LES
SMART
SYSTÈMES
EN BÉTON

LES REVÊTEMENTS DRAINANTS EN ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS EN BÉTON

DES SOLUTIONS POUR LUTTER CONTRE L'IMPERMÉABILISATION DES SURFACES URBAINES

CIMbéton
CENTRE D INFORMATION SUR LE CIMENT ET SES APPLICATIONS

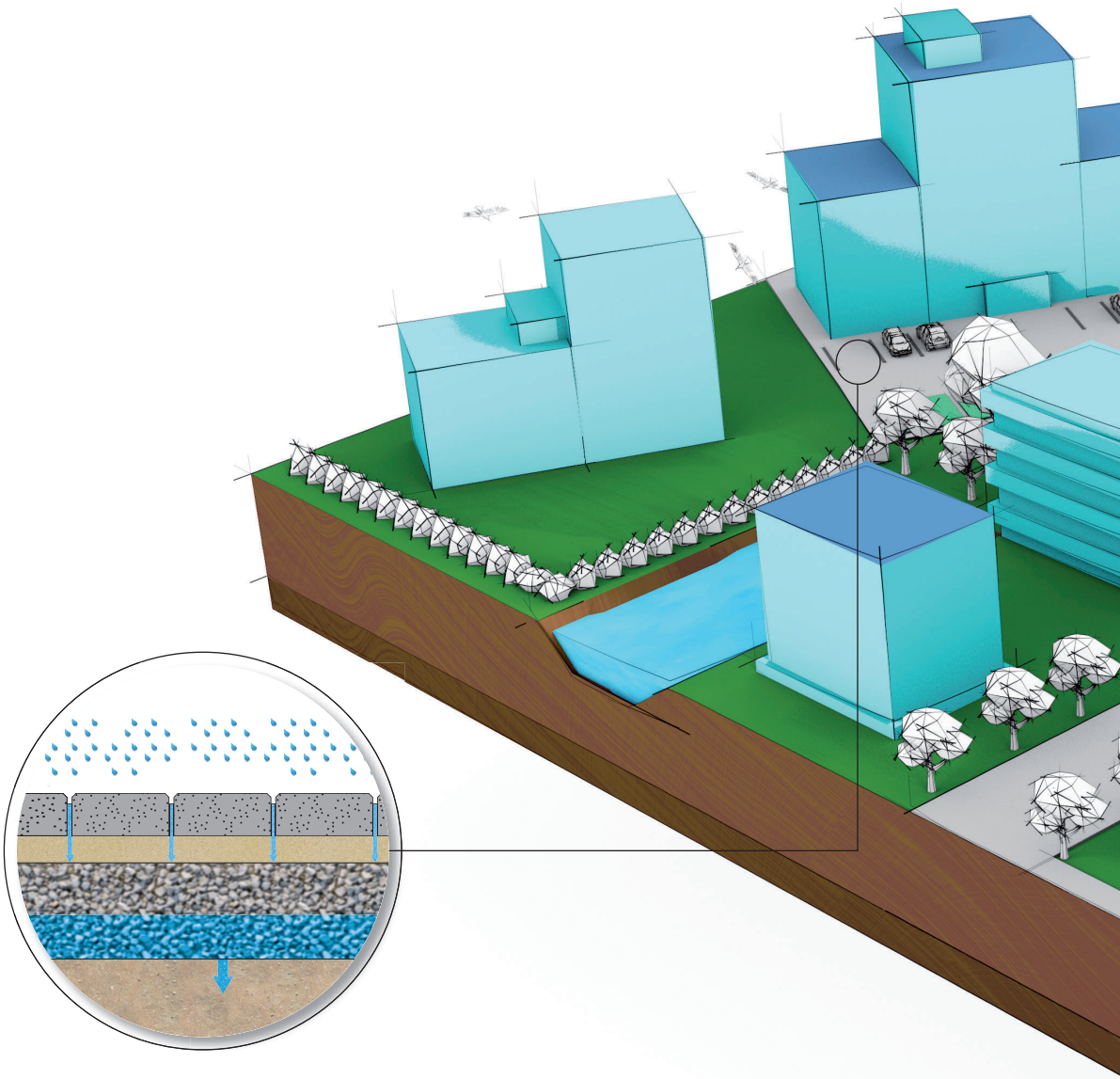
CERIB
Expertise concrète

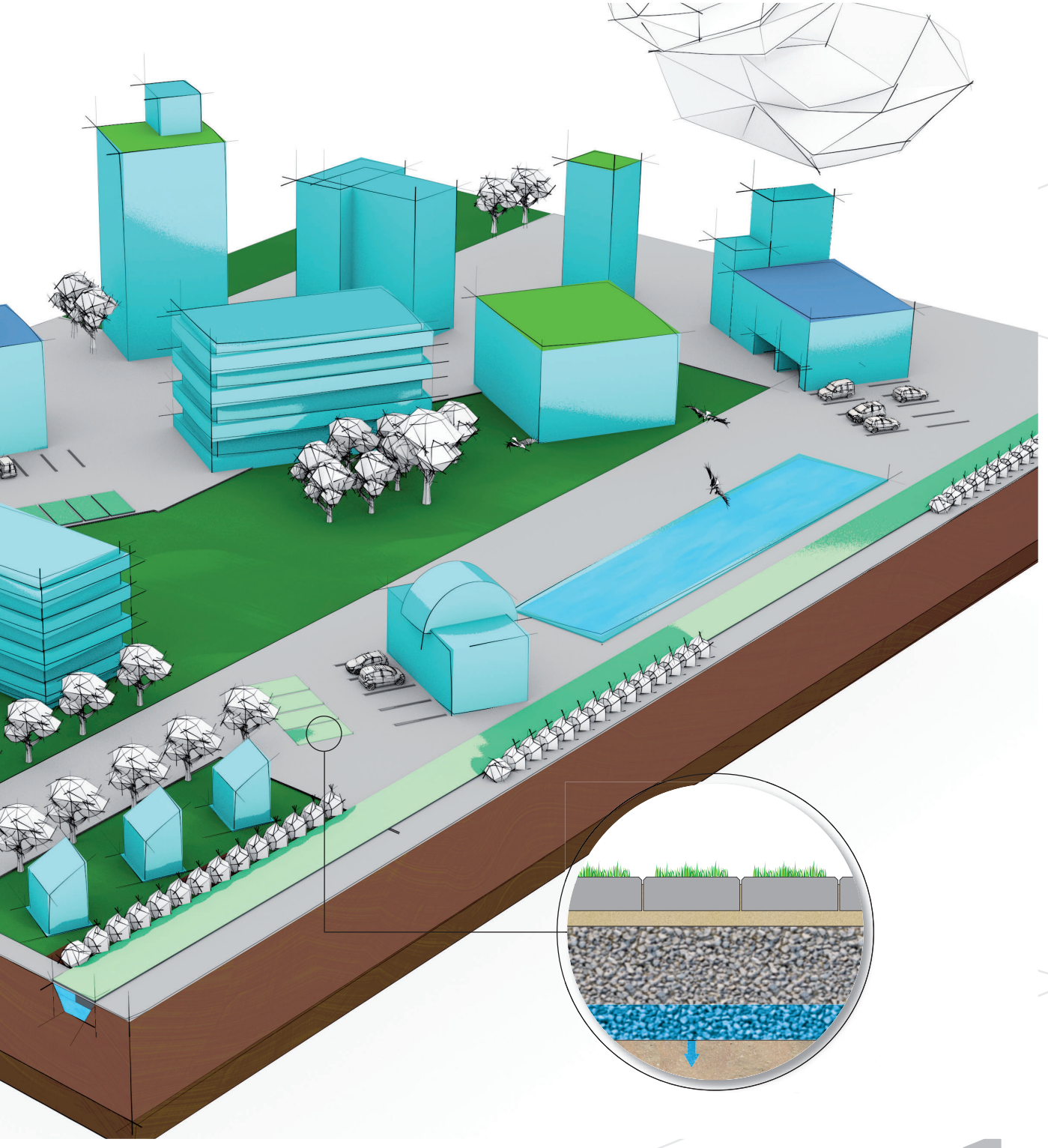
FÉDÉRATION DE L'INDUSTRIE DU BÉTON

NOTE AUX LECTEURS

L'urbanisation croissante et l'étalement urbain génèrent souvent une imperméabilisation des sols et des conséquences sur le cycle naturel de l'eau. Les revêtements drainants préfabriqués en béton favorisent l'infiltration des eaux pluviales.

Cette publication a pour objectif de couvrir cette thématique dans son ensemble (problématique, solutions existantes en produits préfabriqués en béton, conception, mise en œuvre et entretien/exploitation).





SOMMAIRE

1. LUTTER CONTRE L'IMPERMÉABILISATION DES SOLS - LA PROBLÉMATIQUE 6
1.1 Introduction 6
1.2 Les conséquences dommageables de l'imperméabilisation 6
1.2.1 Modification du cycle naturel de l'eau 6
1.2.2 Modification des fonctions du sol et conservation de la nature 8
1.2.3 Impact sur le cadre de vie 9
1.3 Un cadre règlementaire et législatif robuste et en évolution 10
1.3.1 Les référentiels 10
1.3.2 Vers une nouvelle approche de la gestion des eaux pluviales 11
1.3.3 Vers de nouvelles règles d'urbanisme et d'incitation financière 12
1.3.4 Répondre aux besoins d'aujourd'hui et anticiper les attentes de demain 12
1.4 Conclusion 13

2. LUTTER CONTRE L'IMPERMÉABILISATION DES SOLS - LES SOLUTIONS 14
2.1 Introduction 14
2.1.1 Améliorer, voire repenser l'aménagement du territoire 14
2.1.2 Faire appel à des techniques de compensation 14
2.1.3 Mettre en place des solutions d'atténuation pour réduire les conséquences de l'imperméabilisation 15
2.2 Les solutions de revêtements drainants et/ou de structures poreuses 17
2.2.1 Les solutions 17
2.2.2 La culture de la gestion intégrée tout au long de la vie en œuvre, dès le programme du maitre d'ouvrage 19
2.2.3 Identifier et mettre en perspective les besoins d'aujourd'hui 19
2.2.4 Prendre en compte les nouveaux besoins 21
2.3 Conclusion 21

3. LES REVÊTEMENTS DRAINANTS EN ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS EN BÉTON – L'OFFRE DE L'INDUSTRIE DU BÉTON 22
3.1 Les produits préfabriqués en béton poreux 22
3.1.1 Introduction 22
3.1.2 Principales caractéristiques 22
3.2 Les systèmes constructifs à base de produits préfabriqués 23
3.2.1 Les produits 23
3.2.2 Les systèmes constructifs : les principales caractéristiques 26
3.3 Conclusion 29

4. LES REVÊTEMENTS DRAINANTS EN ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS EN BÉTON – CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT 30
4.1 Introduction 30
4.2 La démarche du maitre d'œuvre 30
4.2.1 Programme et objectifs du maitre d'ouvrage 30
4.2.2 Etudes préalables des données et caractéristiques du site du projet 30
4.2.3 Choix des principes de conception et des solutions disponibles 33
4.2.4 Les principes de dimensionnement 36
4.2.5 Mise en perspective du dimensionnement mécanique et du dimensionnement hydraulique 37
4.3 Conclusion 44

5. **LES REVÊTEMENTS DRAINANTS EN ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS EN BÉTON – MISE EN ŒUVRE ET CONTRÔLES** 45

5.1 **Mise en œuvre des revêtements drainants en éléments préfabriqués en béton** 45

5.2 **Réalisation d'une couche d'assise en Hydrocyl®** 45

5.2.1 Textes de référence 45
5.2.2 Caractéristiques des produits 45
5.2.3 Mise en œuvre 45

6. **LES REVÊTEMENTS DRAINANTS EN ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS EN BÉTON – PRÉCONISATIONS POUR L'ENTRETIEN ET L'EXPLOITATION** 48

6.1 **Introduction** 48

6.2 **Colmatage et décolmatage** 48

6.2.1 Introduction 48
6.2.2 Les mesures pour limiter le colmatage 48
6.2.3 Les techniques pour limiter le colmatage des revêtements drainants en éléments préfabriqués en béton 49
6.2.4 Les techniques de décolmatage des revêtements drainants en éléments préfabriqués en béton 49

6.3 **Les gestion des polluants** 50

6.3.1 Introduction 50
6.3.2 Pollution chronique 50
6.3.3 Pollution accidentelle 50

6.4 **Gestion hivernale** 51

6.4.1 Résistance au gel/dégel 51
6.4.2 Agents de déverglaçage ou fondants 51
6.4.3 Déneigement 51

6.5. **Réparations** 52

6.5.1 Introduction 52
6.5.2 Regarnissage des joints 52
6.5.3 Endommagement des produits 52
6.5.4 Orniérage/enfoncement 52
6.5.5 Démontage et remplacement des produits 52
6.5.6 Cas particulier de l'entretien des revêtements végétalisés 53

6.6 **Conclusion** 53

BIBLIOGRAPHIE 54

ANNEXES 60

Annexe 1 - Essai de perméabilité suivant référentiel 353.E V2 du CERIB 60
Annexe 2 - Tableau récapitulatif des spécifications des pavés poreux 61
Annexe 3 - Caractéristiques fonctionnelles des pavés à joints larges et pavés à ouvertures de drainage 62
Annexe 4 - Caractéristiques fonctionnelles des dalles drainantes 64
Annexe 5 - Définitions relatives au dimensionnement hydraulique 65

INDEX DES FIGURES 67

INDEX DES PHOTOS 68

INDEX DES TABLEAUX 69

1. LUTTER CONTRE L'IMPERMÉABILISATION DES SOLS LA PROBLÉMATIQUE

1.1 INTRODUCTION

Le besoin sociétal de développer la ville, la façon d'urbaniser, les techniques de construction et la nature des matériaux majoritairement utilises conduisent à une imperméabilisation des sols naturels de plus en plus marquée.

L'imperméabilisation des surfaces urbaines, en particulier, va de pair avec le phénomène de ruissellement des eaux pluviales dont les conséquences dommageables sont connues du grand public comme des experts : inondations, concentration de pollution, altération de la nature, impact sur le cadre de vie et jusqu'à la sécurité des biens et des personnes.

D'autre part, pour faire face à la croissance démographique, l'étalement urbain a été la réponse privilégiée pendant plusieurs décennies. Ce schéma ne correspond plus, aujourd'hui, à la logique de la ville durable. Les politiques publiques préconisent explicitement la densification des villes existantes dont la maitrise appelle à concentrer l'effort, notamment vers les pôles majeurs de mobilité et vers les hauts lieux de la ville.

Le peu d'espace naturel disponible aura vocation pour tout ou partie à permettre de construire encore davantage. Or, plus on densifie, plus on imperméabilise les surfaces urbaines et plus les risques d'inondation des centres urbains s'amplifient si l'on continue à faire appel aux mêmes solutions qu'aujourd'hui.

Pour sortir de ce cercle non vertueux, il faut changer la manière d'urbaniser, changer la manière de concevoir les voiries et autres aires de mobilité et aussi adapter les techniques de construction du bâti.

1.2 LES CONSÉQUENCES DOMMAGEABLES DE L'IMPERMÉABILISATION

L'imperméabilisation des sols a des conséquences multiples sur le cycle naturel de l'eau, sur la modification des fonctions du sol, en lien notamment avec la conservation de la nature ainsi que sur le cadre de vie des citadins.

1.2.1 Modification du cycle naturel de l'eau

Le cycle naturel de l'eau est base sur un équilibre dans lequel l'eau de pluie se répartit entre le ruissellement jusqu'aux cours d'eau, l'infiltration dans le sol pour aller lentement alimenter les nappes phréatiques, l'évaporation dans l'atmosphère et l'absorption par les végétaux.

De plus, le sol naturel filtre l'eau et régule le débit des eaux qui alimentent les nappes phréatiques et les cours d'eau. Il élimine les contaminants et réduit la fréquence et le risque d'inondation et de sècheresse. Associe à la végétation, il permet de réguler le microclimat dans les environnements urbains denses. L'urbanisation de plus en plus importante des territoires, l'augmentation des surfaces imperméables et la diminution du nombre d'espaces verts perturbent ce cycle par une :

- Reduction de l'infiltration naturelle voire empêchement de l'absorption, donc une sous-alimentation des nappes phréatiques.

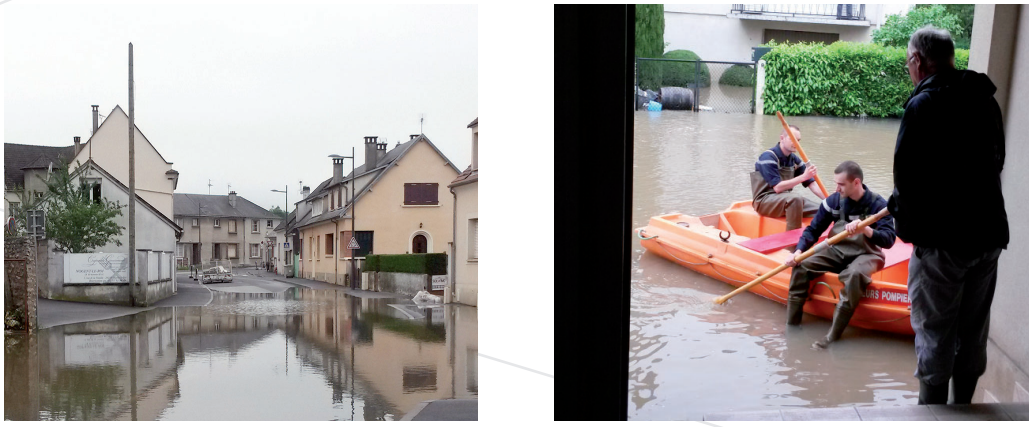


Photo 1 - Situation caractéristique des inondations en milieu urbain

- Réduction de l'absorption par l'absence de végétaux.
- Augmentation du ruissellement et notamment des débits de pointe.
- Reduction des temps que mettent les eaux pluviales pour rejoindre les rivières.

Ces phénomènes se concrétisent par des inondations plus fréquentes (Photo 1) en raison des surcharges des réseaux et des vitesses de montée en charge des cours d'eau ainsi que par une pollution des milieux récepteurs par lessivage. Les polluants viennent en effet se déposer sur la voirie puis sont entrainés par les eaux de ruissellement qui présentent une concentration de polluants pouvant porter atteinte au milieu récepteur et limiter les usages de l'eau *(Figure 1, Figure 2 et Figure 3)*.

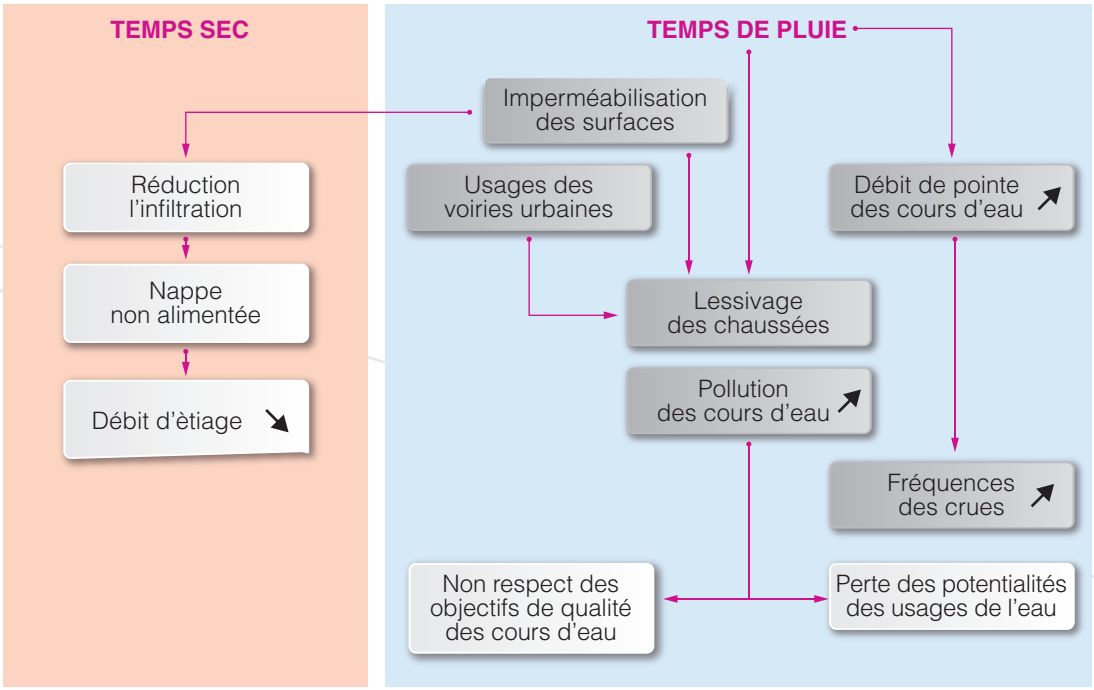


Figure 1 - Schéma illustratif de l'influence des voiries urbaines sur le cycle de l'eau (d'après le guide T57 « Revêtement et structures réservoir », Collection Technique, CIMbéton).

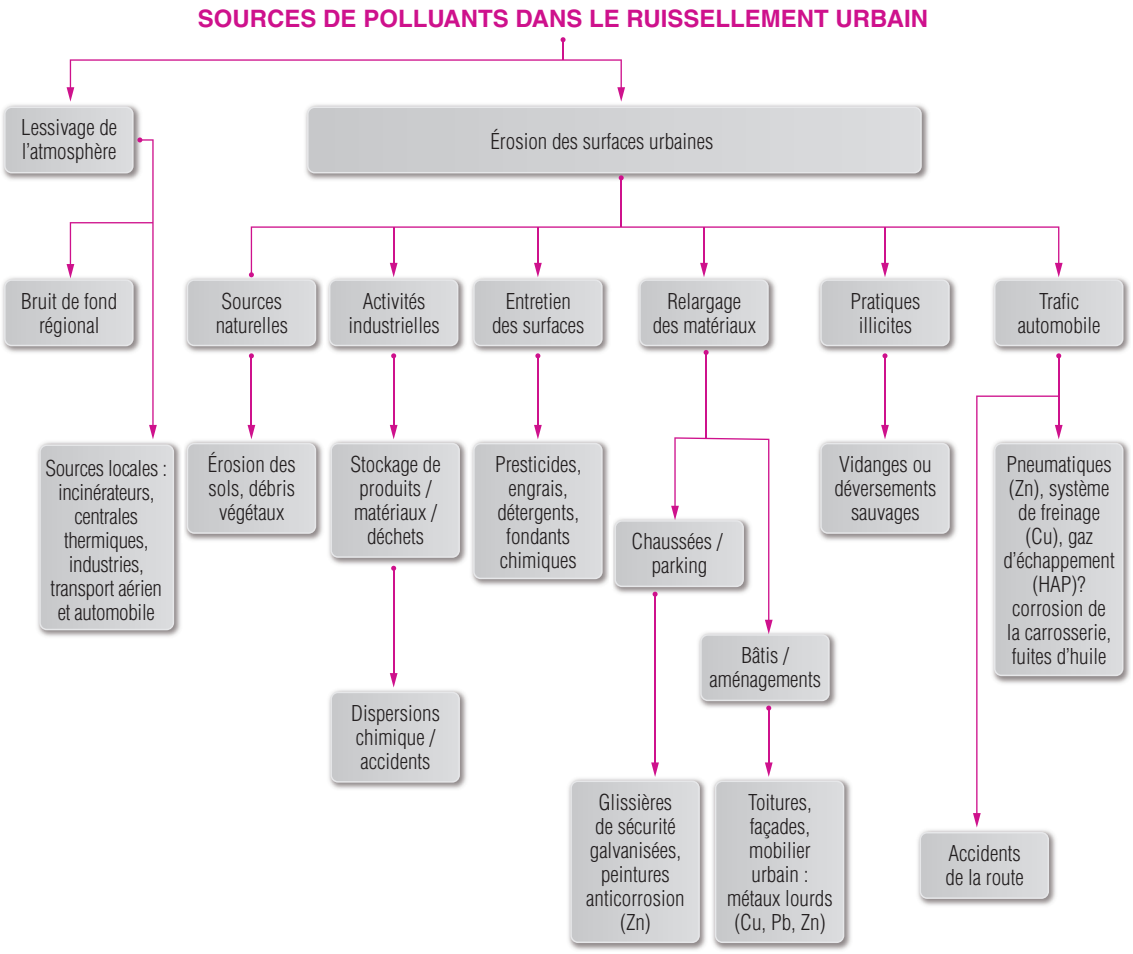


Figure 2 - Sources de polluants dans le ruissellement urbain (d'après Aménagement et eaux pluviales, Traitement de la pollution des eaux pluviales et protection des milieux aquatiques sur le territoire du Grand Lyon, Guide méthodologique, A. POURCHET, E. SIBEUD, 2013).

