cutter*). Les dalles sont ensuite levées.

*Après avoir été coupé, et une fois les dalles extraites, le joint doit pouvoir s'enlever facilement à la main, sans laisser de parties adhérentes aux dalles.*

## 2.5.2 Démontage (dalles emboîtées)

On localise d'abord l'emprise de la fouille, puis on délimite la partie de chaussée à démonter, selon un dièdre d'axe transversal et d'ouverture égale à  $120^\circ$  (voir figure 16). Ensuite, on numérote et on repère l'orientation des dalles, de façon à les reposer ultérieurement selon le même arrangement. Puis on démonte la ligne de pavés de rive, on enlève la ligne de demi-dalles, et on progresse ensuite par lignes de dalles jusqu'au démontage total de la zone.

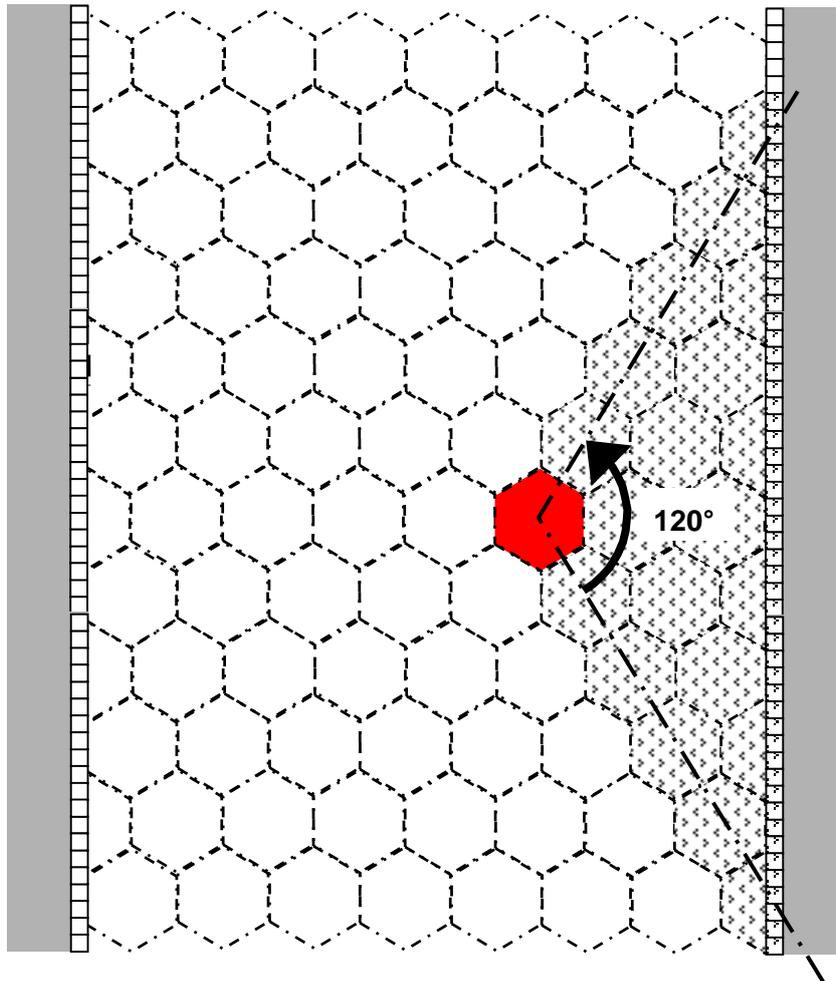


Figure 16 : principe de démontage des dalles emboîtées.

### 2.5.3 Excavation

L'excavation de l'assise est réalisée à l'aide d'outils manuels et/ou d'une mini-pelle mécanique.

*On évite l'emploi d'outils pneumatiques, générateurs de bruit, de poussière et de vibrations. Si la grave-ciment a été correctement fabriquée et mise en œuvre, quelques dizaines de coups de pelle permettent de percer la couche. En travaillant en « rétro », l'excavation se poursuit alors facilement.*

*Les bords de la fouille au niveau de l'assise sont stables, grâce à la cohésion du matériau, ce qui permet de réduire au maximum la largeur des tranchées. Cela ne règle cependant pas la question au niveau des couches sous-jacentes, notamment si celles-ci sont réalisées en matériaux non traités.*

### 2.5.4 Reconstruction de l'assise

Après intervention sur le réseau, la tranchée est comblée par coulage d'un produit fluide de remblayage (cf. § 2.2.6) jusqu'au niveau initial. Puis, le lit de pose en gravillons est reconstitué.

*Un délai doit être observé entre la fin du coulage et la mise en place du lit de pose, afin de laisser au nouveau matériau d'assise le temps d'acquiescer une portance minimale.*

### 2.5.5 Fermeture et remise en service

La fermeture de la chaussée s'effectue de la même façon, et avec les mêmes tolérances que la construction initiale (cf. § 2.3.3 et 2.3.4). Le délai de remise en service est conditionné par la portance du produit fluide de remblayage, sauf si les dalles exposées à la circulation peuvent prendre appui en dehors des zones remblayées.

