



© Agence Parisienne du Climat

REVÊTEMENTS ET CHANGEMENT CLIMATIQUE :

CHOISIR LE BON MATÉRIAU AU BON ENDROIT



ADAPTAVILLE



Agence
Parisienne
du Climat

Ce guide s'adresse aux professionnelles qui souhaiteraient davantage prendre en compte les enjeux d'adaptation au changement climatique dans le choix des revêtements de sol, sans oublier leur impact environnemental, lors de projets d'aménagement. Son but est double :

- Encourager les professionnelles à **changer leurs pratiques en sortant du modèle béton-bitume-asphalte** ;
- Éclairer le choix, en prenant en compte la configuration du lieu, pour **choisir le bon matériau au bon endroit**.

Et ce au travers de trois axes :

- **Une analyse de trois problématiques** liées au choix de revêtements : surchauffe urbaine, gestion des eaux pluviales et impact environnemental ;
- **La présentation de différents projets** ayant utilisé plusieurs revêtements dans une démarche environnementale ;
- **Un passage en revue des principaux types de revêtements alternatifs** que l'on peut trouver en milieu urbain dense.

Remerciements

Nous remercions particulièrement nos relecteurs et relectrices : Martin Hendel (Laboratoire Interdisciplinaire des Énergies de Demain), Nicolas Furmanek (CEREMA), Olivier Chrétien et Laure Fasse (Ville de Paris), ainsi que celles et ceux qui nous ont apporté les retours d'expérience : Joséphine Bussière (Ville de Paris), Émilie Dartois (Ville de Paris), Charlotte Van Doesburg (CAUE de Paris), Fabrizio Calosci (AREP).

SOMMAIRE

ÉDITO
PAGE 4

1

REVÊTEMENTS
ET SURCHAUFFE URBAINE
PAGE 5

2

REVÊTEMENTS ET GESTION
DES EAUX PLUVIALES
PAGE 16

3

REVÊTEMENTS ET
IMPACT ENVIRONNEMENTAL
PAGE 24

4

LES PRINCIPAUX TYPES DE
REVÊTEMENTS ALTERNATIFS
PAGE 33

BIBLIOGRAPHIE
PAGE 39

CHOISIR LE BON MATÉRIAU AU BON ENDROIT

RÉINTERROGER LE MODÈLE DU BÉTON-BITUME

L'urbanisation s'est accompagnée de contraintes particulières auxquelles les revêtements devaient répondre. Face au développement de la voiture et du tout-à-l'égout puis à la multiplication d'autres réseaux souterrains, **le béton et des dérivés du pétrole (asphalte, bitume)**, offrant résistance mécanique, adhérence et protection du sous-sol pour un coût intéressant, se sont imposés au XX^e siècle comme la solution privilégiée face aux sollicitations urbaines, jusqu'à se généraliser.

Ce modèle est désormais remis en cause par des **problématiques environnementales**. L'artificialisation s'est traduite par une augmentation du phénomène d'îlot de chaleur urbain avec une accumulation de la chaleur dans les matériaux¹, de la vulnérabilité des villes face aux fortes pluies en raison de l'imperméabilisation², d'une érosion de la biodiversité face au recouvrement de sols naturels, d'extractions de ressources et d'énormes quantités d'énergie consommées. Les impératifs de transition écologique remettent en question la place de la voiture en ville, et la transition des transports vers l'électricité et le biogaz implique également à terme une restriction des ressources des dérivés du pétrole en tant que résidu du raffinage pour la production de carburant. **Alors que la crise climatique et écologique s'aggrave, ces enjeux réinterrogent la manière de faire la ville, et notamment la manière de recouvrir son sol.**

DE NOMBREUSES ALTERNATIVES POUR MIEUX PRENDRE EN COMPTE LES CONSIDÉRATIONS ENVIRONNEMENTALES

L'objectif est désormais de **trouver un compromis entre les exigences fonctionnelles, d'usage, et la qualité environnementale**. Il ne faut pas pour autant occulter les nombreux rôles que jouent les revêtements, pour qualifier un espace, définir les trajectoires de passage, assurer une bonne lisibilité de l'espace public, faciliter son accessibilité, favoriser le confort sensoriel, visuel et acoustique, renforcer l'attrait d'un lieu, respecter son identité culturelle et patrimoniale... Sans oublier les coûts de mise en œuvre et d'entretien.

Pour concilier ces considérations, nous disposons aujourd'hui d'une **palette très large de matériaux**, aux propriétés diverses : poreux, perméables, plus ou moins réfléchissants et inertes, biosourcés, issus du recyclage, naturels... S'ils offrent de nouvelles perspectives environnementales ou esthétiques, ils ne permettent pas la même polyvalence que les enrobés bitumineux par exemple. C'est pourquoi leur utilisation doit s'inscrire dans une démarche différente, rompant avec la généralisation d'une solution unique : celle de **l'application du bon matériau au bon endroit**. Cela implique de prendre en compte les spécificités d'un lieu et ses fonctions, voire de les transformer.

DIFFÉRENTS MATÉRIAUX POUR DIFFÉRENTS USAGES

Le choix du revêtement est particulièrement imbriqué avec la question des usages, qui peuvent être multiples pour un même espace. Ils vont définir ce qu'on attend de lui, en termes de résistance ou de confort par exemple. Et à mesure que l'on réduit les sollicitations, on accroît la palette disponible. C'est d'ailleurs pourquoi l'utilisation de nouveaux revêtements s'inscrit parfaitement dans une démarche de reconquête d'un espace urbain dévolu à la voiture, pour favoriser les mobilités douces, la déambulation et la halte. Mais même pour les voies circulées ou les places de stationnement, des alternatives existent.

Aires de jeux, cours d'écoles, cours intérieures, trottoirs, places piétonnes, parcs, parvis de gare, parkings, carrefours, voies secondaires, artères principales... L'espace urbain se décline en de nombreuses configurations, où mettre en œuvre une large gamme de revêtements. **Ce guide vous donnera des clés pour bien les choisir à l'aune des enjeux environnementaux, de l'amélioration de notre cadre de vie, de l'adaptation de notre ville aux impacts du changement climatique.**

¹ Agence Parisienne du Climat, [Coup de chaud sur la ville : comment s'adapter ?](#)

² Agence Parisienne du Climat, [Face aux pluies torrentielles, Paris doit-elle se transformer en « Ville éponge » ?](#)

REVÊTEMENTS ET SURCHAUFFE URBAINE



En bref

- Il est important de bien prendre en compte l'usage de l'espace et l'objectif recherché : veut-on limiter la sensation de chaleur en journée ? Rafrâchir l'espace plus rapidement en soirée ?
- Choisir la teinte en fonction : un revêtement réfléchissant réduira la chaleur dégagée lorsque la surface n'est plus au soleil mais dégrade le confort thermique pendant l'insolation ;
- Éviter les teintes trop claires ou trop foncées ;
- Désartificialiser et renaturer les sols là où cela est possible ;
- Privilégier des matériaux à faible inertie, particulièrement en cas de longue exposition au soleil ;
- Envisager des matériaux poreux, dans un contexte de gestion des eaux pluviales.

Revêtements aux vertus rafraîchissantes, peinture réfléchissante pour lutter contre l'îlot de chaleur urbain... Face à l'augmentation et à l'intensification des canicules, les propriétés thermiques des revêtements sont de plus en plus mises en avant, en particulier l'albédo. S'il est tentant de généraliser des matériaux clairs ou de repeindre les surfaces au sol en blanc, **l'influence thermique des revêtements est complexe**, et il convient de bien la comprendre pour éviter de prendre des choix contre-productifs. Là encore, la configuration du lieu et les objectifs du projet sont à considérer pour faire le bon choix et éviter toute maladaptation.

→ COMPRENDRE LES ENJEUX

Lorsqu'on prend en compte les enjeux de surchauffe estivale dans le choix des revêtements, on peut avoir deux objectifs distincts, qui ne sont pas toujours compatibles :

- **Réduire l'îlot de chaleur urbain**, c'est-à-dire modifier le microclimat urbain pour abaisser la température de l'air pendant la nuit ;
- **Améliorer le confort thermique des usagers et usagères d'un lieu**, c'est-à-dire réduire la sensation de chaleur localement, aux heures où il est occupé.

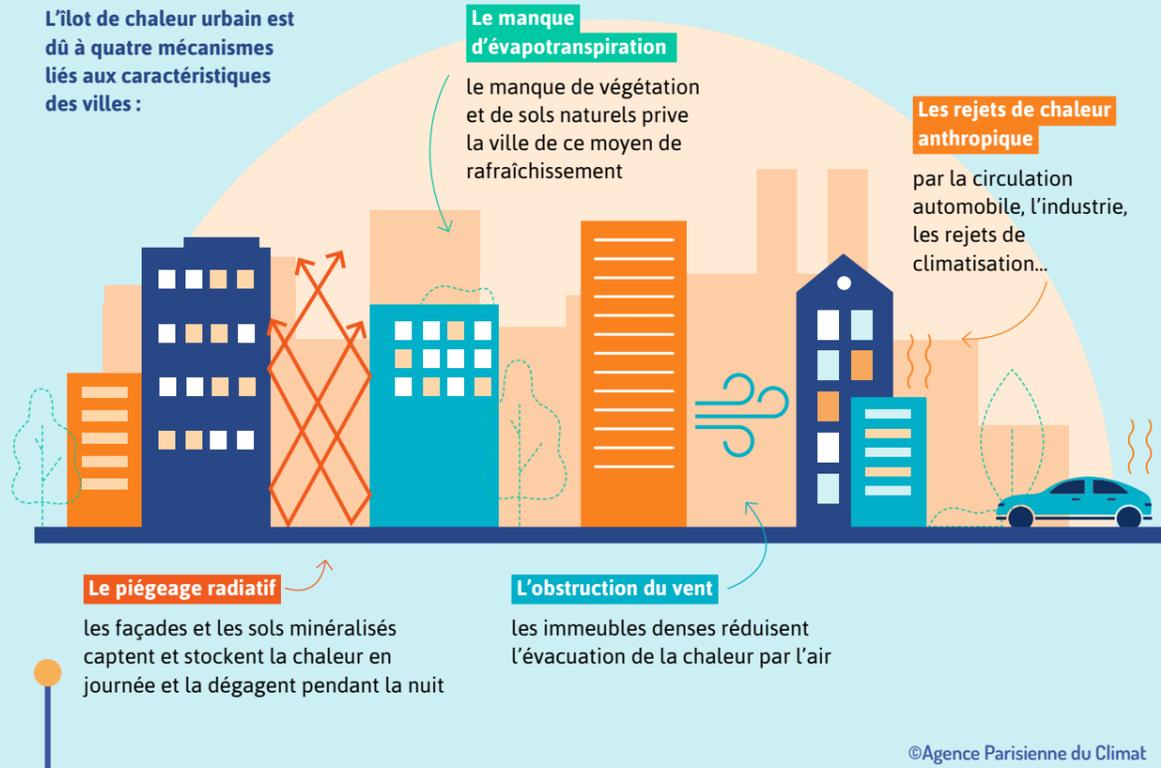
Ces deux stratégies ne se placent pas à la même échelle, ne visent pas les mêmes acteurs et font appel à des notions différentes.

À l'échelle de l'agglomération : l'îlot de chaleur urbain

D'abord, le phénomène d'îlot de chaleur urbain, un **phénomène microclimatique** propre aux villes que l'on peut définir par une **différence de température de l'air entre une zone urbaine et une zone rurale**. De l'ordre de 3 °C en moyenne à Paris, avec des pics à plus de 10 °C obtenus lors de certaines nuits caniculaires, son intensité varie :

- spatialement : il est plus fort dans les quartiers urbanisés que dans les parcs, et au cœur de l'agglomération ;
- au cours d'une journée : il est **plus fort la nuit**, et peut être nul voire négatif vers midi ;
- selon les conditions climatiques : il se manifeste surtout par vent faible et ciel dégagé.

L'îlot de chaleur urbain est dû à quatre mécanismes liés aux caractéristiques des villes :



Les mécanismes à l'origine de l'îlot de chaleur urbain

En accumulant de la chaleur pendant la journée, les matériaux de sol sont en grande partie responsables des températures élevées relevées la nuit. Comme nous le verrons, en optant pour des revêtements qui réfléchissent une grande partie de la chaleur reçue ou des matériaux qui peuvent **emmagasiner moins de chaleur**, il est possible de réduire l'ICU, et donc **d'abaisser la température la nuit**.