1.2.2 Modification des fonctions du sol et conservation de la nature

Toute construction déployée sur un site, en extension d'urbanisme, agit sur la conservation de la nature à commencer par le sol. Pour un bâtiment comme pour une voirie ou aire d'activité, les travaux commencent par déplacer la couche végétale du sol. Les structures protégées ou revêtues imperméabilisent le substratum et l'isolent de l'atmosphère.

En l'absence de précaution, toute construction limite l'infiltration des eaux pluviales et les échanges gazeux entre le sol et l'air, agissant sur la capacite du sol à absorber l'eau, à la filtrer et à la mettre en réserve, ou encore perturbe les fonctionnements de la biodiversité et de l'évapotranspiration.

Les couches superficielles de sol constituent la peau vivante de la terre et rendent d'innombrables services à la vie. Des micro-organismes y vivent et assurent des fonctions écosystémiques essentielles : décomposition de la matière organique du sol, production de nutriments pour les plantes, fixation d'azote, dégradation des polluants, captage et stockage du carbone notamment.

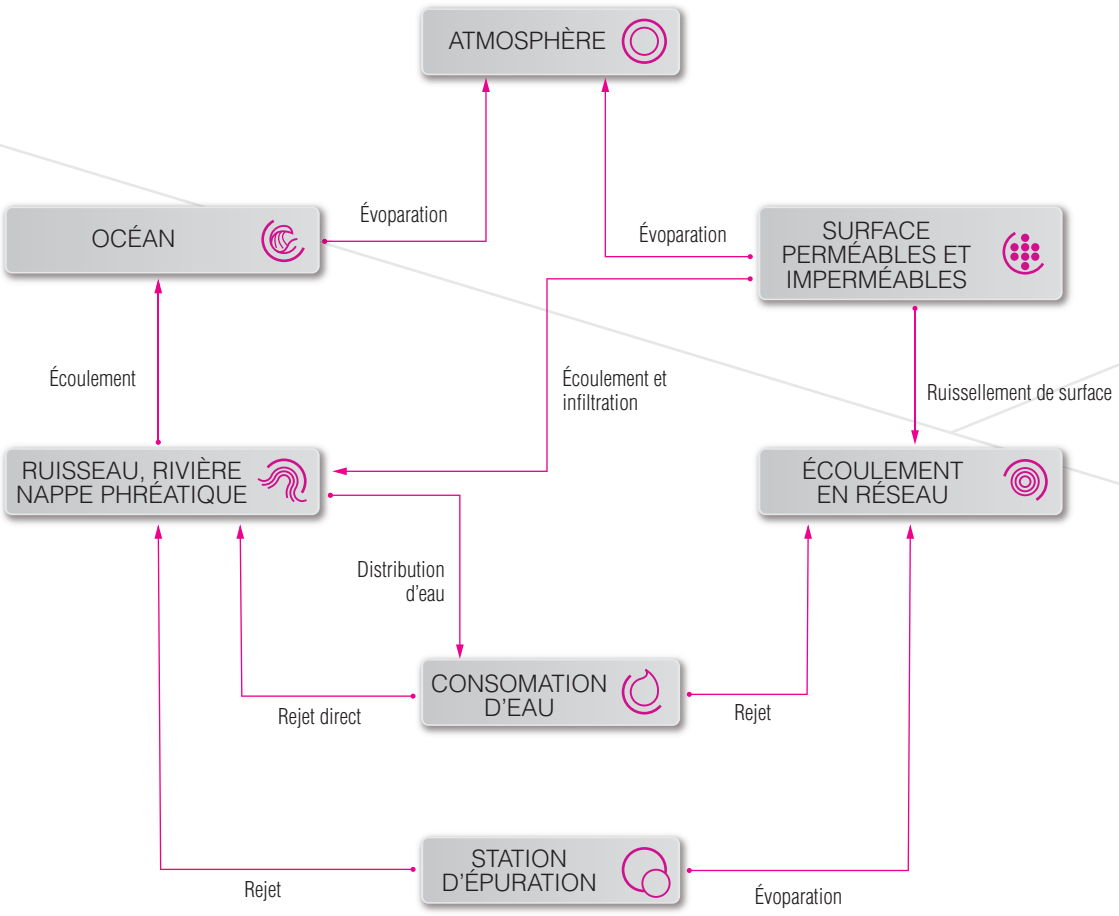


Figure 3 - Schéma du cycle de l'eau en milieu urbain (d'après F.Valiron et J.-P.Tabuchi dans « Maîtrise de la pollution urbaine par temps de pluie », Tec et Doc, Lavoisier, 1992).

1.2.3 Impact sur le cadre de vie

L'imperméabilisation des surfaces urbaines et la réduction des surfaces végétalisées entrainent la modification de l'état écologique des bassins hydrographiques et la diminution de l'évapotranspiration.

De plus, l'absorption accrue de l'énergie solaire par les surfaces revêtues des espaces publics tout comme les toits et les matériaux du bâti ou encore la chaleur produite par la circulation routière ainsi que celle provenant des systèmes de climatisation et de réfrigération concourent à l'effet « ilot de chaleur urbain ». En cas de températures très élevées persistantes (canicules), le phénomène peut avoir des conséquences graves pour la sante des groupes vulnérables de la population, tels que les personnes atteintes de maladies chroniques et les personnes âgées. Ainsi, un degré excessif d'imperméabilisation des sols, sans espaces verts de qualité suffisante, réduit la qualité de vie des populations urbaines (Figure 4).

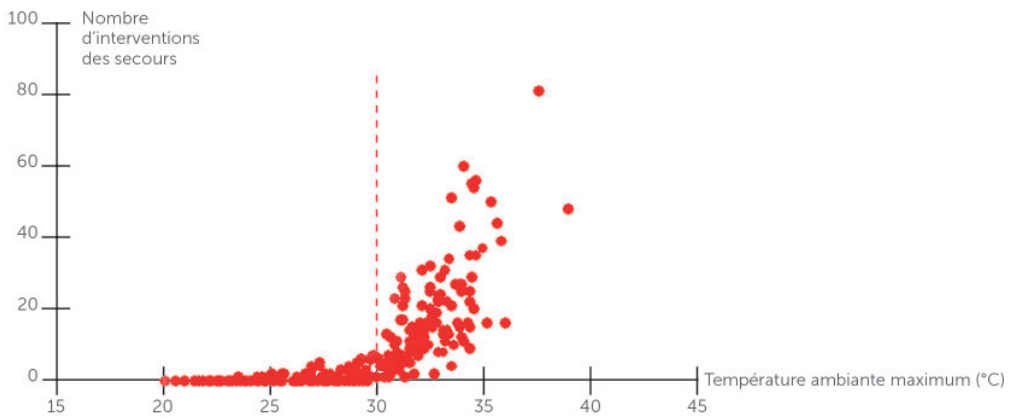


Figure 4 - Graphique montrant l'augmentation des interventions des services de secours en fonction de la température. (Source : Ville de Tokyo période juillet/août, années 2003/2006).

1.3 UN CADRE RÈGLEMENTAIRE ET LÉGISLATIF ROBUSTE ET EN ÉVOLUTION

La nécessité de lutter contre l'imperméabilisation des sols n'a pas échappé aux pouvoirs publics qui ont progressivement élaboré un cursus règlementaire permettant de créer les conditions incitant au déploiement des solutions adaptées.

1.3.1 Les référentiels

Les principaux textes de référence sont, à la date de publication du présent ouvrage, donnés dans la *Figure 5*. L'importance de l'échelle territoriale est bien mise en exergue dans la *Figure 5*, notamment :

- À l'échelle des grands bassins hydrographiques, les orientations générales d'une gestion équilibrée et durable de la ressource en eau et des objectifs de qualité et de quantité des eaux sont exprimées dans les SDAGE « Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux ».
- À l'échelle du bassin versant, des prescriptions plus détaillées concernant la gestion des eaux pluviales (par exemple les débits de fuite autorises pour les aménagements), sont déclinées en tenant compte du contexte local.
- À l'échelle de la commune ou de l'EPCI « Etablissement Public de Coopération Intercommunale », la règle est l'élaboration d'un zonage pluvial qui détaille, entre autre, les zones ou des mesures doivent être prises pour limiter l'imperméabilisation des sols et pour assurer la maitrise des débits et de l'écoulement des eaux pluviales et de ruissellement. Le zonage pluvial est soumis à enquête publique et est une composante du PLU « Plan Local d'Urbanisme ». Concrètement, le territoire concerné est découpé en zones sur lesquelles sont fixés des seuils de limitation des débits et ou sont positionnés d'éventuels dispositifs de rétention, de stockage et de traitement des eaux pluviales. Les limitations des débits de fuite fixées par les collectivités correspondent, le plus souvent, à la capacité d'infiltration du sol avant imperméabilisation, et varient en général de 1 à 20 litres par seconde et par hectare.

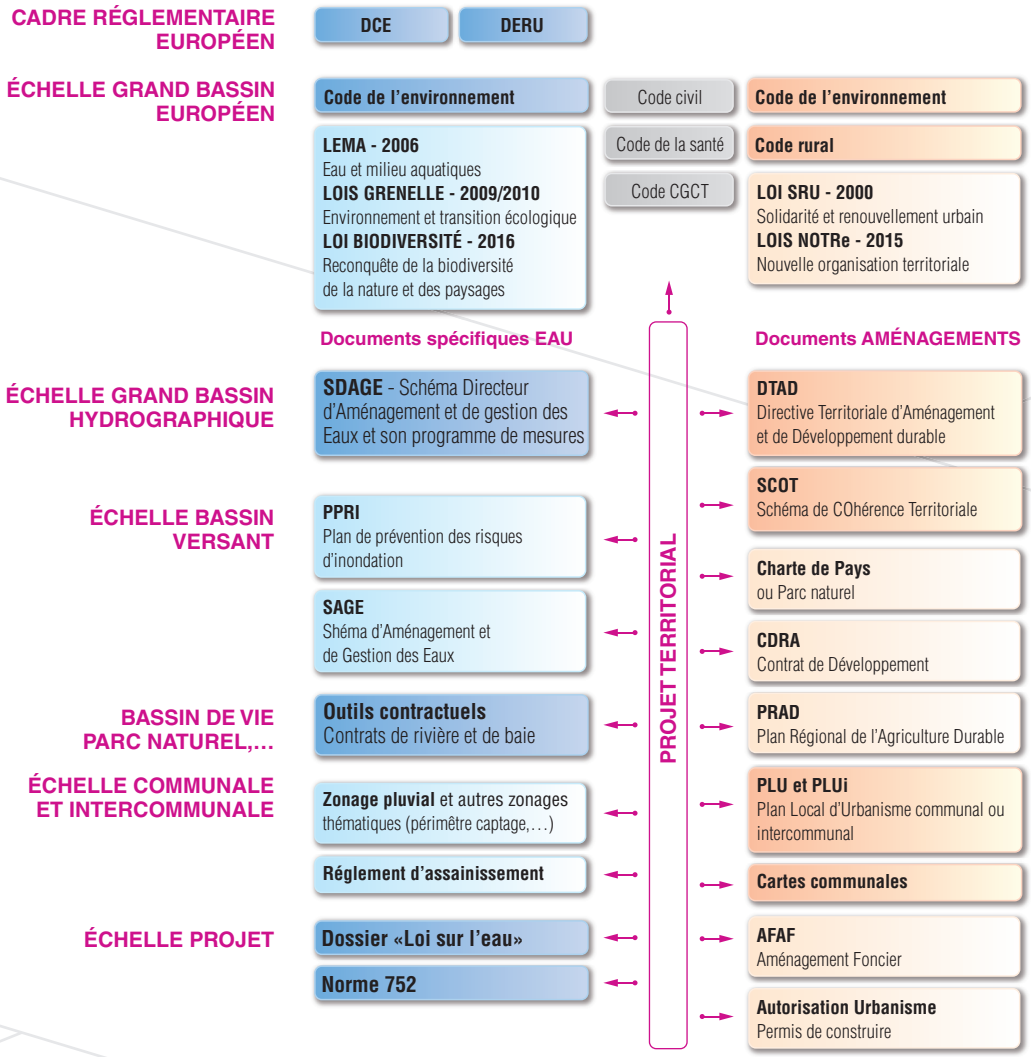


Figure 5 - Cadre règlementaire et législatif. (D'après le « Guide pour la prise en compte des eaux pluviales dans les documents de planification et d'urbanisme », Graie).

1.3.2 Vers une nouvelle approche de la gestion des eaux pluviales

Le cadre réglementaire qui traduit la politique nationale, s'agissant du zonage et des règles pour la gestion des eaux pluviales, est évolutif. Parmi les inflexions récentes les plus significatives, il y a la prise de conscience qu'il ne suffit plus de gérer les seuls évènements extrêmes et qu'il faut mettre en œuvre des mesures spécifiques aux petites pluies pour répondre aux objectifs de la limitation de la pollution de l'eau et de l'amélioration des conditions de confort des usagers.

Concrètement, cela veut dire que les règles définies uniquement en référence à un débit de fuite limite, comme il a été rappelé ci-avant, sont insuffisantes vis-à-vis des évènements pluvieux fréquents que sont les petites pluies.

Sur les zones a enjeux en regard des aspects qualitatifs et quantitatifs du cycle de l'eau en milieu urbain, il faut donc actionner deux leviers pour agir complémentairement sur :

- La limitation du risque de pollution, en écho à la préservation de la qualité des cours d'eau et des milieux aquatiques et par surcroit le maintien des conditions de confort des usagers. Cela implique une gestion des évènements pluvieux courants.
- La maitrise du risque d'inondation en limitant les volumes et débits de ruissellement et garantissant ainsi la sécurité des biens et des personnes. Le centre d'intérêt est alors les évènements pluvieux importants.

1.3.3 Vers de nouvelles règles d'urbanisme et d'incitation financière

S'agissant du traitement environnemental et paysager des espaces non bâtis et abords des constructions, la révision du Code de l'Urbanisme, approuvée le 28 décembre 2015, donne la possibilité aux règlements locaux d'imposer que les surfaces non imperméabilisées d'un projet représentent une proportion minimale de l'unité foncière dont le seuil est propre à chaque contexte. De plus, l'application de ces nouvelles règles au bâti existant est possible, considérant qu'agir uniquement sur les nouveaux projets pour limiter les apports par ruissellement est souvent insuffisant. Les opportunités d'intervention sur les parcelles peuvent reconsidérer la règle sur l'ensemble de la propriété.

Dans le même état d'esprit, les projets d'aménagement à caractère commercial ou industriel ne seront autorisés que s'ils intègrent sur les aires de stationnement et sur les revêtements de surface, des aménagements hydrauliques ou des dispositifs végétalisés favorisant la perméabilité et l'infiltration des eaux pluviales ou leur évaporation en préservant les fonctions écologiques des sols.

Ces orientations sont promues avec des incitations adaptées à chaque contexte. Elles donnent sens à la volonté de traiter a minima toutes les petites pluies a la source et au plus près, en évitant le ruissellement et ses conséquences dommageables, sans se désintéresser des évènements d'occurrence exceptionnelle.

Les Agences de l'Eau ont dans leurs missions d'être des partenaires financiers pour atteindre ces objectifs. Elles offrent des aides financières incitatives pour les projets qui contribuent à la désimperméabilisation des sols. A titre d'exemple, pour satisfaire au triple objectif du schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux Rhône Méditerranée 2016/2020 (Limiter l'imperméabilisation nouvelle des sols, Réduire l'impact des nouveaux aménagements, Compenser à 150% les effets résiduels des nouvelles surfaces imperméabilisées), l' Agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse offre des aides financières incitatives jusqu'à 50 % du cout des projets de requalification de surfaces imperméabilisées existantes, permettant la déconnexion des eaux de pluie du réseau unitaire.

1.3.4 Répondre aux besoins d'aujourd'hui et anticiper les attentes de demain

Apres ce coup de projecteur axé sur la problématique de la désimperméabilisation des surfaces urbaines, on peut mettre en exergue une série d'objectifs parmi lesquels le maitre d'ouvrage se doit d'opérer ses choix :

- **L'objectif de confort et de sécurité au niveau de la mobilité des citadins**

  Absorber les films d'eau des pluies courantes pour garantir l'adhérence par tous temps et tous modes (marche à pied, deux roues, automobile, transport collectif, etc.), éliminer les accumulations d'eau dans les déformations et affaissements des revêtements et les désagréments des éclaboussures des piétons jouxtant les flux automobiles dont les bus, font partie des qualités d'usage largement revendiquées par les citadins.

- **L'objectif de garantir la gestion des eaux pluviales au plus près du cycle naturel de l'eau**

  Il s'agit d'empêcher ou de limiter les ruissellements pour mieux maitriser les risques courants d'inondation et d'accumulation de pollution.

- **L'objectif de garantir la gestion des évènements pluvieux extrêmes**

  Il s'agit de mettre en place les dispositifs adéquats permettant de préserver les biens et les personnes des inondations.

- **L'objectif du bénéfice de la multifonctionnalité assignée à la voirie**

  L'aire d'évolution de la voirie ou de l'espace public est tout autant ouvrage de mobilité qu'ouvrage hydraulique. Cette complétude vise, dans des limites fixées à l'avance, à anticiper les situations de crise provoquées par des évènements pluvieux exceptionnels.

  La multifonctionnalité peut être étendue a des préoccupations supplémentaires de traitement des ilots de chaleur ou encore de la pollution de l'air. C'est intrinsèquement une voie d'avenir pour répondre aux attentes de demain, y compris aux besoins des utilisateurs des ouvrages réalisés aujourd'hui, lorsque ces derniers seront à mi-parcours de leur durée de service.

1.4 CONCLUSION

Ce chapitre a exprimé la problématique de l'imperméabilisation des sols, ses conséquences et les objectifs que doit formuler le maitre d'ouvrage dans le programme de chaque opération.

La réflexion, à mobiliser pour chaque projet, se doit d'intégrer le contexte spécifique dans lequel il s'insère pour mettre en perspective les objectifs des donneurs d'ordre et les solutions offertes pour désimperméabiliser les surfaces urbaines, sous une double échelle spatiale et temporelle. L'échelle spatiale est l'action sur le projet, le quartier, la ville, le territoire voire la planète *(voir Figure 6)*. L'échelle temporelle est le temps de la conception et de construction (très court), le temps de la vie en œuvre (plusieurs dizaines d'années), le temps de la crise (non planifiable), et le temps du changement climatique (très long).

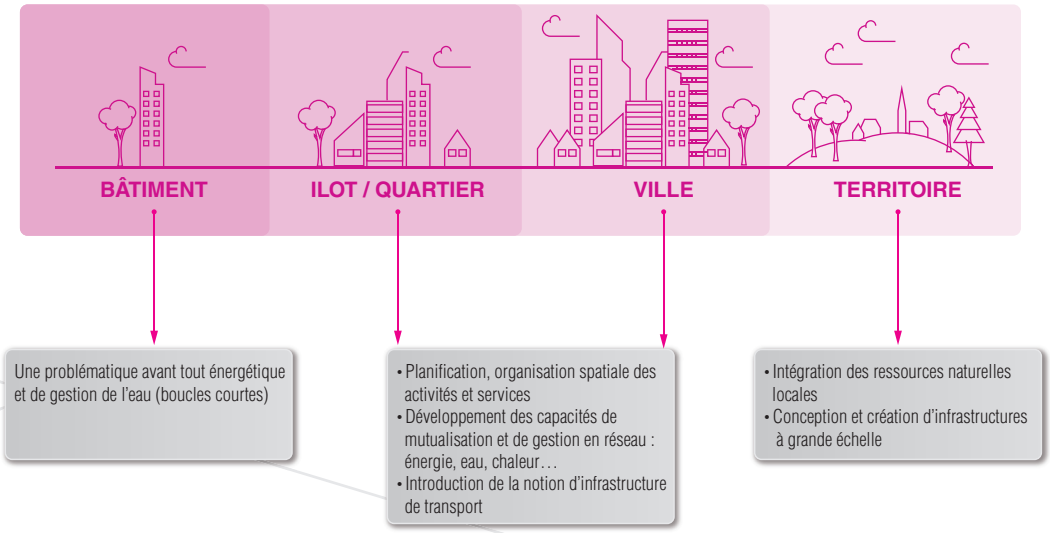


Figure 6 - Croquis échelle spatiale. (Dessiné d'après schéma d'Hélène Teulon, colloque la ville durable, CESI Nanterre 28/03/2013).

Il est donc important, pour tous les acteurs de la chaine de construction ou de réhabilitation des surfaces urbaines, de mieux connaitre les potentialités ainsi que les derniers développements et retours d'expérience de la riche palette des solutions dites « alternatives ». Tout autant que les bonnes pratiques de conception, c'est aussi la maitrise des règles de l'art d'exécution et d'exploitation qui garantiront les performances attendues dans la durée.

2. LUTTER CONTRE L'IMPERMÉABILISATION DES SOLS LES SOLUTIONS

2.1 INTRODUCTION

Le chapitre 1 a exposé la problématique de l'imperméabilisation des sols et de ses conséquences dommageables sur le cycle naturel de l'eau, sur le fonctionnement de la biodiversité des sols et sur le cadre de vie urbain. Il y a été rappelé, en particulier, que l'imperméabilisation des sols entraine un accroissement des risques d'inondation, une diminution de l'alimentation des nappes phréatiques, un accroissement des couts d'assainissement et des risques de surcharge des stations d'épuration et une augmentation du ruissellement entrainant des risques accrus de pollution des rivières et des nappes phréatiques.

Il est alors parfaitement justifié de se pencher sur la problématique de l'imperméabilisation des sols et de recenser les meilleures solutions ou pratiques pour limiter ses effets néfastes.

Dans la perspective du développement du fait urbain, qui sous-tend la nécessite de construire des logements ainsi que d'aménager et de moderniser les infrastructures, lutter contre l'imperméabilisation des sols c'est agir à plusieurs niveaux :

- Améliorer, voir repenser l'aménagement du territoire.
- Faire appel à des techniques de compensation.
- Mettre en place des solutions d'atténuation pour réduire les conséquences de l'imperméabilisation.

2.1.1 Améliorer, voire repenser l'aménagement du territoire

Devant l'augmentation démographique continue des villes, les experts s'accordent sur la nécessite de densifier la ville pour freiner l'étalement urbain. Faute de quoi, la population perdra de plus en plus de temps dans les transports, avec des conséquences économiques, sociétales et environnementales très significatives.

Cette densification des espaces déjà urbanises est susceptible d'entrainer une augmentation de l'imperméabilisation des sols en milieu urbain. Elle pourrait avoir des incidences négatives si elle n'est pas maitrisée dans ses modalités (formes urbaines, emprise au sol, matériaux, etc.) et sa localisation (protection des champs d'expansion des crues, axes d'écoulement, etc.).

La question est donc : comment densifier un tissu urbain existant sans aggraver le problème de l'imperméabilisation des sols ? Faut-il opérer une densification simple (un centre dense), une densification multiple (plusieurs centres denses) ou une densification emboitée à toutes les échelles (à l'image des poupées gigognes ou densification fractale) ?

Quoiqu'il en soit, densifier une ville ne veut pas dire utiliser tout l'espace disponible dans le plan, mais plutôt l'utiliser au mieux. Il s'agit donc de repenser l'urbanisme. En effet, il est tout à fait possible de se développer tout en laissant des espaces favorables à la végétation, à la biodiversité et au maintien du cycle naturel de l'eau. En d'autres termes, la limitation de l'imperméabilisation des sols passe d'abord par le choix des modes d'occupation du sol. Plus l'emprise au sol de la voirie et des bâtiments est réduite au profit des espaces verts et jardins, et plus le sol d'un quartier sera perméable. C'est donc le schéma urbain dans son ensemble qui doit intégrer cet objectif.

