SNBPE

BÉTON PRÊT À L'EMPLOI

LUTTER CONTRE L'IMPERMÉABILISATION DES SURFACES URBAINES

Les revêtements drainants en béton

décembre 2019

CIMbéton
CENTRE D'INFORMATION SUR LE CIMENT ET SES APPLICATIONS

SNBPE
SYNDICAT NATIONAL DU BETON PRET A L'EMPLOI

CHAPITRE 1

LUTTER CONTRE L'IMPERMÉABILISATION DES SOLS - LA PROBLÉMATIQUE

1. INTRODUCTION XX
2. LES CONSÉQUENCES DOMMAGEABLES DE L'IMPERMÉABILISATION XX
   2.1. MODIFICATION DU CYCLE NATUREL DE L'EAU XX
   2.2. MODIFICATION DES FONCTIONS DU SOL ET CONSERVATION DE LA NATURE XX
   2.3. IMPACT SUR LE CADRE DE VIE XX
3. UN CADRE RÈGLEMENTAIRE ET LÉGISLATIF ROBUSTE ET EN ÉVOLUTION XX
   3.1. LES RÉFÉRENTIELS XX
   3.2. VERS UNE NOUVELLE APPROCHE DE LA GESTION DES EAUX PLUVIALES XX
   3.3. VERS DE NOUVELLES RÈGLES D'URBANISME ET D'INCITATION FINANCIÈRE XX
   3.4. RÉPONDRE AUX BESOINS D'AUJOURD'HUI ET ANTICIPER LES ATTENTES DE DEMAIN XX
4. CONCLUSION XX

1. INTRODUCTION

Le besoin sociétal de développer la ville, la façon d'urbaniser, les techniques de construction et la nature des matériaux majoritairement utilisés 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 maîtrise 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.

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.

2.1. Modification du cycle naturel de l'eau

Le cycle naturel de l'eau est basé 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 sécheresse. Associé à la végétation, il permet de réguler le microclimat dans les environnements urbains denses. L'urbanisation de plus en

Photos 1 & 2 - Situation caractéristique des inondations en milieu urbain.

plus importante des territoires, l'augmentation des surfaces imperméables et la diminution du nombre d'espaces verts perturbent ce cycle par une :

- Réduction de l'infiltration naturelle voire empêchement de l'absorption, donc une sous-alimentation des nappes phréatiques,
- Réduction de l'absorption par l'absence de végétaux,
- Augmentation du ruissellement et notamment des débits de pointe,
- Réduction des temps que mettent les eaux pluviales pour rejoindre les rivières.

Ces phénomènes se concrétisent par des inondations plus fréquentes (photos 1 et 2) 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 entraînés par les eaux de ruissellement qui présentent une concentration de polluants pouvant porter atteinte au milieu récepteur et limiter les usages de l'eau (figures 1, 2 et 3).

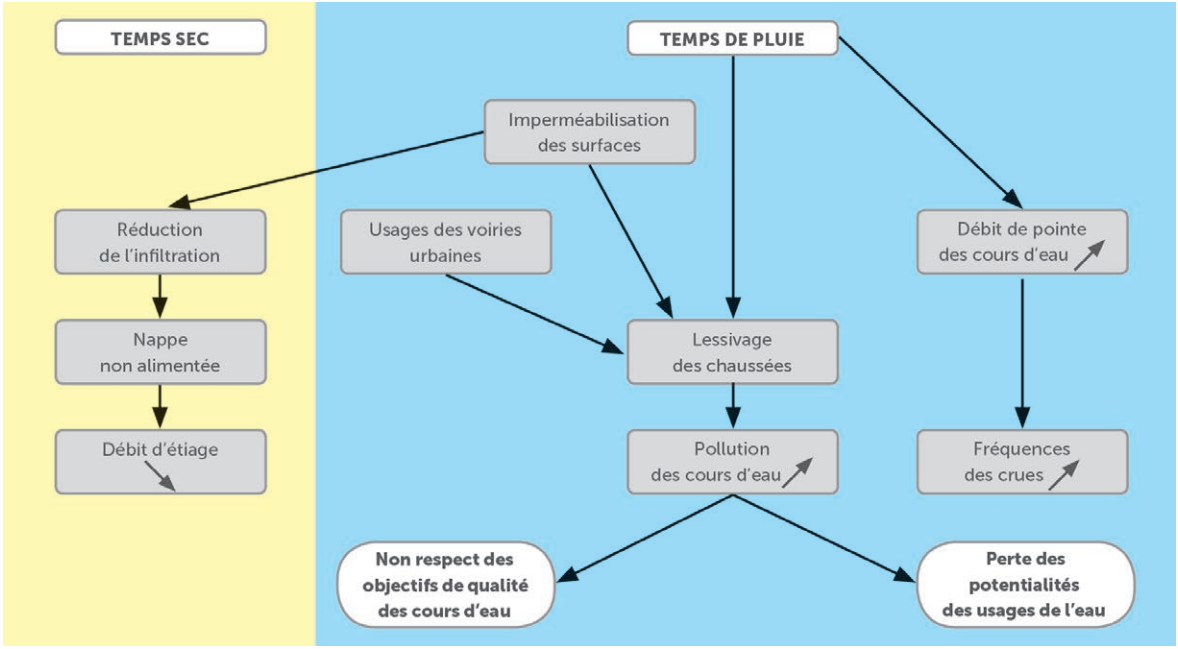


Figure 1 - Schéma illustratif de l'influence des voiries urbaines sur le cycle de l'eau (d'après le guide T57 « Revêtement et structures réservoir », Collection Technique, CIMbéton).

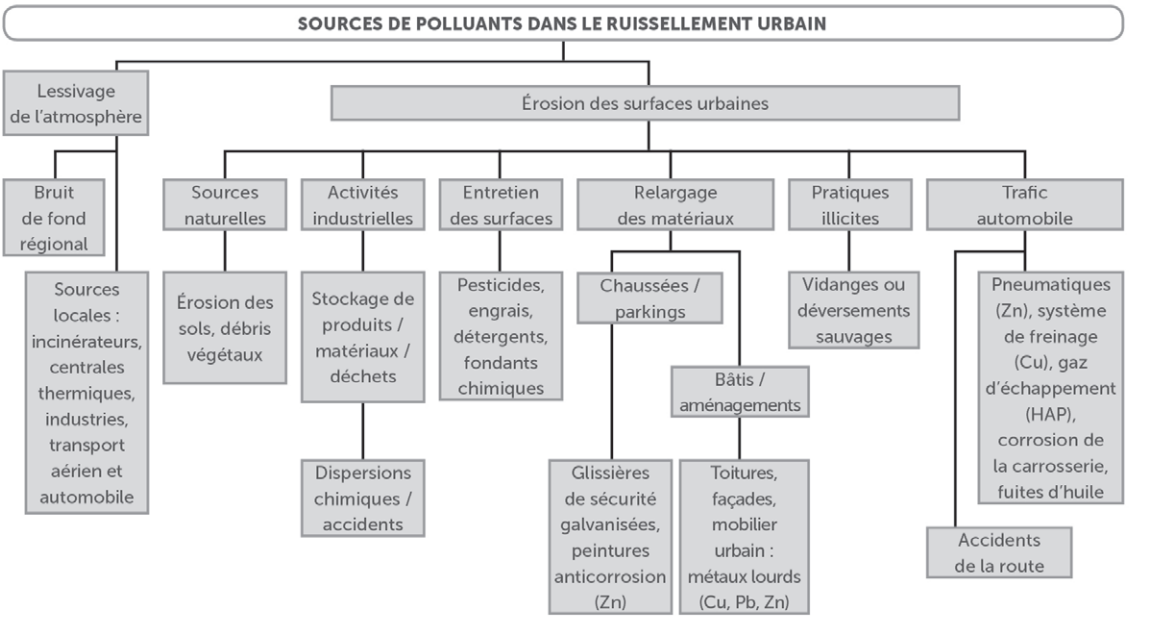


Figure 2 - Sources de polluants dans le ruissellement urbain (d'après Aménagement et eaux pluviales, Traitement de la pollution des eaux pluviales et protection des milieux aquatiques sur le territoire du Grand Lyon, Guide méthodologique, A. POURCHET, E. SIBEUD, 2013).

2.2. Modification des fonctions du sol et conservation de la nature

Photo 3 - Autoroute A1 avant requalification.

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 capacité 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.

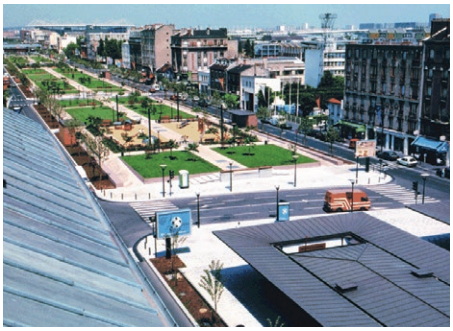


Photo 4 - Autoroute A1 après requalification : couverture et aménagement paysager : jardins Wilson.

Les photos 3 et 4 (© Atelier Corajoud) illustrent le cas emblématique d'un axe structurant majeur qui, il y a fort longtemps a « privé » la ville de son sol, privation aux conséquences dommageables considérables pour les citadins, et dont la prise de conscience a permis la restitution au quartier d'un nouveau sol à forte composante naturelle et la renaissance d'une urbanité retrouvée quelques décennies plus tard.

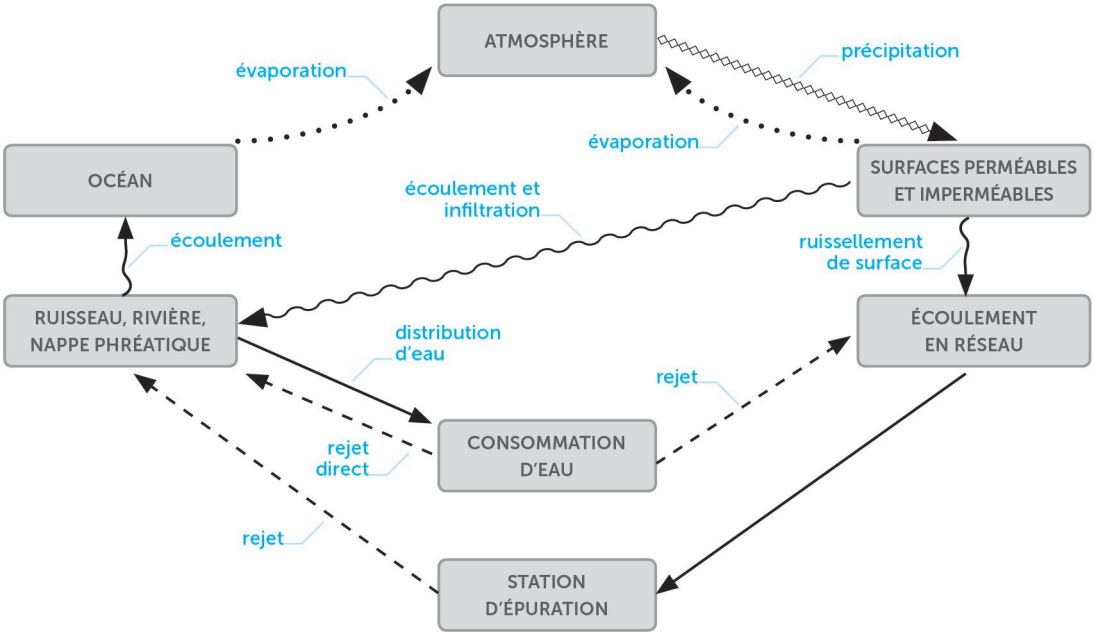


Figure 3 - Schéma du cycle de l'eau en milieu urbain (d'après F. Valiron et J.-P. Tabuchi dans « Maîtrise de la pollution urbaine par temps de pluie », Tec et Doc, Lavoisier, 1992).

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 « îlot de chaleur urbain ». En cas de températures très élevées persistantes (canicules), le phénomène peut avoir des conséquences graves pour la santé 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).

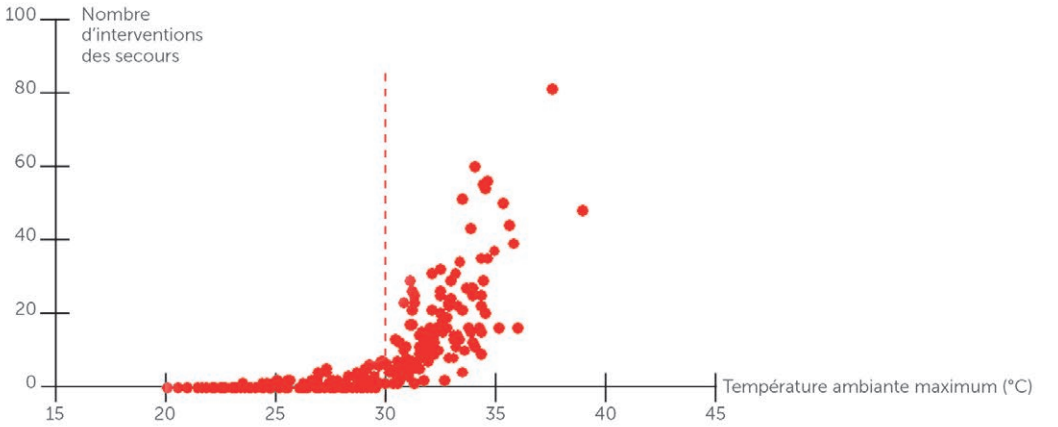


Figure 4 - Graphique montrant l'augmentation des interventions des services de secours en fonction de la température. (Source : Ville de Tokyo période juillet/août, années 2003/2006).

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.

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 autorisés 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 où des mesures doivent être prises pour limiter l'imperméabilisation des sols et pour assurer la maîtrise 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 où 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.

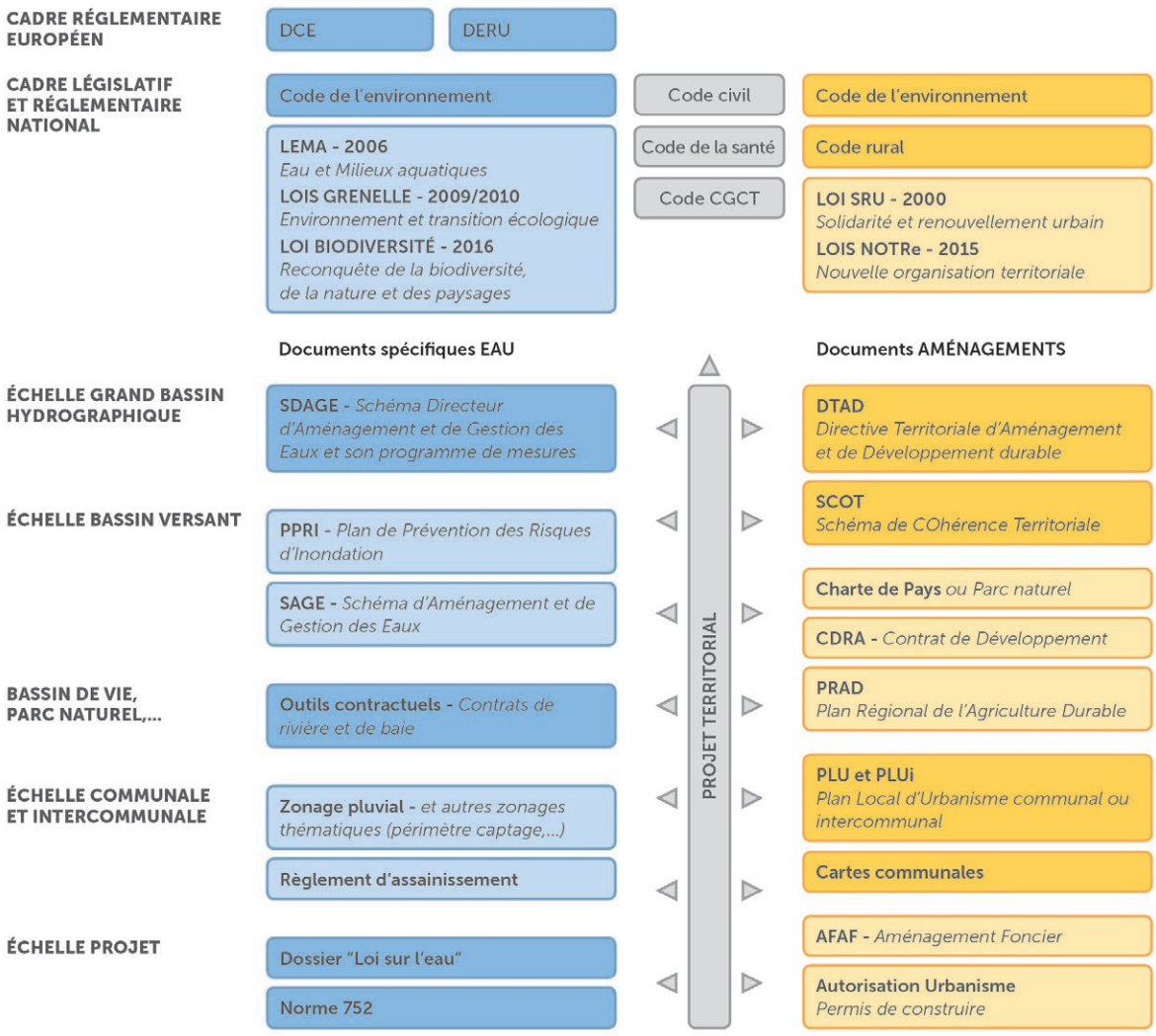


Figure 5 - Cadre règlementaire et législatif. (D'après le « Guide pour la prise en compte des eaux pluviales dans les documents de planification et d'urbanisme », Graie).

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 événements 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 limité, comme il a été rappelé ci-avant, sont insuffisantes vis-à-vis des

événements pluvieux fréquents que sont les petites pluies.

Sur les zones à 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 événements pluvieux courants.
- La maîtrise 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 événements pluvieux importants.

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 à minima toutes les petites pluies à la source et au plus près, en évitant le ruissellement et ses conséquences dommageables, sans se désintéresser des événements 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 coût des projets de requalification de surfaces imperméabilisées existantes, permettant la déconnexion des eaux de pluie du réseau unitaire.

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

Après 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 maître 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 maîtriser 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 événements pluvieux exceptionnels.

La multifonctionnalité peut être étendue à des préoccupations supplémentaires de traitement des îlots 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.

4. CONCLUSION

Ce chapitre a exprimé la problématique de l'imperméabilisation des sols, ses conséquences et les objectifs que doit formuler le maître 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).

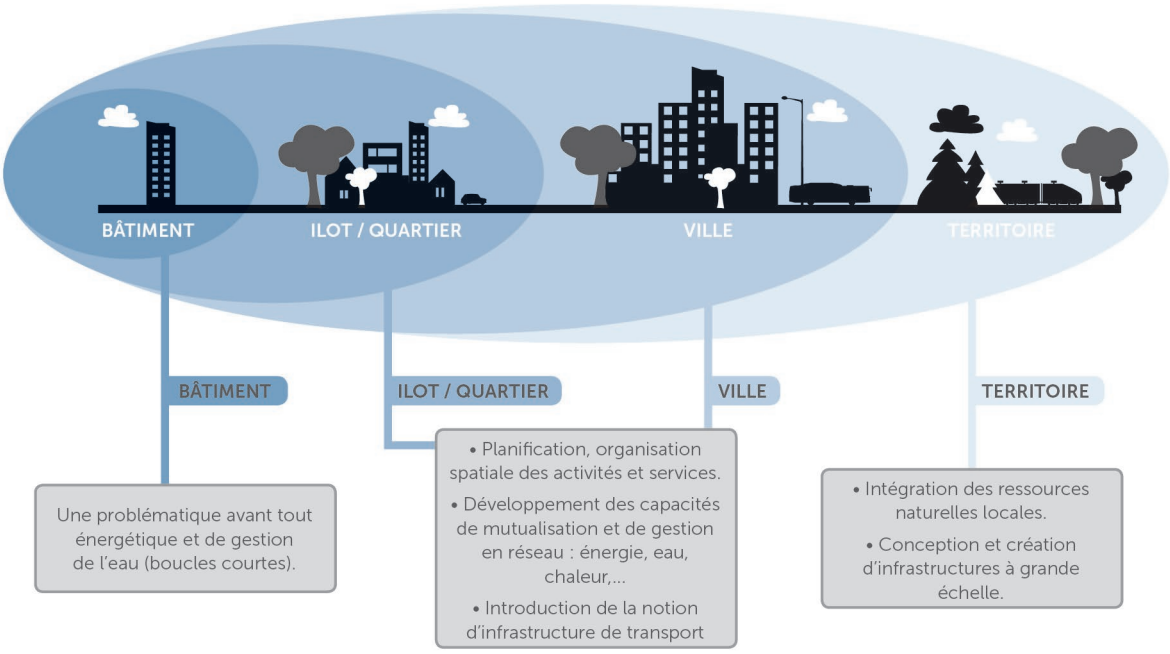


Figure 6 - Croquis échelle spatiale.
(Dessiné d'après schéma d'Hélène Teulon, colloque la ville durable, CESI Nanterre 28/03/2013).

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 maîtrise des règles de l'art d'exécution et d'exploitation qui garantiront les performances attendues dans la durée.

