

FORMATION BÂTIMENT DURABLE

GESTION DES EAUX
PLUVIALES SUR LA PARCELLE
ET DANS L'ESPACE PUBLIC

PRINTEMPS 2024

La conception des dispositifs de GiEP

Stéphane TRUONG

écoRce
INGÉNIERIES CONSULTANCE



bruxelles
environnement
leefmilieu
brussel
.brussels



- ▶ Présenter un aperçu des différents dispositifs de gestion des eaux pluviales
- ▶ Donner les éléments permettant de dimensionner les différents dispositifs et ainsi atteindre les volumes à gérer obtenus via les méthodes de dimensionnement
- ▶ Intégrer la gestion des eaux pluviales dans la conception des projets

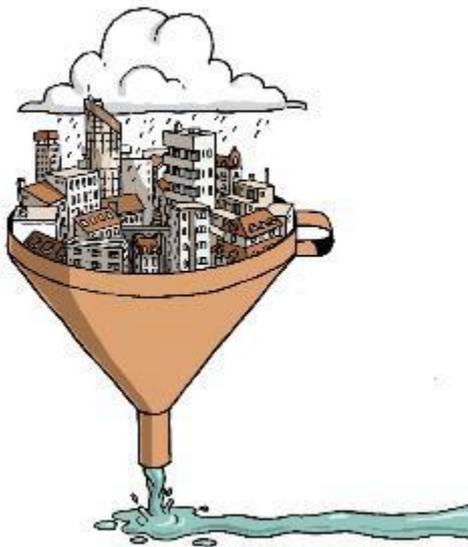


DU TOUT TUYAU... ...À LA VILLE PERMÉABLE

GIEP

ÉLÉMENTS DE CONCEPTION

DISPOSITIFS

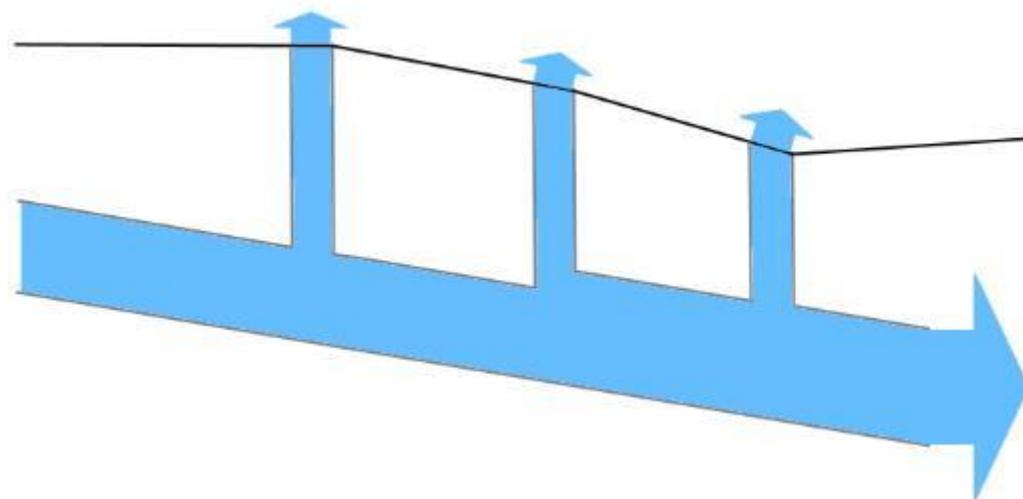


LA « GESTION » TOUT À L'ÉGOUT

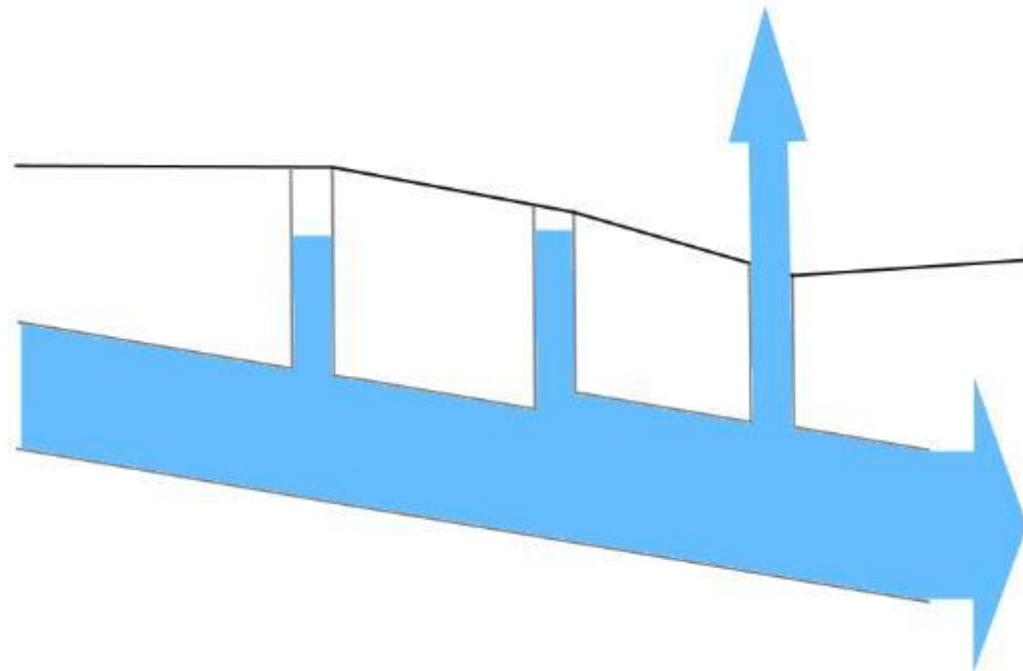




SURDIMENSIONNEMENT DU RÉSEAU UNITAIRE



Petits débordements généralisés



Gros débordement localisé

Surdimensionnement du réseau



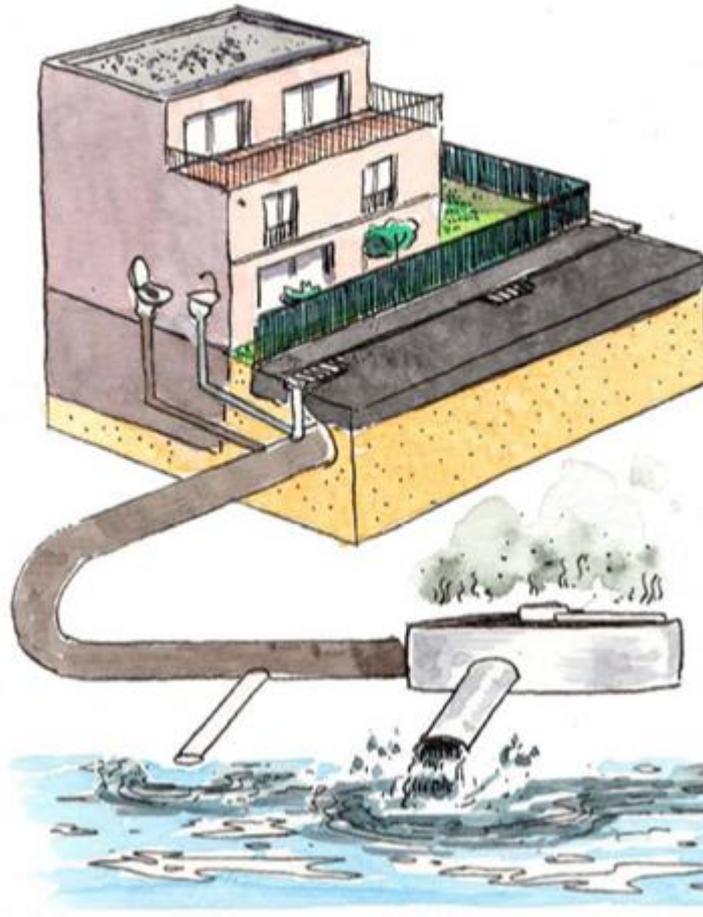
SURDIMENSIONNEMENT DU RÉSEAU UNITAIRE



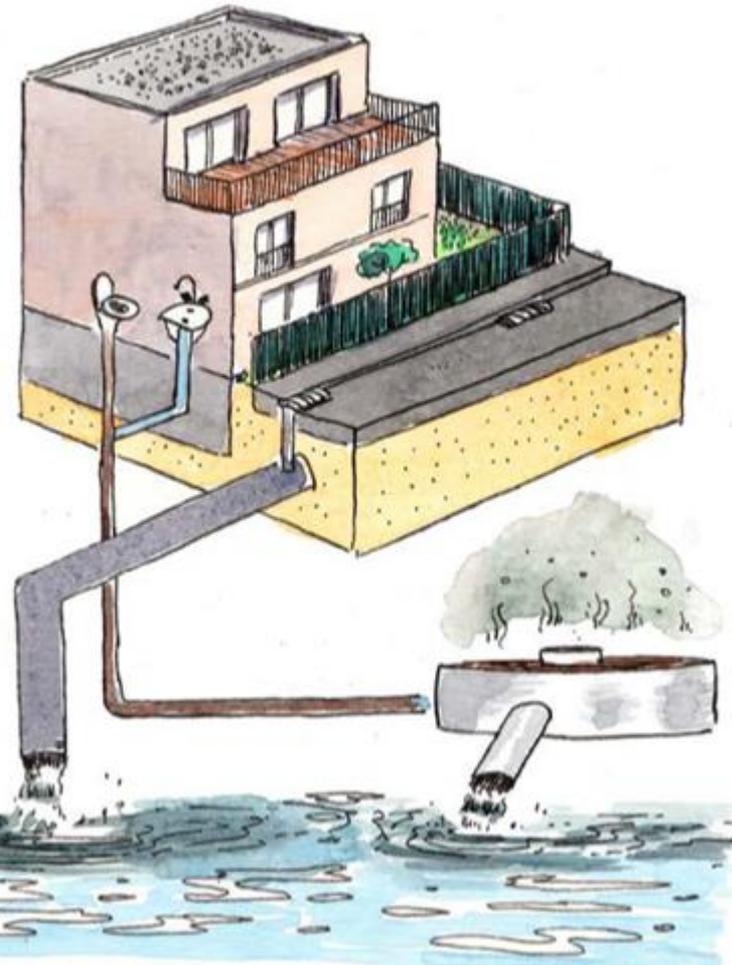
RÉSEAU SÉPARATIF



réseau unitaire



réseau séparatif.



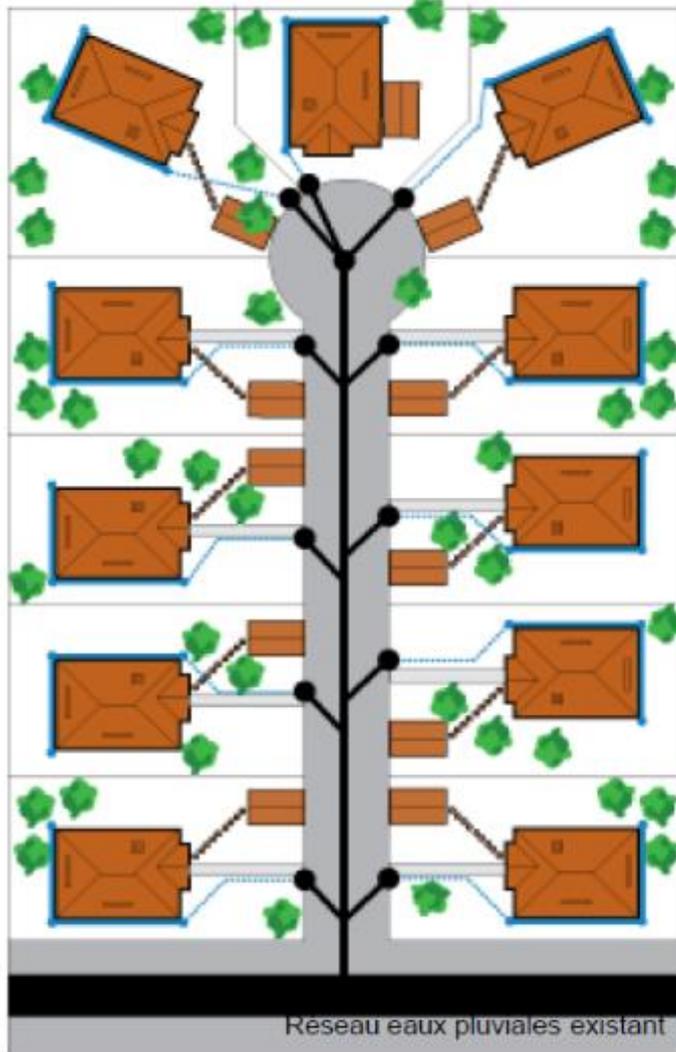
Source : France Nature Environnement



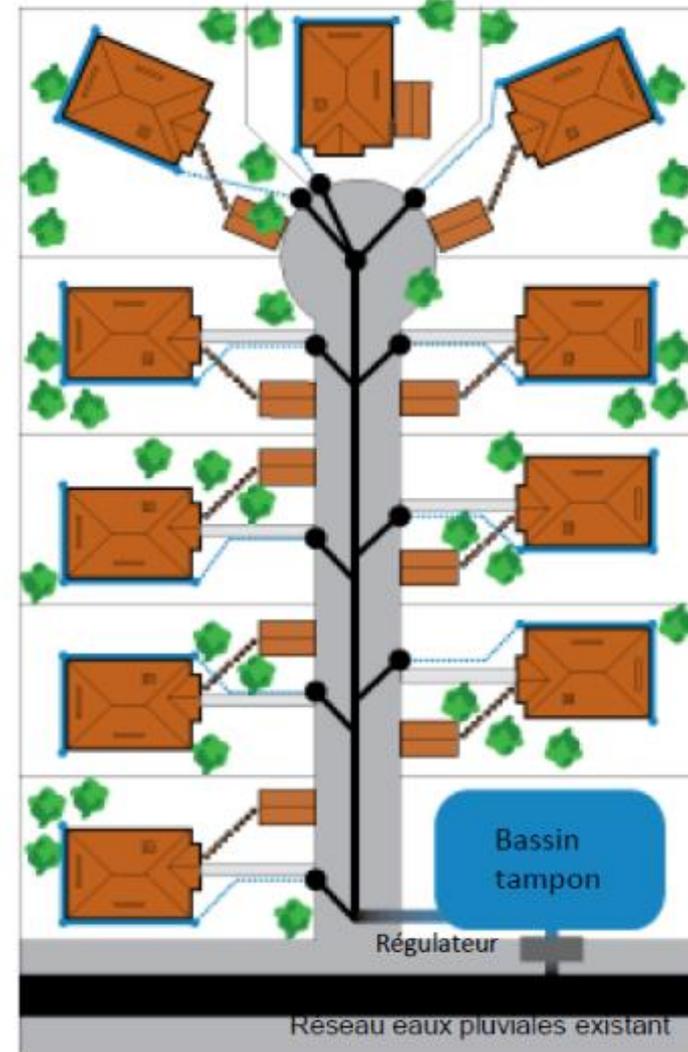
RÉSEAU SÉPARATIF



Techniques traditionnelles



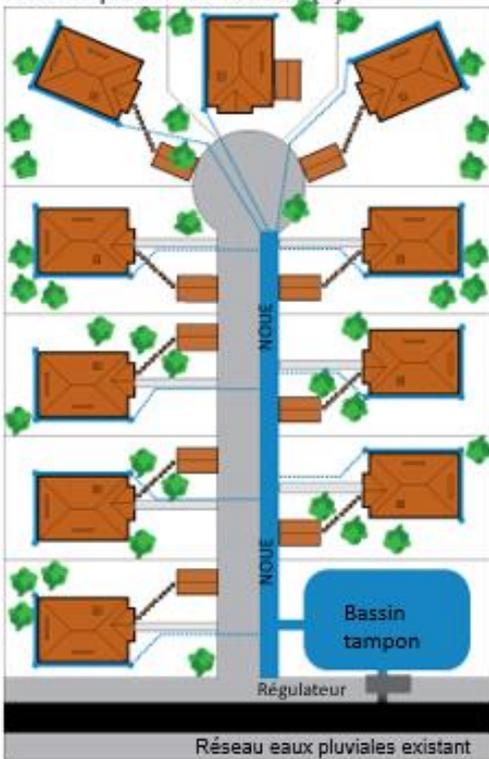
Techniques alternatives (1)



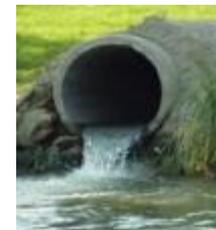


Qu'il soit enterré ou à ciel ouvert

Techniques alternatives (2)



- Infrastructures à créer ou vétustes à rénover → **Investissements** d'autant plus lourds si enterré
- Source de **pollution** via les mauvais branchements et via la collecte par ruissellement sur surfaces imperméables
- Protection relative contre les **risques d'inondation** (réseau ou cours d'eau exutoire autolimité)
- Complexité de **mise en œuvre** (rejet avec besoin d'autorisation, dans l'espace public à traverser)
- Difficulté d'identifier un **gestionnaire**
- **Aucun service écosystémique** rendu :
 - Pas d'épuration par l'association sols-racines
 - Pas d'effet positif climatique (îlots de chaleur)
 - Pas de gestion à la source (le non-ruissellement est favorable notamment sur la qualité)
- **Cout-efficacité** : chaque m³ d'eau géré de façon intégrée (GIEP = infiltration ou évapotranspiration) donne immédiatement des bénéfices écosystémiques et sort définitivement l'eau du réseau d'égout.
En séparatif, malgré le cout d'un tronçon, tant que le réseau n'est pas connecté à un cours d'eau aval, les m³ qui y entrent vont toujours à l'égout et sans le moindre avantage environnemental.