2.1.2 Faire appel à des techniques de compensation

Il s'agit ici de la mise en place de solutions permettant de compenser, pour tout ou partie, les pertes de sols dans une zone, par la réalisation d'un aménagement approprie, réalisé ailleurs (par exemple, une voie de Transport Collectif en Site Propre (TCSP) en revêtement imperméable compensée par l'aménagement de parkings de rabattement associes en revêtement perméable). On peut aussi envisager, dans le cadre d'une réflexion globale sur l'environnement, d'utiliser des solutions techniques multifonctions, dotées de propriétés ou de fonctions agissant positivement sur l'environnement, qui représentent des « solutions compensatoires d'autres natures ». Ainsi, une infrastructure de transport peut aussi être une source pour lutter contre certains phénomènes à caractère néfaste, tels le réchauffement

climatique (revêtement clair à fort pouvoir réfléchissant), la diminution de la consommation énergétique de l'éclairage public (revêtement clair) ou la pollution de l'air (matériaux à fonction dépolluante).

2.1.3 Mettre en place des solutions d'atténuation pour réduire les conséquences de l'imperméabilisation

Il s'agit de la mise en œuvre de solutions d'atténuation afin de limiter les dommages lorsque l'imperméabilisation des sols ne peut être évitée. Il s'agit de techniques permettant de réduire les effets que le ruissellement ferait subir à l'environnement existant. Le but est de récupérer les eaux pluviales, favoriser leur infiltration ou leur évaporation, ou organiser leur stockage et leur écoulement progressif. Ces techniques permettent d'écrêter le débit de pointe généré par une pluie. L'eau est stockée localement et restituée progressivement à faible débit dans le réseau aval au moyen d'un ouvrage hydraulique de régulation. Deux concepts sont proposés :

- Les structures avec régulateur de débit de sortie
  - Bassin de rétention à sec *(Figure 7)* ou en eau.
  - Noue paysagère ou non *(Photo 2)*.
  - Chaussée à structure réservoir à revêtement classique ou drainant *(Figure 13)*.
  - Toiture-terrasse réservoir.

Photo 2 - Noue paysagère associée à un revêtement en produits préfabriqués

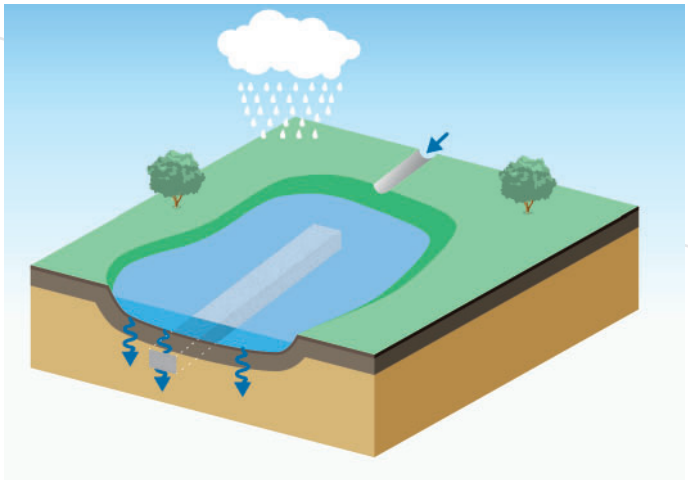


Figure 7 - Bassin de rétention à sec.

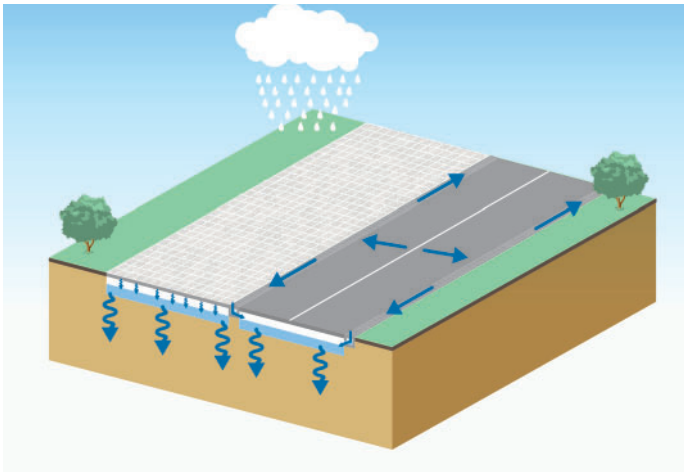


Figure 8 - Chaussée à structure réservoir revêtue de pavés poreux (gauche) ou de béton traditionnel (droite)

- Les structures à principe d'infiltration (sans régulateur de débit de sortie)
  - Puits d'infiltration *(Figure 9)*.
  - Tranchée drainante *(Photo 3)*.
  - Revêtements perméables dans l'aménagement des espaces verts et des espaces publics *(Photo 4)*.
  - Toiture végétalisée : de par sa nature elle compense l'imperméabilisation de la construction, elle est considérée comme perméable *(Photo 5)*.

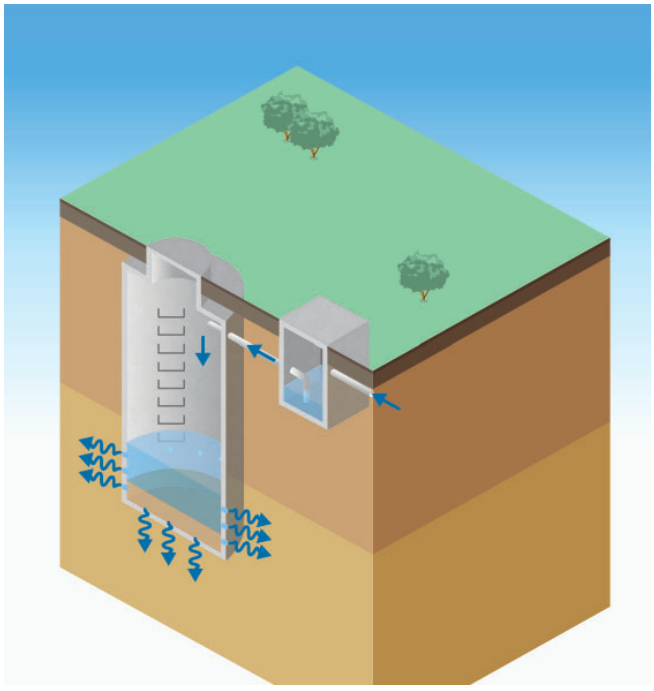


Figure 9 - Puits d'infiltration.

Photo 3 - Tranchée drainante utilisant le produit préfabriqué en béton Hydrocyl®

Photo 4 - Revêtement perméable. dans l'aménagement urbain

Photo 5 - Toiture végétalisée.

2.2 LES SOLUTIONS DE REVÊTEMENTS DRAINANTS ET/OU DE STRUCTURES POREUSES

2.2.1 Les solutions

2.2.1.1 Chaussées à structure réservoir à revêtement classique ou drainant

Les eaux pluviales sont stockées dans les couches constitutives du corps de chaussée. La structure est alimentée soit directement par le revêtement drainant, soit traditionnellement par des avaloirs. Les eaux de ruissellement sont stockées et régulées avant d'être évacuées dans le réseau existant et/ou dans le milieu naturel par infiltration *(Figure 10 et Figure 11)*. Il s'agit donc d'une structure drainante ou poreuse assurant un stockage tampon. Les chaussées à structure réservoir permettent :

- Par temps de pluie
  - D'offrir des stockages temporaires et de réguler le débit instantané des exutoires, des réseaux s'il y a lieu et des cours d'eau, contribuant ainsi à réduire la fréquence des crues.
  - De retenir les polluants et limiter l'effet de lessivage des chaussées, épargnant ainsi la pollution des cours d'eau.

- Par temps sec

  De réalimenter les nappes et de pondérer les débits d'étiage, en laissant s'infiltrer les eaux de ruissellement stockées. Le principe de cette solution est de se rapprocher le plus possible du cycle naturel de l'eau en lui faisant emprunter des cheminements comparables à ceux qu'elle empruntait avant l'urbanisation.

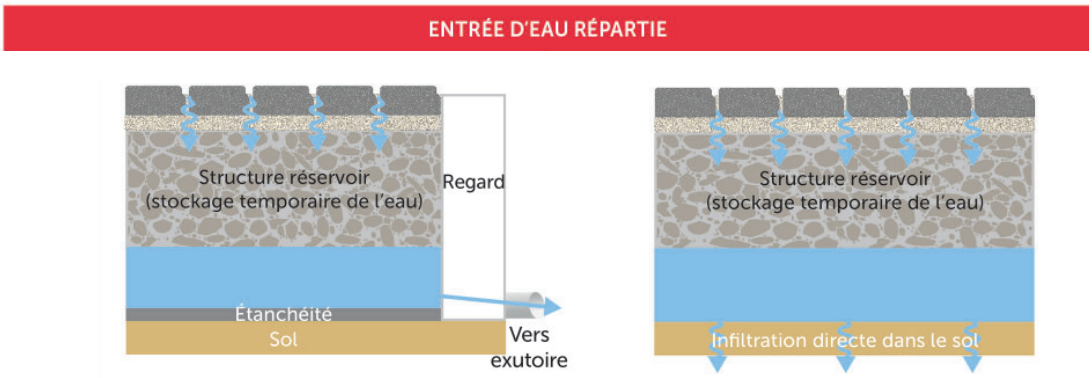


Figure 10 - Différents concepts de chaussées à structure réservoir avec entrée d'eau répartie.

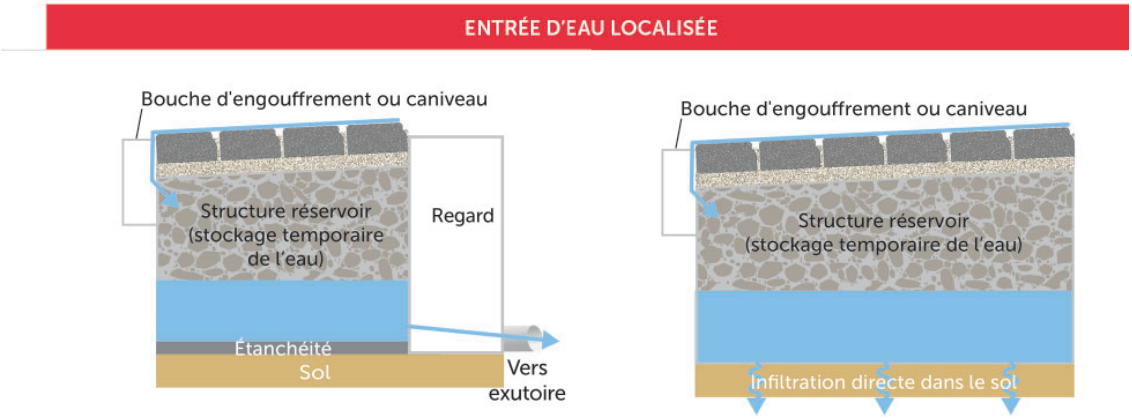


Figure 11 - Différents concepts de chaussées à structure réservoir avec entrée d'eau localisée.

2.2.1.2 Revêtements perméables dans l'aménagement des espaces publics

Les matériaux et surfaces perméables présentent l'intérêt de procurer au sol sous-jacent la possibilité de conserver certaines de ses fonctions clés et d'atténuer, dans une certaine mesure, les effets de l'imperméabilisation des sols. Ils contribuent à :

- Maintenir la connexion entre la surface du revêtement et le sol support.
- Réduire le ruissellement et accroitre l'infiltration des eaux pluviales dans le sol support. Il est ainsi possible de réduire les couts de traitement de l'eau, ainsi que les risques d'inondation et d'érosion par l'eau.
- Alimenter les nappes phréatiques, en favorisant l'infiltration des eaux pluviales.
- Abaisser la température de l'air et éviter l'effet "ilot de chaleur urbain" car, d'une part, la végétation restitue moins de chaleur que les matériaux d'aménagements traditionnels et, d'autre part, les matériaux perméables se prêtent à l'évaporation.

Certains produits permettent également de préserver les fonctions biologiques ou esthétiques.

D'une manière générale, les allées piétonnes, les aires de jeux, les parvis, les trottoirs et les parcs de stationnement sont de très bons candidats pour l'application de surfaces perméables. L'utilisation de techniques alliant le minéral et le végétal est idéale pour certains types de parcs de stationnement comme ceux des stations de ski, des stades, des terrains de golf, des sites touristiques et des foires commerciales.

Ces surfaces contribuent à la protection du système de drainage local et s'intègrent mieux dans le paysage. Tous les types de surfaces perméables sont également utilisables pour les allées et aires de stationnement privées.

Photo 6 - 2 photos de revêtements drainants en éléments préfabriqués en béton illustrant une application en parking et trottoir

2.2.2 La culture de la gestion intégrée tout au long de la vie en œuvre, dès le programme du maitre d'ouvrage

Les revêtements drainants, forts de leurs multiples déclinaisons couvrant le matériau lui-même par la voie de la porosité mais aussi les systèmes constructifs, sont des réponses à la lutte contre l'imperméabilisation des sols. Ces techniques ne sont pas entièrement nouvelles en soi, mais elles prennent aujourd'hui un relief tout particulier à la faveur des nouvelles exigences des politiques publiques, du recul pris sur des réalisations pionnières et des efforts considérables engagés par les professions pour maitriser tant les produits et leur bon domaine d'emploi que le savoir-faire pour garantir la qualité d'exécution et le rendu recherche par les donneurs d'ordre.

Ainsi, les revêtements drainants en éléments préfabriqués en béton ne relèvent plus de l'innovation ou de l'expérimentation, mais ont atteint un niveau de maturité qui autorise leur emploi sur un large panel de projets neufs comme de réhabilitation en espace public et privé. Comme toute technique, la vigilance est de rigueur pour garantir le respect des règles de l'art par des maitres d'œuvre compétents et des entreprises formées et spécialisées.

La clé de la réussite passe aussi par une planification des taches et des ressources pour la maintenance et l'entretien, comme pour tout autre équipement ou ouvrage du champ de l'urbain. Les méthodes et outils à disposition des gestionnaires ont montré leur efficacité. Il faut les considérer comme incontournables au même titre que les opérations de propreté ou de tonte pour les espaces engazonnes.

Le programme du maitre d'ouvrage se doit d'intégrer ces notions. Il est le point de départ qui revêt une importance considérable. En résumé, les deux idées-forces à retenir sont :

- Intégrer la question de l'eau et des sols dès l'amont du projet urbanistique pour tirer le meilleur parti de la palette des techniques disponibles en se jouant de leurs complémentarités.
- Prendre en compte la gestion intégrée de l'entretien assortie des sujétions organisationnelles, techniques et financières propres à chaque solution.

2.2.3 Identifier et mettre en perspective les besoins d'aujourd'hui

Les objectifs des concepteurs, énumères au chapitre 1 paragraphe 1.3.4., peuvent se concrétiser par un choix adéquat d'un revêtement drainant :

- **Pour l'objectif 1**, relatif au confort et à la sécurité des usagers, en déplacement tous modes (marche à pied, deux roues, véhicule, transport collectif, etc.), toutes les solutions de revêtements drainants en béton, y compris les systèmes constructifs modulaires en couche mince, peuvent répondre à cet objectif.

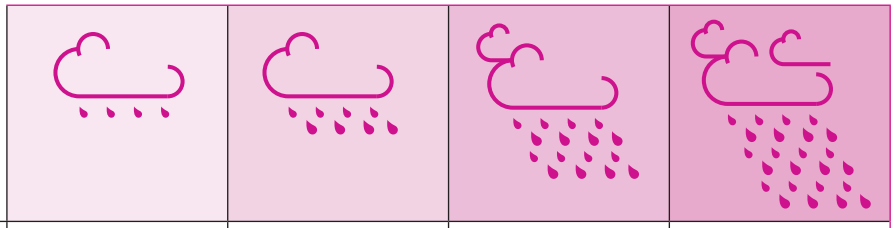
- **Pour l'objectif 2**, relatif à la réduction du ruissellement et la maitrise de la gestion des eaux pluviales au plus près du cycle naturel de l'eau, toutes les solutions en revêtements drainants peuvent être utilisées. Il faut bien sur vérifier le niveau d'efficacité dans la protection qui dépend de la composition du matériau, de son épaisseur, du type de matériau de jointoiement ou de remplissage des vides, ainsi que du pourcentage de vides et de la hauteur de la lame d'eau à absorber en temps réel.
- **Pour l'objectif 3**, relatif à la gestion des évènements pluvieux extrêmes, il faut s'orienter vers une structure poreuse urbaine. La fonction drainante du revêtement est le plus souvent associée à la fonction drainante de l'assise, voire des sols sous-jacents pour être en mesure de contenir les lames d'eau de hauteur et d'intensité exceptionnelles, d'occurrence d'une ou de plusieurs décennies, selon le niveau de risque choisi par le maitre d'ouvrage.

Le schéma de la Figure 12 illustre, à titre d'exemple, ce double regard de la gestion du risque pour les personnes et les biens, et des impacts sur l'environnement en termes de qualité de l'eau.

Sans être exclusif, le champ d'application des revêtements drainants répond bien à ces objectifs. Une mise en perspective entre chacune des trois familles d'objectifs précitées

appelle les précisions suivantes :

- Les conceptions, répondant à l'objectif 3, traitent par surcroit des préoccupations visées par les objectifs 1 et 2. Il y a aussi une imbrication des solutions satisfaisant aux objectifs 1 et 2 dans des limites qu'il faut bien appréhender.
- Pour l'ensemble des systèmes constructifs déployés pour répondre à ces 3 objectifs, l'eau n'a pas vocation à stationner ou être stockée plus que nécessaire dans les revêtements et les structures poreuses. Tout autant que l'analyse sur la lame d'eau à absorber, la conception doit examiner l'évacuation de l'eau accueillie par les matériaux drainants. L'infiltration par le sol naturel, ou la collecte par drains et exutoires vers des réseaux classiques ou allégés, ou une combinaison des deux méthodes doit être étudié au cas par cas par le maitre d'œuvre dès les phases amont du projet.



PLUVIOMÉTRIE Valeurs indicatives	Pluie faibles très fréquentes ≤ 15 mm	Pluie moyennes à fortes 16 à 25 mm	Pluie fortes à trés fortes 26 à 50 mm	Pluie extrêmes > 50 mm
SANS DISPOSITIF de revêtement drainant et/ou structure poreuse	Ruissellement Pollution	Ruissellement Pollution Risque de débordement	Ruissellement Pollution Risque d'inondation	Ruissellement Pollution Risque d'atteindre à la sécurité des personnes et des biens
AVEC DISPOSITIF de revêtement drainant et/ou structure poreuse pour une épaisseur et une porosité ou perméabilité minimale	Absence de ruissellement Piégeage de pollution Gestion de ruissellement par infiltration	Absence de ruissellement Piégeage de pollution Pas de risque de débordement Gestion de ruissellement par le revêtement drainant et/ou par la fondation poreuse	Absence de ruissellement Piégeage de pollution Fort affaiblissement du risque d'inondation Gestion de ruissellement par le revêtement drainant et par la fondation poreuse	Réduction de ma gravité et des conséquences des inondations Épaisseur et porosité ou perméabilitré selon étude spécifique de dimensionnement hydraulique et mécanique(1)

(1) concept de chaussée à structure réservoir

Figure 12 - Schéma illustratif de l'efficience des revêtements drainants et structures poreuses en fonction de la pluviométrie.

- Pour autant techniques que soient les objectifs précités de sécurité, de confort et d'absorption de l'eau, en sus du prérequis de la résistance et de la durabilité consubstantielle du béton de voirie sous toutes ses déclinaisons, la culture du « beau » et les attentes sur le plan de l'esthétique et de l'intégration, n'en est pas moins présente à des degrés choisis en fonction des contextes.

2.2.4 Prendre en compte les nouveaux besoins

L'eau est porteuse de nouvelles scénographies dans la composition de l'espace public urbain. Les fontaines, les jets d'eaux, les surfaces brumisantes pour aires d'évolution des enfants, les espaces extérieurs rafraichissants, le mouillage permanent de surfaces et l'humidité entretenue par vaporisation ou brumisation sont autant de concepts nouveaux qui se développent et répondent à la quête de qualité de vie pendant les périodes de forte chaleur. L'eau sous toutes ses formes rafraichit les espaces, les lieux de vie et de rencontre. La porosité du matériau ou la perméabilité du revêtement joue un rôle de par la capacite d'évapotranspiration et de restitution de l'humidité emmagasinée ainsi que le lien hydrique et thermique avec les substrats lorsque la porosité concerne toute l'épaisseur de la structure.

Plusieurs pays ont commencé à se mobiliser pour lutter contre l'effet "ilot de chaleur" dans les aménagements urbains en se jouant de la restitution d'humidité qu'offrent les revêtements drainants et de l'effet albedo des surfaces claires et ouvertes. Le caractère mature de la technique des revêtements drainants en béton permet d'explorer ces vastes champs englobant des composantes de confort et de sante, critères importants de la qualité de vie.

Cet ensemble de préoccupations nouvelles des aménageurs s'inscrit dans la lutte contre les effets négatifs du réchauffement climatique. Outre l'élévation de la température moyenne qui fait débat, c'est plus immédiatement sur l'amplification en fréquence et en intensité des évènements exceptionnels que l'on observe déjà qu'il faut agir, se protéger et anticiper.

2.3 CONCLUSION

Ce chapitre a présenté la riche palette de solutions pour lutter contre l'imperméabilisation des sols. L'art de l'aménageur est de pouvoir les associer afin de tirer le meilleur parti de chacune d'elles, tout en prenant en compte le contexte spécifique du projet et ses objectifs.

Selon les situations, il dispose de plus ou moins de marge de manœuvre. En centre urbain, on opère généralement dans un espace réduit et les solutions sont donc peu nombreuses. Pratiquement, la seule possibilité est de transformer les surfaces imperméables en surfaces drainantes ou végétalisées au sein de tout projet de requalification urbaine.

En revanche, en périphérie urbaine, avec un espace disponible plus important, les solutions, pour réduire les effets de l'imperméabilisation, sont nombreuses et variées (revêtements drainants, noues, bassins, jardins, chaussées à structure réservoir, tranchées drainantes, etc.).

La suite du document mettra en exergue les solutions qui font appel aux revêtements drainants en éléments préfabriqués en béton favorisant l'infiltration et/ou le stockage temporaire.

3. LES REVÊTEMENTS DRAINANTS EN ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS EN BÉTON - L'OFFRE DE L'INDUSTRIE DU BÉTON

3.1 LES PRODUITS PRÉFABRIQUÉS EN BÉTON POREUX

3.1.1 Introduction

Les produits préfabriqués en béton poreux sont classes comme suit :

- Si le rapport de la longueur hors-tout divisée par l'épaisseur est inférieur ou égal à quatre, le produit est un pavé.
- Si le rapport de la longueur hors-tout divisée par l'épaisseur est supérieur à quatre, le produit est une dalle.

Photo 7 - Aménagements en pavés poreux

Ces définitions sont en cohérence avec les normes des produits en béton NF EN 1338 et NF EN 1339. Ils sont couverts par le référentiel technique « Eléments modulaires en béton pour revêtements des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales » (rapport 353.E v2 du CERIB) qui se base sur les normes produits relatives aux paves et dalles en béton.

Les pavés poreux et dalles poreuses sont des produits à granulométrie ouverte, conçus de manière à avoir une grande porosité connectée. Ainsi l'eau s'écoule principalement à travers le produit. Les joints entre produits contribuent également à l'infiltration des eaux pluviales.

3.1.2 Principales caractéristiques

3.1.2.1 Coefficient de perméabilité

Le coefficient de perméabilité du revêtement est la donnée première recherchée pour les revêtements drainants. La perméabilité est évaluée sur un échantillon représentatif des produits mis en œuvre incluant les joints et non par la seule porosité intrinsèque des matériaux.

La mesure de ce coefficient s'effectue selon un protocole d'essai développé par le CERIB *(cf. Annexe 1)*.

Le maitre d'ouvrage définit la ou les pluies types que le revêtement doit infiltrer. Ces pluies types sont dépendantes de la localisation des projets, de la période de retour choisie, de la durée de l'épisode pluvieux, etc. Il faut ensuite s'assurer que la perméabilité du revêtement choisi permet de répondre à ces contraintes.

