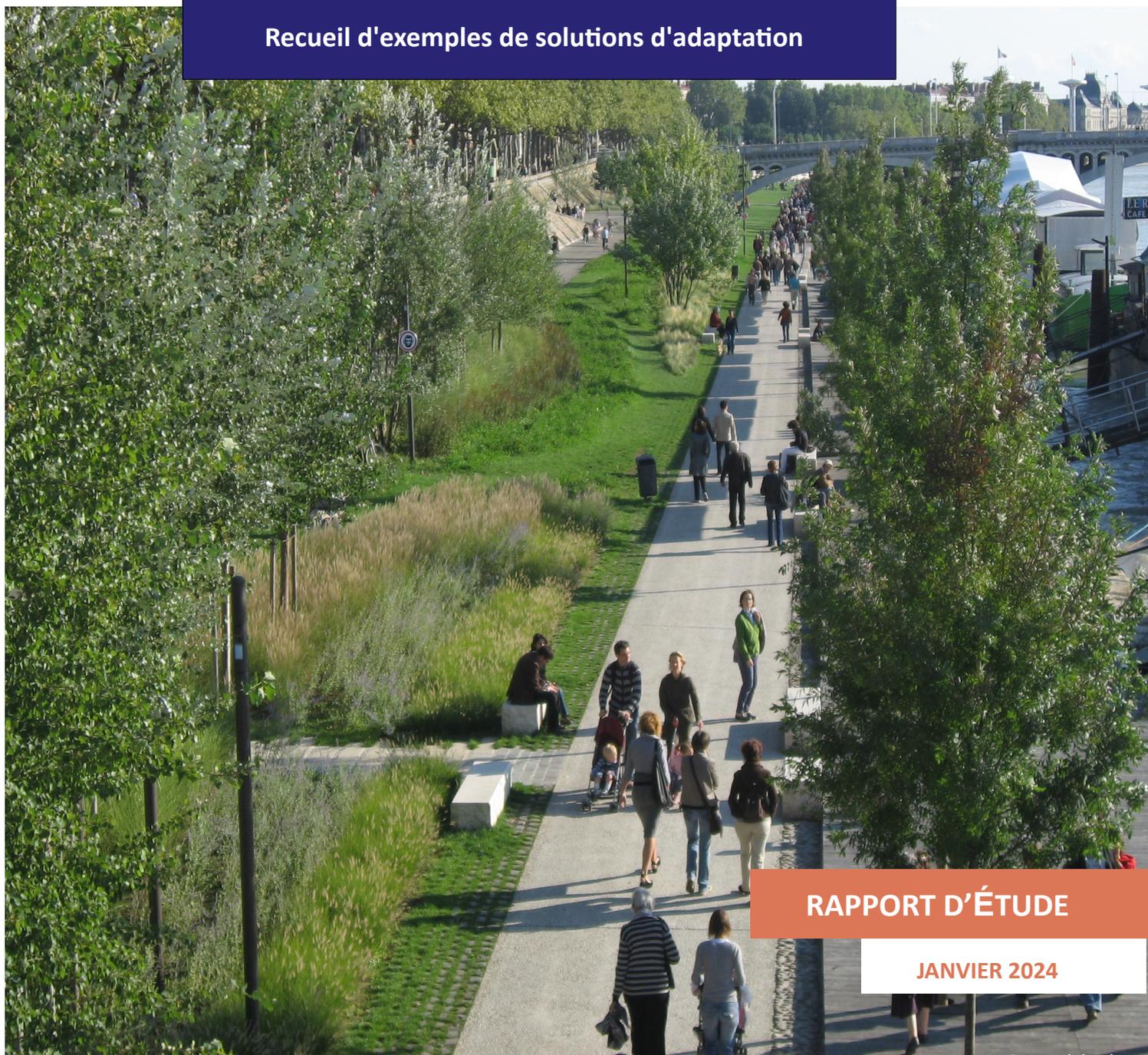


ADAPTER LA VOIRIE URBAINE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Recueil d'exemples de solutions d'adaptation



RAPPORT D'ÉTUDE

JANVIER 2024

Le Cerema est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique, présent partout en métropole et dans les Outre-mer grâce à ses 26 implantations et ses 2 400 agents. Détenteur d'une expertise nationale mutualisée, le Cerema accompagne l'État et les collectivités territoriales pour la transition écologique, l'adaptation au changement climatique et la cohésion des territoires par l'élaboration coopérative, le déploiement et l'évaluation de politiques publiques d'aménagement et de transport. Doté d'un fort potentiel d'innovation et de recherche incarné notamment par son institut Carnot Clim'adapt, le Cerema agit dans 6 domaines d'activités : Expertise & ingénierie territoriale, Bâtiment, Mobilités, Infrastructures de transport, Environnement & Risques, Mer & Littoral.

Site web : www.cerema.fr

Adapter la voirie urbaine au changement climatique

Recueil d'exemples de solutions d'adaptation

Date 19/01/2024

Auteur : Nicolas Furmanek

Responsable du rapport : Nicolas Furmanek

Prénom NOM – Département Mobilités Espaces Publics Sécurité – Unité Espaces Publics Voirie Urbaine
Tél. : +33(0)4.72.74.58.54 et 07.61.41.30.44
Courrier : nicolas.furmanek@cerema.fr
CEREMA – Direction Technique Territoires et Ville – 2 rue Antoine Charial 69003 LYON

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
Version 1	25/09/23	Prise en compte de l'ensemble des commentaires des relecteurs Cerema et externes (collectivités publiques, DGITM)
Version finale	18/01/24	Prise en compte des commentaires de relecture de Marion Ailloud et Patrice Morandas (Cerema Territoires et Ville)

Est remercié pour sa contribution à la rédaction du rapport :

Clément JUNET, apprenti en alternance au sein du département Mobilités – Espace Public – Sécurité (Direction Technique Territoires et Ville) sur le poste de chargé de projets Espaces publics et changements climatiques.

Sont remerciés pour leur contribution à la relecture globale du rapport :

Philippe ROUBIEU (DGITM/DMR)
Patrice MORANDAS, Marion AILLOUD, Cédric BOUSSUGE, Éline ALLIER, Pauline GAUTHIER, Virginie LASSERRE, Loéna TROUVE, Cécile RENAULT (Cerema)

Sont remerciés pour leur contribution sur des parties spécifiques du rapport :

Stéphane TURPIN (Métropole Nice Côte d'Azur)
Fazia TAMALOUST (Département des Hauts-de-Seine)
Nora LAICHOURE (CEMEX)
Benjamin PESSEL puis Paula Van DUC-RAHARINOSY (association Espaces – Mission Eaux pluviales)
Marion DALLO (Ville du Pré-Saint-Gervais)
Julie CALBERG – ELLEN (Ville de Caen)
Maëlle ANCELLE et Jean-Jacques HERIN (Adopta)
Julien VAN ROMPU (Eiffage Route)
Marlène LONG, Marc-Stéphane GINOUX, Lamine IGHIL AMEUR, Enoal VANCOILLIE, Christian SAUTEL (Cerema)

Nota : Les illustrations sont la propriété du Cerema, sauf mention contraire.

Résumé de l'étude

Les voiries urbaines ne sont pas toujours bien adaptées à la situation climatique actuelle. La question de leur robustesse et de leur résilience aux aléas naturels va indéniablement se renforcer dans les décennies à venir en raison des changements climatiques en cours.

Parce qu'elle **restera durablement le principal support des mobilités urbaines**, la voirie urbaine et les services de transport associés devront nécessairement se transformer pour garantir la qualité d'usage des espaces publics de demain tout en étant plus résilients face à l'évolution du climat.

C'est dans cet esprit que le Cerema cherche à **capitaliser des solutions innovantes** efficaces ou prometteuses déjà mises en œuvre et reproductibles à d'autres territoires ou encore des solutions restant à **expérimenter**. La capitalisation de solutions d'adaptation, formalisée dans ce rapport d'étude, est une étape essentielle pour **enrichir la doctrine sur la conception et la gestion des voiries urbaines** dans un contexte de transitions environnementale et climatique.

Ce rapport d'étude a pour ambition de dresser un panorama non exhaustif des stratégies d'adaptation des voiries urbaines et de leur déclinaison opérationnelle (actions, initiatives, techniques d'aménagement...) que commencent à déployer un certain nombre de collectivités au sein de leur territoire.

5 à 10 mots clés à retenir de l'étude

Adaptation au changement climatique	Mobilités
Voirie urbaine	Espaces publics
Qualité d'usage	
Résilience	

Statut de communication de l'étude

Les études réalisées par le Cerema sur sa subvention pour charge de service public sont par défaut indexées et accessibles sur le portail documentaire du Cerema. Toutefois, certaines études à caractère spécifique peuvent être en accès restreint ou confidentiel. Il est demandé de préciser ci-dessous le statut de communication de l'étude.

- Accès libre : document accessible au public sur internet
- Accès restreint : document accessible uniquement aux agents du Cerema
- Accès confidentiel : document non accessible

Cette étude est capitalisée sur la plateforme documentaire [CeremaDoc](https://doc.cerema.fr/depot-rapport.aspx), via le dépôt de document : <https://doc.cerema.fr/depot-rapport.aspx>

Contexte et objet de l'étude

Face aux enjeux climatiques, le Cerema a lancé une **étude nationale sur les nouvelles pratiques d'aménagement des voiries urbaines, une étude en interface avec les problématiques de mobilités décarbonées et partagées**.

Cette étude vient en complément des publications existantes sur la conception de la voirie urbaine. Elle vise à améliorer la qualité d'usage (qu'ils soient le support de déplacements, de séjours ou d'autres activités...) et à renforcer la résilience des voiries urbaines dans un contexte de changement climatique.

Dans la perspective d'une voirie urbaine et d'espaces publics plus résilients face au climat, le Cerema cherche en effet à **capitaliser des solutions innovantes** efficaces ou prometteuses déjà mises en œuvre et reproductibles à d'autres territoires ou encore des solutions restant à **expérimenter**. Cette capitalisation de solutions d'adaptation contribue à **enrichir la doctrine sur la conception et la gestion des voiries** au service de la qualité d'usage des espaces publics de demain.

En réponse aux résultats d'écoute des besoins des acteurs publics et privés issus d'un questionnaire diffusé sur son site internet à la fin de 2021, le Cerema a décidé de produire le présent rapport. Il constitue le produit des réflexions conduites en 2021-2022 au sein d'un groupe de travail impliquant les équipes mobilités en lien étroit avec les équipes aménagement et environnement du Cerema. Il a donné lieu à l'encadrement d'un apprenti alternant au Cerema, chargé de projets « espaces publics et adaptation au changement climatique ».

Ce rapport d'étude a pour ambition de dresser un panorama non exhaustif des stratégies d'adaptation des voiries urbaines et de leur déclinaison opérationnelle (actions, initiatives, techniques d'aménagement...) que commencent à déployer un certain nombre de collectivités alors qu'au même moment, élus, décideurs publics et leurs partenaires n'ont pas tous le même niveau de sensibilisation aux enjeux climatiques d'adaptation.

Par ailleurs, la mise en œuvre de ces stratégies d'adaptation implique, pour les **services techniques** des collectivités, de se conformer simultanément à d'autres exigences et enjeux (accessibilité, sécurité routière, contraintes d'emprise, intermodalité, pluralité d'usages à satisfaire sur un même espace...), qui les conduisent à une révision des pratiques traditionnelles de conception et de gestion de leur voirie.

SOMMAIRE

1 IDENTIFICATION DES VULNÉRABILITÉS.....	12
1.1. Outils et méthodes de diagnostic disponibles.....	12
1.2. Considération de l'évolution du climat.....	15
1.3. Phénomène de retrait-gonflement des sols argileux.....	16
1.3.1 Compréhension du phénomène.....	16
1.3.2 Enjeu pour les gestionnaires routiers.....	17
1.3.3 Et en milieu urbain ?.....	17
1.3.4 Phénomène reconnu au titre des catastrophes naturelles.....	17
2 RÉAMÉNAGEMENT DE PARC DE STATIONNEMENT EN ÎLOT FRAÎCHEUR.....	19
2.1. Rééquilibrage des espaces de stationnement au profit du confort d'usage des piétons.....	19
2.2. Transformation d'un parc de stationnement en un espace hybride pour les piétons	21
2.3. Reconversion d'un parc de stationnement en un parc urbain.....	24
3 INSTALLATION DE DISPOSITIFS ALTERNATIFS D'OMBRAGE.....	26
3.1. Îlot de fraîcheur « Malawa ».....	27
3.2. Voiles d'ombrage.....	28
3.3. Mobilier urbain ombragé : « Matrioshka ».....	30
3.4. Mobilier de type ombrière avec effet rafraîchissant et raccordé au réseau de froid. .	31
4 DISPOSITIFS VÉGÉTALISÉS D'APAISEMENT DES VITESSES ET DE SÉCURISATION DES PIÉTONS.....	32
4.1. Concept des super-îlots à Lyon.....	32
4.2. Avancées de trottoirs végétalisés.....	33
4.3. Chicane traitant les eaux pluviales.....	35
4.4. Végétalisation de places de stationnement à l'amont des passages piétons.....	40
5 REQUALIFICATION DE BOULEVARDS AU PROFIT DES MOBILITÉS ACTIVES ET DU CADRE DE VIE.....	43
5.1. Requalification d'un boulevard urbain en un parc arboré linéaire.....	43
5.2. Réaménagement d'une « autoroute urbaine » en une rue partagée, apaisée et adaptée aux aléas climatiques.....	47
6 INTÉGRATION DES EAUX PLUVIALES AUX ESPACES PUBLICS.....	50
6.1. Jardins de pluie.....	51
6.1.1 Les noues.....	51
6.1.2 Les dispositifs innovants.....	54

6.2. Chaussée à structure réservoir.....	59
6.3. Espaces publics inondables.....	66
6.3.1 Une place multifonctionnelle inondable.....	66
6.3.2 Un quartier résilient face aux inondations.....	68
6.3.3 Exemple d'une aire de stationnement servant de stockage des crues.....	70
6.4. Tranchées drainantes.....	72
6.5. Revêtements perméables aux services des modes actifs.....	74
6.5.1 Exemple d'un revêtement drainant à base de liant végétal.....	74
6.5.2 Exemple d'un revêtement en enrobé poreux.....	75
7 DISPOSITIFS DE RAFRAÎCHISSEMENT.....	77
8 MICRO-VÉGÉTALISATION.....	83
8.1. Stratégie de végétalisation sur trottoirs.....	83
8.2. Création de micro-jardins sur trottoirs.....	88
8.3. Concept de la rue végétale.....	90
8.4. Couverture végétale.....	94
8.5. Micro-implantations florales.....	96
9 DÉVELOPPEMENT DES RÉSEAUX DE TRANSPORT PARTAGÉ ET / OU DÉCARBONÉ...98	
9.1. Aménagement d'une ligne de tramway, ossature de la trame verte existante.....	98
9.2. Plateforme de tramway végétalisée résiliente aux aléas climatiques.....	102
9.3. Arrêts de bus et pôles d'échanges multimodaux ombragés et confortables.....	106
10 VÉGÉTALISATION DES DÉLAISSÉS ROUTIERS.....	109
10.1. Transformation d'un carrefour giratoire en place végétalisée.....	109
10.2. Séparateurs végétalisés pour pistes cyclables.....	112
10.3. Programme de débitumisation des trottoirs.....	115
11 EMBLEMES DE STATIONNEMENT EN VOIRIE.....	118
11.1. Revêtement de pavés à joints enherbés.....	118
11.2. Revêtement en béton monolithique, alvéolaire et perméable.....	120
11.3. Recours au béton perméable.....	124
12 AUTRES DÉMARCHES ET TECHNIQUES INNOVANTES OU INSPIRANTES.....	125
Annexes.....	134

Introduction

Face au changement climatique à l'origine de phénomènes climatiques de plus en plus extrêmes et imprévisibles (canicules, vagues de chaleur, inondations suite à de fortes précipitations, sécheresses...), l'adaptation apparaît comme un levier essentiel pour accroître la résilience des territoires.

Au-delà des risques pour la santé et la sécurité des individus, les phénomènes extrêmes liés au changement climatique sont susceptibles d'aggraver les dommages physiques et de provoquer des pertes et défauts d'exploitation pour les infrastructures et les services de transport. En parallèle, ils conduisent à altérer leur qualité d'usage et le confort dans les pratiques de mobilités. À ce titre, les espaces urbanisés sont particulièrement vulnérables face au changement climatique. En effet, l'artificialisation des sols, le manque de végétation ou encore une morphologie urbaine inadaptée sont susceptibles de générer des phénomènes de surchauffe urbaine ou encore de favoriser le ruissellement des eaux en cas de fortes précipitations. Dès lors, l'adaptation des espaces publics au changement climatique représente un moyen de garantir l'habitabilité de villes et l'attractivité de leurs espaces publics.

Dans cette perspective, le Code de l'urbanisme dispose notamment, dans son article L.101.2, que l'action des collectivités publiques en matière d'urbanisme vise, entre autres objectifs, « [...] la lutte contre le changement climatique et l'adaptation à ce changement [...] ».

Les collectivités locales compétentes en matière d'aménagement et gestion des voiries et des espaces publics, peuvent, à ce titre, mettre en œuvre des solutions d'adaptation.

La voirie urbaine peut être définie comme un « élément du domaine public, constitué par l'ensemble du réseau de voies de circulation terrestre, et de leurs dépendances »¹. L'espace public est, quant à lui, constitué « des voies publiques ainsi que des lieux ouverts au public ou affectés à un service public »² selon la loi du 11 octobre 2010. En outre, ces espaces sont caractérisés par des fonctions multiples, ils sont à la fois marqués par des flux, en tant que lieux supports pour les mobilités, mais ils sont également des lieux de vie à part entière. Adapter ces espaces est donc nécessaire pour garantir leurs fonctions et conserver leurs atouts dans un contexte de changement climatique. Pour plus d'efficacité, une démarche d'adaptation de ces espaces urbains doit alors se baser sur un panel de solutions variées.

Bien que non exhaustif, ce recueil d'exemples, produit dans le cadre d'une étude du Cerema, vise à rassembler différentes solutions ou familles de solutions d'adaptation qui commencent à se déployer ou à être expérimentées sur l'espace public et sur les voiries urbaines en France et à l'étranger.

Les solutions regroupent des aménagements à différentes échelles : mise en œuvre d'aménagements sur le terrain, stratégies et démarches impliquant parfois des initiatives citoyennes. Par ailleurs, ces solutions répondent à plusieurs enjeux d'adaptation qui permettent de faire face à une variété d'aléas climatiques (voir grille d'analyse ci-dessous).

Ce rapport s'adresse aux techniciens travaillant dans le domaine de la voirie ou de l'aménagement opérationnel, concepteurs, services de collectivités locales, bureaux d'études qui pourront y trouver des réalisations concrètes d'aménagement, des projets inspirants potentiellement reproductibles à adapter au contexte local.

Ce rapport s'organise en plusieurs parties, selon la typologie de la solution d'adaptation. Bien qu'il traite des questions d'aménagement des voiries et des espaces publics, ce recueil est largement orienté **sur la question des mobilités et des usages**. En outre, au regard de la nécessité de privilégier une ap-

1 <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/voirie/82395>

2 <https://www.ruedelavenir.com/thematique/lespace-public/>

proche systémique pour traiter de ce sujet, toutes les solutions recensées sont complémentaires. En conséquence, les différentes parties de ce recueil ne doivent pas être appréhendées isolément les unes par rapport aux autres.

Les différents exemples de solutions d'adaptation au changement climatique ont été recensés puis référencés sur une carte Umap :

https://umap.openstreetmap.fr/fr/map/solutions-dadaptation-au-changement-climatique_696046#13/48.8114/2.3713

De nombreuses autres ressources sont recensées dans le centre de ressources pour l'adaptation au changement climatique qui est développé en partenariat avec le Ministère de la transition écologique, le Cerema, l'ADEME et Météo-France : <https://www.adaptation-changement-climatique.gouv.fr/>

Les exemples recensés par le Cerema dans le cadre de cette étude sont tous présentés sous la forme de fiches synthétiques toutes construites selon la trame suivante qui sert de grille d'analyse.

Pour chaque exemple de solution, l'ouvrage renvoie vers une source bibliographique qui permet d'en savoir plus.

Grille d'analyse

Caractéristique	Critères
MOA (Maîtrise d'ouvrage)	
Nature de la solution proposée (aménagement, démarche, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> • Aménagements du linéaire de voirie • Autres espaces publics (parc / place / espace naturel ...) • Aménagements ponctuels / mobilier urbain • Politique publique / initiative citoyenne / outils
Enjeux d'adaptation aux aléas climatiques	<ul style="list-style-type: none"> • Lutte contre les îlots de chaleur en période de canicules • Meilleure résilience face à la sécheresse • Stockage de l'eau pluviale en cas de fortes précipitations • Limitation des vulnérabilités face aux inondations
Type de solutions d'adaptation	<ul style="list-style-type: none"> • Végétalisation • Revêtement frais ou atténuant la chaleur • Ombrage • Point d'eau / rafraîchissement • Désimperméabilisation • Stockage de l'eau (et infiltration) • Gestion durable et intégrée des eaux de pluie • Stratégie transversale pour tenir compte de la complémentarité des différentes mesures d'adaptation • Sensibilisation et formation des acteurs de l'aménagement aux nouvelles pratiques par des moyens d'information et de diffusion

Description de la solution	
Points forts	Coût réduit, facilités d'entretien, accessibilité, multifonctionnalité, esthétique...
Co-bénéfices	<ul style="list-style-type: none"> • Stockage de carbone (puits carbone) / limitation des émissions (atténuation du changement climatique) • Biodiversité • Lien social • Amélioration du cadre de vie / bien être • Économie circulaire • Inclusion / accessibilité pour les PMR (Personnes à Mobilité Réduite) • Sécurisation des déplacements / délimitation de l'espace • Développement de mobilités plus durables : modes actifs, mobilités partagées • Sensibilisation à la protection de l'environnement • Solution pour limiter les dégradations (ex : street pooling) • Source d'énergie décarbonée et renouvelable • Utilisation plus efficace des fonds publics
Points de vigilance et complexité de mise en œuvre	Technicité de la solution, entretien, accessibilité, sécurité des déplacements...
Coûts (Les informations relatives aux coûts ne sont parfois pas publiées)	<p>De solutions les plus frugales et élémentaires à des solutions plus innovantes nécessitant de forts investissements en termes de R&D (recherche et développement)</p> <p><i>Précision</i> : Certaines solutions ne rentrent dans aucune de ces deux catégories</p>
Source	<ul style="list-style-type: none"> • Ouvrages de référence • Ressources en ligne • Pour en savoir plus

1 IDENTIFICATION DES VULNÉRABILITÉS

Les événements climatiques ont une influence non négligeable sur les usages et les pratiques de mobilités avec en corollaire une perte d'attractivité, de qualité de service ou d'usage des espaces supports de ces mobilités comme les voiries urbaines et les espaces publics. Face aux enjeux du dérèglement climatique, il est par conséquent essentiel d'identifier ces espaces vulnérables au travers d'un diagnostic des vulnérabilités actuelles et futures. **Le diagnostic de vulnérabilité** est une étape centrale dans la conduite d'une démarche d'adaptation, dans la mesure où il permet de dresser un panorama complet des risques auxquels un territoire, un réseau de transport ou un espace public est confronté ou susceptible d'être confronté à l'avenir. C'est à partir des enjeux identifiés lors du diagnostic que pourront être **planifiées des actions d'adaptation** aux impacts actuels et en anticipation aux impacts futurs.

1.1. Outils et méthodes de diagnostic disponibles

> **Dans le domaine des transports et des mobilités :**

Dans le cadre du premier Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (2011-2015) portant sur le domaine spécifique des transports, le Cerema a développé une méthodologie d'analyse des risques encourus par les infrastructures de transport (aéroportuaires, fluviales, maritimes, portuaires et routières, etc.) face aux aléas climatiques extrêmes actuels et futurs.

La construction de cette méthodologie s'est basée sur la capitalisation de retours d'expérience issus d'analyses de risque menées sur différents territoires et pour plusieurs types d'infrastructures.

Cette méthodologie est un processus en trois étapes :

1 – **la définition et l'analyse des aléas** pouvant impacter les infrastructures. Les aléas retenus comme potentiellement impactant sont ensuite notés sur la base de leurs caractéristiques ;

2 – **la décomposition des réseaux de transport** étudiés en plus petites entités : systèmes (tunnel, pont, etc.) et composants (câble, etc.). L'étude des facteurs de vulnérabilité physique des réseaux, systèmes et composants permet alors de leur affecter une note de vulnérabilité ;

3 – **la définition puis la notation de la criticité fonctionnelle du réseau étudié**, qui est obtenue en croisant les enjeux du réseau de transport sur le plan des mobilités (déplacements domicile-travail, accès des engins de sécurité et de secours, etc.) avec ses caractéristiques fonctionnelles.

Le croisement des notes d'aléas, de vulnérabilité physique et de criticité fonctionnelle permet de définir un niveau de risque pour chaque système ou composant. Une telle analyse découle d'un processus itératif : le nombre d'itérations dépend de la finesse attendue des résultats et donc des objectifs d'analyse.

À l'issue de l'analyse, diverses stratégies et mesures de traitement du risque peuvent être mises en œuvre. Le champ de l'adaptation introduit de nouveaux modes de conception et de gestion de la voirie urbaine et des espaces publics.

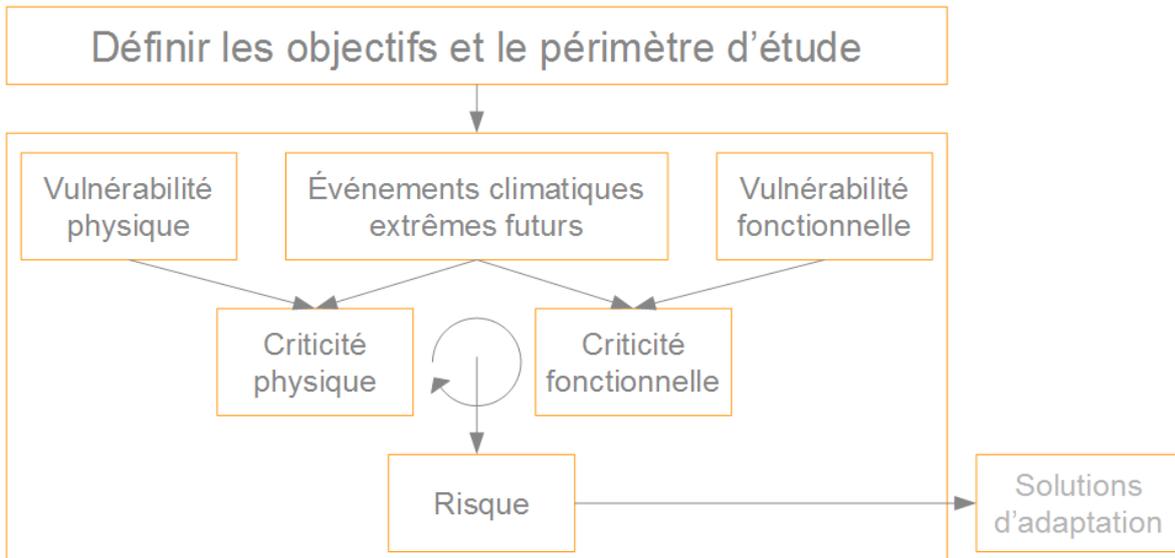


Illustration 1 : Schéma de méthodologie d'analyse des vulnérabilités des réseaux de transport

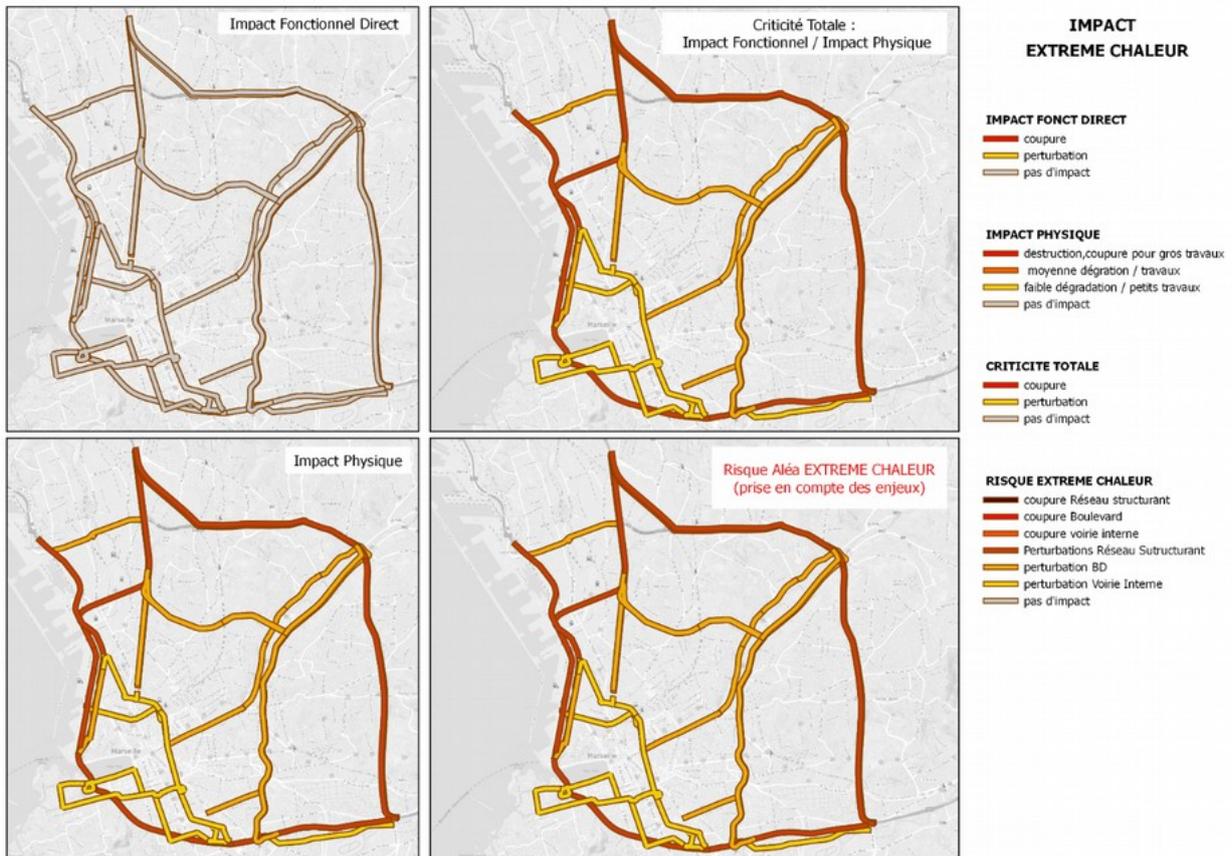


Illustration 2 : Application de la méthodologie au réseau routier marseillais

Pour en savoir plus :

– Cerema, Vulnérabilités et risques : les infrastructures de transport face au climat, 2019

Guide disponible en ligne <https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/vulnerabilites-risques-infrastructures-transport-face-au>

– Cerema, Détermination de la vulnérabilité au changement climatique du réseau de transport marseillais, 2019

Rapport disponible en ligne <https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/21427/determination-de-la-vulnerabilite-au-changement-climatique-du-reseau-de-transport-marseillais>

> Dans le cas particulier d'un diagnostic lié à la surchauffe urbaine :

Le diagnostic climatique peut porter sur l'îlot de chaleur urbain (ICU) et/ou le confort thermique et peut se réaliser à plusieurs échelles :

- à l'échelle du territoire, d'une ville ou d'un quartier pour caractériser l'îlot de chaleur urbain
- à l'échelle locale d'un quartier, d'une rue, d'un espace public ou d'un bâtiment pour estimer le confort thermique de ses usagers.

Le confort thermique est un ressenti inhérent à l'individu dépendant de la température de l'air et de l'ensemble des variables microclimatiques (externes), et thermiques inter-individuelles (internes).

Pour la caractérisation des îlots de chaleur urbain, plusieurs outils et méthodes sont développés et suivis par le Cerema :

En première approche, le traitement d'images aériennes ou satellitaires :

– la méthode de cartographie basée sur le concept de Local Climate Zones (LCZ), méthode développée dans le cadre du projet Diaclimap, consistant à appliquer une méthode semi-automatisée de cartographie en zones climatiques locales à partir des photographies aériennes ou satellitaires ; ce type de cartographie peut être croisé avec des données de mesures climatiques, ou des données de vulnérabilités socio-économique de la population.

À l'échelle du quartier ou d'une rue :

- la classification géomatique de l'ICU (morphologie urbaine, occupation du sol, et propriétés thermophysiques, mesures comparatives par rapport à d'autres stations météo en périphérie de ville par exemple) par l'analyse d'une dizaine d'indicateurs ;
- l'état des lieux des éléments de rafraîchissement urbain présents ou manquants sur les différents sites (analyse des continuités et discontinuités des trames vertes et bleues dont le maillage des espaces verts par exemple).

À l'échelle du piéton :

- des mesures fixes et/ou mobiles pour objectiver la notion de confort thermique.
- des approches participatives : balades climatiques, enquêtes, micro-trottoirs par exemple.

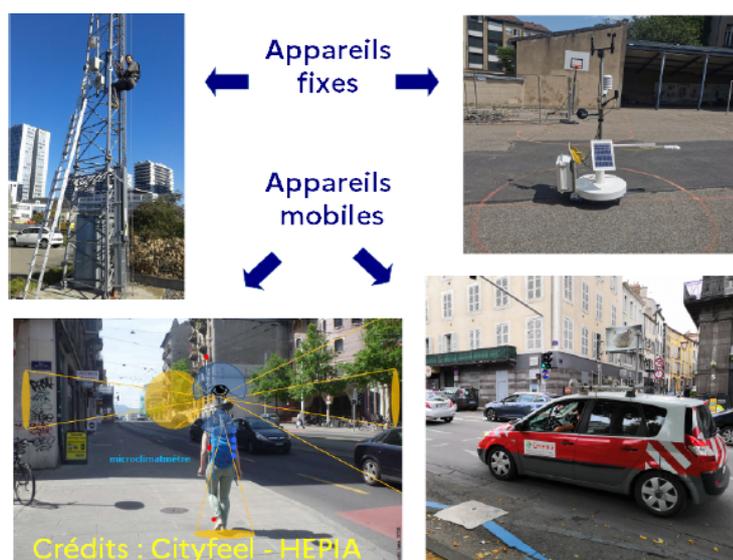


Illustration 3 : Exemples de dispositifs de mesures physiques du confort thermique du piéton

En parallèle de la cartographie des ICU, la vulnérabilité des lieux accueillant un public particulièrement sensible aux phénomènes de chaleur peut être mise en exergue en croisant **l'aléa d'îlot de chaleur urbain avec la vulnérabilité socio-économique du territoire** (population dite sensible à l'ICU résidant dans des quartiers dits vulnérables au sens de l'INSEE³ et dans des lieux recevant des populations fragiles).

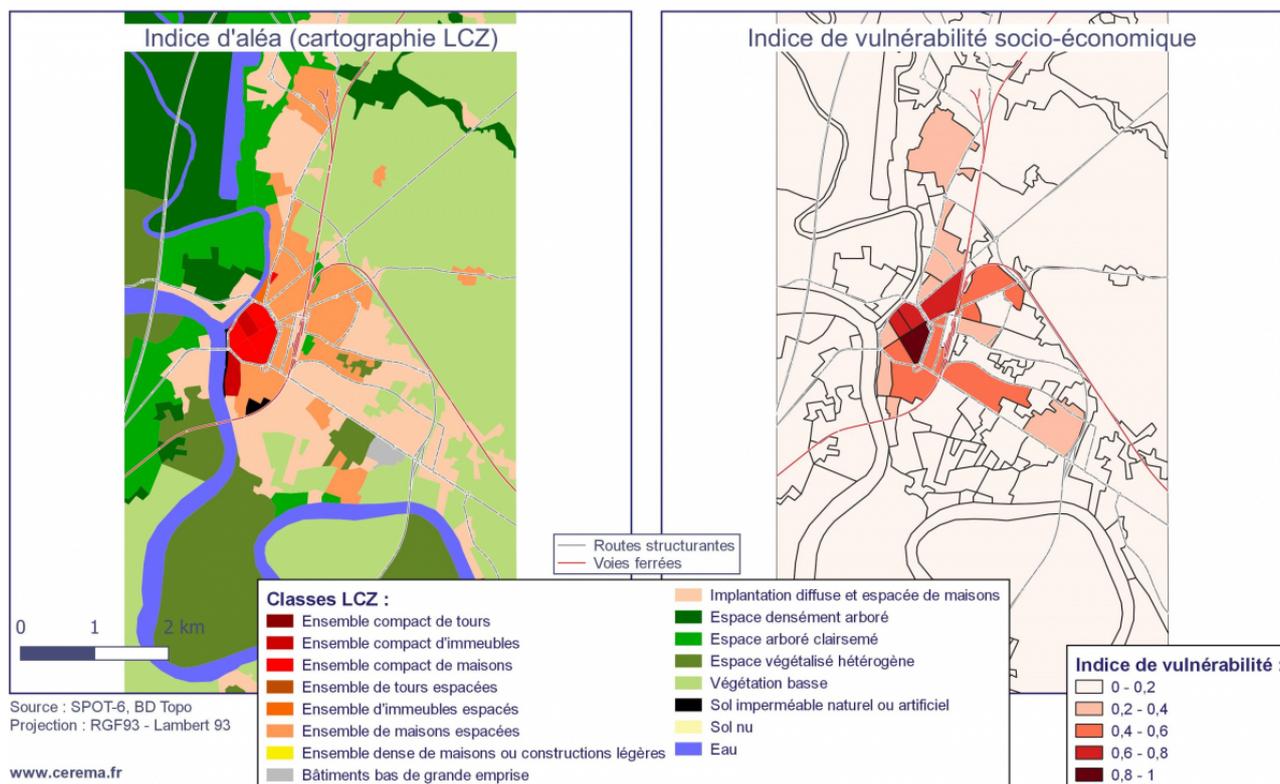


Illustration 4 : Exemple de cartographie représentant les indices d'aléa et de vulnérabilité socio-économique pour la commune de Libourne

1.2. Considération de l'évolution du climat

L'adaptation des voiries et espaces publics suppose d'inscrire l'aménagement sur le temps long et peut nécessiter d'anticiper, dès à présent, l'évolution des événements climatiques au cours du XXI^e siècle. Il convient alors d'orienter l'aménageur vers des outils de projections climatiques régionalisées à l'instar de la plateforme *Drias les futurs du climat* accessible en ligne <https://www.drias-climat.fr/> ou intégrer à l'équipe projet l'assistance d'un climatologue.