L'expérience des réseaux séparatifs en RBC n'est pas probante





Le BO enterré

- ▶ Ne sert QUE pour la **lutte contre les inondations** et cela reste discutable (ambition élevée impossible à atteindre)
- ▶ Peut avoir un effet néfaste prolongé sur les **pollutions vers le milieu récepteur** (effet de concomitance)
- ▶ Renvoie tout de même **tout à l'égout**
- ▶ Aucune gestion des **petites pluies**
- ▶ Aucun **service écosystémique**
- ▶ Impossible techniquement pour les **petites parcelles**
- ▶ **Enterré** et vite oublié (ex. Seine Saint-Denis, 60% de non conformité)
- ▶ **Coût** élevé au m³ « géré »
- ▶ Le ruissellement et le transport dans des canalisations engendre une concentration de la **pollution**
- ▶ Consommation éventuelle de pompes (coût et maintenance)





Le BO à ciel ouvert (infiltrant/non)

- ▶ **Lutte contre les inondations** mais reste discutable (ambition élevée impossible à atteindre)
- ▶ Renvoie tout de même **tout à l'égout** (non infiltrant)
- ▶ Gestion des **petites pluies** (si infiltrant)
- ▶ **Services écosystémiques** faibles
- ▶ **Décentralisé** > occupe du foncier
- ▶ Deviens vite une **décharge**
- ▶ **Coût** élevé
- ▶ Le ruissellement et le transport dans des canalisations engendre une concentration de la pollution vers des surfaces d'infiltration faibles > risque élevé de **pollution de la nappe** !
- ▶ Surfaces actives importantes par rapport aux surfaces d'infiltration ce qui engendre un **colmatage** important
- ▶ Mauvaise **intégration paysagère**
- ▶ Uni-fonctionnel (clôture, etc)





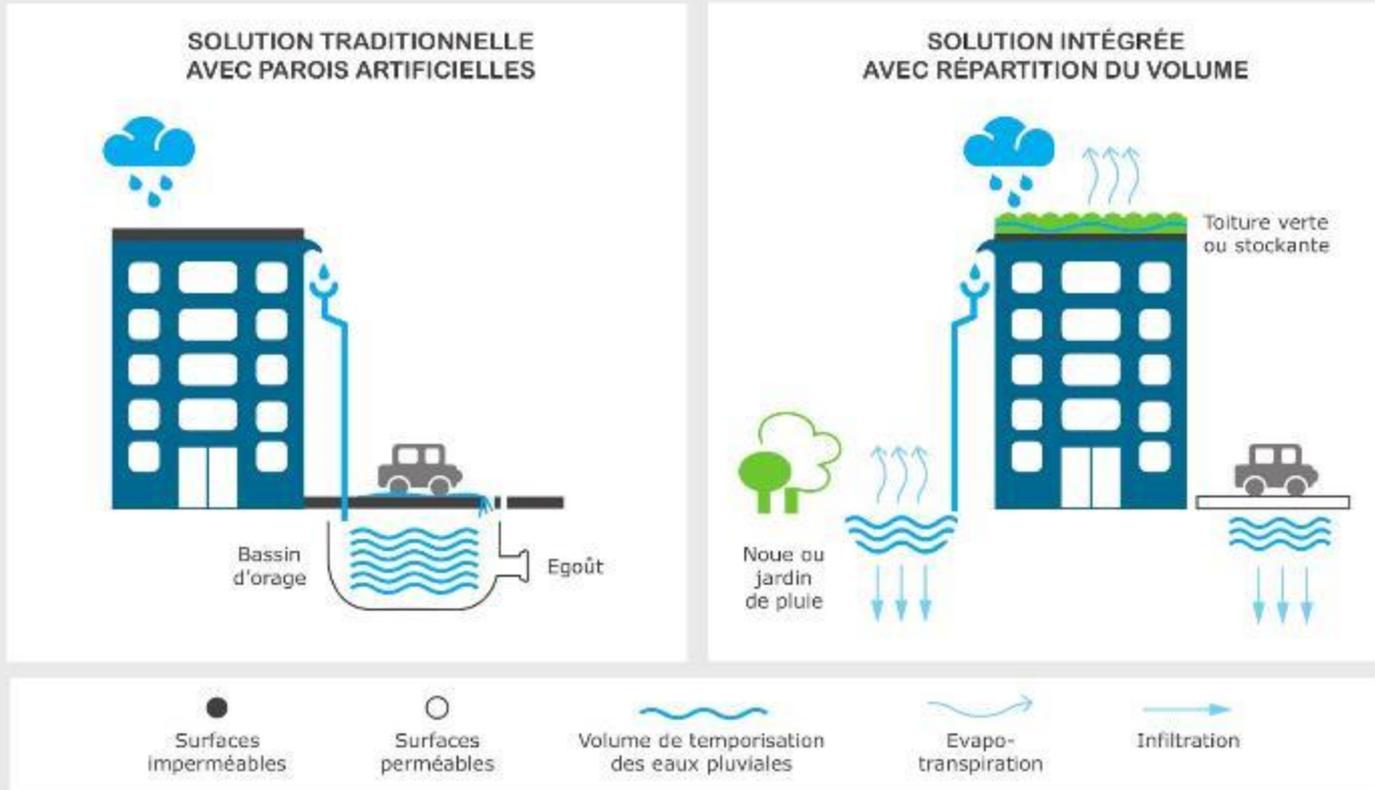
Béton perméable ou SAUL

- ▶ **Lutte contre les inondations** mais reste discutable (ambition élevée impossible à atteindre)
- ▶ Surverse nécessaire vers **l'égout**
- ▶ Gestion des **petites pluies**
- ▶ Aucun **service écosystémique**
- ▶ **Enterré** et vite oublié
- ▶ **Coût** très élevé au m³ « géré »
- ▶ Le ruissellement et le transport dans des canalisations engendre une concentration de la pollution vers des surfaces d'infiltration faibles > risque élevé de **pollution de la nappe** !
- ▶ Surfaces actives importantes par rapport aux surfaces d'infiltration ce qui engendre un **colmatage** important
- ▶ **Energie grise** des matériaux





TEMPORISATION DES EAUX PLUVIALES - SOLUTION TRADITIONNELLE VS SOLUTION INTÉGRÉE



© Bruxelles Environnement



« Chaque fois que l'on vous dit que le changement est impossible, montrez leur... Séoul »

[Inspiré de la citation de Lior Steinberg]



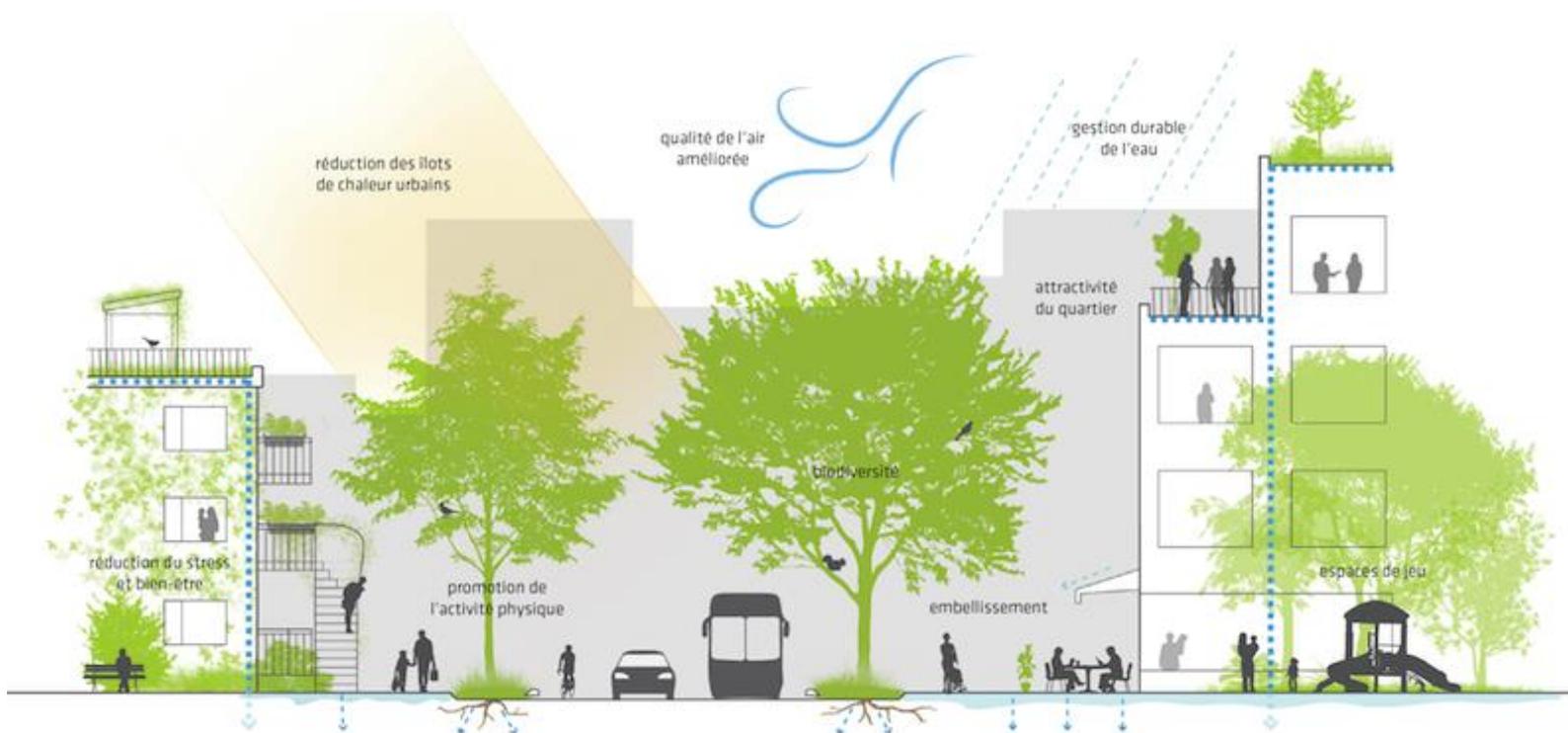
Source : Metro Seoul, www.metroseoul.kr



DU TOUT TUYAU...
...À LA VILLE PERMÉABLE

GIEP

ÉLÉMENTS DE CONCEPTION
DISPOSITIFS





Aménagements / dispositifs qui accomplissent les 4 objectifs liés à la résilience aux changements climatiques :



► la lutte contre les inondations



► l'amélioration de la qualité des cours d'eaux



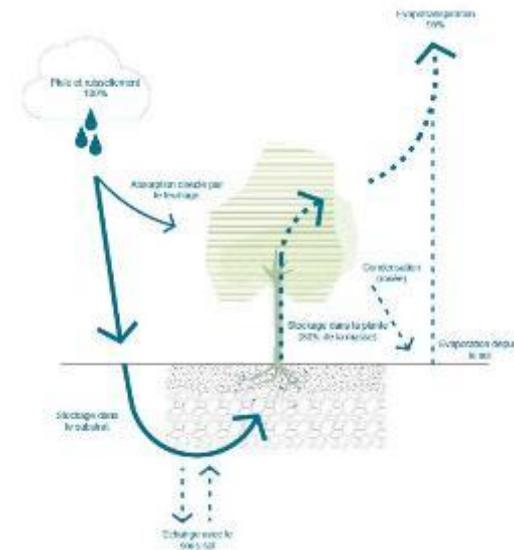
► la qualité de vie des habitants : îlots de chaleur, espaces multifonctionnels



► la biodiversité

Pour atteindre ces 4 objectifs simultanément, les moyens nécessaires sont :

- Gérer **IN SITU**, à la parcelle
- Utiliser le trio EAU.SOL.PLANTE = **sol-éponge** et le **végétal** → Nature based solution
 - Stockage + infiltration dans la couche supérieure du sol > sol vivant
 - Filtration + décolmatage + évapotranspiration par les végétaux
- **S'intégrer aux éléments urbains** qui ont déjà d'autres fonctions (rues, infrastructures vertes)



GIEP, UNE SOLUTION INTÉGRÉE ET MULTIFONCTIONNELLE



La GiEP vise à **utiliser les espaces urbains** et les **éléments bâtis** mis en œuvre pour leur fonction première et à leur donner une **fonction supplémentaire**, celle de **gérer les eaux pluviales** à la source.



Aménagement d'une place publique

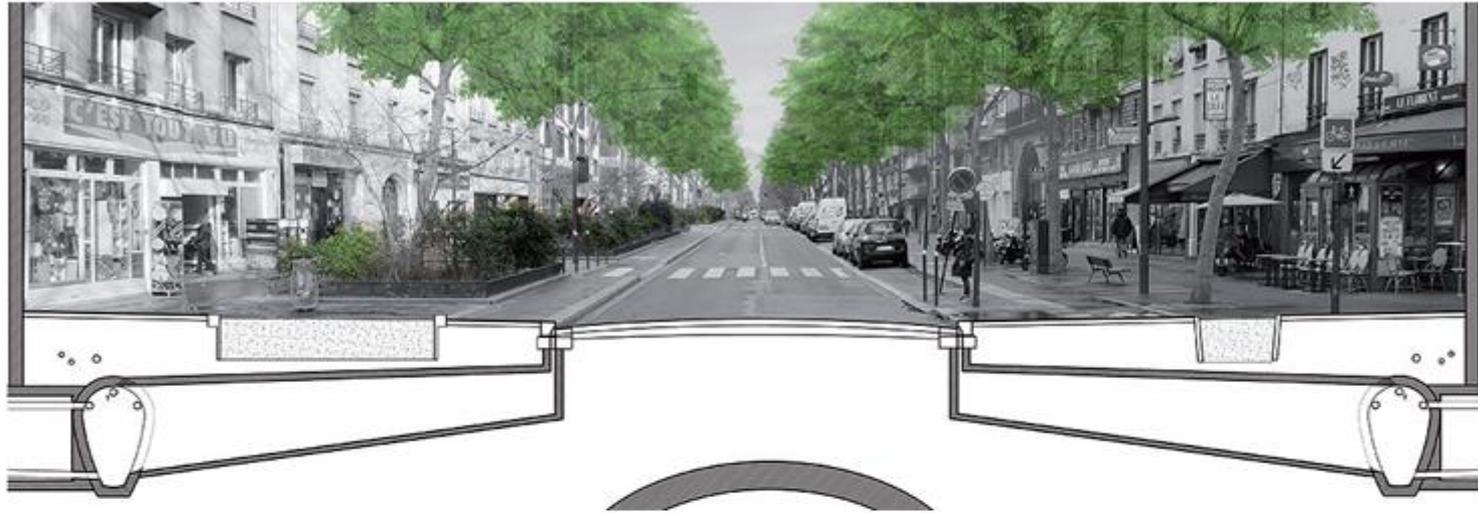
Rond-point



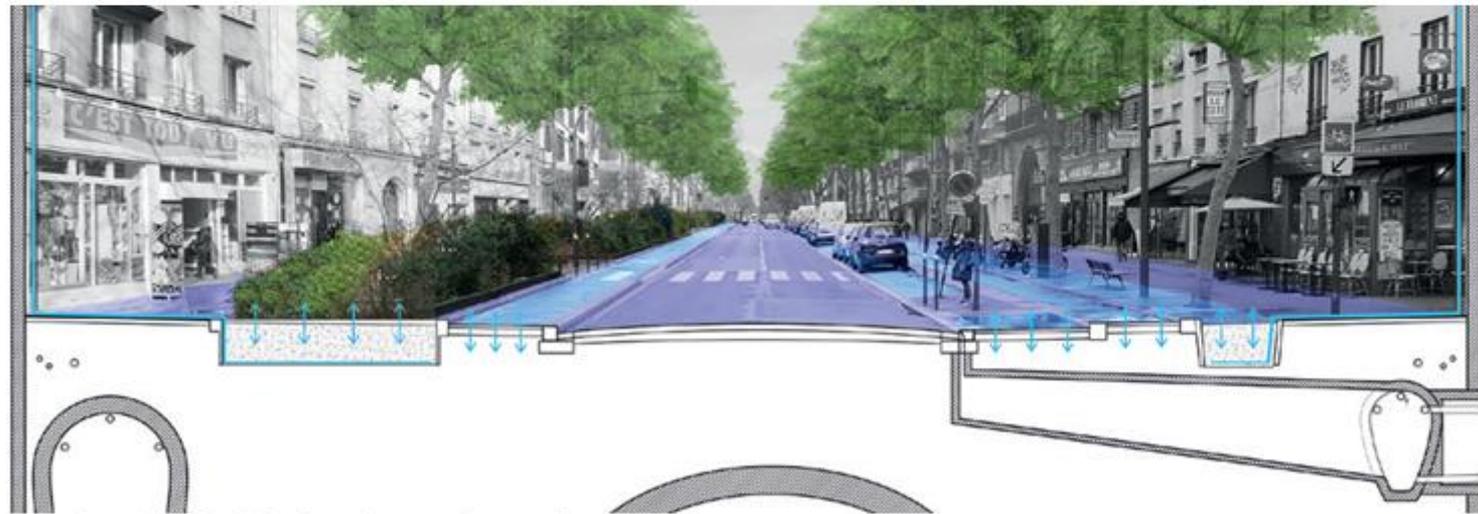
Cheminement piéton



GIEP, UNE SOLUTION INTÉGRÉE ET MULTIFONCTIONNELLE



© Apur



© Apur

Avenue Jean Jaurès, Paris 19^e : état existant et état proposéSource : APUR, Référentiel pour une gestion à la source des eaux pluviales dans la métropole

GiEP, UNE SOLUTION INTÉGRÉE ET MULTIFONCTIONNELLE



Espace public inondable. Place du Pavillon de l'Horloge, Romainville.
Principe d'inondation des espaces selon l'occurrence de la pluie



Tems sec

© EPT Est Ensemble - Gael Kerbaol



Pluie modérée

© EPT Est Ensemble - Gael Kerbaol



Pluie forte

© EPT Est Ensemble - Gael Kerbaol



Fosse d'arbre décaissée et végétalisée, Romainville

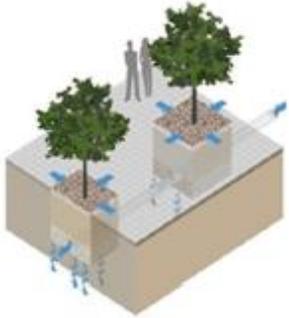
© ATM

Source : APUR, Référentiel pour une gestion à la source des eaux pluviales dans la métropole



GiEP, LA COMBINAISON D'UNE MULTITUDE DE SOLUTIONS

Arbre de pluie



Ouvrage ponctuel
Gestion à la source

Bande filtrante



Ouvrage linéaire
Gestion à la source

Bassin d'infiltration



Ouvrage surfacique
Gestion en fin de réseau /
Rétention

Bassin en eau



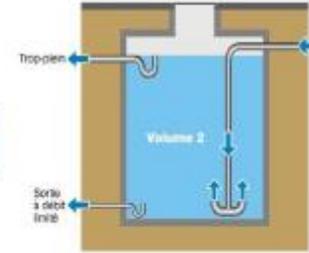
Ouvrage surfacique
Gestion en fin de réseau /
Rétention

Bassin sec



Ouvrage surfacique
Gestion en fin de réseau /
Rétention

Citerne



Ouvrage ponctuel
Gestion à la source ou
en fin de réseau / Rétention

Jardin de pluie



Ouvrage surfacique
Gestion en fin de réseau /
Rétention

Noue / Fossé



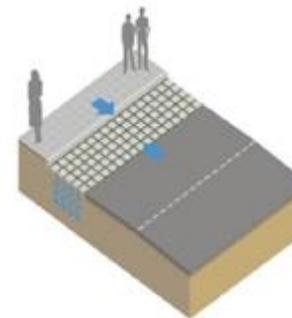
Ouvrage linéaire
Gestion en transport ou en
fin de réseau / Rétention

Puits d'infiltration



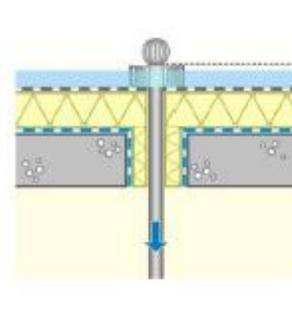
Ouvrage ponctuel
Gestion à la source ou
en fin de réseau / Rétention

Revêtements poreux



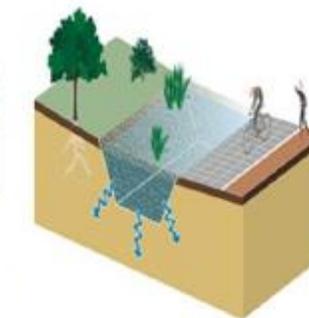
Ouvrage linéaire ou surfacique
Gestion à la source ou
en transport