CHAPITRE 2

LUTTER CONTRE L'IMPERMÉABILISATION DES SOLS - LES SOLUTIONS

1. INTRODUCTION XX
1.1. AMÉLIORER, VOIRE REPENSER L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE XX
1.2. FAIRE APPEL À DES TECHNIQUES DE COMPENSATION XX
1.3. METTRE EN PLACE DES SOLUTIONS D'ATTÉNUATION POUR RÉDUIRE LES CONSÉQUENCES DE L'IMPERMÉABILISATION XX
2. LES SOLUTIONS DE REVÊTEMENTS DRAINANTS ET/OU DE STRUCTURES POREUSES XX
2.1. LES SOLUTIONS XX
2.1.1. Chaussées à structure réservoir à revêtement classique ou drainant xx
2.1.2. Revêtements perméables dans l'aménagement des espaces publics xx
2.2. LA CULTURE DE LA GESTION INTÉGRÉE TOUT AU LONG DE LA VIE EN ŒUVRE, DÈS LE PROGRAMME DU MAÎTRE D'OUVRAGE XX
2.3. IDENTIFIER ET METTRE EN PERSPECTIVE LES BESOINS D'AUJOURD'HUI XX
2.4. PRENDRE EN COMPTE LES NOUVEAUX BESOINS XX
3. CONCLUSION XX
PAROLES DE MAÎTRES D'OUVRAGE ET D'EXPERTS XX

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 entraîne un accroissement des risques d'inondation, une diminution de l'alimentation des nappes phréatiques, un accroissement des coûts d'assainissement et des risques de surcharge des stations d'épuration et une augmentation du ruissellement entraînant 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 nécessité 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.

1.1. Améliorer, voire repenser l'aménagement du territoire

Devant l'augmentation démographique continue des villes, les experts s'accordent sur la nécessité 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 urbanisés est susceptible d'entraîner une augmentation de l'imperméabilisation des sols en milieu urbain. Elle pourrait avoir des incidences négatives si elle n'est pas maîtrisée 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 emboîtée 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 bâ-

timents 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.

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 approprié, réalisé ailleurs (par exemple, une voie de Transport Collectif en Site Propre (TCSP) en revêtement imperméable compensée par l'aménagement de parkings de rabattement associés 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).

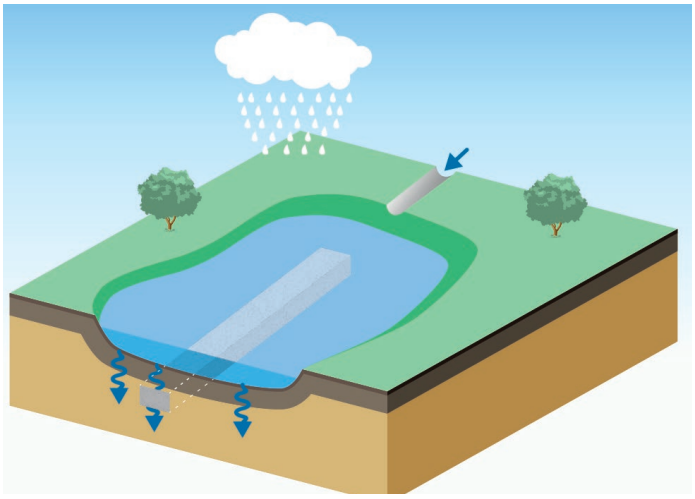


Figure 7 - Bassin de rétention à sec.

Photo 5 - Noue paysagère associée à un revêtement drainant.

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 (photos 5 et 6).
- Chaussée à structure réservoir à revêtement classique ou drainant (figure 8).
- Toiture-terrasse réservoir.

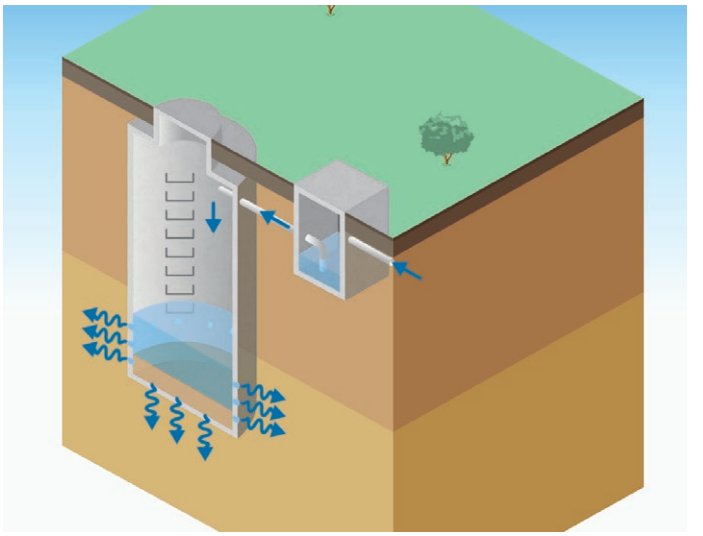


Figure 9 - Puits d'infiltration.

• Les structures à principe d'infiltration (sans régulateur de débit de sortie)

- Puits d'infiltration (figure 9).
- Tranchée drainante (photo 7).
- Revêtements perméables dans l'aménagement des espaces verts et des espaces publics (photo 8).
- Toiture végétalisée : de par sa nature elle compense l'imperméabilisation de la construction, elle est considérée comme perméable (photo 9).

Photo 8 - Revêtement perméable dans l'aménagement urbain.

Photo 9 – Toiture végétalisée.

2. LES SOLUTIONS DE REVÊTEMENTS DRAINANTS ET/OU DE STRUCTURES POREUSES

2.1. Les solutions

2.1.1. Chaussées à structures 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 (figures 10 et 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

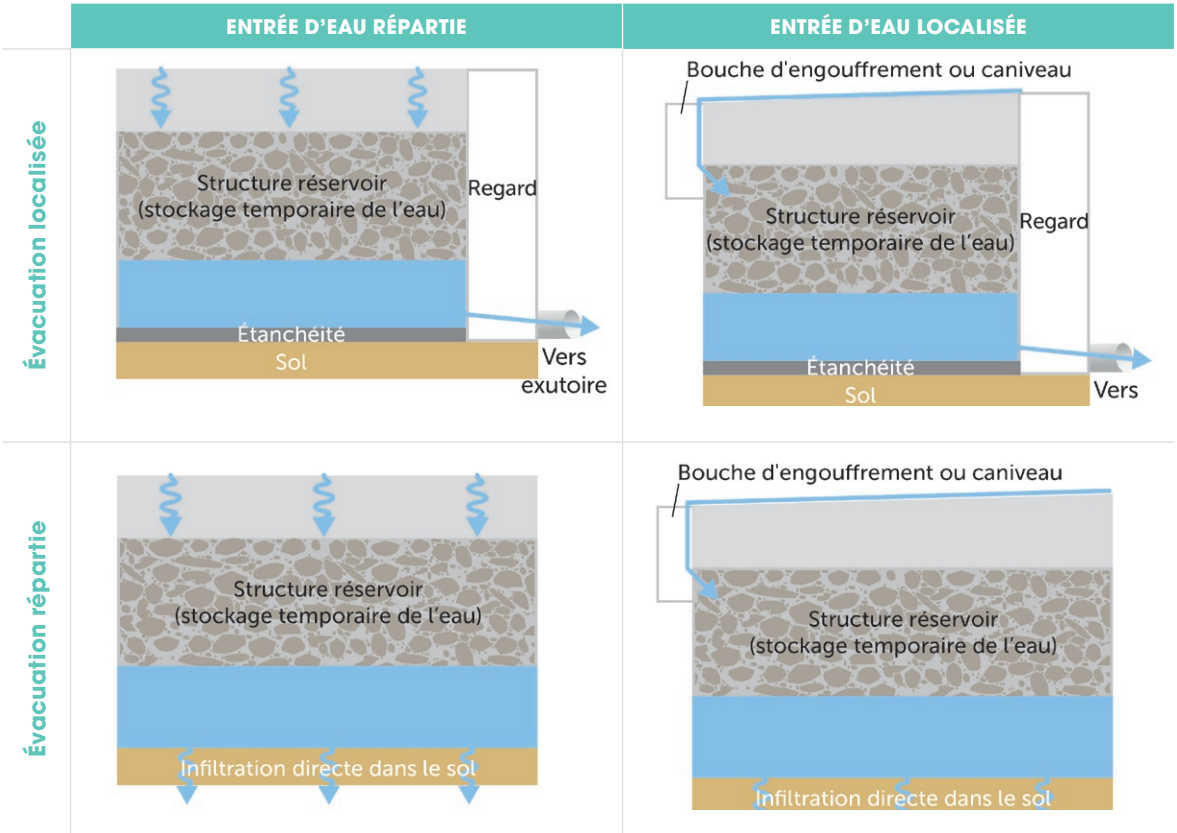


Figure 10 - Différents concepts de chaussées à structure réservoir avec entrée d'eau répartie et avec entrée d'eau localisée.

Photos 10 à 13 - Série de 4 photos de revêtements drainants en béton illustrant différentes applications : abords de piscine, place, parking et trottoir.

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.

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 accroître l'infiltration des eaux pluviales dans le sol support. Il est ainsi possible de réduire les coûts 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 "îlot 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.

2.2. La culture de la gestion intégrée tout au long de la vie en œuvre, dès le programme du maître 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 maîtriser tant les produits et leur bon domaine d'emploi que le savoir-faire pour garantir la qualité d'exécution et le rendu recherché par les donneurs d'ordre.

Ainsi, les techniques de revêtements drainants en béton (coulé en place et produits préfabriqués) 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 maîtres d'œuvre compétents et des entreprises formées et spécialisées.

La clé de la réussite passe aussi par une planification des tâches 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 engazonnés.

Le programme du maître 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.

2.3. Identifier et mettre en perspective les besoins d'aujourd'hui

Les objectifs des concepteurs, énumérés au chapitre 1 paragraphe 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

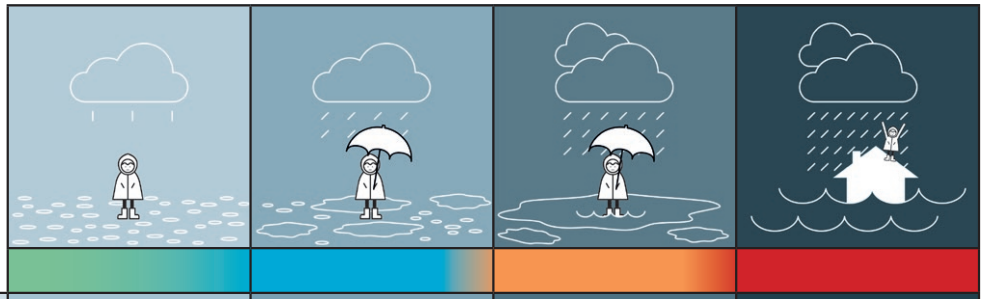
tous modes (marche à pied, deux roues, véhicule, transport collectif, etc.), toutes les solutions de revêtements drainants en béton, y compris les systèmes constructifs modulaires en couche mince, peuvent répondre à cet objectif.

- Pour l'objectif 2, relatif à la réduction du ruissellement et la maîtrise 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 sûr 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 maître 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 en une ou plusieurs couches d'épaisseur significative 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 maître d'œuvre dès les phases amont du projet.
- 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.



PLUVIOMÉTRIE Valeurs indicatives	Pluies faibles, très fréquentes ≤ 15 mm	Pluies moyennes à fortes 16 à 25 mm	Pluies fortes à très fortes 26 à 50 mm	Pluies 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'atteinte 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 (1) Concept de chaussée à structure réservoir	Absence de ruissellement Piégeage de pollution Gestion du ruissellement par infiltration	Absence de ruissellement Piégeage de pollution Pas de risque de débordement Gestion du ruissellement par le revêtement drainant et/ou par la fondation poreuse	Absence de ruissellement Piégeage de pollution Fort affaiblissement du risque d'inondation Gestion du ruissellement par le revêtement drainant et par la fondation poreuse	Réduction de la gravité et des conséquences des inondations Épaisseur et porosité ou perméabilité selon étude spécifique de dimensionnement hydraulique et mécanique[1]

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

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 rafraîchit les espaces, les lieux de vie et de rencontre. La porosité du matériau ou la perméabilité du revêtement joue un rôle de par la capacité 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 "îlot 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 santé, critères importants de la qualité de vie (photos 14 et 15).

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 événements exceptionnels que l'on observe déjà qu'il faut agir, se protéger et anticiper.

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 (revêtements drainants et/ou structures poreuses) 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 et/ou structures poreuses, 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 et/ou structures poreuses, favorisant l'infiltration et/ou le stockage temporaire.

PAROLES DE MAÎTRES D'OUVRAGE ET D'EXPERTS

Maëlle Ancelle, chargée de mission à l'ADOPTA

POINT DE VUE

L'ADOPTA POUR CHANGER LES PRATIQUES

Inondations, changement climatique, exigences règlementaires très poussées en matière de rejets par temps de pluie (arrêté du 21 juillet 2015), besoins de recharger les nappes phréatiques, recherches pour redévelopper la biodiversité y compris en ville, autant de raisons pour changer de pratiques en matière de gestion des eaux pluviales. Désormais, le tout tuyau a vécu, il faut remettre l'eau en scène dans la ville. Il n'est plus question d'appliquer les principes de Belgrand et de la conception hygiéniste de l'assainissement. Il nous faut changer nos organisations, mais les techniques, les matériaux, tout est là pour y arriver. ADOPTA joue le rôle de fédérateur et d'animateur pour atteindre ce nouveau challenge. Son objet est d'accompagner tous les acteurs de la construction de la Ville, pour que cette adaptation se concrétise.

L'ADOPTA (Association pour le Développement Opérationnel et la Promotion des Techniques Alternatives en matière d'eaux pluviales) est une association loi 1901 créée en 1997 à Douai (59), qui a pour mission de sensibiliser l'ensemble des acteurs de l'art de construire (maîtres d'ouvrage publics/privés, maîtres d'œuvre, entreprises de bâtiments et travaux publics, fabricants, fournisseurs…) à la gestion durable et intégrée des eaux pluviales et les accompagner dans leur mutation.

Pour cela, l'ADOPTA mène quotidiennement différentes actions de vulgarisation telles que des visites de sites avec présentation des différentes techniques sur un showroom, des commissions thématiques avec élaboration de fiches techniques, fiches de sensibilisation, guides…, des manifestations (Forum National sur la gestion durable des eaux pluviales, ½ journées techniques de formation/information…), des journées de sensibilisation auprès des SAGE, Associations des Maires, Intercommunalités, de l'accompagnement aux projets…

Parallèlement, l'Association travaille sur différents projets de recherche et développement dont l'élaboration de protocoles de réception des ouvrages de rétention/infiltration et une étude sur l'impact qualitatif de l'infiltration des eaux pluviales dans le sol et vis-à-vis de la ressource en eau souterraine.

A ce jour, l'ADOPTA regroupe une centaine de membres adhérents et associés dont l'Agence de l'Eau Artois-Picardie, la Région Hauts-de-France et l'Agence de l'Eau Seine-Normandie, partenaires financiers.

ADOPTA - Tél : 03.27.94.42.10 / Mail : contact@adopta.fr /
Site internet : www.adopta.fr

Show room ADOPTA.

Musée Arkéos.

Noue devant le Musée Arkéos.

L'imperméabilisation des sols est à l'origine, lors d'évènements pluvieux, d'inondations de plus en plus récurrentes et importantes et de rejets d'eaux polluées au milieu naturel.

Pour y faire face, l'une des solutions consiste, aujourd'hui, à gérer de façon durable et intégrée les eaux pluviales, c'est-à-dire pour tout projet d'aménagement, que ce soit en urbanisation nouvelle ou existante, à gérer la goutte d'eau au plus près de son point de chute, là où elle tombe, plutôt que de la faire ruisseler et la concentrer au point bas. Cette gestion durable des eaux pluviales est mise en œuvre par différentes techniques, intégrant eau et urbanisme, telles que noues, chaussées à structure réservoir, toitures végétalisées, tranchées drainantes, revêtements perméables…

La gestion durable et intégrée des eaux pluviales présente d'autres bénéfices de plus en plus mis en valeur tels que le respect du grand cycle naturel de l'eau, la réappropriation de l'eau de pluie par les habitants (l'eau de pluie était synonyme par le passé de nuisances), le développement de la biodiversité en ville, la lutte contre l'effet d'îlots de chaleur urbains, une meilleure résilience face au dérèglement climatique, une amélioration du cadre de vie…

Pour qu'un territoire puisse réussir à mettre en œuvre une gestion durable de ses eaux pluviales et qu'il y ait une appropriation par les acteurs de l'aménagement, cela nécessite le recours à un triptyque :

1. Une politique générale et généralisée forte portée par des élus convaincus, qui doivent être sensibilisés préalablement sur l'intérêt d'avoir recours à la gestion durable et intégrée des eaux pluviales.
2. Une animation en interne, au sein des collectivités, permettant un accompagnement sur les différents projets mais aussi une transversalité entre les différents services. La gestion de l'eau de pluie n'est plus uniquement du ressort du service assainissement. Elle concerne également les services voirie, urbanisme, espaces verts, bâtiments…
3. Une animation externe, rôle de l'ADOPTA, qui a pour mission de sensibiliser l'ensemble des acteurs de l'art de construire à la gestion durable et intégrée des eaux pluviales, et de les accompagner dans ce changement de pratiques, de répondre à leurs questions et de vaincre leurs réticences.

Les acteurs de l'aménagement du territoire tels que les maîtres d'œuvre, les fabricants de matériaux, les entreprises de BTP doivent, en effet, également être sensibilisés et formés pour pouvoir répondre aux attentes des maîtres d'ouvrage.

La réussite passe aussi par une prise en compte de la gestion des eaux pluviales le plus en amont possible d'un projet.

Hervé Caltran, Métropole du Grand Lyon

RETOUR SUR EXPÉRIENCE

LE GRAND LYON, "VILLE PERMÉABLE" DE DEMAIN

Depuis plusieurs dizaines années la Métropole de Lyon développe une gestion des eaux pluviales par techniques alternatives (puits, bassin de rétention, infiltration), en particulier dans l'Est lyonnais, terrain très favorable à l'infiltration des eaux.

La première motivation est essentiellement hydraulique. En effet, l'urbanisation rapide de ce secteur géographique et son corollaire, l'imperméabilisation des sols, ont fortement modifié le cycle naturel de l'eau. Lors d'épisodes pluvieux, le ruissellement entraîne la mise en charge des réseaux unitaires et localement il se produit des débordements qui perturbent la circulation, l'activité économique et qui peuvent porter atteinte aux biens et personnes.

Cette motivation initiale a été accrue par le durcissement progressif de la réglementation sur la protection des milieux aquatiques et l'absolue nécessité de limiter les pollutions dues aux dysfonctionnements des stations d'épuration ou aux rejets via les déversoirs d'orage. Le non-respect de la réglementation a un coût important pour les collectivités.

La troisième motivation concerne la nappe phréatique de l'est lyonnais. Largement utilisée pour un usage industriel, agricole, c'est également une ressource de secours pour l'eau potable. Sa recharge par les eaux pluviales est une nécessité.

Plus récemment, c'est la volonté de mettre en place une gestion intégrée du cycle de l'eau (assainissement, eau potable, eaux pluviales, cours d'eau) qui est venue s'ajouter aux premières motivations. Aujourd'hui, les questions de santé humaine, de lutte contre les îlots de chaleur urbains et de cadre de vie viennent compléter le panel des motivations.

Pourquoi les revêtements drainants en béton ? Parmi les techniques alternatives disponibles, les matériaux poreux et en particulier les bétons sont une solution intéressante lorsque l'espace souterrain est fortement encombré ou en milieu urbain très minéral.

L'objectif principal attendu de la mise en œuvre des revêtements drainants en béton est la gestion des petites pluies et des pluies courantes, ce qui est un objectif radicalement différent de ce pourquoi les revêtements drainants en béton ont été pensés (gestion des événements pluviaux intenses). Cet objectif central peut se décliner en objectifs secondaires qui sont :

- **Techniques :**

> Pour limiter les débordements des réseaux en milieu urbain et les déversements via les déversoirs d'orage et donc pour réduire les inondations et améliorer la qualité des milieux aquatiques.

> Pour gérer les eaux pluviales dans des zones où l'espace souterrain est largement occupé par d'autres réseaux (chaleur, gaz, électricité, eau potable, communication, métro),... interdisant la mise en place d'ouvrages enterrés (bassins, puits, tranchées).

- **Économiques :** pour diminuer les coûts de gestion et les coûts d'investissement sur les réseaux (diamètre plus petit des tuyaux).
- **Patrimoniaux :**

> Pour préserver la ressource en eau souterraine en termes de quantité et qualité. En favorisant l'infiltration de l'eau pluviale au plus proche de son point de chute, la pollution lors du ruissellement est réduite

et une eau filtrée par le sol recharge la nappe.

> Pour préserver un sous-sol de l'encombrement : les revêtements drainants permettent d'éviter l'occupation du sol urbain par des ouvrages enterrés et laissent la place libre pour d'autres réseaux plus stratégiques.

- De santé publique et d'amélioration du cadre de vie pour les habitants : le stockage de l'eau dans un matériau drainant puis son évaporation contribue à climatiser la ville et à lutter contre les îlots de chaleur urbains.
- Réglementaire : pour respecter les seuils de déversement des déversoirs d'orage imposés par la réglementation en déconnectant et/ou infiltrant des eaux pluviales.

Pour objectiver cette politique de développement des techniques alternatives, la Métropole de Lyon s'est engagée via un contrat avec l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse (RMC) à désimperméabiliser une centaine d'hectares d'ici 2020.