*Afin de réduire au maximum les perturbations liées aux travaux, le garnissage des joints peut être différé de quelques heures et intervenir de nuit, si le trafic journalier le justifie.*

### 3. Références

- [1] Ferrand J., Duffait J., Josserand L., de Larrard F., *Les chaussées urbaines démontables – Étude bibliographique*, Rapport interne du LCPC, décembre 2003, 39 p. Disponible sur <http://heberge.lcpc.fr/cud>
- [2] *Guide pratique des galeries multiréseaux – Clé de Sol*, Collection Dossiers d'experts, Éditions Techni-Cités, avril 2005, 225 p.
- [3] *NF EN 1338 – Pavés en béton – Prescriptions et méthodes d'essai*, Afnor, 63 p., février 2004.
- [4] *NF EN 1339 – Dalles en béton – Prescriptions et méthodes d'essai*, Afnor, 64 p., février 2004.
- [5] *NF EN 1341 - Dalles en pierres naturelles - Prescriptions et méthodes d'essais*, Afnor, 40 p., février 2003.
- [6] *NF EN 1342 - Pavés en pierres naturelles - Prescriptions et méthodes d'essais*, Afnor, 35 p., février 2003.
- [7] *NF P98-335 – 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, 62 p., mai 2007.
- [8] Divers auteurs, « *Expérimentations sur les chaussées urbaines démontables* », Études et recherches des Laboratoires des Ponts et Chaussées, à paraître, 2009.
- [9] Laurent G., de Larrard F., *Coût des structures CUD – Bilan économique*, Rapport du Cete de l'Ouest, septembre 2008, 16 p.
- [10] *Prendre en compte le développement durable dans un projet - Guide d'utilisation de la grille RST02*, Certu - DGUHC, 2006, 64 p.
- [11] *Commissariat Général du Plan, Transport : choix des investissements et coût des nuisances*. Rapport du groupe présidé par Marcel Boiteux, Documentation française, 2001, 114 p. et annexes.
- [12] Azzout Y., Barraud S., Cres F.N., Alfakih E. *Techniques alternatives en assainissement pluvial*, Lavoisier (Technique et Documentation), 1994.
- [13] Guerrini G.L., Peccati E., *Revêtements routiers en béton à effet photocatalytique dépolluant*, Symposium international Rilem sur la photocatalyse, l'environnement et les matériaux de construction, Florence, 8-9 octobre, 2007.
- [14] Setra-LCPC, *Conception et dimensionnement des structures de chaussées. Guide technique*, 1994.
- [15] <http://www.lcpc.fr/betonlabpro/>
- [16] *Circulaire relative à l'adhérence des couches de roulement neuves et au contrôle de la macrotecture*, ministère de l'Équipement, Direction des routes, n°2002-39, 16 mai 2002, 11 p.
- [17] Bonnet G., Gavalda A., Quibel A., *Remblayage des tranchées – Utilisation de matériaux autocompactants*, Dossier Certu n°78, avril 1998, 36 p.

## Annexe : données économiques 2008

Tableau 9 : ordre de grandeur des coûts unitaires pour le calcul du coût de construction d'une CUD (prix HT, valeur août 2008)

Étape de construction	CUD, coûts unitaires	Quantités	Total du poste
Assise	Grave ciment-excavable, fourniture, transport et mise en œuvre, le m <sup>3</sup> : 80 €		
Couche de cure gravillonnée	Le m <sup>2</sup> : 1 €		
Lit de pose	Fourniture, transport, mise en œuvre, sur 3 cm, le m <sup>2</sup> : 3 €		
Fourniture à pied d'œuvre des dalles et pavés si nécessaire	Selon la complexité de forme et l'épaisseur, le m <sup>2</sup> : 130 à 150 €		
Mise en œuvre des dalles, y compris sablage des joints ou colmatage par produit d'étanchéité	Selon la forme des dalles (avec ou sans clavette), le m <sup>2</sup> : 40 €		
Réalisation de longrines longitudinales et transversales	Le mètre linéaire : 80 €		
Total			

Tableau 10 : ordre de grandeur des coûts unitaires des travaux de génie civil, pour une intervention sur une surface de 10 m<sup>2</sup> (prix HT, valeur août 2008 [9]). À noter qu'à ces coûts relatifs aux opérations de maintenance et d'entretien, on doit ajouter la TVA, au contraire des coûts d'investissements, pour lesquels le maître d'ouvrage est remboursé par le FCTVA.