**Toiture stockante ou
Toiture verte**



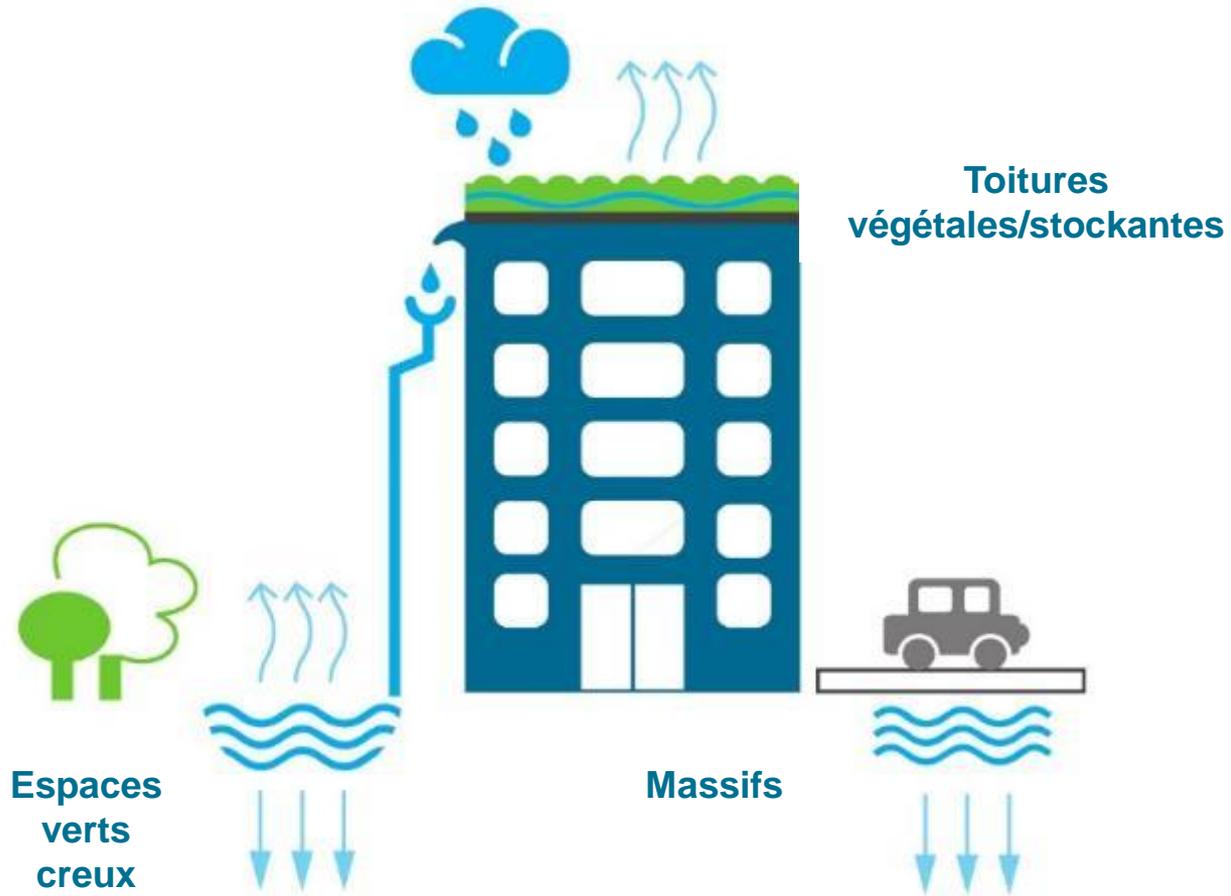
Ouvrage surfacique
Gestion à la source

Tranchée d'infiltration



Ouvrage linéaire
Gestion à la source, en
transport ou en fin de réseau





DU TOUT TUYAU...

...À LA VILLE PERMÉABLE

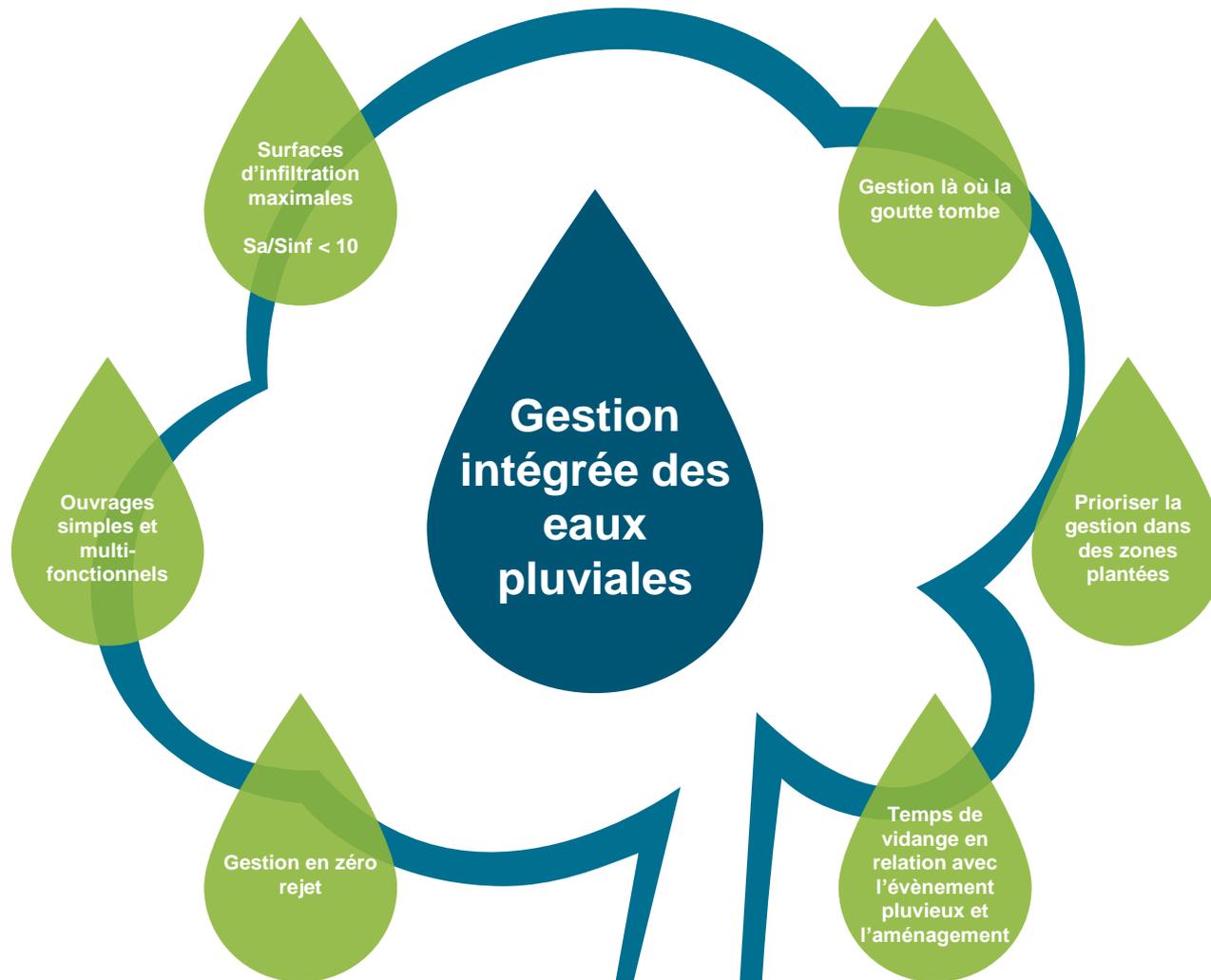
GIEP

ÉLÉMENTS DE CONCEPTION

DISPOSITIFS



LES ÉLÉMENTS D'UNE BONNE GIEP



GUIDE INFILTRER LES EAUX PLUVIALES

Guide « Infiltrer les eaux pluviales c'est aussi maîtriser les flux polluants » (Damien TEDOLDI)



Infiltrer LES EAUX PLUVIALES c'est aussi maîtriser les flux polluants.

État des connaissances et recommandations techniques pour la diffusion de solutions fondées sur la nature.



1
De quels polluants parle-t-on ?

L'essentiel

2. Une caractérisation des polluants

3. Les polluants les plus problématiques

4. Les polluants les plus problématiques

9
Quels dysfonctionnements sont susceptibles d'intervenir sur le long terme ? Comment y remédier ?

L'essentiel

Focus pratique : quantités de terre polluée à gérer.

Calculer la quantité de terre polluée à gérer en fonction de la surface de la zone à traiter et de la concentration des polluants dans les eaux infiltrées.

3
Le sol est-il capable de filtrer les contaminants ?

L'essentiel

Le sol agit comme un filtre naturel pour les polluants, mais sa capacité de filtration dépend de sa composition et de son état.

Le sol agit comme un filtre naturel pour les polluants.

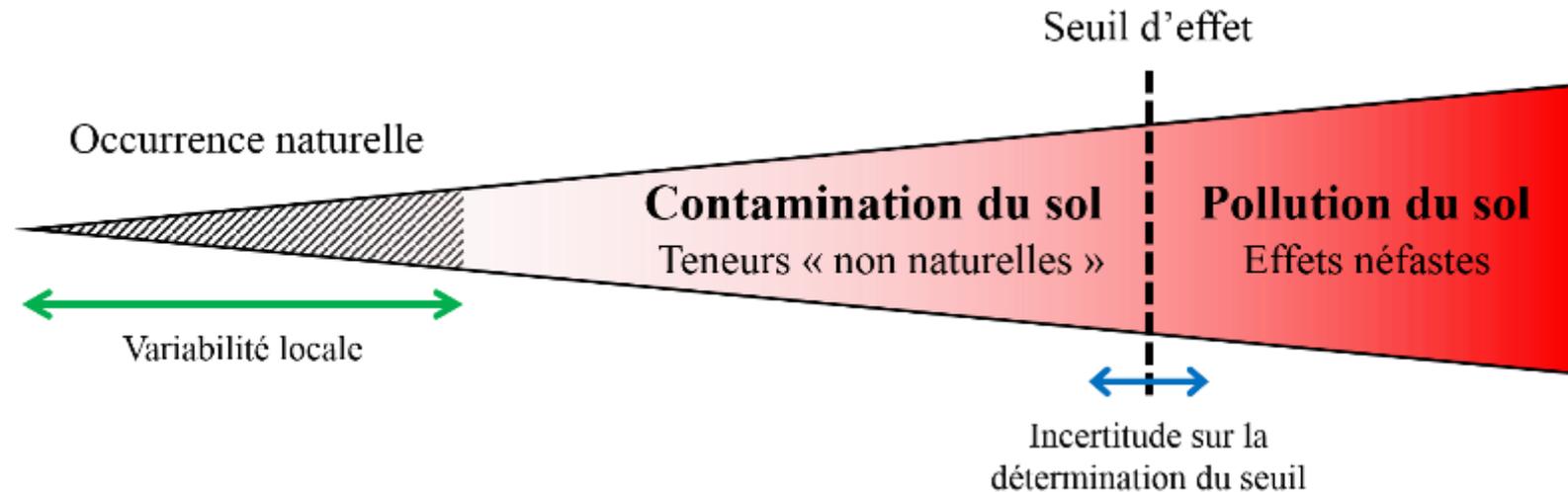
Diagramme illustrant le processus de filtration des polluants par le sol, montrant la couche de terre et les polluants qui sont retenus ou dégradés.

À noter !
Y a-t-il un intérêt à généraliser les solutions de dépollution à l'amont ?

Il est important de considérer l'impact des polluants sur l'environnement et de chercher des solutions à l'amont pour réduire les flux polluants.

CONTAMINANT VS POLLUANT

Un contaminant ne devient un polluant que lorsque sa concentration dépasse un seuil critique au-delà duquel elle a une action toxique sur des organismes et/ou engendre des nuisances environnementales



Source : Damien TEDOLDI – Infiltrer les eaux pluviales c'est aussi maîtriser les flux polluants



CONTAMINANT VS POLLUANT

La diversité et les flux des substances transportées par l'eau s'accroissent au fil du trajet parcouru sur des surfaces imperméables, et a fortiori en cas d'engouffrement dans un réseau, où elle se mélange à des effluents d'origine différente.

GiEP = Gestion à la source

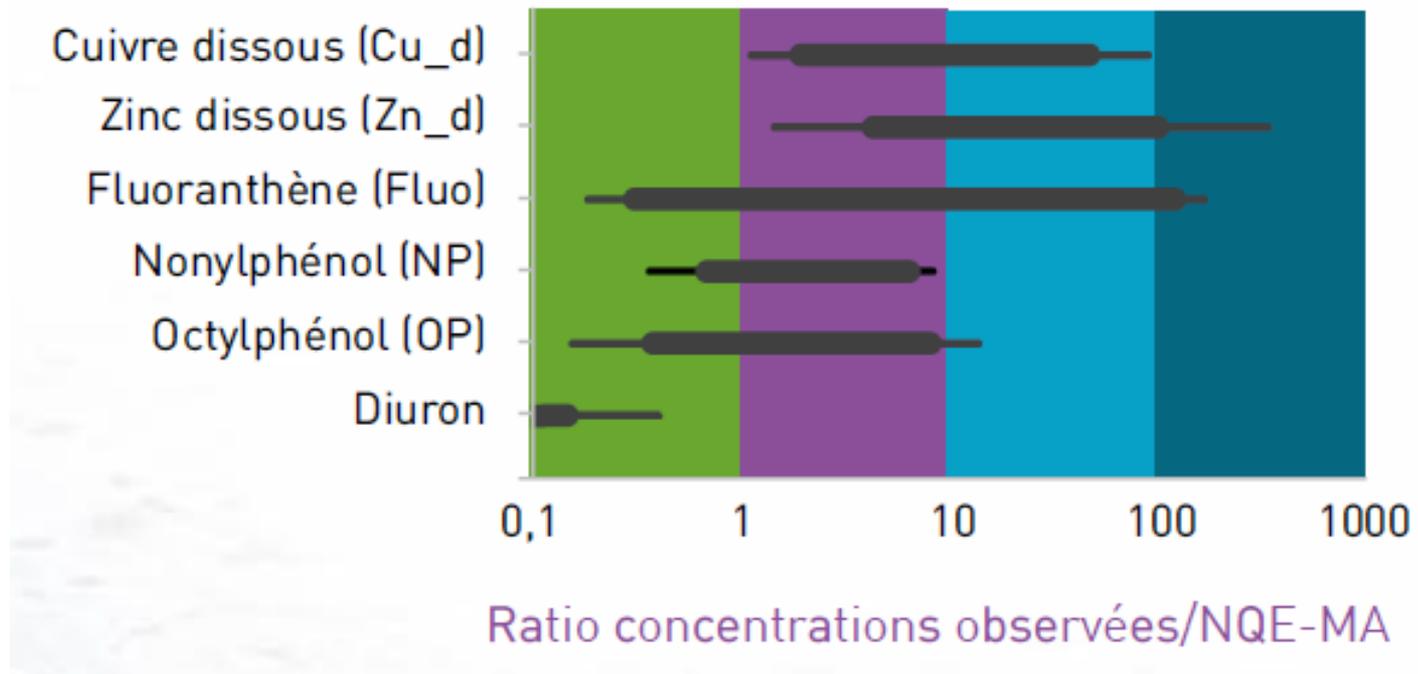
- ▶ ↘ palette contaminants
- ▶ ↘ masse contaminants



28 MILIEU RÉCEPTEUR – EAUX SUPERFICIELLES

Les concentrations retrouvées dans les eaux de ruissellement :

- ▶ Sont variables
- ▶ Sont modérées mais susceptibles d'avoir un impact sur les milieux aquatiques



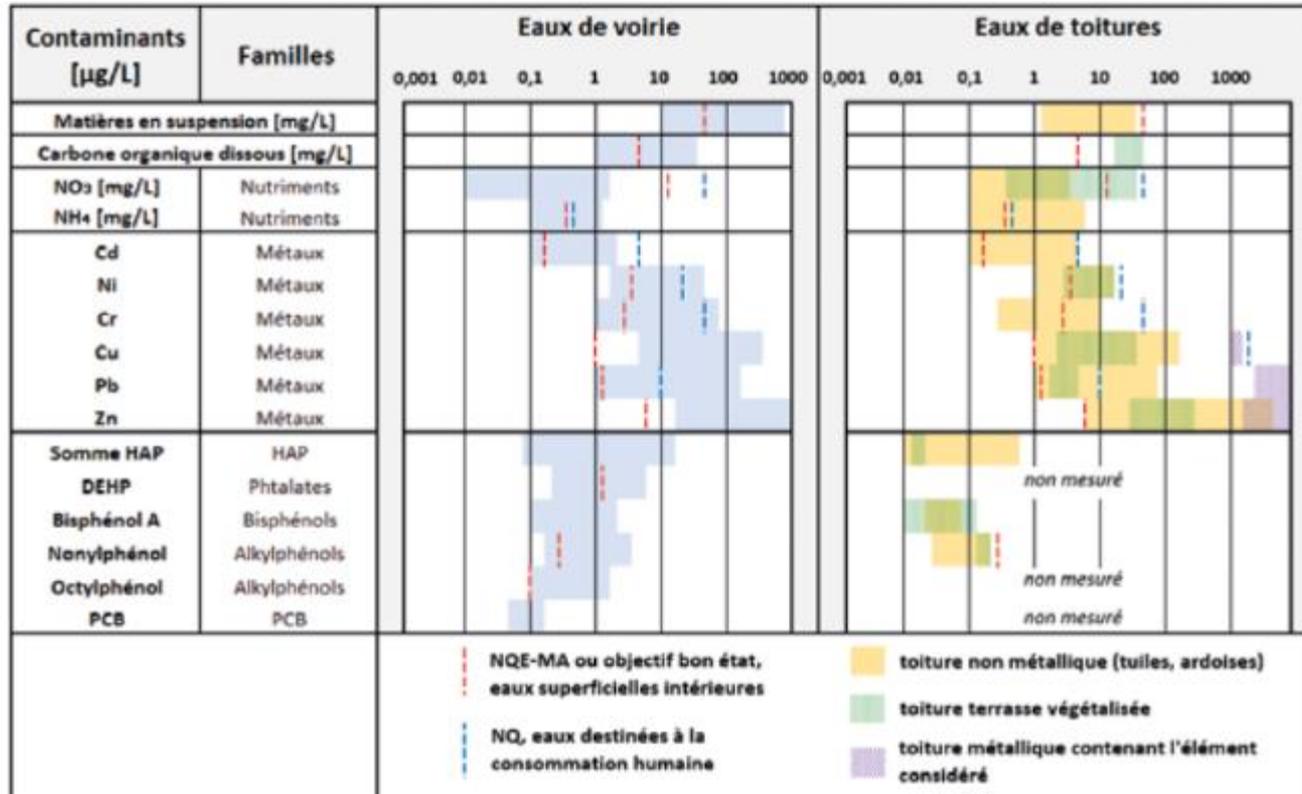
Source : Damien TEDOLDI – Synthèse des projets
Roulépur, Micromégas, Matriochkas, 2019