Afin de répondre aux contraintes liées au trafic, le couple épaisseur-résistance au fendage des pavés doit être respecté.

3.1.2.2 Résistance mécanique

La résistance au trafic est assurée par la résistance mécanique intrinsèque du pavé et par le respect de la conception mécanique de la fondation et des sous-couches (matériaux choisis et épaisseurs calculées en fonction du trafic).

3.1.2.3 Résistance aux conditions d'environnement

Les revêtements réalisés avec des produits poreux présentent une résistance au gel/dégel suffisante de par leur conception, puisque l'eau s'écoule rapidement à travers la structure et le cas échéant les espaces libres dans la structure (porosité des produits) permettraient à l'eau de geler et de gonfler.

L'utilisation de sels de déverglaçage est déconseillée sur des revêtements poreux, mais certains fabricants ont toutefois développé des produits adaptés aux conditions climatiques particulières et de salage ainsi qu'une méthode d'essai permettant de garantir la tenue au gel-dégel des produits poreux en présence de solution saline, par exemple en immersion totale.

3.1.2.4 Esthétique

L'industrie du béton préfabriqué propose une large gamme de produits poreux, déclinés sous multiple formats, formes, teintes et traitements de surface répondant aux besoins des aménageurs et des architectes.

3.1.2.5 Synthèse des caractéristiques des produits poreux

Les produits préfabriqués en béton poreux sont formulés, fabriqués et contrôlés en usine, ce qui assure leur adéquation aux exigences fonctionnelles visées, et leur pérennité. Les développements ultérieurs préciseront les points spécifiques que l'entreprise de pose doit maitriser, de même que pour la pose de paves et dalles en béton classiques.

Les produits poreux apportent donc des solutions intéressantes conciliant esthétique, résistance et pérennité pour une utilisation en voirie ou en aménagements publics. Ils confèrent aux revêtements urbains de multiples caractéristiques qui satisfont différentes exigences fonctionnelles et qui sont d'ordre visuel, géométrique, mécanique (résistance à l'abrasion) ou sécuritaire (résistance à la glissance).

L'ensemble des caractéristiques sont synthétisées dans le tableau en *Annexe 2*. Il précise les exigences fonctionnelles visées, les références des méthodes d'essais et le cas échéant les classes de performances de la norme NF EN 1338 retenue.

3.2 LES SYSTÈMES CONSTRUCTIFS À BASE DE PRODUITS PRÉFABRIQUÉS

Ils sont couverts par le référentiel technique « Eléments modulaires en béton pour revêtements des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales » (rapport 353.E v2 du CERIB) qui se base sur les normes produits pour les pavés et dalles en béton, respectivement NF EN 1338 et NF EN 1339.

3.2.1 Les produits

On distingue les pavés à joints larges, les pavés perforés ou évidés, et les dalles drainantes engazonnées ou gravillonnées.

3.2.1.1 Pavés à joints larges

Il s'agit d'éléments modulaires en béton préfabriqués en usine. Les formes des produits eux-mêmes, et/ou leurs modules et appareillages, assortis de réservations ou d'espaces intermodulaires perméables permettent l'infiltration des eaux pluviales.

Le revêtement est constitué de paves en béton usuel, séparés par des écarteurs (tenons d'écartement et/ou encoches intégrés aux produits ou rapportés) , créant des joints élargis de 5 mm à 30 mm dont la surface représenté environ 10 % de la surface revêtue.

L'écoulement de l'eau se fait à travers les joints, dont le matériau de remplissage doit donc permettre cette infiltration.

Pour cela, on utilise un matériau comportant peu de fines.

Photo 8 - Exemples de pavés à joints larges

Photo 9 - Exemple de pavés à joints larges engazonnés

Photo 10 - Exemples de pavés à joints larges avec écarteurs intégrés

Photo 11 - Aménagement urbain en pavés à joints larges engazonnés, couplé avec une noue paysagère

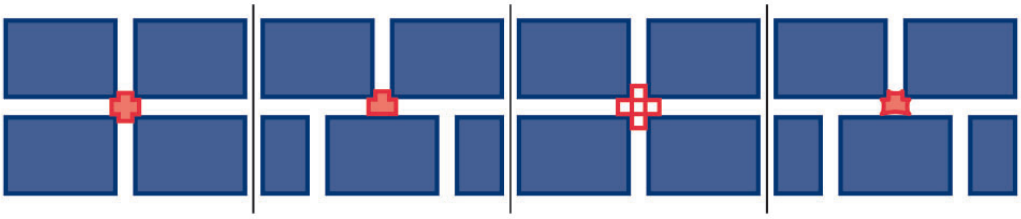


Figure 13 - Quatre exemples de calepinage de pavés (bleus) posés avec des écarteurs rapportés (rouges)

3.2.1.2 Pavés perforés ou évidés

Les paves évidés ou perfores sont des pavés en béton usuel qui comportent des ouvertures dans leur épaisseur, en partie courante ou sur leur pourtour. L'eau s'infiltre par ces cavités dont le matériau de remplissage doit satisfaire des exigences de perméabilité.

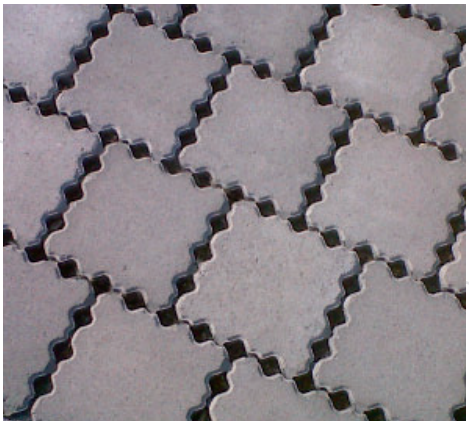


Photo 12 - Exemples de pavés perforés

3.2.1.3 Dalles drainantes engazonnées ou gravillonnées

Les dalles drainantes, ou dalles gazon, comportent de larges réservations dans leur épaisseur, afin de laisser s'infiltrer l'eau. Le pourtour des dalles est parfois muni d'un profil qui forme également des cavités lors de la pose, ou permet l'emboitement des dalles.

Les ouvertures peuvent être soit engazonnées (mélange terre-sable), soit remplies de gravillons.

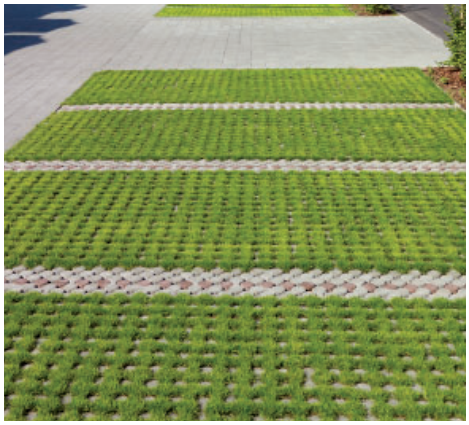


Photo 13 - Exemples de dalles drainantes engazonnées ou gravillonnées

3.2.2 Les systèmes constructifs : les principales caractéristiques

Les revêtements modulaires en béton apportent des solutions intéressantes conciliant esthétique, résistance et pérennité.

Les revêtements perméables doivent répondre à différentes exigences fonctionnelles, que ce soit pour une utilisation en voirie ou en aménagements publics.

3.2.2.1 Coefficient de perméabilité

Le coefficient de perméabilité du revêtement est la donnée première recherchée pour les revêtements drainants. La perméabilité est évaluée sur un échantillon représentatif des produits mis en œuvre incluant les joints et non par la seule porosité intrinsèque des matériaux.

La mesure de ce coefficient s'effectue selon un protocole d'essai développé par le CERIB *(cf. Annexe 1*).

Le fait que les revêtements soient perméables contribue à l'infiltration des eaux pluviales et à l'esthétique de l'ouvrage final, puisqu'il n'y aura pas de stagnation d'eau. Indirectement cela améliore donc la sécurité des usagers par la réduction des risques de glisse ou aquaplanage.

Il faudra s'assurer que le niveau requis de perméabilité, correspondant aux pluies types à infiltrer (localisation, période de retour, durée...) et aux données du projet spécifique (coefficient de sécurité, surfaces d'apport) communiquées par le maitre d'ouvrage, est respecté.

3.2.2.2 Résistance au trafic

3.2.2.2.1 Résistance mécanique

- Pavés à joints larges et pavés perforés

La résistance au trafic est assurée par la résistance mécanique intrinsèque du pavé et par le respect de la conception mécanique de la fondation et des sous-couches (matériaux choisis et épaisseurs calculées en fonction du trafic).

La détermination de la résistance mécanique des produits s'effectue par essai de fendage selon l'essai décrit dans l'Annexe F de la norme NF EN 1338.

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 ne doit être inférieure à 250 N/mm.

- Dalles drainantes engazonnées ou gravillonnées

La résistance mécanique des dalles drainantes ou dalles gazon ne peut s'effectuer en suivant la même approche que pour les dalles pleines définies par la norme NF EN 1339, du fait de comportements différents en service, c'est pourquoi le CERIB a développé un essai en conditions de pose *(Figure 14)*, dans des configurations représentatives des conditions réelles de mise en œuvre des dalles drainantes (surface d'essai, charges et tailles

d'empreinte en fonction du domaine d'emploi vise, mise en œuvre selon les recommandations des fabricants...).

Les fabricants peuvent donc annoncer un domaine d'emploi sur ces produits : véhicules légers, véhicules lourds, voie pompier, etc., en fonction des résultats a cet essai en condition de pose. Cet essai est décrit dans le rapport 501.E du CERIB.

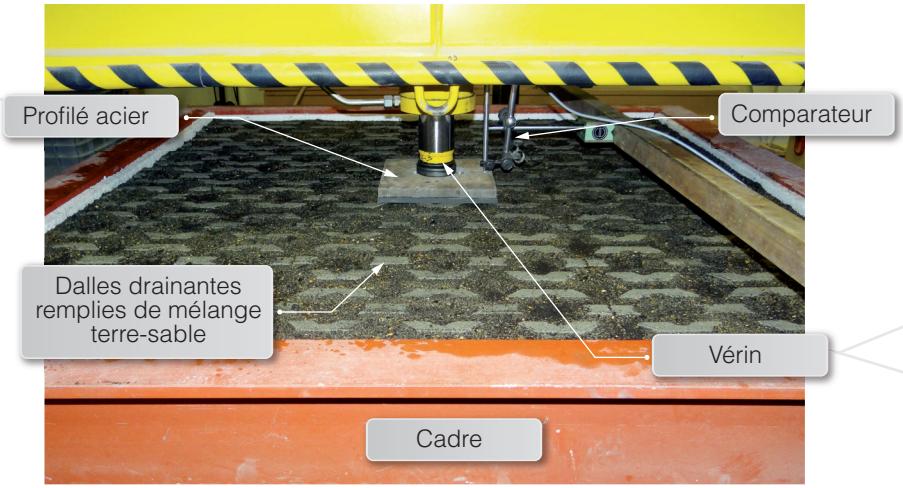


Figure 14 - Principe de l'essai en conditions de pose sur dalles drainantes

3.2.2.2.2 Résistance à l'abrasion

La résistance à l'abrasion influe directement sur l'esthétique et la pérennité de l'ouvrage, mais aussi sur la tenue au trafic, puisqu'une diminution excessive de l'épaisseur du produit entraine une diminution de la résistance mécanique.

L'essai d'abrasion au disque large décrit dans l'Annexe G de la norme NF EN 1338 est applicable pour les paves à joints larges ou perfores.

Les valeurs de la classe 2 « largeur d'empreinte maximale inferieure a 23 mm » sont applicables pour des paves à joints larges ou perforés.

3.2.2.3 Résistance aux agressions climatiques (gel et sels de déverglaçage)

Les revêtements réalisés avec des produits drainants présentent une résistance suffisante au gel de par leur conception, puisque l'eau s'écoule rapidement à travers la structure et le cas échéant les espaces libres dans la structure permettraient à l'eau de geler et de gonfler.

La détermination de la tenue au gel-dégel intrinsèque des produits s'effectue usuellement par essai d'absorption d'eau sur les produits selon le protocole de l'annexe E de la norme NF EN 1338 pour les paves ou l'annexe E de la norme NF EN 1339 pour les dalles.

La résistance aux agressions climatiques correspond à une exigence sur l'absorption d'eau inférieure à 6,5 % en masse. Lorsqu'il existe des conditions spécifiques, comme le contact fréquent des surfaces avec des sels de déverglaçage en cas de gel, la vérification de la tenue additionnelle au gel-dégel en présence de sels de déverglaçage s'effectue par un essai d'écaillage sur éprouvette soumise a 28 cycles de gel-dégel en présence de solution saline.

Les essais décrits dans l'annexe D de la norme NF EN 1338 pour les pavés et dans l'annexe D de la norme NF EN 1339 pour les dalles sont applicables.

La perte de masse par unité de surface après l'essai de gel-dégel doit être inférieure à 1 kg/m^2 en moyenne, avec aucun résultat individuel supérieur à 1,5 kg/m^2.

3.2.2.4 Esthétique

L'industrie du béton préfabriqué propose une large gamme de produits déclinés sous de multiples formats, formes, teintes et traitements de surface répondant aux besoins des aménageurs et des architectes.

3.2.2.5 Synthèse des caractéristiques des produits préfabriqués

Les produits préfabriqués en béton sont formules, fabriques et contrôles en usine, ce qui assure leur adéquation aux exigences fonctionnelles visées, et leur pérennité. Le chapitre 5 précisera les points spécifiques que l'entreprise de pose doit maitriser, de même que pour la pose de paves et dalles en béton classiques.

Les produits préfabriqués apportent donc des solutions intéressantes conciliant esthétique, résistance et pérennité pour une utilisation en voirie ou en aménagements publics. Ils confèrent aux revêtements urbains de multiples caractéristiques qui satisfont différentes exigences fonctionnelles et qui sont d'ordre visuel, géométrique, mécanique (y compris la résistance à l'abrasion) ou sécuritaire (résistance à la glissance).

Le tableau de l'Annexe 3 présente une synthèse des caractéristiques que les pavés à joints larges doivent respecter pour satisfaire aux différentes exigences fonctionnelles. Il précise les exigences fonctionnelles visées, les références des méthodes d'essais et le cas échéant les classes de performances de la norme NF EN 1338 retenues.

Le tableau de *l'Annexe 4* présente une synthèse des caractéristiques que les dalles drainantes doivent respecter pour satisfaire les différentes exigences fonctionnelles. Il précise les exigences fonctionnelles visées, les références des méthodes d'essais et le cas échéant les classes de performances de la norme NF EN 1339 retenues.

Le référentiel de certification NF072 "Pavés de voirie en béton" couvre les pavés à joints larges et les pavés en béton poreux".

Le référentiel de certification NF187 "Dalles de voirie et toiture en béton" couvre les dalles drainantes engazonnées et les dalles à joints larges.

Photo 14 - Exemples diversifiés d'emploi de solutions de revêtements drainants en béton pour une large gamme d'usages (produits préfabriqués en béton)

3.3 CONCLUSION

L'offre béton se caractérise donc par une large gamme de produits et matériaux. Conciliant esthétique, résistance et pérennité pour une utilisation en voirie ou en aménagements publics, elle confère aux revêtements urbains de multiples caractéristiques qui satisfont différentes exigences fonctionnelles telles que :

- L'infiltration des eaux pluviales.
- La tenue au trafic et la durabilité (du point de vue du coefficient de perméabilité, de la résistance mécanique, de l'abrasion...).
- La résistance aux sollicitations climatiques : absorption d'eau, résistance au gel-dégel.
- L'esthétique (à court et à long terme) : formes, couleurs, textures, végétalisation possible.
- La facilité de mise en œuvre : conditions et délais de mise en œuvre (cf. chapitre 5).
- La facilité d'entretien : nettoyage, maintenance et réparations maitrisés (cf. chapitre 6).
- Le développement durable et l'aptitude au recyclage : recyclable, naturel, modulable.
- La sécurité des utilisateurs : maitrise de la glissance.
- L'intégration dans l'environnement.

Cette offre peut concourir efficacement à la mise au point de solutions destinées à désimperméabiliser les surfaces urbaines. En outre, par sa richesse et sa capacité à personnaliser les espaces, elle peut répondre à la grande diversité des situations et des objectifs des maitres d'ouvrage et des maitres d'œuvre.

Enfin, et plus globalement pour couvrir plus largement le champ des qualités mises en exergue dans l'objectif largement recherche aujourd'hui de promouvoir des aménagements « durables », soulignons que l'offre béton se présente comme une référence s'agissant des volets sociétaux et économiques.

La proximité des ressources et des installations industrielles en tout point du territoire, ainsi que les effets bénéfiques du potentiel de recyclage et de la modération des transports de produits et matériaux lourds, sont autant de marqueurs pour la vitalité économique des bassins de vie et d'emploi.

La performance économique est au rendez-vous, et consubstantielle de la performance technique et environnementale.

En terme de cout global et en intégrant une vision systémique de l'aménagement, l'offre béton est dans une majorité de cas en mesure de décliner des solutions parmi les plus compétitives.

4. LES REVÊTEMENTS DRAINANTS EN ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS EN BÉTON CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT

4.1 INTRODUCTION

Quelle que soit l'importance de l'aménagement considère, celui-ci s'inscrit dans une suite d'opérations logiques qu'il convient de prévoir le plus en amont possible, depuis l'expression des besoins par le maitre d'ouvrage jusqu'à la réalisation par l'entreprise et même l'exploitation.

4.2 LA DÉMARCHE DU MAITRE D'ŒUVRE

Elle se décline en 5 séquences :

- Examen et prise de connaissance du programme et des objectifs du maitre d'ouvrage.
- Études préalables des données et caractéristiques du site dans lequel l'opération s'inscrit : contexte urbain, usage, topographie, contexte géotechnique et hydrologique, exigences règlementaires, etc.
- Choix des principes de conception et des solutions disponibles.
- Étude des dimensionnements géométriques, mécaniques et hydrauliques.
- Mise en perspective du dimensionnement mécanique et hydraulique et choix de la structure.

4.2.1 Programme et objectifs du maitre d'ouvrage

Le maitre d'ouvrage se doit de décrire la destination de l'ouvrage, les fonctions attendues, les points saillants qu'il souhaite mettre en exergue au titre de sa politique publique (respect de l'environnement, qualité de vie, nouvelles mobilités, actions positives sur la biodiversité, rapport de l'eau et du végétal à la ville, etc.). Il précise sa vision en matière esthétique et économique avec, pour cette dernière, la distinction entre l'investissement et le fonctionnement mis en perspective avec la durée de vie qu'il fixe pour l'ouvrage.

De manière plus précise, s'agissant des fonctionnalités d'une opération qui s'inscrit dans la lutte contre l'imperméabilisation des surfaces urbaines, le maitre d'ouvrage doit définir ses choix, pour le volet hydraulique, parmi les scenarios illustrés par la *Figure 12 (chapitre 2)* que l'on rappelle sommairement :

- Absorber les films d'eau des petites pluies courantes dans un objectif de confort et de sécurité pour la mobilité des citadins.
- Empêcher ou limiter les ruissellements dans un objectif de maitriser les risques courants d'inondation et d'accumulation de pollution, par une gestion des eaux pluviales au plus près du cycle naturel de l'eau.
- Contribuer à la préservation des biens et des personnes lors d'inondations provoquées par des évènements pluvieux extrêmes, d'occurrence rare.

De plus, il est possible d'offrir aux usagers le bénéfice d'un meilleur bien-être, en associant à la maitrise du cycle de l'eau des objectifs de lutte contre les effets néfastes des ilots de chaleur ou encore de la pollution de l'air.

4.2.2 Études préalables des données et caractéristiques du site du projet

Le maitre d'œuvre doit observer le site et l'environnement du projet, collecter les données, conduire les investigations et analyser les différentes informations qualitatives et quantitatives recueillies couvrant les centres d'intérêt suivants :

- Le contexte urbain (réseaux, encombrement, etc.), l'usage de l'espace projeté et la topographie du site (pentes, obstacles, exutoires possibles).
- Le contexte géotechnique et hydrologique : la perméabilité des sols en place, leur capacité de rétention, la possibilité de créer des ouvrages souterrains, la présence et le niveau piézométrique de la nappe phréatique, les divers écoulements, etc.
- Les exigences et prescriptions requises applicables sur le site (SDAGE, PLU, zonage pluvial, etc.), ainsi que la caractérisation des évènements pluvieux propres au site d'étude (intensités, durées et périodes de retour).

De manière plus précise mais non exhaustive, les questionnements suivants doivent être documentés.

4.2.2.1 Le contexte urbain, l'usage et la topographie du site

4.2.2.1.1. La protection des eaux dans les périmètres sensibles

Les solutions d'infiltration ne sont pas adaptées dans les zones d'eaux protégées, étant donné le risque de pollution accidentelle de la nappe par infiltration (périmètre de protection de captage d'eau potable, zone de plan de prévention des risques, zone naturelle d'intérêt écologique, etc.). De même, il est important de vérifier que le sol est propice à la présence d'eau (pas de risque de propagation dans des fissures du sol, de dissolution des sols, de retrait-gonflement, etc.). En outre, sauf étude particulière, les surfaces d'infiltration ne peuvent pas être mises en œuvre si le niveau de la nappe phréatique est situé à moins de deux mètres sous la base de la zone d'infiltration (nappe affleurante ou subaffleurante). De même, toute injection directe dans la nappe phréatique est proscrite, quelle que soit la nature des eaux et le type de sol.

4.2.2.1.2. Les pentes dues au modelé du terrain naturel

Les pentes modifient la performance hydraulique (infiltration et stockage) des revêtements et des structures drainantes, en raison de l'accumulation de l'eau aux points bas, ce qui peut entrainer des débordements. Le plan masse de l'opération gagne à prendre en compte le phénomène pour en limiter les effets réducteurs. Sur les pentes restantes, la conception pourra prévoir des cloisonnements, afin de créer une succession de petits bassins de stockage à débit de fuite maitrise, fonctionnant en série ou en parallèle. L'efficience et la gestion opérationnelle de telles dispositions constructives doivent faire partie de la démarche d'analyse *(cf paragraphe 4.2.3.3.).*

4.2.2.1.3. Les réseaux enterrés urbains

Les réseaux enterrés sont consubstantiels de la ville. Cependant, toutes les aires urbaines n'ont pas vocation à accueillir une densité importante de réseaux enterrés qui appelleront a des interventions sous voirie durant la vie en œuvre de l'ouvrage. Il faut en outre tenir compte de la nature et de la vétusté des réseaux en place. En général, on privilégie l'emploi des revêtements drainants sur des sites à faible densité de réseaux (parkings, aires de manœuvre, pistes cyclables et autres aires dévolues aux modes doux, etc.).

4.2.2.1.4. Le trafic en milieu urbain

Le trafic en milieu urbain est réputé être moins agressif qu'en secteur interurbain, à nombre de véhicules lourds identiques. Il faut toutefois être vigilant sur les situations de canalisation des charges et d'agressivité des roues des systèmes de transport collectif. Le recours à un revêtement drainant en béton peut être valide de ce point de vue pour des ouvrages à faible et moyen trafics (trafic inferieur a 150 PL/j). Au-delà, une étude de conception particulière est nécessaire.

4.2.2.1.5. Les usages de la voirie urbaine

Les usages de la voirie urbaine sont évolutifs, et dans des cas extrêmes, la ville est un territoire constamment en chantier. Il faut s'interroger sur la pertinence du choix d'un revêtement drainant dans les situations ou la fonction et l'environnement de la voirie favoriseraient les occurrences de colmatage des vides communicants (marches, aires de stockage, chantiers de construction récurrents). Il faut très précisément s'assurer de la pérennité des moyens d'entretien pour valider le choix d'un revêtement drainant dans de tels cas.

