

REVÊTEMENTS PERMÉABLES DES AMÉNAGEMENTS URBAINS : TYPOLOGIE ET CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES



Avec le soutien
financier de :

CONTRIBUTEURS

Rédaction

Robin Dagois,
chargé de mission, Plante & Cité

Hélène Cheval,
directrice, Syrphea Conseil

Relecture

L'équipe de Plante & Cité,

Namira Benfriha Raki,
HAU

Jean-Jacques Hérin,
Adopta

Wendy Arnould,
Pole Dream

François Nold,
DEVE, Ville de Paris

Eric Amos,
Hepia

Patrick Guiraud,
Cimbéton

Avec l'appui du comité de pilotage

Jean-Jacques Hérin
Président Adopta

Frédéric Moreau
Ville d'Angers

François Nold
Ville de Paris

Eric Amos et Nicolas Orange
Hepia

Laure Vidal-Beudet
L'Institut Agro

Namira Benfriha Raki
Association Handicap Architecture
Urbanismes, Genève

Christophe Joveneaux
Lille Métropole

Katy Pojer
Agence de l'eau
Rhône-Méditerranée-Corse

Jean-Louis Kervoas
SAS Eric Lequertier

Christophe Gonthier
Gonthier Entreprise

Arnaud Delacroix
Agence Talpa

Aline Haeringer
Val'Hor

Stéphane Garnaud Corbel
OFB

Et le soutien financier de

VAL'HOR
l'Interprofession française
de l'horticulture, de la fleuristerie
et du paysage

OFB
Office français de la biodiversité



Crédits photo page de garde et quatrième de couverture

© Interprofession Val'hor,
Victoire du Paysage :

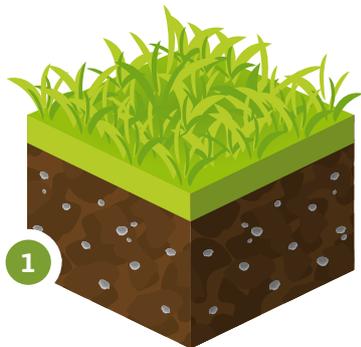
Place de la Girouette, Le Mesnil-le-Roi
(Paysagiste Concepteur :
Trait Vert Paysage et Urbanisme)

Aménagement extérieur du Zénith,
Communauté urbaine de Strasbourg
(Paysagiste Concepteur : Atelier Villes et
Paysages)

Parc Nelson Mandela, Courbevoie
(Paysagiste Concepteur : Agence AEP)

TYPLOGIE DES REVÊTEMENTS PERMÉABLES

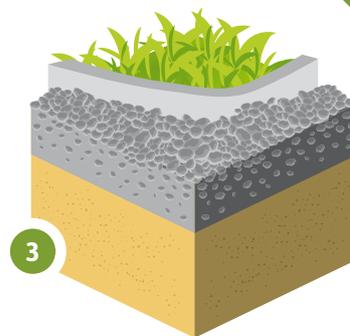
NON LIÉS



1
Mélanges organo-minéraux
et couverts enherbés

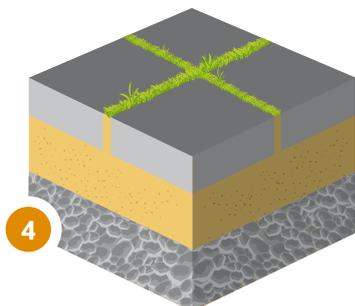


2
Revêtements
meubles organiques



3
Revêtements
meubles minéraux

MODULAIRES



4
Pavés drainants
ou à joints poreux

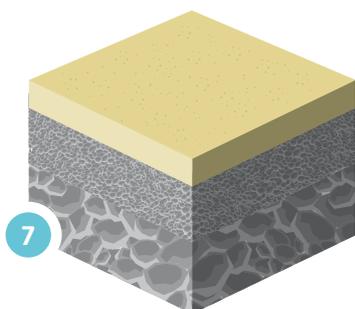


5
Dalles alvéolées

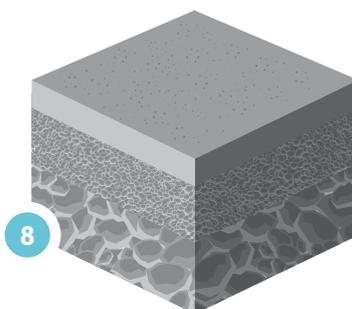


6
Platelages bois

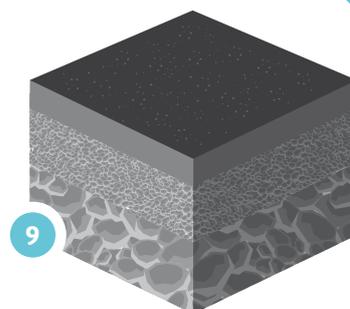
LIÉS



7
Bétons de résines drainants



8
Bétons drainants



9
Enrobés poreux

SOMMAIRE





2 Pourquoi ce guide ?

4 Méthodologie de l'étude :
collecte et synthèse des données sur les revêtements perméables

6 CONTEXTE

7 Revêtements perméables : intérêts et enjeux ?

12 Typologie des revêtements perméables

14 / FICHES REPÈRES

15 Perméabilité des revêtements

17 Mise en œuvre

21 Couche de fondation

23 Entretien et rénovations

27 Tenue dans le temps

31 Associations avec le végétal

35 Accessibilité aux Personnes à Mobilité Réduite (PMR)

38 FICHES REVÊTEMENTS

39
1 Mélanges organo-minéraux et couverts enherbés

42
2 Revêtements meubles organiques

45
3 Revêtements meubles minéraux

48
4 Pavés drainants ou à joints poreux

51
5 Dalles alvéolées

54
6 Platelages bois

56
7 Bétons de résines drainants

58
8 Bétons drainants

61
9 Enrobés poreux

63 Pour en savoir plus



POURQUOI ce guide ?

Problématiques liées à la gestion de l'eau : généraliser la gestion des eaux à la source

Aujourd'hui, plus de 80% de la population française vit en ville. Avec cette tendance, le milieu urbain est un milieu fortement sollicité où chaque m² de sol compte. Cette conjoncture fait que l'usage des sols se fait préférentiellement pour du foncier ou de la voirie au détriment d'espaces verts et végétalisés. L'utilisation d'enrobé ou béton, et l'emprise des bâtiments a donc été le modèle développé jusque dans les années 2000 pour associer les besoins des citoyens de déplacement, d'habitats et d'activités diverses.

Avec l'intensification de cette urbanisation accélérée – souvent même plus rapide que l'accroissement démographique national – les limites sont :

- L'évacuation des eaux vers des exutoires communs qui engendre la **saturation des réseaux** en période de fortes pluies pouvant générer des inondations localisées. Les réseaux conçus sont alors très souvent surdimensionnés.
- La **multiplication des espaces minéralisés** qui génère des phénomènes **d'îlots de chaleur urbains** par réverbérations entre les surfaces et l'apparition de « canyons » urbains. Ces phénomènes sont prévus pour s'intensifier avec le changement climatique dans les années à venir.
- **L'imperméabilisation des sols** qui réduit également la possibilité d'accueillir de la végétation et de participer à la constitution de trames vertes ou bleues. Avec le déclin de la biomasse constatée à l'échelle mondiale, ces conditions ne participent pas à l'accueil d'une biodiversité en milieu urbain.

Depuis les années 2000, ce modèle tend à s'orienter vers un mode de gestion à la source. Au lieu d'évacuer les eaux vers des exutoires, on infiltre, on stocke et on retient sur place



pluviales de proximité évacuent une partie de l'eau par évapotranspiration permettant de réduire de quelques degrés les températures de l'air

- De garantir une humidité prolongée des sols urbains
- Enfin, l'aspect paysager est nettement augmenté tout en favorisant le retour de l'eau en ville.

Parmi ces solutions, les revêtements perméables sont en mesure de combiner les bénéfices associés aux ouvrages de gestion des eaux pluviales et de rôle de support pour la voirie (véhicules, piétons, cycles et personnes à mobilité réduite).

L'évolution et la performance des revêtements perméables dans le temps est aujourd'hui questionnée car la connaissance sur ces solutions reste disséminée et mérite d'être synthétisée. Des retours d'expériences documentés permettraient alors de fournir des préconisations d'emploi des revêtements perméables et de faciliter leur recours à l'avenir.

La présente étude vise à réunir autour d'une synthèse commune les éléments techniques de mise en œuvre et d'entretien des revêtements perméables.

Que contient ce guide ?

Ce guide synthétise la connaissance disséminée sur les revêtements perméables et intègre les nouvelles connaissances obtenues via un travail d'enquête auprès des professionnels du secteur. Ces résultats sont présentés sous formes de fiches synthétisant les notions techniques à connaître depuis la conception d'ouvrages intégrant des revêtements perméables jusqu'à leur entretien. Les éléments présentés permettent de mieux appréhender ces solutions alternatives pour la gestion des eaux pluviales afin de faciliter leur emploi dans les villes.

L'ensemble des revêtements perméables est ensuite présenté via une typologie au sein de ce document.

À qui s'adresse ce guide ?

- **Aux collectivités** : pour connaître les solutions alternatives de traitement des eaux pluviales et de végétalisation des villes
- **Aux bureaux d'étude** : pour accroître la connaissance technique des revêtements perméables et servir de base de connaissance pour la conception de futurs travaux d'aménagements
- **Aux entreprises du paysage & gestionnaires d'espaces verts** : pour connaître les modalités de gestion des espaces utilisant des revêtements perméables et pour prévoir à long terme les itinéraires techniques de ces ouvrages
- **Aux paysagistes concepteurs/architectes paysagistes** : pour informer sur la palette de solutions pour concevoir des aménagements durables et en intégrant la question de la gestion des eaux pluviales à la source qui sera de plus en plus sollicitée dans les années à venir.

les eaux pluviales. Des ouvrages sont dédiés à cela, comme les noues, toitures végétalisées, tranchées drainantes ou bassins de rétention. Ils permettent notamment :

- D'alléger les réseaux avals, tant en débits, en volume qu'en qualité des eaux. Infiltrer sur place permet de profiter du rôle filtrant des sols et de réduire le flux de polluants dans les eaux d'infiltration et/ou de ruissellement
- **De réduire les coûts de gestion des eaux pluviales.** Les investissements alloués à ces solutions sont très rapidement compensés en comparaison d'un réseau d'assainissement unitaire
- De rediriger les eaux pluviales vers les plantations en place pour **économiser l'eau d'arrosage et d'offrir une meilleure résilience des végétaux en cas de sécheresses**
- D'offrir un confort de vie en **réduisant les effets des îlots de chaleur urbains.** Les ouvrages de gestion des eaux

MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE :

PHASE 1

Synthèse bibliographique

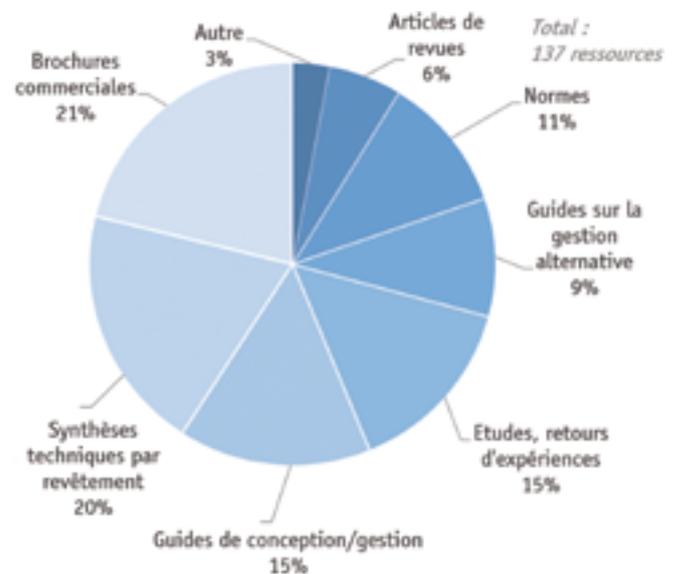
La première étape de ce travail a été de réunir l'ensemble des documents traitant des revêtements perméables, à la fois sur les différentes solutions et sur leurs aspects techniques. L'objectif a été de collecter les données caractéristiques de ces solutions et d'établir une typologie des revêtements perméables disponibles en aménagement urbain.

La recherche des documents s'est opérée en inventoriant les instituts pouvant s'intéresser de près ou de loin à la question des solutions alternatives de gestion des eaux pluviales à la source. Les sites web ont été sondés en utilisant un corpus de mots-clés susceptibles d'orienter vers des ressources en lien avec la gestion alternative des eaux pluviales ou spécifiques aux revêtements perméables.



Exemple de structures sondées pour la recherche de références bibliographiques

Plus de 130 ressources ont été identifiées et renseignées à différents niveaux sur les caractéristiques des revêtements perméables. L'inventaire de ces documents est disponible dans une annexe complémentaire à cette étude.



Type et répartition des documents étudiés dans le cadre de cette étude

PHASE 2

Typologie des revêtements perméables

Une typologie a été établie pour distinguer les types de revêtements selon leur composition, leurs rôles et leur mise en œuvre et pour disposer d'un langage commun dans le cadre de l'étude.

Sa construction s'est basée sur l'identification de critères structurels communs à différents revêtements perméables. Ces derniers sont constitués de matériaux plus ou moins meubles permettant d'infiltrer les eaux pluviales. Un premier filtre a été effectué sur ce critère :

- **Les revêtements « non liés »** intègrent les solutions où l'intégralité du matériau est meuble. Ceux-ci intègrent des solutions constituées d'un mélange de fractions organiques (adaptées pour des plantations) et/ou minérales.

- **Les revêtements « modulaires »** sont caractérisés par la présence d'éléments structurels d'un seul tenant assemblés les uns aux autres pour créer un maillage présentant des joints ou des ouvertures pour laisser infiltrer l'eau pluviale. Ces ouvertures peuvent être alors remplies d'un matériau meuble ou laissées vides.
- **Les revêtements « liés »** sont constitués d'un matériau meuble, généralement minéral, qui a été figé au moyen de liants divers. Les procédés de liaison permettent l'apparition de pores et d'une perméabilité dans la matrice.

Chacune de ces catégories englobe 3 types de revêtements. A notre connaissance, la quasi-totalité des revêtements perméables à disposition sur le marché sont représentés dans cette typologie (voir Fiche Contexte 2 : Typologie des revêtements perméables).

Collecte et synthèse des données sur les revêtements perméables

PHASE 3

Enquête auprès des acteurs de l'aménagement urbain

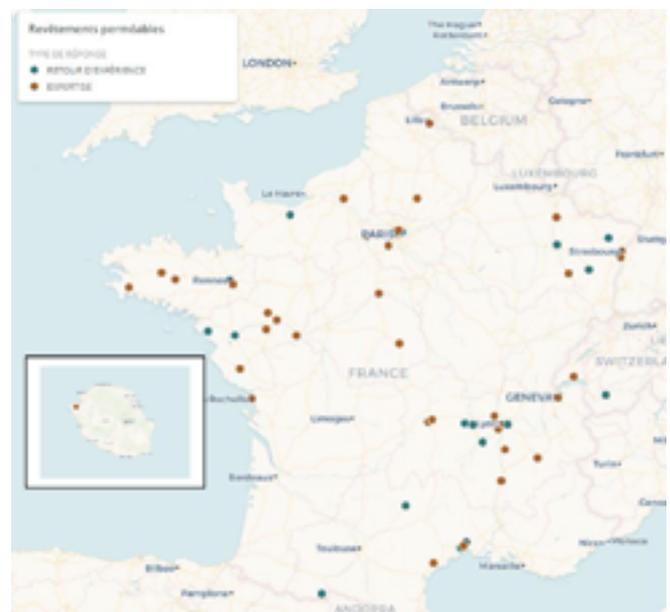
La littérature portant sur les revêtements perméables et leur évolution dans le temps est relativement peu fournie comparée à la connaissance disséminée sur le sujet. De nombreux acteurs de l'aménagement sont également désireux de disposer de retours d'expériences documentés exposant les bénéfices associés, les précautions de mise en œuvre ou d'entretien pour assurer le maintien des performances à long terme.

L'enquête proposée dans le cadre de ce programme avait comme double objectif de pouvoir :

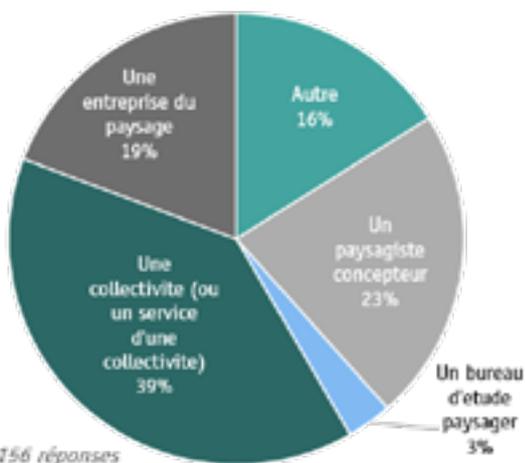
- Collecter des retours d'expériences (réussis ou non) de sites abritant un ou plusieurs revêtements
- Récupérer l'expertise globale des répondants sur un ou plusieurs revêtements

L'enquête a été codée sous l'application web LimeSurvey et a été ouverte de Juin à Septembre 2019 au travers du réseau des adhérents de Plante & Cité ainsi que d'autres réseaux identifiés dans l'étude de la gestion des eaux pluviales (UNEP, Graie, Adopta, FDM). Au final, 66 réponses ont été collectées, dont des collectivités (39 %) ou des professionnels du paysage (paysagistes concepteurs 23 % - entreprises du paysage 19 %). Environ un quart proviennent de structures diverses (bureaux d'études, industriels des travaux publics, associations, établissements publics).

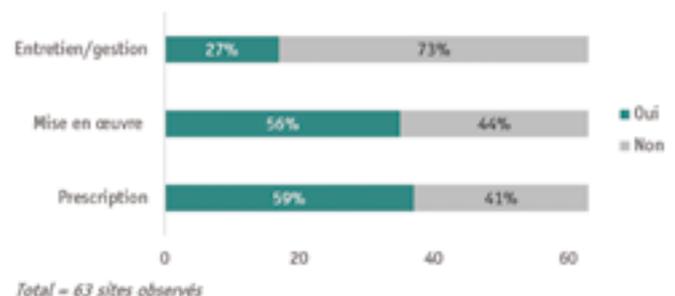
La quasi-totalité des réponses proviennent de la moitié Nord et du quart Sud-Est du territoire métropolitain. On notera aussi une réponse de Saint-Gilles les Bains à la Réunion et de quatre réponses en Suisse (Sion, Puplinge, Genève, Renens).



Localisation des répondants à l'enquête



Qui êtes-vous ?



Quel est/a été votre rôle vis-à-vis ce site ?

CONTEXTE

*Enjeux autour de la gestion
des eaux pluviales et de l'utilisation
des revêtements perméables*



Revêtements perméables : intérêts et enjeux ?

« Revêtements perméables – sols pavés drainants – revêtements drainants – revêtements poreux – sols poreux – pavés rafraîchissants » sont autant de dénominations désignant des ouvrages capables d'infiltrer les eaux pluviales en surface. Plus consensuelle, la terminologie « Revêtement Perméable » a été choisie pour intégrer l'ensemble de ces dénominations. La typologie des revêtements perméables est présentée Fiche : *Typologie des revêtements perméables*.

Qu'est-ce qui caractérise un revêtement perméable ?

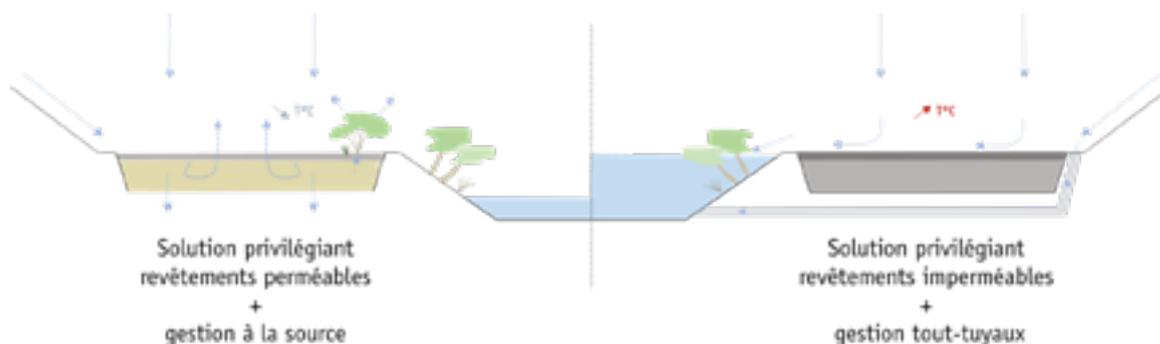


Schéma synthétique des bénéfices apportés par les revêtements perméables par rapport aux revêtements imperméables

Les revêtements - perméables ou imperméables – sont des solutions techniques répondant à des enjeux d'usages de cheminement ou de végétalisation propres au milieu urbain.

Les revêtements perméables ont la capacité d'infiltrer l'eau en surface. Ils peuvent aussi la stocker dans leur structure avant de la redistribuer progressivement vers la nappe ou vers des exutoires dédiés.

Ces revêtements sont constitués d'une grande diversité de matériaux, d'origine et de propriétés différentes (nature, couleur, perméabilité). Cette diversité leur permet de s'adapter à différentes conditions d'implantations et différents usages.

Le choix d'un revêtement perméable nécessite de croiser les besoins et fonctions que l'on attend de lui, notamment par rapport à l'usage du site et aux enjeux de gestion des eaux pluviales du site et/ou de la collectivité. L'intégration du revêtement dans le paysage et l'adéquation avec le cadre historique du site est aussi à prendre en compte.

Pourquoi utiliser un revêtement perméable ?

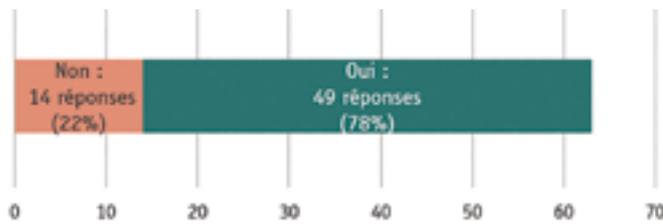
INTÉRÊT N°1

Ils favorisent l'infiltration des eaux pluviales

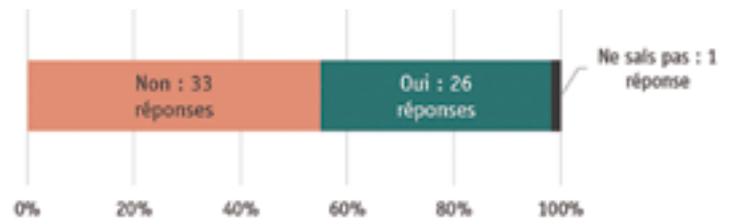
Par définition, la fonction première d'un revêtement perméable est sa capacité d'infiltration, de rétention et de stockage des eaux pluviales. L'eau est ensuite restituée soit vers la nappe, soit vers les plantes, soit vers un exutoire dédié. Utilisés à grande échelle, ils réduisent les risques d'inondations et respectent davantage le cycle naturel de l'eau.