29 MILIEU RÉCEPTEUR – EAUX SOUTERRAINES

Les concentrations retrouvées dans les eaux de ruissellement :

- Sont proches voire inférieures aux NQE pour les eaux souterraines

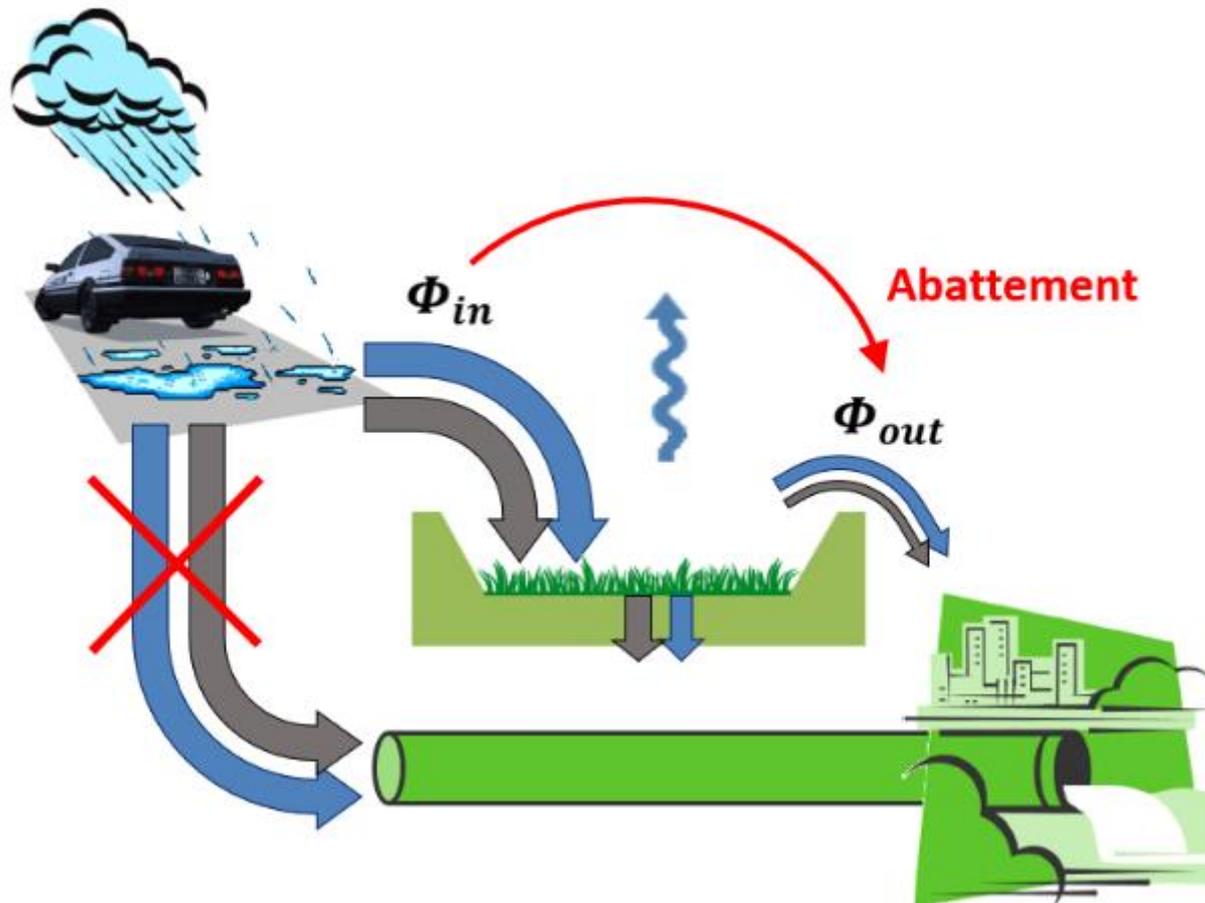


Source : Damien TEDOLDI – Infiltrer les eaux pluviales c'est aussi maîtriser les flux polluants

⇒ Le sol peut-il assurer une rétention suffisante ?



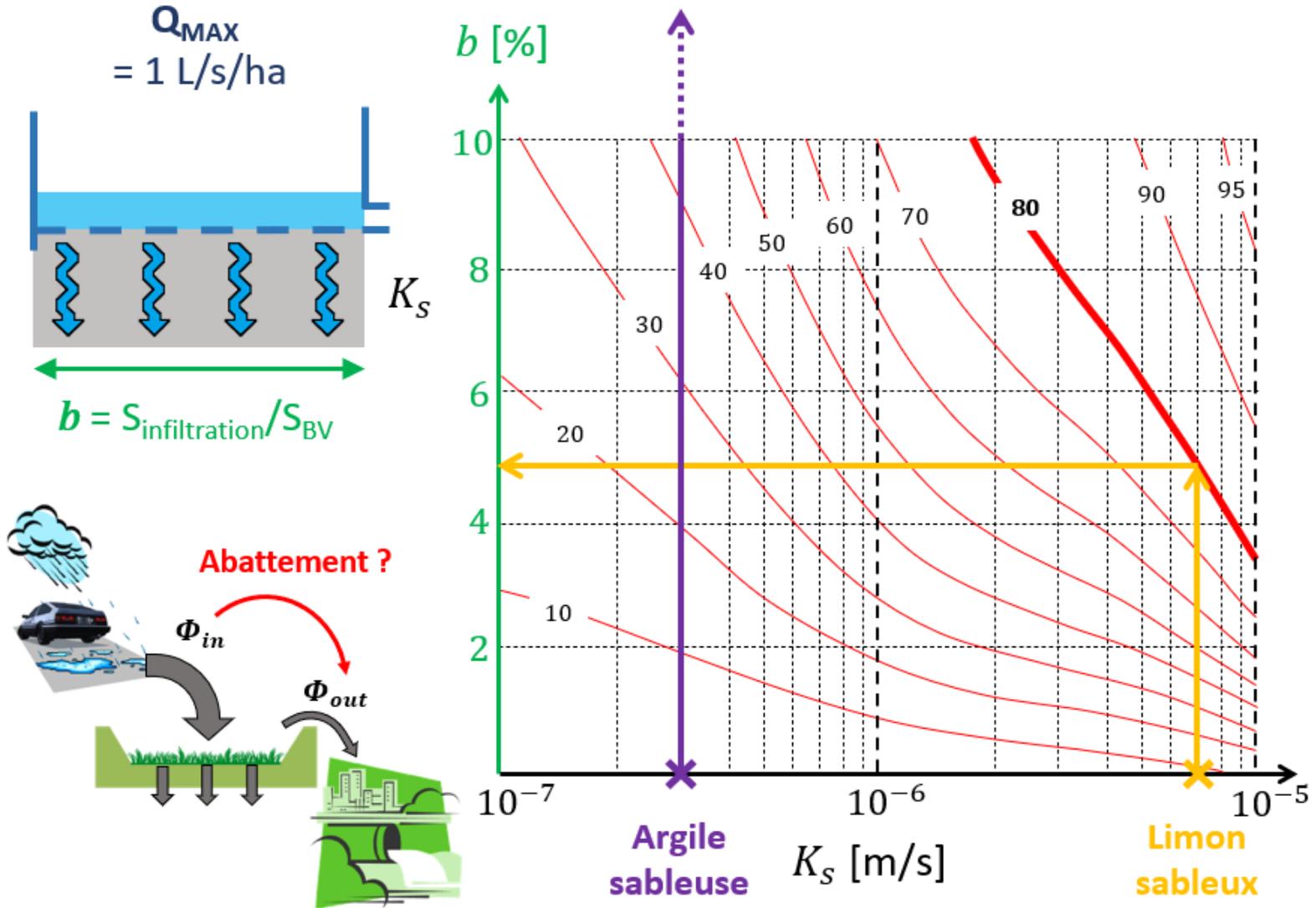
La GiEP permet de préserver les eaux superficielles



Source : Damien
TEDOLDI – Infiltrer
les eaux pluviales
c'est aussi maîtriser
les flux polluants



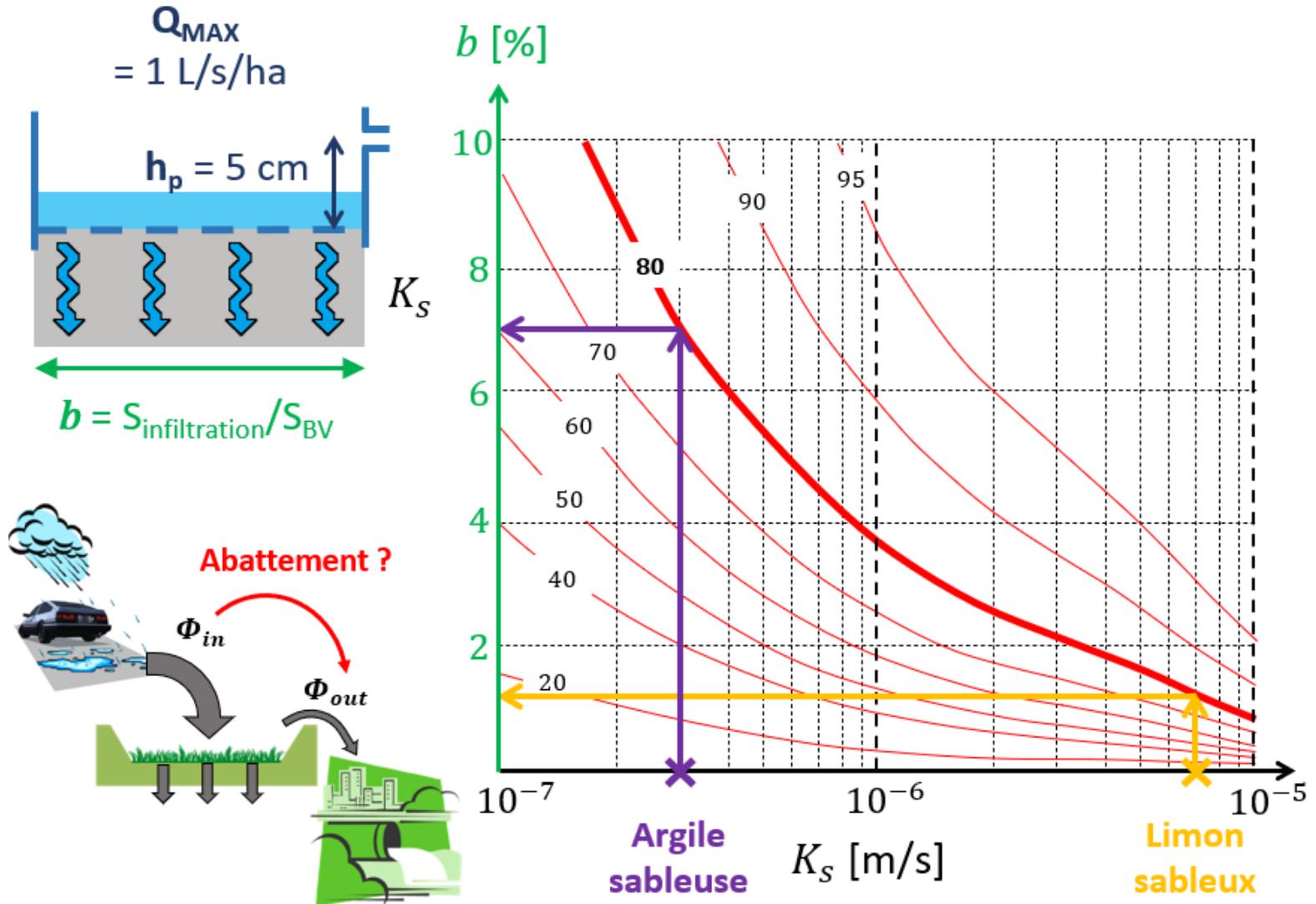
ABATTEMENT – DÉBIT RÉGULÉ



Source :
Damien
TEDOLDI –
Infiltrer les
eaux
pluviales
c'est aussi
maîtriser les
flux polluants



ABATTEMENT – INFILTRATION

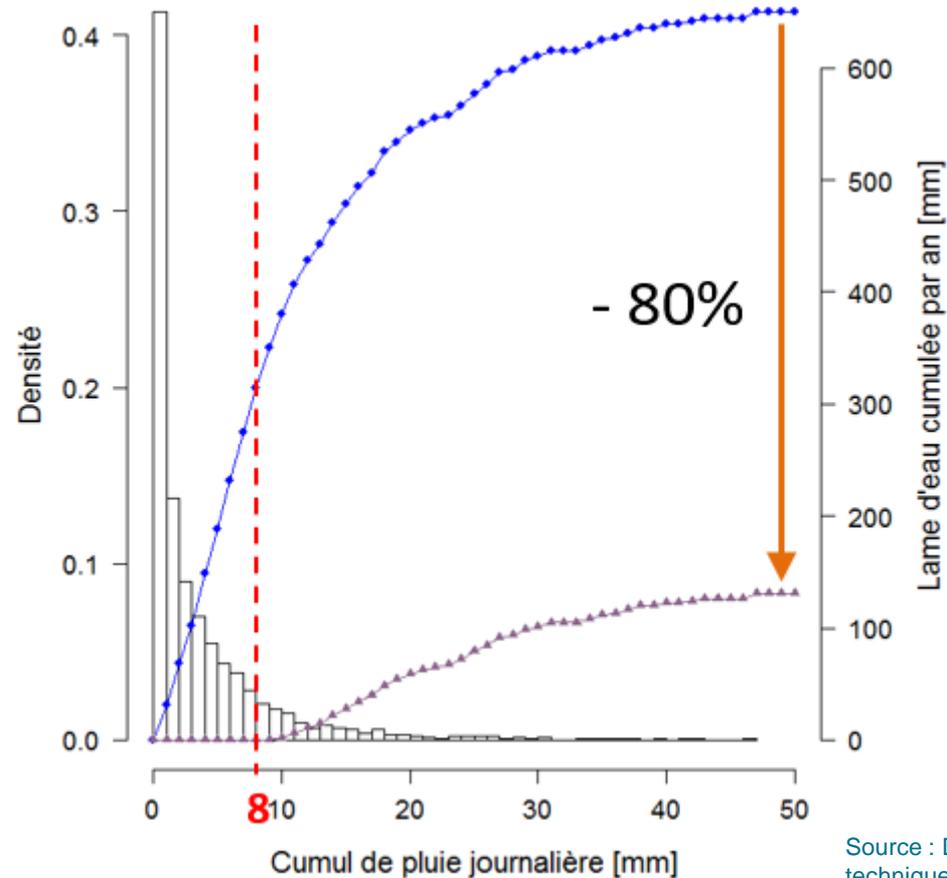


Source :
Damien
TEDOLDI –
Infiltrer les
eaux
pluviales
c'est aussi
maîtriser les
flux polluants



Principe des 8 mm

- ▶ Permet de capter 80% du volume annuel
- ▶ Permet un abattement du flux polluant de minimum 80%

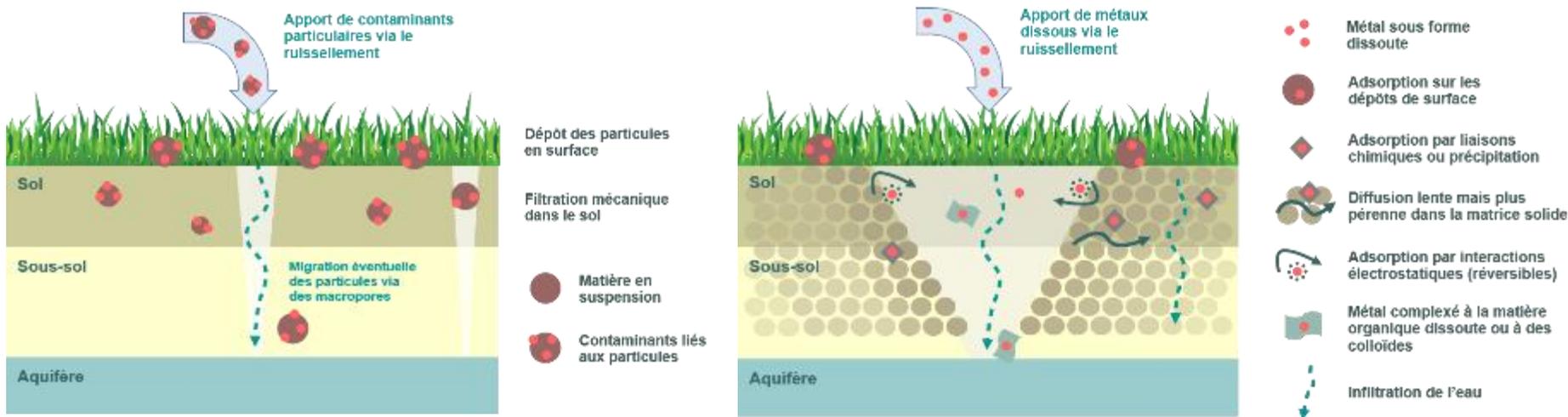


Source : Damien TEDOLDI – Midi technique Eau



La plupart des contaminants retrouvés dans les eaux de ruissellement de voirie peuvent être retenus par le sol ou un substrat « vivant », pour peu qu'il possède des caractéristiques appropriées

- ▶ Filtration des **substances particulaires** (mécanismes physiques)
- ▶ Fixation de nombreuses **substances dissoutes**, dont les métaux et certains micropolluants organiques (hygrophobes ex. HAP) (interactions physico-chimiques)
- ▶ **Molécules organiques hygrophiles** non retenues par le sol (certains pesticides et biocides) > agir à la source (maîtriser leur usage)



Source : Damien TEDOLDI – Infiltrer les eaux pluviales c'est aussi maîtriser les flux polluants



Caractéristiques du sol

► La granulométrie

- particules grossières les moins réactives > retient très peu les contaminants dissous, même s'il présente une bonne efficacité pour filtrer les espèces particulières
- sol trop argileux > risques de formation de chemins d'écoulement préférentiels (fissures)

⇒ **85 % sables et 15 % d'argiles = bon compromis**

► **Matières organiques** : rétention de la plupart des contaminants dissous transportés par le ruissellement (métaux et molécules organiques hydrophobes).

⇒ **taux de matières volatiles supérieur à 5-6 % est souhaitable dans l'horizon de surface. Éviter les amendements de type tourbe ou écorces de pin qui tendent à acidifier le sol.**

- Un **pH supérieur à 6,5** permet de limiter la mobilité des métaux dissous.
- Il est important de s'assurer que l'**horizon de surface** qui possèdera ces caractéristiques ait une épaisseur d'au moins **20 cm**, et de veiller à son homogénéité



Caractéristiques des ouvrages

- ▶ **arrivée de l'eau dans l'ouvrage** de la manière la plus répartie possible. En pratique, un simple décaissement du terrain sur l'ensemble de la longueur de la dalle pour assurer un ruissellement direct vers un espace vert creux sera donc plus à même de rencontrer les objectifs de maîtrise des contaminants que l'apport via canalisations et tuyaux en un point du dispositif...
- ▶ Un **ratio de 5/1** (= 5m² de surface de ruissellement pour 1 m² de surface d'infiltration) est une valeur sécuritaire à viser et un ratio de 10/1 une valeur limite à ne pas dépasser.
- ▶ Mettre en place une **végétation dense et y associer un entretien extensif** : les plantes jouent un rôle important en interaction avec la pédo-faune du sol et permettent de filtrer certains polluants (particulaires).
- ▶ **Réaliser l'ouvrage suffisamment en amont de sa mise en fonction** et préserver/réutiliser les premiers horizons de sols : la couche de surface (20 – 30 cm) est généralement celle qui possède les meilleures capacités de rétention.