La Métropole de Lyon pense également la gestion des eaux pluviales dans un cadre plus large de gestion intégrée. L'intérêt de cette approche est d'éviter une sectorisation par métier et de permettre une action plus efficace. Cette vision permet par ailleurs d'intégrer l'ensemble des acteurs qui ont une influence directe ou indirecte sur l'eau (qualité, quantité). Au niveau de la collectivité, les directions de la voirie, de l'aménagement, du nettoiement travaillent avec la direction de l'eau. C'est important car ils sont les premiers concernés par les revêtements drainants en béton (mise en place, entretien). La gestion intégrée favorise également le lien entre les secteurs publics et privés : aménageurs privés, architectes, maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, mairies, particuliers, … qui sont aussi les futurs utilisateurs ou prescripteurs des revêtements drainants en béton.

Enfin, ce mode de gestion permet de lier, via les différents intervenants de l'aménagement de la ville, gestion de l'eau, politique de la ville, santé publique et environnement.

Les techniques alternatives classiques (puits, tranchées, bassins, ..) en milieu où l'espace est disponible sont relativement bien maitrisées. Demain, la Direction de l'eau souhaite favoriser l'infiltration des eaux pluviales en milieu urbain dense et minéralisé, et donc favoriser l'utilisation des revêtements drainants en béton sur les places de parkings, les trottoirs, les places piétonnes,…

Ces matériaux sont un des moyens les plus efficaces pour la gestion à la parcelle et pour retrouver un sol perméable et aéré, facteur de vie.

Le projet « ville perméable » mis en place en 2014 avait pour objectif d'évaluer les réalisations (tant pour les pratiques d'entretien que pour l'efficacité des techniques alternatives) et d'identifier les réussites et les freins (évaluation des gains pour la santé et l'environnement, évaluer les coûts et bénéfices des techniques alternatives). Ces phases sont achevées ou en cours d'achèvement. Il reste à mettre en place des guides pour les prochaines réalisations, des formations et de passer du mode expérimentation au mode développement sur l'ensemble du territoire.

Le nombre de sites où des matériaux drainants ont été installés par la métropole sont relativement modestes. Ils montrent néanmoins que, comme tous matériaux non utilisés couramment, un fort accompagnement est nécessaire pour faire évoluer les pratiques et les habitudes. Certaines expériences soulignent également que la mise en œuvre des bétons drainants demandent aux entreprises une technicité que toutes ne maîtrisent pas. Ces solutions ne sont pas non plus adaptées à tous les secteurs. Le contexte des travaux, l'emplacement est à prendre en compte. La question de l'entretien sur des espaces de faibles surfaces ou relativement encombrés par des émergences (trottoirs), de la résistance des matériaux à de fortes contraintes (giration de bus sur des parkings), des possibilités de réparation par des équipes internes sont souvent posées.

Au-delà de ces questions, l'avenir des revêtements drainants en béton semble néanmoins très prometteur.

Katy Pojer,
Agence de l'eau
Rhône Méditerranée
Corse

LA DÉSIMPERMÉABILISATION DES SOLS
UNE NOUVELLE PRIORITÉ DES AGENCES DE L'EAU

L'assainissement des eaux usées est une priorité des agences de l'eau (plus de 50% des aides). Après un fort investissement sur l'équipement des stations de traitement des eaux usées, ce sont les réseaux de collecte qui font l'objet d'une mobilisation de tous.

La priorité est la déconnexion des eaux pluviales du réseau d'assainissement pour limiter les débordements au niveau des déversoirs d'orage et éviter des déversements d'eaux usées non traitées dans les cours d'eau. La désimperméabilisation contribue à cette déconnexion et présente beaucoup d'autres avantages : économique, lutte contre les îlots de chaleur, qualité de vie, biodiversité en ville…

LA DÉSIMPERMÉABILISATION : UNE INCITATION RÉGLEMENTAIRE RÉCENTE

La gestion à la source des eaux pluviales est maintenant intégrée à différentes règlementations de l'assainissement, de l'urbanisme et de la biodiversité.

L'arrêté du 21 juillet 2015 relatif au système d'assainissement impose dans les études de conception, l'analyse des solutions de gestion des eaux pluviales le plus en amont possible et leur mise en œuvre si elles sont économiquement viables.

Le décret du 29 décembre 2015 relatif à la modernisation des plans locaux d'urbanisme (PLU) permet aux règlements des PLU d'imposer à un projet des surfaces minimales non imperméabilisées.

Enfin la loi du 10 juillet 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages autorise les projets de type ZAC, drive… s'ils intègrent sur les aires de stationnement des revêtements de surface, des aménagements hydrauliques ou des dispositifs végétalisés favorisant la perméabilité et l'infiltration des eaux pluviales ou leur évaporation.

SUR LES BASSINS RHONE-MÉDITERRANÉE & CORSE, UN SCHÉMA DIRECTEUR D'AMÉNAGEMENT ET DE GESTION DES EAUX AMBITIEUX ET DES AIDES FINANCIÈRES INCITATIVES

Les agences de l'eau relaient ces politiques publiques.

Sur le bassin Rhône-Méditerranée, le SDAGE 2016-2021 affiche un objectif ambitieux de désimperméabilisation en rapprochant les politiques de l'eau et de l'urbanisme. Dans les documents d'urbanisme et dans les projets, réduire les pollutions par temps de pluie passe par la limitation de l'imperméabilisation nouvelle des sols, la réduction des impacts des nouveaux aménagements et la compensation à hauteur de 150% des surfaces nouvellement imperméabilisées.

L'agence de l'eau accompagne financièrement cette politique à hauteur de 50% du coût des projets de désimperméabilisation de surface imperméabilisée existante permettant la déconnexion des eaux pluviales du réseau unitaire.

POUR EN SAVOIR PLUS :

Le site des agences de l'eau :
http://www.lesagencesdeleau.fr/

Exemple d'opération aidée :

Déconnexion et infiltration des eaux pluviales sur une ligne de transport en commun de Besançon

> Qui ?

Communauté d'agglomération du Grand Besançon (25)

> Coût des opérations ?

2 060 000 € dont 48,5 % financés par l'Agence de l'eau, soit une aide financière de 1 000 000 €.

78 500 m² d'eau de pluie sont déconnectés, stockés puis infiltrés lors du réaménagement d'une voie de circulation pour les transports en commun. 6 noues paysagères, 4 bassins d'infiltration à ciel ouvert, et 6 bassins d'infiltration enterrés sous des stations de bus sont construits le long de cette voie.

LES AGENCES DE L'EAU : DES ÉTABLISSEMENTS PUBLICS AU SERVICE DE L'EAU

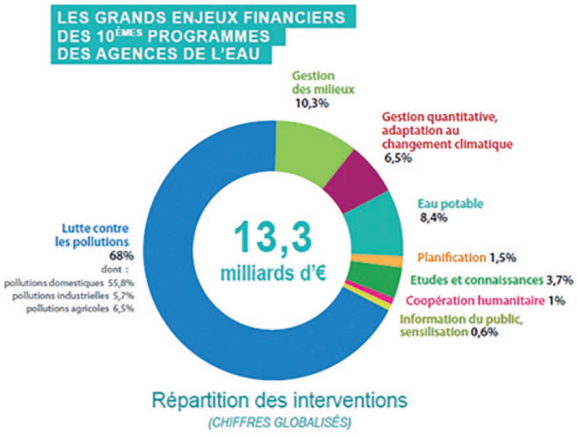
Les six agences de l'eau françaises sont des établissements publics du ministère chargé de l'environnement, de l'énergie et de la mer. Elles ont pour missions de protéger les ressources en eau et les milieux aquatiques. Il y a 6 agences de l'eau sur le territoire métropolitain pour 7 bassins hydrographiques.

Pour atteindre ces objectifs, les agences de l'eau disposent d'instruments économiques (redevances et subventions).

Les redevances des agences de l'eau, sont des recettes fiscales environnementales perçues auprès des usagers de l'eau en application des principes de prévention et de réparation des dommages à l'environnement.

Grâce à ces redevances, les agences de l'eau peuvent ensuite apporter des aides aux personnes publiques ou privées qui agissent pour une gestion équilibrée des ressources en eau.

Chaque agence a un programme d'aides spécifique sur son territoire. Lutte contre la pollution, restauration des milieux aquatiques, gestion de la ressource en eau... ce sont 13,3 milliards d'euros d'aides qui seront donnés au cours des 10èmes programmes (2013-2018).



Frédéric Cherqui,
Président du GRAIE

Élodie Brelot,
Directrice du GRAIE

Bernard Chocat,
Président d'honneur
du GRAIE

RETOUR SUR EXPÉRIENCE

LE GRAIE, INTERFACE ENTRE LES ACTEURS DE L'EAU ET DE L'AMÉNAGEMENT

Le Graie est un groupe de recherche, d'animation technique et d'information sur l'eau créé en 1985 sous la forme d'une association d'intérêt général. Au fil des décennies IL s'est renforcé et a développé ses activités. Il compte aujourd'hui plus de 300 adhérents et 12 permanents.

Depuis plus de 30 ans le GRAIE est resté fidèle à ses missions d'origine : mettre en relation les entreprises, les collectivités, les bureaux d'études, les chercheurs et les services de l'Etat ; proposer des lieux neutres de débats et d'échanges et mettre en relation le monde de l'eau et des milieux aquatiques avec celui de la ville et de l'aménagement.

Son projet est donc double :

- Élaborer de nouveaux concepts et de nouvelles connaissances en prise directe avec les réalités de terrain.
- Les diffuser le plus vite et le plus largement possible de façon à contribuer à construire une vision commune et partagée de la gestion durable de l'eau et de la ville.

De façon plus précise, l'action du GRAIE vise à contribuer à construire et à partager une culture commune basée sur la connaissance et l'échange d'expérience afin d'améliorer les pratiques en matière de gestion de l'eau. Un autre rôle plus pragmatique consiste aussi à élaborer et à présenter des propositions à l'Etat ainsi qu'aux diverses autorités et partenaires au niveau national, afin de bâtir ou d'améliorer le cadre réglementaire pour la gestion de l'eau sur les territoires. La force principale du GRAIE dans ce domaine est de représenter un collectif de collectivités, de scientifiques et de partenaires techniques rassemblés par une volonté commune de rechercher les meilleures solutions pour tous. LE GRAIE anime des réseaux à l'échelle régionale, nationale et internationale.

L'action du GRAIE se développe selon quatre axes thématiques :

- Mieux lier aménagement et gestion de l'eau, promouvoir des solutions alternatives et maîtriser l'impact des rejets sur les milieux récepteurs, accompagner le transfert des compétences eau et as-

sainissement.

- Mieux intégrer les risques pour la santé dans la gestion de l'eau et de l'assainissement.
- Mieux gérer les milieux aquatiques en intégrant toutes leurs dimensions (acteurs et usages, fonctionnement écologique, etc.).
- Mieux comprendre, assimiler et mettre en œuvre la réglementation dans le domaine de l'eau, contribuer à son évolution, et proposer des solutions techniques.

Les moyens d'action utilisés par le GRAIE pour remplir ses missions sont de quatre types :

- L'animation de différents groupes de travail et de réseaux d'échange régionaux sur les stations d'épuration, l'assainissement non collectif, l'autosurveillance des réseaux d'assainissement, la gestion des eaux pluviales et la gestion des rejets non domestiques au réseau d'assainissement. Au-delà des lieux d'échange qu'ils constituent pour leurs membres, ces groupes de travail sont de véritables forces de propositions techniques, méthodologiques et réglementaires.
- L'animation de programmes de recherche et de cinq dispositifs de recherche : la ZABR (Zone Atelier « Bassin du Rhône » - www.zabr.org), l'OTHU (Observatoire de Terrain en Hydrologie Urbaine - www.othu.org), SIPIBEL (Site Pilote de Bellecombe sur les effluents hospitaliers et stations d'épuration - www.sipibel.org), et l'Ohm (Observatoire hommes-milieu Vallée du Rhône - http://ohm-vr.org), et l'Osr (Observatoires des sédiments du Rhône - www.graie.org/osr).
- L'organisation régulière de rencontres, conférences et colloques (plusieurs dizaines par an), favorisant la compréhension et l'application des textes réglementaires, l'accès à la connaissance technique et aux résultats de recherches, ainsi que les échanges d'expériences. Parmi ces rencontres, deux conférences internationales triannuelles (Novatech - www.novatech.graie.org et IS Rivers - www.isrivers.org), attirent à Lyon plus d'un demi-millier de personnes venues de tous les continents.
- La coordination d'ouvrages et la mise à disposition gratuite, via son site internet de tous les résultats de ses travaux et de documents techniques ou pédagogiques (comme par exemple MéliMélo - http://www.graie.org/eaumelimelo/ ou Mediates - www.graie.org/mediates).

Le développement des revêtements drainants en béton constitue indéniablement pour le GRAIE un sujet potentiel d'intérêt, situé à l'interface entre la gestion de l'eau et la gestion de la ville. C'est une solution qui permet de maintenir la finalité des espaces tout en contribuant à désimperméabiliser la ville.

Les nouveaux acteurs concernés par ce sujet : fabricants ou poseurs, pourront trouver dans le GRAIE des lieux de rencontres et d'échange avec les autres acteurs de l'eau et de la ville.

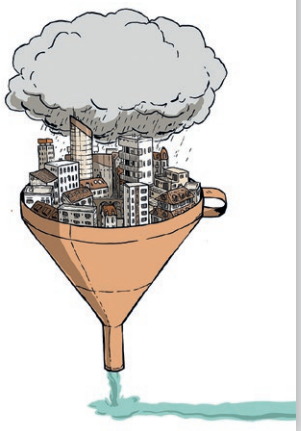
Frédéric Cherqui, Président du GRAIE

Elodie Brelot, Directrice du GRAIE

Bernard Chocat, Président d'honneur du GRAIE

Pour en savoir plus :

http://www.graie.org



Retrouvez d'autres dessins sur : www.graie.org/eaumelimelo/Meli-Melo.

CHAPITRE 3

LES REVÊTEMENTS DRAINANTS EN BÉTON - L'OFFRE BÉTON

1. INTRODUCTION 34
2. LES BÉTONS COULÉS EN PLACE 34
2.1. LES BÉTONS DRAINANTS 34
2.1.1. Introduction 34
2.1.2. Principales caractéristiques 34
2.2. LES SYSTÈMES CONSTRUCTIFS EN BÉTON COULÉ EN PLACE À OUVERTURES DE DRAINAGE 37
2.2.1. Principe 37
2.2.2. Caractéristiques et Performances 37
2.2.3. Esthétique 39
3. LES PRODUITS PRÉFABRIQUÉS 39
3.1. LES PRODUITS PRÉFABRIQUÉS EN BÉTON POREUX 39
3.1.1. Introduction 39
3.1.2. Principales caractéristiques 40
3.2. LES SYSTÈMES CONSTRUCTIFS À BASE DE PRODUITS PRÉFABRIQUÉS 41
3.2.1. Les produits 41
3.2.2. Les systèmes constructifs : les principales caractéristiques 42
4. CONCLUSION 45

1. INTRODUCTION

Concrétiser l'infiltration en faisant appel aux solutions béton offre une riche palette de techniques dont la typologie permet une classification en deux grandes familles :

- Les solutions à base de bétons coulés en place.
- Les solutions à base de produits préfabriqués en béton.

La première famille exploite l'infiltration soit directement en recourant au béton drainant, soit par le biais d'ouvertures de drainage. La deuxième famille exploite l'infiltration soit directement par le biais d'éléments modulaires poreux, soit indirectement par le biais de systèmes constructifs comme les pavés à joints larges ou les pavés à ouvertures de drainage.

2. LES BÉTONS COULÉS EN PLACE

2.1. Les bétons drainants

2.1.1. Introduction

Ces solutions sont nées historiquement d'application de drainage des eaux d'interface dans les structures de routes et de rues sous forme de béton poreux de sous-couche. Les améliorations apportées progressivement sur les constituants, les formulations ainsi que les fabrications et les mises en œuvre ont permis un déploiement vers les bétons de revêtement dénommés bétons drainants. Ces derniers doivent répondre, en sus de la fonction « hydraulique », à l'ensemble des qualités d'usage dévolues à tout revêtement urbain : tenue au trafic, résistance aux conditions climatiques, confort, sécurité, durabilité et intégration à l'espace public.

2.1.2. Principales caractéristiques

2.1.2.1. La porosité

Le matériau béton est formulé de telle manière que les espaces intergranulaires entre les plus gros éléments ne puissent pas être comblés pour tout ou partie par des éléments plus fins. On cherche à ce que les vides, ainsi volontairement créés, soient aussi bien maîtrisés que possible, du point de vue de leur volume et de leur connexion.

Des formulations ainsi que des procédés de fabrication adéquats, mais également un transport et une mise en œuvre adaptés, permettent de garantir sur le terrain, de manière courante, des teneurs en vides communicants dans une fourchette allant de 10 à 25 %, pour assurer le cheminement et/ou le stockage provisoire de l'eau pluviale.

Photos 16 à 21 - Exemples diversifiés d'emploi de solutions de revêtements drainants pour une large gamme d'usages.

2.1.2.2. Les classes mécaniques

L'offre béton comprend plusieurs classes mécaniques, adaptées à des applications spécifiques (tableau 1). La formulation du béton drainant est régie par le couple porosité et résistance. Les champs couverts vont de 10 % à 25 % pour la porosité ouverte, et de BC2 (résistance à la traction par fendage Rtb = 1,7 MPa) à BC4 (Rtb = 2,4 MPa) pour la résistance mécanique. Ces classes sont définies dans la norme NF P 98-170.

Note : le guide technique « Conception et dimensionnement des structures de chaussée – SETRA/LCPC ; 1994 » définissait également une classe BC1 pour usage en couche de fondation.

- **Classe mécanique BC4**

Cette classe est prévue pour un usage en revêtement et pour les aménagements dont le trafic ne dépasse pas T3 (trafic inférieur ou égal à 150 PL/j). Il s'agit d'un béton dont la formulation vise un niveau de résistance mécanique élevé tout en permettant l'obtention d'une porosité ouverte minimale de l'ordre de 10 à 15 %. Au-delà d'un trafic T3, l'emploi de cette classe est possible sous réserve d'une étude de conception particulière.

- **Classe mécanique BC3**

Cette classe est prévue pour un usage en revêtement et pour les aménagements dont le trafic ne dépasse pas T4 (trafic inférieur ou égal à 50 PL/j). En couche d'assises, recouverte d'un revêtement, elle est autorisée pour les aménagements, quel que soit le trafic. Il s'agit d'un béton dont la formulation vise un niveau de résis-

tance mécanique suffisant tout en permettant l'obtention d'une porosité ouverte moyenne de l'ordre de 15 à 20 %.

• Classe mécanique BC2

Cette classe est prévue pour un usage en couche d'assises, recouverte d'un revêtement, quel que soit le trafic. Il s'agit d'un béton dont la formulation vise à assurer un niveau de résistance mécanique suffisant tout en permettant l'obtention d'une porosité ouverte élevée de l'ordre de 20 à 25 %. Toutefois, sous réserve d'une étude de conception particulière, cette classe est envisageable en revêtement pour un trafic T6 (Trafic ≤ 10 PL/j).

Des solutions techniques alternatives existent pour des champs d'application non couverts par la norme.

CLASSE DE BÉTON DRAINANT OU POREUX	LA RÈGLEMENTATION EN VIGUEUR		LES PRATIQUES	
	Revêtement	Assises	Revêtement	Assises
Classe BC4	Trafic ≤ T3	Tous trafics	Trafic ≤ T3	Tous trafics
Classe BC3	Non circulé	Tous trafics	Trafic ≤ T4, tout en évitant les zones subissant de fortes sollicitations (giration et/ou ripage)	Tous trafics
Classe BC2	Non circulé	Tous trafics	Trafic ≤ T6 (Trafic ≤ 10 PL/j), tout en évitant les zones subissant de fortes sollicitations (giration et/ou ripage)	Tous trafics

Tableau 1 - Classes de résistance de béton drainant ou poreux.

2.1.2.3. Domaines d'emploi vis à vis des conditions climatiques

Du fait de leur usage, les bétons drainants peuvent être exposés à des environnements et des conditions d'exploitation agressifs. Ils doivent, par conséquent résister au gel, au salage et à l'action du sel d'origine marine.

- Pour le béton drainant, la norme NF EN 206/CN autorise des exigences spécifiques. Par exemple, pour la résistance au gel, les préconisations suivantes en matière de choix de classes mécaniques peuvent s'appliquer, prescriptions établies en fonction de l'expérience acquise.
- Pour un Dmax supérieur à 12,5 mm, le dosage minimum en liant équivalent sera réduit suivant les conditions du tableau NA.F.1 (note d) de la norme NF EN 206/CN.
- Pour les aménagements situés en bord de mer et soumis aux embruns, l'utilisation d'un ciment prise mer est obligatoire.
- Les bétons poreux de fondation n'ont généralement aucune restriction d'emploi.

NOTE 1 : La rigueur moyenne de l'hiver peut être évaluée à partir de la carte figurant en Figure NA.2 de la norme NF EN 206/CN, complétée par le Fascicule de Documentation FD P 18-326.

