



Où et comment désimperméabiliser les sols ?

Catalogue de solutions de
désimperméabilisation applicables en ville



CLÉS POUR AGIR

Avril
2024

REMERCIEMENTS

Membres du consortium de recherche

Blandine Clozel (BRGM)
Alix Cornu-Lachamp (BRGM)
Cécile Le Guern (BRGM)
Pierre Chrétien (BRGM)
Ziang Cui (AAU-IRSTV)
Auline Rodler (CEREMA-IRSTV)
Marjorie Musy (CEREMA-IRSTV)
Annie Flécher (IRSTV)
Fabien Prézeau (IRSTV-BRGM)
Thomas Leduc (AAU)
Emmanuel Dufrasnes (OTEIS)
Clément Bruhat (OTEIS)
Leticia Cordeira (OTEIS)
Alexandre Merville (OTEIS-CEREMA)
Amaury Monnot (Nantes Métropole)
Armel Caillon (Nantes Métropole)
Alexis Talhouet (Nantes Métropole)

CITATION DE CE RAPPORT

F. Prézeau, C. Bruhat, L. Cordeiro, M. Musy, E. Dufrasnes, C. Le Guern. 2024. DésiVille : comment désimpermeabiliser ? Catalogue de solutions de désimpermeabilisation applicables en Ville. 149 pages. **Version V1.0 du 15 avril 2024**

Cet ouvrage est disponible en ligne www.ademe.fr/mediatheque

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'oeuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 21DAD0029

Étude réalisée par F. Prézeau, C. Bruhat, L. Cordeiro, M. Musy, E. Dufrasnes, C. Le Guern pour ce projet cofinancé par l'ADEME

Projet de recherche coordonné par : Cécile LE GUERN
Appel à projet de recherche : ModelvalUrba 2019

Coordination technique - ADEME : LEFRANC Anne
Direction Adaptation, Aménagement et Trajectoires bas carbone/ Pôle Aménagement des Villes et des Territoires

SOMMAIRE

RÉSUMÉ.....	5
ABSTRACT.....	6
1. INTRODUCTION.....	7
2. CONTEXTE	7
2.1. Le projet DésiVille	7
2.2. Pourquoi désimperméabiliser les sols	8
2.2.1. Impacts de l'imperméabilisation des sols	8
2.2.2. La désimperméabilisation, c'est quoi ?	8
2.2.3. Liens avec le ZAN.....	9
3. POINTS D'ATTENTION AVANT DE DESIMPERMEABILISER.....	9
3.1. Vérifier la faisabilité.....	9
3.2. Contraintes opérationnelles.....	12
4. SOLUTIONS DE DESIMPERMEABILISATION	13
4.1. Solutions de désimperméabilisation disposant de fiches	13
4.2. Comparaison des solutions grises entre elles	14
4.3. Comparaison des solutions fondées sur la nature entre elles.....	18
4.4. Comparaison de l'ensemble des solutions	23
5. RECOMMANDATIONS.....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
6. CONCLUSION / PERSPECTIVES.....	26
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	26
INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES.....	27
SIGLES ET ACRONYMES	28
ANNEXES : FICHES DE SYNTHÈSE PAR SOLUTION	28

RÉSUMÉ

Le « Catalogue de solutions de désimperméabilisation applicables en ville » conçu dans le projet Désiville apporte des éléments d'aide à la décision pour répondre aux questions suivantes : Comment désimperméabiliser ? Quels sont les points d'attention à considérer avant de désimperméabiliser ? Il s'adresse aux différents acteurs de la désimperméabilisation (techniciens, décideurs...) avec pour objectif de les aider à identifier les techniques les plus adaptées selon les contraintes environnementales des zones d'intervention et les bénéfices environnementaux et/ou sociaux recherchés (gestion de l'eau pluviale, lutte contre les Îlot de Chaleur Urbain, renaturation, accroissement des aménités, de la biodiversité, valorisation des espaces urbains, etc.).

Les solutions présentées dans le catalogue, au nombre de 15, ont été retenues pour leur prévalence dans la bibliographie, ainsi que leur fréquence d'utilisation et la quantité de retours d'expérience. Elles sont classées en deux grands ensembles, les solutions grises et les solutions fondées sur la nature. Elles sont aussi suffisamment flexibles pour que prises ensemble, elles puissent s'appliquer à la quasi-totalité des démarches, quelle que soit leur échelle (du site au projet urbain).

En amont de la présentation des solutions sous forme de fiches disponibles dans l'annexe, une présentation générale des enjeux (contexte environnemental et réglementaire) de la désimperméabilisation est faite, des comparaisons des solutions sont réalisées et des recommandations sont données.

ABSTRACT

The « Catalog of urban desealing solutions » developed by the Désiville project provides decision support to answer the following questions: How can we remove sealed surfaces? What points should be considered before desealing?

It is aimed at the various players involved in desealing (technicians, decision-makers, etc.), with the aim of helping them to identify the most appropriate techniques according to the environmental constraints of the areas concerned and the environmental and/or social benefits sought (stormwater management, combating urban heat islands, renaturation, increasing amenities and biodiversity, enhancing urban spaces, etc.).

The 15 solutions presented in the catalog have been selected for their prevalence in the bibliography, their frequency of use and the quantity of feedback. They are classified into two main groups, grey solutions and nature-based solutions. They are also sufficiently flexible so that, taken together, they can be applied to almost any approach, whatever the scale (from the very local scale to the whole city project).

Prior to the presentation of the solutions' factsheets in the annex, a general overview of the issues involved (environmental and regulatory context) in desealing is given, comparisons of the solutions are proposed and recommendations are made.

1. Introduction

Le présent catalogue propose d'apporter des éléments d'aide à la décision pour répondre aux questions suivantes : Comment désimperméabiliser ? Quels sont les points d'attention à considérer avant de désimperméabiliser ? Il s'adresse aux différents acteurs de la désimperméabilisation (techniciens, décideurs...). Il a pour objectif d'aider à l'identification des techniques les plus adaptées selon les contraintes environnementales des zones d'intervention et les bénéfices environnementaux et/ou sociaux recherchés (gestion de l'eau pluviale, lutte contre les îlots de Chaleur Urbain, renaturation, accroissement des aménités, de la biodiversité, valorisation des espaces urbains, etc).

De nombreuses solutions de désimperméabilisation existent. Les revêtements imperméables peuvent être remplacés par des systèmes semi-perméables. Ils sont construits pour être hautement conducteurs grâce à l'utilisation d'un matériau à faible rétention. Leur point faible est qu'avec l'usage, l'accumulation de différents matériaux (feuillage, poussière, huile, etc.) colmate les porosités. Pour les surfaces moins circulées, des solutions de pavés poreux peuvent aussi être proposées (Fini et al, 2017; Stempihar et al, 2012). Enfin, une totale désimperméabilisation est possible, avec des surfaces naturelles, pour un nouvel usage. Les choix sont multiples, mais il n'existe pas de méthodologie d'aide à la décision pour choisir les surfaces à plus fort potentiel environnemental, en fonction des usages envisagés. Il paraît donc nécessaire d'avoir une approche plus systémique des opérations de désimperméabilisation. Plutôt que de considérer que ces opérations annulent les effets de l'imperméabilisation, il s'agit de proposer des solutions adaptées aux enjeux environnementaux et sociaux et d'alerter sur les risques potentiels.

Les solutions présentées dans le catalogue ont été retenues selon leur prévalence dans la bibliographie, ainsi que leur fréquence d'utilisation et la quantité de retours d'expérience. Elles sont classées en deux grands ensembles, les solutions grises et les solutions fondées sur la nature. Elles sont aussi suffisamment flexibles pour que prises ensemble, elles puissent s'appliquer à la quasi-totalité des démarches, quelle que soit leur échelle (du site au projet urbain).

Après un bref rappel du cadre de son élaboration, ce document soulève différents points d'attention à prendre en considération lors de la mise en œuvre de solutions de désimperméabilisation puis compare les différentes solutions recensées en s'appuyant sur leurs impacts positifs et négatifs, en lien avec les enjeux de la désimperméabilisation. Un ensemble de recommandations est également proposé. Des fiches synthétiques décrivant chaque solution de désimperméabilisation complètent l'ensemble. Elles intègrent des aspects techniques, juridiques, économiques, environnementaux et sociaux. Les fiches se terminent par des recommandations, la liste des références utilisées et des liens vers d'autres sources d'informations.

Ce catalogue est amené à évoluer en s'enrichissant des retours d'expérience. A cet effet, un espace de partage est proposé sur une page dédiée du site internet de l'IRSTV ([lien à fournir](#)).

2. Contexte

2.1. Le projet DésiVille

Lauréat de l'Appel à Projets de Recherche MODEVAL-URBA 2019 de l'ADEME, le projet interdisciplinaire DésiVille (2021-2024) a associé plusieurs partenaires liés à l'Institut de Recherche en Sciences et Techniques de la Ville (BRGM, CEREMA et AAU-CRENAU) ainsi qu'un partenaire opérationnel (OTEIS) et une collectivité (Nantes Métropole). Pour apporter une réponse intégrée à la thématique de la désimperméabilisation des sols urbains, il a développé des outils et méthodes utiles :

- à la **planification urbaine**, en proposant une **méthodologie de cartographie territoriale du potentiel de désimperméabilisation** pour aider à l'élaboration d'une stratégie territoriale de désimperméabilisation prenant en compte différents atouts et contraintes du territoire. Cette méthodologie, décrite dans un guide paru aux éditions ADEME, permet l'évaluation sous SIG des potentialités et vulnérabilités des surfaces imperméabilisées du territoire permettant de sélectionner les surfaces les plus pertinentes à désimperméabiliser à partir de données existantes. Les critères pris en compte sont répartis en quatre thématiques : i) caractéristiques des surfaces imperméables ; ii) infiltrabilité intrinsèque estimée des sols ; iii) contraintes environnementales liées aux risques naturels et anthropiques et à la protection des ressources et écosystèmes ; iv) atouts et bénéfices (tels que lutte contre les îlots de chaleur urbain, contre les inondations par ruissellement, refonctionnalisation des sols, etc) ;
- à l'**aménagement**, en fournissant un **catalogue étayé de solutions de désimperméabilisation** pour aider au choix des techniques les plus adaptées selon les contraintes environnementales des zones sélectionnées. Le catalogue intègre, sur la base des impacts positifs et négatifs identifiés, un ensemble de recommandations. Il contient des fiches techniques, décrivant les solutions sur le plan technique (principe, mise en œuvre, entretien), économique (notions de coûts),

réglementaire (normes et lois), analysant leurs impacts positifs et négatifs, et proposant un ensemble de recommandations. Son objectif est d'aider au choix des techniques les plus adaptées selon les contraintes environnementales des zones sélectionnées et les atouts recherchés.

Les apports du projet résident plus particulièrement dans la **prise en compte des atouts et contraintes, notamment environnementaux**, dans l'évaluation du potentiel de désimperméabilisation des sols artificialisés et dans l'analyse de solutions adaptées à différents contextes susceptibles d'être rencontrés.

2.2. Pourquoi désimperméabiliser les sols

2.2.1. Impacts de l'imperméabilisation des sols

L'imperméabilisation correspond au recouvrement d'une surface par le biais d'un revêtement imperméable (Tobias et al., 2018). L'imperméabilisation des sols est une des conséquences de l'artificialisation liée aux activités anthropiques. En milieu urbain, les surfaces de sol imperméabilisées correspondent principalement à des zones bâties (immeubles, maisons, bâtiments d'activité secondaire ou tertiaire) et à des infrastructures de transport (trottoirs pour les piétons, voirie pour les véhicules, parkings). Les matériaux utilisés sont par exemple du béton ou de l'asphalte. Si l'imperméabilisation rend des services en facilitant les activités humaines comme les déplacements, le logement ou la production, elle présente cependant des impacts négatifs. Elle impacte ainsi le cycle de l'eau et de fait sa gestion (Roy et Shuster, 2009) en augmentant par exemple les inondations liées au ruissellement des eaux pluviales. Elle génère des îlots de chaleurs urbains (ICU) (Rhee et al, 2014) qui affectent le bien-être des personnes. Elle réduit aussi la biodiversité (Desrousseaux et al., 2019) et modifie le cycle du carbone (Scalenghe et Ajmone-Marsan, 2009).

2.2.2. La désimperméabilisation, c'est quoi ?

La désimperméabilisation est définie comme une action ayant pour but de « rétablir en partie l'ancien profil du sol en éliminant les couches imperméables (ex. asphalte ou béton), en ameublissant le sol sous-jacent, en éliminant les matières étrangères et en restructurant le profil » (Commission européenne, 2012).

Elle apparaît comme une option pour réduire certains de ces impacts négatifs que le changement climatique amplifie : réduction des îlots de chaleur urbains, développement de la biodiversité par l'extension des continuités écologiques, amélioration du cycle de l'eau. Le sol peut ainsi retrouver certaines de ses fonctions écologiques, comme le stockage et l'infiltration de l'eau, le stockage et la transformation du carbone, le réservoir de biodiversité, la contribution au cycle des éléments nutritifs qui contribuent à son potentiel agronomique.

La désimperméabilisation présente toutefois également des inconvénients ou risques, comme la remobilisation de polluants stockés dans les sols, ou les remontées de nappes en lien avec une recharge accrue des nappes d'eaux souterraines que permet l'augmentation de l'infiltration de l'eau pluviale.

Les principales étapes de la désimperméabilisation (Figure 1) telles que pratiquées actuellement sont le descellement, la décompaction et la mise en œuvre d'une solution perméable, qu'elle soit dite grise (avec le recours à des revêtements de surface poreux et drainants) ou verte fondée sur la nature (induisant généralement une végétalisation). Le descellement peut être précédé par une opération de démolition dans le cadre de la désimperméabilisation d'une surface bâtie. La désimperméabilisation peut être menée seule ou avec une dépollution des sols, et/ou avec une réhabilitation écologique, et/ou avec une reconstitution de sol (Limasset et al., 2021).

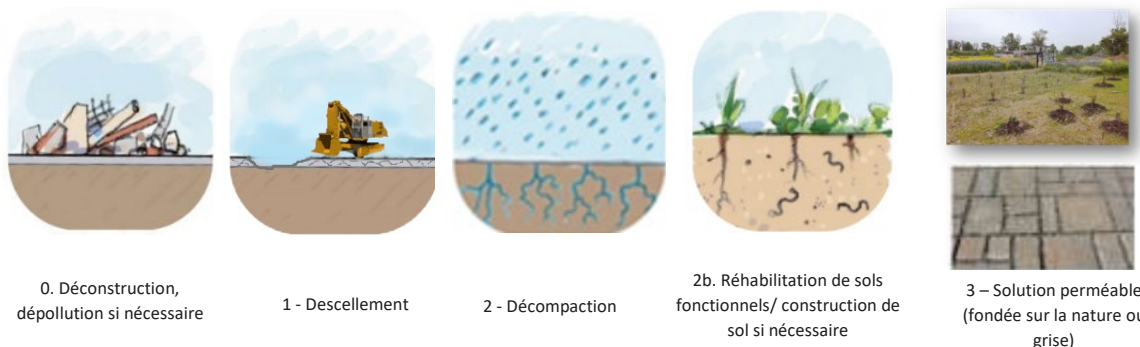


Figure 1 : Étapes d'une opération de désimperméabilisation (adapté de CDC Biodiversité et Humanité Biodiversité 2021 et Limasset et al., 2021)

2.2.3. Liens avec le ZAN

En 2020, l'artificialisation représentait 9 % des surfaces du territoire national (INSEE, 2023) contre 5,2 % en 1982. Le CEREMA estime, qu'en 2017, 23 907 hectares ont été transformés au profit de l'étalement urbain, ce qui correspond à la ville de Marseille. Entre 2009 et 2017, l'artificialisation des espaces naturels s'est faite principalement vers le secteur de l'habitat (67 %) et l'activité (25 %). Afin de limiter l'artificialisation, l'Etat a promu en 2021 la loi Climat et Résilience qui précise l'objectif « Zéro artificialisation Nette » (ZAN), déjà annoncé dans la loi Biodiversité de 2018. Les territoires doivent dans un premier temps baisser de 50 %, d'ici 2031, le rythme d'artificialisation et de consommation des espaces naturels, agricoles et forestiers. L'objectif d'atteinte du ZAN des territoires est fixé pour l'horizon 2050. La désimperméabilisation permet de répondre aux objectifs de ZAN lorsque les sols désimperméabilisés sont végétalisés et considérés comme non artificialisés.

3. Points d'attention avant de désimperméabiliser

3.1. Vérifier la faisabilité

L'arbre de décision (Figure 2) vise à vérifier la faisabilité des opérations de désimperméabilisation en interrogeant différents contraintes environnementales, liées pour la plupart au sol et au sous-sol. Il peut s'appliquer en phase opérationnelle, à l'échelle d'un site dont la désimperméabilisation est envisagée mais aussi en amont dans le cadre d'une stratégie de désimperméabilisation. Les points d'attention sont rattachés aux capacités d'infiltration intrinsèque des sols et aux critères environnementaux. La Figure 3 complète le premier arbre de décision en y intégrant les caractéristiques des surfaces imperméables.

Si l'ensemble des critères indiqués sur la gauche du schéma sont validés alors la faisabilité est forte. A l'inverse, si l'un des trois premiers critères n'est pas validé, la désimperméabilisation des sols n'apparaît pas faisable. Le centre du schéma fait ressortir des points d'attention mineurs ou majeurs. Ils ne sont pas rédhibitoires à la désimperméabilisation, mais cela implique de réaliser des études complémentaires avant de désimperméabiliser.

Les critères d'exclusions sont :

- une forte pente, car l'eau y ruisselle systématiquement ;
- des sols naturellement très peu perméables, tels que des sols très argileux
- la présence de roches solubles, dont la dissolution est susceptible de générer des vides et de fait des instabilités géotechniques

Les points d'attention portent sur :

- la présence de contamination ou pollution des sols : la mise à nu des sols peut engendrer des risques sanitaires (par ingestion ou inhalation de poussière ou de sol) et des risques environnementaux sur les eaux (infiltration vers la nappe, ruissellement vers des eaux de surface) ou les écosystèmes (impacts sur la biodiversité).
- Des instabilités géotechniques peuvent être exacerbées par la désimperméabilisation (ex. liées à la présence de cavités souterraines, de pente à risque de glissement de terrain, d'argiles gonflantes dans les sols)

Selon les contextes et les informations disponibles, des études de terrain (géotechnique, perméabilité ou pollution du sol) pourront donc être nécessaires pour préciser la faisabilité ou les contraintes liées à l'opération de désimperméabilisation envisagée.

Avant de lancer une opération de désimperméabilisation, il est important de se poser les bonnes questions

- **Sur sa faisabilité, en lien avec des critères d'exclusion (forte pente, sols trop peu perméable (ex. argileux), présence de roches solutions) et des points d'attention liés à des contraintes environnementales telles que la présence de substances polluantes dans les sols**
- **Sur les techniques les plus adaptées selon les contraintes environnementales du site choisi et les objectifs recherchés.**

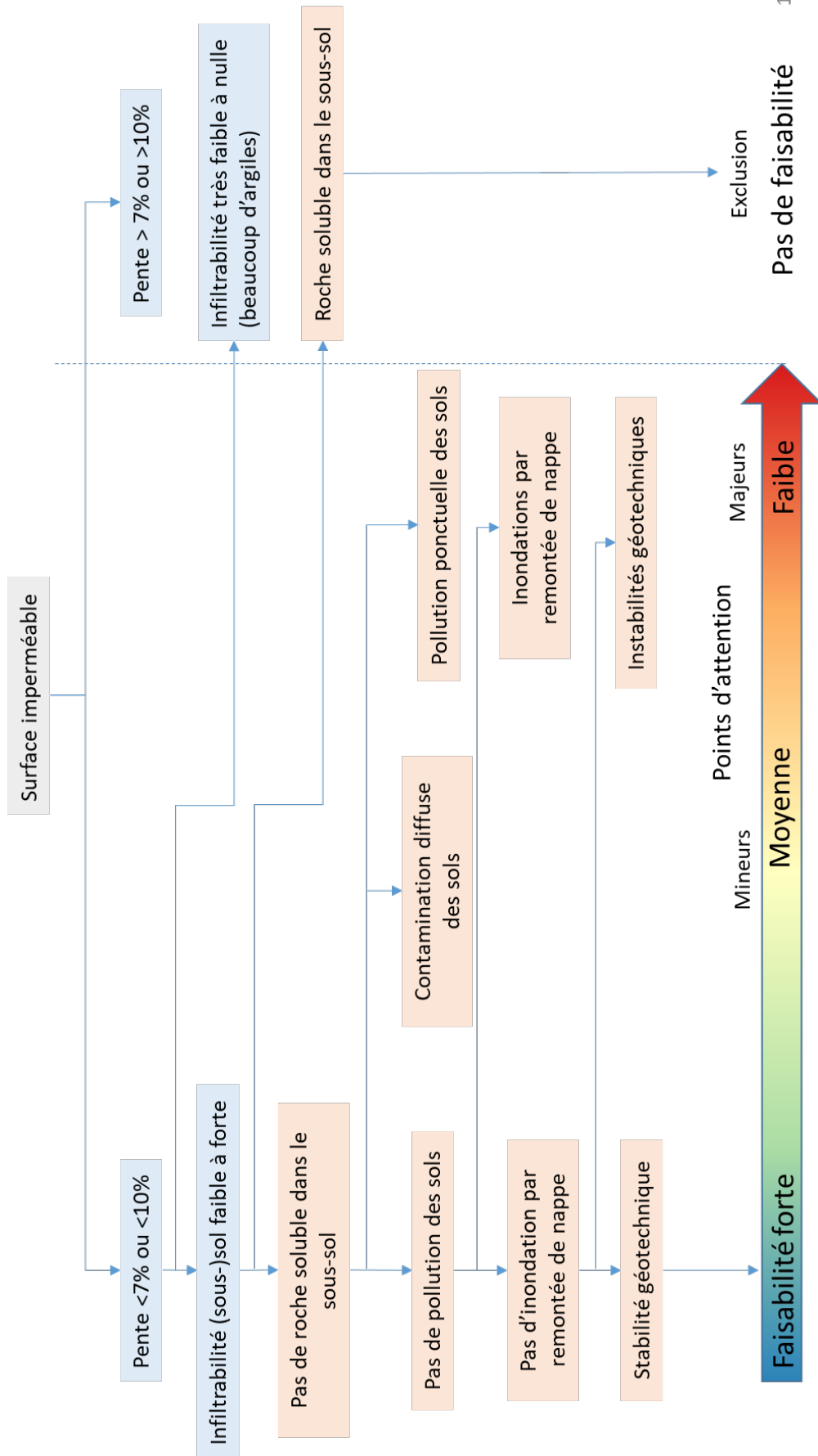


Figure 2 : Arbre de décision pour évaluer la faisabilité de la désimpermeabilisation, intégrant les propriétés d'infiltration de sols (en bleu) et les contraintes environnementales (en orangé)

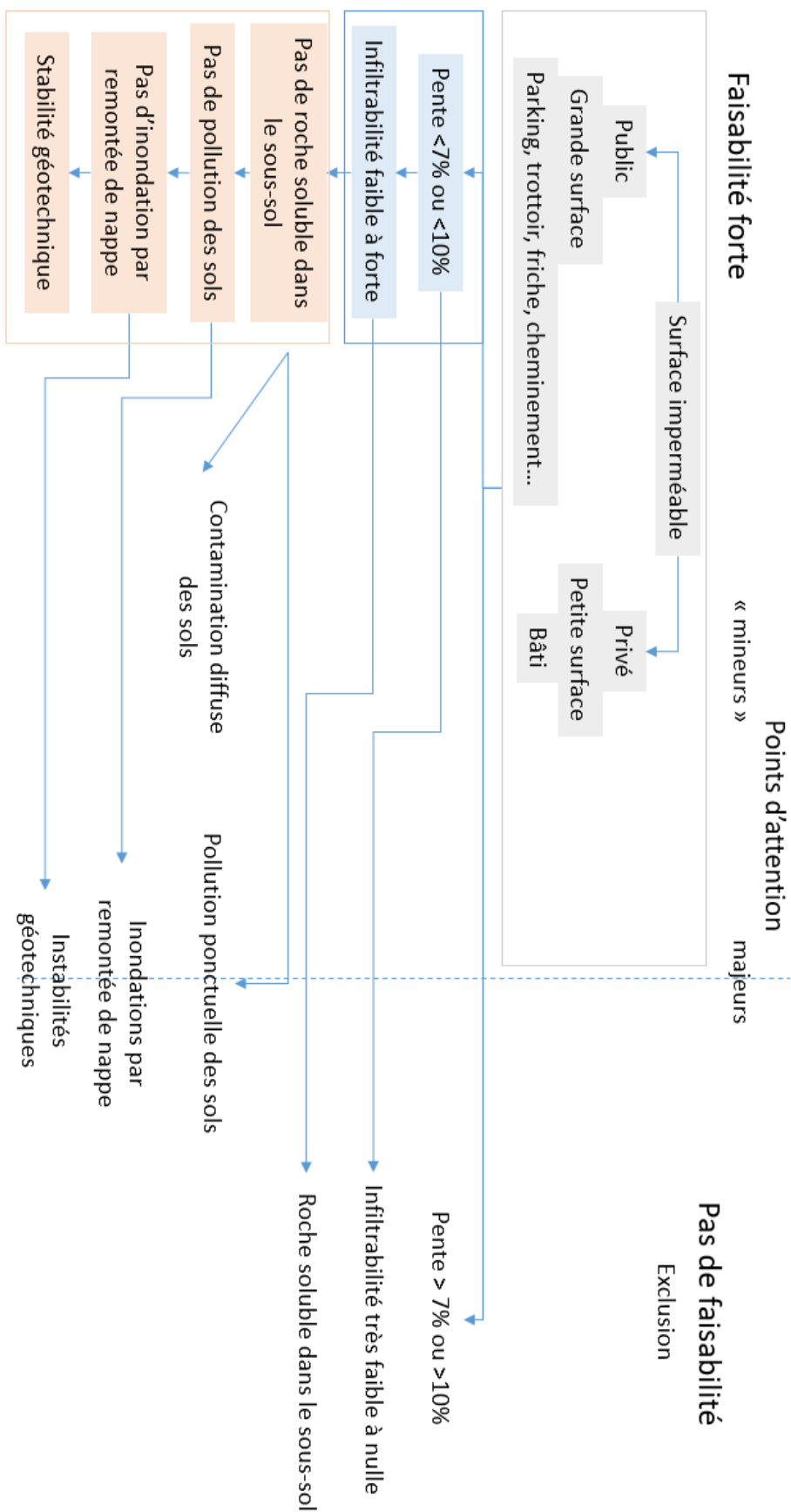


Figure 3 : Arbre de décision pour évaluer la faisabilité de la désimpermeabilisation, intégrant les propriétés d'infiltration des sols (en bleu), les contraintes environnementales (en orangé) et les caractéristiques des surfaces imperméables (en grisé)

3.2. Contraintes opérationnelles

Des contraintes opérationnelles sont également à considérer. Plus particulièrement, la présence de réseaux enterrés est souvent une contrainte lors de la mise en œuvre de solutions de désimperméabilisation. Lors du retrait de la couche imperméable et du décompactage des sols, des dégâts sur les réseaux enterrés peuvent se produire et engendrer des coupures d'eau ou d'électricité. Une bonne connaissance de l'encombrement du sol par des réseaux enterrés permet de guider le choix des zones à désimperméabiliser ou de mieux anticiper les contraintes. Dans tous les cas, une DT-DICT est nécessaire avant d'engager les travaux.

4. Solutions de désimperméabilisation

De nombreuses opérations de désimperméabilisation sont d'ores et déjà menées à l'échelle nationale. Les zones à désimperméabiliser sont le plus souvent choisies en fonction d'opportunités liées par exemple à des projets de réaménagement (ex. ZAC) ou à des cibles précises (ex. cours d'école), en lien avec des choix politiques voire des initiatives citoyennes. Elles peuvent être choisies également sur la base d'une analyse plus large du territoire et faire l'objet d'une stratégie territoriale (cf. rapport Désiville, guide méthodologique de cartographie du potentiel de désimperméabilisation des sols, Prézeau et al., 2024).

Il existe différentes solutions de désimperméabilisation. Des systèmes semi-perméables peuvent ainsi par exemple remplacer les revêtements imperméables. La mise en place de surfaces de pleine terre végétalisées est aussi possible. Ces solutions fondées sur la nature avec végétalisation présentent un intérêt dans le cadre de l'objectif zéro artificialisation nette (ZAN) car elles permettent de désartificialiser les sols. Désimperméabiliser nourrit plusieurs autres enjeux comme l'amélioration du cycle de l'eau, l'adaptation au changement climatique, la biodiversité ou le bien-être des habitants. Au-delà de rendre au sol sa capacité d'infiltration de l'eau, les solutions doivent être adaptées aux enjeux environnementaux et sociaux et prendre en compte les risques potentiels (ex. roches solubles, pollutions des sols...).

4.1. Solutions de désimperméabilisation disposant de fiches

Le Tableau 1 liste les solutions recensées disposant de fiches. Les solutions dites grises correspondent à des infrastructures mobilisant des matériaux manufacturés ou naturels peu ou pas végétalisés, dont le principal objectif est l'infiltration de l'eau. Les solutions fondées sur la nature correspondent à des solutions végétalisées, qui peuvent répondre à d'autres objectifs que l'infiltration de l'eau comme la lutte contre les îlots de chaleur urbains, la biodiversité ou les aménités.

Tableau 1 : Liste des solutions de désimperméabilisation grises et fondées sur la nature disposant de fiches descriptives

Infrastructures grises	Solutions fondées sur la nature
Enrobé poreux	Noues
Mélange Terre-Pierre	Jardins de pluie
Dalles alvéolées (plastique et béton)	Arbres de rue
Pavés à joints larges	Bandes enherbées
Résines drainantes	Micro-forêts urbaines
Tranchées de drainage	Prairies inondables
Puits d'infiltration	Marais et ripisylves
	Espaces verts

Le contenu des fiches descriptives de chaque solution est le suivant :

- Description générale
 - o Principe et variantes éventuelles
 - o Fonctionnement technique
- Réglementation de référence
- Modalités de mise en œuvre
 - o Echelle
 - o Etude préalable et design/conception
 - o Travaux/chantier
 - o Entretien
- Clefs d'aspect économique
 - o Ordre de grandeur de coût
- Réflexion sur les impacts
 - o Impacts positifs
 - o Impacts négatifs
 - o Analyse du cycle de vie
- Recommandations
- Retours d'expérience
- Référence

4.2. Comparaison des solutions grises entre elles

Les Figure 4 et 5 comparent la synthèse des notes relatives aux impacts positifs et négatifs ainsi qu'aux difficultés de mise en œuvre des solutions grises. Cette analyse est faite sur un ensemble de critères regroupés dans 9 familles : gestion de l'eau pluviale, multifonctionnalité des sols, mise en œuvre de la solution, pollution de l'eau et des sols, biodiversité, adaptation et atténuation climatique, aménités et aspects socio-économiques. Pour chaque critère, une note allant de -1 à 2 a été attribuée, -1 correspondant à un impact négatif ou une contraintes forte (mise en œuvre, accessibilité etc ...). et 2 à un bénéfice sur l'environnement (pollution, infiltration, biodiversité etc ...) ou une facilité de mise en œuvre. La note 1 est attribuée en cas de bénéfice indirect.

La famille de critères relatifs à la pollution de l'eau et des sols comprend les performances d'abattement des pollutions des eaux de ruissellement par la solution et le risque de relargage de polluants présents dans les sols, il est considéré à ce stade des connaissances que la majorité des solutions grises ne permet pas de traiter des eaux de ruissellement/d'infiltration polluées, et que leur implantation peut conduire à remobiliser des polluants présents dans les sols. Les puits d'infiltration présentent une performance moindre d'abattement des pollutions des eaux par rapport aux autres solutions grises.

Pour l'aménité, il a été difficile de donner une note sur le critère du confort thermique car cela dépend fortement de la mise en œuvre de la solution.

La localisation des solutions est un élément important également. Très souvent, dans les recommandations, il est préconisé de mettre en œuvre les solutions sur des parkings, des secteurs piétons ou des routes avec une faible circulation et fréquentées par des véhicules légers. La durée de vie des solutions dépend de la qualité de l'entretien. Certaines solutions nécessitent plus d'entretien que d'autres (ex. enrobé poreux).

Les solutions grises ne sont pas mobilisables pour chaque usage ou type d'infrastructure. Le Tableau 2 présente chaque solution selon l'usage possible. Les solutions comme le mélange terre-pierre, les alvéoles, les pavés joints larges enherbés et les résines drainantes, sont mobilisables principalement sur de petits espaces comme les cours d'écoles, des pieds d'arbres ou des parkings. Les trois autres solutions, enrobé poreux, tranchées de drainage et puits d'infiltration, sont mobilisables sur des espaces plus larges comme des routes, des rues ou des autoroutes.

	Pied d'arbres	Cours d'école	Zone piétonne	Square	Parking	Rue	Route	Autoroute	Grands espaces ex : plaines
Enrobé poreux									
Mélange Terre-Pierre									
Alvéoles (plastique et béton)									
Pavés à joints larges									
Résines drainantes									
Tranchées de drainage									
Puits d'infiltration									

Tableau 2 : Echelle de mise en œuvre des solutions grises de désimperméabilisation (en vert : échelle d'utilisation pertinente)

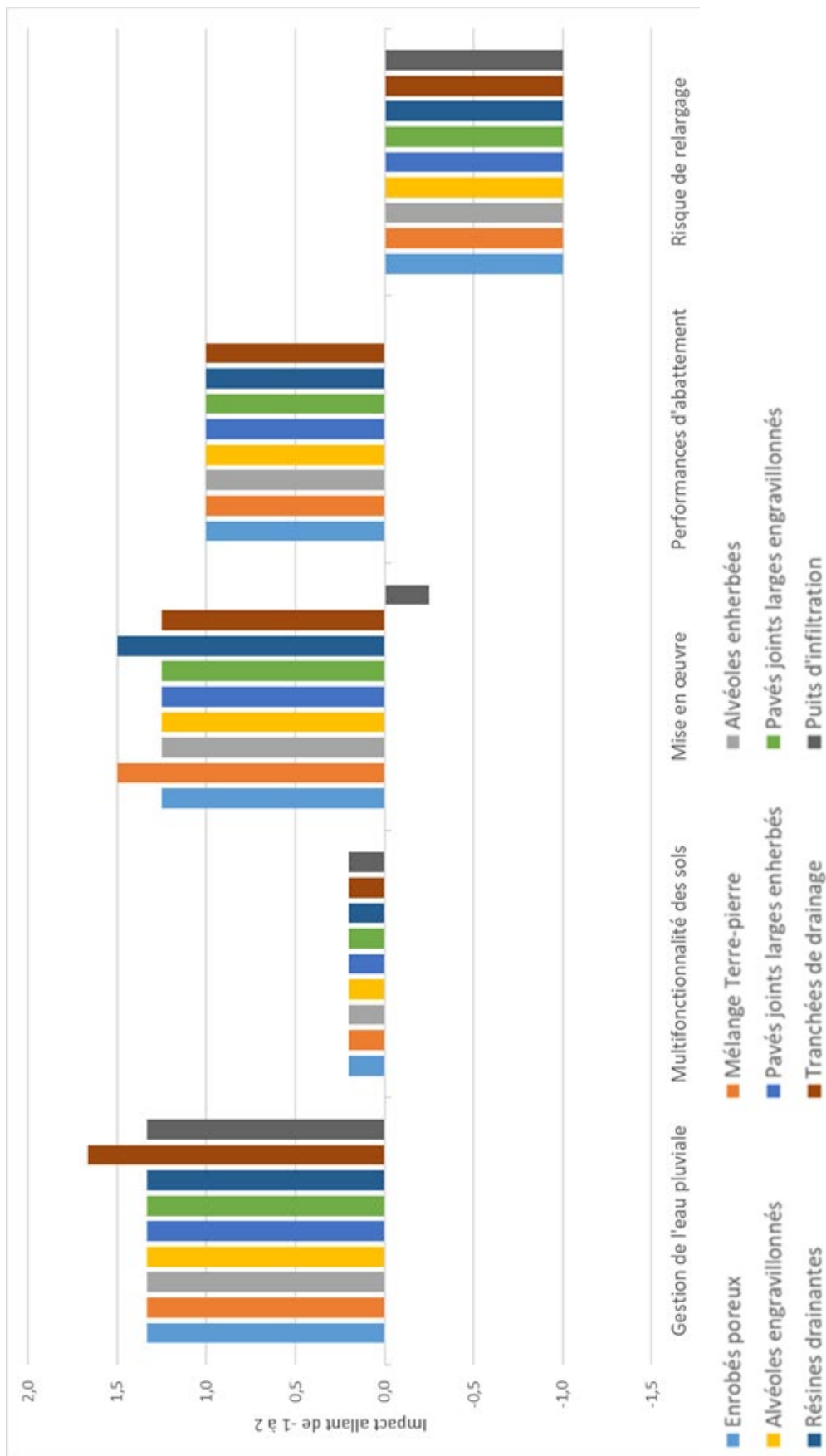


Figure 4 : Note de synthèse par famille de critères des impacts positifs et négatifs et des difficultés de mise en œuvre des différentes solutions grises de désimpermeabilisation recensées (moyenne des notes relatives par famille des impacts positifs directs (+2), indirects (+1), neutres (0) et des impacts négatifs (-1) renseignés)

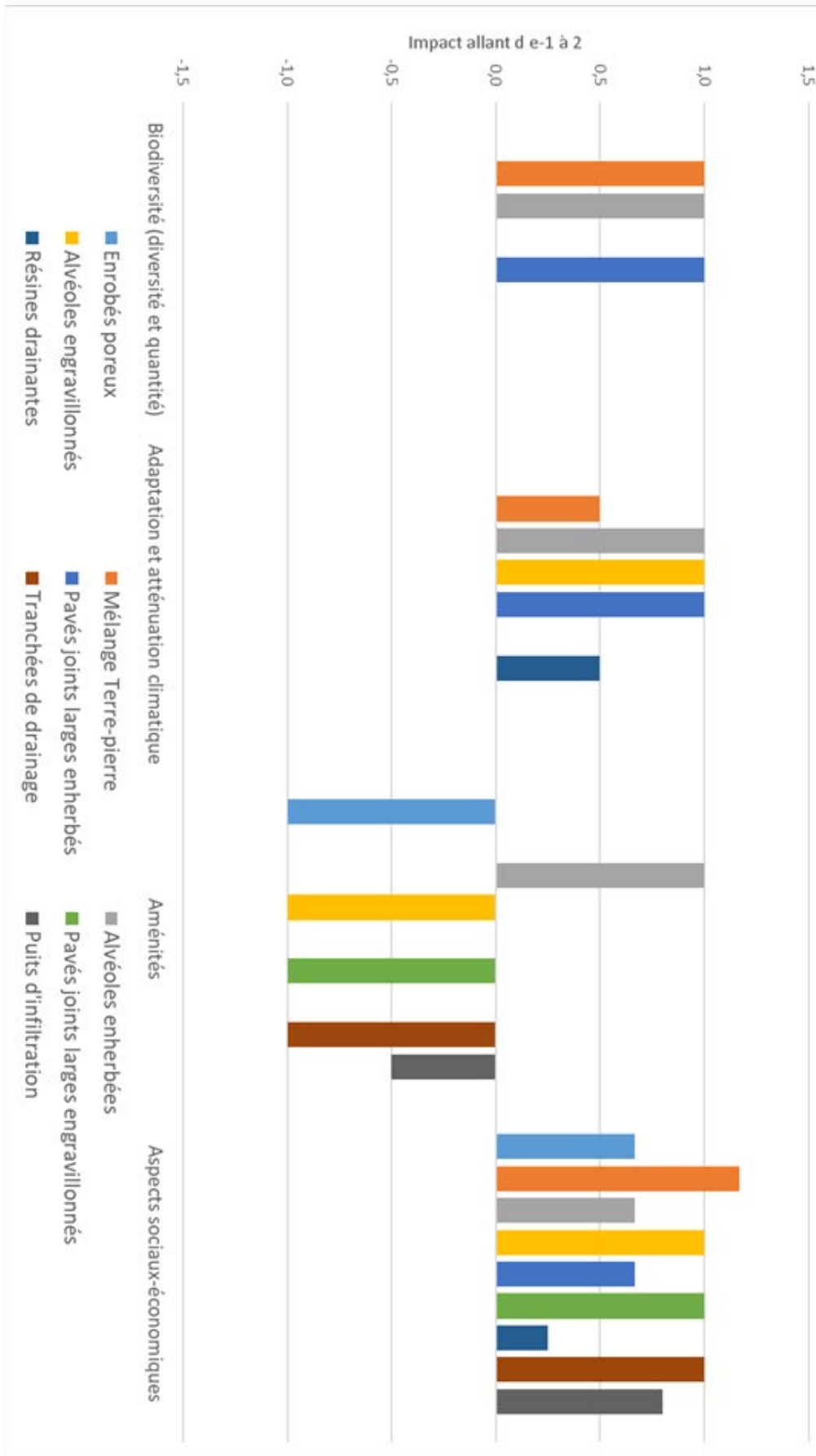


Figure 5 : Note de synthèse par famille de critères des impacts positifs et négatifs et des difficultés de mise en œuvre des différentes solutions grises de désimperméabilisation recensées (moyenne des notes relatives par famille des impacts positifs directs (+2), indirects (+1), neutres (0) et des impacts négatifs (-1) renseignés)

La Figure 6 présente les solutions grises selon l'ordre de grandeur de leurs coûts de mise en œuvre (incluant les matériaux). Le Mélange Terre-Pierre apparaît relativement moins cher que les autres solutions qui ressortent dans une gamme moyenne de prix. Notons par ailleurs que les prix des solutions peuvent varier selon le projet d'aménagement et le fournisseur des matériaux.

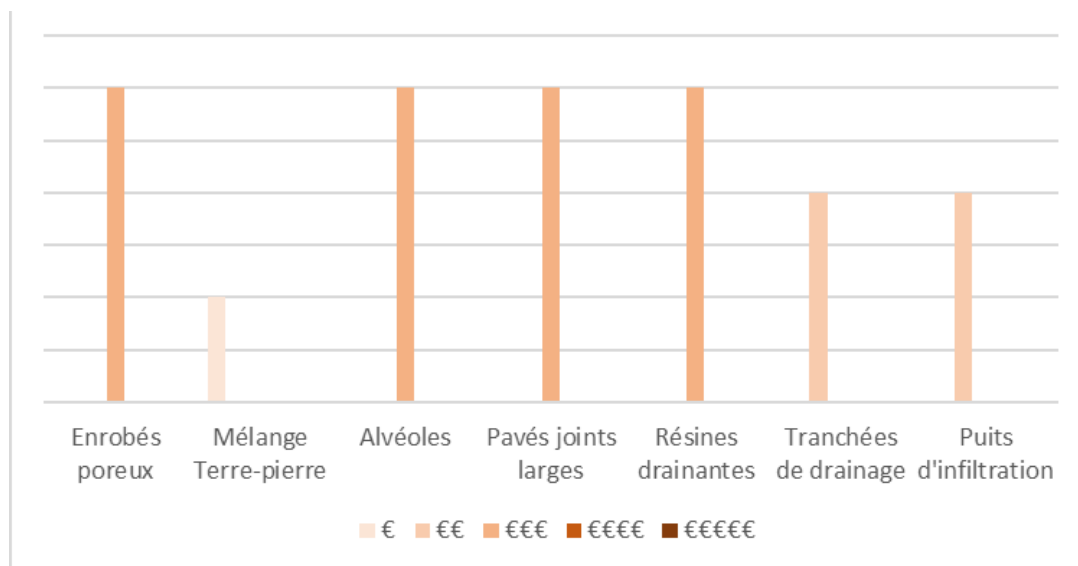


Figure 6 : Comparaison des ordres de grandeur relatifs des coûts de mise en œuvre des solutions grises de désimpermeabilisation

Le Tableau 3 présente les atouts et les contraintes (entretien, échelle de mise en œuvre, économique, etc ...) des solutions grises.