Midis techniques Eau

- Midi d'introduction sur la pollution des eaux de ruissellement : devenir des polluants urbains dans les systèmes d'infiltration du 09/12/2021

Présentations et replay sur

<https://environnement.brussels/thematiques/eau/le-professionnel-en-action/evenements/evenements-passes>

Guide Infiltrer les eaux pluviales c'est aussi maîtriser les flux polluants

- Téléchargeable sur <https://www.leesu.fr/opur/guides>



Accueil > Outils opérationnels

Guides

Le programme OPUR a coordonné la réalisation de plusieurs ouvrages et guides à destination opérationnelle :



Infiltrer les eaux pluviales, c'est aussi maîtriser les flux polluants.
État des connaissances et recommandations techniques pour la diffusion de solutions fondées sur la nature - 2020

Cet ouvrage sur l'infiltration des eaux de ruissellement et la maîtrise des flux d'eau et de polluants associés constitue la concrétisation d'une action de recherche menée au Leesu dans le cadre de l'observatoire OPUR. Il vise à rendre les connaissances scientifiques accessibles au plus grand nombre, et à mettre ces connaissances au service d'une amélioration des pratiques opérationnelles, à travers différentes recommandations techniques. Fruit d'un travail collectif entre chercheurs et acteurs opérationnels, ce guide est organisé en dix questions, qui reprennent les principales interrogations soulevées au

cours du projet. Il apporte des réponses synthétiques et pragmatiques qui permettront certainement de lever la plupart des réticences concernant l'infiltration des eaux pluviales.



DU TOUT TUYAU...

...À LA VILLE PERMÉABLE

GIEP

ÉLÉMENTS DE CONCEPTION

DISPOSITIFS

- ▶ **Toitures**
- ▶ Les revêtements perméables
- ▶ Massifs
- ▶ Espaces verts creux





Qu'est-ce qu'une toiture végétale extensive ?

- ▶ La **toiture végétale extensive** a une **épaisseur de substrat limitée**, ne permettant qu'à des plantes à très faible développement et supportant la sécheresse de se développer. Elle est moins contraignante en termes de poids pour la dalle de toit du bâtiment
- ▶ Le substrat de la toiture extensive est souvent plus « pauvre » que celui de la toiture (semi-)intensive afin de répondre aux besoins des plantes

	Toitures intensives	Toitures semi-intensives	Toitures extensives
Type de végétation	Herbacées et arbustes. Petits arbres si ép. substrat > 60 cm	Herbacées et arbustes	Herbacées, plantes grasses et mousses adaptées
Épaisseur de substrat	> 30 cm	> 10 à 30 cm	5 à 10 cm
Surcharge occasionnée	> 400 kg/m ²	> 100 à 400 kg/m ²	30 à 100 kg/m ²



Quels en sont les composants ?

- ▶ Substrat adapté (gain de poids)
- ▶ Couche filtrante (géotextile) – parfois intégrée dans la couche de drainage
- ▶ Couche de drainage – peut être soit une fine nappe drainante de stockage, soit un tapis drainant
- ▶ Protection anti-racines à prévoir au dessus de l'étanchéité (30 cm min. de recouvrement à respecter). Cette protection reste nécessaire pour prévenir tout dommage à l'étanchéité lié à l'apparition spontanée de jeunes plants



Jeunes arbres apparus sur
toiture par manque d'entretien
Source : turfonline.co.uk



Source : MatGeco
Conforme NIP 229 du CSTC



Quels sont les points d'attention ?

- ▶ Le choix du type de plantations doit se limiter à des **espèces à très faible développement** (herbacées, plantes grasses et mousses adaptées)



⇒ **apport paysagiste, horticulteur ou spécialiste requis**

- ▶ L'accessibilité pour installation des végétaux et pour les dispositifs de sécurité (ligne de vie, garde-corps...) pour l'entretien doit être prévue dès l'avant-projet
- ▶ La dalle de toiture doit être dimensionnée pour reprendre les charges induites



⇒ **apport ingénieur stabilité requis**



Toiture extensive
Source : doerken.com

3 exemples d'espèces
indigènes adaptées



Quels sont les avantages (du point de vue de la biodiversité)?

- ▶ Bien exposées au soleil et au vent, permettent souvent de créer des milieux secs qui sont rares en contexte urbain et qui vont accueillir des espèces végétales dites « xérophiles » ou « méso-xérophiles »
- ▶ Diverses espèces d'oiseaux et d'insectes aiment venir y nicher, s'y réfugier ou profiter des fleurs nectarifères à leur disposition



⇒ La toiture extensive est moins intéressante que la toiture (semi)-intensive, mais elle présente néanmoins un intérêt



Nidification d'un pigeon ramier
Source : vdcgreen.blogspot.com



Goeland avec sa portée sur une toiture verte extensive
Source : NYC Audubon



Coccinelle sur une plante grasse
Source : sedumgreenroof.co.uk



Qu'est-ce qu'une toiture végétale intensive ou semi-intensive ?

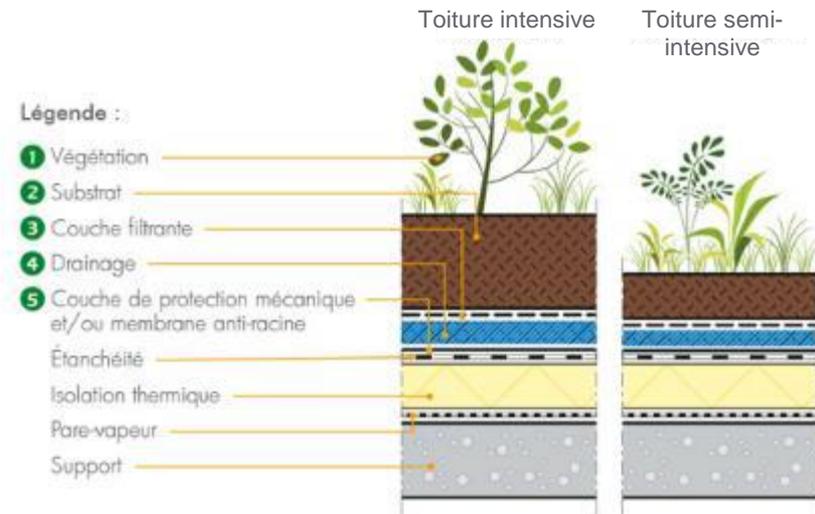
- Les toitures végétales **intensives** et **semi-intensives** se différencient par leur épaisseur de substrat, par le type de plantations qu'elles peuvent accueillir et par la surcharge qu'elles impliquent sur le bâtiment

	Toitures intensives	Toitures semi-intensives
Type de végétation	Herbacées et arbustes. Petits arbres si ép. substrat > 60 cm	Herbacées et arbustes
Épaisseur de substrat	> 30 cm	> 10 à 30 cm
Surcharge occasionnée	> 400 kg/m ²	> 100 à 400 kg/m ²



Quels en sont les composants ?

- ▶ Substrat adapté, choisi selon le type de plantations
 - Le substrat peut être allégé (billes d'argiles expansé, pierre de lave, plaques de polystyrène...)
- ▶ Couche filtrante (géotextile) - parfois intégrée dans la couche de drainage
- ▶ Couche de drainage, choisie selon le type de plantation
- ▶ Nappe drainante de stockage alvéolaire, choisie selon le type de plantations et l'épaisseur du substrat
- ▶ Protection anti-racines au-dessus de l'étanchéité (30 cm min. de recouvrement à respecter)
- ▶ Ancrage des grands sujets



Source : MatGeco
Conforme NIT 229 du CSTC



Quels sont les points d'attention ?

► Choix du type de plantations

- Aux prémices du projet > influence l'épaisseur du substrat (donc la surcharge)
- Privilégier les espèces à faible développement, sans racines pivotantes ou traçantes



⇒ **apport paysagiste, horticulteur ou spécialiste requis**

- ### ► L'accessibilité pour l'installation des végétaux, les dispositifs de sécurité (ligne de vie, garde-corps...) pour l'entretien et autres contraintes spécifiques doivent être prévues dès l'avant-projet
- ### ► La dalle de toiture doit être dimensionnée pour reprendre les charges induites



⇒ **apport ingénieur stabilité requis**



Toitures intensives à Courtrai
Source : Van den Berk



Quels sont les avantages (du point de vue de la biodiversité) ?

- ▶ Permet d'accueillir une grande variété de plantes, pouvant être réparties en plusieurs strates (arborée, arbustive et herbacées) servant de refuge pour différentes espèces animales
- ▶ Le substrat peut servir d'habitat pour différentes espèces d'insectes
- ▶ Permet d'accueillir de nombreuses plantes portant fruits et fleurs dont la faune peut bénéficier



Toiture intensive à Berlin (Cliniques DRK)

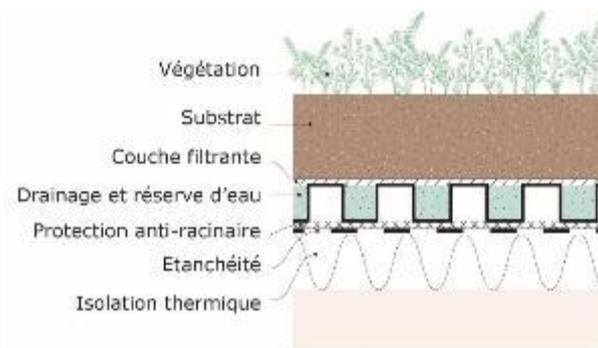
Source : Optigrün International AG



48 TOITURES VÉGÉTALES ET PERFORMANCES

Les performances d'évapotranspiration d'une toiture végétale dépendent :

- ▶ De l'épaisseur de substrat ET
- ▶ De la réserve d'eau dans la couche de drainage : elle doit correspondre à la lame d'eau à abattre



Type de toiture végétalisée horizontale ou de jardin	Épaisseur minimale de substrat	Hauteur de lame d'eau abattue (Équivalent en termes de pluie de projet d'une durée de 4 heures)
Extensive	10 cm	8 mm (2 mois)
Semi-intensive	15 cm	12 mm (3 mois)
Semi-intensive	20 cm	16 mm (6 mois)
Intensive - Jardin suspendu	30 cm	22 mm (1 an)
Intensive - Jardin suspendu	50 cm	32 mm (3 ans)
Intensive - Jardin suspendu	80 cm	38 mm (5 ans)

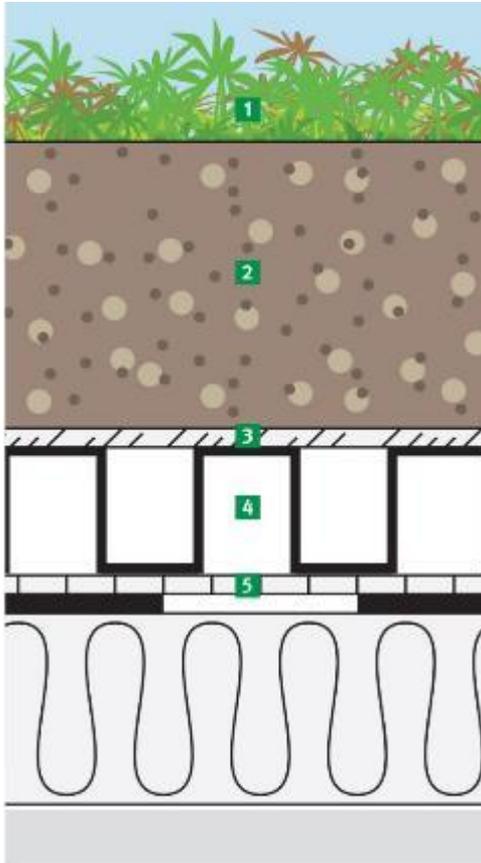
5 cm → 4 mm
(2 semaines)

TABLEAU INDICATIF DE LA CAPACITÉ D'ABATTEMENT EN FONCTION DE L'ÉPAISSEUR DE SUBSTRAT PAR TYPE

Source : extrait du « Guide d'accompagnement pour la mise en œuvre du zonage pluvial » (mars 2018, Mairie de Paris - DPE/STEA)



Extensive 5 cm



Source : www.optigreen.fr



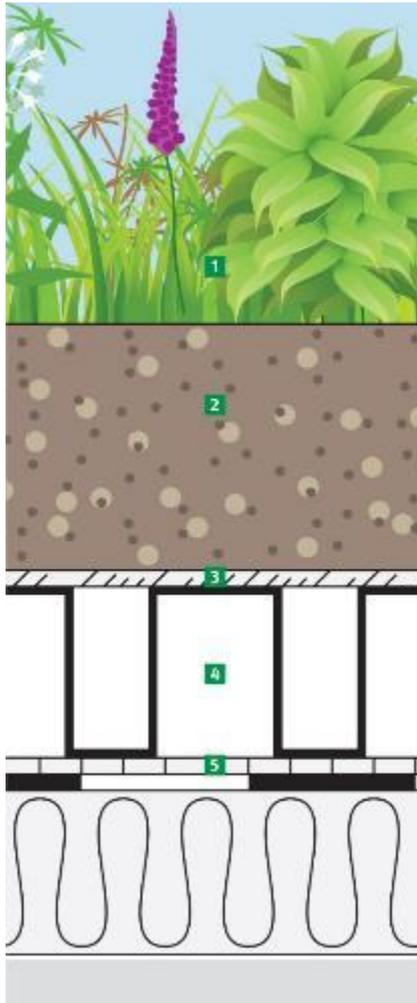
Source : www.optigreen.fr

Réserve utile = rétention permanente
 $\approx 4 \text{ l/m}^2$



50 TOITURES VÉGÉTALES ET PERFORMANCES

Semi-intensive 10 cm



Source : www.optigreen.fr



Source : www.optigreen.fr

Réserve utile = rétention permanente
 $\approx 8 \text{ l/m}^2$

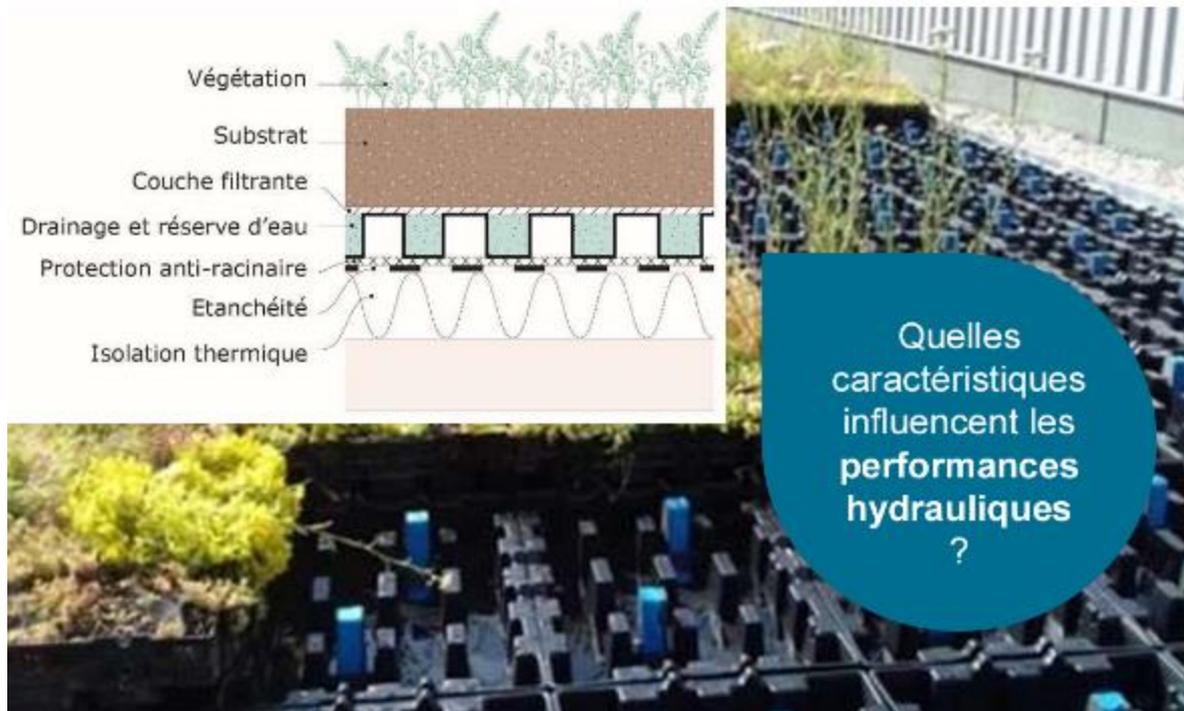


Midis techniques Eau

- La gestion des eaux pluviales par les toitures végétalisées du 19/10/2023

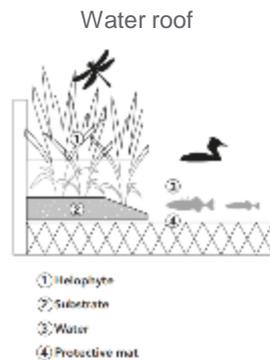
Présentations et replay sur

<https://environnement.brussels/thematiques/eau/le-professionnel-en-action/evenements/evenements-passes>



Qu'est-ce qu'une toiture « en eau » ?

- ▶ Les **toitures stockantes** sont utilisées pour la gestion intégrée des eaux de pluies (GiEP). Lorsqu'elles ne sont pas recouvertes de gravier ou de plantes, on parle de « **toiture en eau** ».
- ▶ Les **toitures en eau** stockent temporairement l'eau de pluie qui est évacuée à débit régulé pour réduire les débits de pointe
- ▶ Les concepts anglophones encore méconnus de « **water roof** » et « **wetland green roof** » assurent le même rôle, mais conserve une lame d'eau permanente. Ils sont plutôt associés à des **bassins plantés** (water roof) ou à des **milieux humides** sur toiture



Source : Natuurinclusief bouwen en ontwerpen, Gemeente Amsterdam



Water roof à Amsterdam (Artemis Hotel)
Source : TripAdvisor



Wetland green roof à Londres, 2016 (Victoria & Albert Museum)
Source : greeninfrastructureconsultancy.com



Quels sont les avantages ?