³ Selon l'INSEE, la vulnérabilité socio-économique regroupe les personnes de moins de 5 ans, les personnes de plus de 65 ans ainsi que les ménages pauvres.

1.3. Phénomène de retrait-gonflement des sols argileux

1.3.1 Compréhension du phénomène

Le phénomène de retrait-gonflement des sols argileux (dit « RGA ») consiste en une succession de mouvements des sols argileux, du fait des fortes variations de leur teneur en eau.

Ce phénomène n'est pas nouveau mais a tendance à s'amplifier et à s'étendre⁴ spatialement dans un contexte de changement climatique caractérisé notamment par des successions d'épisodes de sécheresse plus longues et intenses entrecoupées d'épisodes de fortes précipitations.

Il peut conduire à terme à la dégradation des ouvrages en surface principalement le bâti des maisons individuelles mais aussi les infrastructures routières.



Illustration 5 : Chaussée déformée par le phénomène de retrait-gonflement

Source : L. Ighil Ameur © Cerema 2020

Les désordres liés au RGA sont souvent caractérisés par l'apparition progressive de fissurations pouvant aller jusqu'à la rupture de la structure. Au niveau des infrastructures routières exposées au risque de RGA, des fissures longitudinales peuvent être observées avec des affaissements marqués sur les bords des rives de chaussée (tassement différentiel).



Illustration 6 : Exemple de fissures de sécheresse consécutives au phénomène de RGA

Source : L. Ighil Ameur © Cerema 2023

⁴ Le phénomène RGA concerne 48 % du territoire métropolitain en zone d'exposition moyenne ou forte représentant 93 % de la sinistralité.

1.3.2 Enjeu pour les gestionnaires routiers

Pour les gestionnaires d'infrastructures routières, l'enjeu est d'intégrer cette vulnérabilité au RGA dans une démarche de gestion intégrée de leur patrimoine afin de renforcer la sécurité et la résilience des infrastructures et services de transport⁵.

Un Observatoire des Routes Sinistrées par la Sécheresse (ORSS) a été mis en place à cet effet pour développer des nouvelles solutions de remédiation économiques et durables afin de limiter les vulnérabilités des routes face aux effets du changement climatique et ainsi réduire les coûts des dommages pour les gestionnaires.

1.3.3 Et en milieu urbain ?

Les voiries urbaines peuvent également être touchées par le phénomène du RGA avec des impacts possibles sur l'exploitation, la qualité d'usage et la sécurité des déplacements consécutifs aux désordres générés sur les revêtements.

La plantation d'arbres au sein des espaces publics, bien que nécessaire au vu des enjeux liés à la biodiversité, à la lutte contre la surchauffe urbaine et au cadre de vie, peut dans certains cas constituer un facteur aggravant en raison du différentiel d'humidité au niveau des couches de fondations (influence racinaire de la végétation).

Dans un contexte de stratégie de renaturation des villes et de végétalisation des espaces publics, il convient donc d'accorder une vigilance accrue à la nature des sols aux abords des voies circulées en réalisant par exemple un diagnostic in situ comprenant une étude de sol ou en mettant en œuvre des solutions de remédiation (en cours d'expérimentation sur les routes) pour limiter la survenue de ce risque.

1.3.4 Phénomène reconnu au titre des catastrophes naturelles

Les conséquences préjudiciables pour l'habitat donnent lieu à une indemnisation des dégâts, intégrée depuis 1989 dans le régime des catastrophes naturelles – dit « Cat Nat ».

Sur la période 2016-2021, la sécheresse représente 24 % de la sinistralité climatique, contre 15 % sur la période 1989-2015⁶. Cette forte sinistralité se normalise : en 2022, la France connaît pour la 6^e fois en 10 ans une sécheresse de grande ampleur dont le coût est aujourd'hui estimé à plus de 3 Md€. Par ailleurs, avec une part de 52 % de la sinistralité cumulée des dix dernières années, la sécheresse devient le péril le plus coûteux en France⁷. Le changement climatique conduirait au triplement de la charge moyenne annuelle des dégâts sécheresse indemnisés par les assureurs à l'horizon 2050⁸.

À l'inverse de l'habitat, aucun élément chiffré n'est disponible pour les routes.

Dernièrement, la loi du 28 décembre 2021 relative à l'indemnisation des catastrophes naturelles a apporté des mesures particulières au risque RGA dans un contexte de réchauffement climatique. En particulier, des indemnisations dues au titre de ces sinistres devront permettre de financer des réparations mettant concrètement fin aux désordres existants.

5 Cerema (2022). Les fiches « Résilience des infrastructures » : RGA. Fiche n°01 consacrée au phénomène de retrait gonflement des sols argileux et son impact sur les infrastructures routières.

Disponible en ligne <https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/resilience-infrastructures>

6 France Assureurs (2022) Le risque sécheresse et son impact sur les habitations. <https://www.franceassureurs.fr/assurance-protege-finance-et-emploi/assurance-protege/actualites-protege/risque-secheresse-impact-habitations/>

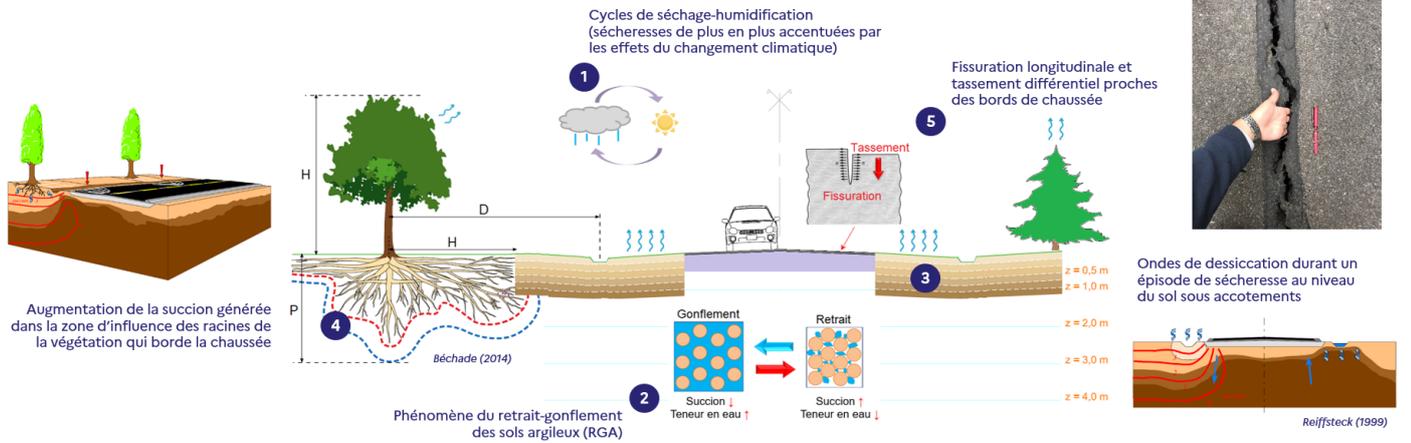
7 CCR (2023) Les catastrophes naturelles en France, Bilan 1982-2022

Disponible en ligne <https://catastrophes-naturelles.ccr.fr/-/les-catastrophes-naturelles-en-france-%7C-bilan-1982-2022>

8 Impact du changement climatique sur l'assurance à l'horizon 2050, rapport d'étude de France Assureurs, 2021

Disponible en ligne <https://www.franceassureurs.fr/assurance-protege-finance-et-emploi/assurance-protege/actualites-protege/changement-climatique-quel-impact-sur-lassurance-a-lhorizon-2050/>

Comprendre comment les routes exposées au RGA se fissurent par l'effet de la sécheresse ?



Exposition et sinistralité RGA non établie

Il est aujourd'hui difficile d'avoir des chiffres sur l'exposition RGA du réseau routier départemental en France métropolitaine (~380 000 km) et les coûts d'entretien pour les gestionnaires



Diagnostic à l'échelle locale

Les départements gestionnaires des routes départementales, conscients de l'ampleur du phénomène, prennent des initiatives pour réaliser un diagnostic sur la sinistralité de leur parc imputable à la sécheresse et au RGA



Recherche de nouvelles solutions d'adaptation

Dans le contexte du changement climatique, des solutions d'adaptation sont nécessaires pour réduire les vulnérabilités des routes exposées au RGA, à l'instar du projet ORSS (Observatoire des Routes Sinistrées par la Sécheresse) initié par le Cerema et les départements de la région Centre-Val de Loire

Illustration 7 : schéma de fonctionnement du mécanisme de retrait-gonflement des sols argileux
source : L. Ighil Ameur © Cerema 2023

2 RÉAMÉNAGEMENT DE PARC DE STATIONNEMENT EN ÎLOT FRAÎCHEUR

Traditionnellement réalisés en enrobés bitumineux noir, les espaces de stationnement représentent de 5 à 10 % des espaces publics d'une ville. Parmi ces espaces, les parcs de stationnement de surface contribuent fortement à la surchauffe urbaine et à la formation d'îlot de chaleur. D'une part, ils emmagasinent les radiations solaires et d'autre part, ils sont le siège de dégagements anthropiques liés aux manœuvres des véhicules thermiques, aggravant le phénomène de surchauffe des espaces publics. La prise en compte des questions environnementales apporte aux projets de réaménagements une nouvelle dimension.

2.1. Rééquilibrage des espaces de stationnement au profit du confort d'usage des piétons



Illustration 8 : Configuration de la place de Francfort et organisation des usages avant et après aménagement
Photo de gauche : Situation avant travaux (août 2016) : un cheminement pour les piétons circonscrit au centre d'une place très minérale
Photo de droite : Après réaménagement, un confort d'usage nettement amélioré pour les piétons

MOA : Métropole de Lyon (Rhône, 69)

Typologie de la solution d'adaptation : Aménagement d'espaces ouverts (place, parc de stationnement de surface...)

Aléas climatiques concernés : Canicules / vagues de chaleur, fortes précipitations, sécheresses

Enjeux d'adaptation : Désimperméabilisation, gestion alternative des eaux pluviales, stockage de l'eau, résilience face aux épisodes de sécheresses, végétalisation, ombrage, revêtement atténuant la chaleur

Points forts : Amélioration du confort d'usage pour les piétons qui disposent désormais de cheminements larges et qualitatifs à proximité de la gare de Lyon Part-Dieu.

Description de la solution : La place de Francfort (Lyon) était, de par sa configuration et les usages qui s'y pratiquaient (stationnement motorisé et aux arrêts voyageurs [dépose-minutes]) sensible à la surchauffe urbaine : ce vaste ensemble de 8 500 m² principalement revêtu d'un enrobé bitumineux noir ne disposait que de 2 % d'espaces végétalisés sur ses abords. Son réaménagement a renforcé considérablement la

place du piéton et son confort thermique. Pour cela, le réaménagement de la place a consisté à mettre en application une combinaison de plusieurs solutions techniques. Il a bénéficié d'une phase d'expérimentation pour trouver le type de sol le plus adapté à la fois pour la réduction du phénomène d'ICU mais également pour son entretien et son confort. Des revêtements plutôt clairs et perméables ont été privilégiés (dalles en granit gris clair avec joints perméables) en surface. La structure mise en œuvre sous le dallage est composée d'une succession de couches drainantes. En ce qui concerne la végétalisation, 93 arbres ont été implantés sur un espace assez contraint au regard des flux piétons potentiels : des essences d'arbres ont été sélectionnées en raison de leur pérennité et de leur capacité à résister aux effets des températures chaudes, à fournir de l'ombrage au profit des piétons et à rafraîchir l'air ambiant grâce à l'évapotranspiration qu'elles produisent. Leur irrigation est assurée naturellement par le dispositif d'infiltration des eaux pluviales décrit précédemment.

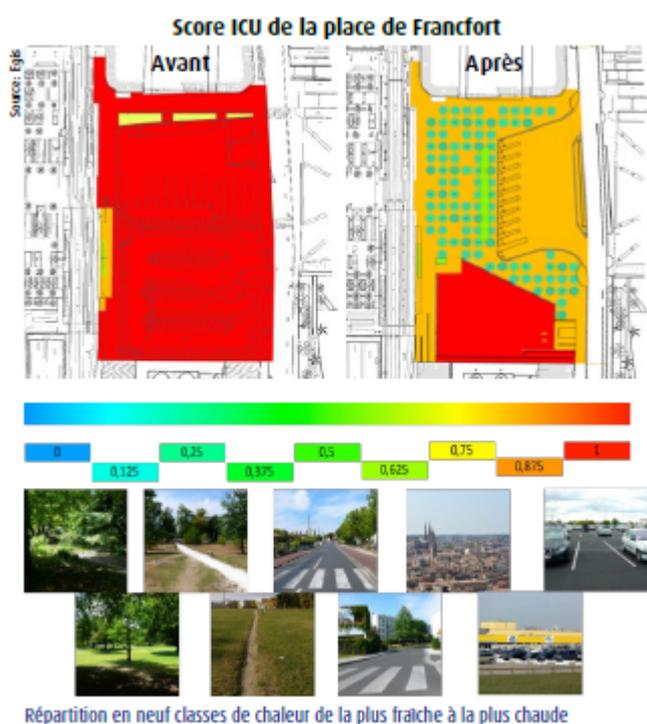


Illustration 9 : Réaménagement de la place de Francfort – un ressenti de rafraîchissement pour les piétons estimé autour de 5 °C

Co-bénéfices : Stockage de carbone, Amélioration du cadre de vie / bien être, Inclusion / accessibilité pour les PMR, Favorise la pratique des mobilités actives et collectives.

Points de vigilance et complexité de mise en œuvre : Adapter les essences d'arbres aux conditions locales, veiller à ne pas altérer la nature multimodale de la place, permettre l'usage de l'espace pour les PMR (ex : implantation resserrée des arbres pouvant altérer les déplacements), évaluer les arbres en pleine maturité.

Coûts : Surcoûts d'aménagement évalués d'environ 10 % par rapport à une opération classique.

Sources : « La requalification de la place de Francfort : une conception pour améliorer le confort bio-climatique des piétons », Centre de ressources pour l'adaptation au changement climatique,

<https://www.adaptation-changement-climatique.gouv.fr/initiatives/la-requalification-la-place-francfort/>

« Adapter l'espace public aux enjeux climatiques : quels coûts ? Quels bénéfices ? », CEREMA, 2020

<https://www.cerema.fr/fr/actualites/adapter-espace-public-aux-enjeux-climatiques-quels-couts>

2.2. Transformation d'un parc de stationnement en un espace hybride pour les piétons



Illustration 10 : Aperçus du parc de stationnement à Aubervilliers avant/après aménagement
Crédit photo : Flavio Coddou et Fieldwork architecture

MOA : Ville d'Aubervilliers (Seine-Saint-Denis, 93)

Typologie de la solution d'adaptation : Aménagement d'espace ouvert (place, parc de stationnement de surface...)

Aléas climatiques concernés : Canicules / vagues de chaleur, fortes précipitations, sécheresses

Enjeux d'adaptation : Désimperméabilisation, végétalisation, ombrage, stockage de l'eau, résilience face aux épisodes de sécheresses, revêtement atténuant la chaleur

Points forts : Amélioration du confort thermique, espace convivial, reproductibilité dans une grande variété d'espaces urbains

Description de la solution :

Le projet d'aménagement d'une tierce forêt porté par l'association Alteralia ainsi que par le cabinet d'architecture Fieldwork vise à transformer un parking d'une résidence de jeunes travailleurs en un **nouveau type d'espace public** à la fois parc et place pour répondre davantage aux besoins des usagers. Le projet se situe dans l'une des villes d'Île-de-France les plus carencées en espaces verts. D'une surface de 1 200 m², le parking était revêtu d'un asphalte noir et usé à faible **albédo**⁹ (0,13) et était très peu végétalisé.

Le projet a consisté à débitumer ce parking pour y planter un réseau dense d'arbres (au nombre de 72) choisis pour leur capacité à transpirer et y installer des nouveaux revêtements adaptés aux usages et à l'infiltration des eaux pluviales dans le sol : un **bassin de stockage de l'eau** pour alimenter les arbres en période de stress hydrique et **des matériaux réfléchissants et perméables**.

⁹ **Albédo :** pouvoir réfléchissant d'une surface, c'est-à-dire le rapport de l'énergie solaire réfléchi à l'énergie solaire incidente. L'albédo dépend de la couleur et de la rugosité de la surface en question. Un revêtement noir ou foncé aura un albédo proche de 0 alors qu'une surface blanche aura un albédo se rapprochant de 1.



Illustration 11 : Les plantations d'arbres permettent de délimiter le cheminement des espaces latéraux de repos
 Crédit photo : Flavio Coddou et Fieldwork architecture

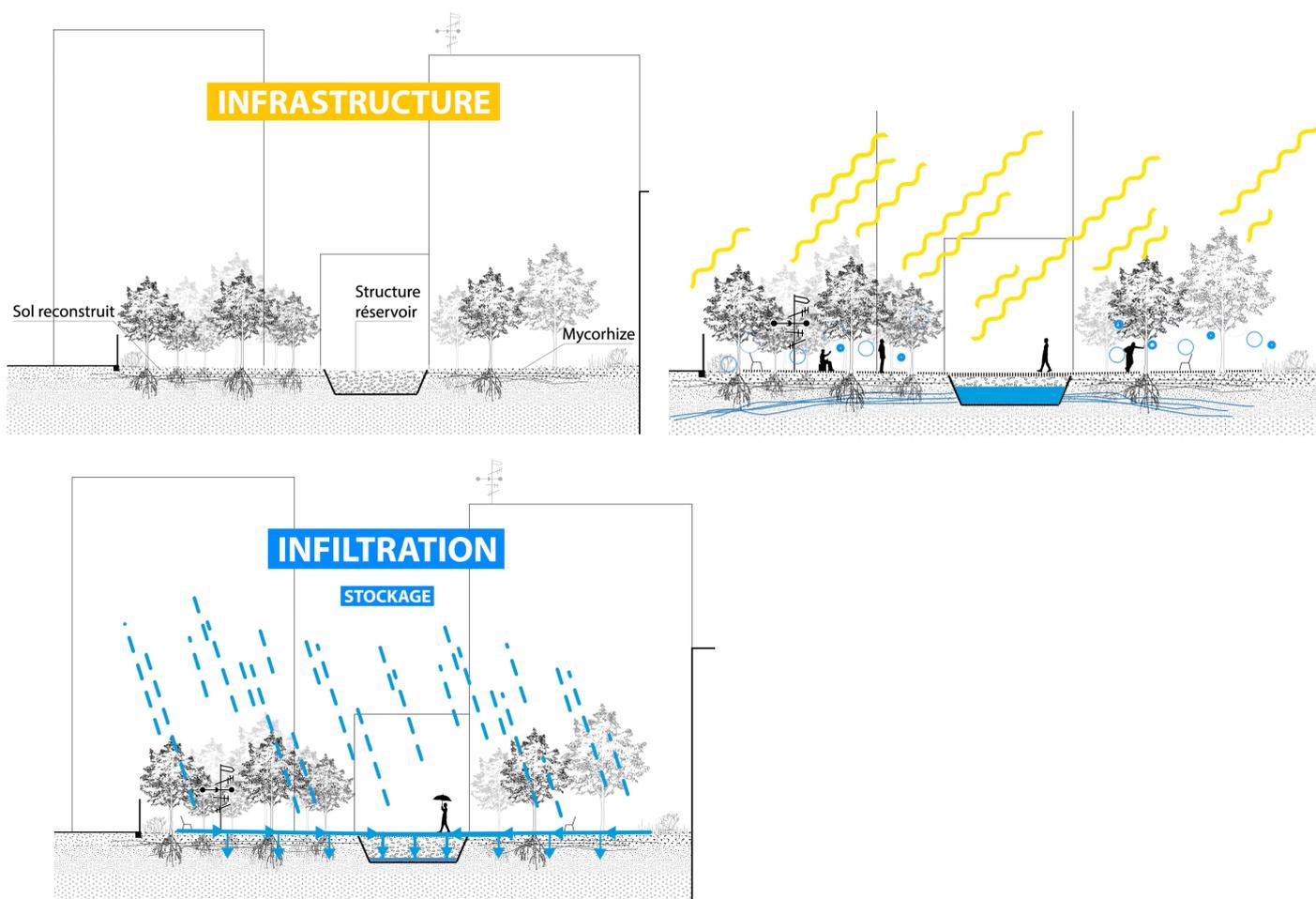


Illustration 12 : Fonctionnement de l'aménagement par temps sec et pluvieux
 Crédit images : Fieldwork architecture

L'installation de mobiliers urbains mobiles (bancs, chaises...) a également été réalisée pour permettre aux jeunes travailleurs de s'approprier l'espace selon leurs besoins. Cet espace hybride représente une extension des lieux de vie pour les résidents qui peuvent venir s'y rafraîchir lors des épisodes de vague de chaleur notamment en fin de journée lorsque la chaleur était plus importante dans les espaces restreints des chambres. Ce réaménagement a conduit à une amélioration conséquente du confort thermique ressenti : après trois années de mesures, a été observée une **baisse ressentie des températures de 3,1 °C** sur le site, **avec des pics allant jusqu'à -6,2 °C**.

Co-bénéfices : Stockage de carbone, Biodiversité, amélioration du cadre de vie / bien-être, lien social, favorise la pratique des mobilités actives

Points de vigilance et complexité de mise en œuvre : Projet ayant une approche globale qui nécessite d'être pleinement pensé en amont, dès la phase de conception de l'espace public, notamment sur les choix agronomiques et l'intégration des contraintes urbaines (par exemple : voie « pompier »). Dans le cadre d'une démarche d'économie circulaire, des solutions pour la réutilisation du bitume de surface sont à étudier.

Coûts : Le coût total d'aménagement est de 300 k€ soit de l'ordre de 250 euros / m². Le projet n'entraîne pas de surcoût d'entretien par rapport à la gestion classique d'un espace public classique (balayage des feuilles, nettoyage du revêtement...).



Illustration 13 : Des essences de plantations apportant ombrage et facilitant les déambulations
Crédit photo : Flavio Coddou et Fieldwork architecture

Source :

- Caron Julie. Agence Parisienne du Climat (2018). Lisière d'une Tierce Forêt : un nouvel îlot de fraîcheur à Aubervilliers. <https://www.apc-paris.com/actualite/lisiere-tierce-foret-nouvel-ilot-fraicheur-a-aubervilliers>
- Ademe. Réimplanter la forêt en ville pour lutter contre l'îlot de chaleur urbain. Fiche, 2020.
- Adaptaville. Transformer un parking en îlot de fraîcheur sur le principe de « Tierce Forêt », <https://www.adaptaville.fr/parking-vegetalise>
- Site du cabinet d'architecture <https://www.tierceforet.com/>

2.3. Reconversion d'un parc de stationnement en un parc urbain



Illustration 14 : Vues vers le Palais des spectacles - le parking (à gauche) a été remplacé par un parc urbain (à droite)
Source : Alexandre Chemetoff et Associés – Arnaud Duboys Fresney

MOA : Ville de Saint-Étienne (Loire, 42)

Typologie de la solution d'adaptation : Aménagement d'espace ouvert (place, parc de stationnement de surface...)

Aléas climatiques concernés : Canicules / vagues de chaleur, Fortes précipitations

Enjeux d'adaptation : Végétalisation, ombrage, désimperméabilisation, revêtement atténuant la chaleur

Points forts : Parc situé dans l'hypercentre de Saint-Étienne et facilement accessible en transports en commun. Respect des principes d'économie circulaire : réutilisation des ressources existantes du site pour limiter les coûts (bordures, bancs, revêtements...)

Description de la solution : Le projet s'inscrit dans le cadre du renouvellement urbain du quartier de la Manufacture Plaine Achille de Saint-Étienne. Ce projet consiste à transformer un parking de 500 places de capacité en un parc urbain, le parc François Mitterrand, en vue d'assurer plusieurs fonctions :

- mettre en relation divers équipements publics présents sur le site : parc des expositions, piscine, palais des spectacles, etc. ;
- offrir un parc naturel pour tous (aires de jeux pour les enfants, de pique-nique...)
- accueillir des manifestations ponctuelles comme la foire annuelle.

L'ensemble du projet s'est basé sur une **approche économe du projet** avec la volonté de réutiliser au maximum les ressources existantes (revêtements, arbres...) sur le site. Il s'agit d'une forme d'application du concept d'économie inventive qui vise, pour un projet donné, à susciter davantage d'inventivité afin d'utiliser moins de moyens et de matières premières dans un objectif de réaliser des économies. Le projet a donné lieu à la plantation de plus de mille arbres y compris dans certains parkings qui ont été maintenus et à la mise en œuvre d'un **matériau innovant et économe**, « le stabilisé fertile », confectionné à partir de la couche de bitume concassé : ce matériau est inspiré du sable stabilisé qui serait ensemencé et contribue à verdir les espaces minéralisés.

Co-bénéfices : Stockage de carbone, Biodiversité, Lien social, Amélioration du cadre de vie / bien-être, Inclusion / accessibilité pour les PMR

Points de vigilance et complexité de mise en œuvre : Nécessité de prévoir, en amont des opérations d'aménagement, des solutions et des alternatives pour les usagers du parking et d'adapter l'usage du nouvel espace aux PMR. Partant de la mise au point d'un nouveau revêtement, il convient également d'associer le gestionnaire du site à la conception de ce projet.

Coûts :

Opération d'aménagement mise en œuvre selon les principes de l'économie circulaire permettant de rationaliser le coût total d'aménagement soit 74 €/m² (y compris les études amont) sans compter les coûts éventuels liés aux travaux de démolition du parking existant (rabotage, évacuation des matériaux...).



Illustration 15 : La reconversion du parking a permis d'améliorer la valeur d'usage des arbres du site
Au pied des arbres se développent désormais de nouveaux usages.
Source : Alexandre Chemetoff et Associés – Arnaud Duboys Fresney

Source et pour en savoir plus :

– Cerema. Reconversion d'un parking en parc urbain à Saint-Étienne. Fiche n°3 – Série de fiches : voirie, espaces publics: solutions économes. 2019

<https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/voirie-espaces-publics-solutions-economes>

3 INSTALLATION DE DISPOSITIFS ALTERNATIFS D'OMBRAJE

Pour des raisons de contraintes patrimoniales (périmètre de protection de monuments historiques par exemple), de voirie urbaine (emprise limitée, présence de réseaux enterrés, etc.) ou encore d'évolution de la réglementation, des dispositifs d'ombrages alternatifs à l'arbre peuvent être déployés sur l'espace public et procurer un certain confort pour l'utilisateur (sans le confort lié à l'évapotranspiration). Ces dispositifs s'apparentant à des mobiliers urbains permettent de la même façon de limiter l'apport calorifique des revêtements et donc de réduire l'accumulation de chaleur et la restitution nocturne de celle-ci.

Le saviez-vous ?

Des dispositifs d'ombrage peuvent également être bénéfiques pour les véhicules motorisés en stationnement en évitant les consommations de climatisation et donc participent à réduire les émissions de gaz à effet de serre liées à l'utilisation de la climatisation.



Illustration 16 : Couverture de parc de stationnement en surface par des ombrières photovoltaïques

Dernièrement, la loi n°2021-1104 du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience ainsi que la loi n°2023-175 du 10 mars 2023 relative à l'accélération de la production d'énergies renouvelables imposent **l'intégration de dispositifs végétalisés ou d'ombrières surplombant partiellement ou totalement de parcs de stationnement** extérieurs définis respectivement dans les articles 111-1 de la loi climat et résilience et 40 de la loi d'accélération des énergies renouvelables.

Les exemples présentés ci-après offrent un panorama de plusieurs solutions réalisées ou encore à l'état d'expérimentation.

3.1. Îlot de fraîcheur « Malawa »



Illustration 17 : Structure en bois d'Amandine Didelot, place de la Tranchée à Tours
Source Photo : Romain Gautier

MOA : Ville de Tours (Indre-et-Loire, 37)

Typologie de la solution d'adaptation : Aménagement ponctuel / mobilier urbain

Aléas climatiques concernés : Canicules / vagues de chaleur, sécheresses

Enjeux d'adaptation : Végétalisation, ombrage, stockage de l'eau, résilience face aux épisodes de sécheresse

Les points forts : Aménagement mobile ne nécessitant pas de travaux au sol (ancrage) et pouvant être installé partout, entretien limité, structure écologique

Description de la solution : Il s'agit d'une structure en bois faisant office de jardin urbain comprenant en son centre des poutres permettant de tendre une toile pour faire de l'ombre. La structure est également composée d'une grande partie dédiée à la plantation de végétaux au sein de laquelle des « oyas » (poteries en terre cuite) remplies d'eau vont alimenter par capillarité les plantes. Les toiles permettent également de collecter l'eau de pluie pour la stocker dans un bidon de 200 litres placé au centre du dispositif. Ce bidon est équipé d'un robinet permettant notamment d'utiliser l'eau collectée pour arroser les plantes. De plus, le système est aussi équipé d'un composteur.

Co-bénéfices : Lien social, sensibilisation à la protection de l'environnement.

Points de vigilance et complexité de mise en œuvre : Risque de vandalisation et de dégradations, installation dans des espaces ouverts fréquentés par les piétons.

Coûts : Grand investissement en termes de R&D

Sources :

- « Malawa, un îlot de fraîcheur sur la Place de La Tranchée », La nouvelle République, 2021 <https://www.lanouvellerepublique.fr/tours/malawa-un-ilot-de-fraicheur-sur-la-place-de-la-tranche>
- Songes et jardins, <https://www.youtube.com/watch?v=r6Uzgz3RPdg>

3.2. Voiles d'ombrage



Illustration 18 : Voiles d'ombrage sur l'espace public

Source photo : Adaptaville

MOA : Futuroscope (Vienne, 86)

Typologie de la solution d'adaptation : Aménagement ponctuel / mobilier urbain

Aléas climatiques concernés : Canicules / vagues de chaleur

Enjeux d'adaptation : Ombrage

Points forts : Grande capacité de couverture (jusqu'à 70 m²), manœuvre par télécommande, adaptabilité, sécurité par anémomètre en cas de vents violents, permet d'optimiser des espaces surexposés au soleil

Description de la solution : Certaines entreprises produisent des voiles d'ombrage réalisés sur mesure selon les besoins. Les voiles peuvent être réglées à distance via une télécommande, la voile peut aussi se rétracter automatiquement en cas de vents violents. Un amortisseur à pistons absorbe les mouvements de la voile. Deux types de toiles sont proposées, soit pour une protection contre les radiations solaires uniquement et soit pour une protection à la fois r contre le soleil et la pluie.

Co-bénéfices : Amélioration du cadre de vie / bien être, inclusion

Points de vigilance et complexité de mise en œuvre : Des fondations sont nécessaires pour l'implantation de poteaux lorsque la configuration le nécessite. Le dispositif doit être installé en cohérence avec son environnement. Sur ce type de structure, il conviendra certainement de veiller au risque d'arrachement en cas de grand vent.

Coûts : surcoût lié à la R&D, les prix dépendent de la surface couverte (20 à 70 m²) et peuvent aller de 10 k€ à 20 k€ par voile.

Source :

- « Voiles d'ombrage pour se protéger de la chaleur », Adaptaville <https://www.adaptaville.fr/voile-d-ombrage-enroulable>

Autres cas d'usage :

> Les voiles d'ombrage

Les voiles d'ombrage sont des dispositifs provisoires qui peuvent se déployer durant toute la saison estivale en surplomb des places fréquentées (commerces, cafés, etc.) pour le plus grand confort des usagers qui peuvent profiter des terrasses à l'abri du soleil.



Illustration 19 : Installation d'un voile d'ombrage à l'aplomb de la Plaza del Pan à Séville (Espagne) suite à la demande des commerçants

> Les structures porteuses de plantations grimpantes



Illustration 20 : Structures porteuses de plantations grimpantes réalisées par les services de la ville sur la place Cayrol à Perpignan (66)

Source : Mairie de Perpignan

Moins de deux ans après leur installation, les plantations n'ont pas entièrement recouvert les structures porteuses qui pourront à terme se comporter comme de petites ombrières végétalisées, apportant ainsi un certain ombrage aux piétons assis sur les murets de la place.

3.3. Mobilier urbain ombragé : « Matrioshka »



Illustration 21 : Mobilier urbain innovant participant à la modularité des espaces et au mode de vie

Source image : <https://www.construction21.org/france/articles/h/experimenter-pour-s-adapter-au-changement-climatique.html>

MOA : Ville de Paris (Paris, 75)

Typologie de la solution d'adaptation : Mobilier urbain

Aléas climatiques concernés : Canicules / vagues de chaleur

Enjeux d'adaptation : Ombrage

Points forts : Design esthétique, composants recyclables, montage / démontage rapide (15 minutes), source d'énergie gratuite, confortable

Description de la solution : Il s'agit d'un mobilier urbain autonome et connecté facilitant la réappropriation de l'espace public par les usagers. Ce mobilier urbain expérimental permet en effet de recharger des appareils numériques, de disposer d'un routeur wifi dans la perspective de travailler en nomade. Il est équipé d'une toiture qui permet de faire de l'ombre pour une plus utilisation plus efficace de l'espace public en période de canicule. Cette toiture est par ailleurs équipée de panneaux solaires permettant l'autonomie en énergie. Le mobilier urbain est aussi équipé de points de recharge pour les appareils numériques et d'un routeur wifi.

Co-bénéfices : Amélioration du cadre de vie / bien être, lien social, inclusion, favorise la pratique des mobilités actives, source d'énergie décarbonée et renouvelable, dispositif modulable.

Coûts : Grand investissement en termes de R&D, 10 000 Euros.

Source :

– Construction 21, « Matrioshka - mobilier urbain autonome et connecté », Najoua Mounib, 2021
<https://www.construction21.org/france/infrastructure/h/matrioshka-mobilier-urbain-autonome-et-connecte.html>

– Construction 21, « Expérimenter pour s'adapter au changement climatique », Marion Apaire, 2018
<https://www.construction21.org/france/articles/h/experimenter-pour-s-adapter-au-changement-climatique.html>

3.4. Mobilier de type ombrière avec effet rafraîchissant et raccordé au réseau de froid



Illustration 22 : Des oasis de fraîcheur au sein du parvis d'une gare parisienne
Source photos : Agence parisienne du climat

MOA : Ville de Paris (Paris, 75)

Typologie de la solution d'adaptation : Mobilier urbain

Aléas climatiques concernés : Canicules / vagues de chaleur

Enjeux d'adaptation : Ombrage, rafraîchissement

Points forts : Modulaire, facilement démontable, ne nécessitant pas de consommation énergétique supplémentaire, adaptable à plusieurs types d'usages.

Description de la solution : Testé à titre expérimental, ce type de mobilier urbain innovant vise à établir un îlot de fraîcheur sur le parvis de la gare de Lyon. Il s'agit d'ombrières et d'une assise dont la particularité est d'être connectée au réseau de froid de la Ville de Paris. Le design de ces ombrières rappelle la forme des arbres. Le fonctionnement est automatique et le réseau de froid est sollicité dès que la température ambiante dépasse les 28 °C. Ce mobilier permet ainsi d'offrir une température ressentie inférieure d'environ 5 °C par rapport à la température de l'air.