INTENSITÉ DU GEL	FRÉQUENCE DE SALAGE ET USAGE				
	Aucun salage	Salage peu fréquent		Salage fréquent	Salage très fréquent
		Trafic ≤ T3	Trafic >T3		
Gel faible ou modéré	Classes mécaniques comme indiqué Tableau 1 avec un dosage minimum en liant équivalent de 308 kg/m³ pour un béton dont Dmax < 12,5mm.	Classes mécaniques comme indiqué Tableau 1 avec un dosage minimum en liant équivalent de 308 kg/m³ pour un béton dont Dmax < 12,5mm.	Non applicable	BC3 mini avec un dosage minimum en liant équivalent de 330 kg/m³ pour un béton dont Dmax < 12,5mm.	BC4 avec un dosage minimum en liant équivalent de 374 kg/m³ pour un béton dont Dmax < 12,5mm.
Gel sévère	BC4 avec un dosage minimum en liant équivalent de 346 kg/m³ pour un béton dont Dmax < 12,5mm.	BC4 avec un dosage minimum en liant équivalent de 374 kg/m³ pour un béton dont Dmax < 12,5mm.	Non applicable	BC4 avec un dosage minimum en liant équivalent de 374 kg/m³ pour un béton dont Dmax < 12,5mm.	BC4 avec un dosage minimum en liant équivalent de 374 kg/m³ pour un béton dont Dmax < 12,5mm.

Tableau 2 - Choix du béton en fonction de l'intensité du gel, de la fréquence de salage et de l'usage pour les trafics routiers.

2.1.2.4. Formulation du béton drainant

Les développements ultérieurs préciseront les points spécifiques que le fournisseur et l'applicateur de béton drainant doivent impérativement maîtriser, bien davantage encore que pour un béton de voirie conventionnel. Il s'agit en particulier de bien intégrer les facteurs sensibles suivants :

- Le rôle et la quantité éventuelle du sable.
- La nature et la quantité de ciment et des éventuelles additions.
- Le dosage en eau des bétons.
- Le court délai de maniabilité des mélanges.
- La nature et le rôle des adjuvants.

Au-delà de ces facteurs, il sera considéré :

- La rigueur d'organisation pour l'exécution.
- La spécificité des méthodes, techniques et gestes d'application et de finition.

Au plan pratique, le choix d'un béton drainant coulé en place relève toujours d'un compromis assez fin si l'on considère l'ensemble des leviers d'action précités. Le concepteur doit en conséquence être extrêmement attentif aux scénarios d'usage de la voirie ou de l'espace public tout le long de sa vie en œuvre.

2.1.2.5. L'apport esthétique

En plus de ses propriétés hydrauliques et mécaniques, les bétons drainants font l'objet d'un travail important, de la part des professionnels, pour leur conférer des rendus esthétiques, à l'instar des bétons décoratifs (dénudage ou coloration dans la masse et en surface, etc.). Ces bétons s'inscrivent aujourd'hui au sein de la famille des bétons décoratifs, et prennent une place de choix dans la famille des ECO-bétons (réf. tome 1 de la collection VECU du SPECBEA).

2.2. Les systèmes constructifs en béton coulé en place à ouvertures de drainage

Il s'agit de revêtements en béton coulé en place qui comportent des ouvertures dans leur épaisseur, en partie courante. Ces systèmes constructifs permettant à l'eau de s'infiltrer par leurs cavités, garnies ou non du matériau de remplissage (système végétalisé ou gravillonné), doivent satisfaire aux exigences de perméabilité.

Photos 22 à 24 - Exemples diversifiés d'emploi de solutions de revêtements avec système constructif à ouvertures de drainage.

2.2.1. Principe

A l'image des éléments préfabriqués en béton plein, pouvant assurer l'infiltration des eaux pluviales par leurs joints ou évidements, il existe des procédés constructifs basés sur la réalisation de dallages coulés en place sur des moules adaptés, permettant d'obtenir des dallages décoratifs monolithiques dotés de réservations sur toute l'épaisseur de la dalle. Ces ouvertures régulièrement espacées peuvent être au choix remplies d'un matériau granulaire ou d'un substrat permettant une couverture végétale, voire intégrer les deux possibilités sur le même revêtement.

Il est ainsi possible de concevoir des aménagements carrossables ou faiblement circulés comme des places de stationnement, des voies pompiers, des plateformes de tramway, des accotements de pistes cyclables pour citer ceux couramment rencontrés en milieu urbain ; cette liste est loin d'être exhaustive si on l'élargit aux possibilités offertes en milieu périurbain ou rural (aires de repos, pistes forestières, accotements de routes, talus à pentes modérées).

Les aménagements réalisés avec ces procédés ne sont pas censés être des voies de circulation proprement dites. De même, il est possible aux véhicules lourds d'emprunter occasionnellement ces revêtements, mais cet usage doit être limité.

Les ouvertures représentent un minimum de 25% de la surface totale du revêtement en zone courante et peuvent atteindre jusqu'à 75%. La grande majorité des fournisseurs proposent des solutions où les surfaces végétalisées revendiquées représentent entre 35 et 55% de la surface totale. Selon les procédés, les surfaces végétalisées peuvent être cloisonnées par une trame en béton.

2.2.2. Caractéristiques et Performances

2.2.2.1. Matériaux et dimensions

Les procédés disponibles sur le marché reposent sur la mise en œuvre de moules perdus embossés de différentes épaisseurs selon l'usage (de 76 à 150 mm) qui seront noyés dans le béton. Il existe des modèles en plastique recyclé et d'autres en fibres de cellulose, matériau issu du recyclage de papiers et cartons.

Ces moules sont de format carré (600 mm de côté) ou rectangulaire (800 par 600 mm) et se composent respectivement de 9 ou 12 cellules, organisées selon un plan orthogonal de 200mm. Les cellules proprement dites sont de section cruciforme plus ou moins marquée et représentent entre 45 et 50% de la surface du revêtement selon le modèle. Ces espaces sont destinés à recevoir des granulats, un substrat à engazonner ou des sédums nécessitant de moindres besoins en eau et entretiens.

Dans le cas d'un aménagement végétalisé, il est possible d'obtenir un aspect 100% végétal pour des aménagements non circulés et ensemencés avec des gazons à essences tallantes et denses (trèfle blanc) dont les brins viendront recouvrir le béton entre les alvéoles.

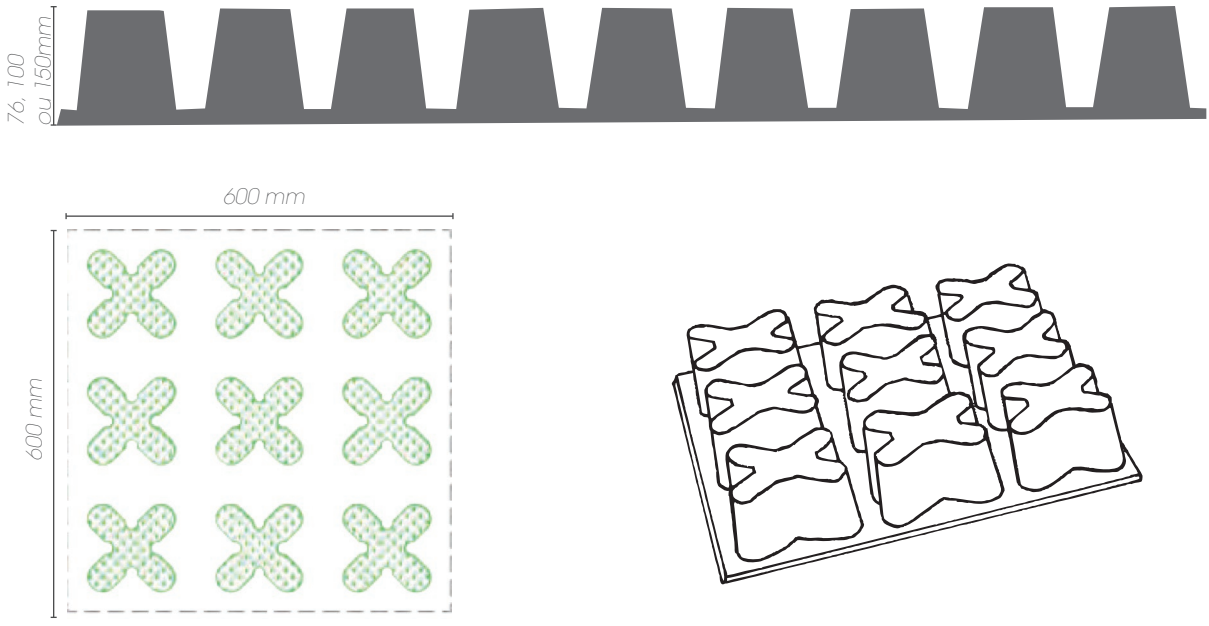


Figure 13 - Procédé Grasscrete, avec moules en plastique recyclé. Moules disponibles en épaisseur 76 mm, 100 mm et 150 mm.

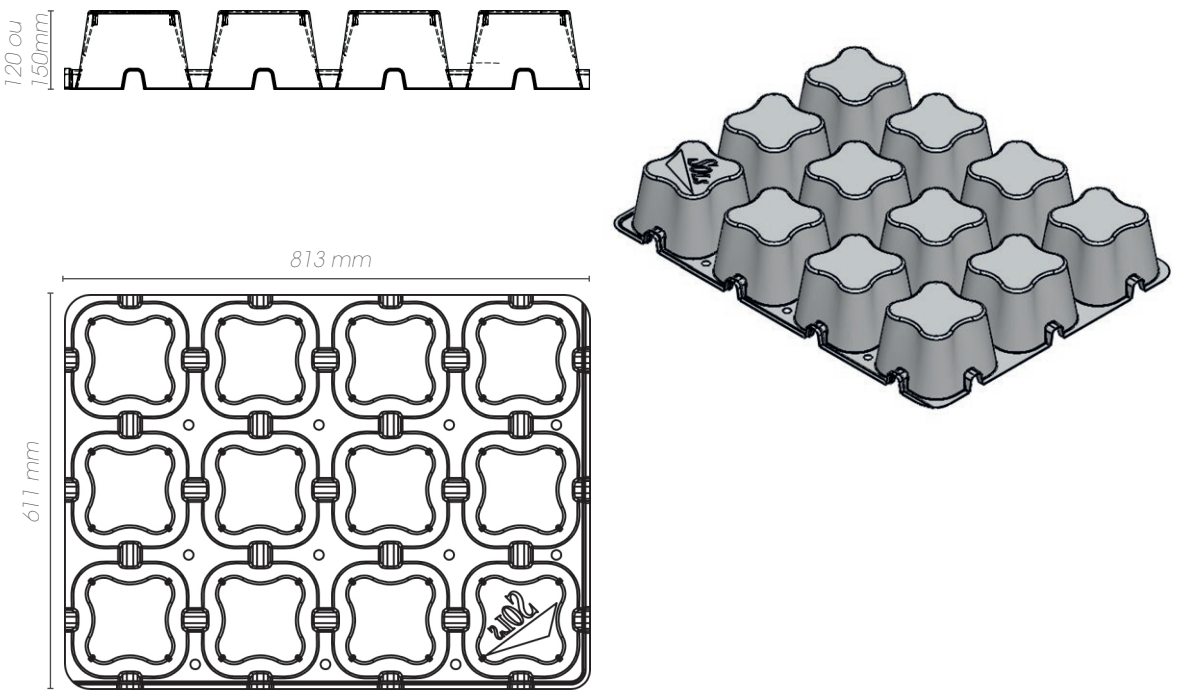


Figure 14 - Procédé Via Verde® en cellulose moulée. Moules disponibles en épaisseur 120 mm et 150 mm.

2.2.2.2. Performances hydrauliques

Les premiers systèmes constructifs alvéolaires coulés en place datent des années 1970 et ont trouvé leur origine dans la volonté de développer une alternative économique et décorative aux éléments modulaires engazonnés. Les performances hydrauliques des procédés étaient alors abordées sous l'angle de la réduction du coût d'installation des réseaux de collecte des eaux pluviales, sans pour autant quantifier précisément les performances obtenues.

Pour ces systèmes caractérisés par une alternance entre zones « pleines » et « vides », les capacités d'infiltration des eaux pluviales peuvent être globalement évaluées par la porosité du matériau mis en œuvre dans les cavités « vides » du revêtement permettant ainsi d'obtenir une porosité équivalente du revêtement susceptible de contenir la hauteur d'une lame d'eau résultant d'un épisode pluvieux.

2.2.2.3. Performances mécaniques

Ces systèmes constructifs ne disposent pas, pour l'instant, de référentiel normatif. Pour autant, ces procédés obtenus par coulage de béton conforme à la NF EN 206/CN de classe de résistance C30/37 minimum, et renforcés par des armatures, apportent une réponse tout à fait satisfaisante aux contraintes dues aux stationnements de véhicules légers et à la circulation occasionnelle en voie d'accès pour des véhicules légers voire poids lourds. Ces systèmes sont mis en place sur des plateformes supports de bonne qualité (portance minimale PF2).

À défaut de spécifications communes ou comparables, les fournisseurs et fabricants proposent différentes méthodes d'évaluation des performances de leurs procédés ou proposent des usages et charges maximales en fonction des modèles proposés et de leur expérience.

2.2.3. Esthétique

Pour ces bétons, même si on ne peut prétendre à l'exhaustivité des finitions du matériau béton décoratif, de multiples possibilités sont offertes par la couleur naturelle du ciment, des éléments fins ou le recours à des pigments. Le béton peut également être lissé ou texturé à l'état frais au moyen d'un rouleau ou d'un balai de finition. Il est également possible d'utiliser un agent désactivant pour mettre à nu les gros éléments de la composition granulaire. Un traitement décoratif de ces bétons confère une dimension esthétique complémentaire au seul choix du matériau de remplissage (gazon ou granulats), et notamment avant que les semences aient poussé.

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 maîtrisés (cf. chapitre 6).
- Le développement durable et l'aptitude au recyclage : recyclable, naturel, modulable.
- La sécurité des utilisateurs : maîtrise 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 maîtres d'ouvrage et des maîtres d'œuvre,

Enfin, et plus globalement pour couvrir plus largement le champ des qualités mises en exergue dans l'objectif largement recherché 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 coût 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.

CHAPITRE 4

LES REVÊTEMENTS DRAINANTS EN BÉTON - CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT

1. INTRODUCTION 48
2. LA DÉMARCHE DU MAÎTRE D'ŒUVRE 48
2.1. PROGRAMME ET OBJECTIFS DU MAÎTRE D'OUVRAGE 48
2.2. ETUDES PRÉALABLES DES DONNÉES ET CARACTÉRISTIQUES DU SITE DU PROJET 48
2.2.1. Le contexte urbain, l'usage et la topographie du site 49
2.2.2. Le contexte géologique et hydrologique 49
2.2.3. Les exigences requises et la caractérisation des évènements pluvieux 50
2.3. CHOIX DES PRINCIPES DE CONCEPTION ET DES SOLUTIONS DISPONIBLES 50
2.3.1. Solution autonome 51
2.3.2. Solution couplée avec d'autres concepts 51
2.3.3. Aménagement en déclivité, projets avec des pentes et des dévers importants 53
2.4. LES PRINCIPES DE DIMENSIONNEMENT 53
2.4.1. Dimensionnement géométrique 53
2.4.2. Dimensionnement mécanique 54
2.4.3. Dimensionnement hydraulique 55
2.5. MISE EN PERSPECTIVE DU DIMENSIONNEMENT MÉCANIQUE ET DU DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE 58
2.5.1. Exemple de calcul de dimensionnement et d'optimisation d'un revêtement en béton drainant coulé en place 59
2.5.2. Exemple de calcul d'un revêtement alvéolaire en béton (végétalisé ou gravillonné) 60
2.5.3. Exemple de calcul de dimensionnement d'un revêtement drainant en éléments modulaires 61
3. CONCLUSION 62

1. INTRODUCTION

Quelle que soit l'importance de l'aménagement considéré, 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 maître d'ouvrage jusqu'à la réalisation par l'entreprise et même l'exploitation.

Ces opérations sont le fait des intervenants habituels.

La conception et le dimensionnement des ouvrages sont des tâches dévolues au maître d'œuvre, missionné à cet effet par le maître d'ouvrage. Sa démarche se décline en plusieurs séquences qui vont être développées dans ce chapitre.

2. LA DÉMARCHE DU MAÎTRE D'ŒUVRE

Elle se décline en 5 séquences :

- Examen et prise de connaissance du programme et des objectifs du maître 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 réglementaires, 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.

2.1. Programme et objectifs du maître d'ouvrage

Le maître 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 maître d'ouvrage doit définir ses choix, pour le volet hydraulique, parmi les scénarios 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 maîtriser les risques cou-

rants 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 événements 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 maîtrise du cycle de l'eau des objectifs de lutte contre les effets néfastes des îlots de chaleur ou encore de la pollution de l'air.

2.2. Études préalables des données et caractéristiques du site du projet

Le maître 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 événements 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.

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

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 sub-affleurante). De même, toute injection directe dans la nappe phréatique est proscrite, quelle que soit la nature des eaux et le type de sol.

2.2.1.2. Les pentes dues au modelé du terrain naturel

Les pentes modifient la performance hydraulique (infiltration et stockage) des re-

vêtements 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 maîtrisé, 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 2.3.3.).

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 à 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.).

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 validé de ce point de vue pour des ouvrages à faible et moyen trafics (trafic inférieur à 150 PL/j). Au-delà, une étude de conception particulière est nécessaire.

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 où la fonction et l'environnement de la voirie favoriseraient les occurrences de colmatage des vides communicants (marchés, 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.

2.2.2. Le contexte géologique et hydrologique

La faisabilité d'une solution d'infiltration est fondée sur la capacité du sol en place à absorber l'eau. Le coefficient de perméabilité, tel que défini en 2.4.3.1, caractérise cette capacité. Il est communément admis 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 17 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 infiltrés. Par conséquent, il peut être nécessaire de coupler l'infiltration avec un exutoire, et d'évacuer progressivement les eaux pluviales accumulées dans la fondation (figures 17 b et 17 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 l'ouvrage d'un système de prétraitement des eaux ou d'un dispositif d'épuration.

Le coefficient de perméabilité du sol en place peut être estimé via des ordres de grandeur selon la nature du sol (voir paragraphe 2.4.3.- Dimensionnement hydraulique).

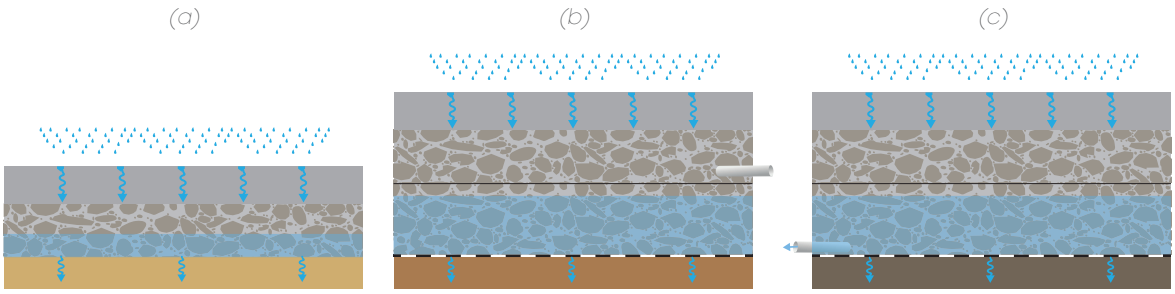


Figure 17 - Schémas de chaussées à structure réservoir : (a) infiltration, (b) et (c) infiltration + exutoire (placé à un niveau adapté en fonction de la perméabilité du support).

2.2.3. Les exigences requises et la caractérisation des événements pluvieux

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

Le choix d'un degré de protection est un nécessaire compromis entre l'aspiration à une protection absolue pratiquement irréaliste et le souci de garantir la sécurité des biens et des personnes, tout en limitant tant le coût 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 positionné 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'événements pluvieux longues d'une ou plusieurs décennies, il y a aussi des aires très étendues où 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'événements 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.

2.3. Choix des principes de conception et des solutions disponibles

L'offre béton est diversifiée, comme l'a montré le chapitre 3. Elle permet donc de satisfaire à une grande partie du champ des possibles que ce soit vis-à-vis des objectifs des maîtres 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». Après 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.

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 :

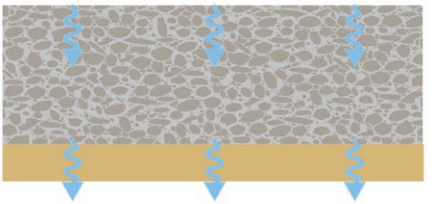


Figure 18 - Exemple de surface drainante avec évacuation de l'eau par infiltration directe.

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

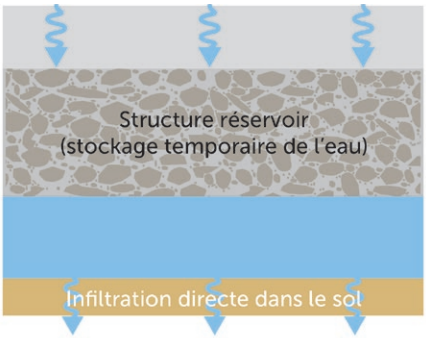


Figure 19 - Exemple de structure réservoir avec évacuation de l'eau par infiltration directe.

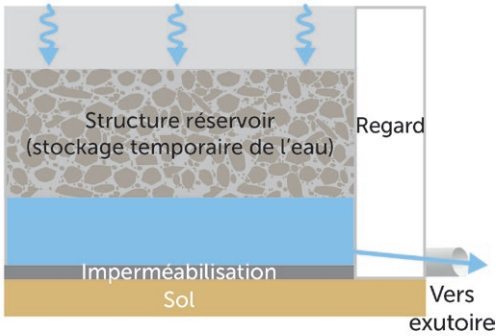


Figure 20 - Exemple de structure réservoir avec évacuation localisée de l'eau vers un exutoire.

Photo 43 - Une piste cyclable en béton drainant associée à une tranchée drainante en grave naturelle assurant les fonctions hydrauliques

- Plus qu'une surface drainante, il peut s'agir d'une structure poreuse urbaine, ou chaussée à structure réservoir, qui permet d'absorber les événements 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 (figures 19 et 20).