- ▶ Les toitures stockantes permettent de ralentir le débit de l'eau renvoyé vers le réseau d'égouttage/le réseau hydrographique/un autre ouvrage de GiEP. Les performances de débit régulé que l'on peut atteindre en toiture sont beaucoup plus intéressants qu'en bassin d'orage enterré
- ▶ Les toitures en eau avec une lame d'eau permanente (**water roofs / wetlands green roofs**) permettent d'**accueillir** des **espèces de milieux humides / aquatiques**



Source : Institut Royal des Sciences Naturelles

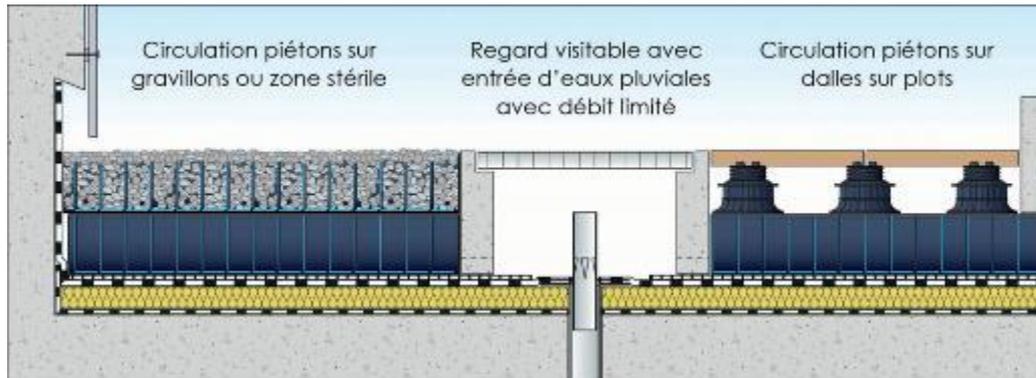


Source : Julien Séré

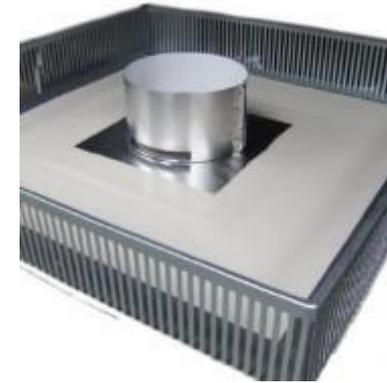


TOITURES STOCKANTES

- ▶ Stockage en toiture
- ▶ Evacuation à débit régulé
- ▶ Pas de surcharge jusqu'à une gestion de 50 mm d'eau si la toiture est dimensionnée pour les charges de neige (50 cm) mais attention à la répartition des charges (pente 2%)



SAUL – Sources : www.nidaplast.com



Régulateur de débit
Source : <http://odco.fr>



Peut-on réaliser des toitures à rétention d'eau sans pente ?

- ▶ Article Buildwise 2019-06.04

<https://www.buildwise.be/fr/publications/articles-buildwise/2019-06.04/>

- ▶ NIT 215, qui fait actuellement l'objet d'une révision, recommande la mise en œuvre d'une pente d'au moins 2 %
- ▶ Réaliser une toiture à rétention d'eau sans pente est envisageable uniquement si les deux conditions suivantes sont réunies :

la toiture est conçue pour stocker temporairement l'eau et l'absence de pente permet le bon fonctionnement du système de rétention d'eau (il peut parfois s'avérer nécessaire de répartir l'eau stockée uniformément sur la surface de la toiture de manière à disposer de la même quantité d'eau en tout point pour hydrater la toiture verte située au-dessus, par exemple)

l'étanchéité de toiture est protégée par une autre couche (l'eau stockée ne peut pas être visible)

- ⇒ **On ne peut réaliser sans pente une toiture plate dans laquelle la rétention d'eau ne consiste qu'à ralentir l'évacuation des eaux**



Pour quelle solution opter ?

Toiture stockante



Toiture végétale



pluies orageuses

petites pluies
pluies courantes



à débit régulé
+ trop-plein

évapo-transpiration
+ trop-plein



stockage temporaire

stockage « permanent »



TOITURES COMBINÉES

« à rétention d'eau » = réserve utile + partie stockage



Toiture à rétention d'eau – Optigreen – Source : www.optigreen.fr



Dispositif de débit régulé – Source : www.sika.com/



Toiture hydroactive – Le Prieuré – Sources : www.toiture-hydroactive-connectee.com



DU TOUT TUYAU...

...À LA VILLE PERMÉABLE

GIEP

ÉLÉMENTS DE CONCEPTION

DISPOSITIFS

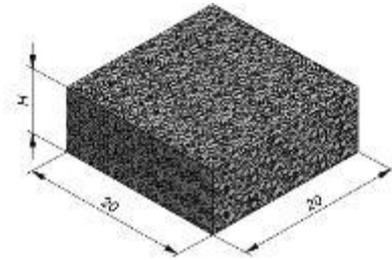
- ▶ Toitures
- ▶ **Les revêtements perméables**
- ▶ Massifs
- ▶ Espaces verts creux



MINÉRALISER ≠ IMPERMÉABILISER !



Source : Bleijko



Source : Ebema



Source : Noblema



Source : Urbastyle



Source : Stradus



Source : Pierre et Parquet



MINÉRALISER ≠ IMPERMÉABILISER !



Source : HMS Decorative Surfacing



Source : Dieco



Source : Holcim



Source : Tarmac



Source : Resin Bonded Aggregates



MINÉRALISER ≠ IMPERMÉABILISER !



Source : Les Paysages de l'Aveyron



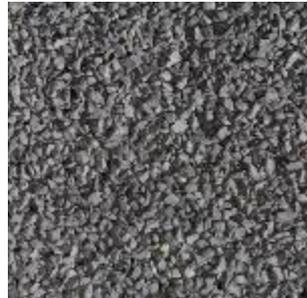
Source : Gravelart



Source : MatGeco



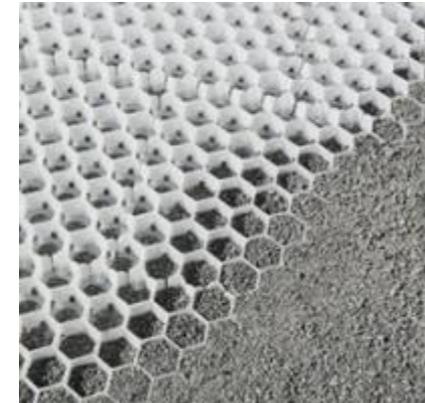
Source : Permaculture Design



Source : Gravelart



Source : Gravelart



Source : MatGeco



Perméabilité

Perméabilité des sols



Perméabilité k (m/s)		10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹
		+ ————— -												
Granulo- métrie	homogène	gravier pur			sable pur		sable très fin			silt		argile		
	variée	gravier gros et moyen	gravier et sable			sable et argile-limons								



Perméabilité des revêtements
(super)-perméables :

$$10^{-1} > K \text{ (m/s)} > 10^{-6}$$

Les données ne sont pas toujours disponibles...



10⁻⁶ m/s
3,6 mm/h



10⁻¹ m/s
360 000 mm/h



Praticabilité

- Les revêtements perméables ne permettent pas tous la même praticabilité pour l'ensemble des usagers...



- Tous ne sont pas applicables à l'ensemble des catégories de trafic

Type de trafic			
Catégorie	Piétons, cyclistes, motocyclistes	Véhicules légers (< 3,5 t)	Véhicules lourds (> 3,5 t)
I	Illimité	Limité à 5 000 par jour	Limité à 400 par jour
II	Illimité	Limité à 5 000 par jour	Limité à 100 par jour
III	Illimité	Limité à 500 par jour	Limité à 20 par jour
IV	Illimité	Occasionnel	Aucun



Source : CRR



Le coût des revêtements perméables peut parfois être plus important que ses homologues imperméables MAIS :

- ▶ le fait d'intégrer une fonction hydraulique à un aménagement qui a déjà une fonction propre (GiEP) permet des économies par rapport à une gestion décentralisée (bassin d'orage enterré par exemple)
- ▶ le fait de pouvoir se passer de réseau d'égouttage permet un gain qui rattrape souvent le surcoût de revêtements



xx - xx €/m²



Les résultats présentés restent sujets à discussion... Les données ne sont pas toujours disponibles et les retours d'expérience peu nombreux à Bruxelles !

Perméabilité



10^x m/s

Praticabilité



Coûts



xx - xx €/m²



REVÊTEMENTS MODULAIRES EN BÉTON

Pavés et dalles en béton poreux


 10^{-3} m/s

 I II
 III IV

 25 - 60 €/m²


Pavés et dalles en béton à joints élargis


 10^{-3} m/s

 I II
 III IV

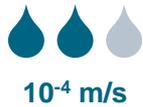
 25 - 60 €/m²


67 REVÊTEMENTS MODULAIRES EN BÉTON

Pavés et dalles en béton avec ouvertures de drainage



Dalles drainantes en béton



REVÊTEMENTS MODULAIRES EN MATÉRIAUX SYNTHÉTIQUES

Dalles en PE-HD remplies de gazon



€ € €
25 - 35 €/m²



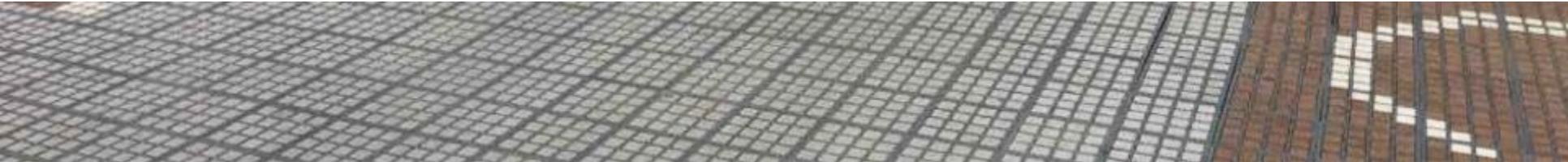
Dalles en PE-HD remplies de gravier



€ € €
25 - 35 €/m²



Dalles en PE-HD remplies de pavés



Pavés et dalles en pierre naturelle avec joints larges



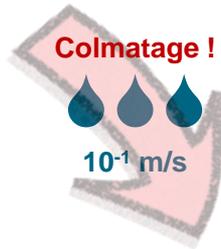
€ € €
50 - 160 €/m²



PAVES MAASTRICHT



Gravier concassé calcaire ou dolomitique



Gravier concassé de porphyre, basalte ou grès



REVÊTEMENTS EN ROCHE CONCASSÉE OU CLIVÉE

Terre battue

 10^{-2} m/s10 - 15 €/m²

Gorrh

 10^{-2} m/s10 - 15 €/m²

73

ENROBÉS POREUX

Béton poreux


 10^{-2} m/s

 I II
 III IV

30 km/h

30 - 40 €/m²

Asphalte bitumineux poreux


 10^{-2} m/s

 I II
 III IV

50 km/h

60 - 95 €/m²

ENROBÉS DRAINANTS

Gravier lié à la résine

 10^{-2} m/s90 - 100 €/m²

Semi-dur

 10^{-6} m/s10 - 25 €/m²

Revêtement en EPDM et ESBR



REVÊTEMENTS EN BOIS

Platelage en bois



10⁻² m/s



100 - 160 €/m²



Paillis de bois



10⁻² m/s



10 - 20 €/m²



Gazon en mélange terre-pierre



10^{-2} m/s



5 - 10 €/m²



DU TOUT TUYAU...

...À LA VILLE PERMÉABLE

GIEP

ÉLÉMENTS DE CONCEPTION

DISPOSITIFS

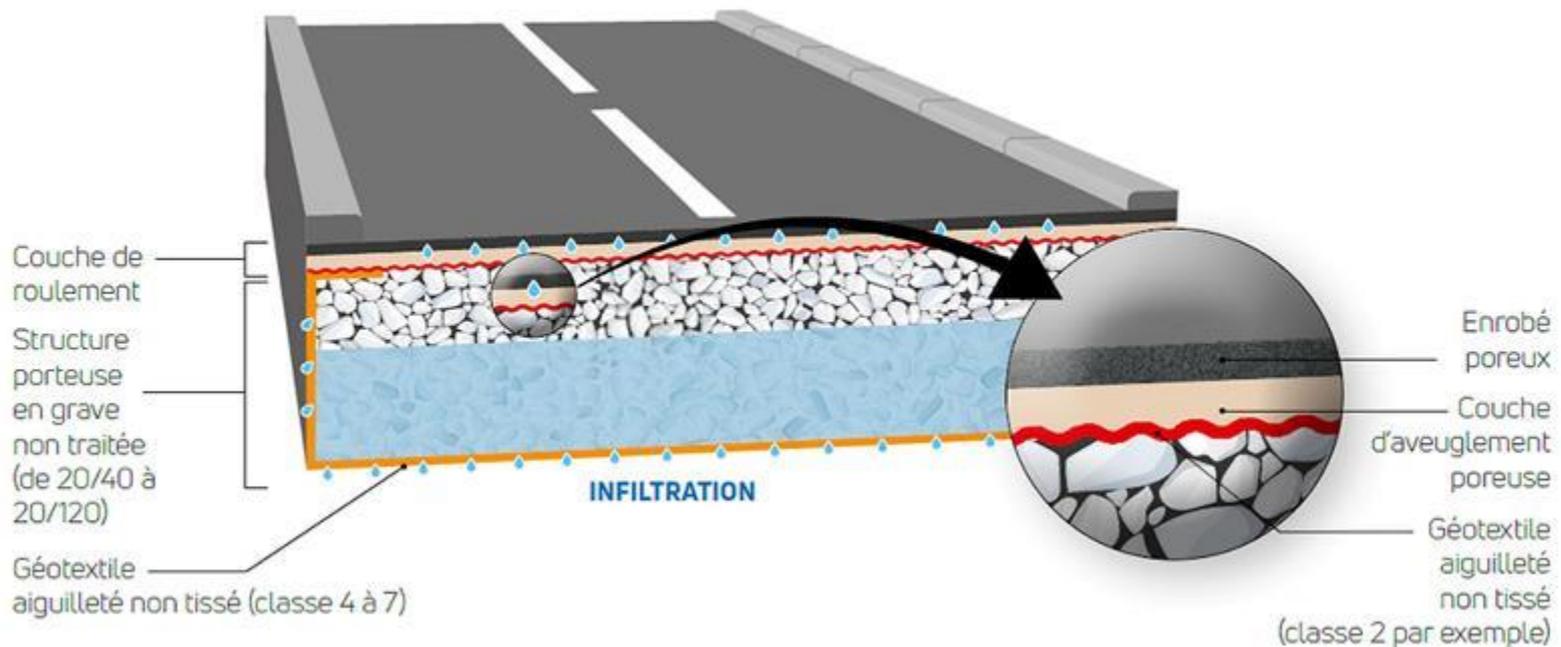
- ▶ Toitures
- ▶ Les revêtements perméables
- ▶ **Massifs**
- ▶ Espaces verts creux



PRINCIPE DES MASSIFS DRAINANTS

Injection

- ▶ Directe (revêtements perméables)
- ▶ Indirecte (via « bouches d'injection »)



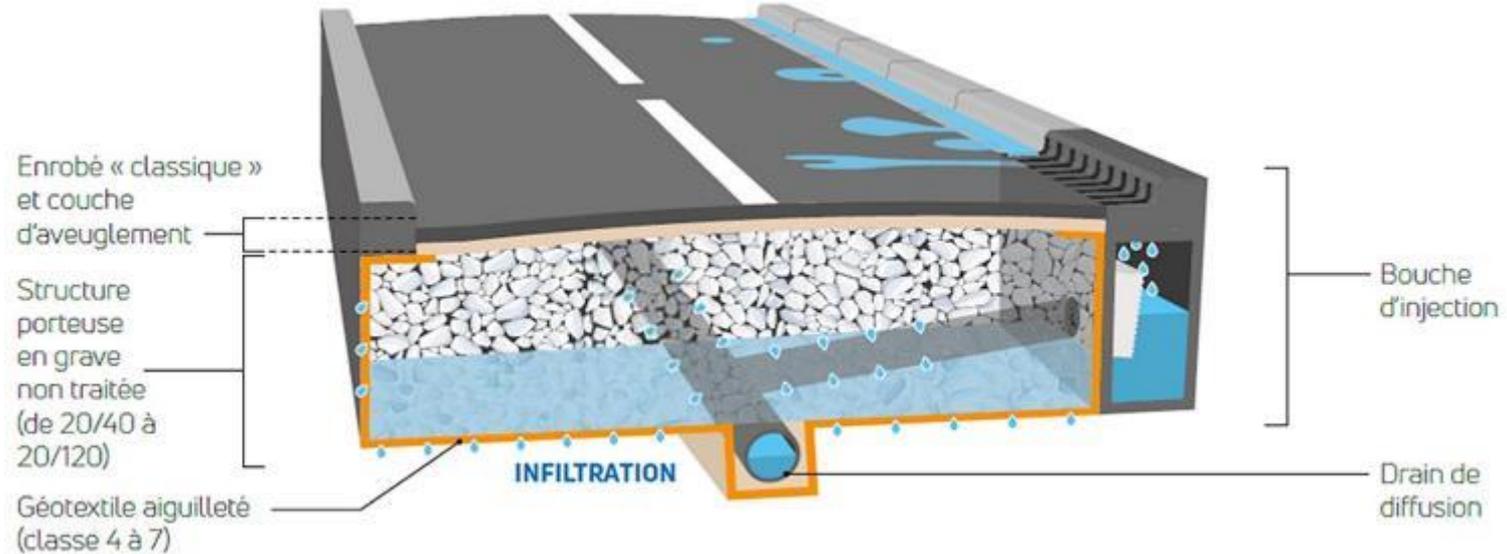
Source : ADOPTA



PRINCIPE DES MASSIFS DRAINANTS

Injection

- ▶ Directe (revêtements perméables)
- ▶ Indirecte (via « bouches d'injection »)



Source : ADOPTA



FREINS IDENTIFIÉS / IDÉES REÇUES



De nombreux projets pilotes à Bruxelles peuvent initier ce changement

Le secteur de la construction est en demande de « validation » scientifique/technique

Les outils (règlement, CCT, Normes...) doivent évoluer

L'expérience française est là, ne nous reposons pas toutes les mêmes questions...