4.2.2.2 Le contexte géologique et hydrologique

La faisabilité d'une solution d'infiltration est fondée sur la capacite du sol en place à absorber l'eau. Le coefficient de perméabilité, tel que défini en 4.2.4.3.1, caractérise cette capacité. Il est communément ad-

mis qu'un sol, dont le coefficient de perméabilité est supérieur à 10^{-6} m/s, est envisageable pour une infiltration d'eau pluviale de ruissellement *(Figure 15 a)*. Mais, pour un coefficient de perméabilité compris entre 10^{-6} m/s et 10^{-5} m/s, il sera souvent nécessaire d'envisager un complément à l'infiltration. Pour un coefficient de perméabilité inférieur à 10^{-6} m/s, les volumes importants sur un court laps de temps, lors d'une pluie d'orage, ne seraient pas infiltres. Par conséquent, il peut être nécessaire de coupler l'infiltration avec un exutoire, et d'évacuer progressivement les eaux pluviales accumulées dans la fondation *(Figure 15 b et Figure 15 c).*

À l'inverse, en présence d'un sol trop perméable avec un coefficient de perméabilité élevé, par exemple supérieur à 10^{-2} m/s, le risque de polluer les sous-sols augmente rapidement. Il est alors nécessaire pour un ouvrage d'infiltration recevant des eaux de ruissellement ou pour se protéger des pollutions accidentelles, de prendre des précautions pour éviter la pollution des eaux souterraines, comme par exemple :

- Inclure une couche filtrante (par exemple géotextile ; couche de sable graduée ; etc.).
- Équiper d'un système de prétraitement des eaux ou d'un dispositif d'épuration. l'ouvrage.

Le coefficient de perméabilité du sol en place peut être estimé via des ordres de grandeur selon la nature du sol *(voir paragraphe 4.2.4.3.- Dimensionnement hydraulique).*

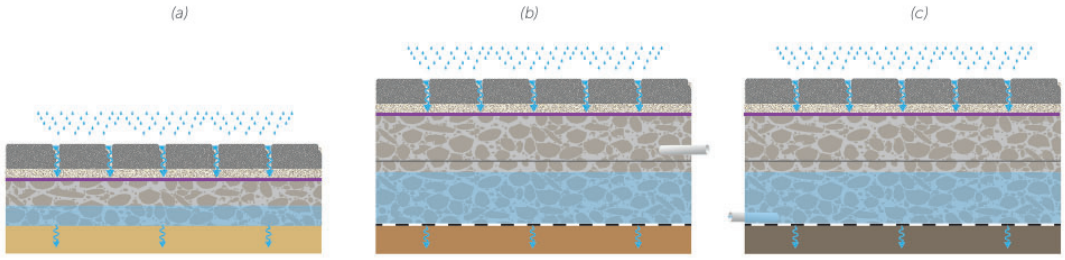


Figure 15 - Schémas de chaussées à structure réservoir : (a) infiltration, (b) et (c) infiltration + exutoire (placé à un niveau adapté en fonction de la perméabilité du support).

4.2.2.3 Les exigences requises et la caractérisation des évènements pluvieux

Il convient de mettre en perspective les règles qui régissent la capacite d'accueil des eaux sur un site et le degré de protection face aux situations de crise choisi par le maitre d'ouvrage.

Le choix d'un degré de protection est un nécessaire compromis entre l'aspiration a une protection absolue pratiquement irréaliste et le souci de garantir la sécurité des biens et des personnes, tout en limitant tant le cout de l'investissement que les sujétions d'exploitation. Selon l'usage de l'ouvrage, son rapport aux hauts lieux de la ville, sa situation topographique et altimétrique, la vulnérabilité des sites desservis et les enjeux de continuité de service, le curseur doit être positionne au bon niveau entre principe de précaution et principe de réalité.

Les enjeux de lutte contre l'imperméabilisation des surfaces urbaines, les évolutions observées d'accroissement des situations extrêmes en raison du changement climatique, et le nouveau regard à accorder aux petites pluies versus les pluies extrêmes, appellent à déployer davantage de matière grise que dans le passé pour optimiser les degrés de protection à fixer pour chaque projet (aussi bien pour les projets courants que les grands projets). Il est souvent admis, à priori, qu'il est de bonne gestion de se protéger de la pluie décennale. Mais pour les champs d'application privilégiés de la lutte contre l'imperméabilisation des surfaces urbaines, les standards et recommandations en vigueur, inspirés de référentiels historiques, gagnent à être revisités.

Ainsi, s'il y a bien légitimement des secteurs stratégiques ou emblématiques pour le fonctionnement et la notoriété de la ville qui nécessitent de se prémunir pour des périodes de retours d'évènements pluvieux longues d'une ou plusieurs décennies, il y a aussi des aires très étendues ou le principe de réalité permet de s'accommoder de périodes significativement plus courtes de quelques années. Cette philosophie ne dispense pas de se demander comment fonctionnera le système lors d'évènements exceptionnels.

Il faut enfin avoir à l'esprit que les revêtements drainants et structures poreuses ne sont pas en mesure et à coup sûr de supprimer tout risque d'inondation, mais leur présence permet d'atténuer ou de réduire les effets d'un évènement pluvieux extrême.

4.2.3 Choix des principes de conception et des solutions disponibles

L'offre béton préfabriqué est diversifiée, comme l'a montré le chapitre 3. Elle permet donc de satisfaire a une grande partie du champ des possibles que ce soit vis-à-vis des objectifs des maitres d'ouvrage ou des sujétions de site, de climat et de prise de risque propres à chaque projet.

Le premier choix qui s'impose est de décider entre une solution dite «autonome» ou une solution «couplée avec d'autres concepts». Apres ce premier choix de principe de conception, les notions de zone d'influence et de recherche d'optimisation pour les zones pentues à forte déclivité seront traitées.

4.2.3.1 Solution autonome

Une solution autonome est celle où les revêtements drainants et/ou structures poreuses imaginés pour le projet suffisent pour répondre aux sujétions de nature fonctionnelle, mécanique et hydraulique du projet.

L'ensemble du panel des solutions de l'offre béton peut s'inscrire dans la catégorie de ces solutions autonomes :

- Il peut s'agir d'une surface drainante pour simplement gagner en confort et sécurité et, grâce à l'infiltration directe, contribuer à la réduction des eaux de ruissellement *(Figure 16)*.

  Un tel système donne sa pleine efficacité pour le traitement des pluies courantes, qualifiées de petites et moyennes, par essence même extrêmement fréquentes.

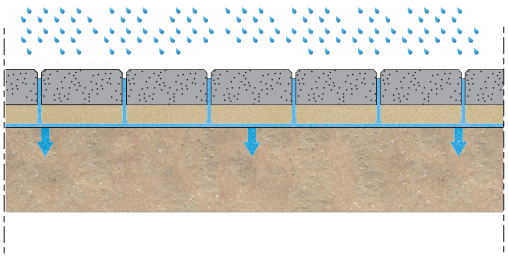


Figure 16 - Exemple de surface drainante avec évacuation de l'eau par l'infiltration directe.

- Plus qu'une surface drainante, il peut s'agir d'une structure poreuse urbaine, ou chaussée à structure réservoir, qui permet d'absorber les évènements pluvieux intenses grâce au stockage temporaire de l'eau dans la structure même de la chaussée. Le volume d'eau ainsi stocké est ensuite évacué à faible débit, soit directement dans le sol en place, soit vers un collecteur, soit par une combinaison des deux possibilités *(Figure 17 et Figure 18).*

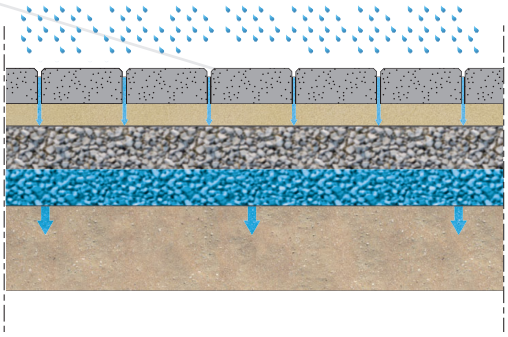


Figure 17 - Exemple de structure réservoir avec évacuation de l'eau par infiltration directe.

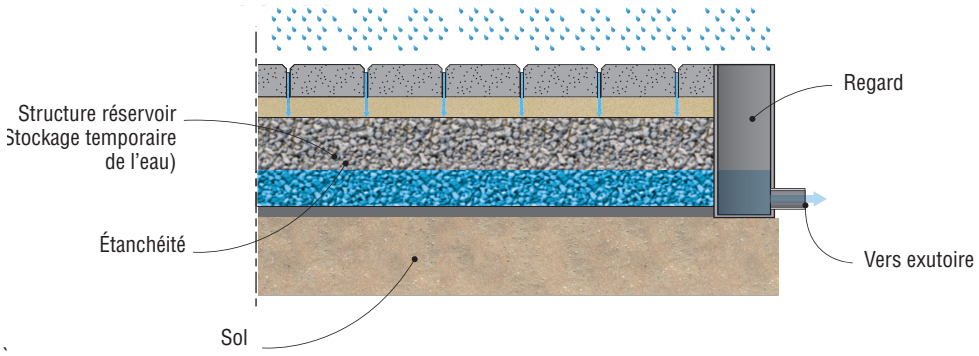


Figure 18 - Exemple de structure réservoir avec évacuation localisée de l'eau vers un exutoire.

Il faut donc bien faire la distinction entre les ouvrages destinés à satisfaire aux situations courantes et qui admettent des dysfonctionnements n'affectant pas la sécurité des personnes en cas de crise, et ceux qui sont destinés à atténuer les conséquences dommageables des situations de crise dues à des épisodes pluvieux exceptionnels et qui doivent toujours être « prêts » pour cette fonction.

4.2.3.2 Solution couplée avec d'autres concepts

Les solutions autonomes atteignent rapidement leurs limites lorsqu'il faut se protéger d'évènements pluviométriques très intenses, ou lorsque les possibilités d'infiltration ou d'exutoire dans les réseaux de proximité sont réduites ou inexistantes.

Il est alors pertinent de coupler la solution autonome avec d'autres types de solutions alternatives présentées dans le chapitre 2. Par exemple, pour un aménagement dans une région à fortes précipitations, sur un support à faible capacite d'infiltration et en l'absence de réseau d'assainissement, le revêtement drainant prévu pour l'aménagement d'un parking peut être associe à un réseau de noues, de fosses et de bassins de rétention.

Les solutions couplées avec d'autres types de solutions alternatives sont aussi intéressantes à privilégier même lorsque les solutions autonomes peuvent théoriquement suffire pour un projet efficient à l'état neuf, mais lorsque les conditions à respecter pour inscrire la performance initiale dans la durée sont incertaines. L'encart ci-dessous met en exergue quelques principes de précaution recommandés, s'agissant des complémentarités avec les systèmes d'assainissement classiques, de la nécessité d'une planification intégrée de l'entretien et de la prudence de bon aloi en regard de l'évolutivité des usages urbains. Chacun de ces items porte des incertitudes et des risques qui peuvent être réduits dans une certaine mesure par les solutions couplées avec d'autres concepts de solutions alternatives.

Photo 15 - Revêtement drainant en pavés à joints larges couplé à un réseau de noues.

DES PRINCIPES DE PRECAUTION UTILES

Complémentarité des revêtements drainants et des systèmes d'assainissement classiques

Les revêtements drainants et assises poreuses ou perméables éventuellement associées doivent être considérés comme des dispositifs de gestion des eaux allégeant significativement les systèmes d'assainissement classiques, sans totalement s'y substituer sauf cas particulier.

Cette recommandation importante, tout particulièrement pour les zones à fort enjeu d'urbanité et d'activités culturelles ou économiques, résulte de la confrontation entre les approches théoriques scientifiquement et techniquement bien étayées, et les retours d'expérience sur les moyens et longs termes capitalisés par les exploitants de domaines publics vastes et diversifiés qui ont inscrit la logique de la porosité des matériaux et de la perméabilité des revêtements dans leur doctrine technique.

Une nouvelle manière de concevoir l'entretien des revêtements drainants.

La voie de l'infiltration appelle à une conception globale et intégrée des ouvrages associant tous les acteurs de l'espace public urbain. Ces derniers doivent exprimer leur accord pour partager une vision commune de l'organisation des métiers et des gestes permettant la continuité de service attendue des ouvrages. En particulier, la pérennité du bon équilibre entre performance mécanique et performance hydraulique implique une vision programmée de l'entretien dès la conception et la mise en service. On ne peut pas faire l'économie de ce relais pour une vision et une pratique commune entre le donneur d'ordre initial et l'exploitant qui mobilise l'ensemble des métiers de l'assainissement, de la propreté, de l'occupation du domaine public comme du confort, de la sécurité et de l'esthétique des voiries et aires diverses d'évolution.

Pérennité du concept versus variabilité des usages urbains.

Avec ce nouveau concept, le principe de réalité, associé à la grande variabilité des usages des espaces publics durant la vie en œuvre d'un ouvrage en milieu urbain, orienté vers la sage précaution de prévoir, dans tous les cas, un système d'assainissement classique, mais avec des solutions plus légères et des investissements moindres. Tout se passe comme si le revêtement drainant offrait de manière pérenne une surface à faible coefficient d'apport, voisine du sol naturel ou de la végétation qui prévalait avant l'aménagement. Même dans le cas où l'entretien est réduit à celui d'une chaussée classique (risque de colmatage en particulier), le revêtement drainant maintient sa contribution dans la gestion des eaux pluviales et tout particulièrement sur le plan de la qualité et de la quantité de l'eau.

4.2.3.3 Aménagement en déclivité, projets avec des pentes et des dévers importants

Les pentes modifient la capacité de stockage car elles provoquent une accumulation de l'eau au point bas, ce qui peut entrainer des débordements. La Figure 19 illustre le phénomène. La conception doit intégrer cette gestion des pentes et des devers importants.

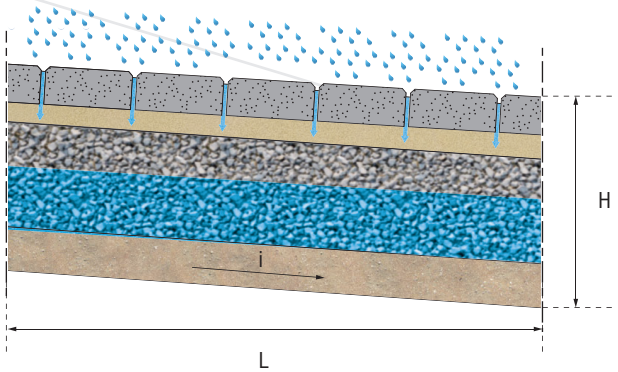


Figure 19 - Compartiment de chaussée à structure réservoir

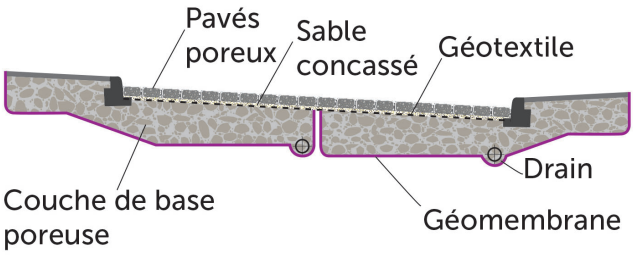


Figure 20 - Exemple de parking en pavés poreux

Dans le cas de déclivité du terrain, il est tout à fait possible de réaliser un revêtement drainant à condition de prendre en compte la longueur du revêtement en déclivité, l'épaisseur du revêtement et la pente du terrain. En fonction de ces éléments, la conception de l'ouvrage peut être soit de :

- Disposer les voiries en travers de la pente du terrain afin de perdre le moins possible sur la capacite de stockage.
- Cloisonner la structure de l'ouvrage, de manière à créer des bassins de stockage, aménagés en série ou en parallèle *(Figure 20 et Figure 21)*.

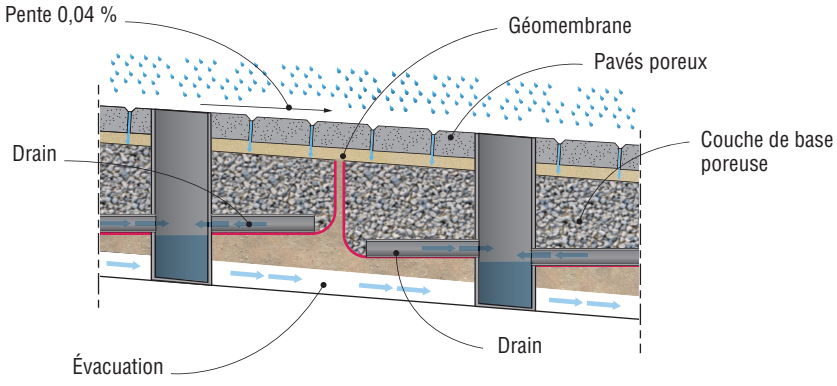


Figure 21 - Exemple de stockage sous chaussée et trottoirs à forte pente

4.2.4 Les principes de dimensionnement

Le dimensionnement d'un revêtement drainant ou d'une structure poreuse comprend les quatre étapes suivantes :

- Dimensionnement géométrique permettant d'apprécier les surfaces disponibles.
- Dimensionnement mécanique pour assurer la pérennité de l'ouvrage.
- Dimensionnement hydraulique pour assurer un bon équilibre entre les apports et les évacuations de l'eau pour les évènements pluvieux dans lesquels le projet s'inscrit.
- Comparaison entre les dimensionnements mécanique et hydraulique et recherche d'optimisation technico-économique.

4.2.4.1 Dimensionnement géométrique

Commencer la démarche de dimensionnement par la question de la géométrie du projet et de l'espace environnant susceptible d'alimenter en eau la surface concernée par le ruissellement s'impose, car il faut connaitre de manière précise à l'amont des études la nature et la quantité de surface disponible utile pour déterminer les volumes à infiltrer par le revêtement drainant.

Le dimensionnement géométrique définit le contour du projet. Celui-ci doit être correctement positionne dans son environnement, en tenant compte à la fois des différents modes de déplacements, des aires végétales et bâties, de la topographie d'ensemble et des différents accès et contraintes à respecter. Il définit pour chaque projet la notion de « bassin versant », avec la nature, les pentes et les surfaces extérieures associées au projet, en ce sens qu'elles sont reliées hydrauliquement à l'aire du revêtement étudié.

Les règles de base concernent les dimensions géométriques des voies, des places de stationnement, des bandes et des pistes cyclables ainsi que des cheminements piétons.

Sans entrer dans l'étude détaillée d'un projet qui appelle à une grande variabilité de formes et de largeurs « utiles », rappelons quelques ordres de grandeur de largeurs de rues et autres aires de déplacement fréquemment retenus en milieu urbain :

- **Rue en section courante :** largeur par voie 3,5 m pour les voies structurantes ; 3,0 m pour les voies courantes.
- **Rue bidirectionnelle en section courante :** largeur utile 5,5 m.
- **Voie de bus :** largeur minimum 3,2 m ou 3,5 m à contre sens.
- **Stationnement véhicule léger :** longueur 5,0 m, largeur minimum 1,8 m.
- **Piste cyclable en site propre :** largeur 1,5 m unidirectionnelle ; 3,0 m bidirectionnelle (+0,50 m si forte fréquentation).
- **Bande cyclable unidirectionnelle :** largeur 1,5 m.
- **Trottoir :** largeur 1,8 m.

Le dimensionnement géométrique doit aussi considérer les niveaux altimétriques et les pentes du projet. La pente du terrain peut réduire considérablement la capacite de stockage d'une structure réservoir. Pour s'adapter à la topographie et limiter l'effet négatif de la pente, on peut doter la structure réservoir de cloisons étanches. Dans ce cas, le volume à stocker est la somme des volumes entre cloisons, pondérés par la valeur de la pente.

4.2.4.2 Dimensionnement mécanique

L'objectif du dimensionnement mécanique consiste à déterminer l'épaisseur des couches de chaussée nécessaire à l'accueil du trafic attendu pour la durée de service prévue.

La procédure de calcul est codifiée et se réfère à la méthode française de dimensionnement des chaussées dont les référentiels sont listés en bibliographie.

Les chaussées sont dimensionnées à la fatigue sous charges répétées en tenant compte de l'environnement thermique et hydrique de chaque projet. La démarche de calcul consiste à prédéfinir une structure composée d'une ou plusieurs couches de matériaux d'assise prédéfinis, et à vérifier que les contraintes ou déformations induites par le trafic poids lourd sont inférieures ou égales aux valeurs admissibles propres à chaque matériau.

Les critères pris en compte sont :

- Le trafic poids lourd caractérisé par le nombre de PL sur la voie la plus chargée et leur agressivité.
- La portance du support caractérisée par un module de réaction à l'essai de plaque.
- Les caractéristiques mécaniques des matériaux et des produits.

Pour chaque critère, il faut prendre la précaution de se mettre en perspective avec les situations sur le long terme : évolution du trafic, de la portance du support, du niveau de risque, de l'entretien, etc.

La littérature technique fournit les modalités d'application de la logique du dimensionnement mécanique qui s'appliquent à toutes les familles de structures de voirie y compris à celles constituées pour tout ou partie par des matériaux ou des produits drainants.

Dans la pratique et pour les projets courants, on ne procède pas à des calculs détaillés de dimensionnement mécanique pour chaque projet, mais on a recours à des « catalogues de structures » qui donnent, pour chaque type de matériau et pour des hypothèses communément admises, les épaisseurs de structures types pour les différents couples Trafic/Plate-forme (Ti/PFj).

S'agissant du dimensionnement mécanique des revêtements drainants en éléments préfabriqués en béton, la règle d'or est double :

- Borner le domaine d'emploi de tels revêtements et structures à un trafic T3 maximum, sauf étude de conception particulière.
- Borner ce domaine d'emploi à des ouvrages dont la plate-forme support est PF2 minimum, en ayant recours si nécessaire a des traitements de sols ou autres procédés d'amélioration de la portance des plates-formes.

Contrairement aux revêtements traditionnels, il convient d'associer aux revêtements drainants des assises de perméabilité suffisante afin de permettre l'infiltration. On peut ainsi mettre en œuvre des béton poreux ou des Graves Non Traitées poreuses. Les propriétés de ces matériaux peuvent être prises en compte dans le logiciel VoirIB pour le dimensionnement des structures de chaussées. Ainsi *le Tableau 1* donne quelques exemples de revêtements drainants et structures poreuses pour des usages ou l'application de ces techniques est aujourd'hui mature et dispose d'un bon retour d'expérience.

PORTANCE PF2(**)		**CLASSE DE TRAFIC** (EN POIDS LOURDS PAR JOUR SUR LA VOIE LA PLUS CHARGÉE)						
Structure / Trafic		Espaces exclusivement piétonniers	T5-I(*) (T7) 0<PL≤2	T5-II(*) (T6) 2<PL≤10	T5-III(*) (T5) 10<PL≤25	T4 25<PL≤50	T3- 50<PL≤85	T3+ 85<PL≤150
Revêtement drainant		Pavé 6 cm ou 8 cm				Pavé ≥ 8 cm		
Assise	Béton poreux BC3	inutile	20 cm	22 cm	23 cm	24 cm	25 cm	25 cm
	GNT poreuse E=200 MPa	inutile	15 cm	15 cm	23 cm	26 cm	32 cm	36 cm
(*) Codification spécifique selon la littérature technique CERIB.								
(**) Pour une portance PF3, les assises sont inutiles pour tout trafic inférieur ou égal à T5-I. Les épaisseurs figurant dans le tableau sont réduites de 4 cm dans le cas du béton poreux. Elles sont réduites d'environ 10 cm dans le cas de la GNT poreuse pour les trafics T5-III et supérieurs.								

Tableau 1 - Dimensionnement mécanique des structures en pavé béton, établi à l'aide du logiciel VoirIB (hypothèses : durée de service 20 ans, taux de croissance annuel du trafic 1%, coefficient d'agressivité moyen 0,2 pour les faibles sollicitations).

4.2.4.3 Dimensionnement hydraulique

Le dimensionnement hydraulique revêt une grande importance dans la conception des revêtements drainants. Toutefois, il fait appel à une terminologie spécifique et des unités variées qu'il faut connaitre avec précision. Pour cela, les termes principaux assortis de leurs définitions et de leurs unités sont rassemblés dans *l'Annexe 5*.

4.2.4.3.1 Processus de dimensionnement hydraulique

Une chaussée à structure réservoir est assimilable à un bassin de retenue d'eaux pluviales. Son dimensionnement hydraulique revient donc au calcul du volume utile de la retenue. Ce calcul est basé sur un bilan hydraulique : stockage = ∑ entrées – ∑ sorties.