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.

2.3.2. Solution couplée avec d'autres concepts

Les solutions autonomes atteignent rapidement leurs limites lorsqu'il faut se protéger d'événements 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 capacité d'infiltration et en l'absence de réseau d'assainissement, le revêtement drainant prévu pour l'aménagement d'un parking peut être associé à un réseau de noues, de fossés 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.

ENCART

DES PRINCIPES DE PRÉCAUTION UTILES…

Complémentarité des revêtements drainants et des systèmes d'assainissement classique

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, oriente 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.

2.3.3. Aménagement en déclivité, projets avec des pentes et des dévers importants

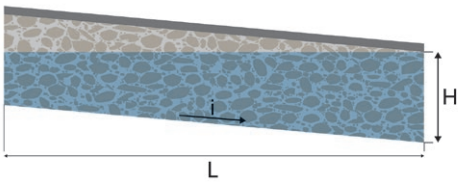


Figure 21 : Compartiment de chaussée à structure réservoir.

Les pentes modifient la capacité de stockage car elles provoquent une accumulation de l'eau au point bas, ce qui peut entraîner des débordements. La figure 21 illustre le phénomène. La conception doit intégrer cette gestion des pentes et des dévers importants.

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 capacité de stockage.
- Cloisonner la structure de l'ouvrage, de manière à créer des bassins de stockage, aménagés en série ou en parallèle (figures 22 et 23).

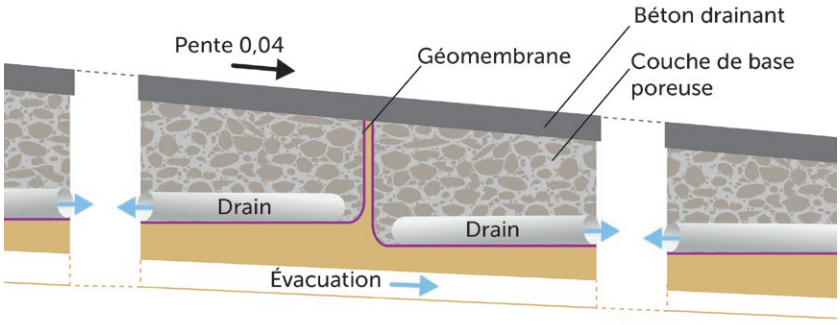


Figure 23 – Exemple de stockage sous chaussée et trottoirs à forte pente.

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 événements pluvieux dans lesquels le projet s'inscrit.
- Comparaison entre les dimensionnements mécanique et hydraulique et recherche d'optimisation technico-économique.

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 connaître 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 positionné 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 capacité 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.

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 dimen-

sionnement 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.

PORTANCE PF2(*)	CLASSE DE TRAFIC (EN POIDS LOURDS PAR JOUR SUR LA VOIE LA PLUS CHARGÉE)					
Classe de béton	Espaces exclusivement piétonniers	T7 0 < T ≤ 2	T6 2 < T ≤ 10	T5 10 < T ≤ 25	T4(**) 25 < T ≤ 50	T3(**) 50 < T ≤ 150
BC5 dense	12 cm	17 cm	19 cm	20 cm	22 cm	18 cm BC5 15 cm BC3
BC4 drainant	Dimensionnement hydraulique avec un minimum de 12 cm	19 cm	21 cm	22 cm	24 cm	20 cm (***) BC4 15 cm (***) BC3
BC3 drainant		21 cm	23 cm	24 cm	26 cm (***)	-
BC2 drainant		23 cm	25 cm	-	-	-

(*) Pour une portance PF3, les épaisseurs figurant dans le tableau seront réduites de 2 cm, avec un minimum de 12 cm. Pour les aménagements exclusivement piétonniers, une plateforme PF1 est envisageable. Dans ce cas l'épaisseur minimale est portée à 14 cm pour le BC2 et reste à 12 pour BC3 et BC4.
(**) Pour la classe T3, les structures comprennent une couche de fondation, par exemple en béton poreux de classe BC3 et d'épaisseur minimale 12 cm.
(***) Pour les trafics T3 pour le BC4 et T4 pour le BC3, la mise en œuvre doit être effectuée avec des moyens mécanisés.

Tableau 3 - Dimensionnement mécanique des revêtements en béton drainant coulé en place (hypothèses : durée de service 20 ans, taux de croissance annuel du trafic 1%, coefficient d'agressivité moyen 0,2 pour les faibles sollicitations).

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 et des structures poreuses, 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 à des traitements de sols ou autres procédés d'amélioration de la portance des plates-formes.

Les tableaux 3 et 4 donnent quelques exemples de revêtements drainants et structures poreuses pour des usages où l'application de ces techniques est aujourd'hui mature et dispose d'un bon retour d'expérience.

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 connaître avec précision. Pour cela, les termes principaux assortis de leurs définitions et de leurs unités sont rassemblés dans l'Annexe A6.

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 = Σ entrées – Σ sorties.

Les entrées sont, dans le cas d'une chaussée à structure réservoir :

- Les écoulements arrivant dans l'ouvrage par ruissellement (coefficient d'apport C_a).
- Les précipitations sur la chaussée.
- Les éventuelles entrées d'eau de nappe (fond, fossés...).

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 réglementairement 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.

2.4.3.2. Zone d'influence

Définir la zone d'influence du projet permet au maître 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.

2.4.3.3. Les méthodes de calcul hydraulique

Pour mener à bien le dimensionnement hydraulique, la caractérisation de l'événement pluvieux "projet" qui décline les objectifs du maître 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 les projets courants, deux pratiques opérationnelles peuvent se jouer d'une appétence de plus grande précision si elle est préconisée par le maître d'œuvre. Concrètement, on a recours à la méthode dite «des volumes» d'une part et la méthode de Montana d'autre part.

L'Instruction technique de 1977 conseille le recours à la méthode des volumes, utilisable en tout point du territoire sans nécessiter d'importants recueils et dépouillements de données pluviométriques spécifiques au projet. La méthode de Montana se veut plus précise dès lors qu'elle exploite des données pluviométriques à rechercher au cas par cas qui tiennent compte des disparités locales.

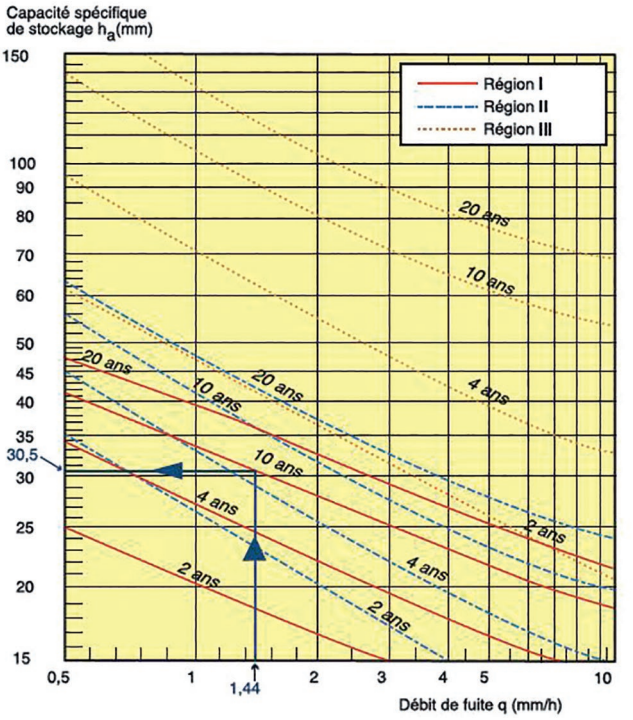


Figure 24 - Capacité spécifique de stockage d'un bassin de retenue en fonction du débit de fuite (extrait «Instruction technique», 1977)

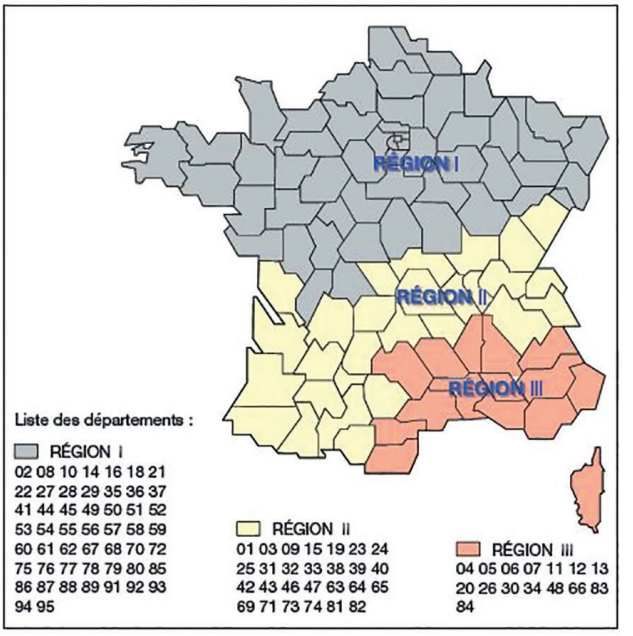


Figure 25 - La France en trois zones de pluviométries homogènes (extrait «Instruction technique», 1977)

2.4.3.3.1. La méthode des volumes

Cette méthode est basée sur un classement fréquentiel des volumes réels à stocker pour plusieurs débits de fuite. Ce travail a été fait en de nombreux points du territoire et il se concrétise par un abaque présenté en figure 24 qui distingue :

- 3 régions pluviométriques I, II, III.
- 4 périodes de retour : 2, 4, 10, et 20 ans.

La surface active S_a tient compte de toutes les surfaces qui génèrent du ruissellement par le biais du coefficient de ruissellement ou d'apport C_a, dont la valeur s'échelonne généralement de 0,25 à 1, comme le montre le tableau 5.

Le volume de stockage est en pratique déterminé en entrant dans l'abaque de la figure 24 par le débit de fuite ou de vidange Q en mm/h, repéré sur l'axe des abscisses, que l'on croise avec la courbe représentative de la période de retour pour la région considérée pour connaitre en sortie de l'abaque la capacité spécifique de stockage h_a en mm.

Le volume à stocker est alors calculé suivant la formule :

$$Vs\ (m^3) = 10 * h_a\ (mm) * S_a\ (ha)$$

2.4.3.3.2. La méthode de Montana

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

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

Et

$$H = a * D^{1-b}$$

I : intensité pluviale (mm/heure) ; H :

AFFECTATION DES SOLS		COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT DÉCENNAL EN FONCTION DE LA DENSITÉ DU BÂTI ET DE L'USAGE
Espaces verts	Espaces verts aménagés, terrains de sports, etc.	0,25 à 0,35
Habitat individuel	12 logements/ha	0,40
	16 logements/ha	0,43
	20 logements/ha	0,45
	25 logements/ha	0,48
	35 logements/ha	0,52
Habitat collectif	50 logements/ha	0,57
	60 logements/ha	0,60
	80 logements/ha	0,70
Autres	Équipements publics	0,65
	Zones d'activités	0,70
	Supermarchés	0,80 à 0,90
	Parkings, Chaussées	0,95
	Plans d'eau	1,00

Tableau 5 - Exemples de coefficients de ruissellement ou d'apport pour les principales affectations de sols en milieu urbains (extrait du guide Les Techniques alternatives en assainissement pluvial GRAIE).

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.

Une fois les événements pluvieux propres au projet caractérisés, on détermine l'adéquation entre le coefficient de perméabilité nécessaire et celui qui est offert par le revêtement drainant.

K coefficient de perméabilité minimal requis = Ca * Cs * I, avec I = a * D-b

Avec Ca : coefficient d'apport ; Cs : coefficient de sécurité ; a et b : coefficients de Montana positifs.

Pour effectuer le dimensionnement hydraulique selon cette méthode, il est nécessaire de connaître :

- Les caractéristiques de l'événement pluvieux : période de retour, durée de la pluie, localisation du projet de manière à calculer l'intensité de l'événement pluvieux, avec la formule de Montana I(D,T) = a(D,T) * Db(D,T) et des coefficients

de Montana a(D,T) et b(D,T) locaux pour établir les courbes Intensité-Durée-Fréquence I(D,T) l'intensité pluviale en mm/min pour une durée D (en min) et pour une période de retour T.

- Les caractéristiques des surfaces à considérer, et les ruissellements des surfaces adjacentes éventuels.
- Le coefficient de sécurité ou de colmatage à prendre en compte. Il est recommandé de prendre forfaitairement un coefficient égal à 10 pour intégrer le changement climatique et le colmatage du revêtement.

Une fois la vérification au bon comportement hydraulique dans la durée du revêtement drainant choisi opérée, la cohérence d'ensemble pour bien maîtriser le cycle des eaux pluviales doit prendre en compte les dispositions suivantes :

- Choix du lit de pose et de la fondation (Cas des produits en béton préfabriqués) Pour préserver à terme la perméabilité et face au risque de colmatage des couches inférieures, le choix du matériau pour le lit de pose s'orientera sur des sables ou gravillons dépourvus d'éléments fins (exemple : 0/4 bien gradué, 2/6).
- Stockage et évacuation de l'eau. Les eaux pluviales peuvent être stockées dans la couche de fondation et s'infiltrer dans le sol support. Si les capacités d'infiltration du sol en place sont insuffisantes, il peut être nécessaire de coupler l'infiltration avec un exutoire, pour évacuer les eaux pluviales présentes dans la fondation. Lorsque l'infiltration dans le sol support n'est pas recherchée, par exemple en cas de risque de pollution de la nappe phréatique, un géotextile ou une géomembrane étanche est placé en fond de fouille.

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 26).

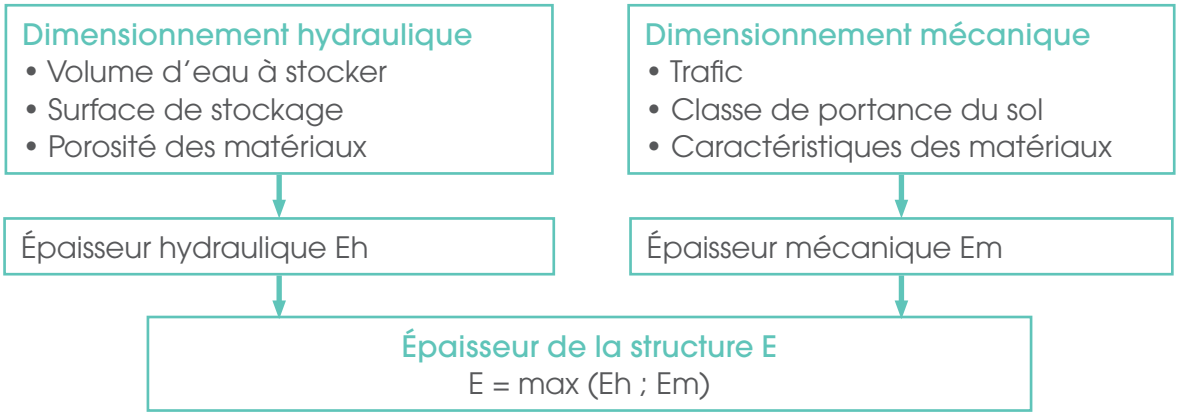
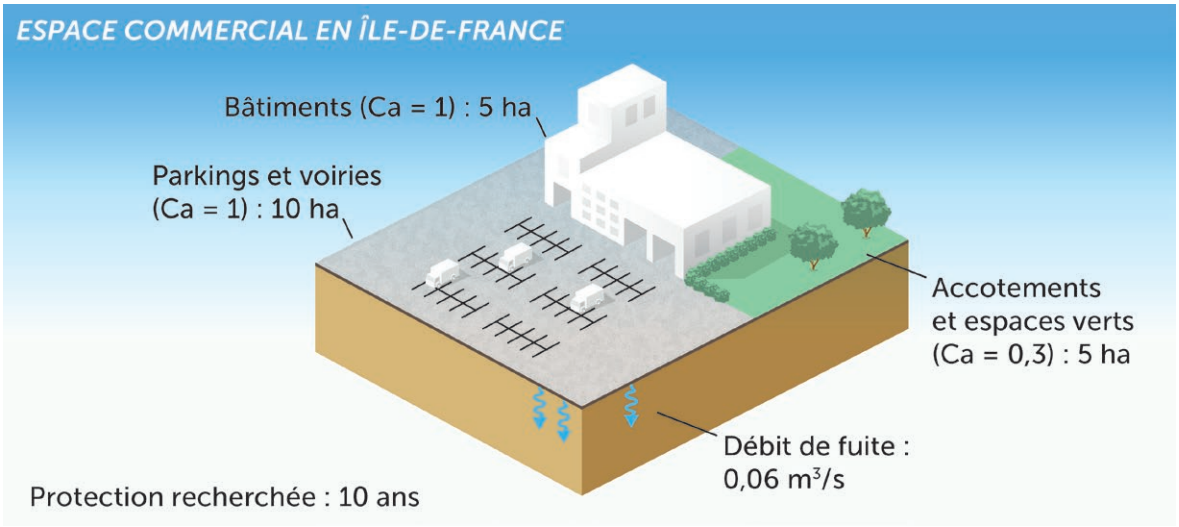


Figure 26 - Mise en perspective des dimensionnements mécanique et hydraulique.

2.5.1. Exemple de calcul de dimensionnement et d'optimisation d'un revêtement en béton drainant coulé en place

La méthode des volumes est choisie pour le dimensionnement hydraulique, ce qui appelle à disposer de la carte et de l'abaque présentés en figures 24 et 25.

Les hypothèses de calcul



La solution

L'Île-de-France est en région 1 (voir figure 25).

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

Le débit de fuite spécifique : q = (3 600 x 0,06)/ 165 000 = 0,00131 m/h = 1,31 mm/h.

La capacité de stockage (hauteur de la lame d'eau) lue sur l'abaque (voir figure 24) pour la région 1, niveau de protection 10 ans et q = 1,31 mm/h, est : ha = 31,5 mm = 0,0315 m.

Le volume à stocker est donc : V = 165 000 x 0,0315 ≈ 5 200 m3

Par sécurité, on retiendra 6 000 m3.

Le revêtement est constitué de béton drainant, à 15 % de porosité utile, mis en œuvre sur les parkings et les voiries.

Surface de la structure poreuse : A = 10 ha = 100 000 m2

Porosité : n = 15 % = 0,15

H = 6 000 / (100 000 x 0,15) = 0,40 m

Dans ce cas, si l'on se réfère par exemple à un béton drainant BC4 à 15% de vides, et un trafic équivalent T6, l'épaisseur mécaniquement utile est 21 cm. C'est donc le dimensionnement hydraulique qui prime. On peut alors tendre vers l'optimisation en choisissant un béton drainant de classe de résistance BC3 en se référant au tableau 3 qui appelle à une épaisseur mécaniquement nécessaire de l'ordre de 23 cm (plus proche de la solution finale de 40 cm).

Nota : si le choix du maître d'ouvrage est de retenir un niveau de protection caractérisé par une période de retour de 4 ans en admettant pour cette occurrence une lame d'eau pour un temps limité sur le parking, et une gestion de l'eau pluviale sur le bâti non couplée à celle du parking et de ses abords, le volume d'eau à stocker dans ce cas serait alors de l'ordre de 2800 m3.

Le détail du calcul s'établit comme suit :

Surface : 10 ha de voiries et parking

Degré de protection recherchée : 4 ans

Débit de fuite : 0,06 m3/s

Région pluviométrique : 1

Surface active : Sa = 100 000 m2 x 1 = 100 000 m2

Débit de fuite spécifique : 3600 x 0,06 / 100 000 = 0,00216 m/h = 2,16 mm/h

Capacité de stockage lue sur l'abaque de la figure 24, pour la région 1, le niveau de protection 4 ans et le débit de fuite de 2,16 mm/h = 22 mm= 0,022m

Volume à stocker : 0,022m x 100 000 m2 = 2200 m3

Par sécurité, on retiendra 2800 m3 pour s'affranchir d'éventuels problèmes d'abords, de matériaux et de mise en œuvre

Epaisseur du béton drainant BC4 à 15% de vides communiquant, utile hydrauliquement :

2800 / (100 000 x 0,15) = 0,19 m soit 19 cm.

Dans ce cas, l'épaisseur du matériau drainant, hydrauliquement nécessaire, est de 19 cm soit une valeur inférieure au dimensionnement mécanique de 21 cm. L'épaisseur retenue sera de 21 cm de béton drainant BC4.

2.5.2. Exemple de calcul d'un revêtement alvéolaire en béton (végétalisé ou gravillonné)

On considère un revêtement alvéolaire coulé en place constitué de moules Via Verde® en fibres de cellulose d'épaisseur 150 mm, ménageant un volume de « vides » (alvéoles) de près de 85 litres au mètre carré, remplis avec un matériau présentant une porosité ouverte en place de l'ordre de 36%. Ce revêtement repose sur une couche drainante de 15 cm constituée d'une GNTP présentant une porosité ouverte de 40%.

Le calcul de la porosité équivalente est effectué avec la formule (1)

$nr = nm * Vv / (H * A)$ (1)

Avec :

nr = porosité équivalente du revêtement

nm = porosité du matériau d'apport en place dans les cavités

Vv = volume total (en litres) des alvéoles sur une surface d'un mètre carré

H = hauteur du moule (en dm)

A = 100, surface d'un mètre carré, exprimée en dm2

La hauteur de la lame d'eau susceptible d'être collectée par la structure complète

de la chaussée est donnée par la formule (2)

L = nr * H + na * Ha (2)

Avec :

L = hauteur de la lame d'eau (en cm) susceptible d'être collectée par la structure complète de chaussée

nr = porosité équivalente du revêtement

H = Hauteur des moules (en cm)

na = porosité ouverte du matériau de la couche d'assise

Ha = épaisseur (en cm) de la couche d'assise

Dans cet exemple, la capacité de stockage du matériau d'assise sous le revêtement alvéolaire, est pris en compte pour le calcul de la capacité de stockage de la structure.