EXEMPLES – RUE HENRI EDMOND CROSS



- ▶ Première CSR réalisée à Douai, **1995**
- ▶ Réalisation CSR de limite de propriété en limite de propriété : sous trottoir, place de stationnement et chaussée
- ▶ Enrobé poreux et pavés poreux



Source : ADOPTA



EXEMPLES – PARKING DE LA FACULTÉ DE DROIT



- ▶ Parking créé en **1997** avec CSR de 12 500 m²
- ▶ Emplacements de stationnement en **enrobés poreux**
- ▶ Enrobé classique sur voies de circulation avec profil en toit qui envoi l'eau sur les zones de stationnement
- ▶ Phénomène de giration > emplacements de stationnement en épi
- ▶ Aucune plaque, aucun ouvrage d'assainissement, aucun avaloir ni trop-plein



Source : ADOPTA



EXEMPLES – PARC D'ACTIVITÉS DE LAUWIN-PLANQUE



- ▶ Chaussée à structure réservoir
 - **voirie lourde** (Parc d'activité)
 - rétention (zone de captage)
 - revêtement classique
- ▶ **Zéro rejet** (pas d'exutoire possible)



Source : ADOPTA



EXEMPLES – LOTISSEMENT DELESTRAINT



- ▶ Réalisation 2003-2005
- ▶ Voirie réalisée en CSR et **enrobé poreux**
- ▶ Trottoirs et entrées d'habitation pentés vers CSR
- ▶ Construction en 2 temps : couche d'enrobé classique provisoire le temps des travaux de construction des habitations et concessionnaire, arrachage de la couche puis pose couche enrobé poreuse
- ▶ **Nappe d'eau proche**



Source : ADOPTA



EXEMPLES – RUE JEAN JAURÈS



- ▶ CSR infiltrante avec revêtement classique
- ▶ Bouches d'injection
- ▶ Drain de surverse



Source : ADOPTA



EXEMPLES – RUE DU MARAIS DAUPHIN



- ▶ Chaussée en enrobés poreux
- ▶ Parkings en enrobés classiques (cisaillement et impétrans)
- ▶ Pente enrobés classique vers enrobés poreux



Source : ADOPTA



- ▶ CSR avec compartimentages



Source : ADOPTA



Site de l'ADOPTA

- ▶ <https://adopta.fr/>
- ▶ De nombreuses ressources disponibles (fiches techniques, fiches de cas, fiches de sensibilisation)
- ▶ Webinaires <https://adopta.fr/videos/>
 - Les chaussées à structure réservoir
 - Les revêtements perméables
 - Les solutions fondées sur la nature



Demi journée technique AERM/ADOPTA : On roule sur l'eau

- ▶ <https://www.youtube.com/watch?v=hl-PkPIQaOA&t=7690s>

Midis techniques Eau

- ▶ Les voiries perméables du 01/12/2022

Présentations et replay sur

<https://environnement.brussels/thematiques/eau/le-professionnel-en-action/evenements/evenements-passes>





CHAUSSÉE D'ALSEMBERG

**Massif stockant****Pavés à joints perméables****Béton poreux**



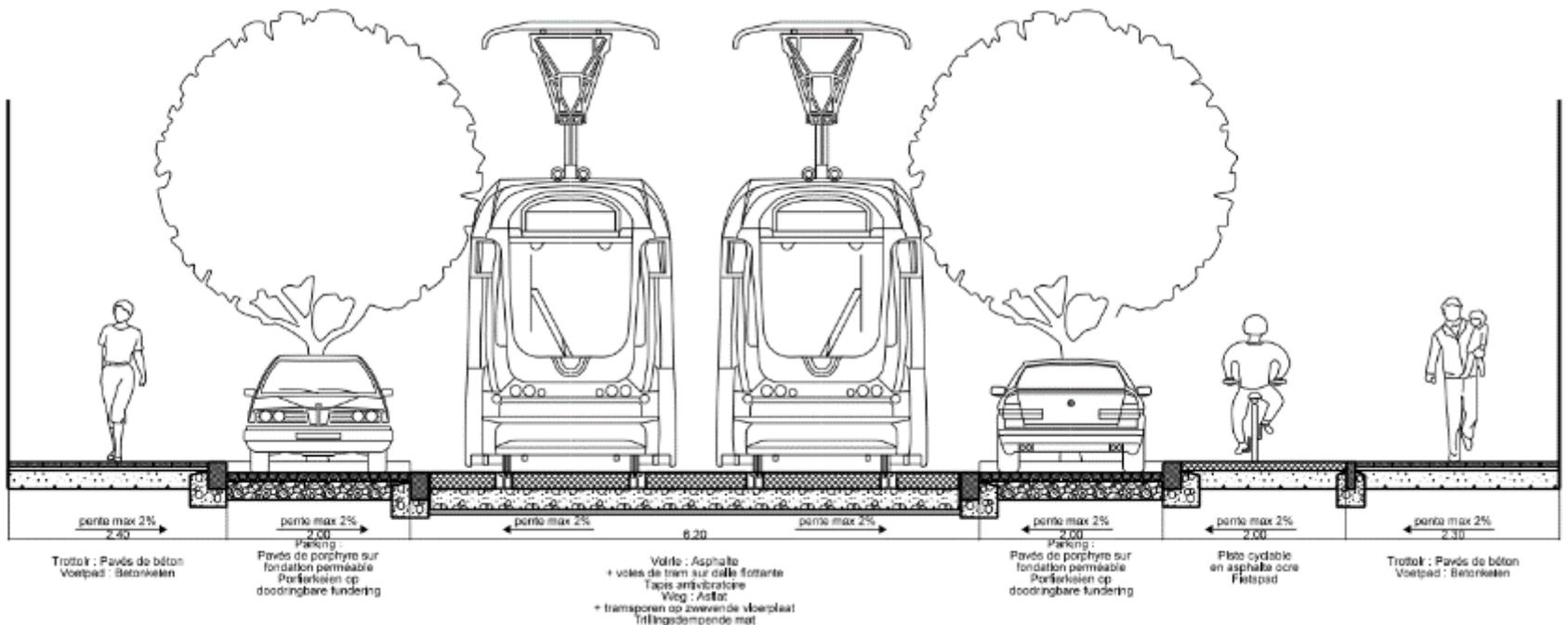
Piste cyclable

- ▶ Béton drainant comme revêtement
- ▶ Fondation ?

Parkings

- ▶ Pavés naturels avec joints 2/6,3
- ▶ Fondation en BMD (?) et Sous-fondation en 20/60

Coupe E-E'
Sne de E-E'



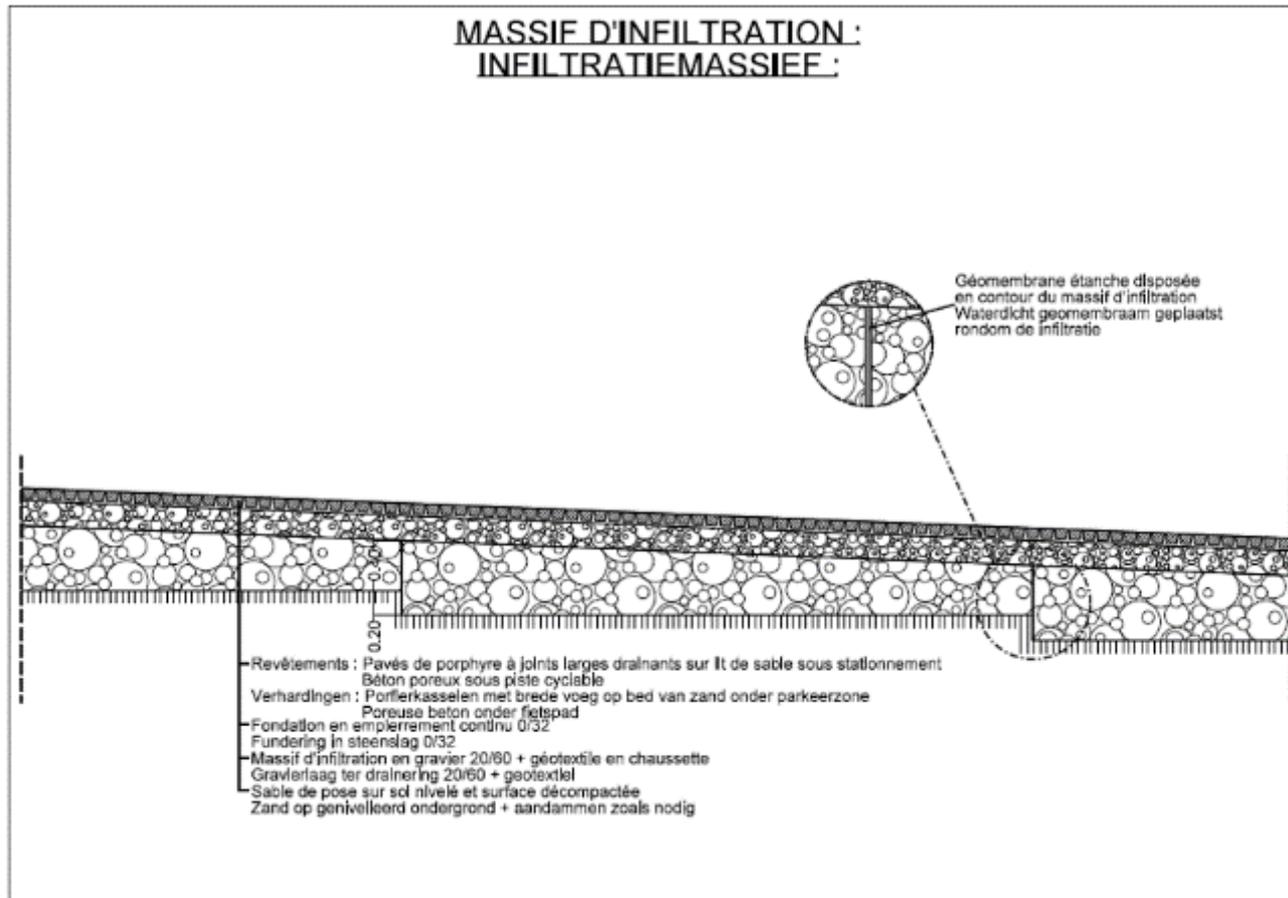
Source : Bruxelles Mobilité





Massifs drainants en pente

- ▶ Cloisonnements
- ▶ Mise en œuvre en « paliers »

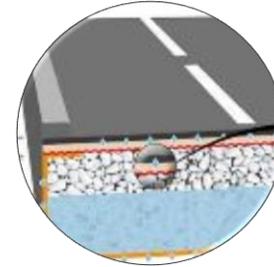


Source : Bruxelles Mobilité





Jardin de pluie



Chaussée à structure réservoir



CHAUSSÉE DE NEERSTALLE (CHANTIER EN COURS)



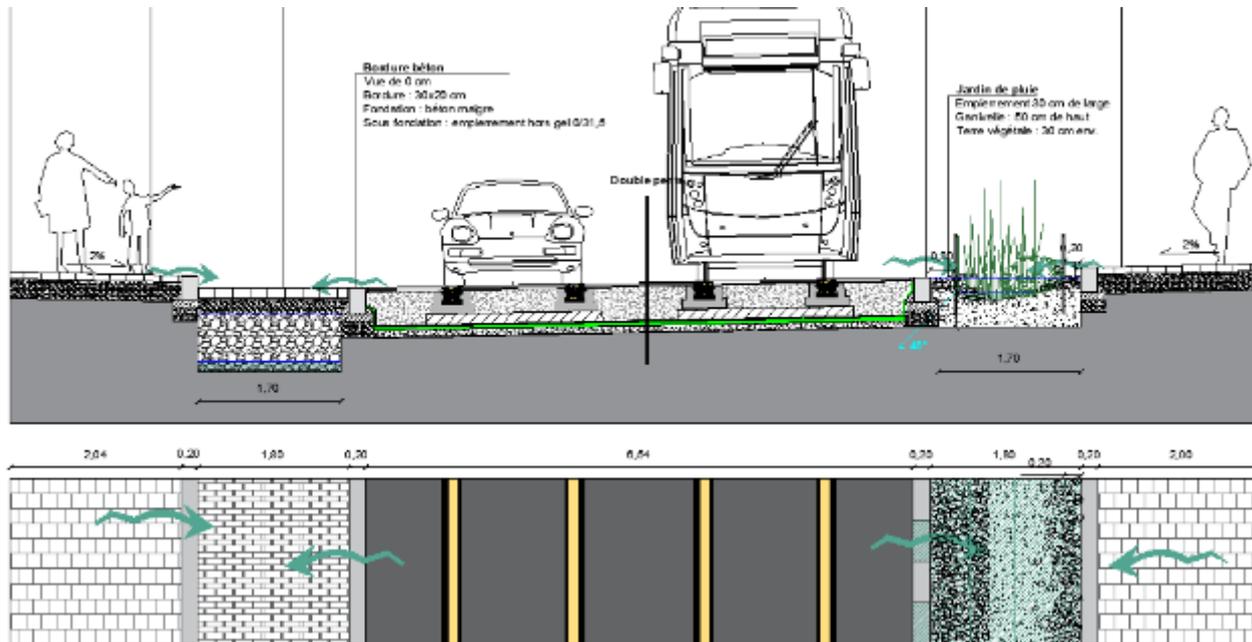
Massif stockant



Jardin de pluie



Pavés à joints perméables OU
Asphalte poreux



Source : STIB





Cas de voiries infiltrantes à Bruxelles

Divers projets intégrant des dispositifs de GIEP sont localisés sur la carte de la Région Bruxelles-Capitale ci-contre. Ces projets sont identifiés pour illustrer la mise en oeuvre de dispositifs à l'échelle de la région. Cependant, il doit être noté que cette carte n'est pas basée sur une liste exhaustive des projets intégrant des dispositifs GIEP.

Projets en cours de chantier ou à l'étude

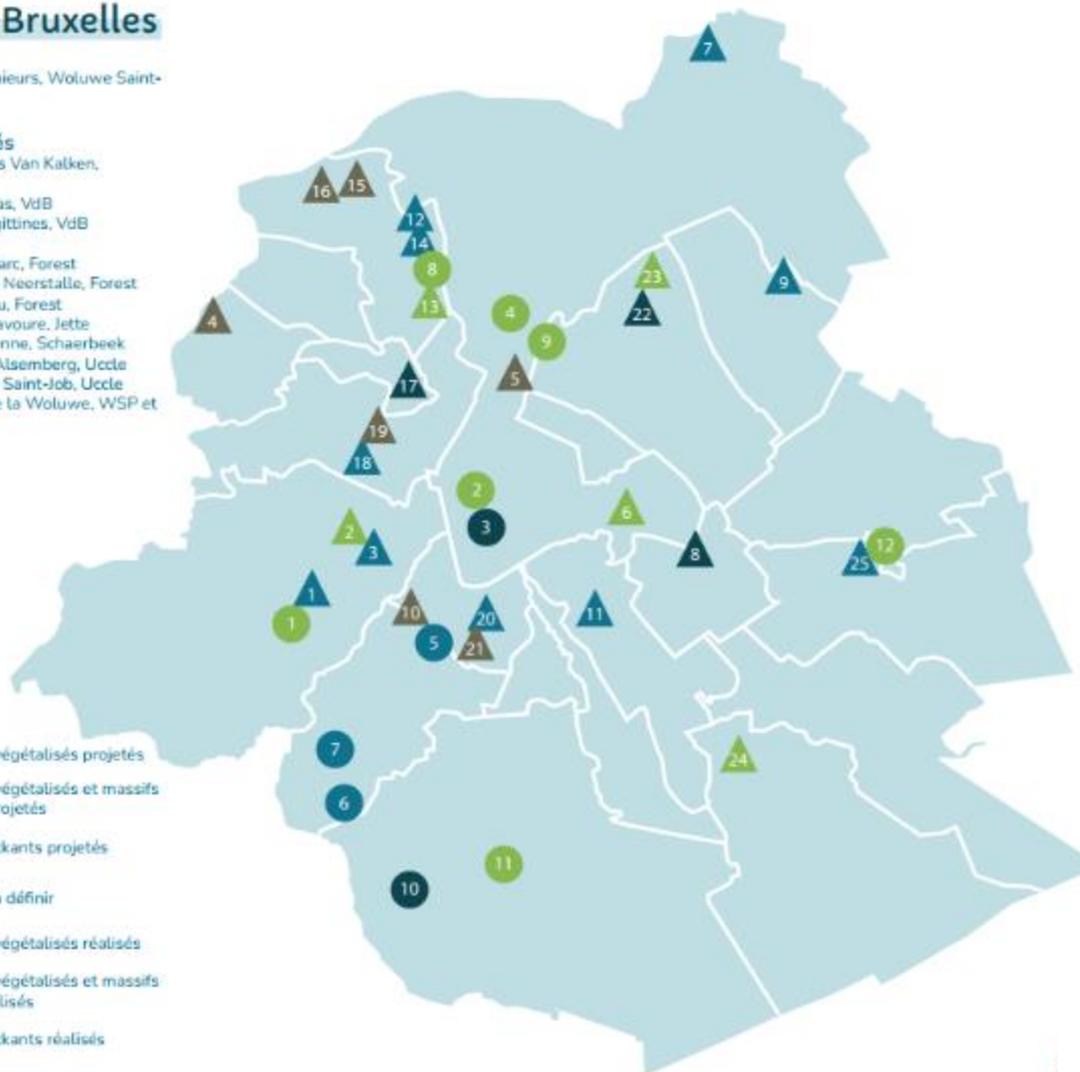
1. Chaussée de Mons, Anderlecht
2. Quai F. Demets 22, Anderlecht
3. Square Albert 1er, Anderlecht
4. Avenue du Roi Albert, BSA
5. Boulevard Simon Bolívar, VdB et Schaerbeek
6. Chaussée d'Etterbeek, VdB
7. Tram Neder-over-Hembeek, VdB
8. Rue des Boers, Etterbeek
9. Bpost, Evere
10. Rue des Moines et r. de Gênes, Forest
11. Place Flagey, Ixelles
12. Avenue du Comte de Jette, Jette
13. Avenue Odon Warland, Jette
14. Boulevard de Smet de Naeyer, Jette
15. Cios Jecta, Jette
16. Place du Bourgeois Jean-Louis Thys, Jette
17. Rue Montagne aux Anges, Koekelberg
18. Avenue de Roovere, MSJ
19. Place Beekkant, MSJ
20. Place Marie-Janson, Saint-Gilles
21. Place Van Meenen, Saint-Gilles
22. Boulevard Lambertmont, Schaerbeek
23. Place Huart Hamoir, Schaerbeek
24. Place Eugène Keym, Watermael Boitsfort

25. Place des Maieurs, Woluwe Saint-Pierre

Projets réalisés

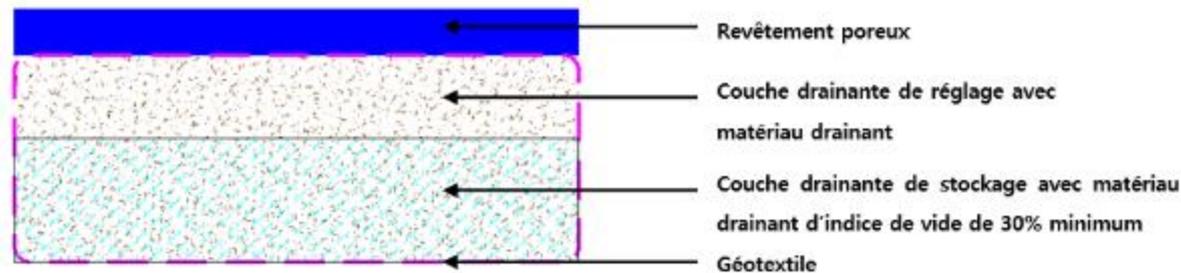
1. Avenue Frans Van Kalcken, Anderlecht
2. Parc Fontainas, VdB
3. Parc des Brigittines, VdB
4. Tivoli, VdB
5. Avenue du Parc, Forest
6. Chaussée de Néorstalle, Forest
7. Tracé de l'Eau, Forest
8. Rue de la Bravoure, Jette
9. Parc de la Senne, Schaerbeek
10. Chaussée d'Alsemberg, Uccle
11. Chaussée de Saint-Job, Uccle
12. Boulevard de la Woluwe, WSP et WSL

-  Dispositifs végétalisés projetés
-  Dispositifs végétalisés et massifs stockants projetés
-  Massifs stockants projetés
-  Dispositifs à définir
-  Dispositifs végétalisés réalisés
-  Dispositifs végétalisés et massifs stockants réalisés
-  Massifs stockants réalisés



Matériaux

- ▶ Les granulométries à utiliser doivent être **exemptes de fines** (20/60 – 20/80 – 20/120) et présenter un **pourcentage de vides** d'au moins **30%**
 - Ensemble de la structure en grave drainante (école FR)
 - Uniquement la sous-fondation en grave drainante fermée avec un matériau de type 0/32 ou 2/32 en fondation (école actuelle BE)



Source : INFRA Services

- ▶ Dans le cas d'une fondation 0/32, il est indispensable que la perméabilité soit vérifiée à l'aide de tests de type double anneau
- ▶ Il n'y a **pas de risque de gel** :
 - Ce type de structure n'est saturé que lors d'épisodes extrêmes... A fortiori quand il ne gèle pas...
 - La granulométrie est adaptée (sans fines)



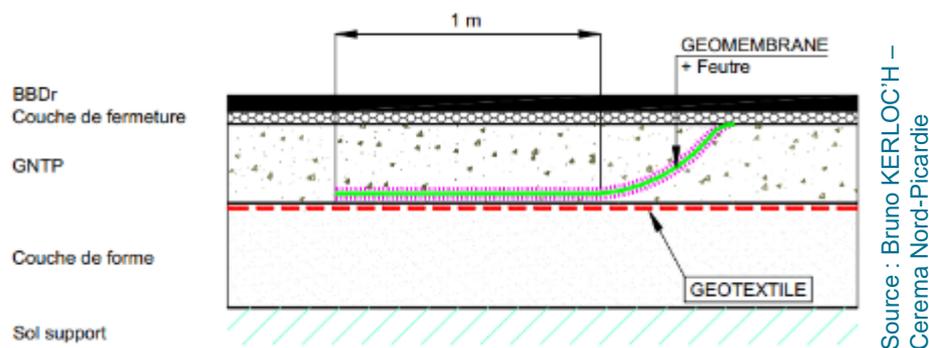
Matériaux

- ▶ La structure réservoir doit être emballée dans un **géotextile « en chaussette »**



Compartimentages

- ▶ En cas de pentes, il est nécessaire de réaliser des compartimentages
 - Via un dispositif d'étanchéité par géomembrane (DEG)



Source : Bruno KERLOCH –
Cerema Nord-Picardie

- Via de la grave traitée

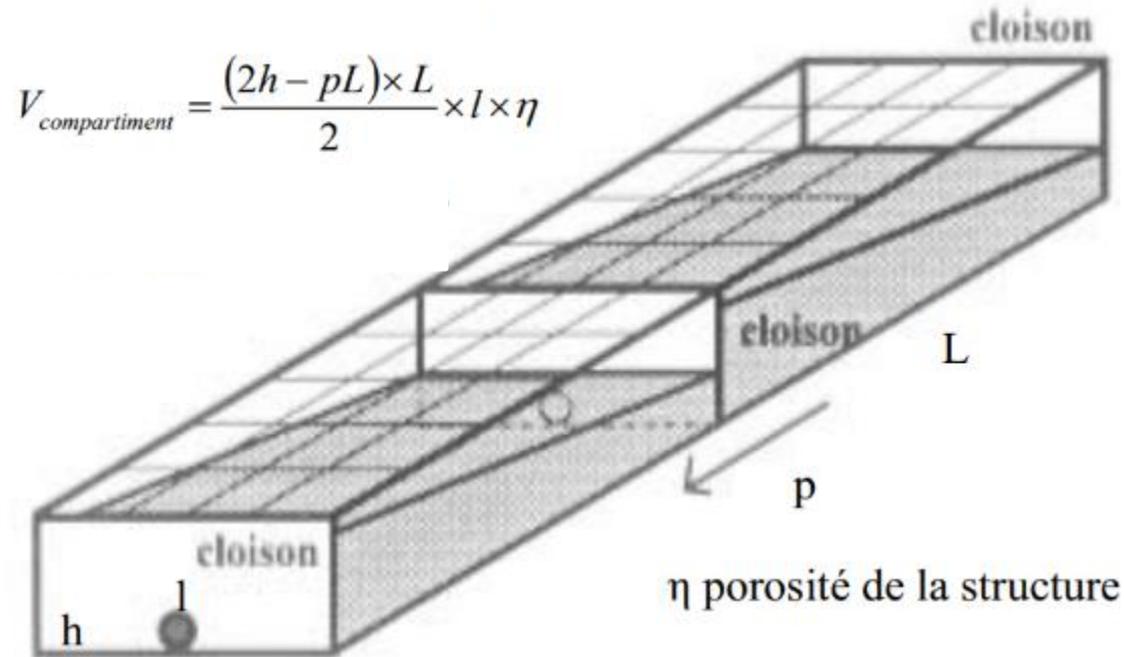


Source : Elleny



Compartimentages

- Calcul du volume des compartiments :



Source : Bruno KERLOC'H –
Cerema Nord-Picardie

- Nombre de compartiments

$$L_{\text{compartiment}} = \frac{2h}{p} - \frac{2V_{\text{tot}}}{L_{\text{tot}} * l * \eta * p}$$



Matériaux et perméabilité

- ▶ Voir chapitre précédent

Tests de perméabilité

- ▶ La perméabilité des revêtements peut être réalisée avec un drainomètre



Source : ADOPTA



Colmatage

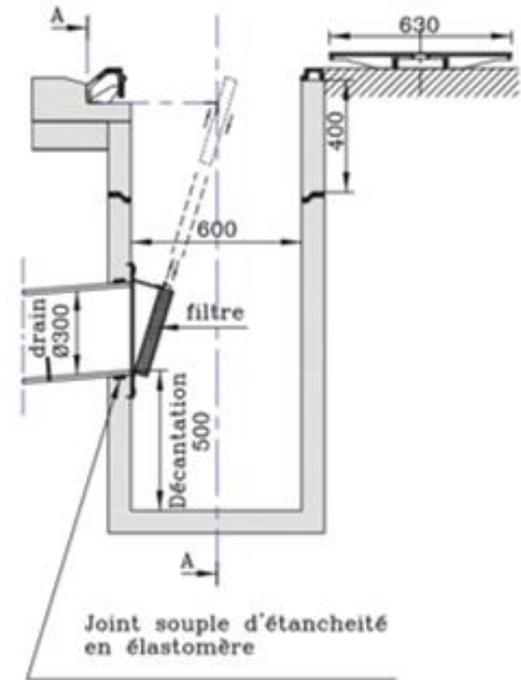
- ▶ Accumulation de matières (poussières, débris végétaux, usure des pièces mécaniques des véhicules,...) conduit peu à peu au colmatage de la couche de surface. La réduction de la perméabilité est d'ailleurs la contrepartie obligatoire de l'efficacité des ouvrages à dépolluer les eaux.
- ▶ Perméabilités initiales très élevés (plusieurs milliers de fois supérieures à celles nécessaires pour infiltrer les pluies les plus intenses).

⇒ **Pour la majorité des revêtements perméables, même si le colmatage progressif des revêtements drainants est une réalité nécessairement associée à l'efficacité de dépollution de ces ouvrages, ce phénomène pose donc rarement de réels problèmes. De plus il peut être contrôlé par un entretien régulier et des interventions spécifiques en cas de nécessité.**



Source : Holcim

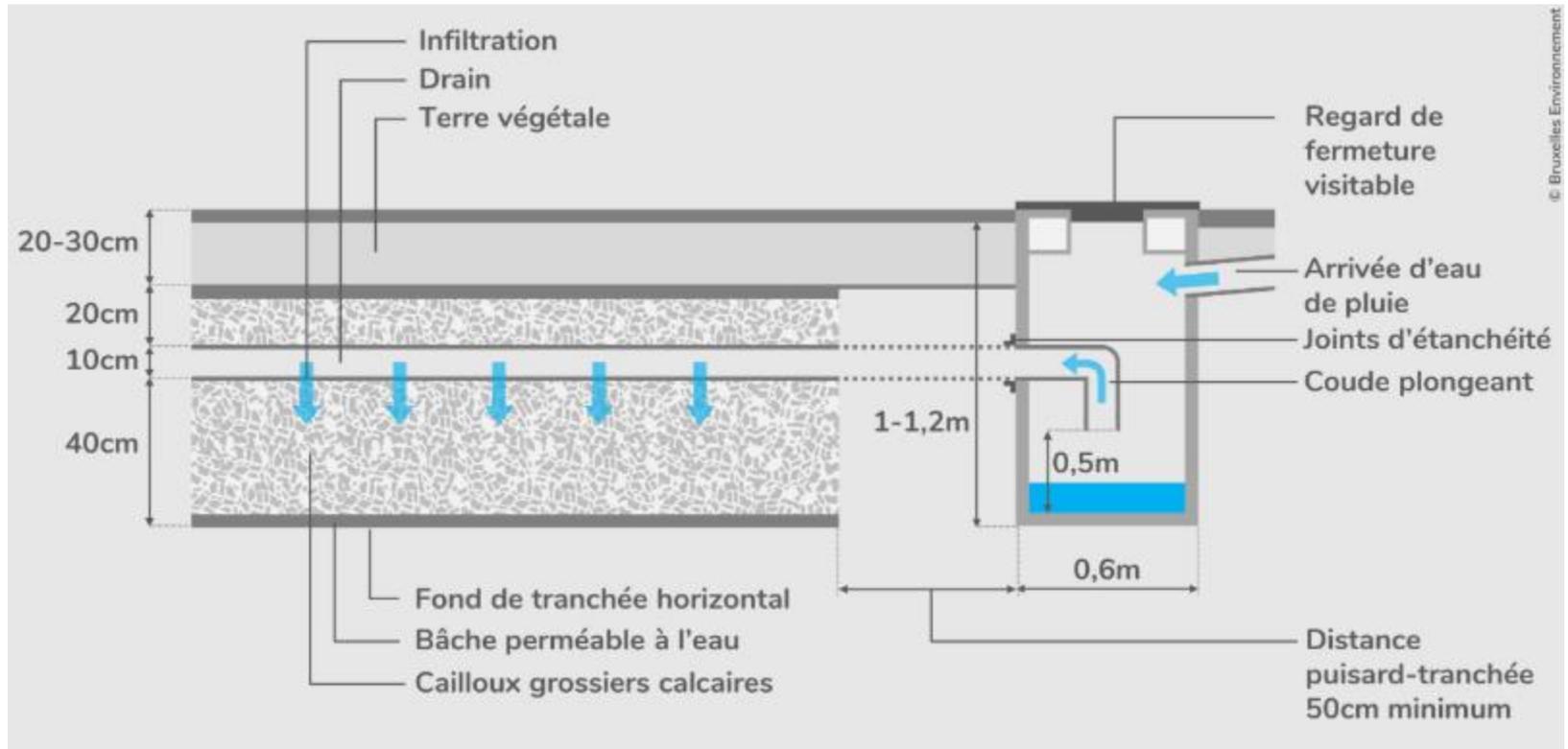




Sources : ADOPTA



BOUCHES D'INJECTION

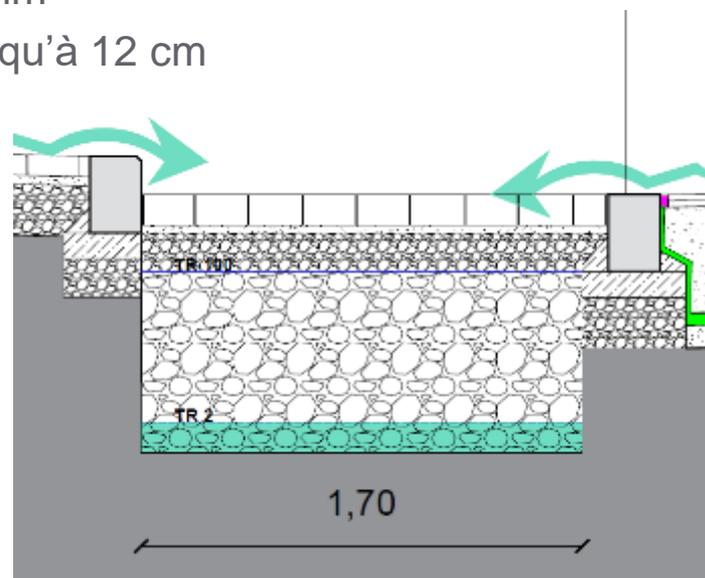


COMPATIBILITÉ AVEC LES IMPÉTRANTS

Pluies courantes

- ▶ Petites pluies
 - Evènement pluvieux : jusqu'à 4 mm
 - Hauteur d'eau dans l'ouvrage : jusqu'à 4 cm
 - Temps de vidange : jusqu'à 40 minutes
 - 120 h humide > 5 jours
- ▶ Pluies moyennes
 - Evènement pluvieux : jusqu'à 10 mm
 - Hauteur d'eau dans l'ouvrage : jusqu'à 12 cm
 - Temps de vidange : jusqu'à 2h
 - 102 h humide > 4,25 jours

Sec : 97% du temps...



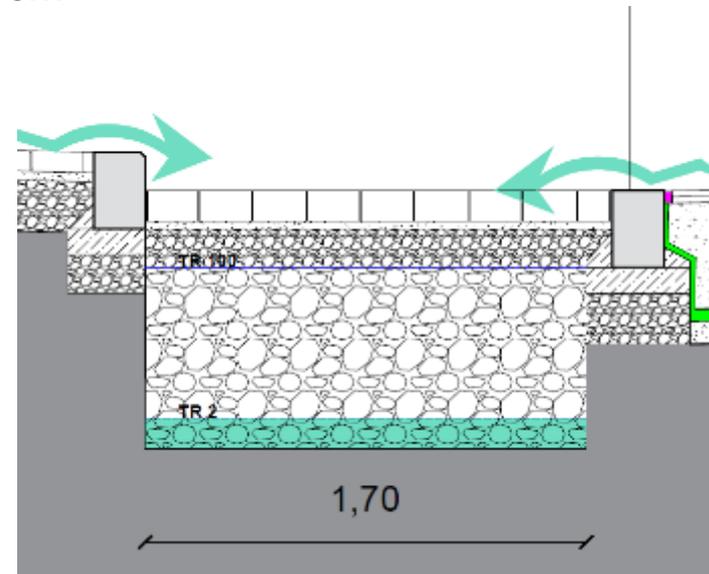
**Profondeur
= 40 à 50
cm**



COMPATIBILITÉ AVEC LES IMPÉTRANTS

Pluies extrêmes

- ▶ TR2
 - Evènement pluvieux : 1h et 16 mm
 - Hauteur d'eau dans l'ouvrage : 15 cm
 - Temps de vidange : 2h
- ▶ TR100
 - Evènement pluvieux : 3h et 57 mm
 - Hauteur d'eau dans l'ouvrage : 60 cm
 - Temps de vidange : 8h



En cas d'intervention

- ▶ Nécessite de remettre en pristin état le massif drainant
 - Géolocalisation des ouvrages de GiEP
 - Sensibilisation et formation des intervenants

⇒ **exemple de la Roannaise de l'eau** où ils mettent en place des stratégies de déconnexion et notamment des tranchées drainantes au-dessus de leurs tuyaux lors de leur rénovation



Source : La Roannaise de l'Eau



DU TOUT TUYAU...

...À LA VILLE PERMÉABLE

GIEP

ÉLÉMENTS DE CONCEPTION

DISPOSITIFS

- ▶ Toitures
- ▶ Les revêtements perméables
- ▶ Massifs
- ▶ **Espaces verts creux**



- ▶ Très variable en fonction de l'espace vert creux...



RD28 et Parvis du Collège Lucie Aubrac – Villetaneuse
(Source : Urban Water)



Cité Florale – Saint-Denis
(Source : Urban Water)



Jardin de pluie - Philadelphie







SIBELGA – BRUXELLES
AAC

Midis techniques Eau

- ▶ Les plantations dans les ouvrages de GIEP du 03/06/2021

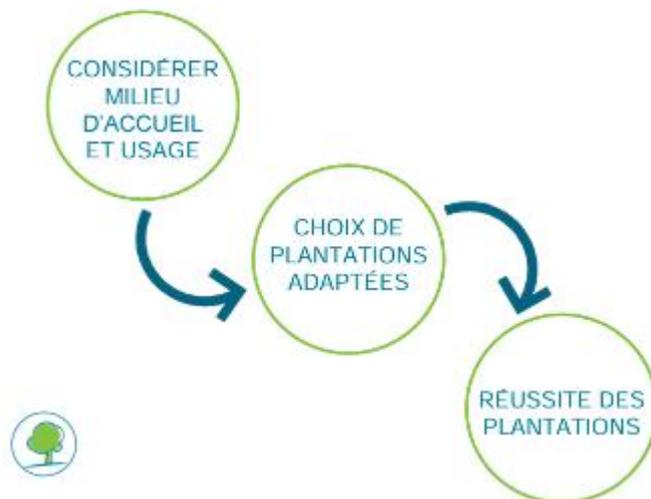
Présentations et replay sur

<https://environnement.brussels/thematiques/eau/le-professionnel-en-action/evenements/evenements-passes>

Plantations adaptées et catégories de dispositifs de GIEP plantés

CONFRONTER LES CARACTÉRISTIQUES DU MILIEU D'ACCUEIL ET L'USAGE AUX EXIGENCES DES VÉGÉTAUX

- Plantations d'ouvrages de GIEP → Pas systématiquement des plantations de milieux humides



Crescent Gardens, Wood Green, Londres
© Robert Bray Associates





- ▶ Il est possible de prévoir des éléments de gestion des eaux pluviales sur toutes les surfaces de la parcelle
 - En toiture
 - Au niveau des abords minéralisés
 - Au niveau des espaces verts
- Cela permet de gérer la pluie « là où la goutte tombe »**
- Cela permet d'intégrer la gestion des eaux pluviales à des aménagements qui ont déjà leur fonction propre**





Guide bâtiment durable

- ▶ [Dossier | Gérer les eaux pluviales sur la parcelle](#)
- [Solution | Revêtements perméables](#)
- [Solution | Cheminements d'eau](#)
- [Solution | Noues](#)
- [Solution | Régulateur de débit](#)
- [Solution | Toitures stockantes](#)
- [Solution | Jardins de pluie](#)
- [Solution | Citernes et bassins d'orage](#)
- [Solution | Massifs stockants](#)
- [Solution | Bandes filtrantes](#)



Ressources

- ▶ APUR [Référentiel pour une gestion à la source des eaux pluviales dans la métropole](#)
- Cahier 1 | Pourquoi une gestion à la source des eaux pluviales ?
- Cahier 2 | Comment gérer les eaux de pluie à la source ?
- Cahier 3 | Acteurs et retours d'expériences



Formations et séminaires

Inscrivez-vous aux formations organisées par Bruxelles Environnement

<https://environnement.brussels/formationsbatidurable>

Consultez tous les supports [gratuitement](#) !



Stéphan TRUONG

Ingénieur projet – Facilitateur EAU

☎ + 32 4 226 91 60

✉ facilitateur.eau@environnement.brussels

écORce
INGÉNIERIE CONSULTANCE



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