Solutions	Atouts	Contraintes
Enrobés poreux	Moins chers que les enrobés classiques. Meilleure visibilité / adhérence lors de temps pluvieux.	Doivent être implantés en zone de forte circulation. Il y a des normes à respecter. Le sablage n'est pas recommandé, le risque de verglas doit donc être étudié. Le risque de colmatage doit être pris en compte.
Mélange Terre-Pierre	Peut être combiné avec d'autres solutions.	Ne doit pas être implanté en zone de forte circulation. Un temps d'attente avant utilisation doit être respecté.
Alvéoles	Les alvéoles engazonnées sont bénéfiques pour le maintien de la biodiversité dans le sol. Les alvéoles version plastique ne sont pas sujettes au gel et dégel.	Les alvéoles ne doivent pas être implantées en zone de forte circulation et de véhicule lourds. Les alvéoles version béton sont sujettes aux gels et dégels.
Pavés joints larges	Version engazonnée : bénéfique pour le maintien de la biodiversité dans le sol Version graviers : infiltration immédiate ; entretiens rares	Version engazonnée : arrosage nécessaire ; tonte occasionnelle Version graviers : risque de poussière ; remplissage des joints tous les 10 ans
Résines drainantes	Antidérapantes. Bien adaptées pour les cours d'écoles ou les espaces PMR.	Risque de colmatage à prendre en compte.
Tranchées de drainage	Sans impact visuel pour les usagers de l'espace et utilisables en espace restreint.	Un colmatage par de l'argile est possible. Pas exploitable en zone de forte pente. Doit-être éloigné des espaces résidentielles
Puits d'infiltration	Gèrent très bien les fortes périodes de précipitations.	Pas utilisables dans une zone de nappe d'eau potable proche.

Tableau 3 : Atouts et contraintes des solutions grises de désimperméabilisation

4.3. Comparaison des solutions fondées sur la nature entre elles

Les Figure 7 et 8 présentent les différentes solutions fondées sur la nature avec leurs impacts positifs et négatifs. Comme pour les solutions grises, cette analyse est faite sur un ensemble de critères regroupés dans 9 familles : gestion de l'eau pluviale, multifonctionnalité des sols, difficulté de mise en œuvre, pollution de l'eau et des sols, biodiversité, adaptation et atténuation climatique, aménités et aspects socio-économiques. Pour chaque critère, une note allant de -1 à 2 a été attribuée, -1 indiquant un impact négatif ou des contraintes fortes et 2 un bénéfique sur l'environnement (pollution, infiltration, biodiversité etc ...) ou des contraintes faibles (mise en œuvre, accessibilité etc ...). La note 1 est attribuée en cas de bénéfique indirect.

A la différence des solutions grises, ces solutions présentent des impacts majoritairement bénéfiques sur la plupart des critères considérés. En effet, la multifonctionnalité des sols offre des bénéfices importants sur le cycle de l'eau, le cycle naturel de carbone et de nutriments. Sur le facteur aménité, les solutions fondées sur la nature se distinguent des solutions grises car elles offrent aux habitants un accès à la nature et créent de zones de fraîcheur.

Cependant, la pollution de l'eau et des sols mérite un point d'attention. Cette famille de critères comprend les performances d'abattement des pollutions des eaux de ruissellement par la solution et le risque de relargage de polluants présents dans les sols. Il est difficile de noter la performance d'abattement des pollutions des eaux de certaines solutions, qui dépendent de la mise en œuvre et de la localisation des solutions. De plus, le choix des végétaux joue également un rôle dans les transferts de polluants. Dans tous les cas, la prise en compte de pollution des sols doit être vérifiée au préalable pour éviter le transfert vers la nappe et/ou vers les végétaux.

Un autre point important est l'entretien des solutions. En effet, les solutions fondées sur la nature demandent généralement un entretien plus régulier et plus coûteux que les solutions grises. Elles nécessitent la mobilisation de personnel pour entretenir la végétation selon la méthode de gestion retenue.

	Pied d'arbres	Cours d'école	Zone piétonne	Square	Parking	Rue	Route	Autoroute	Grands espaces ex : plaines
Noues									
Jardins de pluie									
Arbres de rue									
Bandes végétales									
Micro-forêts urbaines									
Prairies inondables									
Marias et ripisylves									

Tableau 4 : Type d'usage envisageable selon les solutions de désimperméabilisation fondées sur la nature (en vert : échelle d'utilisation pertinente)

Le Tableau 4 présente les possibilités d'usage des solutions fondées sur la nature dans des projets d'aménagement. Elles sont mobilisables à des échelles assez réduites comme des cours d'écoles, des squares ou des parkings (noues, jardins de pluie, micro-forêts urbaines). D'autres solutions peuvent être mobilisées le long d'axes routiers comme les arbres de rue, les bandes enherbées. Les prairies inondables et les marais / ripisylves se distinguent des autres solutions, car elles sont mises en place dans des zones de grande taille comme le long de rivières ou dans des plaines. Elles seront privilégiées en dehors des zones urbaines qui ne peuvent accueillir de tels espaces.

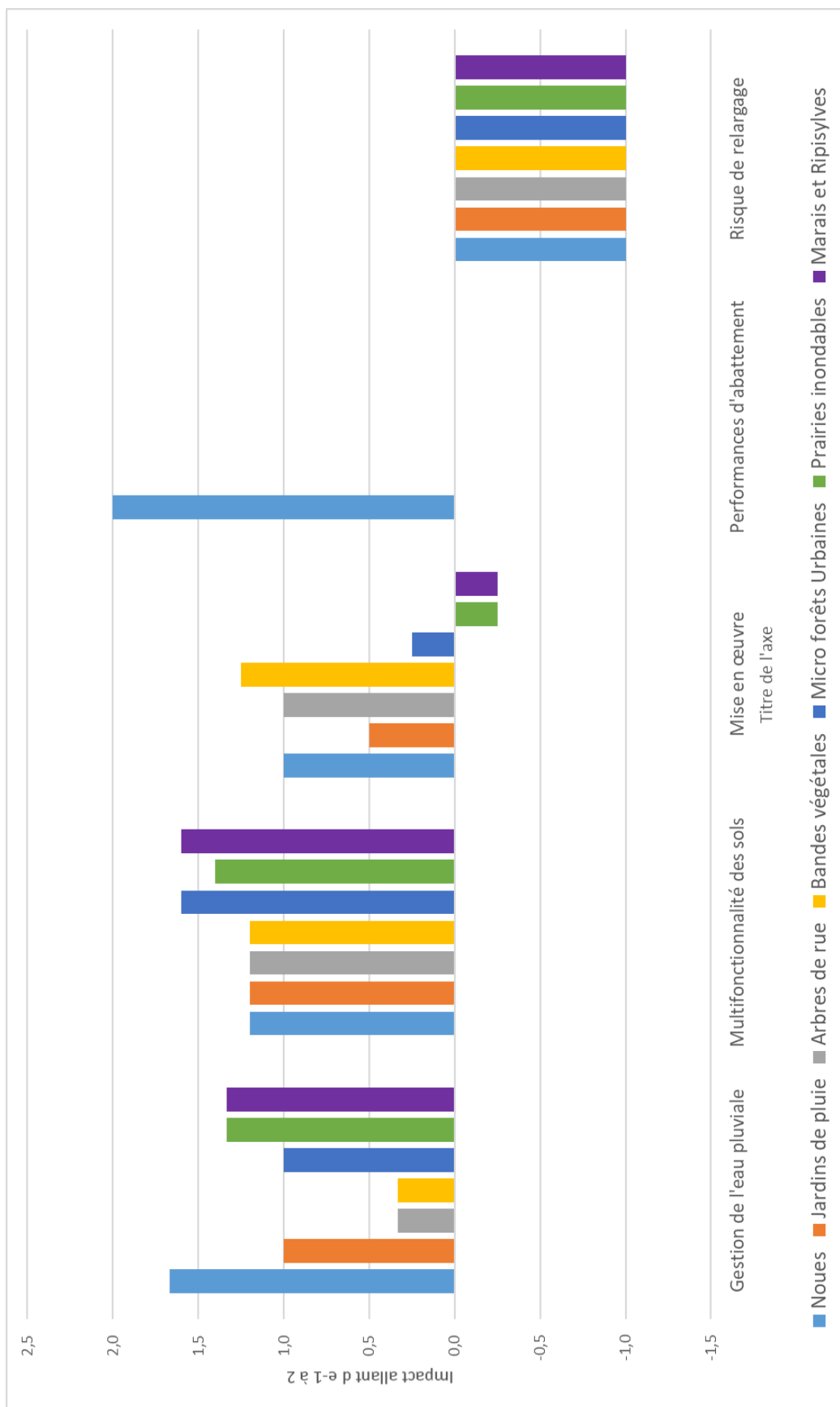


Figure 7 : Note de synthèse par famille de critère des impacts positifs et négatifs ou des contraintes de mise en œuvre des solutions de désimperméabilisation fondées sur la nature (moyenne des notes relatives par famille des impacts positifs directs (+2), indirects (+1), neutres (0) et des impacts négatifs (-1) renseignés)

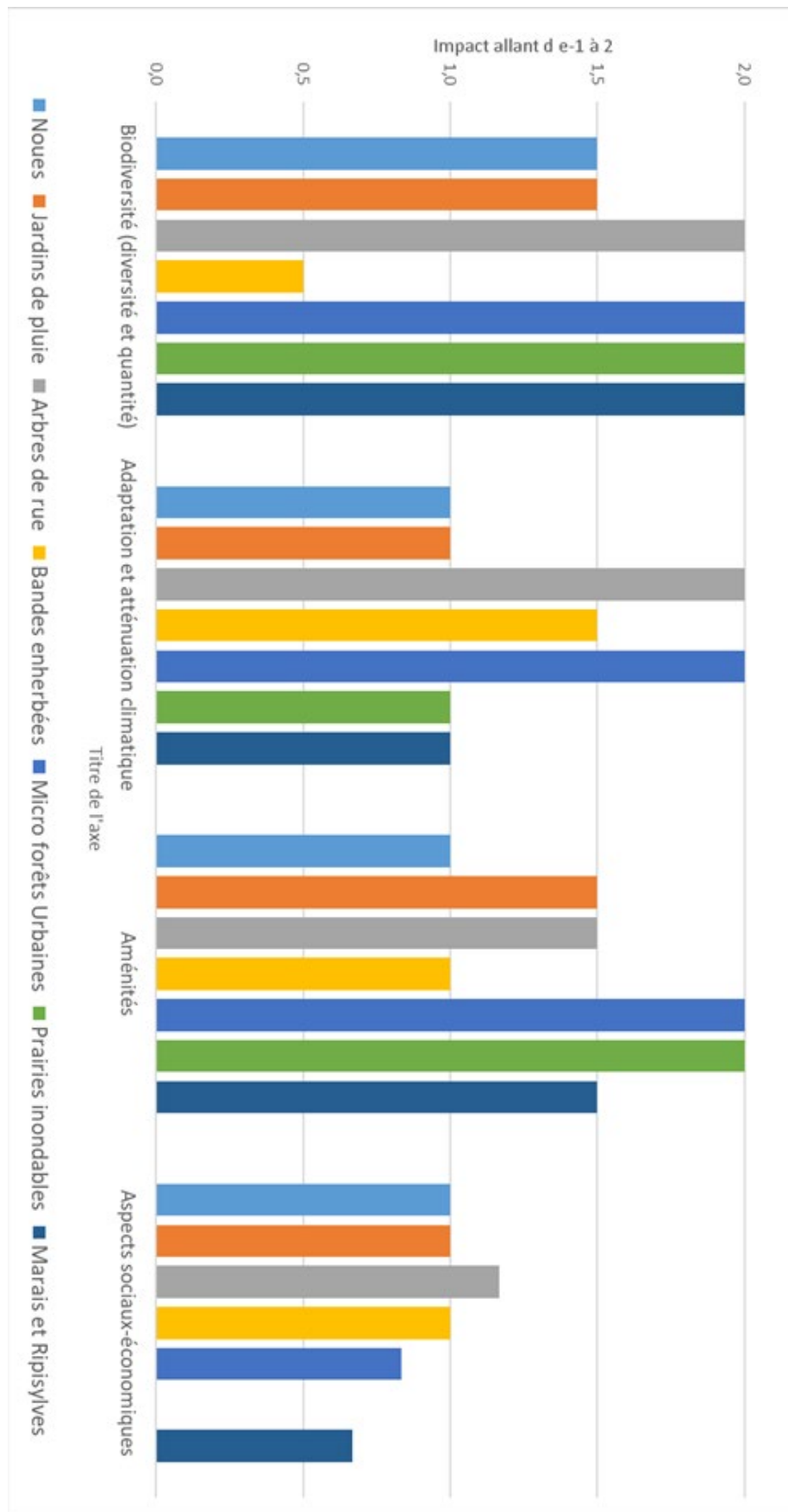


Figure 8 : Note de synthèse par famille de critère des impacts positifs et négatifs ou des contraintes de mise en œuvre des solutions de désimperméabilisation fondées sur la nature (moyenne des notes relatives par famille des impacts positifs directs (+2), indirects (+1), neutres (0) et des impacts négatifs (-1) renseignés)

La Figure 9 compare les coûts globaux de mise en œuvre des solutions fondées sur la nature. Les micro-forêts urbaines, les prairies inondables et les marais / ripisylves demandent une ressource financière assez importante. Comme pour les solutions grises, les prix des solutions varient selon le projet d'aménagement et le fournisseur des matériaux mais aussi végétaux.

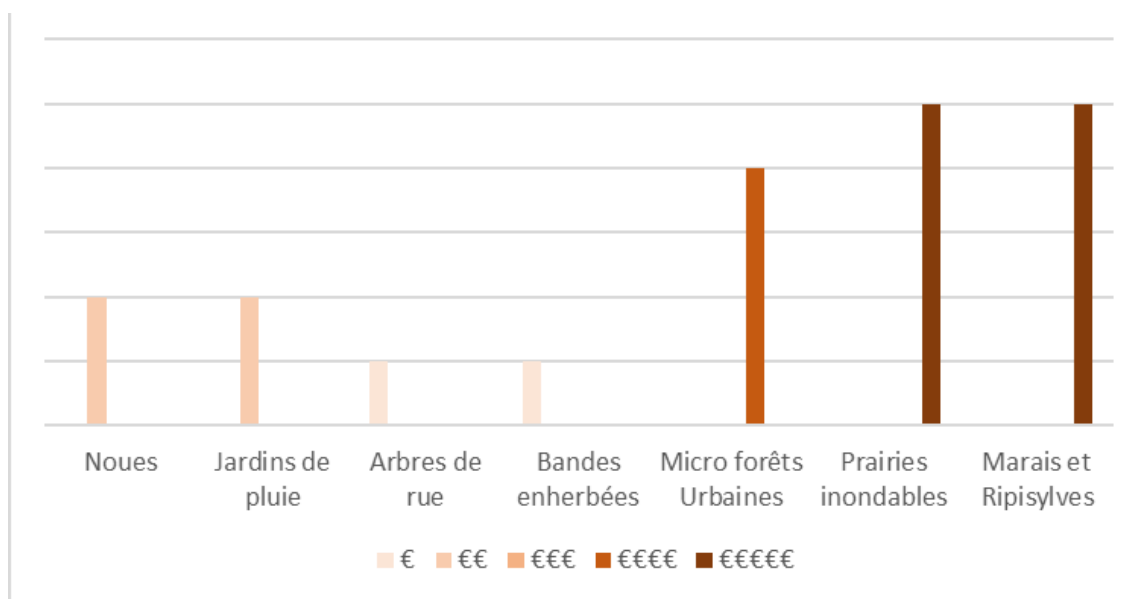


Figure 9 : Comparaison des ordres de grandeurs relatifs des coûts de mise en œuvre des solutions de désimperméabilisation fondées sur la nature

Le Tableau 5 présente les atouts et les contraintes (entretien, échelle de mise en œuvre, économique, etc ...) des solutions fondées sur la nature.

Solutions	Atouts	Contraintes
Noues	Permettent la filtration des polluants.	Entretien des déchets transportés par l'eau ou le vent pas facile à cause de la pente
Jardins de pluie	Infiltrant l'eau des bassins versants.	Non mobilisables si le sol est trop pollué
Arbres de rues	Favorisent l'évapotranspiration.	Sont soumis à réglementation pour la sélection des espèces d'arbres.
Bandes enherbées	Mobilisable à plusieurs échelles et usages	Entretien régulier
Micro-forêts urbaines	Stabilisent le sol dans des zones à forte pente	
Prairies inondables	Favorisent une biodiversité plus riche. Jouent le rôle de zone tampon lors de crue de rivières.	Sont gourmandes en espace. Nécessitent une restriction d'accès.
Marais et ripisylves	Favorisent une biodiversité plus riche. Jouent le rôle de zone tampon lors de crue de rivières. Réduisent l'érosion et ralentissent l'écoulement des eaux.	Sont gourmandes en espace. Nécessitent une restriction d'accès.

Tableau 5 : Atouts et contraintes des solutions de désimperméabilisation fondées sur la nature

4.4. Comparaison de l'ensemble des solutions

La comparaison globale de l'ensemble des solutions selon les différents critères d'appréciation retenus montre que le principal point fort des solutions grises est leur capacité à retenir l'eau, tandis que les solutions fondées sur la nature favorisent l'infiltration de l'eau. Les solutions fondées sur la nature sont plus bénéfiques en termes de multifonctionnalité des sols que les solutions grises. En plus de l'infiltration de l'eau, elles favorisent en effet le stockage de carbone, la biodiversité des sols et leur fertilité. Elles sont plus bénéfiques également en termes de biodiversité grâce à la végétalisation qui est favorable à la faune. La végétalisation est en outre source d'aménité en apportant aux habitants une source de fraîcheur et en accroissant l'accès à des espaces verts. Les solutions fondées sur la nature apparaissent ainsi plus attractives que les solutions grises. Néanmoins, elles demandent généralement plus d'entretien que les solutions grises. Ces dernières nécessitent néanmoins des opérations régulières de décolmatage.

Il subsiste dans cette analyse globale quelques éléments peu renseignés. Les remontées d'information issues des retours d'expériences devraient permettre à terme de combler ces manques.

Tableau 6 : Comparaison détaillée des différentes solutions de désimperméabilisation recensées

		Infrastructure Grises									Solutions fondées sur la Nature						
		Enrobés poreux	Mélange Terre-pierre	Dalles alvéolées enherbées	Dalles alvéolées Gravier	Pavés joints larges enherbés	Pavés joints larges engravillonnés	Résines drainantes	Tranchées de drainage	Puits d'infiltration	Noues	Jardins de pluie	Arbres de rue	Bandes végétales	Micro forêts Urbaines	Prairies inondables	Marais et Ripisylves
Gestion de l'eau pluviale	Infiltration	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2
	Rétention	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	0	0	1	2	2
	Transport du surplus	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	0	0	0	0	0	0
Multifonctionnalité des sols	Cycle de l'eau naturel (stockage et infiltration)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
	Cycle naturel du carbone (stockage, filtration, transformation)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2
	Cycle Nutriments (stockage, filtration, transformation)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
	Support de végétation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	1	1
	Biodiversité des sols	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2
Mise en œuvre	Echelle de fonctionnement	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	2	2	2
	Flexibilité	2	2	2	2	2	2	2	2	-1	2	1	2	2	0	-1	-1
	Contraintes de dimensionnement/mise en œuvre	1	1	1	1	1	1		2	0	1	1	2	2	-1	-1	-1
	Contraintes de fonctionnement/gestion																
Pollution de l'eau et des sols	Performances d'abattement	1	1	1	1	1	1	1	1	0	2	?	?	?	?	?	?
	Risque de relargage	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

Biodiversité (diversité et quantité)	Faune	0	1	1	0	1	0				1	1	2	0	2	2	2
	Flore	0	1	1	0	1	0				2	2	2	1	2	2	2
Adaptation et atténuation climatique	Mitigation ICU global	1	1	1	1	1	1		?	0	1	?	2	2	2	1	1
	Bilan carbone	-1	0	?	?	?	-1		?	?	?	1	2	1	2	1	1
Aménités	Confort thermique/Ombage -fraîcheur	?	0	?	?	?	?		?	0	?	1	2	1	2	2	1
	Accès espaces vert	-1	0	1	-1	0	-1	-1	-1	-1	1	2	1	1	2	2	2
Aspects Socio-économiques	Attractivité	0	1	2	1	2	1		0	0	2	3	3	2	3	3	3
	Cohésion sociale																
	Entretien	1	2	0	2	0	2	?	2	2	1	0	0	0	0	0	0
	Traitement des eaux																
	Durabilité	2	1	1	2	1	2	?	2	?	0	0	0	0	0	0	0
	Coût initial de mise en œuvre	0	2	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	0	-1	-1

-1 : Risques associés

0 : pas de lien

1 : co-bénéfices

2 : bénéfices

? : réponse non évidente, dépend de la solution mise en oeuvre

5. Recommandations

UNE APPROCHE AU CAS PAR CAS

Chaque projet est unique, et la combinaison de solutions permet souvent de mieux répondre à l'ensemble des enjeux.

DES POINTS DE VIGILANCE

Avant la mise en place de solutions de désimperméabilisation, il convient de vérifier un certain nombre de critères. Une étude préalable est donc indispensable. Elle inclut notamment le levé de doute sur la présence de pollution de sols ou d'autres contraintes (ex. roches solubles, remontées de nappe, cavités...), ainsi que la présence de réseaux enterrés.

6. Conclusion / Perspectives

Le catalogue de solutions de désimperméabilisation applicables en ville conçu dans le projet Désiville est un des outils proposé par le projet Désiville aux acteurs de la désimperméabilisation (techniciens, décideurs...) dans l'objectif de les aider à identifier les techniques les plus adaptées selon les contraintes environnementales des zones d'intervention et les bénéfices environnementaux et/ou sociaux recherchés (gestion de l'eau pluviale, lutte contre les îlots de chaleur urbains, renaturation, accroissement des aménités, de la biodiversité, valorisation des espaces urbains, etc. Ceux-ci peuvent être pré-identifiés à l'aide de la méthode proposée dans Désiville (voir guide méthodologique).

Cette version du catalogue est amenée à évoluer à partir des retours d'expérience. Dans ce cadre, un espace dédié est prévu sur le site internet de l'IRSTV pour déposer les exemples permettant d'étayer ou de faire évoluer ce document.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CDC Biodiversité et Humanité Biodiversité (2021). Biodiv'2050. Mise en œuvre de l'objectif de Zéro artificialisation nette à l'échelle des territoires. <https://www.humanite-biodiversite.fr/articles/72149-objectif-zero-artificialisation-nette-avec-cdc-biodiversite>
- Commission Européenne, (2012), Lignes directrices concernant les meilleures pratiques pour limiter, atténuer ou compenser l'imperméabilisation ou compenser, [HTTPS://DATA.EUROPA.EU/DOI/10.2779/79012](https://data.europa.eu/doi/10.2779/79012)
- Desrousseaux M., L Bissonais Y., Béchet B., Ruas A., Schmitt B. (2019), Sols artificialisés : Déterminants, impacts et leviers d'action, Editions Quae, 182P, (HAL-02373212)
- Fini A, Frangi P, Mori J, Donzelli D, Ferrini F. (2017) Nature based solutions to mitigate soil sealing in urban areas: Results from a 4-year study comparing permeable, porous, and impermeable pavements. *Environ Res*;156:443-454. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.032> .
- INSEE, (2023), Les nouveaux indicateurs de richesse – Indicateurs statistiques. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/7728885?sommaire=7728903#:~:text=54%20919%2C3-,Occupation%20des%20sols%20en%202019%2D2021%20%2D%20Lecture%20%3A%20En%20moyenne,%2C1%20%25%20du%20territoire%20m%3A%20tropolitain.&text=54%20919%2C3-,Lecture%20%3A%20En%20moyenne%20sur%202019%2D2020%2D2021%2C%20les,%2C1%20%25%20du%20territoire%20m%3A%20tropolitain.>
- Loi climat et résilience (2021). Chapitre III : Lutter contre l'artificialisation des sols en adaptant les règles d'urbanisme (Articles 191 à 226). <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000043956924>

- Limasset E., Merly C., Bâlon P., Desrousseaux M., Quadu F., Hucq A., Born C.H., Malherbe A., Baptist F. 2021. Projet SOILval - Quelle prise en compte de la valeur des sols dans la planification et l'aménagement du territoire en France et en Wallonie ? Pour une meilleure reconnaissance de la qualité des sols en contexte de mise en œuvre des objectifs européens de zéro artificialisation nette - Analyse juridique et état de l'art (WP2) - 111 pages.
- F. Prézeau, C. Bruhat, T. Leduc, M. Musy, B. Clozel, A. Rodler. C. Le Guern, 2024. DésiVille : où et comment désimperméabiliser les sols ? Evaluation du potentiel de désimperméabilisation et catalogue de solutions applicables en Ville. Rapport final, Convention Ademe 21DAD0029
- Rhee J., Park S. et Lu Z. (2014). Relationship between land cover patterns and surface temperature in urban areas, *GIScience & Remote Sensing*, 51:5, 521-536, <https://doi.org/10.1080/15481603.2014.964455>
- Roy A. H. et Shuster W. D. (2009). Assessing Impervious Surface Connectivity and Applications for Watershed Management1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 45(1), 198–209. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2008.00271.x>
- Scalenghe R. et Ajmone-Marsan F. (2009). The anthropogenic sealing of soils in urban areas. *Landscape and Urban Planning* 90. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.10.011>.
- Stempihar J. J., Pourshams-Manzouri T., Kaloush K. E., & Rodezno M. C. (2012). Porous Asphalt Pavement Temperature Effects for Urban Heat Island Analysis. *Transportation Research Record*, 2293(1), 123-130. <https://doi.org/10.3141/2293-15>
- Tobias S., Conen F., Duss A., Wenzel LM., Buser C. et Alewell C. (2018). Soil sealing and unsealing: State of the art and examples. *Land Degrad Dev*. <https://doi.org/10.1002/ldr.2919>

INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

TABLEAUX

Tableau 1 : Liste des solutions grises et fondées sur la nature disposant de fiches descriptives	13
Tableau 2 : Echelle de mise en œuvre des solutions grises (en vert : échelle d'utilisation pertinente)	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 3 : Atouts et contraintes des solutions grises.....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 4 : Type d'usage envisageable selon les solutions fondées sur la nature (en vert : échelle d'utilisation pertinente)	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 5 : Atouts et contraintes des solutions fondées sur la nature.....	Erreur ! Signet non défini.

FIGURES

Figure 1 : Etapes d'une opération de désimperméabilisation (adapté de CDC Biodiversité et Humanité Biodiversité 2021 et Quadru et al., 2021)	8
Figure 2 : Arbre de décision afin de faciliter la décision de la désimperméabilisation	10
Figure 3 : Arbre de décision avec les caractéristiques des surfaces imperméables	11
Figure 4 : Note de synthèse par famille de critères des impacts positifs et négatifs et des difficultés de mise en œuvre des différentes solutions grises recensées	16
Figure 5 : Comparaison des ordres de grandeur des coûts de mise en œuvre des solutions grises.....	17
Figure 6 : Note de synthèse par famille de critère des impacts positifs et négatifs ou des contraintes de mise en œuvre des solutions fondées sur la nature.....	21
Figure 7 : Comparaison des ordre de grandeurs des coûts de mise en œuvre des solutions fondées sur la nature	22

SIGLES ET ACRONYMES

AAU	Architectures ambiances urbanités
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
AFPIA	Association pour la Formation Professionnelle dans les Industries de l'Ameublement
BRGM	Bureau de recherches géologiques et minières
DT-DICT	Déclaration de travaux à proximité de réseaux
ICU	Îlots de chaleurs urbains
INSEE	Institut national de la statistique et des études économiques
IRSTV	Institut de recherche en sciences et techniques de la ville
SIG	Système d'information géographique
ZAC	Zone d'aménagement concerté
ZAN	Zéro artificialisation nette

ANNEXES : FICHES DE SYNTHÈSE PAR SOLUTION

Solutions grises

DALLES ALVÉOLÉES (Béton)	29
DALLES ALVÉOLÉES (Plastique)	39
ENROBÉ DRAINANT	49
MELANGE TERRE-PIERRE	59
PAVES À JOINTS LARGES	67
PUITS D'INFILTRATION	75
RÉSINE DRAINANTE	83
TRANCHÉES DE DRAINAGE	89

Solutions fondées sur la Nature

ARBRES DE RUE	97
BANDES ENHERBÉES	107
JARDINS DE PLUIE	113
MARAIS ET RIPISYLVES	123
MICRO-FORETS URBAINES	133
NOUES	141
PRAIRIES INONDABLES	154
ESPACES VERTS	161

DALLES ALVÉOLÉES

(Béton)

1. DESCRIPTION GÉNÉRALE

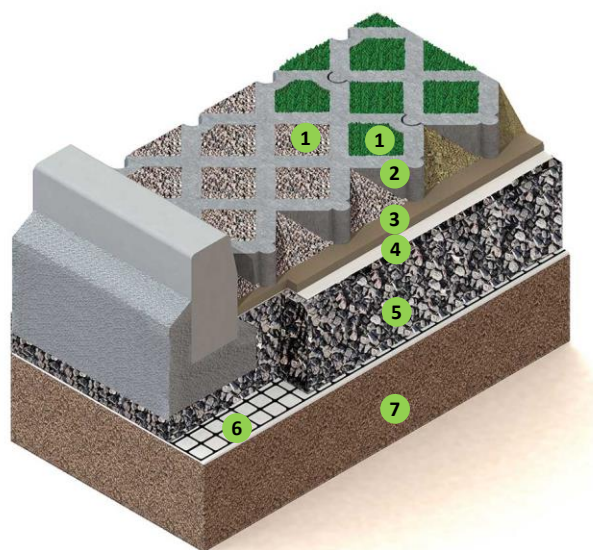
Les pavés alvéolés béton sont constitués de pavés en béton modulaires avec des espaces de 20 à 50 % entre les pavés qui peuvent être enherbés ou engravillonnés. D'aspect décoratif, ces solutions sont très utilisées dans les villes pour faire des parkings et des zones piétonnes grâce à leur capacité d'infiltrer l'eau pluviale en évitant l'écoulement superficiel, ce qui en fait une bonne solution pour les endroits à risque d'inondation.



1.1. FONCTIONNEMENT TECHNIQUE

Pendant les épisodes pluvieux, l'eau s'infiltré dans les alvéoles et au travers du substrat, qu'il soit gravillonnaire ou bien enherbé. En cas d'enherbement, une partie de l'eau sera absorbée par les plantes et la terre aussi. Le lit de pose situé dessous est conçu pour recevoir et maintenir les alvéoles. Il sera dimensionné en fonction de l'usage et de la circulation. La sous-base, en plus d'avoir un rôle de soutien comme fondation, a aussi comme fonction de stocker l'eau. Sa composition doit être choisie par rapport aux caractéristiques du projet. En cas de risque d'écoulement d'eaux polluées, il est possible d'installer un géotextile perméable. Pour les sols peu perméables, un drain peut s'avérer nécessaire.

Schéma



- 1 – Terre enherbée ou gravier
- 2 – Pavés Alvéolés Béton
- 3 – Lit de pose
- 4 – Couche de filtration géotextile
- 5 – Sous-fondation technique à drainage libre
- 6 – Couche de séparation géotextile / géogrille
- 7 – Sol

Figure 1 : Fonctionnement technique illustré par un schéma [7]

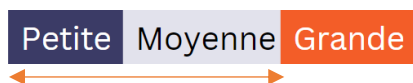
2. RÉGLEMENTATION DE RÉFÉRENCE

Caractéristique	Réglementation de référence
Spécifications et méthodes d'essai des dalles en béton	NF EN 1339

Table 1 : Réglementation de référence pour la mise en œuvre des pavés alvéolés en béton.

3. MODALITÉS DE MISE EN ŒUVRE

3.1. ECHELLE



Les dalles peuvent être implémentées à différentes échelles et sont utilisées généralement dans [12 ; 14] :

- Les zones piétonnes ;
- Les zones à faible circulation automobile ;
- Sur les itinéraires des tramways.

3.2. ETUDE PREALABLE ET CONCEPTION

3.2.1. TYPES DE REMPLISSAGE

Type	Description	Avantages	Inconvénients
Terre enherbée	Terre dans les espaces libres des alvéoles recouverte d'herbe basse plantée.	<ul style="list-style-type: none"> • Rétention d'eau • Préservation de la biodiversité du sol • Confort visuel 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessité d'attendre que le sol et les plantes se stabilisent avant de commencer à utiliser • Sensibilité de l'herbe au roulement • Entretien fréquent nécessaire
Graviers	Fragments de roche de petite taille	<ul style="list-style-type: none"> • L'eau s'infiltre immédiatement • Supporte plus de poids et une circulation plus intense que la terre enherbée • Utilisation immédiate • Entretien rares 	<ul style="list-style-type: none"> • Visuel non naturel • Risque de soulever de la poussière

Table 2 : Différents types de remplissage pour les alvéoles.

3.2.2. CARACTERISTIQUES

Perméabilité

Dépend de la perméabilité du matériau dans les alvéoles ;

Si le sol a un coefficient de perméabilité $K < 10^{-6}$ m/s, un drain doit être ajouté [10];

L'épaisseur de chaque couche varie en fonction de la quantité d'eau à gérer [5].

Résistance

En général, l'utilisation de pavage alvéolés en béton n'est pas recommandée dans **les zones de circulation de véhicules lourds** et où la **vitesse maximale dépasse 90 km/h** [6]. Il faut vérifier les caractéristiques du revêtement et des fondations ;

Ils sont sensibles au gel et au dégel [7].

Les plantes

Elles doivent **être résistantes** aux périodes de **sécheresse** et à la **circulation des pneus ou des piétons**.

Il est recommandé **d'éviter l'utilisation de sel** pendant l'hiver afin de ne pas endommager les gazons.

Polluants

Installer une couche de géotextile si l'eau de ruissellement superficiel est polluée [6]

3.3. TRAVAUX

3.3.1. MATERIAUX

- Pavés alvéolés béton ;
- Sable ;
- Matériaux de remplissage (terre enherbée ou graviers grossier) ;
- Graves non traitées de différentes granulométries, ballasts, dépourvus de particules fines ;
- Drain¹ ;
- Géotextile.

¹ Si le sol a un coefficient de perméabilité $K < 10^{-6}$ m/s

3.3.2. MISE EN ŒUVRE

Lors de travaux impliquant l'infiltration d'eaux de pluie dans les sols, une étude géotechnique doit être menée afin de déterminer la possibilité et la quantité de l'infiltration. On surveillera particulièrement plusieurs aspects :

- Si la nature du sol permet l'infiltration (sols gypseux ou karstiques sensibles...),
- Si les sols ne présentent pas des taux trop élevés de pollutions,
- La profondeur de la nappe doit être supérieure à 1 mètre,
- La perméabilité des sols,

Si le remplissage est fait avec des graviers, il est recommandé de faire vibrer la surface pendant la mise en œuvre pour mieux répartir le matériau meuble dans les alvéoles des pavés [16].

3.4. ENTRETIEN

3.4.1. MODALITES

Les principales maintenances	Lieu d'application	Description	Fréquence
Décolmatage	Pavés alvéolés béton remplis par des graviers	Faire un lavage pressurisé et/ou une aspiration	Entre une et quatre fois par an
Nettoyage	Tous les types de pavés alvéolés béton	Enlever les déchets pour éviter la colmatage (typiquement feuilles mortes)	Annuelle à l'automne, occasionnelle
Recharge en gravier	Pavés alvéolés béton remplis par des graviers [3]	Reconstituer les graviers perdus au fil du temps	Annuelle
Entretien de type espaces verts	Pavés alvéolés béton enherbés	Arrosage et replantation Pas nécessité de tonte	Similaire aux espaces verts locaux. Arrosage d'été, replantation 5-10 ans

Tableau 3 : Les types d'entretien

3.4.2. DURÉE DE VIE

25 à 30 ans. La durée de vie est affectée par l'intensité de l'usage [3]. Concernant le pavé qui peut être utilisé en remplissage des pavages, la durée de vie est influencée aussi par la taille des pores du béton. Plus la taille des pores est grande, plus la possibilité d'oxydation est grande, et, par conséquent, plus la durée de vie est courte [2].

3.4.3. ACTEURS

Conception	Bureau d'étude spécialisé
Entretien	Services municipaux
	Prestataires de services

Tableau 4 : Les acteurs du projet

4. ASPECTS ÉCONOMIQUES



Les éléments de coût sont donnés à titre indicatif. En outre, des variations locales sont possibles.

Opération	Investissement (incluant pose)
Travaux de préparation du sol	5 à 10 €/m ² [9]
Pavés alvéolés béton	35 à 120 €/m ² [4]
Terre enherbée	60 €/m ³
Graviers	150 à 300 €/T [13]
Remplissage des pavés	85 à 90 €/m ²

Tableau 5 : Aspect économique du projet

5. IMPACTS

IMPACTS POSITIFS ET NEGATIFS		Alvéoles enherbées	Alvéoles gravier
Gestion de l'eau pluviale	Infiltration	1	1
	Rétention	2	2
	Transport du surplus	1	1
Multifonctionnalité des sols	Cycle de l'eau naturel (stockage et infiltration)	1	1
	Cycle naturel du carbone (stockage, filtration, transformation)	0	0
	Cycle des nutriments (stockage, filtration, transformation)	0	0
	Support de végétation	0	0
	Biodiversité des sols	0	0
Mise en œuvre	Echelle de fonctionnement	1	1
	Flexibilité	2	2
	Contraintes de dimensionnement/mise en œuvre	1	1
	Contraintes de fonctionnement/gestion		
Pollution de l'eau et des sols	Performances d'abattement	1	1
	Risque de relargage en cas de pollution des sols sous-jacents	-1	-1
Biodiversité (diversité et quantité)	Faune	1	0
	Flore	1	0
Adaptation et atténuation climatique	Mitigation globale des ilots de chaleur urbains	1	1
	Bilan carbone	?	?
Aménités	Confort thermique/Ombre-fraîcheur	?	?
	Accès espaces verts	1	-1
Aspects sociaux-économiques	Attractivité	2	1
	Cohésion sociale		
	Entretien	0	2
	Traitement des eaux		
	Durabilité	1	2
	Coût initial de mise en œuvre		

Tableau 6 : Les impacts positifs et négatifs de l'implantation de pavés alvéolés béton

-1 : Risques associés
0 : Pas de lien
1 : Co-bénéfices
2 : Bénéfices
? : Réponse non évidente, dépend de la solution mise en œuvre
Vide : non renseigné

PAVAGES EN ALVÉOLES BÉTON

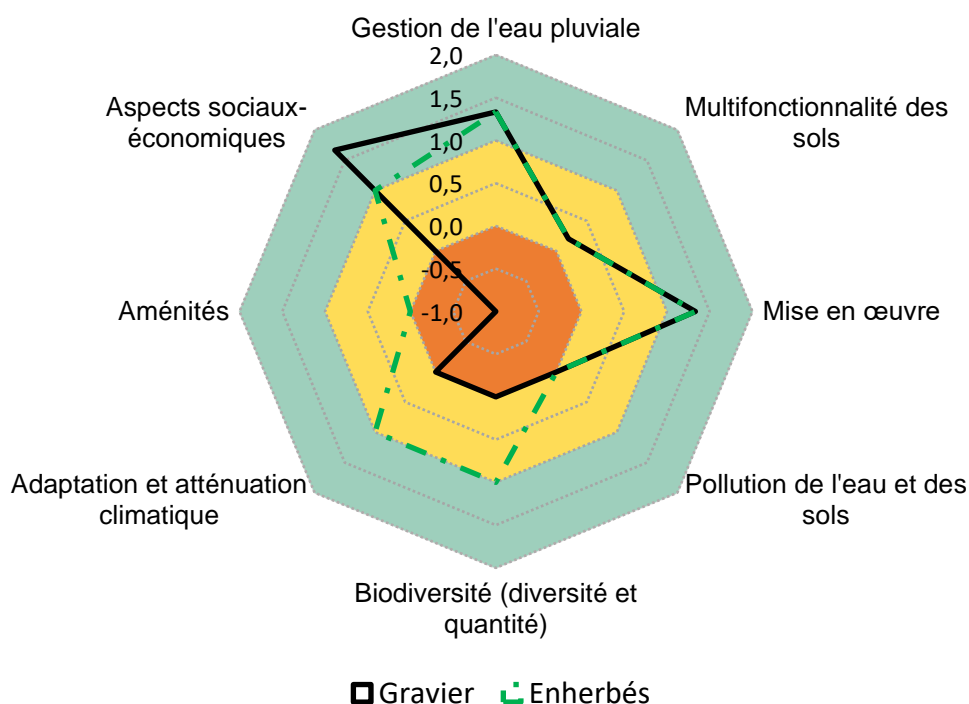


Figure 2 : Impacts positifs et négatifs des pavés alvéolés béton

6. ANALYSE DU CYCLE DE VIE

6.1. ECOCONCEPTION

La fabrication du béton consomme une grande quantité d'énergie et, pour compenser, certains fabricants des pavés alvéolés utilisent les bétons bas-carbone et recyclables [1]. Il est également possible d'utiliser des dalles alvéolées PEHD-PP (décrites plus précisément dans la fiche technique des dalles alvéolées) [14].

Les graviers sont des matières premières non renouvelables, mais ils peuvent être remplacés par du gravier roulé provenant d'une filière de recyclage.

6.2. MATERIAUX : FILIERES DE VALORISATION EXISTANTES

Matériaux	Valorisation
Béton	Recyclage
Graviers	Nettoyage puis réutilisation ou utilisation dans le processus de fabrication d'autres matériaux [15].
Drain	Si propre : recyclé par décyclage ; Couramment valorisé thermiquement [15].
Géotextile	Peut être recyclé par décyclage et/ou valorisé thermiquement [15].
Terre enherbée	Gestion en centre de dépollution

Tableau 7 : Filière de valorisation des pavés alvéolés béton

7. RECOMMANDATIONS

Lorsque la solution engazonnée est exposée aux mouvements des voitures, elle nécessite, après son installation, une période de stabilisation préalable avant toute utilisation. Cette précaution est essentielle pour éviter le colmatage et protéger le système en place [10]. Pour les parkings, il est conseillé de prévoir une zone dédiée aux manœuvres des véhicules afin de prévenir tout dommage aux pavés alvéolés.

Il convient de noter que l'utilisation de cette solution n'est pas recommandée dans les pays caractérisés par de longues périodes de sécheresse et de chaleur. En effet, dans de telles conditions climatiques, les plantes qui composent le gazon sont susceptibles de mourir et, pendant de fortes pluies, le sol non protégé peut être érodé, ce qui met en danger la stabilité globale de la surface [11].