- Les entrées sont, dans le cas d'une chaussée à structure réservoir :
- Les écoulements arrivant dans l'ouvrage par ruissellement (coefficient d'apport Ca).
- Les précipitations sur la chaussée.
- Les éventuelles entrées d'eau de nappe (fond, fosses...).

Les sorties sont essentiellement :

- Le débit de fuite de la retenue.
- Les infiltrations dans le sol.

Le débit de fuite (Q) correspond dans le cas d'une évacuation localisée par les réseaux d'assainissement au débit admissible d'évacuation à l'aval de la structure. Il peut être fixé règlementairement ou dépendre de la capacité de l'exutoire.

Dans le cas d'une évacuation répartie, il dépend de la capacité d'infiltration dans le sol et se calcule par application de la loi de Darcy :

$$Q = K.S.i$$

Où :

K = coefficient de perméabilité du sol en m/s mesuré in situ, sur lequel on applique, suivant l'hétérogénéité des terrains, un coefficient de sécurité de 1 à 5.

S = surface d'infiltration.

I = gradient hydraulique pris égal à 1, la zone d'infiltration étant considérée comme non saturée.

La perméabilité du sol est considérée comme suffisante si :

10^{-6} m/s ≤ K ≤ 10^{-2} m/s, mais pour 10^{-6} m/s ≤ K ≤ 10^{-5} m/s, il sera souvent nécessaire d'envisager un complément à l'infiltration.

4.2.4.3.2 Zone d'influence

Définir la zone d'influence du projet permet au maitre d'œuvre de déterminer le volume d'eau arrivant dans l'ouvrage. Deux cas peuvent se présenter :

Cas 1 : La zone d'influence de l'ouvrage étudié est limitée à l'ouvrage lui-même, avec éventuellement ses abords immédiats qui apportent ruissellement en raison de leur imperméabilité, et dont la surface et donc le ruissellement d'apport sont très limités par rapport à la partie drainante. Citons, à titre d'exemple, un revêtement drainant sur un parking éventuellement assorti de cheminements piétons, de surface limitée, revêtus d'un matériau imperméable.

Cas 2 : la zone d'influence de l'ouvrage à revêtement drainant est bien plus vaste que l'ouvrage lui-même. Les surfaces imperméables du « bassin versant » comme les toitures de bâtiments, les aires d'activité et d'événementiels dirigent leurs eaux pluviales vers le site du projet, et les quantités d'eau peuvent alors être importantes.

4.2.4.3.3 Les méthodes de calcul hydraulique

Pour mener à bien le dimensionnement hydraulique, la caractérisation de l'évènement pluvieux "projet" qui décline les objectifs du maitre d'ouvrage est essentielle. Il existe plusieurs méthodes au contenu scientifique et technique des plus simples au plus sophistiqués pour les projets et les sites emblématiques qui le nécessitent (modélisation propre au bassin versant et au projet).

Pour l'évaluation des intensités pluviales et du volume de stockage de l'assise, on peut notamment avoir recours à la méthode utilisant les coefficients de Montana ou à la considération d'une pluie type à infiltrer.

Le dimensionnement hydraulique peut être réalisé à l'aide du logiciel du CERIB Oduc+ (évaluation de la perméabilité requise et dimensionnement de la structure réservoir sous-jacente éventuelle).

4.2.4.3.3.1 Évaluation de l'intensité pluviale

4.2.4.3.3.1.1 La méthode utilisant les coefficients de Montana

Les coefficients de Montana établissent la relation Intensité ou hauteur/Durée/Fréquence de l'évènement pluvieux

$$I = a * D^{-b}$$

Et

$$H = a * D1^{-b}$$

I : intensité pluviale (mm/heure) ; H : hauteur de pluie (mm) ; D : durée (minutes) ; a et b coefficients de Montana positifs.

Les coefficients de Montana sont disponibles auprès de la Météorologie nationale pour chaque bassin versant, pour des périodes de retour et des tranches de durées de pluie représentatives de différentes situations du type :

- 6 mn - 30 mn pour les pluies d'orage.
- 15 mn - 6 heures pour les pluies fortes.
- 2 h à 24 h pour les pluies moyennes à petites.

4.2.4.3.3.1.2 La méthode de la pluie type à infiltrer

La pluie de projet est définie par sa période de retour T et sa durée D.

Sa forme est un rectangle d'intensité constante i_{moy} correspondant à l'intensité maximale i_{max} ($i_{moy} = i_{max}$).

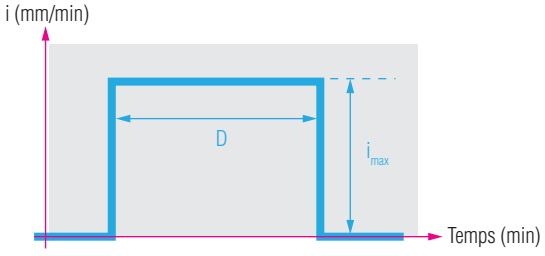


Figure 22 - Représentation d'une pluie de projet rectangulaire

4.2.4.3.3.2 Calcul du revêtement

On dimensionne le revêtement drainant en déterminant, selon les pluies types à infiltrer, un coefficient de perméabilité minimal pour assurer l'infiltration immédiate et l'absence de flaques sur le revêtement.

Pour effectuer ce dimensionnement, il est nécessaire de connaitre :

- Les caractéristiques de l'évènement pluvieux.
- Les caractéristiques des surfaces à considérer.
- Le coefficient de sécurité ou de colmatage à prendre en compte.

En considérant un coefficient d'apport C_a et un coefficient de sécurité C_s, alors le coefficient de perméabilité minimal requis (K en mm/min) pour infiltrer la totalité de la pluie définie par le maitre d'ouvrage est :

$$K = C_a * C_s * i$$

Où i est l'intensité pluviale considérée.

Ce coefficient de perméabilité est celui requis pour le revêtement, c'est-à-dire pour l'ensemble « produits en béton et matériau de jointoiement et/ou de remplissage ». Il sera donc à comparer à la valeur déterminée sur le revêtement au moyen du protocole décrit dans le rapport du CERIB 353.E v2 « Eléments modulaires en béton pour revêtements des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales : Référentiel technique ».

4.2.4.3.3.3 Calcul du volume de stockage de l'assise

4.2.4.3.3.3.1 La méthode utilisant les coefficients de Montana

Une méthode simple permettant de calculer le volume de stockage à partir des coefficients de Montana est la « méthode des pluies ».

Elle est basée sur une analyse pour une période de retour donnée des lames d'eau précipitées sur des durées croissantes, de quelques heures à quelques jours, pour construire une courbe enveloppe des précipitations. Cette courbe est ensuite comparée à la courbe des volumes évacués sur la même durée (une droite dans le cas d'un débit de fuite constant) pour évaluer une capacité de stockage.

Le volume de pluie précipité total V_p se déduit par la formule :

$$V_p = C_a * S * H = C_a * S * a * D^{(1+b)}$$

Avec :

C_a : coefficient d'apport ;

S : surface du bassin versant ;

a,b : coefficients de Montana ;

D : durée de la pluie.

Le débit de restitution Q_v est supposé constant, le volume évacué est donc :

$$V_r = Q_v * D$$

Dans le cas où l'infiltration se fait par le « fond » de l'ouvrage mais aussi les côtés, par exemple pour une tranchée drainante, il conviendrait de considérer un coefficient sur le débit car le débit réel d'infiltration dépend du remplissage de l'ouvrage. Ici on considère une infiltration seulement par le fond de l'ouvrage, donc le calcul est sécuritaire.

Le débit de fuite dépend également de la hauteur d'eau stockée, et la quantité d'eau évacuée peut être surévaluée par le calcul si l'on considère ce débit comme maximal pendant toute la durée de la pluie. Ici le calcul pour l'infiltration reste sécuritaire car on considère le débit d'infiltration correspondant au coefficient de perméabilité du sol, mesuré sous faible hauteur d'eau.

Le débit de restitution dans le réseau est quant à lui surestimé car considéré égal à son maximum pendant toute la durée de la pluie. Une solution serait de considérer une hauteur d'eau moyenne égale à la moitié de la hauteur d'eau de l'ouvrage pour le calcul, de manière à compenser les moments où la hauteur d'eau serait minime et où la hauteur d'eau serait maximale. Le calcul de la hauteur de stockage étant le résultat cherché, il est alors nécessaire de procéder par itération.

Une autre solution serait de considérer un coefficient majorateur sur le volume à stocker calculé, mais les coefficients proposés par la littérature sont empiriques et dépendent d'une loi de vidange qui est propre à chaque ouvrage et type d'orifice.

La méthode des pluies consiste à trouver la durée de pluie qui engendrera le volume le plus important à stocker dans l'ouvrage V_{max}, soit la plus grande différence entre V_p et V_r pour une durée de pluie t_m (durée de la pluie la plus pénalisante).

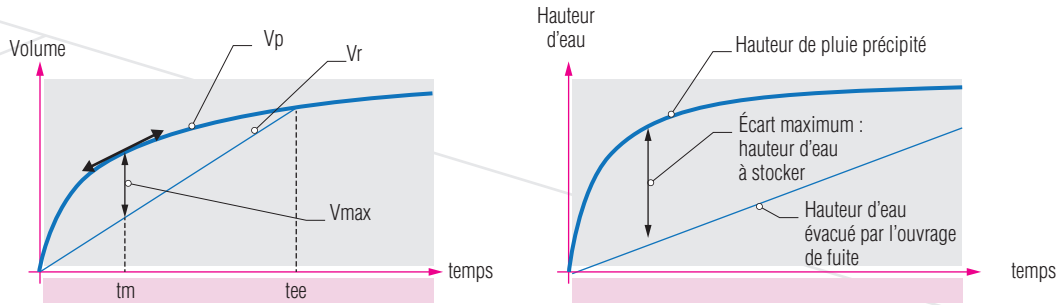


Figure 23 - Principe de la méthode des pluies

Le volume stocké à la fin de la pluie de durée t est :

$$V_s = V_p - V_r = C_a * S * a * t^{(1+b)} - Q_v * t$$

Ce volume stocké est maximum à la fin d'une pluie de durée t_m telle que :

$$\frac{dV_s}{dt} = 0$$

Soit :

$$a * (b+1) * C_a * S * t_m^{\,b} - Q_v = 0$$

D'où :

$$t_m = \left(\frac{Q_v}{a * (b+1) * C_a * S} \right)^{\frac{1}{b}}$$

Le volume maximal à stocker est donc :

$$V_{max} = - \frac{b}{b+1} * Q_v * \left(\frac{Q_v}{a * (b+1) * Ca * S} \right)^{\frac{1}{b}}$$

4.2.4.3.3.3.2 La méthode utilisant les coefficients de Montana

En considérant une pluie de projet rectangulaire (cf 4.2.4.3.3.1.2.), le volume stocké V_s à la fin de la pluie de durée D est :

$$V_s = (C_a * S * i - Q_v) * D$$

Avec :

C_a : coefficient d'apport ;

S : Surface du bassin versant ;

Q_v : débit de fuite constant.

4.2.4.3.3.4 Calcul de l'épaisseur de l'assise :

La hauteur de stockage nécessaire pour un « réservoir » de stockage horizontal est calculée comme suit :

$$h_{stock} = \frac{V_{max}}{(p * S_{stock})}$$

Avec :

h_{stock} : hauteur de stockage (épaisseur de l'assise) ;

V_{max} : volume total à stocker ;

S_{stock} : surface de stockage ;

p : porosité du matériau de stockage.

4.2.5 Mise en perspective du dimensionnement mécanique et du dimensionnement hydraulique

Le principe général est la comparaison des résultats des deux calculs mécaniques et hydrauliques et on retient l'épaisseur la plus importante *(Figure 24).*

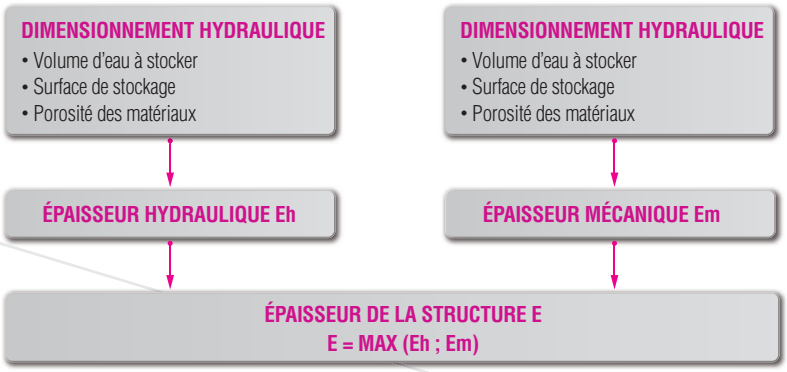


Figure 24 - Mise en perspective des dimensionnements mécanique et hydraulique

4.2.5.1 Exemple de calcul de dimensionnement d'un revêtement drainant en éléments modulaires

On considère un revêtement constitué de pavés poreux, de coefficient de perméabilité de 1,4 x 10^{-4}m/s, mesuré via le protocole d'essai décrit en *Annexe 1*.

Ces pavés poreux sont posés sur un lit de pose en sable et une grave non traitée poreuse présentant une porosité de 35 %, d'épaisseur H.

Par sécurité, on ne considère pas le stockage ménagé dans l'épaisseur des pavés poreux, mais seulement le stockage dans les couches de fondation.

Les hypothèses de calcul

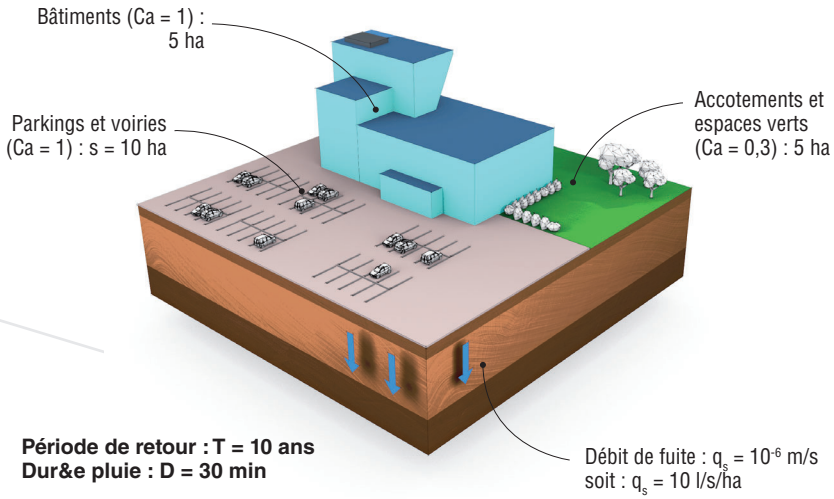


Figure 25 - Hypothèses de calcul

La solution

La surface active **Sa = (10 x 1) + (5 x 1) + (5 x 0,3) = 16,5 ha, soit 165 000 m².**

L'intensité maximale de la pluie est donnée par la formule de Montana : **I (mm/min) = a * D^{-b}**

On utilise des données de pluviométrie locales, à savoir issues de la station Nancy-Essey pour une période de retour de 10 ans. Les coefficients de Montana donnes pour des pluies de 6 à 30 min sont : **a = 5,95 et b = 0,634**

On a donc **$I = 5{,}95 \times 30^{0{,}634} = 0{,}68$ mm/min = 114,78 l/s/ha**

En considérant un coefficient d'apport global de **$C_a = S_a/S = 1{,}65$** et un coefficient de sécurité réduit de **$C_s = 5$** dû au colmatage du revêtement avec un entretien régulier, le coefficient de perméabilité requis pour la surface drainante afin qu'elle infiltre directement l'intégralité de la pluie est de :

$K = I * C_a * C_s = 114{,}78 \times 1{,}65 \times 5 = 945$ l/s/ha = $9{,}45 \times 10^{-3}$ m/s

Le coefficient de perméabilité du revêtement choisi est de $1{,}4 \times 10^{-4}$ m/s, les pavés poreux conviennent donc.

Le volume à stocker sous ce revêtement de surface S=10 ha est de :

$V = (I * S_a - q_s * S) * D$

$V = (114{,}78 \times 16{,}5 - 10 \times 10) \times 30 \times 60$

$V = 3229$ m³

Par sécurité, on peut considérer qu'il est nécessaire de prévoir un volume de 3500 m³.

La porosité ouverte du matériau de la couche d'assise est na = 35 % = 0,35

Il doit donc être mis en œuvre sur une épaisseur H telle que :

$H = V/(S * n_s) = 3500/(100\,000 \times 0{,}35) = 0{,}10$ m

Dans le cas d'un trafic équivalent T6 (T5-II selon la codification CERIB) sur plate-forme PF2, l'épaisseur mécanique requise de GNT est de 15 cm (calcul avec le logiciel VoirIB).

C'est donc le dimensionnement mécanique qui prime pour cet exemple.

4.3 CONCLUSION

La chaine logique du travail du maitre d'œuvre, charge de la conception, a été méthodiquement décrite dans le présent chapitre. La duplicité des dimensionnements mécanique et hydraulique ainsi que leur croisement met en exergue l'importance de partir à l'amont sur des bonnes bases. Celles-ci reposent sur des choix d'objectifs explicites et précis du maitre d'ouvrage et de l'analyse détaillée du site d'implantation du projet et de son environnement. Le recours à des revêtements drainants nécessite des investigations et des études préalables qui ne souffrent pas de l'à peu près ou du « comme d'habitude ». L'usage et l'exploitation de l'ouvrage sont aussi au centre de la démarche. Ces notions doivent être réfléchies et intégrées encore davantage que pour les projets de voiries faisant appel aux techniques conventionnelles.

5. LES REVÊTEMENTS DRAINANTS EN ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS EN BÉTON – MISE EN ŒUVRE ET CONTRÔLES

5.1 MISE EN ŒUVRE DES REVÊTEMENTS DRAINANTS EN ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS EN BÉTON

Des recommandations de mise en œuvre des revêtements drainants en éléments préfabriqués en béton sont présentées dans la publication du CERIB DP 136 « Guide de mise en œuvre des revêtements drainants préfabriqués en béton ».

5.2 RÉALISATION D'UNE COUCHE D'ASSISES EN HYDROCYL®

5.2.1 Textes de référence

Les documents de référence relatifs à la réalisation d'une chaussée à structure réservoir réalisée avec des éléments Hydrocyl® sont :

- Rapport 89.E (2008) du CERIB : « Chaussées à structure réservoir à base de produits creux de petites dimensions préfabriqués en béton - CCTP Type Travaux ».
- Rapport 168.E (2008) du CERIB « Structure réservoir en béton - Cahier des charges de mise en œuvre des petits produits préfabriqués creux en béton ».
- Rapport 220.E (2010) du CERIB : « Chaussées à structure réservoir en béton : tenue au trafic » ;
- Rapport 222.E du CERIB (2010) : « Chaussées à structure réservoir en béton : capacite de rétention hydraulique ».

5.2.2 Caractéristiques des produits

La capacite de stockage du complexe Hydrocyl® est de 600 litres d'eau par mètre cube apparent.

Sa masse est d'environ une tonne par mètre cube.

Les produits préfabriqués en béton de la structure réservoir sont de forme tubulaire. Leur diamètre extérieur et leur longueur sont de 80 mm et leur diamètre intérieur est de 40 mm.

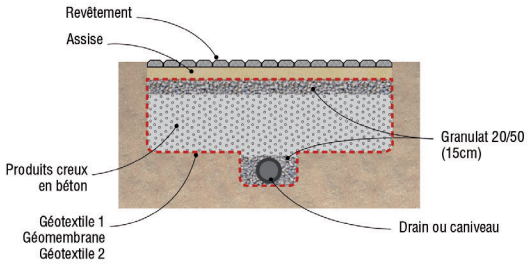
5.2.3 Mise en œuvre

Les produits sont transportés en vrac. Ils sont bennés directement au sol et sont mis en place par couches successives nivelées au moyen d'engins de chantier traditionnels.

L'épaisseur minimale (minimum constructif) d'un «complexe Hydrocyl®» est de 40 cm.

STRUCTURE RÉSERVOIR À ÉTANCHE

FICHE PRATIQUE DE MISE EN ŒUVRE DES PETITS PRODUITS PRÉFABRIQUÉS CREUX EN BÉTON



- Terrassement, pente du fond de fouille de 2 à 4%,
- Le choix des matériaux correspondants s'effectuera en tenant compte des valeurs guides suivantes :

CARACTÉRISTIQUES	NORME D'ESSAI	RECOMMANDATION
Géotextiles		
Résistance à la traction (sens production et travers)	NF EN ISO 10319	≥ 20 kN/m
Allongement à l'effort maximum (sens production et travers)	NF EN ISO 10319	≥ 50 %
Résistance au poinçonnement statique	NF G 38019	≥ 2 kN
Résistance au poinçonnement dynamique	NF EN 918	≤ 20 mm
Géomembrane		
PEHD épaisseur		≥ 1 mm

- Mise en place d'un géotextile, d'une géomembrane et d'un géotextile sur le fond et les parois. Le recouvrement entre deux couches est d'au moins 70 cm pour les largeurs de 5 m et plus, et de 50 cm pour les largeurs inférieures à 5 m ;
- Pose du drain ou du caniveau drainant ;
- Remplissage de la fouille en petits produits préfabriqués creux en béton pour structure réservoir ;
- Mise à niveau avec la pelle mécanique ;
- Égalisation et serrage avec le rouleau compacteur mais sans vibration ;
- Mise en place de la couche d'égalisation de 15 cm d'épaisseur avec un granulat 20/50 ;
- Compactage avec vibration adaptée ;
- Pour les revêtements de type bitumineux ou liés au ciment, un recouvrement de la structure réservoir par un géotextile peut être nécessaire (voir ci-dessus) ;
- Mise en place de la structure supérieure de la chaussée qui doit être dimensionnée en tenant compte des charges de surface (espace vert, accotement, trafic, autres charges…) ;
- Les raccordements de la géomembrane avec les ouvrages d'entrée et de sortie de la structure réservoir doivent être réalisés au moyen de dispositifs permettant d'assurer l'étanchéité.

STRUCTURE RÉSERVOIR À INFILTRATION

FICHE PRATIQUE DE MISE EN ŒUVRE DES PETITS PRODUITS PRÉFABRIQUÉS CREUX EN BÉTON

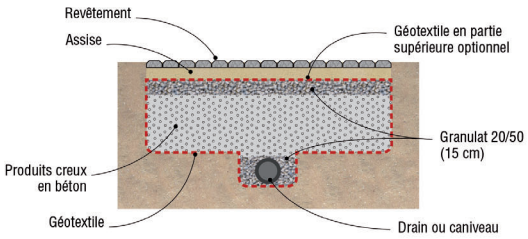
1

2

3

4

5



- Terrassement, pente du fond de fouille de 2 à 4%,
- Le choix des matériaux correspondants s'effectuera en tenant compte des valeurs guides suivantes :

Caractéristiques	Norme d'essai	Recommandation géotextile	Recommandation géogrille
Résistance à la traction (sens production et travers)	NF EN ISO 10319	≥ 20 kN/m	≥ 12 kN/m
Allongement à l'effort maximum (sens production et travers)	NF EN ISO 10319	≥ 50 %	------
Résistance au poinçonnement statique	NF G 38019	≥ 2 kN	≥ 1,5 kN
Résistance au poinçonnement dynamique	NF EN 918	≤ 20 mm	------
Perméabilité normale au plan	NF EN ISO 11058	≥ 40 mm/s	------
Ouverture de filtration (OF)	NF EN ISO 12956	60 ≤ OF ≤ 100 µm	400 ≤ OF ≤ 600 µm

- Mise en place d'un géotextile sur le fond et les parois. Le géotextile réalisant l'enrobage de la tranchée inférieure peut être remplacé par une géogrille. Le recouvrement entre deux couches est d'au moins 70 cm pour les largeurs de 5 m et plus, et de 50 cm pour les largeurs inférieures à 5 m ;
- Pose du drain ou du caniveau drainant ;
- Remplissage de la fouille en petits produits préfabriqués creux en béton pour structure réservoir ;
- Mise à niveau avec la pelle mécanique ;
- Égalisation et serrage avec le rouleau compacteur, mais sans vibration ;
- Mise en place de la couche d'égalisation de 15 cm d'épaisseur avec un granulat 20/50 ;
- Compactage avec vibration adaptée ;
- Pour les revêtements de type bitumineux ou liés au ciment, un recouvrement de la structure réservoir par un géotextile peut être nécessaire (voir ci-dessus) ;
- Mise en place de la structure supérieure de la chaussée qui doit être dimensionnée en tenant compte des charges de surface (espace vert, accotement, trafic, autres charges…).