Opération à réaliser	CUD, pour 0,5 j	Chaussée classique, pour 2,5 j
Estimation des coûts pour 10 m <sup>2</sup>	1 600 €	7 000 €

## **Modular urban roadways**

Technical guide 2008

This document is the first guide dedicated to Modular Urban Roadways – road surfaces designed to be easily opened and closed with a turnaround of approximately half a day, thanks to light, quiet materials and equipment, in order to cause the minimum possible inconvenience to road users and residents during maintenance work. This guide first outlines the history behind this concept, as well as the advantages it presents, particularly in terms of sustainable development, and then offers advice, tips and commentaries on how to draw up a contract. Two techniques are presented. Both use prefabricated concrete slabs on an "excavatable" bed of gravel stabilised with cement; the difference between the two techniques lies essentially in the way they fit together (simple tessellating slabs or interlocking slabs). For each technique, dimensions are suggested and advice provided concerning the manufacture of the necessary materials and modular elements, the installation of the road surface, site inspections and future removal/reinstallation operations. Although the cost of construction is generally higher than for a traditional roadway, the gains in terms of future roadworks and other, external costs, such as those borne by road users or neighbouring traders, mean that modular urban roadways constitute a technique with much potential that could benefit all users.

## **Calzadas urbanas desmontables**

Guía técnica 2008

Este documento es la primera guía que trata sobre las Calzadas Urbanas Desmontables, calzadas concebidas para ser abiertas y cerradas fácilmente en aproximadamente medio día, con ayuda de un material ligero y silencioso, para reducir las molestias ocasionadas por las obras de mantenimiento a los usuarios y vecinos. Tras haber evocado la historia y el atractivo del concepto, según las exigencias del desarrollo sostenible, esta guía propone recomendaciones para la redacción de un contrato público, acompañadas de comentarios. Se presentan dos técnicas, basadas en losas de hormigón prefabricadas, respectivamente independientes o encajadas, y que reposan sobre una base de grava-cemento excavable. Para cada técnica, se proponen dimensionamientos y se formulan consejos para la fabricación de los materiales y elementos modulares, la colocación de la calzada, el control de la obra y las operaciones ulteriores de desmontaje-montaje. Mientras que el coste de construcción es, en general, superior al de una calzada urbana clásica, las ganancias sobre las intervenciones ulteriores y sobre los diferentes costes externos, como los causados a los usuarios o comerciantes de la zona, hacen de las calzadas urbanas desmontables una técnica prometedora y benéfica para el interés colectivo.

© ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire  
centre d'Études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques

Service technique placé sous l'autorité du ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire, le centre d'Études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques a pour mission de faire progresser les connaissances et les savoir-faire dans tous les domaines liés aux questions urbaines. Partenaire des collectivités locales et des professionnels publics et privés, il est le lieu de référence où se développent les professionnalismes au service de la cité.

Toute reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement de Certu est illicite (loi du 11 mars 1957).

Cette reproduction par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

Impression : Imprimerie Cusin tél. 04 74 28 44 31

Achévé d'imprimer : janvier 2009

Dépôt légal : 1<sup>er</sup> trimestre 2009

ISSN : 1263-3313

ISBN : 978-2-11-098199-1

Certu – Bureau des ventes

9, rue Juliette-Récamier

69456 Lyon cedex 06

☎ (+33) (0) 4 72 74 59 59

Internet [www.certu.fr](http://www.certu.fr)

Cette collection comporte les guides techniques, les ouvrages méthodologiques et les autres ouvrages qui, sur un champ donné, présentent de manière pédagogique ce que le professionnel doit savoir. Le Certu a suivi une démarche de validation du contenu et atteste que celui-ci reflète l'état de l'art. Il recommande au professionnel de ne pas s'écarter des solutions préconisées dans le document sans avoir pris l'avis d'experts reconnus.

Le Certu publie également les collections : débats, dossiers, rapports d'étude.

## Chaussées urbaines démontables

Guide technique 2008

Ce document est le premier guide traitant des Chaussées Urbaines Démontables, chaussées conçues pour être facilement ouvertes et refermées en une demi-journée environ, à l'aide d'un matériel léger et silencieux, afin de réduire la gêne aux usagers et riverains occasionnée par les travaux d'entretien. Après avoir évoqué l'historique et l'attractivité du concept, selon les exigences du développement durable, ce guide propose des recommandations pour la rédaction d'un marché, assorties de commentaires.

Deux techniques sont présentées, basées sur des dalles en béton préfabriquées, respectivement indépendantes ou emboîtées, et reposant sur une assise en grave-ciment excavable. Pour chaque technique, des dimensionnements sont proposés, et des conseils sont formulés pour la fabrication des matériaux et des éléments modulaires, la mise en place de la chaussée, le contrôle du chantier et les opérations ultérieures de démontage-remontage.

Alors que le coût de construction est en général supérieur à celui d'une chaussée urbaine classique, les gains sur les interventions ultérieures, et sur les différents coûts externes, tels que ceux subis par les usagers ou les commerçants riverains, font des chaussées urbaines démontables une technique prometteuse et bénéfique pour l'intérêt collectif.

*Cf. Summary of the content translated into English at the end of the work.*

*Versa la síntesis de la obra traducida al español al final del libro.*