RÉFÉRENCES

- [1] ADAPTAVILLE, 2022. Installer des revêtements alvéolaires pour infiltrer les eaux pluviales dans les parkings. *Adaptaville : des solutions pour s'adapter au changement climatique* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.adaptaville.fr/installer-des-revetements-alveolaires>
- [2] ADMUTE, A. M. et al., 2007. Permeable pavements : new technique for construction of road pavements in india. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 4(4), 5. ISSN 2395-0072.
- [3] CLAUS, Isabel, LEDEZ-LEGENDRE ARCHITECTURE & ; URBANISME et BIOTOPE, 2022. *Document de gestion des sites classés de la Vallée de l'Ysieux, Thève amont et de la Butte de Châtenay-en-France* [en ligne]. DRIEAT. Rapport Diagnostic-Enjeux. Disponible sur : <https://www.drieat.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/diagnostic.pdf>
- [4] BUILDIT, 2021. Allée en dalles à engazonner : infos, conseils et prix indicatifs. *Sol-exterieur.be* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.sol-exterieur.be/materiaux/dalles-a-engazonner#:~:text=Il%20faut%20compter%20environ%20,m%20TVA%20et%20pose%20comprises>
- [5] CIRIMINNA, Diego et al., 2022 Numerical comparison of the hydrological response of different permeable pavements in urban area. *Sustainability* [en ligne]. 14(9), 14. Disponible sur : doi:10.3390/su14095704

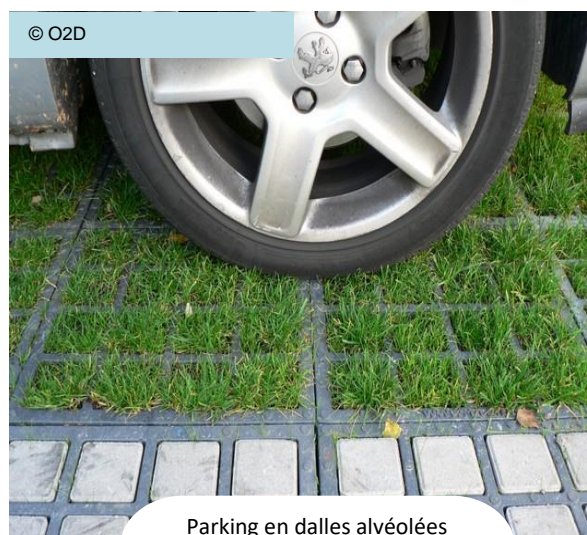
- [6] GRASPOINTNER. nd, Pavés alvéolés à haute résistance. *Hydro Trench Drains* | BG-Graspointner [en ligne]. Disponible sur : <https://hydrotrenchdrains.com/fr/paves-alveoles-citygrid/>
- [7] ECOVEGETAL, 2023. Les solutions béton ecovegetal roc. *ECOVEGETAL* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.ecovegetal.com/parking/ecovegetal-roc-villaroc/>
- [8] TAVERNIER, Robert, 2023. Combien coûte une dalle de parking ? *HelloPro* [en ligne]. Disponible sur : <https://conseils.hellopro.fr/combien-coute-une-dalle-de-parking-1224.html#:~:text=Une%20dalle%20gazon%20offre%20une,20%20à%2025%20euros/m%202Tech%20Spec%208%20.pdf>
- [9] Interlocking Concrete Pavement Institute, 1999. Concrete grid pavements. *ICPI Tech Spec* [en ligne]. 1 avril 2006, (8), 12. Disponible sur : <https://www.castleliteblock.com/green/documents/Concrete%20Grid%20Pavers%20-%20Tech%20Spec%208%20.pdf>
- [10] KIA, Alalea, Hong S. WONG et Christopher R. CHEESEMAN, 2017. Clogging in permeable concrete: a review. *Journal of Environmental Management* [en ligne] **193**, 221–233. Disponible sur : doi:10.1016/j.jenvman.2017.02.018.
- [11] MULLANEY, Jennifer et Terry LUCKE, 2013. Practical review of pervious pavement designs. *CLEAN - Soil, Air, Water* [en ligne]. **42**(2), 111–124. ISSN 1863-0650. Disponible sur : doi:10.1002/clen.201300118
- [12] SNBPE, 2019. *Lutter contre l'imperméabilisation des surfaces urbaines : les revêtements drainants en béton* [en ligne]. Disponible sur : [https://mediatheque.snbpe.org/userfiles/file/mediatheque/public/Brochure-Drainant-SNBPE_03%20\(1\).pdf](https://mediatheque.snbpe.org/userfiles/file/mediatheque/public/Brochure-Drainant-SNBPE_03%20(1).pdf)
- [13] TRAVAUX BRICOLAGE, 2019. Prix et pose de gravier stabilisé. *Travaux Bricolage* [en ligne]. 19 avril 2018. Disponible sur : <https://www.travauxbricolage.fr/travaux-exterieurs/jardin-paysagisme/prix-pose-gravier-stabilise/>
- [14] VIA SOL, 2021. A permeable Grass Concrete Pavement: New opportunities with biodegradable Formworks. EUPAVE's 6th workshop on Best Practices in Concrete Paving. Disponible sur : [Présentation PowerPoint \(eupave.eu\)](#)
- [15] WALLONIE ENVIRONNEMENT SPW. 2020, *Gestion durable des eaux pluviales a la parcelle en zone urbanisable : la gestion durable des eaux pluviales* [en ligne]. Fiche informative outil de gestion des eaux pluviales n° 00. Disponible sur : http://jesuishesbignon.be/wp-content/uploads/2020/03/fiche_00_gestion_durable.pdf
- [16] PLANTE & CITE, 2021. Revêtements perméables des aménagements urbains : Typologie et caractéristiques techniques. Disponible sur : [Guide "Revêtements perméables des a... - Plante & Cité \(plante-et-cite.fr\)](#)

DALLES ALVÉOLÉES

(Plastique)

1. DESCRIPTION GÉNÉRALE

Les dalles alvéolées (ou dalles alvéolaires) sont des structures généralement composées de polyéthylène haute densité (PEHD) ou de Polypropylène (PP) [2], et ont comme caractéristique principale le format de grille avec des ouvertures jusqu'à 90 % de la surface. En plus de promouvoir la stabilisation du revêtement, elles permettent l'infiltration de l'eau, ce qui facilite la gestion des eaux pluviales. Les dalles alvéolées sont sources d'aménités étant une bonne solution pour diminuer l'effet d'îlot de chaleur urbain et permettent une réduction des problématiques d'inondations. De plus, la variété des matériaux de remplissage offre une diversité d'usages dont pour ceux relatifs aux accès pour les personnes à mobilité réduite (PMR) pour les versions pavées.



1.1. FONCTIONNEMENT TECHNIQUE

Lors des précipitations, l'eau s'infiltré au travers du substrat, qu'il soit gravillonné, pavé ou bien enherbé. Pour la solution enherbée, une partie de l'eau est aussi absorbée par les plantes et la terre. Sous les dalles, le lit de pose est conçu pour recevoir et maintenir les alvéoles. Il est dimensionné en fonction de l'usage et de la circulation. La sous-fondation, en plus de jouer un rôle de soutien, a aussi comme fonction de stocker l'eau. Sa composition doit être choisie par rapport aux caractéristiques du projet. En cas de risque d'écoulements d'eau polluées, il est possible d'installer un géotextile perméable adapté aux pollutions aux hydrocarbures. Pour les sols peu perméables, un drain peut s'avérer nécessaire.

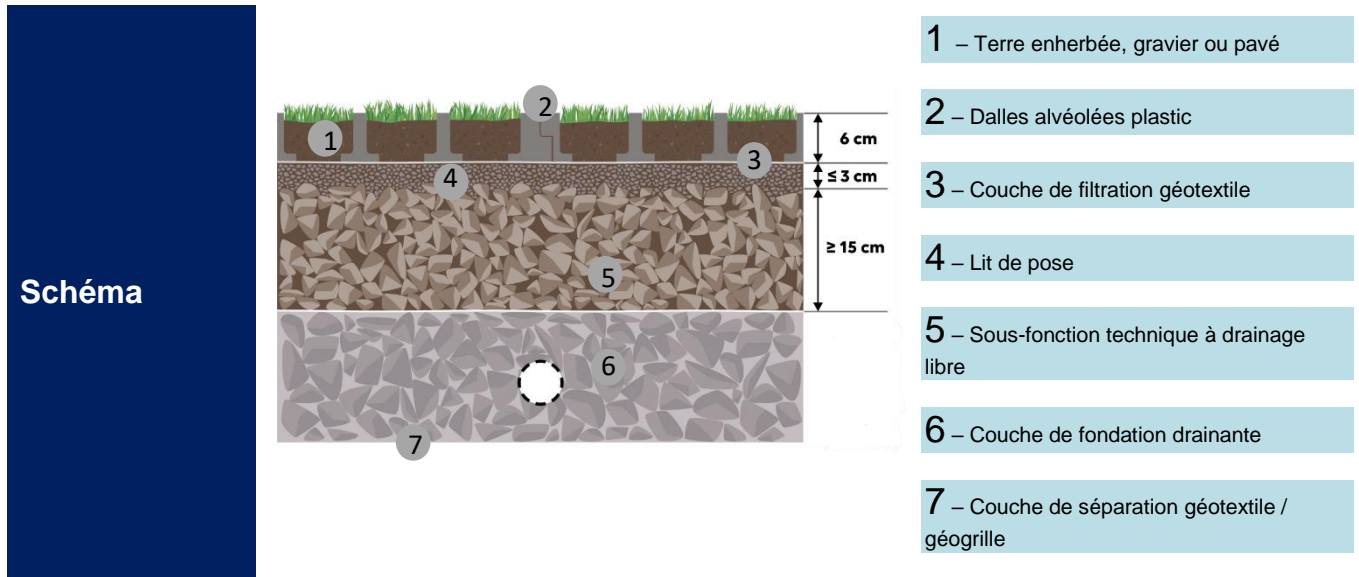


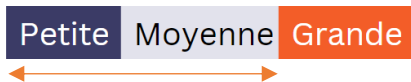
Figure 1 : Fonctionnement technique illustré par un schéma [5]

2. REGLEMENTATION DE REFERENCE

Pas de réglementation de référence en application actuellement.

3. MODALITÉ DE MISE EN ŒUVRE

3.1. ECHELLE



Les alvéoles peuvent être implémentées à différentes échelles et sont utilisées généralement dans [6 ; 12] :

- Les parkings ;
- Les voies d'accès pompiers ;
- Les zones piétonnes.

3.2. ETUDE PREALABLE ET CONCEPTION

3.2.1. TYPES DE REMPLISSAGE

Type	Description	Avantages	Inconvénients
Terre enherbée	Herbe basse plantée dans les espaces des alvéoles remplis de terre.	<ul style="list-style-type: none"> • Rétention d'eau • Préservation de la biodiversité du sol • Confort visuel 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessaire d'attendre que les plantes se stabilisent avant de commencer à utiliser • Entretiens fréquents nécessaires
Graviers	Fragments de roche de petite taille	<ul style="list-style-type: none"> • L'eau s'infiltré immédiatement • Utilisation immédiate • Entretiens rares 	<ul style="list-style-type: none"> • Visuel non naturel • Risque de soulever de la poussière
Pavé	Pavés en béton	<ul style="list-style-type: none"> • Le plus stable • Plus adapté aux PMR (personnes à mobilité réduite) 	<ul style="list-style-type: none"> • Visuel non naturel

Tableau 1 : les différents types de remplissage pour les dalles alvéolées

3.2.2. CARACTERISTIQUES

Perméabilité

Si le sol a un coefficient de perméabilité $K < 10^{-6}$ m/s, un drain doit être ajouté [7]

L'épaisseur de chaque couche varie en fonction de la quantité d'eau à gérer [8 ; 10 ; 11]

Résistance

Il n'est pas sensible au gel et au dégel.

Si une dalle alvéolaire est endommagée, des dommages aux espaces voisins peuvent survenir, mais le remplacement est facile à faire [13].

La résistance du système varie pour chaque fabricant. Certains sont capables de supporter des véhicules lourds.

Pollution

Pour éviter la pollution du sol par les eaux de ruissellement contenant des hydrocarbures dans les parkings, est possible d'utiliser des substrats capables de faciliter leur dégradation in-situ [9] ou d'installer une couche de géotextile [4].

Les plantes

Elles doivent être résistantes :

- Aux périodes de sécheresse ;
- À la circulation des pneus ou des piétons.

Ne pas remplir de terre jusqu'à saturation les alvéoles pour laisser de la hauteur aux herbes pour mieux se développer et être moins endommagées par les pneus.

3.3. TRAVAUX

3.3.1. MATERIAUX

- Dalles alvéolées ;
- Matériaux de remplissage (Substrats terreux enherbé, gravier, pavés) ;
- Gravier dépouvé de particules fines ;
- Drain¹ ;
- Geotextile.

¹ Si le fond a un coefficient de perméabilité $K < 10^{-6}$ m/s

3.3.2. MISE EN OEUVRE

Lors de travaux impliquant l'infiltration d'eaux de pluie dans les sols, une étude géotechnique doit être menée afin de déterminer la possibilité et la quantité de l'infiltration. On surveillera particulièrement plusieurs aspects :

- Si la nature du sol permet l'infiltration (sols gypseux ou karstiques sensibles...),
- Si les sols ne présentent pas des taux trop élevés de pollutions,
- La profondeur de la nappe doit être supérieure à 1 mètre,
- La perméabilité des sols,

Les revêtements en dalles alvéolaires s'appuient sur des bordures de part et d'autre pour maintenir leur stabilité. La fondation doit aussi être soigneusement mise en place pour permettre la rétention d'eau, la présence trop importante de particules fines dans celle-ci poserait des problèmes de stabilité des alvéoles à terme. [10]

Si le remplissage est fait avec des graviers, il est recommandé de vibrer la surface pendant la mise en œuvre pour mieux répartir le matériau meuble dans les dalles [13].

3.4. ENTRETIEN

3.4.1. MODALITE

Principales maintenances	Description	Lieu d'application	Fréquence
Nettoyage	Enlever les déchets pour éviter le colmatage	Tous les types de dalles alvéolées	Annuelle à l'automne, occasionnelle
Recharge en gravier	Reconstituer les graviers perdus au fil du temps	Dalles alvéolées remplies par du gravier [3]	Annuelle
Entretien type espaces verts	Arrosage et replantation Pas nécessité de tonte	Dalles alvéolées enherbées	Similaire aux espaces verts locaux. Arrosage d'été, replantation 5-10 ans

Tableau 2 : Les types d'entretien

3.4.2. DURÉE DE VIE

La durée de vie, liée à la qualité des dalles est de plus de 10 ans [13], potentiellement 20 ans selon le modèle. Concernant les pavés qui peuvent être utilisés en remplissage des dalles, la durée de vie peut être influencée par la taille des pores du béton, avec le phénomène d'oxydation et de colmatage des pores. [1]

3.4.3. ACTEURS

Conception	Bureaux d'études
Entretien	Services municipaux
	Prestataires de services

Tableau 3 : Les acteurs du projet

4. ASPECTS ÉCONOMIQUES



Les éléments de coût sont donnés à titre indicatif. La large gamme de valeurs est due aux variétés de types de remplissage. Des variations locales sont possibles en outre.

Opération	Investissement
Mise en œuvre	50 à 150 € TTC/m ² [2 ; 13]
Terre enherbée (fourni + posé)	65 – 70 €/m ²
Graviers (fourni + posé)	75 – 80 €/m ²
Pavés (fourni + posé)	85 – 90 €/m ²

Tableau 4 : L'aspect économique du projet

5. IMPACTS

IMPACTS POSITIFS ET NEGATIFS		Dallés enherbés	Dalles gravier
Gestion de l'eau pluviale	Infiltration	1	1
	Rétention	2	2
	Transport du surplus	1	1
Multifonctionnalité des sols	Cycle de l'eau naturel (stockage et infiltration)	1	1
	Cycle naturel du carbone (stockage, filtration, transformation)	0	0
	Cycle des nutriments (stockage, filtration, transformation)	0	0
	Support de végétation	0/1	0/1
	Biodiversité des sols	0/1	0/1
Mise en œuvre	Echelle de fonctionnement	1	1
	Flexibilité	2	2
	Contraintes de dimensionnement/mise en œuvre		
	Contraintes de fonctionnement/gestion		
Pollution de l'eau et des sols	Performances d'abattement		
	Risque de relargage en cas de pollution des sols sous-jacents	-1	-1
Biodiversité (diversité et quantité)	Faune		
	Flore		
Adaptation et atténuation climatique	Mitigation globale des îlots de chaleur urbains	1	1
	Bilan carbone	?	?
Aménités	Confort thermique/Ombre-fraîcheur	?	?
	Accès espaces verts		
Aspects sociaux-économiques	Attractivité	2	1
	Cohésion sociale		
	Entretien	0	2
	Traitement des eaux		
	Durabilité	1	2
	Coût initial de mise en œuvre		

Tableau 5 : Les impacts positifs et négatifs de l'implantation des dalles alvéolées.

-1 : Risques associés
0 : Pas de lien
1 : Co-bénéfices
2 : Bénéfices
? : Réponse non évidente, dépend de la solution mise en œuvre
Vide : non renseigné

DALLES ALVÉOLÉES EN PLASTIQUE

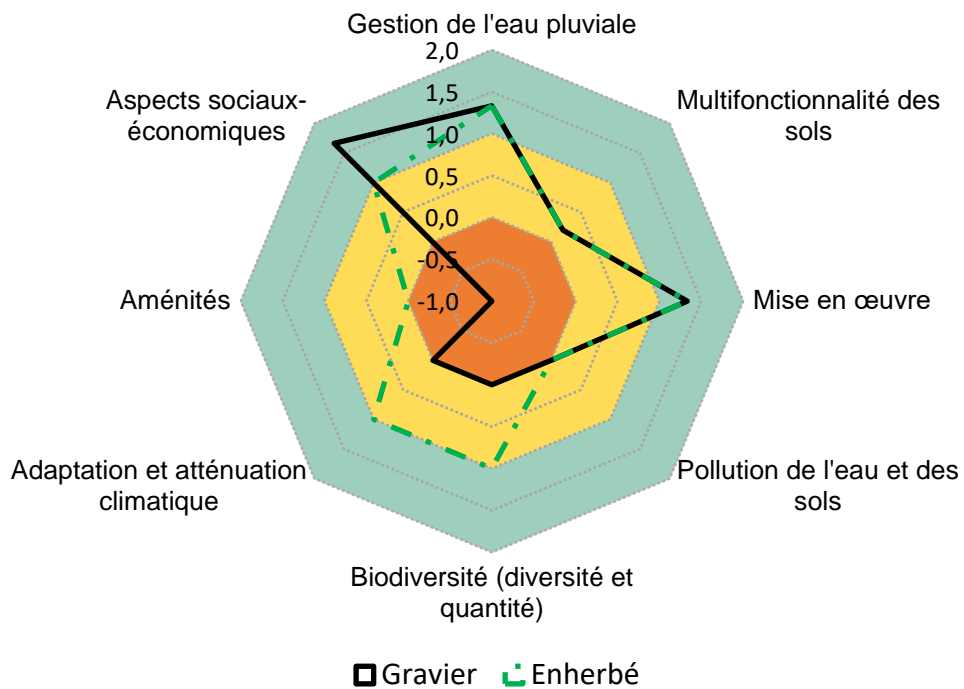


Figure 2 : Impacts positifs et négatifs des dalles alvéolées

6. ANALYSE DU CYCLE DE VIE

Concernant les aspects d'écoconception, les graviers sont des matières premières non renouvelables, mais ils peuvent être remplacés par du gravier roulé provenant d'une filière de recyclage.

Matériaux	Valorisation
Dalles alvéolées	Recyclage
Graviers	Réutilisation ou utilisation dans le processus de fabrication d'autres matériaux [14]
Terre enherbé	Gestion en centre de dépollution
Pavés béton	Réutilisation ou recyclage
Drain	Si propre : recyclé par décyclage ; Couramment valorisé thermiquement [14]
Géotextile	Peut être recyclé par décyclage et/ou valorisé thermiquement [14]

Tableau 6 : Les filières de valorisation des matériaux

7. RECOMMANDATIONS

Quelques précautions doivent être prises pour assurer une longue durée de vie. Le lit de pose doit être fait avec soin, afin d'éviter que les alvéoles ne soient endommagées et pour garantir la stabilité de la structure. En plus, comme elles sont constituées de plastique, les dalles sont sujettes à l'action des températures élevées, qui dilatent la structure et peuvent causer des problèmes. Par conséquent, il est nécessaire d'avoir plus d'attention à l'état de la structure pendant l'été ou pendant les canicules parce qu'il y a des risques de dilatation [2].

7.1. POUR ALLER PLUS LOIN

Les avantages d'une dalle engazonnée

Il a été scientifiquement prouvé que l'utilisation des dalles alvéolées engazonnées est **bénéfique pour le maintien de la biodiversité du sol**, permettant le **développement de la microfaune**.

En plus, ces surfaces ont enregistré une température moyenne 5°C plus basse que la température ambiante, atteignant presque 7°C de différence la nuit, et par conséquent, c'est aussi **un excellent outil pour réduire les îlots de chaleur urbains** [9].



Figure 3 : Installation des dalles alvéoles engazonnées [10]

RÉFÉRENCES

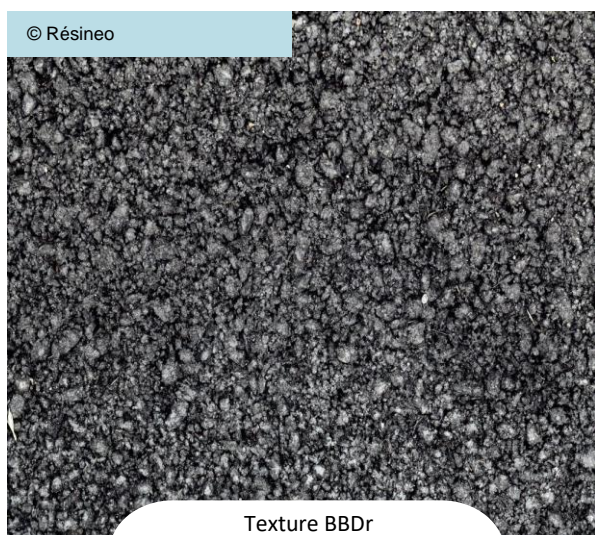
- [1] ADMUTE, A. M. et al., 2007. Permeable pavements: new technique for construction of road pavements in india. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 4(4), 5. ISSN 2395-0072.
- [2] AGENCE PARISIENNE DU CLIMAT, 2022. Installer des revêtements alvéolaires pour infiltrer les eaux pluviales dans les parkings. *Adaptaville : des solutions pour s'adapter au changement climatique* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.adaptaville.fr/installer-des-revetements-alveolaires>
- [3] CLAU, Isabel, LEDEZ-LEGENDRE ARCHITECTURE & ; URBANISME et BIOTOPE, 2022. *Document de gestion des sites classés de la Vallée de l'Ysieux, Thève amont et de la Butte de Châtenay-en-France* [en ligne]. DRIEAT. Rapport Diagnostic-Enjeux. Disponible sur : <https://www.drieat.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/diagnostic.pdf>.
- [4] CIRIMINNA, Diego et al. Numerical comparison of the hydrological response of different permeable pavements in urban area. *Sustainability* [en ligne]. 9 mai 2022, 14(9), 14. Disponible sur : doi:10.3390/su14095704.
- [5] GRASPOINTNER. nd, Pavés alvéolés à haute résistance. *Hydro Trench Drains | BG-Graspointner* [en ligne]. Disponible sur : <https://hydrotrenchdrains.com/fr/paves-alveoles-citygrid/>
- [6] ECOVEGETAL, 2020. *Guide technique : parkings perméables voies de circulation stabilisation de sols, talus et berges*. Broué. Disponible sur : <https://www.ecovegetal.com/wp-content/uploads/2020/01/GUIDE-TECHNIQUE-PARKINGS-PERMEABLES-2020.pdf>.
- [7] INTERLOCKING CONCRETE PAVEMENT INSTITUTE, 1999. Concrete grid pavements. *ICPI Tech Spec* [en ligne]. 1 avril 2006, (8), 12. Disponible sur : <https://www.castleliteblock.com/green/documents/Concrete%20Grid%20Pavers%20-%20Tech%20Spec%208%20.pdf>.
- [8] MCVEIGH PARKER, 2019. *Hanpave porous paving system* [en ligne]. Specification sheet. Disponible sur : <https://mcveighparker.com/wp/wp-content/uploads/2019/03/VNo.1-2019-Hanpave.pdf>.

- [9] O2D. *Les bénéfices environnementaux des revêtements de sols perméables* [en ligne]. 2022. Rapport d'étude 2 : #biodiversité des sols. Disponible sur : [https://www.nature-en-ville.com/sites/nature-en-ville/files/document/2022-06/Rapport-etude-Biodiversite-des-sols_O2D-ENVIRONNEMENT_bd\[1\].pdf](https://www.nature-en-ville.com/sites/nature-en-ville/files/document/2022-06/Rapport-etude-Biodiversite-des-sols_O2D-ENVIRONNEMENT_bd[1].pdf).
- [10] O2D. Dalle gazon o2d green. *O2D* [en ligne]. 2021. Disponible sur : <https://www.o2d-environnement.com/solution/dalle-gazon-o2d-green-dalle-engazonnee/>
- [11] PLACE DU PRO, 2019. Dalles alvéolaires, des solutions perméables. Disponible sur : <https://www.placedupro.com/articles/141/dalles-alveolaires-des-solutions-permeables>
- [12] PLACE DU PRO, 2022. Installation des dalles alvéolaires. Disponible sur : <https://www.placedupro.com/articles/1620/installation-des-dalles-alveolaires>
- [13] PLANTE & CITE, 2021. Revêtements perméables des aménagements urbains : Typologie et caractéristiques techniques. Disponible sur : [Guide "Revêtements perméables des a... - Plante & Cité \(plante-et-cite.fr\)](#)
- [14] WALLONIE ENVIRONNEMENT SPW, (s.d.). Gestion durable des eaux pluviales à la parcelle en zone urbanisable en région wallonne - fiche informative outil de gestion eaux pluviales n° 09. Disponible sur : [Référentiel. Gestion durable des eaux pluviales \[2023\] \(numérique\) | EdiWall \(wallonie.be\)](#)

ENROBÉ DRAINANT

1. DESCRIPTION GÉNÉRALE

Le principe de l'enrobé drainant (« béton bitumineux drainants » BBDr, ou communément nommé enrobé perméable ou poreux) désigne la couche poreuse de roulement de revêtement exempte de particules fines. L'utilisation de ces revêtements commence en France dans les années 1980 et connaît une grande expansion dans les années 1990. Les contraintes liées au gel et au colmatage ont depuis localisé ses applications au Nord et à l'Ouest de la France et sur de grands boulevards [18]. Il existe diverses variantes pour les compositions des enrobés drainants, notamment au niveau des liants, dont les compositions sont à la discrétion des producteurs.



1.1. FONCTIONNEMENT TECHNIQUE

Le revêtement s'appuie sur plusieurs couches aux rôles différents.

- **Le lit de pose ou couche de filtration** a pour but d'assurer l'assise du revêtement ainsi que la filtration de certains polluants dans le but de les éliminer (les retenir).
- **La couche de fondation**, avec une granulométrie grossière et environ 30 % de vide, joue aussi un rôle de réservoir. Elle bénéficie ainsi d'une bonne durabilité.

Elle s'appuie ensuite sur un fond de forme compacté qui limite sa perméabilité. Le stockage, sauf bref, des eaux ne se fait pas dans la couche de roulement pour éviter de l'endommager [5].

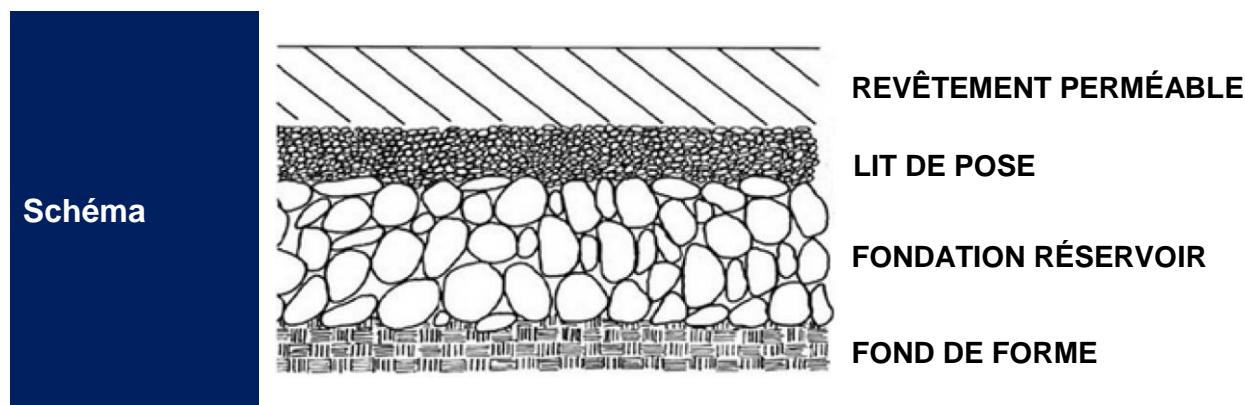


Figure 1 : Fonctionnement technique illustré par un schéma [20]

Dimensionnement

En fonction de la circulation qu'elle devra soutenir.

Composition

En fonction que des gravats de prédilection de l'entreprise de construction.

Adhérence et orniérage

Adhérence de qualité et durabilité, supérieure à celle d'un enrobé classique. Bonnes performances à l'orniérage [30].

2. RÉGLEMENTATION DE RÉFÉRENCE

Depuis 2006, les enrobés drainants doivent suivre la norme européenne NF EN 13108-7. De nombreuses normes encadrent la mise en place de ces enrobés drainants, quelques-unes sont listées ci-dessous.

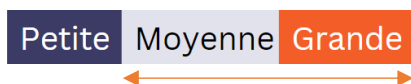
Caractéristique	Méthode d'essai
Masse volumique réelle des enrobés	NF EN 12697-5 méthode A dans l'eau
Pourcentages de vide des éprouvettes PCG	NF EN 12697-31
Pratique de contrôle pourcentage de vides	NF P 98-150 ou XP P 98-151
Perméabilité	NF EN 12697-19
Sensibilité à l'eau	NF EN 12697-12
Température de fabrication de l'enrobé (°C)	NF P 98-150 : (140°C-170°C)
Classe de bitume	NF EN 112-591 : 70/100
Essai au drainomètre	NF P 98-254-3
Compaction en tranchée	NF P 98-331

Table 1 : Réglementation de référence pour la mise en œuvre des enrobés drainants [7 ; 15]

3. MODALITÉS DE MISE EN ŒUVRE

3.1. ECHELLE

Les plus courantes [10] :



- Longitudinale sur une échelle importante
- Routes départementales
- Autoroutes à forte circulation
- Parkings perméables.

3.2. ETUDE PREALABLE ET CONCEPTION

3.2.1. CARACTERISTIQUES

Ouverture des enrobés

Le dimensionnement de l'ouverture des enrobés est principalement lié au problème de colmatage [18].

Le colmatage est lié aux apports naturels et anthropiques (poussières, particules pneumatiques, débris végétaux ...), la perméabilité se réduit ainsi progressivement jusqu'à disparaître [5].

Une perméabilité résiduelle faible de 0,1% (10^{-5} m/s) est suffisante pour infiltrer la plus forte intensité moyenne mesurée à Lyon (en 6 minutes) [5]. :

Plus de détails de conception sur le Guide du CEREMA [22]

Perméabilité du revêtement

Une ouverture de 20 % à 30 % à la conception et mise en œuvre doit être visée, et maintenue tout le long de la vie du revêtement afin de garantir une perméabilité suffisante [10].

Gestion des volumes d'eau

La gestion des eaux pluviales dépend de :

- La **période de retour** et la **hauteur de pluie** choisie pour l'aménagement,
- L'**impluvium du projet**, lié au bassin versant dont les ruissellements s'écoulent sur la surface perméable, ce qui permet de déterminer le volume d'eau à traiter et l'épaisseur de la couche de forme pour tamponnement,
- La **perméabilité des sols**, qui permet de dimensionner le temps de vidange (entre 1 à 5 jours selon la période de retour).

3.3. TRAVAUX

3.3.1. MATERIAUX

La résistance au roulement un peu faible des BBDr requiert une épaisseur minimale de 4 cm de la couche de revêtement (plutôt 6 cm pour la circulation de poids-lourds).

3.3.2. MOYENS HUMAINS

Requiert les moyens classiques humains et matériels des entrepreneurs lors de travaux de pose de revêtements en enrobé.

3.4. ENTRETIEN

3.4.1. MODALITES

Les principales maintenances	Description	Fréquence
Entretien préventif	Envoi d'eau puis aspiration pour empêcher les accumulations	Semestrielle
Entretien pré-curatif	Décolmatage à haute pression	Décennale

Tableau 2 : Les types d'entretien

Décolmatage

Plusieurs méthodes d'entretien existent et peuvent être utilisées en combinaison :

- Balayage de rue
- Aspirateur manuel
- Camion aspirateur
- Lavage pression
- Inspection annuelle durant un évènement pluvieux pour observer le comportement. [8; 9]

Viabilité hivernale [8 ;9]

- Consommation 30 % en plus de sel
- Impossibilité de sabler la route
- Sensibilité aux lames de déneigeage
- Passage plus régulier des machines à déneiger.

3.4.2. DURÉE DE VIE

Le problème principal de l'entretien est le colmatage de revêtement poreux, qui entraîne une perte de perméabilité et, selon le contexte, peut se produire dans les quelques années après installation. La durabilité de la perméabilité est grandement améliorée par la qualité de l'implémentation et un bon entretien. Ainsi de nombreux enrobés poreux conservent leur perméabilité même après plusieurs années [3].

Toutefois, même colmaté un enrobé poreux conserve ses performances de roulement et d'adhérence [3]. La granulométrie grossière du revêtement, l'épaisseur et la granulométrie des fondations offrent une bonne durabilité aux enrobés poreux [2].

4. ASPECT ÉCONOMIQUE

Les éléments de coût sont donnés à titre indicatif. En outre, des variations locales sont possibles.

Opération	Investissement
Enrobé Classique	115€/m ² [2] *
Enrobé Poreux	105€/m ² [2]

* Avec grilles avaloir et réseau pluvial

Tableau 3 : Aspect économique du projet

5. IMPACTS

Impacts Positifs et Négatifs		Enrobés poreux
Gestion de l'eau pluviale	Infiltration	1
	Rétention	2
	Transport du surplus	1
Multifonctionnalité des sols	Cycle de l'eau naturel (stockage et infiltration)	1
	Cycle naturel du carbone (stockage, filtration, transformation)	0
	Cycle nutriments (stockage, filtration, transformation)	0
	Support de végétation	0
	Biodiversité des sols	0
Mise en œuvre	Echelle de fonctionnement	1
	Flexibilité	2
	Contraintes de dimensionnement/mise en œuvre	1
	Contraintes de fonctionnement/gestion	
Pollution de l'eau et des sols	Performances d'abattement	1
	Risque de relargage	-1
Biodiversité (diversité et quantité)	Faune	0
	Flore	0
Adaptation et atténuation climatique	Mitigation globale des îlots de chaleur urbains	1
	Bilan carbone	-1
Aménités	Confort thermique/Ombrage-fraîcheur	?
	Accès espaces verts	-1
Aspects sociaux-économiques	Attractivité	0
	Cohésion sociale	
	Entretien	1
	Traitement des eaux	
	Durabilité	2
	Coût initial de mise en œuvre	

Tableau 4 : Les impacts positifs et négatifs de l'implantation des enrobés poreux

-1 : Risques associés
0 : Pas de lien
1 : Co-bénéfices
2 : Bénéfices
? : Réponse non évidente, dépend de la solution mise en œuvre
Vide : non renseigné

ENROBÉS DRAINANT

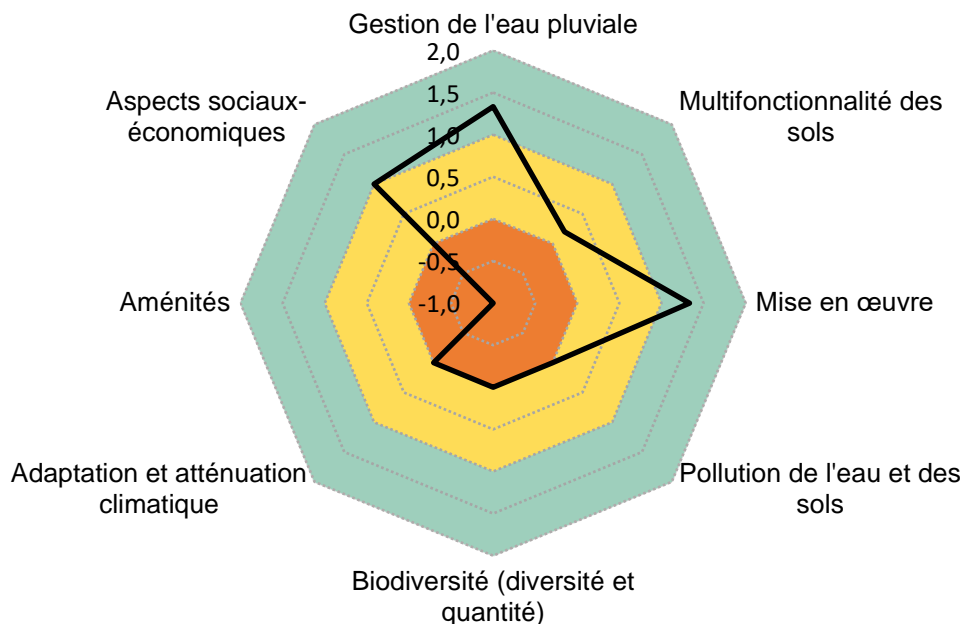


Figure 2 : Impacts positifs et négatifs des enrobés drainant

6. ANALYSE DU CYCLE DE VIE

6.1 ECOCONCEPTION

Les graviers sont des matières premières non renouvelables, mais ils peuvent être remplacés par du gravier roulé provenant d'une filière de recyclage.

6.2 BILAN : ANALYSE DE CYCLE DE VIE

L'aménagement d'une surface de 4050 m² en enrobé drainant peut être plus économe grâce à des économies d'échelle sur le traitement des eaux qu'un scénario avec un enrobé classique. Il faut cependant atteindre 20 ans pour que le bénéfice économique soit notable [29].

Matériaux	Valorisation
Revêtement	Le revêtement peut être recyclé in-situ ou en centrale [33].
Pollution	La pollution adsorbée peut être traitée [5].

Tableau 5 : Les filières de valorisation des matériaux

Bénéfices

Impact environnemental moins important pour le revêtement perméable en termes de polluants rejetés, d'écotoxicité, d'acidification des eaux et de formation de particules fines [16].

Impacts existants

L'extraction des matériaux, la fabrication et la mise en place du revêtement ont l'impact environnemental le plus important [16].

Fin de vie

L'évacuation sans recyclage et l'énergie consommée pour le traitement des eaux ont un impact important [16].

7. RECOMMANDATIONS

Il est déconseillé d'utiliser les enrobés drainant dans les zones suivantes [33]:

- Zones de girations, carrefours, giratoires (rayon <240 m, risque de cisaillement) ainsi que les zones de stationnement, les places de marchés etc... ;
- Zones de bouchons (risque de colmatage et pollution aux hydrocarbures) ;
- Les rues à faible trafic.

Il faut faire attention pour éviter les problèmes potentiels ci-dessous :

- Précautions lors de la compaction par les engins de chantier, possibilité de décompactage à prendre en compte ;
- Qualité des matériaux ;
- Résurgences d'eau ;
- Fortes pentes et grandes largeurs.

En cas de support déformé, il est recommandé d'effectuer un reprofilage pour travailler sur un support propre. Le dimensionnement de la structure de la chaussée est lié au débit hydraulique à traiter, ce qui dépend de l'impluvium de référence du projet (bassin versant et pluviométrie).

La perméabilité du sol doit aussi être prise en compte afin de déterminer le besoin de rétention et la profondeur de la structure de chaussée.

Lors de la réception des travaux du BBDr, l'ensemble des vitesses de percolation (ou perméabilité) doit être supérieures à 0,6 cm/s et la valeur moyenne supérieure à 1 cm/s. Elle est mesurée avec un drainomètre de chantier selon la norme NF EN12697-40 (précédemment NF P 98-254-3).

La circulation à haute vitesse des véhicules est le moyen le plus efficace de limiter le colmatage de ces revêtements [19]. Ainsi, les enrobés drainants pour des circulations lourdes et à vitesse importantes sont dimensionnés avec des vides moins importants pour améliorer la résistance mécanique [31].

RÉFÉRENCES

- [1] MOHAJERANI, Abbas, Jason BAKARIC et Tristan JEFFREY-BAILEY, 2017. The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of Environmental Management* [en ligne]. **197**, 522–538. ISSN 0301-4797. Disponible sur : doi:10.1016/j.jenvman.2017.03.095

- [2] HÉE, Manon et Jean-Jacques HÉRIN, 2022. Voirie et gestion durable des eaux pluviales : la performance des chaussées à structure réservoir. Dans : *La chaussée à structure réservoir : principe et conception générale* [en ligne]. Disponible sur : https://www.eau-rhin-meuse.fr/sites/default/files/2022-04/on_roule_sur_leau_adopta_20222501.pdf.
- [3] KIA, Alalea, Hong S. WONG et Christopher R. CHEESEMAN, 2017. Clogging in permeable concrete : a review. *Journal of Environmental Management* [en ligne]. **193**, 221–233. ISSN 0301-4797. Disponible sur : doi:10.1016/j.jenvman.2017.02.018.
- [4] JAYAKARAN, Anand et al., 2019. Remediation of stormwater pollutants by porous asphalt pavement. *Water* [en ligne]. **11**(3), 520 [consulté le 24 juillet 2023]. ISSN 2073-4441. Disponible sur : doi:10.3390/w11030520
- [5] CHOCAT, Bernard, 2016. *Les techniques alternatives pour la gestion des eaux pluviales : risques réels et avantages* [en ligne]. Notes. Disponible sur : http://www.graie.org/graie/graiedoc/reseaux/pluvial/TA_FreinsAvantages/EauxPluviales-outil-techniquesalternatives-V2-nov2016.pdf.
- [6] PRATT, C., A. NEWMAN et P. BOND, 1999. Mineral oil bio-degradation within a permeable pavement : long term observations. *Water Science and Technology* [en ligne]. **39**(2). ISSN 0273-1223. Disponible sur : doi:10.1016/s0273-1223(99)00013-x
- [7] CFTR, 2008. *Utilisation des normes enrobés à chaud*. Organisé par le CEREMA. ISBN 978-2-11-094632-4. Disponible sur : https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/14579/utilisation-des-normes-enrobés-a-chaud-guide-technique?_lg=fr-FR
- [8] CETE de l'Est, 2001. Note d'information n°122 : Disposition particulière pour l'exploitation hivernale des bétons bitumineux drainant. SETRA. Disponible sur : <https://doc.cerema.fr/digitalCollection/DigitalCollectionAttachmentDownloadHandler.ashx?parentDocumentId=16271&documentId=20665&skipWatermark=true&skipCopyright=true>
- [9] COCU, Xavier, 2006. XIIth PIARC international winter road congress. Dans : *A study into the winter behaviour of a test section in two-layer porous asphalt* [en ligne]. p. 25. Disponible sur : https://www.researchgate.net/publication/271014488_A_STUDY_INTO_THE_WINTER_BEHAVIOUR_OF_A_TEST_SECTION_IN_TWO-LAYER_POROUS ASPHALT
- [10] COMITÉ DE PILOTAGE NATIONAL, 2013. *Guide d'aide à la caractérisation des enrobés bitumineux* [en ligne]. Disponible sur : https://www.fntp.fr/sites/default/files/content/guide_ceb_novembre_2013.pdf
- [11] BOOTH, Derek B. et Jennifer LEAVITT, 1999. Field evaluation of permeable pavement systems for improved stormwater management. *Journal of the American Planning Association* [en ligne]. **65**(3), 314–325. ISSN 1939-0130. Disponible sur : doi:10.1080/01944369908976060
- [12] FARDEL, Alexandre, 2019. Fonctionnement hydraulique et propriétés épuratoires de techniques alternatives de gestion des eaux pluviales – cas des noues. Thèse de doctorat de l'École centrale de Nantes. Spécialité Génie civil. Français. NNT : 2019ECDN0018f.
- [13] STEMPIHAR, Jeffrey J. et al., 2012. Porous asphalt pavement temperature effects for urban heat island analysis. *Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board* [en ligne]. **2293**(1), 123–130. ISSN 2169-4052. Disponible sur : doi:10.3141/2293-15
- [14] DRAKE, Jennifer A. P., Andrea BRADFORD et Jiri MARSALEK, 2013. Review of environmental performance of permeable pavement systems : state of the knowledge. *Water Quality Research Journal* [en ligne]. **48**(3), 203–222 ISSN 2408-9443. Disponible sur : doi:10.2166/wqrjc.2013.055.
- [15] LCPC, 2003. *Compactage des enrobés hydrocarbonés à chaud - Guide technique*. LCPC. ISBN 2-7208-3108-5. Disponible sur : <https://vdocuments.site/lcpc-compactage-des-enrobés-hydrocarbonés-a-chaux.html>
- [16] ANTUNES, Lucas Niehuns, EneDir GHISI et Roni Matheus SEVERIS, 2020. Environmental assessment of a permeable pavement system used to harvest stormwater for non-potable

- water uses in a building. *Science of The Total Environment* [en ligne]. **746**, 141087. ISSN 0048-9697. Disponible sur : doi:10.1016/j.scitotenv.2020.141087
- [17] LEGRET, M. et al., 1994. Pollution par les métaux lourds liée a l'infiltration des eaux de ruissellement urbaines dans une chaussée poreuse a structure réservoir. *Environmental Technology* [en ligne]. **15**(12), 1183–1191. ISSN 1479-487X. Disponible sur : doi:10.1080/09593339409385527.
- [18] SAINT-JACQUES, Michèle et Yves BROSSEAUD, 2018. Bilan des enrobés drainants en France et au Québec. *Via Bitume*. **12**(3), 41–45. Disponible sur : <https://www.etsmtl.ca/Publications/Articles/2017/ViaBitume-St-Jacques-nov2017>
- [19] SCHOLZ, Miklas et Piotr GRABOWIECKI, 2007. Review of permeable pavement systems. *Building and Environment* [en ligne]. **42**(11), 3830–3836. ISSN 0360-1323. Disponible sur : doi:10.1016/j.buildenv.2006.11.016.
- [20] SHIRKE, Nilesh et Scott SCOTT, 2008. A solution to clogging of porous pavements. *Colorado State University*. Disponible sur : https://www.researchgate.net/publication/254102036_A_Solution_to_Clogging_of_Porous_Pavements
- [21] O2D Environnement, 2021. Guide d'aide à la conception d'un parking perméable avec les systèmes O2D. Disponible sur : <https://www.o2d-environnement.com/observatoires/guide-technique-parking-permeable-o2d/>
- [22] CEREMA, 2008, Guide technique : Utilisation des normes enrobés à chaud, .Disponible sur : <https://doc.cerema.fr/Default/digital-viewer/C-14579>
- [23] OOREKA MAISON, [sans date]. Enrobé drainant : composition et pose -. *Ooreka.fr* [en ligne].. Disponible sur : <https://amenagement-de-jardin.ooreka.fr/astuce/voir/746899/enrobe-drainant>
- [24] RYCHEN, Patrick, 2009. Applicabilité des enrobés drainants sur les ouvrages d'art. *Journée Technique LAVOC 2009*. Disponible sur <https://infoscience.epfl.ch/record/140883>
- [25] SHAFIQUE, Muhammad et Reeho KIM, 2017. Retrofitting the low impact development practices into developed urban areas including barriers and potential solution. *Open Geosciences* [en ligne]. **9**(1). ISSN 2391-5447. Disponible sur : doi:10.1515/geo-2017-0020.
- [26] COUPE, Stephen J. et al., 2003. Biodegradation and microbial diversity within permeable pavements. *European Journal of Protistology* [en ligne]. **39**(4), 495–498, ISSN 0932-4739. Disponible sur : doi:10.1078/0932-4739-00027.
- [27] TERHELL, Su-Lin et al., 2015. Cost and benefit analysis of permeable pavements in water sustainability. *ESM 121 : Water Science and Management*. 8. Disponible sur : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468227621000831>
- [28] CHARLESWORTH, Susanne, Jamie BEDDOW et Ernest NNADI, 2017. The fate of pollutants in porous asphalt pavements, laboratory experiments to investigate their potential to impact environmental health. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [en ligne]. **14**(6), 666]. ISSN 1660-4601. Disponible sur : doi:10.3390/ijerph14060666.
- [29] REHAN, Talal, Yan QI et Anne WERNER, 2018. Life-Cycle cost analysis for traditional and permeable pavements. Disponible sur : <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784481301.042>
- [30] ISENRING, Thomas, Harold KOSTER et Ivan SCAZZIGA, 1990. Experiences with porous asphalt in Switzerland. *Transportation Research Record*. (1265), 41–53. ISSN 0361-1981.
- [31] TIGNOL, Olivier, 2008. Fiche technique : Les enrobés drainants. Récupéré sur https://www.dir.sud-ouest.developpementdurable.gouv.fr/IMG/pdf/enrobes_drainants_cle2fa716.pdf
- [32] KURUPPU, Upeka, Ataur RAHMAN et M. Azizur RAHMAN, 2019. Permeable pavement as a stormwater best management practice : a review and discussion. *Environmental Earth Sciences* [en ligne]. **78**(10). ISSN 1866-6299. Disponible sur : doi:10.1007/s12665-019-8312-2.
- [33] BROSSEAUD, Yves, ST-JACQUES, Michèle, 2016. Bilan, évolution et domaine d'utilisation des enrobés drainants. 22ème Congrès Indra 2016. Montréal. Disponible sur :

https://ceriu.qc.ca/index.php/system/files/a3.2_brosseaud_et_st-jacques_enrobes_drainants_18111_yb.pdf

Mélange Terre-Pierre

1. DESCRIPTION GÉNÉRALE

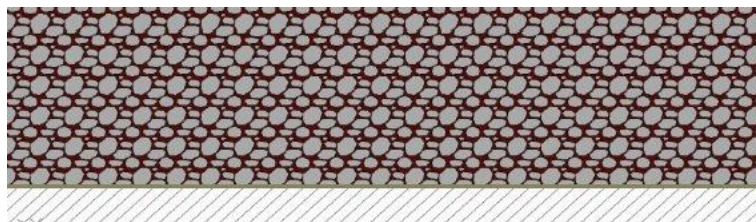
Le terme "mélange terre-pierre" est un terme générique désignant différents types de mélanges de terre et de graviers avec des granulométries et des tailles différentes. Dans ce mélange, la majeure partie du volume est composée de graviers, tandis que les espaces vides sont comblés par de la terre. Sa caractéristique poreuse favorise à la fois la réduction de la vitesse d'écoulement de surface et l'infiltration de l'eau. Il est aussi possible d'utiliser des cellules/dalles alvéolaires pour renforcement. Ce mélange est largement utilisé comme couche de renforcement pour des structures, telles que le lit d'un arbre de rue. Il est aussi utilisé dans les applications paysagères, comme substrat dans les jardins et les parcs, offrant ainsi un environnement propice au développement des végétaux. En plus de favoriser la croissance et le développement des racines des plantes, ce revêtement permet à l'eau de pluie de s'infiltrer dans le sol vers la nappe phréatique ou dans un système de stockage.