À l'échelle de l'aménagement : confort et stress thermique

Si l'on vise plus précisément les **usagers d'un lieu**, l'îlot de chaleur urbain n'est pas le bon indicateur : il faut plutôt s'intéresser au **confort thermique**. Il dépend de la **température de l'air, mais pas seulement** : la vitesse du vent, l'humidité de l'air mais aussi les rayonnements émis par le soleil et les parois influencent grandement (sans compter l'habillement et l'activité physique). En

modifiant leur environnement proche, on va tenter d'éviter dans la mesure du possible que les usagers ne se trouvent en situation de stress thermique – lorsque le corps doit fournir un effort pour réguler sa température.

Là encore, les revêtements ont un rôle à jouer. **On a tendance à considérer que ce qui importe c'est la température de surface du sol**. C'est en partie vrai : une surface chaude va davantage réchauffer l'air (par convection), et au contact du sol (en marchant pieds nus par exemple) on aura une grande sensation de chaleur (par conduction).

Néanmoins, il ne faut **pas négliger les échanges radiatifs**, comme la **réflexion des rayons du soleil**, qui peuvent contrebalancer les autres modes d'échange. Comme nous le verrons, c'est pour cela que les revêtements réfléchissants sont une solution à employer avec précaution, en fonction des usages et de la configuration du lieu.

→ COMPRENDRE LE COMPORTEMENT THERMIQUE DES MATÉRIAUX DE SOL

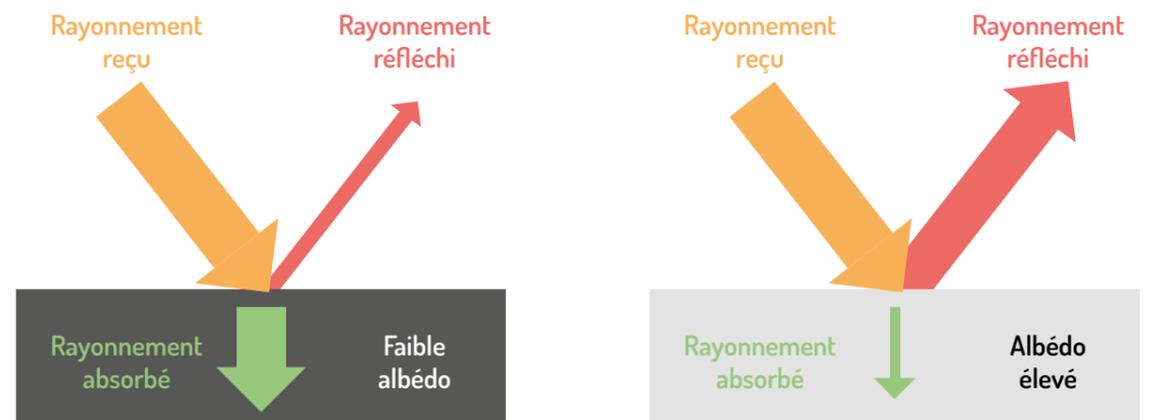
Selon leurs propriétés intrinsèques, revêtements et matériaux de sous-couches vont influencer différemment l'îlot de chaleur urbain et le confort thermique, avec parfois des effets inverses.

L'albédo

Une stratégie souvent employée est d'augmenter l'albédo des revêtements, généralement en optant pour des revêtements plus clairs. L'albédo correspond au pouvoir de réflexion (du spectre visible et proche infrarouge) d'une surface exposée à la lumière. Il est compris entre 0 et 1, une surface qui réfléchit 100 % du rayonnement solaire ayant un albédo de 1. Il dépend aussi de la rugosité (un revêtement rugueux étant moins réfléchissant).

Un revêtement à l'albédo très élevé absorbe moins de chaleur quand il est au soleil, sa température de surface reste moins élevée, et il libère donc moins de chaleur pendant la nuit. **C'est donc un moyen de réduire l'ICU**. Cette solution est **surtout efficace dans des lieux dégagés**, où le rayonnement est renvoyé vers le ciel et non vers les bâtiments alentours.

Son rôle sur le confort thermique est plus complexe. À l'ombre ou la nuit, le revêtement étant plus frais, le stress thermique est réduit par fortes chaleurs. En revanche,



dès qu'elle est ensoleillée, une surface réfléchissante aggrave la sensation de chaleur en renvoyant une grande partie du rayonnement solaire sur les usagers. Comme s'ils étaient exposés deux fois au soleil : par le ciel et le sol. En voulant rafraîchir la ville, on risque donc d'aggraver la sensation de chaleur au soleil.

Exemple

Cette tension entre ICU et confort thermique en journée a par exemple été constatée dans l'instrumentation de l'école maternelle Maryse Hilsz à Paris. Le remplacement d'un asphalte foncé par un asphalte clair a contribué à réduire localement la température de l'air, mais a dégradé le stress thermique de plusieurs degrés pendant l'ensoleillement, des résultats conformes à la littérature scientifique³.

Par ailleurs, il a été observé que des revêtements trop réfléchissants génèrent un inconfort visuel, avec un risque d'éblouissement.

L'émissivité

L'émissivité est la propriété à rayonner ou diffuser l'énergie accumulée par rayonnement thermique. Ainsi, un matériau avec une forte émissivité se refroidit plus rapidement la nuit. Il ne s'agit néanmoins **pas d'un critère décisif pour le choix des revêtements**, car ils ont une émissivité assez similaire, généralement supérieure à 0,9 (sur 1).

³Thèse de Karam, 2023

L'inertie thermique

On peut définir l'inertie thermique d'un matériau comme sa tendance à conserver sa température. Plus précisément, elle décrit sa capacité à absorber et à restituer les calories (la chaleur) pour une faible variation de température. **L'inertie des matériaux de la ville explique en grande partie l'ICU : ils absorbent une grande quantité de chaleur pendant la journée et la restituent pendant la nuit.**

L'inertie sera d'autant plus importante que la densité, l'épaisseur et la chaleur spécifique (la capacité à stocker de la chaleur) du matériau seront grandes.

Un matériau à faible inertie va se réchauffer plus rapidement pendant la journée, mais surtout emmagasiner moins de chaleur et se refroidir plus rapidement la nuit. Il contribuera donc moins à l'effet d'ICU qu'un matériau à forte inertie, qui accumulera plus de chaleur pendant la journée et réchauffera davantage l'air nocturne, mais dont la température sera plus stable.

L'inertie est liée à deux grandeurs :

- **La diffusivité thermique ou le déphasage** (forte diffusivité = faible déphasage) : la capacité à faire circuler plus ou moins rapidement la chaleur au sein du matériau. La diffusivité réduit l'inertie. Un matériau avec un fort déphasage ralentit la transmission de la chaleur, ce qui le rend par exemple intéressant en paroi pour améliorer le confort d'été dans un bâtiment.
- **L'effusivité thermique** : la capacité d'un matériau à échanger plus ou moins rapidement la chaleur avec son environnement. L'effusivité augmente l'inertie. C'est cette propriété qui est la plus importante dans le cas des revêtements puisqu'elle va déterminer la quantité d'énergie thermique accumulée pendant la journée.

C'est aussi l'effusivité qui détermine la sensation de chaud ou de froid au toucher : c'est pour cela que même à température égale, on aura une sensation beaucoup plus chaude (ou froide) en touchant de l'acier (très effusif, car conducteur) que du bois (peu effusif).

Porosité et évaporation

Artificialiser les sols naturels, c'est se priver du phénomène d'évapotranspiration : les sols et les plantes

transpirent de l'eau, qui consomme des calories en s'évaporant et régule ainsi la température de l'air et de surface.

Les revêtements minéraux peuvent profiter dans une certaine mesure de l'effet rafraîchissant de l'évaporation s'ils sont poreux, c'est-à-dire qu'ils peuvent stocker de l'eau dans les pores qui composent le matériau. **L'effet rafraîchissant est important lorsqu'ils sont humides, mais il s'estompe rapidement une fois l'eau évaporée.**

À ce titre, **un sol végétalisé reste préférable à un sol artificiel poreux**, tout comme une végétalisation de pleine terre est préférable à une végétalisation sur un sol superficiel (en terrasse) qui perd rapidement ses capacités d'évapotranspiration, sauf arrosage important.

→ ALORS, QUELS REVÊTEMENTS PRIVILÉGIER FACE À LA SURCHAUFFE URBAINE ?

Il n'y a pas un matériau ou une propriété magique pour résoudre les problèmes de surchauffe estivale en ville, comme on a pu le croire pour les peintures et matériaux réfléchissants. Traiter cet enjeu implique **une approche plus nuancée, considérant les usages du lieu et les objectifs recherchés**, et dépasse largement la question des revêtements.

Que penser de l'asphalte et du bitume face à la chaleur ?

La chaussée bitumineuse et le trottoir asphalté, très présents notamment à Paris, sont **particulièrement problématiques pour l'îlot de chaleur urbain**⁴. En effet, ils combinent un revêtement à très faible albédo et une couche souterraine, très dense, capable de stocker une grande quantité de chaleur. Il convient donc d'envisager des alternatives pour les nouveaux aménagements.

Désartificialiser, renaturer et végétaliser les sols

Le premier réflexe doit être de désartificialiser les sols et végétaliser partout où c'est possible. En effet, les sols naturels stockent très peu de chaleur et rafraîchissent l'air par évapotranspiration. On peut aussi opter pour des revêtements naturels comme du bois.

Par exemple : copeaux de bois, mulch, mélange terre-pierre, gazon.

⁴ APUR, Les îlots de chaleur urbains à Paris - Cahier n°4 : influence climatique des revêtements de sol à Paris



Dans le cadre d'un projet de végétalisation et de rafraîchissement d'un espace sur dalle complètement artificialisée, le bailleur social Paris Habitat a créé un cheminement en revêtement terre-pierre (partie droite de la voie), et des espaces de plantation sur les côtés. Ce revêtement permet de retenir une partie des eaux pluviales et sert de support à la végétation. La terre provient de chantiers à proximité. La voie pompier (partie gauche) a elle été recouverte par un enrobé fabriqué à partir de déchets de papèterie⁵.

Privilégier une faible inertie

Lorsqu'on doit minéraliser, il est possible de **limiter la contribution à l'ICU** sans détériorer le confort thermique en privilégiant une faible inertie, surtout sur des surfaces exposées longtemps au soleil. On va opter de manière générale pour des **matériaux plus légers** et qui demandent des couches de fondation, en s'adaptant aux usages : par exemple une piste cyclable ne requérant pas la même résistance qu'une voie principale, c'est l'occasion d'y réduire l'inertie.

Par exemple : résines, stabilisé, revêtement alvéolaire, bois, sol en liège.

⁵ En savoir plus : <https://www.adaptaville.fr/vegetaliser-une-dalle-pendant-les-travaux-d-etancheite>

Pour l'albédo, cela dépend du lieu et de sa fréquentation !

Il n'y a pas de recette miracle ! Pour savoir s'il faut opter pour un albédo élevé, contribuant moins à l'ICU mais avec le risque de renvoyer la chaleur sur les passants, il faut s'intéresser à la configuration du lieu et à sa fréquentation. Sans occulter l'aspect visuel.

Pour une place vivante le jour ou une cour d'école exposée au soleil tout au long de la journée, on évitera de choisir un albédo trop élevé pour ne pas les rendre infréquentables l'été. Des solutions permettent d'ailleurs d'y réduire le stress thermique – à commencer par l'ombrage. Il faut aussi **prendre en compte le facteur de vue du ciel** : dans une rue étroite bordée d'immeubles hauts, un albédo élevé est moins pertinent et risque d'aggraver le stress thermique à l'intérieur des bâtiments, à moins que les parois soient réfléchissantes et bien isolées. D'autant que les protections solaires sont souvent conçues pour bloquer les rayons venant du ciel et non du sol (stores, casquettes...).

En revanche, jouer avec **un albédo relativement élevé est intéressant dans des espaces peu fréquentés en journée l'été**, occupés principalement entre la tombée de la nuit et le petit matin (comme le marché de Rungis), ou dans lesquels on peut circuler à l'ombre le jour (comme une rue orientée Nord-Sud, dont un des deux trottoirs est généralement ombragé). En outre, même si l'effet est plus négligeable, si l'on prévoit des contacts entre la peau et le revêtement – par exemple dans une aire de jeux – il vaut mieux éviter des revêtements trop sombres.



En Andalousie, on trouve de nombreux «Pueblos Blancos», dont les sols et les maisons ont des teintes claires. Du point de vue du confort thermique, ce choix convient aux pratiques culturelles : les habitants sortent au coucher du soleil, lorsqu'il ne se reflète plus sur les surfaces et que l'air se rafraîchit.

Point d'attention

En raison de la salissure, les revêtements clairs se foncent avec le temps – ce qui peut représenter une difficulté en soi avec un aspect visuel peu satisfaisant – tout comme les revêtements foncés s'éclaircissent. Ainsi, les différences d'albédo diminuent à l'usage, ce qui réduit le « gain » espéré à terme. Il ne faut donc pas surestimer son effet, notamment face aux surcoûts ou impacts environnementaux éventuels.