Ce rôle est d'ailleurs le plus recherché par les professionnels : parmi les 63 sites observés, 78% ont indiqué que le revêtement avait été mis en œuvre dans un objectif d'infiltration des eaux pluviales. La capacité d'infiltration et de stockage peuvent en revanche varier selon le type de matériau et la configuration du revêtement choisi.

Les revêtements perméables peuvent aussi collecter des eaux de ruissellement de zones imperméables. Plus de la moitié des sites observés sont constitués de cette façon. Revêtements perméables et imperméables peuvent donc être mutualisés au sein d'un même aménagement.



Le revêtement a-t-il été mis en œuvre afin d'infiltrer les eaux pluviales ?



Le revêtement infiltre-t-il les eaux de ruissellement d'un revêtement imperméable à proximité ?

INTÉRÊT N°2

Ils augmentent la valeur paysagère et le support de végétation

La porosité des revêtements perméables leur confère également la capacité d'accueillir, sur tout ou partie du revêtement, de la végétation sauvage et/ou plantée. Ces qualités sont appréciées lorsque le rendu paysager de l'aménagement est une composante importante. De

plus, la plupart des solutions sur le marché présentent une grande palette de coloris, de finitions et de solutions de calepinage, permettant ainsi de personnaliser l'espace et de laisser place à la créativité.

INTÉRÊT N°3

Ils peuvent favoriser la biodiversité, réduire la pollution des eaux et réduire les effets d'îlots de chaleur

Biodiversité des sols et de l'écosystème général

La biodiversité des sols se compose d'un ensemble d'organismes vivants (nématodes, vers de terre, micro-organismes) jouant des rôles indispensables sur les services rendus par les sols. Une partie des revêtements perméables permet alors de favoriser le développement des organismes du sol¹. De plus, certains revêtements sont végétalisables. On pourra par exemple accueillir des espèces mellifères et/ou attractives pour certains auxiliaires de culture.

Réduction de la pollution des eaux pluviales

Le ruissellement engendre une accumulation de polluants dans les eaux de pluies. Avec l'utilisation de revêtements

perméables, les polluants captés dans les eaux pluviales sont alors stockés et retenus dans les sols. On évite ainsi une trop forte concentration de polluants. Pour une certaine catégorie de polluants (polluants organiques), l'activité biologique permet même de les dégrader au fil du temps.

Réduction de l'effet d'îlot de chaleur urbain

L'évaporation du sol et la transpiration des végétaux favorisent une réduction localisée de la température de l'air. La teinte du revêtement peut aussi être choisie pour réduire cette accumulation de chaleur et contribuer à réduire les îlots de chaleur urbain.

INTÉRÊT N°4

Ils peuvent être compatibles avec tout type de mobilité

Dans un aménagement urbain, la mobilité est souvent recherchée et les revêtements perméables peuvent être compatibles avec cette fonction.

Accessibilité pour les PMR

Une partie des revêtements, de par leur nature, sont déjà adaptés aux déplacements des personnes à mobilité réduite (PMR). En revanche, pour d'autres, des mesures d'accessibilité ou d'entretien doivent être mises en œuvre.

Déplacements de véhicules et de piétons

La grande majorité des revêtements perméables sont carrossables. Ils peuvent tout à fait être compatibles avec des déplacements de cycles et de véhicules (véhicules légers et même poids lourds si le trafic est raisonné). La quasi majorité des revêtements est praticable pour les piétons et une grande partie peut l'être pour des véhicules légers ou lourds.

1 - Piotrowska-Dlugosz et Charzynski, 2014 « The impact of the soil sealing degree on microbial biomass, enzymatic activity, and physicochemical properties in the Ekranic Technosols of Toru (Poland) ».

INTÉRÊT N°5

Ce sont des solutions multifonctionnelles

Les revêtements perméables offrent une diversité de fonctions qu'il sera possible de combiner pour aménager des espaces multifonctionnels. Un même aménagement pourra par exemple permettre le stationnement des voitures tout en réduisant le ruissellement des eaux pluviales et en améliorant la qualité esthétique de l'espace : c'est le cas par exemple d'un parking conçu avec des dalles alvéolées engazonnées.

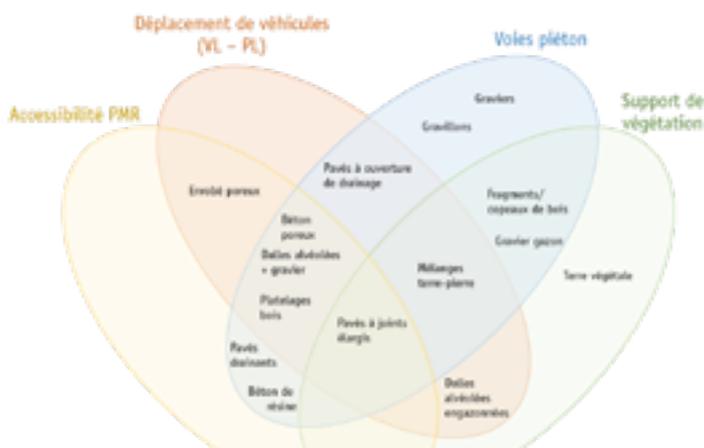
Les revêtements perméables sont donc des solutions très intéressantes pour mutualiser les coûts de mise en œuvre dans des espaces urbains denses. En revanche, tous les types de revêtement ne conviennent pas à toutes les situations, et certains revêtements perméables seront plus appropriés que d'autres. Il est donc important de choisir le revêtement et de concevoir l'aménagement global au regard des fonctions souhaitées par la maîtrise d'ouvrage.

Un peu moins d'un tiers des retours d'expériences portent sur des sites dont la fonction principale recherchée était dédiée au déplacement de véhicules. Ensuite, pour 18% chacun, les sites étaient conçus pour leur attrait paysager ainsi que la possibilité d'accepter le déplacement de piétons.

Ci-contre, le schéma présente de manière simplifiée la relation entre les types de revêtement et quatre fonctions assimilées. Il a été construit en combinant les résultats de l'enquête et les données recueillies dans la littérature. Cette correspondance n'est pas stricte car les possibilités d'adaptation existent. Un mélange terre-pierre et des dalles alvéolées engazonnées pourront par exemple être adaptés pour l'accès aux PMR.



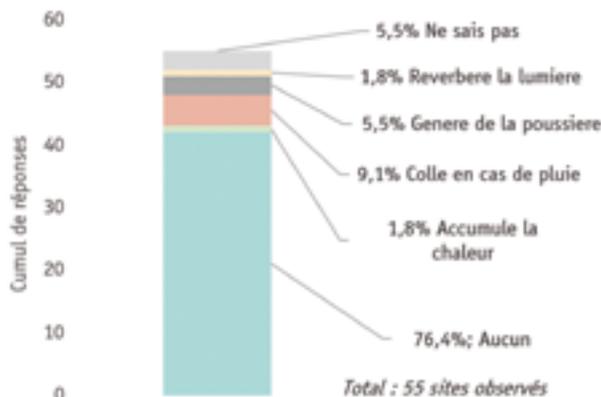
Quelles fonctions sont également recherchées sur l'utilisation de ce revêtement ?



Aperçu de la multifonctionnalité des revêtements perméables

Existe-t-il des désagréments associés aux revêtements perméables ?

Les revêtements perméables présentent peu de contraintes ou de désagréments une fois mis en œuvre. Trois quarts des professionnels interrogés ont indiqué que le revêtement en place n'en présentait aucun. Les autres mentionnent les désagréments suivants : la réverbération de la lumière, la génération de poussière, le risque de devenir brûlant en cas de chaleur ou à coller en cas de pluie. Ces désagréments peuvent être pris en compte par les concepteurs de ces matériaux comme l'ajustement de la finition en surface pour éviter la pulvérisation du revêtement et le choix des coloris pour éviter l'accumulation de chaleur et/ou la réflexion de la lumière.



Des désagréments sont-ils constatés sur le revêtement ?

Dans quels cas peut-on utiliser un revêtement perméable ?

Grace à leur diversité, les revêtements perméables peuvent être intégrés dans tous les types d'aménagements (voire même se substituer à des revêtements imperméables).

Dans l'enquête, les sites observés sont autant des cimetières (16% des réponses), que des parcs (13%) ou

des accompagnements de bâtiments (14%) et de voiries (13%). On notera également une part importante de zones de stationnement.

Quelles sont les conditions à la mise en œuvre de revêtements perméables ?

Il existe quelques conditions quant à la possibilité ou non de mettre en œuvre des revêtements perméables. Il s'agira de zones où l'infiltration n'est pas privilégiée :

- La hauteur de la nappe aux plus hautes eaux ne doit pas dépasser la couche de fondation.
- La proximité du bâti doit également être examinée pour éviter tout risque de dommage sur l'intégrité des fondations.
- La vérification de la portance du sous-sol qui doit être en accord avec l'usage futur.
- La présence de polluants dans les sols ne doit pas non plus engendrer un risque de lixiviation vers les nappes.
- Si la stabilité ou le risque de dissolution (gypse) de la roche du sous-sol ne le permettent pas. Généralement, l'infiltration ne devra pas dépasser celles de pluies habituellement rencontrées.

En complément, la norme NF EN 752-2 précise les modalités relatives à la conception et au dimensionnement des ouvrages des réseaux d'assainissement.



QUE DIT LA RÉGLEMENTATION ?

À l'échelle nationale, la Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE) et la Directive Eaux Résiduaires Urbaines (1991/271/CE) établissent un cadre de travail en termes de collecte et traitement des eaux pluviales urbaines². Ces textes encadrent la définition de documents de planification à l'échelle locale. Les SDAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux), orientent la planification à l'échelle des bassins versants. Ces schémas présentent les grandes dispositions pour la gestion des eaux pluviales et détaillent des objectifs chiffrés ou spatialisés. Ils encadrent les documents de planification à échelle intercommunale.

À l'échelle intercommunale, le PLU intègre un zonage pluvial et prescrit les raccordements des rejets aux réseaux d'assainissement qui précise les objectifs à atteindre et présentent les zones concernées l'infiltration des eaux pluviales. Ce zonage prescrit aussi la limitation des débits dans les réseaux et encadre les principes de gestion des eaux par infiltration. Enfin, peuvent s'ajouter les Plans de Préventions de Risques d'Inondations par ruissellement qui évaluent et encadrent les zones pouvant subir des inondations et le Règlement d'assainissement Pluvial établi par la collectivité exerçant la compétence GEPU.

Une collectivité peut refuser de raccorder les eaux pluviales aux réseaux d'assainissement, qu'ils soient unitaires ou séparatifs. Les zones où pourront s'installer des revêtements perméables correspondent en parti au zonage défini par le zonage pluvial et le PLU.

Des mesures incitatives et punitives sont également mises en place comme la possibilité aux communes de pouvoir taxer chaque mètre carré couvert de béton non drainant ou de bitume (1€ maxi par m² - Grenelle de l'environnement) ou encore l'article 129 de la loi ALUR ou la Loi Biodiversité de 2016 qui obligent à une part de végétalisation des projets ou de parking poreux.

2 - Cerema, 2018 « L'infiltration des eaux pluviales et son impact sur la ressource en eau souterraine - note de problématique » 48p.

Gestion des eaux pluviales à la source : des économies à court et long terme

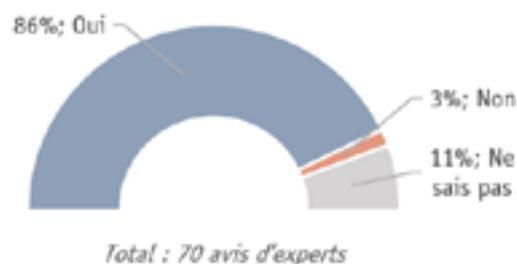
Puisque les eaux pluviales s'infiltrent et sont stockées sur place, ce sont autant de m³ qui n'auront pas besoin d'être collectés et traités par les réseaux d'assainissement. Les coûts d'entretien des réseaux, de traitement des eaux et d'investissement des ouvrages d'assainissement sont alors considérablement réduits. Des études chiffrées viennent appuyer ce bilan économique positif à court et long terme, par exemple :

- Douais Agglo³ anime depuis 1992 une politique de gestion des eaux pluviales à la source permettant une économie estimée d'1 million d'euros HT/an en amortissement, exploitation, maintenance et gestion (soit une économie globale de 35 €/m² lorsqu'on investit dans un revêtement perméable)
- Certains projets peuvent être à la fois moins chers à l'investissement et au global. C'est ce qu'a révélé une étude d'un territoire de 500 ha à Lyon⁴ avec des frais d'investissement six fois moins élevés pour la mise en œuvre d'ouvrages de gestion des eaux pluviales à la source. Les frais de curage des bassins d'orages étant notamment la cause de cet écart de prix.

A cela s'ajoutent les bénéfices sur l'environnement et la santé humaine apportés par les revêtements perméables.

L'offre des revêtements perméables est-elle bien présente sur le marché ?

Bien que les revêtements perméables ne soient pas encore utilisés autant qu'ils le pourraient, l'offre commerciale semble déjà être suffisamment fournie. Dans l'enquête, 86% des experts ont affirmé que l'offre concernant le revêtement perméable était largement disponible sur le marché national. On citera par exemple les pavés et dalles alvéolées perméables qui englobent une grande diversité de dénominations commerciales.

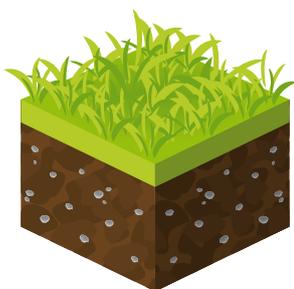


Diriez-vous que ce revêtement est bien présent et accessible sur le marché national ?

3 - Dennin et Héryn, 2018, « Une politique pluviale volontariste et durable : bilan de 25 ans de bonnes pratiques environnementales - l'exemple chiffré du Douaisis - France ».

4 - Graie et Grand Lyon, 2018, « Conférence Ville Perméable ».

Typologie des revêtements perméables



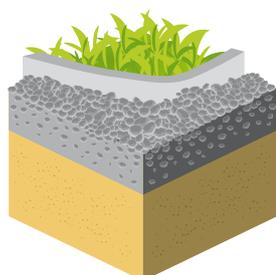
1 Mélanges organo-minéraux et couverts enherbés

USAGES					
ENTRETIEN					
CARACTÉRISTIQUES ET MISE EN ŒUVRE					



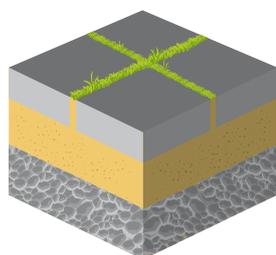
2 Revêtements meubles organiques

USAGES				
ENTRETIEN				
CARACTÉRISTIQUES ET MISE EN ŒUVRE				



3 Revêtements meubles minéraux

USAGES				
ENTRETIEN				
CARACTÉRISTIQUES ET MISE EN ŒUVRE				



4 Pavés drainants ou à joints poreux

USAGES				
ENTRETIEN				
CARACTÉRISTIQUES ET MISE EN ŒUVRE				



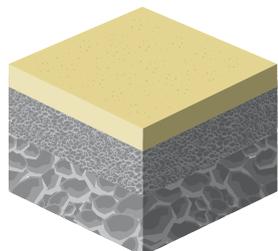
5 Dalles alvéolées

USAGES				
ENTRETIEN				
CARACTÉRISTIQUES ET MISE EN ŒUVRE				



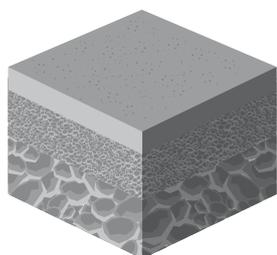
6 Platelages bois

USAGES			
ENTRETIEN			
CARACTÉRISTIQUES ET MISE EN ŒUVRE			



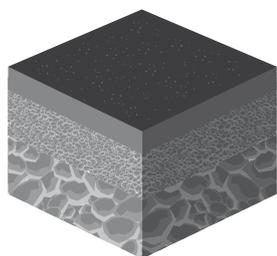
7 Bétons de résines drainants

USAGES					
ENTRETIEN					
CARACTÉRISTIQUES ET MISE EN ŒUVRE					



8 Bétons drainants

USAGES						
ENTRETIEN						
CARACTÉRISTIQUES ET MISE EN ŒUVRE						



9 Enrobés poreux

USAGES				
ENTRETIEN				
CARACTÉRISTIQUES ET MISE EN ŒUVRE				

LÉGENDE

USAGES

Parking	Voie pour véhicules légers	Aménité paysagère
Voie piétonne	Voie pour véhicules lourds	Accessible
Activité et jeux	Support de plantation	Accessibilité avec dispositif
Voie cyclable	Accompagnement de plantation	Non accessible

ENTRETIEN

Tonte	Ratisage / balayage
Désherbage	Pression / aspiration
Semis	Végétalisable
Garnissage / rebouchage	Non végétalisable

CARACTÉRISTIQUES ET MISE EN ŒUVRE

			Coût de mise en œuvre
			Fondation de faible épaisseur
			Fondation de forte épaisseur
			Perméabilité

FICHES REPÈRES

*Éléments clés de compréhension
du fonctionnement, de la mise en œuvre,
de l'entretien et de la tenue dans le temps
des revêtements perméables*



Perméabilité des revêtements

La fonction principale recherchée pour un revêtement perméable est sa capacité à infiltrer et à absorber les eaux pluviales. Dans cette fiche sont présentées les notions principales pour mieux comprendre comment fonctionnent ces revêtements.

Un matériau perméable est un matériau poreux dont les pores sont connectés

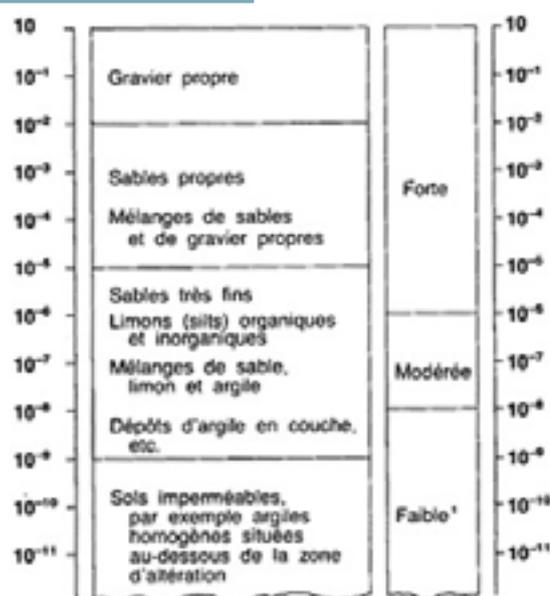
Pour être perméable, un matériau doit d'abord être poreux. La porosité est le volume de vides du matériau par rapport à son volume total. Mais un matériau poreux n'est pas nécessairement perméable. Pour cela, les pores doivent être connectés entre eux : plus ceux-ci seront connectés, plus l'eau pourra circuler dans la structure. La perméabilité correspond à cette connectivité et mesure la capacité d'infiltration du matériau.

Note : la porosité est une notion utilisée en géosciences, mais aussi dans le secteur du béton. Comme l'eau peut avoir un impact sur la durée de vie de certains matériaux liés, surtout si ces derniers ne sont pas perméables, la porosité est alors considérée comme un aspect structurel d'importance.

La perméabilité se mesure par le débit d'infiltration et le coefficient de perméabilité

Le débit d'infiltration mesure le volume d'eau qu'un ouvrage est apte à infiltrer par unité de temps. Il s'exprime en m^3/s et indique la capacité d'infiltration du revêtement par rapport à la surface de l'ouvrage.

Le coefficient de perméabilité est propre au matériau et mesure sa capacité à laisser infiltrer l'eau. Il s'exprime en m/s. Un coefficient $> 10^{-6}$ m/s traduit un caractère perméable et est un bon candidat pour l'infiltration des eaux pluviales. Un coefficient $< 10^{-8}$ m/s (0,036 mm/h) traduit une faible perméabilité (voire semi-perméable). Dans la mise en œuvre des revêtements, des mesures de compensation devront être préconisées lorsque le sol est trop peu perméable. Ces deux quantités, débit d'infiltration et coefficient de perméabilité, sont liées entre elles par la loi de Darcy. De manière simplifiée, pour infiltrer au maximum les eaux de pluie, il faut choisir un revêtement de sol à fort coefficient de perméabilité que l'on dispose sur une large surface au sein de l'ouvrage.



Valeurs de coefficient de perméabilité en fonction du type de sol et de leur granulométrie (source : Food and Agriculture Organization of the United Nations)

Le coefficient de perméabilité renseigne sur l'abattement des événements pluvieux

Connaitre le coefficient de perméabilité et le débit d'infiltration est primordial pour évaluer le potentiel d'abattement des événements pluvieux.

Les précipitations s'expriment en mm. Cette valeur peut alors être comparée directement au coefficient de perméabilité d'un revêtement. Par exemple, un coefficient de 10^{-4} m/s équivaut à 360 mm/h, ce qui est largement supérieur aux événements pluvieux habituels.

Exemple de la ville de Paris

La pluie de référence à Paris est de 16mm⁵. Le zonage pluvial de la ville indique ensuite si les revêtements doivent abattre à minima les 4, 8 ou 12 premiers mm. Plusieurs villes disposent de zonages qui préconisent les infiltrations des pluies nécessaires pour alléger le réseau d'assainissement.

Connaitre les coefficients de perméabilité d'un revêtement

Il ressort de l'enquête que cette valeur était rarement connue et peut s'expliquer par le fait qu'elle peut s'avérer difficile à obtenir pour un maître d'ouvrage. Il existe deux moyens de la connaître :

OPTION 1 : Par le fournisseur

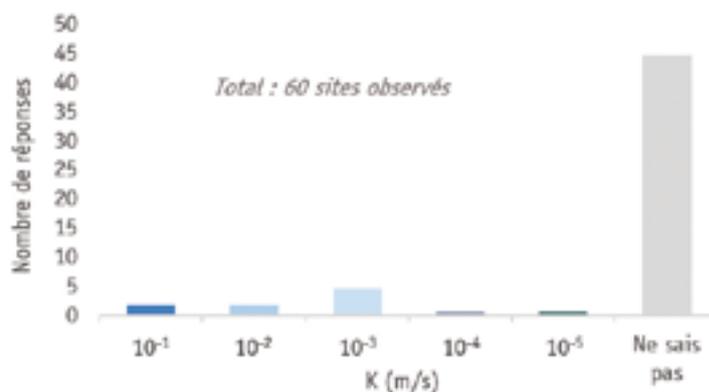
Les données indiquées par les fournisseurs sont généralement comparables à un débit d'infiltration. Elle n'est toutefois pas systématiquement communiquée car les revêtements perméables sont autant des solutions paysagères que des solutions permettant l'infiltration des eaux pluviales.