1.1. FONCTIONNEMENT TECHNIQUE

Les propriétés physiques et hydrauliques du mélange terre-pierre offrent une résistance mécanique et une perméabilité notable. La porosité du mélange permet la circulation de l'air et la conservation de l'humidité du sol, ce qui favorise la croissance des racines des plantes.

Schéma



Pierres majoritaires
Terre en comblement
(Sous-) Sol

Figure 1 : Fonctionnement technique illustré par un schéma [5].

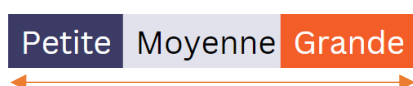
2. RÉGLEMENTATION DE RÉFÉRENCE

Caractéristique	Méthode d'essai
Caractéristiques du mélange	NF P18-545, article 10
La nature et la classification des granulats naturels ou issus du recyclage	NF P11-300

Table 1 : Normes sur la caractérisation du mélange.

3. MODALITÉS DE MISE EN ŒUVRE

3.1. ECHELLE



L'échelle dépend du projet. Le mélange terre-pierre est généralement utilisé dans les cas suivants :

- Zones de stationnement,
- Zones de circulation piétonne,
- Zones à faible circulation automobile.

3.2. ETUDE PREALABLE ET CONCEPTION

3.2.1. MISE EN ŒUVRE

Lors de travaux impliquant l'infiltration d'eaux de pluie dans les sols, une étude géotechnique doit être menée afin de déterminer la possibilité et la quantité de l'infiltration. On surveillera particulièrement plusieurs aspects :

- Si la nature du sol permet l'infiltration (sols gypseux ou karstiques sensibles...),
- Si les sols ne présentent pas des taux trop élevés de pollutions,
- La profondeur de la nappe doit être supérieure à 1 mètre,
- La perméabilité des sols.

3.2.2. CARACTERISTIQUES DU MELANGE

Composition

Environ **60% de graviers** et **40% de terre** [8 ; 6 ; 11]. La proportion est adaptée aux caractéristiques du sol sous-jacent. [2].

Perméabilité

Entre **10^{-5} et 10^{-4} m/s** [11]. Cela varie en fonction du fournisseur et des caractéristiques des graviers et du sol utilisé [11 ; 12].

Fondation

Si le fond a un **coefficient de perméabilité $K < 10^{-6}$ m/s** [6], il faut ajouter une structure de **chaussée réservoir** composé de grave 0/100 pour s'assurer que l'eau s'écoulera. En cas de besoin, un **drain** peut être ajouté. L'épaisseur varie en fonction de la quantité de l'eau qui va être gérée [2].

3.2.3. UTILISATIONS POSSIBLES

Grâce à sa grande porosité, le mélange peut aussi être utilisé comme sous-couche de fondation des revêtements de pavements perméables pour rétention d'eau avant infiltration. Il bénéficie d'une meilleure résilience au roulement qu'une couche de ballasts par exemple.

Le mélange Terre-Pierre est principalement utilisé dans les solutions végétalisées, car il permet le développement des racines [9]. Exemples ci-dessous :

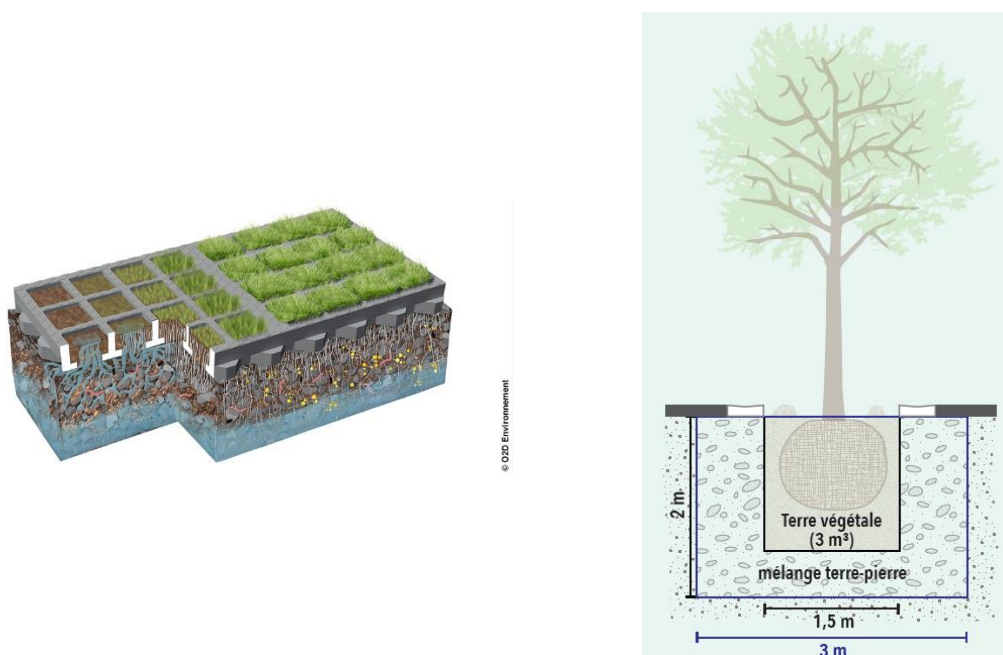


Figure 2 : Utilisations possibles du mélange terre-pierre en solutions végétalisées [4 ; 7].

3.3. TRAVAUX

3.3.1. MATERIAUX

- Terre
- Graviers
- Structure porteuse ¹
- Géotextile ²
- Drain ¹

¹ Si nécessaire [1]

² Pour les terrains argileux et/ou pollués [1]

3.4. ENTRETIEN

3.4.1. MODALITES

Entretien **typique des espaces verts**, en adéquation avec la circulation, car il est à noter que la circulation de véhicules légers réduit le besoin en tonte.

3.4.2. DURÉE DE VIE

Dépend de l'utilisation du site et de l'exécution de l'entretien [8].

3.5. ACTEURS

Conception	Ingénieur
Entretien	Services de la municipalité

Tableau 2 : Les acteurs du projet

4. ASPECTS ÉCONOMIQUES



Coûts à titre indicatif. Les variations locales sont à prendre en compte. A noter que recycler la terre issue du site-même, si elle est compatible, permet de diminuer l'enveloppe.

Opération	Investissement
Mise en œuvre d'une épaisseur de 50 cm du mélange terre-pierre	45 €/m ² [1]
Tonte de 100 m ²	Environ à 1,5 € [2].

Tableau 3 : L'aspect économique

5. IMPACTS

IMPACTS POSITIFS ET NEGATIFS		Mélange Terre-pierre
Gestion de l'eau pluviale	Infiltration	1
	Rétention	2
	Transport du surplus	1
Multifonctionnalité des sols	Cycle de l'eau naturel (stockage et infiltration)	1
	Cycle naturel du carbone (stockage, filtration, transformation)	0
	Cycle des nutriments (stockage, filtration, transformation)	0
	Support de végétation	0
	Biodiversité des sols	0
Mise en œuvre	Echelle de fonctionnement	1
	Flexibilité	2
	Contraintes de dimensionnement/mise en œuvre	1
	Contraintes de fonctionnement/gestion	
Pollution de l'eau et des sols	Performances d'abattement	1
	Risque de relargage en cas de pollution des sols sous-jacents	-1
Biodiversité (diversité et quantité)	Faune	1
	Flore	1
Adaptation et atténuation climatique	Mitigation globale des îlots de chaleur urbains	1
	Bilan carbone	0
Aménités	Confort thermique/Ombre-fraîcheur	0
	Accès espaces verts	0
Aspects sociaux-économiques	Attractivité	1
	Cohésion sociale	
	Entretien	2
	Traitement des eaux	
	Durabilité	1
	Coût initial de mise en œuvre	

Tableau 4 : Les impacts positifs et négatifs de l'implantation du mélange terre-pierre

-1 : Risques associés
0 : Pas de lien
1 : Co-bénéfices
2 : Bénéfices
? : Réponse non évidente, dépend de la solution mise en œuvre
Vide : non renseigné

MÉLANGE TERRE-PIERRE

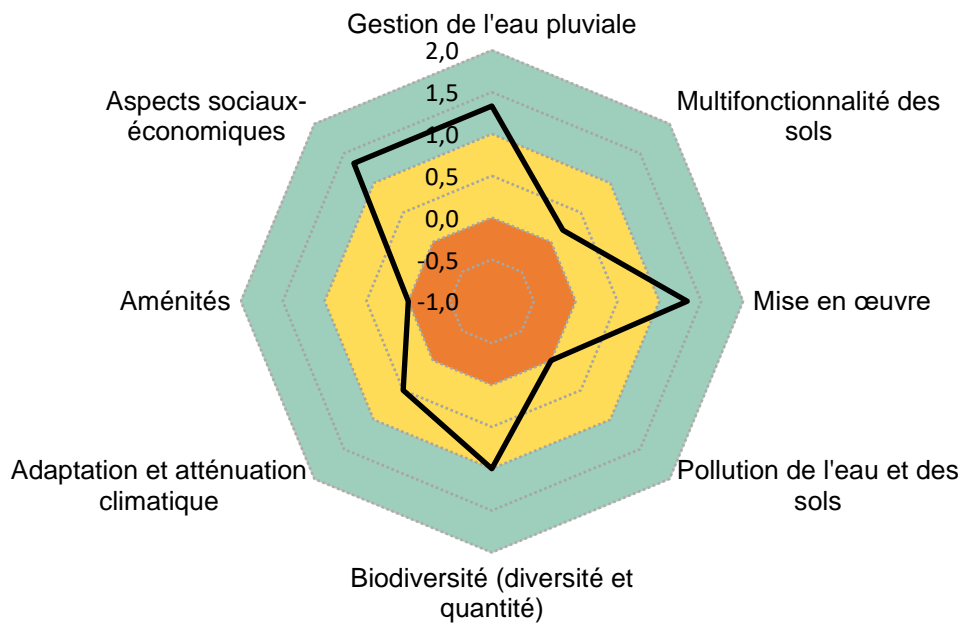


Figure 3 : Impacts positifs et négatifs du mélange terre-pierre

6. ANALYSE DU CYCLE DE VIE

6.1. ECOCONCEPTION

Il est possible de réutiliser des matériaux provenant de la démolition (gravats inertes, graviers roulés,) à la place des graviers [10].

6.2. MATERIAUX : FILIERES DE VALORISATION EXISTANTES

Matériaux	Valorisation
Graviers	Réutilisation ou utilisation dans le processus de fabrication d'autres matériaux.
Géotextile	Peut être recyclé par décyclage et/ou valorisé thermiquement.
Drain en matière plastique	Si propre : recyclé par décyclage ; Couramment valorisé thermiquement.
Plantes	Peuvent être compostées

Tableau 5 : Les filières de valorisation de chaque matériau utilisé [13]

7. RECOMMANDATIONS

La mise en place du mélange terre-pierre doit se faire par temps sec. Cela facilite son installation en évitant les problèmes d'accumulation d'eau pendant le processus, et permet d'optimiser ses performances [3 ; 11]

De plus, il est important de noter que le mélange terre-pierre ne doit pas être implanté dans des zones à forte circulation. Une circulation intense peut entraîner une compaction excessive de la couverture, la rendant imperméable et réduisant ainsi son efficacité en termes de drainage et d'infiltration d'eau [8].

Par ailleurs, il est recommandé de laisser le nouvel aménagement inutilisé un certain temps, pour permettre ainsi au sol de se stabiliser et aux espèces végétales de coloniser le mélange terre-pierre. Cette étape favorise une meilleure intégration de la végétation et renforce la résistance du mélange aux intempéries, assurant sa durabilité à long terme [1].

Enfin, il est essentiel d'éviter de recouvrir le mélange terre-pierre d'une couche de terre végétale enherbée. Une telle couche pourrait entraîner la formation de boue et d'ornières les jours de pluie, compromettant ainsi la fonctionnalité du mélange [1].

RÉFÉRENCES

- [1] BRÉVIÈRE, Marie, 2018. Aménager la ville avec un mélange terre-pierre enherbé. *La Lettre de l'Environnement Local* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.lalettredelenvironnementlocal.com/article-amenager-la-ville-avec-un-melange-terre-pierre-enherbe-164726.html>
- [2] C.A.U.E., 2023. Stationnement enherbé - parking végétalisé. *Paysages de l'Aveyron* [en ligne]. Disponible sur : <https://paysageaveyron.fr/stationnement-enherbe-parking-vegetalise/>
- [3] C'MATER, 2012. *Mélange terre pierre* [en ligne]. FTP n° 51. Disponible sur : https://www.cmater.fr/fiches_techniques_materiaux/negoce/080.pdf
- [4] MONTPELLIER, 2021. *La charte de l'arbre*. Montpellier. <https://www.nature-en-ville.com/ressources/charte-de-larbre-de-montpellier>
- [5] O2D, 2017. Nos conseils pour parking végétalisé perméable et pérenne. *O2D* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.o2d-environnement.com/observatoires/conseils-parking-vegetalise/>
- [6] O2D, 2021. *Mélange pour fondation terre-pierre o2d® tp green* [en ligne]. Lesquin. Fiche technique. Disponible sur : <https://www.o2d-environnement.com/wp-content/uploads/2021/11/Fiche-technique-Melange-Terre-Pierre-O2D-TP-GREEN.pdf>
- [7] O2D, (s.d.). Dalle gazon O2D Green dalle engazonnée parking evergreen. *O2D* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.o2d-environnement.com/solution/dalle-gazon-o2d-green-dalle-engazonnee/>
- [8] SYNDICAT MIXTE D'ACTION POUR L'EXPANSION DE LA GÂTINE, 2011. *Le mélange terre-pierre* [en ligne]. PARTHENAY. Disponible sur : http://www.intragatine.org/paysgatine/portail2/ressources/guide-materiaux/materiaux-revetement/09-le_melange_terre_pierre-guide_materiaux_pays_gatine_2011.pdf
- [9] PLANTE & CITÉ, 2021. *Revetements perméables des aménagements urbains : Typologie et Caractéristiques techniques* [en ligne]. ISBN 978-2-38339-002-2. Disponible sur : https://e-communautes.cnfpt.fr/sites/default/files/documents_refs/revetements_permeables_plante_et_cite_2021.pdf
- [10] SOURISSEAU, Agnès, Michel RÉMON et Aurélien GABRIEL COHEN, 2018. *Du béton au jardin, une aventure écologique* [en ligne]. Rapport technique. Disponible sur : <https://www.ekopolis.fr/sites/default/files/JARDIN%20SEDIF-DOC-ATELIERS-ETUDIANTS.pdf>

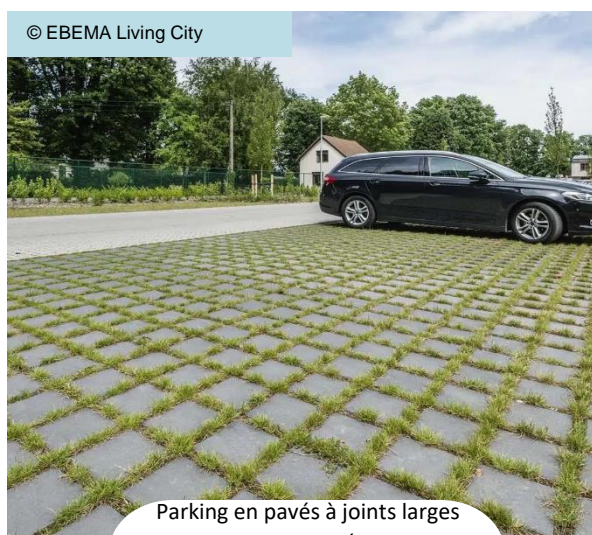
- [11] UNEP, 2012. Règles professionnelles : Travaux de mise en œuvre et d'entretien des plantes.
- [12] VARNÈDE, Lucie, 2020. *Des parkings perméables végétalisés pour une gestion durable des eaux pluviales urbaines - Evaluation expérimentale et développement d'un outil d'aide à la conception* [en ligne]. Thèse de doctorat, Université Paris-Est. Disponible sur : <https://theses.hal.science/tel-03413338/file/TH2020PESC1025.pdf>
- [13] WALLONIE ENVIRONNEMENT SPW, 2020. Gestion durable des eaux pluviales a la parcelle en zone urbanisable : fiche informative outil de gestion des eaux pluviales - La noue [en ligne]. Fiche n° 09. Disponible sur : http://jesuishesbignon.be/wp-content/uploads/2020/03/fiche_09_noues.pdf

Version V1.0 du 15 décembre 2023

PAVES À JOINTS LARGES

1. DESCRIPTION GÉNÉRALE

Les pavés à joints larges sont le plus souvent constitués de béton. L'infiltration de l'eau de pluie dans les espaces entre les pavés permet d'éviter l'écoulement superficiel et les inondations dans les villes. En maintenant le cycle de l'eau, ils apportent des bénéfices environnementaux. Ils réduisent en outre les effets des îlots de chaleur urbains. Disponibles en plusieurs couleurs et formats, les pavés à joints larges sont souvent utilisés pour leur aspect décoratif. Ils peuvent servir à délimiter des espaces mais également à donner une atmosphère plus naturelle et agréable. De plus, ils sont adaptés aux personnes à mobilité réduite.



1.1. FONCTIONNEMENT TECHNIQUE

L'eau s'infiltré dans les espaces entre les pavés. Larges de 5 à 30 mm, ils peuvent représenter jusqu'à 10 % de la surface du revêtement. Les interstices sont généralement remplis de gravier ou enherbés sur substrat terreux. La stabilisation des pavés est assurée par un lit de pose. La couche de fondation assure la stabilité de l'ensemble. Elle a aussi comme rôle de stocker de l'eau pour une période. Si le sol sous-jacent a un coefficient de perméabilité trop faible ($K < 10^{-6}$ m/s), il faut envisager d'ajouter un drain pour éviter l'accumulation de l'eau de pluie. Il est recommandé d'ajouter un géotextile entre le lit de pose et les couches de fondation pour éviter leur mélange ainsi qu'entre le fond de forme et les fondations. Toutes les couches doivent être dimensionnées par rapport à des caractéristiques d'usage prévu [3 ; 6 ; 7 ; 8 ; 9]. En cas de risque d'écoulement d'eaux polluées, il est possible d'installer un géotextile perméable adapté aux pollutions aux hydrocarbures. C'est notamment le cas lors d'utilisation sur zones de stationnement.

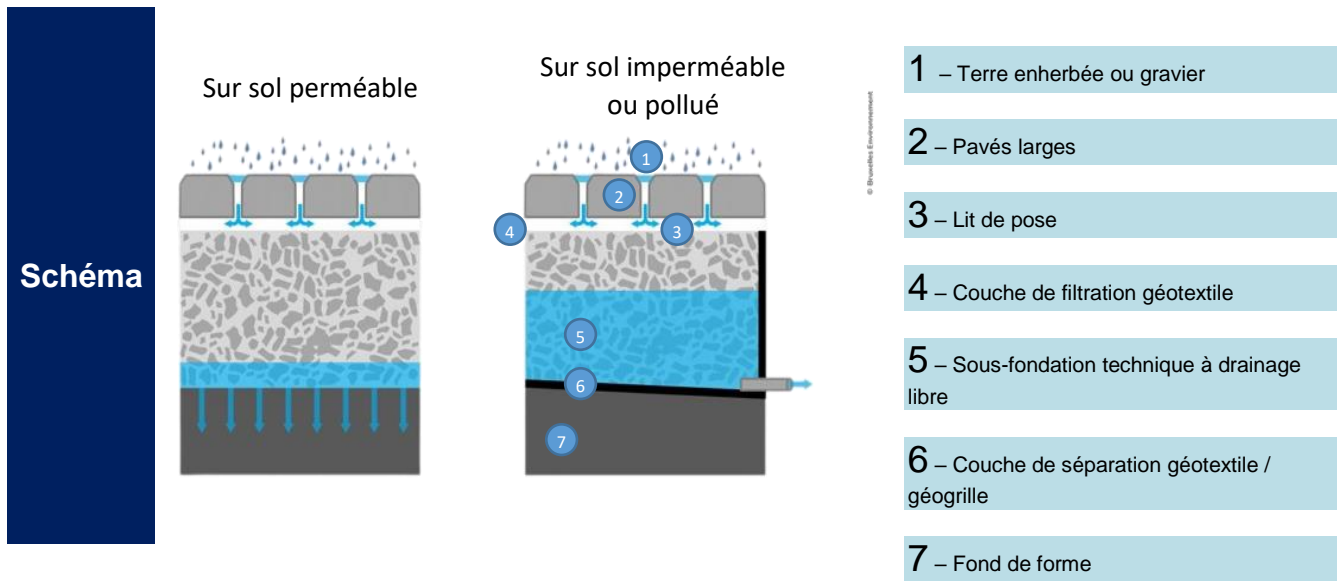


Figure 1 : Fonctionnement technique illustré par un schéma [1].

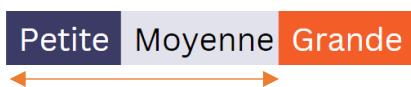
2. RÉGLEMENTATION DE RÉFÉRENCE

Caractéristique	Méthode d'essai
Spécifications et méthodes d'essai	NF EN 1338

Tableau 1 : Réglementation de référence pour la mise en œuvre des pavés en béton.

3. MODALITÉS DE MISE EN ŒUVRE

3.1. ECHELLE



Utilisé préférentiellement pour les zones piétonnes et les zones de faible circulation, notamment poids-lourds [10], ils sont toutefois adaptés aux zones de stationnement véhicules légers.

3.2. ETUDE PREALABLE ET CONCEPTION

3.2.1. TYPES DE REMPLISSAGE

Type	Description	Avantages	Inconvénients
Terre enherbée	Terre dans les joints entre pavés, recouverte d'herbe basse plantée.	<ul style="list-style-type: none"> • Rétention d'eau • Préservation de la biodiversité du sol • Confort visuel 	<ul style="list-style-type: none"> • Arrosage nécessaire typique espaces verts, • Tonte occasionnelle nécessaires (bi-annuelle)
Graviers	Fragments de roche de petite taille	<ul style="list-style-type: none"> • L'eau s'infiltre immédiatement • Utilisation immédiate • Entretien rares 	<ul style="list-style-type: none"> • Visuel non naturel • Risque de soulever de la poussière • Remplir les joints occasionnellement (10 ans environ)

Tableau 2 : Description et analyse des avantages et inconvénients selon les types de remplissage

3.2.2. CARACTERISTIQUES

Perméabilité

Si le sol sous-jacent a un coefficient de perméabilité $K < 10^{-6}$ m/s, un **drain** doit être ajouté [8].

L'épaisseur de chaque couche varie en fonction de la quantité d'eau à gérer.

Les plantes

Les graminées utilisées doivent [10]:

- Avoir des racines fines pour ne pas endommager la structure ;
- Être **adaptées au climat** du site **et au peu de substrat** qui seront disponibles.

Pollution

Installer une couche de géotextile **si l'eau de ruissellement superficiel est polluée** [4]

3.3. TRAVAUX

3.3.1. MISE EN ŒUVRE

Lors de travaux impliquant l'infiltration d'eaux de pluie dans les sols, une étude géotechnique doit être menée afin de déterminer la possibilité et la quantité de l'infiltration. On surveillera particulièrement plusieurs aspects :

- Si la nature du sol permet l'infiltration (sols gypseux ou karstiques sensibles...),
- Si les sols ne présentent pas des taux trop élevés de pollutions,
- La profondeur de la nappe doit être supérieure à 1 mètre,
- La perméabilité des sols.

3.3.2. MATERIAUX

- Pavés à joints larges ;
- Matériaux de remplissage (substrat terreux et herbes, graviers grossiers) ;
- Graves à granulométrie dépourvues de particules fines,
- Drain¹ ;
- Géotextile.

¹ Si le fond a un coefficient de perméabilité $K < 10^{-6}$ m/s

3.4. ENTRETIEN

3.4.1. MODALITE

Les principales maintenances	Description	Fréquence
Balayage [10]	Retirer les déchets et des feuilles mortes	Régulier / 1 à plusieurs fois par an
Nettoyage [10]	Jet d'eau à faible pression [5 ; 9]	Régulier / 1 à plusieurs fois par an
Recharge en gravier	Reconstituer les graviers perdus au fil du temps	Annuelle
Entretien de type espaces verts [9]	Tondre l'herbe, l'irriguer et la replanter	Lorsque nécessaire 2 à 12 fois par an

Tableau 3 : Les types d'entretien

3.4.2. DURÉE DE VIE

Le béton a une durée de vie de **50 ans** [2], cependant la longévité du système dépend de son bon entretien.

3.4.3. ACTEURS

Conception	Bureau d'étude généraliste
Entretien	Services de la municipalité
	Prestataires de services

Tableau 4 : Les acteurs du projet

4. ASPECTS ÉCONOMIQUES



Les coûts sont donnés à titre indicatif, des variations locales étant possibles.

Opération	Investissement
Mise en œuvre	60 à 150 € TTC/m ²
Gravier (fourni + posé)	65 – 70 €/m ²
Terre enherbée (fourni + posé)	75 – 80 €/m ²

Tableau 5 : L'aspect économique du projet

5. IMPACTS

IMPACTS POSITIFS ET NEGATIFS		Pavés joints larges enherbés	Pavés joints larges engravillonnés
Gestion de l'eau pluviale	Infiltration	1	1
	Rétention	2	2
	Transport du surplus	1	1
Multifonctionnalité des sols	Cycle de l'eau naturel (stockage et infiltration)	1	1
	Cycle naturel du carbone (stockage, filtration, transformation)	0	0
	Cycle des nutriments (stockage, filtration, transformation)	0	0
	Support de végétation	0	0
	Biodiversité des sols	0	0
Mise en œuvre	Echelle de fonctionnement	1	1
	Flexibilité	2	2
	Contraintes de dimensionnement/mise en œuvre	1	1
	Contraintes de fonctionnement/gestion		
Pollution de l'eau et des sols	Performances d'abattement	1	1
	Risque de relargage en cas de pollution des sols sous-jacents	-1	-1
Biodiversité (diversité et quantité)	Faune	0	0
	Flore	0	0
Adaptation et atténuation climatique	Mitigation globale des ilots de chaleur urbains	1	1
	Bilan carbone	?	-1
Aménités	Confort thermique/Ombre-fraîcheur	?	?
	Accès espaces verts	0	-1
Aspects sociaux-économiques	Attractivité	2	1
	Cohésion sociale		
	Entretien	0	2
	Traitement des eaux		
	Durabilité	1	2
	Coût initial de mise en œuvre		

Tableau 6 : Les impacts positifs et négatifs de l'implantation de pavés à joints larges

-1 : Risques associés
0 : Pas de lien
1 : Co-bénéfices
2 : Bénéfices
? : Réponse non évidente, dépend de la solution mise en œuvre
Vide : non renseigné

PAVÉS À JOINTS LARGES

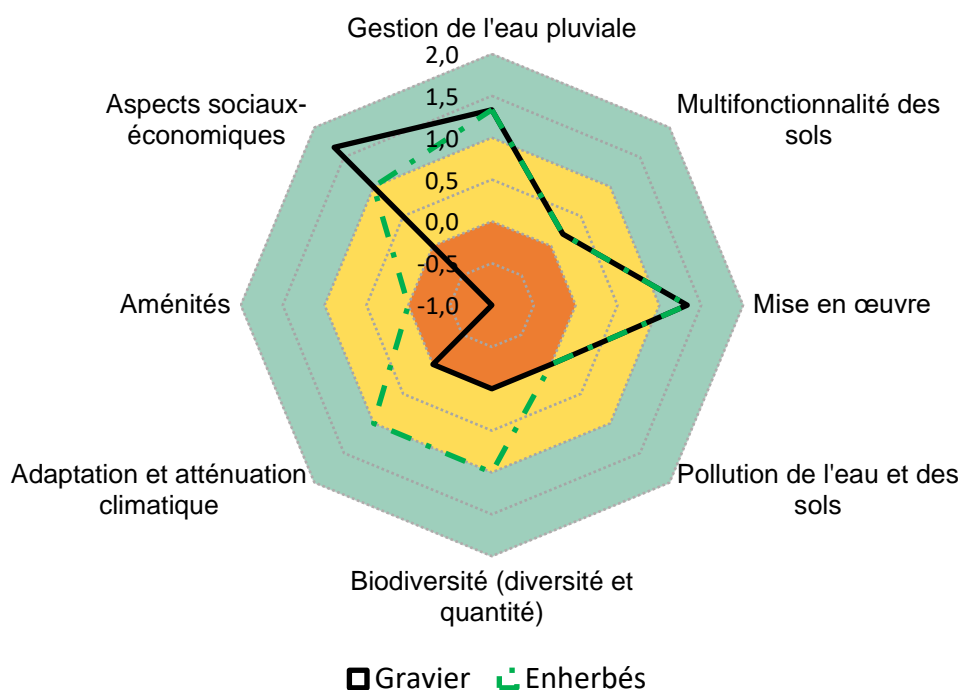


Figure 2 : Impacts positifs et négatifs des pavés à joint large

6. CYCLE DE VIE

6.1. ECOCONCEPTION

La fabrication du béton consomme une grande quantité d'énergie et, pour compenser, il est possible d'utiliser les bétons bas-carbone et recyclables.

Les graviers sont des matières premières non renouvelables, mais ils peuvent être remplacés par du gravier roulé provenant d'une filière de recyclage.

6.2. ANALYSE DU CYCLE DE VIE

Matériaux	Valorisation
Béton	Recyclage
Graviers	Réutilisation ou utilisation dans le processus de fabrication d'autres matériaux.
Drain	Si propre : recyclé par décyclage ; Couramment valorisé thermiquement.
Géotextile	Peut être recyclé par décyclage et/ou valorisé thermiquement.
Terre enherbée	Gestion en centre de dépollution

Tableau 7 : Filières de valorisation des matériaux [11]

7. RECOMMANDATIONS

L'espace entre les pavés nécessite des précautions d'usages. Leur utilisation n'est pas recommandée sur des zones avec manœuvres fréquentes de véhicules, cela pouvant déplacer des pavés. De plus, pour éviter les dommages causés par les véhicules en mouvement, il est conseillé que les pavés soient installés dans un sens perpendiculaire à celui de la circulation pour diminuer l'impact de la circulation [10].

RÉFÉRENCES

- [1] BRUXELLES ENVIRONNEMENT, 2016. Choix des matières premières. *Guide Bâtiment Durable* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.guidebatimentdurable.brussels/noues/choix-matieres-premieres>
- [2] CERIB, 2022. Fiche de déclaration environnementale et sanitaire : pavé de voirie à joint large en béton d'épaisseur 8 cm (avec joint et lit de pose). 535.E.
- [3] SNBPE, 2019. *Lutter contre l'imperméabilisation des surfaces urbaines : les revêtements drainants en béton* [en ligne]. Disponible sur : [https://mediatheque.snbpe.org/userfiles/file/mediatheque/public/Brochure-Drainant-SNBPE_03%20\(1\).pdf](https://mediatheque.snbpe.org/userfiles/file/mediatheque/public/Brochure-Drainant-SNBPE_03%20(1).pdf)
- [4] CIRIMINNA, Diego et al., 2022. Numerical comparison of the hydrological response of different permeable pavements in urban area. *Sustainability* [en ligne]. **14**(9), 14. Disponible sur : doi:10.3390/su14095704
- [5] EBEMA, (s.d.). Eco Solutions Greenstone 4.0 25x25 cm 2/2 mm. Disponible sur : <https://living-city.ebema.be/fr-BE/produits/infra/gestion-deau/eco-solutions-pavage/dalles-drainantes/eco-solutions-greenstone-40?>
- [6] FIBROCIMENT, (s.d.). Pavés en béton. Disponible sur : <http://www.fibrociment.ma/paves-beton.html>
- [7] GROUPE MIALANES, (s.d.). Pavés drainants Basaltine. Disponible sur : <https://www.groupe-mialanes.fr/fr/activites/basaltine/produits/paves-drainants-en-basaltine.php>
- [8] INTERLOCKING CONCRETE PAVEMENT INSTITUTE, 1999. Concrete grid pavements. *ICPI Tech Spec* [en ligne]. 1 avril 2006, (8), 12. Disponible sur : <https://www.castleliteblock.com/green/documents/Concrete%20Grid%20Pavers%20-%20Tech%20Spec%208%20.pdf>.
- [9] PLACE DU PRO, 2019. Pavés Drainants : Ils Rafraîchissent La Ville Et Limitent Les Inondations. Disponible sur : <https://www.placedupro.com/articles/302/paves-drainants-ils-rafraichissent-la-ville-et-limitent-les-inondations>
- [10] PLANTE & CITE, 2021. Revêtements perméables des aménagements urbains : Typologie et Caractéristiques techniques. Voir : [Guide "Revêtements perméables des a... - Plante & Cité \(plante-et-cite.fr\)](#)
- [11] WALLONIE ENVIRONNEMENT SPW. Gestion durable des eaux pluviales a la parcelle en zone urbanisable : fiche informative outil de gestion des eaux pluviales - La noue [en ligne]. 2020. Fiche n° 09. Disponible sur : http://jesuishesbignon.be/wp-content/uploads/2020/03/fiche_09_noues.pdf

PUITS D'INFILTRATION

1. DESCRIPTION GÉNÉRALE

Les puits d'infiltration ont une profondeur variant de 3 à 8 mètres. Ces dispositifs sont conçus pour accumuler et infiltrer l'eau dans les sols dotés d'une couche superficielle imperméable. Ils peuvent être alimentés par un réseau de conduites, ou par ruissellement direct, par des noues par exemple. Ils peuvent être connectés à d'autres solutions de prétraitement de l'eau, telles que certaines noues ou un dispositif de décantation. De plus, ces puits peuvent également être utilisés comme systèmes de sécurité contre les inondations et en cas de fortes précipitations.



1.1. FONCTIONNEMENT TECHNIQUE

L'eau collectée atteint le regard de décantation et passe dans le puits d'infiltration par un coude plongeant afin d'éviter le transfert de boue et de matières en suspension. Les puits d'infiltration peuvent être vides ou remplis de pierres (voir section 3.2.1.). Au fond des puits est disposé du sable, entouré d'un géotextile pour améliorer la filtration de l'eau et éviter le déplacement des particules fines. L'eau accumulée s'infiltré dans le sol à la fois par le fond du système et par les parois qui comportent des ouvertures.

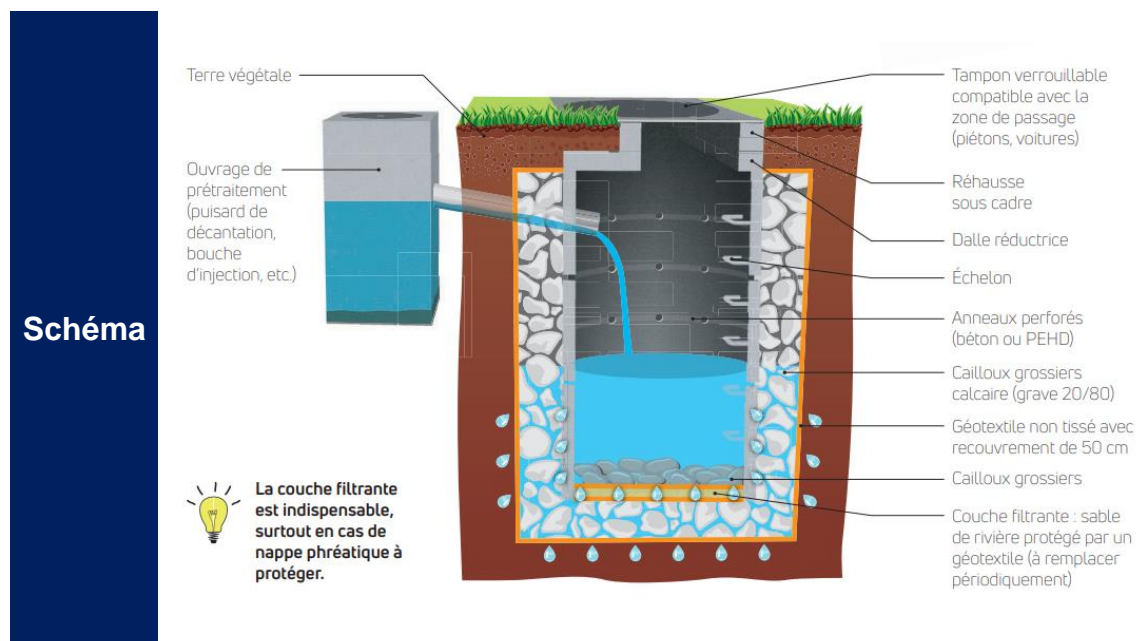


Figure 1 : Fonctionnement technique illustré par un schéma [7]

2. REGLEMENTATION DE REFERENCE

Pas de réglementation de référence trouvée

3. MODALITÉS DE MISE EN ŒUVRE

3.1. ECHELLE

Petite Moyenne Grande



3.2. ETUDE PREALABLE ET CONCEPTION

3.2.1. TYPES DE PUIITS D'INFILTRATION

Type	Fonctionnement
Cavité vide	À l'extérieur, entre la paroi du puits et le sol, une couche de graviers ou un matériau poreux est placé pour renforcer, soutenir et préserver la structure, ainsi que pour protéger les ouvertures dans les parois. Un géotextile est placé entre cette couche et le sol pour empêcher le déplacement de particules fines entre les couches.
Cavité remplie de pierres et de graviers	L'intérieur des puits est rempli de ballasts et de graviers, ce qui améliore la filtration des polluants et évite le besoin de renforcer la structure extérieure. Un géotextile est placé entre les pierres et les parois du puits.

Tableau 1 : les différents types remplissage d'un puits d'infiltration [4 ; 5]

3.2.2. MISE EN ŒUVRE

Lors de travaux impliquant l'infiltration d'eaux de pluie dans les sols, une étude géotechnique doit être menée afin de déterminer la possibilité et la quantité de l'infiltration. On surveillera particulièrement plusieurs aspects :

- Si la nature du sol permet l'infiltration (sols gypseux ou karstiques sensibles... [4]),
- Si les sols ne présentent pas des taux trop élevés de pollutions,
- La profondeur de la nappe doit être supérieure à 1 mètre,
- La perméabilité des sols,

CONSTRUCTION

Dimensionnement en fonction de [2 ; 3] :

- L'étude de **perméabilité du sol** ;
- L'analyse de la **période de retour des précipitations** selon la législation locale

Installation :

- **Minimum 1 m entre le fond du puits et le niveau de la nappe** [3]
- Dans la partie la plus basse du terrain [1 ; 4];
- **Distance minimale au bâtiment égale à la profondeur** du puits [1 ; 4];
- **Ne pas construire près des plantes à racines destructives et profondes** (solution : utiliser une système anti-racine) [1 ; 2 ; 4];

GESTION DE L'EAU

- Il faut que l'eau **s'infilte en moins de 24 h** (cas idéal) et au **maximum 48 h** [3] ;
- **Interdiction de construire dans les zones de nappe utilisées pour la production d'eau potable** ;
- L'installation d'un **dispositif de décantation en amont** permet de prévenir l'obstruction et facilite la décontamination de l'eau [1 ; 2].

3.3. TRAVAUX

3.3.1. MATERIAUX

- Élément préfabriqué en béton armé ;
- Géotextile ;
- Gravier roulés de remplissage ;
- Sable.

3.4. ENTRETIEN

3.4.1. MODALITES

Principales maintenances	Lieu d'application	Description	Fréquence	Observation
Décolmatage [1 ; 2]	Regard à décantation	Retirer tout ce qui est possible	Au moins deux fois par an et au besoin	Entretien préventif
Renouveler la couche de sable [4]	Au fond des puits	Si l'eau met plus de 48 h à sortir du puits d'infiltration après une pluie, il faut renouveler la couche de sable	Au besoin	Plus fréquent sur des sols moins perméables.

Tableau 2 : Les types d'entretien

3.4.2. DURÉE DE VIE

Environ 25 ans avec des entretiens réguliers et de 3 à 5 ans sans entretien.

3.5. ACTEURS

Conception	Bureau d'étude
Entretien	Services de la municipalité
	Prestataires de services

Tableau 3 : Les acteurs du projet

4. ASPECTS ÉCONOMIQUES



Les coûts sont donnés à titre indicatif. Des variations locales sont possibles.

Opération	Investissement
Fourniture seule	600 à 900 €
Fourniture et pose	1 300 à 1 800 €
Curage	80 à 100 €/an

Tableau 4 : L'aspect économique du projet

5. IMPACTS

Impacts Positifs et Négatifs		Puits d'infiltration
Gestion de l'eau pluviale	Infiltration	2
	Rétention	1
	Transport du surplus	1
Multifonctionnalité des sols	Cycle de l'eau naturel (stockage et infiltration)	1
	Cycle naturel du carbone (stockage, filtration, transformation)	0
	Cycle des nutriments (stockage, filtration, transformation)	0
	Support de végétation	0
	Biodiversité des sols	0
Mise en œuvre	Echelle de fonctionnement	0
	Flexibilité	-1
	Contraintes de dimensionnement/mise en œuvre	0
	Contraintes de fonctionnement/gestion	
Pollution de l'eau et des sols	Performances d'abattement	0
	Risque de relargage en cas de pollution des sols sous-jacents	-1
Biodiversité (diversité et quantité)	Faune	
	Flore	
Adaptation et atténuation climatique	Mitigation globale des îlots de chaleur urbains	0
	Bilan carbone	?
Aménités	Confort thermique/Ombre-fraîcheur	0
	Accès espaces verts	-1
Aspects sociaux-économiques	Attractivité	0
	Cohésion sociale	
	Entretien	2
	Traitement des eaux	
	Durabilité	?
	Coût initial de mise en œuvre	

Tableau 5 : Les impacts positifs et négatifs de l'implantation du puits d'infiltration

-1 : Risques associés
0 : Pas de lien
1 : Co-bénéfices
2 : Bénéfices
? : Réponse non évidente, dépend de la solution mise en œuvre
Vide : non renseigné

PUITS D'INFILTRATION

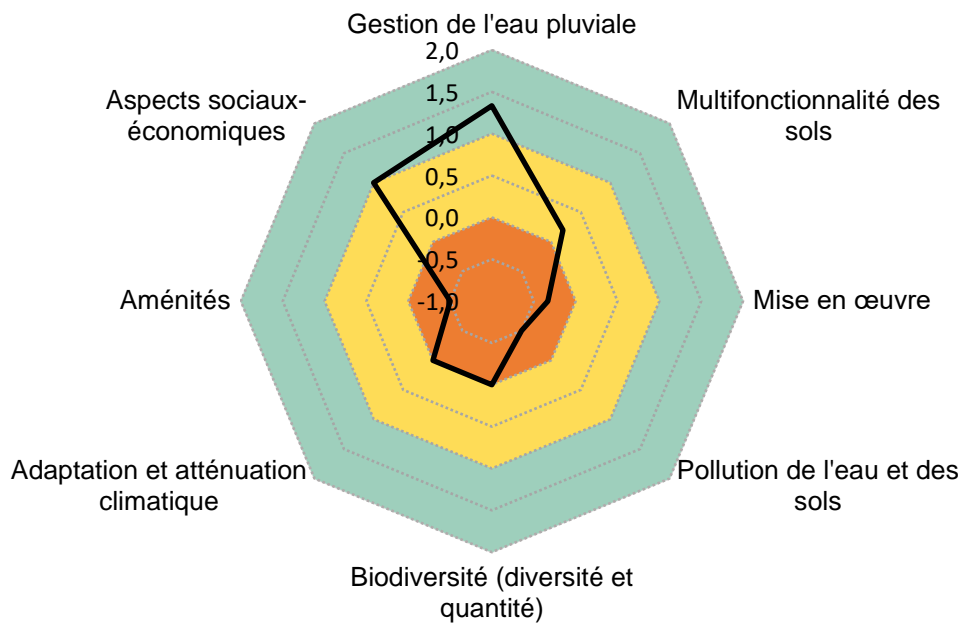


Figure 2 : Impacts positifs et négatifs des puits d'infiltration

6. ANALYSE DU CYCLE DE VIE

6.1. ECOCONCEPTION

Les graviers sont des matières premières non renouvelables, mais ils peuvent être remplacés par du gravier roulé provenant d'une filière de recyclage [4]

6.2. MATERIAUX : FILIERES DE VALORISATION EXISTANTES

Matériaux	Valorisation
Graviers roulés	Recyclage
Géotextile	Valorisé thermiquement
Élément préfabriqué en béton armé	Recyclage
Sable	Recyclage

Tableau 6 : Les filières de valorisation des matériaux utilisés [4 ; 6]

7. RECOMMANDATIONS

Il est recommandé que les puits d'infiltration soient facilement accessibles, avec une zone tampon sécurisée dimensionnée en fonction de l'utilisation prévue du site pour faciliter son entretien. Dans le cas où il peut être soumis à une circulation occasionnelle, il doit être doté d'une dalle de répartition en béton pour stabiliser le terrain [2].

Afin d'éviter son colmatage, il est recommandé de construire les puits d'infiltration à la fin des travaux pour éviter le transport de particules fines provenant du chantier [1 ; 4].

L'étude de sol en profondeur est indispensable pour connaître sa composition. Il est déconseillé d'installer cette solution sur des terrains gypseux et karstiques, car cela peut entraîner des risques de dissolution de la roche et provoquer une instabilité du sol. De plus, dans les terrains karstiques, des fissures peuvent apparaître, contribuant ainsi au transfert de polluants. Il est également préférable d'éviter les sites avec un sol pollué et un trafic automobile élevé [4].

RÉFÉRENCES

- [1] ADOPTA. *La boîte à outils des techniques alternatives : LE PUIITS D'INFILTRATION* [en ligne]. Douai, 2019. Fiche technique. Disponible sur : https://adopta.fr/wp-content/uploads/2019/12/Adopta-Technique-08_compressed.pdf
- [2] GRAND ALBIGEOIS. *Puits d'infiltration* [en ligne]. 2022. Fiche technique. Disponible sur : https://www.grand-albigeois.fr/wp-content/uploads/2022/08/FICHE_2_EAUX_PLUVIALES_Puits-dinfiltration.pdf
- [3] GINGER BURGEAP. *Dimensionnement d'un puits d'infiltration des eaux pluviales* [en ligne]. 2022. Réf : CEAUIF221066 / REAUF05615-02. Disponible sur : <https://www.seine-et-marne.gouv.fr/contenu/telechargement/54709/397010/file/Etude+GINGER+B.pdf>
- [4] IBGE. *Le puits* [en ligne]. Bruxelles, 2010. – FICHE INFORMATIVE OUTIL GESTION EAU DE PLUIE OGE06. Disponible sur : <https://acc-gbd.environnement.brussels/sites/default/files/documents/2014-03/24949-if-eco-construction-oge06-puits.pdf>
- [5] WALLONIE ENVIRONNEMENT SPW. *Gestion durable des eaux pluviales a la parcelle en zone urbanisable : fiche informative outil de gestion des eaux pluviales - Le puits* [en ligne]. 2020. Fiche n° 14. Disponible sur : http://jesuishesbignon.be/wp-content/uploads/2020/03/fiche_14_puits.pdf
- [6] WALLONIE ENVIRONNEMENT SPW. *Gestion durable des eaux pluviales a la parcelle en zone urbanisable : fiche informative outil de gestion des eaux pluviales - La noue* [en ligne]. 2020. Fiche n° 09. Disponible sur : http://jesuishesbignon.be/wp-content/uploads/2020/03/fiche_09_noues.pdf
- [7] EUROCCITER : *Fondements de notre Urbanisme Durable*, 2023. Disponible sur : <https://www.eurocciter.fr/urbanisme-bioclimatique>

Version V1.0 du 15 décembre 2023

RÉSINE DRAINANTE

1. DESCRIPTION GÉNÉRALE

La combinaison de graviers et de résine, appelée résine drainante, présente de nombreux avantages pour des raisons décoratives et environnementales. Les espaces entre les graviers permettent d'obtenir un revêtement hautement perméable, ce qui en fait un outil efficace pour la gestion des inondations urbaines et la réduction de l'écoulement superficiel. La résine drainante est généralement utilisée dans des espaces tels que les allées, les zones piétonnes, aires de jeu etc. Les différentes couleurs proposées permettent aussi de diminuer les effets des îlots de chaleur urbains. Sa composition lui confère des propriétés antidérapantes et une surface douce pour la marche, ce qui la rend adaptée pour les espaces destinés aux enfants et facilite également les déplacements des personnes à mobilité réduite (PMR).



Aire de jeu en résine drainante –
Alissas



Cours d'école en résine drainante

1.1. FONCTIONNEMENT TECHNIQUE

La résine drainante doit être appliquée sur une couche de fondation ayant une perméabilité minimale de 10^{-6} m/s. Celle-ci est généralement composée de GNT (grave non traitée) ou de dalles alvéolaires remplies de graviers [2]. Un géotextile est placé entre la fondation et le fond de forme pour empêcher la migration de particules fines entre les couches. Si le fond de forme a une perméabilité inférieure à 10^{-6} m/s, il faut installer un drain pour évacuer l'eau. Pour utiliser la résine drainante dans des zones de circulation de véhicules légers, il est possible de réaliser la fondation en dalles alvéolés ou en asphalte poreux pour donner plus de force à la structure.

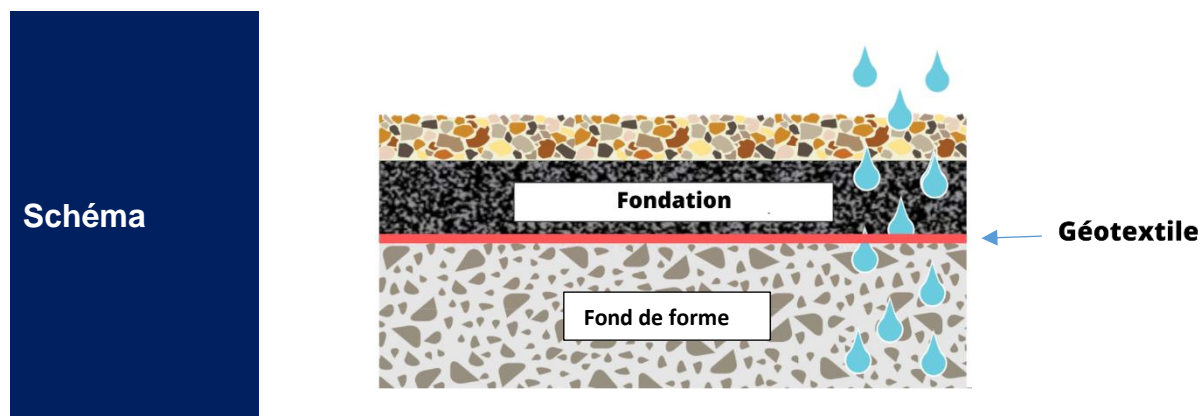


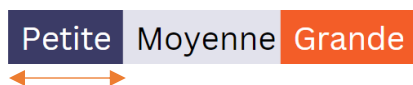
Figure 1 : Fonctionnement technique illustré par un schéma (adapté de [1])

2. REGLEMENTATION

Pas de réglementation particulière trouvée.

3. MODALITÉS DE MISE EN ŒUVRE

3.1. ECHELLE



Généralement à petite échelle, cette solution est très utilisée au pied des arbres de rue, pour faire des zones piétonnes, des allées de jardin, des aires de jeu [3 ; 7].

3.2. ETUDE PREALABLE ET CONCEPTION

Lors de travaux impliquant l'infiltration d'eaux de pluie dans les sols, une étude géotechnique doit être menée afin de déterminer la possibilité et la quantité de l'infiltration. On surveillera particulièrement plusieurs aspects :

- Si la nature du sol permet l'infiltration (sols gypseux ou karstiques sensibles...),
- Si les sols ne présentent pas des taux trop élevés de pollutions,
- La profondeur de la nappe doit être supérieure à 1 mètre,
- La perméabilité des sols.

Fondation

Composée de **graves non traitées** ou des **dalles alvéoles** [4 ; 5 ; 7]. La composition du support doit être définie par le bureau d'étude en charge du projet.

Résistance

Sa **résistance varie en fonction de l'épaisseur** du revêtement, qui doit être choisie en fonction du type de fondation, de l'utilisation prévue du site et de la dimension des graviers utilisés [4 ; 7]. La résine drainante est aussi **résistante au gel**.

3.3. TRAVAUX

3.3.1. MATERIAUX

- Résine : Polyuréthane ou Epoxy
- Granulats de taille variable : marbre, quartz, sable, gravier, granulats de pierre naturelle
- Geotextile
- Gravier de fondation

3.3.2. MISE EN ŒUVRE

Il n'est pas recommandé d'appliquer la résine drainante par temps froid ou très chaud et/ou sec [7].

3.4. ENTRETIEN

3.4.1. MODALITES

Principales maintenances	Lieu d'application	Description	Fréquence	Observation
Rénovation	Surface	Appliquer un produit rénovant pour lustrer	Au besoin après quelques années	La résine, après quelques années, perd de son éclat à cause de l'exposition au soleil
Nettoyage	Surface	Balayer	Au besoin	
		Jet d'eau (basse ou haute pression)		
		Appliquer un produit pour dégraisser et retirer des mousses [6]	Tous les 5 ans	

Tableau 1 : Les types d'entretien

3.4.2. DURÉE DE VIE

Autour de 25 ans [6]. Elle varie en fonction de l'utilisation du site et diminue en cas de passage de véhicules, en particulier les poids-lourds [7].

3.5. ACTEURS

Conception	Bureau d'étude spécialisé
Entretien	Services de la municipalité
	Prestataires de services

Tableau 2 : Les acteurs du projet

4. ASPECT ÉCONOMIQUE



Les coûts sont donnés à titre indicatif. Des variations locales sont en effet possibles.

Opération	Investissement
Résine drainante	Entre 23 et 50 €/m ²

Tableau 3 : L'aspect économique du projet

5. IMPACTS

Impacts Positifs et Négatifs		Résines drainantes
Gestion de l'eau pluviale	Infiltration	1
	Rétention	2
	Transport du surplus	1
Multifonctionnalité des sols	Cycle de l'eau naturel (stockage et infiltration)	1
	Cycle naturel du carbone (stockage, filtration, transformation)	0
	Cycle des nutriments (stockage, filtration, transformation)	0
	Support de végétation	0
	Biodiversité des sols	0
Mise en œuvre	Echelle de fonctionnement	1
	Flexibilité	2
	Contraintes de dimensionnement/mise en œuvre	2
	Contraintes de fonctionnement/gestion	
Pollution de l'eau et des sols	Performances d'abattement	1
	Risque de relargage en cas de pollution des sols sous-jacents	-1
Biodiversité (diversité et quantité)	Faune	0
	Flore	0
Adaptation et atténuation climatique	Mitigation globale des îlots de chaleur urbains	1
	Bilan carbone	0
Aménités	Confort thermique/Ombre-fraîcheur	1
	Accès espaces verts	-1
Aspects sociaux-économiques	Attractivité	
	Cohésion sociale	
	Entretien	?
	Traitement des eaux	
	Durabilité	?
	Coût initial de mise en œuvre	

Tableau 4 : Les impacts positifs et négatifs de l'implantation de résines drainantes

-1 : Risques associés
0 : Pas de lien
1 : Co-bénéfices
2 : Bénéfices
? : Réponse non évidente, dépend de la solution mise en œuvre
Vide : non renseigné

RÉSINE DRAINANTE

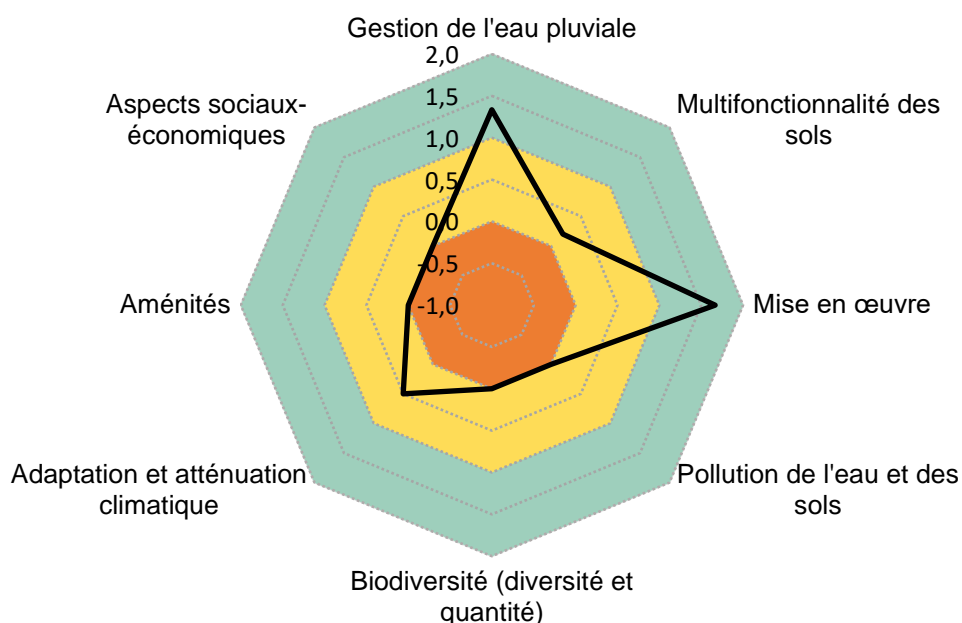


Figure 2 : Impacts positifs et négatifs de la résine drainante

6. ANALYSE DU CYCLE DE VIE

Les graviers sont des matières premières non renouvelables, mais ils peuvent être remplacés par du gravier roulé provenant d'une filière de recyclage.

Matériaux	Valorisation
Résine drainante	Après traitement, elle pourra être réutilisée en remblais [7].

Tableau 5 : Les filières de valorisation des matériaux utilisés

7. RECOMMANDATIONS

Il est possible d'utiliser la résine drainante pour rénover les sites auparavant recouverts de ciment et d'asphalte perméables, en appliquant une couche de résine et en créant un système d'écoulement latéral à collecter [1].

RÉFÉRENCES

- [1] CLEARSTONE, 2021. *What is the difference between resin 'bound' and resin 'bonded' surfacing ?* [en ligne]. Disponible sur : https://www.clearstonepaving.co.uk/wp-content/uploads/2019/02/The-difference-between_resin_bound_and_bonded_paving_Clearstone-v3-web.pdf
- [2] ECOGRID, 2016. View larger image case study: a ravishing resin bound stone driveway with ecogrid permeable paving. *Ecogrid* [en ligne]. Disponible sur : <https://ecogrid.co.uk/2016/08/08/case-study-a-ravishing-resin-bound-stone-driveway-with-ecogrid-permeable-paving/>
- [3] HABITATPRESTO, 2023. Résine drainante : ses avantages & le budget à prévoir. *Habitatpresto* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.habitatpresto.com/mag/terrasse-et-amenagements/resine-drainante>
- [4] JDM EXPERT, 2014. Hydro'Way, le revêtement de sol perméable. *JDM Expert* [en ligne]. [sans date]. Disponible sur : <https://www.jdm-expert.com/hydroway-revetement-sol-permeable/>
- [5] LRVISION, 2014. RESINEO® DRAIN HP – résine et granulats de marbre [en ligne]. Castanet-Tolosan. Capacité drainante. Disponible sur : https://de.cdn-website.com/9cde9943435f4eb7a6cb698eaf1f7d23/files/uploaded/_DRAIN_HP_CapaciteDrainante.pdf
- [6] MOQUETTE DE PIERRE, 2021. La durée de vie de la moquette de pierre. *La moquette de pierre : le revêtement de sol technique* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.moquette-pierre.fr/quelle-est-la-longevite-de-la-moquette-de-pierre/>
- [7] SYNDICAT MIXTE D'ACTION POUR L'EXPANSION DE LA GÂTINE, 2011. *La résine* [en ligne]. PARTHENAY. Disponible sur : http://www.intragatine.org/paysgatine/portail2/ressources/guide-materiaux/materiaux-revetement/04-la_resine-guide_materiaux_pays_gatine_2011.pdf

Version V1.0 du 15 décembre 2023

TRANCHÉES DE DRAINAGE

1. DESCRIPTION GÉNÉRALE

Discrète et facile à mettre en œuvre, la tranchée de drainage (ou tranchée drainante / infiltrante) est généralement utilisée dans des espaces restreints pour la gestion des eaux pluviales. De plus, c'est une excellente option pour les terrains plats qui ne favorisent pas la collecte d'eau de pluie par d'autres moyens et qui ont peu d'espace disponible. Elle contribue à réduire l'écoulement en surface, à favoriser l'infiltration des eaux pluviales et, par conséquent, à recharger la nappe phréatique. Son fonctionnement repose sur l'installation d'un drain le long d'un terrain, entouré de pierres, à une profondeur relativement peu profonde et dans un sol perméable.



1.1. FONCTIONNEMENT TECHNIQUE

Les tranchées de drainage (infiltrantes / drainantes) sont des tranchées à fond rectangulaire, recouvertes en surface d'un matériau perméable, remplies de pierres présentant un pourcentage élevé d'espaces vides et munies d'un drain. Elles reçoivent l'eau de pluie et les eaux de ruissellement par des tuyaux, par infiltration ou les deux. L'eau collectée par les tuyaux est soit dirigée vers une station de prétraitement de l'eau pour la rendre plus propre avant de l'infiltrer dans le sol, soit dirigée directement vers le drain. Le drain doit être positionné en hauteur dans la tranchée pour favoriser l'infiltration, qui est la principale responsable de l'évacuation de l'eau. À la fin du drain, un régulateur de débit doit être ajouté, et il peut être connecté au réseau d'assainissement si nécessaire.

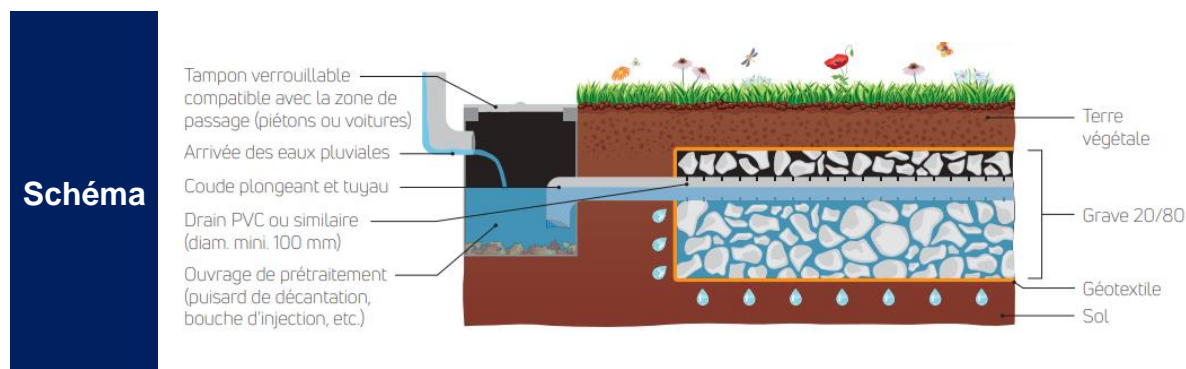


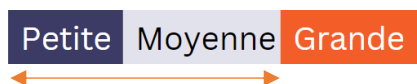
Figure 1 : Fonctionnement technique illustré par un schéma [1]

2. REGLEMENTATION DE REFERENCE

Pas de réglementation pertinente trouvée.

3. MODALITÉ DE MISE EN ŒUVRE

3.1. ECHELLE



Les tranchées de drainage peuvent être utilisées dans les parkings, le long des rues et sur des terrains plats avec peu d'espace pour la gestion de l'eau.

3.2. ETUDE PREALABLE ET CONCEPTION

3.2.1. FORMES D'ALIMENTATION D'EAU

Type	Fonctionnement
Ruissellement direct	L'eau s'écoule jusqu'à la tranchée par une pente faible sur le terrain
Déversement du réseau pluvial	L'eau est collectée sur le terrain par un système de drainage et portée jusqu'à un regard de décantation. Ensuite, elle rejoint la tranchée où elle s'infiltré dans le sol
Ruissellement direct + déversement du réseau pluvial	Reçoit l'eau des deux façons décrites ci-dessus

Tableau 1 : les différents formes d'alimentation d'eau [3]

3.2.2. CONCEPTION ET MISE EN ŒUVRE

Précautions

La tranchée ne doit pas permettre l'infiltration dans le sous-sol si la nappe sous-jacente fournit de l'eau potable [6].

Elle n'est pas recommandée sur les terrains à forte pente [3]. Une réduction des pentes peut être opérée par un système de redans.

La tranchée doit se situer à plus de 2 m de distance des habitations [1].

Il faut éviter des plantes à racines profondes sur la tranchée ou à une distance inférieure à 1 m.

Étude du sol

Une forte teneur en argile du sol peut colmater le système [8].

Les prérequis de l'ouvrage dimensionné dépendent de la réglementation locale, toutefois on trouve certaines indications dans la bibliographie :

- Durée d'**infiltration après orage < 6h**
- Une capacité d'infiltrer l'**écoulement superficiel de deux pluies décennales successives d'intervalle 24 h** [3], est une indication d'une très bonne gestion des eaux pluviales

Mise en œuvre

L'utilisation de graviers fins peut causer le colmatage [2]

Ne pas utiliser des graviers qui contiennent des calcaires trop sensibles à la compression et l'infiltration d'eau [2]

L'application d'un textile évite le transport de particules fines entre le sol et la tranchée [2 ; 7].

Le drain, que ça soit pour des question réglementaires ou d'optimisation de l'infiltration et de la gestion des eaux pluviales doit avoir un système pour réguler le débit (type régulateur de débit).

3.3. TRAVAUX

3.3.1. MATERIAUX

Revêtement de surface	Dalles, pavés poreux, galets, enrobés drainants, gazon
	Géotextile ou couche de sable sous les matériaux pour filtrer les particules.
Intérieur de la tranchée	Graviers
	Drain
L'interface tranchée/sol	Géotextile (antipollution)
	Géomembrane ¹
	Système anti-racines ²

¹ Pour protéger la nappe et/ou le sol, si la tranchée joue un rôle de rétention aussi

² S'il y a des arbres proches

3.4. ENTRETIEN

3.4.1. MODALITE

Un entretien régulier est nécessaire pour éviter le colmatage et la stagnation d'eau, car cela peut engendrer de mauvaises odeurs.

Les principales maintenances	Lieu d'application	Fréquence
Nettoyage	Regard à décantation	Régulièrement (minimum 2 fois/an)
Tonte	Tranchées couvertes d'herbe	Si nécessaire, annuelle dans ce cas.
Retirer les feuilles mortes et les détritrus	Tranchées couvertes de galets	Si nécessaire, annuelle à l'automne minimum
Hydrocurage	Drain	1 ou 2 fois par an et quand nécessaire

Tableau 3 : Les types d'entretien [2]

3.4.2. DURÉE DE VIE

De 5 à 15 ans [4]. Les tranchées situées dans les zones à forte circulation ou à proximité des arbres ont plus de chances de colmatage. Cependant, l'utilisation d'un système de charge et décharge ralentit ce processus et prolonge sa durée de vie [3].

3.4.3. ACTEURS

Conception	Bureau d'étude spécialisé
Entretien	Services de la municipalité
	Prestataires de services

Tableau 4 : Les acteurs du projet

4. ASPECTS ÉCONOMIQUES

A titre indicatif. Les variations locales sont toujours à prendre en compte.

Opération	Investissement
Mise en œuvre	40 à 50 € HT/m ³ ¹
Entretien	0,4 à 0,7 €/m ³ /an

¹ Ce coût peut augmenter selon la complexité du dispositif

Tableau 5 : L'aspect économique du projet

5. IMPACTS

Impacts Positifs et Négatifs		Tranchées de drainage
Gestion de l'eau pluviale	Infiltration	1
	Rétention	2
	Transport du surplus	2
Multifonctionnalité des sols	Cycle de l'eau naturel (stockage et infiltration)	1
	Cycle naturel du carbone (stockage, filtration, transformation)	0
	Cycle des nutriments (stockage, filtration, transformation)	0
	Support de végétation	0
	Biodiversité des sols	0
Mise en œuvre	Echelle de fonctionnement	1
	Flexibilité	2
	Contraintes de dimensionnement/mise en œuvre	2
	Contraintes de fonctionnement/gestion	
Pollution de l'eau et des sols	Performances d'abattement	1
	Risque de relargage en cas de pollution des sols sous-jacents	-1
Biodiversité (diversité et quantité)	Faune	0
	Flore	0
Adaptation et atténuation climatique	Mitigation globale des îlots de chaleur urbains	?
	Bilan carbone	?
Aménités	Confort thermique/Ombre-fraîcheur	?
	Accès espaces verts	-1
Aspects sociaux-économiques	Attractivité	0
	Cohésion sociale	
	Entretien	2
	Traitement des eaux	
	Durabilité	2
	Coût initial de mise en œuvre	

Tableau 6 : Les impacts positifs et négatifs de l'implantation de la tranchée de drainage

-1 : Risques associés
0 : Pas de lien
1 : Co-bénéfices
2 : Bénéfices
? : Réponse non évidente, dépend de la solution mise en œuvre
Vide : non renseigné

TRANCHÉES DE DRAINAGE

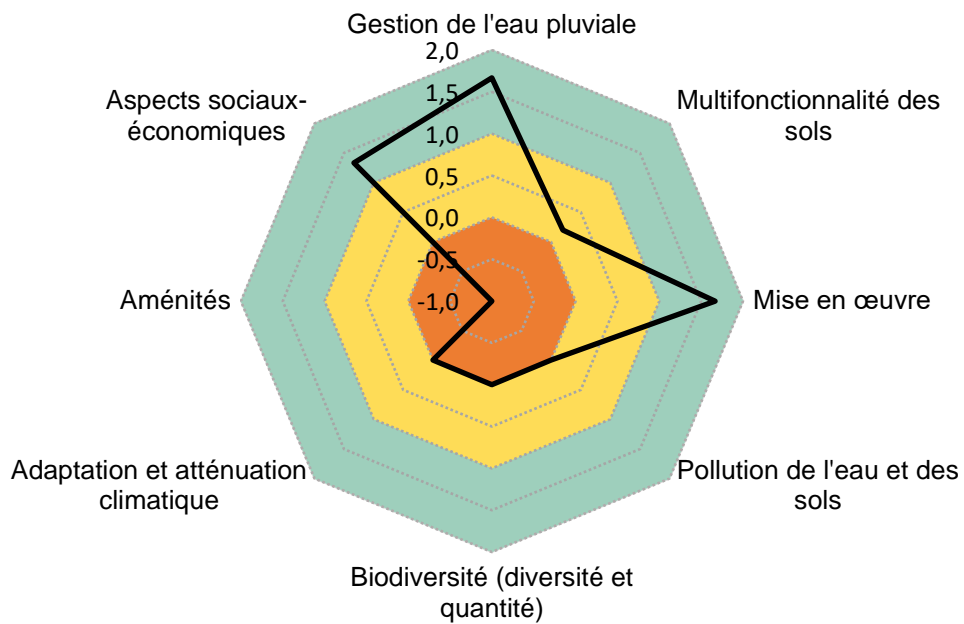


Figure 2 : Impact des tranchées de drainage

6. ANALYSE DU CYCLE DE VIE

Matériaux	Valorisation
Graviers	Réutilisation ou utilisation dans le processus de fabrication d'autres matériaux.
Géotextile	Peut être recyclé par décyclage et/ou valorisé thermiquement.
Drain	Si propre : recyclé par décyclage ; Couramment valorisé thermiquement.
Plantes	Peuvent être compostées

Tableau 7 : Filière valorisation de chaque matériau [9]

7. RECOMMANDATIONS

Si la tranchée est implantée dans des parkings ou dans des zones où il y a un risque de pollution des eaux de ruissellement, il est recommandé d'ajouter un système de prétraitement (décanteur, déshuileur, débourbeur, etc.) au début de la tranchée, afin de nettoyer l'eau avant l'infiltration et de garantir qu'il n'y ait pas de transfert de polluants vers le sol ou la nappe phréatique [3].

Dans le cas où le terrain est souvent humide, en particulier s'il est argileux, il est important de faire attention à sa structure. Une étude du sol doit être réalisée pour comprendre les risques et prendre les mesures nécessaires pour éviter le colmatage (Schwartz, 2012).

7.1. POUR ALLER PLUS LOIN

Dimensionnement

Symasol, dans le *Guide pour la mise en œuvre de techniques alternatives*, décrit comment faire le calcul du volume de rétention des tranchées d'infiltration [6].

Contraintes physiques de conception

Le Ministère des Transports du Québec (MTQ) a produit le *Guide de gestion des eaux pluviales* (2014), qui décrit les différents types de méthodes de gestion des eaux et montre comment faire une tranchée d'infiltration [5].

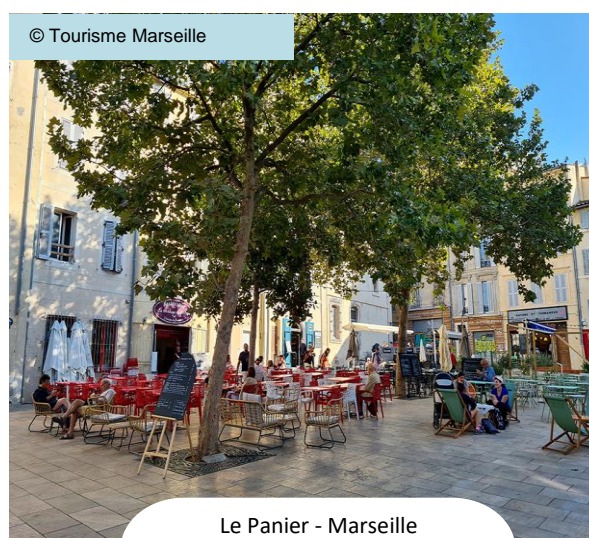
RÉFÉRENCES

- [1] ADOPTA, 2019 *La tranchée d'infiltration* [en ligne]. Douai. Fiche technique. Disponible sur : https://adopta.fr/wp-content/uploads/2019/12/Adopta-Technique-02_compressed.pdf
- [2] COMMUNAUTE D'AGGLOMERATION DE L'ALBIGEIOS, 2022. Tranchées drainantes et d'infiltration. Albi. Fiche technique. Disponible sur : https://www.grand-albigeois.fr/wp-content/uploads/2022/08/FICHE_1_EAUX_PLUVIALES_Tranches-drainantes.pdf
- [3] MCOURS [sans date]. *Les tranchées drainantes / infiltrantes* [en ligne]. Fiche technique 4. Disponible sur : https://www.mcours.net/cours/pdf/info/Fiche_technique_4_Les_tranchees_drainantes_infiltrantes.pdf
- [4] MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PECHERIES ET DE L'ALIMENTATION, [sans date]. La tranchée filtrante, vous connaissez ? *MAPAQ* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Regions/chaudiereappalaches/autresarticles/Drainage/Pages/tranche-filtrante.aspx#:~:text=été%20conçue%20et%20surtout,%20entretenue>
- [5] QUEBEC, 2014. *Guide de gestion des eaux pluviales* [en ligne]. Québec. Disponible sur : <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/pluviales/guide-gestion-eaux-pluviales.pdf>
- [6] SYMASOL, 2016. *Gestion des eaux pluviales : guide pour la mise en œuvre de techniques alternatives* [en ligne]. Genève. Disponible sur : https://www.gesteau.fr/sites/default/files/brochure-symasol_isbn_web.pdf SYMASOL. Les tranchées.
- [7] TRAVAUX BÉTON, 2019. Réalisation d'une tranchée drainante : rôle, travaux, devis... *Travaux béton* [en ligne]. Disponible sur : <https://travauxbeton.fr/realisation-tranchee-drainante/>
- [8] WIKIPEDIA, 2008. Percolation trench. *Wikipedia, the free encyclopedia* [en ligne]. Disponible sur : https://en.wikipedia.org/wiki/Percolation_trench
- [9] WALLONIE ENVIRONNEMENT SPW, 2020. Gestion durable des eaux pluviales a la parcelle en zone urbanisable : fiche informative outil de gestion des eaux pluviales - La noue [en ligne]. Fiche n° 09. Disponible sur : http://jesuishesbignon.be/wp-content/uploads/2020/03/fiche_09_noues.pdf

ARBRES DE RUE

1. DESCRIPTION GÉNÉRALE

L'intégration d'arbres dans les tissus urbains présente de nombreux avantages. Source d'aménités et de bien-être pour tous, ils jouent aussi un rôle notable dans la gestion durable des eaux pluviales urbaines. Leur capacité de rétention par drainage et de transpiration permet à la fois de réduire les conséquences des fortes précipitations et des inondations associées ainsi que celles des fortes chaleurs. Ils ont aussi pour avantage la création d'un environnement plus agréable, en termes de confort thermique mais aussi en termes de paysage, tout en préservant de la biodiversité urbaine [1 ; 3].



1.1. FONCTIONNEMENT TECHNIQUE

Les arbres jouent un rôle essentiel dans la rétention de l'eau et la réduction des ruissellements urbains dans les villes. Leurs systèmes racinaires absorbent l'eau de pluie, permettant ainsi de réduire le volume d'eau qui s'écoule rapidement dans les réseaux d'assainissement. Les arbres agissent comme des éponges naturelles, capturant l'eau et la retenant dans le sol, ce qui contribue à prévenir les inondations et à réguler le cycle hydrologique urbain. Cette capacité de rétention des arbres permet également de recharger les nappes phréatiques et de maintenir l'humidité du sol. En limitant le ruissellement des eaux de pluie, les arbres contribuent à améliorer la qualité de l'eau en réduisant les polluants, et en favorisant l'infiltration et la filtration naturelle.

Schéma

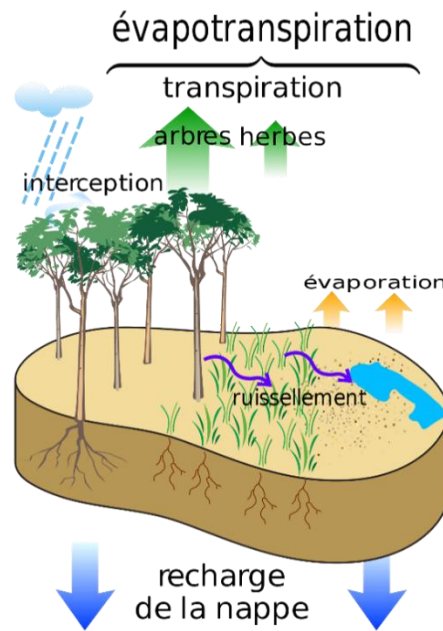


Figure 1 : Fonctionnement technique illustré par un schéma [10].

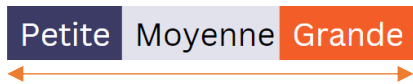
2. RÉGLEMENTATION DE RÉFÉRENCE

Caractéristique	Réglementation de référence
Les conditions techniques à respecter pour les plantations nouvelles sur routes nationales hors agglomération	Circulaire n° 84-81 du 2 novembre 1989
Routes départementales	Règlement de voirie départementale approuvé par arrêté du Président du Conseil Général de l'Eure le 8 octobre 1990 – Article 63 à 68
Routes nationales	Arrêté préfectoral n° D3/B4-07-156 portant sur le règlement de l'occupation du domaine public routier national – Article 6.5 à 6.7
Voies ferrées	Article 3 de la loi du 15 juillet 1845
	Arrêté préfectoral du 1er septembre 1934
Lignes électriques	Article L322-5 du Code Forestier
Lignes téléphoniques	Pas de réglementation de distance.
	Les plantations ne doivent pas gêner ou compromettre le fonctionnement des lignes téléphoniques.
Canalisations, conduites et réseaux souterrains	Articles 15 et 16 du décret du 16 mai 1959

Tableau 1 : Réglementation de référence pour la mise en œuvre des arbres de rue.

3. MODALITÉS DE MISE EN ŒUVRE

3.1. ECHELLE



Un seul arbre ou une répartition linéaire de plusieurs arbres.

Si l'objectif est d'accroître la gestion de la quantité d'eau, il est recommandé de viser la plus grande quantité d'arbres possible.

3.2. ETUDE PREALABLE ET CONCEPTION

3.2.1. MISE EN ŒUVRE

Lors de travaux impliquant l'infiltration d'eaux de pluie dans les sols, une étude géotechnique doit être menée afin de déterminer la possibilité et la quantité de l'infiltration. On surveillera particulièrement plusieurs aspects :

- Si la nature du sol permet l'infiltration (sols gypseux ou karstiques sensibles...),
- Si les sols ne présentent pas des taux trop élevés de pollutions,
- La profondeur de la nappe doit être supérieure à 1 mètre,
- La perméabilité des sols.

3.2.2. VOLUME D'EAU GERABLE

Échelle

Le volume d'eau à gérer varie en fonction de :

- La taille ;
- Le type d'arbre [3 ; 10] ;
- La surface perméable autour [1].

Ruissellement

Même avec une **petite zone perméable environnante**, les arbres parviennent à réduire le ruissellement par rapport à ce qui est généré par des surfaces imperméables et **une seule fosse de plantation arborée peut ralentir le ruissellement** [1 ; 3]. Il est recommandé de rediriger les ruissellements environnants vers la fosse.

Stockage de l'eau

Les arbres stockant l'eau dans leurs racines et leur canopée intercepte efficacement l'eau de pluie [2 ; 3].

3.2.3. LE SOL

Le type de sol exerce une influence sur l'infiltration, le développement des racines et la surface de la canopée, et il est donc essentiel de le concevoir soigneusement en fonction des objectifs du projet [1].

Type

Les **sols structuraux**¹ renforcent les arbres, ce qui permet de favoriser la croissance des racines, d'y améliorer la rétention d'eau, de développer la canopée, d'augmenter la transpiration et en conséquence d'abaisser la température locale. [1 ; 3]

Structures modulaires

L'**utilisation de structures modulaires** en surface est possible, mais cela entraîne une augmentation des coûts des plantations des arbres. Ce type d'infrastructure est recommandé uniquement si d'autres travaux sont prévus sur le site [3]

Préparation

Il est souvent nécessaire de décompacter préalablement le sol. [6]

¹ Mélange de sol minéral et pierres ou graviers grossiers

3.2.4. LES ARBRES

Comment choisir

- Choisir des espèces d'arbres **adaptées à l'objectif et à l'emplacement du projet.**
- Tenir compte du **climat de la région** tout au long de l'année et dans le futur (y compris les périodes de canicule, les températures en hiver et en été).
- La sélection d'arbres **entre 8 et 10 ans**, déjà bien développés donne un meilleur aspect [7]. Cependant **des arbres plus petits** sont mieux adaptés aux problèmes de sécheresses et à la gestion de l'arrosage.
- L'utilisation de *Sésame*, l'outil en ligne du Cerema, pour l'intégration des arbres dans les projets de renaturation urbaine est conseillé.

La disposition

- L'arrangement spatial peut prendre en compte des objectifs de confort thermique (ombrage), des contraintes emplacement projet mais aussi de la continuité écologique urbaine. [5]
- Il est important de prendre en compte les contraintes locales, principalement sur des sites historiques [5].
- Les plantations linéaires sont souvent utilisées dans les zones urbaines denses, tandis que les arbres isolés sont généralement placés dans les centres urbains et les petites places [5].
- Vérifier les normes applicables pour s'assurer que la disposition choisie est conforme à la réglementation

3.3. TRAVAUX

3.3.1. MATERIAUX

Autour des arbres, des aménagements peuvent être prévus, il faudra alors choisir soigneusement les matériaux, en fonction de l'emplacement de plantation des arbres et des objectifs de ces aménagements [4 ; 5]. On trouve parmi ces matériaux :

- Mulch organique
- Mulch minéral
- Stabilisés poreux à pH neutre
- Enrobés perméables en caoutchouc
- Enrobés perméables à la résine
- Grille métallique
- Protection du tronc en métal ou en bois (parkings)
- Protection solaire pour le tronc

3.3.2. ACTEURS

Métier	Opération	Fréquence usuelle
Paysagiste	Choisir la meilleure espèce pour chaque finalité [5].	Une fois la conception du projet
Spécialiste de l'arbre		
Ingénieur urbaniste	Faire l'analyse du site du projet pour choisir le meilleur endroit pour chaque arbre [5].	Une fois dans la conception du projet
Services Publiques	Faire les entretiens et vérifications maladies	Régulièrement

Tableau 2 : Les acteurs du projet

3.4. ENTRETIEN

3.4.1. MODALITE

Entretien **typique des espaces verts** avec fréquence régulière.

3.4.2. DURÉE DE VIE

La durée de vie dépend de la taille de l'arbre et de son environnement. D'environ **15 ans** pour un arbuste en bord de voirie à environ **80 ans** pour un arbre de taille importante [7]. Si les arbres sont intégrés dans une autre solution fondée sur la nature pour la gestion des eaux, leur durée de vie est prolongée [3].

3.4.3. FIN DE VIE

Action à prendre	Description
Abattage pour raison de sécurité	Si l'arbre présente des problèmes structuraux. Cela peut être conséquence d'un parasite, sécheresse, inondation, accident de circulation, etc. [7].
Problématique de pollution des sols	Si le bassin versant de l'arbres montre des risques particuliers de pollutions (voirie, ou autres sources notables), il est conseillé de traiter les déblais en filière de dépollution adaptée.

Tableau 3 : Filières de valorisation des arbres de rue en fin de vie,

4. ASPECT ÉCONOMIQUE



A titre indicatif. Les variations locales et par rapport à l'âge et taille de l'arbre sont notables.

Opération	Investissement
Mise en œuvre et entretien les 5 premières années pour des arbres jeunes	Environ 400 € /arbre ¹
Abattage	Varie en fonction de la taille de l'arbre, de l'endroit où il se trouve et de la technique utilisée.

Tableau 4 : L'aspect économique du projet [6]

¹ Dépend du type et de la taille de l'arbre

5. IMPACTS

Impacts Positifs et Négatifs		Arbres de rue
Gestion de l'eau pluviale	Infiltration	1
	Rétention	0
	Transport du surplus	0
Multifonctionnalité des sols	Cycle de l'eau naturel (stockage et infiltration)	2
	Cycle naturel du carbone (stockage, filtration, transformation)	1
	Cycle des nutriments (stockage, filtration, transformation)	1
	Support de végétation	1
	Biodiversité des sols	1
Mise en œuvre	Echelle de fonctionnement	0
	Flexibilité	2
	Contraintes de dimensionnement/mise en œuvre	2
	Contraintes de fonctionnement/gestion	
Pollution de l'eau et des sols	Performances d'abattement	?
	Risque de relargage en cas de pollution des sols sous-jacents	-1
Biodiversité (diversité et quantité)	Faune	2
	Flore	2
Adaptation et atténuation climatique	Mitigation globale des îlots de chaleur urbains	2
	Bilan carbone	2
Aménités	Confort thermique/Ombrage-fraîcheur	2
	Accès espaces verts	1
Aspects sociaux-économiques	Attractivité	3
	Cohésion sociale	
	Entretien	0
	Traitement des eaux	
	Durabilité	0
	Coût initial de mise en œuvre	

Tableau 5 : Les impacts positifs et négatifs de l'implantation des arbres de rue

-1 : Risques associés
0 : Pas de lien
1 : Co-bénéfices
2 : Bénéfices
? : Réponse non évidente, dépend de la solution mise en œuvre
Vide : Non renseigné

ARBRES DE RUE

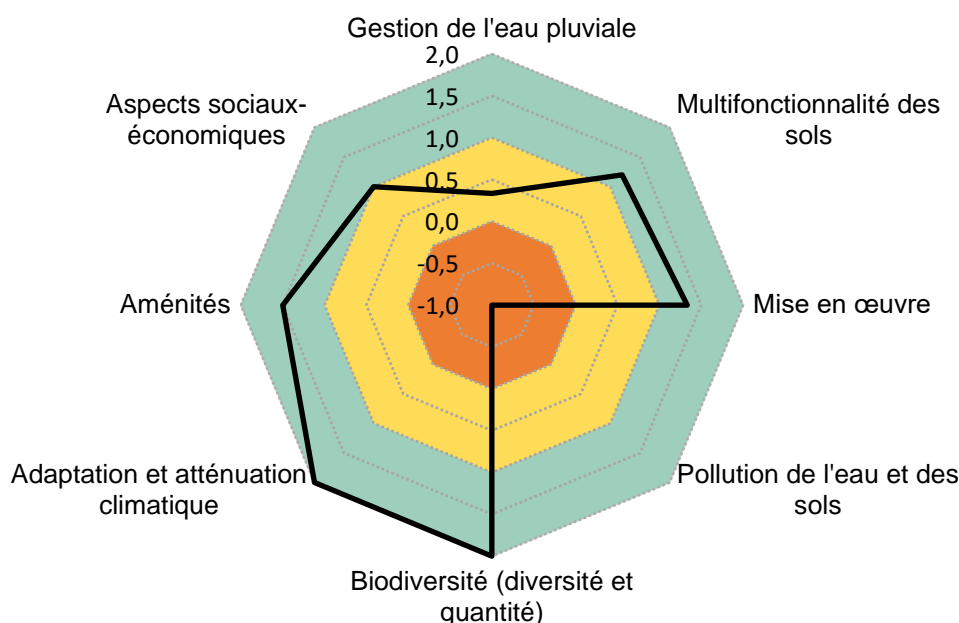


Figure 2 : Impacts positifs et négatifs des arbres de rue

6. RECOMMANDATIONS

Pour assurer une longue durée de vie aux arbres, il est essentiel de prendre en compte plusieurs facteurs. Tout d'abord, les arbres devraient être choisis en fonction du type de sol, du niveau de pollution environnant et des conditions pédoclimatiques spécifiques ainsi que du projet. Il est également important d'évaluer les conditions climatiques pendant la période de plantation des arbres, ainsi que les variations de température estivales et hivernales dues au changement climatique [8]

Lorsqu'il s'agit de projets impliquant la plantation de plusieurs arbres, il est recommandé de procéder à une intercalation judicieuse. Cela signifie choisir des arbres ayant des fonctions, des âges et des comportements saisonniers différents. Cette approche favorise la diversité végétale et offre une meilleure résilience aux écosystèmes arborés.

Pour assurer une bonne croissance et protection des arbres nouvellement plantés, quelques mesures sont préconisées. Il est recommandé de placer des tuteurs en bois autour des arbres pour les soutenir et les protéger pendant les premières années. De plus, l'application d'une protection solaire sur les troncs peut aider à prévenir les dommages causés par une exposition excessive au soleil. Un suivi régulier doit également être effectué au cours des trois premières années pour s'assurer que les arbres s'adaptent correctement à leur environnement et restent stables [4 ; 7].

Enfin, lors du choix des emplacements pour la plantation des arbres, il est préférable de privilégier des zones perméables. Cela permet une meilleure infiltration de l'eau dans le sol et réduit les problèmes de ruissellement. Il est également crucial de prendre en compte l'intégration future de l'arbre dans son environnement, en évitant toute interférence avec les infrastructures existantes telles que les trottoirs ou les câbles aériens [4]. L'aménagement autour de l'arbres est important et les bordures et la topographie peuvent être conçues pour conduire l'eau de ruissellement vers les plantations.

En suivant ces recommandations, il est possible de créer des espaces arborés durables, favorisant la santé des arbres et leur adaptation aux conditions changeantes de l'environnement urbain.

6.1. POUR ALLER PLUS LOIN

Guide technique de mise en œuvre

« *Arbres en milieu urbain : Guide de mise en œuvre* » [5] est un guide technique pour intégrer les arbres aux infrastructures urbaines, mettant l'accent sur les voiries, espaces publics et parkings. Solutions innovantes pour la climatisation urbaine et la gestion des eaux de pluie. Essentiel pour les professionnels de l'urbanisme et les élus locaux.

Outils en ligne Sésame du Cerema pour l'intégration des arbres dans les projets de renaturation urbaine.

Guide technique de choix des arbres

Le document « *L'arbre, l'essence de la ville : l'outil sésame pour faire les bons choix* » [4] présente l'outil SESAME du Cerema pour choisir les essences d'arbres adaptées aux projets urbains. Il met en avant les avantages pour la biodiversité, la qualité de l'air et le climat urbain, avec des exemples concrets et des retours d'expérience. Une ressource précieuse pour l'aménagement urbain.

RÉFÉRENCES

- [1] ARMSON, D., P. STRINGER et A. R. ENNOS., 2013. The effect of street trees and amenity grass on urban surface water runoff in Manchester, UK. *Urban Forestry & ; Urban Greening* [en ligne]. **12**(3), 282–286. ISSN 1618-8667. Disponible sur : doi:10.1016/j.ufug.2013.04.001.
- [2] BARTENS, Julia et al., 2008. Can urban tree roots improve infiltration through compacted subsoils for stormwater management ? *Journal of Environmental Quality* [en ligne]. **37**(6), 2048–2057. ISSN 0047-2425. Disponible sur : doi:10.2134/jeq2008.0117.
- [3] BERLAND, Adam et al., 2017. The role of trees in urban stormwater management. *Landscape and Urban Planning* [en ligne]. **162**, 167–177. ISSN 0169-2046. Disponible sur : doi:10.1016/j.landurbplan.2017.02.017
- [4] CEREMA, 2022. *L'arbre, l'essence de la ville - L'outil Sésame pour faire les bons choix* [en ligne]. Disponible sur : <https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/592029/l-arbre-l-essence-de-la-ville-l-outil-sesame-pour-faire-les-bons-choix#:~:text=Votre%20identifiant-,L'arbre,%20l'essence%20de%20la%20ville%20-%20L,pour%20faire%20les%20bons%20choix&text=Le%20contexte%20de%20la%20crise,équilibre%20et%20d'attractivité%20incontournable.>
- [5] TREES AND DESIGN ACTION GROUP, 2016. *Arbres en milieu urbain : guide de mise en œuvre* [en ligne]. ISBN 978-0-9928686-3-5. Disponible sur : <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-27234-arbres-ville.pdf>
- [6] VILLE DE GRENOBLE, 2017. 2 700 arbres plantés en 3 saisons ...et 700 supplémentaires d'ici la fin de l'hiver ! *Dossier de presse* [en ligne]. Disponible sur : https://www.grenoble.fr/uploads/Externe/96/470_610_2-700-arbres-plantés-en-3-saisons.pdf
- [7] PARIS, 2023. Tout savoir sur l'arbre à Paris. *Paris.fr, site officiel de la Ville de Paris* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.paris.fr/pages/l-arbre-a-paris-199>
- [8] POURIAS, Jeanne, 2009. Un aperçu des problématiques d'actualité en foresterie urbaine : l'exemple des forêts urbaines nantaises. *Revue Forestière Française* [en ligne]. (5) [consulté le 20 juillet 2023]. ISSN 1951-6827. Disponible sur : doi:10.4267/2042/31530.

- [9] SELMI, Wissal et Jacques TELLER, 2019. *Bénéfices rendus par les arbres de la ville de Liège* [en ligne]. Liège : LEMA. Résultats préliminaires. Disponible sur : http://www.apisbruocsella.be/sites/default/files/5_FR_Selmi_Teller_Arbres_Liegeois_Eco_system%20services.pdf.
- [10] WIKIPÉDIA. Évapotranspiration. *Wikipédia, l'encyclopédie libre* [en ligne]. 13 juin 2005. Disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Évapotranspiration>

BANDES ENHERBÉES

1. DESCRIPTION GÉNÉRALE

Les bordures vertes sont des surfaces végétalisées à côté de surfaces imperméables, en général à proximité de routes et de voies ferrées. Elles sont généralement recouvertes d'herbes, de buissons, d'arbustes et/ou de petits arbres. En raison de la sécurité routière, elles doivent être entretenues régulièrement [4] mais ne constituent généralement pas des surfaces utilisables pour les piétons.



1.1. FONCTIONNEMENT TECHNIQUE

Les bandes enherbées reçoivent l'eau des écoulements de la zone imperméable autour d'elles. Leur longueur leur permet de filtrer la pollution diffuse qui atteint le site, de réduire la vitesse de l'écoulement d'eau, de diminuer l'érosion sur le site en favorisant aussi l'infiltration de l'eau dans une grande zone.

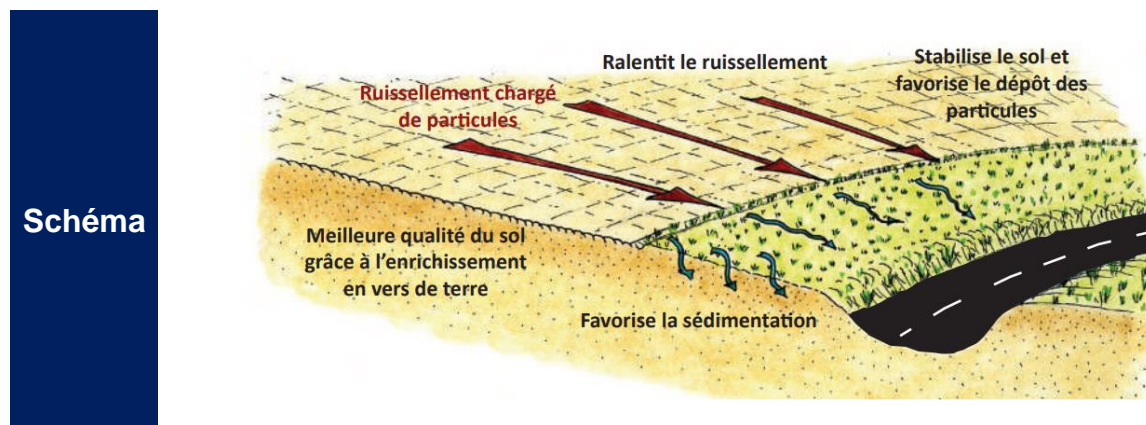


Figure 1 : Fonctionnement technique illustré par un schéma [1]

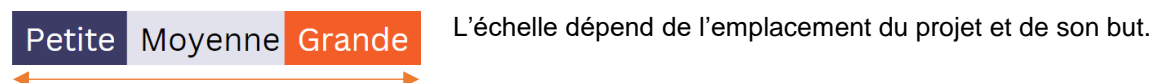
2. RÉGLEMENTATION DE RÉFÉRENCE

Caractéristique	Réglementation de référence
Graines	Directive d'exécution (UE) 2021/971 de la commission du 16 juin 2021

Tableau 1 : Réglementation de référence pour la mise en œuvre des bandes enherbées.

3. MODALITÉS DE MISE EN ŒUVRE

3.1. ECHELLE



3.2. ETUDE PREALABLE ET CONCEPTION

3.2.1. CONSTRUCTION

Végétation

La végétation habituelle des bandes enherbées se compose d'espèces herbacées et parfois de petits arbustes et/ou de petits arbres. La fonction principale de cette couche consiste à lutter contre l'érosion du sol.

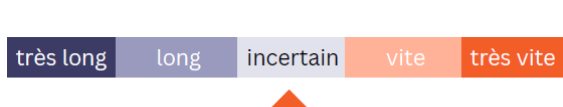
Terre végétale

La terre végétale est la couche de substrat où la végétation est plantée, en général elle a une profondeur d'au moins 150 mm.

Sol renforcé

La dernière couche est un type de couche de drainage qui se compose de différentes granulométries. La construction doit être profonde d'au moins 300 mm.

3.2.2. TEMPS D'IMPLANTATION



Pour l'implantation, les semences doivent germer et pousser, l'atteinte du résultat peut durer jusqu'à 1 an pour des plantations basses, beaucoup plus longtemps pour des plantations hautes.

Les arbustes et les arbres prendront pleinement racine en fonction de la taille de la plante, qui elle-même dépend de la profondeur et des conditions spécifiques du substrat, ainsi que de son entretien. Il s'agit donc d'une structure complexe.

Ex. : si un arbre de grande taille est planté, la pleine croissance peut être atteinte très rapidement. Un arbre jeune et de petite taille peut mettre 5 à 10 ans à grandir.

3.3. ENTRETIEN

3.3.1. MODALITES

Entretien **typique des espaces verts** avec fréquence régulière, mais besoin moins important d'irrigation.

3.3.2. DURÉE DE VIE

Un mélange équilibré de plantes vivaces persistantes permet d'avoir un système autosuffisant. Mais il est également courant de changer la plantation en termes de valeur esthétique de manière régulière et saisonnière.

3.3.3. ACTEURS

Conception	Paysagistes
Entretien	Services de la municipalité
	Services des citoyens par le biais d'actions civiques pour le jardinage urbain

Tableau 2 : Les acteurs du projet

4. ASPECT ÉCONOMIQUE

Les éléments de coût sont donnés à titre indicatif. Des variations locales sont possibles.

Possibles économies en termes de gestion et de maintenance dues à une coupe moins fréquente.

Opération	Investissement
Mise en œuvre	10 à 70 €/m ² *
Entretien	1 à 2,5 €/m ² /an [2]

Tableau 3 : L'aspect économique du projet

* Arbres compris

5. IMPACTS

Impacts Positifs et Négatifs		Bandes végétales
Gestion de l'eau pluviale	Infiltration	1
	Rétention	0
	Transport du surplus	0
Multifonctionnalité des sols	Cycle de l'eau naturel (stockage et infiltration)	2
	Cycle naturel du carbone (stockage, filtration, transformation)	1
	Cycle des nutriments (stockage, filtration, transformation)	1
	Support de végétation	1
	Biodiversité des sols	1
Mise en œuvre	Echelle de fonctionnement	1
	Flexibilité	2
	Contraintes de dimensionnement/mise en œuvre	
	Contraintes de fonctionnement/gestion	
Pollution de l'eau et des sols	Performances d'abattement	?
	Risque de relargage en cas de pollution des sols sous-jacents	-1
Biodiversité (diversité et quantité)	Faune	
	Flore	
Adaptation et atténuation climatique	Mitigation globale des îlots de chaleur urbains	2
	Bilan carbone	1
Aménités	Confort thermique/Ombrage-fraîcheur	1
	Accès espaces vert	
Aspects sociaux-économiques	Attractivité	2
	Cohésion sociale	
	Entretien	0
	Traitement des eaux	
	Durabilité	0
	Coût initial de mise en œuvre	

Tableau 4 : Les impacts positifs et négatifs de l'implantation d'une bande enherbée

-1 : Risques associés
0 : Pas de lien
1 : Co-bénéfices
2 : Bénéfices
? : Réponse non évidente, dépend de la solution mise en œuvre
Vide : Non renseigné

BANDES ENHERBÉES

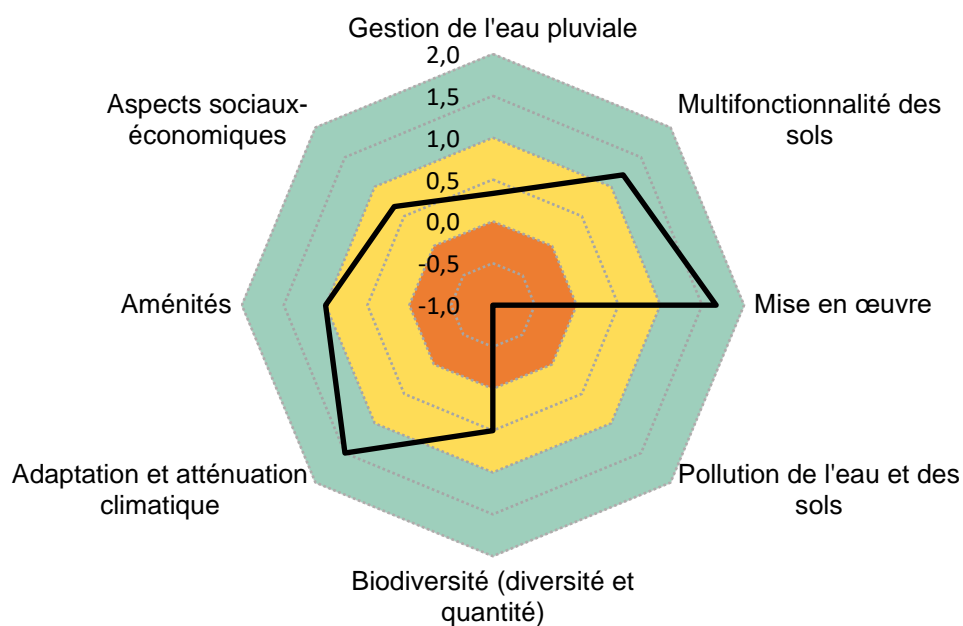


Figure 2 : Impacts positifs et négatifs des bandes enherbées

6. ANALYSE DU CYCLE DE VIE

Matériaux	Valorisation
Les plantes	Compostage
Le sol/substrat	S'il est amélioré, peut être recyclé

Tableau 5 : Les filières de valorisation des matériaux utilisés

7. RECOMMANDATIONS

7.1. POUR ALLER PLUS LOIN

Guide technique

Des informations sur la manière de planifier les bandes vertes en tenant compte des facteurs de sécurité et de végétation sont disponibles dans le guide technique "La Végétation, outil d'aménagement" [5].

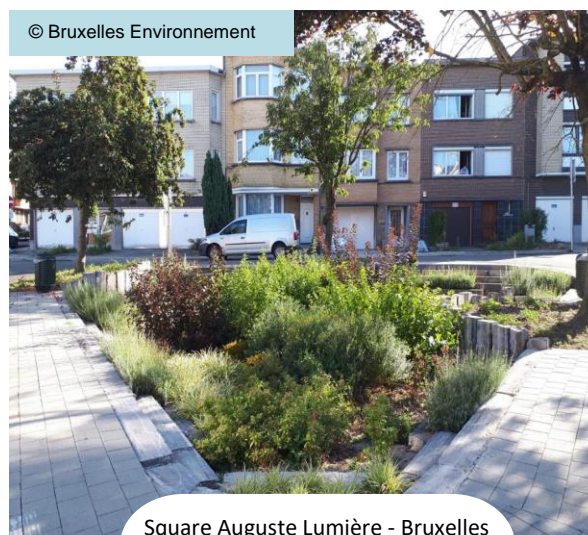
RÉFÉRENCES

- [1] FDC 81, 2018. *Les Bandes Enherbées : Guide de gestion pour les agriculteurs*.
- [2] GALK, 2012. Kennzahlen für die Erstellung und Unterhaltung von Grünanlagen. Récupéré sur : http://www.galk.de/arbeitskreise/ak_organisationsbetriebswirt/down/kennzahlen_eschenbruch_120529.pdf
- [3] LBAP, nA. Roadside verges. Local Biodiversity Action Plan. Récupéré sur : <http://www.cheshirewildlifetrust.org.uk/sites/default/files/files/Roadside%20verges.pdf>
- [4] MARTÍNEZ Carlos Hidalgo, 2016. Infrastructure asset management for nature-based solutions (NBS): a guidance for collecting asset information and data for NBS maintenance management Application at Trondheim district (Norway). Norwegian University of Science and Technology. Disponible sur : https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2415580/15825_FULLTEXT.pdf?sequence=1
- [5] Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes [SETRA], 1994. Guide technique : LA VEGETATION, OUTIL D'AMENAGEMENT. Disponible sur : <https://dtrf.cerema.fr/pdf/pj/Dtrf/0000/Dtrf-0000751/DT751.pdf?openerPage=notice>
- [6] SULLIVAN O., 2017. Optimising UK urban road verge contributions to biodiversity and ecosystem services with cost-effective management. Disponible sur : <http://www.cheshirewildlifetrust.org.uk/sites/default/files/files/Roadside%20verges.pdf>

JARDINS DE PLUIE

1. DESCRIPTION GÉNÉRALE

Un jardin de pluie (ou cellule de biorétention) sert principalement de méthode de gestion de l'eau (rétention et infiltration) à petite échelle, en particulier dans les zones urbaines. Les jardins de pluie sont établis dans un environnement artificiel et captent les eaux de ruissellement des toits, des routes et d'autres surfaces imperméables environnantes. Les eaux de ruissellement sont drainées dans les jardins de pluie, où elles sont stockées pendant un certain temps, puis s'infiltrent soit dans le sol, soit dans le système d'assainissement. Une certaine quantité d'eau est absorbée et transpirée par les plantes. Outre leur fonction de stockage et d'infiltration des eaux pluviales, les jardins de pluie ont des fonctions esthétiques. Ils ne sont pas limités par les conditions climatiques et peuvent être trouvés dans différents pays européens.



1.1. FONCTIONNEMENT TECHNIQUE

Les jardins de pluie sont principalement situés dans les zones les plus basses du terrain, où ils reçoivent l'eau par ruissellement ou par canalisation. À son arrivée, la vitesse d'écoulement de l'eau diminue et elle est retenue dans le jardin. Pendant l'infiltration, les plantes et le substrat retiennent une partie des polluants présents. Cet effet peut être renforcé ou réduit en fonction des types de plantes utilisés et des polluants présents sur le site. Le schéma ci-dessous illustre différentes conceptions de cellules de biorétention. Une pente faible, comme celle observée dans les cas B et D (Figure 1), favorise l'arrivée de l'eau par ruissellement. L'ajout d'un drain souterrain n'est nécessaire que si le jardin n'infiltré pas l'eau dans un délai de plus de 48 heures. De plus, l'utilisation d'un géotextile (D) est nécessaire si l'eau arrivant est particulièrement polluée, afin d'éviter toute contamination du sol et de la nappe phréatique.

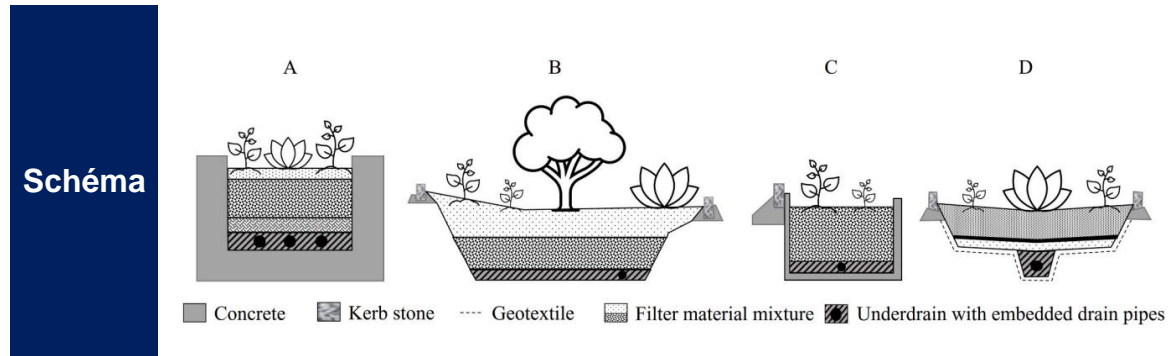


Figure 1 : Les différents types de jardin de pluie [18].

2. RÉGLEMENTATION DE RÉFÉRENCE

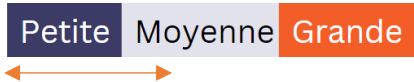
Caractéristique	Méthode d'essai
Construction des systèmes de biorétention	CSA W201-18
Conception des systèmes de biorétention	CSA W200-18

Table 1 : Réglementation de référence pour la mise en œuvre des jardins de pluie.

3. MODALITÉS DE MISE EN ŒUVRE

3.1. ECHELLE

Adapté pour une superficie de bassin versant de 1 ha maximum [17]. La surface est fonction de la partie imperméable du terrain et dépend de la zone drainée et du type de sol [12].



3.2. ETUDE PREALABLE ET CONCEPTION

3.2.1. MISE EN ŒUVRE

Lors de travaux impliquant l'infiltration d'eaux de pluie dans les sols, une étude géotechnique doit être menée afin de déterminer la possibilité et la quantité de l'infiltration. On surveillera particulièrement plusieurs aspects :

- Si la nature du sol permet l'infiltration (sols gypseux ou karstiques sensibles...),
- Si les sols ne présentent pas des taux trop élevés de pollutions,
- La profondeur de la nappe doit être supérieure à 1 mètre,
- La perméabilité des sols.

3.2.2. BASSIN VERSANT

Source de l'eau	Pente	Placement
Alimentation par [9] : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Écoulement canalisé ▪ Ruissellement superficiel 	Entre 1 et 5% avec une limite de 20% . Une pente raide augmentera la vitesse de ruissellement et l'érosion [9].	Utiliser la topographie du terrain et construire la biorétention au point le plus bas pour minimiser la nécessité de travaux de terrassement [9].

3.2.3. CHOIX DES PLANTES ET DU SOL

Il est important que l'aspect paysager se rapproche d'un **écosystème naturel** [17 ; 1].

Les plantes et les sols utilisés doivent être :

- Adaptés au climat de la région
- Résistants à la fois aux périodes d'inondation et sécheresse

3.2.4. DIMENSIONNEMENT

Sols

Les jardins peuvent être construits dans la plupart des types de sols.

Si l'infiltration du sol n'est pas favorable, il faut ajouter un **drain souterrain** afin de garantir le temps de vidange prévu (maximum 48h) [9 ; 17 ; 16]

Surface de l'aire de biorétention

5 à 10% de la surface imperméable du bassin versant concerné. [17].

Système de trop-plein ou de contournement

Ils gèrent des volumes d'eau relativement faibles. Pour cette raison, il faut avoir un **système pour évacuer l'eau excédentaire** d'une pluie plus importante que celle qui était utilisée pour le dimensionnement [17].

Volume de stockage

- Le volume à traiter est calculé par rapport à la hauteur d'une pluie fréquente (sur 10 ans généralement) [9].
- La hauteur maximale devrait être prévue entre 150 et 300 mm.
- Surface minimale de l'ordre de 20 m² [17].
- Les jardins de pluie doivent avoir la capacité de recevoir l'eau qui vient du déplacement de l'endroit où ils sont [19]

Nappe phréatique

Distance minimale de 1m de la nappe phréatique [17].

3.2.5. POLLUTION

Type de pollution

Évaluez le type de pollution diffuse existant pour choisir le meilleur type de végétation, substrat et géotextile capable de retenir les polluants [17 ; 19 ; 21]. Des taux de pollution trop élevés peuvent interdire l'infiltration, ce qui devra être pris en compte dans la conception.

Prétraitement

Il faut **prétraiter l'eau si elle apporte des grosses particules** lorsqu'elle arrive au jardin de pluie **afin d'éviter le colmatage**. Pour cela, il existe différentes solutions (bande filtrante, tranchée de pierre, paillis, cellule de prétraitement ou séparateur hydrodynamique).

3.3. TRAVAUX

3.3.1. MATERIAUX

- Végétation
- Substrat ¹
- Matériaux de drainage ²
- Réseau de drains perforé ³
- Géotextile ³

[21]

¹ Les cellules de biorétention plus simples ont juste une couche de filtration, mais elles peuvent être plus développées. Cela dépend du but du projet. Pour savoir les meilleures conditions pour chaque couche et leur épaisseur, voir l'étude de Flanagan, Branchu et Gromaire (2017).

² Les matériaux de drainage sont de granulométrie intermédiaire et doivent être choisis en fonction de la conductivité hydraulique [9]

³ Si nécessaire

3.4. ENTRETIEN

3.4.1. MODALITE

Entretien **typique des espaces verts** [5].

Les principales maintenances	Opération	Description	Fréquence
Nettoyage	Ramassage des détritiques et des feuilles	Ramasser les feuilles et détritiques qui pourraient obstruer les ouvrages ou gêner les usagers [2].	Standard espaces verts (bi-semestriel environ)
	Balayage	Nettoyer les sols [2].	
Gestion hydraulique	Inspection visuelle	Vérifier le bon fonctionnement [2].	1 fois par an minimum pour s'assurer que le drainage inférieur n'est pas obstrué [12]. Après un événement pluvieux important [17].
	Surveillance	Analyse de qualité de l'eau [2].	2 inspections dans les six premiers mois [17] ; 1 fois par an minimum [2].

Tableau 5 : La fréquence d'entretien par la fonction du jardin [1]

3.4.2. DUREE DE VIE

La durée de vie attendue est d'environ 30 ans (basée sur l'expérience de Lyon) [1].

3.4.3. ACTEURS

Conception	Paysagistes
	Bureaux d'études
Entretien	Services de la municipalité
	Services des citoyens par le biais d'actions civiques pour le jardinage urbain

Tableau 5 : Les acteurs du projet

3.4.4. FIN DE VIE

S'il y a une grande **accumulation des polluants sur les substrats poreux**, il faut les laver avant leur valorisation (réutilisation/recyclage). Les particules fines qui sont récupérées peuvent être gérées comme des déchets ultimes [14].

Matériaux	Valorisation
Graviers roulés et/ou graviers concassés	Les graviers peuvent être réutilisés en tant que tels ou introduits dans la fabrication de certains produits et/ou matériaux.
Géotextile	Peut être recyclé par « downcycling » et/ou valorisé thermiquement (la plupart du temps)
Drain en matière plastique	S'il est propre, peut être recyclé par « downcycling » (broyage en poudre) et réintroduit dans des cycles de production. Couramment valorisé thermiquement.
Membrane EPDM	Si elle est propre, peut être recyclée par « downcycling » et réintroduite dans des cycles de production. Couramment valorisé thermiquement.

Tableau 5 : Les filières de valorisation des matériaux [22].

4. ASPECT ÉCONOMIQUE



A titre indicatif. Les possibilités de variations locales sont notables, notamment selon les choix de végétation.

Opération	Investissement
Construction dans des sols très perméables	16 à 32 €/m ² [12]
Construction dans des sols moins perméables	43 à 65 €/m ² [12]
Réalisation	50 à 100 €/m ³ [15]
Entretien	5 à 10 €/m ² /an [15]

Tableau 6 : Aspect économique du projet

5. IMPACTS

Impacts Positifs et Négatifs		Jardin de Pluie
Gestion de l'eau pluviale	Infiltration	2
	Rétention	1
	Transport du surplus	0
Multifonctionnalité des sols	Cycle de l'eau naturel (stockage et infiltration)	2
	Cycle naturel du carbone (stockage, filtration, transformation)	1
	Cycle des nutriments (stockage, filtration, transformation)	1
	Support de végétation	1
	Biodiversité des sols	1
Mise en œuvre	Echelle de fonctionnement	0
	Flexibilité	1
	Contraintes de dimensionnement/mise en œuvre	
	Contraintes de fonctionnement/gestion	
Pollution de l'eau et des sols	Performances d'abattement	?
	Risque de relargage en cas de pollution des sols sous-jacents	-1
Biodiversité (diversité et quantité)	Faune	
	Flore	
Adaptation et atténuation climatique	Mitigation globale des îlots de chaleur urbains	?
	Bilan carbone	1
Aménités	Confort thermique/Ombrage-fraîcheur	1
	Accès espaces verts	
Aspects sociaux-économiques	Attractivité	3
	Cohésion sociale	
	Entretien	0
	Traitement des eaux	
	Durabilité	0
	Coût initial de mise en œuvre	

Tableau 7 : Les impacts positifs et négatifs de l'implantation des jardins de pluie

-1 : Risques associés
0 : Pas de lien
1 : Co-bénéfices
2 : Bénéfices
? : Réponse non évidente, dépend de la solution mise en œuvre
Vide : Non renseigné

JARDINS DE PLUIE

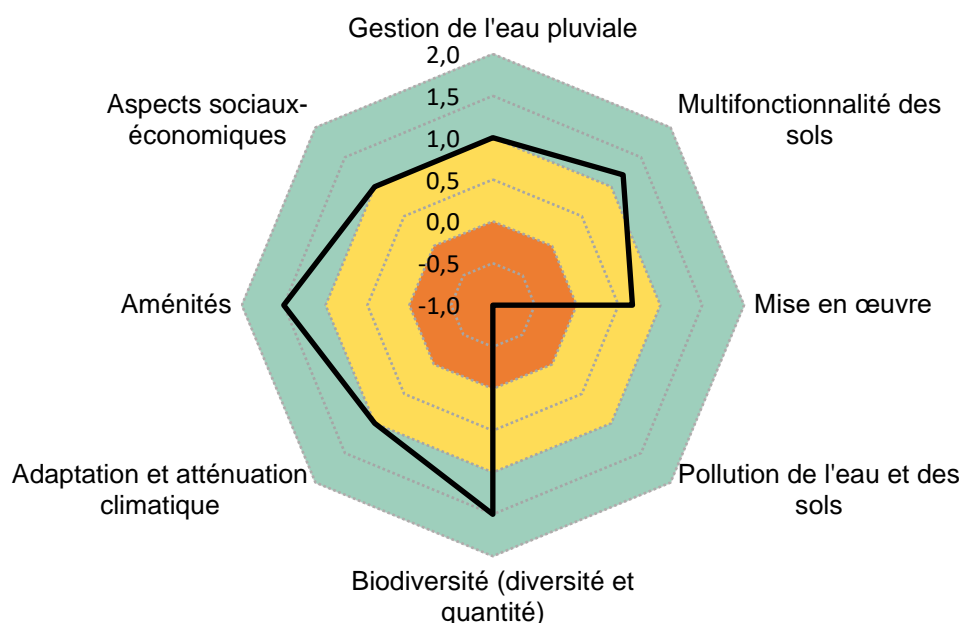


Figure 2 : Impacts positifs et négatifs des enrobés poreux

6. ANALYSE DU CYCLE DE VIE

7. RECOMMANDATIONS

Les plantes influencent directement la performance hydraulique de la cellule de biorétention et elles doivent être choisies avec soin [23]. Considérer le climat lors de la conception du projet est aussi important [9].

Si le sol est pollué, il faut raccorder le jardin au réseau pour éviter le transfert des eaux vers la nappe [1]. Pour minimiser l'érosion, retenir l'humidité, fournir le support nécessaire aux fonctions biologiques, favoriser la décomposition de la matière organique et filtrer les polluants, il est recommandé d'ajouter une couche de paillis. Il est très important aussi de protéger les surfaces perméables contre la compaction pour maintenir l'infiltration [17].

En cas de débit important pouvant causer de l'érosion, il est nécessaire d'aménager des dispositifs pour dissiper l'énergie et minimiser l'érosion (rochers etc...) [12].

Pour les plantes, le paysagiste doit éviter des arbres qui ont des racines agressives, c'est-à-dire, qui ont le potentiel de détruire les drains en cherchant de l'eau, ainsi que les plantes envahissantes [2]. Si l'eau reste accumulée plus de 3 jours, il y a risque de reproduction de moustiques [2 ; 11 ; 15].

7.1. POUR ALLER PLUS LOIN

Guide de conception

Dans [24], vous trouverez toutes les informations nécessaires pour construire un jardin pluvial : de ses dimensions au choix de l'endroit des plantes et des matériaux.

Conception et de maintenance

Flanagan, et al. 2017 [9] ont réuni dans leurs études les informations de multiples guides internationaux sur la conception et la maintenance des jardins de pluie dans les espaces urbains. Dans leur synthèse bibliographique, vous trouverez des paramètres importants à mesurer et à prendre en considération lors de la construction d'une cellule de biorétention.

RÉFÉRENCES

- [1] AGENCE DE L'EAU RMC et GRAND LYON. *Projet Ville Permeable : guide d'aide à la conception et à l'entretien* [en ligne]. Grand Lyon, 2017. Disponible sur : https://www.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/media/pdf/eau/20170926_guide-projet-ville-permeable.pdf
- [2] AGENCE DE L'EAU RMC, 2017. *Projet Ville Permeable : Comment réussir la gestion des eaux pluviales dans nos aménagement ?* Lyon.
- [3] BORST, Michael et al. Swale performance for stormwater runoff. Dans : *Low impact development : new and continuing applications*. American Society of Civil Engineers., 2009, p. 182–190.
- [4] CIRIA. *The SuDS Manual* [en ligne]. London, 2015. Rapport CIRIA C753. Disponible sur : <http://www.scotsnet.org.uk/documents/NRDG/CIRIA-report-C753-the-SuDS-manual-v6.pdf>
- [5] COMITÉ DE BASSIN RHÔNE-MÉDITERRANÉE. *Vers la ville perméable, comment désimpermeabiliser les sols ?* [en ligne]. Lyon, 2017. Disponible sur : https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/585130/vers-la-ville-permeable-comment-desimpermeabiliser-les-sols?_lg=fr-FR
- [6] CREDIT VALLEY CONSERVATION. *Low impact development stormwater management planning and design guide* [en ligne]. Toronto, 2010. Disponible sur : https://files.cvc.ca/cvc/uploads/2014/04/LID-SWM-Guide-v1.0_2010_1_no-appendices.pdf
- [7] CSA, 2018. *W200-18 Design of bioretention systems*. Disponible sur : <https://www.csagroup.org/store/product/W200-18/>
- [8] CSA, 2018. *W201-18 Construction of bioretention systems*. Disponible sur : <https://www.csagroup.org/store/product/2704496/>
- [9] FLANAGAN, Kelsey et al., 2017. Les ouvrages de biorétention: synthèse des guides internationaux de conception et de maintenance des filtres plantés pour traitement à la source des eaux de ruissellement urbaines. *Techniques Sciences Méthodes*, 2017, 12, pp.89-126. ff10.1051/tsm/201712089.
- [10] FLYNN, Kevin M. et Robert G. TRAVER. Green infrastructure life cycle assessment : a bio-infiltration case study. *Ecological Engineering* [en ligne]. 2013, **55**, 9–22. ISSN 0925-8574. Disponible sur : doi:10.1016/j.ecoleng.2013.01.004
- [11] GRAIE. *Comparaison des coûts de différents scénarios de gestion des eaux pluviales* [en ligne]. Métropole de Lyon, 2018. Etude de cas. Disponible sur : http://www.graie.org/graille/grailedoc/doc_telech/Eaux_pluviales_gestion_source_cout_sept18.pdf
- [12] JARRETT, Albert. Rain gardens (bioretention cells) - a stormwater BMP. *Penn State Extension | The Pennsylvania State University* [en ligne]. 24 août 2022. Disponible sur : <https://extension.psu.edu/rain-gardens-bioretention-cells-a-stormwater-bmp>

- [13] KASPRZYK, Magda et al. Technical solutions and benefits of introducing rain gardens – Gdańsk case study. *Science of The Total Environment* [en ligne]. 2022, **835**, 155487 [consulté le 24 juillet 2023]. ISSN 0048-9697. Disponible sur : doi:10.1016/j.scitotenv.2022.155487.
- [14] MÉTROPOLE DE LYON. *Guide méthodologique : Traitement de la pollution des eaux pluviales et protection des milieux aquatiques sur le territoire du Grand Lyon* [en ligne]. 2^e éd. Lyon, 2014. Disponible sur : https://www.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/media/pdf/eau/assainissement/20150126_gl_eauxpluviales_guidepollution.pdf
- [15] NANTES METROPOLE. Volet 4 : dispositifs. Dans : *Intégrer la gestion des eaux pluviales dans son projet : guide pratique à l'usage des professionnels de l'aménagement* [en ligne]. Nantes, 2022, p. 83. Disponible sur : https://metropole.nantes.fr/files/pdf/eau-assainissement/eaux-pluviales/22-09-07_Fiches_volet4_V2.pdf
- [16] PREFET DES BOUCHES-DU-RHONE, 2015. *Rubrique 2.1.5.0 de la loi sur l'eau* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.bouches-du-rhone.gouv.fr/content/download/17288/107810/file/Loi%20sur%20l>.
- [17] QUEBEC. *Gestion des eaux pluviales : aire de biorétention ou jardin de pluie* [en ligne]. Quebec : s.d, [sans date]. Disponible sur : https://www.ville.quebec.qc.ca/gens_affaires/implantation-projets-immobiliers/projets-residentiels/docs/fiches_gestion_eaux_pluviales/1_aire_de_bioretention_ou_jardin_de_pluie.pdf
- [18] SAGRELIUS, Pär Öhrn et al. Sustainability performance of bioretention systems with various designs. *Journal of Environmental Management* [en ligne]. 2023, **340**, 117949 [consulté le 24 juillet 2023]. ISSN 0301-4797. Disponible sur : doi:10.1016/j.jenvman.2023.117949.
- [19] SHAFIQUE, Muhammad et Reeho KIM. Green stormwater infrastructure with low impact development concept : a review of current research. *DESALINATION AND WATER TREATMENT* [en ligne]. 2017, **83**, 16–29 [consulté le 24 juillet 2023]. Disponible sur : doi:10.5004/dwt.2017.20981.
- [20] MHFD. Calculating the WQCV and volume reduction. Dans : *Urban storm drainage criteria manual* [en ligne]. [sans date], p. 18. Disponible sur : <https://mhfd.org/resources/criteria-manual>.
- [21] VIJAYARAGHAVAN, Kuppusamy et al. Bioretention systems for stormwater management : recent advances and future prospects. *Journal of Environmental Management* [en ligne]. 2021, **292**, 112766 [consulté le 24 juillet 2023]. ISSN 0301-4797. Disponible sur : doi:10.1016/j.jenvman.2021.112766.
- [22] WALLONIE ENVIRONNEMENT SPW. *Gestion durable des eaux pluviales a la parcelle en zone urbanisable : fiche informative outil de gestion des eaux pluviales - La noue* [en ligne]. 2020. Fiche n° 09. Disponible sur : http://jesuishesbignon.be/wp-content/uploads/2020/03/fiche_09_noues.pdf
- [23] YU, Shuqi, Huapeng QIN et Wei DING. Modeling the effects of vegetation dynamics on the hydrological performance of a bioretention system. *Journal of Hydrology* [en ligne]. 2023, **620**, 129473 [consulté le 24 juillet 2023]. ISSN 0022-1694. Disponible sur : doi:10.1016/j.jhydrol.2023.129473
- [24] KUKADIA J., LUNDHOLM M., RUSSELL I., 2018. *Designing Rain Gardens: A Practical Guide*, P. Dodd Editor, Published by Urban Design London, 43 pp., <https://www.urbandesignlearning.com/resources/publications/details?recordId=recOcYos3UmeZ9PMw>

MARAIS ET RIPISYLVES

1. DESCRIPTION GÉNÉRALE

Les marais et les ripisylves sont des zones humides présentes le long des rivières, caractérisées par un gradient d'eau douce à salée, et se distinguant par leur type de végétation. Les marais sont constitués d'une végétation herbacée et rampante, tandis que les ripisylves sont couvertes d'une végétation boisée [21]. Ces régions sont riches en nutriments et abritent une faune et une flore complexes, comprenant des espèces endémiques. Ils font partie des écosystèmes les plus productifs de la nature [7 ; 10], et peuvent être utilisés à des fins récréatives tout en jouant un rôle crucial dans le cycle de l'eau. Ces systèmes agissent comme des éponges, en absorbant et en libérant l'eau lentement dans l'environnement, offrant ainsi une excellente solution pour éviter l'engorgement des terres agricoles et les inondations urbaines [9 ; 12]. La restauration de ces zones, en particulier lorsqu'elle est réalisée conjointement avec la mise en place d'autres solutions fondées sur la nature, permet d'éviter les coûts élevés liés aux travaux nécessaires pour faire face aux conséquences des inondations [10].