À noter que **les albédos extrêmes sont à éviter de manière générale**. Trop faible, il risque de rendre la surface impraticable par les animaux de compagnie (y compris par les chiens d'aveugles), surtout avec une effusivité élevée. Trop élevé, il génère un fort inconfort visuel, et la Ville de Paris a constaté des brûlures sur la jeune végétation environnante en testant des peintures réfléchissantes. **Les peintures les plus réfléchissantes sont à réserver aux toitures.**

Privilégier des revêtements poreux ?

Pendant un été sec, l'effet rafraîchissant par évaporation des revêtements poreux sera limité, ce qui est d'ailleurs aussi le cas de la végétation. Il est néanmoins possible d'exploiter leurs propriétés en les irriguant, soit avec un système souterrain, soit en les arrosant en surface.



Se pose alors la question de l'utilisation de la ressource en eau, une telle solution peut d'ailleurs s'inscrire dans une réflexion plus globale de gestion des eaux de pluie. Et pour un système souterrain, un surcoût important est à anticiper. L'irrigation n'est donc pas forcément à généraliser, mais à envisager dans des lieux et moments stratégiques.

Une « estrade rafraîchissante » a été expérimentée à La Défense pendant l'été 2021. Elle intégrait notamment des pavés poreux, alimentés en eau pluviale – comme les végétaux – récupérée, stockée puis acheminée via un réseau sous la dalle, afin de profiter de l'évapotranspiration lors des fortes chaleurs⁶. Le principe d'irriguer des pavés poreux avec de l'eau de pluie récupérée a aussi été testé à Toulouse Aerospace⁷.

À noter que les revêtements poreux ont tendance à avoir une inertie moindre, en raison des espaces vides qu'ils contiennent, et à être moins réfléchissants en raison de leur rugosité.

Ne vous souciez pas que des revêtements, et pas que de la chaleur !

Il convient enfin de rappeler que les revêtements sont loin d'être les seuls éléments influençant l'îlot de chaleur urbain et le confort thermique, et offrent une marge de manœuvre limitée si on ne peut pas désartificialiser.

Ombrager un espace avec des arbres ou à défaut des ombrières reste le moyen le plus efficace de le rafraîchir. Et pour **réduire significativement l'ICU, il faut généraliser un éventail de solutions sur son agglomération** : végétaliser partout où cela est possible, faciliter les brises thermiques, repeindre des toitures en blanc, limiter le recours à la climatisation et autres apports thermiques, ...

Une opération coûteuse – et polluante – sur la voirie uniquement pour modifier les propriétés thermiques du sol n'est pas forcément pertinente. Il est plutôt conseillé d'avoir cette réflexion à l'occasion de transformations : changements de destination, création de pistes cyclables, déconnexion du réseau d'assainissement, cour Oasis...

⁶En savoir plus : <https://www.adaptaville.fr/des-oasis-de-fraicheur-testees-a-la-defense>

⁷En savoir plus : <https://www.adaptaville.fr/pave-drainant>

LE PÔLE D'ÉCHANGE MULTIMODAL D'AURAY (AREP)

DES REVÊTEMENTS ADAPTÉS À L'INTERMODALITÉ

Dans le cadre de la transformation du Pôle d'échange multimodal (PEM) d'Auray, l'AREP était maître d'œuvre pour le réaménagement des parvis et des espaces d'intermodalité. Cette agence pluridisciplinaire, filiale de SNCF Gares & Connexions, porte une démarche engagée pour réduire l'impact carbone des projets qu'elle conçoit pour les collectivités.

INFORMATIONS GÉNÉRALES

- **Maîtrise d'ouvrage :** Agglomération Quiberon Terre Atlantique
- **Maîtrise d'œuvre :** AREP
- **Surface :** 37 095 m²
- Travaux réalisés entre juin 2019 et juillet 2023
- **Coût :** coût global d'opération : 4,8 M€
 - VRD : 4,1 M€, dont 2,6 M€ de travaux d'aménagement de la surface
 - Espaces verts : 700 000€

→ ÉTAT INITIAL

Le Pôle d'échange multimodal (PEM) de la Gare d'Auray, commune de 14 155 habitants (INSEE 2020), se situe dans le Morbihan, en Bretagne, à proximité direct d'espaces naturels.

Différents modes de déplacement convergent dans cet espace, fréquenté par 943 000 personnes en 2018 :

- Les trains de la gare : le TGV Paris-Quimper, des TER de Bretagne et la ligne Auray-Quiberon en période estivale ;
- Des piétons ;
- Des bus (gare routière) ;
- Des voitures ;
- Des vélos.

La fréquentation est très importante pendant l'été, moins durant le reste de l'année.

Avant sa transformation, une grande partie de l'espace était dédié à la voiture, avec beaucoup de surfaces minérales. On trouvait au sol principalement de l'enrobé, avec quelques alignements de pavés devant le parvis.



→ CONTEXTE DU PROJET

La construction d'un nouveau bâtiment voyageur, la libération des emprises ferroviaires du TAC (Train Auto Couchette) et un besoin d'une gare routière plus capacitaire ont motivé l'Agglomération Quiberon Terre Atlantique à réaménager globalement le PEM d'Auray.

Le bâtiment voyageur et la passerelle de la gare appartiennent à SNCF Gares & Connexions.

Le parvis et les espaces d'intermodalité appartiennent à l'Agglomération Quiberon Terre Atlantique, qui a souhaité que leur transformation réponde à plusieurs objectifs :

- Mettre le piéton au centre du projet et effacer le caractère routier des aménagements ;
- Renforcer la lisibilité des parcours et recoudre les espaces de l'intermodalité avec les continuités urbaines ;
- Apporter du confort aux usagers ;
- Introduire des îlots de fraîcheur grâce aux revêtements, à la végétation et aux ombrières ;
- Désimpermeabiliser les sols et déminéraliser l'espace ;
- Offrir des ambiances paysagères variées et riches en biodiversité ;



- Identifier, dans une approche inclusive, des usages pour tous ;
- Travailler avec le « déjà-là ».

Ce projet complexe a débuté en 2014 et a mêlé beaucoup d'acteurs, dont différents financeurs : l'Agglomération Quiberon Terre Atlantique, SNCF Gares & Connexions, la Région Bretagne.



→ DESCRIPTION DU PROJET

La transformation du parvis et des espaces d'intermodalité a compris :

- La création de la Gare routière avec 8 postes à quai ;
- La création de 100 places vélos sécurisées ;
- La création de 428 places de parking ;
- La requalification des cheminements pour connecter les différents modes de déplacement (gare routière, stationnements, déposes minutes, etc.).

Les différents matériaux utilisés pour les revêtements de sols permettent d'identifier les différents espaces du PEM :

- **Le parvis a été aménagé avec du granit**, matériau géosourcé, pour avoir un impact carbone plus faible et dégager moins de chaleur qu'un matériau coulé sur place. Il a également été choisi pour son esthétique, enjeu important pour le parvis, qui a été pensé comme un espace noble : son aspect rappelle le granit des falaises bretonnes.
- **Les zones d'attente et de détente (assises) ont été végétalisées avec des arbres et des pavés engazonnés** sur des surfaces assez étendues à leurs pieds. L'idée était de créer une prolongation minérale des espaces verts. Les pavés sont accompagnés de noues pour que l'eau puisse s'y infiltrer s'il arrivait que les joints des pavés se colmatent.



- **Les routes, les voies du parking et de la gare routière sont en enrobé**, matériau facile d'entretien, peu coûteux pour y intervenir, et sans temps de séchage nécessaire lors de sa mise en œuvre. L'enrobé des voies du parking est drainant. Sur la Rue Pierre et Marie Curie et les voies de la Gare routière, c'est un enrobé grenailé qui a été choisi. Sa couleur claire et les granulats apparents permettent de réduire l'impact de la chaleur et d'avoir des tons qui rappellent le traitement des espaces piétons afin d'effacer l'aspect routier.

- **Les trottoirs sont en béton** afin de permettre un entretien facile, d'éviter les nuisances sonores liées aux valises des voyageurs et d'assurer le confort des piétons. Le béton choisi est **bouchardé**, pour donner un aspect qui imite les pierres naturelles et assurer la visibilité du parcours piéton.

- **Sur les places de stationnement, des dalles alvéolaires engazonnées infiltrantes** ont été posées. Elles sont résistantes à la charge des véhicules tout en étant perméables sans risque que le parking devienne boueux. Une **chaussée réservoir** a été placée en dessous pour éviter que les eaux pluviales chargées en hydrocarbure ne s'infiltrerent directement dans la nappe. Ces structures réservoirs sont raccordées par des drains aux espaces végétalisés et jardins de pluie pour les irriguer.



→ MISE EN ŒUVRE / CONTRAINTES

Le niveau élevé de la nappe phréatique sous les zones de stationnement ne permettait pas d'infiltrer les eaux pluviales à la parcelle. Cela a demandé une épaisseur importante de la couche drainante pour récupérer l'eau dans la structure réservoir. L'AREP travaille en ce moment sur des nattes géotextiles pour fixer les polluants et infiltrer en sous-sol, mais elles ne sont pas encore opérationnelles.

→ A POSTERIORI

Le choix des revêtements a été fait en prenant en compte l'entretien. C'est en effet un enjeu particulièrement important dans un contexte de gare, où la fréquentation est importante et où l'on constate beaucoup de déchets abandonnés ou renversés (nourriture, boissons, mégots de cigarette, etc.). L'Agglomération est globalement satisfaite de l'entretien des matériaux et des espaces verts, qui se fait en gestion différenciée.

CONTACT

Fabrizio CALOSCI, AREP - Direction Territoires

REVÊTEMENTS ET GESTION DES EAUX PLUVIALES



Outre la réduction du risque d'inondation et des pollutions causées par le ruissellement, cette gestion alternative des eaux pluviales permet de réduire les coûts de la gestion par réseau (raccordement, traitement en station d'épuration), de favoriser la biodiversité, de contribuer au rafraîchissement de la ville, de réduire les besoins d'arrosage, ou encore d'améliorer la valeur paysagère.

LA DÉSIMPÉRMÉABILISATION EST FORTEMENT SUBVENTIONNÉE PAR LES AGENCES DE L'EAU, COMME L'AGENCE DE L'EAU SEINE NORMANDIE SUR LE BASSIN-VERSANT DE LA SEINE.

Prendre en compte le sous-sol

Un projet de réaménagement urbain se doit d'intégrer la dimension de gestion des eaux pluviales. Il doit d'abord se fixer un objectif de volume à infiltrer sur place, selon :

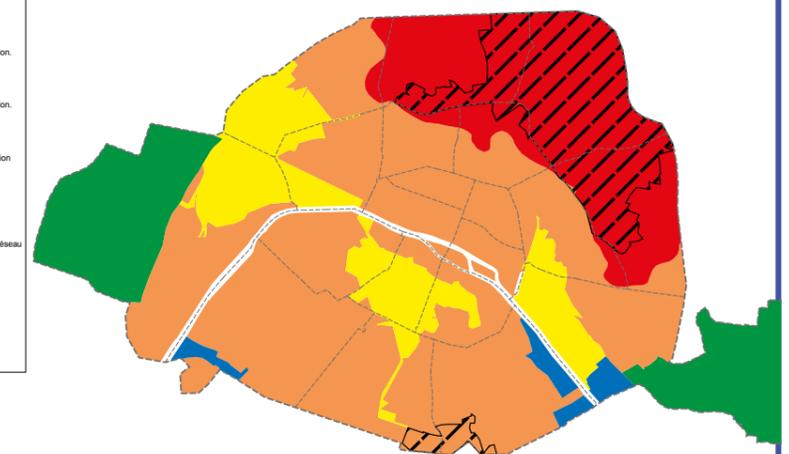
- la lame de pluie à abattre (à Paris, la pluie de référence est de 16 mm à Paris, soit 16 L/m², et la pluie d'orage décennale de 48 mm) ;

- la surface sur laquelle tombe l'eau de pluie à abattre par le projet (en incluant par exemple la toiture quand une gouttière s'y déverse) ;
- la perméabilité des sols et sous-sols, qui est par exemple forte pour les sables, graves et calcaires, mais faible pour les argiles et les granites ;
- la sensibilité de la zone à l'infiltration, par exemple en raison de sols argileux ou de poches de gypse antéluvien (le gypse étant soluble dans l'eau, ces dernières empêchent d'infiltrer l'eau dans le sol) ;
- la présence de réseaux souterrains, qui peut contraindre l'infiltration ;
- la hauteur d'une éventuelle nappe phréatique (il faut qu'elle soit à plus d'un mètre de profondeur).

On peut se fier au zonage pluvial intégré dans le Plan Local d'Urbanisme et réaliser une étude préalable pour bien dimensionner l'objectif d'abattement du projet.