Co-bénéfices : Lien social, Inclusion / accessibilité pour les PMR, favorise la pratique des mobilités actives

Points de vigilance et complexité de mise en œuvre : Montable et démontable en 24 heures, doit pouvoir rester accessible pour les PMR

Coûts : surcoût d'investissement lié à la R&D

Source : « À la découverte du premier îlot frais : un mobilier urbain rafraîchissant raccordé au réseau de froid », Agence parisienne du climat, Juliette Crespon, 2018, <https://www.apc-paris.com/actualite/a-decouverte-premier-ilot-frais-mobilier-urbain-rafraichissant-raccorde-reseau-froid>

4 DISPOSITIFS VÉGÉTALISÉS D'APAISEMENT DES VITESSES ET DE SÉCURISATION DES PIÉTONS

A l'heure où les villes souhaitent améliorer leur cadre de vie et apaiser la circulation, les aménageurs développent des solutions combinant des fonctions multiples visant d'une part à pacifier la rue en ré-équilibrant les usages au profit des mobilités actives et partagées et d'autre part à intégrer davantage de nature en ville.

4.1. Concept des super-îlots à Lyon

Ce concept inspiré de l'exemple Barcelonais des « super manzanas » se fonde sur la révision du plan de circulation motorisée pour engager une requalification différenciée des rues en lien avec les besoins et les usages des quartiers. Il constitue un important levier de refonte des circulations et de requalification des rues sur de nouvelles modalités du partage de la voirie.



Au printemps 2023, ce concept s'est déployé dans le 3^e arrondissement de Lyon sous l'impulsion de la Métropole de Lyon et de la Ville de Lyon et en concertation avec les riverains du quartier, sur la place Danton et dans la rue du même nom.

Il a permis l'aménagement d'une zone de rencontre propice à la vie de quartier tout en augmentant fortement la végétalisation. Le changement de sens de circulation des voies s'est matérialisé par la pose d'une signalisation verticale et un marquage au sol.



Avant aménagement : la place Danton, un carrefour à sens giratoire avec îlot central végétalisé



Après aménagement : réduction des mouvements de circulation libérant des espaces de voirie pour l'aménagement de plantations



Végétalisation de la rue Danton sur les bandes de stationnement à l'approche de la place du même nom

4.2. Avancées de trottoirs végétalisés



Illustration 23 : Avancées de trottoir végétalisés sur voirie urbaine au Canada
À gauche : Avenue Laurier coin Chabot – À droite : Rue de l'Église, Val David
Source : Google maps

MOA : Arrondissement Côte-des-Neiges – Notre-Dame-de-Grâce à Montréal / commune de Val David (Canada)

Typologie de la solution d'adaptation : Aménagement du linéaire de voirie

Aléas climatiques concernés : Canicules / vagues de chaleur, fortes précipitations

Enjeux d'adaptation : Végétalisation, désimperméabilisation

Les points forts : Dispositif favorisant la mobilité des piétons par la réduction de l'espace de chaussée à traverser. Le rétrécissement de la chaussée induit par le dispositif permet de réduire la vitesse de circulation. Le végétal renforce la lisibilité de l'aménagement en délimitant le trottoir de la chaussée.

Description de la solution : Cette solution consiste à végétaliser certains dispositifs modérateurs de la vitesse sous certaines conditions. L'aménageur peut profiter de la mise en œuvre d'avancées de trottoir pour y introduire le végétal ce qui aura tendance à augmenter la proportion de surfaces perméables tout en contribuant à réduire le temps de traversée de la chaussée par les piétons.

Co-bénéfices : Biodiversité, Inclusion / accessibilité pour les PMR (réduction de la distance à traverser), sécurisation des déplacements.

Points de vigilance et complexité de mise en œuvre : La solution doit garantir la co-visibilité entre les automobilistes et les piétons se préparant à traverser la chaussée à l'aval. Il conviendra de vérifier que les végétaux plantés sur les avancées de trottoir n'empiètent pas sur la chaussée et ne dépassent pas 60 cm de hauteur. Le dispositif contribuera à réduire la longueur de traversée de la chaussée tout en conservant une place suffisante pour la circulation routière. Les espaces végétalisés doivent être bordurés pour éviter le stationnement des VL dans les zones où la pression sur le stationnement est forte. Ils ne doivent pas faire obstacle au fil d'eau. Un entretien supplémentaire par les services des collectivités est à prévoir.

Coûts : N.C

Source : « Avancées de trottoir : exemples à Montréal et ailleurs » Centre d'écologie urbaine de Montréal, pour des villes écologiques et démocratiques!, <https://docplayer.fr/57603751-Avancees-de-trottoir-exemples-a-montreal-et-ailleurs.html>

Autre cas d'usage d'avancées de trottoir au droit d'une école :

L'illustration 24 permet de montrer le cas d'usage d'une avancée de trottoir offrant un profil et une emprise compatible avec l'aménagement d'une bande plantée en bordure de voirie. Cette bande plantée offrirait l'avantage, toute proportion gardée par ailleurs, de se substituer qualitativement aux barrières et à leur effet canalisant ainsi qu'au caniveau en pavés enherbés, revêtement peu apprécié par les cyclistes.



Illustration 24 : Avancées de trottoir offrant des opportunités d'emprise pour la végétalisation



Illustration 25 : Cas d'usage possible d'avancées de trottoir végétalisées aux abords d'une école

Certains trottoirs suffisamment larges et sans réelle affectation peuvent intégrer des bandes plantées. Comme dispositif anti-stationnement, on préférera les aménagements végétalisés aux mobiliers urbains.

L'élément végétal est utilisé ici sur une avancée de trottoir aux abords d'une école dans une perspective d'éloigner les piétons (parents et enfants) de la chaussée tout en améliorant le cadre de vie de la rue (Illustration 25). La végétation ne doit pas constituer de masque visuel pour les piétons souhaitant s'engager sur la chaussée pour rejoindre le trottoir opposé.

Le dévers du trottoir conçu selon respect des règles d'accessibilité et d'écoulement des eaux pluviales permet d'irriguer naturellement la bande plantée à condition de **prévoir des bordures arasées** et d'adapter les pratiques de viabilité hivernale (risque de contamination de l'environnement par les sels de déneigement ou de déverglaçage).

4.3. Chicanes traitant les eaux pluviales

Les chicanes consistent en un décalage de l'axe de la chaussée créant ainsi une sinuosité. En section courante, elles s'obtiennent par décrochement latéral ou axial.

Elles peuvent s'implanter à l'entrée de l'agglomération afin de créer une rupture entre la route et la rue et inciter physiquement l'utilisateur à adapter un comportement adapté au milieu urbain. Elles peuvent également s'implanter à l'intérieur de l'agglomération, concourant ainsi à imposer physiquement aux usagers une réduction de la vitesse.



Illustration 26 : Aperçus de la rue Sœur Valérie à Asnières-sur-Seine avant et après réaménagement

MOA : Ville d'Asnières sur Seine (Hauts-de-Seine, 92)

Typologie de la solution d'adaptation : Aménagement du linéaire de voirie

Aléas climatiques concernés : Canicules / vagues de chaleur, fortes précipitations

Les enjeux d'adaptation : Désimperméabilisation, végétalisation

Les points forts : Aménagement qualitatif tenant compte des principes de modération des vitesses et de sécurité des usagers sur un tronçon de rue très linéaire incitant à la vitesse et bordée par des trottoirs étroits ; partage de la voirie : prise en compte des différents besoins et usages ; sécurisation de l'espace pour les mobilités actives : les piétons peuvent désormais se déplacer sur l'ensemble de l'espace qui a été mis à niveau. Un trottoir a toutefois été aménagé .

Description de la solution : Le passage de la rue Sœur Valérie au statut de zone de rencontre sur un linéaire de deux cents mètres environ s'est accompagné par l'intégration de dispositifs alternatifs d'assainissement des eaux pluviales (collecte et transport des eaux pluviales à ciel ouvert) au sein d'une emprise réduite (8,5 m de largeur). Ces dispositifs sont constitués d'un réseau de caniveaux et de petites noues de massifs plantés assurant le stockage et l'infiltration des eaux pluviales. La dépollution est assurée par un système de phytoremédiation (filtres plantés et infiltration des eaux pluviales pour réalimenter la nappe phréatique). Le dispositif a permis de déconnecter les eaux pluviales du réseau unitaire (zéro rejet).

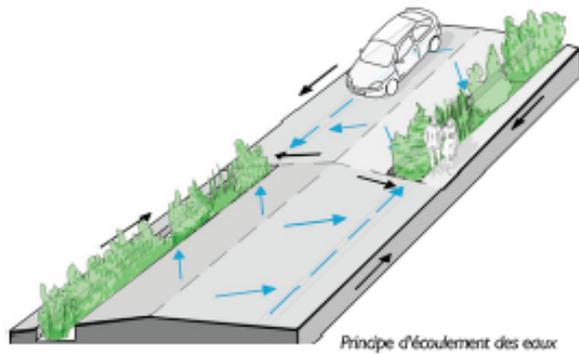


Illustration 27 : Principe d'écoulement des eaux
Source : agence ATM

La particularité de cet aménagement de noues est de s'intégrer dans la rue en assurant plusieurs fonctions : chicanes pour réduire la vitesse, gestion des eaux pluviales, apport d'une épaisseur végétale, meilleure organisation de l'offre de stationnement.



Situation de la voirie après aménagement :
un passage de la rue au statut de zone de rencontre



Situation de la voirie avant aménagement : la linéarité de la rue contribuait à des vitesses importantes malgré la présence de dispositifs de limitation des vitesses (source : Google maps)

Co-bénéfices : Stockage de carbone, biodiversité, amélioration du cadre de vie / bien être, sécurisation des déplacements / délimitation des espaces de circulation, favorise la pratique des mobilités actives.

Points de vigilance et complexité de mise en œuvre : La mise en place de la végétation doit permettre la co-visibilité entre les différents usagers (choix des espèces, nécessité d'entretien...).

Coûts : 373 k€ HT (source : commune d'Asnières-sur-Seine) sur un linéaire de 200 mètres environ.

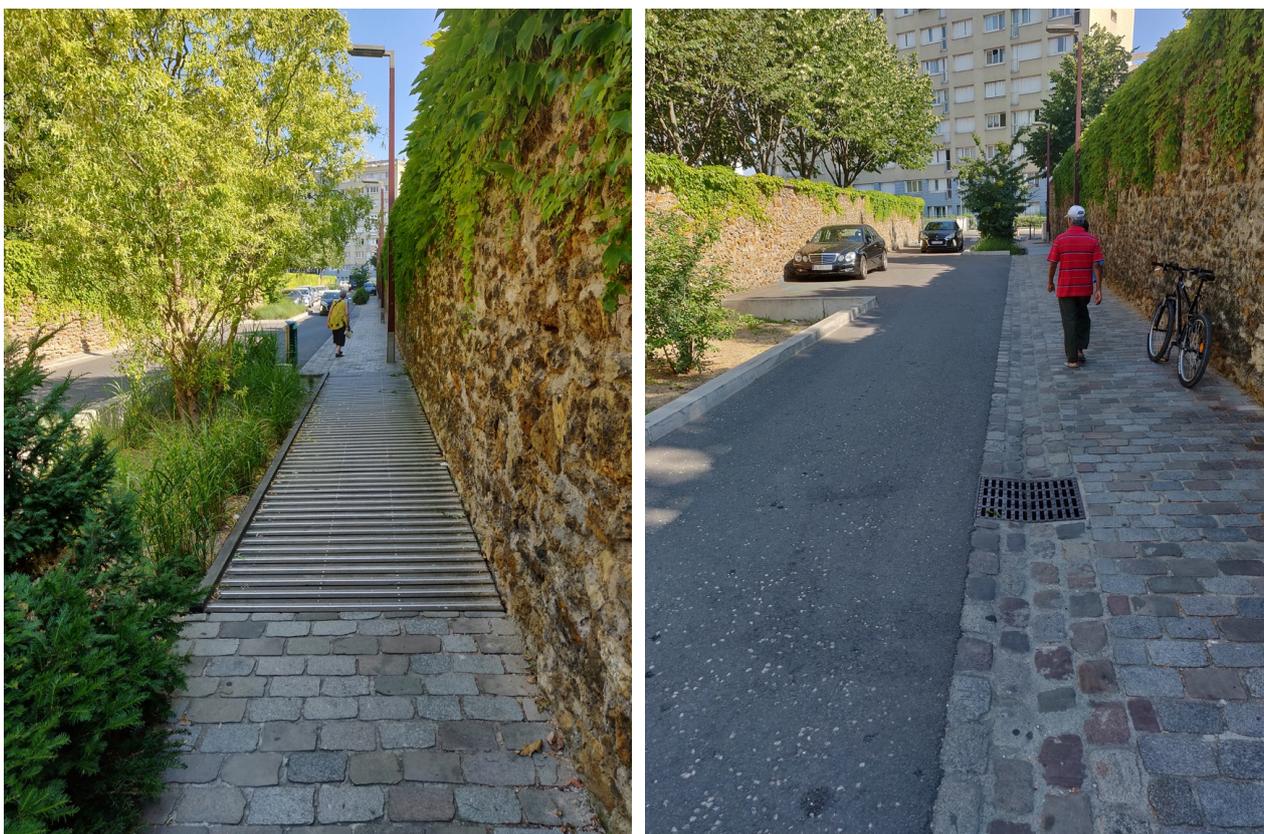


Illustration 28 : Aperçus de la répartition spatiale des différents aménagements réalisés et de leurs usages

Sources :

http://www.agence-atm.com/wp-content/uploads/2022/05/ATM-Asnieres-sur-Seine-Rue_Soeur_Valerie.pdf

Autres exemples de dispositifs modérateurs de la vitesse

- **Les écluses (« alternats »)** sont des aménagements de voirie résultant d'un rétrécissement de chaussée bidirectionnelle dont la largeur passe de deux voies à une seule voie de circulation pour les véhicules. Elles s'implantent fréquemment en milieu urbain dense ou en zone résidentielle. Elles peuvent également se retrouver en entrée d'agglomération, généralement sur des routes de village à faible trafic.

La bonne perception de cet aménagement peut être renforcée par l'implantation, sur les îlots et sur les rives, d'éléments verticaux (comme le végétal) qui donnent du **volume à l'aménagement** et créent un effet de paroi ce qui contribue à diminuer les vitesses. L'aménagement d'écluses peut intégrer l'aménagement de places de stationnement utilisées notamment par les riverains.

Pour les écluses situées en entrée d'agglomération, les éléments végétaux implantés sur les premiers mètres des îlots et en bordure ne doivent pas constituer des obstacles agressifs (**Illustration 29**).



Illustration 29 : Aménagement d'une écluse simple végétalisée avec rétrécissement latéral

Cet îlot en dur planté et borduré s'est accompagné par l'aménagement de places de stationnement longitudinal sur chaussée, contribuant ainsi à offrir des trottoirs plus larges et confortables pour les piétons. L'écluse ainsi aménagée protège le stationnement et contraint efficacement les trajectoires des véhicules en circulation, même lorsque les places sont inoccupées.



Illustration 30 : Écluses simples plantées avec rétrécissement axial remplissant parfaitement sa fonction de réduction de vitesse

Crédit photo : CD 67



Illustration 31 : Végétal renforçant la lisibilité d'un changement de statut de voirie

Le végétal peut également venir renforcer l'information d'une transition ou d'une rupture entre deux séquences de rues par exemple en marquant l'effet porte à l'entrée d'une zone de rencontre.

Pour en savoir plus sur la conception des chicanes et écluses :

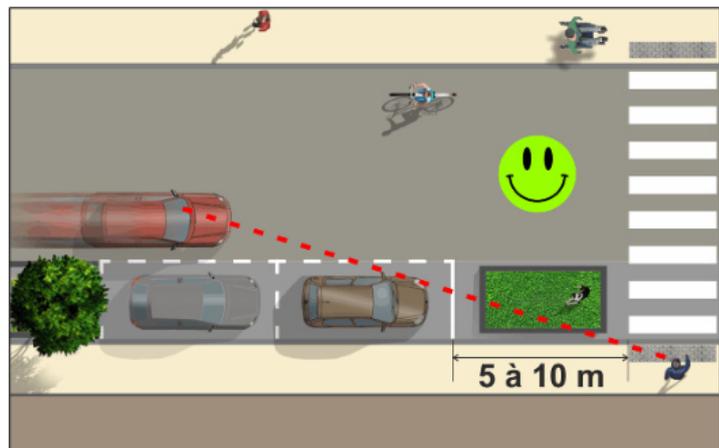
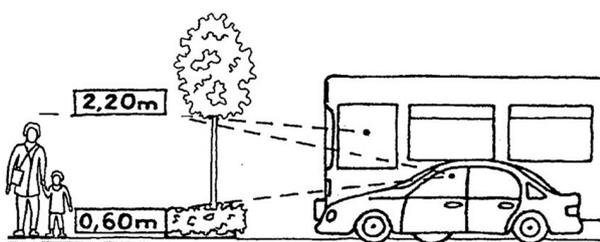
– Cerema, Guide des chicanes et écluses sur voiries urbaines, 2012
disponible en exemplaire papier et en ligne <https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/14143/guide-des-chicanes-et-ecluses-sur-voiries-urbaines>

4.4. Végétalisation de places de stationnement à l'amont des passages piétons

La Loi d'Orientation des Mobilités n°2019-1428 du 24 décembre 2019 renforce la sécurité des piétons en situation de traversée la chaussée, en obligeant les collectivités locales à neutraliser le stationnement motorisé dans les 5 mètres en amont de passage piétons pour des raisons de co-visibilité. Les collectivités doivent s'y conformer d'ici au 31 décembre 2026 (art.52 créant l'article L.118-5-1 du Code de la Voirie Routière).

La loi ne précise pas l'aménagement pouvant être mis en place sur cet espace devenu stérile, ne mentionnant que le stationnement « réservé aux cycles et cycles à pédalage assisté ou aux engins de déplacement personnel ».

Toutefois, la végétalisation de cet espace peut constituer une possibilité d'aménagement en y implantant de préférence une végétation basse pour dégager la visibilité notamment entre 0,60 m et 2,20 m de hauteur conformément à la [réglementation accessibilité](#).



- espace **utilisable** (végétation pour l'agrément de l'espace public) ;
- physiquement **dissuasif** (prévoir des bordures hautes pour éviter le chevauchement des 4x4) ;
- prévoir une végétation peu consommatrice en eau et demandant peu d'entretien ;
- végétation basse (< 60 cm) pour éviter de masquer la visibilité (enfants en bas âge, animaux...), attention à la croissance naturelle des végétaux.

La plantation d'un arbre serait-elle envisageable sur cet espace neutralisé ?

Certaines essences d'arbres pourraient être plantés sur ces espaces en veillant bien à vérifier à chaque fois :

Adapter la voirie urbaine au changement climatique
Recueil d'exemples de solutions d'adaptation

Janvier 2024

40/135

- La taille du tronc une fois l'arbre mature afin qu'à terme le diamètre du tronc ne constitue pas un obstacle à la visibilité ;
- La hauteur basse de la couronne (feuillage) : > 2,20 m conduisant à privilégier plutôt les arbres à haute tige ;
- La hauteur des plantations basses ou rejets de l'arbre et leur taille régulière (< 60 cm) ;
- D'autres éléments tels que le développement racinaire (pour éviter que les racines ne « soulèvent le sol alentour » ou n'atteignent les réseaux enterrés) ou l'écoulement de l'eau (pas de flaque au droit du passage piéton, récupération possible des eaux pluviales du trottoir dans l'espace végétalisé) ;
- La pérennité de l'arbre, notamment sa résistance au phénomène de surchauffe urbaine s'il y a lieu. Il peut avoir lieu de prévoir des éléments de bordurage pour protéger le tronc de l'arbre des véhicules en stationnement (porte-à-faux des véhicules).

Pour ce dernier critère, il conviendra de limiter dans la mesure du possible la végétalisation hors-sol (en jardinières par exemple) même si cette option peut s'y prêter dans les zones très urbanisées ou certaines rues étroites.

Exemples :

La Ville du Havre (76) a par exemple planté des érables (*Acer Rubrum 'Scanlon'*) à l'amont des passages piétons. Ces derniers devraient mesurer, à l'âge adulte, une dizaine de mètres de haut pour une couronne d'environ 4 mètres de large. Concernant le développement de l'arbre, son service Espaces Verts assure que le tronc ne constituera pas à terme un masque à la co-visibilité piétons – véhicules motorisés.

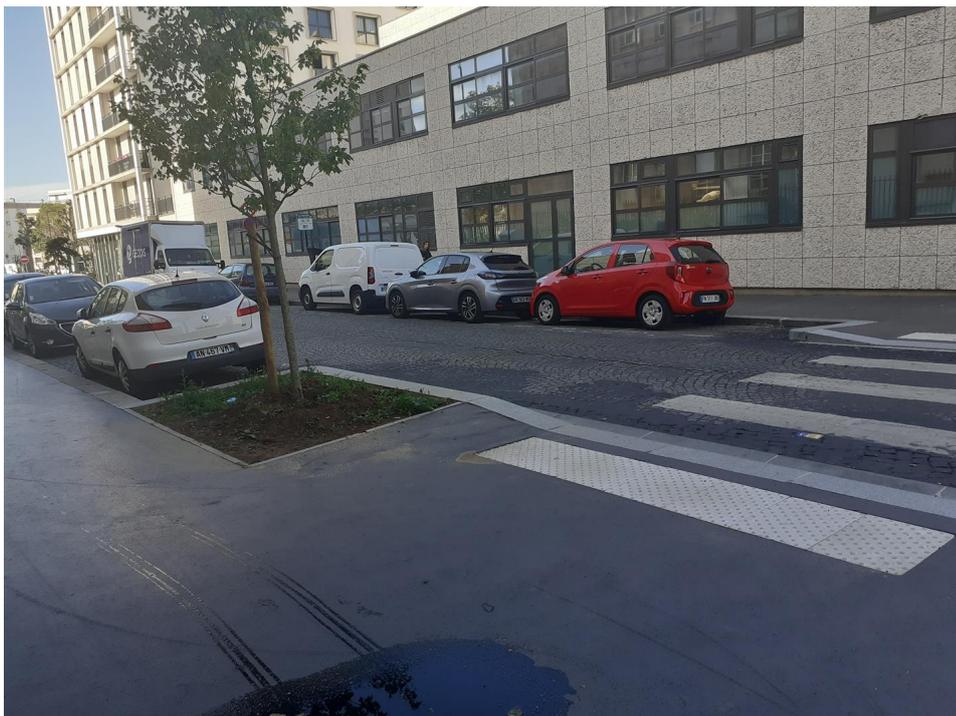


Illustration 32 : Plantation d'un arbre à haute tige à l'amont d'un passage piéton
Crédit photo : Ville du Havre

« En ville, la voiture a sa place, pas toute la place »

C'est le slogan choisi par la Ville de Villeurbanne (69) pour porter sa politique de mobilité. Dans les secteurs dépourvus de végétation, plus de **100 banquettes plantées ont été réalisées et 6 300 m² d'espaces**

verts ont été créés en remplacement de places de stationnement. Ce travail, associé au développement d'alternatives à la voiture et à une vaste campagne de communication, a permis de baisser de 13 points l'usage de celle-ci en moins de 10 ans, au profit des transports en commun et des modes actifs.



Neutralisation des places de stationnement au moyen de bacs plantés à l'amont des passages piétons de cette rue villeurbannaise



Illustration 33 : L'aménagement de cet alignement d'arbres tend à effacer le caractère routier de cette voirie. La stratégie de végétalisation de la voirie sur les emplacements de stationnement nécessite également d'apporter une attention particulière à la co-visibilité au droit des entrées charretières.

Le saviez-vous ?

Le programme de végétalisation d'une rue ou d'un quartier est à étudier avec les services d'intervention. Tout comme pour l'implantation de mobiliers urbains, les plantations doivent préserver :

- l'accès aux façades pour la mise en place des échelles aériennes des pompiers (pour les bâtiments attenants) ;
- l'accès aux aires de mise en service du matériel des sapeurs-pompiers ;
- l'accès aux points d'eau incendie.

5 REQUALIFICATION DE BOULEVARDS AU PROFIT DES MOBILITÉS ACTIVES ET DU CADRE DE VIE

Longtemps affectés à la circulation routière, les boulevards urbains se transforment progressivement en réponse aux enjeux climatiques et à l'essor des mobilités actives : leur caractère routier s'efface aux profits d'un rééquilibrage des usages et du rafraîchissement local. Cette partie comporte deux exemples de réalisations emblématiques. Il en existe bien entendu d'autres dépendant des spécificités locales.

5.1. Requalification d'un boulevard urbain en un parc arboré linéaire



Illustration 34 : Répartition spatiale des usages sur le Boulevard Aubanel avant et après son aménagement
Sources : Google Maps (photo de gauche) et Construction 21 (photo de droite)

MOA : Commune de Miramas (Bouches-du-Rhône, 13)

Typologie de la solution d'adaptation : Aménagement du linéaire de voirie – Requalification et réaménagement de la voirie

Aléas climatiques concernés : Canicules / vagues de chaleur, fortes précipitations

Enjeux d'adaptation : Désimperméabilisation, végétalisation, ombrage, revêtement atténuant la chaleur, nature en ville et biodiversité, gestion des eaux pluviales, confort thermique, cadre de vie, mixité des usages, économie d'énergie, économie circulaire, sobriété foncière

Points forts :

Aménagement paysager qualitatif contribuant à l'adaptation au changement climatique.

Vision intégrée des différents enjeux pour rendre l'écosystème urbain plus résilient, utilisation optimisée des ressources, amélioration du cadre de vie et de la santé des habitants et usagers, interactions sociales favorisées.

Description de la solution :

Le boulevard Aubanel se situe dans un quartier d'habitation en entrée ouest de Miramas (commune de plus de 26 000 habitants située dans le département des Bouches-du-Rhône). Anciennement sur la Route Nationale N569 traversant Miramas, ce boulevard était composé de 2 fois 2 voies séparées par un terre-plein central. La déviation de cette nationale a permis de réduire le trafic automobile de transit rendant possible la requalification et le réaménagement du boulevard Aubanel (800 mètres de linéaire).

L'opération, réalisée dans le cadre du projet européen *Life Nature for City*, consiste à réduire l'emprise de l'axe routier initial (ancienne N569) à 2 voies au lieu de 4 pour redonner la place aux modes actifs en créant une voie verte permettant d'accéder au centre-ville.

Nature en ville et biodiversité urbaine

- Conservation des alignements d'arbres centenaires, pins parasol et platanes
- Plantation de 38 000 végétaux de toutes tailles dont des plantes mellifères et 50 nouveaux arbres
- Installation d'abris à insectes
- Diminution de la pollution lumineuse avec un éclairage LED directionnel et réduit



Illustration 35 : De petits passages sont aménagés pour rejoindre la bande longitudinale de stationnement revêtue d'un matériau perméable

Confort thermique et gestion des eaux pluviales

- Désimperméabilisation d'une partie du boulevard concernant plus de 8 000 m² et plantation d'espèces végétales favorisant la rétention et la vaporisation de l'eau
- Déconnexion partielle de la voirie du réseau d'eaux pluviales de la commune
- Réalisation de bassins d'infiltration dimensionnés pour une pluie de retour 50 ans
- Utilisation de revêtements drainants en sable stabilisé pour les cheminements des piétons
- Utilisation d'un mélange-terre pierre recouvert de GNT¹⁰ pour le stationnement longitudinal
- Utilisation d'enrobés avec un albédo plus élevé que les enrobés classiques pour la route

Cadre de vie

- Séparation de la voie verte de la circulation automobile
- Préservation et renforcement de l'identité paysagère avec les essences locales méditerranéennes et matériaux locaux clairs
- Réalisation d'une trame verte arborée et installation de pergolas pour apporter ombrage et fraîcheur tout au long du parcours
- Utilisation de mobiliers urbains qualitatifs diversifiés incitant au repos, jeu, activité sportive, rencontre, etc.

¹⁰ La grave non traitée (GNT) est un granulat composé d'un mélange de sable et de gravillons.

– Utilisation de la tranchée drainante avec ballaste comme anti-racine pour résoudre le problème de dégradations de la chaussée par les racines des pins centenaires

Mixité des usages

- Réalisation d'une promenade large et ombragée à destination des modes actifs
- Réalisation d'une aire de jeux pour les enfants
- Création d'un espace d'évènement pour les associations de quartier
- Création d'une zone d'éducation à la nature comprenant un jardin botanique et un jardin des oiseaux
- Réaménagement des places de stationnement

Gestion de la ressource et sobriété

- Réalisation des ouvrages en terre crue (murs et bancs) construits avec la terre du site et les galets de la Crau permettant de réduire les matériaux à évacuer et à livrer sur le chantier
- Utilisation d'enrobés éclaircis pour permettre d'abaisser le niveau d'éclairage nocturne
- Conservation de la base d'une des chaussées existantes (pas de terrassement en profondeur), réfection du revêtement de surface seulement
- Installation d'un éclairage LED directionnel couplé à un revêtement au sol plus clair pour diminuer de 30 % la consommation énergétique
- Gestion de l'arrosage en période estivale gérée avec l'eau brute disponible à proximité du site et non de l'eau de ville : réseau de noues de collecte des eaux pluviales connecté aux arbres et plantations ainsi qu'au canal d'irrigation de Miramas
- Utilisation d'espèces végétales locales méditerranéennes
- Positionnement des espèces végétales dans l'espace public en fonction du gradient de collecte des eaux pluviales : plantes les plus gourmandes en eau placées proches de l'exutoire des réseaux (noues de collecte) et les plus résistantes dans les jardins méditerranéens moins irrigués par le réseau de collecte.

Co-bénéfices :

Stockage de carbone, biodiversité urbaine, économie circulaire, amélioration du cadre de vie et bien être des riverains, espace aménagé sécurisé et favorable aux mobilités actives. Réduction de la consommation énergétique des installations d'éclairage public grâce à l'emploi d'un revêtement plus clair.

Points de vigilance et complexité de mise en œuvre :

La déminéralisation de l'espace public doit toujours tenir compte des enjeux de mobilité et d'accessibilité pour les PMR. Les végétaux plantés dans le cadre du projet doivent être adaptés au climat local et ne pas nécessiter un entretien disproportionné pour les services gestionnaires.

Coûts : 3 800 k€. La désimperméabilisation a concerné plus de 8 000 m².

Sources :

- « Réaménagement du boulevard Aubanel à Miramas », Mathilde Pecnard, Construction 21, 2021 <https://www.construction21.org/france/infrastructure/h/reamenagement-du-boulevard-aubanel-a-miramas.html>
- Désimperméabiliser et revégétaliser : retour d'expérience sur le boulevard Aubal à Miramas https://www.nature4citylife.eu/fileadmin/user_upload/N4CL_Miramas.pdf
- Requalification du Boulevard Aubanel, Aménagement du territoire : Démarches de planification en faveur de la biodiversité, Capitales françaises de la biodiversité : <https://www.capitale-biodiversite.fr/experiences/requalification-du-boulevard-aubanel>

– Réaménagement du boulevard Aubanel à Miramas, Une réalisation proposée par SUEZ Consulting, France ville durable : <https://francevilledurable.fr/realisations/reamenagement-du-boulevard-aubanel-a-miramas/>



Illustration 36 : Les usagers de la voie verte (au centre) bénéficient de l'ombrage des pins parasols existants tandis que la chaussée (à droite) est plus exposée au soleil

5.2. Réaménagement d'une « autoroute urbaine » en une rue partagée, apaisée et adaptée aux aléas climatiques

MOA : Métropole de Lyon (Rhône, 69)

Typologie de la solution d'adaptation : Aménagement du linéaire de voirie

Aléas climatiques concernés : Canicules / vagues de chaleur, fortes précipitations

Enjeux d'adaptation : Désimperméabilisation, végétalisation, ombrage

Points forts : Aménagement esthétique renforçant le cadre de vie de la rue et du quartier et contribuant à rééquilibrer la voirie au profit des mobilités actives et services de transport collectif.

Ce projet innovant s'inscrit dans une démarche d'adaptation au changement climatique : les aménagements paysagers sont marqués par une forte présence du végétal et une large désimperméabilisation des sols.

Description de la solution : Le cours Garibaldi était historiquement un axe routier structurant de l'agglomération lyonnaise de 3,8 km de long marqué par un trafic routier conséquent (entre 13 000 et 30 000 véhicules par jour) et des passages dénivelés donnant une priorité à l'axe routier. Dès 2012, un projet de réaménagement a été initié en plusieurs tranches successives sur un linéaire total de 2,7 km pour offrir un partage de l'espace public entre tous les modes de déplacements tout en structurant l'espace par des aménagements paysagers.

En 2023, les tranches 1 et 2 ont déjà été réalisées sur un linéaire de 1,3 km. Les nouveaux carrefours traversant créés à l'emplacement des anciennes trémies ont permis de récupérer environ la moitié des espaces pour d'autres usages. En particulier, les aménagements suivants ont été réalisés :

- une large promenade piétonne plantée et des espaces publics ;
- une piste cyclable bidirectionnelle séparée des circulations automobile et piétonne ;
- un aménagement évolutif d'un site propre bus ;
- des trottoirs confortables ;
- un bassin enterré récupérant les eaux de pluie.

AVANT



APRÈS



Illustration 37 : Transformation d'un axe structurant très routier en un boulevard urbain paysager

La promenade plantée en pleine terre a été réalisée tout au long de la rue afin de former un véritable corridor écologique de 4 500 m². Cette promenade plantée en continu, ainsi que la gestion des eaux en surface dans des jardins de pluie et la colorimétrie des différents matériaux employés permettent de lutter efficacement à la surchauffe urbaine notamment en améliorant de façon significative le confort thermique des usagers.

Pour la température ressentie de l'air, un écart de 10° UTCI d'écart (Universal Thermal Climate Index) par rapport aux parties de la rue non réaménagée a été constaté (l'effet rafraîchissant pour la température de l'air sous abri est de l'ordre de 1,2 à 2 °C).

La métropole a réalisé les aménagements suivants :

- un bassin de stockage enterré ;
- des noues pour l'infiltration d'eaux de pluie ;
- une re-végétalisation avec trois strates de végétation adaptée au climat et peu consommatrice en eau.