OPTION 2 : En la mesurant

Il existe différentes méthodes pour mesurer la perméabilité selon le type de revêtement.

Pour les revêtements non liés :

- La norme **NF EN 12616** permet d'évaluer la vitesse d'infiltration de l'eau au moyen d'un infiltromètre double anneau. La méthode évalue le potentiel d'infiltration des eaux de surface⁶.
- Les essais **Matsuo** ou **Porchet** impliquent l'ouverture d'une fosse (pour les revêtements organo-minéraux ou diagnostic du fond de forme) et d'un essai d'infiltration de l'eau.



Quel est le coefficient de perméabilité du revêtement ?

Pour les revêtements liés, il existe des méthodes de mesure de la perméabilité grâce à un perméamètre (ex : norme **NF EN 12697-40** pour les essais de terrain). Cette méthode permet de mesurer la vitesse de percolation d'un revêtement et sa capacité de rétention. Comme la norme **NF EN 12616**, il existe également des protocoles où la mesure se fait à l'aide d'un infiltromètre double anneau (**ASTM C1701**).

Enfin, certaines entreprises proposent elles-mêmes des tests pour caractériser les coefficients de perméabilité et la capacité d'infiltration de leurs matériaux.



Mesure de perméabilité sur le terrain à l'aide d'un perméamètre (© CIMBETON référence Guide T69)



Protocole de mesure in situ (ASTM C1701 – © CIMBETON référence Guide T69)



Test de perméabilité avec pluie artificielle sur dalles alvéolées et pavés bétons (© O2D)

5 - Mairie de Paris, 2018, « Guide d'accompagnement pour la mise en œuvre du zonage pluvial à Paris », 108 p.

6 - Adopta, 2014, « Etude la Perméabilité des Sols - Fiches Méthodologiques », 3 p.

Mise en œuvre

Assurer la stabilité et la tenue dans le temps d'un revêtement perméable nécessite une mise en œuvre adéquate. La mise en œuvre intègre toutes les opérations depuis les phases préalables de préparation du terrain jusqu'aux finitions du revêtement.

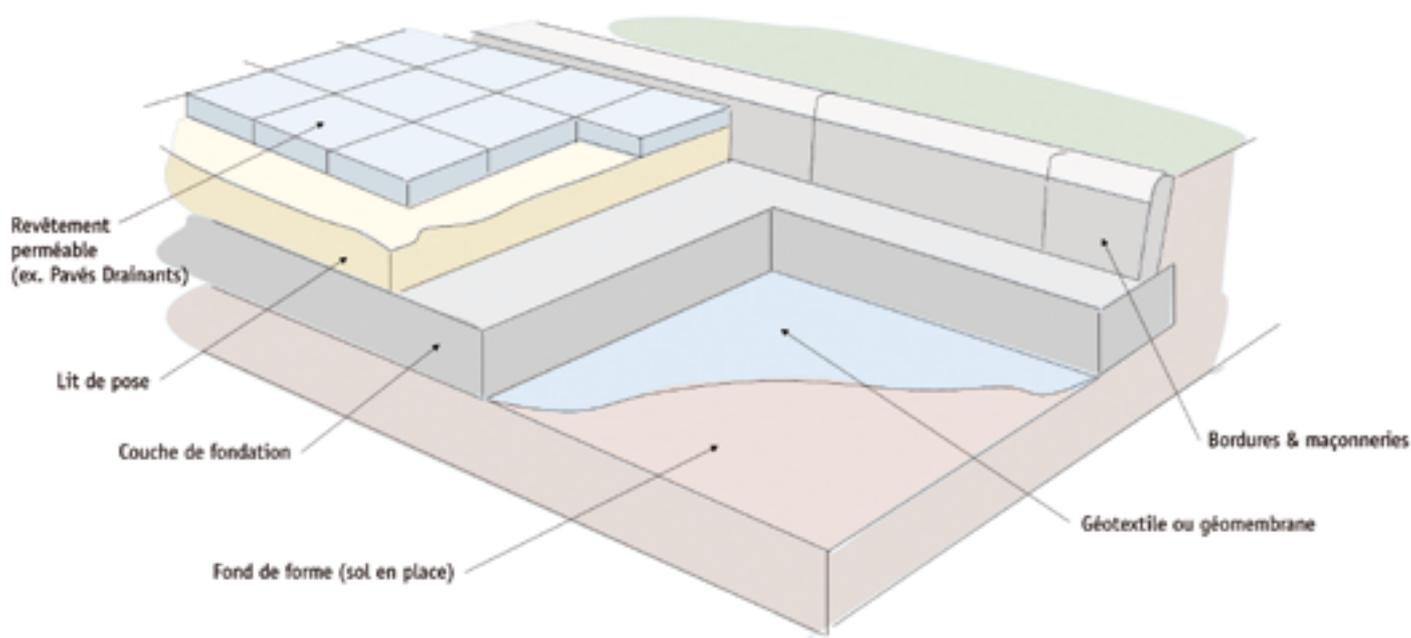


Schéma en coupe de la constitution d'un revêtement perméable (© P&C – Robin Dagois, adapté de TravauxBricolage.fr)

PHASE 1

Étapes préalables

Etudes de sols

Il est essentiel de bien connaître les propriétés physiques du sol et son comportement vis-à-vis de l'eau. Cela va permettre de dimensionner l'ouvrage et de mieux appréhender les écoulements des eaux.

Cette étape se décline via une analyse documentaire accompagnée d'une analyse superficielle des sols, une reconnaissance en profondeur (comportement de la nappe et des eaux souterraines, évaluation de la perméabilité, essais d'infiltration) et un diagnostic géotechnique⁷.

Conception et dimensionnement de l'ouvrage

La conception spécifie les arrivées et sorties de l'eau dans l'ouvrage et le dimensionnement permet de quantifier les volumes entrants et sortants. Le stockage de l'eau dans les couches de fondation et dans le sol est également pris en compte dans ce calcul. Ces éléments doivent aussi intégrer des paramètres plus globaux comme la configuration du bassin versant, du climat et de la géologie du site.

Il est important de noter l'origine des eaux de ruissellement extérieur en particulier pour gérer les volumes d'eau supplémentaires mais aussi pour prévoir l'arrivée de sédiments risquant de colmater le revêtement.

7 - DGALN et Cerema, 2014, « Études de sols pour les ouvrages d'infiltration ou de rétention d'eaux pluviales », 2 p.

PHASE 2

Travaux de mise en œuvre

ÉTAPE N°1 : Décaissement et préparation du terrain

Dans le cas de revêtements nécessitant une couche de fondation, la première étape implique un décaissement et une évacuation des terres de remblai (voire une réutilisation sur place). Cette étape se fait généralement au moyen d'une mini pelle ou pelleteuse. A ce stade, il est possible d'imprimer une pente dans le fond de forme pour faciliter les écoulements vers un point de l'ouvrage souhaité. Par exemple, en bordure d'habitation, on marquera une pente permettant d'éloigner les écoulements de l'emprise du bâti. De plus, si on souhaite évacuer latéralement les eaux d'infiltration, un compactage du fond de forme suivi de la pose d'une géomembrane imperméable sont préconisés.



Exemple de terrassement d'une zone accueillant un revêtement perméable
(© P&C – Robin Dagois)

ÉTAPE N°2 : Etudes complémentaires de portance et de perméabilité

Après décaissement, il est nécessaire de réaliser une étude géotechnique complémentaire de portance et de mesure de la perméabilité du fond de forme. La mesure de perméabilité permettra de préciser la capacité de l'ouvrage à drainer les eaux pluviales. La mesure de portance validera la capacité du fond de forme à supporter des charges (exemple : > 50 MPa pour un parking).



Pose d'un drain pour faciliter les écoulements
(© Ecohabitation)

ÉTAPE N°3 : Pose de drains (facultatif)

En dessous de $K = 10^{-6}$ m/s, la mise en place de drains dans la partie inférieure de l'ouvrage est conseillée pour faciliter les écoulements vers un exutoire. Il ne s'agit pas d'une obligation car l'infiltration dans le sol est tout de même possible en dessous de cette valeur. Il convient donc de se référer aux autres éléments caractéristiques de l'aménagement (ex : possibilité de rediriger les écoulements vers un exutoire désiré).

ÉTAPE N°4 : Préparation du fond de forme

Celle-ci peut se faire :

- Par **compactage** : pour favoriser des écoulements latéraux vers des exutoires.
- Par **scarification** : pour maximiser l'infiltration et le drainage ou augmenter les surfaces d'échanges avec la couche de fondation.

La pose d'un géotextile ou d'une géomembrane est ensuite nécessaire :

- Le **géotextile** assure un maintien du fond de forme et évite les mélanges avec la couche de fondation.
- La **géomembrane** est imperméable et sera mise en œuvre pour permettre de guider les écoulements des eaux d'infiltration vers les drains et les exutoires de l'ouvrage. La mise en place d'une géomembrane est essentielle notamment lorsqu'on souhaite réaliser une chaussée à structure réservoir et que le dispositif est conçu pour évacuer les eaux pluviales vers des exutoires dédiés.



Pose d'un géotextile
(© O2D, Esplanade du Champ de Mars - Lille)

ÉTAPE N°5 : Pose de la couche de fondation

La couche de fondation est ensuite posée, nivelée puis compactée. L'opération est répétée selon le nombre de couches nécessaires à l'ouvrage. Si c'est le cas, on peut séparer les couches par une géogrille qui va assurer une meilleure portance si des véhicules doivent circuler. En phase chantier, des poids lourds peuvent ainsi se déplacer sur ces couches de fondation pour couler un **béton drainant** par exemple.

Le nivelage de la couche de fondation est essentiel pour régulariser sa surface. La présence d'irrégularités supérieures à 1,5 cm risque d'entraîner des fractures ou des affaissements du revêtement superficiel. L'apparition de zones de retenue peut aussi détériorer le revêtement en surface.



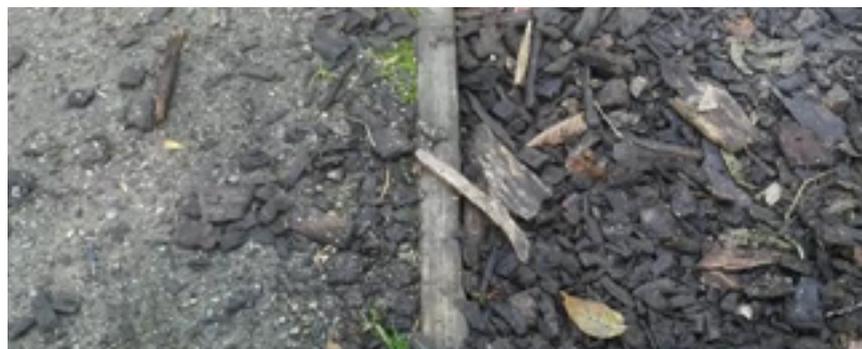
Mise en œuvre d'une couche de fondation
(© P&C – Robin Dagois)

ÉTAPE N°6 : Installation de bordures

Les bordures sont installées après la pose des couches de fondations. Ces bordures jouent le rôle de barrière physique et délimitent l'ouvrage. Le choix de la bordure est important pour assurer l'intégrité du revêtement : il dépendra de sa nature, de son usage et de sa pente. On peut citer les bordures maçonnées, des lisses en bois ou des bordurettes en acier ou en bois.

ÉTAPE N°7 : Installation du lit de pose

Un lit de pose (sable, GNT ou mélange terre cuite/compost ; épaisseur 3 ± 1 cm) peut être mis en place sur la couche de fondation : celui-ci va permettre de maintenir les éléments modulaires en place en surface du revêtement (notamment pour les **pavés drainants ou à joints élargis** ou **les dalles alvéolées**). Il doit être tiré à la règle. Un géotextile doit ensuite être posé pour éviter la migration du sable. On privilégiera des matériaux siliceux ou silico-calcaires pour assurer une meilleure résistance dans le temps.



Exemple de bordure en bois remplissant correctement son rôle pour séparer un revêtement organique d'un enrobé (© P&C – Robin Dagois)



Exemple de mauvaise adéquation entre choix de bordure, usage et nature du revêtement (© P&C – Robin Dagois)

ÉTAPE N°8 : Pose du revêtement (ou couche d'usure)

Le revêtement en surface est ensuite posé ou coulé selon les modalités définies dans les fiches revêtement. Dans cette étape, il est essentiel de respecter les conditions environnementales de mise en œuvre du revêtement. C'est notamment le cas pour **les revêtements liés** qui nécessitent des conditions de température et d'humidité pour assurer une meilleure prise du revêtement.

ÉTAPE N°9 : Finitions

Une fois mis en œuvre, des procédés de finition sont appliqués pour apporter des éléments de protection ou d'esthétique (voir Fiches Revêtements).

Pour **les revêtements non liés** et certains **modulaires** : on procédera à des semis, des plantations et éventuellement un arrosage pour assurer le démarrage ou la reprise de la végétation. Ces éléments doivent être réfléchis en adéquation avec les conditions météorologiques et la saison.



Pose de dalles alvéolées (© Wendy Arnould, Orléans)



Remplissage de dalles alvéolées et végétalisation pour voie d'accès pompier (© Sylvie Pigot, Niort)

Quelques points de vigilance

Les points de vigilance sont :

- La conformité de la commande des produits qui doit spécifier les conditions de mise en œuvre et les descriptions des produits (dimensions, nature, perméabilité, teinte, aspect). Ces éléments seront à contrôler dès réception des matériaux.



Exemple de risque de colmatage précoce dû au déplacement de remblais sur un revêtement perméable
(© Wendy Arnould, Orléans)

- La vérification en phase chantier, notamment lors de l'étape N°6, de ne pas générer de poussières ni de stocker des produits pouvant obstruer la porosité. Si d'autres parties de l'aménagement sont à terminer en parallèle, il est possible de mettre en place un revêtement imperméable temporaire (ex : enrobé).
- Il faut éviter de poser un revêtement en conditions de gel ou par forte chaleur. Cela risque d'impacter la prise de certains matériaux lors de leur pose et générer des comportements indésirables à long terme (comme les **bétons drainants** qui peuvent sécher trop rapidement par forte chaleur).
- La vérification, lors de la phase chantier, et après réception, du cheminement de l'eau et sa conformité avec les phases d'études avant-projet. Il est également essentiel de contrôler le dimensionnement et les volumes stockés dans l'aménagement.
- Le contrôle de la planimétrie, du nivellement, du calepinage, de l'appareillage et des joints.

Quel sont les coûts de mise en œuvre ?

Les coûts de mise en œuvre englobent la préparation du terrain, l'achat et la livraison des matériaux, la mise en œuvre de la couche de fondation et du revêtement et les éventuelles finitions. Une partie des revêtements perméables peut être installée en régie comme les revêtements non liés.

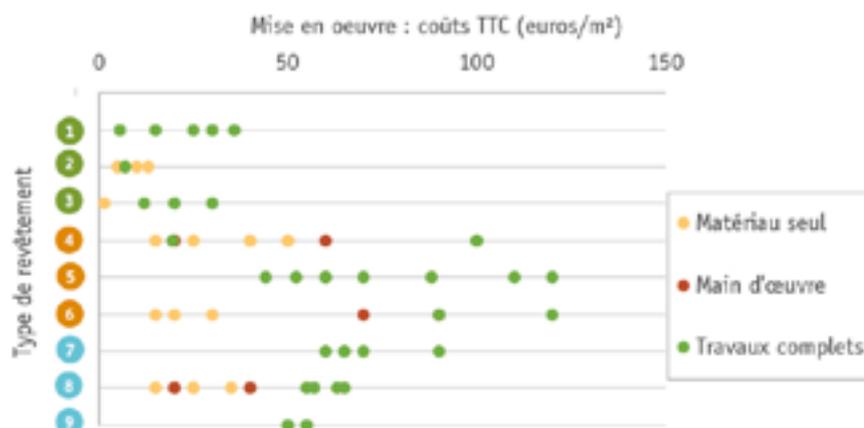
L'enquête a recensé les coûts de mise en œuvre des revêtements perméables observés (en prix TTC surfacique). Les chiffres portent sur la main d'œuvre et/ou les coûts des matériaux, toutes phases confondues.

Les coûts de mise en œuvre vont varier d'un type de revêtement à l'autre. Les revêtements non liés ne dépassent pas 40 €/m² (tous travaux compris). Les coûts des matériaux des revêtements organiques sont

notamment parmi les moins chers, ne dépassant pas 15 €/m². Ce revêtement ne nécessite d'ailleurs pas toujours de couche de fondation.

Les **revêtements modulaires** sont parmi les plus onéreux bien que le montant soit dépendant des caractéristiques techniques. Les revêtements types **pavés drainants**, **dalles alvéolées** et **platelages** peuvent atteindre des valeurs supérieures à 100 €/m². En contrepartie, certaines solutions de **dalles alvéolées** ont été évaluées à environ 40 €/m². Cette variabilité souligne la grande diversité de solutions techniques et commerciales existantes.

Les revêtements **liés** ont des coûts intermédiaires et variables de 50 à 80 €/m².



Quels sont les coûts de mise en œuvre ?

Couche de fondation

La couche de fondation fait partie de la plupart des solutions de revêtements perméables étudiés. Elle joue plusieurs rôles sur la portance et la gestion des eaux pluviales.

Quelles sont les fonctions de la couche de fondation ?

Cette couche doit être perméable sans quoi le revêtement ne peut être considéré comme tel. On pourra néanmoins concevoir l'ouvrage pour qu'il infiltre totalement les eaux pluviales ou pour que les eaux collectées soient évacuées latéralement via des drains.

Elle occupe deux rôles principaux :

- Rôle de portance et de support pour assurer la stabilité du revêtement dans le temps et par rapport à des usages de voirie.
- Rôle de réservoir pour assurer l'écoulement et l'infiltration des eaux pluviales. Les revêtements perméables peuvent afficher des perméabilités très importantes, auquel cas le rôle de la couche de fondation est de tamponner ces écoulements. Ce phénomène a comme double objectif d'alléger les réseaux d'assainissement et de permettre de redistribuer l'eau en surface par évaporation ou pour la végétation si présente.

La gestion de l'eau au niveau du fond de forme peut se faire selon deux cas de figure :

- Soit l'infiltration est effectuée directement dans le sol.
- Soit les eaux infiltrées sont redirigées en profondeur et latéralement vers une sortie exutoire sélectionnée. Cette solution peut être envisagée si le fond de forme est trop peu perméable, ou si d'autres paramètres de conception imposent ce mode de fonctionnement.

De quoi est-elle constituée ?

La composition de la couche de fondation va dépendre des objectifs du revêtement : besoin de portance et stockage des eaux pluviales. Il existe principalement deux types de composition : des graves non traitées (GNT) ou un mélange terre-pierres.

- Le mélange terre-pierres pour les revêtements végétalisés car il permet le développement des racines. Cependant, suivant la texture de la terre (sableuse ou limoneuse), la perméabilité de cette couche de fondation va varier.

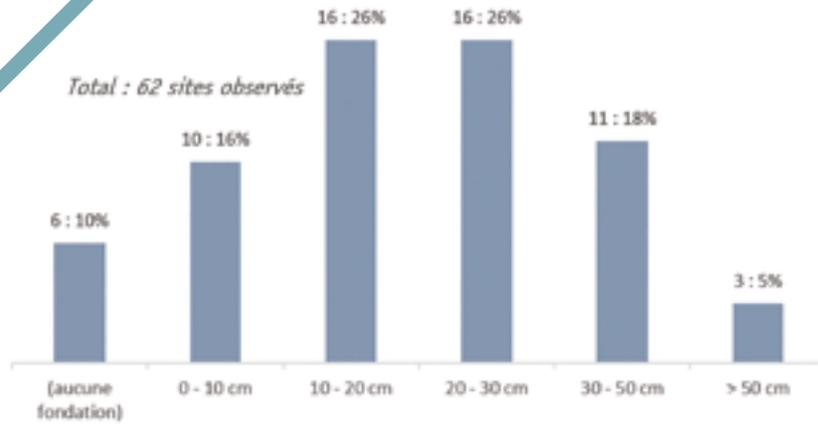


+ DE 90 %

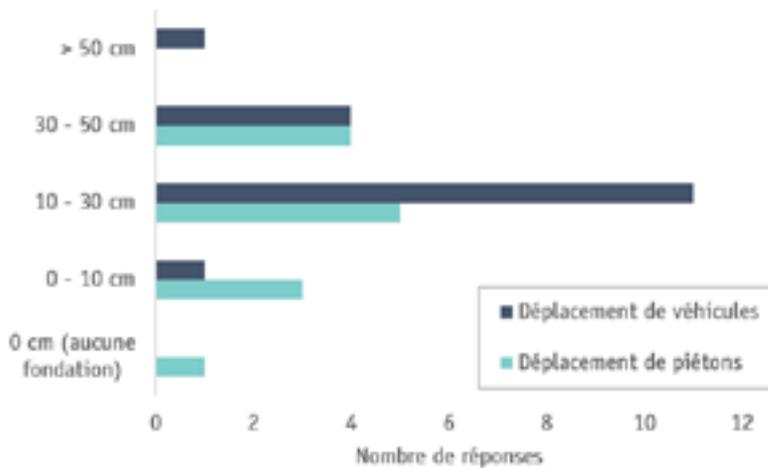
Plus de 90% des revêtements observés présentaient une couche de fondation. Ces observations sont en accord avec les avis des experts qui indiquent à près de 85% que les revêtements perméables nécessitent l'accompagnement d'une couche de fondation pour assurer leur bon fonctionnement. En affinant par la typologie, on remarquera que deux types de revêtements n'en nécessitent pas nécessairement. Il s'agit des revêtements meubles composés de fragments organiques (#2) ainsi que les platelages en bois (#6).

- Les GNT peuvent être mises en œuvre pour la plupart des couches de fondation, mais le choix de la granulométrie doit se faire en fonction de l'usage du site. Par exemple, pour une voie de circulation accueillant des véhicules légers ou lourds, on favorisera des GNT à forte granulométrie pour assurer une meilleure portance.

En pratique, les matériaux constitutifs des GNT seront dépendant des calibres fournis par la carrière locale.



Quelle est l'épaisseur de la couche de fondation ?



Lien entre usage principal du revêtement et épaisseur de la couche de fondation

L'épaisseur de cette couche est elle-même dépendante du type d'usage réservé au revêtement. Les professionnels interrogés indiquent la mise en œuvre de couches de fondation sur des épaisseurs variables. Un peu plus de la moitié des revêtements disposent d'une couche de fondation dont l'épaisseur varie de 10 à 30 cm.

Pour un usage réservé aux piétons, une épaisseur de 5 à 10 cm peut être suffisante bien qu'on puisse rencontrer des situations où l'épaisseur peut être plus importante, surtout pour un usage intensif. Pour un usage réservé à des véhicules, l'épaisseur peut varier de 15 à 50 cm, les retours d'expériences montrant un pic de réponse autour de 10 – 30 cm.