L'excédent devra lui aussi être géré pour ralentir le débit rejeté vers le réseau et le milieu naturel.

Ici, l'exemple du zonage pluvial de Paris. Il repose sur la règle du seuil : une partie de l'eau de pluie tombée sur un terrain ou un ensemble doit être gérée à la parcelle (infiltrée, évaporée ou réutilisée). Le cumul à retenir prescrit dépend de la zone : par exemple dans la zone verte les 16 premiers millimètres de pluie ne doivent pas être rejetés au réseau d'assainissement, l'obligation ne concerne que les 4 premiers millimètres dans la zone rouge.



⁸ Un Pari(s) tombé à l'eau? | Paris-Malaquais.

⁹ L'INSTITUT PARIS REGION, Inondations par ruissellement, un risque sous-estimé

En bref

- Désimpermeabiliser la ville permet de réduire sa vulnérabilité face aux fortes pluies ;
- La stratégie de gestion des eaux pluviales dépend de la capacité d'infiltration du sous-sol et des usages à la surface ;
- Lorsque cela est possible, le ruissellement de l'eau vers des espaces végétalisés est à privilégier ;
- Si l'espace en surface n'est pas suffisant pour végétaliser, les revêtements poreux et perméables sont intéressants pour limiter le ruissellement en surface.

- Les pluies torrentielles engendrent des **inondations par ruissellement**. Très soudaines et localisées, elles sont souvent sous-estimées alors qu'elles peuvent provoquer d'importants dégâts (perturbation des transports en surface et souterrains, dégradation des bâtiments et infrastructures, détérioration des réseaux énergétiques et de communication, objets et produits dangereux charriés par les eaux, coûts de remise en état...).

LE RUISSellement DES EAUX DE PLUIES EST À L'ORIGINE DE 88 % DES ARRÊTÉS DE CATASTROPHE NATURELLE LIÉS AUX INONDATIONS ENTRE 1982 ET 2021⁹.

→ COMMENT GÉRER L'EAU DE PLUIE DIFFÉREMENT

Du tout tuyau à la gestion à la parcelle

Il convient de privilégier une gestion alternative des eaux pluviales à la méthode du tout tuyau, en passant à une gestion à la parcelle. Le principe est **d'infiltrer l'eau au plus près de là où elle tombe**, et de créer des zones tampons où l'excédent qui ne peut pas être infiltré sera retenu. On peut aussi ajouter des dispositifs de récupération. On réduit ainsi le débit déversé dans les réseaux et le milieu naturel, on peut même dans certains cas déconnecter complètement un espace du réseau.

La désimpermeabilisation dans la réglementation

- Un parc de stationnement de plus de 500 m² (neuf ou en renouvellement de concession) « doit intégrer sur au moins la moitié de leur surface des revêtements, des aménagements hydrauliques ou des dispositifs végétalisés favorisant la perméabilité et l'infiltration des eaux pluviales ou leur évaporation » (Article L111-19-1 - Code de l'urbanisme, à la suite de la loi Climat Résilience).
- Les plans locaux d'urbanisme intègrent un zonage pluvial qui prescrit les objectifs et les principes d'abattement des eaux pluviales à atteindre selon les zones.
- Les communes peuvent taxer chaque mètre carré couvert de béton non drainant ou de bitume jusqu'à 1€/m² (décret N° 2011-815 du 6 juillet 2011).

→ LE PROBLÈME DES VILLES IMPERMÉABLES

Les sols des villes sont majoritairement imperméables – à 75 % pour Paris⁸ (si l'on exclut les bois de Vincennes et de Boulogne). Au lieu de s'infiltrer dans le sol, une grande partie des eaux de pluie ruisselle sur les revêtements et est collectée par un réseau. Il peut s'agir d'un réseau dédié à l'eau pluviale, dit séparatif, ou commun aux eaux usées, il s'agit alors d'un réseau d'assainissement unitaire, comme c'est le cas dans l'ancien département de la Seine.

En plus d'empêcher les nappes de se recharger, cette imperméabilisation est particulièrement problématique lors des fortes pluies, qui devraient s'intensifier sous l'effet du changement climatique :

- Dans le cas d'un réseau unitaire, elle engendre un débordement qui nécessite **le déversement d'eaux usées dans le milieu naturel**, contribuant par exemple à polluer la Seine.

Infiltration et retrait-gonflement des argiles (RGA)

Sous l'effet de variations de leur taux d'humidité, les sols argileux se rétractent et se contractent, entraînant des mouvements de terrains qui provoquent des dommages importants sur les bâtiments et les infrastructures routières. L'imperméabilisation des sols argileux est souvent préconisée pour limiter ce risque. Quoi qu'il en soit, l'argile étant peu perméable, seule une faible quantité d'eau peut y être infiltrée. Néanmoins, d'après Adopta¹⁰, il est possible d'y infiltrer les pluies courantes (jusqu'à 10 mm) de manière diffuse sans aggraver ce phénomène, qui se produit d'ailleurs surtout lors de sécheresses. Et il est possible de retenir l'eau dans les couches supérieures pour gérer les pluies plus importantes. Un revêtement perméable est donc envisageable au-dessus d'un sol argileux, même si une étude préalable est nécessaire pour le confirmer au cas par cas.

Pour aider à bien dimensionner les aménagements visant l'abattement des eaux pluviales, le Cerema et le Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains (Leesu) de l'École des Ponts Paristech ont créé l'outil d'aide à la conception OASIS¹¹. Il permet d'évaluer l'efficacité de ces ouvrages face aux pluies fréquentes et aux pluies intenses.



Pour gérer les eaux de pluie à la parcelle, la municipalité de Gennevilliers a créé de larges espaces plantés, vers lesquels ruissellent les eaux pluviales sur du béton désactivé. À gauche, la place Jaffeux, à droite, la place du Cadran Solaire.

Que faire : revêtements imperméables, poreux ou perméables ?

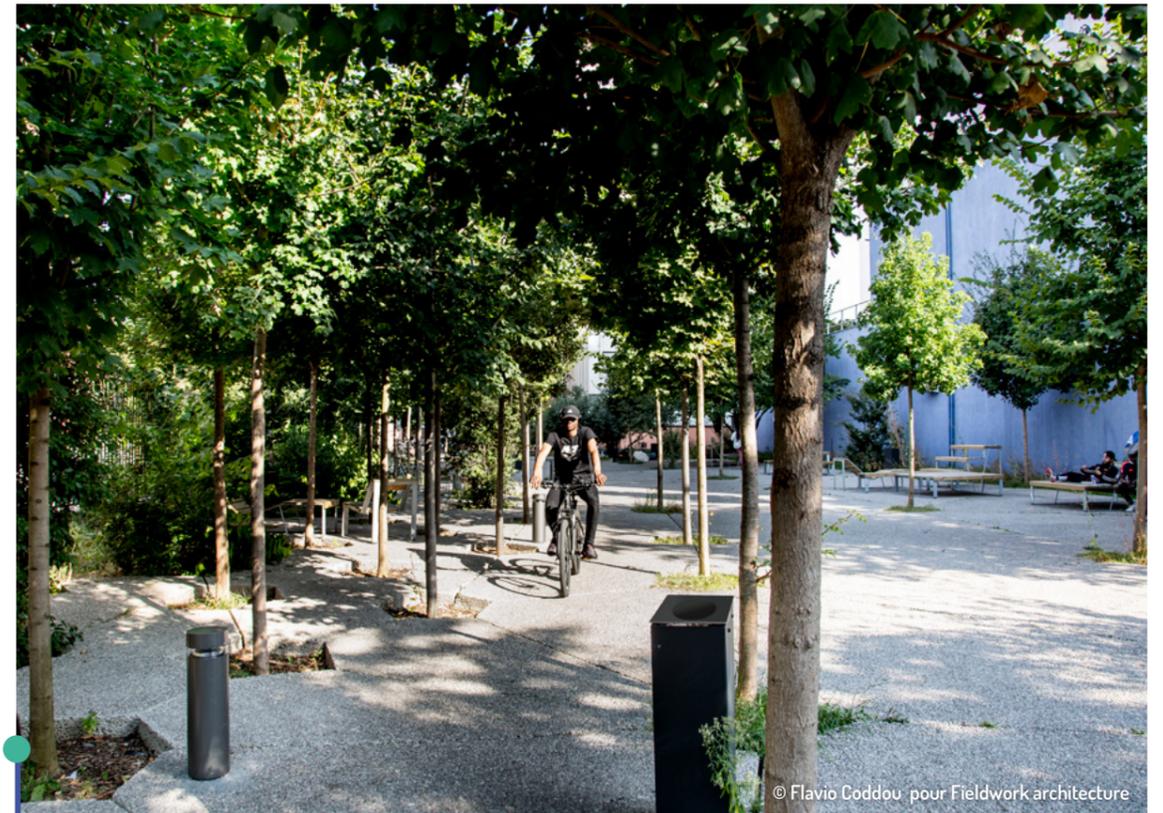
Le projet doit ensuite intégrer des dispositifs pour infiltrer et retenir l'eau afin de remplir ces objectifs, tout en satisfaisant les besoins du lieu.

On peut distinguer deux logiques, qui peuvent être combinées dans un même projet, où les revêtements jouent des rôles distincts.

1. Faire ruisseler l'eau sur des revêtements imperméables vers des dispositifs dédiés

De préférence des aménagements végétalisés (noues, fosses d'arbres, jardins de pluie, mares), qui favorisent l'évaporation et dépolluent l'eau de pluie. L'eau peut aussi être dirigée vers des dispositifs de récupération. Les nivellements et les dévers doivent alors être pensés pour diriger l'eau au bon endroit, et le passage de l'eau ne doit pas être bloqué, par des bordures par exemple.

Cette logique est à privilégier **lorsqu'on peut libérer de la place – sans sacrifier des usages – pour intégrer des espaces végétalisés**. Si l'eau ne peut pas s'infiltrer partout, par exemple au-dessus d'un parking souterrain ou trop près d'un bâtiment, elle permet aussi de concentrer l'eau là où l'infiltration est la plus propice. Les revêtements imperméables sont aussi plus adaptés aux voiries très fortement sollicitées.



© Flavio Coddou pour Fieldwork architecture

Sur cet ancien parking transformé en îlot de fraîcheur à Aubervilliers, le bitume a été remplacé par un revêtement perméable, qui recouvre la fosse de plantation des arbres. Un ouvrage de stockage d'eau de pluie a été réalisé en sous-sol relié à des drains en terre cuite pour alimenter les arbres.

2. Infiltrer l'eau là où elle tombe grâce à des revêtements poreux

Les matériaux poreux absorbent l'eau grâce aux pores qu'ils contiennent. Si ces pores sont connectés, l'eau peut circuler et donc passer au travers, on parle alors de matériaux perméables. Ceux-ci sont souvent complétés par une structure réservoir et une couche drainante, l'eau s'infiltré ensuite dans le sol si celui-ci le permet. L'eau peut aussi être restituée sous le revêtement vers des plantes ou un exutoire dédié.

L'utilisation de revêtements perméables est très utile **lorsque l'espace n'est pas suffisant pour créer des dispositifs végétalisés**, ou lorsque le sous-sol n'est pas propice à la concentration des eaux en un point, car sensible ou peu perméable. Néanmoins, ils ne suffisent généralement pas à gérer les pluies très intenses, et ne permettent pas de dépolluer l'eau de pluie comme le font les végétaux.

Par exemple : revêtements alvéolaires, enrobé ou béton coulé drainants, pavés drainants ou à joints poreux, résines drainantes, mélange pierre-terre, bois, copeaux, sol en liège.

Végétalisation et revêtements perméables peuvent aller de pair. S'ils recouvrent une fosse de plantation, ils permettent d'irriguer les plantes. Certains revêtements perméables peuvent eux-mêmes être végétalisés.

Les solutions végétalisées de gestion des eaux pluviales sont à privilégier. D'une part, elles sont plus efficaces : elles facilitent l'infiltration dans le sol et favorisent l'évaporation après une pluie, ce qui permet de gérer des lames d'eau plus importantes. D'autre part, la végétation dépollue l'eau de pluie avant qu'elle s'infiltré dans le sol. Végétaliser permet aussi de favoriser la biodiversité et le rafraîchissement de la ville.

¹⁰ <https://www.adopta.fr/wp-content/uploads/2023/02/Adopta-Sensibilisation-06.pdf>

¹¹ <https://www.cerema.fr/fr/actualites/gestion-eaux-pluviales-oasis-outil-aide-au-dimensionnement>

→ QUELLES PERFORMANCES ATTENDRE D'UN REVÊTEMENT PERMÉABLE ?

Si l'on opte pour des revêtements perméables, ceux-ci doivent répondre à un **double objectif** : **contribuer à l'abatement, et répondre aux usages du lieu**. On va principalement s'intéresser à son **coefficient de perméabilité** et à sa **résistance aux sollicitations** qui l'attendent. Si la grande diversité des revêtements perméables permet de trouver des alternatives adaptées à la plupart des situations, il faut en général trouver le bon compromis entre perméabilité et résistance. Le confort de marche et de circulation sont aussi à considérer.

Le coefficient de perméabilité (K) nécessaire va dépendre du volume que doit abattre la surface recouverte par le revêtement dans le projet (voir précédemment). À noter qu'une trop grande quantité d'eau à gérer au m² augmente le risque de colmatage, il vaut donc mieux désimperméabiliser une large surface que compter sur des revêtements très perméables pour y diriger l'eau de surfaces imperméables.

La plupart des revêtements perméables ayant un coefficient de perméabilité important (supérieur à 10⁻⁴ m/s), c'est souvent la perméabilité du sous-sol qui déterminera la vitesse d'infiltration. Si le revêtement est beaucoup plus perméable que les couches géologiques, il faudra prévoir une importante couche drainante.

Concernant la résistance, pour les surfaces qui accueillent la circulation de véhicules il faut choisir des revêtements carrossables (qui résistent à l'orniérage) et qui résistent aux charges demandées. Ainsi certains sont utilisables pour une circulation faible à modérée, tous ne permettent pas le passage de poids lourds, ils peuvent être plus ou moins adaptés au stationnement... Et de manière générale, plus le revêtement sera sollicité, en termes de trafic (nombre de passages, poids des véhicules) ou de manœuvres (les aires des stationnements génèrent des contraintes particulières liées au carrossage), moins il pourra être perméable.

Les revêtements perméables ont tendance à durer un peu moins longtemps et nécessitent un entretien supplémentaire pour maintenir leur perméabilité. Si besoin, des opérations de décolmatage sont réalisables. Ces surcoûts sont à prendre en compte, mais restent souvent mesurés face aux bénéfices globaux d'une gestion alternative des eaux pluviales et aux aides.

Il faut enfin être vigilant à ce que le revêtement réponde aux besoins des usagers, notamment pour les revêtements modulaires : piste cyclable, voie piétonne, cheminement pour personnes à mobilité réduite, ou voie de circulation, les exigences en termes d'adhérence ou de planéité ne sont pas les mêmes.

RETOUR D'EXPÉRIENCE

LA COUR OASIS DE L'ÉCOLE ÉLÉMENTAIRE MARYSE HILSZ DANS LE 20^E ARRONDISSEMENT DE PARIS

UN ÎLOT DE FRAÎCHEUR DÉCONNECTÉ DU RÉSEAU D'ASSAINISSEMENT

La Ville de Paris entreprend depuis 2017 de réaménager les cours de ses écoles et collèges pour les transformer en îlots de fraîcheur et améliorer le bien-être des enfants. Les choix de revêtements vont dépendre des usages souhaités par l'école et des contraintes techniques, notamment du sol et du sous-sol. L'infiltration des eaux de pluie à la parcelle est un des axes importants du programme Oasis et est mis en place autant que cela est possible.

LA COUR DE L'ÉCOLE MARYSE HILSZ : INFORMATIONS GÉNÉRALES

- **Maîtrise d'ouvrage** : Ville de Paris – Direction des Constructions Publiques et de l'Architecture
- **Maîtrise d'œuvre** : Ville de Paris – Direction des Affaires Scolaires
- **Surface** : 1 780 m²
- **Travaux réalisés** entre juillet 2020 et février 2021
- **Coûts** :
 - Études : 20 € / m²
 - Travaux : 301 € / m²

→ LES REVÊTEMENTS UTILISÉS DANS LES COURS OASIS

Les premières cours réaménagées apportaient une réponse très technique avec un sol minéral drainant (enrobé ou béton drainant), mais l'emploi de ces revêtements a maintenant été abandonné, notamment car le béton drainant s'est colmaté et a perdu sa perméabilité. Les espaces de pleine terre étaient alors souvent réservés à des zones plantées inaccessibles aux enfants, ou aux jardins pédagogiques. La Ville a également planté de l'herbe sur des zones accessibles, mais cette pratique a également été arrêtée, l'herbe se transformant en gadoue sous l'effet du piétinement des enfants.

Au fur et à mesure, des sols plus naturels ont été développés et ont permis de mieux répondre aux objectifs et aux usages et de créer des espaces végétalisés accessibles.

Une partie des revêtements présents initialement peut être conservée, et différents revêtements peuvent être posés, dont notamment :

- Les copeaux, qui peuvent servir à différents usages. C'est une solution que la Ville de Paris porte beaucoup, car ce sont des matériaux naturels et ludiques, qui peuvent être amortissants. Il convient d'anticiper l'entretien assez important (brassage et réassort fréquent) et les a priori de certains parents d'élèves, mais les enfants les apprécient beaucoup.
- Les dalles en béton, pour les usages nécessitant un sol dur, notamment pour la pratique sportive. Elles peuvent avoir des joints infiltrants ou non.
- Le liège coulé, pour les usages nécessitant un sol souple et amortissant mais où l'installation de matériaux fluents (type copeaux) n'est pas possible (contrainte technique en sous-sol, lieu de passage, proche d'une porte...). Le liège est une alternative biosourcée aux caoutchoucs EPDM qui contiennent du plastique.
- Les pavés enherbés, pour des emplacements qui ne sont pas des zones de courses ou de piétinement pour que l'herbe puisse bien se développer et que le pavé tienne bien en place.

En termes de colorimétrie, les revêtements utilisés sont plutôt clairs, mais la Ville revient de plus en plus à des couleurs moyennes à cause de l'inconfort visuel et thermique que peuvent créer les revêtements très clairs dans des zones ensoleillées.

→ ÉTAT INITIAL

L'école élémentaire Maryse Hilsz accueille environ 205 enfants et possédait à l'origine une cour principalement couverte d'asphalte, sur un terrain plat. Une petite bande de pleine terre peu accessible aux enfants était également présente sur un des côtés de la cour, ainsi que quelques arbres entourés de grilles de béton.

La cour avant les aménagements



© CAUE de Paris



© CAUE de Paris

→ OBJECTIFS DU PROJET

La transformation de la cour a été pensée pour apporter plus de fraîcheur en été, de nouvelles perspectives de jeu et un partage plus équilibré de l'espace entre filles et garçons. À l'issue des ateliers de concertation organisés avec les élèves par le CAUE de Paris, les enfants ont exprimé des envies particulières pour leur future cour : avoir des endroits où grimper, où courir, et où se regrouper.

→ DESCRIPTION DU PROJET

Une des volontés de la Ville de Paris sur cette cour était de **tester différents types de sols perméables** : copeaux de bois, sable, graviers, chaussée végétale.

La dalle de béton a été retirée. L'espace de pleine terre a été décloisonné et agrandi. Deux buttes ont été aménagées, pour constituer un îlot de jeu central en relief et végétalisé. La terre excavée lors du chantier a notamment servi à constituer leur relief. Leur structure est faite en gabions, c'est-à-dire des petits murets composés de cages métalliques remplis de granulats. Les arbres ont été conservés et leur grille en béton a été remplacée par des plateformes en bois.

Le muret qui séparait la cour avec celle de l'école maternelle a été détruit et remplacé par une rivière pédagogique alimentée par les eaux de la toiture et des robinets extérieurs à destination des enfants.

Une zone en sol dur a été conservée pour garantir l'accès des véhicules, notamment pompiers, et pour accueillir les activités sportives. Le choix s'est porté sur de l'asphalte clair, afin de tester les effets d'un sol clair sur la température de la cour. Les résultats ne sont cependant pas probants à l'échelle de l'école concernant la réduction de la température ressentie en journée, et le sol clair peut éblouir les enfants.

La cour est désormais **totale** **déconnectée du réseau**, les eaux pluviales qui ruissellent sur l'asphalte imperméable sont dirigées vers les zones plantées ou vers un caniveau connecté à un drain qui passe sous la butte.



La rivière pédagogique, alimentée notamment par le surplus d'eau des robinets extérieurs.

© CAUE de Paris

© CAUE de Paris



© CAUE de Paris

© CAUE de Paris



© Ville de Paris

Butte végétalisée et plateforme tour d'arbre

Terrain de sport

→ MISE EN ŒUVRE / CONTRAINTES

Les travaux ont dû être réalisés en partie en site occupé à partir de la rentrée de septembre 2020. Les enfants de l'école élémentaire ont été accueillis dans la cour de l'ancienne annexe du collège Cristiano Garcia le temps du chantier.

D'autres travaux étaient par ailleurs réalisés en même temps : démolition des anciens sanitaires et construction de nouveaux, construction d'un auvent.

En ce qui concerne les matériaux, la mise en œuvre des gabions sur mesure s'est révélée compliquée, et les finitions ne sont pas toujours satisfaisantes. La Ville recommanderait désormais d'utiliser des gabions standardisés.

Les écoles souhaitent, au maximum, réutiliser les matériaux déjà présents : les gabions avaient donc été choisis en vue de remplir des dalles béton concassées du sol. Il n'a malheureusement pas été possible de les remplir de ces granulats réemployés.

→ A POSTERIORI

Les retours des usagers, enfants et équipe pédagogique, sont très positifs.

Concernant l'entretien et la maintenance, un réasort régulier en copeaux et en sable est nécessaire. Les végétaux demandent également évidemment de l'entretien.

La Ville recommanderait aujourd'hui de ne pas mettre de chaussée végétale à proximité du sable et des copeaux car en débordant de leur zone ils ont tendance à « l'asphyxier ».

CONTACT

Joséphine BUSSIÈRE, Ville de Paris -
Cheffe de projet (DASCO)

REVÊTEMENTS ET IMPACT ENVIRONNEMENTAL



En bref

- Renaturer les sols là où cela est possible ;
- Éviter au maximum le recours à de nouveaux matériaux en s'appuyant sur l'existant ;
- Adapter les matériaux au juste besoin ;
- Privilégier des matériaux naturels ;
- Opter pour des procédés de production moins énergivores ;
- S'approvisionner localement ;
- Valoriser des déchets ;
- Privilégier les revêtements durables et réparables ;
- Prendre en compte la consommation des véhicules.

Les enjeux d'adaptation ne doivent pas faire oublier la question des impacts sur l'environnement, qui sont nombreux lorsqu'on parle d'un chantier de voirie : **émissions de CO₂, consommation d'énergie, biodiversité, exploitation des ressources naturelles (y compris de l'eau), biodiversité...**

Le choix du revêtement va beaucoup influencer sur l'impact environnemental de l'aménagement, en particulier dans la phase de construction, que ce soit la production du revêtement lui-même et des sous-couches, le transport des matériaux, ou la mise en œuvre sur le site.

Un chantier routier émet principalement des GES suivant 4 grandes familles de procédés :

- la production des constituants ;
- la fabrication des produits ;
- la mise en œuvre des produits sur chantier ;
- le transport.

Plusieurs leviers peuvent être actionnés, selon les besoins du projet et les opportunités du lieu, comme développé ci-dessous. Il convient de s'appuyer autant que possible sur les revêtements et matériaux déjà présents sur le lieu du projet, de s'inscrire dans une démarche d'écoconception lorsque de nouveaux revêtements doivent être installés, en privilégiant : des techniques moins énergivores, des matériaux issus du réemploi, un approvisionnement local et des revêtements durables et réparables, une quantité de matériaux adaptée au juste besoin, et de laisser de la place à la nature. La phase de diagnostic fine de l'existant s'avère à ce titre primordiale et va orienter les objectifs d'aménagement.

L'utilisation de matériaux à faible impact environnemental sera d'autant plus facile dans les espaces qui ne sont pas dévolus à la voiture.

Si ces principes généraux seront développés ci-dessous, il est conseillé de s'appuyer sur l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) pour faire un choix éclairé. Les entreprises qui mettent sur le marché des produits de construction comportant des allégations environnementales doivent établir une déclaration environnementale basée sur l'ACV, consultable sur la base Inies.

Pour les projets routiers, des outils d'aides à la décision, les éco-comparateurs, permettent de comparer l'impact écologique de tracés, de variantes constructives pour un projet d'infrastructure de transport, ou d'opérations d'entretien, et notamment de valoriser une technique ou un matériau à partir d'indicateurs simples (ressources, GES...). Les principaux sont :

- SEVE® (créé par Routes de France) ;
- PERCEVAL® (créé par CimBETON) ;
- Variways® (créé par Egis) ;
- Ecorce (créé par Ifsttard devenu l'Université Gustave Eiffel).



© Ville de Saint-Étienne / Charlotte Piérot

À Saint-Etienne, un parking a été transformé en parc urbain en valorisant et réutilisant au maximum les éléments existants. Par exemple, l'enrobé a été découpé afin de créer un réseau de liaisons douces, et a été recyclé en sous-couches de fondation d'un revêtement innovant : le stabilisé fertile¹².

→ S'APPUYER SUR L'EXISTANT

Le revêtement le moins polluant reste celui qu'on ne produit pas. Une nouvelle fois, l'idée ici n'est pas de choisir le revêtement parfait pour l'appliquer partout : il faut prendre en compte ceux déjà présents sur place dans un projet, pour voir si certains peuvent être conservés tels quels, ou être réemployés sur place ou pour un autre projet. Il est important aussi d'évaluer les usages actuels et futurs que ces revêtements vont devoir supporter.

Le revêtement doit-il être remplacé ?

Le remplacement d'un revêtement est pertinent s'il arrive en fin de vie, ou dans le cadre d'un projet de réhabilitation ou de renouvellement, qui est l'occasion de s'interroger aussi sur les questions d'usage.

En revanche il n'est pas toujours nécessaire pour gérer les eaux pluviales à la parcelle : créer des espaces de pleine terre au bon endroit ou scier les bordures d'espaces perméables existants peut suffire.

Pour lutter contre la chaleur, on peut aussi s'interroger sur la pertinence de remplacer un revêtement simplement pour augmenter légèrement son albédo, à la fois du point de vue de l'impact environnemental et du coût.



© UW Urbanwater

Les bordures de cette voie aux abords de la place de Port-au-Prince (Paris 13) ont été percées pour laisser ruisseler l'eau pluviale de la chaussée vers l'espace végétalisé infiltrant.

¹² Pour en savoir plus : Cerema.fr : Voirie, espaces publics : solutions économes. Des fiches pratiques à télécharger.

Y a-t-il des opportunités de réemploi, réutilisation ou recyclage sur place ?

Les notions de réemploi, réutilisation et recyclage peuvent prêter à confusion. On parle de :

- Réemploi lorsque le revêtement est reposé tel quel ;
- Réutilisation lorsqu'il est détourné pour créer un autre type de revêtement ;
- Recyclage lorsqu'une partie de ses composants est utilisée pour fabriquer un nouveau revêtement.

Il est souvent possible de transformer les revêtements existants pour leur donner une nouvelle vie plus ou moins éloignée de leur origine. Voici quelques exemples :

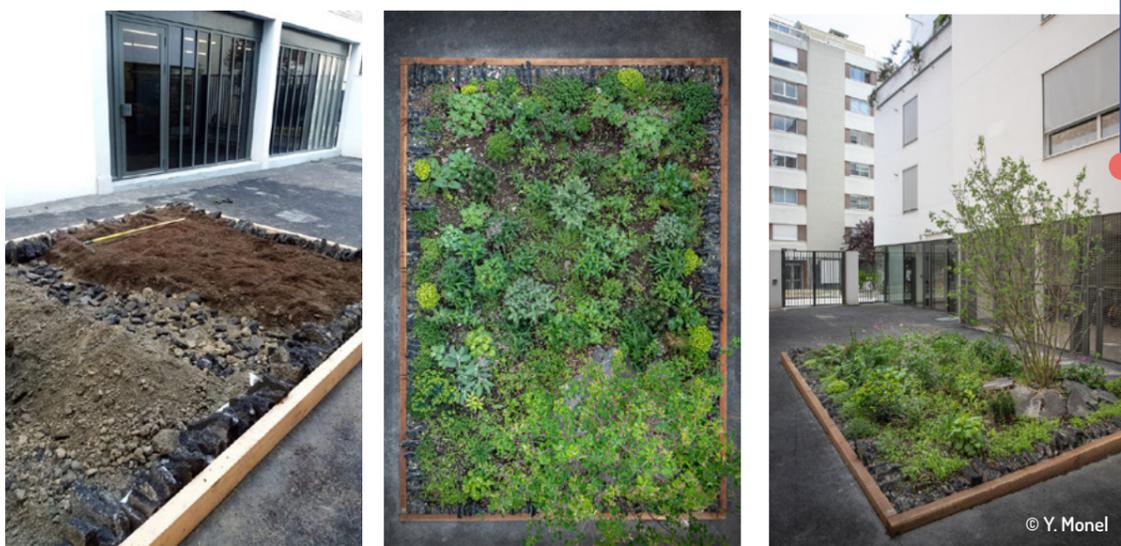
- Scier puis reposer des pavés en pierre à un autre endroit du projet ou sur un projet voisin (réemploi) ;
- Reposer des pavés béton imperméables avec un joint perméable, enherbé ou sans joint (réemploi) ;

- Découper puis morceler le bitume pour servir de support de plantation (réutilisation, voir ci-dessous) ;
- Incorporer les agrégats issus d'une chaussée en béton bitumineux ou en béton hydraulique dans un matériau neuf (recyclage).

→ ADAPTER LA QUANTITÉ DE MATÉRIAU AU JUSTE BESOIN

Selon l'usage, les propriétés que l'on va exiger d'un sol seront différentes. C'est notamment le cas de la portance. Concrètement, une voirie qui doit accueillir des poids lourds aura besoin d'une portance très importante, alors que ce critère sera moins contraignant pour une voie piétonne ou une piste cyclable. Lorsque l'on peut se passer d'une structure lourde et d'un revêtement épais, c'est **l'occasion de réduire la quantité de matériaux utilisée**, et donc l'impact environnemental lié à leur production et à leur transport.

Avec le projet Asphalte Jungle, conçu par Wagon Landscaping, cette cour d'immeuble du parc social a été végétalisée en réutilisant l'enrobé sur place pour en faire un support de plantation de type rocaille.



→ PRIVILÉGIER DES TECHNIQUES MOINS ÉNERGIVORES

Les techniques de production et de mise en œuvre des revêtements sont souvent très énergivores, en particulier pour les voiries en béton ou en bitume, et peuvent représenter la part la plus importante des émissions de gaz à effet de serre d'un projet.

Le cas du béton de ciment

Le béton est produit à partir du ciment, dont un des composants, le clinker, **nécessite d'être chauffé à plus de 1400 °C**.

Des fabricants proposent dorénavant du **béton « bas-carbone »**, en remplaçant une partie du clinker par du laitier de haut-fourneau, un coproduit de l'aciérie. S'ils affichent des gains spectaculaires (jusqu'à 5 fois moins d'émissions) dans les analyses de cycle de vie, celles-ci considèrent souvent le laitier de haut-fourneau comme un déchet ou un coproduit négligeable, lui attribuant donc un bilan carbone quasi-nul. Des modes de calcul différents relativisent l'appellation « bas-carbone » de ces bétons, car, **s'ils sont souvent plus vertueux que le béton de ciment classique, ils restent assez carbonés**¹³.

Par exemple : béton bas-carbone.



Dans le cadre du projet d'aménagement de la voie verte dédiée aux mobilités douces le long du fleuve Têt, Perpignan Méditerranée Métropole a cherché un revêtement qui soit à la fois confortable et écologique. Les cheminements étant situés dans une zone naturelle, l'objectif était d'avoir un revêtement dont la composition et la mise en œuvre n'impacte pas trop les espèces naturelles alentours. Le revêtement Urbalith, à base de liant organo-minéral et coulé à température ambiante, a été choisi pour limiter l'impact environnemental par rapport à une résine classique¹⁴.

© Perpignan Méditerranée Métropole

¹³ Elioth, Le vrai du faux béton bas carbone (2020)

¹⁴ <https://www.inrs.fr/risques/bitume/de-quoi-parle-t-on.html>

¹⁵ En savoir plus : <https://www.adaptaville.fr/desimpermeabiliser-la-voirie-agir-sur-les-amenagements-pietons>

Le cas des enrobés

Le bitume, qui provient du pétrole, est utilisé comme un liant. Il est généralement chauffé à **160 °C pour fabriquer les enrobés bitumineux, et à 200 °C pour fabriquer de l'asphalte**¹⁴. Pour réduire le bilan carbone d'un revêtement bitumineux, le plus gros levier est là encore de réduire l'énergie liée à sa fabrication. Un nombre croissant d'industries routières développe des liants végétaux en remplacement du bitume, qui nécessitent un changement de process, principalement pour les voiries peu sollicitées.

Les **techniques de construction ou d'entretien tièdes ou à froid** se développent : on parle d'enrobés tièdes lorsque la température de chauffe est abaissée d'au moins 30 °C (ce qui permet de réduire l'énergie nécessaire à leur fabrication d'environ 20% mais aussi de réduire les émissions de GES de l'ordre de 30%), tandis que les enrobés à froid sont mis en œuvre à température ambiante, sans séchage ni chauffage. Ces derniers sont peu carbonés, faciles à mettre en œuvre et moins coûteux, et peuvent intégrer des composants naturels. Ils sont en revanche **plutôt adaptés à un trafic faible**.

Par exemple : enrobé bas-carbone.

→ EMPLOYER DES MATÉRIAUX NATURELS ET BIOSOURCÉS

Les **revêtements biosourcés** – fabriqués à partir de matières d'origine biologique – voire complètement naturels, permettent une fabrication moins énergivore, utilisent des ressources renouvelables et peuvent même stocker du carbone.

Certains enrobés à froid utilisent par exemple, plutôt que du bitume, des liants végétaux, généralement issus de la sylviculture. Il existe aussi des bétons végétaux, utilisant des granulats biosourcés, mais dont l'empreinte carbone dépendra principalement du liant.

Les espaces non (ou peu) circulés sont l'occasion d'utiliser des revêtements naturels. Par exemple, le mélange terre-pierre convient aux cheminements. Le bois peut être utilisé sous la forme de platelage pour les chemins, et le mulch, les copeaux ou les écorces, pour des aires de jeux. Le liège constitue une bonne alternative aux sols souples synthétiques.

On trouve aussi des matériaux géosourcés, qui sont eux d'origine minérale. Par exemple la pierre naturelle, qui est surtout intéressante lorsqu'elle ne vient pas de loin, présente l'avantage d'une grande durabilité et réemployabilité.

Par exemple : revêtement à liant organo-minéral, dalle alvéolaire en argile, pavés en pierre naturelle, mélange pierre-terre, copeaux, mulch, bois, sols en liège.

→ S'APPROVISIONNER LOCALEMENT

L'énergie grise liée au transport des matériaux (apport de matériaux neufs et évacuation des déchets vers un centre de traitement des déchets adapté) est loin d'être négligeable dans la phase de construction, elle peut même représenter le principal poste d'émissions de GES. La réduire implique de travailler sur deux leviers :

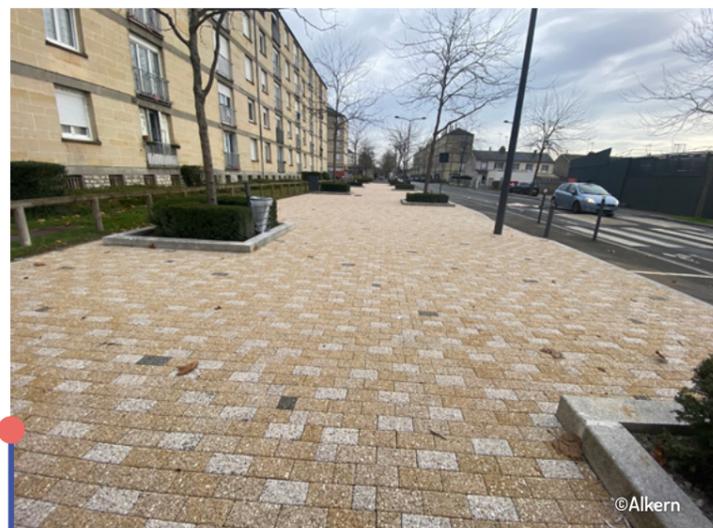
- **Réduire la distance d'acheminement**, en étudiant des opportunités d'approvisionnement locales. Un matériau peut ainsi être choisi pour valoriser une filière de production locale, en cas de carrière à proximité par exemple, ou profiter d'une opportunité de réemploi

d'un projet à proximité. La fin de vie peut aussi être anticipée pour favoriser une valorisation locale des déchets. Au-delà de l'intérêt environnemental, ce choix peut donner un caractère local et une identité plus marquée au projet dans l'esprit d'une construction vernaculaire :

- **Opter pour un mode de transport décarboné** : l'acheminement par voies ferrées ou fluviales permet de réduire considérablement les émissions liées au transport, par rapport à un acheminement routier.

→ VALORISER DES DÉCHETS

Même lorsque le réemploi – à privilégier – n'est pas possible, il est possible d'économiser les ressources en choisissant des revêtements issus de la réutilisation ou du recyclage. Un nouveau revêtement peut ainsi utiliser des granulats recyclés, ou recycler des matériaux bitumineux. Il peut aussi valoriser les déchets d'autres filières, comme les pavés à base de coquillage qui intègrent des déchets de conchyliculture pour remplacer une partie des granulats.