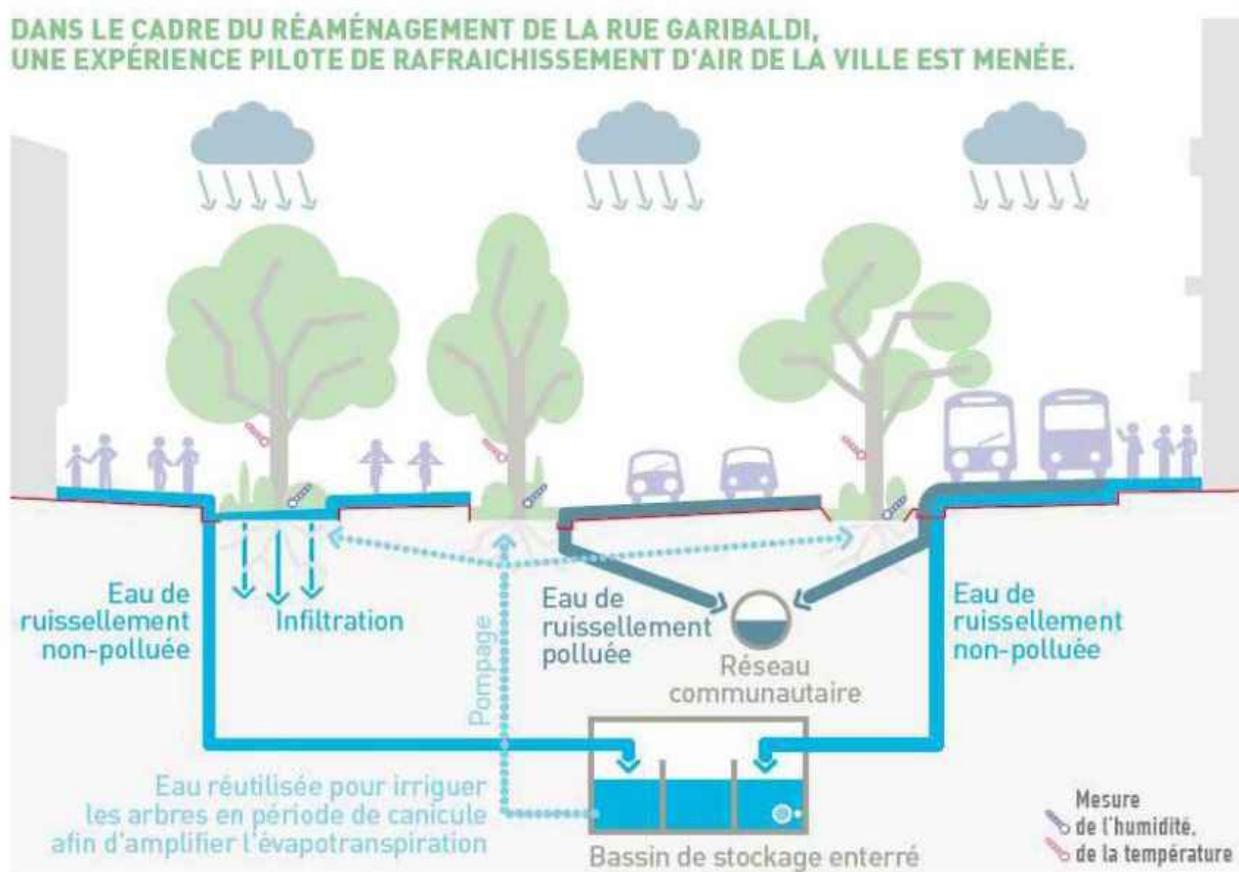


Illustration 38 : Schéma présentant l'expérimentation pilote de rafraîchissement d'air

Les bénéfices pour la Métropole sont :

- Une déconnexion du réseau unitaire, évitant ainsi de surcharger davantage le réseau existant par la création d'un bassin enterré
- Des bénéfices économiques :
 - pas de création de nouvelles conduites d'assainissement ni de station d'épuration,
 - moins de consommation d'eau potable par une réutilisation de l'eau de pluie stockée,
 - un espace fédérateur et nouveau lieu de vie
- L'appropriation des nouveaux espaces créés (lieux de rencontre et de vie) par les riverains et usagers qui peuvent profiter d'une diversité de nouvelles ambiances (terrasses, bancs, nature et biodiversité)
- La contribution à l'adaptation au changement climatique

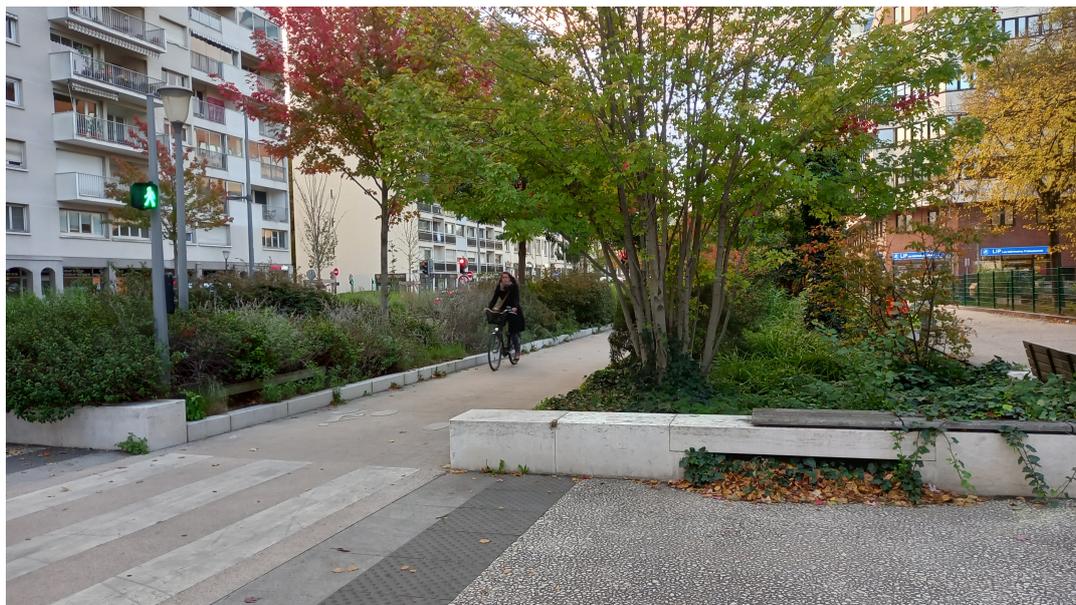


Illustration 39 : Combinaison de solutions techniques d'adaptation en faveur des mobilités actives et de la gestion intégrée des eaux pluviales

Co-bénéfices : Stockage de carbone, biodiversité, amélioration du cadre de vie / bien être, sécurisation des déplacements / délimitation de l'espace, favorise la pratique des mobilités actives.

Points de vigilance et complexité de mise en œuvre :

La végétalisation nécessitera des entretiens réguliers de tailles et d'élagage afin de ne pas nuire à la visibilité des automobilistes et des autres usagers. Il convient de veiller à la bonne cohabitation entre piétons et cycles en proposant des espaces dédiés à chacun ou une limitation des vitesses des cyclistes.

Coûts : 31,8 M€ (tranches 1 et 2) avec une subvention de 1 M€ de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse (RMC) pour le bassin de stockage et les noues de la 1ère tranche.

Source et pour en savoir plus :

– Cerema. Favoriser l'infiltration et la réutilisation des eaux pluviales – Le réaménagement de la rue Garibaldi à Lyon. Fiche n°3 – Série de fiches « Désimpermeabilisation et renaturation des sols », 2020

Disponible en ligne : <https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/desimpermeabilisation-renaturation-sols#chapters>

Le saviez-vous ?

La loi du 21 février 2022 relative à la différenciation, décentralisation, déconcentration et portant différentes mesures de simplification de l'action publique dite loi 3DS et son décret d'application n°2023-384 du 19 mai 2023 sont venus clarifier et renforcer le régime de protection des allées d'arbres et alignements d'arbres bordant des voies ouvertes à la circulation publique.

<https://outil2amenagement.cerema.fr/la-protection-des-allees-et-alignements-d-arbres-r1307.html>

6 INTÉGRATION DES EAUX PLUVIALES AUX ESPACES PUBLICS

Dans un contexte de dérèglement climatique, les régimes de précipitation risquent d'évoluer en intensité avec la survenue d'épisodes de précipitations extrêmes pouvant saturer les réseaux enterrés d'eaux pluviales et induire des inondations par débordement. Les risques d'inondation par submersion de masse d'eau (cours d'eau, mer...) peuvent également s'aggraver dans le cas de collectivités traversées par un cours d'eau ou certains territoires littoraux.

L'alternance d'épisodes de sécheresse et de pluies intenses amène à revoir les pratiques traditionnelles de gestion des eaux pluviales en adoptant une gestion plus efficace de la ressource en eau dans une logique **d'optimisation des espaces urbains et des usages qu'ils supportent**. Le premier Plan National d'actions pour la gestion des Eaux Pluviales couvrant la période 2022-2024¹¹ a l'ambition de mieux intégrer la gestion des eaux pluviales dans les politiques d'aménagement du territoire et de **faire de cette eau une ressource** dans la perspective d'adaptation des villes au changement climatique. En outre, une gestion des eaux pluviales à la source au profit d'une infiltration dans les sols est désormais préconisée (arrêté du 21 juillet 2015 relatif au système d'assainissement), elle s'accompagne de nombreux co-bénéfices : respect du cycle de l'eau, rafraîchissement de l'air, coûts d'équipements de voirie évités.

Il existe plusieurs ouvrages de gestion hydraulique alternatifs au tout réseau visant à réguler et/ou infiltrer les eaux de ruissellement parmi lesquels (liste non exhaustive) :

- 1 – les jardins de pluie : noues ou fossés végétalisés, bassins
- 2 – les chaussées à structure réservoir
- 3 – les tranchées drainantes
- 4 – les espaces publics inondables

Points de vigilance :

Ces solutions techniques visant à infiltrer les eaux pluviales sont à utiliser en accordant une importance fondamentale à l'environnement proche dans lequel elles s'inscrivent et à la nature du sol en particulier dès lors qu'il s'avère argileux. Élaborées sur des sols argileux très plastiques et sensibles aux phénomènes de retrait et de gonflement, les routes et voiries urbaines sont en effet susceptibles de subir davantage de dégradations imputables à la sécheresse : fissures, déformations, etc.

De même, dans certains territoires de montagne, l'accélération des cycles de gel-dégel et la multiplication des glissements de terrain risque de menacer la pérennité des infrastructures de mobilité.

Oasis : un outil d'aide pour dimensionner les systèmes d'infiltration des pluies courantes

Oasis est un outil d'aide au dimensionnement et à la conception d'ouvrages dédiés à l'infiltration des pluies courantes (dispositifs de gestion à la source, perméables et végétalisés). Fruit d'une collaboration entre le Cerema et le Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains (Leesu) de l'École des Ponts ParisTech, il permet aux acteurs de la gestion des eaux pluviales urbaines (aménageurs publics et privés, bureaux d'études, maîtres d'ouvrage...) d'établir de façon simple un lien entre le dimensionnement de ces ouvrages et leur efficacité vis-à-vis des événements fréquents, exprimée comme un abattement pluri-annuel des précipitations. L'outil permet également de tenir compte des objectifs plus classiques de **maîtrise du ruissellement associés aux événements plus exceptionnels**. Oasis est en mesure de produire

¹¹ Pour plus d'information, consulter le site du ministère de la Transition écologique

<https://www.ecologie.gouv.fr/lancement-du-premier-plan-national-dactions-gestion-des-eaux-pluviales>

des informations assez détaillées sur le fonctionnement des ouvrages (bilan hydrique, distribution des rejets, efficacité pour différentes catégories de précipitations, fréquence de mise en eau...).

À l'heure actuelle, son domaine d'application se limite à des conditions pluviométriques proches de celles de la Région Île-de-France.

Mis en ligne et hébergé par le Cerema, l'outil est en accès libre sur la plateforme en ligne : <https://oasis.cerema.fr/>

6.1. Jardins de pluie

Le concept de jardin de pluie se popularise dans les pays anglo-saxons, principalement aux États-Unis et en Australie dans les années 1990 sous l'appellation de « rain garden ». Ce terme désigne alors un aménagement paysager spécifique qui prend la forme d'un **aménagement végétalisé en creux**.

Un jardin de pluie entre dans la famille des techniques de gestion intégrée des eaux pluviales à la parcelle. Celles-ci visent notamment à assurer une gestion de l'eau au plus près de la source, réduire les volumes et débits rejetés dans les réseaux et favoriser l'infiltration dans le sol.

En France, des projets d'aménagement variés sont qualifiés de « jardins de pluie » par leurs concepteurs. À la fois aménagement paysager et projet technique, le jardin de pluie est un objet pouvant revêtir des formes diverses et prendre son sens à plusieurs échelles.

Quelle que soit sa forme ou sa complexité, le jardin de pluie répond à plusieurs enjeux :

- gérer l'eau pluviale de manière localisée, économe et le plus possible indépendante des réseaux enterrés ;
- donner de la visibilité au cycle naturel de l'eau dans une approche pédagogique ;
- favoriser la biodiversité dans les espaces urbanisés ;
- retrouver le cadre de vie convivial et structurant en associant eau et végétal.

Pour en savoir plus :

– La page d'actualité du Cerema sur le thème Jardin de pluie <https://www.cerema.fr/fr/mots-cles/jardin-pluie>

– Cerema. Jardins de pluie – Une dimension écologique et paysagère de l'aménagement. Ouvrage technique, 2016 <https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/jardins-pluie>

6.1.1 Les noues

Couramment utilisée en assainissement urbain, la noue est une technique adaptée aux espaces linéaires (chaussées, trottoirs, pistes cyclables...) sous réserve d'une disponibilité foncière suffisante. Dotée de profils évasés, de l'ordre de 1/2 à 1/4 ou même moins, elle peut reposer sur une tranchée remplie de graves drainantes lorsque les emprises sont insuffisantes. Employée dans les parcs de stationnement, en accotements de voirie ou encore sur les terre-pleins centraux, elle contribue à effacer le caractère routier de la voirie.

Elle peut contribuer à l'apaisement des vitesses et à la convivialité des déplacements dès lors que son aménagement est associé à une réduction de la largeur de la chaussée.



Illustration 40 : Aménagements linéaires de noues

Source photo gauche : Google Street view, 2021

Source photo droite : Ateliers nature en ville et adaptation au changement climatique – M.C. Leroy bureau d'études infra services, 18-19 novembre 2015

MOA : Technopole du Madrillet, Saint-Étienne du Rouvray (Seine-Maritime, 76), 2015

Typologie de la solution d'adaptation : Aménagement linéaire de la voirie

Aléas climatiques concernés : Fortes précipitations, canicules / vagues de chaleur

Enjeux d'adaptation : Désimperméabilisation, végétalisation, Gestion alternative des eaux pluviales

Points forts : Gestion de l'eau pluviale à la parcelle, ouvrages multifonctionnels pouvant par exemple accueillir du mobilier urbain, des aménagements pour les modes actifs ou les accompagner, conception plus sobre et économe de la voirie limitant l'utilisation des bordures et des caniveaux et autres équipements de VRD, bonne intégration paysagère.

Description de la solution : Cette adaptation de la voirie porte sur le reprofilage et l'aménagement de dévers qui permettent l'écoulement et le stockage de l'eau pluviale à l'air libre avant infiltration (noue filtrante) ou drainage (noue drainante). Il n'est ainsi pas question de mettre en place des grilles de chaque côté de la voirie afin que l'eau soit dirigée dans le réseau enterré d'assainissement comme dans des projets plus traditionnels.

Co-bénéfices : Stockage de carbone, biodiversité, Amélioration du cadre de vie / bien être, sécurisation des déplacements / délimitation de l'espace, régulation des polluants selon la nature du sol, respect du cycle naturel de l'eau et diminution des volumes d'eau à gérer en aval

Points de vigilance et complexité de mise en œuvre :

L'aménagement d'une noue nécessite une emprise foncière relativement importante de la voirie. En cas de pente longitudinale supérieure à 2 %, il est conseillé de prévoir des redents pour améliorer le rôle de rétention et d'infiltration de la noue.

Ce type d'espace peut également nécessiter un besoin d'entretien important pour garantir sa vocation paysagère. Les exigences en entretien ne seront pas les mêmes selon que la noue est engazonnée avec rives en pentes douces (pour le passage de la tondeuse) ou plantée avec des arbustes et plantes vivaces hydrophiles (taille deux fois par an). Des opérations de nettoyage sont nécessaires pour enlever les débris et les déchets et contribuer à sa valeur paysagère. L'acceptation sociale des noues repose sur leur aspect qualitatif passant par un bon niveau d'entretien et requiert des actions amont de communication et

de sensibilisation. En parallèle, il convient d'accompagner les services techniques dans les changements de pratiques.

L'infiltration directe des eaux de ruissellement provenant de chaussées très circulées est déconseillée pour ne pas nuire aux végétaux.

La noue nécessite parfois d'être protégée du piétinement et des dégradations sur les végétaux qui y sont plantés : une barrière de sécurité d'une hauteur de 30 cm ou l'installation d'une végétation haute, solution plus esthétique et plus économique, peuvent alors être nécessaires.

Coûts :

- mise en œuvre d'une noue d'infiltration (terrassement, évacuation de la terre excédentaire) : 10 €/m³ (HT valeur 2019)
- engazonnement et plantations : 1 à 10 € le mètre linéaire selon les types de plantation (HT valeur 2019)

Sources :

– Cerema, les noues et les fossés, principe de fonctionnement et services écosystémiques, Fiche n°6 de la série de fiches « Gestion intégrée de l'eau en milieu urbain » disponible en ligne : <https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/591917/gestion-integree-de-l-eau-en-milieu-urbain-fiche-n-6-les-noues-et-les-fosses>

– Ateliers nature en ville et adaptation au changement climatique – M.C. Leroy bureau d'études infra services, 18-19 novembre 2015, http://www.capitale-biodiversite.fr/sites/default/files/Ateliers/documents/5_gestion_eaux_pluviales_infra_services_m-c.leroy_.pdf

– Adopta, La noue d'infiltration, fiche technique n°1, Série de fiches la boîte à outils des techniques alternatives disponible en ligne https://adopta.fr/wp-content/uploads/2019/12/Adopta-Technique-01_compressed.pdf

Autres cas d'usage :



Illustration 41 : Noue plantée mise en place le long d'une chaussée peu circulée

Les bordures basses et interrompues permettent l'écoulement des eaux de ruissellement provenant de la chaussée. On note toutefois un effet assez « canalisant » (à prendre en compte lors des études amont pour travailler sur les séquences paysagères et favoriser la perméabilité des circulations, en particulier des modes actifs).



Illustration 42 : Noue le long d'une allée de desserte en béton désactivé au sein d'un parc urbain
Source : Conseil départemental des Hauts-de-Seine

6.1.2 Les dispositifs innovants

> Les « arbres de pluie »

L'arbre de pluie est un arbre dont la fosse de plantation a été conçue et dimensionnée en surface et en dépression pour gérer une partie des eaux de ruissellement, favoriser le développement de l'arbre et la biodiversité y compris celle du sol. Ce concept est utilisable dans les projets de réaménagement urbain afin de bien intégrer la déconnexion des eaux de ruissellement du réseau d'assainissement unitaire ainsi que leur infiltration dans des espaces urbains restreints. En effet, l'eau est une ressource pour augmenter le pouvoir rafraîchissant du végétal grâce à l'évapotranspiration.

MOA : Métropole de Lyon (Rhône, 69)

L'arbre de pluie s'inscrit à la croisée de deux stratégies conduites par la Métropole de Lyon, la stratégie Ville perméable initiée par la Direction du cycle de l'eau d'une part et le plan Nature porté par le service Écologie et mis en œuvre par la Direction adjointe Patrimoine végétal. La première stratégie vise à désimperméabiliser les sols et favoriser l'infiltration des eaux pluviales. La seconde stratégie a pour ambition de planter des arbres pour renforcer la canopée urbaine. Les arbres de pluie participent à améliorer les services écosystémiques rendus par les espaces végétalisés.

Typologie de la solution d'adaptation : Aménagement du linéaire de voirie

Aléas climatiques concernés : Précipitations, canicules/vagues de chaleur, sécheresse

Enjeux d'adaptation : désimperméabilisation, végétalisation, gestion alternative des eaux pluviales, ombrage

Les arbres de pluie participent à :



La réduction
du ruissellement
et de la surcharge
des réseaux
d'assainissement



La recharge
de la nappe
phréatique



Le développement
des îlots de
fraîcheur



L'augmentation
de la biodiversité
urbaine



L'amélioration
du cadre de vie

Description de la solution :

La Métropole de Lyon et la Mairie du 6^e arrondissement de Lyon ont décidé en 2021 de réaliser des arbres de pluie dans plusieurs rues, rue Juliette Récamier et rue Vauban.

Pour rendre les services écosystémiques, les fosses d'arbres sont aménagées avec les trois éléments ci-après :

- 1** – Tranchée d'infiltration : zone de stockage en gravier concassé
- 2** – Entrée dégagée et en pente : sans bordure ou avec des bordures perforées à 2/3 et avec une différence altimétrique
- 3** – Zone en dépression avec apport de terre fertile et végétalisation pour favoriser la biodiversité (aérienne et dans le sol).



Illustration 43 : Dispositifs de gestion des eaux pluviales favorisant l'infiltration des pieds d'arbres
Les flèches bleues indiquent le sens d'écoulement des eaux de ruissellement

L'arbre de pluie est conçu pour infiltrer une hauteur d'eau maximale de 15 mm, ce qui correspond à un stockage temporaire dans la fosse d'arbre de 1m³ d'eau maximum pour une surface déconnectée de 100 m² (bassin versant). L'arbre de pluie est donc efficace pour toutes les pluies de faible intensité. Au-delà de cette quantité (15 mm) ou de cette surface (100 m²), les eaux partiront dans le réseau.

La déconnexion pourrait également être efficace pour certains événements estivaux caractérisés par des pluies courtes et intenses. Par exemple, dans le cas des arbres de pluie de la rue Vauban, 3,5 mm de hauteur d'eau ont été infiltrés en 6 minutes sur un sol sec et jusqu'à 7 mm en 6 minutes sur un sol humide.

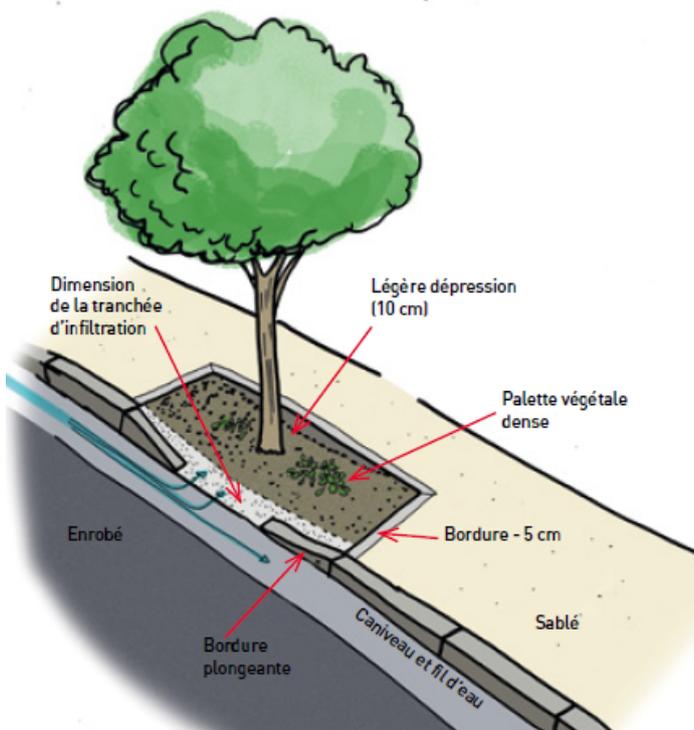


Illustration 44 : Exemple de schéma de principe d'un arbre de pluie

Source : Métropole de Lyon

En termes de retours d'expérience, l'aménagement d'une rue entière avec 5 arbres de pluie à Lyon 6^e a permis d'infiltrer complètement des pluies qui ont cumulé jusqu'à 24 mm par jour avec de faibles intensités. Pendant l'été, cet aménagement a aussi infiltré 24 mm en moins de 2 h pour une surface de 600 m². Pendant la période d'observation et de suivi (hiver 2021, printemps et été 2022), les arbres ont grandi presque deux fois plus vite et sont restés en confort hydrique contrairement aux arbres de la même espèce et dans le même contexte (mais sans l'aménagement des arbres de pluie), qui ont montré un fort stress hydrique.

Co-bénéfices : Stockage de carbone, Biodiversité, Amélioration du cadre de vie / bien-être

Points de vigilance et complexité de mise en œuvre :

Tout projet de plantation nécessitera d'observer l'état et la typologie du sol en place avant terrassement : sol remanié (anthropisé) ou sol naturel.

Les arbres de pluie seront protégés des piétinements, des déjections canines et autres déchets par des ganimelles. En cas de neige et de risque de verglas, une saumure avec une faible concentration de sel (17 g/m² à Lyon) est préconisée.

L'agrandissement des fosses d'arbres doit tenir compte des différents usages de l'espace public et ne pas se faire au détriment de la mobilité des PMR, l'agrandissement de la fosse peut également augmenter les exigences en entretien.

Pour inciter au respect de ces espaces, il est nécessaire de réaliser sur place une communication simple et pérenne qui permette l'identification et la bonne compréhension des aménagements.



Illustration 45 : Exemple de panneaux d'information affichés à Lyon au droit des arbres de pluie

Coûts : Coût similaire à la plantation classique d'un arbre soit autour de 5 k€ pour le réaménagement ou une nouvelle plantation d'un arbre de pluie de 5 m x 2 m. L'aménagement d'arbres de pluie peut bénéficier d'une subvention de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. La demande de subvention doit se faire avant le démarrage des travaux.

Sources :

- Métropole de Lyon. Les arbres de pluie. Livret technique. 2022 disponible en ligne https://www.ofb.gouv.fr/sites/default/files/2022-12/livret_arbre_de_pluie_web.pdf
- Bruxelles environnement. Outil de gestion de l'eau de pluie à l'échelle du quartier – Recommandation pratique. Les arbres de pluie. 2014 disponible en ligne https://environnement.brussels/sites/default/files/user_files/geq08_arbrespluie.pdf

> Autres dispositifs innovants de jardins de pluie :

D'autres dispositifs alternatifs combinant gestion des eaux pluviales et végétation urbaine sont en train de se déployer sur l'espace public à l'instar du bocage urbain (breveté) qui est un aménagement paysager modulaire. Ce dispositif recueille les eaux de pluie provenant des trottoirs et des gouttières d'immeubles. Il trouve son intérêt notamment lorsque les sites sont dépourvus de pleine terre (réseaux, constructions, pollutions, sols stériles).

Les modules peuvent être installés en bordures de voies ou sur des places publiques sans terrassement important. Ils comprennent un bassin de rétention des eaux de pluie et un bac de végétaux. En plus d'écrêter les débits de pointe, ces dispositifs visent à renforcer l'irrigation des modules végétalisés et donc leur aptitude à rafraîchir l'air ambiant. Le système est économe et autonome en arrosage.

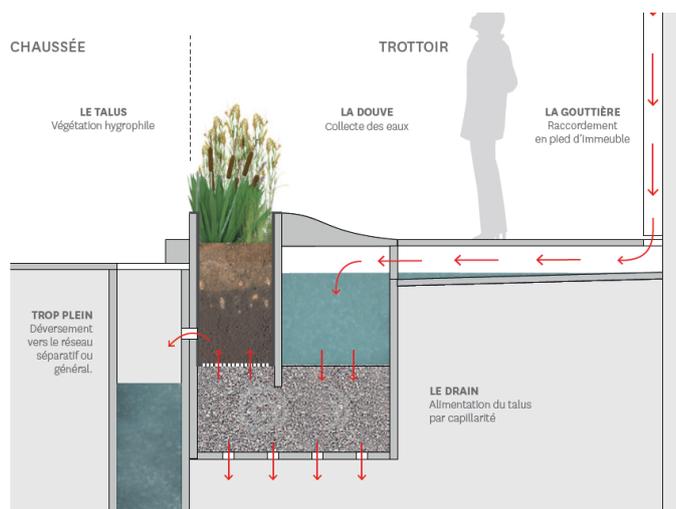


Illustration 46 : Coupe schématique du fonctionnement du bocage urbain

Source : ©Vertuo



Illustration 47 : Bocages urbains installés en bordure de voirie pour recueillir les eaux pluviales

Source : ©Vertuo

Pour en savoir plus :

- Centre de ressources pour l'adaptation au changement climatique. Bocage urbain <https://www.adaptation-changement-climatique.gouv.fr/initiatives/bocage-urbain>
- Adaptaville. Connecter les eaux pluviales à un module végétalisé : le Jardin de Pluie Urbain® <https://www.adaptaville.fr/jardin-de-pluie>
- Adaptaville. Un « bocage urbain » modulaire et alimenté par les eaux pluviales <https://www.adaptaville.fr/bassin-de-retention-d-eau>
- Agence Parisienne du Climat. Bocage urbain : eau de pluie et végétal. <https://www.apc-paris.com/actualite/bocage-urbain-eau-pluie-vegetal>
- Site du porteur de l'initiative <https://www.vertuo.city/>

6.2. Chaussée à structure réservoir

Solution de gestion durable et intégrée des eaux pluviales, la chaussée à structure réservoir (CSR) a commencé à se déployer au début des années 1990 dans le Douaisis (59) avant de se déployer dans la région « Grand Est » puis plus tardivement un peu partout sur le territoire national.

Encore balbutiante quelques décennies plus tôt, cette technique connaît ces dernières années un surcroît d'intérêt :

- tout d'abord, en raison de la prise de conscience progressive par les collectivités locales du dérèglement climatique en cours marqué notamment par une accentuation des épisodes de précipitations extrêmes pouvant être à l'origine d'inondations ;
- ensuite, en raison des fruits d'actions de sensibilisation et de communications d'acteurs publics contribuant à faire évoluer les pratiques et les mentalités vers une plus grande transversalité dans l'ingénierie de projets entre les services techniques et gestionnaires (voirie, assainissement, espaces verts...) ;
- enfin, parce que les retours d'expérience montrent la pérennité et les avantages de la CSR démontrant aux concepteurs de voirie les possibilités de déroger aux règles de l'art de conception de la voirie (règles de conception visant à la protéger de toute action néfaste de l'eau).

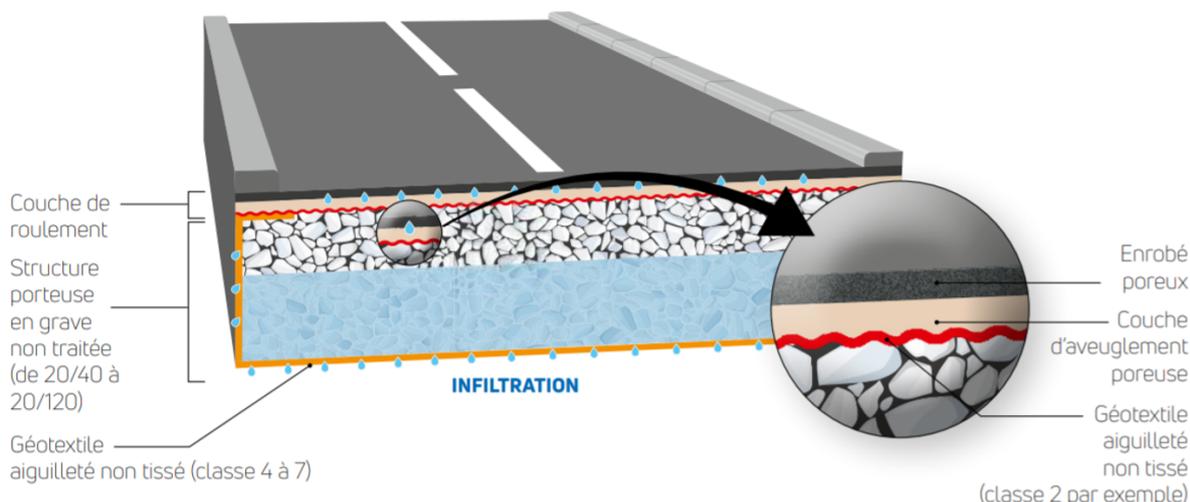
Cette technique offre l'avantage de combiner au sein d'un même espace la fonction circulatoire d'une chaussée classique et une fonction hydraulique. Son principal atout réside dans la capacité de sa structure à stocker et à infiltrer les eaux pluviales dans l'objectif de limiter voire d'éviter tout risque d'inondation. Elle peut être réalisée dans le cadre d'un **projet de voirie nouvelle** comme dans le cadre d'une **opération de réhabilitation de la voirie existante**.

Elle peut prendre quatre configurations possibles :

1 – Un revêtement en enrobé poreux au travers lequel l'eau vient percoler au-dessus :

- 1-1 d'une structure avec géotextile (perméable) en fond de forme pour infiltrer dans le sous-sol ;
- 1-2 d'une structure avec drain et géomembrane (imperméable) en fond de forme pour conduire l'eau vers un exutoire (milieu naturel, bande plantée...)

A AVEC INFILTRATION ET ENROBÉ POREUX



Crédit image : Adopta

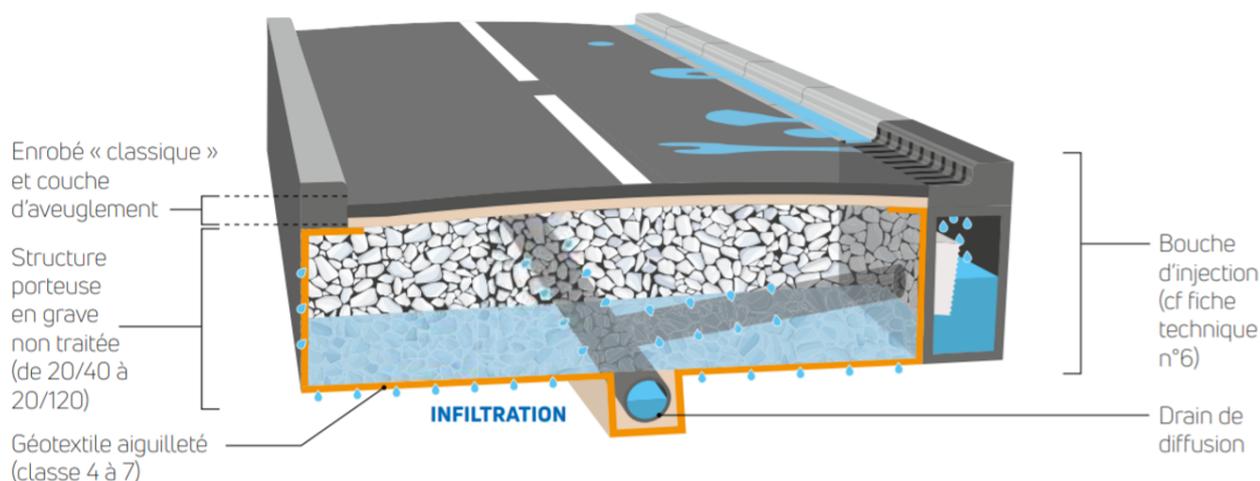
Les configurations avec des revêtements poreux ne peuvent pas être mises en œuvre partout : elles sont à proscrire au niveau des zones de giration (risques d'arrachement de l'enrobé), au niveau des zones exposées à des risques de souillure ou encore en cas de passages ultérieurs d'engins de chantier.

2 – Un revêtement en enrobé classique équipé au niveau du caniveau d'ouvrages de prétraitement comme la bouche d'injection qui a deux fonctions : décantation + filtration (filtrage des polluants et débris) et alimentation en eau de la structure.

2-1 Une structure avec géotextile (perméable) en fond de forme pour infiltrer dans le sous-sol ;

2-2 Une structure avec drain et géomembrane (imperméable) en fond de forme pour conduire l'eau vers un exutoire

B AVEC INFILTRATION ET ENROBÉ « CLASSIQUE »



Crédit image : Adopta

Pour les quatre configurations, la structure porteuse est constituée de graviers non traités pour pouvoir stocker les eaux pluviales. La grave non traitée présente un indice de vide de l'ordre de 35 %. En fonction de la performance mécanique recherchée (autrement dit du trafic, de la résistance mécanique, du type de revêtement), une couche d'une grave bitume poreuse ou non pourra être placée au-dessus de la couche de grave non traitée.

En surface, l'enrobé poreux présente une perméabilité initiale élevée de l'ordre de 2 cm/s (état neuf). Le phénomène de colmatage conduira à réduire cette perméabilité sans toutefois limiter son rôle d'infiltration. L'évolution temporelle du colmatage dépend du contexte et de l'environnement local qu'il sera nécessaire d'étudier avant d'envisager le recours à cette solution. La pertinence d'utiliser l'enrobé poreux s'étudiera au cas par cas.

Les co-bénéfices de la chaussée à structure réservoir :

- Respect du cycle naturel de l'eau (infiltration)
- Réduction des coûts de traitement de la station d'épuration
- Gestion économe du foncier (multifonctionnalité de l'ouvrage)

- Dépollution naturelle et à cinétique lente des hydrocarbures par la structure en cas d'accident¹². Toutefois, en cas de pollution accidentelle au niveau d'une CSR à enrobé poreux, il sera nécessaire d'ouvrir la chaussée pour dépolluer
- Risques de pollution chronique des sols et des nappes extrêmement faibles notamment à la fois en raison de la constitution même de la chaussée qui offre des conditions favorables au développement d'une activité bactérienne pouvant dégrader les hydrocarbures et du pouvoir auto-épurateur du sol (micro-organismes). Ces risques de pollution sont réduits quand la CSR est mise en œuvre dans des zones où les risques d'accidents et des trafics lourds de matières dangereuses sont faibles.
- Dans certaines configurations, contribution à l'irrigation des arbres et bandes plantées à proximité (notamment quand la CSR sert de stock d'eau et est conçue pour renvoyer cette eau vers un espace planté via un drain).

Les exigences en entretien de la chaussée à structure réservoir :

- **Exigences spécifiques en entretien de l'enrobé poreux**
 - Entretien préventif : balayage aspiration régulier de l'ordre d'une à deux fois par an ;
 - Entretien pré-curatif (cas d'un colmatage léger) : décolmatage mécanique de l'enrobé (avec de l'eau envoyée à très forte pression puis aspiration) réalisé selon les conditions du milieu en général (généralement tous les 15 à 20 ans sur la base du retour d'expérience du Douaisis présenté à la page suivante) ;
 - Entretien curatif (cas d'un colmatage irréversible) : renouvellement de l'enrobé indispensable.
- **Exigences en entretien de la bouche d'injection :**
 - Curage régulier de la partie décantation des bouches d'injection de l'ordre de deux fois par an (à adapter au contexte) ainsi que le nettoyage au jet d'eau du filtre.

Quelques éléments de coûts :

- En investissement, par rapport à une chaussée classique :
 - de l'ordre de – 5 % pour une CSR avec enrobé poreux
 - de l'ordre de + 10 % pour une CSR avec enrobé « classique » et bouches d'injection
- Des économies sur les coûts de fonctionnement (solutions économes en réseaux divers de voirie)
- Des aides financières potentielles par l'agence de l'eau sous certaines conditions
- Un coût de décolmatage de l'ordre de 1,7 € HT/m² (données 2015) pour des surfaces dépassant 10 000 m².

Sources :

- Cerema. Chaussées poreuses urbaines. Guide technique, 1999
Disponible en ligne : <https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/chaussees-poreuses-urbaines>
- Adopta. La chaussée à structure réservoir. Fiche technique n°4, 2020
Disponible en ligne <https://adopta.fr/fiches-techniques/>
- Fascicule 70.2 du CCTG

¹² À l'inverse, dans le cas d'une gestion classique d'assainissement, le milieu récepteur subit un choc massif de pollution lors d'un déversement accidentel d'hydrocarbures

Bilan du déploiement d'une politique pluviale durable de l'agglomération du Douaisis (59) : des bénéfices économiques et environnementaux concrets

Confrontée à des problèmes récurrents d'inondation par saturation de ses réseaux d'assainissement unitaires dans les années 1990, la Communauté d'agglomération Douaisis Agglo développe maintenant depuis plus de 25 ans une **politique volontariste de gestion intégrée des eaux pluviales** en appliquant aux projets d'aménagement des techniques dites alternatives.