Calcul de la porosité équivalente du revêtement nr

La formule (1) donne :

nr = 0,36 × 85 / (1,5 × 100) = 0,204 = 20 %

Calcul de la lame d'eau L

La formule (2) donne :

L= 0,204 × 15 + 0,40 × 15 = 3,06 + 6 = 9,06 = 9 cm ; soit 90 litres par mètre carré.

Cette valeur peut correspondre aux précipitations attendues sur 24 heures pour une alerte rouge « forte pluie » dans le département de l'Hérault et qui seraient alors contenues dans la structure de revêtement évoquée.

Ces systèmes constructifs peuvent également faire l'objet d'un essai de perméabilité pour déterminer leur capacité d'infiltration, ce qui constitue un élément de dimensionnement pour le concepteur ou ingénieur hydraulicien. L'essai de perméabilité développé par le CERIB (cf. Annexe A1) s'applique.

3. CONCLUSION

La chaine logique du travail du maître d'œuvre, chargé 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 maître 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.

CHAPITRE 5

LES REVÊTEMENTS DRAINANTS EN BÉTON - MISE EN ŒUVRE ET CONTRÔLES

1. INTRODUCTION 64
2. RÈGLES GÉNÉRALES 64
2.1. TRAVAUX PRÉPARATOIRES 64
2.2. PRÉPARATION DE LA PLATE-FORME SUPPORT 64
2.3. RÉCEPTION DE LA PLATE-FORME SUPPORT 64
2.4. MISE EN ŒUVRE DES ÉQUIPEMENTS PRÉVUS DANS LA CONCEPTION 65
2.4.1. Imperméabilisation du support et des bords 65
2.4.2. Exutoires 65
2.4.3. Assise 65
2.4.4. Ouvrages divers 65
3. RÈGLES SPÉCIFIQUES 65
3.1. EXÉCUTION D'UN REVÊTEMENT DRAINANT EN BÉTON COULÉ EN PLACE 65
3.1.1. Exécution et contrôle d'un revêtement en béton drainant 65
3.1.2. Exécution et contrôle d'un système constructif en béton coulé en place 71
3.2. EXÉCUTION DES REVÊTEMENTS DRAINANTS EN PRODUITS PRÉFABRIQUÉS 74
3.2.1. Exécution et contrôle d'un revêtement en pavés poreux ou dalles poreuses 74
3.2.2. Exécution et contrôle d'un revêtement en pavés à joints larges et perforés 76
3.2.3. Exécution et contrôle d'un revêtement en dalles drainantes engazonnées ou gravillonnées 78
4. CONCLUSION 80

1. INTRODUCTION

Tout autant que les précautions de conception explicitées au chapitre 4, l'exécution doit être menée en respectant scrupuleusement les règles de l'art et les dispositions constructives décrites dans la suite de ce chapitre. On distinguera des règles générales qui s'appliquent à l'ensemble des revêtements drainants en béton et des règles spécifiques à chacune des solutions de l'offre béton (se reporter si besoin au guide T57 de la Collection Technique CIMbéton).

2. RÈGLES GÉNÉRALES

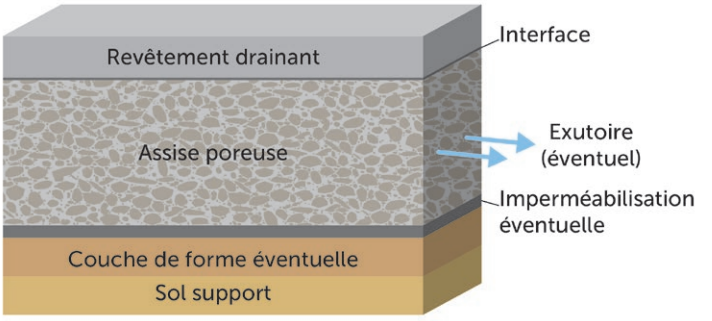


Figure 27 - Structure-type d'une voirie à assise poreuse et revêtement drainant.

Le revêtement drainant s'inscrit dans un dispositif constructif cohérent schématisé sur la figure 27.

Pour un bon fonctionnement de l'ouvrage, il est nécessaire de bien suivre lors de la mise en œuvre les étapes suivantes :

2.1. Travaux préparatoires

Dans le cas d'un chantier en zone urbaine ou périurbaine, les précautions d'usage s'appliquent, à savoir :

- Une information appropriée : information des riverains, des commerçants et des occupants du domaine public.
- Un balisage et une protection du chantier : dans le but, d'une part, de protéger les riverains et les usagers, et d'autre part, de protéger le chantier (mobilier, arbres) et les couches mises en œuvre contre d'éventuelles dégradations.
- Un respect des contraintes environnementales : réduction des nuisances (bruit, pollution) et de l'usage de l'ouvrage (accessibilité).

2.2. Préparation de la plate-forme support

Pour tout chantier, les précautions suivantes s'appliquent :

- Nettoyage de la plate-forme support (débris, boues et matières organiques, etc.).
- Assainissement et drainage de la plate-forme (installation des drains dans des saignées, mise en place éventuelle d'ouvrages d'assainissement provisoires, etc.).
- Dispositions pour approvisionner les matériaux (circulation sur la plate-forme ou piste de chantier).

2.3. Réception de la plate-forme support

Avant la mise en œuvre de l'assise, la plate-forme support doit être conforme :

- Aux spécifications de géométrie : planéité, profil en travers et en long.
- Aux exigences de portance : une portance minimale PF2 (EV2 ≥ 50 MPa) est requise en principe. La portance doit être conforme aux hypothèses prises pour le calcul de dimensionnement mécanique. Elle est déterminée à partir d'une des quatre méthodes suivantes : essai à la plaque (NF P 97-114-1), essai à la dynaplaque (NF P 97-114-2), essai de déflexion à la poutre de Benkelman (NF P98-200-2) ou au déflectographe (NF P 98-200-6).
- Aux dispositions de piquetage : conformément à l'article 27 « Travaux » du CCAG (Cahier des Clauses Administratives Générales). Il n'est pas exécuté de piquetage général si le corps de chaussée est exécuté par référence à :

– Des ouvrages longitudinaux (bordures, caniveaux, etc.) existants, ou construits préalablement, en bordure de l'assise à réaliser.

– Un support existant ; dans ce cas, un piquetage de repérage sera réalisé pour vérifier que l'assise est bien projetée en plan par rapport à ce support.

- Le cas échéant, aux exigences de perméabilité : le support (plate-forme ou assises) doit présenter un coefficient de perméabilité compatible avec le coefficient de perméabilité du revêtement, conformément aux stipulations du paragraphe 2.4 du chapitre 4.

2.4. Mise en œuvre des équipements prévus dans la conception

2.4.1. Imperméabilisation du support et des bords

La réalisation de l'imperméabilisation est envisagée uniquement dans le cas des concepts à évacuation localisée. Dans ce cas, on a recours à une géomembrane éventuellement protégée par un géotextile, ou à une couche d'émulsion gravillonnée.

2.4.2. Exutoires

L'installation des exutoires est envisagée uniquement dans le cas des concepts à évacuation localisée.

2.4.3. Assise

L'assise, quand elle est prévue, peut être réalisée soit en matériaux traditionnels, soit en matériaux poreux lorsque le dimensionnement hydraulique l'exige. Dans ce dernier cas, les matériaux utilisés sont :

• Assise en grave non traitée poreuse GNTP (GNT d/D) : consulter la fiche-type GNTP en Annexe A7.

- Assise en béton poreux : consulter la fiche-type « Béton poreux » en Annexe A8.
- Assise en éléments creux en béton type « Hydrocyl® » consulter la fiche-type « Hydrocyl® » en Annexe A9.

2.4.4. Ouvrages divers

En fonction de la conception de l'aménagement visé, les ouvrages divers peuvent être des drains, des bordures, des caniveaux, des tuyaux, des regards, des boîtes de branchement, etc. Les règles de l'art relatives à ces ouvrages s'appliquent (par exemple fascicule 31 et fascicule 70 du CCTG).

3. RÈGLES SPÉCIFIQUES

3. 1. Exécution d'un revêtement drainant en Béton coulé en place

3.1.1. Exécution et contrôle d'un revêtement en Béton drainant

3.1.1.1. La commande du béton drainant

La commande du béton drainant auprès du fournisseur de béton prêt à l'emploi est l'occasion d'échanger un certain nombre de renseignements. En effet, si la fabrication de ce matériau ne pose aucun problème particulier pour une centrale à béton, sa formulation spécifique le rend sensible à toute variation relative de ces composants, notamment l'eau efficace du mélange, ainsi qu'aux conditions de mise en œuvre, en particulier pour adapter la formulation à :

- La nature de l'ouvrage, son exposition aux agents climatiques.
- La granularité du béton, sa couleur.
- Les caractéristiques mécaniques visées aux échéances souhaitées par le client.
- La porosité ouverte ou la drainabilité visée.
- Les conditions de coulage en termes de période, durée, cadencement, volume des toupies et moyen(s) de vidange.
- Les moyens de mise en œuvre, et de serrage/compactage du béton.

Par ailleurs le volume du béton commandé doit prendre en compte la surépaisseur nécessaire à l'obtention du volume voulu après serrage ou compactage.

3.1.1.2. Fabrication

Dans la mesure du possible, les bétons seront approvisionnés depuis des unités de production de béton prêt à l'emploi

titulaires du droit d'usage de la marque NF. Si les bétons sont approvisionnés depuis une centrale non titulaire de

la marque NF, ou depuis une centrale de chantier, celle-ci devra posséder les équipements permettant d'effectuer le

contrôle interne à la chaîne de production conformément aux exigences de la norme NF EN 206/CN.

Si le béton drainant ne dispose pas de références probantes, il devra faire l'objet d'une épreuve de convenance de mise en œuvre. Un béton destiné à la réalisation d'un revêtement drainant est composé de :

- Gravillons : code en fonction de l'usage, une ou deux coupures de gravillons préférentiellement concassés et de faible étendue granulaire : 2/4, 2/6, 4/6, 6/10, 10/14 ou 10/22.
- Ciment : conforme à la norme NF EN 197-1 généralement de type CEM I, CEM II mais aussi CEM III ou CEM V de classe de résistance 52,5 ou 42,5.
- Eau : le rapport E/C est généralement compris entre 0,25 et 0,45.
- Adjuvant type plastifiant réducteur en eau ou super plastifiant haut réducteur en eau permettant de limiter le rapport Eau/Liant équivalent, ou type retardateur pour augmenter le temps d'ouvrabilité des bétons.

Éventuellement :

- Sable : une faible quantité de sable, ne dépassant pas 10% du poids total de granulats.
- Adjuvant entraîneur d'air pour certains usages.
- Ajout pour augmenter le temps d'ouvrabilité des bétons.

La formulation du béton drainant peut aussi comprendre des additions comme des pigments, et/ou des microfibres. La fabrication de ce matériau ne pose aucun problème particulier pour une centrale à béton mais sa formulation spécifique le rend sensible à toute variation relative de ces composants et notamment l'eau efficace du mélange.

3.1.1.3. Travaux préparatoires avant coulage

Avant de procéder au coulage proprement dit, on veillera à :

- La mise en œuvre des coffrages (règles, bordures, pavés…) délimitant l'emprise de l'ouvrage et la mise à la côte des éventuelles émergences.
- L'humidification éventuelle de la plate-forme selon les conditions climatiques.

3.1.1.4. Prise en compte des conditions climatiques

L'entreprise devra prendre des précautions en fonction des conditions atmosphériques telles que celles définies dans le tableau 6.

Bétonnage par temps humide

En cas de risque de pluie, une feuille de protection souple ou des coffrages légers sont approvisionnés afin de pouvoir protéger la surface de la dalle et maintenir les bords en place. En cas de prévision d'orage, la fabrication du béton sera suspendue.

<table>
<tr><th>TEMPÉRATURE AMBIANTE
HYGROMÉTRIE</th><th>< 5 °C</th><th>DE 5 À 25 °C</th><th>DE 25 À 30 °C</th><th>> 30 °C</th></tr>
<tr><td>DE 60 à 100 %</td><td rowspan="3">Pas de bétonnage</td><td rowspan="2">Conditions normales de bétonnage(*)</td><td></td><td rowspan="3">Pas de bétonnage</td></tr>
<tr><td>DE 50 à 60 %</td><td>Conditions normales de bétonnage(*) et humidification de la plate-forme</td></tr>
<tr><td>< 50 %</td><td>Conditions normales de bétonnage(*) et humidification de la plate-forme</td><td>Bétonnage de préférence l'après-midi de façon à ce que la prise du béton se fasse après les heures les plus chaudes de la journée, humidification de la plate-forme et cure renforcée(*)</td></tr>
<tr><td colspan="5">(*) voir paragraphe 3.1.1.8 du chapitre 5</td></tr>
</table>

Tableau 6 - Précautions en fonction des conditions climatiques.

Bétonnage par grand vent

Dans le cas de vent fort (supérieur à 6 m/s soit 20km/h), la protection du béton à l'aide d'un feutre humidifié est réalisée immédiatement après le bétonnage.

3.1.1.5. Transport et vidange

Le béton drainant est approvisionné par camion-toupie ou camion benne bâché pour grands chantiers. Il peut être coulé à la goulotte, au tapis ou par vidange dans des véhicules automoteurs à benne basculante. Du fait de son caractère fortement grenu, il ne peut être pompé.

3.1.1.6. Contrôle de la consistance du béton

À l'exception de la mise en œuvre au finisseur HPC, où le béton doit être ferme, la consistance du béton drainant pour une mise en place manuelle ne peut pas être appréciée par la mesure de l'affaissement au cône d'Abrams ou autre test normalisé. Le contrôle repose sur deux appréciations visuelles visant à vérifier le bon enrobage des gravillons par la pâte de ciment et l'état hydrique de cette dernière :

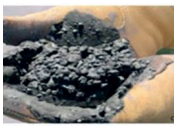
- Les gravillons doivent être bien enrobés de pâte et celle-ci doit présenter un aspect gras/brillant/mouillé.
- Une boule du mélange placée dans la main doit légèrement s'affaisser après une légère secousse, et le gant ne doit être couvert de laitance que sur environ la moitié de la surface (photo 45).

Un béton pour lequel la laitance « trop fluide » ne peut enrober convenablement les

gravillons formera des horizons colmatés au cours de la mise en œuvre. Un béton trop ferme sera difficile à mettre en œuvre et n'atteindra pas les qualités attendues. Dans les deux cas, le béton ne doit pas être accepté et la formule devra être modifiée en conséquence par le BPE.

Consistance faible,
béton drainant très sec,
échec de l'essai à la boule.

Consistance optimale,
succès de l'essai à la boule.



Consistance élevée,
béton drainant trop humide,
échec de l'essai à la boule.

Photo 45 - Consistance du béton drainant : test à la boule.

3.1.1.7. Mise en œuvre du béton

La mise en œuvre du béton drainant ne peut être faite à l'aide du matériel habituel de construction des revêtements en béton dense. En effet, il convient d'éviter toute opération pouvant conduire à une ségrégation du mélange notamment par vibration interne, lissage ou ajout d'eau.

Il est donc conseillé d'utiliser un matériel serrant le matériau par compactage et/ou par vibration superficielle, selon le niveau de performances visées.

Photo 46 - Coulage du béton et réglage au « roller-striker ».

Photo 47 - Mise en œuvre du béton à la lisseuse vibrante.

3.1.1.7.1. Nivellement à la règle manuelle, compactage et lissage manuel

Ce procédé est utilisé lorsqu'un niveau de porosité élevé est visé. Le matériau répandu est égalisé au râteau et nivelé à la règle avec une surépaisseur de l'ordre de 5%. Il est serré à la lisseuse manuelle, la finition pouvant s'accompagner du passage de la lisseuse vibrante ou mécanique. Ce procédé est donc adapté aux petits chantiers non circulés et aux couches de roulement de faible épaisseur.

Photo 48 - Nivellement à la règle manuelle.

Photo 49 - Lissage manuel.

3.1.1.7.2. Nivellement et compactage au rouleau lesté

Ce procédé est utilisé lorsqu'un niveau de porosité moyen est visé. Il consiste à tirer le béton avec une surépaisseur de l'ordre de 5 à 7%, à compacter manuellement les bords du revêtement et à compacter la surface par passage d'un rouleau lesté d'un poids au mètre linéaire de plusieurs dizaines de kilogrammes. Après le rouleau, le passage de la lisseuse vibrante ou mécanique permet de parfaire le rendu en couchant parfaitement les granulats. Ce procédé est donc adapté aux petits chantiers non circulés, et de formes et pentes complexes.

Photo 50 - Compactage au rouleau lesté.

Photo 51 - Passage de la lisseuse vibrante.

3.1.1.7.3. Nivellement au rouleau-compacteur / règle manuelle et compactage au patin vibrant

Ce procédé est utilisé lorsqu'un niveau de porosité faible à moyen est visé. Il consiste à tirer le béton avec une surépaisseur de l'ordre de 7 à 10 %, et à le serrer à l'aide d'un rouleau compacteur « roller-striker ». Après le passage du rouleau-compacteur, le compactage proprement dit est réalisé, après la pose de plaques de contreplaqué, à l'aide d'un patin vibrant en insistant sur les bords et les joints des plaques. Après retrait des plaques, la finition peut être réalisée par passage de la lisseuse vibrante ou mécanique.

Ce procédé peut présenter de légères variantes quant au dressage de la surface en fonction d'éventuelles formes de pente, de coulage contre façade ou d'autres

considérations géométriques qui n'auraient pas permis le passage du rouleau-compacteur « roller striker ». Si les conditions s'y prêtent, le passage du « roller striker » sur des taquets placés entre 10 et 20 mm au-dessus du niveau fini permettra de gagner en rendement et assurera la planéité des niveaux. Cette méthodologie est adaptée aux chantiers de taille petite à moyenne.

Photo 52 - Nivellement au roller-striker.

Photo 53 - Compactage au patin vibrant.

3.1.1.7.4. Mise en œuvre à la niveleuse et au compacteur

Ce procédé est utilisé lorsqu'un niveau de porosité moyen est visé. Il consiste à répandre le béton à l'aide d'une niveleuse, à le régler soigneusement avec la surépaisseur adéquate et à le compacter à l'aide d'un compacteur du même type que ceux utilisés pour la mise en œuvre des graves traitées aux liants hydrauliques. Ce procédé est adapté aux chantiers de taille moyenne.

Photo 54 - Répandage du béton drainant à la nivelleuse.

Photo 55 - Compactage du béton drainant.

Photo 56 - Atelier de mise en œuvre du béton drainant.

3.1.1.7.5. Mise en œuvre au finisseur HPC

Ce procédé est utilisé lorsqu'un niveau de porosité faible est visé et lorsqu'un très bon uni de surface est recherché. La mise en œuvre se fait par couches de 17 cm maximum. De par la technicité de la mise en œuvre, la taille de chantier requise et les réglages qu'il impose, cette mise en œuvre est plus spécialement adaptée aux ouvrages de grande taille et à section constante. En outre, le finisseur HPC est un matériel bien adapté pour l'obtention de performances mécaniques élevées de type BC4. Une machine à coffrage glissant peut être adaptée pour la mise en œuvre des bétons drainants.

Nota : les méthodologies développées préalablement peuvent, le cas échéant, présenter des variations et adaptations dans leur déroulement ou dans la nature des outils utilisés. D'une façon générale, il convient d'adapter l'énergie de compactage et les surépaisseurs de béton à la destination de l'ouvrage.

3.1.1.8. La protection du béton drainant

Comme tous les matériaux traités aux liants hydrauliques, le béton drainant doit recevoir, au jeune âge, une protection efficace. Compte tenu de la porosité ouverte du matériau, l'utilisation d'un produit de cure classique n'est pas adaptée car il peut réduire la porosité en surface et conduire au colmatage du revêtement. Il existe cependant des produits de protection spécifiques permettant de limiter le départ d'eau (agent anti-évaporant non filmogène). On peut aussi limiter les départs d'eau du béton en recouvrant ce dernier après début de prise d'un feutre humidifié et régulièrement arrosé. La protection peut également être assurée en recouvrant la surface du revêtement par un film en polyéthylène empêchant toute circulation d'air et qui sera maintenu en place plusieurs jours. Ce procédé peut cependant conduire à une forte carbonatation du revêtement. Pour réduire cette carbonatation, la feuille de polyéthylène pourrait être ajourée.

Photo 57 : Protection du béton drainant à l'aide d'un film en polyéthylène.

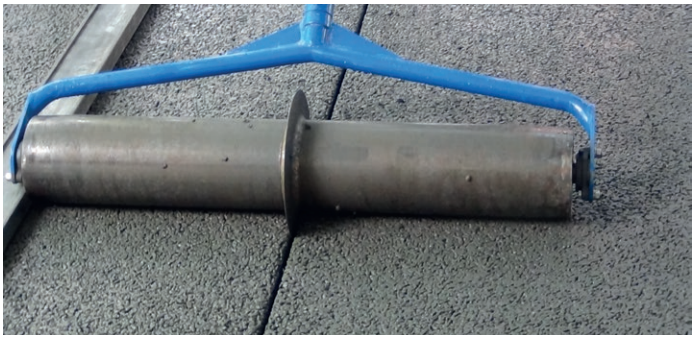
Photo 58 : Protection du béton drainant à l'aide d'un produit de cure spécifique.