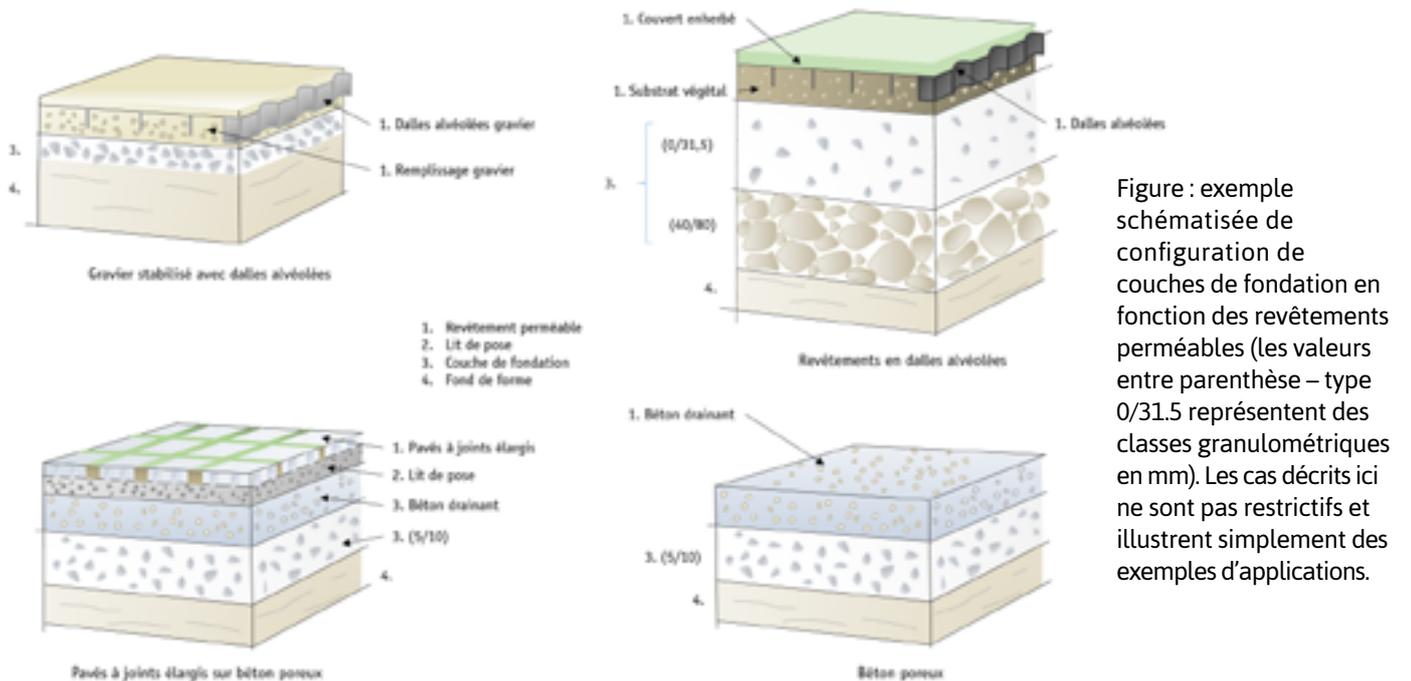


Figure : exemple schématisée de configuration de couches de fondation en fonction des revêtements perméables (les valeurs entre parenthèse – type 0/31,5 représentent des classes granulométriques en mm). Les cas décrits ici ne sont pas restrictifs et illustrent simplement des exemples d'applications.

Entretien et rénovation

L'entretien des revêtements constitue l'ensemble des opérations réalisées après livraison du revêtement. Ces opérations assurent le rendu esthétique, la tenue et le fonctionnement du revêtement dans le temps. La fiche présente les opérations et les itinéraires techniques d'entretien des revêtements perméables.

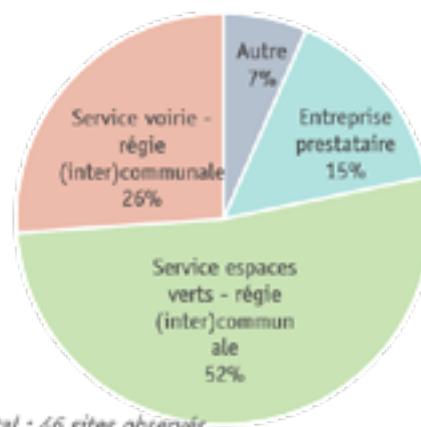
Qui réalise cet entretien ?

Les premières années suivant la livraison

Les deux ou trois premières années, l'entretien est généralement assuré par la maîtrise d'œuvre. Il est ensuite rétrocédé à la structure en charge du site. Cette rétrocession doit respecter un certain nombre de règles de gestion indiquées dans des livrets techniques, qu'il conviendra de vérifier avant de reprendre ces itinéraires d'entretien.

Après la rétrocession

Après rétrocession, la responsabilité de l'entretien revient souvent au gestionnaire ou à la régie en charge du site. Un prestataire pourra toutefois être employé pour différentes opérations nécessitant une expertise ou un équipement particulier. Il s'agira d'opérations de tonte ou de désherbage jusqu'à des travaux plus conséquents de balayage (au moyen de balayeuses de rues) ou des travaux de décolmatage par pression/aspiration.



Total : 46 sites observés

Au niveau du site, par qui est réalisé l'entretien des revêtements perméables ?

D'après notre enquête, près de 75% des sites recensés sont entretenus en régie intercommunale : 50% par les services espaces verts, 25% par les services voiries et une petite partie par d'autres services comme les services funéraires. La gestion de revêtements perméables est donc majoritairement réalisée en régie (un prestataire est mentionné par 15% des répondants).

En quoi consiste l'entretien d'un revêtement perméable ?

On peut distinguer les opérations d'entretien en quatre niveaux d'importance :

- **Niveau préventif (observations)** : évaluation visuelle des performances et du fonctionnement du revêtement. Ce premier niveau implique de venir vérifier régulièrement l'infiltration des eaux lors d'événements pluvieux, la présence de débris (végétaux, sables), l'absence de colmatage et l'apparition de zones de fragilité.
- **Niveau préventif (itinéraires de routine)** : opérations de routine qui doivent être mises en œuvre pour garantir le fonctionnement du revêtement au cours du temps. Ces opérations sont généralement à réaliser une à plusieurs fois par an (désherbage, tonte, nettoyage, garnissage, balayage).
- **Niveau semi-curatif** : opérations plus lourdes qui impliquent des rénovations ou travaux de réhabilitations importants. Elles sont toutefois moins

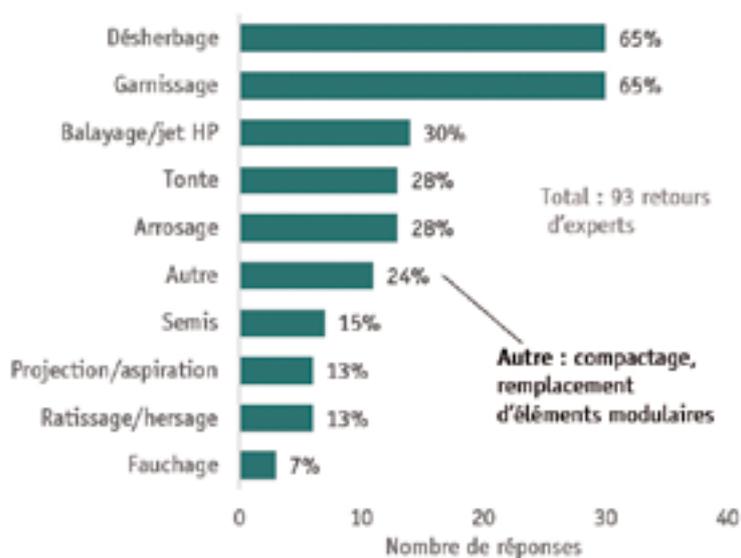
coûteuses que le remplacement total de l'ouvrage et permettent de retrouver une partie des fonctions initialement mises en place. Il s'agira par exemple de décolmatage. Elles seront à réaliser à des pas de temps plus élevés (tous les 3-15 ans par exemple).

- **Niveau curatif** : le dernier niveau implique une rénovation importante de l'ouvrage. Généralement, il s'agit de remplacer tout ou partie du revêtement en surface. Ces opérations plus coûteuses sont à réaliser lorsque le revêtement a atteint un niveau de vieillissement trop important et que des dégâts sont constatés. Ces opérations permettent la mise en œuvre d'un revêtement neuf et sont à envisager à des pas de temps élevés (tous les 20 à 30 ans).

Quelles opérations sont réalisées dans l'itinéraire technique d'entretien ?

Type de revêtement	Désherbage	Semis	Balayage/nettoyage haute pression	Garnissage/rebouchage	Tonte	Ratissage/ hersage	Pression aspiration
1	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗
2	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✗
3	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✗
4	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✓
5	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✗
6	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗
7	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✗
8	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✓
9	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✓

- ✓ Généralement concerné par l'opération (appliqué sur > 50 % des sites observés)
- ✓ Quelque fois concerné par l'opération (appliqué entre 10 et 50 % des sites observés)
- ✗ Rarement ou pas concerné par l'opération



Quelles opérations sont généralement prescrites dans l'itinéraire d'entretien ?
(tout type de revêtements confondus)



OPÉRATION 1

Le désherbage

Le désherbage est nécessaire pour la plupart des revêtements et est le poste le plus sollicité. Qu'un couvert végétal soit prévu ou non, il est souvent nécessaire pour limiter l'expansion d'adventices non souhaitées. Pour les experts, ils représentent 65% des revêtements cités dans le cadre de l'étude.

Il s'agit aussi de l'un des postes les plus fréquents à prévoir, particulièrement sur des revêtements accueillant aisément la végétation et où un contrôle de la colonisation est souhaité. Plusieurs solutions existent pour désherber sans avoir recours à des produits phytosanitaires ou coûteux en énergie fossile comme le désherbage manuel ou désherbage mécanique. Tous les revêtements ne tolèrent pas l'ensemble de ces solutions et il est nécessaire de prévoir le mode de désherbage en amont du projet.



Le projet d'étude Compamed ZNA, animé par Plante & Cité de 2008 à 2014 a permis de recenser l'ensemble des pratiques de désherbage. L'étude a abouti à la réalisation d'un outil de modélisation des coûts et des impacts de travaux de désherbage sur un aménagement donné.



OPÉRATION 2

La tonte

La tonte représente l'un des postes les plus importants en terme de fréquence, particulièrement selon les objectifs rendus. Il s'appliquera à la plupart des revêtements végétalisés nécessitant un contrôle sur la hauteur de pousse (type organo-minéral, **pavés drainants ou à joints poreux** et **dalles alvéolées**). Lors du désherbage ou de la tonte, il est essentiel de veiller à ne pas projeter de débris de végétaux sur des **revêtements liés** car cela risque d'entraîner un colmatage ou l'apparition de mousses en surface.

L'étude « Tonte et Fauche » menée par Plante & Cité entre 2015 et 2018 a permis de recueillir les temps de travaux des différents postes prévus dans la gestion des strates herbacées. Les résultats sont présentés dans le guide : Laille P., Cheval H., 2019 : Optimisation de la tonte et de la fauche. Résultats de l'observatoire des pratiques : Itinéraires techniques, Temps de travaux Plante & Cité, Angers, 28p.



OPÉRATION 3

Le ratissage – le griffage

Le ratissage ou le griffage est généralement utilisé sur les revêtements minéraux non liés. Il permet de niveler la surface du revêtement et de supprimer l'apparition d'ornières et autres aspérités. Pour les stabilisés (semi perméables), l'action permet de faire réapparaître une certaine perméabilité qui peut décliner sous l'action du piétinement.



Ratissage d'un stabilisé - Parc des Tuileries
(© DPAJ SDJ EPML Louvre)



OPÉRATION 4

Le balayage – soufflage - lavage à haute pression

Les actions de nettoyage, balayage et lavage visent à supprimer les dépôts (sédiments ou débris).

Le lavage à haute pression permet d'évacuer une partie des sédiments et éléments organiques déposés sur le revêtement. Des préconisations existent quant au lavage haute pression afin de ne pas endommager le matériau (angle d'attaque inférieur à 30° afin de limiter le dégarnissage du matériau et des joints et pression limitée à 4 ou 5 MPa).

L'utilisation de balayeuse de voirie est possible et permet de légèrement décolmater les revêtements. Son utilisation permet la gestion de plus grandes surfaces comme les zones de stationnement ou de voirie.



OPÉRATION 5

Le décolmatage par pression/aspiration

Il permet d'éliminer les sédiments et débris organiques obstruant les pores d'un revêtement au cours de sa vie. Le décolmatage par pression/aspiration consiste à injecter de l'eau sous haute pression dans la porosité (entre 150 et 300 bar pour 120 à 200 litres/min), puis à aspirer le sédiment décollé. On peut ainsi espérer un gain de perméabilité important suffisant pour assurer à nouveau l'infiltration des eaux pluviales.

Il est important de rappeler que les sédiments de décolmatage doivent être traités lorsqu'ils sont contaminés. Ces produits peuvent être chargés en métaux lourds et hydrocarbures.

PÉRIODE DE GEL/DÉGEL ET ENTRETIEN

La gestion du gel et l'impact des cycles gel/dégel concernent une grande partie des revêtements, en particulier les **revêtements liés** ou **modulaires**. Pour les revêtements perméables, le risque d'altération par gel/dégel est limité car l'eau circule rapidement dans la structure et n'a pas le temps de geler (dans le cas où l'infiltration se fait correctement). En outre, si cela devait arriver, la présence de vides dans la structure permet l'expansion de l'eau sans impacter le matériau. Il faut toutefois faire attention aux pluies pouvant survenir sur revêtement gelé ou enneigé : durant la phase de dégel il existe un risque accru de ruissellement car le revêtement perd temporairement en perméabilité.

Les **bétons drainants** et **enrobés poreux** présentent des surfaces d'échanges supérieures à celles de matériaux imperméables, ceci permet d'accélérer la vitesse de fonte du gel et de la neige en surface. En revanche, les échanges thermiques étant plus importants, le verglas en surface peut apparaître plus vite que sur une surface imperméable. Les fréquences et solutions de salage doivent donc être adaptées.

Les agents déverglaçants doivent respecter la norme **NF EN 16811-1** (sel de classe A par exemple qui contient la plus faible quantité d'insolubles). Il est rappelé que la fréquence et l'intensité de l'usage de sels de déneigement doivent être raisonnées.

Enfin, les solutions de déneigement doivent privilégier des outils de balayage en caoutchouc ou plastique pour préserver la surface du revêtement.



Décolmatage par pression/aspiration (© Sotraveer)



Décolmateuse portable
(© CIMBETON référence Guide T69)

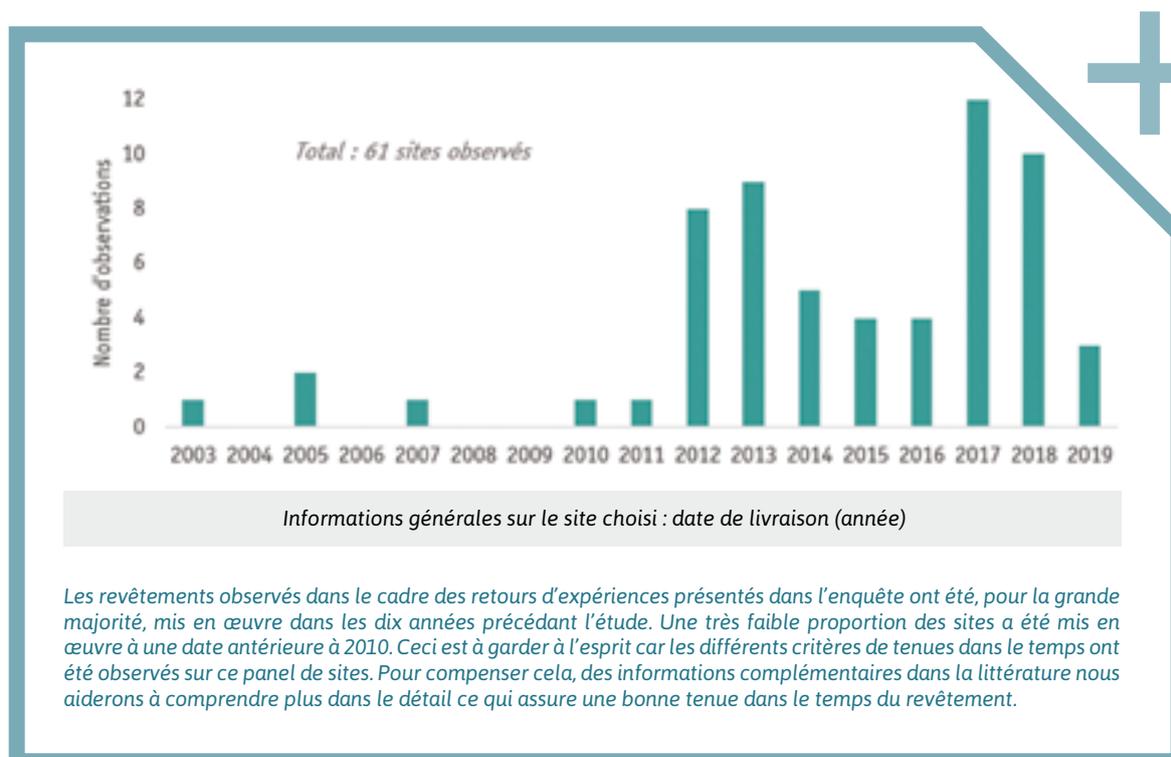
Tenue dans le temps

Connaître le potentiel de tenue dans le temps d'un revêtement permet de mieux sélectionner ce type de solution alternative.

Comment évaluer la tenue dans le temps ?

L'évaluation de la tenue dans le temps d'un revêtement perméable intègre de nombreux paramètres en lien avec l'intégrité, le fonctionnement, les usages et l'aspect esthétique d'un revêtement. La plupart de ces paramètres peuvent être mesurés objectivement même si une compo-

sante subjective peut aussi être présente sur l'aspect esthétique. Une bonne tenue dans le temps sera favorisée par divers facteurs comme les conditions de mise en œuvre, l'entretien et la conformité de l'usage du revêtement.



DÉMARCHE N°1

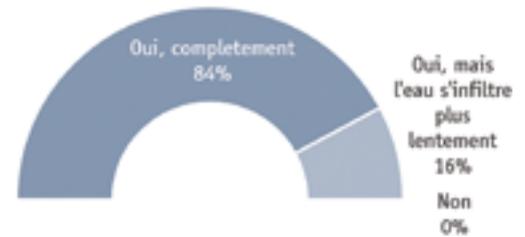
Évaluer l'évolution de la fonction perméable

On attend d'un revêtement perméable sa capacité à infiltrer les eaux pluviales, mais la perméabilité d'un revêtement évolue naturellement au cours du temps. Les revêtements non liés ou modulaires peuvent voir leur perméabilité diminuer s'ils se compactent tandis que les revêtements liés sont plutôt concernés par du colmatage (obstruction des pores par des sédiments ou des débris végétaux). Malgré un entretien adapté, une diminution de la perméabilité peut apparaître localement. L'infiltration peut être plus lente et contribuer à l'apparition de flaques d'eau en surface.

Un exemple de colmatage est documenté dans les procédés de pression/aspiration dans le cas du parking des Chartreuses à Douai. Pour une perméabilité mesurée à 0,08 cm/s (alors qu'elle était de 2 cm/s à la mise en œuvre), le procédé permet de revenir à une valeur de 1,04 cm/s (soit 13 fois la perméabilité avant intervention).

Les observateurs ont indiqué à 84% que le rôle perméable était entièrement conservé. Pour 16%, cette fonction est maintenue bien qu'on observe des vitesses d'écoulements plus lentes. Aucun des répondants n'a indiqué observer une perte complète de perméabilité. Le lien avec l'âge du revêtement n'est pas clairement établi : les sites où l'eau s'écoule plus lentement sont, pour plus de la moitié, âgés de 5 à 10 ans. En revanche, trois sites de moins de deux ans voyaient aussi leur vitesse d'infiltration diminuer.

Pour **les revêtements liés**, ces derniers présentent généralement des perméabilités très élevées. On parle de 2 à 5cm/s pour des revêtements types **bétons drainants** ou **enrobés poreux** (soit près de 1000 fois supérieurs à des pluies standards). Ici, même un colmatage à 90% (0,2 mm/s) reste largement suffisant pour abattre significativement les pluies les plus intenses.



Total : 57 sites observés

Actuellement, le rôle perméable du revêtement est-il conservé ?

DÉMARCHE N°2

Évaluer l'évolution des autres fonctions

La capacité du revêtement à maintenir les fonctions prévues lors de la mise en œuvre fait partie des critères de tenue dans le temps. On intègre le fait que le revêtement ne rende pas complètement la fonction attendue : par exemple la circulation de piéton peut être plus difficile sur un revêtement affaissé (bien qu'elle ne soit pas impossible).

Pour 88 % des sites observés, les fonctions initiales étaient maintenues. Seuls 16 % des répondants estiment que certaines ne sont pas conservées. Elles concernent pour la plupart la fonction de support pour le déplacement de véhicules (dans le cas de **revêtements organo-minéraux** notamment) ou de piétons et le rendu esthétique du revêtement.

Les causes liées à ces pertes de fonctions évoquées sont principalement des défauts dans la gouvernance et le choix des revêtements qui ne correspondent pas aux usages prévus (pour trois retours d'expériences). D'autres retours ont été évoqués comme un défaut d'entretien, le vieillissement du matériau (compaction du joint dans des **dalles alvéolées** rendant impossible tout semis), et les fluctuations météorologiques (impacts de gel/dégel sur des **dalles alvéolées**).



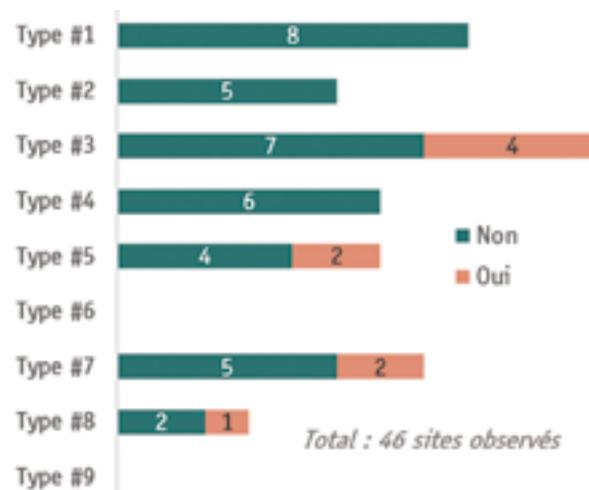
Total : 56 sites observés

Aujourd'hui, les fonctions initiales sont-elles conservées ?