Les solutions de gestion durable et intégrée des eaux pluviales reposent sur le stockage des eaux pour réguler les débits et réduire les vitesses d'écoulement en favorisant l'infiltration.

Le bilan de la collectivité, après 25 ans de mise en œuvre d'une politique pluviale volontariste, s'est traduit par :

> Des résultats techniques :

- 26 % de son territoire déconnecté des réseaux

> Des résultats environnementaux :

- Une réduction par 4,5 des fréquences et des volumes des rejets annuels (contribuant à réduire les charges de fonctionnement et d'exploitation de la station d'épuration) ;
- Aucune inondation observée lors des orages d'occurrence centennale de 2005 et 2016

> Des résultats économiques :

- Une économie de près de 1 M€ HT / an en coûts de fonctionnement : des coûts de fonctionnement de 1,5 M€/an au lieu de 2,5 M€/an pour un territoire de 120 000 habitants ;
- Une réduction d'environ 35 % des coûts de fonctionnement du service public de Gestion des eaux pluviales urbaines ;
- Des bénéfices liés à la double fonction de l'espace urbain : économies très sensibles et réduction significative des coûts d'exploitation.

> Les co-bénéfices de la gestion durable et intégrée des eaux pluviales :

- Des bénéfices environnementaux : lutte contre la surchauffe urbaine, approvisionnement des nappes phréatiques, biodiversité, etc.
- Des impacts sociétaux : cadre de vie, intégration paysagère, nature en ville, etc.

Les clés de réussite de la politique pluviale ambitieuse

Il est essentiel d'accompagner le changement lié à ces nouvelles pratiques en :

- développant la transversalité entre les services Assainissement – voirie – Espaces verts.
- travaillant en mode projet
- considérant la double fonction de l'espace.

EXEMPLE DE LA RUE CROSS A DOUAI (59)



Illustrations 48 : Chaussée à structure réservoir avec enrobés poreux et trottoirs en pavés béton poreux (29 ans de vie utile)

Crédits photos : Adopta

Autre cas d'usage :

> Une piste cyclable pouvant stocker les eaux de pluie



Source photos : Wavin France

MOA : Ville de Zwolle, Pays bas

Typologie de la solution d'adaptation : Aménagement de la voirie

Aléas climatiques concernés : Fortes précipitations

Enjeux d'adaptation : Stockage de l'eau, solution de gestion durable et intégrée des eaux pluviales

Les points forts : Utilisation de plastique recyclé, installation rapide, durée de vie

Description de la solution : Inaugurée en 2018, la « PlasticRoad » est la première piste cyclable en plastique recyclé. Longue de 30 mètres, elle est modulaire (modules s'emboîtant les uns dans les autres) et préfabriquée. Elle serait donc durable, plus facile à transporter, plus rapide à installer et aurait une durée de vie plus longue (potentiellement 3 fois plus que celle d'une route asphaltée). Elle est également dotée d'un espace creux qui peut être utilisé pour le stockage de l'eau de pluie et le passage des câbles et des tubes (cf. photo ci-dessus). La piste ne se corroderait pas et résisterait aux intempéries et aux températures extrêmes. Par ailleurs, ce système serait bien plus léger et nécessiterait donc moins de carburant pour sa manipulation et son transport.

Co-bénéfices : Bénéfices liés à l'économie circulaire

Points de vigilance et complexité de mise en œuvre : N.C.

Coûts : Grand investissement en termes de R&D

Sources :

– Vélo et territoires. Revêtements des aménagements cyclables », Fiche action n°9

http://gard.ffvelo.fr/wa_files/FICHE_20REVETEMENT_20V-T_20_2011-19.pdf

– Esprit Planète. Plastic Road : 218 000 Gobelets Jetables Transformés En Piste Cyclable

<https://espritplanete.com/blog/actualites/plastic-road-218-000-gobelets-jetables-transformes-en-piste-cyclable>

À voir aussi :

Le département des Yvelines (78) teste une piste cyclable en matériaux recyclés sur 50 mètres pour un linéaire total de 700 mètres entre le Chesnay-Rocquencourt et Versailles. Ce revêtement est réalisé avec 400 dalles conçues à base de plastiques recyclés, l'équivalent de 160 000 emballages plastiques. Le matériau, recyclé à 50 % et 100 % recyclable, intègre également des minéraux issus de la déconstruction. Ce revêtement n'est toutefois pas doté de propriétés relatives à la gestion des eaux pluviales.

Pour en savoir plus :

<https://www.yvelines-infos.fr/voie-cyclable-recyclee-versailleschesnay-rocquencourt/>

6.3. Espaces publics inondables

Les espaces publics inondables constituent des solutions simples et peu coûteuses en entretien. Ils combinent la fonction hydraulique avec d'autres usages selon les **principes de partage temporel**. Leur conception permet d'optimiser l'espace urbain existant et ses usages tout en répondant à des épisodes ponctuels d'inondations. Ces espaces nécessitent généralement un foncier important pour stocker un volume d'eau de ruissellement suffisant et peuvent parfois se révéler inadaptés en milieu urbain dense.

Ils posent également des questions d'acceptabilité sociale lorsque certains espaces de circulation ou d'agrément se retrouvent paralysés pendant plusieurs jours.



Illustration 49 : Espaces de stationnement, vulnérables aux inondations, dont l'usage est conditionné par les précipitations

6.3.1 Une place multifonctionnelle inondable



Illustration 50 : Vue aérienne du « Water square » Bentheimplein à Rotterdam
Crédit image : Le Médiateur

MOA : Ville de Rotterdam (Pays-Bas)

Typologie de la solution d'adaptation : Aménagement d'espace ouvert (place, parc de stationnement de surface...)

Aléas climatiques concernés : Fortes précipitations, Inondations

Enjeux d'adaptation : Gestion durable et intégrée des eaux pluviales, limitation des vulnérabilités face aux inondations, réduction de l'effet d'îlot de chaleur.

Points forts : Espace multifonctionnel, coût moins important que pour un bassin de rétention souterrain

Description de la solution : Inauguré en décembre 2013, le « Water square » Benthemplein à Rotterdam a été conçu dans l'objectif de retenir puis de réguler l'eau pluviale durant les épisodes de forte pluie évitant ainsi la saturation des réseaux d'assainissement. Cette place, d'une capacité de rétention de 1,7 million de litres d'eau et d'une surface d'environ 95 000 m², est composée de trois bassins qui peuvent servir de terrain de basket, d'amphithéâtre et de skatepark par temps sec. À travers sa conception, cette place inondable recueille les eaux de pluie à la fois des bâtiments et des rues environnantes. L'eau stockée est ensuite relâchée progressivement dans le réseau d'eau mais une partie peut également être redirigée vers des espaces végétalisés.

Co-bénéfices : Amélioration du cadre de vie / bien être, lien social

Points de vigilance et complexité de mise en œuvre : La création de ce type de structure nécessite l'adhésion des riverains et des usagers dès l'étape de conception. Durant son fonctionnement, cet espace doit être équipé de panneaux d'information pour éviter tout risque en cas de montée de l'eau dans les bassins au cours de fortes pluies.

Coûts :

De manière générale, 60 % du financement sont dévolus aux travaux relatifs à la gestion de l'eau et 40 % aux travaux relatifs à l'aménagement de l'espace public.

Environ 4,65 M€. La maintenance assurée par la Ville y est importante.

Sources :

– Emmanuel Rondia, Unpointcinq. « Le water square : la place à la pluie ! », 2019

<https://unpointcinq.ca/article-blogue/water-square-place-inondable/>

– Le Monde. « Rotterdam : Watersquare Benthemplein, un parc urbain qui se joue de la pluie », 2014

<https://www.lemoniteur.fr/article/rotterdam-watersquare-benthemplein-un-parc-urbain-qui-se-joue-de-la-pluie.1405184>

– Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire, « Rétention des eaux pluviales »,

2018 https://www.mamh.gouv.qc.ca/fileadmin/publications/amenagement_territoire/lutte_contre_changements_climatiques/changement_climatique_rotterdam.pdf

6.3.2 Un quartier résilient face aux inondations



Illustration 51 : Une chaussée inondée dans le quartier Matra à Romorantin.

Source photos : Libération. Inondations : un quartier touché mais pas coulé, article du 27 juin 2016

MOA : Commune de Romorantin – Lanthenay (Loir-et-Cher, 41)

Typologie de la solution d'adaptation : Aménagement d'espace ouvert (un quartier)

Aléas climatiques concernés : Inondations, fortes précipitations

Enjeux d'adaptation : Désimperméabilisation, gestion alternative des eaux pluviales, limitation des vulnérabilités face aux d'inondations, végétalisation

Points forts : Amélioration de la sécurité des habitants en cas de fortes pluies, évacuation rapide de l'eau, ralentissement de la vitesse des flots

Description de la solution :

Le projet d'aménagement du quartier Matra, mené par l'architecte Éric Daniel-Lacombe et inauguré en 2011 à Romorantin, a eu pour objectif d'adapter le quartier inondable à des crues qui peuvent potentiellement s'élever à une hauteur de 1,5 mètre dans le quartier. Les travaux d'adaptation du quartier ont notamment évité tout dégât physique durant l'inondation de mai 2016 au cours de laquelle l'eau a atteint la hauteur de 1,45 m.

Cette adaptation du quartier se matérialise à travers plusieurs aménagements dans une approche intégrée et interdépendante. Selon l'architecte, « le quartier est conçu comme un affluent temporaire de la Sauldre » ce qui contribue à changer de paradigme en appréhendant le risque d'inondation comme un événement normal et non plus comme une catastrophe.

En ce qui concerne la conception du projet, les rues perpendiculaires à la rivière ont été abandonnées au profit de rues parallèles favorisant l'écoulement de l'eau en aval. Cela s'est accompagné de la création d'un grand jardin et d'un bassin de rétention servant d'indicateur de risque lorsqu'il est rempli. De plus, la terre retirée pour la construction du bassin de rétention a servi à surélever la route ainsi que les trottoirs. Par ailleurs, « le quartier a été conçu pour permettre aux habitants de voir l'eau monter et de disposer du temps nécessaire à l'évacuation ».

Co-bénéfices : Stockage de carbone, biodiversité, amélioration du cadre de vie / bien être, sensibilisation des habitants aux enjeux d'adaptation au changement climatique.

Points de vigilance et complexité de mise en œuvre : Un tel projet doit nécessairement anticiper des risques supérieurs aux prévisions afin de garantir une marge de sécurité, les aménagements ne doivent pas conduire à altérer la mobilité des PMR hors période d'inondations.

Coûts : Non renseigné

Sources :

– Sibylle Vincendon, Libération. « Inondations : un quartier touché mais pas coulé », 2016
https://www.liberation.fr/france/2016/06/27/inondations-un-quartier-touche-mais-pas-coule_1461787/

– Le Berry Républicain. « Prévention des risques, Inondations : La leçon du quartier Matra à Romorantin », 2021, https://www.leberry.fr/romorantin-lanthenay-41200/actualites/inondations-la-lecon-du-quartier-matra-a-romorantin_13991618/

6.3.3 Exemple d'une aire de stationnement servant de stockage des crues

Mis en service en 2015, l'aménagement de l'esplanade Rif Vachet à Voreppe (38) a permis de concilier des objectifs de gestion hydraulique des eaux pluviales, de qualité paysagère et un usage de stationnement. Située au confluent du quartier du Vieux-Bourg, du parc LeFrançois et d'un complexe sportif, l'espace d'aménagement est traité de façon différenciée en trois zones étagées selon les périodes de retour des pluies :

- Un bassin central en eau pour une rétention des eaux de ruissellement jusqu'à des pluies annuelles tenant lieu de bassin d'agrément paysager : il est franchi par une passerelle piétonne reliant le parc et le complexe sportif attenants ;
- Un bassin de rétention – infiltration sec constitué d'un revêtement perméable en mélange terre-pierre (perméabilité annoncée de 200 mm/h) pour le stockage des eaux de ruissellement de période de retour ≤ 10 ans et le stationnement occasionnel (d'une vingtaine de places) lors des manifestations sportives ponctuelles (complexe sportif situé à côté de l'esplanade) ;
- Un bassin de rétention sec complémentaire constitué en enrobé pour des pluies de retour de 10 à 20 ans. Rarement inondé, il est utilisé pour le stationnement permanent des riverains et des sportifs courants.

Point de vigilance : Ce type d'aménagement doit s'étudier dans le respect des règles d'accessibilité PMR en garantissant des places de stationnement et des cheminements accessibles en tout temps.

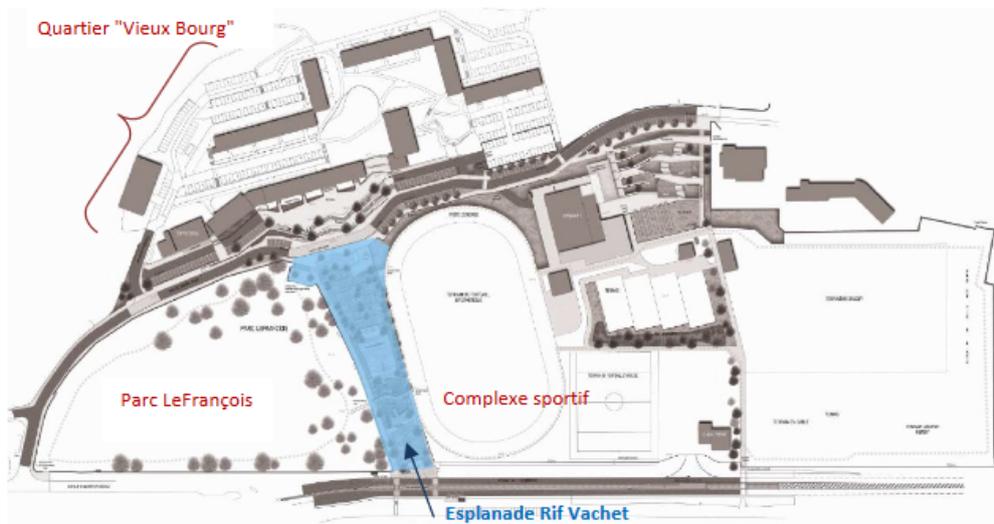


Illustration 52 : Plan de situation de l'esplanade Rif Vachet



Illustration 53 : Aperçu de l'aire de stationnement occasionnelle accessible lors des événements sportifs ponctuels et par temps sec
Le marquage original en bande est un clin d'œil à la piste d'athlétisme limitrophe.



Illustration 54 : Aperçu du bassin central en eau et de la passerelle piétonne de franchissement reliant le complexe sportif (à droite et en arrière plan sur la photo) et le parc

Autre cas d'usage

> **Espaces multifonctionnels servant à la fois d'espace vert ou de terrain de sport et de bassin d'orage**



Illustration 55 : Un espace public, plusieurs usages en fonction de la météo
Crédit photo : Crépy-en-Valois (Oise)

6.4. Tranchées drainantes

Les tranchées drainantes sont des ouvrages linéaires et superficiels remplis de matériaux granulaires permettant un stockage des eaux pluviales. Les eaux stockées sont évacuées soit par infiltration dans le sol si perméable soit si nécessaire au moyen d'un drain vers un exutoire.

Elles peuvent être mises en œuvre le long des voies circulées (voir [Illustration 57](#)), sous trottoirs ou en limite de parkings.



Illustration 56 : Situation avant aménagement d'une voirie desservant une zone d'activités

Source : Google maps

Avant aménagement, la chaussée était particulièrement dégradée par le passage régulier des poids-lourds (fissuration, orniérage par exemple). Située dans le péri-urbain, elle laissait peu de place aux mobilités actives.





Illustration 57 : Situation après aménagement de la voirie. Une voirie plus qualitative et intégrant les mobilités actives

Les accotements existants ont été utilisés pour y intégrer un espace réservé aux mobilités actives (piétons et cyclistes). Cet espace est séparé de la chaussée par des caissons métalliques de gabions plutôt que par des bordures en béton ce qui rend l'ensemble de la voirie plus qualitative et efface son caractère routier. Les eaux pluviales ne rejoignent non plus un caniveau mais gravitent jusqu'à la tranchée drainante mise en place le long de la voirie.

6.5. Revêtements perméables aux services des modes actifs

6.5.1 Exemple d'un revêtement drainant à base de liant végétal



Illustration 58 : Revêtement perméable avec liant végétal
Source : Eiffage Route

MOA : Commune de La Teste-De-Buch (Gironde, 33)

Typologie de la solution d'adaptation : Aménagement de la voirie

Aléas climatiques concernés : Canicules / vagues de chaleur, fortes précipitations

Enjeux d'adaptation : revêtement atténuant la chaleur, désimperméabilisation

Points forts : adapté à la pratique des mobilités douces et à la circulation des PMR quelle que soit la météo, revêtement recyclable, réduction des émissions de gaz à effet de serre par rapport aux revêtements traditionnels.

Description de la solution :

Les entreprises routières ont développé ces dernières années des produits spécialement conçus pour les aménagements des mobilités actives. Ces revêtements sont composés de granulats agglomérés par un **liant clair biosourcé incorporant des co-produits végétaux** issus de la sylviculture et de l'industrie papetière. L'origine végétale du liant permet d'améliorer le bilan carbone du produit par rapport au même matériau constitué de bitume traditionnel. Il permet également de réaliser une économie d'énergie et une baisse des émissions de fumées, grâce à un abaissement de la température de fabrication (généralement 130 °C au lieu des 160° habituels).

La couleur claire du liant permet de faire ressortir la teinte des granulats et de conférer au revêtement une coloration adaptée en choisissant une couleur de granulats convenable. Ceci permet de réaliser un aména-

gement qui s'insère de façon esthétique dans le paysage urbain. Également, le recours à des granulats clairs permet de concevoir un revêtement à fort albédo et de réduire les îlots de chaleur.



Illustration 59 : Place Meller au Pyla, bitume remplacé par un liant végétal
Source : Eiffage Route

Enfin, le revêtement peut être formulé afin d'avoir une forte porosité (revêtement drainant), ce qui permet d'améliorer la gestion des eaux pluviales et de réduire l'impact de l'artificialisation des sols. Plusieurs aménagements ont été réalisés avec ces solutions depuis quelques années, avec **des retours d'expérience probants**.

Co-bénéfices : Bilan carbone favorable (technique tiède, liant alternatif au bitume), Amélioration du cadre de vie / bien être, qualité paysagère locale, Inclusion / accessibilité pour les PMR

Points de vigilance et complexité de mise en œuvre : Ce revêtement n'est pas adapté pour les chaussées fortement sollicitées, décolmatage ponctuel des matériaux drainants à prévoir en entretien afin de conserver les propriétés drainantes.

Coûts : Surcoût à prévoir par rapport aux revêtements en sables stabilisés ou en enrobés bitumineux conventionnels ; coût au m² comparable aux revêtements à base de liants clairs pétroliers ; solution plus économique et pratique à la mise en œuvre que les bétons désactivés

6.5.2 Exemple d'un revêtement en enrobé poreux

Le réaménagement de l'avenue de la Porte d'Ivry (Paris) a eu pour objectif de désimpermeabiliser ses espaces publics : plusieurs revêtements perméables ont été intégrés au projet au bénéfice des modes actifs. Le revêtement de la bande technique en sable stabilisé a été remplacé en pavés à joints engazonnés. Une piste cyclable a été créée en lieu et place de la bande longitudinale de stationnement située le long de l'avenue : elle est séparée de la chaussée par une bande de stationnement motorisé et du trottoir à la fois par les arbres d'alignement et des zones de pavage.

Ces revêtements participent à renforcer l'infiltration des eaux pluviales dans le sol et l'irrigation des arbres existants.

La désimperméabilisation au profit d'un rééquilibrage des usages



Situation initiale de l'avenue de la porte d'Ivry



Une combinaison de matériaux perméables : revêtement poreux, pavés à joints engazonnés



Illustration 60 : Répartition spatiale de plusieurs revêtements perméables selon les usages au sein de l'aménagement. La bande technique composée de pavés à joints enherbés entre les arbres d'alignement participe au confort des piétons alors que la piste cyclable est constituée d'un revêtement poreux.

L'enrobé poreux mis en place pour la piste cyclable est capable d'absorber jusqu'à 5 cm d'eau de pluie par seconde et de stocker l'eau avant infiltration (notamment pour irriguer les racines d'arbres d'alignement à proximité). Notons aussi les phénomènes d'évapotranspiration liés au matériau.

Les limites d'emploi d'un revêtement poreux sont liées à sa sensibilité :

- aux phénomènes de colmatage : En cas de gel en hiver sur le revêtement, l'utilisation des sels de déverglaçage est possible mais l'emploi du sable est à proscrire en raison des risques de colmatage. Dans les zones de fortes utilisations de sels de déverglaçage, l'usage de revêtements poreux est fortement déconseillé, à cause du risque de pollution de la nappe, et de dégradation éventuelle des produits.
- à l'accumulation de sédiments et d'huiles dans la structure.

Le décolmatage peut se révéler coûteux : de l'ordre de 1 à 3 € / m²

7 DISPOSITIFS DE RAFRAÎCHISSEMENT

Avec le déploiement des aménagements pour les modes actifs, l'espace public nécessite, pour rester attractif à toute saison, de s'équiper de dispositifs de rafraîchissement accessibles et disponibles tout au long de leur parcours en visant les sites particulièrement chauds. Dans un contexte de réchauffement climatique, le besoin de disposer de points d'eau (bornes fontaines, brumisateurs...) est grandissant, conduisant parfois au phénomène de street-pooling¹³ (ouverture intempestive des bouches à incendies) qui va à l'encontre de l'économie de la ressource en eau potable. L'augmentation du nombre de points d'eau sur l'espace public s'accompagne d'une politique de sensibilisation des usagers.

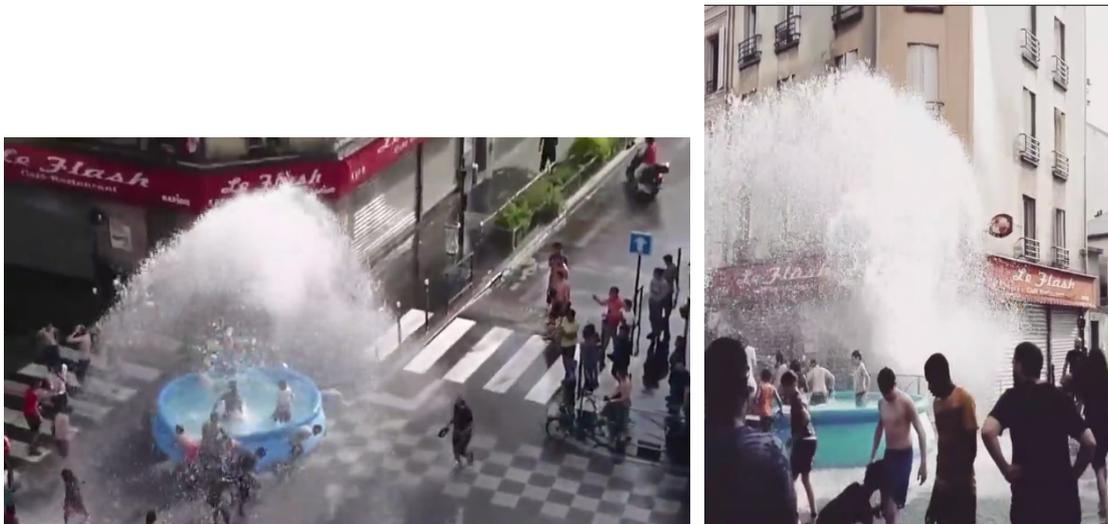


Illustration 61 : Phénomène de street-pooling susceptible de se produire durant les journées les plus chaudes. Pour certains, tous les moyens sont bons pour se rafraîchir lors des vagues de chaleur, même les plus illicites.

La qualité d'usage des espaces publics et leur attractivité doivent s'étudier également à la lumière des périodes caniculaires qui tendent à s'intensifier. Cette qualité d'usage passe notamment par l'installation massive de nouveaux mobiliers de rafraîchissement en complément des mobiliers existants (à l'instar des bornes-fontaines Bayard) :

- soit ponctuellement dans les espaces ouverts particulièrement fréquentés (places, espaces verts, parvis de gares, etc.)
- soit régulièrement le long d'itinéraires cyclables ou de cheminements piétons.



Illustration 62 : Borne-fontaine Bayard dans un espace public lyonnais

13 Un article universitaire sur le sujet : « Ouvrir ou fermer les bouches d'incendie ? Des enjeux technico-économiques aux enjeux sociaux » disponible en ligne <https://journals.openedition.org/developpementdurable/15635>

L'évolution à la fois du climat et des besoins des usagers incite en effet le gestionnaire à intégrer, plus systématiquement à la conception de voirie, des îlots de fraîcheur ludiques, inclusifs (soit accessibles à toute personne, quel que soit son âge, son genre, sa situation ou son handicap), connectés et respectueux de l'environnement.

En tant que mobiliers urbains, ces points d'eau peuvent être installés de façon pérenne par un ancrage au sol avec possibilité d'être mis en hivernage (autrement dit, déconnectés du réseau en hiver pour éviter les problèmes liés au gel) ou de façon saisonnière (notamment pour la période estivale). Ils peuvent être également pérennisés après un temps d'occupation temporaire et d'expérimentation se révélant concluant.



Illustration 63 : Déploiement de brumisateurs temporaires devenus pérennes par la suite
Place Paul Langevin, Montreuil (93) « La place est à nous »

Tous ces mobiliers nécessitent une connexion au réseau d'eau potable et sont généralement raccordés au réseau d'assainissement des eaux usées ou le cas échéant à un puisard. S'ils ne subissent pas de dégradations ou d'actes de vandalisme, leur coût d'entretien est généralement faible. Un contrôle relatif aux légionelles (bactéries à l'origine de la légionellose) est vivement recommandé avant toute mise en route.

Parmi les mobiliers urbains innovants, peuvent être cités les **fontaines modulables et évolutives** proposant plusieurs fonctions comme remplir une bouteille d'eau, boire à la source, activer une fonction de brumisation voire se protéger du soleil grâce à des ombrières surplombant le mât. Certains de ces mobiliers fonctionnent sans aucune source d'énergie extérieure (aucun raccordement nécessaire).



Illustration 64 : Une fontaine modulaire multi-fonctions
Source : © Water Connect – Design by Cooperative MU

Les pieds des fontaines peuvent être revêtus de **matériaux perméables comme des pavés coquillage drainants** pour limiter les pertes d'eau et renforcer l'effet de rafraîchissement sous le dispositif (en favorisant le pouvoir d'évapotranspiration) ou dès lors que ces mobiliers ne peuvent être connectés au réseau d'assainissement. Par ailleurs, les animaux de compagnie peuvent aussi disposer d'un accès à l'eau grâce à des mobiliers qui leur sont spécifiques.

Quand ces mobiliers innovants sont connectés et intelligents, il est possible de programmer le fonctionnement à distance, selon des plages horaires ou dès dépassement d'une certaine température ambiante (ce qui évite les risques de gaspillage).

C'est le cas notamment des brumisateurs pilotés à distance installés directement sur les candélabres d'un square parisien (le square Alban Sartagne) évitant par la même occasion la multiplication des supports. Cette solution a nécessité la pose d'une armoire de brumisation reliée à un réseau d'eau potable et une alimentation électrique permanente (**Illustration 65**)¹⁴.



Illustration 65 : Brumisateur de jardin activé © Evesa



Illustration 66 : Point d'eau accessible à tous et d'une confection particulièrement robuste

¹⁴ Pour en savoir plus : « Installer des brumisateurs intégrés aux candélabres d'un jardin », Adaptaville, <https://www.adaptaville.fr/brumisateur-jardin>

Autres dispositifs possibles

À l'échelle de l'agglomération :

À l'approche de la saison estivale, les collectivités s'engagent de plus en plus dans des dispositifs visant à protéger les usagers des espaces publics des effets des fortes chaleurs. Les personnes âgées et les enfants en bas âge sont particulièrement vulnérables à ces phénomènes.

La représentation des lieux de fraîcheur sur une carte interactive constitue un de ces dispositifs. Cette carte est généralement disponible sur le site internet de la collectivité à l'instar des Villes de Lyon et de Rennes. Elle permet à tous les usagers (y compris PMR) de préparer leur parcours « au frais » en particulier lors des épisodes caniculaires.

La carte interactive des îlots de fraîcheur présente l'intérêt de localiser et de recenser les espaces publics sur le territoire de la collectivité sources d'ombre et de fraîcheur en cas de chaleur comme les :

- parcs et ruelles ombragées ;
- places avec fontaines d'eau potable et/ou brumisateurs ;
- pataugeoires et jeux d'eau.



Illustration 67 : Lieux de fraîcheur à Rennes. Les usagers peuvent proposer des sites complémentaires.

Source : Service Imprimerie Rennes Métropole

Source de la carte des lieux de fraîcheur de la Ville de Rennes :

<https://ilotsdefraicheur.gogocarto.fr/map#/carte/@48.112,-1.668,13z?cat=all>

À l'échelle de l'îlot ou du quartier :

Dans un contexte d'intensification des événements climatiques extrêmes, il peut être souhaitable de **développer le maillage des perméabilités vertes et douces selon une logique de raccourcis**. Ce réseau de liaisons douces au cœur même de l'îlot est bénéfique à plusieurs titres : au-delà du gain de temps de déplacement, les modes actifs peuvent y circuler hors voirie de façon sécurisée et confortable (grâce aux ombres

portées par les bâtiments et les éventuelles plantations) tout en étant à l'abri des nuisances liées au trafic motorisé et au contact de la vie de quartier.

Le square de l'Étendard à Courbevoie (92), constitué de trois parties différentes, propose notamment une liaison piétonne entre la rue Armand Silvestre, plantée d'un alignement de marronniers à fleurs rouges, et le boulevard Georges Clémenceau. Cette liaison dénommée le « corridor de la biodiversité » est équipée d'une pergola couverte de plantes grimpantes (clématite à feuillage persistant, glycine et vigne).

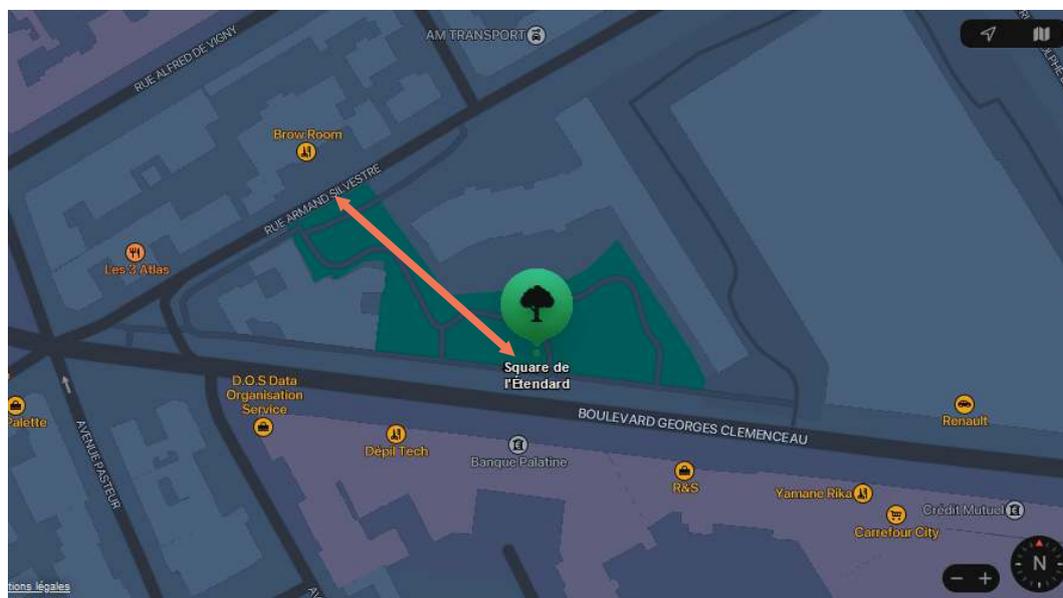


Illustration 68 : Situation du square de l'Étendard à Courbevoie traversée par une liaison piétonne (en orange)
source : © Plan Apple

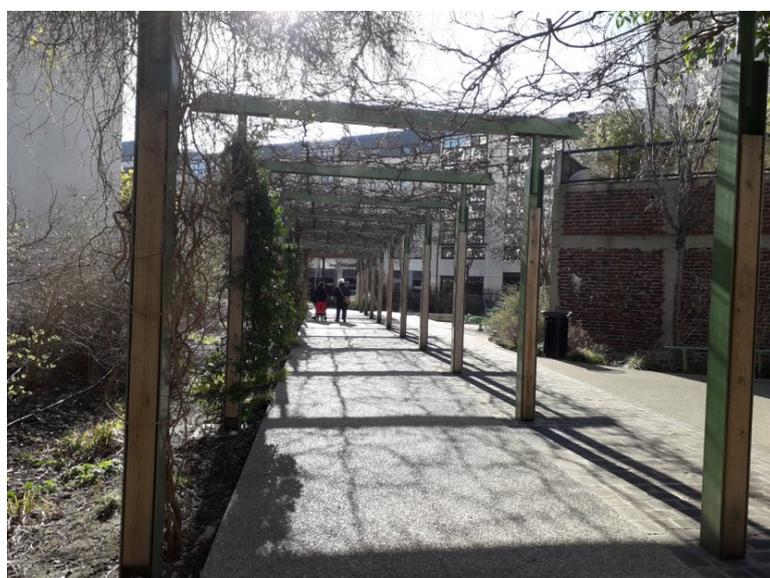


Illustration 69 : Une liaison piétonne protégée de l'exposition au soleil par l'installation d'une pergola



Illustration 70 : Une noue plantée délimite le square du trottoir

Autres solutions de rafraîchissement d'ordre organisationnel :

- Ouverture des parcs urbains en continu (dérogation aux heures d'ouverture)
- Élargissement des créneaux horaires d'ouverture des piscines
- Extension de la période d'occupation temporaire des terrasses de café (en raison du rallongement de la période estivale)

8 MICRO-VÉGÉTALISATION

8.1. Stratégie de végétalisation sur trottoirs



Fosse 1 – zone désimperméabilisée



Fosse 2 – zone désimperméabilisée



Fosse 3 – zone désimperméabilisée (© Ville de Nanterre – 2020)

Illustration 71 : Adaptation de l'existant. Identification des potentialités de désimperméabilisation de trottoirs
Aplat rouge : les surfaces initialement imperméabilisées rendues perméables et végétalisés par le projet.
Flèches en bleu : le sens d'écoulement des eaux de ruissellement

MOA : Commune de Nanterre (Hauts-de-Seine, 92)

Typologie de la solution d'adaptation : Aménagement du linéaire de voirie

Aléas climatiques concernés : Fortes précipitations, canicules / vagues de chaleur

Enjeux d'adaptation : Végétalisation, désimperméabilisation

Points forts : Favorise la biodiversité, désimperméabilisation, valorisation des eaux pluviales

Description de la solution : La Ville de Nanterre a une stratégie visant à déconnecter au maximum les eaux pluviales de sa voirie du réseau enterré d'assainissement, en cherchant à déployer davantage de surfaces perméables au sein de ses espaces publics. Certains trottoirs existants peuvent constituer des perspectives intéressantes de végétalisation en pleine-terre (en rouge sur l'illustration 71).

Ces potentialités de végétalisation supposent, d'une part, de respecter les principes d'accessibilité en maintenant une largeur suffisante pour le cheminement des piétons et, d'autre part, de vérifier la conception existante du trottoir pour l'écoulement des eaux (dévers maximal de 2 %). Par ailleurs, la démarche peut également consister à élargir les fosses d'arbres existants ou à les végétaliser. Après projet, 107 m² de surfaces végétalisées supplémentaires ont vu le jour et 276 m² de surfaces ont été déconnectées du réseau d'assainissement.

Co-bénéfices : Amélioration du cadre de vie / bien être, rafraîchissement de l'air (par évapotranspiration des végétaux)

Points de vigilance et complexité de mise en œuvre : Ces nouvelles micro-plantations ne doivent pas entraîner des difficultés de déplacement pour les piétons ni dégrader la visibilité pour les autres usagers de l'espace public. L'utilisation des sels de déneigement doit être minimale au droit de ces espaces pour éviter toute pollution du sous-sol. La contrainte de l'entretien supplémentaire liée à ces nouveaux espaces verts

pourrait être supprimée en impliquant les riverains habitant à proximité de ces espaces dans la gestion de ces espaces¹⁵.

Coûts : Coût total du projet : 43 408 €

Projet donnant lieu au versement de subventions de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie : 6 816 € (estimé à 13 728 € maximum avec les règles 2022 précisées dans l'encart ci-après).