3.1.1.9. L'exécution des joints

Bien que le béton drainant soit moins sensible au retrait qu'un béton plein, il reste susceptible de se fissurer de façon aléatoire si des joints de retrait ne sont pas ménagés dans le revêtement au jeune âge, à intervalles réguliers. Les joints peuvent être, soit confectionnés dans le matériau frais, avec un rouleau lesté muni d'une saillie moulant le joint lors du déplacement du rouleau, soit réalisés par sciage du béton durci sur le tiers supérieur du revêtement, dans un délai allant de 6 h à 48 h après le bétonnage, en fonction des conditions climatiques (température ambiante et hygrométrie). L'espacement des joints ne doit pas être supérieur à 25 fois l'épaisseur du revêtement (voir tableau "Espacement des joints" dans les documents CIMbéton T50 et T57).

3.1.1.10. Remise en circulation

En règle générale, la remise en circulation des véhicules légers est autorisée dès que le béton a atteint, *in situ,* 14 MPa en compression. Pour les poids lourds, la remise en circulation est autorisée dès que le béton a dépassé, *in situ,* 20 MPa en compression.



Photos 59 et 60 - Exécution des joints dans le matériau frais à l'aide d'un rouleau jointeur (à gauche) ou d'une jointeuse vibrante (à droite).

3.1.1.11. Contrôles des matériaux et des travaux

3.1.1.11.1. Contrôle des bétons (matériaux)

Les contrôles avant la mise en œuvre du béton sont :

- Contrôle des bons de livraison.
- Test à la boule ou au gant.
- Réalisation d'éprouvettes pour mesure de la porosité et des caractéristiques mécaniques (essais de référence en laboratoire, conservation normalisée en laboratoire).

Nota : les modes opératoires pour la caractérisation des bétons drainants sont en cours d'harmonisation par un groupe de travail du SNBPE dont les conclusions sont attendues pour la fin 2018.

3.1.1.11.2. Contrôle des travaux

Pour assurer l'obtention d'une bonne qualité d'exécution, l'entreprise veillera à choisir la méthode de mise en œuvre garantissant l'obtention d'une compacité conforme à celle de la formule de référence. Les contrôles des travaux se déroulent en deux étapes :

À la mise en œuvre du matériau

- Mesure d'épaisseur.
- Mesure de densité au gammadensimètre dans le cas des ouvrages circulés avec un trafic supérieur ou égal à T4 (50 PL/j).

Après la mise en œuvre (sur matériau durci)

- Mesure de la capacité d'infiltration du revêtement à l'aide d'un des 3 essais suivants :
  - Mesure de la drainabilité in situ, conformément à la norme NF EN 12 697-40.
  - Mesure de la vitesse d'infiltration in situ selon la norme ASTM C1701.
  - Mesure de la perméabilité sur une éprouvette confectionnée ou prélevée, conformément à la norme NF P 98 254-4.

- Mesure de l'uni à la règle de 3 mètres.
- Carottages pour mesure indicative de la porosité et des résistances mécaniques.

Nota : pour la porosité et la résistance, la mesure sur éprouvette prélevée in situ peut différer sensiblement de celle obtenue sur éprouvette normalisée (voir § 3.1.1.11.1) selon les conditions de mise en œuvre.

Photo 61 - Drainomètre permettant de mesurer la drainabilité d'un revêtement drainant in situ.

Photo 62 - Mesure de la vitesse d'infiltration in situ selon la norme ASTM C1701.

Photo 63 - Carotte de béton drainant pour réaliser des contrôles de porosité et de résistance mécanique.

3.1.2. Exécution et contrôle d'un système constructif en béton coulé en place

3.1.2.1. Objectifs et principe

Le principe de réalisation repose sur la mise en œuvre de moules de coffrage juxtaposés afin de recouvrir la totalité de la zone à couler. Ces moules sont positionnés sur un lit de pose recouvert éventuellement d'un feutre géotextile. Le support est, selon le cas :

- Soit une couche de Grave Non Traitée Poreuse GNTP (cf. Annexe A7).
- Soit un support de portance minimale PF2.

Après coulage du béton jusqu'au niveau des moules et son durcissement, on obtient un dallage présentant des réservations qu'il convient d'ouvrir pour obtenir des orifices débouchant sur le lit de pose.

3.1.2.2. Coffrage, pose des moules perdus et renforcements

Les bords de l'aménagement sont coffrés avec des règles ou calepinés avec des éléments modulaires. Il est préconisé de laisser une bande entre le coffrage et la première rangée de moules de 10 cm minimum.

La pose des moules s'effectue sur le support en les juxtaposant ou les clipsant, selon les modèles. On garantit ainsi un alignement des alvéoles favorisant l'esthétique de l'aménagement. Les modèles peuvent être découpés pour retirer une rangée d'alvéoles ou assurer une découpe biaise vis-à-vis des bords de l'ouvrage.

Photo 64 - Pose des moules (système Grasscrete®).

Photo 65 - Réalignement des moules (système Grasscrete®).

Certains modèles permettent de faire passer à la base des alvéoles des conduites ou tubulures permettant d'intégrer sous les moules sans décaissement supplémentaire un système d'aspersion pour un revêtement engazonné. Des tuyères escamotables pourront être ainsi placées dans les alvéoles et seront de la sorte protégées des roues des véhicules. Dans le cas où cette possibilité n'est pas permise par le procédé constructif choisi, un système d'aspersion sera malgré tout à mettre en œuvre à proximité en veillant à ce que les capacités des tuyères et du réseau garantissent un arrosage correct du gazon. A défaut, l'ensemencement devra se faire avec des essences nécessitant peu d'eau (sédums).

Photo 66 - Pose des moules et des armatures (système Via Verde®).

Avant coulage du béton, des armatures en barres ou treillis soudés sont mises en œuvre sur les moules et éventuellement entre les moules et le coffrage périphérique. Les alvéoles sont alignés selon un maillage carré de 20 cm ce qui permet la mise en œuvre de treillis soudés de type ST15C pour les applications les plus courantes et les moins sollicitées. Le coulage d'un béton fluide et de granulométrie adaptée aux sections à réaliser permet de remplir sans difficulté les espaces entre

les alvéoles. Les bétons prescrits pour ces applications sont de classe de résistance minimale C30/37 et leur formulation doit répondre aux exigences locales concernant les classes d'exposition selon la norme NF EN 206/CN.

3.1.2.3. Coulage du béton

Le béton est coulé directement ou à la pompe ou au tapis, en évitant une chute du béton d'une hauteur trop importante sur les moules : un panneau posé sur les moules permet d'amortir l'impact. Le béton est répandu sur la surface à couler au moyen de raclettes ; les interstices sont complètement remplis avant nivellement au sommet des moules et talochage ou lissage selon le degré de finition recherché. Il est possible de jouer sur la coloration du béton pour obtenir des revêtements aux coloris variés, ou d'appliquer un désactivant permettant de faire apparaître les granulats.

Photo 67 - Coulage du béton sur les moules Grasscrete®

Photo 68 - Coulage du béton sur les moules ViaVerde®

Photo 69 - Répandage à la raclette (système Grasscrete®)

Photo 70 - Talochage du béton (système ViaVerde®)

3.1.2.4. Opérations de finition

Après prise et en l'absence de dispositifs de type règle-joint, il convient d'assurer, dans les délais habituels, le sciage des panneaux selon les règles de l'Art pour éviter une fissuration hiératique des panneaux coulés.

L'opercule des alvéoles est ensuite libéré dans les 24 à 48 h qui suivent le coulage selon les conditions climatiques et la finition éventuelle réalisée. L'utilisation de modules en fibres de cellulose permet de les éliminer par poinçonnage ou par lavage haute pression. L'utilisation de moules en plastique nécessite l'utilisation d'un chalumeau à gaz pour faire fondre le matériau.

Photo 71 - Utilisation d'un chalumeau à gaz pour faire fondre le moule en plastique (système Grasscrete®).

Photo 72 - Désoperculage du système ViaVerde®.

3.1.2.5. Remplissage des alvéoles

Une fois ouvertes, les alvéoles sont remplies au choix, soit par un mélange granulaire mis en œuvre jusqu'à refus dans les alvéoles, soit par un substrat répandu en surface et légèrement tassé dans les alvéoles complété par un compactage hydraulique après ensemencement avec les essences choisies.

Photo 73 - remplissage des alvéoles avec des gravillons (système Grasscrete®).

Photo 74 - Engazonnement des alvéoles (système ViaVerde®).

3.1.2.6. Remise en service

Il est possible de remettre l'ouvrage en service avant remplissage des alvéoles, notamment dans le cas où les paramètres météorologiques ne sont pas compatibles avec la germination des essences végétales.

La remise en service des aménagements circulés est conditionnée par le durcissement du béton. Les spécifications des fabricants peuvent indiquer, selon les modèles des moules et les renforcements prévus, des limitations de charges avant 28 jours.

Dans le cas d'un aménagement engazonné, il convient de veiller à la levée du gazon avant d'autoriser la circulation des véhicules. Le maintien du niveau du substrat à 5 ou 10 mm sous le niveau du béton permet au collet du gazon – la partie assurant la liaison entre la partie aérienne et la partie souterraine d'une plante - de ne pas être en contact avec les roues des véhicules et évite donc son arrachage qui serait fatal à la croissance et à la survie du brin.

ENCART

TEXTES DE RÉFÉRENCE

A l'heure actuelle, ces procédés ne se réfèrent à aucun document normatif au niveau de leurs caractéristiques ou mise en œuvre. Le matériau béton avec lequel ils sont formulés répond aux exigences de la norme Béton NF EN 206/CN.

Les armatures assurant leur renforcement doivent être conformes à la norme NF EN 10080. La réalisation du revêtement en grave non traitée poreuse GNTP se réfère au fascicule 25 du cahier des clauses techniques générales CCTG « Exécution des corps de chaussées », à la norme NF EN 13285 « Graves non traitées », et à la norme NF P 98-115 « Assises de chaussées – Exécution des corps de chaussées ».

4. CONCLUSION

L'exécution d'un chantier de revêtement drainant en béton, petit ou grand, n'est pas plus difficile à maîtriser que toute autre technique routière. Il est sans doute nécessaire d'y apporter une grande attention, de laisser une moindre part à l'improvisation et d'aborder rationnellement et sans préjugé les différentes étapes. En effet, les qualités demandées aux matériaux et produits en béton, qui sont judicieusement choisis suivant leur emploi, doivent être bien contrôlées, compte tenu de l'éventail des matériaux et produits disponibles et de leurs diverses caractéristiques. De plus, la main-d'œuvre, appelée à réaliser ces revêtements drainants, doit être spécialement qualifiée. Ce genre de travaux exige beaucoup de soin dans l'exécution, et ceci à toutes les étapes de la mise en œuvre.

Il est facile de se former à la technique et de s'informer des derniers développements. Des supports techniques, disponibles auprès de la communauté technique publique et privée, peuvent apporter, autant que de besoin, tout renseignement nécessaire à la bonne réalisation des chantiers.

CHAPITRE 6

LES REVÊTEMENTS DRAINANTS EN BÉTON - PRÉCONISATIONS POUR L'ENTRETIEN ET L'EXPLOITATION

1. INTRODUCTION 82
2. COLMATAGE ET DÉCOLMATAGE 82
2.1. INTRODUCTION 82
2.2. LES MESURES POUR LIMITER LE COLMATAGE 82
2.3. LES TECHNIQUES POUR LIMITER LE COLMATAGE 83
2.3.1. Pour les revêtements drainants en béton coulé en place 83
2.3.2. Pour les revêtements drainants en produits préfabriqués en béton 83
2.4. LES TECHNIQUES DE DÉCOLMATAGE 84
2.4.1. Techniques de décolmatage pour le béton drainant coulé en place 84
2.4.2. Techniques de décolmatage pour les revêtements en produits préfabriqués en béton 84
3. LA GESTION DES POLLUANTS 85
3.1. INTRODUCTION 85
3.2. POLLUTION CHRONIQUE 85
3.3. POLLUTION ACCIDENTELLE 85
4. GESTION HIVERNALE 85
4.1. RÉSISTANCE AU GEL/DÉGEL 86
4.2. AGENTS DE DÉVERGLAÇAGE OU FONDANTS 86
4.3. DÉNEIGEMENT 86
5. RÉPARATIONS 86
5.1. INTRODUCTION 86
5.2. BÉTON DRAINANT COULÉ EN PLACE 87
5.2.1. Arrachement/Déchaussement 87
5.2.2. Fissures 87
5.3. PRODUITS PRÉFABRIQUÉS EN BÉTON 87
5.3.1. Regarnissage des joints 87
5.3.2. Endommagement des produits 87
5.3.3. Orniérage/enfoncement 87
5.3.4. Démontage et remplacement des produits 88
5.4. CAS PARTICULIER DE L'ENTRETIEN DES REVÊTEMENTS VÉGÉTALISÉS 89
5.5. TRAVAUX SOUS VOIRIE (ENTRETIEN D'ANCIENS RÉSEAUX OU POSE DE NOUVEAUX RÉSEAUX) 89
6. CONCLUSION 89

1. INTRODUCTION

Un revêtement drainant 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.

2. COLMATAGE ET DÉCOLMATAGE

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 apparaît 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.

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 considéré 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 entraîner 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 90 - Balayage et aspiration.

Photo 91 - Lavage.

Photo 92 - Lavage.

2.3. Les techniques pour limiter le colmatage

Différentes méthodes peuvent être utilisées pour l'entretien des revêtement drainants en béton.

2.3.1. Pour les revêtements drainants en béton coulé en place

Les méthodes de nettoyage recommandées sont l'aspiration et le lavage. Le nettoyage par aspiration permet de déplacer et évacuer les débris présents dans les pores du matériau. Le nettoyage par lavage, à l'aide d'un nettoyeur haute pression, permet d'évacuer les débris en dehors de la surface drainante.

Photo 93 - Lavage au nettoyeur haute pression.

Photo 94 - Nettoyage par pression d'eau suivi d'aspiration.

Le nettoyage par pression d'eau suivi d'aspiration, méthode la plus efficace, permet d'évacuer les débris présents un peu plus en profondeur.

Le nettoyage par balayage n'est pas recommandé pour ces surfaces car il pourrait faire pénétrer les éléments fins de la pollution dans les vides du matériau.

2.4. Les techniques de décolmatage

Malgré tous les soins apportés pour limiter le colmatage comme décrits précédemment, les revêtements drainants peuvent néanmoins se colmater. Les techniques de décolmatage doivent être adaptées à la nature du revêtement drainant.

2.4.1. Techniques de décolmatage pour le béton drainant coulé en place

Lorsqu'un début de colmatage est constaté, le lavage à l'eau sous pression suivi d'une aspiration est la technique la plus efficace. L'utilisation d'un équipement muni d'une buse turbo rotative permet de nettoyer le matériau. Pour ne pas abîmer la surface, la pression généralement utilisée lors du lavage est de l'ordre de 10 à 50 MPa (100 à 500 bars).

Les boues qui se forment lors de ce nettoyage sous pression d'eau peuvent présenter des teneurs élevées en micropolluants. Elles doivent donc être traitées avant d'être mises en décharge.

Photo 97 - Décolmatage d'un revêtement en béton drainant à l'aide d'un nettoyeur Moby Cline®.

Photo 98 - Aspect du béton drainant avant nettoyage (partie gauche) et après nettoyage (partie droite).

Photo 99 - Le nettoyeur injecte de l'eau sous pression.

Photo 100 - Le nettoyeur aspire la boue produite.

Photo 101 - La boue est récupérée dans des bacs.

3. LA GESTION DES POLLUANTS

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 4. Gestion hivernale).

• Accidentelle : il s'agit de déversements accidentels de chargements dangereux.

3.2. Pollution chronique

Les revêtements drainants ainsi que les structures poreuses 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 joué 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.

3.3. Pollution accidentelle

Par rapport aux chaussées classiques, les revêtements drainants et les structures poreuses 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.

4. GESTION HIVERNALE

Dans le présent guide, les revêtements drainants 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 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.

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 béton 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'apparaître 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.

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).

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 en béton 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 entraînerait une pollution de la nappe lors de la fonte.

5. RÉPARATIONS

5.1. Introduction

Bien conçus, bien dimensionnés et bien réalisés, les aménagements en revêtements drainants assurent un service optimal durant toute leur durée de service. Toutefois, à l'instar de toute autre technique de voirie, les revêtements drainants 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 liés à l'évolutivité du milieu urbain.

Selon qu'il s'agit de produits préfabriqués en béton ou de béton coulé en place, les pathologies peuvent varier et les méthodes de réparations différent.

5.2. Béton drainant coulé en place

5.2.1. Arrachement/Déchaussement

Des déchaussements peu nombreux et isolés peuvent survenir et sont uniquement inesthétiques. Cependant, si le phénomène s'étend sur l'ensemble ou une grande partie de la surface, il existe trois méthodes de réparation :

- Traiter la surface avec un minéralisant ou une résine de type Polyuréthane.
- Recourir à la technique de l'Abrasion : cette technique consiste à raboter la surface défectueuse et à procéder immédiatement à un nettoyage soigné de la surface pour éviter que les débris ne viennent colmater la porosité (aspiration, nettoyage à l'eau).
- Purge et reconstitution du revêtement drainant : si le béton drainant présente d'importantes zones de déchaussement, arrachement, il faut procéder à une purge et à une reconstitution (voir fiche 4.4 du « Guide pratique d'entretien – Voiries urbaines et espaces publics en béton de ciment », Specbea).

5.2.2. Fissures

Les revêtements drainants en béton coulé en place peuvent se fissurer. L'origine de cette fissuration est multiple, tel le retrait, les défauts de mise en œuvre (retard de sciage des joints, défaut de protection, etc.). Il convient donc de prendre les dispositions suivantes pour éviter l'évolution de ces fissures vers un état d'épaufrures ou de cassures :

- Fissuration fine : elle est sans risque et ne nécessite pas d'intervention.
- Fissuration ouverte : elle est sans risque en l'absence de trafic. Mais, pour des revêtements drainants circulés, il y a lieu de procéder au scellement de la fissure à l'aide d'un mastic polyuréthane souple, conformément à la méthodologie décrite dans le « guide pratique d'entretien – Voiries urbaines et espaces publics en béton de ciment », Specbea (cf. Fiche 4.3).
- Epaufrure des fissures et des joints : elle est sans risque en l'absence de trafic. Mais, pour des revêtements drainants circulés, il y a lieu de procéder à la réparation des dégradations à l'aide d'un micro-béton drainant, ou d'un mortier de résine, ou d'un mortier hydraulique, conformément à la méthodologie décrite dans le *« Guide pratique d'entretien – Voiries urbaines et espaces publics en béton de ciment »*, Specbea (cf. fiche 4.4).
- Cassure : il y a lieu de procéder à la reprise de la zone concernée, conformément à la méthodologie décrite dans le « guide pratique d'entretien – Voiries urbaines et espaces publics en béton de ciment – Specbea » (cf. fiches 5.1 ; 5.2 ; 5.3 et 5.4), selon l'étendue de la dégradation et en veillant à mettre en place un nouveau béton drainant de composition similaire.

5.4. 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 sécheresse.
- 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 limité. 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.

5.5. Travaux sous voirie (entretien d'anciens réseaux ou pose de nouveaux réseaux)

Dans le cas où des travaux sont à réaliser, il faudra protéger la structure drainante en béton proche du chantier à l'aide d'un géotextile. Cela permet de protéger la structure drainante de tout colmatage accidentel.

En ce qui concerne l'ouverture des tranchées, l'opération doit être menée selon les règles propres à chaque type de revêtement. Pour les revêtements drainants en béton coulé en place, l'opération se fait par sciage selon une procédure décrite dans l'ouvrage T51 « Voiries et aménagements urbains - Mise en œuvre » de la collection technique CIMbéton. Pour les revêtements en produits préfabriqués, l'opération consiste à démonter méthodiquement les éléments, à les nettoyer et à les stocker soigneusement avant de les repositionner pour tout ou partie (voir figures 31 et 32 du paragraphe 5.3.4.).

Une fois les travaux réalisés, le revêtement et la structure devront être reconstitués à l'identique en respectant les règles de mise en œuvre propres à chaque type de matériau ou produit (béton coulé en place ou préfabriqué) et en cohérence avec le règlement de voirie.

6. CONCLUSION

Comme pour toute voirie et espace public et quelle que soit la technique de revêtement choisie, 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 enterrés.