1.1. FONCTIONNEMENT TECHNIQUE

Les ripisylves et les marais se trouvent le long des rives des rivières, à l'intérieur du lit majeur. Pendant la période de crue des rivières, ces zones [21] sont submergées par les eaux qui s'y répandent et s'infiltrent dans la nappe phréatique. Parmi leurs autres avantages, ils contribuent à réduire l'érosion, ralentissent l'écoulement des eaux, favorisent l'infiltration de l'eau dans le sol et participent à la filtration de l'eau [15].

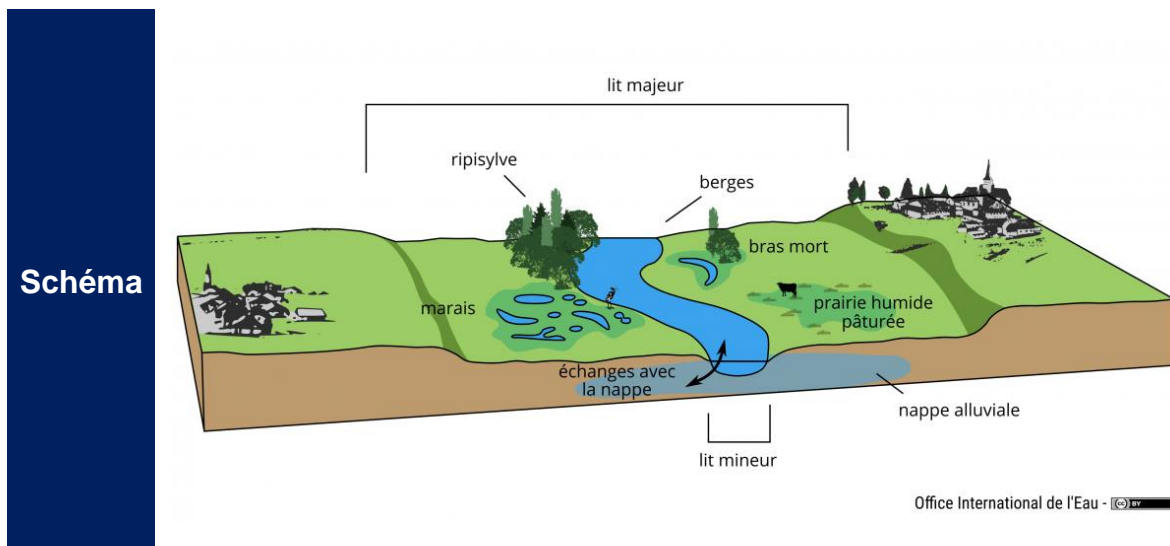


Figure 1 : Fonctionnement technique illustré par un schéma [21].

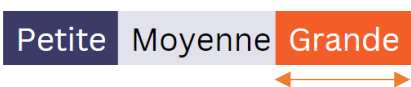
2. RÉGLEMENTATION DE RÉFÉRENCE

Caractéristique	Méthode d'essai
La préservation des zones humides	Art. L.211-1 du code de l'environnement

Tableau 1 : Réglementation de référence pour la restauration des marais et des ripisylves.

3. MODALITÉS DE MISE EN ŒUVRE

3.1. ECHELLE



Une grande échelle est essentielle pour la gestion des eaux provenant des fleuves, et elle est déterminée par les dimensions du lit majeur. Par ailleurs, la taille du site joue également un rôle déterminant dans la préservation à long terme de la biodiversité

[12].

3.2. ETUDE PREALABLE ET CONCEPTION

3.2.1. FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX

La végétation

- Utiliser des **plantes indigènes** ;
- Privilégier les plantes dont les racines sont capables de **stabiliser les berges** et sont **adaptées à l'eau** [11] ;
- Favoriser le développement naturel de la végétation en **laissant de l'espace** pour sa croissance [11].

Le sol

- **Ne pas fertiliser le sol**, car il trouve naturellement son équilibre et l'utilisation de fertilisants perturbe ce processus. [5] ;
- La matière organique extraite lors de la restauration doit être retirée rapidement du site afin qu'elle ne devienne pas du compost [5] ;
- Il est nécessaire d'enlever les drains du sol, si existants

La pente

- **Une pente dans le sol** permet de créer un gradient d'humidité et un milieu divers [22].
- Une **inclinaison inférieure à 20%** est plus favorable à la biodiversité [11].

3.3. TRAVAUX

Les eaux des marais et ripisylves peuvent être douces, saumâtres ou salées. Ils constituent différents environnements et auront donc besoin de différents travaux de restauration écologique [15].

3.4. ENTRETIEN

3.4.1. MODALITE

Entretien **typique des espaces verts**.

Les principales maintenances	Description	Fréquence	Observation
Fauchage	Aide la nature à se stabiliser plus rapidement [5]	Tous les 5 ans ou jamais [19]	Il y a la possibilité d'utiliser des animaux de pâturage , mais le nombre d'animaux ne doit pas dépasser ce que la flore supporte [4 ; 5]
Abattage	Pour enlever les arbres malades [15]	Quand nécessaire	
Suivi écologique	Éliminer des espèces envahissantes [6 ; 14]	Typique des espaces verts, annuelle.	
	Faire le retour d'expérience et évaluer les résultats de la restauration [5]	Varie par rapport à la méthode de suivi choisie	

Tableau 2 : Les types d'entretien

3.4.2. DURÉE DE VIE

Durée de vie indéterminée. Pour prolonger la durée de vie, il faut éviter l'envasement, assurer la qualité des plantes, limiter les espèces envahissantes et éviter des constructions et l'imperméabilisation du sol.

3.4.3. ACTEURS

Conception	Spécialiste en restauration des écosystèmes
Entretien	Services de la municipalité
	Services des citoyens par le biais d'actions civiques pour le jardinage urbain

Tableau 3 : Les acteurs du projet

4. ASPECT ÉCONOMIQUE



A titre indicatif. Il y a la possibilité de large variations locales étant donné la spécificité de chaque projet et le grand nombre d'acteurs.

Opération	Investissement
Restauration écologique dans les plaines alluviales	120 000 €/ha de surface restaurée ¹
Restauration écologique dans les zones intertidales	500 000 €/ha de surface restaurée ¹
Restauration de la ripisylve par plantation	De 9 à 15 €/mètre linéaire de cours d'eau [22]

Tableau 4 : L'aspect économique du projet

¹ Valeurs moyennes de restauration des marais au Reine de 1990 à 2021 [8]

5. IMPACTS

Impacts Positifs et Négatifs		Marais et Ripisylves
Gestion de l'eau pluviale	Infiltration	2
	Rétention	2
	Transport du surplus	0
Multifonctionnalité des sols	Cycle de l'eau naturel (stockage et infiltration)	2
	Cycle naturel du carbone (stockage, filtration, transformation)	2
	Cycle des nutriments (stockage, filtration, transformation)	1
	Support de végétation	1
	Biodiversité des sols	2
Mise en œuvre	Echelle de fonctionnement	2
	Flexibilité	-1
	Contraintes de dimensionnement/mise en œuvre	-1
	Contraintes de fonctionnement/gestion	
Pollution de l'eau et des sols	Performances d'abattement	?
	Risque de relargage en cas de pollution des sols sous-jacents	-1
Biodiversité (diversité et quantité)	Faune	2
	Flore	2
Adaptation et atténuation climatique	Mitigation globale des îlots de chaleur urbains	1
	Bilan carbone	1
Aménités	Confort thermique/Ombre-fraîcheur	1
	Accès espaces verts	2
Aspects sociaux-économiques	Attractivité	3
	Cohésion sociale	
	Entretien	0
	Traitement des eaux	
	Durabilité	0
	Coût initial de mise en œuvre	

Tableau 5 : Les impacts positifs et négatifs de l'implantation d'un marais

-1 : Risques associés
0 : Pas de lien
1 : Co-bénéfices
2 : Bénéfices
? : Réponse non évidente, dépend de la solution mise en œuvre
Vide : non renseigné

MARAIS ET RIPISYLVES

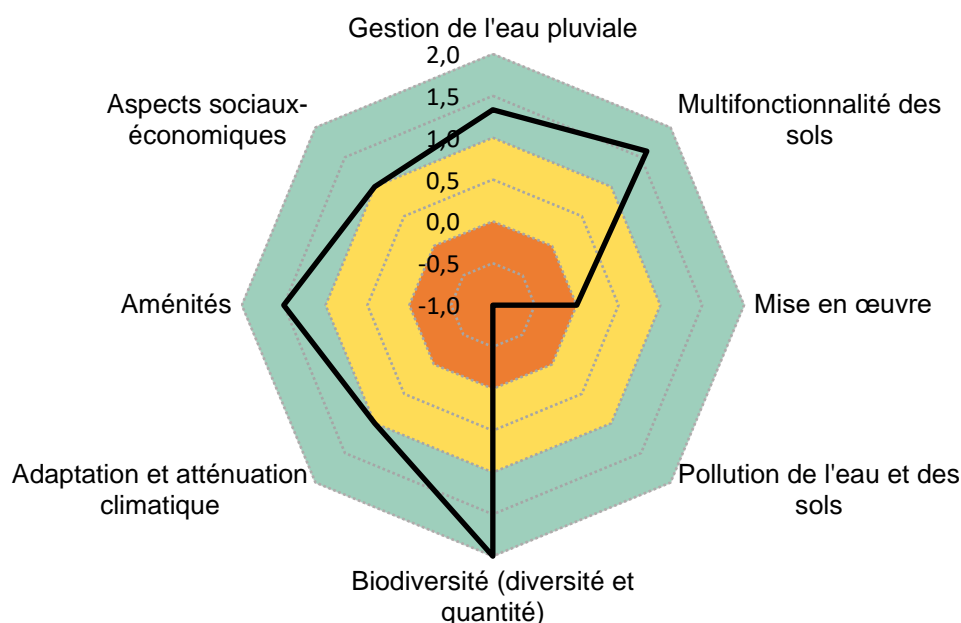


Figure 2 : Impacts positifs et négatifs des marais et ripisylves

6. ANALYSE DU CYCLE DE VIE

Matériaux	Valorisation
Les terres enlevées pour la restauration du site	Doivent être analysées et peuvent être utilisées ailleurs dans la région [9]
Les déchets de fauchage	Compost
	Broyage [2]
	Nourriture pour troupeaux [5]

Tableau 6 : Les filières de valorisation des matériaux

7. RECOMMANDATIONS

Lors de la restauration d'écosystèmes dans des zones de pâturage, il est recommandé d'entourer la zone de ripisylves et de marais, tout en ajoutant des abreuvoirs à des emplacements stratégiques pour prévenir le broutage des animaux dans les zones à préserver [15]. En outre, la protection des rives de la rivière contre le pâturage favorise le développement naturel de la végétation sur le site et contribue au rétablissement des ripisylves [11].

Il est important de noter que la végétation, lorsqu'elle est présente de manière uniforme, agit comme un couloir écologique favorisant la reproduction de la faune et augmentant la capacité de filtration des polluants. Toutefois, il n'est pas nécessaire d'avoir une densité uniforme de végétation pour obtenir ces bénéfices [15].

7.1. POUR ALLER PLUS LOIN

Guides d'entretien

Pour en savoir plus sur l'entretien des marais et ripisylves, nous vous recommandons de lire :

- *L'entretien des marais : de la seudre, d'oléron et de brouage*, (REDEMARAIS, 2017)
- *Guide d'entretien des ripisylves*, Mouchet (2010)

Restauration écologique

En combinant les deux guides suivants, vous disposerez d'une base solide pour guider vos efforts de restauration.

Mettre en place un projet de restauration de zones humides [1] offre des détails pour planifier et mettre en œuvre des projets de restauration.

Le *Document de référence pour la restauration des écosystèmes* [23], propose une approche globale de la restauration des écosystèmes.

7.2. EXEMPLES

Vallée de Saint Ruph-Glière-Eau Morte



Gestion des **risques d'inondation** [18]

77ha de superficie [6]

400 espèces végétales et **354** espèces animales [6]

Figure 3 : Restauration fonctionnelle du marais de Giez Faverges et Doussard [13].

En raison de l'urbanisation et des aménagements effectués dans le passé dans la région de la vallée de Saint Ruph-Glière-Eau Morte, le site a perdu ses fonctions hydrologiques et le marais de Giez Faverges et Doussard s'est déconnecté du régime des inondations. Ce marais fait partie des zones humides du lac d'Annecy. Pour qu'il puisse à nouveau exercer sa fonction et réduire les risques d'inondation, la Communauté de Communes des sources du lac d'Annecy a réalisé un programme de restauration fonctionnelle de la région. Grâce à la restauration, une pluie qui avait créé des inondations en 2015 a pu être gérée par le marais en 2018. En outre, le suivi piézométrique a montré qu'aujourd'hui le marais est de retour à son niveau original [22]. Afin de faire participer la population aux entretiens, des événements participatifs sont organisés pour promouvoir l'apparition d'espèces comme les orchidées rares [3].

Pirmil - Les Isles



Figure 4 : La Ripisylve à Nantes Métropole

Le projet Pirmil - Les Isles est situé à Nantes Métropoles et vise à la réhabilitation d'une ancienne zone industrielle en bord de Loire. Le projet vise à planter 50 000 arbres au total et à préparer la région aux conséquences des changements climatiques.

Dans le cadre du projet se trouve le jardin de la cale Aubin, d'une superficie de 5000 m². Conçu de manière non conventionnelle et respectant le régime de la rivière, le parc est perpendiculaire au fleuve, plutôt qu'horizontalement le long des rives comme d'habitude. Cela a permis de restaurer différentes parties de la berge, y compris la ripisylve, et d'obtenir comme résultat une zone humide la plus proche du naturel. Le jardin a été inauguré en 2022 et en un an, l'apparition de l'Angélique des estuaires, une espèce typique des rives de la Loire mais menacée, a déjà été enregistrée dans le jardin [16 ; 17].

RÉFÉRENCES

- [1] FORUM DES MARAIS ATLANTIQUES, 2009. *Mettre en place un projet de restauration de zones humides* [en ligne]. Rochefort. Disponible sur : https://forum-zones-humides.org/wp-content/uploads/2022/12/ges_marais_4737_guide_projet_restoration_zh.pdf.
- [2] GUERIN, Maxime et Camille BORTOLI, 2021. *Guide DEVIT - Abattage, essouchage, dévitalisation : des clés pour substituer et diversifier ces pratiques au bénéfice de la conservation et de la valorisation des arbres* [en ligne]. 2^e éd. Plante & Cité. Disponible sur : <https://www.plante-et-cite.fr/Ressource/fiche/648>
- [3] BOUVET, Lionel, 2021. Entretien des marais de Giez, près du lac d'Annecy. *ISETA* [en ligne]. Disponible sur : <https://iseta.fr/entretien-des-marais/#:~:text=Il%20faut%20donc%20régulièrement%20,développement%20de%20plusieurs%20orchidées%20rares.>
- [4] POSSÉMÉ, Benoît, 2014. L'entretien des zones humides : quelques règles. *Agricultures et territoires. 2.*
- [5] CONSEIL MUNICIPAL DE MONCEAUX, (s.d.). *Restauration-Entretien du Marais*. Saint Martin Longueau.
- [6] CONSERVATOIRE D'ESPACES NATURELS DE HAUTE-SAVOIE, 2014. *LE MARAIS DE GIEZ, FAVERGES ET DOUSSARD.*

- [7] COSTANZA, Robert, Lisa WAINGER et Carl FOLKE, 1993. Modeling complex ecological economic systems. *BioScience* [en ligne]. **43**(8), 545–555 [consulté le 25 juillet 2023]. ISSN 1525-3244. Disponible sur : doi:10.2307/1311949
- [8] DUVAL, Alexandre, 2021. *Retours d'expérience des mesures de restauration écologique en estuaire de Seine* [en ligne]. Rouen. Rapport de stage. Disponible sur : <https://www.seine-aval.fr/wp-content/uploads/2021/09/2021-Alexandre-Duval-REX-Restauration.pdf>
- [9] EAUFRANCE, 2015. *Les marais mouillés et marais desséchés*. Disponible sur : les zones humides : <http://zones-humides.org/entre-terre-et-eau/diversite-des-milieus-humides/en-france-metropolitaine/schema-diversite-de-2>
- [10] EPA, 2023. *Why are Wetlands Important?* Disponible sur : United States Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/wetlands/why-are-wetlands-important>
- [11] FNE, 2020. *Guide de préservation des ripisylves* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.fne-aura.org/uploads/2020/10/guide-de-preservation-des-ripisylves-2020.pdf>
- [12] GALIPEAU-DELAND, Mélissa, 2012. *Restauration du marais de lavaltrie*. Thèse de master, UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE.
- [13] LE CLUB DES RANDONNEES SAVOYARDES, 2019. *L'Eau Morte de Verthier à Vesonne*. Disponible sur : Les Randonnées Savoyardes Haute Savoie: <https://www.les-randonnees-savoies.fr/randonnees/2019-jeudi-randos-douces/10-10-l-eau-morte-de-verthier-a-vesonne/>
- [14] MEDWET, 2023. *Journée mondiale des zones humides 2023 : Il est temps de restaurer les zones humides*. Disponible sur MedWet: <https://medwet.org/fr/2023/01/world-wetlands-day-2023-its-time-to-wetland-restoration/>
- [15] HUYLENBROECK, Leo, Adrien MICHEZ et Hugues CLAESSENS, 2019. *Guide de gestion des ripisylves* [en ligne]. Namur. Disponible sur : <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/240424/1/ripisylveWEB.pdf>
- [16] NANTES METROPOLE, 2022. *Pirmil–Les Isles : le jardin-test de la cale Aubin ouvre au public*. Disponible sur : Nantes Metropole & Ville: <https://metropole.nantes.fr/actualites/2022/environnement-nature/jardin-cale-aubin>
- [17] NANTES METROPOLE, 2023. *La nature au cœur du futur quartier Pirmil-les-Isles*. Disponible sur : Nantes Metropole & Ville: <https://metropole.nantes.fr/actualites/2023/logement-urbanisme/Pirmil-les-isles-ville-nature>
- [18] OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU, 2019. *Restauration fonctionnelle de la vallée de Saint Rupp–Glière–Eau Morte (74)* [en ligne]. Retour d'expérience n°9. Disponible sur : https://www.oieau.fr/eaudoc/system/files/34239-09_0.pdf
- [19] PAYS DE LA LOIRE ET DE LOIRE-ATLANTIQUE, 2016. Réseaux de marais. *Les services de l'État en Loire-Atlantique* [en ligne]. Disponible sur : <https://www.loire-atlantique.gouv.fr/Actions-de-l-Etat/Environnement/Eaux-et-milieus-aquatiques/Cours-d-eau/Reseaux-de-marais>
- [20] REDEMARAIS, 2020. *L'entretien des marais : de la seudre, d'oléron et de brouage* [en ligne]. Atlantique Offset. Disponible sur : https://www.bassin-de-marenes.com/wp-content/uploads/2020/09/PETR_Livret_Entretien_VF_BD.pdf
- [21] SBVNE, (s.d.). Gestion des rivières. *Syndicat du bassin versant du Né* [en ligne]. Disponible sur : <https://sbvne.fr/gestion-des-rivieres/>
- [22] OFB, (s.d.). Préservation, restauration et réhabilitation des milieux / Priorités d'action 2019-2023. *Le portail technique de l'OFB* [en ligne]. Disponible sur : <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/860>
- [23] PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR L'ENVIRONNEMENT, 2021. *Document de référence pour restaurer la planète. un guide pratique pour guérir la planète* [en ligne]. Disponible sur : https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/ecosystem_restoration_playbook_frenchv3.pdf

MICRO-FORETS URBAINES

1. DESCRIPTION GÉNÉRALE

Les micro-forêts urbaines sont un groupement d'arbres ordinairement en contexte urbain qui peuvent avoir différentes formes et échelles. Tout en contribuant au bien-être psychologique, sociologique et économique de la société [7], les micro-forêts sont une bonne méthode de gestion des eaux pluviales et apportent divers services écosystémiques, car elles interceptent des eaux à travers de la canopée, transpirent et améliorent l'infiltration [2 ; 8]. Elles apportent ainsi un accès aux espaces verts et une mitigation de l'effet d'îlot de chaleur urbain. De plus, L'organisation mondiale de la santé (2012) a recommandé que chaque ville ait un espace vert de 9 m² minimum par habitant.



1.1. FONCTIONNEMENT TECHNIQUE

Les micro-forêts urbaines exercent une influence significative sur le cycle de l'eau. Lors des précipitations, les canopées des arbres interceptent une quantité considérable d'eau. Les gouttes qui atteignent le sol s'infiltrent et peuvent être stockées au niveau de leurs racines. De par cette capacité, ces espaces présentent une température généralement inférieure de 1 à 2 degrés par rapport au reste de la ville, grâce à la rétention d'humidité et à la protection contre les rayons solaires. Par ailleurs, la transpiration végétale contribue à maintenir une humidité ambiante favorable.

Schéma

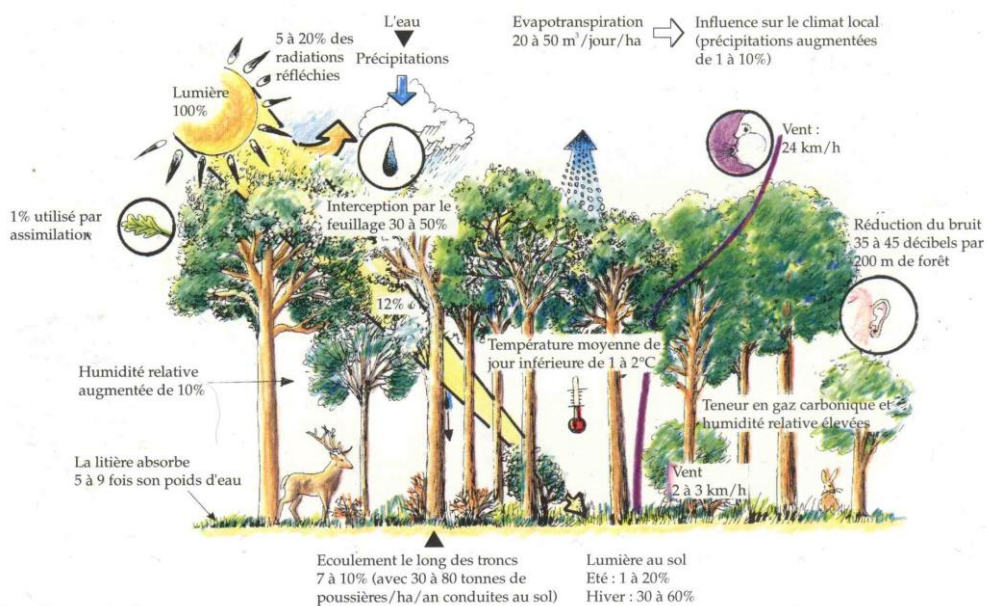


Figure 1 : Fonctionnement technique illustré par un schéma. (Source : Fischesser B., 1998)

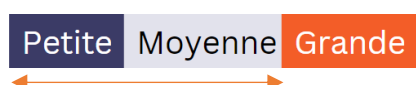
2. RÉGLEMENTATION DE RÉFÉRENCE

Caractéristique	Méthode d'essai
Distance entre les arbres et la rue	Décret n°64-262 du 14 mars 1964
Lignes électriques	Article L322-5 du Code Forestier
Lignes téléphoniques	Pas de réglementation de distance. Les plantations ne doivent pas gêner ou compromettre le fonctionnement des lignes téléphoniques.
Canalisations, conduites et réseaux souterrains	Articles 15 et 16 du décret du 16 mai 1959

Table 1 : Réglementations de référence pour la mise en œuvre des micro-forets urbaines.

3. MODALITÉS DE MISE EN ŒUVRE

3.1. ECHELLE



Couverture entre 50 et 500 m² et/ou ont au moins 4 arbres non alignés [6 ; 9].

3.2. ETUDE PREALABLE ET CONCEPTION

3.2.1. TYPES DE MICRO FORETS

Type	Objectif	Fonctionnement
Miyawaki	Méthode la plus utilisée pour faire des micro-forêts natives.	La méthode consiste en planter des arbres d'une forme dense pour forcer la compétition pour les ressources entre eux et favoriser leur développement rapide. Cela permet à la forêt de se stabiliser en seulement 3 ans. Après la 3 ^e année, l'intervention humaine n'est plus nécessaire. Après 12 ans, 61-84% des arbres plantés seraient morts mais naturellement remplacés. La micro-forêt se stabilise en 20 ans [13 ; 15].
Forêt-jardin	Fournir des aliments pour l'homme ;	Les plants sont disposés de manière à obtenir la meilleure disponibilité de lumière et les nutriments dont chacun a besoin. Une bonne étude des sols est préférable. La méthode nécessite de faibles manutentions [5 ; 10].

Tableau 2 : Différents types méthodes

3.2.2. LA VEGETATION

Le choix du zonage

- Faire une étude du sol [12].
- L'endroit doit être choisi en accord avec l'usage et la fonction que la forêt aura [17].

Les arbres

- Utiliser des arbres natifs de la région [12].
- La taille et l'âge des arbres qui sont utilisés varient.

Le sol

Parfois la décompaction des sols et l'addition de nutriments dans le sol est nécessaire [12].

3.3. TRAVAUX

3.3.1. MATERIAUX

- Des substrats (le compost, le broyat, le fumier, la paille)

3.3.2. ACTEURS

Métier	Opération	Fréquence usuelle
Paysagiste	Choisir les arbres et bien intégrer le projet aux besoins de la nature, des villes et des citoyens.	Une fois la conception du projet.
Ingénieurs aménagement		
Communauté	Planter des arbres.	Une fois pendant la mise en œuvre du projet.
Services Publiques	Entretien typique des espaces verts	Fréquence régulière (bi-semestriel).

Tableau 3 : Les acteurs du projet [1 ; 14]

3.4. ENTRETIEN

3.4.1. MODALITE

Entretien **typique des espaces verts** et la fréquence varie en fonction du type de méthode choisie.

Méthode	Fréquence
Miyawaki	Pendant les 3 premières années [13]
Forêt Jardin	Fréquence régulière (bi-semestrielle)

Tableau 4 : Fréquence d'entretien

3.4.2. FIN DE VIE

Action à prendre	Description
Abattage pour raison de sécurité	Si l'arbre présente des problèmes structuraux. Cela peut être la conséquence d'un parasite, sécheresse, inondation, choc de circulation, etc [7].

Tableau 5 : Les moyens de valorisation de chaque matériel

4. ASPECT ÉCONOMIQUE



A titre indicatif. Variations locales possibles ainsi que pour chaque type de méthode.

Opération	Investissement
Miyawaki	3 000 euros* pour 100 m ² de forêt [3]
Forêt jardin	Varie par rapport aux fonctions du jardin
Fin de vie	Varie en fonction de la taille de l'arbre, l'endroit où il se trouve et la technique utilisée.

Tableau 6 : L'aspect économique du projet

* Dépend du type et de la taille des arbres

5. IMPACTS

Impacts Positifs et Négatifs		Micro forêts Urbaines
Gestion de l'eau pluviale	Infiltration	2
	Rétention	1
	Transport du surplus	0
Multifonctionnalité des sols	Cycle de l'eau naturel (stockage et infiltration)	2
	Cycle naturel du carbone (stockage, filtration, transformation)	2
	Cycle des nutriments (stockage, filtration, transformation)	1
	Support de végétation	2
	Biodiversité des sols	1
Mise en œuvre	Echelle de fonctionnement	2
	Flexibilité	0
	Contraintes de dimensionnement/mise en œuvre	
	Contraintes de fonctionnement/gestion	
Pollution de l'eau et des sols	Performances d'abattement	?
	Risque de relargage en cas de pollution des sols sous-jacents	-1
Biodiversité (diversité et quantité)	Faune	
	Flore	
Adaptation et atténuation climatique	Mitigation globale des îlots de chaleur urbains	2
	Bilan carbone	2
Aménités	Confort thermique/Ombrage-fraîcheur	2
	Accès espaces verts	
Aspects sociaux-économiques	Attractivité	3
	Cohésion sociale	
	Entretien	-1
	Traitement des eaux	
	Durabilité	0
	Coût initial de mise en œuvre	

Tableau 7 : Les impacts positifs et négatifs de l'implantation des micro-forêts

-1 : Risques associés
0 : Pas de lien
1 : Co-bénéfices
2 : Bénéfices
? : Réponse non évidente, dépend de la solution mise en œuvre
Vide : Non-renseigné

MICRO-FORÊTS URBAINES

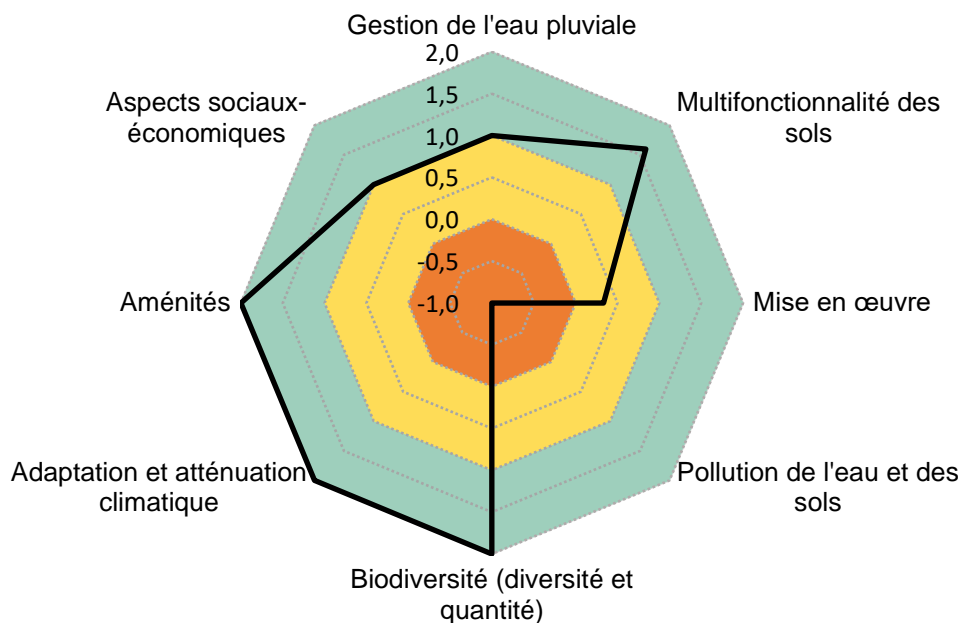


Figure 2 : Impacts positifs et négatifs des micro-forêts urbaines

6. ANALYSE DU CYCLE DE VIE

Matériaux	Valorisation
Les plantes	Recyclage. Les arbres peuvent être broyés et utilisés dans les espaces verts et dans les compostages. Selon l'état du bois, il peut être utilisé dans certains travaux urbains (Paris, 2023).

Tableau 8 : Les filières de valorisation des matériaux [14]

7. RECOMMANDATIONS

Il est important d'intégrer le projet au contexte local pour encourager la vision à long terme d'une ville verte et avec l'intégration et l'engagement de la communauté locale. La présence de la population pendant le développement du projet et la collaboration entre acteurs (privés, publics et locaux) impacte positivement sa durée de vie [1 ; 17].

Un bon projet de mise en œuvre d'une micro-forêt urbaine prend en compte non seulement les arbres, mais tout l'écosystème nécessaire pour leur fournir les meilleures conditions de développement [1].

Pour s'assurer d'une longue durée de vie, les arbres devraient être adaptés au type de sol de l'endroit, au niveau de pollution et aux conditions pédoclimatiques (il faut évaluer les conditions climatiques pendant l'époque de plantation des arbres, prendre en compte la variation de température entre l'été et l'hiver et les évolutions à venir à cause du changement climatique [4 ; 11]).

Les micro-forêts peuvent être installées sur des zones à forte pente habitées qui posent des risques de sécurité par glissement de terrain. Les arbres sont capables de stabiliser les pentes, tenir des rochers et réduire le ruissellement pendant les événements de pluies extrêmes [8].

En climat Méditerranéen, il est conseillé de préparer d'abord le sol afin qu'il ait la capacité de stocker de l'eau en hiver et que les plantes ne subissent pas de stress hydrique en été [13].

7.1. POUR ALLER PLUS LOIN

Mise en œuvre de la méthode Miyawaki

Le guide *Tiny Forest Planting Method* [18] passe par toutes les étapes nécessaires pour mettre en œuvre la méthode Miyawaki.

Mise en œuvre de la méthode forêt jardin

Le livre *Creating a Forest Garden : Working with Nature to Grow Edible Crops* [5] offre une approche détaillée pour la création d'un jardin forestier dans les climats tempérés.

RÉFÉRENCES

- [1] JAMES, Schwab et American Planning ASSOCIATION, dir. *Planning the urban forest : ecology, economy, and community development*. Chicago, IL : American Planning Association, 2009.
- [2] BERLAND, Adam et al. The role of trees in urban stormwater management. *Landscape and Urban Planning* [en ligne]. 2017, **162**, 167–177 [consulté le 25 juillet 2023]. ISSN 0169-2046. Disponible sur : doi:10.1016/j.landurbplan.2017.02.017
- [3] BOOMFOREST. *Exemple de budget d'un projet de plantation de mini-forêt avec la méthode Miyawaki* [en ligne]. Paris, [sans date]. Disponible sur : <https://boomforest.org/documents/Boomforest-Simplified-budget-template-FR.pdf>
- [4] CEREMA, 2022. *L'arbre, l'essence de la ville - L'outil Sésame pour faire les bons choix* [en ligne]. Disponible sur : <https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/592029/l-arbre-l-essence-de-la-ville-l-outil-sesame-pour-faire-les-bons-choix#:~:text=Votre%20identifiant-,L'arbre,%20l'essence%20de%20la%20ville%20-%20L,pour%20faire%20les%20bons%20choix&text=Le%20contexte%20de%20la%20crise,%20équilibre%20et%20d'attractivité%20incontournable.>
- [5] BROWN, Joanna et Martin CRAWFORD. *Creating a forest garden: working with nature to grow edible crops*. UIT Cambridge, 2022. ISBN 9780857845535.
- [6] DRILLON, Martin. *Plantation d'arbres en ville selon la méthode Miyawaki : «urban forestry» et «forêt urbaine», service écosystémique et vision idéalisée d'une forme de nature* [en ligne]. Thèse de master, Université de Liège, 2022. Disponible sur : <http://hdl.handle.net/2268.2/14913>
- [7] FAO. *Document de travail sur la foresterie urbaine et périurbaine : étude sur la foresterie urbaine et périurbaine de n'djaména, tchad* [en ligne]. Rome, 2012. Document de travail sur la foresterie urbaine et périurbaine n°6. Disponible sur : <https://www.fao.org/3/i28506f/i28506f.pdf>
- [8] FAO. *Forests and sustainable cities*. Rome: FAO, 2018. ISBN 978-92-5-130417-4.
- [9] IGN. *Inventaire forestier. IGN* [en ligne]. [sans date]. Disponible sur : <https://inventaire-forestier.ign.fr/spip.php?article592>
- [10] LA 3^E MAIN. (2019). *Un jardin-forêt dans un quartier urbain en mutation - de l'idée à expérimenter au projet à essaimer*. Disponible sur : <https://www.la-3e-main.com/wp-content/uploads/2019/01/projet-ra-22-1-19-sans-annexe-lt.pdf>
- [11] POURIAS, Jeanne. Un aperçu des problématiques d'actualité en foresterie urbaine : l'exemple des forêts urbaines nantaises. *Revue Forestière Française* [en ligne]. 2009, (5) [consulté le 25 juillet 2023]. ISSN 1951-6827. Disponible sur : doi:10.4267/2042/31530

- [12] REFORESTATION. *Contribuez à la création d'une forêt urbaine ou péri-urbaine* [en ligne]. Rueil-Malmaison, [sans date]. Disponible sur : https://www.reforestation.com/sites/default/files/fr_solution_forets_urbaines_reforestaction.pdf
- [13] SCHIRONE, Bartolomeo, Antonello SALIS et Federico VESSELLA. Effectiveness of the Miyawaki method in Mediterranean forest restoration programs. *Landscape and Ecological Engineering* [en ligne]. 2010, 7(1), 81–92 [consulté le 25 juillet 2023]. ISSN 1860-188X. Disponible sur : doi:10.1007/s11355-010-0117-0
- [14] TOULOUSE EN TRANSITION. Le coût d'une micro-forêt. Dans : *Planter une micro-forêt miyawaki* [en ligne]. Toulouse, 2020, p. 9. Disponible sur : <http://toulouse.entransition.fr/wp-content/uploads/2020/09/chapitre-6.pdf>
- [15] URBAN FORESTS. *La méthode Miyawaki – Chiffres & ; concepts* [en ligne]. 2020. Disponible sur : <https://urban-forests.com/wp-content/uploads/2020/05/Urban-Forests-Compilation-etudes-Miyawaki-benefices-VF.pdf>
- [16] WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2012). Health Indicators of Sustainable Cities in the Context of the Rio+20 UN Conference on Sustainable Development. Geneva, Switzerland. Disponible sur : https://www.who.int/docs/default-source/environment-climate-change-and-health/sustainable-development-indicator-cities.pdf?sfvrsn=c005156b_2
- [17] WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Urban green spaces : a brief for action*. Regional Office for Europe, 2017. ISBN 9789289052498.
- [18] **Guide *Tiny Forest Planting Method***

NOUES

1. DESCRIPTION GÉNÉRALE

Une noue est une fosse végétalisée, linéaire et à faible pente souvent établie dans les zones urbaines à proximité des routes avec l'objectif de réduire le risque d'inondation pendant ou après de fortes pluies. L'objectif des noues est comparable à celle des jardins de pluie. Elles promeuvent l'infiltration et la rétention des eaux de ruissellement (provenant principalement des infrastructures de transport) et éliminent/bloquent les polluants et les sédiments lorsque l'eau ruisselle à travers la végétation et les couches de sol. Le choix de la végétation pour les noues est variable, mais les plantes indigènes à racines profondes sont courantes et préférables.



© Agence de l'eau RMC

Noue à Sathonay-Camp



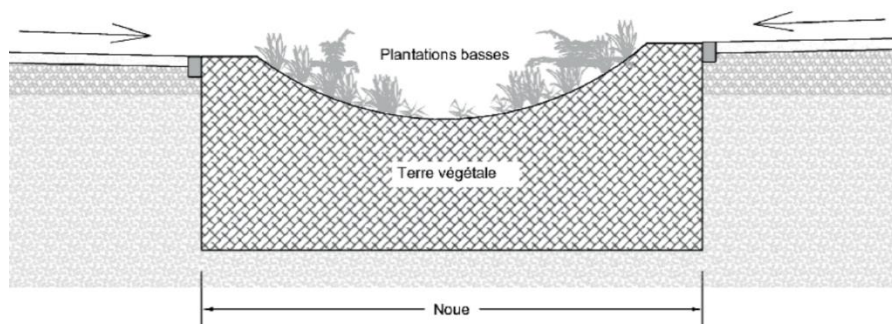
© 13 comme une (2019)

Noue à Cergy-Pontoise

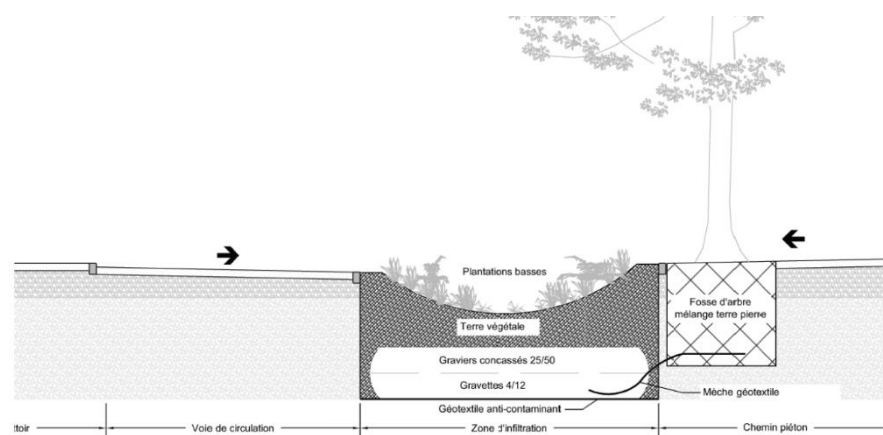
1.1. FONCTIONNEMENT TECHNIQUE

Le type de noue varie par rapport à la perméabilité du sol et la pente locale. Pour éviter l'accumulation d'eau pendant plus de 48h, il est possible d'ajouter des massifs drainants et/ou un drain. Si le terrain à une pente aiguë (supérieur à 2 %) certaines noues sont équipées de barrages (type redans) ou de constructions similaires pour corriger la pente. Cela permet de limiter l'érosion, retenir plus d'eau, filtrer plus de polluants et réduire la vitesse du ruissellement [3]. On notera qu'il est aussi possible de plateler une noue et ainsi d'en faire un cheminement piéton praticable tout en conservant son fonctionnement hydraulique.

Noue simple



Noue avec massif drainant (pour rétention)



Noue avec cloison (en cas de pente)

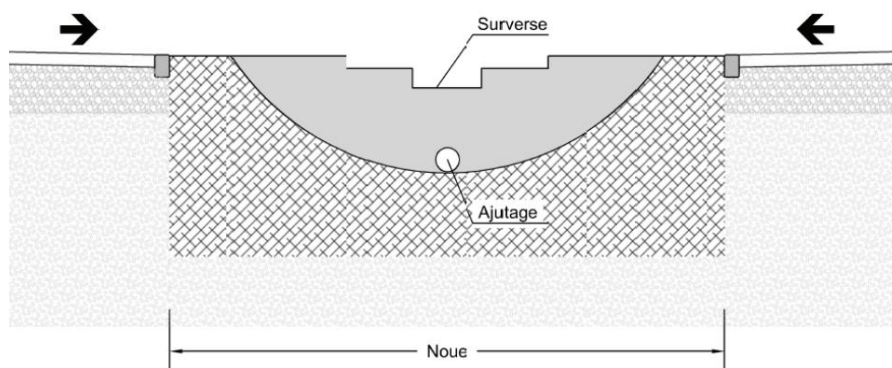


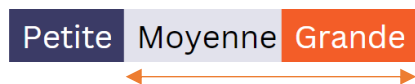
Figure 1 : Types de noues et fonctionnement technique illustré par des schémas [3].

2. RÉGLEMENTATION DE RÉFÉRENCE

Les noues sont parfois réglementées dans les documents locaux d'urbanisme.

3. MODALITÉ DE MISE EN ŒUVRE

3.1. ÉCHELLE



La capacité d'élimination/piégeage des polluants des eaux de ruissellement par la noue est directement liée à son échelle. Une grande échelle contribue à la diminution du colmatage et, par conséquent, la nécessité d'entretien [3].

3.2. ETUDE PREALABLE ET CONCEPTION

3.2.1. TYPES DE NOUES

Type	Fonctionnement	Type de sol
Noue Infiltrante	L'eau est retenue avant d'être infiltrée dans le sol naturellement.	Sols perméables (capacité d'infiltration > 20 mm/h) et non pollués
Noue de tamponnage	L'eau est retenue et déversée, à débit régulé, dans un exutoire.	Sols peu perméables (capacité d'infiltration < 1mm/h)
Noue mixte	L'eau est infiltrée dans le sol mais aussi déversée dans un exutoire.	Capacité d'infiltration entre 1 et 20 mm/h

Tableau 1 : Les différents types de noues [5 ; 14].

3.2.2. VEGETATION

Les arbres et les arbustes

Privilégier des **plantes indigènes à racines profondes** qui **résistent aux inondations** occasionnelles. Celles-ci peuvent être combinées avec des plantes esthétiques [3].

Densité de végétation

Une **végétation assez dense** permet un ralentissement de l'eau, cependant, une végétation trop dense cause des accumulations d'eau.

Hauteur de végétation

La hauteur de végétation (buissons, arbustes) doit être choisie en conjonction avec les problématiques de visibilité pour ne pas gêner la potentielle circulation. [3]

3.2.3. MISE EN ŒUVRE

Lors de travaux impliquant l'infiltration d'eaux de pluie dans les sols, une étude géotechnique doit être menée afin de déterminer la possibilité et la quantité de l'infiltration. On surveillera particulièrement plusieurs aspects :

- Si la nature du sol permet l'infiltration (sols gypseux ou karstiques sensibles...),
- Si les sols ne présentent pas des taux trop élevés de pollutions,
- La profondeur de la nappe doit être supérieure à 1 mètre,
- La perméabilité des sols.

3.2.4. PENTE

LA PENTE TRANSVERSALE

- Entre 3:1 et 4:1 (jamais <2:1)

Doit être **douce et favorable à l'infiltration**. Cela facilite et sécurise l'entretien et permet une vitesse appropriée d'écoulement et de filtration des polluants [6]

LA PENTE LONGITUDINALE

- Entre 1 et 6%

Une pente inférieure à 1% favorise l'accumulation de l'eau et supérieure à 6% cause l'érosion [7]. Il est donc préférable de rester entre 1 et 6%. La pente peut être adoucie par l'utilisation de parois et redans.

3.2.5. DIMENSIONNEMENT

Principe [14] :

- Déterminer une pluie de projet avec **un temps de retour** ;
- Déterminer un **volume de rétention** ;
- Dans le cas d'une noue infiltrante **ou mixte (expliquer)**, déterminer sa **surface d'infiltration minimale** (en fonction de la capacité d'infiltration du sol).

3.3. TRAVAUX

3.3.1. MATERIAUX

Les matériaux utilisés diffèrent par type de noue. La noue infiltrante végétalisée ne demande presque rien, tandis que la noue de tamponnage nécessitera plusieurs types de matériaux [5].

- Massif drainant ou infiltrant (gravier roulé)
- Empierrement
- Géotextile / Géo-membrane (EPDM)
- Drain
- Engazonnement & plantations

3.4. ENTRETIEN

3.4.1. MODALITE

Entretien **typique des espaces verts** avec fréquence régulière.

Les principales maintenances	Lieu d'application	Description	Fréquence	Observation
Décolmatage	Ouvrages d'infiltration	Aérer la couche superficielle (un curage) pour qu'elle ne perde pas sa fonction d'infiltration [3; 8].	Rare	Il faut faire une caractérisation physico-chimique de chaque composant prélevé lors d'un curage, car s'ils sont pollués, il est nécessaire de trouver la meilleure solution de gestion [8].
Réfection totale ou partielle	Structure	Refaire tout ou partie de la structure	Événement d'endommagement particulier (type accident de la route) ou en fin de vie [3].	

Tableau 2 : Description des principaux entretiens

3.4.2. DURÉE DE VIE

La durée de vie moyenne est de **15-20 ans** [3; 10].

3.4.3. ACTEURS

Conception	Bureau d'étude - Paysagiste
Entretien	Services de la municipalité
	Services des citoyens par le biais d'actions civiques pour le jardinage urbain

Tableau 3 : Les acteurs du projet

4. ASPECT ÉCONOMIQUE



Coûts à titre indicatif. Les possibilités de variations locales sont à prendre en compte.

Opération	Investissement
Terrassement	5 à 20 € HT/m ³
Installation du massif drainant	60 à 100 €/ml [14]
Engazonnement	1 à 2 €/m ² [14]
Curage environ tous les 10 ans	1€ HT/ml [11]

Tableau 4 : L'aspect économique du projet

Selon l'Agence de l'eau RMC [2], les noues ont un bon coût bénéfique grâce à leur bas coût et leur longue durée de vie.

5. IMPACTS

Impacts Positifs et Négatifs		Noues	Noues de drainage
Gestion de l'eau pluviale	Infiltration	2	2
	Rétention	1	2
	Transport du surplus	2	2
Multifonctionnalité des sols	Cycle de l'eau naturel (stockage et infiltration)	2	2
	Cycle naturel du carbone (stockage, filtration, transformation)	1	1
	Cycle des nutriments (stockage, filtration, transformation)	1	1
	Support de végétation	1	1
	Biodiversité des sols	1	1
Mise en œuvre	Echelle de fonctionnement	1	1
	Flexibilité	2	2
	Contraintes de dimensionnement/mise en œuvre	1	1
	Contraintes de fonctionnement/gestion		
Pollution de l'eau et des sols	Performances d'abattement	2	2
	Risque de relargage en cas de pollution des sols sous-jacents	-1	-1
Biodiversité (diversité et quantité)	Faune	1	1
	Flore	2	2
Adaptation et atténuation climatique	Mitigation globale des îlots de chaleur urbains	1	?
	Bilan carbone	?	?
Aménités	Confort thermique/Ombre-fraîcheur	?	?
	Accès espaces verts	1	2
Aspects sociaux-économiques	Attractivité	2	2
	Cohésion sociale		
	Entretien	1	1
	Traitement des eaux		
	Durabilité	0	0
	Coût initial de mise en œuvre		

Tableau 5 : Les impacts positifs et négatifs de l'implantation de la noue

-1 : Risques associés
0 : Pas de lien
1 : Co-bénéfices
2 : Bénéfices
? Réponse non évidente, dépend de la solution mise en œuvre
Vide : Non renseigné

LES NOUES

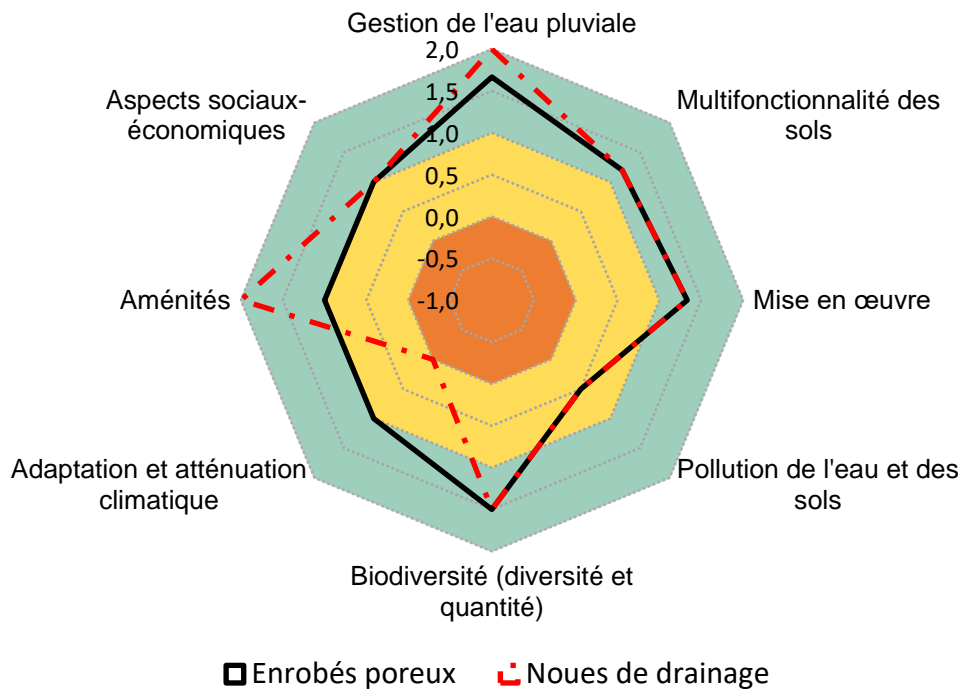


Figure 2 : Impacts positifs et négatifs des noues

6. ANALYSE DU CYCLE DE VIE

Matériaux	Valorisation
Graviers roulés et/ou graviers concassés	Réutilisation ou utilisation dans le processus de fabrication d'autres matériaux.
Géotextile	Peut être recyclé par décyclage et/ou valorisé thermiquement.
Drain en matière plastique	Si propre : recyclé par décyclage ; Couramment valorisé thermiquement.
Plantes	Peuvent être compostées

Tableau 6 : Les filières de valorisation des matériaux utilisés [14]

7. RECOMMANDATIONS

On notera que les noues assurent la gestion d'événements d'inondation occasionnels, mais peuvent rester longtemps sans apports d'eau. De plus, elles ont comme rôle principal la régulation hydraulique et/ou d'épuration locale, et non l'aspect esthétique. Une attention doit être portée aux plantes envahissantes qui peuvent poser des problèmes écosystémiques et dont les opérations de retrait sont compliquées [3]. Elles doivent donc faire l'objet d'une surveillance.

L'idéal est de choisir des plantes qui n'exigent pas beaucoup d'entretien et de donner des préférences à des arbres qui occupent moins d'espace sur le sol. Si possible choisir des arbres plus hauts qui fournissent plus d'aménités. [3].

Pour allonger la durée de vie de l'aménagement, il faut minimiser l'érosion et éviter le colmatage, bien que celui-ci ne soit pas fréquent. En conception, la forme la plus indiquée pour cela est trapézoïdale [7; 10]. Le ramassage des déchets et des feuilles et autres encombrants est essentiel. Il faut faire attention à des contre-pentes, qui peuvent empêcher les eaux de s'écouler correctement [3].

Si la noue est proche d'un bassin versant agricole ou à proximité d'un revêtement sableux, il est recommandé d'installer un dessableur (dimensionné en fonction du volume d'eau) en amont afin d'éviter les problématiques de colmatage. [3].

L'Agence de l'eau RMC [3] donne certaines précautions de surveillance à suivre :

- Le temps de rétention de l'eau (après plusieurs jours sans pluie). La noue doit accumuler l'eau en moins de 24 heures. 48 heures est la limite usuelle pour ne pas favoriser la reproduction des moustiques. Une accumulation de plus de 3 jours indique une situation anormale [3 ;9] ;
- Débordements ou inondations provenant de zones adjacentes en raison de précipitations conventionnelles ;
- L'apparition des mauvaises odeurs et couleurs peuvent être l'indication de la présence de rejets suspects ;
- L'accumulation des déchets.

7.1. POUR ALLER PLUS LOIN

Parapluie-hydro

L'outil *Parapluie-Hydro* [15] aide à choisir la solution de gestion des eaux et à faire le dimensionnement par rapport aux caractéristiques du projet.

L'influence des paramètres

Fardel (2019) [7] montre dans sa thèse comment dimensionner une noue pour qu'elle atteigne différentes performances hydrologiques et d'épuration.

RÉFÉRENCES

- [1] 13 COMME UNE. Le parapluie de Cergy-Pontoise ! *13 comme une* [en ligne]. 2019. Disponible sur : <https://13commeune.fr/actualite/le-parapluie-de-cergy-pontoise/>
- [2] AGENCE DE L'EAU RMC. (2018). Désimperméabiliser les sols l'ambition du SDAGE Rhône Méditerranée. Conférence Ville Perméable, (p. 48). Lyon.
- [3] AGENCE DE L'EAU RMC et GRAND LYON. Projet Ville Permeable : guide d'aide à la conception et à l'entretien [en ligne]. Grand Lyon, 2017. Disponible sur : https://www.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/media/pdf/eau/20170926_guide-projet-ville-permeable.pdf
- [4] BORST, Michael et al. Swale performance for stormwater runoff. Dans : Low impact development : new and continuing applications. American Society of Civil Engineers., 2009, p. 182–190.
- [5] BRUXELLES ENVIRONNEMENT. Choix des matières premières. *Guide Bâtiment Durable* [en ligne]. 2016. Disponible sur : <https://www.guidebatimentdurable.brussels/noues/choix-matieres-premieres>
- [6] EKKA, Sujit et Bill HUNT. Swale terminology for urban stormwater treatment | NC state extension publications. *NC State Extension Publications* [en ligne]. 2020. Disponible sur : <https://content.ces.ncsu.edu/swale-terminology-for-urban-stormwater-treatment>

- [7] FARDEL, Alexandre. *Fonctionnement hydraulique et propriétés épuratoires de techniques alternatives de gestion des eaux pluviales – cas des noues* [en ligne]. Thèse de doctorat, École centrale de Nantes, 2019. Disponible sur : <https://theses.hal.science/tel-02896888>
- [8] GRAIE. *Les ouvrages d'infiltration la fonction filtration* [en ligne]. Lyon, 2015. Disponible sur : <http://www.graie.org/othu/pdf/othu/Gessol-ouvrages-infiltration-web.pdf>
- [9] GRAIE. Comparaison des coûts de différents scénarios de gestion des eaux pluviales [en ligne]. Métropole de Lyon, 2018. Etude de cas. Disponible sur : http://www.graie.org/graie/graiedoc/doc_telech/Eaux_pluviales_gestion_source_cout_sept18.pdf
- [10] GRAND LYON. *Les ouvrages aériens de gestion des eaux pluviales* [en ligne]. Lyon, 2010. Disponible sur : https://www.grandlyon.com/fileadmin/user_upload/media/pdf/voirie/referentiel-espaces-publics/20091201_gl_referentiel_espaces_publics_ouvrages_aeriens_gestion_eaux_pluviales.pdf
- [11] MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT ET DE L'AMÉNAGEMENT DURABLES. *Les collectivités locales et le ruissellement pluvial* [en ligne]. 2006. Disponible sur : <http://www.mementodumaire.net/wp-content/uploads/2012/07/Collectivités-et-ruissellement-pluvial-2006.pdf>
- [12] SHAFIQUE, Muhammad et Reeho KIM. Green stormwater infrastructure with low impact development concept : a review of current research. *DESALINATION AND WATER TREATMENT* [en ligne]. 2017, **83**, 16–29 [consulté le 25 juillet 2023]. Disponible sur : doi:10.5004/dwt.2017.20981
- [13] VILLAIN, C. (2016). Pourquoi pas noues? Disponible sur : <https://www.linkedin.com/pulse/pourquoi-pas-noues-christian-villain/?originalSubdomain=fr>
- [14] WALLONIE ENVIRONNEMENT SPW. Gestion durable des eaux pluviales a la parcelle en zone urbanisable : fiche informative outil de gestion des eaux pluviales - La noue [en ligne]. 2020. Fiche n° 09. Disponible sur : http://jesuishesbignon.be/wp-content/uploads/2020/03/fiche_09_noues.pdf
- [15] Outil Parapluie hydro

PRAIRIE INONDABLE

1. DESCRIPTION GÉNÉRALE

Les prairies inondables (ou prairies humides) sont des espaces végétalisés relativement plats en bord de rivières. Elles sont le pendant non arboré (ou faiblement arboré) de la ripisylve. Pendant les périodes de crues, la rivière déborde dans ces espaces qui ont alors une fonction de tampon en infiltrant de l'eau. Les prairies se trouvent naturellement le long des rivières. Cependant, l'urbanisation et l'agriculture ont dégradé ces espaces par leur expansion, et les prairies ont fini par perdre leurs fonctions écologiques. Pour cette raison, la population qui y habite et les villes proches sont soumises à des risques d'inondations périodiques pouvant causer des problèmes sociaux et structuraux. La restauration des prairies inondables est l'un des aspects de l'urbanisation durable en évitant des inondations, en filtrant et épurant l'eau [10 ; 11 ; 18].



1.1. FONCTIONNEMENT TECHNIQUE

Les prairies inondables jouent un rôle de médiation entre la crue des rivières et le niveau de la nappe phréatique, ce qui leur permet de fournir de l'eau pendant les sécheresses. Elles sont situées dans des zones plus basses et font partie du lit majeur du cours d'eau. Dans les périodes de crue, la prairie agit comme un tampon, recevant les eaux excédentaires de la rivière de manière temporaire et les infiltrant dans le sol. Selon le Secrétariat de Ramsar (2023), une zone humide de 4000m² peut absorber 6 millions de litre d'eau pendant le période de crue. Elles sont ainsi importantes pour éviter les inondations dans les villes [6 ; 10 ; 11 ; 16].

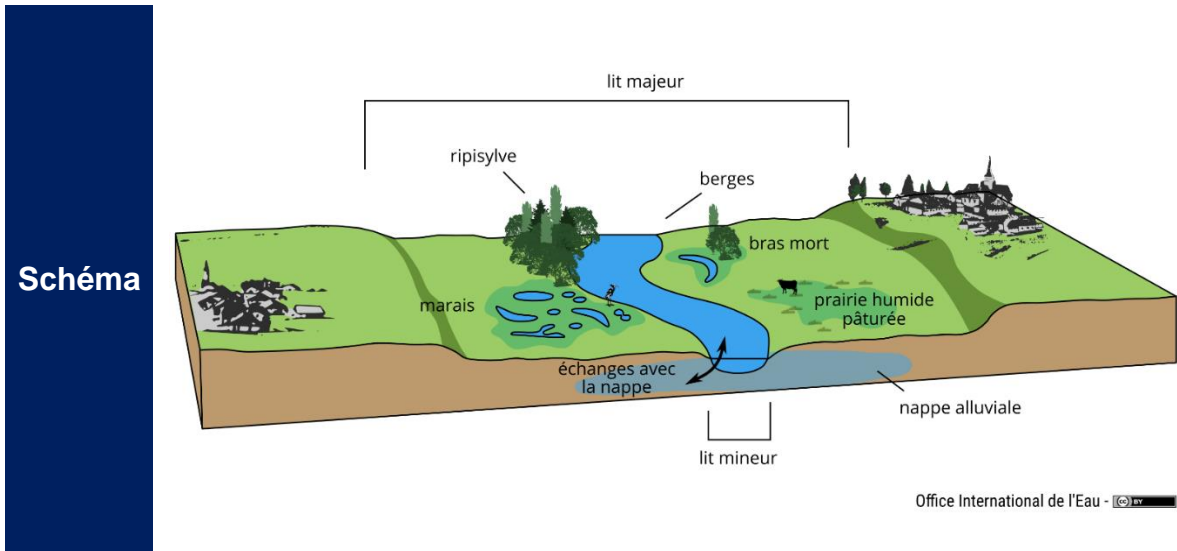


Figure 1 : Fonctionnement technique illustré par un schéma.

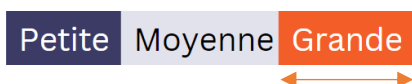
2. RÉGLEMENTATION DE RÉFÉRENCE

Caractéristique	Méthode d'essai
Bandes enherbées le long des cours d'eau	Article 52 du projet de loi Grenelle 2
Activités et ouvrages pouvant être réalisés	Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables (PPRLPI)

Table 1 : Réglementation de référence pour la mise en œuvre des prairies inondables.

3. MODALITÉS DE MISE EN ŒUVRE

3.1. ECHELLE



Les restaurations des prairies sont toujours à grande échelle pour être capable de gérer les grands volumes d'eaux des rivières et sont liées aux dimensions du lit majeur.

3.2. ETUDE PREALABLE ET CONCEPTION

3.2.1. TYPE DE VEGETATION

La végétation varie selon la région et la fonction de la prairie. Elle est composée généralement d'herbacées [6 ; 10]

Végétation	Fonction principal	Observation
Naturelle	Fournir des services écosystémiques, principalement la gestion de l'eau et promotion de la biodiversité.	Pour avoir une prairie naturelle et locale, il est recommandé de sélectionner les espèces végétales dans des prairies à proximité (au moins 5) [5].
Fleurie	Fournir des services écosystémiques, apporter un aspect esthétique visuel.	Les semences sont achetées chez un fournisseur.
Agriculture	Fonction agricole couplée avec des services service écosystémiques.	Difficulté à coupler la gestion de la biodiversité, la protection du milieu naturel et les objectifs agricoles.

Tableau 2 : Les différents types dans une prairie.

Fertilisation agricoles

- La quantité d'azote utilisée dans la zone doit être très limitée en raison de la sensibilité du milieu [7]
- La fertilisation du site se fait de manière privilégiée naturellement, par les inondations occasionnelles [7]

Biodiversité

- Elles favorisent l'apparition des amphibiens, petits mammifères, oiseaux et insectes de la région [10 ; 11]
- 40 % des espèces du monde se reproduisent dans des zones humides [18]

3.3. TRAVAUX

Pour utiliser cette solution, il faut entreprendre des travaux de restauration d'écosystème dans le cadre de l'élaboration du plan de gestion du site [5].

3.4. ENTRETIEN

3.4.1. MODALITES

Cette méthode nécessite peu d'entretien et il n'existe pas de techniques spécifiques. Il faut tenir en compte les besoins de l'endroit, du climat, et du type de végétation utilisé [1].

Principales opérations	Description	Fréquence	Observation
Fauchage	Limiter le volume de bois [5 ; 8]	<ul style="list-style-type: none"> Au moins deux fois dans les premières années (avant le printemps et à la fin de l'été) Une fois par an (lorsque le système est stabilisé) [5 ; 8]	Il y a la possibilité d'utiliser des animaux de pâturage , mais le nombre d'animaux ne peut pas dépasser ce que la flore supporte [8]
Suivi écologique	Éliminer des espèces envahissantes [5 ; 15]	Typique des espaces verts, annuelle à minima.	

Tableau 3 : Les types d'entretien.

3.4.2. DURÉE DE VIE

Durée de vie indéterminée. Pour prolonger la durée de vie, il faut éviter l'engrasement, assurer la qualité des plantes [9] et éviter les constructions et l'imperméabilisation du sol.

3.4.3. ACTEURS

Conception	Bureau d'étude hydraulique
	Acteurs classiques de la restauration écologique
Entretien	Services de la municipalité
	Services des citoyens par le biais d'actions civiques pour le jardinage urbain

Tableau 4 : Les acteurs du projet

4. ASPECT ÉCONOMIQUE



Coûts à titre indicatif, des variations locales étant possibles.

Opération	Investissement
Préparation du sol et semis de prairie	120 à 280 €/ha
Récolte de semences sur 5 prairies naturelles	40 kg de graines/ha = 1060 €
Achat de semences chez un fournisseur	55kg/ha = 495 €/ha HT

Tableau 5 : L'aspect économique du projet [5]

5. IMPACTS

Impacts Positifs et Négatifs		Prairies inondables
Gestion de l'eau pluviale	Infiltration	2
	Rétention	2
	Transport du surplus	0
Multifonctionnalité des sols	Cycle de l'eau naturel (stockage et infiltration)	2
	Cycle naturel du carbone (stockage, filtration, transformation)	2
	Cycle des nutriments (stockage, filtration, transformation)	1
	Support de végétation	1
	Biodiversité des sols	1
Mise en œuvre	Echelle de fonctionnement	2
	Flexibilité	-1
	Contraintes de dimensionnement/mise en œuvre	-1
	Contraintes de fonctionnement/gestion	
Pollution de l'eau et des sols	Performances d'abattement	?
	Risque de relargage en cas de pollution des sols sous-jacents	-1
Biodiversité (diversité et quantité)	Faune	2
	Flore	2
Adaptation et atténuation climatique	Mitigation globale des îlots de chaleur urbains	1
	Bilan carbone	1
Aménités	Confort thermique/Ombre-fraîcheur	2
	Accès espaces verts	2
Aspects sociaux-économiques	Attractivité	3
	Cohésion sociale	
	Entretien	0
	Traitement des eaux	
	Durabilité	0
	Coût initial de mise en œuvre	

Tableau 6: Les impacts positifs et négatifs de las prairies inondables.

-1 : Risques associés
0 : Pas de lien
1 : Co-bénéfices
2 : Bénéfices
? : Réponse non évidente, dépend de la solution mise en œuvre
Vide : Non renseigné

PRAIRIE INONDABLE

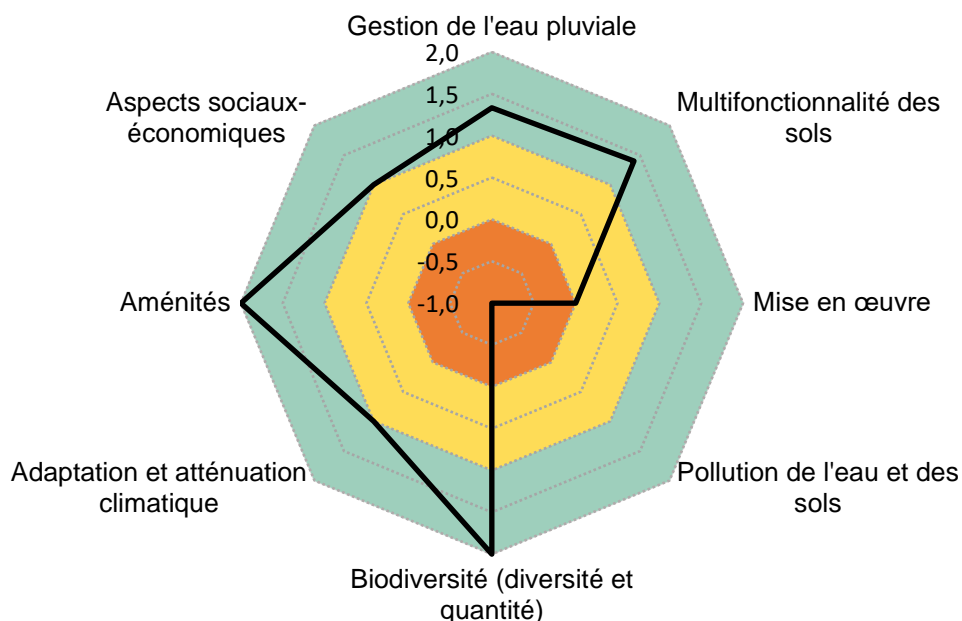


Figure 2 : Impacts positifs et négatifs des prairies inondables

6. ANALYSE DU CYCLE DE VIE

Matériaux	Valorisation
Terres enlevées pour la restauration du site	Doivent être analysées et peuvent être utilisées ailleurs dans la région [5]
Déchets de fauchage	Composter
	Broyage [3]

Tableau 7 : Filières de valorisation des matériaux

7. RECOMMANDATIONS

Pour assurer le bon fonctionnement de l'écosystème, il est recommandable de restreindre l'accès à certaines parties du site pour préserver la biodiversité [15]

Si la végétation choisie a pour fonction l'agriculture, il faut laisser la bande enherbée au long du corps d'eau, comme prévu par la législation citée en 2 [5].

Le Conservatoire des sites alsaciens (2015) [5] suggère de récolter des semences sur d'autres prairies de la région pour atteindre un environnement aussi naturel que possible. Cette technique rend la

restauration des prairies plus coûteuse, mais permet de créer un environnement plus naturel offrant plus de services écosystémiques.

Enfin, l'éducation environnementale et le contact constant avec la nature des citoyens permet une bonne acceptation de l'aménagement [1].

7.1. POUR ALLER PLUS LOIN

Ensemble de retours d'expérience

Le **Conservatoire des sites Alsaciens** est responsable de 170 sites qui possèdent des prairies et a effectué 37 restaurations entre 1990 et 2019. Dans *Retour d'expérience : Restauration des prairies humides*, les types de restaurations sont détaillés, ainsi que ce qui doit être pris en compte tel que comment choisir la végétation idéale pour l'objectif du projet.

Parc Naturel Prairies St Martin



60 000m³ d'eau stockée pendant une crue

30ha de parc

Température **2°C** plus basse à celle de la ville

Figure 3 : Prairie St Martin à Rennes [17]

Le parc des **Prairies St Martin**, situé à Rennes, joue un rôle de premier plan dans la **gestion des eaux** et contribue à atténuer les conséquences catastrophiques des événements climatiques extrêmes, en plus de jouer un rôle important sur le plan urbanistique. Ce parc **relie plusieurs quartiers entre eux** et remplit également des fonctions de **divertissement pour les citoyens**, ainsi que de **préservation** et de **protection de la faune et de la flore**. Lors de son inauguration, le parc comptait déjà 100 arbres plantés, 37 espèces d'oiseaux répertoriées et 361 espèces de plantes classifiées. Sa capacité à réduire la température ambiante dans la région témoigne de son efficacité en tant que solution viable pour atténuer les effets des îlots de chaleur urbains [2 ; 14 ; 17].

Prairie alluviale du Mesnil-le-Roi

15 à 20% d'augmentation du nombre d'espèce végétale

10ha de parc

Habitat pour **60 espèces** d'oiseaux



Figure 4 : Prairie du Mesnil-le-Roi [13]

La prairie alluviale a été restaurée au début des années 2000, ce qui a entraîné **une augmentation significative de la biodiversité** selon le rapport du Cerema (2020). Le parc restauré sert désormais **d'habitat à différentes espèces végétales et animales**, et propose également des **jardins familiaux**, des **animations** et des **activités pédagogiques** liées à la nature pour intégrer celle-ci dans la vie des citoyens. De plus, afin de réduire les coûts et la nécessité d'entretien régulier, l'administration a introduit des **poneys** pour brouter l'herbe, offrant ainsi une solution alternative durable pour **maintenir la prairie en bon état** [19].

RÉFÉRENCES

- [1] BEDLA, Dawid et Wiktor HALECKI. The value of river valleys for restoring landscape features and the continuity of urban ecosystem functions – A review. *Ecological Indicators* [en ligne]. 2021, **129**, 107871 [consulté le 26 juillet 2023]. ISSN 1470-160X. Disponible sur : doi:10.1016/j.ecolind.2021.107871
- [2] BENOTMANE, Linda, 2021. Rennes. Les zones humides des prairies Saint-Martin doivent être restaurées. Disponible sur : <https://www.ouest-france.fr/bretagne/rennes-35000/rennes-les-zones-humides-des-prairies-saint-martin-doivent-etre-restaurees-d3fccac6-dfe9-11eb-b44c-63c2df644ddd>
- [3] GUERIN, Maxime et Camille BORTOLI. *Guide DEVIT - Abattage, essouchage, dévitalisation : des clés pour substituer et diversifier ces pratiques au bénéfice de la conservation et de la valorisation des arbres* [en ligne]. 2^e éd. Plante & Cité, 2021. Disponible sur : <https://www.plante-et-cite.fr/Ressource/fiche/648>
- [4] CEREMA. Milieux humides : préservation de la biodiversité en milieu urbanisé. *Cerema* [en ligne]. 2020. Disponible sur : <https://www.cerema.fr/fr/actualites/milieux-humides-preservation-biodiversite-milieu-urbanise>
- [5] CONSERVATOIRE DES SITES ALSACIENS. *Restauration des prairies humides : Les prairies humides dans le réseau des sites protégés et gérés par le Conservatoire des Sites Alsaciens* [en ligne]. Ungersheim, [sans date]. Retour d'expérience. Disponible sur : <https://www.conservatoire-sites-alsaciens.eu/wp-content/uploads/2019/10/retour-experience-restauration-prairies.pdf>
- [6] AMOR, Emmanuel. *Les prairies humides de fauche* [en ligne]. 2017. Les cahiers techniques. Disponible sur : <https://www.cen-rhonealpes.fr/wp-content/uploads/2017/10/CTprairies-de-fauche.pdf>
- [7] COUFOURIER, Nicolas et al., 2008. Fiche no 18 : Prairie inondable, réguler les débits de ruissellement tout en valorisant l'herbe [en ligne]. Fiches techniques. S.I. AREAS, Chambres d'agriculture de la Seine-Maritime et de l'Eure. Érosion, turbidité, inondation : un large champ de solutions pour les agriculteurs. Disponible à l'adresse : <http://www.areas-asso.fr/wp-content/uploads/2016/11/19-prairie-inondable.pdf>
- [8] POSSÉMÉ, Benoît. L'entretien des zones humides : quelques règles. *Agricultures et territoires*. 2014, 2 : 0038_430.indd (chambres-agriculture.fr)
- [9] DEGRÉ, Aurore et al. *Bonnes pratiques pour la gestion du risque de ruissellement en zone rurale* [en ligne]. GISER, 2015. Disponible sur : https://inondations.wallonie.be/files/documents_a_telecharger/GISER/GISER_ruissellement_techiniques.pdf
- [10] EAUFRANCE. Les prairies humides. *Zones-humides.org* [en ligne]. 2015 [consulté le 16 mai 2023]. Disponible sur : <https://zones-humides.org/les-prairies-humides>
- [11] EAUFRANCE. Prairie inondable. *eaufrance.fr* [en ligne]. [sans date] [consulté le 15 mai 2023]. Disponible sur : <https://www.eaufrance.fr/glossaire/prairie-inondable>
- [12] GARROUJ, Myriam. *Restauration écologique des prairies alluviales par transfert de matériel biologique : importance des premières étapes sur les trajectoires des communautés végétales*. Dans : theses.fr [base de données en ligne]. Thesis, Bordeaux, 2019 [consulté le 26 juillet 2023]. Disponible sur : <http://www.theses.fr/2019BORD0345>
- [13] LE MONITEUR. Prix « Education, lien social et loisir » : Le Mesnil le Roi (78) - Restauration de la réserve naturelle des Prés du Marais. *www.lemoniteur.fr* [en ligne]. 9 février 2012. Disponible sur : <https://www.lemoniteur.fr/photo/palmars-du-grand-prix-zones-humides-en-milieu-urbanise.1165689/prix-education-lien-social-et-loisir-le-mesnil-le-roi-78-restauration-de-la-reserve-naturelle-des-pres-du.4#galerie-anchor>

- [14] MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE. Les Prairies Saint-Martin, un espace rendu à la nature en plein cœur de la ville - ÉcoCités & ; Démonstrateurs de la ville durable. *ÉcoCités & ; Démonstrateurs de la ville durable* [en ligne]. 2019. Disponible sur : <https://www.ecocites.logement.gouv.fr/les-prairies-saint-martin-un-espace-rendu-a-la-a186.html>
- [15] MEDWET, 2023. Journée mondiale des zones humides 2023 : Il est temps de restaurer les zones humides. Récupéré sur MedWet: <https://medwet.org/fr/2023/01/world-wetlands-day-2023-its-time-to-wetland-restoration/>
- [16] OBSERVATOIRE DES ZONES HUMIDES MÉDITERRANÉENNES. *Solutions pour des zones humides méditerranéennes durables* [en ligne]. Arles, 2018. Disponible sur : https://medwet.org/wp-content/uploads/2018/10/OZHM_2018_Rapport-technique.pdf
- [17] RENNES METROPOLE. Prairies Saint-Martin. *Rennes, Ville et Métropole* [en ligne]. [sans date] [consulté le 22 mai 2023]. Disponible sur : <https://metropole.rennes.fr/prairies-saint-martin>
- [18] OFB. Thème annuel de la JMZH. *Zones-humides.org* [en ligne]. 24 mai 2023. Disponible sur : <https://zones-humides.org/s-informer/association-ramsar-france/la-journee-mondiale-des-zones-humides/theme-annuel-de-la-jmzh>
- [19] VILLE LE MESNIL LE ROI. *La création d'une réserve naturelle volontaire - L'exemple du Mesnil L'exemple du Mesnil-le-roi : la restauration d'une zone humide en voie de disparition* [en ligne]. 2011. Diaporama. Disponible sur : <https://www.yvelines.fr/wp-content/uploads/2011/11/Diapo-ReserveNaturelleVolontaireMesnil-le-Roi.pdf>

ESPACES VERTS

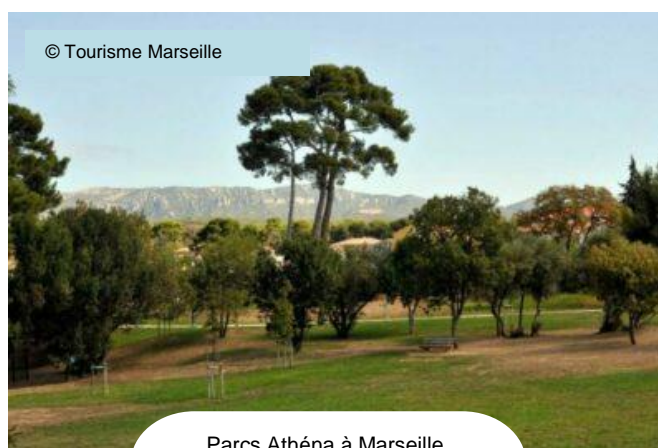
1. DESCRIPTION GÉNÉRALE

Les espaces verts sont des lieux ouverts où prédomine la présence de végétation. Ils sont localisés en zone urbaine ou semi-urbaine [1]. Le terme d'espace vert est un terme assez large, englobant plusieurs espaces différents : parcs, prairies urbaines, jardins fleuris, végétalisation des voies de circulation, noues, plantation d'arbres ... [2]. L'avantage dans la création des espaces verts, outre la possibilité de combiner des solutions entre elles, c'est de permettre aux habitants des villes d'avoir accès à de la végétation. Dans leur étude, Bourdeau-Lepage et al. (2018) [1] interrogent les habitants d'une commune rurale sur un panel de critères du bien-être de vie. Parmi les interrogés, l'accessibilité à un espace vert ressort comme un élément prédominant pour le bien-être, surtout sur la visibilité en surface d'espace vert.



© beauxjardinetpotagers.fr

Jardin public de l'hôtel de ville de Fontenay-le-Comte



© Tourisme Marseille

Parcs Athéna à Marseille

1.1. FONCTIONNEMENT TECHNIQUE

Un espace vert en milieu urbain va engendrer des bénéfices pour la santé humaine. La création d'espaces verts va combiner un ensemble de solutions de désimperméabilisation selon le projet mis en œuvre. Il sera possible de combiner des solutions vertes comme des noues, des jardins de pluies, des forêts urbaines ou même des solutions grises, des puits d'infiltration, de la résine drainante. La création de voies de cheminement dans les espaces verts amène un contact entre les citoyens et la nature. De plus, l'ajout de structures, comme des espaces de jeux pour les enfants, des belvédères, etc ..., favorise son utilisation.












Déterminants de la santé		Objectifs visés de la clef 12 : Aménager des espaces verts de façon à :
 Qualité de l'air		<ul style="list-style-type: none"> – Limiter l'exposition des populations à la pollution atmosphérique – Limiter l'exposition des populations aux substances allergènes
 Qualité et gestion des eaux		<ul style="list-style-type: none"> – Favoriser une bonne qualité et gestion des eaux – Favoriser l'évapotranspiration
 Qualité des sols		<ul style="list-style-type: none"> – Limiter l'exposition des populations aux polluants potentiellement présents dans les sols
 Biodiversité		<ul style="list-style-type: none"> – Préserver et/ou favoriser la biodiversité – Lutter contre les espèces invasives (faune et flore)
 Environnement sonore		<ul style="list-style-type: none"> – Limiter l'exposition des populations aux nuisances sonores – Créer des ambiances sonores de qualité
 Température		<ul style="list-style-type: none"> – Faire des espaces verts des îlots de fraîcheur (évapotranspiration et ombrage)
 Interactions sociales		<ul style="list-style-type: none"> – Favoriser les interactions sociales dans les espaces verts et leur appropriation par une diversité de publics (en termes de genre, d'âge, de catégorie socio-professionnelle, de culture)
 Activité physique		<ul style="list-style-type: none"> – Promouvoir l'activité physique dans les espaces verts adaptés à cet usage
 Compétences individuelles		<ul style="list-style-type: none"> – Exploiter le potentiel des espaces verts pour se ressourcer, se concentrer, se détendre, se divertir, se cultiver, développer l'imaginaire
 Revenu individuel		<ul style="list-style-type: none"> – Diminuer les charges dues à la consommation d'énergie pour la climatisation en période estivale
 Alimentation		<ul style="list-style-type: none"> – Encourager l'accès à une alimentation de qualité pour tous – Favoriser l'accès aux jardins urbains collectifs pour le plus grand nombre (Cf. clef 13 « Agriculture urbaine »)

Figure 1 : Bénéfices des espaces verts (ISADORA, 2020)[2]

2. REGLEMENTATION

Se référer aux documents d'urbanisme : SRADDET, SCoT, PLU etc ...

3. RECOMMANDATIONS ET MISE EN OEUVRE

Si cette solution est mise en œuvre, veuillez-vous référer aux autres fiches du catalogue de solutions de désimperméabilisation. Tous les éléments à la fois techniques et règlementaires y sont indiqués.

RÉFÉRENCES

- [1] Bourdeau-Lepage, L., Texier, P. & Carré, H. (2018). Évaluer les déterminants du bien-être sur un territoire: Illustration à travers le cas d'une commune rhônalpine. *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, , 775-803. <https://doi.org/10.3917/reru.184.0775>
- [2] ISADORA (2020). Espaces verts. Intégrer une multiplicité d'espaces verts à différentes échelles du projet en préservant et valorisant au maximum les espaces à caractères naturel et les sols de qualité déjà présents sur le site et en assurant une complémentarité et une continuité entre ces espaces. Lien d'accès https://www.ehesp.fr/wp-content/uploads/2020/06/F_12_Espaces-verts-Isadora-web.pdf
- [3] MICHEL, E., & MOUGEY, C. (2014). Les espaces verts dans la ville: un enjeu vital pour ses habitants ?. Récupéré sur BTSA GEMEAU, le Blog: <http://bts-gemeau.fr/les-espaces-verts-dans-la-ville-un-enjeu-vital-pour-ses-habitants/> (non cité ?) => pour en savoir plus ?

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique - nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, air, économie circulaire, alimentation, déchets, sols, etc., nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



Où et comment désimperméabiliser les sols ?

Catalogue de solutions de désimperméabilisation

Ce document apporte des éléments d'aide à la décision pour répondre aux questions suivantes : Comment désimperméabiliser ? Quels sont les points d'attention à considérer avant de désimperméabiliser ?

Il s'adresse aux différents acteurs de la désimperméabilisation (techniciens, décideurs...). Son objectif est d'aider à identifier, quelle que soit l'échelle du projet (du site au territoire urbain), les techniques les plus adaptées selon les contraintes environnementales et les bénéfices environnementaux et/ou sociaux recherchés (gestion de l'eau pluviale, lutte contre les îlots de Chaleur Urbain, renaturation, accroissement des aménités, de la biodiversité, valorisation des espaces urbains, etc.).

Les 15 solutions, présentées en Annexe sous forme de fiches techniques, ont été retenues pour leur prévalence dans la bibliographie, leur fréquence d'utilisation et la quantité de retours d'expérience. Elles sont classées en deux grands ensembles, les solutions grises et les solutions fondées sur la nature. Le corps du document offre une présentation générale des enjeux (contexte environnemental et réglementaire) de la désimperméabilisation, une des comparaisons des solutions et des recommandations.

Essentiel à retenir

Le panel de solutions de désimperméabilisation disponibles permet de répondre à tout type d'échelles de projet, et à différents bénéfices environnementaux et sociaux recherchés. Il est nécessaire néanmoins de vérifier les contraintes environnementales liées à la désimperméabilisation (ex. roches solubles, pollution des sols, remontées de nappe).

Le présent catalogue identifie les atouts et contraintes des différentes solutions de désimperméabilisation. Les fiches techniques et les comparaisons visent à faciliter le choix des solutions les plus pertinentes,

Si ce document comporte une référence ADEME et un ISBN :

Changer le Code barre + Le numéro

Clic droit sur le code barre puis **REPLACER L'IMAGE** ou **le/les supprimer s'il n'y en a pas.**

00000



9 791029 712128