Coût total après subvention : 36 592 €

Nouveaux critères Agence de l'Eau Seine-Normandie en place depuis 2022 :

« Depuis le 1er janvier 2022, à la suite de la révision du 11^e programme d'intervention de l'Agence de l'eau Seine-Normandie 2019-2024, de nouveaux critères ont permis une bonification des aides pour les projets augmentant les surfaces végétalisées de pleine terre et ceux permettant de gérer les pluies fortes. La révision à mi-programme a également entraîné une réévaluation des projets de toiture végétalisée ; la hauteur du substrat minimum est de 25 cm pour conserver le même niveau de subvention qu'auparavant. »

Source : Association espaces, <https://www.association-espaces.org/>

« Depuis sa fondation en 1994, l'association Espaces située à Chaville (Département des Hauts-de-Seine) a pour mission d'accompagner les personnes éloignées de l'emploi dans les métiers de l'écologie urbaine. Plus particulièrement depuis 2009, la cellule d'animation accompagne et sensibilise les acteurs du bassin versant des Plaines et coteaux de la Seine centrale urbaine autour de l'eau, de l'aménagement et de la biodiversité notamment à travers le Contrat Eau, Trame verte & bleue, Climat 2020-2024. »

15 Pour en savoir plus : « Des habitants qui gèrent eux-mêmes leurs espaces publics : quels enjeux pour la collectivité ? » <https://www.cerema.fr/fr/actualites/habitants-qui-gerent-eux-memes-leurs-espaces-publics-quels>

Autre démarche avec des objectifs similaires mise en œuvre au Pré-Saint-Gervais (93)

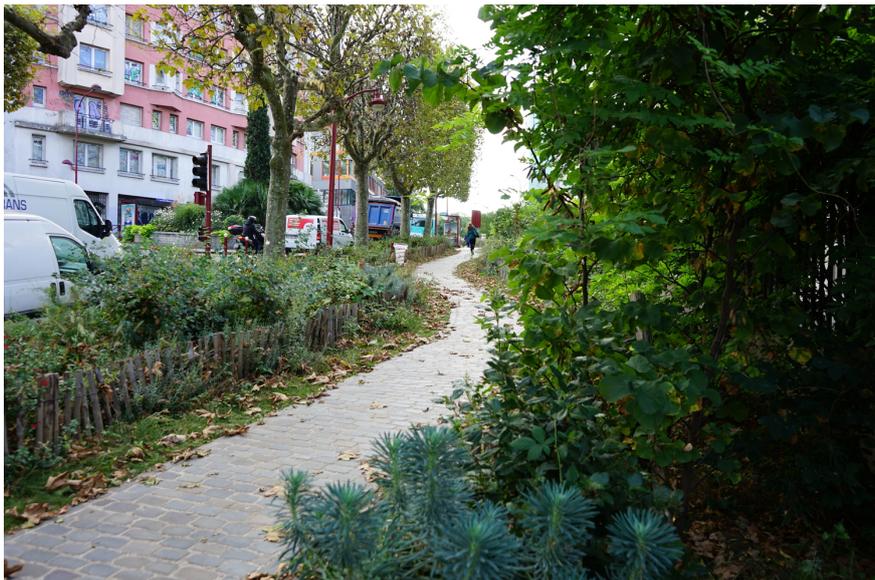


Illustration 72 : Stratégie de végétalisation de certains trottoirs du Pré-Saint-Gervais

Au travers de ce projet dont elle assure la maîtrise d'ouvrage, la Ville du Pré-Saint-Gervais a cherché à déconnecter un maximum de surfaces du réseau d'assainissement pluvial en désimperméabilisant une partie de ses espaces publics sur une surface totale de 2 061 m² pour favoriser l'infiltration des eaux de ruissellement : après projet, la Ville a gagné 1 313 m² de surfaces végétalisées et 1 898 m² de surface ont été déconnectés des réseaux d'assainissement.

Les **alignements d'arbres ont été conservés** et **des nouveaux sujets ont été plantés** pour accroître les zones d'ombrage le long du cheminement.



Illustration 73 : Une combinaison de plusieurs solutions d'adaptation sur ce trottoir de la rue Jean Jaurès du Pré-Saint-Gervais

L'appareillage de pavés sciés et denses, confortable pour les piétons, contribue à canaliser le cheminement sur cet espace. Les accotements sont revêtus par des pavés bombés à joints perméables bien moins praticables pour les piétons et pas accessible aux PMR. Ils contribuent toutefois à l'aération du sol et à la pénétration de l'eau ainsi qu'au développement de la végétation spontanée.

Ce projet a consisté à requalifier l'un des trottoirs existant très minéral (revêtu principalement d'asphalte noir) et particulièrement large (au regard du flux piétons) le long de la rue Jean Jaurès.

Pour augmenter la perméabilité de cette dépendance routière et améliorer sa qualité d'usage, la maîtrise d'œuvre a agi sur deux leviers principaux :

- la nature des matériaux employés : utilisation d'un pavage en pierre naturelle jointé sur le cheminement et en pavés de réemploi sur les accotements et les chemins de passage;
- la création d'une bande plantée paysagère protégée par des ganivelles incorporant l'alignement d'arbres existants.

Le trottoir n'est aujourd'hui plus seulement perçu comme une simple dépendance de la chaussée mais est devenu un espace public agréable à traverser. Des passages pavés sont régulièrement aménagés entre deux bandes plantées pour faciliter les mouvements transversaux des piétons¹⁶ : chaussée à traverser ou véhicule en stationnement à récupérer. L'aménagement peut être réalisé sur un tronçon de rue ou sur une rue entière.

Quels sont les co-bénéfices ?

Ce type d'aménagement invite à la promenade et permet aux usagers des modes actifs de se rafraîchir, notamment grâce à l'augmentation de zones végétalisées et d'ombrage. Le piéton est physiquement séparé de chaussée ce qui renforce son sentiment de sécurité et contribue à l'augmentation de la marchabilité de l'espace.

Les eaux pluviales sont traitées presque de manière autonome, grâce à la création des espaces végétalisés, permettant la déconnexion aux réseaux et améliorant la capacité des espaces publics à infiltrer des volumes d'eau pluviale plus important à l'avenir.

Coûts : Coût total du projet : 480 189 €

Projet donnant lieu au versement de subventions de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie : 45552 € (estimé à 91104 € max avec les règles 2022), de la Région Île-de-France à hauteur de 122 596 € et de la Métropole du Grand Paris à hauteur de 149 783 €

Coût total après subvention : 162 258 €

Source : Association espaces, <https://www.association-espaces.org/>

¹⁶ Les pavés bombés à joints élargis ne sont toutefois pas praticables par les PMR

AVANT



APRES



AVANT



APRES



Illustrations 74 : Situations du trottoir de la rue Jean Jaurès avant et après travaux

Avant travaux : un trottoir large et imperméable, sans réelles aménités

Après travaux : un trottoir qualitatif et attractif, adapté aux usages et au cadre de vie des riverains

8.2. Création de micro-jardins sur trottoirs

MOA : Ville de Strasbourg (67)

Typologie de la solution d'adaptation : Aménagement du linéaire de voirie

Aléas climatiques concernés : Canicules / vagues de chaleur, Fortes précipitations

Enjeux d'adaptation : Végétalisation, désimperméabilisation

Points forts : Intégration des citoyens à la démarche, amélioration du cadre de vie

Description de la solution :

Née sous l'impulsion politique de la Ville, l'opération « [Strasbourg, ça pousse](#) » poursuit l'objectif d'introduire ou de renforcer la présence de la nature en ville en associant les citoyens dans la renaturation de leur quartier. En créant des micro-jardins dans le centre urbain dense de Strasbourg (pieds de façades et d'arbres, trottoirs...), la voirie urbaine devient plus végétale et moins routière.

Pour simplifier les démarches, la Ville a mis en place une plateforme en ligne <https://www.strasbourgcapousse.eu/> permettant aux habitants de déposer une demande. La Ville apporte un soutien aux habitants souhaitant s'impliquer dans le développement d'une trame verte en ville.

Accueil Carte Chartes Actus Vidéos FAQ Outils

Envie de jardiner ?

STRASBOURG ÇA POUSSE

Une démarche qui invite les Strasbourgeois à jardiner leur ville ! Ici, déposez vos projets et découvrez les différents espaces de nature à Strasbourg ; jardins familiaux, jardins partagés, potagers urbains collectifs, jardins d'école, lieux de cueillettes...

Je participe !

Green Attitude

La ville de Strasbourg a mis en place avec ce programme, une cartographie de la végétalisation de la ville (jardins familiaux, partagés ou d'écoles, potagers urbains, trottoirs végétalisés, etc.) afin d'inciter les habitants à faire de même.

Dès réception du projet, le porteur est convié par la ville à le présenter et si besoin à l'améliorer, puis une étude de faisabilité est réalisée, avant de présenter la fiche projet en commission.

Co-bénéfices : Réintroduction du lien social, renforcement de la biodiversité, stockage de carbone, amélioration du cadre de vie / bien-être, sensibilisation à la protection de l'environnement

Adapter la voirie urbaine au changement climatique
Recueil d'exemples de solutions d'adaptation

Janvier 2024

88/135

Points de vigilance et complexité de mise en œuvre : Les porteurs de projet sont accompagnés au fil de la mise en œuvre, et des guides pratiques ont été diffusés pour encourager les plantations durables. Les espaces végétalisés ne peuvent pas être introduits partout. Quand une fosse végétalisée est placée sur trottoir, les services techniques s'engagent à ce qu'elle ne constitue pas un obstacle au cheminement des piétons et à ce qu'elle soit parfaitement perceptible par les usagers à déficience visuelle (notamment en installant des bordures).

Coûts : Aménagement frugal



Illustration 75 : Les micro-jardins peuvent aussi se concevoir sur la bande longitudinale de stationnement !

Source :

– Cerema. Impliquer les citoyens dans la renaturation de leur quartier : Opération « Strasbourg, ça pousse ». Fiche n°4 – Série de fiches Désimperméabilisation et renaturation des sols, 2020 <https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/desimpermeabilisation-renaturation-sols>

Plus globalement, un nombre croissant de collectivités délivrent sur leur territoire **des permis de végétaliser** qui sont des dispositifs participatifs mettant les citoyens au cœur de l'action publique.



Après obtention d'une autorisation d'occupation temporaire (AOT) de l'espace public, le permis de végétaliser donne la possibilité aux riverains (habitants, commerçants, associations, etc.) de verdir puis d'entretenir l'espace public partagé avec d'autres usagers sous réserve de respecter la charte de végétalisation de la collectivité porteuse de la démarche. Cela se traduit par exemple par l'installation de bacs de plantations ou de végétalisation de pieds d'arbres.

Les services techniques de la collectivité veillent au respect de la mise en œuvre des dispositifs par des actions régulières de régulation et de contrôle.

En particulier, une vigilance sur le maintien de l'accessibilité PMR des cheminements est nécessaire.

Pour en savoir plus :

– Des habitants qui gèrent eux-mêmes leurs espaces publics : quels enjeux pour la collectivité ?, Cerema, 2019 <https://www.cerema.fr/fr/actualites/habitants-qui-gerent-eux-memes-leurs-espaces-publics-quels>

8.3. Concept de la rue végétale

Dans la perspective de développer la nature en ville, la Mairie de Paris s'est fixée pour objectif de réaliser une « rue végétale » dans chaque arrondissement.

Pour le 11^e arrondissement, c'est la rue Lacharrière qui a été choisie en raison de son caractère très minéral.

Une « rue végétale » est une rue intégrant du végétal et où la circulation est apaisée aux bénéfices des mobilités actives. Elle permet de créer des « corridors écologiques » entre les principaux réservoirs de biodiversité parisiens : parcs et jardins ainsi que les bois de Vincennes et Boulogne.

MOA : Ville de Paris (Paris, 75)

Typologie de la solution d'adaptation : Aménagement du linéaire de voirie

Aléas climatiques concernés : Canicules / vagues de chaleur

Enjeux d'adaptation : Végétalisation, désimperméabilisation

Les points forts : aménagement esthétique favorisant les mobilités actives et améliorant le cadre de vie de la rue. Le profil de la chaussée plus resserré contribue à réduire les vitesses.

Description de la solution : Réalisé en lien étroit avec les riverains (de la conception des plans de végétalisation de la rue à la plantation et l'entretien des plantes), l'aménagement de la rue Lacharrière (statut de zone 30) a été réalisé pour renforcer l'**apaisement des vitesses et contribuer à l'essor des mobilités actives** en y intégrant des dispositifs végétalisés sur l'avancée de trottoir nouvellement créée : installation de pots et bacs de plantation ou encore par la mise en œuvre de bandes plantées en pleine terre. Ces nouveaux dispositifs sont regroupés sur le même côté de chaussée tandis que le côté opposé n'a subi pas de transformation lourde (mis à part la mise en place de potelets et la suppression de la bande de stationnement pré-existante). La végétalisation matérialise la limite chaussée/trottoir et contribue à éloigner le piéton de la chaussée.

Co-bénéfices : Biodiversité, amélioration du cadre de vie / bien être, sécurisation des déplacements

Points de vigilance et complexité de mise en œuvre : Côté trottoir, nécessité de rendre cet aménagement perceptible par les usagers déficients visuels (installation de rampe de guidage, bordurage...)

Coûts : Non communiqué

Sources :

– « une rue du 11^e entièrement végétalisée » ZigZag, <https://www.pariszigzag.fr/paris-au-quotidien/une-rue-du-11e-entierement-vegetalisee>

– <https://mairie11.paris.fr/pages/la-rue-lacharriere-devient-une-rue-vegetale-10025>

AVANT



Illustration 76 : Aperçu de la rue Lacharrière avant aménagement : une rue très minérale et du stationnement
Source photo : Ville de Paris

APRES



APRES



Illustration 77 : Aperçus de la rue Lacharrière après aménagement : une chaussée moins large, dénuée de stationnement et surtout une rue plus verdoyante

La bande plantée créé le long de la voirie contribue au cadre de vie et à la qualité d'usage des piétons en les éloignant de la circulation motorisée¹⁷.

Dans le prolongement de la bande plantée, peuvent se développer sur le trottoir plusieurs autres services et usages (bornes-fontaines, poubelles...).

¹⁷ On note toutefois un effet pouvant être assez « canalisant » de la bande plantée. Des dispositions sont à prendre en compte lors des études amont pour travailler sur les séquences paysagères et favoriser la perméabilité des circulations, en particulier des modes actifs.

Autre cas d'usage à l'étranger : le concept des « ruelles vertes » à Montréal au Canada

MOA : Ville de Montréal (Canada)

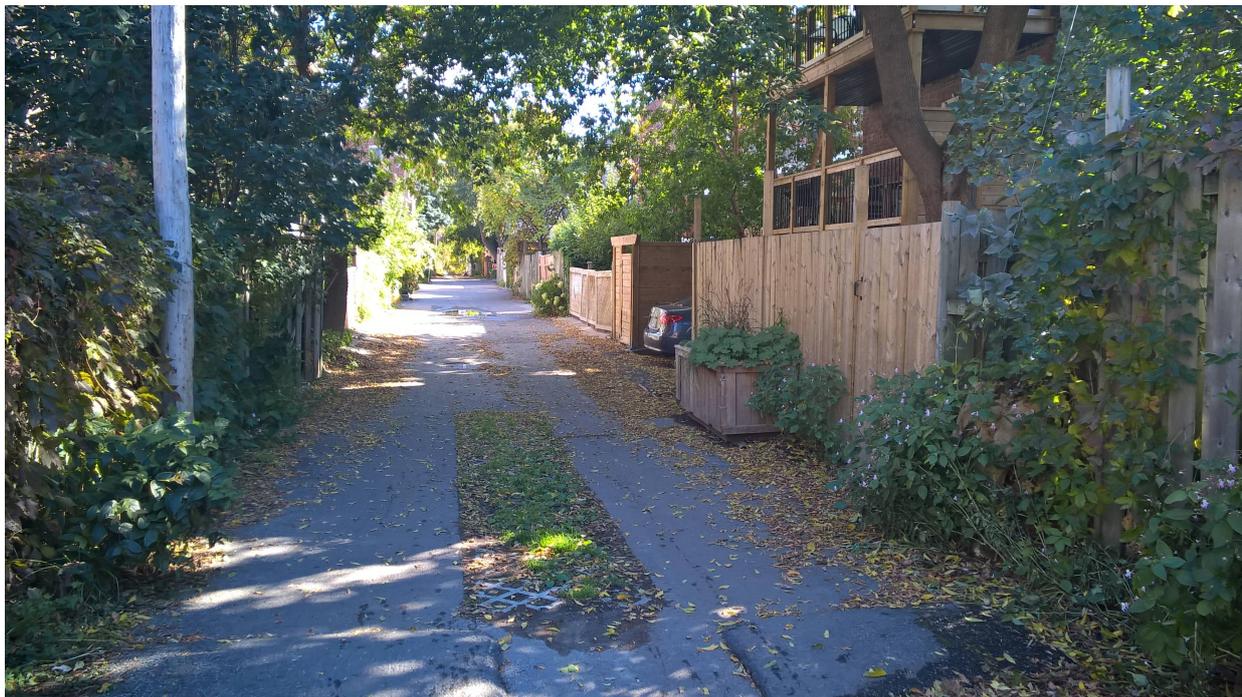


Illustration 78 : Aperçu d'une ruelle verte dans le quartier Notre-Dame-de-Grâce à Montréal
Crédit photo : R.V. OldOrchard-Marcil

Typologie de la solution d'adaptation : Aménagement du linéaire de voirie – Participation citoyenne

Aléas climatiques concernés : Canicules / vagues de chaleur, Fortes précipitations

Enjeux d'adaptation : Végétalisation, information / diffusion de bonnes pratiques sur l'adaptation au changement climatique, désimperméabilisation

Points forts : Embellissement du quartier, cohésion sociale, réduction des nuisances sonores, apaisement de la circulation

Description de la solution : Une « ruelle verte » est un linéaire du domaine public re-naturé par les riverains, organisés en comité de ruelles, avec la collaboration de l'Écoquartier de l'arrondissement. Elle renforce la qualité d'usage des modes actifs et le cadre de vie en créant des surfaces végétalisées sur l'espace de voirie.

Le projet d'une ruelle verte est d'abord un mouvement de résidents volontaires qui désirent se réapproprier l'espace de leur ruelle. Leur ambition principale est d'améliorer le confort de vie et la qualité d'usage de leur voirie urbaine en apaisant ou, dans certains cas, en entravant la circulation motorisée.

Depuis 1997, près d'une centaine de ruelles vertes ont vu le jour et font maintenant partie du réseau montréalais consolidant sa trame verte. Certains arrondissements reçoivent plusieurs dizaines de demandes de verdissement chaque année.

Co-bénéfices : Stockage de carbone, lien social, biodiversité, amélioration du cadre de vie / bien être

Points de vigilance et complexité de mise en œuvre : Un accompagnement de la démarche par la puissance publique (l'Arrondissement, ici) est nécessaire pour apporter un soutien matériel et financier (en particulier, dans le cadre des travaux de débitumisation nécessaire pour la plantation de végétaux et l'ins-

tallation de mobiliers). Une fois plantés, les végétaux nécessitent un suivi et un entretien régulier par le comité de ruelle qui en est responsable.

Coûts : Solution frugale. Après l'analyse du dossier de candidature par le comité de sélection des projets de ruelles vertes, les projets retenus sont financés partiellement ou totalement par l'Arrondissement.

Source : <https://www.ruellesvertesdemontreal.ca/>



Illustration 79 : Débitumisation et engazonnement d'une portion de ruelle de l'écoquartier Rosemont-la-Petite-Patrie
Crédit photo : Écoquartier Rosemont-la-Petite-Patrie

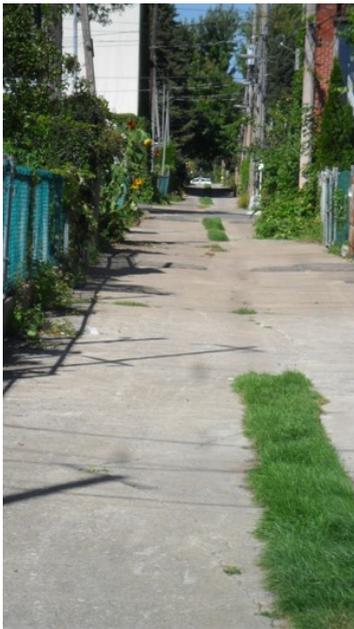


Illustration 80 : Débitumisation et enherbement de la partie axiale de la chaussée correspondant à la partie la moins sollicitée par les véhicules motorisés en circulation
Crédit photo : YMCA Pointe-Saint-Charles

8.4. Couverture végétale



Illustration 81 : Végétalisation d'une rue étroite : la rue Roucher à Montpellier

MOA : Ville de Montpellier (Hérault, 34)

Typologie de la solution d'adaptation : Aménagement du linéaire de voirie – Participation citoyenne

Aléas climatiques concernés : Canicules / vagues de chaleur

Enjeux d'adaptation : Végétalisation, ombrage

Points forts : Esthétique, plantes qui n'altèrent pas les façades de ce quartier historique, rue piétonne rendue plus attractive, les réseaux enterrés ne sont pas endommagés et le passage dans cette rue étroite n'est pas entravé.

Description de la solution : La Ville de Montpellier accompagne les citoyens désireux de végétaliser leur quartier. Dans le quartier historique de l'Écusson, la rue Roucher, étroite et minérale, a été transformée en « jardin extraordinaire » et a le statut d'aire piétonne. Son profil réduit et contraignant a conduit la Ville à percer les trottoirs existants en pied de murs pour végétaliser certaines façades de la rue. Ce micro-fleurissement nécessite, après accord du propriétaire ou de la copropriété, l'installation de supports de croissance et l'utilisation de diverses variétés de plantes grimpantes compatibles avec la nature du sol. Sur certaines parties de cette rue piétonne, les plantes grimpantes forment une véritable couverture végétale en surplombant la rue au moyen de structures prévues à cet effet. Ce projet a été initié par trois artisans puis soutenu par la Commune et certains propriétaires. L'utilisation de plantes qui « n'abîment pas les façades » a par ailleurs été un enjeu clé de ce projet.

Co-bénéfices : Amélioration du cadre de vie / bien être, lien social, favorise la pratique des mobilités actives en périodes de canicule.

Points de vigilance et complexité de mise en œuvre : Les herbacées et plantes murales sont à privilégier dans les rues étroites pour ne pas endommager les réseaux ou entraver le passage. Le trafic routier se limite généralement à la desserte riveraine et à des livraisons occasionnelles. La couverture végétale peut à cet effet être compatible avec des rues à statut d'aire piétonne ou de zone de rencontre. Il est nécessaire de veiller à choisir des essences de plantes grimpantes qui n'altèrent pas les bâtiments pour l'acceptabilité

d'un tel projet. De plus, un tel projet dépasse le seul cadre du domaine public ; de ce fait, l'opposition des propriétaires peut se révéler être un frein. L'entretien des végétaux nécessite un suivi sur la durée et la mobilisation des riverains. Il conviendra de veiller à ce que ce dispositif ne s'essouffle pas avec le temps.

Coûts : Aménagement frugal

Source :

– « Montpellier : la rue Roucher transformée en jardin extraordinaire », Diane Petitmangin, Midi Libre, 2018 <https://www.midilibre.fr/2018/10/19/montpellier-la-rue-roucher-transformee-en-jardin-extraordinaire,4738863.php>

Autres cas d'usages :

> **Couvertures végétales de pistes cyclables**



Illustration 82 : « Tunnel végétal » en surplomb d'une piste cyclable

Le végétal ne devra pas nuire à la sécurité des cyclistes en formant des zones d'ombre ou constituer un masque à l'éclairage urbain

> **Couvertures de voies par des dispositifs temporaires : les voiles d'ombrage**



Illustration 83 : Aire piétonne équipée d'une ombrière de rubans déployée sur 1 500 m² (rue Alsace Lorraine dans l'hypercentre toulousain)

Crédits photos : Arnaud Bouissou – TERRA

8.5. Micro-implantations florales

MOA : Ville de Lyon (Rhône, 69)

Typologie de la solution d'adaptation : Aménagement du linéaire de voirie – Participation citoyenne

Aléas climatiques concernés : Canicules / vagues de chaleur

Enjeux d'adaptation : Végétalisation, information / diffusion de bonnes pratiques sur l'adaptation au changement climatique, désimperméabilisation

Points forts : Permet d'impliquer et de sensibiliser les citoyens aux enjeux d'adaptation des espaces publics au changement climatique

Description de la solution : Le conseil de quartier Villette-Paul Bert à Lyon a engagé une démarche collective liée aux notions de vivre ensemble et de bien être dans le quartier. Les micro-implantations florales (MIF) sont des petites fosses de plantation (autour de 20 cm de largeur, de 60 à 80 cm de longueur et de 20 cm de profondeur) creusées par les services de la Ville puis fleuries et entretenues par les riverains. Elles sont disposées sur le trottoir de façon à ne pas gêner le cheminement des piétons dans le respect des règles d'accessibilité des PMR soit en bordure de chaussée sous des barrières anti-stationnement ou en pied de façades. À cette action relative au fleurissement s'ajoute la participation à des ateliers ou à des réunions qui sensibilisent et informent les citoyens sur les bienfaits de la végétalisation.

Co-bénéfices : Amélioration du cadre de vie / bien être, lien social, sensibilisation à la protection de l'environnement

Points de vigilance et complexité de mise en œuvre : Ces micro-implantations ne doivent pas entraîner des difficultés de déplacement pour les piétons ni un manque de visibilité pour les autres usagers de l'espace public. Un entretien régulier est donc indispensable. Il est à cet effet indispensable d'assurer la pérennité de la démarche au travers d'un suivi et d'une veille par les services techniques de la collectivité.

Coûts : Solution frugale



Illustration 84 : Mise en place de micro-fosses de plantations de roses trémières dans cette rue commerçante de Lyon

Les barrières peuvent être parfois utilisées pour y accrocher un vélo à condition que ce stationnement sur trottoir ne gêne pas la circulation des piétons.

Source : <https://conseildequartierillettepaulbert.wordpress.com/actions-vivre-ensemble/>

Pour en savoir plus :

– Cerema. « De la voie circulée à la rue habitée ». Fiche n°7 de la série de fiches Une Voirie pour tous, 2020

<https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/17903/une-voirie-pour-tous-uvt-rues-et-espaces-publics-a-vivre-serie-de-fiches-fiche-07-de-la-voie-circule>

– Cerema. « Des habitants qui gèrent eux-mêmes leurs espaces publics : quels enjeux pour la collectivité ? », 2019

<https://www.cerema.fr/fr/actualites/habitants-qui-gerent-eux-memes-leurs-espaces-publics-quels>

– Fiche conseil, micro-implantations florales, Ville de Lyon

<https://www.lyon.fr/sites/lyonfr/files/content/documents/2022-04/Fiche%20conseil%20micro-implantations%20florales.pdf>

Autre illustration dans une rue du centre-ville de Lille (59)

La micro-implantation florale peut également se concevoir en pied de façade en veillant à maintenir une largeur de cheminement suffisante.

Le saviez-vous ?

Dans le cadre de projets de requalification de voirie, l'utilisation de revêtements modulaires en pied d'immeuble peut faciliter la mise en place de micro-implantations florales ultérieures.



Illustration 85 : Micro-implantations florales en pied de façade dans cette rue du centre-ville de Lille

9 DÉVELOPPEMENT DES RÉSEAUX DE TRANSPORT PARTAGÉ ET / OU DÉCARBONÉ

Localement, la circulation automobile amplifie le réchauffement diurne et ralentit le refroidissement nocturne, elle participe ainsi à la surchauffe des villes en rejetant de la chaleur (y compris les véhicules électriques) et de la pollution (hors véhicule électrique). Le modèle urbain est voué à être réorganisé pour limiter la circulation automobile. Cette stratégie de réduction du trafic repose sur la promotion des mobilités décarbonées ainsi que sur le développement et le renforcement des réseaux de transport en commun.

9.1. Aménagement d'une ligne de tramway, ossature de la trame verte existante

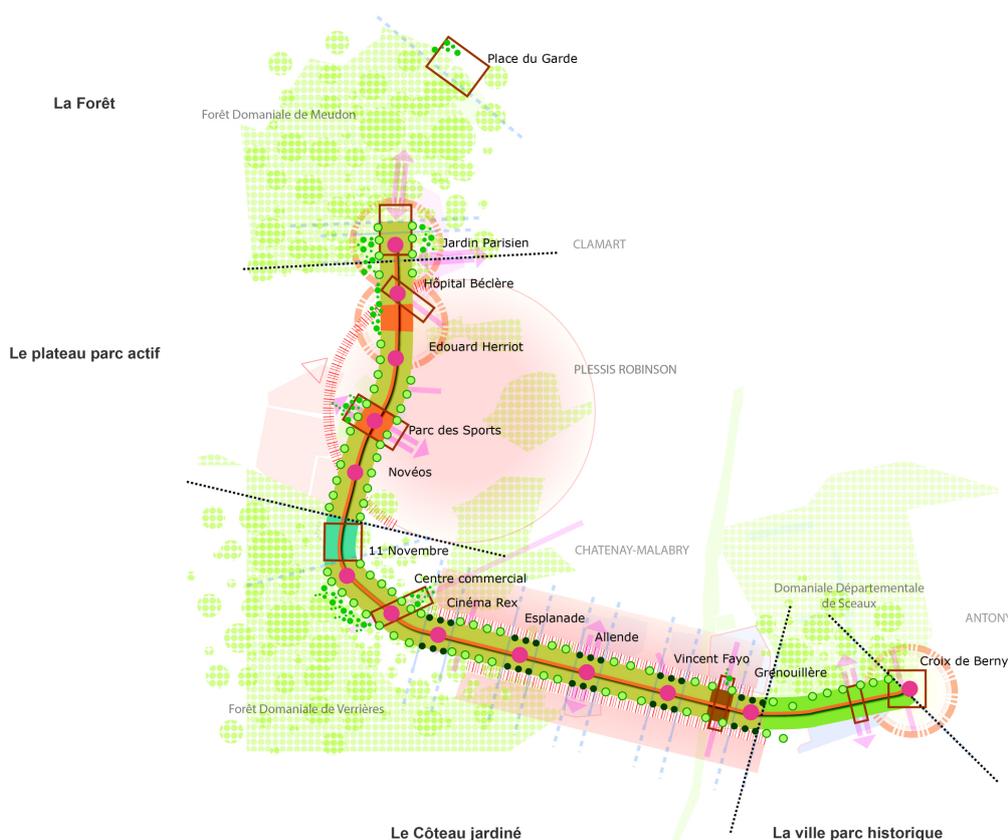


Illustration 86 : Tracé du tramway T10 en Île-de-France
Crédit image: ATTICA urbanisme et paysage

MOA : Île-de-France Mobilités / Département des Hauts-de-Seine (92)

Typologie de la solution d'adaptation : Aménagement du linéaire de voirie

Aléas climatiques concernés : Canicules / vagues de chaleur, fortes précipitations

Enjeux d'adaptation : Végétalisation, désimperméabilisation, ombrage

Les points forts : Amélioration de la mobilité urbaine et des temps de trajets sur le territoire concerné tout en tenant compte des enjeux d'adaptation au changement climatique. Création d'une trame verte au cœur d'un territoire très urbanisé. Projet s'accompagnant de la requalification complète de l'espace public de façade à façade au profit d'une meilleure prise en compte des mobilités actives et d'un partage de l'espace plus équilibré entre les usages.

Description de la solution : Le projet de tramway T 10 sur un linéaire de 6,8 km entre Antony et Clamart (92) vise à offrir une solution de mobilité durable aux habitants des communes traversées par le projet avec une mise en service le 24 juin 2023. Ce projet de réaménagement complet de l'espace public s'inscrit dans une perspective d'adaptation au changement climatique et d'atténuation (report vers des mobilités décarbonées).

Le projet s'est notamment traduit par la **végétalisation quasi complète de la plateforme de tramway** qui a été enherbée (en dehors des intersections qui sont traitées en béton) et par la plantation tout au long du tracé de plus de 1000 arbres sélectionnés pour refléter la spécificité des lieux traversés (forêts de Meudon, de la Verrière, ville, domaine départemental de Sceaux...). Le long de la plateforme du tramway, la plantation d'un double alignement d'arbres d'envergure sur l'avenue de la Division Leclerc souligne la perspective de l'ancienne voie royale qui reliait le Château de Versailles à Choisy-le-Roi.

La végétalisation accompagnant le projet contribue à modifier la physionomie des avenues pré-existantes en rééquilibrant les usages : globalement, l'espace alloué à la circulation routière représentait plus de 50 % de l'espace de voirie. Après aménagement, l'espace dévolu à la voiture représente plutôt 30 % et l'espace alloué au piéton a augmenté de 30 %. La présence végétale augmentée de 25 % (en comptant la plateforme enherbée) constitue aujourd'hui un **ruban continu et diversifié en termes d'essences**. Elle apporte un certain confort thermique aux piétons et aux voyageurs en situation d'attente aux stations. L'enherbement de la plateforme (la plateforme végétalisée représente 43 000 m² de gazon de plaquage) prise sur des voies préexistantes dédiées à la circulation routière offre l'opportunité de désimperméabiliser une zone minérale relativement vaste.



Illustration 87 : Plateforme enherbée du tramway T10 et gestion différenciée
Crédit image : ATTICA Urbanisme et Paysage

Co-bénéfices : Stockage de carbone, biodiversité, amélioration du cadre de vie / bien être, favorise l'utilisation des mobilités décarbonées et collectives.

Points de vigilance et complexité de mise en œuvre :

Lorsque des arbres sont plantés sur la plateforme du tramway, des questions de sécurité routière (cône de visibilité et dégagement des zones d'obstacles fixes) et de développement des racines doivent être respectées :

1. le guide technique STRMTG relatif à l'implantation des obstacles fixes à proximité des intersections tramways / voies routières (juillet 2021) : dégagement des zones d'obstacles fixes pour les arbres, dont le diamètre mesuré à la base du tronc est (ou sera) supérieur à 0.10 m.
2. « Tramway et visibilité – méthodes et outils », Fiche IUTCS n°4, Cerema, 2023
Disponible en ligne <https://doc.cerema.fr/Default/digital-viewer/c-595329>
3. « Tramway et visibilité – enjeux et règles existantes », Fiche IUTCS n°1, 2014
Disponible en ligne <https://doc.cerema.fr/Default/digital-viewer/c-16464>

En l'espèce, les arbres ont été plantés en sur-largeur de plateforme et donc en dehors du GLO (gabarit limite d'obstacle) et une vigilance a été apportée sur les essences choisies.

Le choix des essences plantées intègre l'interface avec la ligne aérienne de contact (LAC) et la prévention du risque de glissance liée à la dégradation de certaines feuilles ainsi que le développement racinaire ou encore le type de port de l'arbre.

Ainsi, certaines essences d'arbres sont proscrites à proximité de la plateforme, et des entretiens réguliers d'élagage et nettoyage doivent être programmés.

Ces dispositions doivent faire l'objet d'une coordination spécifique avec les services d'entretien dès la phase de conception du projet.

En cas d'intervention des services de secours, une voie tramway ne pourra pas être considérée comme une voie engin qui doit respecter notamment :

- une force portante calculée pour un véhicule de 160 kN (90 kN sur l'essieu avant et 90 kN sur l'essieu arrière, ceux-ci étant distants de 3,60 m ;
- une résistance au poinçonnement de 80 N/ cm² sur une surface minimale de 0,20 m².

Coûts :

Le coût de l'aménagement et des infrastructures est de 351 millions d'euros HT (comprenant la construction des 13 stations, des voies ferrées, des aménagements urbains et ouvrages d'art).

L'opération a été financée par l'État (21 %), le Département (30 %) et la Région Île-de-France (49 %). Ces subventions se sont traduites par plusieurs conventions de financement.

Sources :

- Île-de-France Mobilités, <https://tram-t10.iledefrance-mobilites.fr/decouvrir-le-projet/>
- <http://www.attica-urbanisme.com/projet/tramway-t10-anthony-clamart>
- https://balise.documentation.developpement-durable.gouv.fr/docs/Balise/0034/Balise-0034318/TW_GT_2007_Accessibilite_secours_V1.pdf



Illustrations 88 : Aperçus des différentes stratégies d'aménagement selon les milieux traversés par le tramway T10
Crédits photos : ATTICA Urbanisme et Paysage

9.2. Plateforme de tramway végétalisée résiliente aux aléas climatiques

Les projets d'aménagement de plateformes de tramway peuvent représenter une opportunité pour la collectivité locale de verdir ses voiries existantes tout en ré-équilibrant les usages (principalement du trafic motorisé) au profit de modes de transport collectif et décarbonés. La végétalisation de la plateforme offre ainsi la possibilité d'établir une trame verte et écologique au sein du territoire de la collectivité, participant au rafraîchissement local et à la qualité paysagère. Elle peut également contribuer à limiter les risques d'inondation par ruissellement aux points bas.