DÉMARCHE N°3

Faire l'inventaire et gérer les dégâts observés

Les dégâts observés peuvent être de natures diverses mais sont généralement liés à une inadéquation entre les usages, l'entretien et les conditions de mise en œuvre. Sont intégrés à ces notions de dégâts : les affaissements, les fissurations, l'orniérage, la dispersion du matériau ou du joint et l'érosion.



Total : 46 sites observés

Des dégâts sont-ils observables sur les revêtements ?

Seuls 16% des sites observés présentaient des dégâts en surface. Les revêtements concernés sont pour moins de la moitié les **revêtements meubles minéraux**. L'autre moitié concerne les revêtements types **dalles alvéolées, bétons drainants** et **résines drainantes**. Le bilan de ces observations est mentionné dans le tableau ci-dessous.

Type de revêtement	Surface : 1 à 10 %	10 à 40 %	40 à 70 %	70 à 100 %	Nature des dégâts	Localisation	Causes
3					Affaissement	Ponctuellement	-
					Ornières	Ponctuellement	Manœuvre des voitures
					Cassures - fissures	Ponctuellement	-
					Crevasse	Ponctuellement	-
5					Affaissement	Ponctuellement	Manœuvre des voitures
					Autre	De manière homogène	Rétractation importante de la terre végétale présente dans les alvéoles
7					Érosion du revêtement	Ponctuellement	-
					Dispersion du joint	Ponctuellement	-
8					Érosion du revêtement	Ponctuellement	Condition de mise en œuvre (météo - chaleur)

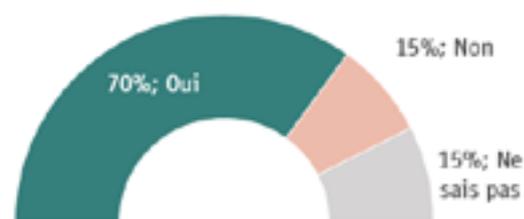
DÉMARCHE N°4

Étudier les possibilités de réparation et de remplacement du revêtement

La possibilité de réparer et remplacer une partie d'un revêtement constitue un atout majeur dans la tenue dans le temps d'un matériau. Des réparations sont souvent nécessaires pour éviter que des dégâts ne se propagent à d'autres éléments du revêtement. Par exemple, pour des **dalles alvéolées**, la présence de dommage sur l'une d'entre elles peut se répéter aux dalles voisines si l'ouvrage accueille des véhicules.

Près de 70% des répondants ont indiqué que le revêtement pouvait être facilement remplaçable et réparable. Seuls 15% ont indiqué le cas contraire (et 15% ne savent pas). Plus spécifiquement, les réponses négatives correspondent principalement aux revêtements type dalles alvéolées (pour 33%), puis aux revêtements liés.

Ceci souligne l'importance de vérifier la capacité de réparation avec le fournisseur au moment de la conception. Enfin, la plupart des revêtements perméables sont livrés avec une période de garantie durant laquelle le prestataire pourra être amené à intervenir (10 à 20 ans pour des dalles alvéolées par exemple).



Total : 80 avis d'experts

En cas de dommages, le revêtement est-il facilement réparable ?



POUR ALLER PLUS LOIN :

Existe-t-il des normes de résistances aux contraintes extérieures ?

La tenue dans le temps peut être évaluée au travers de différentes normes et mises en œuvre par les fournisseurs de revêtements perméables. Elles encadrent les protocoles à réaliser pour évaluer la résistance du matériau vis-à-vis de contraintes physiques et environnementales externes :

- Les **normes de résistance au gel** évaluent la perte en masse d'un matériau lorsqu'il est soumis à des cycles de gel/dégel (**NF EN 13581** ou **NF EN 1998**). Certains fournisseurs communiquent les valeurs obtenues au cours de ces tests. Des préconisations techniques sont recommandées selon l'intensité du gel et l'intensité du salage qui sera appliqué par la suite sur le revêtement. On préconisera ainsi un ajout d'adjuvant à des doses connues lors de la mise en œuvre du béton (cette dose augmente avec l'intensité du salage prévu et du gel).
- La norme **NF EN 206/CN** encadre les conseils de mise en œuvre du béton pour assurer sa résistance aux aléas climatiques. En général, bien que les bétons présentent une certaine porosité, l'eau s'écoule suffisamment rapidement pour éviter l'impact du gel de l'eau et le risque d'éclater la structure du béton.
- Les **normes de résistance à la compression** existent pour évaluer la résistance d'un matériau à la compression (DIN EN 1338 ; 2003-0 pour les blocs d'éléments modulaires, DIN 1072 ou DIN 14090 pour les allées pompiers).



POUR ALLER PLUS LOIN

Recueil de retours d'expériences proposé par le GRAIE : <http://www.graie.org/portail/animationregionale/techniques-alternatives/>

Associations avec le végétal

La nature perméable et poreuse du revêtement offre la possibilité aux végétaux de s'implanter, de manière spontanée ou volontaire. Suivant le contexte et l'objectif visé, il y a deux cas de figures : soit le revêtement perméable est destiné à être végétalisé et dans ce cas la présence de végétaux est recherchée ; soit la végétalisation n'est pas désirée et les végétaux qui s'implantent sont considérés comme des adventices. Dans les deux cas, la présence de végétation est à considérer dès la conception et des mesures de gestion doivent être mises en œuvre pour la favoriser ou la maîtriser.

Type de revêtement	Catégorie	Revêtements végétalisables ?	Concernés par la végétation spontanée non désirée ?
1	Non liés	✓	✗
2		✗	✓
3		✗	✓
4	Modulaires	✗ - ✓ (selon matériaux)	✓
5		✗ - ✓ (selon matériaux)	✓
6		✗	✗ (hormis apparition de mousses)
7	Liés	✗	✗ (hormis apparition de mousses)
8		✗	✗ (hormis apparition de mousses)
9		✗	✗ (hormis apparition de mousses)

CAS N°1

Les Revêtements destinés à être végétalisés

Quels sont les revêtements concernés ?

Près de 45% des revêtements observés sont conçus pour accueillir des plantations en surface, qu'elles soient semées, plantées ou spontanées.

- Les **revêtements organo-minéraux** sont par exemple intégralement conçus pour accueillir un couvert végétal (92% des sites observés). Les autres revêtements non liés peuvent occasionnellement être mis en œuvre avec du végétal. Il s'agira plus généralement de plantations d'arbres ou d'arbustes (les herbacées pouvant générer l'apparition d'adventices plus difficiles à gérer).
- Les revêtements **modulaires** : types **pavés drainants ou à joints poreux** (50% des sites observés) et **dalles alvéolées** (57%) sont également conçus pour pouvoir être végétalisés. Les dalles alvéolées peuvent être remplies de terre végétale ou terre de support pour être végétalisées.

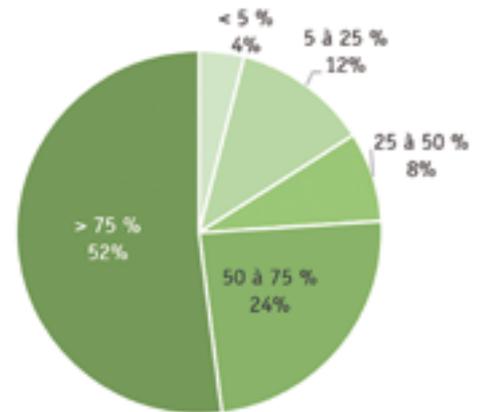
Quelle est la surface prévue pour la végétalisation ?

Pour plus de la moitié des sites observés, cette végétation occupe plus de 75% de la surface végétalisable du revêtement et montre l'uniformité du couvert végétal implanté. Les cas où la végétation ne dépasse pas 50% du revêtement sont généralement en lien avec des solutions de type pavés à joints élargis. Dans ces conditions les végétaux ne se développent pas forcément dans chaque interstice, mais le rendu global peut tout de même être considéré comme uniforme par les observateurs.

Qu'est-ce qui assure la tenue du couvert végétal ?

La tenue des végétaux dépend des paramètres agronomiques du substrat, des conditions climatiques et de l'ensoleillement. A cela s'ajoute la période de semis, les conditions de plantation et l'itinéraire technique d'entretien associé.

Dans le cas de couverts enherbés, le maintien d'un couvert peut être difficile en conditions estivales, particulièrement lors de restrictions d'arrosage. Il est important de rappeler que le jaunissement et la sécheresse indiquent avant tout la mise en place d'une phase de dormance pour la plante afin de résister au stress hydrique. Bien que les feuilles soient sèches, le collet peut rester vivant. Tant qu'il le restera, la plante pourra se régénérer dès qu'elle sera arrosée. Le couvert pourra donc se développer sans avoir à replanter ou ré-arroser.



Total : 25 sites observés

Quelle est la surface concernée par la végétation sur le site observé ?

CAS N°2

Végétation spontanée et non désirée : présence d'adventices

Quels sont les revêtements concernés ?

La colonisation par des adventices peut concerner la plupart des revêtements perméables. Les résultats de l'enquête montrent qu'elle affecte 48% des revêtements observés. Cela concerne environ 40% des revêtements de types **organo-minéral, organiques, pavés drainants** et **bétons de résine** et 70% des revêtements **non liés minéraux**.

Quelles sont les conséquences de la présence d'adventices ?

Sur les fonctions du revêtement : la présence d'adventices peut avoir des conséquences variables plus ou moins impactantes sur le fonctionnement d'un revêtement. Généralement la présence d'un couvert végétal non désiré impacte le rendu paysager de ce dernier (c'est d'ailleurs la principale raison mentionnée sur les sites observés). Peu ou pas géré, il peut donner à court terme un sentiment d'abandon de l'espace en question. Ce sentiment est particulièrement ressenti lorsque le couvert n'est pas uniforme⁸.

Hormis le rendu paysager, les adventices ont peu d'incidence sur les autres fonctions des revêtements observés. En général, c'est la conséquence d'un itinéraire technique non adapté à la croissance des espèces végétales (qu'elles soient désirées ou non).



Exemple d'enherbement sur revêtement sablé (©P&C – Maxime Guérin)



Total : 26 sites observés

Cette végétation impacte-t-elle le fonctionnement du revêtement ?

8 - Guérin, 2008, Les espaces sablés non désherbés en ville : Etat des lieux et impacts des pratiques, des caractéristiques du site et de l'environnement sur la flore spontanée et le recouvrement. Plante & Cité

Une surveillance des espèces en place doit être opérée sur les revêtements sensibles aux dégâts provoqués par la propagation des racines (comme les revêtements modulaires). Des tontes régulières suffisent généralement à limiter la croissance de ce type d'espèce végétale, et donc de limiter la propagation racinaire.

Les **revêtements non liés** sont quant à eux plus adaptés à la mise en œuvre des réseaux racinaires et sont donc peu enclins à être endommagés par les espèces végétales en présence.

Sur la perception des répondants : la présence d'adventices a davantage d'impact sur l'aspect visuel du revêtement. Bien que trois quart des répondants estiment que cette végétation soit tolérable, les autres soulignent une nuisance esthétique.

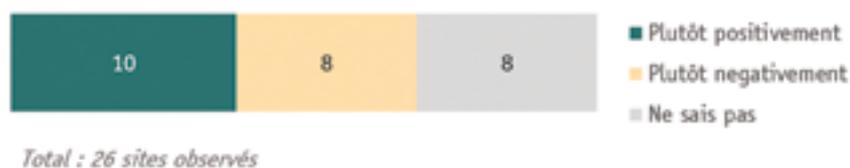


Comment considérez-vous cette végétation non prévue installée sur le revêtement ?

Sur la perception des usagers : les usagers semblent, quant à eux, plus critiques. Sur les sites observés, c'est près d'un tiers des usagers qui estimeraient plutôt négativement la présence d'adventices. Un autre tiers aurait en revanche un avis contrasté et estimerait la présence d'adventices plutôt positivement.

PERCEPTION DE LA FLORE SPONTANÉE

L'appréciation de la flore spontanée a été traitée dans le détail dans le programme d'étude Acceptaflore animée par Plante & Cité en 2012. Elle a montré que la perception de la végétation spontanée était complexe et dépendait de la perception propre de l'espace urbain, de la capacité à reconnaître certaines plantes ou l'affinité entretenue entre la personne et le végétal.



Comment ce couvert végétal est-il perçu par le public ?

A l'instar des espaces sablés, les avis négatifs concernent plutôt les revêtements qui ne sont pas supposés être végétalisables mais où la végétation peut facilement croître. C'est donc le cas pour les revêtements non liés minéraux et organiques pour lesquels il est attendu un effet visuel propre et dépourvu d'adventices.

Exemple de la diversité des espèces végétales en place

Une grande diversité d'espèces végétales peut coloniser les revêtements perméables, de manière volontaire ou non. Ci-dessous est présentée une sélection d'espèces observées sur les revêtements recensés dans le cadre de l'enquête. Sauf lorsque mentionné, les photographies sont utilisées sous la licence CC-BY-SA 2.0 FR et proviennent de la base de données de TelaBotanica.

Mélange type couvert enherbé



Lolium Perenne « Ray Grass »
(© Philippe Robert)



Festuca ovina
(© Dominique Remaud)



Sedum rupestre
(© Aroche)



Thymus serpyllum
(© Le Céladon)

Vivaces et annuelles (semées ou spontanées)



Achillea millefolium
(© Aroche)



Bellis perennis
(© Pierre Bonnet)



Saponaria officinalis
(© Pierre Bonnet)



Mélanges d'annuelles et de vivaces pavés à joints poreux (Crassulacées)
(© P&C - Sandrine Larramendy)

Arbustes



Buddleia davidii
(© Franck Jullin)



Ilex aquifolium - Houx
(© Hervé Goëau)

Adventices



Taraxacum sp - Pissenlits
(© Alain Bigot)



Convolvulus arvensis – Liseron des champs
(© Mathieu Menand)



Carduus crispus – Chardon crépu
(© Hervé Goëau)

POUR ALLER PLUS LOIN

LARRAMENDY S., HUET S., MICAND A., PROVENDIER D., 2014. Conception écologique d'un espace

public paysager – Guide méthodologique de conduite de projet, Plante & Cité, Angers, 94 p.

Laïlle P., Cheval H., 2019 : Optimisation de la tonte et de la fauche. Résultats de l'observatoire des

pratiques : Itinéraires techniques, Temps de travaux. Plante & Cité, Angers, 28p.

Menzio M.J., Marco A., Bertaudière-Montes V., Léonard S., Provendier D., Lanez G., Thommeret

S. Plante & Cité, 2012 : La perception de la végétation spontanée, Enquête rapport intégral de l'étude Acceptaflore.

Accessibilité aux Personnes à Mobilité Réduite (PMR)

Le choix de revêtements destinés à des usages multiples nécessite aussi la prise en compte de moyens d'accessibilité aux Personnes à Mobilité Réduite (PMR). Plusieurs solutions répondent à cette problématique et proposent des moyens de concilier l'infiltrabilité des revêtements et accès aux PMR.

Quel est le contexte actuel d'accessibilité des revêtements aux PMR ?

- **Ce que disent les normes/la réglementation**

Depuis la loi n°2005-102, la notion de PMR englobe les handicaps visuels, auditifs, cognitifs et mentaux, les handicaps liés à la compréhension de l'information, les handicaps de situation (manipulation des bagages encombrants ou d'une poussette) mais aussi les enfants et personnes âgées. La réglementation garantit l'accessibilité des espaces publics pour tous. En complément, des commissions exercent des missions d'avis sur l'accessibilité aux PMR. Au niveau des collectivités, les enjeux sont d'assurer que l'espace public soit le lieu de tous, d'éviter l'exclusion sociale et garantir le confort et la sécurité de tous.

Plus spécifiquement, on se référera à la réglementation de l'aménagement de la voirie (trottoirs, stationnement, mobilier). La circulaire n°2000-51 incite à un aménagement progressif des espaces publics et non à une obligation généralisée de sa mise en conformité. L'obligation s'applique aux travaux de réalisation de voies nouvelles, de modifications de structure et/ou de l'assiette de la voie, de travaux de réfection de trottoirs ou la création de places de stationnement. La Maîtrise d'Ouvrage doit respecter la réglementation en vigueur.

- **Les besoins des usagers**

Au-delà ces obligations, la pose de revêtements adaptés aux PMR est surtout une question de besoins des usagers. La difficulté réside dans la multiplicité des cas rencontrés à laquelle il faut apporter des réponses adaptées :

- **La planéité du revêtement.** Améliore le confort lié par exemple aux déplacements des roues des fauteuils ou l'utilisation de cannes blanches pour les déficients visuels (afin d'éviter qu'elles ne se bloquent dans les aspérités).
- **L'adhérence** par temps de pluie doit être suffisante pour garantir la stabilité de tous.

- **La couleur et la teinte des revêtements** vont permettre une meilleure lecture de l'aménagement par tout usager. Utiliser des teintes contrastées permet de souligner le passage d'une zone à une autre (exemple : voie cyclable à côté d'une voie piétonne). Contrôler l'utilisation de différentes teintes va permettre d'éviter toute confusion dans la lecture d'un espace aménagé. Enfin, la couleur d'un revêtement va jouer sur sa capacité à accumuler de la chaleur (via son albedo) mais aussi sur son caractère éblouissant.

Les observations ont montré que près de 45% des sites observés étaient accessibles aux PMR et avaient bénéficié de mesures d'adaptation. Ceci confirme les résultats des experts qui expriment qu'environ 50% des revêtements peuvent être accessibles ou rendus accessibles aux PMR.

Quelles sont les solutions pour répondre à ces critères avec un revêtement perméable ?

Les solutions d'accessibilité d'un revêtement sont très diverses :

- La rugosité consiste à donner une texture plus ou moins rugueuse pour l'adhérence. Un matériau trop rugueux gênera certains déplacements et un matériau trop peu rugueux sera glissant. Des finitions permettent de modifier cette rugosité (finitions bouchardées, sablées, grenillées, flammées). Les finitions sont à appliquer sur surfaces pierreuses (imperméables) et donc réservées à des revêtements où les joints sont perméables.
- Les jointures d'un revêtement modulaire peuvent générer des obstacles. Savoir adapter les joints aux déplacements de PMR va contribuer à la planéité du revêtement. Ils ne doivent être ni trop profonds (< 2mm), ni trop larges (<10mm, source CRR Bruxelles).
- Des dispositifs mal voyant existent pour assurer le cheminement au sein d'un aménagement (ex : guidage au sol, lattes de guidage).
- La conductivité thermique et le caractère effusif (effet brulant en cas de forte chaleur) jouent sur la perception de la chaleur à sa surface. Ceci peut être un risque pour les piétons équipés de semelles fines ou les coussinets de chiens d'aveugles.
- D'autres dispositifs existent pour faciliter le déplacement pour tous. Il s'agira par exemple de gérer la pente d'un revêtement, d'utiliser des coloris contrastés ou des calepinages personnalisés pour la localisation de zones de stationnement réservées aux PMR.

Type de revêtement	Caractère accessible du revêtement ?	Gestion de la rugosité	Gestion des jointures	Utilisation de bandes mal voyants	Adoucissement de la pente	Gestion du coloris des matériaux	Systèmes antidérapants
1	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗
2	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
3	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗
4	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓
6	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓
7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗
8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
9	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗

- ✓ Naturellement accessible malgré quelques points de vigilance
- ✓ Possible avec mesures spécifiques
- ✗ Difficilement accessible (hormis cas particuliers)

Tableau : synthèse du caractère accessible du revêtement

Comment tester le confort du revêtement ?

Des méthodes de mesure permettent d'appréhender le degré d'accessibilité du revêtement. Egalement, des outils de mesure (type Portable Friction Tester) permettent d'évaluer le degré de glissance du revêtement (mesure effectuée notamment en cas de revêtement mouillé).

Le CRR de Bruxelles utilise par exemple une chaise roulante équipée de capteur permettant de mesurer les pics d'accélération verticale causée par l'irrégularité du revêtement. La largeur et la profondeur du joint augmente l'inconfort (exemple : largeur au-delà de 10mm

et profondeur au-delà de 2mm).

Le manque d'adhérence peut générer de l'inconfort car il force l'utilisateur à ralentir et à prendre davantage de précautions. Il faut alors s'assurer que l'adhérence se maintienne dans le temps ; la nature du matériau peut donner des indications sur son niveau d'usure future (par exemple : dalles en granit plus résistantes que les dalles en matériaux calcaires).



Exemple de mesure de la planéité générée par le revêtement (source : CRR)



Outil de mesure de l'adhérence d'un revêtement (type pendule SRT via la norme XP CEN/TS 16165 : source : CRR)



POUR ALLER PLUS LOIN

Vade-mecum Piétons en Région de Bruxelles-Capitale, 2014, cahier de l'accessibilité piétonne : Directives pour l'aménagement de l'espace public accessible à tous

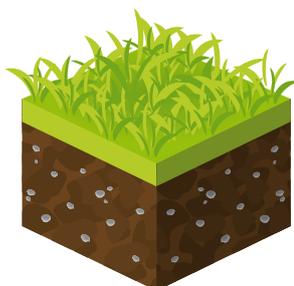
FICHES REVÊTEMENTS

Description technique des types de revêtements.

Les informations présentées ici intègrent la plupart des observations effectuées mais ne saurait en traiter de l'exhaustivité de l'ensemble des cas de figures rencontrés.



Mélanges organo-minéraux et couverts enherbés



1

USAGES					
ENTRETIEN					
CARACTÉRISTIQUES ET MISE EN ŒUVRE					

Associant une fraction minérale et une fraction organique, ces revêtements associent support de végétation et portance. Ils sont compatibles avec des aménagements ensauvagés et naturels et sont globalement écologiques et naturels.

Composition

Ce type de revêtement va inclure les différentes solutions d'associations organo-minérales destinées généralement à être végétalisées par la suite. On intègre dans ce type de revêtements :

- Les **graviers-gazons** et **sablés enherbés** : solutions de graviers ou espaces sablés végétalisés. Cela inclut les cas où l'engazonnement se fait tardivement sur un revêtement en gravier (voir Fiche : revêtements meubles minéraux), généralement pour des raisons de réduction des coûts de désherbage.
- Les **mélanges terre-pierres** sont un principe de plantation qui consiste à mélanger une fraction de pierres (60% à 20/40 ou 40/120) et une fraction de terre (40%) pour allier des fonctions de substrat pour plantations et support de voirie.
- Les substrats type **supports de culture** : correspondent aux supports respectant notamment la norme NF U 44-551. En l'occurrence, ce terme englobe les dénominations comme **terre de support** ou **terre végétale**. Il s'agit de supports de culture adaptés aux cultures et plantations urbaines.

La végétalisation peut être facilitée par un semis lors de la mise en œuvre ou spontanée au cours de la vie du revêtement.

Fonctions et usages

Fonctions : de nombreuses fonctions sont associées aux revêtements organo-minéraux végétalisés :

- Fort potentiel d'infiltration des eaux pluviales
- Support de déplacements de véhicules (en parking par exemple). L'avantage est qu'en période de faible affluence, un couvert végétal peut s'installer. La végétation va ainsi pouvoir tolérer des roulements et piétinements occasionnels
- Zones et allées destinées aux déplacements de piétons occasionnels tels que les allées de cimetières
- Support de végétation et esthétique paysagère. L'association organo-minérale du revêtement est idéale pour assurer le développement d'une grande diversité d'espèces végétales.
- Rafraîchissement de l'air et filtration des eaux pluviales.

Perméabilité : elle est assurée par la présence de fractions minérales grossières et sableuses dans la formulation des mélanges.

Mise en œuvre

Étapes : La mise en œuvre suit généralement les étapes 1 à 5 (Fiches : Mise en Œuvre).

Couches de fondation : constituées de graves de tailles variables ou directement d'un mélange terre-pierres ou de terre végétale. L'épaisseur varie entre 30 à 50 cm.

Le revêtement est ensuite posé (ou mélangé au préalable sur place dans le cas de mélange terre-pierres). Le revêtement est à nouveau compacté en surface. Un semis peut être ensuite nécessaire pour assurer la prise d'un couvert végétal rapidement.

Un couvert végétal spontané est possible mais nécessite des délais plus importants (2 à 5 ans) avant un rendu satisfaisant. L'avantage est que les espèces végétales sont plus résistantes car mieux adaptées au site. Dans le cas des graviers-gazons et des sablés enherbés, plusieurs facteurs édaphiques vont encadrer la réussite de la mise en œuvre du couvert : teneur en calcaire modérée, pH neutre à légèrement acide et zone peu piétinée.

Coûts de mise en œuvre : environ de 10 à 30 € TTC /m².

Entretien

Itinéraire : tonte, désherbage et semis occasionnel. La tonte est le poste le plus préconisé et sa fréquence se décide en fonction de l'intensité d'usage du revêtement, le climat et le rôle écologique voulu, ces dernières pouvant s'élever jusqu'à 12 interventions par an. Quelques travaux complémentaires peuvent être nécessaires selon les besoins (arrosage, fauchage, balayage).

Désherbage	Semis	Balayage/ nettoyage	Garnissage/ rebouchage	Tonte	Ratissage/ hersage	Pression/ aspiration
✓ 38 %	✓ 50 %	✗	✗	✓ 56 %	✗	✗
🕒 1 à plusieurs fois par an	2-3 personnes + coûts matériel (Cf. fiche Compamed)			2 à 12 fois par an (selon rendu désiré)		
€ 2-3 personnes + coûts matériel (Cf. fiche Compamed)	1,5 - 3 €/m ² (prestation) 2 à 5 €/100 m ² (sacs de mélanges de graines)			0,2 €/m ² (prestation) 1,5€/100m ² régie : prix main d'œuvre + intrants (Cf. fiches Tonte et Fauche)		

Itinéraire technique et coûts d'entretien du revêtement, la valeur en pourcentage indique la proportion de sites observés intégrant l'opération concernée

Tenue dans le temps : peu de retours négatifs de la part des usagers et des maîtres d'ouvrage. La gestion du végétal est la priorité pour ce type de revêtement. La présence d'adventices est rarement perçue comme négative et peut améliorer l'attrait paysager. On vérifiera l'apparition d'ornières en cas de déplacements de véhicules.

Lien avec le végétal : ces revêtements sont destinés à être végétalisés. La nature des espèces végétales va varier selon les critères de rendu et de résistance (roulement, piétinement, sécheresse). Généralement, le couvert est constitué de graminées (fétuques, ray-grass), de diverses espèces vivaces (achillées millefeuilles, marguerites communes) ou de sédums. On notera dans plusieurs cas la présence d'espèces végétales ou adventices non prévues lors du semis initial.



Exemple de mélange terre-pierres pour un usage de zone de stationnement (©P&C – Andréa Loreau)



Exemple de sable engazonné, Brest (©P&C – Maxime Guerin)

Retour des usagers

Parmi les revêtements étudiés, les mélanges organo-minéraux recueillent des avis très positifs de la part des maîtres d'ouvrages ainsi que des usagers. Les mélanges organo-minéraux végétalisés sont peu susceptibles au colmatage mais il faut cependant être vigilant vis-à-vis du tassement et du compactage pouvant occasionner une perte de perméabilité.

Pour les **mélanges terre-pierre**, le ratio de terre et de pierre peut varier, mais il conviendra de vérifier que le mélange répond toujours aux critères d'usages du revêtement. Un mélange trop riche en pierre peut nuire à l'implantation d'un couvert végétal dans le temps.

Enfin, la composition du revêtement doit être suffisamment drainante pour garantir l'infiltration des eaux pluviales mais doit également assurer un rôle de stockage temporaire pour l'alimentation en eau des plantes. La texture doit donc être vérifiée pour trouver un bon compromis entre drainage et rétention de l'eau.



FOCUS Ne pas oublier le sol vivant

Le sol est un milieu naturel offrant de nombreux services d'infiltration des eaux pluviales, de support de végétation et d'habitat de biodiversité. Mettre en valeur le sol naturel en place permet d'offrir des bénéfices comparables – voire supérieurs – à ceux des revêtements perméables présentés dans cette étude. Les sols évoluent en interaction avec les végétaux qui grandissent dessus et de ce fait, sont particulièrement adaptés à la végétation locale. La synergie avec la biodiversité du sol permet d'assurer une aération et une structuration des sols, garantissant ensuite une meilleure perméabilité.



Mise en œuvre d'un parking perméable en mélange terre-pierre (© Sylvie Pigot – Ecce Terra)

POUR EN SAVOIR PLUS

Laïlle P., Cheval H. 2019
Optimisation de la tonte et de la fauche.
Résultats de l'observatoire des pratiques : Itinéraires techniques, temps de travaux.

Les mélanges terre-pierre, fiches de synthèse (2015) Plante & Cité

Revêtements meubles organiques



2

USAGES				
ENTRETIEN				
CARACTÉRISTIQUES ET MISE EN ŒUVRE				

Ces revêtements meubles sont constitués d'éléments grossiers d'origine organique.

Composition

Ces revêtements meubles/fluents sont constitués de fragments organiques généralement grossiers. On y retrouve donc des revêtements d'origines diverses :

- Copeaux, fragments et plaquettes de bois (écorcés ou non)
- Ecorces de bois (type pin, coco)
- Matériaux divers type noyaux, coquilles, coques (noisettes, sarrasin, amandes)

Certaines solutions peuvent être colorées pour ajouter un effet esthétique personnalisé. Pour des usages type couvert de sols, on va également parler de paillage, mulch ou BRF (bois raméal fragmenté).

Mise en œuvre

Étapes : La mise en place de ce type de revêtement passe tout d'abord par la préparation du site venant accueillir le dispositif. Un géotextile peut parfois être mis en place pour éviter d'éventuelles contaminations du sous-sol et pour éviter le mélange du sol en place avec les fragments de bois. Les fragments de bois sont ensuite épandus et nivelés. Pour finir, une coloration peut être mise en œuvre avec certaines solutions commerciales.

Au niveau de l'ouvrage, pour les aires de jeux ou les cheminements piétonniers, il est généralement recommandé de prévoir des bordures (pavés, maçonneries, lisses en bois) suffisamment surélevées pour éviter la dispersion du matériel.

Couches de fondation : Contrairement à la plupart des autres revêtements, ceux-ci ne nécessitent pas forcément la mise en place d'un fond de forme (ou alors sur une très faible épaisseur). Le sol en place est désherbé, aéré voire décaissé sur une certaine épaisseur dans certains cas.

Fonctions et usages

Fonctions : généralement utilisés pour des aménagements paysagers végétalisés, des chemins piétonniers, et/ou des aires de jeu. Pour les aires de jeux, on préférera les écorces qui sont plus agréables au toucher et qui présentent moins d'échardes que les copeaux de bois. Pour les voies d'accès piéton, on utilisera en revanche plutôt les copeaux de bois.

Perméabilité : les vides présents entre les éléments organiques vont générer des écoulements préférentiels pour les eaux pluviales. La perméabilité est donc importante au niveau du revêtement puis va dépendre du fond de forme qui sera variable.

L'utilisation de ce revêtement au niveau des aires de jeux doit se soumettre à la norme **NF EN 1177** (norme sécurité aire de jeu). La norme encadre notamment l'épaisseur du revêtement nécessaire pour amortir les chutes inférieures à 3m. En l'occurrence pour cette hauteur, l'épaisseur minimum doit être de 30cm.

Coûts de mise en œuvre : entre 5 et 10 euros TTC/m². Ces revêtements sont parmi les moins coûteux à la mise en œuvre. Une couche de fondation n'étant quasiment pas nécessaire, les travaux ne prennent en compte que le travail préparatoire du terrain, la pose du géotextile et l'apport de matériau. Les matériaux sont très peu coûteux à l'achat et il est possible de réutiliser des broyats et des résidus d'élagage en guise de revêtement.

Entretien

Itinéraire : ces revêtements nécessitent un regarnissage et un désherbage réguliers. S'ajoute à ces opérations un grattage pour égaliser la surface du revêtement. La fréquence de l'entretien est dépendante du type et de l'intensité d'usage. Par exemple, pour des aires de jeux ou des cheminements de piétons très sollicités, la demande en apport de matériau sera plus importante. Egalement, le degré d'acceptation des adventices et leur colonisation influenceront sur la fréquence de désherbage à mettre en œuvre.

Désherbage	Semis	Balayage/ nettoyage	Garnissage/ rebouchage	Tonte	Ratissage/ hersage	Pression/ aspiration
✓ 88 %*	✗	✗	✓ 50 %	✗	✓ 56 %	✗
🕒 En régie : une à deux fois par an selon exigence			1 fois par an à 1 fois tous les 3 ans (selon usure, dispersion et apparition d'ornières)		1 fois par an (peut assurer aussi un désherbage)	
€ En régie : 2 à 3 personnes + coût matériel et intrants (Cf. fiches compamed)			Matériau : 30 - 45 euros /m ² + main d'œuvre		En régie : équipements à prévoir + main d'œuvre	

Itinéraire technique et coûts d'entretien du revêtement, la valeur en pourcentage indique la proportion de sites observés intégrant l'opération concernée.

Tenue dans le temps : les matériaux constitutifs de ces revêtements se dégradent naturellement dans le temps, c'est pourquoi il est impératif de prévoir un regarnissage régulier (tous les 2 à 3 ans).

Lien avec le végétal : ces revêtements sont concernés par l'apparition d'adventices (liseron, Astéracées ou Poacées diverses).



Aire de jeu avec revêtement en copeaux de bois
(© P&C - Robin Dagois)



Revêtement organique en copeaux de bois pour utilisation
en espace de jeux (© P&C - Robin Dagois)

Retours usagers

Ce revêtement est apprécié pour son rendu esthétique et sa facilité de mise en œuvre. Puisqu'il ne nécessite quasiment pas de couche de fondation (ou alors sur une faible épaisseur), sa mise en œuvre est simple et peu coûteuse.

Il faudra cependant être vigilant à prévoir un entretien adéquat au cours de la vie du revêtement. Il s'agit du revêtement nécessitant davantage d'entretien que les autres en terme de fréquence d'intervention.

Des diminutions de perméabilité localisées peuvent être liées à la dégradation progressive et naturelle du matériau. Ce dernier peut être plus facilement remplaçable dans le temps et permet un regain de perméabilité.

FOCUS

Revêtement vs mulch et paillis – où est la limite ?

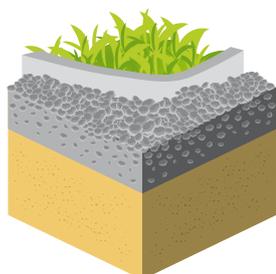
La distinction entre un revêtement perméable et un paillis ou un mulch est difficile à établir. Le souhait a été fait d'intégrer les revêtements meubles de type écorces et copeaux de bois car ils représentent de réelles alternatives aux revêtements imperméables pouvant être rencontrés dans certains espaces (aires de jeux, cheminements piétons, etc), or, les références ont rapidement conduit aux solutions de type paillis et mulch. Sur le plan écologique et paysager, ces deux termes peuvent s'apparenter dans le sens où il s'agit de solutions rendant des bénéfices dont l'infiltration des eaux pluviales.

Les résultats présentés ici se focalisent principalement sur les revêtements « praticables » à usage de voirie, de cheminement ou d'aires de jeux. Pour des informations complémentaires sur le paillage ou le mulching, il conviendra de se référer aux documentations techniques concernées.



Exemple de paillis mis en œuvre pour plantations
(© P&C – Robin Dagois)

Revêtements meubles minéraux



3

USAGES				
ENTRETIEN				
CARACTÉRISTIQUES ET MISE EN ŒUVRE				

Ces revêtements sont constitués principalement d'éléments minéraux meubles ce qui les rend plus résistants aux phénomènes de tassement.

Composition

La nature, la taille et l'homogénéité des granulats est variable. Une granulométrie homogène permet un rendu esthétique particulier. Il existe également des matériaux plus hétérogènes, présentant à la fois une fraction grossière et une fraction fine qui vont se lier dans le temps pour un gain de résistance :

- **Gorh** : granite concassé (granulométrie 0/30) de couleur rouille appréciée pour son aspect paysager.
- **Mélanges argilo-calcaires** : roches calcaires concassées utilisées pour les cheminements forestiers, parcs naturels ou voies cyclables secondaires. La présence de matériaux fins dans le mélange permet de jouer le rôle de liant.
- **Granulats de carrière** de nature et de granularité variables. Leur forte hétérogénéité en fait un matériau intéressant à mettre en œuvre dans les chemins forestiers ou de parcs naturels.
- **Gravier – gravillons** triés, lavés et roulés. Ils sont utilisables en jardins historiques ou espaces publics du fait de leur plus-value paysagère. L'absence de fines permet d'éviter le colmatage au fil du temps et assure une perméabilité durable. Ces revêtements sont peu carrossables.
- **Graviers concassés** de diverses granulométries (exemple : 6/10). La présence de fines va peu à peu colmater le revêtement ce qui le rend moins perméable dans le temps. Ces matériaux peuvent être utilisés en aménagements urbains type places publiques ou chemins piétonniers.

Fonctions et usages

Fonctions : utilisés pour des besoins d'esthétique paysagère (rendus et de coloris différents), cheminements piétonniers (parcs, jardins, chemins forestiers) et accompagnements de plantations ou d'allées. En complément, ce revêtement peut être utilisé pour des zones d'activités ou de jeux et en voies cyclables.

Enfin, dans des configurations de graviers plus grossiers, on peut utiliser ces matériaux en support pour des déplacements de véhicules plutôt occasionnels ou en zones de stationnement. L'utilisation de dalles alvéolées (voir Fiche : Dalles alvéolées) est préconisée dans ce contexte pour éviter l'ornièrage.

Perméabilité : ces revêtements sont naturellement très perméables car ils présentent une porosité et une connexion entre les pores très importantes. Selon la solution choisie, la présence de fines peut diminuer cette perméabilité (le revêtement conserve toutefois cette propriété) au profit d'une plus grande portance.



Exemple de revêtement minéral perméable pour voie cyclable
(© P&C - Robin Dagois)

Mise en œuvre

Étapes : selon l'usage et le contexte, la mise en œuvre sera plus ou moins complexe mais suit les étapes 1 à 6 décrites dans la Fiche : Mise en Œuvre. Après décaissement, la mise en place d'un géotextile est nécessaire pour limiter le brassage entre le fond de forme et le revêtement et limiter la colonisation par des adventices. On pourra compléter par un lit de pose sur quelques centimètres pour une allée piétonne ou un mélange plus grossier pour une allée carrossable, puis du sable. Pour les allées carrossables, la portance peut être améliorée par la mise en place de dalles alvéolées (en nids d'abeilles) – voir Fiche : Dalles alvéolées.

Couches de fondation : ces revêtements nécessitent généralement une couche de fondation en GNT d'épaisseur variable selon la fonction recherchée, par exemple 10 cm pour une allée piétonne et 30 cm pour une voie carrossable.

Coûts de mise en œuvre : de 10 à 40 euros TTC/m². La finition et la qualité des matériaux va jouer sur les coûts de mise en œuvre. A cela s'ajoutent les étapes de mise en œuvre spécifiées ci-dessus.

Entretien

Itinéraire : désherbage manuel ou avec outillage adapté. Un ratissage régulier est ensuite préconisé pour égaliser la surface du revêtement. Enfin, un garnissage occasionnel est également à prévoir pour compléter les pertes éventuellement en matériaux et évite l'accumulation de débris de végétaux ou de feuilles mortes.

Désherbage	Semis	Balayage/nettoyage	Garnissage/rebouchage	Tonte	Ratissage/hersage	Pression/aspiration
✓ 71 %	✗	✗	✓ 50 %	✗	✓ 33 %	✗
🕒 En régie : une à deux fois par an selon exigence			2 à 12 fois par an (selon rendu désiré)		1 fois par an (peut assurer aussi un désherbage)	
€ En régie : 2 à 3 personnes + coût matériel et intrants (Cf. fiches compamed)			Matériau : 5 - 15 euros /m ² + main d'œuvre		En régie : équipements à prévoir + main d'œuvre	

Itinéraire technique et coûts d'entretien du revêtement, la valeur en pourcentage indique la proportion de sites observés intégrant l'opération concernée.

Tenue dans le temps : des passages trop fréquents de piétons ou de véhicules peuvent endommager la surface du revêtement. La conception et le choix des matériaux à la conception doit impérativement prendre en compte cette dimension. De plus, les matériaux type argilo-calcaires sont moins résistants aux aléas climatiques comme les cycles gel/dégel ou l'humidité que les matériaux plus siliceux.

Lien avec le végétal : ces revêtements sont concernés par l'apparition d'adventices (liseron, Astéracées ou Poacées diverses). Un itinéraire technique combinant désherbage et grattage réguliers permet de limiter leur prolifération.



Association de dalles PVC alvéolées avec un remplissage gravier
(© Wendy Arnould, Pole Dream)



Exemple de parking perméable en graviers
(© Sylvie Pigot – Ecce Terra)

Retour usagers

Un usage très intensif peut réduire drastiquement la perméabilité de ce type de revêtement. C'est le cas dans les parcs et jardins emblématiques de grandes collectivités. Le piétinement intensif et les difficultés d'infiltration liées au colmatage peuvent entraîner l'apparition d'ornières et d'eau stagnante. Un ratissage fréquent permet de réorganiser les particules minérales entre elles et améliorer la perméabilité. Le procédé va cependant dépendre de la constitution de la sous-couche et ne pourra pas toujours être réalisé, surtout si des sous-couches en stabilisés sont présentes. Le ratissage risque dans ce cas, de détruire le procédé de stabilisation.

La composition minérale des éléments du revêtement aura aussi son importance pour sa tenue dans le temps. En effet, des retours ont montré que les revêtements constitués de sable anguleux siliceux tiendront mieux les contraintes que les sables constitués de matériaux calcaires et/ou ronds.

FOCUS

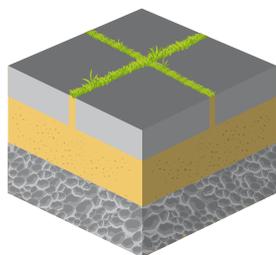
Les stabilisés

Le terme « stabilisé » ou « sablé stabilisé » englobe les revêtements rendus rigides en surface par l'application d'une méthode pour lier les éléments entre eux. Les revêtements gagnent alors en résistance et perdent en pulvérulence. C'est une solution privilégiée pour les espaces piétons fortement sollicités. Le mode de stabilisation peut se faire soit mécaniquement (par compactage) soit en utilisant un liant végétal ou minéral (type ciment).

Ces matériaux sont peu perméables, et cette perméabilité diminue au cours de leur existence. Généralement, ces matériaux sont employés dans les zones à forte affluence (exemple : jardins et parcs emblématiques). On privilégiera également des matériaux constitués de sables (quartz) car plus résistants. On préférera aussi les éléments anguleux car autobloquants et offrant une meilleure résistance.

La mise en œuvre est sensiblement identique à celles des matériaux meubles : fond de forme, recouvert par une couche de stabilisé puis de sable en surface. Un griffage en surface peut ensuite être préconisé pour égaliser le revêtement et rénover le stabilisé. On évitera cependant un entretien excessif pour ne pas déstructurer le liant du revêtement.

Pavés drainants ou à joints poreux



4

USAGES				
ENTRETIEN				
CARACTÉRISTIQUES ET MISE EN ŒUVRE				

Ces revêtements sont constitués de pavés assemblés présentant des joints perméables ou de pavés eux-mêmes perméables.

Composition

Les pavés à joints poreux regroupent différentes solutions d'association entre différents types de pavés et différents types de joints. La constitution de ces matériaux est principalement en béton ou en pierre, ce qui leur permet d'assurer une bonne résistance au roulement et aux contraintes climatiques. On distingue ainsi :

- Les pavés drainants (poreux) où l'élément lui-même laisse passer l'eau au travers de sa porosité.
- Les pavés à joints élargis permettant de maintenir un espacement entre les éléments pour assurer le drainage des eaux pluviales. Le joint peut alors être rempli de gravier, de sable ou d'un mélange

organo-minéral pour assurer la croissance de végétaux. Ce joint doit toutefois être perméable. L'écartement est de 5 à 30 mm et permet de perméabiliser près de 10% de la surface de l'ouvrage.

- Les pavés à ouverture de drainage permettent, grâce à leur forme (généralement différentes de celles des pavés drainants ou munis d'écarteurs), de laisser passer l'eau par ces ouvertures.

Ils existent sous différentes formes et coloris permettant d'être valorisés pour un aspect paysager et esthétique. Il existe, à la marge, des solutions de pavés constitués de matériaux alternatifs comme des coquillages broyés.

Fonctions et usages

Fonctions : ces revêtements peuvent être utilisés pour des voies carrossables à faible affluence, des zones de stationnement et des voies piétonnes (type trottoir). La possibilité de végétaliser certaines solutions apporte une plus-value paysagère.

Perméabilité : ces revêtements offrent des perméabilités permettant d'abattre significativement la plupart des événements pluvieux. Leur coefficient varie d'environ 10^{-3} à 10^{-5} mm/s.

Mise en œuvre

Étapes : n°1 à n°9 (voir Fiche : Mise en Œuvre). La pose de pavés peut être manuelle ou mécanisée. Lors d'une pose mécanisée, il faudra au préalable pré-compacter le lit de pose pour éviter l'orniérage par le déplacement d'engins de chantiers. La pose doit

s'effectuer du point le plus bas vers le point le plus haut. L'orientation des pavés doit être perpendiculaire au sens de circulation du trafic afin de limiter les efforts générés par la circulation des véhicules.

Les joints sont remplis à l'aide d'un matériau dépourvu d'éléments fins pour prévenir le colmatage (type 2/4). L'excédent est damé par balayage du centre jusqu'aux bordures du revêtement. L'opération est répétée plusieurs fois pour s'assurer du remplissage des joints.

Les joints entre les pavés peuvent être marqués au préalable par des écarteurs pour assurer la régularité de l'épaisseur du joint. Certaines solutions de pavés munis d'écarteurs existent et permettent une mise en œuvre assurant la présence de joints réguliers.

Couches de fondation : celle-ci est généralement constituée de GNT (type 20/40) et d'épaisseur de 20 à 50cm. Le lit de pose est constitué de GNT de plus faible largeur (exemple : 2/4).

Coûts de mise en œuvre : ces revêtements ont des coûts de mise en œuvre parmi les plus variables. Les pavés perméables varient de 20 à 50 € TTC/m² et les pavés à joints élargis varient de 60 à 150 € TTC/m².

Entretien

Itinéraire : un balayage régulier (évacuation des feuilles mortes et autres débris) et ainsi qu'un nettoyage régulier au jet d'eau. On évitera d'utiliser un nettoyeur à eau haute pression qui risquerait d'endommager le joint perméable. Si les joints sont végétalisés, un arrosage et un semis pourront être prévus.

Désherbage	Semis	Balayage/ nettoyage	Garnissage/ rebouchage	Tonte	Ratissage/ hersage	Pression/aspiration
✓ 70 %	✗	✓ 45 %	✓ 48 %	✓ 23 %	✗	✓ 13 %
🕒 En régie : 2 à 4 fois par an selon exigence		Au besoin : 1 à plusieurs fois par an selon encrassement	1 fois par an à 1 fois tous les 3 ans (selon usure, dispersion et apparition d'ornières)	2 à 12 fois par an (selon rendu désiré)		À réaliser dès que nécessaire sur pavés drainants (si colmatage trop important), environ tous les 10 ans
€ En régie : 2 à 3 personnes + coût matériel et intrants (Cf. fiches compamed)		En régie : coûts de main d'œuvre + matériel et maintenance engins	Matériau : 30 - 45 euros /m ² + main d'œuvre	0,2 €/m ² (prestation) - 1,5€/100m ² régie : prix main d'œuvre + intrants		Opération totale (décolmatage + eau utilisée + gestion des déchets récupérés) : environ 1,5 - 1,8 euros / m ²

Itinéraire technique et coûts d'entretien du revêtement, la valeur en pourcentage indique la proportion de sites observés intégrant l'opération concernée.

Note sur la problématique des efflorescences : lorsque le calcaire contenu dans le ciment n'a pas durci dans le pavé, il peut s'accumuler en surface sous l'effet des conditions météorologiques pluvieuses. Dans le cas des pavés perméables, un brossage permet d'en éliminer une partie, aucun entretien complémentaire n'est prévu car l'efflorescence disparaît au cours du temps.



Exemple de **pavés à joints élargis** (©Adopta - Maëlle Ancelle)

Tenue dans le temps : si les conditions de pose et les usages réservés à ces revêtements ne sont pas respectés, des dégradations peuvent se produire. Les pneus des voitures peuvent par exemple dissocier les pavés. Ces solutions sont en revanche très facilement remplaçables.

Association avec le végétal : certaines solutions peuvent présenter des joints végétalisables. Généralement elles sont ensemencées à l'aide de graminées choisies pour leur rendu et leur facilité de gestion.

Les végétaux sélectionnés doivent bien se propager et présenter un rendu dense. Leurs racines doivent être fines pour ne pas endommager la structure. Les végétaux doivent être adaptés aux conditions climatiques du site et au faible volume de substrat disponible.

Parmi les exemples de plantes adaptées aux pavés à joints élargis peuvent être citées *Thymus serpyllum* (thym serpolet) et *Thymus pseudolanuginosus* (thym rampant) résistant très bien aux substrats secs et peu riches. Différents sédums sont également adaptés, comme *Sedum acre* (orpin âcre). On peut aussi citer d'autres espèces tapissantes comme *Sagina subulata* (sagine subulée), *Ophiopogon japonicus* (muguet du japon) ou *Mentha requienii* (menthe corse) adaptées aux allées de jardin.

Certaines espèces sont plutôt adaptées aux zones d'ombre comme *Soleirolia soleirolia* (hexine) ou *Isotoma fluviatilis* (isotome des marais). En conditions plus humides, l'utilisation de bryophytes (mousses) peut être envisagée.

La qualité du substrat de remplissage doit être vérifiée car une terre mal adaptée peut devenir trop compacte et empêcher a posteriori un semis et la croissance correcte de végétaux (par exemple si elle est trop argileuse). Dans ces cas, il est difficile de décompacter la terre dans chaque alvéole.

Retour usager

Les avis sur ces revêtements sont globalement positifs car ces solutions offrent des perméabilités élevées pour des rendus et des services intéressants en milieu urbain. Bien que ces solutions soient plus onéreuses que les autres revêtements perméables, des économies sont par la suite obtenues sur les coûts de gestion des réseaux d'assainissement. Ces revêtements offrent également de nombreuses solutions (carrossables) et sont accessibles aux PMR.

POUR EN SAVOIR PLUS

CIMbéton /SNBPE /FIB, 2018, T 69,
LUTTER CONTRE L'IMPERMEABILISATION
DES SURFACES URBAINES Les revêtements
drainants en béton.



Exemple de **pavés à ouverture de drainage** - Villeurbanne,
Parc Édouard Glissant (© VAL'HOR)



Exemple de **pavés à joints engazonnés** - Nantes
(©P&C – Sandrine Larramendy)

Dalles alvéolées



5

USAGES				
ENTRETIEN				
CARACTÉRISTIQUES ET MISE EN ŒUVRE				

Ces revêtements sont constitués de dalles alvéolées en bétons ou en PVC et présentant des ouvertures remplies d'un matériau perméable (terre végétale, sable ou gravier).

Composition

Les dalles alvéolées présentent une grande diversité de solutions avec des compositions et des structures différentes :

- **Dalles bétons** : le dallage est constitué d'éléments en bétons associés entre eux.
- **Dalles polypropylène** ou **polyéthylène haute densité** : certaines dalles pouvant même être conçues à partir de déchets plastique recyclés.

Dans les deux cas, les alvéoles sont prévues pour être remplies de graviers, sables, terre végétale engazonnée (**dalles gazons**) ou même d'autres éléments en béton pour un calepinage personnalisé (**dalles pavées**).

- **Dalles alvéolées moulées** : les dalles bétons sont coulées sur place dans un moule alvéolé. Après séchage, les alvéoles sont remplies de terre végétale puis végétalisées.

Mise en œuvre

Étapes : n°1 à n°9 (voir Fiche : Mise en Œuvre).

Les dalles sont posées, clipsées entre elles ou coulées sur place. Elles peuvent être soudées à un géotextile pour éviter que le lit de pose ne migre en surface. Les dalles sont alors remplies du matériau sélectionné (terre végétale, gravier). Une granulométrie plus forte va permettre une meilleure résistance à la compression (exemple : 8/16 pour application avec véhicules et 4/8 pour utilisation en piétonnier).

Fonctions et usages

Fonctions : utilisés pour des besoins d'esthétique paysagère (rendus et de coloris différents), cheminements piétonniers (parcs, jardins, chemins forestiers) et accompagnements de plantations ou d'allées. En complément, ce revêtement peut être utilisé pour des zones d'activités ou de jeux et en voies cyclables.

Enfin, dans des configurations de graviers plus grossiers, on peut utiliser ces matériaux en support pour des déplacements de véhicules plutôt occasionnels ou en zones de stationnement. L'utilisation de dalles alvéolées (voir Fiche : Revêtements meubles minéraux) est préconisée dans ce contexte pour éviter l'ornièrage.

Perméabilité : elle est assurée par la matrice remplissant les alvéoles. Les perméabilités indiquées dans les solutions concernées par ces types de revêtements sont extrêmement élevées et varient de 3.10^{-2} m/s à 3.10^{-3} m/s).

Des règles de calepinage sont proposées par certaines enseignes pour assurer une meilleure stabilité dans le temps. Un vibrage en surface permet de mieux répartir le matériau meuble dans les ouvertures des dalles. En cas d'engazonnement, un semis est effectué après la mise en œuvre, ce qui peut nécessiter 2 à 6 mois de temps de pousse. Des configurations pré-engazonnées existent pour un aspect végétalisé immédiat.

Pour les **dalles alvéolées moulées**, les finitions incluent des opérations de suppression des moules à l'aide d'un chalumeau ou par désopercutage. Le revêtement peut être mis en service avant remplissage, notamment si les conditions météorologiques ne sont pas favorables à la germination des espèces végétales.

La nature du matériau de remplissage des alvéoles doit être contrôlée. Dans le cas de terre végétale, il faut contrôler la texture ainsi que la teneur en matière organique (qui doivent répondre à la norme NF 44-551). Une texture trop argileuse peut entraîner un colmatage et rendre le substrat impraticable pour les plantations.

Couches de fondation : constituée de GNT (type 30/60 à 0/100) ou d'un mélange terre-pierre sur une épaisseur de 20 à 50cm (pour assurer un support de déplacements de véhicules et le rôle de réservoir).

Le lit de pose/lit de réglage d'environ 3 ± 1 cm (GNT ou mélange terre cuite/compost) complète cette fondation et est recouvert d'un géotextile. Une natte d'irrigation peut venir soutenir cette couche pour mieux répartir les eaux pluviales infiltrées.

Coûts de mise en œuvre : ces revêtements varient de 50 €TTC/m² (pour les solutions de stabilisation de graviers) à 150 €TTC/m².

Entretien

Itinéraire : un balayage régulier (évacuation des feuilles mortes et autres débris) et ainsi qu'un nettoyage régulier au jet d'eau. On évitera d'utiliser un nettoyeur à eau haute pression qui risquerait d'endommager le joint perméable. Si les joints sont végétalisés, un arrosage et un semis pourront être prévus.

Désherbage	Semis	Balayage/ nettoyage	Garnissage/ rebouchage	Tonte	Ratissage/ hersage	Pression/ aspiration
✓ 45 %	✓ 10 %	✗	✓ 35 %	✓ 80 %	✗	✗
🕒 En régie : 2 à 4 fois par an selon exigence	Au besoin : 1 à plusieurs fois par an selon encrassement		1 fois par an à 1 fois tous les 3 ans si joints sableux et sensibles à l'érosion	2 à 12 fois par an (selon rendu désiré)		
€ En régie : 2 à 3 personnes + coût matériel et intrants (Cf. fiches compamed)	En régie : coûts de main d'œuvre + matériel et maintenance engins		Matériau : 1-2 €/kg (graves) 15-40 €/m ³ (terre vé- gétale) + main d'œuvre pour garnissage des joints	0,2 €/m ² (prestation) - 1,5€/100m ² régie : prix main d'œuvre + intrants		

Itinéraire technique et coûts d'entretien du revêtement, la valeur en pourcentage indique la proportion de sites observés intégrant l'opération concernée.

Cas des dalles graviers dissimulées : ensuite, les points à vérifier concernent le niveau de remplissage des alvéoles avec le matériau meuble (graviers, terre végétale, etc). Dans le cas de dalles gravier, cette dernière doit être à tout moment recouverte par le gravier sur une épaisseur de quelques centimètres. Un ratissage régulier (une à plusieurs fois par an) et un garnissage (tous les 2-3 ans) doivent donc être prévus pour assurer la présence constante de cette surépaisseur.

Cas des dalles graviers ou gazon : tout comme les dalles dissimulées sous une fine couche de gravier, il convient

ici de vérifier le remplissage des ouvertures des alvéoles. La dispersion du matériau est normalement peu importante en raison de la présence d'un couvert végétalisé dont il convient de surveiller l'évolution. Bien que celui-ci n'ait pas à être arrosé sur toute l'année, et qu'il puisse supporter une période de sécheresse, un semis complémentaire peut être conseillé si la mortalité est trop importante et que les plants ne reprennent pas au retour des pluies. Une densité de semi-type est par exemple de 5kg pour 100 m² pour de la féтуque à rhizomes.



Certains revêtements alvéolés peuvent être aussi des solutions directement coulées sur place (© Viasols)



Exemple de dalles PVC avec remplissage gravillonné (© Wendy Arnould, Pole Dream)

Une à plusieurs tontes par an sont généralement nécessaires. L'utilisation de dalles alvéolées en parking peut permettre de réduire cette fréquence car la présence de véhicules tend à ralentir la croissance des plantes (roulement des pneus, ombre portée par le châssis).

Le remplacement des dalles doit être discuté avec l'entreprise en charge de la pose. Généralement, les dalles sont clipsées les unes aux autres et de nombreuses enseignes proposent des systèmes où le remplacement d'une dalle endommagée est possible sans avoir à démonter toute la structure.

Tenue dans le temps : les bénéfices liés aux matériaux meubles présents dans les alvéoles sont plus durablement préservés car la structure solide évite tout phénomène de fluence. Des règles de mise en œuvre, d'entretien et de qualité des matériaux (comme la terre de remplissage) sont à contrôler auprès du fournisseur et du poseur. Le calepinage, la hauteur des dalles par rapport aux bordures et le sens de pose sont des éléments clés qui joueront dans la durée de vie du revêtement.

Association avec le végétal : parmi les exemples de plantes adaptés aux dalles alvéolées peuvent être cités *Thymus serpyllum* (thym serpolet) et *Thymus pseudo-lanuginosus* (thym rampant) qui résistent très bien aux substrats secs et peu riches. Différents sédums sont également adaptés, comme *Sedum acre* (orpin âcre).

Retour usagers

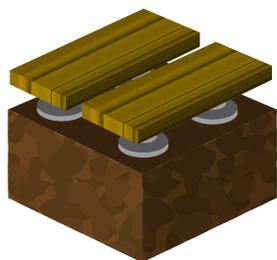
Ce type de revêtement a été le plus renseigné dans le cadre de ce travail et de l'enquête. De même, il s'agit du type de revêtement perméable dont on trouve le plus de références bibliographiques. Il s'agit du revêtement souvent rencontré dans la plupart des installations de zones de parking car apprécié pour ses capacités à résister au tassement et au cisaillement.

Le lien avec le végétal est également un atout car il apporte une plus-value paysagère sur des espaces de stationnement généralement peu esthétiques. Si l'espace est suffisamment exploité, la tonte est généralement peu fréquente.



Exemple de dalles engazonnées (© Pierre Héry, Orléans)

Platelages bois



6

USAGES			
ENTRETIEN			
CARACTÉRISTIQUES ET MISE EN ŒUVRE			

Les platelages englobent des solutions techniques constituées de lames de bois naturel ou composite. Ces solutions permettent d'égaliser rapidement des zones à forte pente ou plus ou moins accidentées. C'est la raison pour laquelle les platelages peuvent être mis en œuvre dans des zones où l'on ne souhaite pas poser le revêtement directement sur le sol.

Composition

Les lames peuvent être en bois naturel ou en bois composite. Elles sont choisies pour leur résistance aux intempéries et au poinçonnement (chêne, châtaignier, robinier) mais peuvent également être traitées pour augmenter leur résistance (traitement par autoclave). Leur dimension est variable : 19 à 41mm d'épaisseur pour des largeurs de 90 à 140mm. On distingue les lambourdes qui ont une largeur moindre (environ 45mm) et qui sont utilisées pour servir d'assise aux lames.

Mise en œuvre et préconisations

Étapes : après préparation du terrain (désherbage et nivelage), les lames peuvent être installées sur des supports (type plots). Elles sont adaptées aux reliefs du terrain et peuvent être découpées pour épouser certaines aspérités (comme les rochers). Cette mise en œuvre en aménagement extérieur doit respecter la norme NF DTU 51.4.

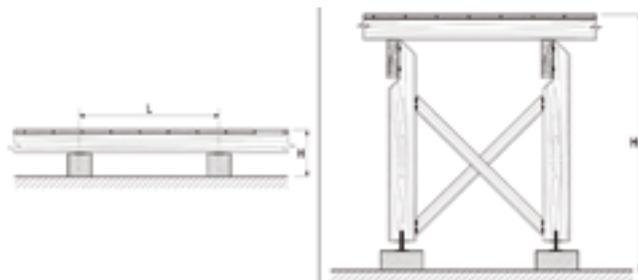
Les platelages peuvent être installés sur des poutres en bois, en acier (avec ou sans interpositions de lambourdes) sur dalles bétons drainants, graviers ou sur sol stabilisé (interposition obligatoire de lambourdes dans ces cas). L'utilisation de supports de type plots PVC réglables, plots bétons, plots polymères et cales PVC ou en caoutchouc est nécessaire lorsque le revêtement est posé sur une dalle béton ou sur un sol stabilisé. Ces supports permettent de niveler la surface du revêtement et d'éviter les décalages entre les lames.

Couches de fondation : dans la plupart des configurations, les platelages ne nécessitent pas de couches de fondation.

Fonctions et usages

Fonctions : les platelages sont utilisés pour leur intérêt paysager et leur possibilité de créer des voies d'accès pour piétons et PMR dans des zones humides ou très accidentées. On les retrouve ainsi dans des espaces verts type parcs naturels pour éviter la pose d'un revêtement directement sur le sol.

Perméabilité : peu de données indiquent clairement la perméabilité des platelages. Celle-ci est due aux vides présents entre les lames de bois et est donc naturellement très élevée.



Exemples de conception associant lames de bois et lambourdes (extrait norme DTU 51.4)

La norme **DTU 51.4** encadre également les défauts de planéité acceptés pour ces ouvrages. Par exemple, on accepte un défaut inférieur à 1mm à réception de l'ouvrage, qui peut aller jusqu'à 4mm pendant la durée de service. A l'échelle de l'ouvrage, ce défaut peut aller jusqu'à 10mm à sa réception et jusqu'à 15mm durant le service. Enfin, on tolère des espacements en périphérie avec des éléments (poteaux, murs) : 10 mm à réception de l'ouvrage et 15 mm pendant la durée de vie.

Coûts de mise en œuvre : de 70 à 130 euros TTC/m²

Entretien

Itinéraire : l'entretien nécessaire comprend une inspection régulière des systèmes de fixation et un balayage régulier (a minima deux fois par an) à l'aide d'une brosse en poils rigides et d'eau. L'utilisation de jets haute pression est à proscrire car cela peut endommager le bois.

Désherbage	Semis	Balayage/nettoyage	Garnissage/rebouchage	Tonte	Ratissage/herbage	Pression/aspiration
×	×	✓ -	×	×	×	×
		🕒 Balayage avec brosse à poils durs : 1 à plusieurs fois par an selon encrassement				
		€ En régie : coûts de main d'œuvre + matériel et maintenance engins				

Itinéraire technique et coûts d'entretien du revêtement, la valeur en pourcentage indique la proportion de sites observés intégrant l'opération concernée.

Tenue dans le temps : les lames en bois naturel sont plus durables dans le temps que les lames composites (bien que ces dernières soient plus simples à nettoyer). Le remplacement des lames est facilité car elles sont généralement indépendantes les unes des autres.

Association avec le végétal : sauf cas particuliers, les platelages ne sont pas des solutions végétalisables. On peut toutefois rencontrer des solutions techniques où le joint peut être engazonné. En outre, les platelages sont plutôt sujet à l'apparition de bryophytes en surface. Un entretien adapté permet d'éviter leur prolifération.

Retour usagers

Les revêtements en bois peuvent présenter des problématiques de glissance à leur surface. C'est pourquoi un entretien régulier et l'ajout de bandes rugueuses est indispensable pour atténuer ce risque. Les lames de bois peuvent être mises en œuvre dans le sens perpendiculaire de la marche pour augmenter l'adhérence.

L'accessibilité aux personnes à mobilité réduite peut se faire moyennant quelques préconisations de mise en œuvre. Si la hauteur de chute est inférieure à 1m, il faut prévoir la mise en œuvre de chasse-roues. Pour des hauteurs de chute supérieures à 1m, la pose de garde-corps est obligatoire. L'utilisation de bois rainuré et de bandes en résine antidérapantes permet d'améliorer la stabilité des piétons.

Les platelages ne doivent pas être installés dans une pente supérieure à 5%. De plus, il est conseillé de poser les lames perpendiculairement au sens de la marche pour augmenter l'adhérence.



Exemple de platelage avec présence de chasse-roues (© Agence TALPA)



Exemple de platelage (© agence SLA, Allinge, Danemark)

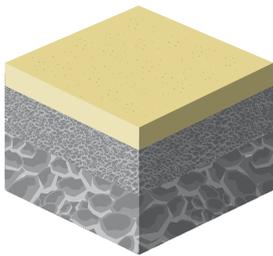


Exemple de platelage pour places de stationnement (© Wendy Arnould)

POUR EN SAVOIR PLUS

Norme NF DTU 51.4 : Travaux de bâtiment — Platelage extérieur en bois
Fédération nationale du bois (2018) :
Fiche Produit : Platelage Bois

Bétons de résines drainants



7	USAGES	
	ENTRETIEN	
	CARACTÉRISTIQUES ET MISE EN ŒUVRE	

Ces revêtements sont constitués d'une fraction particulière plus généralement minérale liée à l'aide de résines (type époxy et résines PU).

Composition

Les bétons de résine drainants sont constitués d'une fraction particulière minérale type granulats (exemple : marbre, quartz, granite ; type 0/4) et d'une résine transparente (type époxydiques : « époxy », polyuréthanes : « PU » ou résines végétales) permettant de figer la fraction minérale. La nature de la fraction minérale va permettre de jouer sur des rendus esthétiques grâce à la variabilité de coloris mais va aussi conditionner sa résistance.

Les granulats sont préalablement lavés pour éliminer les fines dans la structure et améliorer l'adhérence avec la résine. La structure présente ainsi une proportion de vides de 30 à 40%. Généralement, les solutions sur le marché offrent des coloris différents pour des utilisations paysagères variées.

On pourra trouver des revêtements à base de copeaux de bois liés dans une résine drainante.

Mise en œuvre

Étapes : suit les étapes n°1 à n°9 (voir Fiche : Mise en œuvre). La mise en œuvre passe par l'installation de couches de fondation drainantes (sur GNT type 0/31.5 ou 0/80 ou sur béton drainant) puis d'une couche de réglage d'environ 3cm. Le mélange granulat et résine est effectué sur place avec une mélangeuse. L'épaisseur du revêtement en résine va dépendre de l'usage prévu (exemple : 10 cm pour un usage piétonnier jusqu'à 20cm pour un parking).

Les résines époxy et PU aromatiques sont moins résistantes aux UV et ont tendance à jaunir ce qui empêche de les associer avec des granulats de couleur claire. Les résines PU aliphatiques sont plus résistantes, présentent peu d'effets de jaunissement et sont plus stables aux UV. A ces résines s'ajoutent des additifs pour augmenter leur résistance dans le temps.

Fonctions et usages

Fonctions : ces revêtements présentent une certaine résistance ce qui permet de les utiliser en cheminements piétonniers et accès carrossables pour des déplacements à faible vitesse et à usage ponctuel (par exemple pour les véhicules d'entretien et de maintenance). Ce type de revêtement peut aussi être utilisé pour des voies empruntées par des VL type parking et peuvent supporter des véhicules lourds occasionnellement. Ils peuvent en outre être utilisés pour tracer des cheminements dans des espaces paysagers ou des espaces naturels.

Perméabilité : le coefficient de perméabilité de ce type de matériaux varie de l'ordre de 10^{-3} à 10^{-4} m/s.

Des finitions peuvent ensuite être appliquées en surface pour renforcer le revêtement et allonger sa durée de vie. Ce peut être le cas où les revêtements seront empruntés par des véhicules (pour limiter l'abrasion) mais aussi pour limiter l'impact des intempéries ou apporter une certaine esthétique (augmentation de la brillance, antidérapant).

Il est à noter que lors de la mise en œuvre, tous les revêtements drainants en résine présentent une certaine brillance qui va plus ou moins disparaître dans le temps selon la nature de la résine et les finitions apportées.

Couches de fondation : épaisseur variable de 10 à 30cm, constituée de GNT voire d'un béton drainant.

Coûts de mise en œuvre : 60 à 90 € TTC/m².

Entretien

Itinéraire : relativement peu contraignant (voir Fiche : Entretien et Rénovation). Il intègre un balayage des feuilles mortes et autres débris à l'aide d'un râteau ou d'un souffleur éventuellement complété par un nettoyage au jet d'eau.

Désherbage	Semis	Balayage/nettoyage	Garnissage/rebouchage	Tonte	Ratissage/hersage	Pression/aspiration
✓ 26 %	✗	✓ 69 %	✓ 42 %	✗	✗	✗
🕒 En régie : 1 fois par an (voire moins)		Selon nécessité : 1 fois par an voire plus à 1 fois tous les 4-5 ans	Réparations selon usure			
€ En régie : 2 à 3 personnes + coût matériel et intrants (Cf. fiches compamed)		En régie : main d'œuvre + coûts matériel				

Itinéraire technique et coûts d'entretien du revêtement, la valeur en pourcentage indique la proportion de sites observés intégrant l'opération concernée.

Tenue dans le temps : variable selon l'intensité du trafic. La durée de vie peut monter jusqu'à 20 à 30 ans si l'entretien est adéquat et que l'intensité du passage de véhicule est raisonnée (et où le cisaillement est limité). Le revêtement peut être remplacé localement en cas d'arrachement.

Association avec le végétal : non végétalisable. Le revêtement peut être concerné par l'apparition de bryophyte en cas de défaut d'entretien.

Retour des usagers

Les usagers et professionnels interrogés soulignent la possibilité d'utiliser des granulats et graviers d'origine locale, ce qui améliore l'empreinte environnementale du revêtement. De plus, la finition en surface du revêtement apporte une esthétique paysagère notable.

La plupart des solutions sont adaptées à un usage en pente.

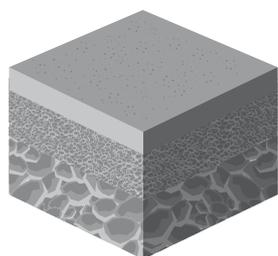


Utilisation d'un béton de résine dans une cours d'école
(© Anthély - Meudon)



Exemple de béton de résine drainante (©JDM Expert)

Bétons drainants



8

USAGES	
ENTRETIEN	
CARACTÉRISTIQUES ET MISE EN ŒUVRE	

Les revêtements en bétons drainants associent une fraction minérale et un liant hydraulique (le ciment).

Composition

La constitution des **bétons drainants** est semblable aux bétons traditionnels : gravillons, sable, ciment, eau et adjuvants. La seule différence est qu'ils ne doivent pas contenir - ou très peu - de sable (0/2). L'espace libéré par cette fraction sableuse et l'ajout d'adjuvants vont assurer l'apparition de pores au sein de la matrice une fois solidifiée. Cette porosité peut atteindre 15 à 25%.

D'autres solutions de type béton désactivé sont obtenues à partir du même procédé sur lequel est pulvérisé sur béton frais un désactivant pour éviter la prise des premiers millimètres du béton. On obtient alors un rendu semblable à un gravier.

Les entreprises ont adopté ces types de revêtements en profitant également pour personnaliser le rendu selon l'aspect désiré. Il est ainsi possible d'obtenir un béton coloré pour un rendu esthétique.

Mise en œuvre

Étapes : n°1 à n°9 (voir Fiche : Mise en œuvre). Sur la couche de fondation, le béton drainant est coulé en place, puis nivelé. L'installation d'une armature permet de le renforcer : l'utilisation de fibres métalliques peut être préférée aux armatures pour éviter la corrosion du matériau à long terme.

Pour conserver les vides, les bétons drainants ne doivent pas être vibrés et il est plutôt recommandé de le compacter ou de le rouler (à la règle, à l'aide d'un rouleau lesté/compacteur ou à la niveleuse). Le béton peut être recouvert à l'aide de feuilles de polyéthylène pour conserver la chaleur du béton et éviter sa dessiccation.

Fonctions et usages

Fonctions : les bétons drainants sont très résistants et adaptés à des voies circulées. Il existe des classes de béton pouvant résister à des déplacements de poids lourds (jusqu'à 150 par jour), mais où la perméabilité doit diminuer pour augmenter la résistance. On les utilise aussi comme voies piétonnes et cheminements de parcs et d'espaces verts. Les différents coloris permettent aussi des usages paysagers ou de jeux et d'activités. Ils sont également facilement accessibles aux PMR.

Perméabilité : les bétons drainants présentent des coefficients de perméabilité très importants. Différentes sources indiquent des potentiels d'infiltration élevés pouvant aller de 10^{-3} à 5.10^{-2} m/s..

A cette étape, il est possible de poursuivre avec la mise en œuvre de pavés perméables en surface – voir Fiche : Pavés drainants.

La réalisation de joints de retrait permet de maîtriser la fissuration du béton en surface. Des finitions de protection antitaches peuvent alors enfin être appliquées en surface pour assurer l'esthétique dans le temps du revêtement. Ces finitions sont incolores et ne dénaturent pas le revêtement.



Béton drainant pour voie piétonne
(© Wendy Arnould – Saint Pierre)



Coulage et réglage à l'aide d'un roller-striker
(© CIMBETON référence Guide T69)



Coulage et réglage à l'aide d'un roller-striker
(© CIMBETON référence Guide T69)

On se référera aux normes NF EN 206/CN pour le matériau béton et les normes NF EN 13285 (graves non traitées) et NF P 98-115 (exécution des corps de chaussées – reprises dans le fascicule 70 titre II).

Couches de fondation : épaisseur de 20 à plus de 30 cm et constituées d'un mélange terre-pierre ou de GNT (0/31.5 ; 20/40 ou 0/10 - la forte perméabilité des revêtements doit être compensée par une épaisseur de couche de fondation suffisante pour absorber l'excédent d'eau depuis la surface). Cette couche peut être posée en

deux fois avec mise en place d'une géogrid entre les 2 couches pour augmenter la portance.

Coûts de mise en œuvre : 40 à 70 € TTC/m².

Entretien

Itinéraire : surveillance régulière de la présence de débris en surface et de la bonne infiltration de l'eau et des nettoyages réguliers par soufflage (à l'aide d'un souffleur) et/ou balayage (à l'aide d'une balayeuse de

rue). Enfin, un décolmatage par pression/aspiration peut être nécessaire ponctuellement (voir Fiche : Entretien et rénovations).

Désherbage	Semis	Balayage/ nettoyage	Garnissage/ rebouchage	Tonte	Ratissage/ hersage	Pression/aspiration
✓ -	✗	✓ 50 %	✓ 50 %	✗	✗	✓ 50 %
⌚ En régie : 1 fois par an (voire moins)		Selon nécessité : 1 fois par an voire plus à 1 fois tous les 4-5 ans	Réparations selon usure			A réaliser dès que nécessaire sur pavés drainants (si colmatage trop important), environ tous les 10 ans
€ En régie : 2 à 3 personnes + coût matériel et intrants (Cf. fiches compamed)		En régie : main d'œuvre + coûts matériel				Opération totale (décolmatage + eau utilisée + gestion des déchets récupérés) : environ 1,5 - 1,8 euros/m ²

Itinéraire technique et coûts d'entretien du revêtement, la valeur en pourcentage indique la proportion de sites observés intégrant l'opération concernée.

Tenue dans le temps : entre 20 et 30 ans. La résistance du béton sera dépendante des conditions de mise en œuvre. Par exemple, il faut respecter les conditions de température et d'hygrométrie lors de la mise en œuvre pour éviter un séchage trop rapide ou trop lent.

Association avec le végétal : non végétalisable. Le revêtement peut être concerné par l'apparition de mousses en cas de défaut d'entretien.

FOCUS

Béton granulats de bois

Des alternatives sont aujourd'hui proposées avec des bétons de bois. La mise en œuvre s'apparente à celle d'un béton perméable classique. Le mélange est réalisé à la bétonnière en combinant des granulats de bois, un liant (ciment ou chaux) et l'ajout d'un colorant. Son utilisation est plutôt dédiée à des usages peu intensifs (pieds d'arbres, zones réservées aux passages de PMR, cours d'école et zones de jeux, voies pour piétons et bicyclettes).

POUR EN SAVOIR PLUS

CIMbéton /SNBPE /FIB, 2018, T 69,
LUTTER CONTRE L'IMPERMEABILISATION
DES SURFACES URBAINES Les
revêtements drainants en béton

FOCUS

Les cours oasis

L'initiative de rafraîchir les cours d'école de Paris a germé en 2017 au conseil de la Ville. L'idée est de pouvoir rendre plus accueillante l'ensemble des cours d'écoles municipales en passant par une restructuration et un réaménagement complet. La création de zones végétalisées, ludiques et plus fraîches font notamment partie de ces objectifs et l'utilisation de revêtements perméables type béton drainant est une solution relevée pour concilier infiltration des eaux pluviales et zones de jeux pour les enfants.

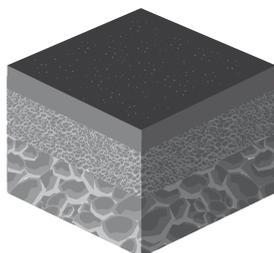


Exemple d'une cours oasis avec revêtement en béton drainant coloré
(©Thiollier, « Cours Oasis – Ville de Paris »)

Ici, les revêtements perméables (comme le béton drainant, mais aussi la pleine terre) sont mis à profit pour infiltrer les eaux pluviales et rafraîchir l'air ambiant lors d'épisodes plus chauds.

Enrobés poreux

9



USAGES	
ENTRETIEN	
CARACTÉRISTIQUES ET MISE EN ŒUVRE	

A la différence des enrobés classiques, les enrobés poreux présentent une porosité permettant l'écoulement de l'eau en cas de pluie et limitant l'apparition de flaques superficielles.

Composition

La granulométrie de ce revêtement peut varier de 0/6 à 0/14 et la proportion de vides de 20 à 30%. La cohésion est assurée par l'application d'un liant bitumineux. A l'instar des bétons drainants, c'est l'absence de sable dans la constitution du revêtement qui va générer une porosité. Il est possible de colorer le revêtement à l'aide d'oxydes de fer ou de graviers colorés pour ajouter des touches personnalisées aux aménagements.

Note : les enrobés poreux se distinguent des enrobés drainants qui ne sont perméables que sur les premiers centimètres (généralement utilisés en voirie sur de longues portions).

Mise en œuvre

Étapes : La mise en œuvre des enrobés poreux suit les principaux éléments décrits dans la Fiche : Mise en œuvre. L'enrobé est composé de granulats (type 0/6 à 0/10) discontinus, c'est-à-dire exempts d'une classe intermédiaire type 2/4.

Après mise en œuvre de la couche de fondation, l'enrobé est coulé et lissé sur une épaisseur de 5 à 6 cm. Le lissage se fait au cylindre pour éviter les vibrations et la perte de porosité. Les solutions commerciales offrent la possibilité d'utiliser des adjuvants (liants) permettant d'offrir une résistance complémentaire aux roulements des véhicules.

Pour faciliter l'application de l'enrobé, une centrale d'enrobage peut être affrétée pour les plus gros chantiers. Pour les chantiers plus petits (allées de parking par exemple), l'enrobé est acheminé par camion-citerne ou camion-benne. Un liant bitumineux est appliqué afin de rendre cohésif

Fonctions et usages

Fonctions : Ce revêtement est souvent utilisé en voirie au niveau de la chaussée où sa perméabilité permet d'éviter les phénomènes de stagnation des eaux pluviales et d'éblouissement.

Perméabilité : Le coefficient de perméabilité moyen des enrobés poreux est de 2cm/s.



Enrobé poreux utilisé en voirie à Douais (© Héryn - Adopta)

le revêtement. Cet enrobé est mis en œuvre à chaud (140 à 170°C) et est de ce fait plus résistant à long terme.

Couches de fondation : épaisseur variable de 10 à 30 cm, constituée de GNT.

Coûts : 40 à 70 € TTC/m². Les coûts de mise en œuvre peuvent fortement varier en fonction de la distance entre le chantier et la distance de la centrale d'enrobage.

Entretien

Itinéraire : Une inspection visuelle régulière de la surface doit permettre de vérifier l'absence de débris sédimentaires et végétaux dans la porosité. Il convient également d'éviter d'entreposer des végétaux coupés et des feuilles mortes en surface.

Désherbage	Semis	Balayage/nettoyage	Garnissage/rebouchage	Tonte	Ratissage/hersage	Pression/aspiration
✓ -	✗	✓ -	✓ -	✗	✗	✓ -
🕒 En régie : 2 à 4 fois par an selon exigence		Selon nécessité : 1 fois par an voire plus à 1 fois tous les 4-5 ans	Réparations selon usure			À réaliser dès que néces- saire sur pavés drainants (si colmatage trop important), environ tous les 10 ans
€ En régie : 2 à 3 personnes + coût matériel et intrants (Cf. fiches compamed)		En régie : main d'œuvre + coûts matériel				Opération totale (décolmatage + eau utilisée + gestion des déchets récupérés) : environ 1,5 - 1,8 euros /m ²

Itinéraire technique et coûts d'entretien du revêtement, la valeur en pourcentage indique la proportion de sites observés intégrant l'opération concernée.

Un balayage et un nettoyage réguliers sont aussi à entreprendre et serviront à décolmater une partie des débris présents de la porosité.

Ponctuellement, un décolmatage complet peut être préconisé. Ce procédé permet de regagner une partie significative de la

porosité initiale du revêtement et de rendre ces fonctions d'infiltration des eaux pluviales (voir Fiche : Entretien et rénovations).

Les enrobés poreux sont plus sensibles au gel car le verglas peut s'installer plus tôt que sur un enrobé classique. Le salage doit donc être anticipé en respectant l'intensité et la dose appliquée.

Retour usagers

L'enrobé poreux offre un compromis entre infiltration des eaux pluviales et zones de voirie (surtout pour des espaces empruntés par les véhicules). Ce revêtement peut être utilisé pour de nombreux espaces où les vitesses sont raisonnées et où il existe peu de risque de cisaillement par les pneus. Il est donc très adapté au milieu urbain et aux rues à faible vitesse.

On évitera toutefois la mise en œuvre de ce type de revêtement dans les zones giratoires, où les sections à plus grande vitesse en virage. De même, l'utilisation n'est pas préconisée dans les zones à trafic important, au risque de voir apparaître un colmatage précoce et une forte contamination.



Enrobé poreux sur structure réservoir
(© Lille Métropole)

FOCUS

Les chaussées à structure réservoir

Les chaussées à structure réservoir sont des ouvrages de gestion des eaux pluviales pouvant impliquer un revêtement perméable (généralement un enrobé poreux en surface) ainsi qu'une structure poreuse de fondation permettant d'infiltrer et de stocker temporairement les eaux pluviales. L'eau stockée dans cette structure réservoir peut ensuite être infiltrée en profondeur ou être redirigée vers un exutoire à l'aide d'un drain.

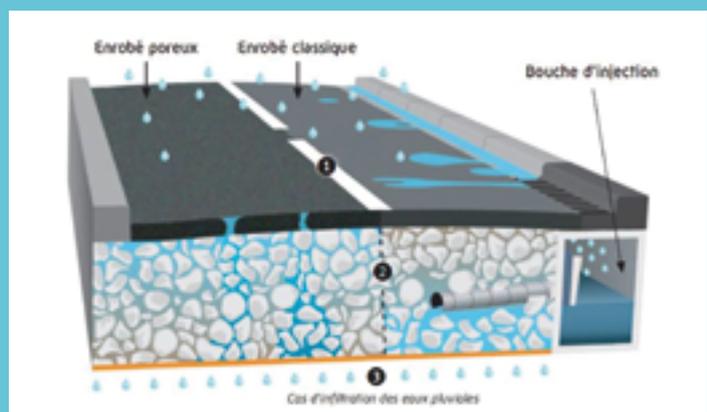


Schéma d'une chaussée à structure réservoir (source : Adopta)

POUR EN SAVOIR PLUS

AESN - PERIFEM. 2020.

« Guide Eaux et biodiversité dans les espaces commerciaux ». <http://www.eau-seine-normandie.fr/node/3626>.

Faleyieux, Jennifer. 2017.

« Éléments modulaires en béton pour revêtement des ouvrages d'infiltration des eaux pluviales ». Cerib. <https://www.cerib.com/rapport/353e-elements-modulaires-en-beton/>

Grand Lyon - la métropole. 2017.

« Projet ville perméable : guide d'aide à la conception et à l'entretien », 82 p. https://www.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/media/pdf/eau/20170926_guide-projet-ville-permeable.pdf

Mairie de Paris. 2018.

« Guide d'accompagnement pour la mise en œuvre du zonage pluvial à Paris ». Ville de Paris. <https://cdn.paris.fr/paris/2019/07/24/843a7be4c5c-6c532a4eaab07a15724da.pdf>.

Cahier de l'accessibilité piétonne :

Directives pour l'aménagement de l'espace public accessible à tous (2014) www.bruxellesmobilite.irisnet.be Etudes et synthèses

Loreau, Andréa. « Diversité et propriétés des revêtements de sol - fiche de synthèse ».

Plante & Cité. Angers, 2014. <https://www.plante-et-cite.fr/Ressource/fiche/204>

Abdo, J., Ruiz, L.A., Bonnin, F., Chaussebourg, G., Christory, J.-P., Delhay, C., Faleyieux, J., Potier, J.-M., Rodot-Chazal, E., Vicat, B., Shink, M., 2018.

Lutter contre l'imperméabilisation des surfaces urbaines : Les revêtements drainants en béton. Cerib 112. https://www.infociments.fr/sites/default/files/article/fichier/BROCHURE_DRAINANT_A4_2019-web.pdf

Alain, Sauve, Glatard Florent, Faucon Philippe, et Olivier Damas. 2014.

« Aménagement et choix des végétaux des ouvrages de gestion des eaux pluviales de proximité - rapport final ». <https://www.plante-et-cite.fr/Ressource/fiche/120/>.

Dennin, Ludovic, et Jean-Jacques Hérin. 2016.

« Une politique pluviale volontariste et durable : bilan de 25 ans de bonnes pratiques environnementales - l'exemple chiffré du Douaisis - France ». Novatech, 6. <https://www.o2d-environnement.com/wp-content/uploads/2019/01/3D91-010ANC.pdf>

Graie. 2018. « Ville perméable : désimpermeabilisons la ville - Actes de colloques ». Présenté à Colloque Cerema Ville Perméable, Lyon.

<http://www.graie.org/portail/conference-ville-permeable/>

DREAL PACA TRIBU. 2019.

« Fiche technique n°6 : Revêtements de sol des espaces publics. Coût global des espaces publics. <http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/etude-sur-le-cout-global-des-espaces-publics-a12310.html>.

Lille Métropole. 2012. « Les chaussées à structure réservoir Fiche 5 ».

Guide des eaux pluviales pour Lille Métropole.

<http://services-urbains.lillemetropole.fr/private/classes/gui/front/browse/eauxPluviales/AccueilEP.php>.

Locatelli, Florent, et Marion Paradowski. 2020.

« Revêtements perméables - Webinaire ADOPTA ». https://www.youtube.com/watch?time_continue=458&v=P3-IPdxWyjg&feature=emb_logo

Amos Eric et Guiné Véronique, 2017,

Revêtements perméables : enjeux et critères de choix in Aménager et gérer avec frugalité : préserver les ressources en faisant mieux avec moins, Plante & Cité, Publication Esperluette n°3, 68p. <https://www.plante-et-cite.fr/Ressource/fiche/436>

Pays de Gâtine Parthenay. 2011

« Guide de la définition et des bons usages des matériaux de revêtement et du petit mobilier urbain relatif à l'espace public ». http://www.intragatine.org/PaysGatine/Portail2/ressources/guide-materiaux/materiaux-revetement/05-Les_paves_et_les_dalles-guide_materiaux_pays_gatine_2011.pdf.

Pays de Gâtine Parthenay. 2011b.

« Guide de la définition et des bons usages des matériaux de revêtement et du petit mobilier urbain relatif à l'espace public Le mélange terre-pierre ». http://www.intragatine.org/PaysGatine/Portail2/ressources/guide-materiaux/materiaux-revetement/09-Le_melange_terre_pierre-guide_materiaux_pays_gatine_2011.pdf.

Pays de Gâtine Parthenay. 2011c.

« Guide de la définition et des bons usages des matériaux de revêtement et du petit mobilier urbain relatif à l'espace public les résines ». https://www.pays-gatine.com/files/tabularasa/images/documents/revetement/04-La_resine-guide_materiaux_pays_gatine_2011.pdf.



La gestion de l'eau à la source est aujourd'hui une méthode permettant d'alléger les réseaux d'assainissement, déjà fortement sollicités, au profit de solutions alternatives privilégiant l'infiltration et le stockage des eaux pluviales à la source.

Les revêtements perméables englobent une grande catégorie de ces solutions techniques et associent les fonctions de gestion de l'eau à la source et de nombreuses fonctions comme le support de voirie, le support de végétation, le rafraîchissement de l'air et le bien-être des citoyens.

Ces solutions sont encore peu connues à l'heure actuelle et restent très en marge des nouveaux projets d'aménagements. Lancée en 2018 par Plante & Cité, cette étude vise à faire la lumière sur ces solutions techniques et à comprendre leur fonctionnement et leurs modalités d'évolution.

Ce guide se compose de 7 fiches repères et 9 fiches revêtements et présente de nombreuses préconisations et caractéristiques techniques à connaître lors de la conception d'un aménagement intégrant des revêtements perméables.

Il s'adresse aux collectivités, aux entreprises du paysage, aux gestionnaires d'espaces verts, aux bureaux d'études et aux paysagistes concepteurs.

Pour citer cette publication :
**Dagois R., Cheval H. (2021) : Revêtements perméables
des aménagements urbains : Typologie et Caractéristiques techniques**