Parmi les spécificités des surfaces drainantes 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 maîtrisés. Les consignes d'action pour une gestion hivernale efficace sur les territoires concernés, 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 pour chaque famille de l'offre béton, les présentes recommandations soulignent les avantages des surfaces drainantes 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 surfaces drainantes en béton confortent le regard positif que l'on peut leur accorder.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages

- Guide technique *« Conception et dimensionnement des structures de chaussée »*. SETRA / LCPC, 1994.
- Guide technique « Chaussées en béton ». SETRA/LCPC, 2000.
- Guide technique « Chaussées urbaines en béton ». CERTU / LCPC / IVF, 1996.
- Guide technique « Chaussées poreuses urbaines ». CERTU, 1999.
- « La ville et son assainissement. Principes, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau. L'essentiel. » CERTU, 2003.
- Circulaire interministérielle N° 77-284/INT « Instruction technique relative aux réseaux d'assainissement des agglomérations ».
- « Voiries et Aménagements urbains en béton : Tome 1 : Conception et dimensionnement ». T50 - Collection Technique CIMbéton. CIMbéton, 2009.
- « Voiries et Aménagements urbains en béton : Tome 2 : Mise en œuvre ». T51 - Collection Technique CIMbéton. CIMbéton, 2009.
- « Voiries et Aménagements urbains en béton : Revêtements et structures réservoirs ». T57 - Collection Technique CIMbéton. CIMbéton, 2007.
- « Aménagements urbains et produits de voirie en béton. Conception et réalisation ». T54 - Collection Technique CIMbéton. CIMbéton, 4e édition, 2011.
- « Les bétons décoratifs : Voiries et aménagements urbains. Tome 1 : Finitions, gestes et techniques ». SPECBEA, 2014.
- « Dimensionnement et mise en œuvre des chaussées revêtues de pavés ou de dalles en béton ». Logiciel VOIRIB (version 4.0). CERIB/FIB, 2007.
- « Eléments modulaires en béton pour revêtement des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales ». Référentiel technique 353.E v2, CERIB, 2017.
- « Méthode de dimensionnement mécanique des dalles gazon ». Rapport d'Etudes et Recherches du CERIB. N° 352.P, CERIB, 2015.
- « L'assainissement pluvial intégré dans l'aménagement. Éléments-clés pour le recours aux techniques alternatives ». CERTU, 2006.
- « Pour la gestion des eaux pluviales. Stratégie et solutions techniques ». GRAIE, 2006.
- « Les techniques alternatives pour la gestion des eaux pluviales : risques réels et avantages ». Notes rédigées par Bernard Chocat et le groupe de travail régional Eaux pluviales et aménagement. GRAIE, 2014.

- « Opérations innovantes pour la gestion des eaux pluviales ». Observatoire Rhône-Alpes. GRAIE, 2014.
- « Guide pour la prise en compte des eaux pluviales dans les documents de planification et d'urbanisme ». GRAIE, Version 2, 2014.
- 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 ». Programme ECOPLUIES, Version 2, 2009.
- « Le campus au fil de l'eau : sous vos pieds, un monde un découvrir ». Université de Lyon, 2014.
- « Qualité physico-chimique des flux produits par un parking en béton poreux en temps de pluie ». B. Chocat, G. Lecomte, F. Perez, E. Stora et S. Vacherie. Novatech, 2013.
- « Les revêtements poreux. Infiltration directe des eaux de parking et de voiries tertiaires à travers le revêtement ; VRAI ou FAUX ». Bernard Chocat et le GRAIE, 2014.
- « Les structures réservoirs. Gestion des eaux pluviales : guide pour la mise en œuvre de techniques alternatives ». SYMASOL, 2016.
- « Recommandations pour la pose des dalles gazon. Syndicat national des fabricants de produits en béton pour voirie de surface et signalisation ». FIB.
- « Faut-il infiltrer les eaux pluviales en ville ? ». B. Chocat, Méli Mélo, 2015.
- Guide méthodologique « Aménagement et eaux pluviales. Traitement de la pollution des eaux pluviales et protection des milieux aquatiques sur le territoire du Grand Lyon ». A. Pourche, E. Sibeud, 2013.
- « Maîtrise de la pollution urbaine par temps de pluie ». F. Valiron et J.-P. Tabuchi. Tec et Doc, Lavoisier, 1992.
- « Physique du sol ». Musy A., M. Soutter. Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, 1991.
- « La ville et son assainissement : Principe, méthodes et outils pour une meilleure intégration dans le cycle de l'eau ». CERTU, 2003.
- Colloque « La ville durable ». CESI Nanterre, 2013.
- « Guide de gestion durable des eaux pluviales ». Lille Métropole, 2012.
- « Pervious Concrete Contractor Certification ». National Ready Mix Concrete Association, 2005.
- « Revêtements drainants en pavés de béton ». Annexe au Bulletin CRR n° 77. Centre de recherches routières, 2008.
- « Le béton drainant ». Bulletin technique, Association Béton Québec. 3e édition, 2014.
- « Le béton drainant : Quand il pleut... il draine ». Association Canadienne du Ciment.
- « Guide to the design, construction and maintenance of concrete block permeable pavements ». Edition 6, Interpave, 2010.
- « Freeze-Thaw Resistance of Pervious Concrete ». National Ready Mix Concrete

Association, 2004.

- « Maintenance for Preservation and Recovery of Permeable Pavement Hydraulics: Effects of Vacuum Cleaning, High Pressure Washing, Street Sweeping, and Milling ». R. J. Winston , A. M. Al-Rubaei , G. T. Blecken , and W. F. Hunt. Novatech, 2016.
- « Effect of Rejuvenation Methods on the Infiltration Rates of Pervious Concrete Pavements ». Chopra, M., Kakuturu, S., Ballock, C., Spence, J., and Wanielista. J. Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, 2010.
- « Effets des structures réservoirs à revêtement poreux sur les eaux pluviales : qualité des eaux et devenir des métaux lourds ». V. Colandini. Thèse Université de Pau et des Pays de l'Adour, 1997.
- « Maintenance Guidelines for Permeable Interlocking Concrete Pavement Systems » (pages 28-39). D.K. Hein, Stormwater, The journal for surface water quality professionals, 2016.
- « Construction and Maintenance Assessment of Pervious Concrete Pavements ». Stormwater Management Academy, University of Central Florida, 2007.
- « Handbook for Pervious Concrete Certification in Greater Kansas City ». CPG Pervious Concrete Certification Program.
- « Permeable Interlocking Concrete Pavements, Design, Specification, Construction and Maintenance ». Smith, D. R. Interlocking, Concrete Pavement Institute, Herndon, VA. ICPI. 2011. .

Normes et Fascicules

- ASTM C1701 : « Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete ».
- NF DTU 64.1 : « Dispositifs d'assainissement non collectif (dit autonome) – Pour les maisons d'habitation individuelle jusqu'à 20 pièces principales ».
- NF EN 197-1 : « Ciment - Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants ».
- NF EN 206/CN : « Béton – Spécification, performance, production et conformité ».
- NF EN 752 : « Réseaux d'évacuation et d'assainissement à l'extérieur des bâtiments ».
- NF EN 933-1 : « Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 1 : détermination de la granularité - Analyse granulométrique par tamisage ».
- NF EN 1338 : « Pavés en béton – Prescriptions et méthodes d'essai ».
- NF EN 1339 : « Dalles en béton – Prescriptions et méthodes d'essai ».
- NF EN 10080 : « Aciers pour l'armature du béton - Aciers soudables pour béton armé - Généralités ».
- NF EN 12697-40 : « Mélanges bitumineux - Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud – Partie 40 : drainabilité in situ ».
- NF EN 13285 : « Graves non traitées - Spécifications ».

- 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 ».
- NF EN 16933-2 : « Réseaux d'évacuation et d'assainissement à l'extérieur des bâtiments – Conception hydraulique ».
- NF P 98-115 : « Assises de chaussées - Exécution des corps de chaussées - Constituants - Composition des mélanges et formulation - Exécution et contrôle ».
- NF P 98-170 : « Chaussées en béton de ciment – Exécution et contrôle ».
- 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 ».
- 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 ».
- Fascicule 23 : « Fournitures de granulats employés à la construction et à l'entretien des chaussées ».
- Fascicule 25 : « Exécution des assises de chaussées en matériaux non traités et traités aux liants hydrauliques ».
- Fascicule 31 : « Bordures et caniveaux en pierre naturelle ou en béton et dispositifs de retenue en béton ».
- Fascicule 70 du CCTG Ouvrages d´assainissement – Titre II : « Ouvrages de recueil, de restitution et de stockage des eaux pluviales ».
- FD P 18-326 : « Béton - Zones de gel en France ».

SiteS internet

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

ANNEXES

ANNEXE A1 : ESSAI DE PERMÉABILITÉ POUR PRODUITS PRÉFABRIQUÉS 96
ANNEXE A2 : ESSAI D'ABRASION AU DISQUE LARGE POUR PRODUITS PRÉFABRIQUÉS 97
ANNEXE A3 : TABLEAU RÉCAPITULATIF DES SPÉCIFICATIONS DES PAVÉS POREUX 98
ANNEXE A4 : CARACTÉRISTIQUES FONCTIONNELLES DES PAVÉS À JOINTS LARGES ET PAVÉS À OUVERTURES DE DRAINAGE 99
ANNEXE A5 : CARACTÉRISTIQUES FONCTIONNELLES DES DALLES GAZON 100
ANNEXE A6 : DÉFINITIONS RELATIVES AU DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE 101
ANNEXE A7 : RÉALISATION D'UNE COUCHE D'ASSISES EN GRAVE NON TRAITÉE POREUSE GNTP 103
ANNEXE A8 : RÉALISATION D'UNE COUCHE D'ASSISES EN BÉTON POREUX 105
ANNEXE A9 : RÉALISATION D'UNE COUCHE D'ASSISES EN HYDROCYL® 107

ANNEXE A1 : 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.

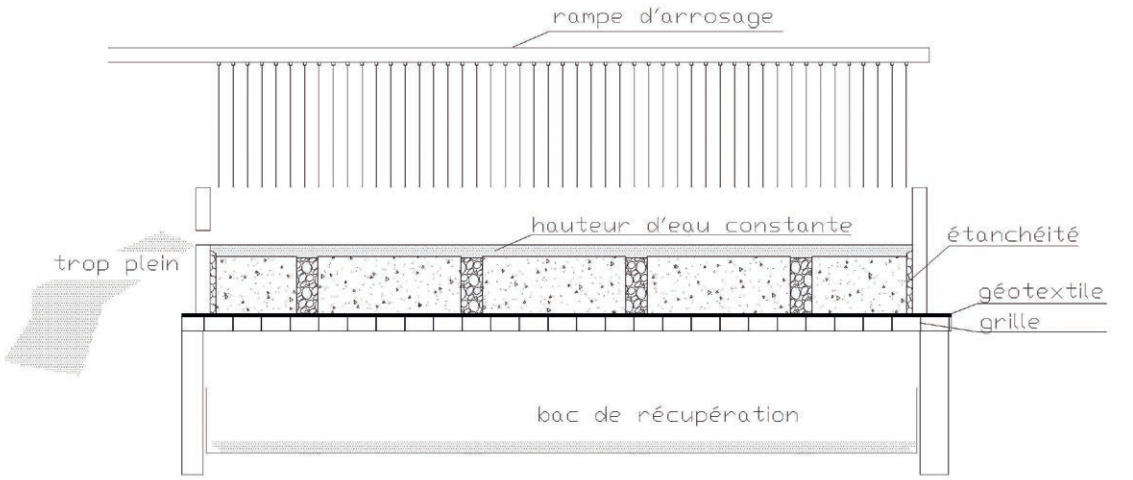


Schéma de l'essai de détermination du coefficient de perméabilité

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

$$K = \frac{m}{\rho S d} \frac{h}{h + h_w} \text{ (m/s)}$$

Avec :

m : masse d'eau = m(bac+eau) - m(bac vide) (kg)

ρ : masse volumique de l'eau (kg/m^3) : ρ = 1 000 kg/m^3

S : surface d'essai (m^2)

d : durée totale de l'essai (s)

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

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

ANNEXE A6 : DÉFINITIONS RELATIVES AU DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE

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

DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE : DÉFINITIONS

1. Evénement pluvieux - Un événement 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 donné, 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 à 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 4 mentionne les unités usuellement rencontrées dans la littérature technique et dans les projets et les correspondances entre elles.

Unité mm/mn	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 4 : 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 5) ou bien déterminé par un essai de type Porchet ou Guelph comme indiqué 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 5 : Ordre de grandeur de la 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 6 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 $m^3/j/hA$ 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 6 : 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 maître d'ouvrage de définir le niveau souhaité 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 maîtriser 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.

ANNEXE A7 : RÉALISATION D'UNE COUCHE D'ASSISES EN GRAVE NON TRAITÉE POREUSE GNTP

La Grave Non Traité Poreuse (GNTP) est un matériau comportant un réseau de vides communicants entre eux et avec l'extérieur. Ces vides sont d'une taille suffisante pour permettre à l'eau d'y être stockée temporairement, d'y circuler et d'être évacuée vers un exutoire et ce de façon durable. Pour obtenir ces vides de façon permanente, on utilise des granulats concassés de Dmax élevé, dont on élimine la fraction sableuse. Les vides obtenus sont ainsi le fait de la composition du matériau et non d'un compactage insuffisant.

1. Textes de référence

Il existe quatre documents de référence relatifs à la réalisation d'un revêtement en GNTP :

- Fascicule 25 du CCTG, Exécution des corps de chaussées ;
- Norme NF EN 13285 « Graves non traitées – Spécifications » ;
- Norme NF P 98-115 « Assises de chaussées – Exécution des corps de chaussées »
- Cours de Routes « Assises de chaussées » Presses de l'ENPC – 1985.

2. Fabrication

Une GNTP est constituée de granulats concassés de granulométrie d/D avec :

- $d > 8$ mm

Et

- $25 < D < 100$ mm

Et

- $D/d > 3$

Elle est fabriquée en éliminant la fraction sableuse d'un O/D concassé. Le passant à 2 mm (propreté) sera inférieur à 3 %. En outre, une bonne résistance à l'attrition est demandée :

- $LA < 30$

Et

- $MDE < 25$

La porosité de ce matériau est voisine de 40 %.

3. Transport et manutention

Les opérations de chargement, de transport et de déchargement des granulats d/D sont effectuées avec toutes les précautions nécessaires pour éviter leur pollution, leur ségrégation et leur évolution.

4. Stockage

S'il y a lieu, le stockage des granulats d/D se fait sur des plates-formes aménagées à cet effet, conformément à l'article 6 du fascicule 23 du CCTG. Pour les dispositions pratiques de stockage, le lecteur pourra se référer au Guide pour le stockage des granulats – SETRA/LCPC.

5. Mise en œuvre

La mise en œuvre de la GNT d/D est une opération très importante, dont dépendent en grande partie la réussite du projet et sa pérennité dans le temps. Il convient donc d'y apporter un soin particulier et de prendre en compte toutes les dispositions techniques influençant le déroulement de cette opération.

5.1. Opérations préalables particulières

5.1.1 - Dispositions particulières

Lorsque la plate-forme support est en matériau sensible à l'eau, la couche d'assises en GNTP d/D ne sera pas réalisée directement sur cette plate-forme. Dans ce cas, il serait judicieux de réaliser une interface constituée d'une membrane étanche et/ou d'un géotextile.

5.1.2 - Vérification préalable du support

Avant la mise en œuvre de l'assise en GNTP, on vérifie que la portance du support satisfait l'une des trois conditions suivantes :

- Le coefficient de restitution dynaplaque est supérieur à 50 %.
- Le module à l'essai de plaque est supérieur à 50 MPa.
- La déflexion mesurée à l'essieu de 13 tonnes est inférieure à 200/100 de mm.

S'il est constaté des défectuosités ou discordances avec le projet, des réfections du support sont réalisées ou le projet est adapté.

5.2 - Mise en œuvre de la GNTP

La mise en œuvre comprend :

- Le répandage.
- Le réglage.
- Le compactage.

5.2.1 - Le répandage

Le matériau est déversé en tas sur le lieu même de son utilisation, ou mis en cordon. Il est ensuite régalé à l'aide d'une niveleuse. Quand la portance du support est faible ou lorsque des ouvrages existants sont proches de la surface, les mélanges sont répandus à l'avancement, en faisant circuler les engins de transport sur une couche suffisante de matériaux. Pour faciliter leur réglage et leur compactage, la GNTP est mise en œuvre par couches de 30 à 40 cm d'épaisseur.

5.2.2 - Le réglage

Dans un premier temps, la GNTP est pré-compactée à raison d'un tiers à deux tiers de l'énergie totale de compactage. Elle est ensuite réglée. Pour obtenir une épaisseur régulière et un uni correct de la couche de roulement quand la couche d'assises est constituée de GNTP avec D > 40 mm, il faut répandre, avant l'exécution de la couche de roulement, un gravillon concassé 10/14 ou 10/20 à raison de 15 à 30 l/m^2. Enfin, le dernier compactage donne à l'ensemble de la couche les compacités visées au projet.

Si l'épaisseur du matériau répandue s'avère insuffisante, l'entreprise scarifie et foisonne le matériau en place et complète par les quantités nécessaires. L'ensemble est ensuite réglé et compacté.

5.2.3 - Le compactage

Le compactage doit conférer au matériau l'état de densité nécessaire à l'obtention des caractéristiques mécaniques prévues. Les prescriptions sont fondées sur la définition et le contrôle des moyens de compactage et de leur mode d'utilisation.

ANNEXE A8 : RÉALISATION D'UNE COUCHE D'ASSISES EN BÉTON POREUX

Le béton poreux est un matériau pour couche d'assises comportant un réseau de vides communicants entre eux et avec l'extérieur. Ces vides, d'une taille suffisante, permettent à l'eau d'y être stockée temporairement, d'y circuler et d'être évacuée vers un exutoire et ce de façon durable. Pour obtenir ces vides de façon permanente, on utilise des granulométries fortement discontinues et on limite la proportion du mortier. Ces vides sont le fait de la composition du béton et non d'un serrage insuffisant. Du fait de leur utilisation en couche d'assises, les bétons poreux jouissent de spécifications moins contraignantes que les bétons drainants et ils offrent, en particulier, la possibilité de :

- Utiliser de gros granulats.
- Réduire le dosage en ciment (par exemple 150 kg/m^3).

L'essentiel étant d'obtenir une porosité ouverte importante ainsi que des résistances mécaniques comparables à celles des graves traitées aux liants hydrauliques.

1. Textes de référence

Il existe quatre documents de référence relatifs à la réalisation d'une couche d'assises en béton poreux :

- Guide technique, Chaussées en béton, SETRA/LCPC, 1997.
- Guide technique, Chaussées urbaines en béton, CERTU - LCPC - IVF, 1996.
- Guide technique, Chaussées poreuses urbaines, CERTU, 1999.
- Norme NF P 98-170 « Chaussées en béton de ciment – Exécution et contrôle ».

2. Fabrication et transport

Le béton poreux est composé :

- D'une faible quantité de sable 0/4 mm : 0 à 200 kg/m^3.
- De gravillons concassés : 20/40 mm.
- De ciment CEM I ou CEM II de classes 32,5, 42,5 ou 52,5 avec un dosage de l'ordre de 150 à 250 kg/m^3.
- De l'eau.
- De l'adjuvant entraîneur d'air.
- De l'adjuvant type super plastifiant ou colloïde pour améliorer l'adhérence du mortier sur les granulats pendant le transport et la mise en œuvre.

Avec une telle formulation, la porosité du béton poreux peut être d'environ 20 à 30 %. La fabrication de ce matériau ne pose aucun problème particulier. Elle peut se faire soit en centrale discontinue de malaxage – de chantier ou d'usine de bé-

ton prêt à l'emploi – soit en centrale continue type graves traitées aux liants hydrauliques.

Le transport du matériau peut se faire soit en camions-bennes (système de transport adapté plus particulièrement aux bétons fermes et très fermes), soit en bétonnières portées (système de transport adapté plus particulièrement aux bétons plastiques et très plastiques).

3. Mise en œuvre du béton poreux

La mise en œuvre du béton poreux ne peut pas être faite à l'aide du matériel habituel de construction des revêtements en béton dense, c'est-à-dire en utilisant le serrage par vibration interne. En effet, celle-ci conduit – du fait de la porosité élevée – à une ségrégation importante du mortier, provoquant la fermeture totale du matériau en bas de couche et sa disparition totale en haut de couche. Il est donc conseillé d'utiliser un matériel serrant le matériau soit par compactage, soit par vibration superficielle. La maniabilité du matériau doit alors être adaptée à l'énergie de serrage utilisée. Seules l'expérience et les épreuves de convenance permettent de définir précisément la teneur en eau optimale pour chacun des modes de mise en place.

3.1. Influence des conditions climatiques

L'entreprise doit se tenir informée des conditions météorologiques afin de prendre les dispositions nécessaires en cas de gel, de forte chaleur, de vent ou de pluie (voir tableau 6 page 66).

3.2 - Bétonnage

La mise en œuvre du béton poreux peut se faire de trois façons :

- Mise en œuvre manuelle à l'aide de règles vibrantes, roller-strikers, plaques vibrantes, rouleaux, etc.
- Répandage et compactage dans des conditions et avec un matériel semblable à ceux utilisés pour les graves traitées aux liants hydrauliques (niveleuses et compacteurs).
- Mise en œuvre au finisseur par couche de 15 à 17 cm maximum.

Nota : L'utilisation d'un finisseur à table HPC (Haut Pouvoir de Compactage) procure les meilleurs résultats en matière d'uni. Toutefois, pour une couche d'assises, un finisseur normal est tout à fait convenable.

3.3 - Exécution des joints

Le béton poreux fera l'objet d'un calepinage de joints s'il est surmonté d'un béton drainant. Dans ce cas, il faut réaliser les joints du revêtement béton drainant à l'aplomb des joints réalisés dans le béton poreux. Ces derniers sont réalisés par moulage ou sciage.

Crédits photos : CIMbéton, SNBPE (Béton Vicat, CEMEX, EQIOM, LafargeHolcim, Unibéton), GCP, Moderne Méthode, CERIB, FIB (Stradal, Alkern, Exincourt Béton, Sotubema, Fabemi, Celtys, Heinrich & Bock, SFAC (Société des Fours à Chaux d'Angers), SPECBEA (Groupe SOLS, Minéral service, RCR Déco France, etc...), Jean-Pierre Christory, Joseph Abdo.

Conception et réalisation : Fenêtre sur cour

Illustrations : Sôa / Studio L&T

1ère édition : décembre 2018.