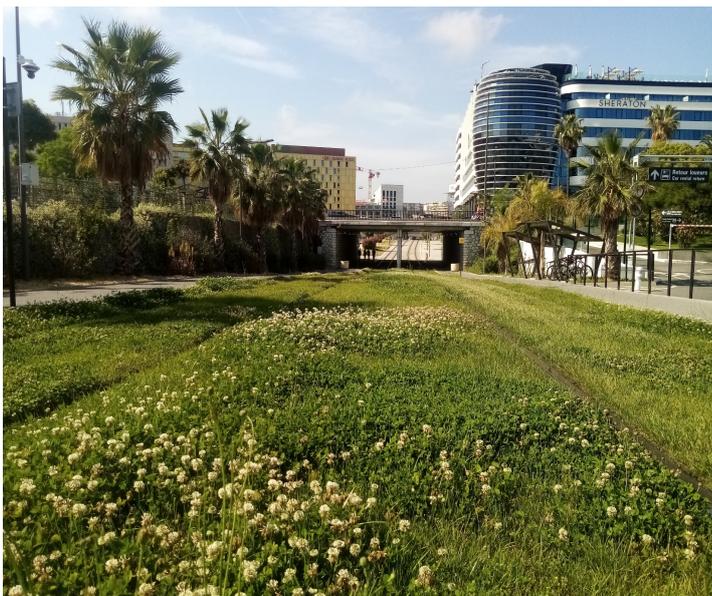


Illustration 89 : Aperçu d'une plateforme tramway végétalisée sur le territoire niçois
Crédit photo : Métropole de Nice Côte d'Azur

MOA : Métropole de Nice Côte d'Azur (Alpes-Maritime, 06) – Direction infrastructures de transport

Typologie de la solution d'adaptation : Aménagement du linéaire de voirie

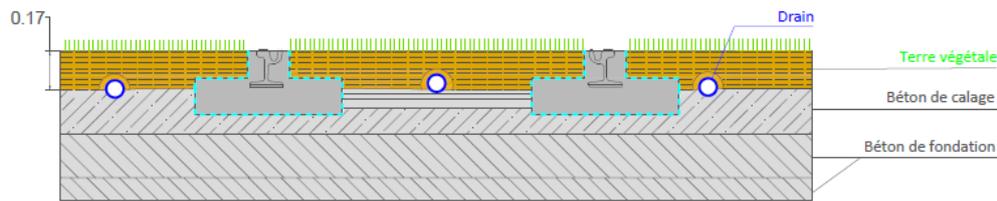
Aléas climatiques concernés : Fortes précipitations, sécheresses

Enjeux d'adaptation : Végétalisation, désimperméabilisation, meilleure résilience face aux épisodes de sécheresses.

Points forts : La profondeur de terre, plus importante que pour des plateformes végétalisées classiques permet une meilleure inertie hydrique, limite les nécessités d'entretien et le besoin d'arrosage.

Description de la solution : L'enherbement des plateformes de tramways est un levier central pour végétaliser les voiries et plus globalement les villes. A Nice, le long de la ligne 2 du tramway, contrairement à des plateformes végétalisées classiques où l'épaisseur de terre n'est pas très importante, le choix d'augmenter l'épaisseur de terre a été fait pour améliorer l'inertie hydrique ([Illustration 90](#)).

Voie classique



Voie verte

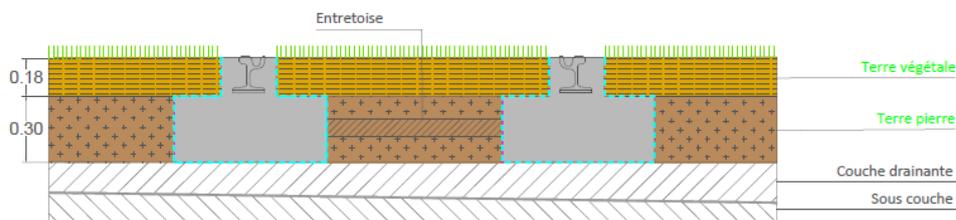


Illustration 90 : Coupes schématiques comparant une plateforme tramway végétalisée classique et une plateforme aménagée selon la technique dite de la « voie verte »

Source : Métropole Nice Côte d'Azur

Le revêtement de terre végétale d'une « voie verte » est sensiblement de la même épaisseur que celui d'une plateforme classique végétalisée. Les différences résident essentiellement dans les couches de structure. Usuellement constituées de béton, elles sont remplacées dans le cas de la « voie verte » par un mélange terre-pierre en dessous duquel est installée une couche drainante.

La technique dite de la « voie verte »¹⁸ associée à un choix de végétaux adaptés au climat méditerranéen permet une meilleure résistance du couvert végétal face aux épisodes de sécheresses. Sur les futures lignes 4 et 5, sera par exemple proposé un mélange de graminées et de plantes vivaces rustiques de la sphère méditerranéenne capable de supporter la sécheresse tout en associant une bonne qualité paysagère. Ces variétés offrent l'avantage de limiter les besoins hydriques des végétaux et d'offrir des croisances plus réduites que le gazon réduisant ainsi les exigences de tonte : plutôt autour de cinq tontes par an au lieu de dix-huit pour un gazon classique.

L'avantage de cette technique est donc de **diminuer les besoins d'arrosage et donc d'économiser la ressource en eau**. Elle limite également les exigences d'entretien. Par ailleurs, la végétalisation de la plateforme permet de délimiter clairement l'emprise du tramway en lui assurant une bonne lisibilité et évite le déploiement de fosses anti-intrusion pouvant entraîner d'importantes coupures d'exploitation quand un véhicule s'y bloque. Ces plateformes végétalisées sont par principe interdites à tout véhicule y compris aux véhicules d'intervention. À ce titre, la végétalisation de ces plateformes donne systématiquement lieu à une concertation bien en amont avec le Service Départemental d'Incendie et de Secours (SDIS) qui peut exiger de conserver une plateforme minérale.

¹⁸ À ne pas confondre avec la voie verte définie au code de la route (art. R.110-2)

<https://www.cerema.fr/fr/actualites/voies-vertes-code-route-evolue-faciliter-leur-developpement>



La fosse anti-intrusion « classique » et les conséquences sur l'exploitation

Reprises de végétalisation nécessaires en début de livraison

Crédits photos : Métropole de Nice Côte d'Azur



Illustration 91 : Aperçu de fosses anti-intrusions mises en place aux extrémités d'une plateforme végétalisée

Exemple d'une plateforme tramway à Saint-Étienne (42)

Des panneaux B0 peuvent venir renforcer le dispositif

Les arbres ont été plantés sur la plateforme en dehors de la zone fusible, soit à plus de 1,50 m du gabarit limite d'obstacle (GLO). Pour améliorer le confort des usagers au niveau des quais de station, des arbres sont plantés sans interruption. Les plantations sont facilitées par l'absence de ligne aérienne de contact (LAC).



Illustration 92 : Alignement d'arbres le long d'une plateforme tramway du réseau niçois

Crédit photo : Métropole de Nice Côte d'Azur

Co-bénéfices : Stockage de carbone, biodiversité, Sécurisation des déplacements / délimitation de l'espace

Points de vigilance et complexité de mise en œuvre : Cette augmentation de l'épaisseur de terre peut tout de même poser des problématiques de durabilité et de stabilité des rails pouvant complexifier la conception de ce type de plateforme.

Coûts : Aménagement frugal. Les coûts d'entretien d'une végétalisation de la plateforme avec un mélange graminée/plantes vivaces sont considérablement réduits par rapport à la végétalisation avec un gazon traditionnel (rapport de 1 sur 3 restant à confirmer).

Source : Métropole de Nice Côte d'Azur

9.3. Arrêts de bus et pôles d'échanges multimodaux ombragés et confortables

Au-delà des aspects liés à l'exploitation (régularité, desserte, condition et temps de transport...), l'attractivité des services de transport collectif et l'incitation au report modal vers ce mode de transport dépendent également des conditions de confort des usagers en situation d'attente aux arrêts de transport collectif (arrêts TC).

Les usagers sont parfois exposés de longues minutes (notamment aux heures creuses) aux phénomènes de chaleur ou aux épisodes de précipitations extrêmes ce qui rend pénible leur expérience voyageur. Le contexte de changement climatique risque d'aggraver ces phénomènes et dégrader davantage ces conditions d'attente.

C'est pourquoi, la conception des arrêts TC doit dès aujourd'hui s'adapter à cette nouvelle problématique en proposant par exemple des aménagements pour s'abriter de la pluie, se protéger des radiations solaires, se rafraîchir...



Illustration 93 : Exemple d'une zone d'attente peu confortable pour les usagers lors des journées caniculaires. Dans les espaces ouverts dépourvus de végétation, aux heures les plus chaudes, les usagers s'adaptent pour attendre le service de transport collectif à l'ombre.

Parmi les leviers d'adaptation possibles, la végétalisation des zones d'attente peut constituer un moyen performant d'améliorer le confort thermique des usagers en cherchant à leur apporter un ombrage optimal autour du point d'arrêt et en rafraîchissant localement (évapotranspiration de l'arbre). Le manque d'emprise disponible ou la présence des équipements d'exploitation et autres mobiliers urbains sur l'espace public peuvent toutefois constituer des contraintes pour la plantation d'arbres sur ces zones d'attente qui doivent conserver un espace de cheminement confortable pour les piétons.



Illustration 94 : Expérience voyageur améliorée pendant les périodes de chaleur par le couvert végétal de part et d'autre de l'arrêt de bus

Les mâts d'éclairage situés en bordure de trottoir et les alignements d'arbres plantés récemment dégagent un espace de cheminement confortable pour les piétons. Les matériaux à joints perméables et gris-clair contribuent à la fois à l'irrigation naturelle des arbres et au rafraîchissement local.

Dans les espaces contraints par les réseaux enterrés, peuvent être installés des dispositifs alternatifs à l'arbre comme des ombrières permettant également de s'abriter de la pluie.



Illustration 95 : Vaste ombrière judicieusement installée au sein de ce pôle d'échanges multimodal

Conscientes du changement climatique en cours et des effets sur les mobilités, certaines collectivités expérimentent des points d'arrêts de bus innovants au bénéfice des utilisateurs des services de bus urbains pour améliorer l'attractivité du réseau et augmenter le report modal vers des mobilités partagées. C'est notamment le cas de la démarche expérimentale Terra engagée par Montpellier Méditerranée Métropole en 2021 dans le cadre de sa stratégie des Mobilités à l'horizon 2025. Le projet Terra est porté LEMON®, le laboratoire d'expérimentation des mobilités de Montpellier Méditerranée Métropole, la TaM, la société de transport de la Métropole et Transdev: ce projet a pour ambition d'améliorer l'expérience voyageur des transports en commun en repensant la conception des points d'arrêts de bus.



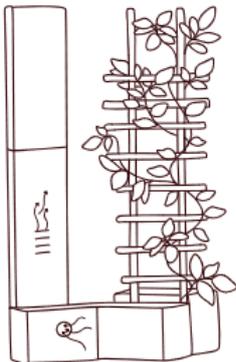


Illustration 96 : Aperçus des prototypes d'arrêts de bus Terra

Source : Cerema (photo du haut) et Montpellier Méditerranée Métropole (photo du bas)

Ce projet s'est concrétisé à partir de l'été 2022 par l'installation sur l'espace public de prototypes de mobiliers urbains modulables et low-tech permettant de tester pendant deux ans plusieurs types de matières et matériaux naturels, locaux et durables (terre, bois, végétal, matériau composite...).

Ces prototypes sont par ailleurs équipés de plusieurs capteurs permettant d'objectiver les tests techniques (température, hydrométrie, ventilation...), le ressenti des utilisateurs (perceptions du design, d'utilisation et d'apport de fraîcheur) et alimenter la phase d'évaluation de l'expérimentation.



Exemple de prototype d'arrêt de bus Terra

Pour en savoir plus :

Consulter la ressource en ligne <https://experimentationterra.tam-voyages.com/#arrets>

10 VÉGÉTALISATION DES DÉLAISSÉS ROUTIERS

Certains objets routiers et équipements de voirie sont traditionnellement revêtus d'enrobés bitumineux sur des surfaces plus ou moins importantes participant au phénomène de surchauffe urbaine et aggravant le phénomène d'inondation en raison de leur nature imperméable. Ils ne répondent pas toujours au besoin et à l'usage pour lequel ils ont été mis en place.

L'étude du contexte local montre que très souvent ces surfaces minérales de voirie peuvent être supprimées au profit de surfaces perméables et végétales contribuant à améliorer le cadre de vie d'une rue ou d'un quartier et augmenter sa valeur d'usage.

10.1. Transformation d'un carrefour giratoire en place végétalisée

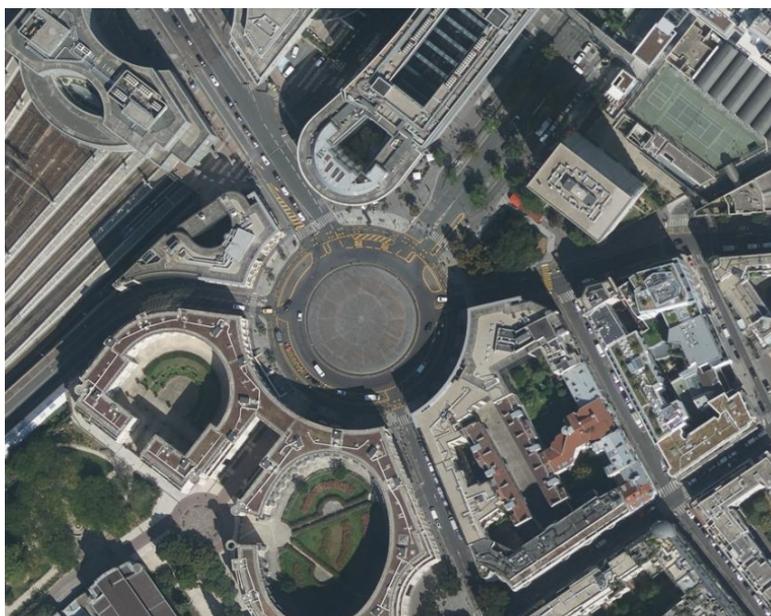


Illustration 97 : Vue aérienne de la Place de Catalogne avant aménagement - un grand giratoire très minéral dépourvu d'aménités.

source : © IGN

MOA : Ville de Paris (Paris, 75)

Typologie de la solution d'adaptation : Aménagement d'espace ouvert (place, parc de stationnement de surface...)

Aléas climatiques concernés : Canicules / vagues de chaleur, fortes précipitations

Enjeux d'adaptation : Végétalisation, désimperméabilisation

Points forts : Création d'un écosystème (aménagement d'une forêt urbaine prévu) sur l'îlot central du carrefour giratoire, espace de voirie jusqu'alors sans réelle affectation et inaccessible, les piétons étant contraints à contourner l'espace circulaire de circulation de 80 mètres de diamètre.

L'aménagement de l'anneau central du carrefour giratoire contribuera à apaiser les vitesses et à y intégrer de nouveaux usages en particulier les mobilités actives.

Description de la solution : Ce projet d'îlot de fraîcheur en plein cœur de Paris s'inscrit dans le cadre des orientations du Plan Climat de Paris.

Le projet porte principalement sur l'aménagement d'une forêt urbaine au sein de la place de Catalogne dans le 14^e arrondissement de Paris. Avant travaux, cette place a une configuration plutôt routière et est plutôt un carrefour à sens giratoire sur-dimensionné au regard du trafic actuel incitant par ailleurs les véhicules à circuler à vitesse élevée.

L'aménagement de la forêt urbaine est « constitué d'une plantation dense d'arbres et d'arbustes de différentes hauteurs dans un sol continu. Un écosystème complet et vivant est ainsi créé en pleine ville : il inclut le sol, la végétation, la faune et doit pouvoir se développer par lui-même. Ce n'est donc pas un parc : il ne s'agit pas d'en faire un lieu d'agrément, ouvert en permanence, mais bien d'un espace naturel et préservé ».

L'aménagement consiste donc à déminéraliser une grande partie des sols existants en l'accompagnant d'une gestion efficace des précipitations à travers les noues végétalisées créées sur la place et ses abords et la piste cyclable en enrobé drainant. L'aménagement favorisera ainsi l'alimentation en eau pluviale du sol et des plantes et permettra la régulation thermique de l'ensemble du site.

Pour accueillir de nouveaux usages, de nouveaux sens de circulation seront mis en place. Notamment, dans la partie sud de l'anneau central, la chaussée passera en aire piétonne (entre la rue Alain et la rue Vercingétorix) et le cœur de la place proposera des espaces ludiques (espace de jeu et de détente, aire de brumisation...). L'une des rues d'accès au sud de la place, la rue du Château, prendra le statut d'aire piétonne. L'aménagement favorisera les déplacements à vélo en intégrant une piste cyclable à la place.

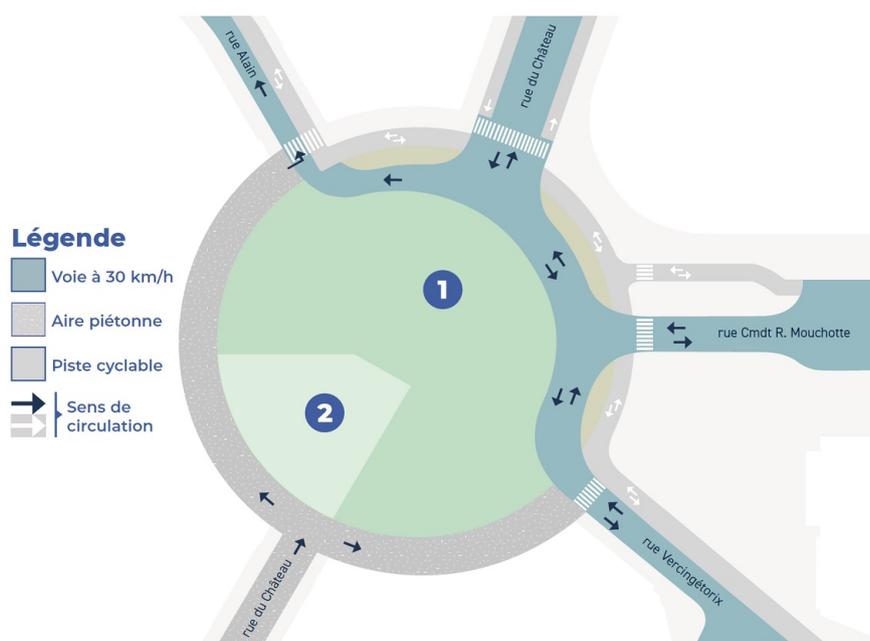


Illustration 98 : Plan de la nouvelle place de Catalogne

1 – La forêt urbaine

2 – Le cœur de la place (dit « la clairière ») pour l'accueil de nouveaux usages éloignés de la circulation automobile. L'aire piétonne se prolongera sur la rue du Château.

Source : Ville de Paris

Co-bénéfices : Stockage de carbone par les arbres nouvellement plantés et impacts carbone liés à l'aménagement réduits par une action de réduction des actions de déconstruction et de remblayage (évitant l'utilisation de 200 camions par rapport au projet initial) et par une pratique de réemploi des matériaux (60 % des bordures et 25 % des dalles granit proviennent de sources recyclées et principalement locales).

Adapter la voirie urbaine au changement climatique

Recueil d'exemples de solutions d'adaptation

Janvier 2024

110/135

Le projet s'inscrit dans la continuité de la trame végétale développée aux abords du périmètre du projet Maine-Montparnasse favorable à la diffusion et à l'enrichissement de la biodiversité urbaine.

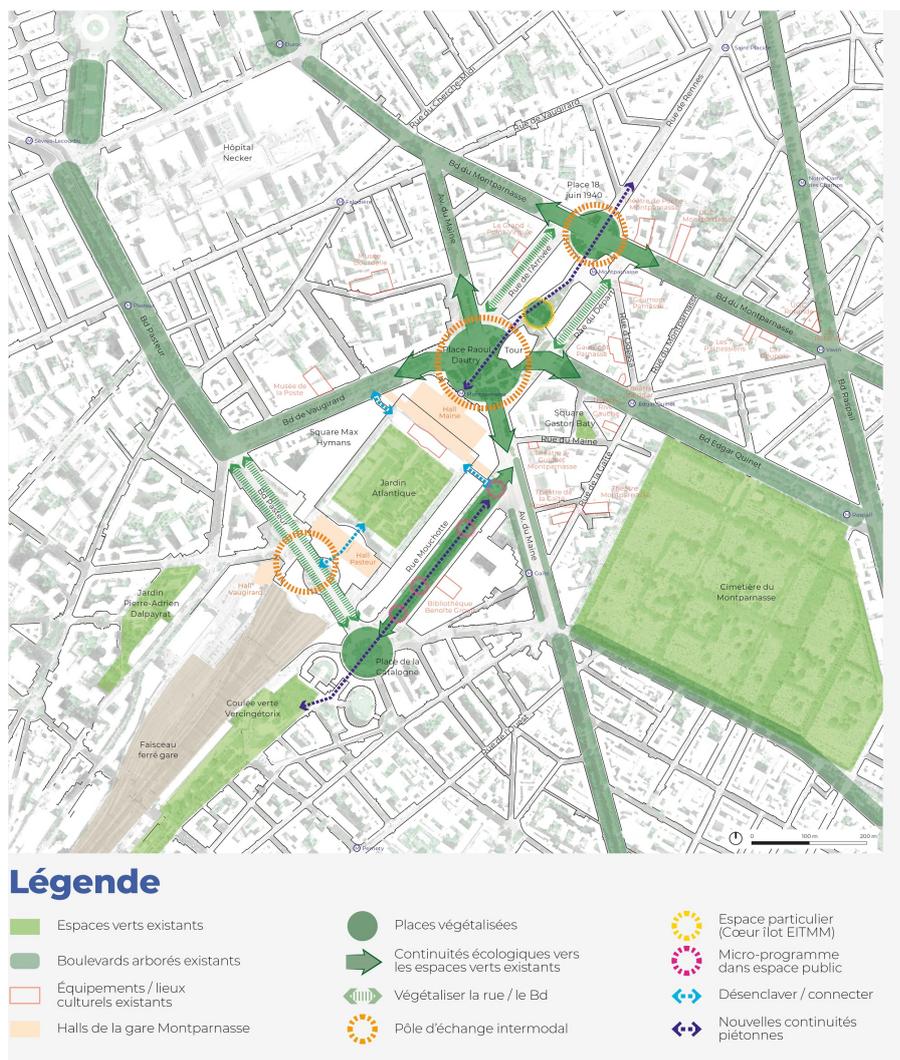


Illustration 99 : Un projet dans la continuité des trames vertes existantes et au bénéfice des mobilités actives
Source : Ville de Paris

Par ailleurs, le développement des espaces verts et des mobilités actives au sein et autour de la place contribue à l'amélioration du cadre de vie et au bien-être des usagers et riverains.

Points de vigilance et complexité de mise en œuvre : Projet élaboré en étroite concertation avec les usagers et les riverains interrogés notamment sur les points suivants :

- l'aménagement paysager,
- l'ouverture et la traversée de la forêt selon les usages et les horaires,
- les usages préconisés sur les espaces accessibles au public.

Coûts : non connu

Source et pour en savoir plus :

Ville de Paris, <https://www.paris.fr/pages/foret-urbaine-place-de-catalogne-la-concertation-est-lancee-19389>

10.2. Séparateurs végétalisés pour pistes cyclables



Installation de séparateurs végétalisés
Crédit photo : Léon Garaix



Séparateurs végétalisés après installation
Crédit photo : Google Maps

MOA : Ville de Paris (Paris, 75)

Typologie de la solution d'adaptation : Aménagement du linéaire de voirie

Aléas climatiques concernés : Canicules / vagues de chaleur, fortes précipitations

Enjeux d'adaptation : Végétalisation, désimperméabilisation

Les points forts : Ré-équilibre de la voirie au profit de la mobilité active qui dispose, après aménagement, d'un site propre ; sobriété de l'opération (pas d'intervention lourde sur voirie, rapidité de l'intervention) ; nouvelle fonction attribuée aux glissières en béton armé (GBA) utilisée au profit d'un aménagement esthétique nécessitant peu d'entretien ; solution réversible et provisoire selon les principes de l'urbanisme tactique préfigurant un aménagement plus définitif ; solution répliquable facilement.

Description de la solution : Cet aménagement est une expérimentation de la ville de Paris au niveau du quai des Tuileries consistant à neutraliser 3 voies de circulation routière au profit des modes actifs. Cet aménagement, réalisé sur un linéaire de 380 m, a consisté à séparer le trafic routier des mobilités actives à travers la pose de deux rangées de GBA. L'espace entre ces 2 séparateurs d'une largeur d'environ 1,70 m est comblé de terre végétale (sur une hauteur de 55 cm) au-dessus de laquelle un dispositif de géotextile avec du gravier et des billes drainantes a été préalablement installé. D'autre part, un système d'arrosage automatique a été installé le long de l'aménagement pour l'irrigation des végétaux plantés hors-sol qui se développent bien depuis leur mise en place en 2020.

Été
2022

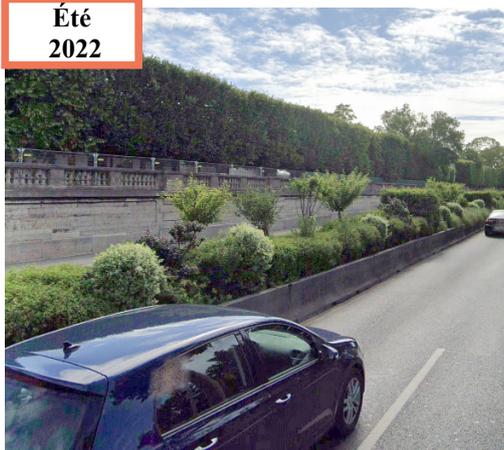


Illustration 100 : Séparateur qualitatif garantissant confort d'usage et sécurité pour les modes actifs
Source : Google maps

Avant 2020, des séparateurs provisoires étaient déjà installés sur la même emprise avec des moyens parfois plus rudimentaires pour un meilleur partage de la voirie au profit des piétons et des vélos.

2018



2019



Printemps
2020



Été
2020



Illustration 101 : Adaptation sobre et économe de la voirie au profit des modes actifs
Source : Google maps

Co-bénéfices : Stockage de carbone, biodiversité, Amélioration du cadre de vie / bien être, économie circulaire, sécurisation des déplacements / délimitation de l'espace, pratique des mobilités actives favorisée

Points de vigilance et complexité de mise en œuvre : Solution qui n'implique pas de travaux conséquents pour modifier l'infrastructure de la voirie et qui peut rapidement être mise en œuvre. Ces séparateurs de

grandes dimensions ménageant de plus un espace nécessaire pour la croissance de la végétalisation nécessitent une largeur de voirie compatible avec les largeurs recommandées de pistes cyclables.

Il est nécessaire de vérifier au préalable la capacité de la voirie qui doit être en mesure de résister au poids conséquent de l'apport de terre (> 1 tonne/m²).

Par ailleurs, ces séparateurs linéaires sont fortement « canalisants » et sont plutôt à envisager en cas d'aménagements cyclables et piétons longeant des voiries « routières » avec un fort trafic et/ou un trafic de poids-lourds...

Coûts : Aménagement frugal, coût d'investissement 943 euros /m² (47 % pour l'achat et l'installation des GBA / 43 % pour l'achat des végétaux, de la terre et des couches drainantes)

Source :

– Adaptaville, « installer des séparateurs végétalisés pour sécuriser les pistes cyclables », 2021

<https://www.adaptaville.fr/separateurs-vegetalises-pour-pistes-cyclables>

10.3. Programme de débitumisation des trottoirs



Illustration 102 : Abords végétalisés de cet axe routier de Caen

Crédit photo : M. David Dujardin – Ville de Caen

MOA : Ville de Caen (Calvados, 14)

Typologie de la solution d'adaptation : Aménagement du linéaire de voirie

Aléas climatiques concernés : Fortes précipitations, canicules / vagues de chaleur

Enjeux d'adaptation : Désimperméabilisation, végétalisation

Les points forts : Cette réalisation ne nécessite pas de construire des infrastructures supplémentaires (mis à part la remise en état du terrain suite aux travaux de débitumisation). Valorisation et amélioration des conditions sanitaires des arbres existants. Meilleure lisibilité des différents espaces d'usages (bande technique et cheminement piétons). Préservation du fil d'eau .

Description de la solution : Sur l'impulsion politique de l'équipe municipale, un vaste programme de débitumisation s'est engagé à l'automne 2020 (par une phase de test concluante le long du Boulevard Bertrand – cf. [Illustration 104](#)) pour rendre la ville plus verte dans un contexte global de transition écologique. La solution visant à infiltrer les eaux de pluie a consisté à végétaliser certains trottoirs suffisamment larges au regard des usages observés et certains équipements séparateurs de voirie (terre-plein). Une largeur minimale de deux mètres a été ménagée pour le déplacement sur trottoirs des PMR.

Plus globalement, la Ville de Caen a pour objectif de végétaliser plus de 4 hectares de trottoirs d'ici fin 2023 (sur les 2500 hectares de superficie de la ville de Caen). Cette solution contribue à améliorer les conditions sanitaires de l'arbre (fosses de plantations plus larges, développement des systèmes racinaires moins contraint) et infiltrer l'eau à la parcelle ce qui contribue aussi à une irrigation plus efficace des arbres.

Co-bénéfices : Amélioration du cadre de vie et bien-être, sécurisation des déplacements (en tenant éloigner les piétons de la chaussée), délimitation et meilleure perception de l'espace, travail d'entretien facilité (opérations régulières de désherbage thermique des trottoirs remplacées par 4 tontes annuelles), désengorgement des systèmes d'évacuation des eaux.

– Plante et Cité. Enherbement des aires sablées, guide technique. 2018
Disponible en ligne <https://www.plante-et-cite.fr/files/ressource/file:301>



Illustration 104 : Boulevard Bertrand avant et après travaux
Source : Google Maps

Autres cas d'usage :

La commune de Criel-sur-Mer en Seine Maritime (76) mène depuis 2010 une action d'enherbement progressif de ses trottoirs visant à rendre la ville plus verte. Les effets recherchés sont de limiter l'entretien de ces zones et de freiner le ruissellement dans cette commune sensible aux inondations. Les riverains ont été pleinement mis à contribution dans la démarche.

> Végétalisation de terre-plein central



Illustration 105 : Végétalisation de terre-plein central
L'entretien de cette dépendance « verte » de voirie se fait selon une démarche de gestion différenciée en cohérence avec les objectifs environnementaux (biodiversité, entretien économe...) et de sécurité des déplacements (visibilité assurée par le dégagement des abords immédiats de la voie)

11 EMPLACEMENTS DE STATIONNEMENT EN VOIRIE

En réponse aux enjeux de désimperméabilisation des sols, les espaces de stationnement en voirie sont susceptibles de se transformer en des bandes éco-paysagères. Les sollicitations et les usages sur ces espaces peuvent s'accommoder d'un certain nombre de revêtements perméables dont la nature et les caractéristiques dépendent de l'usage souhaité et de la portance du sol naturel : dalles pavés, gazon, gravillonnées, revêtement alvéolaire (dalles en plastique, en béton préfabriqué ou béton monolithique).

Le chapitre présente quelques exemples de composantes d'aménagement possibles.

11.1. Revêtement de pavés à joints enherbés

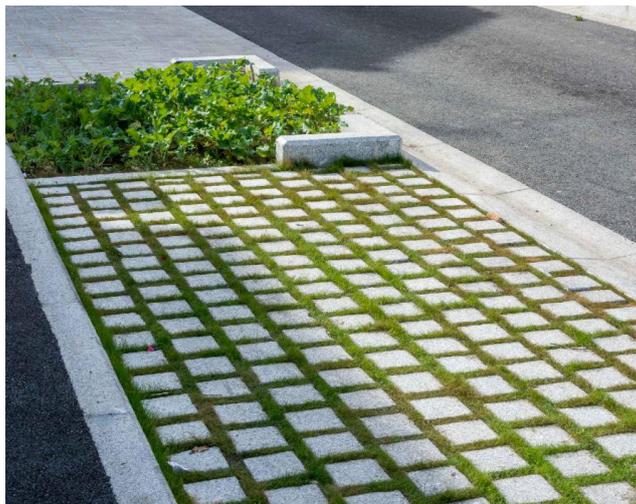


Illustration 106 : Rue des jardins Dufour après aménagement

Source photos : <https://www.atelierphilippemadec.fr/amenagement-urbain/espaces-publics/reamenagement-de-la-rue-des-jardins-dufour.html>

MOA : Ville de Montreuil (Seine-Saint-Denis, 93)

Typologie de la solution d'adaptation : Aménagement du linéaire de voirie

Aléas climatiques concernés : Canicules / vagues de chaleur, fortes précipitations, inondations

Enjeux d'adaptation : Désimperméabilisation, végétalisation

Points forts : Amélioration du cadre de vie

Description de la solution : La Rue des Jardins Dufour, une des rares à pénétrer dans le site préservé mais fragilisé des mûrs-à-pêches, a été l'objet d'une requalification en vue d'accueillir un nouveau collège qui a ouvert ses portes à la rentrée 2014. Nouvel espace public à part entière, la venelle autrefois encombrée par le stationnement devient un espace partagé de vie où sont appelés à se côtoyer habitants, acteurs du projet agricole et collégiens.

Première réalisation depuis la production du plan-guide, la Rue des Jardins Dufour représente la toute première phase de mise œuvre des espaces publics liés à l'arrivée du nouveau collège.

Aujourd'hui impasse donnant accès à l'entrée principale de l'équipement, elle débouchera à terme sur un vaste espace ouvert, à la fois parvis et jardin, et permettra de relier (à pied ou en vélo) la Rue de Rosny, principale artère des Hauts de Montreuil à la Rue Saint-Antoine, au cœur du site.

En devenant un espace partagé entre multiples usages, la rue a vocation à pacifier l'ensemble de ces usages : accès piétons au collège, livraisons et sécurité, stationnement des riverains et fréquentation des collégiens.

Son statut est celui d'une zone de rencontre signalé en entrée de rue par le panneau B52.

Le projet d'aménagement de la rue incarne certains des objectifs inscrits dans la Charte de Paysage et de Développement Durable réalisée dans le cadre du projet urbain parmi lesquels les objectifs de lutte contre le dérèglement climatique : végétalisation et diversification des strates sur l'espace public, ré-emploi et réutilisation de matériaux, albédo des revêtements maîtrisé pour lutter contre l'effet d'îlot de chaleur, confort majeur pour les mobilités alternatives...

Cela se matérialise par l'**utilisation de pavage à joints enherbés** pour le revêtement des emplacements de stationnement. Les emplacements de stationnement sont organisés par poches entrecoupées de fosses de plantation d'arbres. Le bordurage des plantations est caractérisé par une intermittenance de bordures émergentes et de bordures arasées pour faciliter l'écoulement des eaux pluviales jusqu'aux espaces végétalisés.

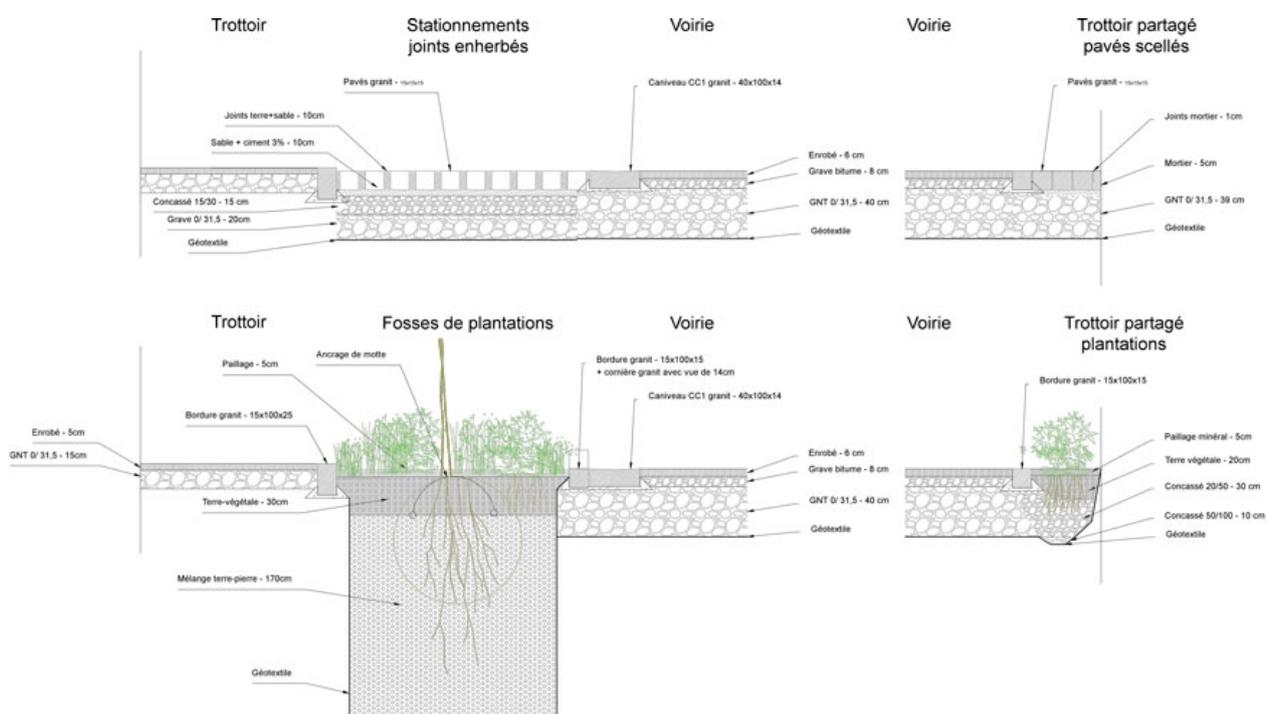


Illustration 107 : Coupe schématique de la Rue des Jardins Dufour

Source : Atelier Philippe Madec

Co-bénéfices : Amélioration du cadre de vie / bien être, délimitation de l'espace

Points de vigilance et complexité de mise en œuvre : Nécessité de choisir des matériaux adaptés aux usages pour garantir la durabilité de l'aménagement et son confort d'utilisation dans le temps.