Sur ce trottoir du quartier Madeleine à Orléans, qui accueille un marché hebdomadaire, ont été posés des pavés en béton perméable à base de recyclats de coquilles Saint-Jacques, issus des déchets de conchyliculture. Des teintes spécifiques ont été choisies pour rappeler la pierre calcaire, très présente dans le centre-ville. Le matériau, qui remplace un stabilisé renforcé, s'intègre aussi dans une gestion des eaux pluviales à la parcelle : l'eau s'infiltré à travers les pavés dans les fosses d'arbres continues.

Le réemploi et recyclage des déchets dans la réglementation

La loi n°2015-992 du 18 Août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance fixe des objectifs d'utilisation de matériaux issus du réemploi, de la réutilisation ou du recyclage de déchets. L'État et les collectivités territoriales doivent justifier chaque année (article 79) :

« a) Qu'au moins 60 % en masse de l'ensemble des matériaux utilisés pendant l'année dans leurs chantiers de construction routiers sont issus du réemploi, de la réutilisation ou du recyclage de déchets ;

b) Et que, pour les matériaux utilisés pendant l'année dans les chantiers de construction et d'entretien routiers parmi ces matériaux, au moins 20 % en masse des matériaux utilisés dans les couches de surface et au moins 30 % en masse des matériaux utilisés dans les couches d'assise sont issus du réemploi, de la réutilisation ou du recyclage de déchets. »

Elle introduit également le principe de non-discrimination des produits issus de la valorisation ou du réemploi dans le code de l'environnement (en modifiant l'article L.541-33).

→ PRENDRE EN COMPTE LA DURABILITÉ ET LA RÉPARABILITÉ

Augmenter la durée de vie d'un revêtement est un autre levier pour diminuer son impact environnemental. C'est aussi pour cela qu'il doit bien être pensé dès les phases d'études en lien avec les sollicitations actuelles et futures et les usages qu'il sera conduit à supporter : un revêtement de parking devra résister au carrossage, celui d'une voie principale aux passages répétés des véhicules souvent lourds ; le climat local doit être anticipé, en particulier le risque de gel, de même que la présence d'eau, en particulier dans une zone de stagnation d'eau. De plus, les revêtements n'ont pas tous la même tenue dans le temps.

La réparabilité est aussi un critère important à intégrer : une chaussée dont le revêtement est facilement remplaçable ou réparable pourra durer plus longtemps, et à moindres coûts. Il faut veiller à la disponibilité des matériaux qui peut constituer une problématique pour le gestionnaire.

¹⁵ En savoir plus : <https://www.vie-publique.fr/eclairage/287326-zero-artificialisation-nette-zan-comment-protéger-les-sols>

→ ANTICIPER LA PHASE D'UTILISATION POUR LES CHAUSSÉES CIRCULÉES

Il est important de prendre aussi en compte l'influence du revêtement sur la consommation de carburant des véhicules. Elle est en effet moindre sur les revêtements plus lisses, plats et durs. Cette influence grandit à mesure que la vitesse augmente. Plus la consommation de carburant pèse dans l'analyse de cycle de vie d'une chaussée – en fonction notamment du nombre de véhicules et leur vitesse – plus ce critère sera à considérer dans le choix du revêtement. S'il n'est pas essentiel pour les voies peu circulées ou à faible vitesse, ce critère est à prendre en compte pour les artères principales et les routes. À noter qu'une chaussée en mauvais état augmente également la consommation de carburant.

Les qualités acoustiques peuvent aussi être prises en compte, certains revêtements ayant été conçus spécifiquement pour réduire le bruit engendré par la circulation.

→ PENSER À LA PLACE DE LA NATURE

La question de la végétation est incontournable lorsque l'on s'intéresse à l'impact environnemental d'un projet urbain, où l'un des enjeux sera de concilier les usages du lieu avec la place réservée au végétal, le tout dans un espace contraint. Laisser plus de place à la nature, c'est favoriser la biodiversité et le rafraîchissement de la ville, absorber du CO₂, réduire la pollution, améliorer le cadre de vie, réduire le risque d'inondations...

Limiter l'artificialisation devient aussi un impératif réglementaire avec l'objectif zéro artificialisation nette (ZAN) inscrit dans la loi Climat et résilience, qui doit être décliné dans les documents de planification et d'urbanisme¹⁶.

Le choix du revêtement doit être pensé en lien avec la végétalisation d'un lieu. Comme évoqué dans la partie précédente, la perméabilité du revêtement est un élément important de la gestion des eaux pluviales, qui peut être mise à profit pour l'irrigation des végétaux. Certains revêtements peuvent servir de substrat de plantation : on peut par exemple citer le mélange terre-pierre ou les revêtements alvéolaires. D'autres peuvent être utilisés pour protéger une fosse de plantation, en y laissant s'infiltrer l'eau tout en permettant une circulation piétonne en surface. Enfin, là où cela est possible, on peut redonner sa place à la pleine terre plutôt que de la recouvrir d'un revêtement minéral : cette option reste la plus vertueuse sur le plan environnemental !

LE CENTRE-VILLE DU PRÉ-SAINT- GERVAIS (AREP)

CHOISIR LES BONS REVÊTEMENTS
POUR REQUALIFIER L'ESPACE PUBLIC
ET MAÎTRISER LEUR EMPREINTE
CARBONE

INFORMATIONS GÉNÉRALES

- **Maîtrise d'ouvrage :** Ville du Pré-Saint-Gervais
- **Maîtrise d'œuvre :** AREP mandataire - Repérage Urbain pour la concertation
- **Surface :** 17 000 m²
- Travaux de septembre 2023 à avril 2025 (date prévue)
- **Coût :**
 - Coût global des travaux : 4 m€ dont 1,65 m€ pour la surface et 560 000 € pour les espaces verts
 - Coût des études : 273 500 €

→ ÉTAT INITIAL

Le Pré-Saint-Gervais est une commune de Seine-Saint-Denis limitrophe à Paris. Son centre-ville, structuré par la rue André Joineau, laissait une place importante à la voiture, notamment au travers de nombreux stationnements. C'est le minéral qui dominait l'espace, avec une faible proportion d'espaces verts. Les divers revêtements qui y étaient présents venaient renforcer la fragmentation des espaces et le manque d'unité.



→ CONTEXTE DU PROJET

La municipalité a initié un projet de requalification des espaces publics du centre-ville, s'inscrivant dans le renouvellement de son tissu urbain. Récemment, des opérations de rénovation et le déplacement d'équipements avaient permis de renforcer l'attractivité du cœur historique. Les travaux entrepris sur les espaces publics doivent venir conforter la nouvelle structure de la ville.

La mission de maîtrise d'œuvre sur l'espace public a débuté en 2020, avec une phase de diagnostic et de concertation avec la population (co-traitant Repérage Urbain) qui a duré deux ans. Les travaux ont commencé en septembre 2023.

La municipalité souhaitait pour son centre-ville des aménagements inclusifs et un projet écologique, avec plusieurs objectifs :

- Désencombrer l'espace public et améliorer les continuités piétonnes ;
- Renforcer la lisibilité des usages potentiels, mettre en valeur les activités et commerces ;
- Apaiser le centre-ville en repositionnant le piéton et les modes doux au cœur du centre-ville ;
- Étendre l'image du centre-ville et lui redonner une identité homogène ;
- Conforter les espaces verts et en créer de nouveaux.



→ DESCRIPTION DU PROJET

Pour répondre à ces objectifs, des stationnements ont été supprimés afin d'étendre l'espace dédié aux piétons, et de nouveaux espaces verts ont été créés. La quasi-totalité des revêtements a été décroulée, et les nouveaux revêtements ont été choisis pour améliorer cinq enjeux définis par l'AREP :

- L'albédo ;
- Le coefficient de biotope par surface (CBS) ;
- Le coefficient de ruissellement ;
- Le pourcentage de surfaces perméables ;
- Le pourcentage de surfaces ombrées.

Un calcul de l'empreinte carbone de chaque matériau a été effectué, afin d'optimiser le projet de ce point de vue. On retrouve désormais :

- **Sur les espaces type place piétonne : des pavés Napoléon issus du réemploi,** fournis et stockés directement par la ville. Ces matériaux en pierres naturelles ont des caractéristiques mécaniques compatibles avec la réutilisation en chaussée et ne nécessitent pas systématiquement des tests d'aptitude, notamment s'ils sont réutilisés pour des surfaces piétonnes. Les joints des pavés sont en mortier ou engazonnés selon la fréquentation du lieu où ils ont été posés :
 - Au pied des arceaux des stationnements vélo, les pavés sont perméables, avec des joints engazonnés ;
 - Pour la place du marché, les pavés sont imperméables, avec des joints en mortier.

Dans les zones très fréquentées, les joints engazonnés demandent un entretien assez complexe pour la ville du fait du piétinement, des déchets et du salage l'hiver qui risquent d'endommager le gazon.

- **Sur les places de stationnement des voitures : des dalles alvéolaires perméables en béton bas-carbone à base d'argile** (Materrup). Elles seront engazonnées dans les zones proches des espaces verts, et gravillonnées dans les zones très fréquentées. L'AREP a privilégié cette chaussée végétale au mélange terre pierre par crainte que celui-ci forme de la boue. Le semis végétal naturel permet au contraire une bonne pérennité dans le temps, avec une évolution esthétique au gré des saisons.



- **Pour les cheminements et espaces linéaires : du béton désactivé** en faisant attention à choisir des tons qui ne soient pas trop éblouissants.
- **Pour les cheminements au sein des espaces verts : du platelage bois.**
- **Des copeaux de bois aux pieds des arbres.**

LES PRINCIPAUX TYPES DE REVÊTEMENTS ALTERNATIFS



Sortir du modèle béton-bitume-asphalte en conciliant qualités environnementales, résilience climatique et usages d'un espace, c'est possible grâce à un large panel de revêtements alternatifs ! Comme nous l'avons vu, les paramètres à prendre en compte pour choisir le bon revêtement au bon endroit sont nombreux, et les propriétés de ces matériaux diffèrent parfois grandement. Pour vous faire connaître les alternatives possibles et vous aider à faire un choix, qui sera guidé par l'usage de l'espace à aménager, le degré d'ambition environnementale, les fonctions attendues, le budget ou encore l'aspect esthétique recherché, voici une synthèse des principaux types de revêtements alternatifs.

USAGES - MOBILITÉ DOUCE		USAGES - VÉHICULES	
	Zones piétonnes		Aire de stationnement - véhicules légers et usage modéré
	Pistes cyclables		Aire de stationnement - poids lourds et usage intense
	PMR		Voies peu circulées
	Cours d'école et aires de jeux		Voies principales
	Pieds d'arbres		Poids lourds et voies-pompier

REVÊTEMENTS ALVÉOLAIRES

DALLES ALVÉOLAIRES



Principe
Ces dalles comportent des alvéoles, généralement comblées avec du gazon ou du gravier, et permettent notamment de désimperméabiliser et végétaliser des parkings.

Variantes
Trois matières : plastique, béton ou argile.
La résistance varie selon les modèles, tous ne sont pas adaptés au passage de poids lourds ou à une fréquentation importante.
Les alvéoles peuvent être remplies de gravier.

Usages	Caractéristiques
	<p>Perméabilité : élevée</p> <p>Impact environnemental : faible à moyen</p> <p>Contribution ICU : faible à moyen</p>
	<p>Pérennité : faible à moyenne</p> <p>Entretien régulier : important</p> <p>Réparabilité : moyenne</p> <p>Coût : élevé</p>

↓ BÉTONS COULÉS

BÉTON MONOLITHIQUE ALVÉOLAIRE



Principe
Ce revêtement en béton (bas-carbone) coulé sur place comporte des alvéoles, généralement comblées avec du gazon. Il permet de désimperméabiliser et de végétaliser des parkings. Il offre une meilleure pérennité que les dalles alvéolaires, mais se remplace moins facilement.

Variantes
Les alvéoles peuvent être remplies de gravier.

Usages



Caractéristiques

Pérennité : **bonne**
Entretien régulier : **important**
Réparabilité : **mauvaise**
Coût : **élevé**

Perméabilité : **élevée**
Impact environnemental : **moyen**
Contribution ICU : **moyenne**

BÉTON COULÉ « BAS-CARBONE »



Principe
Le béton coulé sur place permet une grande résistance à la circulation. Des fabricants proposent des bétons moins carbonés à base de ciment sans clinker, qui ne nécessitent pas d'être chauffés à très haute température. Il est aussi possible d'utiliser des granulats recyclés.

Variantes
Formulation perméable (voir « béton coulé drainant »)

Usages



Caractéristiques

Pérennité : **bonne**
Entretien régulier : **facile**
Réparabilité : **mauvaise**
Coût : **moyen à élevé**

Perméabilité : **imperméable**
Impact environnemental : **moyen à élevé**
Contribution ICU : **élevée**

↓ ENROBÉS POUR CHAUSSÉES

ENROBÉ « BAS-CARBONE »

Principe
Des fabricants proposent des enrobés avec un bilan carbone faible voire négatif grâce à plusieurs leviers :

- remplacement du bitume par un liant d'origine végétale ;
- utilisation de granulats recyclés ;
- réduction de la température d'application.

Variantes
Formulation perméable (voir « Enrobé drainant »)



Usages



Caractéristiques

Pérennité : **moyenne**
Entretien régulier : **facile**
Réparabilité : **moyenne à mauvaise**
Coût : **moyen**

Perméabilité : **imperméable**
Impact environnemental : **faible à moyen**
Contribution ICU : **élevée**

BÉTON COULÉ DRAINANT

Principe
En réduisant ou en supprimant la quantité de sable dans la composition du béton, on libère de l'espace qui entraîne la formation de pores dans le mélange, permettant la circulation de l'eau dans la structure du revêtement. Il est possible d'opter pour des matériaux plus ou moins perméables selon la résistance nécessaire. Un entretien plus important est requis pour éviter le colmatage.

Variantes
Formulations « bas-carbone » (voir « béton coulé bas-carbone »)



Usages



Caractéristiques

Pérennité : **bonne à moyenne**
Entretien régulier : **moyen**
Réparabilité : **mauvaise**
Coût : **moyen à élevé**

Perméabilité : **moyenne à forte**
Impact environnemental : **élevé**
Contribution ICU : **élevée**

↓ PAVÉS ET DALLES

ENROBÉ DRAINANT



Principe
Un enrobé est un ensemble de granulats entouré d'un liant, bitumineux ou végétal. En faisant varier la granulométrie, on peut rendre le matériau poreux en réservant des vides. Si ces pores sont connectés entre eux, le revêtement devient alors perméable, permettant la circulation de l'eau dans sa structure.

Variantes
Formulation bas-carbone (voir « enrobé bas-carbone »)

Usages



Caractéristiques

Pérennité : **moyenne**
Entretien régulier : **moyen**
Réparabilité : **moyen**
Coût : **faible à moyen**

Perméabilité : **élevée**
Impact environnemental : **faible à fort**
Contribution ICU : **élevée**

PAVÉS DRAINANTS OU À JOINTS POREUX



Principe
La perméabilité des pavés peut se faire de deux façons :

- les pavés à joints poreux ont des joints élargis, remplis de gravier fin, de sable grossier ou d'un mélange organo-minéral (pavés enherbés, qui sont moins perméables) ;
- les pavés poreux sont constitués d'un matériau perméable, permettant à l'eau de s'infiltrer directement au travers de la voirie. Cela permet une plus grande surface d'absorption que les pavés à joints poreux.

Usages



Caractéristiques

Pérennité : **moyenne à bonne**
Entretien régulier : **moyen**
Réparabilité : **bonne**
Coût : **élevée**

Perméabilité : **moyenne à élevée**
Impact environnemental : **moyen à élevé**
Contribution ICU : **moyenne à élevée**

PAVÉS ET DALLES EN PIERRE NATURELLE



Principe

De nombreuses roches aux propriétés diverses peuvent être utilisées pour fabriquer des pavés ou dalles en pierre naturelle. La perméabilité et la résistance va dépendre de la roche choisie et de la finition, tout comme l'accessibilité PMR.

Usages



Caractéristiques

Perméabilité : **moyenne à élevée**
Impact environnemental : **moyen à élevé**
Contribution ICU : **élevée**

Pérennité : **moyenne à bonne**
Entretien régulier : **facile à moyen**
Réparabilité : **bonne**
Coût : **élevé à très élevé**

REVÊTEMENT À LIANT ORGANO-MINÉRAL



Principe

Le liant organo-minéral est une alternative aux résines synthétiques afin d'obtenir un revêtement à l'impact environnemental moins important. L'agglomérat de granulats est figé par un liant perméable, qui permet la circulation de l'eau au travers de la structure.

Ils sont principalement utilisés pour des aménagements piétons (cheminements, cours d'école) ou des voies mobilités douces.

Usages



Caractéristiques

Perméabilité : **élevée**
Impact environnemental : **faible**
Contribution ICU : **faible à moyenne**

Pérennité : **moyenne**
Entretien régulier : **facile à moyen**
Réparabilité : **moyenne**
Coût : **moyen**

↓ SOLS STABILISÉS

SABLE STABILISÉ

Principe

Il s'agit d'un mélange de sables qui se maintient dans un même état de façon durable et permanente, destiné aux espaces piétons et peu circulés.

Variantes

La stabilisation peut être obtenue par un compactage, mais l'apport de liant est nécessaire pour supporter une circulation modérée.



Caractéristiques

Perméabilité : **faible**
Impact environnemental : **moyen**
Contribution ICU : **moyenne**
Pérennité : **mauvaise**
Entretien régulier : **difficile**
Réparabilité : **moyenne**
Coût : **faible**

Usages



↓ REVÊTEMENTS NATURELS

MÉLANGE TERRE-PIERRE

Principe

Le mélange terre-pierre est constitué de granulats de grosse granulométrie formant une structure autoportante, et de terre végétale, qui assure une stabilisation des sols. Ils peuvent accueillir une circulation occasionnelle de véhicules légers, et servir pour des cheminements piétons dans des parcs.



Usages



Caractéristiques

Perméabilité : **moyenne à élevée**
Impact environnemental : **faible**
Contribution ICU : **faible**
Pérennité : **bonne**
Entretien régulier : **difficile**
Réparabilité : **moyenne**
Coût : **faible**

↓ RÉSINES ET ALTERNATIVES

RÉSINE DRAINANTE



Principe

Comme les autres résines, la résine drainante un revêtement de faible épaisseur appliquée sur un support. Elle offre une bonne adhérence et selon le support et l'épaisseur elle peut supporter la circulation automobile. Elle est souvent utilisée de façon ponctuelle sur la chaussée ou sur des zones piétonnes, de jeu ou des pistes cyclables.

Variantes

Une mise en place à froid et sans solvant réduit l'impact environnemental.

Usages



Caractéristiques

Perméabilité : **imperméable à élevée**
Impact environnemental : **moyen**
Contribution ICU : **moyenne**
Pérennité : **moyenne à mauvaise**
Entretien régulier : **facile à moyen**
Réparabilité : **bonne**
Coût : **moyen**

MULCH, COPEAUX ET ÉCORCES



Principe

On peut utiliser comme revêtement du bois haché comme celui qu'on utilise pour recouvrir le sol entre les plantations. S'agissant d'un produit naturel qui se dégrade, il faut régulièrement le renouveler.

Il est principalement utilisé pour des entourages d'arbre, des aires de jeux et des chemins de jardins et assimilés. Il ne supporte pas le trafic automobile.

Usages



Caractéristiques

Perméabilité : **élevée**
Impact environnemental : **faible**
Contribution ICU : **faible**
Pérennité : **mauvaise**
Entretien régulier : **difficile**
Réparabilité : **bonne**
Coût : **faible**

PLATELAGE BOIS

Principe

Le platelage bois est une surface constituée de planches de bois assemblées pour créer un plancher ou une plateforme.

Il peut être utilisé notamment pour la construction de ponts, de cheminements piétons ou de zones de détente.

Il nécessite un entretien régulier pour préserver son esthétique et prolonger sa durabilité.



© Joacim Bohlander Unsplash

Caractéristiques

Perméabilité : **élevée**

Impact environnemental : **faible**

Contribution ICU : **faible**

Pérennité : **moyenne**

Entretien régulier : **difficile**

Réparabilité : **bonne**

Coût : **élevé**

Usages



SOLS SOUPLES EN LIÈGE



© TS/Mairie de Bordeaux

Principe

Il s'agit d'une alternative aux sols souples coulés synthétiques pour les aires de jeux, composée à 100 % de liège. Il amortit les chutes tout en étant accessible par les PMR. Il présente aussi un bilan carbone négatif et des propriétés drainantes.

Usages



Caractéristiques

Perméabilité : **élevée**

Impact environnemental : **faible**

Contribution ICU : **faible**

Pérennité : **moyenne**

Entretien régulier : **moyen**

Réparabilité : **mauvaise**

Coût : **élevé**

BIBLIOGRAPHIE

AdaptaVille, « Diagnostiquer la surchauffe urbaine : notions et démarches » (2023)

Apur, Les îlots de chaleur urbains à Paris - Cahier n°4 : influence climatique des revêtements de sol à Paris (2017)

Apur, Préservation et valorisation de la ressource en eau brute, Une gestion parisienne des eaux pluviales (2015)

Adopta, fiches techniques et de sensibilisation

Bruxelles environnement, Guide bâtiment durable, « Inertie thermique » (2019)

Bruxelles environnement, Guide bâtiment durable, « Revêtements perméables » (2019)

CERIB, « Lutter contre l'imperméabilisation des surfaces urbaines Les revêtements drainants en béton » (2018)

CIRAIG, Analyse du cycle de vie comparative des chaussées en béton de ciment et en béton bitumineux à des fins d'intégration de paramètres énergétiques et environnementaux au choix des types de chaussées (2009)

CETE de Lyon, Etat de l'art : Contribution de l'infrastructure à la consommation de carburant des poids lourds (2013)

Cerema, Recommandations pour l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre des projets routiers (2020)

Cerema, Revêtements des espaces publics, Guide technique (2018)

Cerema, Voirie, espaces publics : solutions économes, Des fiches pratiques à télécharger (2023)

Ceseau, Dossier thématique : eau souterraine et géologie

DREAL Provence Alpes-Côte d'Azur, Étude sur le coût global des espaces publics, « Fiche technique revêtement » (2019)

Elioth, Le vrai du faux béton bas carbone (2020)

IDRRIM, Mise en oeuvre de prescriptions environnementales dans les marchés publics (2021)

L'INSTITUT PARIS RÉGION, « Inondations par ruissellement, un risque sous-estimé » (2024)

MIT News, « Civil engineers find savings where the rubber meets the road » (2012)

Osmond, P., Sharifi, E., « Guide to Urban Cooling Strategies ». Low carbon living CRC- Australie/Australie. (2017)

PassivAct, « Comprendre l'inertie thermique, la diffusivité, l'effusivité et leurs incidences sur le confort » (2022)

Plante & Cité, Guide « Revêtements perméables des aménagements urbains : Typologie et Caractéristiques techniques » (2021)

Routes de France, Feuille de route décarbonation (2023)

tp.demain, « Intégrer la valorisation et réemploi des déchets de chantier dans les contrats » (2023)

Ville de Paris, Guide d'accompagnement pour la mise en oeuvre du zonage pluvial à Paris (2019)



Agence
Parisienne
du Climat



ADAPTAVILLE

L'AGENCE PARISIENNE DU CLIMAT

L'Agence Parisienne du Climat a pour vocation d'accompagner la mise en œuvre des Plans Climat de la Ville de Paris et de la Métropole du Grand Paris. Experte des politiques climat, elle a pour rôle d'informer et d'accompagner au quotidien les Parisien-nes et les acteurs économiques dans leurs démarches en faveur de la transition énergétique et écologique.

www.apc-paris.com

ADAPTAVILLE : UNE PLATEFORME LOCALE POUR OUTILLER LES VILLES DENSES ET S'ADAPTER AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Face aux impacts du changement climatique, il est important de se préparer dès maintenant, en mettant en place des solutions adaptées au territoire de la Métropole du Grand Paris. De nombreuses solutions existent déjà. Le projet AdaptaVille, lancé en mai 2021 par l'Agence Parisienne du Climat en partenariat avec la Ville de Paris, la Métropole du Grand Paris, et l'ADEME Ile-de-France, référence sur sa plateforme AdaptaVille.fr des solutions d'adaptation au changement climatique pour la ville dense, qui ont fait leur preuve sur le terrain.

Disponibles sous forme de fiches pratiques téléchargeables, les solutions sont présentées avec une approche concrète, des informations transparentes, des retours d'expérience et des contacts directs... le tout couplé à une recherche simplifiée (par aléa climatique, par type de solution et par géolocalisation). Plus de 70 fiches sont disponibles !

En parallèle, des rendez-vous réguliers (rencontres, visites, sessions de travail...) viennent animer la communauté et faciliter le déploiement des solutions à grande échelle pour adapter les villes au climat à venir.

www.adaptaville.fr



Directrice de la publication : Cécile Gruber

Rédacteur en chef : Marin Pognat

Rédactrice : Anna Blouet

Suivi de production : Alice Pigeon

Mise en page et illustration : Chloé Heinis