6. LES REVÊTEMENTS DRAINANTS EN ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS EN BÉTON – PRÉCONISATIONS POUR L'ENTRETIEN ET L'EXPLOITATION

6.1 INTRODUCTION

Un revêtement drainant préfabriqué en béton ne peut fonctionner durablement que s'il est accompagné d'une politique de suivi et d'entretien qui s'articule autour des points essentiels suivants : la limitation du colmatage, la gestion des polluants, la gestion hivernale et les réparations.

6.2 COLMATAGE ET DÉCOLMATAGE

6.2.1 Introduction

Les surfaces drainantes, de par leurs porosités, concentrent les éléments fins et les diverses pollutions constatées sur l'espace public urbain. Elles sont donc sujettes au colmatage en l'absence de suivi et d'actions. Le colmatage apparait essentiellement sur la partie supérieure du revêtement et le plus souvent sur le premier centimètre. La logique de préservation des qualités du revêtement drainant pendant toute la durée de vie de la structure passe par une série de mesures qui consiste en premier lieu à limiter le colmatage, puis si nécessaire à mobiliser des techniques de décolmatage.

6.2.2 Les mesures pour limiter le colmatage

Pour réduire le risque de colmatage du revêtement drainant, il faut appliquer les mesures suivantes :

- Au niveau de la conception : éviter que les eaux de ruissellement extérieures au projet, susceptibles d'être chargées en débris ou sédiments, ne viennent sur la surface drainante.
- Au niveau du chantier : veiller à ce que les sédiments ou débris issus des chantiers environnants la surface drainante ne viennent colmater cette dernière.
- Au niveau de l'entretien des espaces environnants : éviter de projeter sur la surface drainante des sédiments ou des débris de végétaux (feuilles, débris de tonte...) provenant des surfaces alentour. Cela pourrait, en outre, favoriser l'apparition de mousses en surface.
- Au niveau de la vie en œuvre : le revêtement drainant en béton doit être considère comme un filtre qui nécessite un nettoyage périodique. L'exposition, au Nord par exemple, du revêtement drainant peut favoriser aussi l'apparition de mousses. La drainabilité sera mieux assurée si l'on vient retirer les sédiments, feuilles ou saletés en surface avant que ces derniers ne soient réduits en fragments qui viendraient encrasser la structure plus en profondeur. Ceci rendrait le nettoyage plus complexe et viendrait réduire la drainabilité du matériau. L'entretien de la surface périodiquement va réduire ce risque d'infiltration de matière dans le béton.

Le gestionnaire doit faire l'entretien du revêtement drainant, afin de maintenir sa perméabilité optimale. La fréquence d'intervention dépend de la quantité de sédiments qui risque de s'accumuler dans le temps sur la surface drainante. Quelle que soit la fréquence prévue, un entretien avant la période hivernale est recommandé car il élimine les débris qui peuvent entrainer le colmatage du réseau de vides communiquants.

Des contrôles ou évaluations de la drainabilité de la surface doivent être menés. Cela peut être fait par des contrôles visuels lors d'épisodes de pluie ou par des essais de drainabilité in situ (NF EN 12 697-40 ou ASTM C 1701).

Ces inspections, permettant d'évaluer la drainabilité de la surface, devront être documentées pour garantir un bon suivi et ajuster la fréquence de nettoyage si nécessaire.

Photo 16 - Balayage et aspiration

6.2.3 Les techniques pour limiter le colmatage des revêtements drainants en éléments préfabriqués en béton

Les méthodes de nettoyage recommandées sont le lavage et l'aspiration. Il faudra cependant limiter la puissance et la fréquence des nettoyages par aspiration afin d'éviter le dégarnissage des joints.

Toutefois, dans le cas des paves poreux, le nettoyage des joints et des pores peut se faire à l'aide d'une balayeuse aspiratrice ou d'un nettoyeur vapeur sous faible pression.

Photo 17 - Revêtement de plus de 10 ans, conforme à sa destination, ayant bénéficié d'un entretien courant régulier

6.2.4 Les techniques de décolmatage des revêtements drainants en éléments préfabriqués en béton

Lorsqu'un lavage à l'eau sous pression est pratiqué, la pression ne doit pas dépasser 4 à 5 MPa (40 à 50 bars) 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 et ouvertures de drainage.

En cas de dégarnissage des joints et ouvertures de drainage, des opérations de regarnissage sont nécessaires.

Si le produit est très colmaté, il est possible de le démonter, suivant les étapes de la Figure 27 (paragraphe 6.5.5 du présent chapitre) et de le remplacer par un autre produit neuf ou nettoyé).

Dans le cas des pavés à joints larges, perforés ou dalles drainantes gravillonnées, le décolmatage consiste à retirer les matériaux de jointoiement et à les remplacer par un matériau neuf ou à les réutiliser après nettoyage.

6.3 LES GESTION DES POLLUANTS

6.3.1 Introduction

Les principaux paramètres de la pollution des eaux de ruissellement de chaussées sont :

- Pour la pollution mécanique :
  - les MES : matières en suspension.
- Pour la pollution organique :
  - la DCO : demande chimique en oxygène ;
  - la DBO5 : demande biochimique en oxygène en 5 jours (à un degré moindre) ;
  - les MVS : matières volatiles en suspension.
- Pour la pollution par les métaux lourds et les hydrocarbures :
  - le plomb (Pb) et les hydrocarbures totaux (HC) ;
  - le mercure (Hg) ;
  - le zinc (Zn), le cuivre (Cu) et le cadmium (Cd).

La production des polluants peut être d'origine :

- Chronique : il s'agit des retombées atmosphériques sèches, des apports des véhicules (carrosserie, gaz d'échappement, hydrocarbures, usure des pneumatiques, etc.), de l'usure des chaussées.
- Saisonnière : il s'agit essentiellement des sels de déverglaçage en hiver *(voir paragraphe 6.4. Gestion hivernale).*
- Accidentelle : il s'agit de déversements accidentels de chargements dangereux.

6.3.2 Pollution chronique

Les revêtements drainants en éléments préfabriqués en béton opèrent une diminution significative de la pollution. En effet, deux phénomènes contribuent à cette efficience :

- L'eau s'infiltre à proximité immédiate du point où elle a atteint la surface. Ceci permet d'éviter le ruissellement et par conséquent l'eau ne se charge pas en polluants.
- Les polluants sont piégés et réduits pour les raisons suivantes :
  - le rôle de filtre joue par les différentes couches poreuses ;
  - les possibilités de décantation dues à la faible vitesse des écoulements dans ces structures ;
  - la réduction de la pollution organique grâce à l'action de l'oxygène ;
  - l'infiltration éventuelle dans le sol sous-jacent.

S'agissant de la pollution du sol sous-jacent, le risque de contamination n'existe que lorsque l'évacuation de l'eau stockée est prévue uniquement par infiltration. La présence d'un géotextile constitue dans ce cas un piège à polluants efficace, encore plus efficace avec le temps à mesure que progresse son colmatage. La localisation précise des polluants facilitera leur traitement en fin de vie de l'ouvrage.

6.3.3 Pollution accidentelle

Par rapport aux chaussées classiques, les revêtements drainants en éléments préfabriqués en béton présentent l'avantage de localiser et de confiner la pollution, de ralentir sa propagation et d'offrir des possibilités

d'action, par rinçage et aspiration notamment. Le principe est moins évident dans le cas où l'infiltration est préconisée (ce qui n'est pas le cas dans les zones à risques), mais le ralentissement de la progression de la pollution est tel que les interventions restent possibles. Toutefois, en cas d'infiltration accidentelle de polluants en quantité importante, il faut venir l'aspirer le plus rapidement possible.

6.4 GESTION HIVERNALE

Dans le présent guide, les revêtements drainants en éléments préfabriqués en béton sont essentiellement prévus pour des aménagements en milieu urbain. Ceci aura pour conséquence :

- Susceptibilités importantes aux problèmes de colmatage, en raison de la présence de sources polluantes nombreuses telles que les végétaux, l'activité et la concentration urbaines, les travaux urbains et les travaux sous voiries.
- Susceptibilités limitées aux problèmes climatiques du fait de la protection apportée par le bâti et les sources de chaleur qui irriguent le bâti et plus globalement la ville.

Ainsi, l'environnement le plus courant pour ces matériaux sera un gel faible ou modéré et un salage peu fréquent ou rare.

Dans les régions à gel sévère et un salage fréquent, des produits coulés en place ou préfabriqués peuvent être proposés après étude spécifique qui tiendra compte de l'expérience locale.

En résumé, les revêtements drainants en éléments préfabriqués en béton présentent l'intérêt majeur de supprimer le ruissellement urbain et ses effets néfastes. Mais, il faut prendre conscience que ces revêtements nécessitent une exploitation hivernale adaptée.

6.4.1 Résistance au gel/dégel

Les cycles de gel/dégel pourraient poser problème si l'espace disponible pour l'eau au moment du gel était insuffisant. Or, d'une part, l'eau s'écoule rapidement à travers la structure, et d'autre part, si l'eau venait à rester dans la structure, l'espace libre présent dans cette dernière est suffisant pour permettre l'expansion de l'eau gelée.

La surface spécifique plus importante d'un revêtement drainant génère des échanges thermiques plus rapides. Par conséquent, au moment du dégel, il y a accélération de la fonte de la neige en surface par rapport à une surface imperméable. En revanche, à cause de ces échanges thermiques plus rapides, le verglas risque d'apparaitre plus rapidement sur des revêtements drainants que sur des surfaces imperméables. Cet aspect doit donc être pris en compte par le gestionnaire de la voirie, en adaptant les conditions de salage.

6.4.2 Agents de déverglaçage ou fondants

L'utilisation des agents de déverglaçage sur les revêtements drainants appelle à prendre les précautions suivantes :

- Choix d'un agent de déverglaçage à faible quantité d'insolubles (Sel de classe A de préférence, selon la norme NF EN 16811-1), afin d'éviter le colmatage.
- Utilisation raisonnée du salage (quantité et fréquence).

6.4.3 Déneigement

Différentes options sont possibles selon la quantité de neige et la surface à déneiger (pelle, brosse rotative, souffleuse ou fraise à neige, déneigeuse...). Quel que soit l'outil choisi, il faudra privilégier les grattoirs en caoutchouc ou en plastique et éviter les grattoirs métalliques.

Par ailleurs, la surface drainante ne doit pas être utilisée comme une zone de stockage de la neige retirée d'autres zones. En effet, la neige pourrait contenir des débris qui viendraient lors de la fonte colmater la surface. De plus, la neige peut également avoir une forte teneur en sels de déverglaçage, ce qui entrainerait une pollution de la nappe lors de la fonte.

6.5 RÉPARATIONS

6.5.1 Introduction

Bien conçus, bien dimensionnés et bien réalisés, les aménagements en revêtements drainants en éléments préfabriqués en béton assurent un service optimal durant toute leur durée de service. Toutefois, à l'instar de toute autre technique de voirie, les revêtements drainants en éléments préfabriqués en béton vieillissent sous l'effet des sollicitations mécaniques et climatiques et, s'agissant de l'urbain, des interventions sous voiries sont nécessitées par la gestion des réseaux ou suite à des changements d'affectation lies a l'évolutivité du milieu urbain.

6.5.2 Regarnissage des joints

Les joints 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.

6.5.3 Endommagement des produits

De par la modularité du revêtement en éléments préfabriqués, les produits éventuellement abimes peuvent être déposés, puis remplacés par des produits neufs *(cf. Figure 27)*.

6.5.4 Orniérage/enfoncement

Lors d'enfoncement et/ou d'orniérage constatés de la voirie, il convient de déposer le revêtement, procéder au remplissage et ou à la réparation de la couche de fondation, puis de reposer les produits (cf. Figure 27).

6.5.5 Démontage et remplacement des produits

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, comme le montre la *Figure 26*.

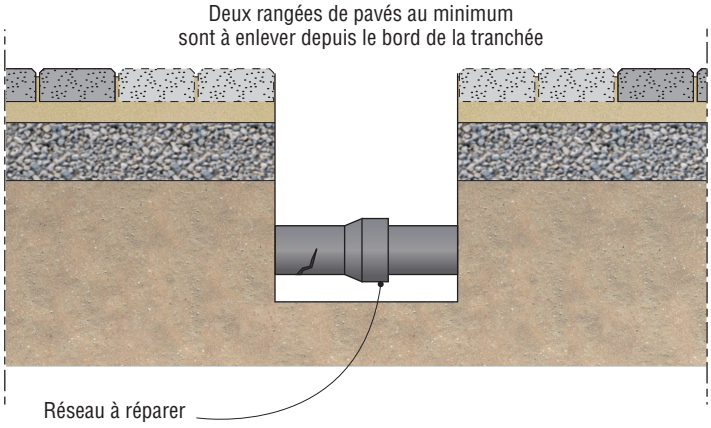


Figure 26 - Dépose du revêtement en produits modulaires pour accéder à la zone d'intervention sur réseau

La nature démontable des pavés et des 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 présentée par la *Figure 27*.

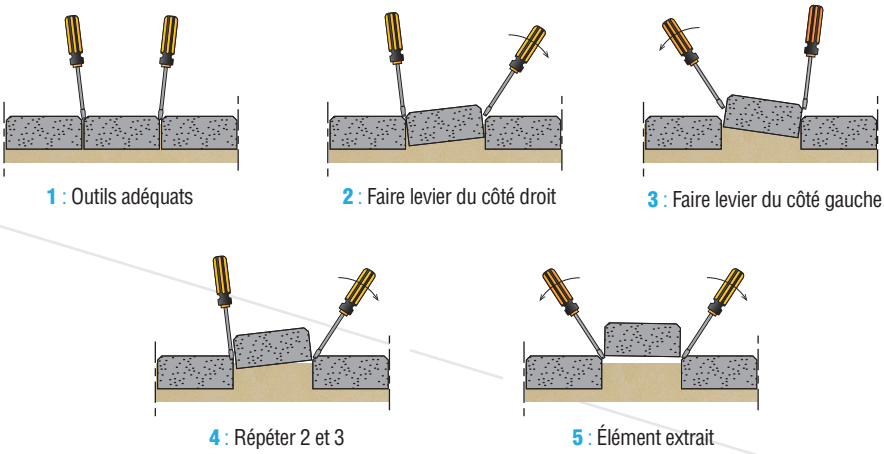


Figure 27 - Méthode non destructive d'enlèvement de produit

La repose des produits 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 réemploi, les produits seront brossés si nécessaire pour retirer tous débris ou particules de sol fixés sur le produit.

6.5.6 Cas particulier de l'entretien des revêtements végétalisés

En fonction de la nature du couvert utilisé, l'entretien à apporter au végétal sera plus ou moins important. Un « gazon »nécessitera pour conserver sa densité un entretien adapté :

- Fertilisation : par apport d'engrais à action prolongée, deux fois par an.
- Arrosage : on devra veiller à un apport régulier d'eau suffisant et adapté à l'essence végétale, surtout dans les périodes de faible pluviométrie ou de sècheresse.
- Tonte : sa fréquence varie en fonction des conditions météorologiques et des essences choisies. Il est préférable de tondre régulièrement au printemps et à l'automne en laissant 5 cm de pousse au-dessus du matériau béton. Il convient d'éviter la tonte en période de sécheresse pour éviter son dessèchement et par temps humide pour éviter la propagation des maladies.
- Désherbage : le recours aux pesticides et aux désherbants est de plus en plus limite. Une « gestion différenciée » est possible en « laissant faire la nature », afin de conserver des refuges de biodiversité qu'un entretien intensif contribuerait à appauvrir et menacer.

6.6 CONCLUSION

Comme pour toute voirie et espace public, le gestionnaire doit assurer un suivi et des opérations d'entretien permettant d'assurer la continuité du service. Au-delà de la vigilance à accorder à la propreté, la sécurité et le confort des usagers, les surfaces drainantes appellent à porter un regard spécifique sur le colmatage, la gestion des polluants, la gestion hivernale et les réparations y compris pour celles concernant les interventions sur réseaux enterres.

Parmi les spécificités des surfaces drainantes en éléments préfabriquées en béton, il est mis en exergue le rôle et la complémentarité de la prévention versus les opérations curatives s'agissant du colmatage/décolmatage selon des processus parfaitement maitrisés. Les consignes d'action pour une gestion hivernale efficace sur les territoires concernes, et les bénéfices de la suppression du ruissellement tout comme l'effet filtre pour la gestion des polluants doivent être bien intégrés par les acteurs de la voirie. Ajoutées à des techniques de réparation parfaitement codifiées, les présentes recommandations soulignent les avantages des revêtements drainants en éléments préfabriqués en béton. En ce sens, les connaissances et les retours d'expérience sur l'ensemble des facettes de l'exploitation et de l'entretien des revêtements drainants en éléments préfabriqués en béton confortent le regard positif que l'on peut leur accorder.

BIBLIOGRAPHIE

OUVRAGES

[1] SETRA/LCPC
Guide technique « Conception et dimensionnement des structures de chaussée »
1994

[2] SETRA/LCPC
Guide technique « Chaussées en béton »
2000

[3] CERTU/LCPC/IVF
Guide technique « Chaussées urbaines en béton »
1996

[4] CERTU
Guide technique « Chaussées poreuses urbaines »
1999

[5] CERTU
La ville et son assainissement. Principe, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau. L'essentiel.
2003

[6] Circulaire interministérielle N° 77-284/INT
Instruction technique relative aux réseaux d'assainissement des agglomérations
1977

[7] CIMBETON
T50 « Voiries et Aménagements urbains en béton : Tome 1 : Conception et dimensionnement »
2009

[8] CIMBETON
T51 « Voiries et Aménagements urbains en béton : Tome 2 : Mise en œuvre »
2009

[9] CIMBETON
T57 « Voiries et Aménagements urbains en béton : Revêtements et structures réservoirs »
2007

[10] CIMBETON
T54 « Aménagements urbains et produits de voirie en béton. Conception et réalisation »
2011

[11] SPECBEA

Les bétons décoratifs : Voiries et aménagements urbains. Tome 1 : Finitions, gestes et techniques

2014

[12] CERIB/FIB

Logiciel VOIRIB « Dimensionnement et mise en œuvre des chaussées revêtues de pavés ou de dalles en béton »

2007

[13] CERIB

Référentiel technique 353.E v2 « Eléments modulaires en béton pour revêtement des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales »

2017

[14] CERIB

Rapport d'études et recherches n°501.E « Dimensionnement mécanique des dalles drainantes engazonnées ou gravillonnées »

2015

[15] CERIB

DP 136 « Guide de mise en œuvre des revêtements drainants préfabriqués en béton »

2021

[16] CERTU

L'assainissement pluvial intégré dans l'aménagement. Eléments-clés pour le recours aux techniques alternatives

2006

[17] GRAIE

Pour la gestion des eaux pluviales. Stratégie et solutions techniques

2006

[18] GRAIE/ Notes rédigées par Bernard Chocat et le groupe de travail régional Eaux pluviales et aménagement

Les techniques alternatives pour la gestion des eaux pluviales : risques réels et avantages

2014

[19] GRAIE/ Observatoire Rhône-Alpes

Opérations innovantes pour la gestion des eaux pluviales

2014

[20] GRAIE

Guide pour la prise en compte des eaux pluviales dans les documents de planification et d'urbanisme / Version 2

2014

[21] Programme ECOPLUIES

Guide technique « L'infiltration en questions. Recommandations pour la faisabilité, la conception et la gestion des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain » / Version 2

2009

[22] Université de Lyon
Le campus au fil de l'eau : sous vos pieds, un monde à découvrir
2014

[23] B. Chocat, G. Lecomte, F. Perez, E. Stora et S. Vacherie (Novatech)
Qualité physico-chimique des flux produits par un parking en béton poreux en temps de pluie
2013

[24] B. Chocat et le GRAIE
Les revêtements poreux. Infiltration directe des eaux de parking et de voiries tertiaires à travers le revêtement ; VRAI ou FAUX
2014

[25] SYMASOL
Les structures réservoirs. Gestion des eaux pluviales : guide pour la mise en œuvre de techniques alternatives
2016

[26] FIB
Recommandations pour la pose des dalles gazon. Syndicat national des fabricants de produits en béton pour voirie de surface et signalisation.

[27] B. Chocat, Méli Mélo
Faut-il infiltrer les eaux pluviales en ville ?
2015

[28] A. Pourche, E. Sibeud
Guide méthodologique « Aménagement et eaux pluviales. Traitement de la pollution des eaux pluviales et protection des milieux aquatiques sur le territoire du Grand Lyon
2013

[29] F. Valiron et J.-P. Tabuchi / Tec et doc. Lavoisier
Maitrise de la pollution urbaine par temps de pluie
1992

[30] A. Musy, M. Soutter / Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes
Physique du sol
1991

[31] CERTU
La ville et son assainissement : Principe, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau
2003

[32] CESI Nanterre
Colloque « La ville durable »
2013

[33] Lille Métropole
Guide de gestion durable des eaux pluviales
2012

[34] National Ready Mix Concrete Association
Pervious Concrete Contractor Certification
2005

[35] Centre de recherches routières
Annexe au Bulletin CRR n°77 « Revêtements drainants en pavés de béton »
2008

[36] Association Béton Québec
Bulletin technique « Le béton drainant » / 3e edition
2014

[37] Association Canadienne du Ciment
Le béton drainant : Quand il pleut ... il draine »

[38] Interpave
Guide to the design, construction and maintenance of concrete block permeable pavements / Edition 6
2010

[39] National Ready Mix Concrete Association
Freeze-Thaw Resistance of Pervious Concrete
2004

[40] R. J. Winston, A. L. Al-Rubaei, G. T. Blecken, and W. F. Hunt. / Novatech
Maintenance for Preservation and Recovery of Permeable Pavement Hydraulics : Effects of Vacuum Cleaning, High Pressure Washing, Street Sweeping, and Milling
2016

[41] M. Chopra, S. Kakuturu, C. Ballock, J. Spence, J. Wanielista / Journal of Hydrologic Engineering, ASCE
Effect of Rejuvenation Methods on the Infiltration Rates of Pervious Concrete Pavements
2010

[42] V. Colandini / Thèse Université de Pau et des Pays de l'Adour
Effets des structures réservoirs à revêtement poreux sur les eaux pluviales : qualité des eaux et devenir des métaux lourds
1997

[43] D. K. Hein, Stormwater, The Journal for surface water quality professionals
Maintenance Guidelines for Permeable Interlocking Concrete Pavement Systems (pages 28-39)
2016

[44] Stormwater Management Academy, University of Central Florida
Construction and Maintenance Assessment of Pervious Concrete Pavements
2007

[45] CPG Pervious Concrete Certification Program
Handbook for Pervious Concrete Certification in Greater Kansas City

[46] D. R. Smith / Interlocking, Concrete Pavement Institute, Herndon, VA, ICPI
Permeable Interlocking Concrete Pavements, Design, Specification, Construction and Maintenance
2011

NORMES ET FASCICULES

[47] ASTM C1701
Test Method for Infiltration Rate in Place Pervious Concrete

[48] NF DTU 64.1
Dispositifs d'assainissement non collectif (dit autonome) – Pour les maisons d'habitation individuelle jusqu'à 20 pièces principales

[49] NF EN 197-1
Ciment – Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants

[50] NF EN 206/CN
Béton – Spécification, performance, production et conformité

[51] NF EN 752
Réseaux d'évacuation et d'assainissement à l'extérieur des bâtiments

[52] NF EN 933-1
Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Partie 1 : détermination de la granularité – Analyse granulométrique par tamisage

[53] NF EN 1338
Pavés en béton – Prescriptions et méthodes d'essai

[54] NF EN 1339
Dalles en béton – Prescriptions et méthodes d'essai

[55] NF EN 10080
Aciers pour l'armature du béton – Aciers soudables pour béton armé – Généralités

[56] NF EN 12697-40
Mélanges bitumineux – Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud – Partie 40 : drainabilité in situ

[57] NF EN 13285
Graves non traitées – Spécifications

[58] NF EN 16811-1

Matériels de viabilité hivernale – Fondants routiers – Partie 1 : chlorure de sodium – Exigences et méthodes d'essai – Matériels de viabilité hivernale – Agents de déverglaçage

[59] NF EN 16933-2

Réseaux d'évacuation et d'assainissement à l'extérieur des bâtiments – Conception hydraulique

[60] NF P 98-115

Assises de chaussées – Exécution des corps de chaussées – Constituants – Composition des mélanges et formulation – Exécution et contrôle

[61] NF P 98-170

Chaussées en béton de ciment – Exécution et contrôle

[62] NF P 98 254-4

Essais relatifs aux chaussées – Mesure de propriétés liées à la perméabilité des matériaux – Partie 4 : mesure de l'écoulement surfacique au perméamètre à charge constante dans un matériau drainant

[63] 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

[64] Fascicule 23

Fournitures de granulats employés à la construction et à l'entretien des chaussées

[65] Fascicule 25

Exécution des assises de chaussées en matériaux non traités et traités aux liants hydrauliques

[66] Fascicule 31

Bordures et caniveaux en pierre naturelle ou en béton et dispositifs de retenue en béton

[67] Fascicule 70

CCTG Ouvrages d'assainissement – Titre II : « Ouvrages de recueil, de restitution et de stockage des eaux pluviales

[68] FD P 18-326

Béton – Zones de gel en France

SITES INTERNET

www.adopta.fr
www.cerib.com
www.fib.org
www.gnis-pedagogie.org
www.graie.org
www.grandlyon.com
www.infociments.fr
www.lesagencesdeleau.fr

ANNEXES

ANNEXE 1 - ESSAI DE PERMÉABILITÉ SUIVANT RÉFÉRENTIEL 353.E V2 DU CERIB

Le but de l'essai est de mesurer la quantité d'eau qui s'infiltre au cours d'un certain temps sur une surface de 1 m² de revêtement perméable, sous une charge constante de 1 cm d'eau réglée à l'aide d'un trop-plein. Le revêtement perméable est constitué des produits en béton et d'un matériau de jointoiement représentatif des matériaux préconisés par le fabricant pour leur mise en œuvre. Le revêtement est testé sans lit de pose, comme l'indique le schéma ci-dessous.

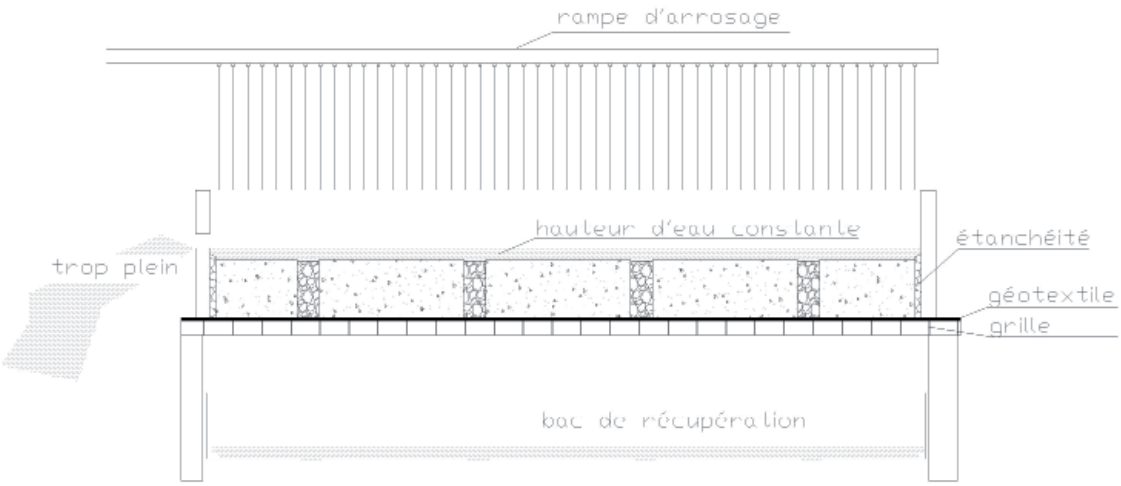


Figure 28 - Schéma de l'essai de détermination du coefficient de perméabilité

Pour chaque surface, le coefficient de perméabilité verticale K est calculé avec la formule :

$$K = \frac{m}{\rho.S.d} - \frac{h}{h + h_w} \quad [m/s]$$

Avec :

m : masse d'eau = m(bac+eau) – m(bac vide) [kg]

ρ : masse volumique de l'eau [kg/m3] : ρ =1000 kg/m^3

S : surface d'essai [m²]

d : durée totale de l'essai [s]

h : hauteur d'infiltration (épaisseur du produit) [m]

h_w : hauteur d'eau (constante réglée par la hauteur du trop-plein) [m]

ANNEXE 2 – TABLEAU RÉCAPITULATIF DES SPÉCIFICATIONS DES PAVÉS POREUX

Le tableau suivant présente une synthèse des caractéristiques que les paves poreux doivent respecter pour satisfaire les différentes exigences fonctionnelles dans le cadre de la certification NF072 « Pavés de voirie en béton ». Il précise les exigences fonctionnelles visées, les références des méthodes d'essais et le cas échéant les classes de performances de la norme NF EN 1338 retenue.

EXIGENCES FONCTIONNELLES	CARACTÉRISTIQUES	SPÉCIFICATIONS	MODALITÉ D'ESSAI
SPECIFICATIONS GENERALES			
Infiltration des eaux pluviales	Coefficient de perméabilité k1/k2/k3	Coefficient de perméabilité k1 / k2 / k3 avec : 10^{-5}m/s < k3 ≤ 10^{-4}m/s 10^{-4}m/s < k2 ≤ 10^{-3}m/s k1 >10^{-3}m/s	Essai en condition de pose (pavés + matériau de jointoiement) selon protocole CERIB 353.E v2
Perméabilité	Détermination de la perméabilité à l'eau	Valeur déclarée par le fabricant sur la base d'une série de 5 essais	Selon protocole CERIB Annexe 1 Détermination de la perméabilité à l'eau (référentiel NF072)
Caractéristiques visuelles (esthétique)	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 • Pour les pavés d'épaisseur ≥ 100 mm : ± 4 mm **DE PLUS** • Aucun résultat < 77 mm pour les pavés de **classe T3-**	
	Différence entre 2 mesurages de l'épaisseur sur un même pavé	≤ 3 mm	
	Chanfrein – dépouille	Valeurs à déclarer et à tolérancer par le fabricant	
	Planéité et courbure si longueur et/ou largeur > 300 mm	Tableau 3 de NF EN 1338	
	Pour les diagonales > 300 mm	Différences entre 2 diagonales ≤ 3 mm (classe K de NF EN 1338)	
Résistance mécanique (tenue au trafic)	Résistance à la rupture en traction par fendage (MPa)	Valeur caractéristique : 3,0 Borne : 3,4	Annexe F de NF EN 1338 et Fascicule 70 titre II
Résistance aux agressions climatiques (pérennité)	Absorption d'eau	Performance non applicable	
CARACTERISTIQUE OPTIONNELLE			
Résistance à l'abrasion	Essai au disque large	Non mesurée ou ≤ 23 mm (classe F ou H de NF EN 1338)	Annexe G de NF EN 1338

ANNEXE 3 – TABLEAU RÉCAPITULATIF DES SPÉCIFICATIONS DES PAVÉS À JOINTS LARGES ET PAVÉS À OUVERTURES DE DRAINAGE

Le tableau, ci-après, présente une synthèse des caractéristiques que les pavés à joints larges doivent respecter pour satisfaire les différentes exigences fonctionnelles dans le cadre de la certification NF072 « Pavés de voirie en béton ». Il précise les exigences fonctionnelles visées, les références des méthodes d'essais et le cas échéant les classes de performances de la norme NF EN 1338 retenue.

EXIGENCES FONCTIONNELLES	CARACTÉRISTIQUES	SPÉCIFICATIONS	MODALITÉ D'ESSAI
SPECIFICATIONS GENERALES			
Infiltration des eaux pluviales	Coefficient de perméabilité k1/k2/k3	Coefficient de perméabilité k1 / k2 / k3 avec : 10^{-5} m/s < k3 ≤ 10^{-4} m/s 10^{-4} m/s < k2 ≤ 10^{-3} m/s k1 >10^{-3} m/s	Essai en condition de pose (pavés + matériau de jointoiement) selon protocole CERIB 353.E v2
Caractéristiques visuelles (esthétique)	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 • Pour les pavés d'épaisseur ≥ 100 mm : ± 4 mm **DE PLUS** • Aucun résultat < 57 mm pour les pavés de classe T5 • Aucun résultat < 77 mm pour les pavés de classe T3-4	
	Différence entre 2 mesurages de l'épaisseur sur un même pavé	≤ 3 mm	
Caractéristiques géométriques	Chanfrein – dépouille	Valeurs à déclarer et à tolérancer par le fabricant	Annexe C de NF EN 1338
	Planéité et courbure si longueur et/ou largeur > 300 mm	Tableau 3 de NF EN 1338	
	Pour les diagonales > 300 mm	Différences entre 2 diagonales ≤ 3 mm (classe K de NF EN 1338)	
	Écarteurs intégrés	Hauteur tolérance de ± 2 mm Largeur tolérance de ± 2 mm Épaisseur de l'écarteur tolérance de ± 2 mm	Selon le protocole de mesurage établi par le fabricant
Résistance mécanique (tenue au trafic)	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	

➜

EXIGENCES FONCTIONNELLES	CARACTÉRISTIQUES	SPÉCIFICATIONS	MODALITÉ D'ESSAI
SPECIFICATIONS GENERALES			
Résistance aux agressions climatiques (pérennité)	Absorption d'eau	≤ 6 % en masse	Annexe E de NF EN 1338
Résistance à l'abrasion (esthétique, pérennité, tenue au trafic)	Essai au disque large	≤ 23 mm	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
CARACTERISTIQUE OPTIONNELLE			
Résistance renforcée au gel/dégel avec sels de déverglaçage (résistance aux agressions climatiques)		Perte de masse gel/dégel + sel ≤ 1,0 kg/m² en moyenne avec aucun résultat individuel > 1,5 kg/m²	Annexe D de NF EN 1338

ANNEXE 4 – TABLEAU RÉCAPITULATIF DES SPÉCIFICATIONS DES DALLES DRAINANTES

Le tableau ci-après présente une synthèse des caractéristiques que les dalles drainantes doivent respecter pour satisfaire les différentes exigences fonctionnelles dans le cadre de la certification NF187 « Dalles de voirie et toiture en béton ». Il précise les exigences fonctionnelles visées, les références des méthodes d'essais et le cas échéant les classes de performances de la norme NF EN 1339 retenue.

EXIGENCES FONCTIONNELLES	CARACTERISTIQUES	SPECIFICATIONS	MODALITÉ D'ESSAI
SPECIFICATIONS GENERALES			
Infiltration des eaux pluviales	Coefficient de perméabilité k1/k2/k3	Coefficient de perméabilité k1 / k2 / k3 avec : 10^{-5} m/s < k3 ≤ 10^{-4} m/s 10^{-4} m/s < k2 ≤ 10^{-3} m/s k1 >10^{-3} m/s	Essai en condition de pose (dalles + matériau de remplissage recommandé par le fabricant) selon protocole CERIB 353.E v2
Caractéristiques visuelles (esthétique)	Aspect, texture et couleur	§ 5.4 de NF EN 1339	Annexe J de NF EN 1339
Caractéristiques géométriques (esthétique, facilité de mise en œuvre)	Épaisseur de la couche de parement	≥ 4 mm	Annexe C de NF EN 1339
	Longueur et largeur	• Pour les dalles de longueur ou largeur ≤ 600 mm : ± 2 mm • Pour les pavés d'épaisseur > 600 mm : ± 3 mm	
	Épaisseur	± 3 mm	
	Différence entre 2 mesurages de la longueur, de la largeur ou 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	Différences entre 2 diagonales ≤ 3 mm (classe K de NF EN 1339)	
	Dimension des ouvertures	Selon le protocole établi par le fabricant ± 2 mm	
Résistance mécanique	Résistance à la flexion (MPa)	3,5 MPa minimum	Annexe F de NF EN 1339 et méthode de détermination de la charge de rupture en service équivalente selon publication CERIB 501.E
	Charge de rupture (kN)	Valeur déclarée par le fabricant sur la base d'une série de 15 essais permettant de définir les valeurs caractéristiques du modèle	
Tenue au trafic	Résistance mécanique en conditions de pose	7 classes telles que définies à la section A/1/2 (référentiel NF187) et charge de rupture associée	Essai en condition de pose (dalles + matériau de remplissage recommandé par le fabricant) selon publication CERIB 501.E
Résistance aux agressions climatiques (pérennité)	Absorption d'eau	≤ 6 % en masse (classe B de la NF EN 1339)	Annexe E de NF EN 1339
CARACTERISTIQUE OPTIONNELLE			
Résistance renforcée au gel/dégel sans sels de déverglaçage		Pas de dégradation	Annexe A de NF EN 13198

ANNEXE 5 – DÉFINITIONS RELATIVES AU DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE

Les définitions des concepts, critères, unités et grandeurs utilises pour réaliser le dimensionnement hydraulique sont rappelés ci-dessous.

DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE : DEFINITIONS

1/ Évènement pluvieux – Un évènement pluvieux est caractérisé par :

- La durée totale de l'évènement (en minutes ou en heures).
- La hauteur totale de la pluie (en millimètres).
- La hauteur de pluie précipitée sous différentes durées (en millimètres).
- L'intensité maximale de la pluie pour différentes durées (en millimètres par heure).

Ces données sont mises en forme sur des abaques (hyétogrammes) donnant, pour un site ou un territoire donne, soit une relation « Intensité, durée, fréquence des pluies », soit une relation « hauteur, durée, fréquence des pluies ».

2/ Pluie de projet – Une pluie de projet est définie par :

- Sa période de retour (T en années).
- Sa durée (en minutes ou en heures).

Plus la période de retour est élevée, plus la pluie est intense. Plus la durée de la pluie est élevée, moins la pluie est intense.

3/ Perméabilité, Conductivité hydraulique, Coefficient de perméabilité

- Perméabilité.
- C'est la caractéristique intrinsèque d'un milieu a laisser circuler tout liquide.
- Conductivité hydraulique.
- Il s'agit de la perméabilité, telle que définie ci-dessus, appliquée pour le liquide particulier qu'est l'eau qui intéresse tous les projets d'aménagement extérieurs.
- Coefficient de perméabilité K.
- Autre expression de la conductivité hydraulique, préférentiellement utilisée en Travaux Publics pour des voiries de zones d'aménagement et aires à plat diverses.

Le Tableau 2 mentionne les unités usuellement rencontrées dans la littérature technique et dans les projets et les correspondances entre elles.

Unité mm/min	m/s	l/s/ha
1	1/1000 x 60 = 1,67x104	10000/60 = 166,7
Unité m/s	mm/mn	l/s/ha
1	60 000	107
Unité l/s/ha	mm/mn	m/s
1	0,006	10-7

Tableau 2 - Unités fréquemment utilisées pour la caractérisation du coefficient de perméabilité K.

Le coefficient de perméabilité du sol en place peut être estimé via des ordres de grandeur selon la nature du sol *(Tableau 3)* ou bien déterminé par un essai de type Porchet ou Guelph comme indique dans les normes NF P 98-335 et NF DTU 64.1.

K (m/s)	10^{-1} 10^{-2} 10^{-3}	10^{-4} 10^{-5}	10^{-6} 10^{-7} 10^{-8}	10^{-9} 10^{-10} 10^{-11}
Types de sols	Gravier sans sable ni éléments fins	Sable avec gravier Sable grossier à sable fin	Sable très fin Limon grossier à limon argileux	Argile limoneuse à argile homogène
Possibilités d'infiltration	Excellentes	Bonnes	Moyennes à faibles	Faibles à nulles

Tableau 3 - Ordre de grandeur de conductivité hydraulique dans différents sols (d'après Musy et Soutter 1991, cité dans Barraud et collab 2006).

A titre indicatif, pour illustrer physiquement les réponses à l'infiltration des différentes valeurs de la conductivité hydraulique K, le *Tableau 4* donne les débits de fuite d'infiltration et les durées de vidange totale sous une lame d'eau de 1,50 m.

NATURE DES TERRAINS	PERMÉABILITÉ VERTICALE m/s	DÉBIT DE FUITE m3/j/ha D'INFILTRATION	DURÉE DE VIDANGE TOTALE D'UNE LAME D'EAU DE 1,50 m
Argiles	10-9	0,86	> 45 ans
Marnes	10-8	8,64	> 45 mois
	10-7	86,40	< 6 mois
Limons			
Sables fins	10-6	864	> 20 jours
	10-5	8 640	> 2 jours
Sables grossiers			
Roches fissurées	10-4	86 400	> 4 heures
	10-3	864 000	< 20 minutes

Tableau 4 - Infiltration et durée de vidange d'un plan d'eau en fonction de la perméabilité du sol.

4/ Objectif de protection et coefficient de sécurité

- Objectif de protection

Il revient au maitre d'ouvrage de définir le niveau souhaite par le choix d'une période de retour et la durée de la pluie de dimensionnement qui oriente vers les pluies extrêmes d'orage, les fortes précipitations ou les précipitations courantes moyennes ou faibles.

- Coefficient de sécurité

Son fondement est d'anticiper le risque d'encrassement du revêtement se concrétisant par un phénomène de colmatage partiel. Il est communément admis qu'un coefficient de sécurité de 10 permet de maitriser ce risque pour une durée de service de 20 ans sans entretien. Concrètement, cela consiste à choisir un coefficient de perméabilité du revêtement drainant à la mise en service de l'ouvrage 10 fois supérieur à celui strictement nécessaire à celui requis pour la pluie de dimensionnement pour son infiltration immédiate et l'absence de flaques sur le revêtement.

INDEX DES FIGURES

Figure 1 - Schéma illustratif de l'influence des voiries urbaines sur le cycle de l'eau (d'après le guide T57 « Revêtement et structures réservoir », Collection Technique, CIMbéton). 7

Figure 2 - Sources de polluants dans le ruissellement urbain (d'après Aménagement et eaux pluviales, Traitement de la pollution des eaux pluviales et protection des milieux aquatiques sur le territoire du Grand Lyon, Guide méthodologique, A. POURCHET, E. SIBEUD, 2013). 8

Figure 3 - *Schéma du cycle de l'eau en milieu urbain (d'après F. Valiron et J.-P. Tabuchi dans « Maîtrise de la pollution urbaine par temps de pluie », Tec et Doc, Lavoisier, 1992).* 9

Figure 4 - Graphique montrant l'augmentation des interventions des services de secours en *fonct*ion de la température. (Source : Ville de Tokyo période juillet/août, années 2003/2006). 10

Figure 5 - *Cadre règlementaire et législatif. (D'après le « Guide pour la prise en compte des eaux pluviales dans les documents de planification et d'urbanisme », Graie).* 11

Figure 6 - *Croquis échelle spatiale. (Dessiné d'après schéma d'Hélène Teulon, colloque la ville durable, CESI Nanterre 28/03/2013).* 13

Figure 7 - Bassin de rétention à sec. 15

Figure 8 - Chaussée à structure réservoir revêtue de pavés poreux (gauche) ou de béton traditionnel (droite). 16

Figure 9 - Puits d'infiltration. 16

Figure 10 - Différents concepts de chaussées à structure réservoir avec entrée d'eau répartie. 18

Figure 11 - Différents concepts de chaussées à structure réservoir avec entrée d'eau localisée. 18

Figure 12 - Schéma illustratif de l'efficience des revêtements drainants et structures poreuses en fonction de la pluviométrie. 20

Figure 13 - Quatre exemples de calepinage de pavés (bleus) posés avec des écarteurs rapportés (rouges). 25

Figure 14 - Principe de l'essai en conditions de pose sur dalles drainantes. 27

Figure 15 - Schémas de chaussées à structure réservoir : (a) infiltration, (b) et (c) infiltration + exutoire (placé à un niveau adapté en fonction de la perméabilité du support). 32

Figure 16 - Exemple de surface drainante avec évacuation de l'eau par l'infiltration directe. 33

Figure 17 - Exemple de structure réservoir avec évacuation de l'eau par infiltration directe. 33

Figure 18 - Exemple de structure réservoir avec évacuation localisée de l'eau vers un exutoire. 34

Figure 19 - Compartiment de chaussée à structure réservoir 35

Figure 20 - Exemple de parking en pavés poreux. 36

Figure 21 - Exemple de stockage sous chaussée et trottoirs à forte pente. 36

Figure 22 - Représentation d'une pluie de projet rectangulaire. 40

F**igure 23 -** Principe de la méthode des pluies. 42

Figure 24 - Mise en perspective des dimensionnements mécanique et hydraulique. 43

Figure 25 - Hypothèses de calcul. 43

Figure 26 - Dépose du revêtement en produits modulaires pour accéder à la zone d'intervention sur réseau. 52

Figure 27 - Méthode non destructive d'enlèvement de produit. 53

Figure 28 - Schéma de l'essai de détermination du coefficient de perméabilité. 60

INDEX DES PHOTOS

Photo 1 - Situation caractéristique des inondations en milieu urbain. 7

Photo 2 - *Noue paysagère associée à un revêtement en produits préfabriqués*. 15

Photo 3 - Tranchée drainante utilisant le produit préfabriqué en béton Hydrocyl®. 17

Photo 4 - Revêtement perméable dans l'aménagement urbain. 17

Photo 5 - Toiture végétalisée. 17

Photo 6 - Photos de revêtements drainants en éléments préfabriqués en béton illustrant une application en parking et trottoir 19

Photo 7 - Aménagements en pavés poreux. 22

Photo 8 - Exemples de pavés à joints larges. 24

Photo 9 - Exemple de pavés à joints larges engazonnés. 24

Photo 10 - Exemples de pavés à joints larges avec écarteurs intégrés. 24

Photo 11 - Aménagement urbain en pavés à joints larges engazonnés, couplé avec une noue paysagère. 25

Photo 12 - Exemple de pavés perforés. 25

Photo 13 - Exemples de dalles drainantes engazonnées ou gravillonnées. 26

Photo 14 - Exemples diversifiés d'emploi de solutions de revêtements drainants en béton pour une large gamme d'usages (produits préfabriqués en béton). 28

Photo 15 - Revêtement drainant en pavés à joints larges couplé à un réseau de noues. 34

Photo 16 - Balayage et aspiration. 49

Photo 17 - Revêtements de plus de 10 ans, conformes à leurs destinations, ayant bénéficié d'un entretien courant régulier. 49

INDEX DES TABLEAUX

Tableau 1 - Dimensionnement mécanique des structures en pavé béton, établi à l'aide du logiciel VoirIB (hypothèses : durée de service 20 ans, taux de croissance annuel du trafic 1%, coefficient d'agressivité moyen 0,2 pour les faibles sollicitations). 38

Tableau 2 - Unités fréquemment utilisées pour la caractérisation du coefficient de perméabilité K. 65

Tableau 3 - Ordre de grandeur de conductivité hydraulique dans différents sols (d'après Musy et Soutter 1991, cité dans Barraud et collab 2006). 66

Tableau 4 - Infiltration et durée de vidange d'un plan d'eau en fonction de la perméabilité du sol. 66

LES
SMART
SYSTÈMES
EN BÉTON

SMART SYSTÈMES EN BÉTON est le nouveau programme de valorisation de l'industrie des produits préfabriqués en béton et de l'intelligence embarquée dans chacun de ses systèmes. Cette intelligence est le fruit d'une expérience passionnée, engagée et collective, qui s'enrichit de chaque nouvel enjeu émergeant pour les professionnels de la construction.

Les SMART SYSTÈMES EN BÉTON, c'est une industrie humaine et responsable, un matériau intelligent au cœur de la vie et au service de tous, des systèmes intelligents pour vous, qui construisez le futur de nos territoires et cadres de vie.

www.smart-systemes-beton.fr

Illustration et réalisation : www.Laubywane.com / copyrights : CERIB - DP 139 mai 2021