Coûts : Non communiqué

Source :

– « Réaménagement de la rue des jardins Dufour 2014-2016 »,

<https://www.atelierphilippemadec.fr/amenagement-urbain/espaces-publics/reamenagement-de-la-rue-des-jardins-dufour.html>

– « Requalification de la rue des jardins Dufour à Montreuil », <https://www.adaptation-changement-climatique.gouv.fr/initiatives/requalification-la-rue-des-jardins-dufour-montreuil-93>

11.2. Revêtement en béton monolithique, alvéolaire et perméable

Les bétons coulés en place présentent grâce à leur porosité allant de 10 à 25 % un coefficient de ruissellement de 0,05 à 0,20 en fonction de l'intensité de l'événement pluvieux, de la porosité du matériau et de la déclivité de l'aménagement (pentes et dévers).

Ils peuvent être mis en œuvre pour des aménagements carrossables ou faiblement circulés comme des places de stationnement, des aires de livraison, des voies pompiers, des plateformes de tramway, des accotements de pistes cyclables.

Les revêtements en béton coulé en place à ouvertures de drainage permettent à l'eau de s'infiltrer par leurs cavités, garnies ou non du matériau de remplissage (système végétalisé ou gravillonné). Les ouvertures représentent en général entre 35 et 55 % de la surface totale du revêtement en zone courante.

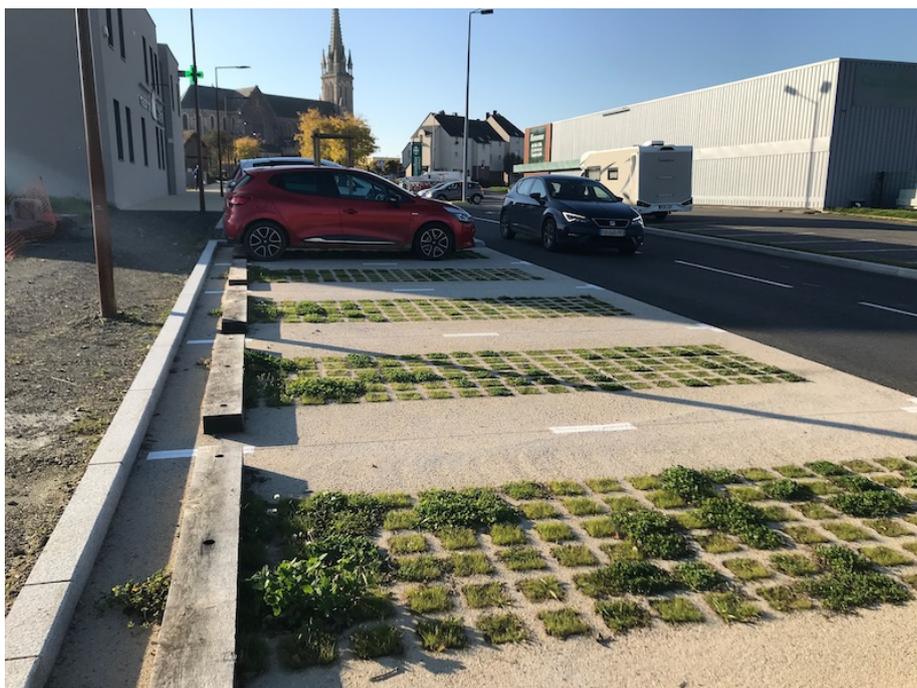


Illustration 108 : Utilisation d'un béton monolithique alvéolaire sur cette zone de stationnement

MOA : Commune de Bédée (Ille-et-Vilaine, 35)

Typologie de la solution d'adaptation : Aménagement du linéaire de voirie

Aléas climatiques concernés : Fortes précipitations, canicules / vagues de chaleur

Enjeux d'adaptation : Désimperméabilisation, végétalisation

Points forts : Éco-conception, installation relativement rapide, apport esthétique (bonne intégration dans les espaces verts).

Description de la solution : Les espaces de stationnement sont réalisés avec des blocs de béton coulé sur place composés dans leur partie centrale d'alvéoles suffisamment larges (12 à 15 cm de profondeur, 15 cm de diamètre) pouvant être garnis avec un matériau drainant (gazon ou gravier) dans l'objectif de désimperméabiliser et de végétaliser des espaces soumis au stationnement de véhicules motorisés. Le béton monolithique est conçu pour laisser un passage au sec pour les roues ces véhicules et éviter le piétinement des parties engazonnées (chaque alvéole est remplie avec 3 à 4 litres de mélange terre-pierre). Cette

solution a été mise en œuvre en 2021 dans la commune de Bédée sur un parc de stationnement de 250 m², elle peut aussi s'appliquer aux plateformes de tramway ou encore aux voies d'accès pompiers. Ce système breveté permet notamment une protection du système racinaire ainsi que la stabilité et la durabilité du revêtement béton (en évitant les phénomènes d'orniérage et de fluage).

Co-bénéfices :

Amélioration du cadre de vie de la voirie par une réduction du caractère routier de la voie.

Si le revêtement est engazonné, il participe plus efficacement à l'îlot de fraîcheur (le gazon est le matériau qui reste le plus frais pendant les vagues de chaleur).

Points de vigilance et complexité de mise en œuvre :

L'étude de la perméabilité du sol et du contexte hydrologique est essentiel avant mise en œuvre. La mise en place de cette technique doit être compatible avec les usages souhaités et notamment ne pas altérer la mobilité des PMR même si les alvéoles ne concernent ici que la partie centrale de la place de stationnement, normalement peu utilisée. Des alvéoles insuffisamment comblées par des gravillons ou de la terre végétale enherbée peuvent en effet constituer des risques de chute des piétons les plus vulnérables, notamment représenter des pièges pour l'embout de canne d'une personne mal marchante.

Une place PMR réalisée en enrobés est alors privilégiée.



Illustration 109 : Place PMR en enrobés au sein d'un parc de stationnement revêtu en dalles alvéolaires

Il est par ailleurs essentiel de choisir des essences végétales de garnissage adaptées au climat local et à une alternance d'épisodes de sécheresse tout en prenant en compte les usages et leur sollicitation.

Une à plusieurs tontes par an sont généralement nécessaires mais la fréquence peut être réduite selon le niveau d'utilisation du parking, car le temps de présence de véhicules tend à ralentir la croissance des plantes (roulement des pneus, ombre portée par le châssis).

Coûts : Grand investissement en termes de R&D, coûts variables selon les fabricants entre 60 et 100 €/m² (75 € HT/m²)

Ces solutions de désimperméabilisation peuvent être subventionnables sous conditions.

Sources :

– <https://viaverde.fr/>

– Matériel et Paysage. « Via Sols : un moulage malin pour des sols en béton végétalisé », 2018

<https://www.materiel-paysage.com/actualites/article/726769/via-sols-un-moulage-malin-pour-des-sols-en-beton-vegetalises#:~:text=Le%20tarif%20global%20du%20Via,%C3%A0%2075%20%E2%82%AC%20HT%2Fm%C2%B2.>

Autres cas d'usage de dalles alvéolées :

> Sur des bandes longitudinales de stationnement



Illustration 110 : Dalles PVC alvéolées avec remplissage gravier sur bande de stationnement

Il convient de veiller en phase de conception à ce que le gravier ne se répande pas sur la chaussée ce qui pourrait induire des problèmes de confort et de sécurité routière pour les usagers. Cela peut notamment être évité ou limité par le choix de bordures visant à délimiter les espaces et à créer une barrière de rétention physique des gravillons.

> Sur des aires de livraison



Illustration 111 : Aire de livraison végétalisée – revêtement adapté pour le passage occasionnel de véhicules lourds

> Sur des aires de stationnement vélos en voirie

La bande technique du trottoir peut être utilisée pour le stationnement des vélos. Un revêtement perméable peut y être mise en place (pavés en pierre naturelle ou en béton poreux ou à joints comblés de gravillons ou de sable). Moins confortable que l'asphalte traditionnellement employé pour la circulation

des piétons, se pose la question de la praticabilité au regard des usages latéraux. Les déplacements des piétons et les traversées piétonnes ne doivent pas être altérés, en particulier pour les PMR ; l'aménagement d'une bande pavée sur trottoir est à étudier au cas par cas. Il est conseillé d'interrompre la bande pavée d'une part au droit des entrées charretières pour ne pas dégrader la bande pavée au passage de véhicules motorisés et d'autre part de façon régulière pour faciliter les traversées des piétons dans l'intention de rejoindre les espaces adjacents. Ces espaces peuvent aussi servir pour le développement d'autres usages urbains (arbres d'alignement, containers, poubelles, etc.).



Illustration 112 : Stationnement pour vélos sur bande technique perméable le long de pistes cyclables à Grenoble

11.3. Recours au béton perméable

Dans le cadre de l'aménagement de son territoire, la Mairie d'Anglet (Pyrénées-Atlantiques) a souhaité intégrer des solutions à la fois limitant l'imperméabilisation des sols urbains et respectueuses de l'environnement en réduisant l'impact carbone du chantier.

Un béton perméable a alors été réalisé par les services techniques voirie de la collectivité sur un site pilote de 6 places de parking de véhicules légers le long du boulevard des plages.

Ce béton coloré « ton pierre » assurerait une perméabilité de l'ordre de 15 litres/m²/s. Sa formulation permettrait également de réduire l'impact carbone du chantier.

Le béton perméable est toutefois soumis au phénomène de colmatage et au risque d'arrachement occasionné par les manœuvres des véhicules.



Illustration 113 : Béton perméable sur un site pilote de places de stationnement en voirie

Crédit photo : Nora Laichour – Cemex

12 AUTRES DÉMARCHES ET TECHNIQUES INNOVANTES OU INSPIRANTES

> La route récupératrice d'énergie solaire

Il s'agit d'une solution technique visant à utiliser la voirie urbaine comme source de production d'énergie thermique décarbonée en captant l'énergie du rayonnement solaire. La chaleur stockée peut être utilisée pour plusieurs cas d'usage :

- pour les infrastructures environnantes en contribuant à chauffer des bâtiments résidentiels, des immeubles de bureaux, des commerces, des écoquartiers ou des équipements publics en améliorant leur mix énergétique ;
- pour lever certaines contraintes d'exploitation en déneigeant et déverglaçant certaines sections de voiries durant la viabilité hivernale ce qui limite les interventions de salage;
- pour limiter l'effet d'îlot de chaleur urbain en refroidissant les chaussées durant la saison estivale.

Exemple de projet innovant lauréat en 2018 de l'Appel à projets « Routes et Rues » du comité d'innovation routes et rues (CIRR), dispositif mis en place par le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie pour encourager l'innovation : projet Power Road « la route à énergie positive »

<https://www.cerema.fr/fr/actualites/concours-innovation-routes-rues-2018-decouvrez-8-laureats>

Certaines collectivités ont recours à ce dispositif de chauffage (en substitution ou en complément de la chaudière traditionnelle) pour leurs équipements publics. Par exemple, la piscine de Saint-Pol-de-Léon (Finistère) a fait l'objet d'une rénovation énergétique en 2022, s'appuyant sur ce système. La technologie est généralement installée sous le revêtement du parking situé à proximité du bâtiment public. Elle contribue à limiter les émissions de gaz à effet de serre en comparaison à une solution au gaz.

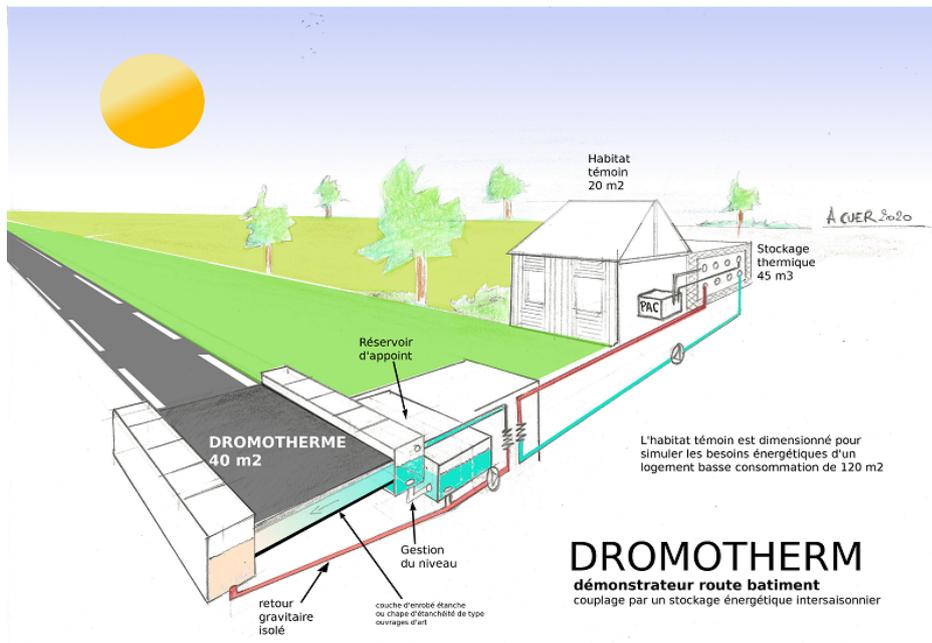
> **Autre projet similaire : le projet Dromotherm**, lancé en 2019 et financé par la Région Auvergne Rhône-Alpes et par Chambéry-Grand Lac économie, est un projet de recherche du pôle de compétitivité Tenerrdis, mené par le Cerema en partenariat avec le LabOratoire proCédés énergle bâtimEnt (LOCIE)¹⁹ de l'Université Savoie Mont-Blanc et du CNRS, l'institut Pascal de l'Université Clermont Auvergne ainsi que les entreprises Eiffage et Elydan.

Il vise à développer le revêtement routier comme un système de récupération de l'énergie solaire à stocker cette énergie si besoin et à la **diffuser dans le système énergétique d'un bâtiment** aussi bien en été qu'en hiver quand la luminosité est moindre.



Illustration 114 : LOCIE – Démonstrateur sur le site de l'université Savoie Technolac
Crédit photo : CC-BY-SA

¹⁹ <https://www.univ-smb.fr/locie/>



Pour en savoir plus :

<https://www.cerema.fr/fr/actualites/route-recuperatrice-energie-solaire-alimenter-batiment>

> La démarche innovante « Rue Commune »

Proposée par le groupement Léonard (plateforme d'innovation du groupe VINCI), Richez Associés et Franck Boutté Consultants, la démarche « Rue Commune » vise notamment à développer une méthodologie détaillée pour faire des rues ordinaires des territoires d'expérimentation pour une ville apaisée, plus vivable et adaptées aux enjeux sociétaux et climatiques.

La démarche a donné lieu à la publication d'un guide de diagnostic et de mise en œuvre opérationnelle à destination des acteurs de la maîtrise d'ouvrage publique ou privée (villes, métropoles, départements, assistants à maîtrise d'ouvrage ainsi qu'aux équipes de maîtrise d'œuvre, bureaux d'études, agences d'urbanisme et de paysage, etc. <https://www.ruecommune.com/guide>

L'intérêt principal de la démarche a également résidé dans la mise en œuvre d'une vaste consultation citoyenne mobilisant 25 000 participants environ et donnant lieu à près de 205 000 votes sur l'ensemble des propositions. Cette consultation massive a permis de recueillir des résultats intéressants sur les besoins et les attentes des usagers des espaces publics.

Une très forte demande de végétalisation...

Il faut créer plus d'espaces verts dans tous les quartiers, végétaliser les espaces publics pour faire baisser la température des villes. - Catherine



Il faut végétaliser les rues avec des arbres à feuilles denses pour réduire les îlots de chaleur - Adrien



Il faut que l'air de la rue soit de meilleure qualité notamment grâce à la plantation de végétaux. - Slimani



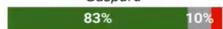
Il faut protéger les arbres existants et en planter beaucoup plus. - Pierre



Il faut faciliter la végétalisation des toitures et des façades pour la fraîcheur, la biodiversité et l'esthétique - Mary - Ann



Il faut créer de petits espaces naturels ou semi-naturels protégés en milieu urbain. Pour faire des corridors écologiques pour la faune. - Gaspard



■ % votes "pour" ■ % votes "neutre" ■ % votes "contre"

www.ruecommune.com



> **Le projet de recherche Coolveg** pour optimiser les futurs espaces extérieurs du village des athlètes des jeux Olympiques de Paris en 2024 en misant sur la **bioclimatisation et l'évapotranspiration des espaces végétalisés**. Ce projet a été confié par SOLIDEO, la société chargée des ouvrages olympiques au Cerema et à la start-up SOLENOS.

Le projet de recherche a abouti en 2021 à plusieurs recommandations pour l'aménagement du village olympique :

Quels leviers pour tous les espaces végétalisés ?

- **Recours à des végétaux favorables à l'évapotranspiration** : densité des feuilles importante, résistance stomatique réduite, racines profondes et stratégies de gestion des eaux pour assurer une disponibilité en eau suffisante dans le sol : collecter et infiltrer les eaux de ruissellement amont est une solution pertinente (Attention : si l'espace n'est pas assez alimenté en eau, l'installation de végétaux favorables à l'évapotranspiration à l'échelle annuelle entraîne une réduction de l'évapotranspiration en période sèche de canicule)
- **Recours à des sols avec de bonnes capacités de rétention et d'infiltration** : un limon est un bon compromis
- **Un gazon reste généralement plus frais** qu'un mélange de lisière ou des vivaces

Quelles recommandations autour du mail Finot ?

- Zone 1* : pertinent de trouver des solutions pour réduire la vitesse du vent (→ optimisation de la bioclimatisation du mail)
- Zones 1, 3 et parties supérieures des zones 2 et 4 : ombrages importants par les bâtiments → préférer des végétaux de strates basses, car l'intérêt de l'ombrage est réduit et une strate haute va freiner le rafraîchissement par rayonnement thermique ; pas décisif de travailler sur les matériaux de surfaces
- Zones 3 et 4 : Température de surface fortement limitée par la restriction hydrique lors des périodes de canicule → importance de l'alimentation en eau



→ importance de l'alimentation en eau

– Zones 5 et partie inférieure de la zone 4 : exposition importante au soleil → importance des arbres pour l'ombrage

– Zone 5 : Potentiel d'évapotranspiration élevé (arbres et exposition au soleil) fortement limité par la restriction hydrique → important de l'alimenter en eau toute l'année.

* Recommandation valable pour un vent de direction NE

Pour en savoir plus :

- Synthèses et rapports détaillés disponibles sur le site internet du Cerema <https://www.cerema.fr/fr/actualites/quels-leviers-favoriser-evapotranspiration-rafraichir-climat>

Table des illustrations

Illustration 1 : Schéma de méthodologie d'analyse des vulnérabilités des réseaux de transport.....	13
Illustration 2 : Application de la méthodologie au réseau routier marseillais.....	13
Illustration 3 : Exemples de dispositifs de mesures physiques du confort thermique du piéton.....	14
Illustration 4 : Exemple de cartographie représentant les indices d'aléa et de vulnérabilité socio-économique pour la commune de Libourne.....	15
Illustration 5 : Chaussée déformée par le phénomène de retrait-gonflement.....	16
Illustration 6 : Fissures sur chaussée consécutives au phénomène de RGA.....	16
Illustration 7 : schéma de fonctionnement du mécanisme de retrait-gonflement des sols argileux.....	18
Illustration 8 : Configuration de la place de Francfort et organisation des usages avant et après aménagement.....	19
Illustration 9 : Réaménagement de la place de Francfort – un ressenti de rafraîchissement pour les piétons estimé autour de 5 °C.....	20
Illustration 10 : Aperçus du parc de stationnement à Aubervilliers avant/après aménagement.....	21
Illustration 11 : Les plantations d'arbres permettent de délimiter le cheminement des espaces latéraux de repos.....	22
Illustration 12 : Fonctionnement de l'aménagement par temps sec et pluvieux.....	22
Illustration 13 : Des essences de plantations apportant ombrage et facilitant les déambulations.....	23
Illustration 14 : Vues vers le Palais des spectacles - le parking (à gauche) a été remplacé par un parc urbain (à droite).....	24
Illustration 15 : La reconversion du parking a permis d'améliorer la valeur d'usage des arbres du site.....	25
Illustration 16 : Couverture de parc de stationnement en surface par des ombrières photovoltaïques.....	26
Illustration 17 : Structure en bois d'Amandine Didelot, place de la Tranchée à Tours.....	27
Illustration 18 : Voiles d'ombrage sur l'espace public.....	28
Illustration 19 : Installation d'un voile d'ombrage à l'aplomb de la Plaza del Pan à Séville (Espagne) suite à la demande des commerçants.....	29
Illustration 20 : Structures porteuses de plantations grimpantes réalisées par les services de la ville sur la place Cayrol à Perpignan (66).....	29
Illustration 21 : Mobilier urbain innovant participant à la modularité des espaces et au mode de vie.....	30
Illustration 22 : Des oasis de fraîcheur au sein du parvis d'une gare parisienne.....	31
Illustration 23 : Avancées de trottoir végétalisées sur voirie urbaine au Canada.....	33
Illustration 24 : Avancées de trottoir offrant des opportunités d'emprise pour la végétalisation.....	34
Illustration 25 : Cas d'usage possible d'avancées de trottoir végétalisées aux abords d'une école.....	34
Illustration 26 : Aperçus de la rue Sœur Valérie à Asnières-sur-Seine avant et après réaménagement.....	35

Illustration 27 : Principe d'écoulement des eaux.....	36
Illustration 28 : Aperçus de la répartition spatiale des différents aménagements réalisés et de leurs usages	37
Illustration 29 : Aménagement d'une écluse simple végétalisée avec rétrécissement latéral.....	38
Illustration 30 : Écluses simples plantées avec rétrécissement axial remplissant parfaitement sa fonction de réduction de vitesse.....	38
Illustration 31 : Végétal renforçant la lisibilité d'un changement de statut de voirie.....	38
Illustration 32 : Plantation d'un arbre à haute tige à l'amont d'un passage piéton.....	41
Illustration 33 : L'aménagement de cet alignement d'arbres tend à effacer le caractère routier de cette voirie.....	42
Illustration 34 : Répartition spatiale des usages sur le Boulevard Aubanel avant et après son aménagement	43
Illustration 35 : De petits passages sont aménagés pour rejoindre la bande longitudinale de stationnement revêtue d'un matériau perméable.....	44
Illustration 36 : Les usagers de la voie verte (à gauche) bénéficient de l'ombrage des pins parasols existants tandis que la chaussée (à droite) est plus exposée au soleil.....	46
Illustration 37 : Transformation d'un axe structurant très routier en un boulevard urbain paysager.....	47
Illustration 38 : Schéma présentant l'expérimentation pilote de rafraîchissement d'air.....	48
Illustration 39 : Combinaison de solutions techniques d'adaptation en faveur des mobilités actives et de la gestion intégrée des eaux pluviales.....	49
Illustration 40 : Aménagements linéaires de noues.....	52
Illustration 41 : Noue plantée mise en place le long d'une chaussée peu circulée.....	53
Illustration 42 : Noue le long d'une allée de desserte en béton désactivé au sein d'un parc urbain.....	54
Illustration 43 : Dispositifs de gestion des eaux pluviales favorisant l'infiltration des pieds d'arbres.....	55
Illustration 44 : Exemple de schéma de principe d'un arbre de pluie.....	56
Illustration 45 : Exemple de panneaux d'information affichés à Lyon au droit des arbres de pluie.....	57
Illustration 46 : Coupe schématique du fonctionnement du bocage urbain.....	58
Illustration 47 : Bocages urbains installés en bordure de voirie pour recueillir les eaux pluviales.....	58
Illustrations 48 : Chaussée à structure réservoir avec enrobés poreux et trottoirs en pavés béton poreux....	63
Illustration 49 : Espaces de stationnement, vulnérables aux inondations, dont l'usage est conditionné par les précipitations.....	66
Illustration 50 : Vue aérienne du « Water square » Benthemplein à Rotterdam.....	66
Illustration 51 : Une chaussée inondée dans le quartier Matra à Romorantin.....	68
Illustration 52 : Plan de situation de l'esplanade Rif Vachet.....	70

Illustration 53 : Aperçu de l'aire de stationnement occasionnelle accessible lors des événements sportifs ponctuels et par temps sec.....	71
Illustration 54 : Aperçu du bassin central en eau et de la passerelle piétonne de franchissement.....	71
Illustration 55 : Un espace public, plusieurs usages en fonction de la météo.....	71
Illustration 56 : Situation avant aménagement d'une voirie desservant une zone d'activités.....	72
Illustration 57 : Situation après aménagement de la voirie. Une voirie plus qualitative et intégrant les mobilités actives.....	73
Illustration 58 : Revêtement perméable avec liant végétal.....	74
Illustration 59 : Place Meller au Pyla, bitume remplacé par un liant végétal.....	75
Illustration 60 : Répartition spatiale de plusieurs revêtements perméables selon les usages au sein de l'aménagement.....	76
Illustration 61 : Phénomène de street-pooling susceptible de se produire durant les journées les plus chaudes.....	77
Illustration 62 : Borne-fontaine Bayard dans un espace public lyonnais.....	77
Illustration 63 : Déploiement de brumisateurs temporaires devenus pérennes par la suite.....	78
Illustration 64 : Une fontaine modulable multi-fonctions.....	78
Illustration 65 : Brumisateur de jardin activé.....	79
Illustration 66 : Point d'eau accessible à tous et d'une confection particulièrement robuste.....	79
Illustration 67 : Lieux de fraîcheur à Rennes. Les usagers peuvent proposer des sites complémentaires.....	80
Illustration 68 : Situation du square de l'Étendard à Courbevoie traversée par une liaison piétonne.....	81
Illustration 69 : Une liaison piétonne protégée de l'exposition au soleil par l'installation d'une pergola.....	81
Illustration 70 : Une noue plantée délimite le square du trottoir.....	82
Illustration 71 : Adaptation de l'existant. Identification des potentialités de désimperméabilisation de trottoirs.....	83
Illustration 72 : Stratégie de végétalisation de certains trottoirs du Pré-Saint-Gervais.....	85
Illustration 73 : Une combinaison de plusieurs solutions d'adaptation sur ce trottoir de la rue Jean Jaurès du Pré-Saint-Gervais.....	85
Illustrations 74 : Situations du trottoir de la rue Jean Jaurès avant et après travaux.....	87
Illustration 75 : Les micro-jardins peuvent aussi se concevoir sur la bande longitudinale de stationnement !	89
Illustration 76 : Aperçu de la rue Lacharrière avant aménagement : une rue très minérale et du stationnement.....	91
Illustration 77 : Aperçus de la rue Lacharrière après aménagement : une chaussée moins large, dénuée de stationnement et surtout une rue plus verdoyante.....	91
Illustration 78 : Aperçu d'une ruelle verte dans le quartier Notre-Dame-de-Grâce à Montréal.....	92

Illustration 79 : Débitumisation et engazonnement d'une portion de ruelle de l'écoquartier Rosemont-la-Petite-Patrie.....	93
Illustration 80 : Débitumisation et enherbement de la partie axiale de la chaussée.....	93
Illustration 81 : Végétalisation d'une rue étroite : la rue Roucher à Montpellier.....	94
Illustration 82 : « Tunnel végétal » en surplomb d'une piste cyclable.....	95
Illustration 83 : Aire piétonne équipée d'une ombrière de rubans déployée sur 1500 m ²	95
Illustration 84 : Mise en place de micro-fosses de plantations de roses trémières dans cette rue commerçante de Lyon.....	96
Illustration 85 : Micro-implantations florales en pied de façade dans cette rue du centre-ville de Lille.....	97
Illustration 86 : Tracé du tramway T10 en Île-de-France.....	98
Illustration 87 : Plateforme enherbée du tramway T10 et gestion différenciée.....	99
Illustrations 88 : Aperçus des différentes stratégies d'aménagement selon les milieux traversés par le tramway T10.....	101
Illustration 89 : Aperçu d'une plateforme tramway végétalisée sur le territoire niçois.....	102
Illustration 90 : Coupes schématiques comparant une plateforme tramway végétalisée classique et une plateforme aménagée selon la technique dite de la « voie verte ».....	103
Illustration 91 : Aperçu de fosses anti-intrusions mises en place aux extrémités d'une plateforme végétalisée.....	104
Illustration 92 : Alignement d'arbres le long d'une plateforme tramway du réseau niçois.....	104
Illustration 93 : Exemple d'une zone d'attente peu confortable pour les usagers lors des journées caniculaires.....	106
Illustration 94 : Expérience voyageur améliorée pendant les périodes de chaleur par le couvert végétal de part et d'autre de l'arrêt de bus.....	106
Illustration 95 : Vaste ombrière judicieusement installée au sein de ce pôle d'échanges multimodal.....	107
Illustration 96 : Aperçus des prototypes d'arrêts de bus Terra.....	108
Illustration 97 : Vue aérienne de la Place de Catalogne avant aménagement - un grand giratoire très minéral dépourvu d'aménités.....	109
Illustration 98 : Plan de la nouvelle place de Catalogne.....	110
Illustration 99 : Un projet dans la continuité des trames vertes existantes et au bénéfice des mobilités actives.....	111
Illustration 100 : Séparateur qualitatif garantissant confort d'usage et sécurité pour les modes actifs.....	113
Illustration 101 : Adaptation sobre et économe de la voirie au profit des modes actifs.....	113
Illustration 102 : Abords végétalisés de cet axe routier de Caen.....	115
Illustration 103 : Cartographie des rues de Caen concernées par la déminéralisation.....	116
Illustration 104 : Boulevard Bertrand avant et après travaux.....	117

Illustration 105 : Végétalisation de terre-plein central.....	117
Illustration 106 : Rue des jardins Dufour après aménagement.....	118
Illustration 107 : Coupe schématique de la Rue des Jardins Dufour.....	119
Illustration 108 : Utilisation d'un béton monolithique alvéolaire sur cette zone de stationnement.....	120
Illustration 109 : Place PMR en enrobés au sein d'un parc de stationnement revêtu en dalles alvéolaires. .	121
Illustration 110 : Dalles PVC alvéolées avec remplissage gravier sur bande de stationnement.....	122
Illustration 111 : Aire de livraison végétalisée – revêtement adapté pour le passage occasionnel de véhicules lourds.....	122
Illustration 112 : Stationnement pour vélos sur bande technique perméable le long de pistes cyclables à Grenoble.....	123
Illustration 113 : Béton perméable sur un site pilote de places de stationnement en voirie.....	124
Illustration 114 : LOCIE – Démonstrateur sur le site de l'université Savoie Technolac.....	125

Annexes

Ressources utiles et connexes :

- Cerema. L'adaptation au changement climatique au service d'une voirie plus résiliente et inclusive – Retour sur le rendez-vous Mobilités du 2 juin 2022, [consulté le 15 janvier 2024]
- Cerema. [Solutions d'adaptation au changement climatique fondées sur la Nature en milieu urbain : quels retours d'expérience ?](#) [consulté le 15 janvier 2024]
- Cerema. [Moins de surchauffe urbaine – des villes plus vivables](#). 2023, 12 p.
- Cerema. [Climat, l'urgence à s'adapter](#). 2022, 12 p.
- ADEME. [Rafraîchir les villes : des solutions variées](#). 2021, 80p.
(Ce guide a été produit par le Cerema et le bureau d'études TRIBU en réponse à un appel d'offre de l'ADEME).
- Plante et Cité. [Revêtements perméables des aménagements urbains : typologie et caractéristiques techniques](#). 2021, 68 p.
- Cerema. [Vulnérabilités et risques : les infrastructures de transport face au climat](#). 2019, 56 p.
- Cerema. [Infrastructures routières, s'adapter au changement climatique, une nécessité](#). 2019, 12 p.
- Cerema. [Détermination de la vulnérabilité au changement climatique du réseau de transport marseillais](#). 2019, 57 p.
- Cerema. [Fonctionnement du phénomène « îlot de chaleur » à Clermont-Ferrand et adaptation des habitants : une étude du Cerema](#). [consulté le 15 janvier 2024]

Solution d'adaptation	Bénéfices ou externalités positives										
	Biodiversité Renforcée	Atténuation au phénomène de surchauffe	Valorisation des eaux pluviales	Lien social	Amélioration du cadre de vie ou de la qualité d'usage	Economie circulaire	Inclusion / accessibilité pour les PMR	Renforcement à la sécurisation des déplacements	Ré-équilibre au profit des mobilités actives ou partagés	Production d'énergies renouvelables / Autonomie énergétique	Sensibilisation aux enjeux environnementaux
Partie 2	Réaménagement de parc de stationnement en îlot de fraîcheur										
2.1 Rééquilibrage des espaces de stationnement au profit du confort d'usage des piétons	x	x	x	x	x		x	x	x		
2.2 Transformation d'un parc de stationnement en un espace hybride pour les piétons	x	x		x	x				x		
2.3 Reconversion d'un parc de stationnement en un parc urbain	x	x	x	x	x	x	x		x		
Partie 3	Installation de dispositifs alternatifs d'ombrage										
3.1 Îlot de fraîcheur « Malawa »			x	x							x
3.2 Voiles d'ombrage				x			x				
3.3 Mobilier urbain ombragé : « Matrioshka »				x					x	x	
3.4 Mobilier rafraîchissant raccordé au réseau de froid							x		x	x	
Partie 4	Dispositifs végétalisés d'apaisement des vitesses et de sécurisation des piétons										
4.1 Concept des super-îlots à Lyon	x	x	x	x	x			x	x		
4.2 Avancées de trottoirs végétalisés	x	x	x		x		x	x			
4.3 Chicanes traitant les eaux pluviales	x	x	x		x		x	x	x		x
4.4 Végétalisation de places de stationnement à l'amont des passages piétons	x	x			x		x	x	x		
Partie 5	Requalification de boulevards au profit des mobilités actives et du cadre de vie										
5.1 Requalification d'un boulevard urbain en un parc arboré linéaire	x	x	x		x	x		x	x		
5.2 Réaménagement d'une « autoroute urbaine » en une rue partagée, apaisée et adaptée aux aléas climatiques	x	x	x		x			x	x		
Partie 6	Intégration des eaux pluviales aux espaces publics										
6.1 Jardins de pluie	x	x			x			x			
6.2 Chaussée à structure réservoir			x			x			x		
6.3 Espaces publics inondables				x	x						
6.4 Tranchées drainantes			x			x		x			
6.5 Revêtements perméables aux services des modes actifs		x	x				x		x		
Partie 7	Dispositifs de rafraîchissement										
Partie 8	Micro-végétalisation										
8.1 Stratégie de végétalisation sur trottoirs	x	x			x			x			
8.2 Création de micro-jardins sur trottoirs	x			x	x						x
8.3 Concept de la rue végétale	x	x			x			x			
8.4 Couverture végétale		x		x	x						
8.5 Micro-implantations florales				x	x						x
Partie 9	Développement des réseaux de transport partagé et/ou décarboné										
9.1 Aménagement d'une ligne de tramway, ossature à la trame verte existante	x	x	x		x				x		
9.2 Plateforme de tramway végétalisée résiliente aux aléas climatiques	x	x	x		x			x	x		
9.3 Arrêts de bus et pôles d'échanges multimodaux ombragés et confortables		x			x						
Partie 10	Végétalisation des délaissés routiers										
10.1 Transformation d'un carrefour giratoire en place végétalisée	x	x	x	x	x	x			x		
10.2 Séparateurs végétalisés pour pistes cyclables	x				x	x		x	x		
10.3 Programme de débitumisation des trottoirs	x	x	x		x			x			
Partie 11	Emplacements de stationnement en voirie										
11.1 Revêtement de pavés à joints enherbés	x	x	x		x						
11.2 Revêtement en béton monolithique, alvéolaire et perméable	x	x			x						
11.3 Recours au béton perméable		x	x		x	x					
Partie 12	Autres démarches et techniques innovantes ou inspirantes										



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Cerema

CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN